**UDC**

中华人民共和国国家标准 ****

**P GB/T 50××× – 202×**

**海岸工程混凝土结构技术标准**

Technical standard for concrete structures of coastal engineering

（征求意见稿）

20××-××-××发布 20××-××-××实施

中华人民共和国住房和城乡建设部

联合发布

国 家 市 场 监 督 管 理 总 局

中华人民共和国国家标准

**海岸工程混凝土结构技术标准**

Technical standard for concrete structures of coastal engineering

GB/T **50××× – 202×**

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：202×年××月××日

中国 出版社

**202× 北 京**

**前 言**

根据住房和城乡建设部《关于开展<海岸工程混凝土结构技术标准>编制工作的函》（建司局函标〔2021〕39号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准共分为8章和6个附录，主要技术内容包括：总则、术语、符号、基本规定、作用、材料、设计、施工、维护及拆除等。

本标准由住房和城乡建设部负责管理。

本标准起草单位：广西大学（地址：广西南宁市大学东路100号，邮政编码：530004）

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

**目 次**

[1 总则 8](#_Toc3073)

[2 术语和符号 9](#_Toc8553)

[2.1 术语 9](#_Toc6052)

[2.2 符号 10](#_Toc18255)

[3 基本规定 13](#_Toc8236)

[3.1 一般规定 13](#_Toc16681)

[3.2 材料规定 13](#_Toc29162)

[3.3 设计规定 14](#_Toc8496)

[3.4 施工规定 15](#_Toc6319)

[4 作用 17](#_Toc1131)

[4.1 一般规定 17](#_Toc25600)

[4.2 直接作用 17](#_Toc20628)

[4.3 间接作用 18](#_Toc19915)

[4.4 环境作用 18](#_Toc7808)

[5 材料 21](#_Toc24518)

[5.1 一般规定 21](#_Toc7282)

[5.2 混凝土材料 21](#_Toc21740)

[5.3 钢筋 24](#_Toc20531)

[5.4 防腐蚀材料 24](#_Toc24495)

[5.5 其他材料 29](#_Toc7929)

[6 设计 31](#_Toc721)

[6.1 一般规定 31](#_Toc29014)

[6.2 承载能力极限状态设计 32](#_Toc6668)

[6.3 正常使用极限状态验算 34](#_Toc15304)

[6.4 耐久性极限状态设计 35](#_Toc22765)

[6.5 附加防腐蚀设计 36](#_Toc14497)

[7 施工 38](#_Toc31117)

[7.1 一般规定 38](#_Toc18017)

[7.2 兼顾强度与耐久性的混凝土配合比设计 38](#_Toc25101)

[7.3 有特殊要求的混凝土配合比设计 43](#_Toc13757)

[7.4 混凝土施工 46](#_Toc32516)

[7.5 防腐蚀施工 49](#_Toc27867)

[8 维护及拆除 53](#_Toc16956)

[8.1 一般规定 53](#_Toc12699)

[8.2 结构维护 53](#_Toc28781)

[8.3 结构处置 55](#_Toc15064)

[8.4 结构拆除 55](#_Toc32227)

[附录A 设计工作年限为50年的混凝土结构耐久性参数组合值 57](#_Toc26890)

[附录B 海岸工程混凝土结构的耐久性定量设计方法 66](#_Toc31020)

[附录C 混凝土抗氯离子渗透性扩散系数的电迁移试验方法 70](#_Toc18615)

[附录D 混凝土中钢筋脱钝临界氯离子浓度的测试方法 74](#_Toc15413)

[附录E 兼顾强度和耐久性的混凝土配合比参数确定方法 77](#_Toc21897)

[附录F 兼顾强度和耐久性的混凝土配合比参数 79](#_Toc8085)

[本标准用词说明 94](#_Toc27403)

[引用标准名录 95](#_Toc2250)

附：[条文说明 95](#_Toc2250)

**Contents**

[1 General Provisions 8](#_Toc3073)

[2 Terms and Symbols 9](#_Toc8553)

[2.1 Terms 9](#_Toc6052)

[2.2 Symbols 10](#_Toc18255)

[3 Basic Requirements 13](#_Toc8236)

[3.1 General Requirements 13](#_Toc16681)

[3.2 Material Requirements 13](#_Toc29162)

[3.3 Design Requirements 14](#_Toc8496)

[3.4 Construction Requirements 15](#_Toc6319)

[4 Actions 17](#_Toc1131)

[4.1 General Requirements 17](#_Toc25600)

[4.2 Direct Actions 17](#_Toc20628)

[4.3 Indirect Actions 18](#_Toc19915)

[4.4 Environmental Actions 18](#_Toc7808)

[5 Materials 21](#_Toc24518)

[5.1 General Requirements 21](#_Toc7282)

[5.2 Concrete Materials 21](#_Toc21740)

[5.3 Reinforcing Materials 24](#_Toc20531)

[5.4 Anti-corrosion Materials 24](#_Toc24495)

[5.5 Other Materials 29](#_Toc7929)

[6 Design 31](#_Toc721)

[6.1 General Requirements 31](#_Toc29014)

[6.2 Bearing Capacity Limit State Design 32](#_Toc6668)

[6.3 Serviceability Limit State Check 34](#_Toc15304)

[6.4 Durability Limit State Design 35](#_Toc22765)

[6.5 Additional Anti-corrosion Design 36](#_Toc14497)

[7 Construction 38](#_Toc31117)

[7.1 General Requirements 38](#_Toc18017)

[7.2 Concrete Mix Design Considering Strength and Durability 38](#_Toc25101)

[7.3 Concrete Mix Design with Special Requirements 43](#_Toc13757)

[7.4 Concrete Construction 46](#_Toc32516)

[7.5 Anti-corrosion Construction 49](#_Toc27867)

[8 Maintenance and Dismantling 53](#_Toc16956)

[8.1 General Requirements 53](#_Toc12699)

[8.2 Structural Maintenance 53](#_Toc28781)

[8.3 Structural Disposition 55](#_Toc15064)

[8.4 Structural Demolition 55](#_Toc32227)

[Appendix A Durability Parameters for Concrete Structures with Design Working Life of 50 Years 57](#_Toc26890)

[Appendix B Quantitative Design Method for Durability of Concrete Structures in Coastal Engineering 66](#_Toc31020)

[Appendix C Electromigration Test Method for Permeability Diffusion Coefficient 70](#_Toc18615)

[Appendix D Test Method for Critical Chloride Concentration of Rebar Depassivation in Concrete 74](#_Toc15413)

[Appendix E Determination Method of Concrete Mix Ratio Parameters Considering Strength and Durability 77](#_Toc21897)

[Appendix F Concrete Mix Parameters for Strength and Durability 79](#_Toc8085)

[Explanation of Wording in This Standard 94](#_Toc27403)

[List of Quoted Standards 95](#_Toc2250)

Addition: Explanation of [Provisions 9](#_Toc2250)7

1 总 则

**1.0.1** 为保障海岸工程混凝土结构达到预定的设计工作年限，做到技术先进、安全耐久、经济合理、低碳环保、确保质量，制定本标准。

**1.0.2**  本标准适用于海岸工程混凝土结构的设计、施工、维护及拆除。

**1.0.3** 本标准的规定为结构达到设计工作年限的基本要求，实施时可根据工程的具体特点、当地的环境条件与实践经验以及具体的施工条件等适当提高。

**1.0.4** 海岸工程混凝土结构的设计、施工、维护及拆除应执行本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

**2.1.1 混凝土结构 concrete structure**

以混凝土为主制成的结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。

**2.1.2 设计工作年限 design working life**

设计规定的结构或构件不需进行大修即可按预定目的使用的年限。

**2.1.3 人工岛 artificial island**

在海床上由人工填筑形成的离岸陆域。

**2.1.4 环境作用 environmental action**

温度、湿度及其变化以及二氧化碳、氧、盐、酸等环境因素对结构或材料性能的影响。

**2.1.5 附加防腐蚀措施 additional protective measures**

在改善混凝土密实性、增加保护层厚度和利用防排水措施等常规手段的基础上，为进一步提高混凝土结构耐久性所采用的补充措施，包括混凝土表面涂层、环氧涂层钢筋、钢筋阻锈剂和阴极保护等。

**2.1.6 胶凝材料 binder**

混凝土原材料中具有胶结作用的水泥和粉煤灰、硅灰、粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料的总称。

**2.1.7 初始氯离子浓度 initial chloride concentration**

新拌混凝土硬化后实测的氯离子含量。

**2.1.8 临界氯离子浓度 critical chloride concentration**

混凝土内部钢筋周围孔隙液中不至于引起钢筋去钝化的最高氯离子浓度。

**2.1.9 表面氯离子浓度 surface chloride concentration**

根据混凝土内部扩散区不同深度的氯离子浓度，通过Fick第二定律拟合分析确定的混凝土表面的表观氯离子浓度。

**2.1.10 混凝土抗侵蚀剂 erosion inhibitor for concrete**

掺入混凝土中，抑制和抵抗环境中氯离子等腐蚀性介质侵蚀，并提高混凝土结构抗侵蚀能力的外加剂。

**2.1.11 混凝土保护层厚度 thickness of concrete cover**

从混凝土表面到主筋公称直径外边缘之间的最小距离。

**2.1.12 混凝土净保护层厚度 net thickness of concrete cover**

从混凝土表面到最外层钢筋（如箍筋或分布筋）直径外边缘之间的最小距离。

**2.1.13 氯离子扩散系数 chloride diffusion coefficient**

描述氯离子在混凝土中从高浓度区向低浓度区传输速率的参数。

**2.1.14 高强混凝土 high strength concrete**

强度等级不低于C60的混凝土。

**2.1.15 高性能混凝土 high performance concrete**

用常规材料、常规工艺，以较低水胶比、大掺量优质矿物掺合料和严格的质量控制制作的具有高耐久性、较高强度、良好工作性及高体积稳定性的水泥基混凝土。

**2.1.16 超高性能混凝土 ultra high performance concrete**

由水泥、矿物掺合料、细骨料、增强纤维、外加剂和水等原材料制成的具有超高力学性能和抗渗性能且能兼具改善脆性特征的纤维增强水泥基复合材料。

**2.1.17 大体积混凝土 mass concrete**

混凝土结构物实体最小几何尺寸不小于1m的混凝土，或预计会因混凝土中胶凝材料水化引起的温度变化和收缩而导致有害裂缝产生的混凝土。

**2.1.18 初始暴露龄期 initial exposure age**

混凝土开始暴露于氯化物环境的龄期。

**2.1.19 初始氯离子扩散系数 initial chloride diffusion coefficient**

混凝土在初始暴露龄期时的氯离子扩散系数。

**2.1.20 龄期衰减系数 aging factor**

描述氯离子扩散系数随时间衰减快慢的参数。

2.2 符 号

*c*——混凝土保护层厚度的特征值；

——混凝土净保护层厚度的设计值；

——混凝土中初始氯离子浓度；

Ca35——强度等级为C35的引气混凝土；

——混凝土中钢筋或预应力筋表面的氯离子浓度设计值；

——临界氯离子浓度的特征值；

——临界氯离子浓度的设计值；

——混凝土表面氯离子浓度的特征值；

——混凝土表面氯离子浓度的设计值；

——主筋外侧的箍筋或其他构造钢筋的直径；

——基于快速电迁移方法（RCM法）测试的初始氯离子扩散系数；

——初始氯离子扩散系数的配制值；

erf(∙)——误差函数；

——混凝土强度的配制值；

——混凝土立方体抗压强度的标准值；

——氯离子扩散系数的试验方法转换系数；

——氯离子扩散系数的环境影响系数；

——氯离子扩散系数的应力影响系数；

——计算配合比每立方米混凝土的外加剂用量；

——计算配合比每立方米混凝土的胶凝材料用量；

——计算配合比每立方米混凝土的水泥用量；

——每立方米混凝土拌合物的假定质量；

——计算配合比每立方米混凝土的粗骨料用量；

——计算配合比每立方米混凝土的细骨料用量；

——计算配合比每立方米混凝土的用水量；

*n*——龄期衰减系数；

——理想气体常数；

——结构或结构构件的抗力设计值；

——粉煤灰掺量；

——粒化高炉矿渣粉掺量；

——作用组合的效应设计值；

——初始暴露龄期；

——氯离子扩散系数的衰减稳定时间；

——设计工作年限；

——环境温度；

——参考温度；

——混凝土中氯离子扩散过程的活化能；

*α*——混凝土的含气量百分数。

——外加剂掺量；

——砂率；

——结构重要性系数；

——氯离子扩散系数的分项系数；

——临界氯离子浓度的分项系数；

——混凝土表面氯离子浓度的分项系数；

——初始氯离子扩散系数的变异系数；

——混凝土应力条件影响系数；

——水泥密度；

——矿物掺合料密度；

——粗骨料的表观密度；

——细骨料的表观密度；

——水的密度；

**——混凝土强度的标准差；

——初始氯离子扩散系数的标准差；

——混凝土保护层厚度的安全裕度。

3 基本规定

3.1 一般规定

**3.1.1** 海岸工程混凝土结构应从材料、设计、施工、维护等各环节采取措施保证结构的安全性、适用性及耐久性。

**3.1.2** 海岸工程混凝土结构应符合预定的工程功能和结构性能要求。应确定其结构设计工作年限、结构安全等级、抗震设防类别、荷载作用、环境作用等；应进行承载能力极限状态设计、正常使用极限状态验算和耐久性设计。

**3.1.3** 海岸工程混凝土结构的耐久性设计应考虑海洋氯化物环境的作用，并宜开展耐久性定量设计。对于其他环境作用下的耐久性设计，可参考国家有关规范执行或通过专门的研究和论证。

**3.1.4** 海岸工程混凝土结构的施工，应遵守国家关于工程建设管理、工程质量、安全生产、节能减排、环境保护和职业健康等方面的法律、法规和规定。

3.2 材料规定

**3.2.1** 材料选用应有利于提高海岸工程混凝土结构在海洋环境下的安全性、适用性和耐久性，并应明确材料的质量和性能指标。

**3.2.2** 海岸工程混凝土结构应根据结构所处的环境类别、环境作用等级和结构设计工作年限选择混凝土和防腐蚀材料。

**3.2.3** 海洋环境下设计工作年限为50年以上的混凝土结构，对于水位变动区和浪溅区的腐蚀严重部位和重要构件应采用高性能混凝土和必要的附加防腐蚀措施，并应根据环境类别和作用等级、施工条件、便于维护和全寿命成本等因素综合选用。

**3.2.4** 对于因形状复杂或钢筋密集导致浇捣困难的海岸工程混凝土结构，以及对施工噪声有特殊要求的海岸工程混凝土结构，宜采用自密实混凝土。

**3.2.5** 对于有轻质、高强和高抗弯拉要求的海岸工程混凝土结构，可采取超高性能混凝土。

**3.2.5** 当采用新型混凝土材料或防腐蚀材料时，应经专门技术论证后选用。

3.3 设计规定

**3.3.1** 海岸工程混凝土结构宜采用以概率理论为基础，以分项系数表达的极限状态设计方法；有条件时可采用基于可靠度的设计方法。

**3.3.2** 海岸工程混凝土结构设计的极限状态分为承载能力极限状态、正常使用极限状态和耐久性极限状态，并应根据各极限状态的要求进行下列计算或验算：

**1** 所有结构构件均应进行承载力计算。有抗震设防要求的结构，尚应按规定进行结构构件抗震承载力验算；

**2** 对使用上要求控制变形的结构或结构构件应进行变形验算；

**3** 对使用上要求不出现裂缝的构件应进行混凝土拉应力验算；对使用上允许出现裂缝的构件应进行裂缝宽度验算；

**4** 对于有耐久性要求的构件进行耐久性设计。

**3.3.3** 海岸工程混凝土结构的设计状况应分为持久状况、短暂状况、地震状况和偶然状况。海岸工程混凝土结构设计时应对不同的设计状况进行分析，每一种设计状况应采用相应的结构体系、可靠度水平和基本变量，并分析施工和使用中的环境条件和影响等。

**3.3.4** 海岸工程混凝土结构的几何外形应简洁、平顺，避免采用突变构造，受雨淋的表面或积水的表面宜做成斜面；易受漂流物、流水撞击或水流冲击异常剧烈的部位，宜采取耐冲击和耐磨损措施。

**3.3.5**  海岸工程混凝土结构设计时，应根据结构破坏可能产生后果的严重性，采用不同的安全等级。海岸工程混凝土结构安全等级的划分应符合表3.3.5的规定。结构中各类构件的安全等级，宜与结构的安全等级相同，对其中部分构件的安全等级可进行调整，但不得低于三级。

表3.3.5 海岸工程结构安全等级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 安全等级 | 破坏后果 | 适用范围示例 |
| 一级 | 很严重 | 有特殊安全要求的结构、维修加固非常困难的结构 |
| 二级 | 严重 | 一般工程结构 |
| 三级 | 不严重 | 临时性结构 |

**3.3.6**  海岸工程混凝土结构设计时，应根据工程的使用功能、建造和使用维护成本以及环境影响等因素规定设计工作年限，并应符合表3.3.6规定：

表3.3.6 海港工程、海岸防护工程、海上人工岛工程的结构设计工作年限（年）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 结构类型 | | 设计工作年限 |
| 海港  工程 | 永久性港口建筑物 | ≥50 |
| 临时性港口建筑物 | 5～10 |
| 海岸防护工程 | 永久性结构 | ≥50 |
| 破坏后损失不严重的斜坡式护岸等非重要建筑物 | 25 |
| 临时性结构 | 5～10 |
| 海上人工岛  工程 | 特别重要结构，破坏后损失或影响程度巨大 | ≥100 |
| 重要结构，破坏后损失或影响程度较大 | ≥50 |
| 比较重要结构，破坏后损失或影响程度一般 | ≥25 |

**3.3.7**  海岸工程混凝土结构构件与结构的安全等级不一致或设计工作年限不一致的，应在设计文件中明确标明。

**3.3.8** 海岸工程混凝土结构耐久性应根据结构的设计工作年限、结构所处的环境类别和作用等级、施工条件、便于维护等进行合理设计，并考虑结构的全寿命成本因素。

**3.3.9** 海岸工程混凝土结构耐久性设计前应针对水文、气象、腐蚀性介质等进行专门的腐蚀环境调查。

**3.3.10** 海岸工程混凝土结构钢筋保护层厚度的确定应综合考虑安全性和耐久性设计的要求。

**3.3.****11** 海岸工程混凝土结构的耐久性设计，应根据结构所处的环境类别与环境作用等级以及结构的设计工作年限，确定混凝土材料耐久性的主要技术要求。

**3.3.12** 海岸工程混凝土结构采用附加防腐蚀措施时，应在设计文件中明确其设计保护年限、主要材料的性能指标及其检验方法。

3.4 施工规定

**3.4.1** 海岸工程混凝土施工应结合工程特点编制满足施工条件、施工强度和施工质量控制的施工组织设计。

**3.4.2** 海岸工程混凝土预制构件的施工场地面积、承载力、移动工艺和出运设施等应满足构件预制、存放、移动和出运的要求。

**3.4.3** 海岸工程混凝土施工用船舶应选择抗风浪能力强、稳定性好的施工船舶，并提前选定避风港或避风锚地。

**3.4.4** 海岸工程混凝土施工应采取施工安全防护措施和环境保护措施，对可能发生的危害与灾害应制定应急预案。

4 作 用

4.1 一般规定

**4.1.1** 海岸工程混凝土结构设计时应考虑结构上可能出现的各种直接作用、间接作用和环境作用，确保结构的安全性、适用性和耐久性。

**4.1.2** 同时施加在海岸工程混凝土结构上的各单个作用对结构的共同影响应通过作用组合来考虑；对不可能同时出现的各种作用，不应考虑其组合。

**4.1.3**  对于海岸工程混凝土结构在施工和使用期间可能出现，而本规范未规定的各类作用，应根据结构的设计工作年限、设计基准期和保证率，确定其设计取值。

4.2 直接作用

**4.2.1** 直接作用在海岸工程混凝土结构上的荷载，根据时间变化特性可分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载。永久荷载应考虑自重力、预加应力、土压力、固定水位的静水压力和浮托力等；可变荷载应考虑使用荷载、水流力、冰荷载、风荷载、波浪力等；偶然荷载应根据工程的实际情况和建设的特殊要求确定。

**4.2.2** 永久荷载、可变荷载、偶然荷载的代表值应符合下列规定：

**1** 永久荷载应采用标准值；

**2** 可变荷载应根据设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值；

**3** 偶然荷载应按结构设计使用特点确定其代表值。

**4.2.3**  确定可变荷载代表值时应采用统一的设计基准期。当结构采用的设计基准期不是50年时，应按照可靠指标一致的原则，对可变荷载量值进行调整。

**4.2.4** 海岸工程混凝土结构的自重力，应包括结构物自身重力和位于结构物上或结构物中的填料与固定设备的重力。自重力可按结构的设计尺寸和材料的平均重度或固定设备的质量计算确定。

**4.2.5** 对于承受水流作用的海岸工程混凝土结构，应计算水流力的作用。水流力标准值应按照水流阻力系数、水流动能和构件投影面积的乘积计算。

**4.2.6** 作用在海岸工程混凝土结构上的冰荷载应根据当地冰凌实际情况及其结构形式确定，对重要工程或难以计算确定的冰荷载应通过冰力物理模型试验等专门研究确定。

**4.2.7** 海岸工程混凝土结构上的风荷载标准值应按风荷载体型系数、风压高度变化系数和基本风压的乘积计算。对于高耸结构，计算其风荷载标准值时还应考虑风振效应。对于特别重要或体型复杂的高耸结构，宜通过风洞试验或数值模拟计算其风荷载标准值。

**4.2.8** 海岸工程混凝土结构承受的波浪力，应根据结构形式、波浪形态和作用方式计算确定。当结构形式或地形复杂时，海岸工程混凝土结构上的波浪力应通过模型试验等专门研究确定。

**4.2.9**  海岸工程混凝土结构的其他荷载，应参照国家现行标准的规定确定。

4.3 间接作用

**4.3.1** 海岸工程混凝土结构涉及的间接作用可考虑地震作用、温度作用等。

**4.3.2** 抗震设防烈度为6度及以上时，海岸工程混凝土结构应参照国家现行规范《建筑抗震设计规范》GB 50011中的规定进行抗震设计。

**4.3.3** 作用在结构或构件上的温度作用应采用其温度的变化来表示。结构或构件的温度作用效应应按现行国家规范《建筑结构荷载规范》GB 50009中的规定确定。

4.4 环境作用

**4.4.1** 海岸工程混凝土结构暴露环境类别应按表4.4.1确定。

表4.4.1 海岸工程混凝土结构的暴露环境类别

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 环境名称 | | 环境类别 | 腐蚀机理 |
| 一般环境 | | Ⅰ | 混凝土碳化引起钢筋锈蚀 |
| 冻融环境 | | Ⅱ | 反复冻融导致混凝土损伤 |
| 氯化物环境 | 海洋氯化物环境 | Ⅲ | 氯盐引起钢筋锈蚀 |
| 其他氯化物环境 | Ⅳ |
| 化学腐蚀环境 | | Ⅴ | 硫酸盐等化学物质对混凝土的腐蚀 |

**4.4.2** 海岸工程混凝土结构所处的环境作用等级，应根据结构受到的环境腐蚀作用程度，按表4.4.2确定。

表4.4.2 海岸工程混凝土结构环境作用等级

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境作用  等级  环境类别 | A  （轻微） | B  （轻度） | C  （中度） | D  （严重） | E  （非常严重） | F  （极端严重） |
| Ⅰ | Ⅰ-A | Ⅰ-B | Ⅰ-C | - | - | - |
| Ⅱ | - | - | - | Ⅱ-D | Ⅱ-E | - |
| Ⅲ | - | - | Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
| Ⅳ | - | - | Ⅳ-C | Ⅳ-D | Ⅳ-E | Ⅳ-F |
| Ⅴ | - | - | Ⅴ-C | Ⅴ-D | Ⅴ-E | - |

**4.4.3** 一般环境、化学腐蚀环境条件下海岸工程混凝土结构的作用等级应按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476中的规定确定。

**4.4.4** 海岸工程混凝土结构应考虑海水氯盐环境下的冻融。海水氯盐冻融环境条件下海岸工程混凝土结构的作用等级应根据当地调查确定。当无可靠调查资料时，应按表4.4.4确定。

表4.4.4 冻融环境作用等级

|  |  |
| --- | --- |
| 环境作用等级 | 环境条件 |
| Ⅱ-D | 微冻地区（最冷月平均气温-3℃~2.5℃） |
| Ⅱ-E | 寒冷地区（最冷月平均气温-8℃~-3℃）和  严寒地区（最冷月平均气温-8℃以下） |

**4.4.5** 海岸工程混凝土结构的海洋氯化物环境作用等级应根据具体环境条件按表4.4.5确定。

表4.4.5 海洋氯化物环境作用等级

|  |  |
| --- | --- |
| 环境作用等级 | 环境条件 |
| Ⅲ-C | 水下区、土中区 |
| Ⅲ-D | 大气区、涨潮岸线 300 m 内的陆上室外环境 |
| Ⅲ-E | 水位变动区 |
| Ⅲ-F | 浪溅区 |

注：1.近海或海洋环境中的水下区、水位变动区、浪溅区和大气区的划分，按现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》JTS 153的规定确定。近海或海洋环境的土中区指海底以下或近海的陆区地下，其地下水中的盐类成分与海水相近。

2.位于岛上大气区的海岸工程混凝土结构，其海洋氯化物环境作用等级应在大陆地区海岸工程混凝土结构的海洋氯化物环境作用等级上提高一级。

**4.4.6** 海岸工程混凝土结构的除冰盐、浓缩海水等其他氯化物环境作用等级应根据具体环境条件按表4.4.6确定。

表4.4.6 其他氯化物环境对混凝土结构的环境作用等级

|  |  |
| --- | --- |
| 环境作用等级 | 环境条件 |
| Ⅳ-C | 受除冰盐盐雾轻度作用  四周浸没于含氯化物水中  接触较低浓度氯离子水体，且有干湿交替  海水冷却塔一般防护区 |
| Ⅳ-D | 受除冰盐水溶液轻度溅射作用  接触较高浓度氯离子水体,且有干湿交替  海水冷却塔标准防护区 |
| Ⅳ-E | 直接接触除冰盐溶液  受除冰盐水溶液重度溅射或重度盐雾作用  接触高浓度氯离子水体，有干湿交替  海水冷却塔重点防护区  常规电厂海水冷却塔加强防护区 |
| Ⅳ-F | 核电厂海水冷却塔加强防护区 |

注：1.水中氯离子浓度的划分为：较低，100mg/L~500mg/L；较高，500mg/L~5000mg/L；高，大于5000mg/L；

2.土中氯离子浓度的划分为：较低，150mg/kg~750mg/kg；较高，750mg/kg~7500mg/kg；高，大于7500mg/kg。

**4.4.7** 当结构受到多种环境类别共同作用时，设计应分别满足每种环境单独作用下的耐久性要求，并宜考虑多重环境共同作用时的相互影响。

5 材 料

5.1 一般规定

**5.1.1** 海岸工程混凝土结构原材料应针对工程功能需要和结构性能要求提出具体指标。

**5.1.2** 海岸工程混凝土原材料应充分考虑环境条件的影响，满足新拌混凝土和硬化混凝土规定的性能要求。

**5.1.3** 海岸工程混凝土原材料中的有害成分含量不得对混凝土强度、耐久性及体积稳定性等产生不利影响。

**5.1.4** 材料进场应附有检验报告单等质量证明文件，并按规定进行产品质量检验，其质量应符合国家现行有关标准的规定，并应满足设计要求。

**5.1.5** 材料在运输和贮存过程中，应做好标记，并应按品种、规格分别堆放，不得混杂，不得接触海水，并应防止其他污染。

5.2 混凝土材料

**5.2.1** 海岸工程混凝土用水泥主要控制指标应包括凝结时间、安定性、胶砂强度和氯离子含量。水泥中使用的混合材品种和掺量应在出厂文件中明示。水泥应符合下列规定：

**1** 混凝土宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥，质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175的有关规定；

**2** 有抗冻要求的混凝土宜采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，不宜采用火山灰质硅酸盐水泥；

**3** 大体积混凝土宜采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥。采用普通硅酸盐水泥时，宜掺入粉煤灰、磨细矿渣粉等活性掺合料。3d水化热不宜大于250kJ/kg，7d水化热不宜大于280kJ/kg；选用52.5强度等级时，7d水化热宜小于300kJ/kg；

**4** 高性能混凝土宜选用标准稠度用水量低的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，不宜采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥。

**5.2.2** 海岸工程混凝土用细骨料应符合下列规定：

**1** 细骨料坚固性指标不应大于10%；对于有抗渗、抗冻、抗腐蚀、耐磨或其他特殊要求的混凝土，细骨料的含泥量和泥块含量分别不应大于3.0%和1.0%，坚固性指标不应大于8%；高强混凝土用细骨料的含泥量和泥块含量分别不应大于2.0%和0.5%；

**2** 机制砂应按石粉的亚甲蓝值指标和石粉的流动比指标控制石粉含量；

**3** 钢筋混凝土结构用海砂必须经过净化处理；

**4** 钢筋混凝土用砂的氯离子含量不应大于0.03%，预应力混凝土用砂的氯离子含量不应大于0.01%；

**5** 严禁采用碱活性细骨料。

**5.2.3** 海岸工程混凝土用粗骨料应符合下列规定：

**1** 混凝土用粗骨料的坚固性指标不应大于12%；对于有抗渗、抗冻、抗腐蚀、耐磨或其他特殊要求的混凝土，粗骨料中含泥量和泥块含量分别不应大于1.0%和0.5%，坚固性指标不应大于8%；

**2** 高强混凝土用粗骨料的含泥量和泥块含量分别不应大于0.5%和0.2%；

**3** 严禁采用碱活性粗骨料。

**5.2.4** 混凝土拌合用水应控制pH、硫酸根离子含量、氯离子含量、不溶物含量、可溶物含量；钢筋混凝土和预应力混凝土，均不得采用海水拌和；地表水、地下水、再生水在首次使用前应检测放射性。

**5.2.5** 海岸工程混凝土用粉煤灰应符合下列规定：

**1** 钢筋混凝土和C30及C30以上的素混凝土应采用I级或II级粉煤灰；

**2** 高性能混凝土和预应力混凝土应采用I级粉煤灰或烧失量不大于5%、需水量比不大于100%的II级粉煤灰；

**3** 有抗冻要求的混凝土可采用I级或II级粉煤灰。

**5.2.6** 海岸工程混凝土用粒化高炉矿渣粉应符合下列规定：

**1** 宜采用S95级及以上级别矿渣粉；

**2** 大体积混凝土用矿渣粉比表面积不宜大于450m2/kg。

**5.2.7** 海岸工程混凝土用硅灰中的SiO2含量不应低于90%，氯离子含量不应高于0.02%。

**5.2.8** 海岸工程混凝土用外加剂应符合下列规定：

**1** 混凝土应根据要求选用减水剂、引气剂、防冻剂、泵送剂、缓凝剂、膨胀剂等。外加剂的品质应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076、《混凝土膨胀剂》GBT 23439和《混凝土防冻剂》JC 475的有关规定；

**2** 外加剂中的氯离子含量不宜大于0.02%（占胶凝材料质量百分比）。高性能混凝土宜采用与胶凝材料匹配性好、减水率不小于25%的高效减水剂。

**5.2.9**  混凝土拌合物按照坍落度大小宜分为4个级别，并应符合表5.2.9的规定。

表5.2.9 混凝土拌合物按坍落度的分级（mm）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 低塑性混凝土 | 塑性混凝土 | 流动性混凝土 | 大流动性混凝土 |
| 级别 | S1 | S2 | S3 | S4 |
| 坍落度 | 10～40 | 50～90 | 100～160 | ＞160 |

**5.2.10** 海岸工程混凝土的强度等级应同时满足承载能力和耐久性的要求。不同环境作用等级和使用年限的混凝土结构，其混凝土最低强度等级应符合表5.2.10的规定，混凝土强度等级应根据28d或者设计规定龄期的立方体抗压强度，按照现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB 50107确定。

表5.2.10 海岸工程混凝土最低强度等级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 环境作用等级 | 设计工作年限 | |
| 100年 | 50年 |
| Ⅰ-A | C25 | C20 |
| Ⅰ-B | C30 | C25 |
| Ⅰ-C | C35 | C30 |
| Ⅱ-D | Ca35 | Ca30 |
| Ⅱ-E | Ca40 | Ca35 |
| Ⅲ-C，Ⅲ-D，Ⅳ-C，Ⅳ-D，Ⅴ-C，Ⅴ-D | C40 | C35 |
| Ⅲ-E，Ⅳ-E，Ⅴ-E | C40 | C40 |
| Ⅲ-F，Ⅳ-F | C45 | C45 |

**5.2.11** 耐久性要求高且有开裂风险的海岸工程混凝土结构，混凝土材料选用和配制应进行混凝土和胶凝材料抗裂性能的对比试验，宜采用水化热低和体积收缩小的混凝土原材料和配合比。

**5.2.12** 海岸工程用自密实混凝土拌合物的自密实性能可按表5.2.12划分等级。

表**5.2.12** 自密实混凝土拌合物自密实性能等级

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 自密实性能 | 性能指标 | 性能等级 | 技术要求 |
| 填充性 | 坍落扩展度SF（mm） | SF1 | 550≤SF<650 |
| SF2 | 650≤SF<750 |
| SF3 | 750≤SF≤850 |
| 扩展时间*T*500（s） | VS | 2s≤*T*500≤5s |
| 间隙通过性 | L形箱试验值 | PA1 | 25＜PA1≤50  （适用于钢筋净间距80mm～100mm） |
| PA2 | 0≤PA2≤25  （适用于钢筋净间距60mm～80mm） |
| 抗离析性 | 离析率（%） | SR1 | 15＜SR1≤20 |
| SR2 | 10＜SR2≤15 |
| SR3 | SR3≤10 |
| V形漏斗通过时间（s） | VF | 3～15 |

**5.2.13** 超高性能混凝土宜采用预混料进行拌合，工作性能应满足设计和施工的要求，28d抗压强度不应小于120MPa，抗拉强度不应小于5MPa，且具有应变硬化性能，28d氯离子扩散系数不应大于0.2×10-12m2/s。

5.3 钢 筋

**5.3.1** 钢筋质量应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢第1部分：热轧光圆钢筋》GB1499.1、《钢筋混凝土用钢第2部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2，《钢筋混凝土用余热处理钢筋》CB 13014、《冷轧带肋钢筋》GB 13788和《预应力混凝土用钢棒》GB4463的有关规定。

**5.3.2** 碳素钢丝、钢绞线的质量应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223、《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224的有关规定。

5.4 防腐蚀材料

**5.4.1** 海岸工程混凝土用表面涂层的设计保护年限不宜低于10年，并应符合下列规定：

**1** 混凝土表面涂层保护范围应根据现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》JTS 153的规定划分表干区和表湿区；

**2** 涂料性能应满足下列要求：

1）除符合国家现行有关标准的规定外，具有良好的耐碱性和耐腐蚀性，底层涂料具有良好的渗透能力，面层涂料具有良好的耐老化性能；

2）表湿区涂料应具有湿固化、耐磨损和耐冲击性能。

**3** 混凝土表面涂层体系应符合下列规定：

1）涂层体系由底层、中间层和面层涂料组成，或由底层和面层涂料组成；配套涂料之间具有良好的相容性；

2）涂层体系根据设计保护年限和结构所处环境条件确定；

3）混凝土表面涂层体系性能应符合表5.4.1的规定。

表5.4.1 混凝土表面涂层体系性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | | 性能指标 |
| 涂层耐老化性 | 设计保护年限10年 | ≥1000h |
| 设计保护年限20年 | ≥2000h |
| 涂层耐冲击性 | | ≥50kg.cm |
| 涂层抗氯离子渗透性 | | ≤5.0×10-3mg/cm2d |
| 涂层粘结强度 | | ≥1.5MPa |
| 涂层耐碱性 | | 合格 |
| 涂层外观质量 | | 合格 |

注：1.涂层耐老化性检测采用涂装的长×宽×高为100mm×100mm×100mm的混凝土试件，

按现行国家标准《色漆和清漆—人工气候老化和人工辐射暴露（滤过的氙弧辐射）》GB/T

1865的有关规定测定；

2.涂层耐冲击性按现行国家标准《漆膜耐冲击测定方法》GB/T 1732的有关规定测定；

3.涂层抗氯离子渗透性、粘结强度、耐碱性和外观质量按现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》JTS 153的有关规定测定。

**5.4.2** 海岸工程混凝土用硅烷浸渍保护的设计保护年限宜为15~20年，并应符合下列规定：

**1** 混凝土硅烷浸渍宜采用异辛基三乙氧基膏状硅烷或异丁基三乙氧基液体硅烷，硅烷性能指标应符合表5.4.2-1的规定，其检测方法应符合现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》JTS 153的规定。

表5.4.2-1 硅烷性能指标（%）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 异辛基三乙氧基膏状硅烷 | 异丁基三乙氧基液体硅烷 |

续表5.4.2-1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 硅烷含量 | ≥80 | ≥98 |
| 硅氧烷含量 | ≤0.3 | ≤0.3 |
| 氯离子含量 | ≤0.01 | ≤0.01 |

**2** 混凝土硅烷浸渍保护性能指标应符合表5.4.2-2的规定，其检测方法应符合现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》JTS 153的规定。

表5.4.2-2 硅烷性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 普通混凝土 | 高性能混凝土 |
| 吸水率（mm/min1/2） | ≤0.01 | ≤0.01 |
| 渗透深度（mm） | ≥3 | ≥2 |
| 氯化物吸收量降低效果（%） | ≥90 | ≥90 |

**5.4.3**  海岸工程混凝土用钢筋混凝土阻锈剂应符合现行行业标准《钢筋混凝土阻锈剂》JT/T 537的有关规定，并应符合下列规定：

**1** 钢筋混凝土阻锈剂按照使用方式分为掺入式和涂覆式，应根据不同功能需求选择合适的阻锈剂；

**2** 钢筋混凝土阻锈剂宜选用以有机醇胺为主的复合型阻锈剂。对于环境作用等级为D级及以上的重要工程，钢筋混凝土阻锈剂宜与高性能混凝土、环氧涂层钢筋、混凝土表面涂层或混凝土表面憎水处理等联合使用；

**3** 钢筋混凝土阻锈剂应满足表5.4.3中规定的主要技术性能要求。

表5.4.3 钢筋混凝土阻锈剂主要技术性能要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检测项目 | | 控制指标 |
| 1 | 匀质性指标 | pH | 10±1 |
| 总碱量（Na2O+0.658K2O %） | ≤1.5 |
| 氯离子含量（%） | <0.1 |
| 硫酸钠含量（%） | ≤1.0 |
| 亚硝酸盐含量（%） | <0.1 |
| 2 | 阻锈性能指标 | 钢筋的耐盐水浸渍性能 | 无腐蚀 |
| 盐水干湿循环环境中钢筋锈蚀面积百分率比 | ≤30% |
| 盐水浸烘循环下混凝土中钢筋的锈蚀面积百分率比 | ＜5% |

续表5.4.3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 3 | 掺入式阻锈剂的混凝土性能指标 | 混凝土抗压强度比 | 7d | ≥95% |
| 28d | ≥95% |
| 混凝土凝结时间差  （min） | 初凝 | -60~+120 |
| 终凝 | -60~+120 |
| 混凝土抗渗性 | 不降低 | |
| 4 | 涂覆式阻锈剂的混凝土性能指标 | 混凝土渗透深度（mm） | ≥50 | |

备注：1.钢筋混凝土阻锈剂主要技术性能要求中pH、总碱量、氯离子含量与硫酸钠含量的测试方法应按现行国家标准《混凝土外加剂匀质性能试验方法》GB/T 8077中的相关规定执行；

2.亚硝酸盐含量测试方法应按现行国家标准《食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》GB 5009.33中的相关规定执行；

3.钢筋的耐盐水浸渍性能应按《钢筋混凝土阻锈剂》JT/T 537的相关规定执行；

4.盐水浸烘循环下混凝土中钢筋的锈蚀面积百分率比应按《钢筋混凝土阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192中的相关规定执行；

5.盐水干湿循环环境中钢筋锈蚀面积百分率比应按《钢筋混凝土阻锈剂》JT/T 537-2018附录A进行；

6.混凝土抗压强度比、混凝土凝结时间差、混凝土抗渗性、混凝土渗透深度应按《钢筋混凝土阻锈剂》JT/T 537的相关规定执行。

**5.4.4** 海岸工程混凝土抗侵蚀剂宜分为混凝土抗侵蚀抑制剂和混凝土抗侵蚀增强剂，并应符合下列规定：

**1** 混凝土抗侵蚀抑制剂应符合现行行业标准《混凝土抗侵蚀抑制剂》JC/T 2553中的相关规定。其中，混凝土抗侵蚀抑制剂的游离铵根离子含量不应大于100 mg/L；掺混凝土抗侵蚀抑制剂的混凝土30min吸水率不应大于1.2%；氯离子渗透系数比不应大于100%；盐水浸烘环境中钢筋腐蚀面积百分率减少不应小于50%。

**2** 混凝土抗侵蚀增强剂应符合表5.4.4的规定。

表5.4.4 混凝土型抗侵蚀增强剂主要性能要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | | 控制指标 |
| 比表面积（kg/m2） | | ≥300 |
| 凝结时间（min） | 初凝 | ≥45 |
| 终凝 | <600 |
| 抗压强度比（%） | 7d | ≥90 |
| 28d | ≥100 |

续表5.4.4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 膨胀率（%） | 1d | ≥0.05 |
| 28d | ≤0.6 |
| 氯离子扩散系数比 | 28d | ≤0.85 |

**5.4.5** 海岸工程混凝土用不锈钢钢筋的质量和性能应符合现行国家标准《钢筋混凝土用不锈钢钢筋》GB/T 33959的相关规定。

**1** 不锈钢钢筋采用HPB300S、HRB400S、HRB500S牌号钢筋，钢筋尺寸、外形、重量及允许偏差符合现行行业标准《水运工程结构防腐蚀施工规范》JTS/T 209的规定；

**2**  不锈钢钢筋的性能应符合下列规定。

1）不锈钢钢筋的弯曲性能满足按规定的弯芯直径冷弯试验180°后，钢筋受弯部位表面不产生裂纹；

2）不锈钢钢筋直径在16mm及以上规格时可进行V型缺口冲击试验，冲击吸收能量应满足设计和供需双方确定的要求，其试验方法符合现行国家标准《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229的有关规定；

3）不锈钢钢筋经晶间腐蚀试验后应无晶间腐蚀裂纹，其试验方法符合现行国家标准《金属和合金的腐蚀不锈钢晶间腐蚀试验方法》GB/T 4334的规定；

4）不锈钢钢筋耐腐蚀性能试验的技术要求和试验方法符合现行行业标准《钢筋在混凝土中耐氯离子腐蚀性能测试方法》YB/T 4369的规定。

**5.4.6** 海岸工程混凝土用耐蚀钢筋的质量和性能应符合下列规定：

**1** 耐蚀钢筋质量应采用HRB400c、HRB500c、HRB400cE、HRB500cE牌号耐氯离子腐蚀钢筋；

**2**  钢筋尺寸、外形、长度、弯曲度和端部、重量及允许偏差符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2的规定；

**3**  耐蚀钢筋牌号、化学成分符合现行国家标准《钢筋混凝土用耐蚀钢筋》GB/T 33953的规定，耐蚀钢筋成品化学成分允许偏差应符合现行国家标准《钢的成品化学成分允许偏差》GB/T 222的规定；

**4**  耐蚀钢筋的性能应符合现行国家标准《钢筋混凝土用耐蚀钢筋》GB/T 33953的规定。

**5.4.7** 海岸工程混凝土用环氧涂层钢筋应符合下列规定：

**1** 环氧涂层钢筋的涂层厚度、涂层连续性、涂层可弯性、涂层附着性和粘结强度应符合现行国家标准《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826的有关规定；

**2** 环氧涂层钢筋的力学性能应满足设计要求，并应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》JTS 202的有关规定；

**3** 环氧涂层修补材料应与原环氧涂层具有相容性并在混凝土中具有惰性。

5.5 其他材料

**5.5.1** 预应力锚具、夹具和连接器应按设计规定采用，其性能和质量应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14730的规定。

**5.5.2** 预应力混凝土孔道灌浆材料应采用42.5以上强度等级的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制，其中矿物掺合料宜采用Ⅰ级粉煤灰、粒化高炉矿渣粉或硅灰，膨胀剂宜采用钙矾石系或复合膨胀剂，外加剂中不得含有氯盐、亚硝酸盐或其他对预应力筋有腐蚀作用的成分。灌浆材料中氯离子含量不应超过胶凝材料质量的0.06%，其抗渗性能不应低于预应力混凝土的耐久性要求。

**5.5.3** 海岸工程混凝土用纤维增强复合材料筋的类型、外观、尺寸偏差和拉伸性能应根据混凝土所处的环境和结构设计要求确定，并应符合现行国家标准《结构工程用纤维增强复合材料筋》GB/T 26743和现行行业标准《纤维增强复合材料筋》JG/T 351的有关规定。

**5.5.4** 海岸工程混凝土用珊瑚骨料应符合下列规定：

**1** 珊瑚骨料适用于强度等级不大于C40的素混凝土；

**2**  珊瑚粗骨料和珊瑚细骨料的颗粒级配宜分别符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685和《建设用砂》GB/T 14684的规定；

**3** 珊瑚粗骨料和珊瑚细骨料的质量要求应分别符合表5.5.4-1和表5.5.4-2的要求；

表5.5.4-1 珊瑚粗骨料的质量要求

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 指标 |
| 表观密度（kg/m3） | ≥1600 |
| 松散堆积密度（kg/m3） | ≥850 |
| 筒压强度（MPa） | ≥1.5 |
| 吸水率（%） | ≤15 |
| 含泥量（按质量计，%） | ≤1.0 |

续表5.5.4-1

|  |  |
| --- | --- |
| 泥块含量（按质量计，%） | ≤0.5 |
| 硫化物及硫酸盐含量（折算为SO3，按质量计，%） | ≤1.0 |
| 有机物含量（比色法） | 合格 |

表5.5.4-2 珊瑚细骨料的质量要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | | 指标 |
| 表观密度（kg/m3） | | ≥1600 |
| 松散堆积密度（kg/m3） | | ≥850 |
| 吸水率（%） | | ≤10 |
| 微粉含量（%） | MB值≤1.4 | ≤10 |
| MB值＞1.4 | ≤5 |
| 泥块含量（按质量计，%） | | ≤0.5 |
| 硫化物及硫酸盐含量（折算为SO3，按质量计，%） | | ≤1.0 |
| 有机物含量（比色法） | | 合格 |

**4** 珊瑚骨料应进行碱活性检验。

6 设 计

6.1 一般规定

**6.1.1** 海岸工程混凝土结构构件应根据受力状况分别进行正截面、斜截面、扭曲截面、受冲切和局部受压承载力计算；对于承受动力循环作用的海岸工程混凝土结构或构件，尚应进行构件的疲劳承载力验算。

**6.1.2** 海岸工程混凝土结构应根据结构的设计工作年限、结构所处的环境类别和环境作用等级进行耐久性设计。同一结构的不同构件或同一构件中的不同部位由于所处的局部环境条件有异，应予以分别对待。耐久性设计时应考虑施工质量控制与质量保证对耐久性的影响，并应考虑结构使用过程中的维修与检测要求。

**6.1.3** 设计基本变量的设计值应符合下列规定：

**1** 作用的设计值应为作用代表值与作用分项系数的乘积；

**2** 材料性能的设计值应为材料性能标准值与材料性能分项系数之商；

**3** 当几何参数的变异性对结构性能无明显影响时，几何参数的设计值应取其标准值；当有明显影响时，几何参数设计值应按不利原则取其标准值与几何参数附加量之和或之差；

**4** 结构或结构构件的抗力设计值应为考虑材料性能设计值和几何参数设计值分析计算得到的抗力值。

**6.1.4** 海岸工程结构的安全性与适用性设计应区分下列设计状况并进行相应的极限状态设计：

**1** 持久设计状况适用于结构使用时的正常情况。应进行承载能力极限状态设计和正常使用极限状态验算；

**2** 短暂设计状况适用于结构出现的临时情况，包括结构施工和维修时的情况。应进行承载能力极限状态设计，可根据需要进行正常使用极限状态验算；

**3** 偶然设计状况适用于结构出现的异常情况，包括结构遭受火灾、爆炸、撞击时的情况等。应进行承载能力极限状态设计，可不进行正常使用极限状态验算；

**4** 地震设计状况适用于结构遭受地震时的情况，在抗震设防地区应考虑地震设计状况。应进行承载能力极限状态设计，可根据需要进行正常使用极限状态验算。

**6.1.5** 海岸工程混凝土结构设计时应对不同的设计状况进行分析。对每一种设计状况应采用相应的结构体系、可靠度水平、基本变量，并分析施工和使用中的环境条件和影响等。

6.2 承载能力极限状态设计

**6.2.1** 海岸工程混凝土结构或构件出现下列状态之一时，应认为超过了承载能力极限状态：

**1** 整个结构或其部分作为刚体失去平衡；

**2** 结构构件或连接件因超过材料强度而破坏，或因过度变形而不适于继续承载；

**3** 结构转变为机动体系；

**4** 结构或结构构件丧失稳定；

**5** 地基丧失承载力而破坏；

**6** 结构或结构构件的疲劳破坏；

**7** 结构因局部破坏发生连续性倒塌。

**6.2.2** 海岸工程混凝土结构承载能力极限状态设计应包括下列内容：

**1** 结构构件应进行承载力计算；

**2** 必要时结构构件应进行稳定性计算；

**3** 直接承受重复荷载的构件应进行疲劳验算；

**4** 必要时应进行结构的倾覆、滑移、抗浮验算；

**5** 对于可能遭受偶然作用，且倒塌可能引起严重后果的重要结构，宜进行防连续倒塌设计。

**6.2.3** 海岸工程混凝土结构承载能力极限状态设计采用的作用组合，应符合下列规定：

**1** 持久设计状况和短暂设计状况应采用作用的基本组合；

**2** 偶然设计状况应采用作用的偶然组合；

**3** 地震设计状况应采用作用的地震组合；

**4** 作用组合应为可能同时出现的作用的组合；

**5** 每个作用组合中，应包括一个主导可变作用或一个偶然作用或一个地震作用；

**6** 当结构中永久作用位置的变异，对静力平衡或类似的极限状态设计结果很敏感时，该永久作用的有利部分和不利部分应分别作为单个作用；

**7** 当一种作用产生的几种效应非全相关时，对产生有利效应的作用，其分项系数的取值应予以降低。

**6.2.4** 海岸工程混凝土结构的承载能力极限状态设计表达式应满足下式的要求：

 （6.2.4）

式中：——结构重要性系数；

——作用组合的效应设计值；

——结构或结构构件的抗力设计值。

**6.2.5** 海岸工程混凝土结构的重要性系数不应小于表6.2.5的规定。

表6.2.5 结构重要性系数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 结构重要性系数 | 持久设计状况和短暂设计状况 | | | 偶然设计状况和地震  设计状况 |
| 安全等级 | | |
| 一级 | 二级 | 三级 |
|  | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 1.0 |

**6.2.6** 海岸工程混凝土结构的持久组合计算水位应分别采用设计高水位、设计低水位、极端高水位、极端低水位和设计高水位与设计低水位之间的某一不利水位，并对各水位分别与地下水位相组合进行计算；短暂组合计算水位应分别采用设计高水位、设计低水位和设计高水位与设计低水位之间的某一不利水位，并对各水位分别与地下水位相组合进行计算；地震组合计算水位按国家现行有关标准的规定执行。

**6.2.7** 对二维和三维海岸工程混凝土结构构件，可按弹塑性损伤力学分析方法进行计算，并以应力形式表达，采用多轴强度准则进行验算；或按区域等代成内力设计值进行验算。

6.3 正常使用极限状态验算

**6.3.1** 海岸工程混凝土结构或构件出现下列状态之一时，应认为超过了正常使用极限状态：

**1** 影响正常使用或外观的变形；

**2** 影响正常使用的局部损坏；

**3** 影响正常使用的振动；

**4** 影响正常使用的其他特定状态。

**6.3.2** 海岸工程混凝土结构或构件应根据其使用功能及外观要求，按下列规定进行正常使用极限状态验算：

**1** 对需要控制变形的构件，应进行变形验算；

**2** 对不允许出现裂缝的构件，应进行混凝土拉应力验算；对允许出现裂缝的构件，应进行受力裂缝宽度验算；

**3** 对舒适度有要求的结构，应进行竖向自振频率验算。

**6.3.3** 海岸工程混凝土结构或构件进行正常使用极限状态验算时采用的作用组合，应符合下列规定：

**1** 标准组合用于不可逆正常使用极限状态验算；

**2** 频遇组合用于可逆正常使用极限状态验算；

**3** 准永久组合用于长期效应是决定性因素的正常使用极限状态验算。

**6.3.4** 海岸工程混凝土结构或结构构件按正常使用极限状态验算时，应满足下式的要求：

 （6.3.4）

式中：——作用组合的效应设计值；

——设计对变形、裂缝等规定的相应限值，应按有关的结构设计标准的规定采用。

**6.3.5** 海岸工程混凝土结构或构件的正常使用极限状态组合，可不计算极端高水位和极端低水位的情况。

**6.3.6** 海岸工程混凝土构件的容许变形、裂缝宽度限值、容许沉降量和竖向自振频率要求等应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的相关规定。

6.4 耐久性极限状态设计

**6.4.1** 海岸工程混凝土结构的耐久性定量设计宜采用以概率理论为基础、以分项系数表达的极限状态设计方法。

**6.4.2** 海岸工程混凝土结构的耐久性设计应考虑海洋氯化物环境作用的影响，其耐久性极限状态可分为下列两种：

**1** 钢筋开始脱钝的极限状态；

**2** 钢筋适量锈蚀的极限状态。

**6.4.3** 海洋氯化物环境下海岸工程混凝土结构按钢筋开始脱钝的极限状态进行耐久性设计时，应满足下式的要求：

 (6.4.3)

式中：——混凝土中钢筋或预应力筋表面的氯离子浓度设计值(%)；

——基于快速电迁移方法（RCM法）测试的初始氯离子扩散系数（m2/s或mm2/a）；

——龄期衰减系数；

——混凝土净保护层厚度的设计值（mm）；

——设计工作年限（a）；

——临界氯离子浓度的设计值（%），应根据现场暴露试验数据或按照附录D中临界氯离子浓度测试方法测试确定。

**6.4.4**  海洋氯化物环境下海岸工程混凝土结构按钢筋开始脱钝的极限状态进行耐久性设计时，应将混凝土保护层厚度、初始扩散系数及龄期衰减系数同时选取为耐久性设计参数。

**6.4.5** 海洋氯化物环境下海岸工程混凝土结构的保护层厚度*c*应满足表6.4.5的规定。

表6.4.5 海洋氯化物环境下海岸工程混凝土保护层厚度最小值(mm)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境作用等级 | Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
| *c* | 40 | 50 | 50 | 65 |

注：1.位于环境作用等级Ⅲ-F的薄壁混凝土构件，混凝土保护层厚度可取50mm；

2.当混凝土构件的主筋外侧配置有箍筋时，混凝土保护层厚度应按表中规定增加5mm；

3.位于Ⅲ-E、Ⅲ-F的现浇混凝土构件，其保护层厚度应按表中规定增加10mm~15mm。

**6.4.6** 海洋氯化物环境下对于设计工作年限为50年的海岸工程混凝土结构，初始氯离子扩散系数*D*0上限值应符合表6.4.6的规定。混凝土初始氯离子扩散系数检测方法应符合本标准附录C的规定。

表6.4.6 海洋氯化物环境混凝土氯离子扩散系数上限值（10-12 m2/s）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
| 11.0 | 8.5 | 6.0 | 5.0 |

注：1.表中的混凝土氯离子扩散系数上限值与本标准表6.4.5中规定的混凝土最小保护层厚度相对应，当实际采用的保护层厚度高于表6.4.5的规定时，可对表中数据作适当调整；

2.表中的数值为华南地区的混凝土氯离子扩散系数上限值，当应用于华东、北方等其他地区时，可对表中数据作适当调整；

3.表中的数值为一维扩散时混凝土28d龄期的氯离子扩散系数上限值，当混凝土中氯离子为二维扩散时，可对表中数据作适当调整。

**6.4.7** 龄期衰减系数*n*应考虑胶凝材料组成中矿物活性掺合料的影响，取值宜为0.40~0.65。

**6.4.8** 对于设计工作年限为50年的海岸工程混凝土结构，可按照附录A查表确定耐久性设计参数、及的取值；对于设计工作年限为50年以上的海岸工程混凝土结构，除应符合本标准第6.4.5条~6.4.7条的规定外，应按本标准附录B的方法进行耐久性定量设计。

6.5 附加防腐蚀设计

**6.5.1**  环境作用等级为D级及以下的海岸工程混凝土结构可采用表面涂层保护或硅烷浸渍保护。

**6.5.2** 环境作用等级达到E级及以上的海岸工程混凝土结构，宜按照表6.5.2选用附加防腐蚀措施。

表6.5.2 混凝土结构附加防腐蚀措施

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境作用等级 | 设计保护  年限 | 表面涂层 | 硅烷浸渍 | 抗侵蚀剂 | 钢筋阻锈剂 | 不锈钢钢筋 | 耐蚀钢筋 | 涂层钢筋 | 阴极保护 |
| Ⅱ-E | ≤20年 | ○ | ○ | ○ | — | — | — | — | — |
| Ⅲ-E | ≤20年 | ○ | ○ | ○ | △ | — | — | — | — |
| 大于20年 | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ | ○ | ○ |
| Ⅲ-F | ≤20年 | ○ | ○ | ○ | ○ | — | — | — | — |
| 大于20年 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | ○ |

注：表中“○”表示宜采用；“△”表示可采用；“—”表示一般不采用。

**6.5.3** 对于环境等级E级及以上的海岸工程混凝土结构重要构件，经综合经济技术论证可采取本标准第6.5.2条中两种或两种以上附加措施联合使用。

7 施 工

7.1 一般规定

**7.1.1** 海岸工程混凝土结构工程施工应确保实现设计要求，并应符合下列规定：

**1** 编制施工组织设计、施工方案并实施；

**2** 制定资源节约和环境保护措施并实施；

**3** 对已完成的实体进行保护，且作用在已完成实体上的荷载不应超过规定值。

**7.1.2** 海岸工程混凝土结构的外观质量不应有严重缺陷及影响结构性能和使用功能的尺寸偏差。

**7.1.3** 施工设备应性能良好，并经试验论证设备参数满足施工要求。计量和检测设备应检定合格并在有效期内使用。

**7.1.4** 防腐蚀施工应综合考虑与其他工序的搭接和交叉，合理安排施工工序，上一道工序未经检验合格，不得进行后续作业。

7.2 兼顾强度与耐久性的混凝土配合比设计

**7.2.1** 海岸工程混凝土的配合比设计应兼顾混凝土强度和耐久性能的设计要求，同时应满足力学性能、拌合物性能、长期性能的设计要求。混凝土拌合物性能、力学性能、长期性能和耐久性能的试验方法应分别符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T50080、《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T50081和《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082的规定。

**7.2.2** 海岸工程混凝土配合比应根据原材料性能及对混凝土的技术要求进行计算，并经试验试配调整后确定。

**7.2.3** 海岸工程混凝土施工配制强度应按下列公式计算：

**1** 当混凝土的设计强度等级小于C60时，混凝土强度配制值应按式（7.2.3-1）确定：

 （7.2.3-1）

式中：——混凝土强度配制值（MPa）；

——混凝土立方体抗压强度标准值，这里取混凝土的设计强度等级值（MPa）；

——混凝土强度标准差（MPa）。

**2** 当设计强度等级不小于C60时，混凝土强度配制值应按式（7.2.3-2）确定：

 （7.2.3-2）

**7.2.4** 海岸工程混凝土强度标准差的确定应符合下列规定：

**1** 当具有近1～3个月的同一品种、同一强度等级混凝土的强度资料，且试件组数不小于30时，其混凝土强度标准差应按式（7.2.4）计算：

 （7.2.4）

式中：——第*i*组的试件强度（MPa）；

——*N*组试件的强度平均值（MPa）；

——试件组数。

对于强度等级不大于C30的混凝土，当混凝土强度标准差计算值不小于3.0MPa时，应按式（7.2.4）计算结果取值；当混凝土强度标准差计算值小于3.0MPa时，应取3.0MPa。对于强度等级大于C30且小于C60的混凝土，当混凝土强度标准差计算值不小于4.0MPa时，应按式（7.2.4）计算结果取值；当混凝土强度标准差计算值小于4.0MPa时，应取4.0MPa。

**2** 当没有近期的同一品种、同一强度等级混凝土强度资料时，其强度标准差可按表7.2.4取值。

表7.2.4 标准差值（MPa）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度标准值 | ≤C20 | C25～C45 | C50～C55 |
|  | 3.5 | 4.5 | 5.5 |

**7.2.5** 海岸工程混凝土的初始氯离子扩散系数配制值应按式（7.2.5）确定：

 （7.2.5）

式中：——初始氯离子扩散系数的配制值（10-12m2/s或mm2/a）；

——初始氯离子扩散系数（10-12m2/s或mm2/a）；

——初始氯离子扩散系数的标准差，可根据混凝土氯离子扩散系数测试值的历史统计资料得到；

——计算初始氯离子扩散系数配制值时选取的概率度。

**7.2.6** 海岸工程混凝土的水胶比和矿物掺合料的确定应兼顾强度和耐久性指标要求。应根据实验测试结果，分别建立基于水胶比、粉煤灰掺量和粒化高炉矿渣粉掺量的混凝土强度配制值、初始氯离子扩散系数配制值和龄期衰减系数计算模型，然后通过联立求解确定混凝土的水胶比、粉煤灰掺量和粒化高炉矿渣粉掺量。当无可靠实验测试数据时，可按附录E确定水胶比和矿物掺合料掺量。

**7.2.7** 根据所用的砂石情况和确定的坍落度值，宜按经验或按表7.2.7选择用水量。

表7.2.7 用水量选用值（kg/m3）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 坍落度（mm） | 碎石最大粒径（mm） | | | |
| 16.0 | 20.0 | 31.5 | 40.0 |
| 10~30 | 200 | 185 | 175 | 165 |
| 30~50 | 210 | 195 | 185 | 175 |
| 55~70 | 220 | 105 | 195 | 185 |
| 75~90 | 230 | 215 | 205 | 195 |

注：1.采用卵石时，用水量可减少10 kg/m3～15kg/m3；

2.采用粗砂时，用水量可减少5 kg/m3~10kg/m3；采用细砂时可增加5 kg/m3~10kg/m3；

3.掺外加剂后的用水量按外加剂的减水率进行计算调整。

**7.2.****8** 每立方米混凝土的胶凝材料用量应按下式计算，并应进行试拌调整，在拌合物性能和硬化性能指标均满足的情况下，取经济合理的胶凝材料用量，且胶凝材料用量不得低于表7.2.8规定的限值。

 （7.2.8）

式中：——计算配合比每立方米混凝土中胶凝材料用量（kg/m3）；

——计算配合比每立方米混凝土的用水量（kg/m3）。

表 7.2.8 混凝土的最小胶凝材料用量

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 强度等级 | 最大水胶比 | 最小胶凝材料用量/（kg/m3） | 最大胶凝材料用量/（kg/m3） |
| C25 | 0.60 | 260 | 400 |
| C30 | 0.55 | 280 | 400 |
| C35 | 0.50 | 300 |
| C40 | 0.45 | 320 | 450 |
| C45 | 0.40 | 340 |
| C50 | 0.36 | 360 | 480 |
| ≥C55 | 0.36 | 380 | 500 |

**7.2.9** 每立方米混凝土中外加剂用量应按下式计算：

 （7.2.9）

式中：——计算配合比每立方米混凝土中外加剂用量（kg/m3）；

——计算配合比每立方米混凝土中胶凝材料用量（kg/m3），计算应符合本标准第7.2.8条的规定；

——外加剂掺量（%），应经混凝土试验确定。

**7.2.10** 每立方米混凝土的矿物掺合料用量（）应按下式计算：

 （7.2.10）

式中：——计算配合比每立方米混凝土中矿物掺合料用量（kg/m3）；

——矿物掺合料掺量（%），结合条文7.2.6的规定确定氯化物环境下的矿物掺合料掺量。

**7.2.11** 每立方米混凝土的水泥用量（）应按下式计算：

 （7.2.11）

式中：——计算配合比每立方米混凝土中水泥用量（kg/m3）。

**7.2.12** 砂率应根据骨料的技术指标、混凝土拌合物性能和施工要求，参考既有历史资料确定。

**7.2.13** 当缺乏砂率的历史资料时，混凝土砂率的确定应符合下列规定：

**1** 坍落度小于10mm的混凝土，其砂率应经试验确定；

**2** 坍落度为10mm～60mm的混凝土，其砂率根据粗骨料品种、最大公称粒径及水胶比按表7.2.13选取；

**3** 坍落度大于60mm的混凝土，其砂率可经试验确定，也可在表7.2.13的基础上，按坍落度每增大20mm、砂率增大1%的幅度予以调整。

表7.2.13 混凝土的砂率（%）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 水胶比 | 卵石最大公称粒径（mm） | | | 碎石最大公称粒径（mm） | | |
| 10.0 | 20.0 | 40.0 | 16.0 | 20.0 | 40.0 |
| 0.40 | 26～32 | 25～31 | 24～30 | 30～35 | 29～34 | 27～32 |
| 0.50 | 30～35 | 29～34 | 28～33 | 33～38 | 32～37 | 30～35 |
| 0.60 | 33～38 | 32～37 | 31～36 | 36～41 | 35～40 | 33～38 |

注：1.本表数值系中砂的选用砂率，对细砂或粗砂，可相应地减少或增大砂率；

2.采用人工砂配制混凝土时，砂率可适当增大；

3.只用一个单粒级粗骨料配制混凝土时，砂率应适当增大。

**7.2.14** 当采用质量法计算混凝土配合比时，粗、细骨料用量及砂率应按下列公式计算：

 （7.2.14-1）

 （7.2.14-2）

式中：——计算配合比每立方米混凝土中粗骨料用量（kg/m3）；

——计算配合比每立方米混凝土中细骨料用量（kg/m3）；

——砂率（%）；

——每立方米混凝土拌合物的假定质量（kg），可取2350～2450kg/m3。

**7.2.15** 当采用体积法计算混凝土配合比时，砂率应按式（7.2.15）计算，粗、细骨料用量应按下式计算。

 （7.2.15）

式中：——水泥密度（kg/m3），可按现行国家标准《水泥密度测定方法》GB/T 208测定；

——矿物掺合料密度（kg/m3），可按现行国家标准《水泥密度测定方法》GB/T 208测定；

——粗骨料的表观密度（kg/m3），可按现行国家标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52测定；

——细骨料的表观密度（kg/m3），可按现行国家标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52测定；

——水的密度（kg/m3），可取1000kg/m3；

——混凝土的含气量百分数，在不使用引气剂或引气型外加剂时，可取1。

**7.2.16** 配制高性能混凝土时，拌合物中胶凝材料浆体体积宜占混凝土体积的33%～37%。

**7.2.17** 经济合理的配合比应按以上确定的配合比和施工要求的坍落度，经试拌校正后得出。当采用皮带机运输时应考虑有2%～3%的砂浆损失。

**7.2.18** 确定的配合比应根据指定的要求制作试件进行试验校核。

7.3 有特殊要求的混凝土配合比设计

**7.3.1** 海岸工程泵送混凝土所用原材料除应符合本标准第5章的有关规定外，尚应符合下列规定：

**1** 选用连续级配的粗骨料，其针片状颗粒含量不应大于10%，粗骨料最大粒径与输送管径之比应符合表7.3.1的规定；

**2** 细骨料细度模数应为2.4～2.9，其通过0.315mm筛孔的颗粒含量不应少于15%；

**3** 掺用的泵送剂或减水剂及掺用的活性矿物掺合料，质量应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076的有关规定。

表7.3.1 粗骨料最大粒径与输送管径之比

|  |  |
| --- | --- |
| 粗骨料品种 | 粗骨料最大粒径与输送管径比 |
| 碎石 | ≤1:3.0 |
| 卵石 | ≤1:2.5 |

**7.3.2**  海岸工程泵送混凝土配合比设计除应符合本标准第7.2节中有关规定外，尚应满足下列要求：

**1** 拌合物坍落度应按表7.3.2选用，但当泵送高度超过表7.3.2规定时，应事先通过专门的分析研究和试验论证；

**2** 泵送混凝土最小胶凝材料用量应根据管径、距离、坍落度、骨料种类、气候条件等因素确定；

**3** 泵送混凝土水胶比不应大于0.60；

**4** 砂率应根据骨料粒径、胶凝材料用量和拌合物的和易性等综合分析确定，并应在38 %～45 %的范围内。

表7.3.2 混凝土拌合物的坍落度选用值

|  |  |
| --- | --- |
| 泵送高度（m） | 坍落度（mm） |
| <30 | 100～140 |
| 30～60 | 140～160 |

**7.3.3** 海岸工程大体积混凝土采用的原材料除应符合第5章的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 骨料应选用级配良好的洁净中砂和空隙率较小的粗骨料；

**2** 掺用的外加剂应选用缓凝剂、缓凝型减水剂或膨胀剂。

**7.3.4**  海岸工程大体积混凝土配合比设计除按本标准第7.2节的有关规定执行外，在满足设计和施工要求的条件下，尚宜满足下列要求：

**1** 提高矿物掺合料掺量及骨料的含量，降低每立方米混凝土的水泥用量；

**2** 采用较小的水胶比；

**3** 采用微膨胀水泥或掺用膨胀剂时，应通过试验确定用量或掺量。

**7.3.5** 海岸工程大体积混凝土配制在配合比确定后应进行水化热的验算或混凝土绝热温升的测定。

**7.3.6** 海岸工程抗冻混凝土配合比设计除按本标准第7.2节的有关规定执行外，还应符合下列规定：

**1** 应掺入适量引气剂，其拌合物的含气量应符合表7.3.6-1的规定；

表7.3.6-1 混凝土含气量选择范围

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 骨料最大粒径（mm） | 含气量（%） | 骨料最大粒径（mm） | 含气量（%） |
| 10.0 | 5.0~8.0 | 31.5 | 3.5~6.5 |
| 20.0 | 4.0~7.0 | 40.0 | 3.0~6.0 |
| 25.0 | 3.5~7.0 | 63.0 | 3.0~5.0 |

注：泵送混凝土含气量应控制在5.0%~7.0%。

**2** 位于水位变动区有抗冻要求的混凝土，其抗冻等级指标不应低于表7.3.6-2的规定。

表7.3.6-2 海水冻融环境混凝土抗冻等级选用标准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 建筑物所在地区 | 普通混凝土 | | 高性能混凝土 |
| 钢筋混凝土  及预应力混凝土 | 素混凝土 | 钢筋混凝土  及预应力混凝土 |
| 严寒地区  （最冷月月平均气温低于−8℃） | F350 | F300 | F350 |
| 寒冷地区  （最冷月月平均气温为−8℃～−3℃） | F300 | F250 | F300 |
| 微冻地区  （最冷月月平均气温为−3℃～2.5℃) | F250 | F200 | F250 |

注：1.试验过程中试件所接触的介质应与结构混凝土实际接触的介质相近；

2.快速冻融循环法试验至抗冻等级对应的冻融循环次数时，混凝土试件的相对动弹模量≥75%，且质量损失率＜5%；

3.混凝土抗冻等级之间对应的冻融循环次数相差50；

4.设计工作年限100年的混凝土抗冻等级应提高一级及以上；设计工作年限30年的混凝土抗冻等级降低一级；临时工程最低抗冻等级为F100。

**3** 冻融环境所用硬化后引气混凝土内平均气泡间距系数不宜大于300μm。

**7.3.7** 海岸工程自密实混凝土采用的原材料除符合本标准第5章的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 水泥应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；

**2** 粗骨料的最大粒径不应大于20mm，针片状颗粒含量应小于10%，空隙率应小于40%；

**3** 细骨料应选用级配合格的中砂，砂的含泥量应小于1%。

**7.3.8** 海岸工程自密实混凝土配合比设计除按本标准第7.2节的有关规定执行外，尚应符合下列规定：

**1** 根据所用的砂、石、高效减水剂和确定的和易性，并在达到要求的工作性和自密实性同时，选择较少的单位用水量；

**2** 单位体积胶凝材料用量应为450~600kg/m3；

**3** 水与胶凝材料的体积比应为0.8~1.1；

**4** 粗集料体积应为混凝土总体积的28%~35%；

**5** 根据经验，在保证自密实混凝土的和易性和填密度的情况下选取最佳砂率，砂的体积应按占砂浆体积40%~50%选取。

**7.3.9** 超高性能混凝土配合比设计应符合下列规定：

**1** 水胶比不宜大于0.20；

**2** 骨料与胶凝材料各组分的相对比例宜按照颗粒堆积理论设计；

**3** 硅灰掺量不宜小于胶凝材料用量的10%；

**4** 粉煤灰微珠掺量可为胶凝材料的5%~15%；

**5** 胶凝材料用量和纤维掺量应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387的相关规定。

7.4 混凝土施工

**7.4.1** 模板工程应符合下列规定：

**1** 模板及支架应根据工程结构型式、荷载大小、施工设备和模板材料等条件进行设计，模板应具有足够的强度、刚度和稳定性，并与钢筋和混凝土施工工艺相适应；

**2** 模板及支架应支设稳固、牢靠，并应保证结构和构件满足形状和尺寸要求。

**3** 模板面板应平整、光洁，接缝应平顺、严密、不漏浆。

**4**  大型承重模板安装和拆除过程必须保持足够的临时固定措施，并应设置必要的安全警戒区。

**7.4.2** 钢筋工程应符合下列规定：

**1** 受力钢筋的接头连接方式、接头位置、同一截面接头数量和接头技术要求应满足设计要求和有关规定。

**2** 钢筋骨架绑扎与装设应牢固、稳定，钢筋位置准确，并应采取保证钢筋保护层厚度和防止钢筋在混凝土浇筑过程产生偏移的措施。

**3** 钢筋机械连接或焊接连接接头试件应从完成的实体中截取，并按规定进行性能检测。

**4** 环氧树脂涂层钢筋与普通钢筋不应形成电连接。

**5** 采用未经冷拉的热轧光圆钢筋制作吊环时，其使用时的计算拉应力不应大于65MPa。

**7.4.3** 混凝土浇筑前应对模板、钢筋、预留孔和预埋件等进行检查，并应根据水文气象预报做好施工准备和防护措施。

**7.4.4** 混凝土施工应符合下列规定：

**1** 混凝土采用机械拌和，搅拌站和搅拌机投产前应对其生产工艺进行检查验收。当采用预拌混凝土时，对其生产工艺进行审核。

**2** 混凝土应按配料单配料，搅拌均匀。

**3** 混凝土运输、输送至浇筑地点，应具备均匀性和满足施工要求的和易性。

**4** 混凝土拌合物的和易性应在浇筑地点取样检测，当混凝土拌合物有含气量要求时，应检测混凝土拌合物的含气量。

**5**  同一构件和施工段的混凝土应连续浇筑。

**6** 施工缝位置应在浇筑前确定，不应设在浪溅区、水位变动区和混凝土拉应力、剪应力较大的部位。

**7** 浇筑混凝土过程中，应避免混凝土产生离析现象。

**8** 混凝土浇筑后应及时养护，并应保证足够养护持续时间。

**9** 混凝土强度等级和耐久性指标应进行检验评定，试件应在浇筑地点随机抽取制作。

**7.4.5** 现浇混凝土强度达到2.5MPa之前，不应承受人员、运输工具、模板、支架和脚手架等荷载。

**7.4.6** 特殊天气施工应符合下列规定：

**1** 日平均气温连续5d稳定低于5℃时，应采取冬期施工措施，并应满足下列要求：

1）冬期施工使用无氯盐类及低碱含量的防冻剂或低温早强剂，对有抗冻性要求的混凝土应掺入引气剂，且不应采用蒸汽养护；

2）采用原材料加热、使用热水拌和、运输过程中应有保温措施，保证混凝土的浇筑入模温度不应低于5℃；

3）混凝土浇筑过程应保温，浇筑完成后应立即采取蓄热法、蒸汽加热法、电毯加热法等加热养护措施；

（4）无掩护且有冰棱的海域，冰期内不宜施工。

**2** 雨期施工措施应满足下列要求：

1）砂石堆场有排水和防止污水浸染的设施，并应加盖防雨棚；

2）应增加骨料含水率的测定次数，并根据测试结果及时调整搅拌用水量；

3）如遇大雨立即停止浇筑，并采取表面防冲措施；

4）如遇小雨采取适当减少拌合物用水量，缩短浇筑时间，加强振捣，及时排除模内积水等措施。

**3** 日平均气温高于30℃时，应采取以下热期施工措施：

1）利用气温较低的时段施工；

2）降低砂、石、拌和用水的温度，必要时加入碎冰；

3）改善混凝土运输和浇筑条件，防止暴晒，并采取相应的散热措施；

4）混凝土浇筑完成后及早覆盖，及时养护。

**7.4.7** 大体积混凝土施工编制专项施工技术方案，并应符合下列规定：

**1** 应制定温控技术措施，混凝土入模温度不宜高于30℃，最大温升不宜大于50℃，内表温差不宜大于25℃；

**2** 大体积混凝土应在浇筑体内布置监测点，监测混凝土内部最高温升、内表温差、降温速率和环境温度；

**3** 宜采用跳仓、分层或分段等方式进行浇筑，当跳仓、分层或分段界面处的钢筋较少时，应在界面处增设通过界面表层的连接钢筋；

**4** 混凝土早期升温阶段宜采取布设冷却水管等散热措施，混凝土降温阶段应采取推迟拆模时间、拆模后覆盖塑料薄膜等保温措施；

**5** 混凝土保湿养护龄期不宜少于14d。

**7.4.8** 水下混凝土施工应符合下列规定：

**1** 水下混凝土施工应根据设计要求选用水下普通混凝土、水下不分散混凝土或者水下自密实混凝土。

**2** 水上施工所采用的船舶、移动平台等其他设备应满足安全施工要求和定位要求。

**3** 施工前应检查运输、浇筑机具的类型、配套机具及其布置是否符合施工方案要求。

**4** 水下模板应由潜水员配合架设稳固、严密，防止模板变形和混凝土中砂浆流失。

**5** 水下混凝土应按计划量连续浇筑，为防止出现故障，应留有备用机具及动力，连续浇时，浇筑时间不得超过首批混凝土的初凝时间。

**6** 水下浇筑应由潜水员配合施工，随时检查水下浇筑质量。

**7** 水下混凝土浇筑宜使用导管、混凝土泵或开底容器，要确保水下混凝土质量，并且在施工时要减少对浇筑部位周围水体的污染，

**8** 水下混凝土采用导管或泵管施工，在移位、浇筑中断时应采取防反窜逆流水的措施。

**9** 当水下混凝土浇筑范围流速和波浪过大，应设围水结构。围水结构应构造简单，装拆方便，并宜制成装配式或整体式，围水结构应组装牢固，水下安装不变形，下沉定位时，考虑水流、波浪等因素的影响并采用螺栓或锚缆固定。

**7.4.9** 预应力混凝土工程应符合下列规定：

**1** 应定期维护和校验施加预应力的张拉设备及仪表，并配套标定和使用。

**2** 锚具、夹具和连接器进场时，应检验其静载锚固性能。

**3** 预应力筋位置应准确，预应力筋张拉后应可靠锚固，不应出现断筋和滑移。

**4** 应控制后张法钢绞线断丝和滑移数量，螺纹钢筋不应出现断筋和滑移。

**5** 后张法预力孔道灌浆的工艺应满足设计要求，灌浆饱满、密实，可靠封锚。

**7.4.10** 装配式混凝土结构工程的连接方式和黏结、灌浆及后浇混凝土性能应满足设计要求。

7.5 防腐蚀施工

**7.5.1** 附加防腐蚀施工应按经审查批准的设计文件和施工技术文件的规定进行。

**7.5.2** 施工应根据环境类别和结构部位采取合适的施工工艺和措施，并制定防腐蚀施工专项方案，专项方案宜包括下列内容：

**1** 工程概况；

**2**  环境类别、结构部位；

**3**  防腐蚀设计要求；

**4**  材料质量及性能；

**5** 验收参数及要求；

**6**  施工工艺及质量控制措施。

**7.5.3** 混凝土表面涂层或者硅烷浸渍施工前应按设计要求进行小区试验。小区试验应符合下列规定：

**1** 在待施工构件上应选取面积不应小于20m2的代表性部位进行小区试验。

**2** 小区试验检验结果不满足设计要求时，应另外选取不小于20m2的试验区重做试验，如果仍不合格，应分析原因并采取措施。

**3** 正式施工的材料、施工工艺应与小区试验保持一致。

**7.5.4**  混凝土涂层涂装施工应符合下列规定：

**1** 实施涂层涂装的混凝土龄期不宜少于28d，因工程需要缩短涂装龄期时应经试验论证。

**2** 涂装施工前应对混凝土进行表面处理，待涂装的混凝土表面缺陷应进行修补，不得附着海洋生物、碎屑、灰尘和油污等。

**3** 干燥表面区混凝土表面含水率不应大于6%，湿润表面区混凝土不应有积水、流水和水珠等。

**4** 混凝土涂层应逐道涂装，每道涂层厚度、涂装间隔应满足涂料产品说明书的要求。

**7.5.5** 混凝土硅烷浸渍施工控制应符合下列规定：

**1** 实施硅烷浸渍的混凝土龄期不宜少于28d，因工程需要缩短浸渍龄期时应经试验论证。

**2** 待浸渍的混凝土表面的缺陷应进行修补，不得附着海洋生物、碎屑、灰尘、油污和影响硅烷浸渍的混凝土养护剂等。

**3** 浸渍时混凝土表面应为洁净面干状态，表面处理质量检查和含水率检测应全部满足规定要求后方可进行浸渍施工。

**4** 硅烷材料在施工中不得以溶剂或其他液体稀释使用。

**5** 硅烷浸渍施工应自下而上进行，每道硅烷材料用量和浸渍时间间隔应满足小区试验结果及设计要求。

**6** 液体硅烷材料用量不宜小于400ml/m2，膏体硅烷材料用量不宜小于300g/m2。

**7** 硅烷浸渍应避免与邻近的橡胶支座、沥青材料和接口密封件等接触。

**7.5.6** 混凝土用环氧涂层钢筋的施工应符合下列规定：

**1** 涂层钢筋在运输和吊装过程中应采取有效的防碰撞和防火措施。

**2**  涂层钢筋的锚固长度应不小于相同等级与规格的无涂层钢筋锚固长度的1.25倍。

**3** 涂层钢筋接头形式宜采用绑扎接头或者专用套筒、螺母连接。

**4** 在模板工程、钢筋工程、混凝土工程等各分项工程施工中，应根据具体工艺采取有效措施，防止钢筋涂层的破损。对施工操作中造成的涂层破损应及时修补。

**5** 涂层钢筋不得与外加电流阴极保护联合使用。

**7.5.7** 混凝土用耐蚀钢筋的施工应符合下列规定：

**1** 耐蚀钢筋加工应在常温状态下进行，加工过程中不应对钢筋进行加热处理。

**2** 耐蚀钢筋连接宜采用机械连接、钢筋套筒灌浆连接和绑扎搭接。

**7.5.8**  混凝土用不锈钢钢筋的施工应符合下列规定：

**1** 钢筋加工应使用专用加工设备，并宜在常温状态下进行，加工过程中不应对钢筋进行加热。

**2** 钢筋调直宜采用机械方法，也可采用冷拉方法。

**3** 钢筋连接应采用机械连接或绑扎搭接，不应采用焊接。绑扎用钢丝应为直径1.2 mm柔软不锈钢丝，钢号与钢筋相同。

**7.5.9**  混凝土用外加电流阴极保护系统的施工应符合下列规定：

1 混凝土浇筑前应进行钢筋电连接，连接电阻不应大于1.0Ω。

**2**  混凝土结构应根据构件类型、所处腐蚀环境和选用阳极的种类，划分为若干独立的保护单元，宜按照同一部位、同一构件的混凝土表面积50m2～200m2作为一个保护单位。

**3**  保护单元内的辅助阳极应满足电连续性，不同保护单元的辅助阳极之间、辅助阳极和阴极保护的钢筋之间应满足电绝缘性。

**4** 在易燃、易爆气体环境中，阴极保护系统应满足防爆要求，各接线点应置于密闭的接线箱中。

**5** 浇筑混凝土时，应采取有效措施保证钢筋的电连接性和埋设的参比电极及其他各种探头、电缆与各种接头的完好。

**6**  直流电源输出电压大于24V时应采取预警保护措施。

**7.5.10** 施工过程不得损伤已有结构，且不应影响结构整体安全性、耐久性。

**7.5.11** 施工中采用新技术、新工艺、新材料、新设备，应按有关规定进行评审、备案；施工前应对新的或首次采用的施工工艺进行评价，制定专门的施工方案。

**7.5.12**  施工中应做好施工记录，施工完成后应及时验收，竣工验收资料内容应完整。

**7.5.13** 施工后应及时进行防腐蚀工程质量检验。

**7.5.14** 防腐蚀施工验收前应确认试验报告、施工记录、质量证明材料和现场质量检验报告等齐全。

**7.5.15** 防腐蚀施工竣工验收应提交下列资料：

**1** 防腐蚀材料出厂合格证、质量证明书、检验报告；

**2** 进场防腐蚀材料质量检验文件、小区试验报告；

**3** 设计文件及设计变更文件；

**4** 施工记录；

**5** 现场检验报告；

**6** 施工过程中出现的问题及处理情况；

**7** 维护管理建议。

8 维护及拆除

8.1 一般规定

**8.1.1** 海岸工程混凝土结构应根据结构类型、安全等级及使用环境，建立全寿命周期内的结构使用、维护管理制度。

**8.1.2** 重要的海岸工程混凝土结构应建立维护数据库和信息化管理平台。

**8.1.3** 海岸工程混凝土结构工程拆除应进行方案设计，并应采取保证拆除过程安全的措施；预应力混凝土结构拆除尚应分析预加力解除程序。

**8.1.4** 海岸工程混凝土结构维护应贯彻预防为主的方针，按照“科学管理、合理使用、定期检测、适时维修”的原则，加强对混凝土结构的检查、检测、评估和维修，保持混凝土结构处于良好技术状态。

**8.1.5** 海岸工程混凝土结构拆除应遵循减量化、资源化和再生利用的原则，并应制定废弃物处置方案。

8.2 结构维护

**8.2.1** 海岸工程混凝土结构日常维护应检查结构外观与荷载变化情况。结构构件外观应重点检查裂缝、挠度、冻融、腐蚀、钢筋锈蚀、保护层脱落、渗漏水、不均匀沉降以及人为开洞、破损等损伤情况。预应力混凝土构件应重点检查是否有裂缝、锚固端是否松动。对于沿海或酸性环境中的混凝土结构，应检查混凝土表面的中性化和腐蚀状况。

**8.2.2** 对于环境作用等级E级及以上的海岸工程混凝土结构，应制定维护方案。

**8.2.3** 海岸工程混凝土结构满足下列条件之一时，应对结构进行检测与评估：

**1** 接近或达到设计工作年限，仍需继续使用的结构；

**2** 定期检查中发现重大问题的；

**3**  定期检测中难以判明主体结构是否安全的；

**4**  遭受特殊灾害或事故造成结构及主要构件损坏，可能危及结构安全的；

**5** 进行结构改造、改变使用性质，承载能力受损或增加荷载的结构。

**8.2.4** 下列海岸工程混凝土结构应设置沉降位移观测点：

**1** 码头、防波堤、护岸等水工建筑物应按设计要求设置永久性沉降、位移观测点；

**2** 生产及生产辅助建筑物应按设计要求设置永久性沉降观测点；

**3** 港区道路与堆场宜根据实际情况设置沉降观测点；

**4** 跨度大于50m的钢筋混凝土薄壳结构。

**8.2.5** 海岸工程混凝土结构应根据其重要性和所处环境复杂程度实施结构健康监测，并应符合下列规定：

**1** 监测期间尚应进行巡视检查和系统维护；台风、洪水等特殊情况时，应增加监测频次；

**2** 监测点的布置应具有代表性，受荷不利和腐蚀严重部位宜适当增加监测点；

**3** 耐久性监测应针对环境作用下的劣化过程，通过埋设耐久性监测传感器或持续原位检测完成。传感器的选取应综合考虑混凝土结构耐久性失效机理和传感器的有效工作年限。监测项目宜包括氯离子渗透、钢筋锈蚀和冻融监测；

**4** 混凝土结构监测应设定监测预警值，监测预警值应满足工程设计及对被监测对象的控制要求。

**8.2.6** 超过结构设计工作年限或使用期超过50年的海岸工程混凝土结构应进行检测评估，且检测评估周期不应超过10年。

**8.2.7** 海岸工程混凝土结构附加防腐蚀措施的日常检查与维护应符合下列规定：

**1**  涂装、涂层损坏时应及时维修，维修涂料应与原涂料相同或相容；

**2**  混凝土结构硅烷浸渍质量的吸水率、硅烷浸渍深度、氯化物吸收量的降低效果中任意一项不满足要求时，应采取相应措施及时处理；

**3** 阳极块缺损时应及时恢复，阳极块的腐蚀等效直径不满足设计要求时应及时更换，保护电位不满足要求时应及时查明原因，采取相应措施；

**4**  外加电流阴极保护防腐蚀系统的装置和运行状态出现异常，或保护电位超出规定范围应及时查明原因，采取相应措施。

**8.2.8** 工程设施管理单位应建立海岸工程混凝土结构的防腐蚀维护动态管理台账，并定期监测、检测防腐蚀保护效果与质量。

8.3 结构处置

**8.3.1**  海岸工程混凝土结构出现下列情况之一时，应采取措施进行处理：

**1**  混凝土结构或结构构件的裂缝宽度或挠度超过限值；

**2** 混凝土结构或构件钢筋出现锈胀；

**3** 预应力混凝土构件锚固端的封端混凝土出现裂缝、剥落、渗漏、穿孔、预应力锚具暴露；

**4**  结构混凝土中氯离子含量超标；

**5** 结构发现有碱骨料反应迹象；

**6** 偶然事故造成的混凝土结构局部较大损坏，应进行现场调查、检测评定，根据检测评定结果进行处理；

**7** 达到设计工作年限的混凝土结构，必须对其结构安全性能进行检测，并根据检测结果进行处理。

**8.3.2** 经检测鉴定，存在安全隐患的海岸工程混凝土结构应采取安全治理措施进行处理。

**8.3.3** 监测期间有预警的海岸工程混凝土结构，应按照监测预警机制和应急预案进行处理。

**8.3.4**  遭受地震、洪水、台风、火灾、爆炸、撞击等自然灾害或者突发事件后，海岸工程混凝土结构存在重大险情时，应立即采取安全治理措施。

8.4 结构拆除

**8.4.1** 拆除海岸工程混凝土结构时结构分析应符合下列规定：

**1** 应按照短暂设计状况进行结构分析；

**2** 应考虑拆除过程可能出现的最不利情况；

**3** 分析应涵盖拆除全过程，应考虑构件约束条件的改变。

**8.4.2** 海岸工程混凝土结构的拆除作业应符合下列规定：

**1** 应对周边建筑物、构筑物及地下设施采取保护、防护措施；

**2** 对危险物质、有害物质应有处置方案和应急措施；

**3** 拆除过程严禁立体交叉作业；

**4** 拆除施工时发现不明物体和气体时应立即停止施工，并应采取临时防护措施。

**8.4.3** 海岸工程混凝土结构的拆除作业应该采取减少噪声、粉尘、污水、振动、冲击和环境污染的措施。

**8.4.4** 海岸工程混凝土结构采用静态破碎拆除时，应分析确定破碎剂注入孔的尺寸并合理布置孔的位置。

**8.4.5** 海岸工程混凝土结构采用爆破拆除时，应合理布置爆破点位置及施药量，并应采取保证周边环境安全的措施。

**8.4.6** 海岸工程混凝土结构拆除物的处置应符合下列规定：

**1** 对可重复利用构件，应考虑其使用寿命和维护方法；

**2** 对切割的块体，应进行重复利用或再生利用；

**3**  对破碎的混凝土，应拟定再生利用计划；

**4** 对拆除的钢筋，应回收再生利用；

**5** 对各种材料的混合拆除物，应在取得建筑垃圾排放许可后再进行处置。

附录A 设计工作年限为50年的混凝土结构耐久性参数组合值

表A.0.1 华南地区一维扩散区混凝土的*D*0限值（10-12 m2/s）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *c*d（mm） |  | 环境作用等级 | | | |
| Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
| 25 | 0.40 | 2.8 | - | - | - |
| 0.45 | 3.7 | - | - | - |
| 0.50 | 4.8 | - | - | - |
| 0.55 | 6.4 | - | - | - |
| 0.60 | 8.5 | - | - | - |
| 0.65 | 11.2 | - | - | - |
| 30 | 0.40 | 4.0 | - | - | - |
| 0.45 | 5.3 | - | - | - |
| 0.50 | 7.0 | - | - | - |
| 0.55 | 9.2 | - | - | - |
| 0.60 | 12.2 | - | - | - |
| 0.65 | 15.0\* | - | - | - |
| 35 | 0.40 | 5.4 | 2.8 | 2.1 | 1.7 |
| 0.45 | 7.2 | 3.7 | 2.7 | 2.2 |
| 0.50 | 9.5 | 4.9 | 3.6 | 2.9 |
| 0.55 | 12.6 | 6.5 | 4.8 | 3.9 |
| 0.60 | 15\* | 8.6 | 6.3 | 5.1 |
| 0.65 | 15.0\* | 11.3 | 8.3 | 6.8 |
| 40 | 0.40 | 7.1 | 3.7 | 2.7 | 2.2 |
| 0.45 | 9.4 | 4.9 | 3.6 | 2.9 |
| 0.50 | 12.4 | 6.4 | 4.7 | 3.8 |
| 0.55 | 15.0\* | 8.5 | 6.2 | 5.1 |
| 0.60 | 15.0\* | 11.2 | 8.2 | 6.7 |
| 0.65 | 15.0\* | 14.8 | 10.0\* | 8.9 |
| 45 | 0.40 | - | 4.7 | 3.4 | 2.8 |
| 0.45 | - | 6.1 | 4.5 | 3.7 |
| 0.50 | - | 8.1 | 6.0 | 4.9 |
| 0.55 | - | 10.7 | 7.9 | 6.4 |
| 0.60 | - | 14.2 | 10.0\* | 8.5 |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 50 | 0.40 | - | 5.7 | 4.2 | 3.4 |
| 0.45 | - | 7.6 | 5.6 | 4.5 |
| 0.50 | - | 10.0 | 7.4 | 6.0 |
| 0.55 | - | 13.2 | 9.8 | 7.9 |
| 0.60 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |

注：1.综合考虑混凝土的制备水平和耐久性要求，标注\*处表示：对于Ⅲ-C和Ⅲ-D级，*D*0的上限值控制为15.0×10-12 m2/s，对于Ⅲ-E和Ⅲ-F级，*D*0的上限值控制为10.0×10-12 m2/s。

2. *c*d为混凝土净保护层厚度的设计值，使用时需要考虑外侧箍筋直径、安全裕度等因素的影响，根据附录B中的B.0.3为混凝土保护层厚度的特征值。

3.表格计算结果未考虑应力水平的影响，若需考虑应力水平影响，可根据附录B中条文B.0.7计算应力影响系数，并在表格的基础上进行应力影响修正。

表A.0.2 华南地区二维扩散区混凝土的*D*0限值（10-12 m2/s）

| *c*d（mm） |  | 环境作用等级 | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
| 20 | 0.40 | 1.0 | - | - | - |
| 0.45 | 1.3 | - | - | - |
| 0.50 | 1.8 | - | - | - |
| 0.55 | 2.3 | - | - | - |
| 0.60 | 3.1 | - | - | - |
| 0.65 | 4.1 | - | - | - |
| 25 | 0.40 | 1.6 | - | - | - |
| 0.45 | 2.1 | - | - | - |
| 0.50 | 2.8 | - | - | - |
| 0.55 | 3.7 | - | - | - |
| 0.60 | 4.8 | - | - | - |
| 0.65 | 6.4 | - | - | - |
| 30 | 0.40 | 2.3 | 1.4 | 1.1 | - |
| 0.45 | 3.0 | 1.9 | 1.5 | - |
| 0.50 | 4.0 | 2.5 | 2.0 | - |
| 0.55 | 5.3 | 3.3 | 2.6 | - |
| 0.60 | 7.0 | 4.3 | 3.4 | - |
| 0.65 | 9.2 | 5.7 | 4.5 | - |
| 35 | 0.40 | 3.1 | 1.9 | 1.5 | - |
| 0.45 | 4.1 | 2.6 | 2.0 | - |
| 0.50 | 5.4 | 3.4 | 2.7 | - |
| 0.55 | 7.2 | 4.5 | 3.5 | - |
| 0.60 | 9.5 | 5.9 | 4.7 | - |
| 0.65 | 12.5 | 7.8 | 6.2 | - |
| 40 | 0.40 | 4.1 | 2.5 | 2.0 | 1.7 |
| 0.45 | 5.4 | 3.3 | 2.6 | 2.2 |
| 0.50 | 7.1 | 4.4 | 3.5 | 3.0 |
| 0.55 | 9.4 | 5.8 | 4.6 | 3.9 |
| 0.60 | 12.4 | 7.7 | 6.1 | 5.2 |
| 0.65 | 15.0\* | 10.2 | 8.0 | 6.8 |
| 45 | 0.40 | - | 3.2 | 2.5 | 2.1 |
| 0.45 | - | 4.2 | 3.3 | 2.8 |
| 0.50 | - | 5.6 | 4.4 | 3.7 |
| 0.55 | - | 7.4 | 5.8 | 4.9 |
| 0.60 | - | 9.7 | 7.7 | 6.5 |
| 0.65 | - | 12.9 | 10.0\* | 8.6 |
| 50 | 0.40 | - | 3.9 | 3.1 | 2.6 |
| 0.45 | - | 5.2 | 4.1 | 3.5 |
| 0.50 | - | 6.9 | 5.4 | 4.6 |
| 0.55 | - | 9.1 | 7.2 | 6.1 |
| 0.60 | - | 12.0 | 9.5 | 8.1 |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 55 | 0.40 | - | - | - | 3.2 |
| 0.45 | - | - | - | 4.2 |
| 0.50 | - | - | - | 5.6 |
| 0.55 | - | - | - | 7.4 |
| 0.60 | - | - | - | 9.8 |
| 0.65 | - | - | - | 10.0\* |
| 60 | 0.40 | - | - | - | 3.8 |
| 0.45 | - | - | - | 5.0 |
| 0.50 | - | - | - | 6.7 |
| 0.55 | - | - | - | 8.8 |
| 0.60 | - | - | - | 10.0\* |
| 0.65 | - | - | - | 10.0\* |

注：1.综合考虑混凝土的制备水平和耐久性要求，标注\*处表示：对于Ⅲ-C和Ⅲ-D级，*D*0的上限值控制为15.0×10-12 m2/s，对于Ⅲ-E和Ⅲ-F级，*D*0的上限值控制为10.0×10-12 m2/s。

2. *c*d为混凝土净保护层厚度的设计值，使用时需要考虑外侧箍筋直径、安全裕度等因素的影响，根据附录B中的B.0.3转换为混凝土保护层厚度的特征值。

3.表格计算结果未考虑应力水平的影响，若需考虑应力水平影响，可根据附录B中条文B.0.7计算应力影响系数，并在表格的基础上进行应力影响修正。

表A.0.3 华东地区一维扩散区混凝土的*D*0限值（10-12 m2/s）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *c*d（mm） |  | 环境作用等级 | | | |
| Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
| 25 | 0.40 | 3.3 | - | - | - |
| 0.45 | 4.3 | - | - | - |
| 0.50 | 5.7 | - | - | - |
| 0.55 | 7.5 | - | - | - |
| 0.60 | 10.0 | - | - | - |
| 0.65 | 13.1 | - | - | - |
| 30 | 0.40 | 4.7 | - | - | - |
| 0.45 | 6.2 | - | - | - |
| 0.50 | 8.2 | - | - | - |
| 0.55 | 10.9 | - | - | - |
| 0.60 | 14.3 | - | - | - |
| 0.65 | 15.0\* | - | - | - |
| 35 | 0.40 | 6.4 | 3.3 | 2.4 | 2.0 |
| 0.45 | 8.5 | 4.4 | 3.2 | 2.6 |
| 0.50 | 11.2 | 5.8 | 4.3 | 3.5 |
| 0.55 | 14.8 | 7.6 | 5.6 | 4.6 |
| 0.60 | 15.0\* | 10.1 | 7.4 | 6.0 |
| 0.65 | 15.0\* | 13.3 | 9.8 | 8.0 |
| 40 | 0.40 | 8.4 | 4.3 | 3.2 | 2.6 |
| 0.45 | 11.1 | 5.7 | 4.2 | 3.4 |
| 0.50 | 14.6 | 7.5 | 5.6 | 4.5 |
| 0.55 | 15.0\* | 10.0 | 7.3 | 6.0 |
| 0.60 | 15.0\* | 13.2 | 9.7 | 7.9 |
| 0.65 | 15.0\* | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 45 | 0.40 | - | 5.5 | 4.0 | 3.3 |
| 0.45 | - | 7.2 | 5.3 | 4.3 |
| 0.50 | - | 9.6 | 7.0 | 5.7 |
| 0.55 | - | 12.6 | 9.3 | 7.6 |
| 0.60 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0 |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 50 | 0.40 | - | 6.8 | 5.0 | 4.0 |
| 0.45 | - | 8.9 | 6.6 | 5.3 |
| 0.50 | - | 11.8 | 8.7 | 7.1 |
| 0.55 | - | 15.0\* | 10.0\* | 9.3 |
| 0.60 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |

注：1.综合考虑混凝土的制备水平和耐久性要求，标注\*处表示：对于Ⅲ-C和Ⅲ-D级，*D*0的上限值控制为15.0×10-12 m2/s，对于Ⅲ-E和Ⅲ-F级，*D*0的上限值控制为10.0×10-12 m2/s。

2. *c*d为混凝土净保护层厚度的设计值，使用时需要考虑外侧箍筋直径、安全裕度等因素的影响，根据附录B中的B.0.3转换为混凝土保护层厚度的特征值。

3.表格计算结果未考虑应力水平的影响，若需考虑应力水平影响，可根据附录B中条文B.0.7计算应力影响系数，并在表格的基础上进行应力影响修正。

表A.0.4 华东地区二维扩散区混凝土的*D*0限值（10-12 m2/s）

| *c*d（mm） |  | 环境作用等级 | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
| 20 | 0.40 | 1.2 | - | - | - |
| 0.45 | 1.6 | - | - | - |
| 0.50 | 2.1 | - | - | - |
| 0.55 | 2.8 | - | - | - |
| 0.60 | 3.6 | - | - | - |
| 0.65 | 4.8 | - | - | - |
| 25 | 0.40 | 1.9 | - | - | - |
| 0.45 | 2.5 | - | - | - |
| 0.50 | 3.3 | - | - | - |
| 0.55 | 4.3 | - | - | - |
| 0.60 | 5.7 | - | - | - |
| 0.65 | 7.5 | - | - | - |
| 30 | 0.40 | 2.7 | 1.7 | 1.3 | - |
| 0.45 | 3.6 | 2.2 | 1.7 | - |
| 0.50 | 4.7 | 2.9 | 2.3 | - |
| 0.55 | 6.2 | 3.9 | 3.0 | - |
| 0.60 | 8.2 | 5.1 | 4.0 | - |
| 0.65 | 10.8 | 6.7 | 5.3 | - |
| 35 | 0.40 | 3.7 | 2.3 | 1.8 | - |
| 0.45 | 4.8 | 3.0 | 2.4 | - |
| 0.50 | 6.4 | 4.0 | 3.1 | - |
| 0.55 | 8.5 | 5.2 | 4.1 | - |
| 0.60 | 11.2 | 6.9 | 5.5 | - |
| 0.65 | 14.8 | 9.2 | 7.2 | - |
| 40 | 0.40 | 4.8 | 3.0 | 2.3 | 2.0 |
| 0.45 | 6.3 | 3.9 | 3.1 | 2.6 |
| 0.50 | 8.4 | 5.2 | 4.1 | 3.5 |
| 0.55 | 11.0 | 6.9 | 5.4 | 4.6 |
| 0.60 | 14.6 | 9.0 | 7.2 | 6.1 |
| 0.65 | 15.0\* | 12.0 | 9.5 | 8.0 |
| 45 | 0.40 | - | 3.8 | 3.0 | 2.5 |
| 0.45 | - | 5.0 | 3.9 | 3.3 |
| 0.50 | - | 6.6 | 5.2 | 4.4 |
| 0.55 | - | 8.7 | 6.9 | 5.8 |
| 0.60 | - | 11.5 | 9.1 | 7.7 |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 50 | 0.40 | - | 4.6 | 3.7 | 3.1 |
| 0.45 | - | 6.1 | 4.9 | 4.1 |
| 0.50 | - | 8.1 | 6.4 | 5.4 |
| 0.55 | - | 10.7 | 8.5 | 7.2 |
| 0.60 | - | 14.1 | 10.0\* | 9.5 |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 55 | 0.40 | - | - | - | 3.8 |
| 0.45 | - | - | - | 5.0 |
| 0.50 | - | - | - | 6.6 |
| 0.55 | - | - | - | 8.7 |
| 0.60 | - | - | - | 10.0\* |
| 0.65 | - | - | - | 10.0\* |
| 60 | 0.40 | - | - | - | 4.5 |
| 0.45 | - | - | - | 5.9 |
| 0.50 | - | - | - | 7.8 |
| 0.55 | - | - | - | 10.0\* |
| 0.60 | - | - | - | 10.0\* |
| 0.65 | - | - | - | 10.0\* |

注：1.综合考虑混凝土的制备水平和耐久性要求，标注\*处表示：对于Ⅲ-C和Ⅲ-D级，*D*0的上限值控制为15.0×10-12 m2/s，对于Ⅲ-E和Ⅲ-F级，*D*0的上限值控制为10.0×10-12 m2/s。

2. *c*d为混凝土净保护层厚度的设计值，使用时需要考虑外侧箍筋直径、安全裕度等因素的影响，根据附录B中的B.0.3转换为混凝土保护层厚度的特征值。

3.表格计算结果未考虑应力水平的影响，若需考虑应力水平影响，可根据附录B中条文B.0.7计算应力影响系数，并在表格的基础上进行应力影响修正。

表A.0.5 北方地区一维扩散区混凝土的*D*0限值（10-12 m2/s）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *c*d（mm） |  | 环境作用等级 | | | |
| Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
| 25 | 0.40 | 3.5 | - | - | - |
| 0.45 | 4.6 | - | - | - |
| 0.50 | 6.1 | - | - | - |
| 0.55 | 8.0 | - | - | - |
| 0.60 | 10.6 | - | - | - |
| 0.65 | 14.0 | - | - | - |
| 30 | 0.40 | 5.0 | - | - | - |
| 0.45 | 6.6 | - | - | - |
| 0.50 | 8.7 | - | - | - |
| 0.55 | 11.5 | - | - | - |
| 0.60 | 15.0\* | - | - | - |
| 0.65 | 15.0\* | - | - | - |
| 35 | 0.40 | 6.8 | 3.5 | 2.6 | 2.1 |
| 0.45 | 9.0 | 4.6 | 3.4 | 2.8 |
| 0.50 | 11.9 | 6.1 | 4.5 | 3.7 |
| 0.55 | 15.0\* | 8.1 | 6.0 | 4.9 |
| 0.60 | 15.0\* | 10.7 | 7.9 | 6.4 |
| 0.65 | 15.0\* | 14.2 | 10.0\* | 8.5 |
| 40 | 0.40 | 8.9 | 4.6 | 3.4 | 2.8 |
| 0.45 | 11.7 | 6.1 | 4.5 | 3.6 |
| 0.50 | 15.0\* | 8.0 | 5.9 | 4.8 |
| 0.55 | 15.0\* | 10.6 | 7.8 | 6.3 |
| 0.60 | 15.0\* | 14.0 | 10.0\* | 8.4 |
| 0.65 | 15.0\* | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 45 | 0.40 | - | 5.8 | 4.3 | 3.5 |
| 0.45 | - | 7.7 | 5.7 | 4.6 |
| 0.50 | - | 10.2 | 7.5 | 6.1 |
| 0.55 | - | 13.4 | 9.9 | 8.0 |
| 0.60 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 50 | 0.40 | - | 7.2 | 5.3 | 4.3 |
| 0.45 | - | 9.5 | 7.0 | 5.7 |
| 0.50 | - | 12.5 | 9.2 | 7.5 |
| 0.55 | - | 15.0\* | 10.0\* | 9.9 |
| 0.60 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |

注：1.综合考虑混凝土的制备水平和耐久性要求，标注\*处表示：对于Ⅲ-C和Ⅲ-D级，*D*0的上限值控制为15.0×10-12 m2/s，对于Ⅲ-E和Ⅲ-F级，*D*0的上限值控制为10.0×10-12 m2/s。

2. *c*d为混凝土净保护层厚度的设计值，使用时需要考虑外侧箍筋直径、安全裕度等因素的影响，根据附录B中的B.0.3转换为混凝土保护层厚度的特征值。

3.表格计算结果未考虑应力水平的影响，若需考虑应力水平影响，可根据附录B中条文B.0.7计算应力影响系数，并在表格的基础上进行应力影响修正。

表A.0.6 北方地区二维扩散区混凝土的*D*0限值（10-12 m2/s）

| *c*d（mm） |  | 环境作用等级 | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
| 20 | 0.40 | 1.3 | - | - | - |
| 0.45 | 1.7 | - | - | - |
| 0.50 | 2.2 | - | - | - |
| 0.55 | 2.9 | - | - | - |
| 0.60 | 3.9 | - | - | - |
| 0.65 | 5.1 | - | - | - |
| 25 | 0.40 | 2.0 | - | - | - |
| 0.45 | 2.6 | - | - | - |
| 0.50 | 3.5 | - | - | - |
| 0.55 | 4.6 | - | - | - |
| 0.60 | 6.1 | - | - | - |
| 0.65 | 8.0 | - | - | - |
| 30 | 0.40 | 2.9 | 1.8 | 1.4 | - |
| 0.45 | 3.8 | 2.3 | 1.9 | - |
| 0.50 | 5.0 | 3.1 | 2.5 | - |
| 0.55 | 6.6 | 4.1 | 3.2 | - |
| 0.60 | 8.7 | 5.4 | 4.3 | - |
| 0.65 | 11.5 | 7.1 | 5.6 | - |
| 35 | 0.40 | 3.9 | 2.4 | 1.9 | - |
| 0.45 | 5.1 | 3.2 | 2.5 | - |
| 0.50 | 6.8 | 4.2 | 3.3 | - |
| 0.55 | 9.0 | 5.6 | 4.4 | - |
| 0.60 | 11.9 | 7.4 | 5.8 | - |
| 0.65 | 15.0\* | 9.7 | 7.7 | - |
| 40 | 0.40 | 5.1 | 3.2 | 2.5 | 2.1 |
| 0.45 | 6.7 | 4.2 | 3.3 | 2.8 |
| 0.50 | 8.9 | 5.5 | 4.4 | 3.7 |
| 0.55 | 11.7 | 7.3 | 5.8 | 4.9 |
| 0.60 | 15.0\* | 9.6 | 7.6 | 6.4 |
| 0.65 | 15.0\* | 12.7 | 10.0\* | 8.5 |
| 45 | 0.40 | - | 4.0 | 3.2 | 2.7 |
| 0.45 | - | 5.3 | 4.2 | 3.5 |
| 0.50 | - | 7.0 | 5.5 | 4.7 |
| 0.55 | - | 9.2 | 7.3 | 6.2 |
| 0.60 | - | 12.2 | 9.6 | 8.2 |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 50 | 0.40 | - | 4.9 | 3.9 | 3.3 |
| 0.45 | - | 6.5 | 5.2 | 4.4 |
| 0.50 | - | 8.6 | 6.8 | 5.8 |
| 0.55 | - | 11.4 | 9.0 | 7.6 |
| 0.60 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 0.65 | - | 15.0\* | 10.0\* | 10.0\* |
| 55 | 0.40 | - | - | - | 4.0 |
| 0.45 | - | - | - | 5.3 |
| 0.50 | - | - | - | 7.0 |
| 0.55 | - | - | - | 9.2 |
| 0.60 | - | - | - | 10.0\* |
| 0.65 | - | - | - | 10.0\* |
| 60 | 0.40 | - | - | - | 4.8 |
| 0.45 | - | - | - | 6.3 |
| 0.50 | - | - | - | 8.3 |
| 0.55 | - | - | - | 10.0\* |
| 0.60 | - | - | - | 10.0\* |
| 0.65 | - | - | - | 10.0\* |

注：1.综合考虑混凝土的制备水平和耐久性要求，标注\*处表示：对于Ⅲ-C和Ⅲ-D级，*D*0的上限值控制为15.0×10-12 m2/s，对于Ⅲ-E和Ⅲ-F级，*D*0的上限值控制为10.0×10-12 m2/s。

2. *c*d为混凝土净保护层厚度的设计值，使用时需要考虑外侧箍筋直径、安全裕度等因素的影响，根据附录B中的B.0.3转换为混凝土保护层厚度的特征值。

3.表格计算结果未考虑应力水平的影响，若需考虑应力水平影响，可根据附录B中条文B.0.7计算应力影响系数，并在表格的基础上进行应力影响修正。

附录B 海岸工程混凝土结构的耐久性定量设计方法

**B.0.1**  海洋氯化物环境下海岸工程混凝土结构按钢筋开始脱钝的极限状态进行耐久性定量设计时，应将混凝土保护层厚度、初始扩散系数及龄期衰减系数同时选取为耐久性设计参数，且应满足下式要求：

 (B.0.1)

式中：——基于快速电迁移方法（RCM）测试的初始氯离子扩散系数（m2/s或mm2/a）；

——混凝土净保护层厚度的设计值(mm)，按条文B.0.3确定；

——设计工作年限(a)；

——初始暴露龄期(a)，可以取*t*0 = 28 d≈0.0767 a；

——氯离子扩散系数的衰减稳定时间(a)，可以通过自然暴露试验数据或者同类已建工程的数据确定，如无可靠数据时，可以取年；

——龄期衰减系数，按条文B.0.4确定；

——临界氯离子浓度的设计值(%)，按条文B.0.2确定；

——混凝土表面氯离子浓度的设计值，按条文B.0.5确定；

——初始氯离子浓度(%)，可以根据混凝土实测，也可以近似取；

——氯离子扩散的维数，对于一维扩散和二维扩散，*P*分别取1和2；

——氯离子扩散系数的分项系数，可以根据统计数据，根据可靠度原理计算，如无可靠统计数据时，可以取；

——氯离子扩散系数的环境影响系数，按条文B.0.6确定；

——氯离子扩散系数的试验方法转换系数，应根据室内快速试验与现场长期暴露试验结果的相关系数确定，如无可靠试验数据，可以取；

——氯离子扩散系数的荷载影响系数，按条文B.0.7确定；

erf(∙)——误差函数。

**B.0.2** 混凝土中钢筋或预应力筋开始脱钝的临界氯离子浓度设计值应按下式确定：

 (B.0.2)

式中：

——临界氯离子浓度的分项系数，当无可靠资料时，可按表B.0.2-1取值；

——临界氯离子浓度的特征值(%)，应根据现场暴露试验数据或按照附录D中临界氯离子浓度测试方法进行工程实测确定，当无可靠资料时，可按表B.0.2-2取值。

表B.0.2-1 临界氯离子浓度的分项系数取值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境作用等级 | Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
|  | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.2 |

表B.0.2-2 临界氯离子浓度的特征值取值（%，占胶凝材料质量的百分比计）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境作用等级 | Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
|  | 1.50 | 0.6 | 0.6 | 0.5 |

**B.0.3** 混凝土净保护层厚度的设计值应考虑不同施工工艺的影响，并计入因生产施工水平而引起的施工偏差，应按下式确定：

 (B.0.3)

式中：

*c*——混凝土保护层厚度的特征值(mm)，其最小值应满足条文6.4.5的规定；

——主筋外侧的箍筋或其他构造钢筋的直径(mm)；当主筋外侧没有箍筋或其他构造钢筋时取；

——混凝土保护层厚度的安全裕度(mm)，对于梁、墩、柱等条形构件可取为10mm，对于板、墙等面型薄壁构件可取为5mm。

**B.0.4** 龄期衰减系数*n*应考虑胶凝材料组成中矿物活性掺合料的影响，取值宜为0.40~0.65。

**B.0.5** 海岸工程混凝土结构的混凝土表面氯离子浓度设计值应按下式确定：

 (B.0.5)

式中：

——混凝土表面氯离子浓度的分项系数，当无可靠资料时，可按表B.0.5-1取值；

——混凝土表面氯离子浓度的特征值(%)，当无可靠资料时，可按表B.0.5-2取值。

表B.0.5-1 混凝土表面氯离子浓度的分项系数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境作用等级 | Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
|  | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.1 |

表B.0.5-2 混凝土表面氯离子浓度特征值（%，占胶凝材料用量的百分比计）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境作用等级 | Ⅲ-C | Ⅲ-D | Ⅲ-E | Ⅲ-F |
|  | 4.3 | 3.0 | 4.9 | 6.0 |

**B.0.6** 混凝土中氯离子扩散系数的环境影响系数按式(B.0.6)确定。如无可靠的统计数据时，可以按条B.0.6取值。

 (B.0.6)

式中：

——混凝土中氯离子扩散过程的活化能(J/mol)，取35000 J/mol；

——理想气体常数(J/K/mol)，取8.314(J/K/mol)；

——参考温度，取293K；

——环境温度。

表B.0.6 混凝土中氯离子扩散系数的环境影响系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 地区 | 华南地区 | 华东地区 | 北方地区 |
|  | 1.00 | 0.85 | 0.80 |

**B.0.7** 混凝土中氯离子扩散系数的应力影响系数按下式确定：

 (B.0.7)

式中：——应力对氯离子扩散系数的影响系数；

——与混凝土龄期有关的常数，根据工程统计分析确定，如没有可靠的统计数据时，对应28d龄期的系数*A*与*B*的取值分别为1.12和0.65；

——混凝土受拉区承受的应力水平，可根据荷载情况分析确定；如没有可靠的统计数据时，一般梁可取0.3，板和偏心受压柱的受拉区可取0.1。

附录C 混凝土抗氯离子渗透性扩散系数的电迁移试验方法

**C.0.1** 本试验方法可用于测定非稳态电迁移试验中混凝土的氯离子扩散系数。

**C.0.2** 试验仪器设备和化学试剂应满足下列要求：

**1** 试验装置如图C.0.2所示；

**2** 橡胶套筒、电解质水槽、阳极和阴极各6个，不锈钢管卡12个；

**3** 真空泵，真空度不大于1000Pa；

**4** 真空容器，内径不小于250mm；

**5** 温度计或可读热电偶，精度：0.2℃；

**6** 两脚规和游标卡尺，游标卡尺精度0.1mm；

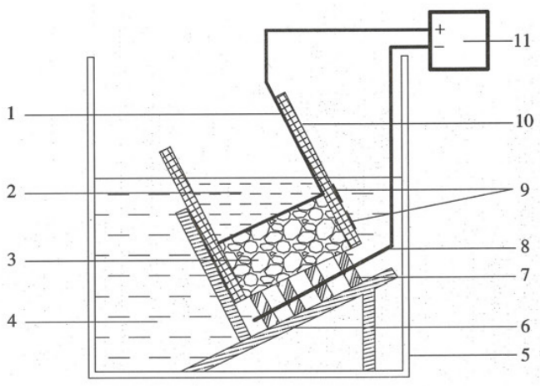
**7** 符合标准的蒸馏水或去离子水；

**8** 分析纯试剂配制的饱和氢氧化钙溶液；

**9** 化学纯试剂配制的10% 氯化钠溶液12L；

**10** 化学纯试剂配制的0.3mol/L氢氧化钠溶液约300ml；

**11** 显色指示剂，分析纯试剂配制的0.3mol/L硝酸银溶液。



图C.0.2 试验装置图

1-阳极；2-阳极溶液；3-试件；4-阴极溶液；5-电解质水槽；6-有机玻璃支架；7-阴极架；8-阴极；9-不锈钢关卡；10-橡胶套筒；11-直流稳压电源

**C.0.3** 试验步骤应符合下列规定：

**1** 制作直径100mm、厚度100mm、骨料最大粒径不大于25mm的混凝土试件，试件用内径100mm、高度100mm的圆柱体钢模按标准方法成型，或对硬化混凝土钻芯取样，试验以3块试件为一组；

**2** 试件成型后立即用塑料薄膜覆盖并放入标准养护室，24h后拆模并进行标准养护；

**3** 试件到达养护龄期，沿试块中间切成两个直径100mm、厚度50mm的圆柱形试件；当试件在实体混凝土结构中钻取时，先切割成标准试件尺寸，然后在标准养护室水池中浸泡72h后进行试验；

**4** 用刷子清洗表面及缝隙的浮灰，擦去试件表面多余的水分，当试件暴露于空气中至表面干燥后，将试件放人真空容器中进行抽真空处理；

**5** 试件抽真空时，每个试件的表面暴露在真空中，在5min内将真空容器中的绝对压力减少到1000Pa以下，保持真空3h后，维持这一真空度将饱和的氢氧化钙溶液吸入真空容器，直至淹没试件，试件浸泡1h后恢复常压，再继续浸泡(182)h；

**6** 将试块从氢氧化钙溶液中取出后，用干抹布擦干表面水分，用游标卡尺测量试件的厚度，精确到0.1mm，当试件达到表面干燥的状态后将试件塞进橡胶套筒内，新鲜的切割面朝下，用两个不锈钢管卡将试块与橡胶套筒箍紧至不渗漏；

**7** 将浓度为10%的氯化钠溶液注入阴极电解质水槽中，将0.3mol/L的氢氧化钠溶液注人橡胶套简内约300ml时，将橡胶套筒放入阳极电解质水槽中，测量此时氢氧化钠溶液的初始温度；注入氯化钠溶液的电解质水槽中的阴极连接电源负极，注入氢氧化钠溶液的橡胶套筒中的阳极连接电源正极；

**8** 以3个试件为1组，分别与电源的接口相连；

**9** 接通电源，调节各回路电压到30V，分别观察各回路初始电流，根据初始电流值从表C1.3中选择试验电压；根据实际施加的试验电压测得的试验电流，选择试验时间进行试验；

**10** 通电结束测量氢氧化钠溶液的最终温度；

**11** 取出试件并用自来水冲洗试件表面，再用干抹布擦干表面，立即用压力试验机沿轴向劈成两半；

**12** 在新劈开的断面喷涂0.1mol/L的硝酸银溶液，放置15min；

**C.0.4** 氯离子渗透深度可采用下面两种方法获得：

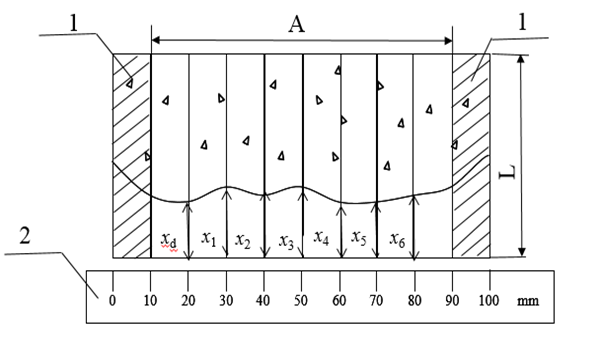
**1** 用两脚规和游标卡尺测量白色氯化银标示的渗透深度，从正中间向两每隔10mm测量一个数据，精确到0.1mm，当某一测点被骨料阻挡则将测点移动到最近未被阻挡的位置进行测量；共测得7个数据，测量位置如图C.0.4-1所示。氯离子渗透深度平均值为7个测点氯离子渗透深度的平均值。

**2** 采用图像获取装置获得图C.0.4-2所示显色区域及标志物的几何参数。然后使用Adobe Photoshop软件“工具”选项里的“快速选择工具”选取数码图片中显示为白色的氯离子扩散区域，设置为图层1，并利用Adobe Photoshop软件“编辑”菜单的“填充”选项将图层1填充为红色。然后，打开“直方图”窗口，获取图层1的像素值*P*1。类似地，使用“工具”选项里的“矩形选择工具”将图片中标志物设置为图层2，并填充为红色。接着，在“直方图”窗口中获取图层2的像素值。根据图层宽度与其像素值成正比的原理计算氯离子扩散深度平均值：

 (C.0.4-1)

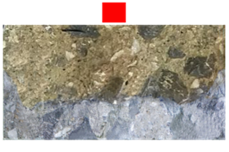
 (C.0.4-2)

式中，*x*d表示氯离子渗透深度平均值；代表扩散区域像素值；代表10mm2标志物像素值；代表扩散区域底部边长像素值；代表标志物底边长10mm的像素值。



图C.0.4-1 氯离子渗透深度测量示意图（测点法）

（1-试件边缘部分；2-尺子；A-测量范围；*x*1-x7氯离子渗透深度测点值）



图C.0.4-2 氯离子渗透深度测量示意图（图像法）

（边长为 10mm 的正方形标志物）

表C.0.3 初始电流、电压与试验时间的关系

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 初始电流  （用30V电压）（mA） | 施加的电压*U*  （调整后）（V） | 可能的新初始电流  （mA） | 试验持续时间  *t*（h） |
| <5 | 60 | <10 | 96 |
| 5<10 | 60 | 10<20 | 48 |
| 10<15 | 60 | 20<30 | 24 |
| 15<20 | 50 | 25<35 | 24 |
| 20<30 | 40 | 25<40 | 24 |
| 30<40 | 35 | 35<50 | 24 |
| 40<60 | 30 | 40<60 | 24 |
| 60<90 | 25 | 50<75 | 24 |
| 90<120 | 20 | 60<80 | 24 |
| 120<180 | 15 | 60<90 | 24 |
| 180<360 | 10 | 60<120 | 24 |
| 360 | 10 | 120 | 6 |

**C.0.5** 混凝土非稳态氯离子扩散系数应按下式计算：

 （C.0.5）

式中：*D*RCM——混凝土的非稳态氯离子迁移系数，精确到；

*U*——所用电压的绝对值（V）；

*T*——阳极溶液的初始温度和结束温度的平均值（℃）；

*L*——试件厚度（mm），精确到0.1mm；

——氯离子渗透深度的平均值（mm），精确到0.1mm；

*t*——试验持续时间（h）。

**C.0.6** 试验结果的评定应满足下列要求：

**1** 混凝土氯离子扩散系数为三个试样的算术平均值；

**2** 如最大值或最小值之一与中值的差值超过平均值的15%，则取中值为测定值；

**3** 如有两个测值与中值的差值都超过平均值的15%，则该组试验结果无效。

附录D 混凝土中钢筋脱钝临界氯离子浓度的测试方法

**D.0.1** 本试验方法可用于测定混凝土中钢筋脱钝临界氯离子浓度。

**D.0.2** 试验仪器、设备和化学试剂应满足下列要求：

**1** 试验装置如图D.0.2-1所示；

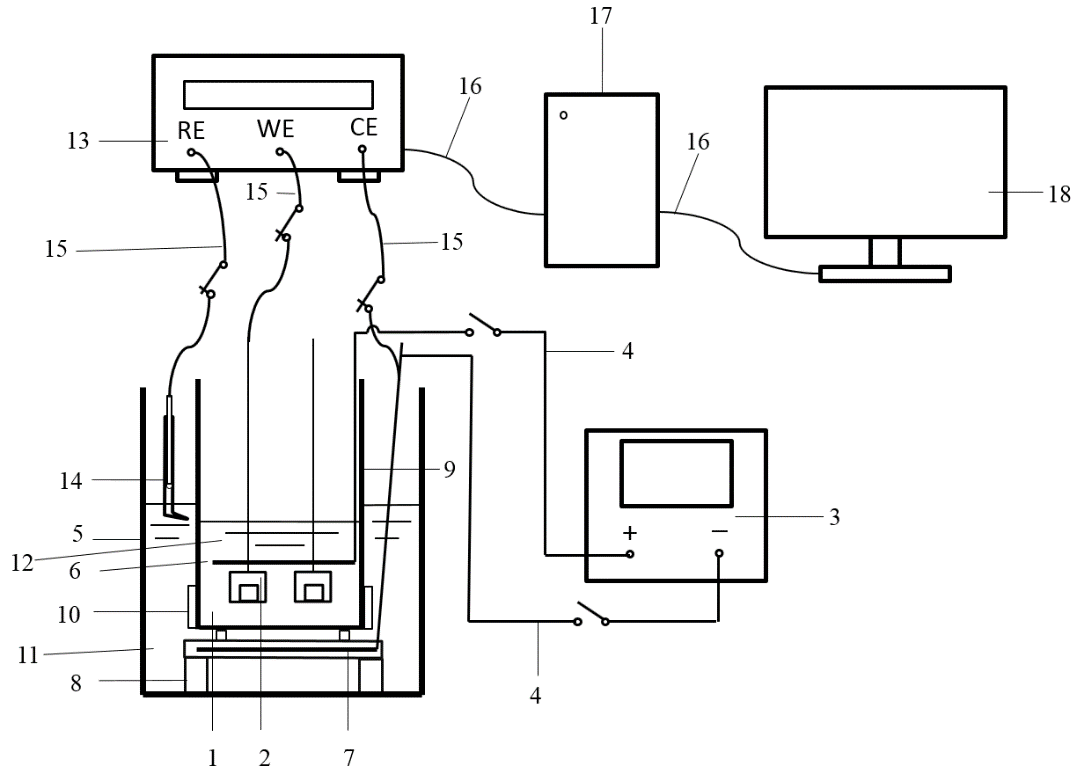
**2** 待测试件为预埋多根钢筋电极的直径为 100mm、高度为 35mm圆柱体混凝土试件，其底面与橡胶套筒下端面平齐；

**3** 钢筋电极由高度为 10 mm、直径为10 mm 的钢筋制成，上端面焊接有长度为20cm的铜芯线，下端面采用水砂纸逐级打磨至镜面，下端面为测试面，其余钢筋表面采用环氧树脂封装。钢筋电极的测试面与待测试件的底面平行，在圆柱体待测试件的横截面内均匀分布，如图D.0.2-2所示；

**4** 配置溶液的水应为符合标准的蒸馏水或去离子水；

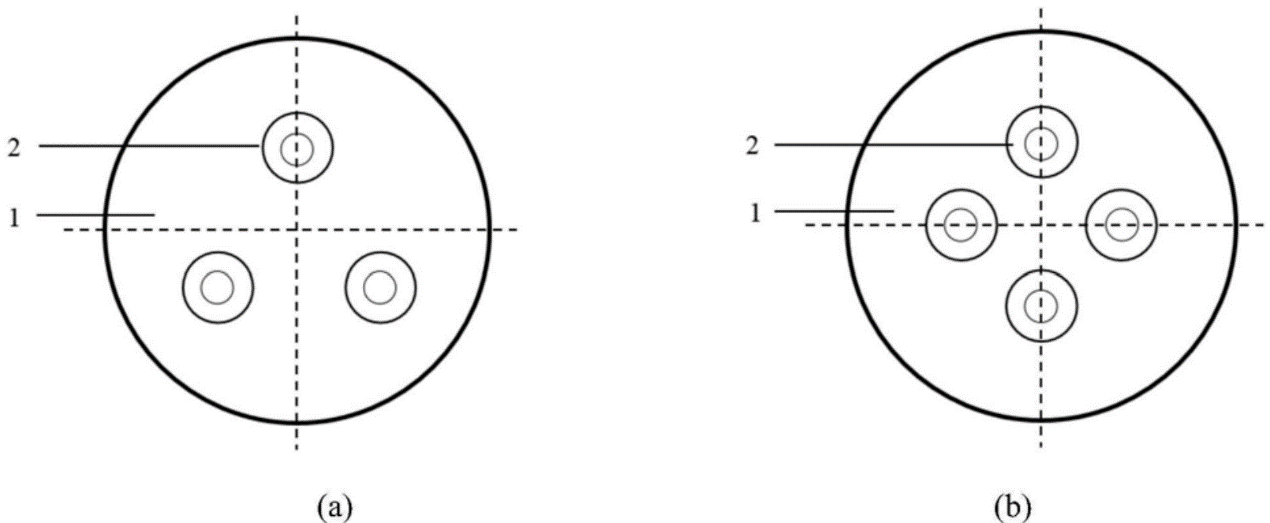
**5** 阳极溶液为化学纯试剂配制的0.3mol/L的氢氧化钠溶液；

**6** 阴极溶液为化学纯试剂配制的质量分数为5%的氯化钠溶液与浓度为0.3mol/L的氢氧化钠溶液。



图D.0.2-1 试验装置示意图

1-待测试件；2-钢筋电极；3-直流电源；4-导线；5-电解质水槽6-阳极导电板；7-阴极导电板；8-支撑架；9-橡胶套筒；10-不锈钢喉箍；11-阴极溶液；12-阳极溶液；13-电化学工作站；14-饱和甘汞电极；15-测试导线；16-数据线；17-电脑主机；18-显示器



图D.0.2-2 待测试件中钢筋电极分布示意图

1-待测试件；2-钢筋电极

**D.0.3** 试验应按照下列步骤进行：

**1** 拌制骨料最大粒径不超过25mm的混凝土，将3~4根钢筋电极倒插进直径为100mm，高度为100mm底部均匀钻3~4孔的圆柱型模具中，使钢筋电极的上端面与塑料模具的内底面接触完好，将混凝土倒入模具中，振捣均匀；

**2** 试件硬化成型后，覆盖塑料薄膜，放入标准养护室养护，养护24h后拆模并进行标准养护；

**3** 待测试件养护龄期达到28天后，利用切割机将试件切割成高度为 35mm 的圆柱体试件，切割过程中保证切割面光滑平整；

**4** 将待测试件放入真空饱水机中，配合饱和氢氧化钙溶液饱水24h；

**5** 利用不锈钢喉箍将待测试件固定在橡胶套筒中，且待测试件底面与橡胶套筒下端面平齐，将二者整体放置在电解质水槽中的支撑架上；

**6** 在待测试件顶面放置阳极导电板，向橡胶套筒中注入300mL阳极溶液，向电解质水槽中注入7L阴极溶液，在待测试件下侧的阴极溶液中放置阴极导电板，利用通电导线将6V直流电源的正极和负极分别与阳极导电板和阴极导电板相连接；

**7** 当通电时间达到48小时后，断开通电导线，将待测试件从电解质水槽中取出静置24小时；

**8** 利用钢筋电极、饱和甘汞电极和阴极导电板分别作为工作电极（WE）、参比电极（RE）和辅助电极（CE），利用测试导线连接好三电极与电化学工作站，测试混凝土中钢筋电极的开路电位、极化电阻和腐蚀电流密度。通过电脑主机和显示器进行测试数据显示、存储和分析，通过电化学测试装置测定并计算腐蚀电流密度特征参数，其计算公式为：

 （D.0.3-1）

式中：*C*——腐蚀电流密度的特征参数；

*in*——第*n*个氯离子电迁移循环的腐蚀电流密测试结果；

*in-*1——第*n*-1个氯离子电迁移循环的腐蚀电流密度测试结果；

*i*1——第1个氯离子电迁移循的腐蚀电流密度测试结果；

*i*0——开展氯离子电迁移循环试验之前的腐蚀电流密度测试结果。

**9** 根据钢筋电极测试面脱钝量化判定准则判定混凝土中钢筋电极的测试面是否发生脱钝，钢筋电极测试面脱钝量化判定准则为：当腐蚀电流密度特征参数*C*≥5时钢筋电极测试面脱钝；当腐蚀电流密度特征参数*C*＜5时钢筋电极测试面未脱钝。如果未脱钝，则重复“通电、静置、测试”过程，直至钢筋电极发生脱钝为止。

**10** 当钢筋电极发生脱钝后，将待测试件劈裂，取钢筋电极测试面附近的混凝土粉末，将其磨碎过筛，并烘干至恒重后测定混凝土中的氯离子含量，即为钢筋脱钝的临界氯离子浓度。

附录E 兼顾强度和耐久性的混凝土配合比参数确定方法

**E.0.1** 本附录适用于海岸工程混凝土配合比设计中水胶比和矿物掺合料掺量的确定。

**E.0.2** 海岸工程混凝土强度等级小于等于C50、掺粉煤灰和粒化高炉矿渣粉的混凝土，可按如下方法确定混凝土配合比参数。

 （E.0.2-1）

（E.0.2-2）

 （E.0.2-3）

 （E.0.2-4）

 （E.0.2-5）

 （E.0.2-6）

其中：

 （E.0.2-7）

 （E.0.2-8）

 （E.0.2-9）

（E.0.2-10）

（E.0.2-11）

 （E.0.2-12）

（E.0.2-13）

（E.0.2-14）

式中：——混凝土粉煤灰掺量计算公式中的系数；

——水泥强度等级值；

——水泥强度等级值的富余系数，可按实际统计资料确定；当缺少统计资料时，对于强度等级值为42.5的水泥，取值为1.16，对于强度等级值为52.5的水泥，取值为1.10；

、——混凝土强度计算模型中的回归系数，可按实际统计资料确定；当缺少统计资料时，对于碎石，取值为0.53，取值为0.20；对于卵石，取值为0.49，取值为0.13。

**E.0.3** 海岸工程混凝土强度等级小于等于C50、掺粉煤灰和粒化高炉矿渣粉的混凝土，如果当地具有足够的实验测试数据，也可根据实验结果建立混凝土强度、初始氯离子扩散系数和龄期衰减系数计算模型，代替式（E.0.2-1）、式（E.0.2-2）和式（E.0.2-3）形成方程组，然后通过联立求解确定混凝土的粉煤灰掺量、粒化高炉矿渣粉掺量和水胶比。

**E.0.4** 海岸工程混凝土强度等级大于C50、掺粉煤灰和粒化高炉矿渣粉的混凝土，应通过专门的分析研究和试验论证，建立混凝土强度计算模型、初始氯离子扩散系数计算模型和龄期衰减系数计算模型代替式（E.0.2-1）、式（E.0.2-2）和式（E.0.2-3）形成方程组，然后通过联立求解确定混凝土的粉煤灰掺量、粒化高炉矿渣粉掺量和水胶比。

附录F 兼顾强度和耐久性的混凝土配合比参数

表F.0.1 C50水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.3）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | 0.31 | 0.02 | 0.50 | 0.29 | 0.06 | 0.54 | 0.26 | 0.09 | 0.58 | 0.23 | 0.12 | 0.62 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | 0.32 | 0.04 | 0.48 | 0.29 | 0.07 | 0.52 | 0.27 | 0.10 | 0.56 | 0.24 | 0.14 | 0.60 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | 0.34 | 0.01 | 0.42 | 0.32 | 0.05 | 0.46 | 0.30 | 0.08 | 0.50 | 0.27 | 0.12 | 0.54 | 0.24 | 0.15 | 0.58 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | 0.35 | 0.03 | 0.40 | 0.32 | 0.06 | 0.44 | 0.30 | 0.10 | 0.48 | 0.27 | 0.13 | 0.52 | 0.25 | 0.16 | 0.56 |
| 2.5 | 78.8 | 0.37 | 0.01 | 0.34 | 0.35 | 0.04 | 0.38 | 0.32 | 0.08 | 0.42 | 0.30 | 0.11 | 0.46 | 0.28 | 0.15 | 0.50 | 0.25 | 0.18 | 0.54 |
| 3.0 | 94.6 | 0.37 | 0.02 | 0.32 | 0.35 | 0.06 | 0.36 | 0.33 | 0.09 | 0.40 | 0.30 | 0.13 | 0.44 | 0.28 | 0.16 | 0.48 | 0.25 | 0.19 | 0.52 |
| 3.5 | 110.4 | 0.37 | 0.03 | 0.30 | 0.35 | 0.07 | 0.34 | 0.33 | 0.10 | 0.38 | 0.30 | 0.14 | 0.42 | 0.28 | 0.17 | 0.46 | 0.26 | 0.21 | 0.50 |
| 4.0 | 126.1 | 0.37 | 0.05 | 0.28 | 0.35 | 0.08 | 0.32 | 0.33 | 0.12 | 0.36 | 0.30 | 0.15 | 0.40 | 0.28 | 0.19 | 0.44 | 0.26 | 0.22 | 0.47 |
| 4.5 | 141.9 | 0.37 | 0.06 | 0.26 | 0.35 | 0.10 | 0.30 | 0.33 | 0.13 | 0.34 | 0.30 | 0.17 | 0.38 | 0.28 | 0.21 | 0.41 | 0.26 | 0.24 | 0.45 |
| 5.0 | 157.7 | 0.36 | 0.08 | 0.24 | 0.35 | 0.11 | 0.28 | 0.33 | 0.15 | 0.32 | 0.30 | 0.19 | 0.35 | 0.28 | 0.22 | 0.39 | 0.26 | 0.26 | 0.43 |
| 5.5 | 173.4 | 0.36 | 0.09 | 0.22 | 0.34 | 0.13 | 0.26 | 0.32 | 0.17 | 0.29 | 0.30 | 0.20 | 0.33 | 0.28 | 0.24 | 0.37 | 0.26 | 0.27 | 0.41 |
| 6.0 | 189.2 | 0.36 | 0.11 | 0.20 | 0.34 | 0.15 | 0.23 | 0.32 | 0.18 | 0.27 | 0.30 | 0.22 | 0.31 | 0.28 | 0.25 | 0.35 | 0.26 | 0.29 | 0.38 |
| 6.5 | 205.0 | 0.35 | 0.13 | 0.17 | 0.34 | 0.16 | 0.21 | 0.32 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.23 | 0.28 | 0.28 | 0.27 | 0.32 | 0.26 | 0.31 | 0.36 |
| 7.0 | 220.8 | 0.35 | 0.15 | 0.15 | 0.33 | 0.18 | 0.18 | 0.32 | 0.22 | 0.22 | 0.30 | 0.25 | 0.26 | 0.28 | 0.29 | 0.30 | 0.26 | 0.32 | 0.34 |
| 7.5 | 236.5 | 0.34 | 0.16 | 0.12 | 0.33 | 0.20 | 0.16 | 0.31 | 0.24 | 0.20 | 0.29 | 0.27 | 0.23 | 0.28 | 0.31 | 0.27 | 0.26 | 0.34 | 0.31 |
| 8.0 | 252.3 | 0.34 | 0.18 | 0.09 | 0.32 | 0.22 | 0.13 | 0.31 | 0.25 | 0.17 | 0.29 | 0.29 | 0.21 | 0.27 | 0.33 | 0.24 | 0.25 | 0.36 | 0.28 |
| 8.5 | 268.1 | 0.33 | 0.21 | 0.06 | 0.32 | 0.24 | 0.10 | 0.30 | 0.28 | 0.14 | 0.28 | 0.31 | 0.18 | 0.27 | 0.35 | 0.22 | 0.25 | 0.38 | 0.25 |
| 9.0 | 283.8 | 0.32 | 0.23 | 0.03 | 0.31 | 0.26 | 0.07 | 0.29 | 0.30 | 0.11 | 0.28 | 0.33 | 0.15 | 0.26 | 0.37 | 0.18 | 0.24 | 0.40 | 0.22 |
| 9.5 | 299.6 | - | - | - | 0.30 | 0.29 | 0.03 | 0.28 | 0.32 | 0.07 | 0.27 | 0.36 | 0.11 | 0.25 | 0.39 | 0.15 | 0.24 | 0.43 | 0.19 |
| 10.0 | 315.4 | - | - | - | - | - | - | 0.27 | 0.35 | 0.04 | 0.26 | 0.38 | 0.08 | 0.24 | 0.42 | 0.11 | 0.23 | 0.45 | 0.15 |
| 10.5 | 331.1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.25 | 0.41 | 0.03 | 0.23 | 0.45 | 0.07 | 0.22 | 0.48 | 0.11 |
| 11.0 | 346.9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.22 | 0.48 | 0.02 | 0.21 | 0.52 | 0.06 |

表F.0.2 C45水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.3）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | 0.35 | 0.01 | 0.52 | 0.32 | 0.04 | 0.56 | 0.29 | 0.08 | 0.59 | 0.26 | 0.11 | 0.63 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | 0.35 | 0.02 | 0.50 | 0.32 | 0.05 | 0.54 | 0.29 | 0.09 | 0.58 | 0.26 | 0.12 | 0.62 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - |  |  |  | 0.35 | 0.03 | 0.48 | 0.33 | 0.07 | 0.52 | 0.30 | 0.10 | 0.56 | 0.27 | 0.14 | 0.60 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | 0.38 | 0.01 | 0.43 | 0.36 | 0.04 | 0.46 | 0.33 | 0.08 | 0.50 | 0.30 | 0.12 | 0.54 | 0.27 | 0.15 | 0.58 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | 0.39 | 0.02 | 0.41 | 0.36 | 0.06 | 0.45 | 0.33 | 0.09 | 0.48 | 0.30 | 0.13 | 0.52 | 0.28 | 0.16 | 0.56 |
| 3.0 | 94.6 | - | - | - | 0.39 | 0.03 | 0.39 | 0.36 | 0.07 | 0.43 | 0.34 | 0.11 | 0.46 | 0.31 | 0.14 | 0.50 | 0.28 | 0.18 | 0.54 |
| 3.5 | 110.4 | 0.41 | 0.01 | 0.34 | 0.39 | 0.05 | 0.37 | 0.36 | 0.08 | 0.41 | 0.34 | 0.12 | 0.45 | 0.31 | 0.16 | 0.48 | 0.28 | 0.19 | 0.52 |
| 4.0 | 126.1 | 0.41 | 0.02 | 0.32 | 0.39 | 0.06 | 0.35 | 0.36 | 0.10 | 0.39 | 0.34 | 0.13 | 0.43 | 0.31 | 0.17 | 0.46 | 0.29 | 0.21 | 0.50 |
| 4.5 | 141.9 | 0.41 | 0.04 | 0.30 | 0.39 | 0.07 | 0.34 | 0.36 | 0.11 | 0.37 | 0.34 | 0.15 | 0.41 | 0.31 | 0.18 | 0.44 | 0.29 | 0.22 | 0.48 |
| 5.0 | 157.7 | 0.41 | 0.05 | 0.28 | 0.39 | 0.09 | 0.32 | 0.36 | 0.12 | 0.35 | 0.34 | 0.16 | 0.39 | 0.32 | 0.20 | 0.42 | 0.29 | 0.24 | 0.46 |
| 5.5 | 173.4 | 0.41 | 0.06 | 0.26 | 0.39 | 0.10 | 0.30 | 0.36 | 0.14 | 0.33 | 0.34 | 0.18 | 0.37 | 0.32 | 0.21 | 0.40 | 0.29 | 0.25 | 0.44 |
| 6.0 | 189.2 | 0.41 | 0.08 | 0.24 | 0.39 | 0.12 | 0.28 | 0.36 | 0.15 | 0.31 | 0.34 | 0.19 | 0.35 | 0.32 | 0.23 | 0.38 | 0.29 | 0.27 | 0.42 |
| 6.5 | 205.0 | 0.40 | 0.09 | 0.22 | 0.38 | 0.13 | 0.26 | 0.36 | 0.17 | 0.29 | 0.34 | 0.21 | 0.32 | 0.32 | 0.24 | 0.36 | 0.29 | 0.28 | 0.40 |
| 7.0 | 220.8 | 0.40 | 0.11 | 0.20 | 0.38 | 0.15 | 0.23 | 0.36 | 0.18 | 0.27 | 0.34 | 0.22 | 0.30 | 0.32 | 0.26 | 0.34 | 0.29 | 0.30 | 0.37 |
| 7.5 | 236.5 | 0.40 | 0.12 | 0.18 | 0.38 | 0.16 | 0.21 | 0.36 | 0.20 | 0.25 | 0.34 | 0.24 | 0.28 | 0.31 | 0.28 | 0.31 | 0.29 | 0.31 | 0.35 |
| 8.0 | 252.3 | 0.39 | 0.14 | 0.15 | 0.37 | 0.18 | 0.19 | 0.35 | 0.22 | 0.22 | 0.33 | 0.25 | 0.26 | 0.31 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.33 | 0.32 |
| 8.5 | 268.1 | 0.39 | 0.16 | 0.13 | 0.37 | 0.20 | 0.16 | 0.35 | 0.23 | 0.20 | 0.33 | 0.27 | 0.23 | 0.31 | 0.31 | 0.27 | 0.29 | 0.35 | 0.30 |
| 9.0 | 283.8 | 0.38 | 0.18 | 0.10 | 0.36 | 0.22 | 0.14 | 0.34 | 0.25 | 0.17 | 0.32 | 0.29 | 0.20 | 0.30 | 0.33 | 0.24 | 0.28 | 0.37 | 0.27 |
| 9.5 | 299.6 | 0.37 | 0.20 | 0.07 | 0.35 | 0.24 | 0.11 | 0.34 | 0.27 | 0.14 | 0.32 | 0.31 | 0.18 | 0.30 | 0.35 | 0.21 | 0.28 | 0.39 | 0.24 |
| 10.0 | 315.4 | 0.36 | 0.22 | 0.04 | 0.35 | 0.26 | 0.08 | 0.33 | 0.29 | 0.11 | 0.31 | 0.33 | 0.15 | 0.29 | 0.37 | 0.18 | 0.27 | 0.41 | 0.21 |
| 10.5 | 331.1 | 0.35 | 0.25 | 0.01 | 0.34 | 0.28 | 0.04 | 0.32 | 0.32 | 0.08 | 0.30 | 0.36 | 0.11 | 0.28 | 0.39 | 0.15 | 0.26 | 0.43 | 0.18 |
| 11.0 | 346.9 | - | - | - | 0.32 | 0.31 | 0.01 | 0.31 | 0.34 | 0.04 | 0.29 | 0.38 | 0.08 | 0.27 | 0.42 | 0.11 | 0.25 | 0.46 | 0.14 |
| 11.5 | 362.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.28 | 0.41 | 0.04 | 0.26 | 0.45 | 0.07 | 0.24 | 0.49 | 0.10 |

表F.0.3 C40水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.3）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.34 | 0.03 | 0.57 | 0.31 | 0.07 | 0.61 | 0.28 | 0.10 | 0.65 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | 0.38 | 0.01 | 0.52 | 0.35 | 0.04 | 0.55 | 0.32 | 0.08 | 0.59 | 0.28 | 0.11 | 0.63 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | 0.38 | 0.02 | 0.50 | 0.35 | 0.05 | 0.54 | 0.32 | 0.09 | 0.57 | 0.29 | 0.13 | 0.61 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | - | - | - | 0.39 | 0.03 | 0.48 | 0.36 | 0.07 | 0.52 | 0.33 | 0.10 | 0.56 | 0.29 | 0.14 | 0.59 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | - | - | - | 0.39 | 0.04 | 0.47 | 0.36 | 0.08 | 0.50 | 0.33 | 0.12 | 0.54 | 0.30 | 0.15 | 0.58 |
| 3.0 | 94.6 | - | - | - | 0.42 | 0.02 | 0.42 | 0.39 | 0.05 | 0.45 | 0.36 | 0.09 | 0.49 | 0.33 | 0.13 | 0.52 | 0.30 | 0.17 | 0.56 |
| 3.5 | 110.4 | - | - | - | 0.42 | 0.03 | 0.40 | 0.40 | 0.07 | 0.43 | 0.37 | 0.10 | 0.47 | 0.34 | 0.14 | 0.50 | 0.31 | 0.18 | 0.54 |
| 4.0 | 126.1 | - | - | - | 0.43 | 0.04 | 0.38 | 0.40 | 0.08 | 0.42 | 0.37 | 0.12 | 0.45 | 0.34 | 0.15 | 0.49 | 0.31 | 0.19 | 0.52 |
| 4.5 | 141.9 | 0.45 | 0.01 | 0.33 | 0.43 | 0.05 | 0.36 | 0.40 | 0.09 | 0.40 | 0.37 | 0.13 | 0.43 | 0.34 | 0.17 | 0.47 | 0.32 | 0.21 | 0.50 |
| 5.0 | 157.7 | 0.45 | 0.03 | 0.31 | 0.43 | 0.07 | 0.35 | 0.40 | 0.10 | 0.38 | 0.37 | 0.14 | 0.41 | 0.35 | 0.18 | 0.45 | 0.32 | 0.22 | 0.48 |
| 5.5 | 173.4 | 0.45 | 0.04 | 0.30 | 0.43 | 0.08 | 0.33 | 0.40 | 0.12 | 0.36 | 0.37 | 0.16 | 0.40 | 0.35 | 0.19 | 0.43 | 0.32 | 0.23 | 0.46 |
| 6.0 | 189.2 | 0.45 | 0.05 | 0.28 | 0.43 | 0.09 | 0.31 | 0.40 | 0.13 | 0.34 | 0.37 | 0.17 | 0.38 | 0.35 | 0.21 | 0.41 | 0.32 | 0.25 | 0.44 |
| 6.5 | 205.0 | 0.45 | 0.07 | 0.26 | 0.42 | 0.11 | 0.29 | 0.40 | 0.14 | 0.32 | 0.37 | 0.18 | 0.36 | 0.35 | 0.22 | 0.39 | 0.32 | 0.26 | 0.42 |
| 7.0 | 220.8 | 0.45 | 0.08 | 0.24 | 0.42 | 0.12 | 0.27 | 0.40 | 0.16 | 0.30 | 0.37 | 0.20 | 0.34 | 0.35 | 0.24 | 0.37 | 0.32 | 0.28 | 0.40 |
| 7.5 | 236.5 | 0.44 | 0.09 | 0.22 | 0.42 | 0.13 | 0.25 | 0.40 | 0.17 | 0.28 | 0.37 | 0.21 | 0.32 | 0.35 | 0.25 | 0.35 | 0.32 | 0.29 | 0.38 |
| 8.0 | 252.3 | 0.44 | 0.11 | 0.20 | 0.42 | 0.15 | 0.23 | 0.39 | 0.19 | 0.26 | 0.37 | 0.23 | 0.29 | 0.35 | 0.27 | 0.33 | 0.32 | 0.31 | 0.36 |
| 8.5 | 268.1 | 0.44 | 0.12 | 0.18 | 0.41 | 0.16 | 0.21 | 0.39 | 0.20 | 0.24 | 0.37 | 0.24 | 0.27 | 0.34 | 0.28 | 0.30 | 0.32 | 0.32 | 0.34 |
| 9.0 | 283.8 | 0.43 | 0.14 | 0.15 | 0.41 | 0.18 | 0.19 | 0.39 | 0.22 | 0.22 | 0.36 | 0.26 | 0.25 | 0.34 | 0.30 | 0.28 | 0.32 | 0.34 | 0.31 |
| 9.5 | 299.6 | 0.42 | 0.16 | 0.13 | 0.40 | 0.20 | 0.16 | 0.38 | 0.24 | 0.19 | 0.36 | 0.28 | 0.22 | 0.34 | 0.32 | 0.26 | 0.31 | 0.36 | 0.29 |
| 10.0 | 315.4 | 0.42 | 0.18 | 0.10 | 0.40 | 0.22 | 0.14 | 0.38 | 0.26 | 0.17 | 0.35 | 0.30 | 0.20 | 0.33 | 0.34 | 0.23 | 0.31 | 0.38 | 0.26 |
| 10.5 | 331.1 | 0.41 | 0.20 | 0.08 | 0.39 | 0.23 | 0.11 | 0.37 | 0.27 | 0.14 | 0.35 | 0.32 | 0.17 | 0.33 | 0.36 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.23 |
| 11.0 | 346.9 | 0.40 | 0.22 | 0.05 | 0.38 | 0.26 | 0.08 | 0.36 | 0.30 | 0.11 | 0.34 | 0.34 | 0.14 | 0.32 | 0.38 | 0.17 | 0.30 | 0.42 | 0.20 |
| 11.5 | 362.7 | 0.39 | 0.24 | 0.01 | 0.37 | 0.28 | 0.05 | 0.35 | 0.32 | 0.08 | 0.33 | 0.36 | 0.11 | 0.31 | 0.40 | 0.14 | 0.29 | 0.44 | 0.17 |
| 12.0 | 378.4 | - | - | - | 0.36 | 0.30 | 0.01 | 0.34 | 0.34 | 0.04 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

表F.0.4 C35水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.3）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.37 | 0.02 | 0.59 | 0.34 | 0.06 | 0.62 | 0.30 | 0.09 | 0.66 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.38 | 0.03 | 0.57 | 0.34 | 0.07 | 0.61 | 0.31 | 0.10 | 0.64 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.39 | 0.04 | 0.56 | 0.35 | 0.08 | 0.59 | 0.31 | 0.12 | 0.63 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | - | - | - | 0.42 | 0.01 | 0.51 | 0.39 | 0.05 | 0.54 | 0.36 | 0.09 | 0.58 | 0.32 | 0.13 | 0.61 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.03 | 0.49 | 0.39 | 0.06 | 0.52 | 0.36 | 0.10 | 0.56 | 0.33 | 0.14 | 0.59 |
| 3.0 | 94.6 | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.04 | 0.48 | 0.40 | 0.08 | 0.51 | 0.37 | 0.11 | 0.54 | 0.33 | 0.15 | 0.58 |
| 3.5 | 110.4 | - | - | - | 0.47 | 0.01 | 0.43 | 0.43 | 0.05 | 0.46 | 0.40 | 0.09 | 0.49 | 0.37 | 0.13 | 0.53 | 0.34 | 0.16 | 0.56 |
| 4.0 | 126.1 | - | - | - | 0.47 | 0.02 | 0.41 | 0.44 | 0.06 | 0.44 | 0.41 | 0.10 | 0.48 | 0.37 | 0.14 | 0.51 | 0.34 | 0.18 | 0.54 |
| 4.5 | 141.9 | - | - | - | 0.47 | 0.03 | 0.39 | 0.44 | 0.07 | 0.43 | 0.41 | 0.11 | 0.46 | 0.38 | 0.15 | 0.49 | 0.35 | 0.19 | 0.52 |
| 5.0 | 157.7 | - | - | - | 0.47 | 0.04 | 0.38 | 0.44 | 0.08 | 0.41 | 0.41 | 0.12 | 0.44 | 0.38 | 0.16 | 0.47 | 0.35 | 0.20 | 0.51 |
| 5.5 | 173.4 | 0.50 | 0.01 | 0.33 | 0.47 | 0.05 | 0.36 | 0.44 | 0.09 | 0.39 | 0.41 | 0.13 | 0.43 | 0.38 | 0.17 | 0.46 | 0.35 | 0.21 | 0.49 |
| 6.0 | 189.2 | 0.50 | 0.03 | 0.31 | 0.47 | 0.07 | 0.35 | 0.44 | 0.11 | 0.38 | 0.41 | 0.15 | 0.41 | 0.38 | 0.19 | 0.44 | 0.35 | 0.23 | 0.47 |
| 6.5 | 205.0 | 0.50 | 0.04 | 0.30 | 0.47 | 0.08 | 0.33 | 0.44 | 0.12 | 0.36 | 0.41 | 0.16 | 0.39 | 0.39 | 0.20 | 0.42 | 0.36 | 0.24 | 0.45 |
| 7.0 | 220.8 | 0.50 | 0.05 | 0.28 | 0.47 | 0.09 | 0.31 | 0.44 | 0.13 | 0.34 | 0.41 | 0.17 | 0.37 | 0.39 | 0.21 | 0.40 | 0.36 | 0.25 | 0.43 |
| 7.5 | 236.5 | 0.50 | 0.06 | 0.26 | 0.47 | 0.10 | 0.29 | 0.44 | 0.14 | 0.32 | 0.41 | 0.19 | 0.35 | 0.39 | 0.23 | 0.38 | 0.36 | 0.27 | 0.41 |
| 8.0 | 252.3 | 0.49 | 0.08 | 0.24 | 0.47 | 0.12 | 0.27 | 0.44 | 0.16 | 0.30 | 0.41 | 0.20 | 0.33 | 0.39 | 0.24 | 0.36 | 0.36 | 0.28 | 0.39 |
| 8.5 | 268.1 | 0.49 | 0.09 | 0.22 | 0.47 | 0.13 | 0.26 | 0.44 | 0.17 | 0.29 | 0.41 | 0.21 | 0.31 | 0.38 | 0.25 | 0.34 | 0.36 | 0.30 | 0.37 |
| 9.0 | 283.8 | 0.49 | 0.10 | 0.21 | 0.46 | 0.14 | 0.24 | 0.44 | 0.19 | 0.27 | 0.41 | 0.23 | 0.29 | 0.38 | 0.27 | 0.32 | 0.35 | 0.31 | 0.35 |
| 9.5 | 299.6 | 0.48 | 0.12 | 0.19 | 0.46 | 0.16 | 0.22 | 0.43 | 0.20 | 0.24 | 0.41 | 0.24 | 0.27 | 0.38 | 0.28 | 0.30 | 0.35 | 0.33 | 0.33 |
| 10.0 | 315.4 | 0.48 | 0.13 | 0.16 | 0.45 | 0.17 | 0.19 | 0.43 | 0.22 | 0.22 | 0.40 | 0.26 | 0.25 | 0.38 | 0.30 | 0.28 | 0.35 | 0.34 | 0.31 |
| 10.5 | 331.1 | 0.47 | 0.15 | 0.14 | 0.45 | 0.19 | 0.17 | 0.42 | 0.23 | 0.20 | 0.40 | 0.27 | 0.23 | 0.37 | 0.32 | 0.26 | 0.35 | 0.36 | 0.28 |
| 11.0 | 346.9 | 0.47 | 0.17 | 0.12 | 0.44 | 0.21 | 0.15 | 0.42 | 0.25 | 0.18 | 0.39 | 0.29 | 0.20 | 0.37 | 0.34 | 0.23 | 0.34 | 0.38 | 0.26 |
| 11.5 | 362.7 | 0.46 | 0.18 | 0.09 | 0.44 | 0.22 | 0.12 | 0.41 | 0.27 | 0.15 | 0.39 | 0.31 | 0.18 | 0.36 | 0.35 | 0.20 | 0.33 | 0.40 | 0.23 |
| 12.0 | 378.4 | - | - | - | 0.43 | 0.24 | 0.10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12.5 | 394.2 | - | - | - | 0.42 | 0.27 | 0.07 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13.0 | 410.0 | - | - | - | 0.40 | 0.29 | 0.03 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

表F.0.5 C30水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.3）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.37 | 0.04 | 0.64 | 0.33 | 0.08 | 0.68 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.42 | 0.02 | 0.59 | 0.38 | 0.05 | 0.63 | 0.34 | 0.09 | 0.66 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.42 | 0.03 | 0.58 | 0.38 | 0.06 | 0.61 | 0.34 | 0.10 | 0.65 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.04 | 0.56 | 0.39 | 0.08 | 0.60 | 0.35 | 0.11 | 0.63 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | - | - | - | 0.47 | 0.01 | 0.52 | 0.44 | 0.05 | 0.55 | 0.40 | 0.09 | 0.58 | 0.36 | 0.13 | 0.61 |
| 3.0 | 94.6 | - | - | - | - | - | - | 0.48 | 0.02 | 0.50 | 0.44 | 0.06 | 0.53 | 0.40 | 0.10 | 0.57 | 0.37 | 0.14 | 0.60 |
| 3.5 | 110.4 | - | - | - | - | - | - | 0.48 | 0.03 | 0.49 | 0.44 | 0.07 | 0.52 | 0.41 | 0.11 | 0.55 | 0.37 | 0.15 | 0.58 |
| 4.0 | 126.1 | - | - | - | - | - | - | 0.48 | 0.04 | 0.47 | 0.45 | 0.08 | 0.50 | 0.41 | 0.12 | 0.53 | 0.38 | 0.16 | 0.57 |
| 4.5 | 141.9 | - | - | - | 0.52 | 0.01 | 0.43 | 0.49 | 0.05 | 0.46 | 0.45 | 0.09 | 0.49 | 0.42 | 0.13 | 0.52 | 0.38 | 0.17 | 0.55 |
| 5.0 | 157.7 | - | - | - | 0.52 | 0.02 | 0.41 | 0.49 | 0.06 | 0.44 | 0.46 | 0.10 | 0.47 | 0.42 | 0.14 | 0.50 | 0.39 | 0.18 | 0.53 |
| 5.5 | 173.4 | - | - | - | 0.53 | 0.03 | 0.40 | 0.49 | 0.07 | 0.43 | 0.46 | 0.11 | 0.46 | 0.42 | 0.15 | 0.49 | 0.39 | 0.19 | 0.52 |
| 6.0 | 189.2 | - | - | - | 0.53 | 0.04 | 0.38 | 0.49 | 0.08 | 0.41 | 0.46 | 0.12 | 0.44 | 0.43 | 0.16 | 0.47 | 0.39 | 0.21 | 0.50 |
| 6.5 | 205.0 | 0.56 | 0.01 | 0.34 | 0.53 | 0.05 | 0.37 | 0.50 | 0.09 | 0.40 | 0.46 | 0.13 | 0.43 | 0.43 | 0.18 | 0.45 | 0.40 | 0.22 | 0.48 |
| 7.0 | 220.8 | 0.56 | 0.02 | 0.32 | 0.53 | 0.06 | 0.35 | 0.50 | 0.10 | 0.38 | 0.46 | 0.15 | 0.41 | 0.43 | 0.19 | 0.44 | 0.40 | 0.23 | 0.47 |
| 7.5 | 236.5 | 0.56 | 0.03 | 0.31 | 0.53 | 0.07 | 0.34 | 0.50 | 0.12 | 0.36 | 0.46 | 0.16 | 0.39 | 0.43 | 0.20 | 0.42 | 0.40 | 0.24 | 0.45 |
| 8.0 | 252.3 | 0.56 | 0.04 | 0.29 | 0.53 | 0.09 | 0.32 | 0.50 | 0.13 | 0.35 | 0.46 | 0.17 | 0.38 | 0.43 | 0.21 | 0.40 | 0.40 | 0.25 | 0.43 |
| 8.5 | 268.1 | 0.56 | 0.05 | 0.27 | 0.53 | 0.10 | 0.30 | 0.50 | 0.14 | 0.33 | 0.46 | 0.18 | 0.36 | 0.43 | 0.23 | 0.39 | 0.40 | 0.27 | 0.41 |
| 9.0 | 283.8 | 0.55 | 0.07 | 0.26 | 0.52 | 0.11 | 0.29 | 0.49 | 0.15 | 0.31 | 0.46 | 0.19 | 0.34 | 0.43 | 0.24 | 0.37 | 0.40 | 0.28 | 0.39 |
| 9.5 | 299.6 | 0.55 | 0.08 | 0.24 | 0.52 | 0.12 | 0.27 | 0.49 | 0.16 | 0.30 | 0.46 | 0.21 | 0.32 | 0.43 | 0.25 | 0.35 | 0.40 | 0.29 | 0.38 |
| 10.0 | 315.4 | 0.55 | 0.09 | 0.22 | 0.52 | 0.13 | 0.25 | 0.49 | 0.18 | 0.28 | 0.46 | 0.22 | 0.30 | 0.43 | 0.27 | 0.33 | 0.40 | 0.31 | 0.36 |
| 10.5 | 331.1 | 0.55 | 0.10 | 0.20 | 0.52 | 0.15 | 0.23 | 0.49 | 0.19 | 0.26 | 0.46 | 0.24 | 0.28 | 0.43 | 0.28 | 0.31 | 0.40 | 0.32 | 0.33 |
| 11.0 | 346.9 | 0.54 | 0.12 | 0.19 | 0.51 | 0.16 | 0.21 | 0.48 | 0.21 | 0.24 | 0.45 | 0.25 | 0.26 | 0.42 | 0.29 | 0.29 | 0.39 | 0.34 | 0.31 |
| 11.5 | 362.7 | 0.54 | 0.13 | 0.17 | 0.51 | 0.18 | 0.19 | 0.48 | 0.22 | 0.22 | 0.45 | 0.26 | 0.24 | 0.42 | 0.31 | 0.27 | 0.39 | 0.36 | 0.29 |

表F.0.6 C50水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.2）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*= 0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | 0.31 | 0.02 | 0.49 | 0.29 | 0.06 | 0.53 | 0.26 | 0.09 | 0.57 | 0.23 | 0.12 | 0.62 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | 0.32 | 0.04 | 0.47 | 0.29 | 0.07 | 0.51 | 0.27 | 0.11 | 0.55 | 0.24 | 0.14 | 0.59 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | 0.35 | 0.02 | 0.41 | 0.32 | 0.05 | 0.45 | 0.30 | 0.09 | 0.49 | 0.27 | 0.12 | 0.53 | 0.24 | 0.16 | 0.57 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | 0.35 | 0.03 | 0.39 | 0.32 | 0.07 | 0.43 | 0.30 | 0.10 | 0.47 | 0.27 | 0.14 | 0.51 | 0.25 | 0.17 | 0.55 |
| 2.5 | 78.8 | 0.37 | 0.01 | 0.33 | 0.35 | 0.05 | 0.37 | 0.32 | 0.08 | 0.41 | 0.30 | 0.12 | 0.45 | 0.28 | 0.15 | 0.48 | 0.25 | 0.19 | 0.52 |
| 3.0 | 94.6 | 0.37 | 0.03 | 0.31 | 0.35 | 0.07 | 0.35 | 0.33 | 0.10 | 0.38 | 0.30 | 0.14 | 0.42 | 0.28 | 0.17 | 0.46 | 0.26 | 0.21 | 0.50 |
| 3.5 | 110.4 | 0.37 | 0.05 | 0.29 | 0.35 | 0.08 | 0.32 | 0.33 | 0.12 | 0.36 | 0.30 | 0.15 | 0.40 | 0.28 | 0.19 | 0.44 | 0.26 | 0.22 | 0.48 |
| 4.0 | 126.1 | 0.37 | 0.06 | 0.26 | 0.35 | 0.10 | 0.30 | 0.33 | 0.13 | 0.34 | 0.30 | 0.17 | 0.38 | 0.28 | 0.20 | 0.41 | 0.26 | 0.24 | 0.45 |
| 4.5 | 141.9 | 0.36 | 0.08 | 0.24 | 0.35 | 0.12 | 0.28 | 0.33 | 0.15 | 0.31 | 0.30 | 0.19 | 0.35 | 0.28 | 0.22 | 0.39 | 0.26 | 0.26 | 0.43 |
| 5.0 | 157.7 | 0.36 | 0.10 | 0.21 | 0.34 | 0.13 | 0.25 | 0.32 | 0.17 | 0.29 | 0.30 | 0.20 | 0.33 | 0.28 | 0.24 | 0.36 | 0.26 | 0.28 | 0.40 |
| 5.5 | 173.4 | 0.36 | 0.12 | 0.19 | 0.34 | 0.15 | 0.23 | 0.32 | 0.19 | 0.26 | 0.30 | 0.22 | 0.30 | 0.28 | 0.26 | 0.34 | 0.26 | 0.29 | 0.38 |
| 6.0 | 189.2 | 0.35 | 0.14 | 0.16 | 0.34 | 0.17 | 0.20 | 0.32 | 0.21 | 0.24 | 0.30 | 0.24 | 0.27 | 0.28 | 0.28 | 0.31 | 0.26 | 0.31 | 0.35 |
| 6.5 | 205.0 | 0.35 | 0.16 | 0.13 | 0.33 | 0.19 | 0.17 | 0.31 | 0.23 | 0.21 | 0.30 | 0.26 | 0.24 | 0.28 | 0.30 | 0.28 | 0.26 | 0.33 | 0.32 |
| 7.0 | 220.8 | 0.34 | 0.18 | 0.10 | 0.32 | 0.21 | 0.14 | 0.31 | 0.25 | 0.18 | 0.29 | 0.28 | 0.21 | 0.27 | 0.32 | 0.25 | 0.25 | 0.36 | 0.29 |
| 7.5 | 236.5 | 0.33 | 0.20 | 0.07 | 0.32 | 0.24 | 0.11 | 0.30 | 0.27 | 0.14 | 0.28 | 0.31 | 0.18 | 0.27 | 0.34 | 0.22 | 0.25 | 0.38 | 0.26 |
| 8.0 | 252.3 | 0.32 | 0.23 | 0.03 | 0.31 | 0.26 | 0.07 | 0.29 | 0.30 | 0.11 | 0.28 | 0.33 | 0.15 | 0.26 | 0.37 | 0.19 | 0.24 | 0.40 | 0.22 |
| 8.5 | 268.1 | - | - | - | 0.30 | 0.29 | 0.03 | 0.28 | 0.32 | 0.07 | 0.27 | 0.36 | 0.11 | 0.25 | 0.39 | 0.15 | 0.24 | 0.43 | 0.19 |
| 9.0 | 283.8 | - | - | - | - | - | - | 0.27 | 0.36 | 0.03 | 0.26 | 0.39 | 0.07 | 0.24 | 0.42 | 0.11 | 0.23 | 0.46 | 0.14 |
| 9.5 | 299.6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.24 | 0.43 | 0.02 | 0.23 | 0.46 | 0.06 | 0.21 | 0.49 | 0.10 |
| 10.0 | 315.4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.20 | 0.54 | 0.04 |

表F.0.7 C45水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.2）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | 0.35 | 0.01 | 0.51 | 0.32 | 0.04 | 0.55 | 0.29 | 0.08 | 0.59 | 0.26 | 0.11 | 0.63 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | 0.35 | 0.02 | 0.50 | 0.32 | 0.06 | 0.53 | 0.29 | 0.09 | 0.57 | 0.26 | 0.13 | 0.61 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | 0.36 | 0.04 | 0.48 | 0.33 | 0.07 | 0.51 | 0.30 | 0.11 | 0.55 | 0.27 | 0.14 | 0.59 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | 0.38 | 0.01 | 0.42 | 0.36 | 0.05 | 0.46 | 0.33 | 0.09 | 0.49 | 0.30 | 0.12 | 0.53 | 0.27 | 0.16 | 0.57 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | 0.39 | 0.03 | 0.40 | 0.36 | 0.07 | 0.43 | 0.33 | 0.10 | 0.47 | 0.31 | 0.14 | 0.51 | 0.28 | 0.17 | 0.55 |
| 3.0 | 94.6 | 0.41 | 0.01 | 0.34 | 0.39 | 0.04 | 0.38 | 0.36 | 0.08 | 0.41 | 0.34 | 0.12 | 0.45 | 0.31 | 0.15 | 0.49 | 0.28 | 0.19 | 0.52 |
| 3.5 | 110.4 | 0.41 | 0.02 | 0.32 | 0.39 | 0.06 | 0.36 | 0.36 | 0.09 | 0.39 | 0.34 | 0.13 | 0.43 | 0.31 | 0.17 | 0.47 | 0.29 | 0.20 | 0.50 |
| 4.0 | 126.1 | 0.41 | 0.04 | 0.30 | 0.39 | 0.07 | 0.34 | 0.36 | 0.11 | 0.37 | 0.34 | 0.15 | 0.41 | 0.31 | 0.18 | 0.44 | 0.29 | 0.22 | 0.48 |
| 4.5 | 141.9 | 0.41 | 0.05 | 0.28 | 0.39 | 0.09 | 0.31 | 0.36 | 0.13 | 0.35 | 0.34 | 0.16 | 0.39 | 0.32 | 0.20 | 0.42 | 0.29 | 0.24 | 0.46 |
| 5.0 | 157.7 | 0.41 | 0.07 | 0.26 | 0.39 | 0.10 | 0.29 | 0.36 | 0.14 | 0.33 | 0.34 | 0.18 | 0.36 | 0.32 | 0.22 | 0.40 | 0.29 | 0.25 | 0.43 |
| 5.5 | 173.4 | 0.41 | 0.08 | 0.23 | 0.38 | 0.12 | 0.27 | 0.36 | 0.16 | 0.30 | 0.34 | 0.20 | 0.34 | 0.32 | 0.23 | 0.37 | 0.29 | 0.27 | 0.41 |
| 6.0 | 189.2 | 0.40 | 0.10 | 0.21 | 0.38 | 0.14 | 0.25 | 0.36 | 0.18 | 0.28 | 0.34 | 0.21 | 0.31 | 0.32 | 0.25 | 0.35 | 0.29 | 0.29 | 0.38 |
| 6.5 | 205.0 | 0.40 | 0.12 | 0.19 | 0.38 | 0.16 | 0.22 | 0.36 | 0.19 | 0.25 | 0.34 | 0.23 | 0.29 | 0.31 | 0.27 | 0.32 | 0.29 | 0.31 | 0.36 |
| 7.0 | 220.8 | 0.39 | 0.14 | 0.16 | 0.37 | 0.17 | 0.19 | 0.35 | 0.21 | 0.23 | 0.33 | 0.25 | 0.26 | 0.31 | 0.29 | 0.30 | 0.29 | 0.33 | 0.33 |
| 7.5 | 236.5 | 0.39 | 0.16 | 0.13 | 0.37 | 0.19 | 0.17 | 0.35 | 0.23 | 0.20 | 0.33 | 0.27 | 0.24 | 0.31 | 0.31 | 0.27 | 0.29 | 0.35 | 0.30 |
| 8.0 | 252.3 | 0.38 | 0.18 | 0.10 | 0.36 | 0.21 | 0.14 | 0.34 | 0.25 | 0.17 | 0.32 | 0.29 | 0.21 | 0.30 | 0.33 | 0.24 | 0.28 | 0.37 | 0.27 |
| 8.5 | 268.1 | 0.37 | 0.20 | 0.07 | 0.35 | 0.24 | 0.11 | 0.34 | 0.27 | 0.14 | 0.32 | 0.31 | 0.17 | 0.30 | 0.35 | 0.21 | 0.28 | 0.39 | 0.24 |
| 9.0 | 283.8 | 0.36 | 0.23 | 0.03 | 0.34 | 0.26 | 0.07 | 0.33 | 0.30 | 0.11 | 0.31 | 0.34 | 0.14 | 0.29 | 0.38 | 0.17 | 0.27 | 0.41 | 0.21 |
| 9.5 | 299.6 | - | - | - | 0.33 | 0.29 | 0.03 | 0.32 | 0.33 | 0.07 | 0.30 | 0.36 | 0.10 | 0.28 | 0.40 | 0.14 | 0.26 | 0.44 | 0.17 |
| 10.0 | 315.4 | - | - | - | - | - | - | 0.30 | 0.36 | 0.02 | 0.29 | 0.40 | 0.06 | 0.27 | 0.43 | 0.09 | 0.25 | 0.47 | 0.13 |
| 10.5 | 331.1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.27 | 0.43 | 0.01 | 0.25 | 0.47 | 0.04 | 0.23 | 0.51 | 0.07 |

表F.0.8 C40水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.2）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.34 | 0.03 | 0.57 | 0.31 | 0.07 | 0.61 | 0.28 | 0.10 | 0.64 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | 0.38 | 0.01 | 0.51 | 0.35 | 0.05 | 0.55 | 0.32 | 0.08 | 0.59 | 0.28 | 0.12 | 0.62 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | 0.39 | 0.02 | 0.50 | 0.35 | 0.06 | 0.53 | 0.32 | 0.10 | 0.57 | 0.29 | 0.13 | 0.60 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | - | - | - | 0.39 | 0.04 | 0.48 | 0.36 | 0.07 | 0.51 | 0.33 | 0.11 | 0.55 | 0.30 | 0.15 | 0.58 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | 0.42 | 0.01 | 0.42 | 0.39 | 0.05 | 0.46 | 0.36 | 0.09 | 0.49 | 0.33 | 0.12 | 0.53 | 0.30 | 0.16 | 0.56 |
| 3.0 | 94.6 | - | - | - | 0.42 | 0.02 | 0.40 | 0.40 | 0.06 | 0.44 | 0.37 | 0.10 | 0.47 | 0.34 | 0.14 | 0.51 | 0.31 | 0.18 | 0.54 |
| 3.5 | 110.4 | - | - | - | 0.42 | 0.04 | 0.38 | 0.40 | 0.08 | 0.42 | 0.37 | 0.11 | 0.45 | 0.34 | 0.15 | 0.49 | 0.31 | 0.19 | 0.52 |
| 4.0 | 126.1 | 0.45 | 0.01 | 0.33 | 0.43 | 0.05 | 0.36 | 0.40 | 0.09 | 0.40 | 0.37 | 0.13 | 0.43 | 0.34 | 0.17 | 0.47 | 0.32 | 0.20 | 0.50 |
| 4.5 | 141.9 | 0.45 | 0.03 | 0.31 | 0.43 | 0.07 | 0.34 | 0.40 | 0.11 | 0.38 | 0.37 | 0.14 | 0.41 | 0.35 | 0.18 | 0.45 | 0.32 | 0.22 | 0.48 |
| 5.0 | 157.7 | 0.45 | 0.04 | 0.29 | 0.43 | 0.08 | 0.32 | 0.40 | 0.12 | 0.36 | 0.37 | 0.16 | 0.39 | 0.35 | 0.20 | 0.42 | 0.32 | 0.24 | 0.46 |
| 5.5 | 173.4 | 0.45 | 0.06 | 0.27 | 0.42 | 0.10 | 0.30 | 0.40 | 0.14 | 0.34 | 0.37 | 0.17 | 0.37 | 0.35 | 0.21 | 0.40 | 0.32 | 0.25 | 0.44 |
| 6.0 | 189.2 | 0.45 | 0.07 | 0.25 | 0.42 | 0.11 | 0.28 | 0.40 | 0.15 | 0.31 | 0.37 | 0.19 | 0.35 | 0.35 | 0.23 | 0.38 | 0.32 | 0.27 | 0.41 |
| 6.5 | 205.0 | 0.44 | 0.09 | 0.23 | 0.42 | 0.13 | 0.26 | 0.40 | 0.17 | 0.29 | 0.37 | 0.21 | 0.32 | 0.35 | 0.25 | 0.36 | 0.32 | 0.28 | 0.39 |
| 7.0 | 220.8 | 0.44 | 0.10 | 0.20 | 0.42 | 0.14 | 0.24 | 0.39 | 0.18 | 0.27 | 0.37 | 0.22 | 0.30 | 0.35 | 0.26 | 0.33 | 0.32 | 0.30 | 0.37 |
| 7.5 | 236.5 | 0.44 | 0.12 | 0.18 | 0.41 | 0.16 | 0.21 | 0.39 | 0.20 | 0.24 | 0.37 | 0.24 | 0.28 | 0.34 | 0.28 | 0.31 | 0.32 | 0.32 | 0.34 |
| 8.0 | 252.3 | 0.43 | 0.14 | 0.15 | 0.41 | 0.18 | 0.19 | 0.39 | 0.22 | 0.22 | 0.36 | 0.26 | 0.25 | 0.34 | 0.30 | 0.28 | 0.32 | 0.34 | 0.31 |
| 8.5 | 268.1 | 0.42 | 0.16 | 0.13 | 0.40 | 0.20 | 0.16 | 0.38 | 0.24 | 0.19 | 0.36 | 0.28 | 0.22 | 0.34 | 0.32 | 0.25 | 0.31 | 0.36 | 0.28 |
| 9.0 | 283.8 | 0.42 | 0.18 | 0.10 | 0.40 | 0.22 | 0.13 | 0.37 | 0.26 | 0.16 | 0.35 | 0.30 | 0.19 | 0.33 | 0.34 | 0.22 | 0.31 | 0.38 | 0.25 |
| 9.5 | 299.6 | 0.41 | 0.20 | 0.07 | 0.39 | 0.24 | 0.10 | 0.37 | 0.28 | 0.13 | 0.34 | 0.32 | 0.16 | 0.32 | 0.36 | 0.19 | 0.30 | 0.40 | 0.22 |
| 10.0 | 315.4 | 0.39 | 0.23 | 0.03 | 0.38 | 0.27 | 0.07 | 0.36 | 0.31 | 0.10 | 0.34 | 0.35 | 0.13 | 0.31 | 0.39 | 0.16 | 0.29 | 0.43 | 0.19 |
| 10.5 | 331.1 | - | - | - | 0.36 | 0.29 | 0.03 | 0.34 | 0.33 | 0.06 | 0.32 | 0.37 | 0.09 | 0.30 | 0.42 | 0.12 | 0.28 | 0.46 | 0.15 |
| 11.0 | 346.9 | - | - | - | - | - | - | 0.33 | 0.36 | 0.01 | 0.31 | 0.41 | 0.04 | 0.29 | 0.45 | 0.07 | 0.27 | 0.49 | 0.10 |
| 11.5 | 362.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.27 | 0.49 | 0.01 | 0.24 | 0.54 | 0.04 |

表F.0.9 C35水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.2）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.37 | 0.02 | 0.59 | 0.34 | 0.06 | 0.62 | 0.30 | 0.09 | 0.66 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.38 | 0.03 | 0.57 | 0.35 | 0.07 | 0.60 | 0.31 | 0.11 | 0.64 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | 0.42 | 0.01 | 0.52 | 0.39 | 0.04 | 0.55 | 0.35 | 0.08 | 0.59 | 0.32 | 0.12 | 0.62 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.02 | 0.50 | 0.39 | 0.06 | 0.53 | 0.36 | 0.10 | 0.57 | 0.32 | 0.13 | 0.60 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.03 | 0.48 | 0.40 | 0.07 | 0.51 | 0.36 | 0.11 | 0.55 | 0.33 | 0.15 | 0.58 |
| 3.0 | 94.6 | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.04 | 0.46 | 0.40 | 0.08 | 0.50 | 0.37 | 0.12 | 0.53 | 0.34 | 0.16 | 0.56 |
| 3.5 | 110.4 | - | - | - | 0.47 | 0.01 | 0.43 | 0.44 | 0.06 | 0.45 | 0.41 | 0.10 | 0.48 | 0.37 | 0.14 | 0.51 | 0.34 | 0.17 | 0.54 |
| 4.0 | 126.1 | - | - | - | 0.47 | 0.02 | 0.41 | 0.44 | 0.07 | 0.43 | 0.41 | 0.11 | 0.46 | 0.38 | 0.15 | 0.49 | 0.35 | 0.19 | 0.53 |
| 4.5 | 141.9 | - | - | - | 0.47 | 0.03 | 0.40 | 0.44 | 0.08 | 0.41 | 0.41 | 0.12 | 0.44 | 0.38 | 0.16 | 0.47 | 0.35 | 0.20 | 0.51 |
| 5.0 | 157.7 | - | - | - | 0.47 | 0.04 | 0.38 | 0.44 | 0.10 | 0.39 | 0.41 | 0.14 | 0.42 | 0.38 | 0.18 | 0.45 | 0.35 | 0.22 | 0.49 |
| 5.5 | 173.4 | 0.50 | 0.02 | 0.33 | 0.47 | 0.06 | 0.36 | 0.44 | 0.11 | 0.37 | 0.41 | 0.15 | 0.40 | 0.38 | 0.19 | 0.43 | 0.35 | 0.23 | 0.46 |
| 6.0 | 189.2 | 0.50 | 0.03 | 0.31 | 0.47 | 0.07 | 0.34 | 0.44 | 0.13 | 0.35 | 0.41 | 0.17 | 0.38 | 0.39 | 0.21 | 0.41 | 0.36 | 0.25 | 0.44 |
| 6.5 | 205.0 | 0.50 | 0.04 | 0.29 | 0.47 | 0.08 | 0.32 | 0.44 | 0.14 | 0.33 | 0.41 | 0.18 | 0.36 | 0.39 | 0.22 | 0.39 | 0.36 | 0.26 | 0.42 |
| 7.0 | 220.8 | 0.50 | 0.06 | 0.27 | 0.47 | 0.10 | 0.30 | 0.44 | 0.15 | 0.31 | 0.41 | 0.20 | 0.34 | 0.39 | 0.24 | 0.37 | 0.36 | 0.28 | 0.40 |
| 7.5 | 236.5 | 0.49 | 0.07 | 0.25 | 0.47 | 0.11 | 0.28 | 0.44 | 0.17 | 0.29 | 0.41 | 0.21 | 0.32 | 0.38 | 0.25 | 0.35 | 0.36 | 0.29 | 0.38 |
| 8.0 | 252.3 | 0.49 | 0.09 | 0.23 | 0.47 | 0.13 | 0.26 | 0.44 | 0.19 | 0.27 | 0.41 | 0.23 | 0.30 | 0.38 | 0.27 | 0.32 | 0.35 | 0.31 | 0.35 |
| 8.5 | 268.1 | 0.49 | 0.10 | 0.21 | 0.46 | 0.14 | 0.24 | 0.43 | 0.20 | 0.24 | 0.41 | 0.24 | 0.27 | 0.38 | 0.29 | 0.30 | 0.35 | 0.33 | 0.33 |
| 9.0 | 283.8 | 0.48 | 0.12 | 0.18 | 0.46 | 0.16 | 0.21 | 0.43 | 0.22 | 0.22 | 0.40 | 0.26 | 0.25 | 0.38 | 0.30 | 0.27 | 0.35 | 0.35 | 0.30 |
| 9.5 | 299.6 | 0.48 | 0.14 | 0.16 | 0.45 | 0.18 | 0.19 | 0.42 | 0.24 | 0.19 | 0.40 | 0.28 | 0.22 | 0.37 | 0.32 | 0.25 | 0.34 | 0.37 | 0.27 |
| 10.0 | 315.4 | 0.47 | 0.15 | 0.13 | 0.45 | 0.20 | 0.16 | 0.42 | 0.26 | 0.17 | 0.39 | 0.30 | 0.19 | 0.36 | 0.34 | 0.22 | 0.34 | 0.39 | 0.25 |
| 10.5 | 331.1 | 0.46 | 0.17 | 0.11 | 0.44 | 0.21 | 0.14 | 0.41 | 0.28 | 0.14 | 0.38 | 0.32 | 0.16 | 0.36 | 0.37 | 0.19 | 0.33 | 0.41 | 0.21 |
| 11.0 | 346.9 | 0.45 | 0.19 | 0.08 | 0.43 | 0.24 | 0.11 | 0.40 | 0.30 | 0.10 | 0.37 | 0.35 | 0.13 | 0.35 | 0.39 | 0.15 | 0.32 | 0.44 | 0.18 |
| 11.5 | 362.7 | 0.44 | 0.22 | 0.05 | 0.42 | 0.26 | 0.08 | 0.38 | 0.33 | 0.07 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12.0 | 378.4 | 0.43 | 0.24 | 0.01 | 0.41 | 0.28 | 0.04 | 0.37 | 0.36 | 0.02 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

表F.0.10 C30水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.2）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*= 0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.41 | 0.01 | 0.61 | 0.37 | 0.04 | 0.64 | 0.33 | 0.08 | 0.67 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.42 | 0.02 | 0.59 | 0.38 | 0.06 | 0.62 | 0.34 | 0.09 | 0.66 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.03 | 0.57 | 0.39 | 0.07 | 0.61 | 0.35 | 0.11 | 0.64 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.04 | 0.56 | 0.39 | 0.08 | 0.59 | 0.36 | 0.12 | 0.62 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | - | - | - | 0.48 | 0.01 | 0.51 | 0.44 | 0.05 | 0.54 | 0.40 | 0.09 | 0.57 | 0.36 | 0.13 | 0.60 |
| 3.0 | 94.6 | - | - | - | - | - | - | 0.48 | 0.03 | 0.49 | 0.44 | 0.07 | 0.52 | 0.41 | 0.11 | 0.55 | 0.37 | 0.14 | 0.59 |
| 3.5 | 110.4 | - | - | - | - | - | - | 0.48 | 0.04 | 0.47 | 0.45 | 0.08 | 0.51 | 0.41 | 0.12 | 0.54 | 0.38 | 0.16 | 0.57 |
| 4.0 | 126.1 | - | - | - | 0.52 | 0.01 | 0.43 | 0.49 | 0.05 | 0.46 | 0.45 | 0.09 | 0.49 | 0.42 | 0.13 | 0.52 | 0.38 | 0.17 | 0.55 |
| 4.5 | 141.9 | - | - | - | 0.52 | 0.02 | 0.41 | 0.49 | 0.06 | 0.44 | 0.46 | 0.10 | 0.47 | 0.42 | 0.14 | 0.50 | 0.39 | 0.18 | 0.53 |
| 5.0 | 157.7 | - | - | - | 0.53 | 0.03 | 0.39 | 0.49 | 0.07 | 0.42 | 0.46 | 0.11 | 0.45 | 0.42 | 0.16 | 0.48 | 0.39 | 0.20 | 0.51 |
| 5.5 | 173.4 | - | - | - | 0.53 | 0.04 | 0.38 | 0.49 | 0.09 | 0.41 | 0.46 | 0.13 | 0.44 | 0.43 | 0.17 | 0.47 | 0.39 | 0.21 | 0.50 |
| 6.0 | 189.2 | 0.56 | 0.01 | 0.33 | 0.53 | 0.06 | 0.36 | 0.50 | 0.10 | 0.39 | 0.46 | 0.14 | 0.42 | 0.43 | 0.18 | 0.45 | 0.40 | 0.22 | 0.48 |
| 6.5 | 205.0 | 0.56 | 0.03 | 0.31 | 0.53 | 0.07 | 0.34 | 0.50 | 0.11 | 0.37 | 0.46 | 0.15 | 0.40 | 0.43 | 0.20 | 0.43 | 0.40 | 0.24 | 0.46 |
| 7.0 | 220.8 | 0.56 | 0.04 | 0.30 | 0.53 | 0.08 | 0.32 | 0.50 | 0.12 | 0.35 | 0.46 | 0.17 | 0.38 | 0.43 | 0.21 | 0.41 | 0.40 | 0.25 | 0.44 |
| 7.5 | 236.5 | 0.56 | 0.05 | 0.28 | 0.53 | 0.09 | 0.31 | 0.50 | 0.14 | 0.33 | 0.46 | 0.18 | 0.36 | 0.43 | 0.22 | 0.39 | 0.40 | 0.27 | 0.42 |
| 8.0 | 252.3 | 0.55 | 0.07 | 0.26 | 0.52 | 0.11 | 0.29 | 0.49 | 0.15 | 0.31 | 0.46 | 0.19 | 0.34 | 0.43 | 0.24 | 0.37 | 0.40 | 0.28 | 0.40 |
| 8.5 | 268.1 | 0.55 | 0.08 | 0.24 | 0.52 | 0.12 | 0.27 | 0.49 | 0.17 | 0.29 | 0.46 | 0.21 | 0.32 | 0.43 | 0.25 | 0.35 | 0.40 | 0.30 | 0.37 |
| 9.0 | 283.8 | 0.55 | 0.09 | 0.22 | 0.52 | 0.14 | 0.25 | 0.49 | 0.18 | 0.27 | 0.46 | 0.22 | 0.30 | 0.43 | 0.27 | 0.33 | 0.40 | 0.31 | 0.35 |
| 9.5 | 299.6 | 0.54 | 0.11 | 0.20 | 0.52 | 0.15 | 0.23 | 0.49 | 0.20 | 0.25 | 0.46 | 0.24 | 0.28 | 0.43 | 0.28 | 0.30 | 0.40 | 0.33 | 0.33 |
| 10.0 | 315.4 | 0.54 | 0.12 | 0.18 | 0.51 | 0.17 | 0.20 | 0.48 | 0.21 | 0.23 | 0.45 | 0.26 | 0.25 | 0.42 | 0.30 | 0.28 | 0.39 | 0.35 | 0.30 |
| 10.5 | 331.1 | 0.53 | 0.14 | 0.15 | 0.51 | 0.18 | 0.18 | 0.48 | 0.23 | 0.21 | 0.45 | 0.27 | 0.23 | 0.42 | 0.32 | 0.25 | 0.39 | 0.36 | 0.28 |
| 11.0 | 346.9 | 0.53 | 0.16 | 0.13 | 0.50 | 0.20 | 0.16 | 0.47 | 0.25 | 0.18 | 0.44 | 0.29 | 0.20 | 0.41 | 0.34 | 0.23 | 0.38 | 0.38 | 0.25 |

表F.0.11 C50水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.15）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | 0.31 | 0.02 | 0.49 | 0.29 | 0.06 | 0.53 | 0.26 | 0.09 | 0.57 | 0.23 | 0.12 | 0.61 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | 0.32 | 0.04 | 0.47 | 0.29 | 0.07 | 0.51 | 0.27 | 0.11 | 0.55 | 0.24 | 0.14 | 0.59 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | 0.35 | 0.02 | 0.41 | 0.32 | 0.06 | 0.45 | 0.30 | 0.09 | 0.49 | 0.27 | 0.13 | 0.53 | 0.25 | 0.16 | 0.57 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | 0.35 | 0.04 | 0.38 | 0.32 | 0.07 | 0.42 | 0.30 | 0.11 | 0.46 | 0.28 | 0.14 | 0.50 | 0.25 | 0.18 | 0.54 |
| 2.5 | 78.8 | 0.37 | 0.02 | 0.32 | 0.35 | 0.06 | 0.36 | 0.33 | 0.09 | 0.40 | 0.30 | 0.13 | 0.44 | 0.28 | 0.16 | 0.48 | 0.25 | 0.19 | 0.52 |
| 3.0 | 94.6 | 0.37 | 0.04 | 0.30 | 0.35 | 0.07 | 0.34 | 0.33 | 0.11 | 0.38 | 0.30 | 0.14 | 0.41 | 0.28 | 0.18 | 0.45 | 0.26 | 0.21 | 0.49 |
| 3.5 | 110.4 | 0.37 | 0.05 | 0.27 | 0.35 | 0.09 | 0.31 | 0.33 | 0.13 | 0.35 | 0.30 | 0.16 | 0.39 | 0.28 | 0.20 | 0.43 | 0.26 | 0.23 | 0.47 |
| 4.0 | 126.1 | 0.37 | 0.07 | 0.25 | 0.35 | 0.11 | 0.29 | 0.33 | 0.14 | 0.33 | 0.30 | 0.18 | 0.36 | 0.28 | 0.21 | 0.40 | 0.26 | 0.25 | 0.44 |
| 4.5 | 141.9 | 0.36 | 0.09 | 0.22 | 0.34 | 0.13 | 0.26 | 0.32 | 0.16 | 0.30 | 0.30 | 0.20 | 0.34 | 0.28 | 0.23 | 0.37 | 0.26 | 0.27 | 0.41 |
| 5.0 | 157.7 | 0.36 | 0.11 | 0.20 | 0.34 | 0.15 | 0.23 | 0.32 | 0.18 | 0.27 | 0.30 | 0.22 | 0.31 | 0.28 | 0.25 | 0.35 | 0.26 | 0.29 | 0.39 |
| 5.5 | 173.4 | 0.35 | 0.13 | 0.17 | 0.34 | 0.17 | 0.21 | 0.32 | 0.20 | 0.24 | 0.30 | 0.24 | 0.28 | 0.28 | 0.27 | 0.32 | 0.26 | 0.31 | 0.36 |
| 6.0 | 189.2 | 0.35 | 0.15 | 0.14 | 0.33 | 0.19 | 0.18 | 0.31 | 0.22 | 0.21 | 0.30 | 0.26 | 0.25 | 0.28 | 0.29 | 0.29 | 0.26 | 0.33 | 0.33 |
| 6.5 | 205.0 | 0.34 | 0.18 | 0.10 | 0.33 | 0.21 | 0.14 | 0.31 | 0.25 | 0.18 | 0.29 | 0.28 | 0.22 | 0.27 | 0.32 | 0.26 | 0.25 | 0.35 | 0.29 |
| 7.0 | 220.8 | 0.33 | 0.20 | 0.07 | 0.32 | 0.24 | 0.11 | 0.30 | 0.27 | 0.15 | 0.29 | 0.31 | 0.19 | 0.27 | 0.34 | 0.22 | 0.25 | 0.38 | 0.26 |
| 7.5 | 236.5 | 0.32 | 0.23 | 0.03 | 0.31 | 0.26 | 0.07 | 0.29 | 0.30 | 0.11 | 0.28 | 0.33 | 0.15 | 0.26 | 0.37 | 0.19 | 0.24 | 0.40 | 0.22 |
| 8.0 | 252.3 | - | - | - | 0.30 | 0.29 | 0.03 | 0.28 | 0.33 | 0.07 | 0.27 | 0.36 | 0.11 | 0.25 | 0.40 | 0.15 | 0.24 | 0.43 | 0.18 |
| 8.5 | 268.1 | - | - | - | - | - | - | 0.27 | 0.36 | 0.02 | 0.26 | 0.39 | 0.06 | 0.24 | 0.43 | 0.10 | 0.23 | 0.46 | 0.14 |
| 9.0 | 283.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.24 | 0.43 | 0.01 | 0.23 | 0.47 | 0.05 | 0.21 | 0.50 | 0.09 |
| 9.5 | 299.6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.19 | 0.55 | 0.02 |

表F.0.12 C45水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.15）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.6 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | 0.35 | 0.01 | 0.51 | 0.32 | 0.04 | 0.55 | 0.29 | 0.08 | 0.59 | 0.26 | 0.11 | 0.63 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | 0.35 | 0.02 | 0.49 | 0.32 | 0.06 | 0.53 | 0.29 | 0.09 | 0.57 | 0.26 | 0.13 | 0.61 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | 0.36 | 0.04 | 0.47 | 0.33 | 0.08 | 0.51 | 0.30 | 0.11 | 0.55 | 0.27 | 0.15 | 0.59 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | 0.39 | 0.02 | 0.41 | 0.36 | 0.05 | 0.45 | 0.33 | 0.09 | 0.49 | 0.30 | 0.13 | 0.52 | 0.28 | 0.16 | 0.56 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | 0.39 | 0.03 | 0.39 | 0.36 | 0.07 | 0.43 | 0.34 | 0.11 | 0.46 | 0.31 | 0.14 | 0.50 | 0.28 | 0.18 | 0.54 |
| 3.0 | 94.6 | 0.41 | 0.01 | 0.33 | 0.39 | 0.05 | 0.37 | 0.36 | 0.09 | 0.41 | 0.34 | 0.12 | 0.44 | 0.31 | 0.16 | 0.48 | 0.28 | 0.19 | 0.52 |
| 3.5 | 110.4 | 0.41 | 0.03 | 0.31 | 0.39 | 0.06 | 0.35 | 0.36 | 0.10 | 0.38 | 0.34 | 0.14 | 0.42 | 0.31 | 0.18 | 0.46 | 0.29 | 0.21 | 0.49 |
| 4.0 | 126.1 | 0.41 | 0.04 | 0.29 | 0.39 | 0.08 | 0.32 | 0.36 | 0.12 | 0.36 | 0.34 | 0.16 | 0.40 | 0.32 | 0.19 | 0.43 | 0.29 | 0.23 | 0.47 |
| 4.5 | 141.9 | 0.41 | 0.06 | 0.27 | 0.39 | 0.10 | 0.30 | 0.36 | 0.14 | 0.34 | 0.34 | 0.17 | 0.37 | 0.32 | 0.21 | 0.41 | 0.29 | 0.25 | 0.44 |
| 5.0 | 157.7 | 0.41 | 0.08 | 0.24 | 0.39 | 0.12 | 0.28 | 0.36 | 0.15 | 0.31 | 0.34 | 0.19 | 0.35 | 0.32 | 0.23 | 0.38 | 0.29 | 0.26 | 0.42 |
| 5.5 | 173.4 | 0.40 | 0.10 | 0.22 | 0.38 | 0.13 | 0.25 | 0.36 | 0.17 | 0.29 | 0.34 | 0.21 | 0.32 | 0.32 | 0.25 | 0.36 | 0.29 | 0.28 | 0.39 |
| 6.0 | 189.2 | 0.40 | 0.11 | 0.19 | 0.38 | 0.15 | 0.23 | 0.36 | 0.19 | 0.26 | 0.34 | 0.23 | 0.29 | 0.31 | 0.27 | 0.33 | 0.29 | 0.30 | 0.36 |
| 6.5 | 205.0 | 0.39 | 0.13 | 0.16 | 0.37 | 0.17 | 0.20 | 0.35 | 0.21 | 0.23 | 0.33 | 0.25 | 0.27 | 0.31 | 0.29 | 0.30 | 0.29 | 0.32 | 0.34 |
| 7.0 | 220.8 | 0.39 | 0.16 | 0.13 | 0.37 | 0.19 | 0.17 | 0.35 | 0.23 | 0.20 | 0.33 | 0.27 | 0.24 | 0.31 | 0.31 | 0.27 | 0.29 | 0.34 | 0.31 |
| 7.5 | 236.5 | 0.38 | 0.18 | 0.10 | 0.36 | 0.21 | 0.14 | 0.34 | 0.25 | 0.17 | 0.32 | 0.29 | 0.21 | 0.30 | 0.33 | 0.24 | 0.28 | 0.37 | 0.27 |
| 8.0 | 252.3 | 0.37 | 0.20 | 0.07 | 0.35 | 0.24 | 0.10 | 0.34 | 0.28 | 0.14 | 0.32 | 0.31 | 0.17 | 0.30 | 0.35 | 0.21 | 0.28 | 0.39 | 0.24 |
| 8.5 | 268.1 | 0.36 | 0.23 | 0.03 | 0.34 | 0.27 | 0.07 | 0.33 | 0.30 | 0.10 | 0.31 | 0.34 | 0.14 | 0.29 | 0.38 | 0.17 | 0.27 | 0.42 | 0.20 |
| 9.0 | 283.8 | - | - | - | 0.33 | 0.30 | 0.02 | 0.31 | 0.33 | 0.06 | 0.30 | 0.37 | 0.09 | 0.28 | 0.41 | 0.13 | 0.26 | 0.45 | 0.16 |
| 9.5 | 299.6 | - | - | - | - | - | - | 0.30 | 0.37 | 0.01 | 0.28 | 0.40 | 0.05 | 0.26 | 0.44 | 0.08 | 0.25 | 0.48 | 0.11 |
| 10.0 | 315.4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.24 | 0.49 | 0.02 | 0.23 | 0.52 | 0.05 |

表F.0.13 C40水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.15）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.34 | 0.03 | 0.57 | 0.31 | 0.07 | 0.61 | 0.28 | 0.10 | 0.64 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | 0.38 | 0.01 | 0.51 | 0.35 | 0.05 | 0.55 | 0.32 | 0.08 | 0.58 | 0.29 | 0.12 | 0.62 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | 0.39 | 0.02 | 0.49 | 0.36 | 0.06 | 0.53 | 0.32 | 0.10 | 0.56 | 0.29 | 0.13 | 0.60 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | - | - | - | 0.39 | 0.04 | 0.47 | 0.36 | 0.08 | 0.51 | 0.33 | 0.11 | 0.54 | 0.30 | 0.15 | 0.58 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | 0.42 | 0.02 | 0.42 | 0.39 | 0.05 | 0.45 | 0.36 | 0.09 | 0.49 | 0.33 | 0.13 | 0.52 | 0.30 | 0.17 | 0.56 |
| 3.0 | 94.6 | - | - | - | 0.42 | 0.03 | 0.40 | 0.40 | 0.07 | 0.43 | 0.37 | 0.11 | 0.46 | 0.34 | 0.14 | 0.50 | 0.31 | 0.18 | 0.54 |
| 3.5 | 110.4 | 0.45 | 0.01 | 0.34 | 0.43 | 0.04 | 0.38 | 0.40 | 0.08 | 0.41 | 0.37 | 0.12 | 0.44 | 0.34 | 0.16 | 0.48 | 0.31 | 0.20 | 0.51 |
| 4.0 | 126.1 | 0.45 | 0.02 | 0.32 | 0.43 | 0.06 | 0.35 | 0.40 | 0.10 | 0.39 | 0.37 | 0.14 | 0.42 | 0.34 | 0.18 | 0.46 | 0.32 | 0.21 | 0.49 |
| 4.5 | 141.9 | 0.45 | 0.04 | 0.30 | 0.43 | 0.08 | 0.33 | 0.40 | 0.11 | 0.37 | 0.37 | 0.15 | 0.40 | 0.35 | 0.19 | 0.43 | 0.32 | 0.23 | 0.47 |
| 5.0 | 157.7 | 0.45 | 0.05 | 0.28 | 0.43 | 0.09 | 0.31 | 0.40 | 0.13 | 0.34 | 0.37 | 0.17 | 0.38 | 0.35 | 0.21 | 0.41 | 0.32 | 0.25 | 0.44 |
| 5.5 | 173.4 | 0.45 | 0.07 | 0.25 | 0.42 | 0.11 | 0.29 | 0.40 | 0.15 | 0.32 | 0.37 | 0.19 | 0.35 | 0.35 | 0.22 | 0.39 | 0.32 | 0.26 | 0.42 |
| 6.0 | 189.2 | 0.44 | 0.09 | 0.23 | 0.42 | 0.12 | 0.26 | 0.40 | 0.16 | 0.30 | 0.37 | 0.20 | 0.33 | 0.35 | 0.24 | 0.36 | 0.32 | 0.28 | 0.39 |
| 6.5 | 205.0 | 0.44 | 0.10 | 0.21 | 0.42 | 0.14 | 0.24 | 0.39 | 0.18 | 0.27 | 0.37 | 0.22 | 0.30 | 0.35 | 0.26 | 0.34 | 0.32 | 0.30 | 0.37 |
| 7.0 | 220.8 | 0.44 | 0.12 | 0.18 | 0.41 | 0.16 | 0.21 | 0.39 | 0.20 | 0.25 | 0.37 | 0.24 | 0.28 | 0.34 | 0.28 | 0.31 | 0.32 | 0.32 | 0.34 |
| 7.5 | 236.5 | 0.43 | 0.14 | 0.15 | 0.41 | 0.18 | 0.19 | 0.39 | 0.22 | 0.22 | 0.36 | 0.26 | 0.25 | 0.34 | 0.30 | 0.28 | 0.32 | 0.34 | 0.31 |
| 8.0 | 252.3 | 0.42 | 0.16 | 0.13 | 0.40 | 0.20 | 0.16 | 0.38 | 0.24 | 0.19 | 0.36 | 0.28 | 0.22 | 0.34 | 0.32 | 0.25 | 0.31 | 0.36 | 0.28 |
| 8.5 | 268.1 | 0.41 | 0.18 | 0.09 | 0.39 | 0.22 | 0.13 | 0.37 | 0.26 | 0.16 | 0.35 | 0.30 | 0.19 | 0.33 | 0.34 | 0.22 | 0.31 | 0.38 | 0.25 |
| 9.0 | 283.8 | 0.40 | 0.21 | 0.06 | 0.38 | 0.25 | 0.09 | 0.36 | 0.29 | 0.13 | 0.34 | 0.33 | 0.16 | 0.32 | 0.37 | 0.19 | 0.30 | 0.41 | 0.22 |
| 9.5 | 299.6 | 0.39 | 0.23 | 0.02 | 0.37 | 0.27 | 0.06 | 0.35 | 0.31 | 0.09 | 0.33 | 0.35 | 0.12 | 0.31 | 0.39 | 0.15 | 0.29 | 0.44 | 0.18 |
| 10.0 | 315.4 | - | - | - | 0.36 | 0.30 | 0.01 | 0.34 | 0.34 | 0.05 | 0.32 | 0.38 | 0.08 | 0.30 | 0.43 | 0.10 | 0.28 | 0.47 | 0.13 |
| 10.5 | 331.1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.30 | 0.42 | 0.02 | 0.28 | 0.46 | 0.05 | 0.26 | 0.51 | 0.08 |

表F.0.14 C35水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.15）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*=0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.37 | 0.02 | 0.59 | 0.34 | 0.06 | 0.62 | 0.30 | 0.09 | 0.66 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.38 | 0.03 | 0.57 | 0.35 | 0.07 | 0.60 | 0.31 | 0.11 | 0.64 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | 0.42 | 0.01 | 0.51 | 0.39 | 0.05 | 0.55 | 0.35 | 0.09 | 0.58 | 0.32 | 0.12 | 0.62 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.02 | 0.49 | 0.39 | 0.06 | 0.53 | 0.36 | 0.10 | 0.56 | 0.33 | 0.14 | 0.60 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.04 | 0.48 | 0.40 | 0.07 | 0.51 | 0.37 | 0.11 | 0.54 | 0.33 | 0.15 | 0.58 |
| 3.0 | 94.6 | - | - | - | 0.47 | 0.01 | 0.42 | 0.44 | 0.05 | 0.46 | 0.40 | 0.09 | 0.49 | 0.37 | 0.13 | 0.52 | 0.34 | 0.17 | 0.56 |
| 3.5 | 110.4 | - | - | - | 0.47 | 0.02 | 0.40 | 0.44 | 0.06 | 0.44 | 0.41 | 0.10 | 0.47 | 0.38 | 0.14 | 0.50 | 0.34 | 0.18 | 0.54 |
| 4.0 | 126.1 | - | - | - | 0.47 | 0.04 | 0.39 | 0.44 | 0.08 | 0.42 | 0.41 | 0.12 | 0.45 | 0.38 | 0.16 | 0.48 | 0.35 | 0.20 | 0.51 |
| 4.5 | 141.9 | 0.50 | 0.01 | 0.33 | 0.47 | 0.05 | 0.37 | 0.44 | 0.09 | 0.40 | 0.41 | 0.13 | 0.43 | 0.38 | 0.17 | 0.46 | 0.35 | 0.21 | 0.49 |
| 5.0 | 157.7 | 0.50 | 0.03 | 0.31 | 0.47 | 0.07 | 0.35 | 0.44 | 0.11 | 0.38 | 0.41 | 0.15 | 0.41 | 0.38 | 0.19 | 0.44 | 0.35 | 0.23 | 0.47 |
| 5.5 | 173.4 | 0.50 | 0.04 | 0.29 | 0.47 | 0.08 | 0.33 | 0.44 | 0.12 | 0.36 | 0.41 | 0.16 | 0.39 | 0.39 | 0.20 | 0.42 | 0.36 | 0.24 | 0.45 |
| 6.0 | 189.2 | 0.50 | 0.06 | 0.27 | 0.47 | 0.10 | 0.30 | 0.44 | 0.14 | 0.33 | 0.41 | 0.18 | 0.37 | 0.39 | 0.22 | 0.40 | 0.36 | 0.26 | 0.43 |
| 6.5 | 205.0 | 0.49 | 0.07 | 0.25 | 0.47 | 0.11 | 0.28 | 0.44 | 0.15 | 0.31 | 0.41 | 0.19 | 0.34 | 0.39 | 0.23 | 0.37 | 0.36 | 0.28 | 0.40 |
| 7.0 | 220.8 | 0.49 | 0.09 | 0.23 | 0.47 | 0.13 | 0.26 | 0.44 | 0.17 | 0.29 | 0.41 | 0.21 | 0.32 | 0.38 | 0.25 | 0.35 | 0.36 | 0.29 | 0.38 |
| 7.5 | 236.5 | 0.49 | 0.10 | 0.21 | 0.46 | 0.14 | 0.24 | 0.44 | 0.19 | 0.27 | 0.41 | 0.23 | 0.30 | 0.38 | 0.27 | 0.32 | 0.35 | 0.31 | 0.35 |
| 8.0 | 252.3 | 0.48 | 0.12 | 0.18 | 0.46 | 0.16 | 0.21 | 0.43 | 0.20 | 0.24 | 0.41 | 0.25 | 0.27 | 0.38 | 0.29 | 0.30 | 0.35 | 0.33 | 0.33 |
| 8.5 | 268.1 | 0.48 | 0.14 | 0.16 | 0.45 | 0.18 | 0.19 | 0.43 | 0.22 | 0.22 | 0.40 | 0.26 | 0.24 | 0.38 | 0.31 | 0.27 | 0.35 | 0.35 | 0.30 |
| 9.0 | 283.8 | 0.47 | 0.16 | 0.13 | 0.45 | 0.20 | 0.16 | 0.42 | 0.24 | 0.19 | 0.40 | 0.28 | 0.22 | 0.37 | 0.33 | 0.24 | 0.34 | 0.37 | 0.27 |
| 9.5 | 299.6 | 0.46 | 0.18 | 0.10 | 0.44 | 0.22 | 0.13 | 0.41 | 0.26 | 0.16 | 0.39 | 0.31 | 0.18 | 0.36 | 0.35 | 0.21 | 0.34 | 0.39 | 0.24 |
| 10.0 | 315.4 | 0.45 | 0.20 | 0.07 | 0.43 | 0.24 | 0.10 | 0.40 | 0.29 | 0.13 | 0.38 | 0.33 | 0.15 | 0.35 | 0.37 | 0.18 | 0.33 | 0.42 | 0.20 |
| 10.5 | 331.1 | 0.44 | 0.23 | 0.03 | 0.42 | 0.27 | 0.06 | 0.39 | 0.31 | 0.09 | 0.37 | 0.36 | 0.11 | 0.34 | 0.40 | 0.14 | 0.32 | 0.45 | 0.16 |
| 11.0 | 346.9 | - | - | - | 0.40 | 0.30 | 0.02 | 0.38 | 0.34 | 0.05 | 0.35 | 0.39 | 0.07 | 0.33 | 0.43 | 0.09 | 0.30 | 0.48 | 0.12 |
| 11.5 | 362.7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.33 | 0.42 | 0.02 | 0.31 | 0.47 | 0.04 | 0.28 | 0.52 | 0.05 |

表F.0.15 C30水胶比和矿物掺合料掺量取值（=0.15）

| *D*0 | | *n*=0.4 | | | *n*=0.45 | | | *n*=0.5 | | | *n*= 0.55 | | | *n*=0.6 | | | *n*=0.65 | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ×10-12 m2/s | mm2/a | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG | *R*W/B | *R*FA | *R*SG |
| 0.5 | 15.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.41 | 0.01 | 0.60 | 0.37 | 0.04 | 0.64 | 0.33 | 0.08 | 0.67 |
| 1.0 | 31.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.42 | 0.02 | 0.59 | 0.38 | 0.06 | 0.62 | 0.34 | 0.10 | 0.65 |
| 1.5 | 47.3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.03 | 0.57 | 0.39 | 0.07 | 0.60 | 0.35 | 0.11 | 0.64 |
| 2.0 | 63.1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.04 | 0.55 | 0.40 | 0.08 | 0.58 | 0.36 | 0.12 | 0.62 |
| 2.5 | 78.8 | - | - | - | - | - | - | 0.48 | 0.02 | 0.50 | 0.44 | 0.06 | 0.53 | 0.40 | 0.10 | 0.57 | 0.37 | 0.14 | 0.60 |
| 3.0 | 94.6 | - | - | - | - | - | - | 0.48 | 0.03 | 0.48 | 0.45 | 0.07 | 0.52 | 0.41 | 0.11 | 0.55 | 0.37 | 0.15 | 0.58 |
| 3.5 | 110.4 | - | - | - | - | - | - | 0.49 | 0.04 | 0.47 | 0.45 | 0.08 | 0.50 | 0.41 | 0.12 | 0.53 | 0.38 | 0.16 | 0.56 |
| 4.0 | 126.1 | - | - | - | 0.52 | 0.01 | 0.42 | 0.49 | 0.06 | 0.45 | 0.45 | 0.10 | 0.48 | 0.42 | 0.14 | 0.51 | 0.38 | 0.18 | 0.54 |
| 4.5 | 141.9 | - | - | - | 0.53 | 0.03 | 0.40 | 0.49 | 0.07 | 0.43 | 0.46 | 0.11 | 0.46 | 0.42 | 0.15 | 0.49 | 0.39 | 0.19 | 0.52 |
| 5.0 | 157.7 | - | - | - | 0.53 | 0.04 | 0.38 | 0.49 | 0.08 | 0.41 | 0.46 | 0.12 | 0.44 | 0.43 | 0.16 | 0.47 | 0.39 | 0.21 | 0.50 |
| 5.5 | 173.4 | 0.56 | 0.01 | 0.33 | 0.53 | 0.05 | 0.36 | 0.50 | 0.09 | 0.39 | 0.46 | 0.14 | 0.42 | 0.43 | 0.18 | 0.45 | 0.40 | 0.22 | 0.48 |
| 6.0 | 189.2 | 0.56 | 0.02 | 0.32 | 0.53 | 0.07 | 0.35 | 0.50 | 0.11 | 0.37 | 0.46 | 0.15 | 0.40 | 0.43 | 0.19 | 0.43 | 0.40 | 0.23 | 0.46 |
| 6.5 | 205.0 | 0.56 | 0.04 | 0.30 | 0.53 | 0.08 | 0.33 | 0.50 | 0.12 | 0.35 | 0.46 | 0.16 | 0.38 | 0.43 | 0.21 | 0.41 | 0.40 | 0.25 | 0.44 |
| 7.0 | 220.8 | 0.56 | 0.05 | 0.28 | 0.53 | 0.09 | 0.31 | 0.50 | 0.14 | 0.33 | 0.46 | 0.18 | 0.36 | 0.43 | 0.22 | 0.39 | 0.40 | 0.26 | 0.42 |
| 7.5 | 236.5 | 0.55 | 0.07 | 0.26 | 0.52 | 0.11 | 0.29 | 0.49 | 0.15 | 0.31 | 0.46 | 0.19 | 0.34 | 0.43 | 0.24 | 0.37 | 0.40 | 0.28 | 0.40 |
| 8.0 | 252.3 | 0.55 | 0.08 | 0.24 | 0.52 | 0.12 | 0.27 | 0.49 | 0.17 | 0.29 | 0.46 | 0.21 | 0.32 | 0.43 | 0.25 | 0.35 | 0.40 | 0.30 | 0.37 |
| 8.5 | 268.1 | 0.55 | 0.10 | 0.22 | 0.52 | 0.14 | 0.24 | 0.49 | 0.18 | 0.27 | 0.46 | 0.23 | 0.30 | 0.43 | 0.27 | 0.32 | 0.40 | 0.31 | 0.35 |
| 9.0 | 283.8 | 0.54 | 0.11 | 0.19 | 0.51 | 0.16 | 0.22 | 0.49 | 0.20 | 0.25 | 0.46 | 0.24 | 0.27 | 0.43 | 0.29 | 0.30 | 0.40 | 0.33 | 0.32 |
| 9.5 | 299.6 | 0.54 | 0.13 | 0.17 | 0.51 | 0.17 | 0.20 | 0.48 | 0.22 | 0.22 | 0.45 | 0.26 | 0.25 | 0.42 | 0.31 | 0.27 | 0.39 | 0.35 | 0.30 |
| 10.0 | 315.4 | 0.53 | 0.15 | 0.15 | 0.50 | 0.19 | 0.17 | 0.47 | 0.23 | 0.20 | 0.45 | 0.28 | 0.22 | 0.42 | 0.33 | 0.25 | 0.39 | 0.37 | 0.27 |
| 10.5 | 331.1 | 0.52 | 0.16 | 0.12 | 0.50 | 0.21 | 0.15 | 0.47 | 0.25 | 0.17 | 0.44 | 0.30 | 0.19 | 0.41 | 0.35 | 0.22 | 0.38 | 0.39 | 0.24 |
| 11.0 | 346.9 | 0.51 | 0.18 | 0.09 | 0.49 | 0.23 | 0.12 | 0.46 | 0.28 | 0.14 | 0.43 | 0.32 | 0.16 | 0.40 | 0.37 | 0.18 | 0.37 | 0.42 | 0.20 |
| 11.5 | 362.7 | 0.50 | 0.21 | 0.06 | 0.47 | 0.25 | 0.08 | 0.45 | 0.30 | 0.11 | 0.42 | 0.35 | 0.13 | 0.39 | 0.39 | 0.15 | 0.36 | 0.44 | 0.17 |
| 12.0 | 378.4 | 0.49 | 0.23 | 0.02 | 0.46 | 0.28 | 0.05 | 0.43 | 0.32 | 0.07 | 0.40 | 0.37 | 0.09 | 0.37 | 0.42 | 0.11 | 0.34 | 0.48 | 0.12 |
| 12.5 | 394.2 | - | - | - | 0.44 | 0.31 | 0.01 | 0.41 | 0.36 | 0.03 | 0.38 | 0.41 | 0.04 | 0.35 | 0.46 | 0.05 | 0.32 | 0.52 | 0.06 |

**本标准用词说明**

**1** 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 条文中指明应按其它有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

**引用标准名录**

《混凝土结构设计规范》GB 50010

《普通混凝土拌合物性能试验方法》GB/T50080

《普通混凝土力学性能试验方法标准标准规范》GB/T50081

《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T50082

《混凝土强度检验评定标准》GB 50107

《混凝土结构耐久性设计标准》GB 50476

《水泥密度测定方法》GB/T208

《钢的成品化学成分允许偏差》GB/T 222

《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229

《混凝土外加剂》GB 8076

《预应力混凝土用钢棒》GB4463

《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB 13014

《冷轧带肋钢筋》GB 13788

《钢筋混凝土用钢第2部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2

《漆膜耐冲击测定方法》GB/T 1732

《金属和合金的腐蚀不锈钢晶间腐蚀试验方法》GB/T 4334

《食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》GB 5009.33

《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223

《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224

《混凝土外加剂匀质性能试验方法》GB/T 8077

《建设用砂》GB/T 14684

《建设用卵石、碎石》GB/T 14685

《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14730

《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826

《结构工程用纤维增强复合材料筋》GB/T 26743

《活性粉末混凝土》GB/T 31387

《钢筋混凝土用耐蚀钢筋》GB/T 33953

《钢筋混凝土用不锈钢钢筋》GB/T 33959

《钢筋在混凝土中耐氯离子腐蚀性能测试方法》YB/T 4369

《水运工程结构耐久性设计标准》JTS 153

《水运工程混凝土施工规范》JTS 202

《水运工程结构防腐蚀施工规范》JTS/T 209

《港口工程荷载规范》JTS-144

《港口与航道水文规范》JTS 145

《混凝土防冻剂》JC 475

《钢筋混凝土阻锈剂》JT/T 537

《纤维增强复合材料筋》JG/T 351

《混凝土抗侵蚀抑制剂》JC/T 2553

中华人民共和国国家标准

**海岸工程混凝土结构技术标准**

Technical standard for concrete structures of coastal engineering

GB/T **50××× – 202×**

条文说明

1. 总 则

**1.0.2**  本标准适用于海港工程、围海工程、海岸防护工程、海上人工岛工程等海岸工程混凝土结构的设计、施工、维护及拆除。对于滨海房屋建筑、桥梁、隧道等其他混凝土结构，可以参照本标准的有关规定执行。

**1.0.3** 海岸工程混凝土结构的设计、施工、维护及拆除存在较大的不确定性，且部分技术内容目前尚缺乏足够的工程经验与数据积累，因此在使用本标准时，如有可靠的调查类比与试验依据，通过专门的论证，可以局部调整本标准的规定。此外，各地方宜根据当地环境特点与工程实践经验，制订相应的地方标准，进一步细化和具体化本标准的相关规定。

**1.0.4** 本条明确了本标准与其他相关标准的关系。海岸工程混凝土结构综合性强、牵涉面广，与其他行业技术的标准密切相关。因此，凡本标准有规定的，应遵照执行；凡本标准无规定的，尚应按照现行有关标准的规定执行。

2 术语和符号

2.1 术 语

本标准给出的术语是为了在条文的叙述中使有关的俗称和不统一的称呼在本规程及今后的使用中形成统一的概念，利用已知的概念特征赋予其含义，所给出的英文译名是参考国外资料和专业词典拟定的。

2.2 符 号

本规程的符号采用现行国家标准《标准编写规则第2部分：符号》GB/T 20001.2的有关规定。

3 基本规定

3.1 一般规定

**3.1.1** 材料（如水泥、粗细骨料、矿物掺合料、外加剂等）、设计（如承载能力设计、耐久性设计等）、施工（如混凝土配合比设计、浇捣、养护等）及维护（如健康监测、检查等）等环节都会影响海岸工程混凝土结构的安全性、适用性及耐久性，所以需要从材料、设计、施工、维护等各环节采取措施。

**3.1.2** 对于海岸工程混凝土结构，应确定其结构设计工作年限、结构安全等级、抗震设防类别、荷载作用、环境作用等，进而开展承载能力极限状态设计、正常使用极限状态验算和耐久性设计，才能保证其功能和性能要求。

**3.1.3** 海洋氯化物环境中的氯离子通过扩散、渗透、迁移等方式向混凝土内部传输，造成海岸工程混凝土结构内部钢筋发生锈蚀，是导致其耐久性劣化的主要原因之一。所以海岸工程混凝土结构的耐久性设计应考虑海洋氯化物环境的作用，并宜开展耐久性定量设计，从而保证其满足预定的设计工作年限要求。

**3.1.4** 海岸工程混凝土结构的施工除应遵守工程建设管理、工程质量、安全生产、节能减排等方面的法律、法规和规定外，还应遵守职业健康和环境保护方面的法律、法规和规定。

3.2 材料规定

**3.2.1** 材料的种类、质量和性能都会对海岸工程混凝土结构的安全性、适用性和耐久性产生影响，所以应合理选用材料种类，并明确其质量和性能指标。

**3.2.2** 不同的环境类别、环境作用等级和结构设计工作年限，对于海岸工程混凝土结构的耐久性需求不同，所以应根据结构所处的环境类别、环境作用等级和结构设计工作年限选择混凝土和防腐蚀材料，才能保证海岸工程混凝土结构满足预定的耐久性要求。

**3.2.3** 由于干湿交替作用，处于水位变动区和浪溅区的海岸工程混凝土结构的耐久性劣化严重，利用普通混凝土难以满足预定的耐久性要求。掺活性矿物掺合料的高性能混凝土因孔结构得到了明显的改善，且活性矿物掺合料的水化产物可结合部分氯离子，从而显著提高其抗氯离子渗透性能。虽然基于理想状态的理论预测，使用高性能混凝土的结构可以达到50年以上的使用寿命，但海水环境混凝土结构耐久性影响因素复杂，客观存在施工质量偏差、服役期结构荷载变化和环境作用的不确定性等，与实际情况可能会有偏差。鉴于此，偏于安全考虑，海洋环境设计工作年限50年以上的混凝土结构，对于水位变动区和浪溅区的腐蚀严重部位和重要构件除采用高性能混凝土外，还应采取必要的附加防腐蚀措施。

**3.2.4** 自密实混凝土具有流动性好、免振捣、施工噪声低等优点，因此适用于因形状复杂或钢筋密集导致浇捣困难的海岸工程混凝土结构，以及对施工噪声有控制要求的海岸工程混凝土结构。

**3.2.5** 超高性能混凝土具有强度高、韧性好等优点，所以适用于有轻质、高强和高抗弯拉要求的海岸工程混凝土结构。

**3.2.5** 混凝土材料或防腐蚀材料直接关系混凝土结构的耐久性，需要经过长期的工程应用并经检验有效。如果选取不当，不仅达不到预期的耐久性，而且还可能对混凝土性能产生负面影响。因此，采用新型混凝土材料或防腐蚀材料时，需要经过专门充分的技术论证。

3.3 设计规定

**3.3.1** 以分项系数表达的极限状态设计方法是结合可靠度分析和长期实践经验发展而来的实用方法。该方法与传统安全系数法的安全度水平保持总体相当。以分项系数表达的极限状态设计方法属于半经验半概率方法，当条件成熟时可采用基于可靠度的全概率设计方法。

**3.3.2** 本条规定了海岸工程混凝土结构设计的三种极限状态，以及各极限状态需要开展的计算或验算内容。

**3.3.3** 海岸工程混凝土结构的设计状况应分为持久状况、短暂状况、地震状况和偶然状况。其中，持久状况适用于结构使用时的正常情况；短暂状况适用于结构出现的临时情况，包括结构施工和维修时的情况等；地震状况适用于结构遭受地震时的情况，在抗震设防地区必须考虑地震设计状况；偶然状况适用于结构出现的异常情况，包括结构遭受火灾、爆炸、撞击时的情况等。海岸工程混凝土结构的设计，应针对上述不同的设计状况，采用相应的结构体系、可靠度水平、基本变量，并分析施工和使用中的环境条件和影响等。

**3.3.4** 海岸工程混凝土结构构件的形状和构造应有效地避免水、汽和有害物质在混凝土表面的积聚。棱角部位受到两个侧面的环境作用并容易造成碰撞损伤，在可能条件下应加以避免。碰撞、冲击等会造成结构物的损伤，影响海岸工程混凝土结构的安全性、适用性和耐久性。对于使用期间可能遭受碰撞和冲击的海岸工程混凝土结构，设计时应该设置专门的耐冲击和耐磨损措施。

**3.3.5**  海岸工程混凝土结构设计时，应根据结构破坏可能产生的后果（如危及生命安全、造成经济损失、对社会或环境产生影响等）的严重性，采用不同的安全等级。其中，一般结构宜列入二级；重要结构应提高一级；次要结构可降低一级。对于重要结构与次要结构的划分，应根据工程结构的破坏后果的严重程度确定。同一海岸工程混凝土结构内的各种结构构件宜与结构采用相同的安全等级，但允许对部分结构构件根据其重要程度和综合经济效果进行适当调整。如果提高某一结构构件的安全等级所需额外费用很少，又能减轻整个结构的破坏从而大大减少人员伤亡和财物损失，则可将该结构构件的安全等级比整个结构的安全等级提高一级；相反，如果某一结构构件的破坏并不影响整个结构或其他结构构件，则可将其安全等级降低一级。

**3.3.6**  本条根据《港口工程结构可靠性设计统一标准标准》（GB 50158）、《防波堤与护岸设计规范》（JTS 154）确定海港工程、海岸防护工程结构的设计工作年限。参照《水运工程海上人工岛设计规范》（JTS/T179）确定人工岛工程结构设计工作年限。

**3.3.7**  海岸工程混凝土结构不同构件的安全等级或设计工作年限可以有所不同。对于某些需要定期更换的构件，可以根据实际情况确定设计工作年限，但应在设计文件中明确标明。同样，结构构件的安全等级也可以和结构整体有所不同，也应当在设计文件中明确标明。

**3.3.8** 本条规定了海岸工程混凝土结构耐久性设计应考虑的因素。其中，设计工作年限越长，海岸工程混凝土结构对耐久性要求越高；氯离子浓度、风速、温度等环境条件对海岸工程混凝土结构耐久性影响较大，对于处于大气区、水位变动区、浪溅区等不同环境条件的海岸工程混凝土结构的耐久性存在显著差异；混凝土的浇捣和养护工艺对混凝土耐久性也会产生显著影响；加强日常检查、定期检测评估和适时维修也可以提高海岸工程混凝土结构的耐久性；此外，建造成本和维护成本也会影响海岸工程混凝土结构耐久性。因此，海岸工程混凝土结构耐久性应根据结构的设计工作年限、结构所处的环境、施工条件、便于维护等进行合理设计，并考虑结构的全寿命成本因素。

**3.3.9** 水文（如海浪、潮位等）、气象（如温度、湿度、风速等）、腐蚀性介质（如氯离子、硫酸根、碳酸根等）等腐蚀环境不同，海岸工程混凝土结构耐久性劣化机理与严重程度也不同，所以海岸工程混凝土结构耐久性设计前应针对水文、气象、腐蚀性介质等进行专门的腐蚀环境调查。

**3.3.10** 钢筋保护层厚度不仅影响海岸工程混凝土结构构件的安全性（如承载能力），而且决定了海洋氯离子从外部环境到达混凝土内部钢筋表面的距离，从而影响海岸工程混凝土结构的耐久性。因此，海岸工程混凝土结构钢筋保护层厚度的确定应综合考虑安全性和耐久性设计的要求。

**3.3.11** 相同强度等级但原材料组分不同的混凝土，一般对混凝土构件的承载力影响不大，但是对混凝土结构的耐久性可能产生显著影响。例如，在氯盐环境下，大掺量矿物掺合料混凝土抵抗氯离子侵入的能力要比同样低水胶比但不加矿物掺合料的硅酸盐水泥混凝土高得多。所以海岸工程混凝土结构的耐久性设计，应根据结构所处的不同环境类别、环境作用等级与结构的设计工作年限，确定混凝土材料耐久性的主要技术要求，包括：混凝土原材料的选用要求（如水泥、矿物掺合料、骨料以及化学外加剂的品种与质量等），混凝土的最低强度等级，最大水胶比和胶凝材料的最小用量以及结构所处环境下所需的混凝土氯离子扩散系数、抗冻耐久性指数（或抗冻等级）等混凝土耐久性参数的具体指标以及引气等要求。

**3.3.12** 不同的防腐蚀措施具有不同的保护效果，为使所设计的防腐蚀措施技术可靠，并满足混凝土结构能够达到预定的设计工作年限的基本要求，应对采用的附加防腐蚀措施的抗腐蚀性能进行专门论证，并在设计文件中明确附加防腐蚀措施的设计保护年限、主要材料的性能指标及其检验方法等。

3.4 施工规定

**3.4.3** 由于海港工程、围海工程、海岸防护工程等海岸工程的施工多属无掩护水域施工，受风浪特别是台风影响较大，为保障施工安全，避免出现重大机损和人员伤亡事故，所以需要对施工船舶（如挖泥船、起重船、打桩船、水上平台、混凝土搅拌船以及附属作业的船舶等）的抗风浪性能、避风港或锚地的选定进行规定。

**3.4.4** 海岸工程混凝土结构施工现场应采取必要的安全防护措施，确保各项设备、设施和人员安全。同时，还要采取降尘、降噪、节能等环境保护措施，保证施工过程中的环保要求。此外，对可能发生的各种危害和灾害（如天气骤变、停水、断电、道路运输中断、主要设备损坏、模板质量安全事故等），应制定应急预案。

4 作 用

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 直接作用是指施加在结构上的集中力或分布力，习惯上常称为荷载；间接作用是指不以力的形式出现在结构上的作用；环境作用是指温度、湿度及其变化以及二氧化碳、氧、盐、酸等环境因素对结构或材料性能的影响。直接作用、间接作用、环境作用都会影响到海岸工程混凝土结构的安全性、适用性和耐久性，因此在设计时应充分考虑。

**4.1.2** 对有可能同时出现的各种作用，应该考虑它们在时间和空间上的相关关系，通过作用组合来处理对结构效应的影响；对于不可能同时出现的作用，则不应考虑其同时出现的组合。

**4.1.3**  本条规定了确定作用量值大小的一般原则。

**4.2 直接作用**

**4.2.1** 直接作用在结构上的集中力或分布力习惯上称为荷载。本条将海岸工程混凝土结构上的主要荷载按时间变化特性分类列出。同时，由于偶然荷载比较特殊，一般由各部门根据行业特点按经验确定采用，因此这里仅做原则性规定。

**4.2.2** 荷载的标准值是荷载的基本代表值，而其他代表值都可在标准值的基础上乘以相应的系数后得出。对于永久荷载，其代表值为荷载的标准值；对于可变作用，其代表值应根据设计要求采用标准值、组合值、频遇值或准永久值；与永久荷载和可变荷载不同，偶然荷载没有充分的统计信息，其代表值需要根据结构设计使用特点确定。

**4.2.3**  可变荷载的代表值与设计基准期有关。本规范采用的设计基准期为50年。当设计基准期大于50年，而可变荷载取值和其他设计条件不变，则结构的可靠指标会降低；反之亦然。因此，当设计基准期不同时，应当按照可靠指标一致的原则，对可变荷载量值进行调整。

**4.2.4** 本条规定了结构自重力的计算方法。材料的平均重度宜经实测确定，无实测资料时可参照《建筑结构荷载规范》（GB 50009）、《港口工程荷载规范》（JTS-144）等取值。

**4.2.5** 本条规定了水流作用的计算方法。水流阻力系数可参照《港口工程荷载规范》（JTS-144）取值，必要时可通过模型试验确定。

**4.2.6** 冰荷载是冰区海岸工程混凝土结构设计过程中需要重点考虑的外荷载，但由于目前仍缺乏广泛认可的冰荷载理论模型，因此这里仅做原则性规定。

**4.2.7** 海岸工程混凝土结构的风荷载体型系数、风压高度变化系数和基本风压可参照《港口工程荷载规范》（JTS-144）取值。沿海海面和海岛上的基本风压，宜按临近陆上基本风压乘以表4.2.7中的海上风压增大系数采用。此外，虽然海岸工程结构通常高度不大，但也存在塔架、灯塔、悬索桥索塔、斜拉桥索塔等高耸结构，其风荷载标准值的计算应符合《高耸结构设计标准》（GB 50135）、《建筑结构荷载规范》（GB 50009）等现行国家标准中的规定。

表4.2.7 海上风压增大系数

|  |  |
| --- | --- |
| 距海岸距离（km） | 海上风压增大系数 |
| ＜40 | 1.0 |
| 40~60 | 1.0~1.1 |
| 60~100 | 1.1~1.2 |

**4.2.8** 本条规定了海岸工程混凝土结构上波浪力的分析计算原则。海岸工程混凝土结构承受的波浪力可参照《港口与航道水文规范》（JTS 145）按照直墙式、斜坡式、墩柱式、桩基式等形式计算。

**4.3 间接作用**

**4.3.1** 对于除地震作用、温度作用以外的其他间接作用，虽然目前尚不具备条件列入本规范，但在设计中仍应根据实际可能出现的情况加以考虑。

**4.3.2** 海岸工程混凝土结构的抗震设防烈度是判断是否需要开展抗震设计的依据，应采用根据中国地震动参数区划图确定的地震基本烈度。

**4.3.3** 温度作用的影响因素很多，本规范仅涉及气温变化及太阳辐射等由气候因素产生的温度作用。

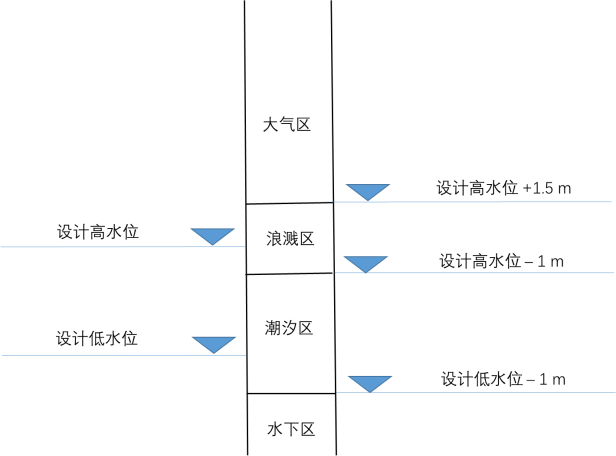
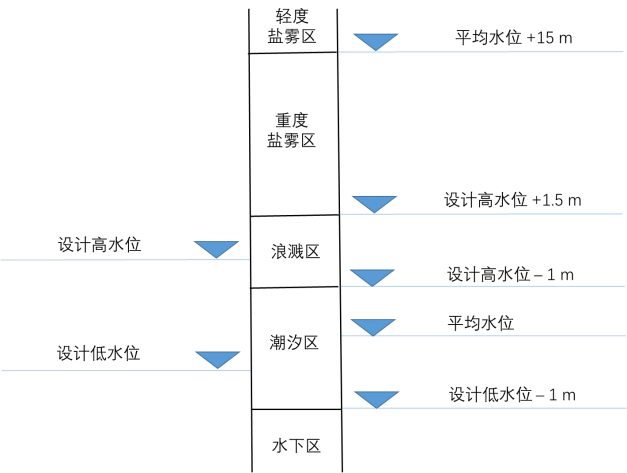
4.4 环境作用

**4.4.1** 根据海岸工程混凝土结构的腐蚀机理，海岸工程混凝土结构的暴露环境可划分为一般环境（如受正常大气和温度、湿度作用）、冻融环境、海洋氯化物环境、其他氯化物环境（如受除冰盐、浓缩海水等作用）、化学腐蚀环境（如受硫酸盐等作用）五类。

**4.4.2** 本条根据海岸工程混凝土结构所受的环境腐蚀作用程度划分环境作用等级。与各环境作用等级相对应的具体环境条件可参见条文4.4.3~条文4.4.6。

**4.4.4** 海岸工程混凝土结构主要与海水接触，应主要考虑其与海水接触条件下的冻融环境作用。现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》（GB 50476）中通过平均气温以及结构饱水程度进行冻融环境作用等级的划分，但结构饱水程度在实际工程中往往难以确定。为了便于使用，本标准通过平均气温划分海岸工程混凝土结构的冻融环境作用等级。

**4.4.5** 现行标准《混凝土结构耐久性设计标准》（GB 50476）与《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153）中对水下区、水位变动区、浪溅区和大气区的划分均参考了《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTJ 275）中的规定；不同的是，GB 50476 进一步将大气区划分为轻度盐雾区与重度盐雾区，而JTJ 153 未区分轻度盐雾区与重度盐雾区，如图4.4.5所示。考虑到目前轻度盐雾区与重度盐雾区界限的划分缺乏充分依据，因此本标准不对大气区进行轻度盐雾区与重度盐雾区的划分；且为偏于保守，本标准在环境作用量化时采用重度盐雾区对大气区进行表征。此外，海岸工程混凝土结构的腐蚀调查显示，浪溅区的腐蚀严重程度比水位变动区大得多，对于混凝土材料、构造及防腐蚀措施等耐久性要求均有较大的区别，因此本标准将浪溅区的腐蚀作用等级比水位变动区提高一级。

(a) JTS 153 (b) GB 50476

图4.4.5 海洋氯化物环境划分的对比

对于岛礁上的大气区的海岸工程混凝土结构，由于岛礁四面环海，其结构表面的氯盐沉积量相比大陆地区更大，所以其海洋氯化物环境作用等级应比大陆地区的提高一级。

**4.4.6** 本条参照现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》（GB 50476）、电力行业标准《自然通风冷却塔防腐设计导则》（DL/T 5546）和能源行业标准《核电厂海工混凝土结构防腐蚀技术规范》（NB/T 10597）制定。

**4.4.7** 大多数情况下结构受到的环境类别作用不止一种，因此在开展结构耐久性设计时，应同时分别满足每种环境单独作用下的耐久性要求，有条件时还宜考虑多重环境共同作用时的相互影响。

5 材 料

5.1 一般规定

**5.1.2** 不同环境条件对混凝土的工作性和体积稳定性、强度、耐久性等有不同要求，原材料选用应充分考虑环境对新拌混凝土和硬化混凝土的要求。

**5.1.3** 混凝土原材料中有害成分（如氯离子、硫酸根离子、可溶碱等）含量会对混凝土强度、耐久性及体积稳定性等产生不利影响，在配制混凝土时，应严格控制混凝土各种原材料（水泥、矿物掺合料、骨料、拌合水和外加剂等）中的有害成分。

**5.1.4** 根据《中华人民共和国建筑法》，材料应按设计技术文件、施工技术标准和合同的约定进行进场检验，不合格的不得使用和安装。

**5.1.5** 存放在现场的材料品种有时很多，而不同品种的材料其性能也不同，混合存放将会不利于材料使用过程的检验和管理，可能会影响混凝土的性能及工程质量，应按品种、规格分别堆放，不得混杂。同时，还要防止材料受潮或受到海水等污染。

5.2 混凝土材料

**5.2.1** 海岸工程混凝土推荐使用按现行国家标准《通用硅酸盐水泥》（GB 175）规定的硅酸盐系列的六种水泥。国内外大量研究和调查结果表明，水泥熟料中的铝酸三钙含量9%l7%，水胶比不大于0.5的低渗透性混凝土也不会产生硫酸盐型化学腐蚀破坏，不影响混凝土结构的耐久性；此外铝酸三钙还可以与氯离子结合，有利于延长钢筋表面氯离子浓度达到临界浓度的时间。因此，普通硅酸盐水泥和硅酸盐水泥熟料中铝酸三钙含量控制在6%12%。火山灰质硅酸盐水泥掺加20%40%的火山灰质混合材，需水量大、抗冻和抗碳化性差。采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥和掺加活性掺合料能够提高混凝土的质量和稳定性。

大体积混凝土温度控制的关键措施就是最大限度地降低混凝土的水化热，掺加一定数量活性混合材料的水泥水化热相对较低，或者采用普通硅酸盐水泥掺加一定数量的粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等活性掺合料，能够明显降低胶凝材料的水化热。为在大体积混凝土施工中降低混凝土因水泥水化热引起的温升，达到降低温度应力和保温养护费用的目的，参考《大体积混凝土施工标准》（GB 50496）提出水泥水化热的要求。

配制高性能混凝土的主要措施是使用优质活性矿物掺合料。矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥及复合硅酸盐水泥在生产过程中已掺入了各种掺合材料，而掺合材料的质量、掺入量和掺入方式难以被使用方所掌握，且不同厂家、不同批次的水泥会有差异或是波动，用这些水泥拌制高性能混凝土质量风险比较大。

**5.2.2** 本条参照《混凝土结构通用规范》（GB 55008）规定了海岸工程混凝土用砂的基本要求。随着天然砂枯竭或禁采，结构混凝土用机制砂（人工砂）是大势所趋，机制砂的粒型、级配、石粉含量、压碎指标等显著影响混凝土性能。其中，含有石粉是机制砂区别于天然砂的一个重要技术特征。不同母岩生产的机制砂（人工砂）的石粉含量对混凝土性能影响差别较大。科学合理地应用好机制砂中的石粉，是制备优质机制砂（人工砂）混凝土的关键技术之一。采用石粉的亚甲蓝值MBF和石粉流动度比FF两个指标进行评估，才能达到有效控制石粉含量及有效利用优质石粉的目的；传统上采用机制砂MB值作为指标往往难以准确反映石粉对混凝土性能的综合影响。同时，考虑到机制砂的来源和应用，本规范仅给出机制砂的控制指标，具体指标参数可参考现行的行业标准和地方标准。

海砂用于海岸工程混凝土结构时必须进行净化处理，并保证氯离子含量符合本条要求。研究和工程实践证明，经净化处理合格的海砂用于混凝土结构，其力学性能和耐久性能与河砂配置的混凝土相当。海砂净化处理通常是指采用专用设备和工艺对海砂进行淡水淘洗并达到质量要求的过程。净化处理包括去除海砂的氯离子等有害离子、泥（泥块）、贝壳等杂质。用淡水淘洗进行海砂净化处理是目前国内外最可靠的技术途径，氯离子含量符合要求才能有效控制长期服役中混凝土结构的钢筋锈蚀。

**5.2.3** 本条规定了海岸工程混凝土结构用粗骨料的基本要求。不同来源的粗骨料，其成分、矿物和质量有很大差别，明确其主要质量指标，便于实现混凝土的质量控制。粗骨料含泥量、泥块含量以及坚固性检验指标对混凝土耐久性影响大，必须严格控制。高强混凝土对于粗骨料的含泥量和泥块含量有较高要求，其含量对高强混凝土性能影响较大，应严格控制。具有碱活性的粗骨料，有可能与来自水泥或其他来源的碱（Na2O和K2O）发生反应，反应产物会使混凝土膨胀引起混凝土开裂和破裂。因此，为保证海水环境混凝土结构的耐久性，严禁使用碱活性粗骨料。

**5.2.4** 本条规定了结构混凝土拌合用水的基本要求，列出了拌合用水的主要控制因素。混凝土拌合用水的pH值、硫酸根离子含量、氯离子含量等会影响混凝土各方面性能；水中不溶物（如泥土、悬浮物等）和可溶物（各类可溶性盐）含量也对混凝土主要性能有显著影响，这些因素都应该予以控制。

海水中含有大量的氯盐、硫酸盐、镁盐等化学物质，掺入混凝土中后，会对钢筋产生锈蚀，对混凝土造成腐蚀，严重影响混凝土结构的安全性和耐久性，因此，严禁直接采用海水拌制和养护钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构的混凝土。有些地下水、地表水、再生水可能有放射性，应用时应进行相关指标检测并控制。

**5.2.5** 粉煤灰质量指标要求主要参照《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153）和《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB/T 1596）标准制定。海岸工程高性能混凝土和预应力混凝土通常强度不低，新拌混凝土对用水量比较敏感，因此对高性能混凝土和钢筋混凝土规定采用I级粉煤灰或需水量比不大于100%的II级粉煤灰。有抗冻要求的混凝土在掺加合适的引气剂后，掺加I级粉煤灰或II级粉煤灰不影响混凝土抗冻性能。

**5.2.6** 粒化高炉矿渣粉的质量指标要求参照《高强高性能混凝土用矿物外加剂》（GB/T 18736）和《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》（GB/T 18046）标准制定。由于S75级粒化高炉矿渣粉的活性指数较低，与水泥水化产物发生二次水化作用的程度较低，提高混凝土的密实性作用相对较弱，因此在海岸工程中不宜采用S75级粒化高炉矿渣粉。一般矿渣粉磨越细，其活性越高，掺入混凝土后，早期产生的水化热越大，大体积混凝土用矿渣粉比表面积不宜大于450m2/kg。

**5.2.7** 硅灰的质量指标要求参照国家现行标准《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153)、《混凝土质量控制标准》(GB 50164)制定。海岸工程配制高性能混凝土时，对硅灰的质量要求较高；限制硅灰中的氯离子不大于0.02%，主要是控制混凝土拌合物中总的氯离子含量不超过规定要求。

**5.2.8** 参照《混凝土外加剂》（GB 8076）对外加剂的品质进行规定，并限制外加剂中的氯离子不大于0.02%，主要是控制混凝土拌合物中总的氯离子含量不超过规定要求。

**5.2.9**  混凝土设计和施工都会提出对坍落度等混凝土拌合物性能的要求，如果混凝土拌合物出了问题，则硬化混凝土质量无法保证。因此，混凝土拌合物性能是混凝土质量控制的重点之一。现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》（GB/T 50080）将混凝土拌合物按照坍落度大小分为5个级别，考虑到海岸工程混凝土对于高性能混凝土的需求，其拌合物按照坍落度大小宜分为4个级别。

**5.2.10** 考虑到海岸工程主要采用高性能混凝土，Ⅲ、Ⅳ级环境的海岸工程混凝土主要参考《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153）中对于海水环境混凝土质量的规定。对于Ⅰ、Ⅱ、Ⅴ级环境的海岸工程混凝土，主要参考《混凝土结构耐久性设计标准》（GB 50476）的规定，同时考虑到混凝土强度等级过高会导致水化热增大、混凝土开裂风险增加，本标准对混凝土强度等级做了调整。

**5.2.11** 裂缝会加速水分和侵蚀介质在混凝土中的传输，降低混凝土的抗侵蚀能力。对于处于严酷腐蚀环境中，并且可能因为混凝土中胶凝材料水化引起的温度变化或者体积变化而导致有害裂缝产生的混凝土构件，需要在材料选用阶段采取必要的措施控制裂缝产生和发展。

**5.2.12** 自密实混凝土既要有较好的流动性、填充性，同时又要有较高的抗离析性能。从现有研究成果看，目前还难以采用某种单一的试验方法同时准确地测量这三方面的性能。《自密实混凝土应用技术规程》（JGJ/T 283）、《水工自密实混凝土技术规程》（DL/T5720）、中国工程建设标准化协会标准《自密实混凝土应用技术规程》（CECE203）、日本土木学会《自密实混凝土推荐标准》和欧洲EFNARC《自密实混凝土应用指南》等国内外标准推荐采用坍落扩展度、扩展时间T500、V形漏斗通过时间、L形箱、U形箱、J形环、离析率、振动筛析率等来综合判别自密实混凝土的工作性能。综合测试结果的全面性、准确性和现场可操作性，选择坍落扩展度、扩展时间T500、L形箱、V形漏斗通过时间和离析率作为自密实混凝土拌合物的自密实性能检测方法。其对应不同等级的技术指标在参考国内外有关标准取值并结合自密实混凝土拌合物性能测试数据的基础上提出。

**5.2.13** 超高性能混凝土的原材料种类虽与传统水泥基材料大体相同，但在原材料选用、配制技术、原材料性能和质量控制方面都有很高要求，在此基础上才可能稳定地获得预期的“超高性能”。在生产过程中，需要严格控制原材料质量、性能的稳定性，包括所有颗粒原材料粒径分布稳定性，以及组成稳定性或配料准确性，保证颗粒堆积体密实度的稳定性，这是实现超高性能混凝土质量和性能稳定的关键。因此，工程现场浇筑施工宜使用预混料产品生产制备超高性能混凝土，可以大幅度降低现场质量控制难度。同时根据现行国家标准《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）及国内外相关标准对超高性能混凝土的28d最小抗压强度、抗拉强度及抗氯离子渗透性进行了规定。

5.3 钢 筋

**5.3.1、5.3.2** 近年来，国内混凝土结构用钢筋、钢丝、钢绞线的品种和性能有了进一步的发展，因此本规范引用现行的钢筋国家标准。

5.4 防腐蚀材料

**5.4.1** 考虑现场涂装施工要求和混凝土构件的腐蚀特点，将混凝土表面涂层保护划分为表干区和表湿区。底层涂料要求具有一定的渗透能力，使涂层与混凝土粘接牢固，也是满足整个涂层体系粘结强度的基础；中间层涂料主要功能是具有较好的防腐蚀能力，能抵抗外界有害介质的入侵，起到屏蔽效果；面层涂料要求有较高的耐老化性能，使涂层耐候性好，避免过早褪色、粉化甚至开裂、脱落而影响保护效果。处于水位变动区和浪溅区构件，因水位涨落和风浪的作用，其表面往往处于潮湿甚至带水状态，普通涂料施涂在潮湿的混凝土表面通常不能正常固化，无法满足涂层的粘结强度和防腐蚀要求，因此，对表面潮湿状态（包括混凝土表层含水量大于6%）混凝土使用的涂料的基本条件是具备湿固化性能，在涂层硬化后其粘结强度、耐碱性、耐冲击性和涂层外观质量满足规定要求，表湿区使用湿固化涂料是涂层质量稳定的基本要求。

混凝土表面涂层体系设计主要考虑：（1）涂层体系组成及要求；（2）各道涂层的涂料品种和厚度；（3）整个涂层体系的涂层性能要求。涂层既要具备优良的隔绝氯离子、二氧化碳、氧气向混凝土侵入的功能，又要能“坚固耐用”。因此，配套的各层涂料之间需要具备良好的相容性，既满足各层涂层的各自功能要求，又能发挥整体作用，形成一个防护效果好的涂层体系。涂层厚度要求主要与设计保护年限、涂料性能等有关。通常设计保护年限长或腐蚀程度高，则要求的涂层厚度增大；涂料性能高，涂层厚度降低。同时需要考虑涂装的施工要求，如满足涂层的连续均匀、颜色一致等。

本条规定的混凝土表面涂层性能指标是最基本要求。涂层的耐老化性直接影响其设计保护年限，耐老化性能由人工气候老化模拟试验，根据经验推断满足设计使用年限相对应的老化时间；涂层抗氯离子渗透性试验参考了日本土木工程学会标准，通过制作的涂层试片测试其氯离子的通过能力，达到本标准规定的性能指标，可以认为涂层基本上起到了隔绝氯离子渗透的作用；本标准以涂层与混凝土的正拉粘接强度来衡量涂层与混凝土之间的附着牢固程度，试验表明，当按本条规定的试验方法测出的粘接强度不低于1.5MPa时，基本上属于混凝土本体断裂，可以认为涂层配套各层之间相容好，粘接牢靠，涂层与混凝土之间附着牢固；混凝土是碱性材料( pH值为12.5 ~13.2)，因此涂层要满足耐碱性要求。

**5.4.2** 我国工程材料暴露试验表明：大气区和浪溅区暴露10年的硅烷浸渍试件的浸渍保护效果仍非常有效。我国深圳盐田港集装箱码头二期工程实体调查也证明：15年硅烷浸渍保护效果仍良好，预期可以保护更长时间。因此，本条规定混凝土结构采用硅烷浸渍保护的设计保护年限宜为1520年，此规定与英国运输部标准BD 43/03等规范一致。早期采用的硅烷材料多为液态异丁基三乙氧基硅烷，它具有分子量小、渗透容易等优点，其应用效果已得到普遍论证。随着密实程度较高的高性能混凝土应用越来越普遍，普通液态硅烷往往由于高性能混凝土基材过于密实，吸收量少，难以达到理想的渗透深度而影响防护效果。而具有良好的触变性、挥发性小、不流淌的异辛基三乙氧基膏状硅烷能很好解决这一问题，此外，膏状硅烷对普通混凝土也具备较好的保护效果，非常适用于需仰面作业的构件顶面，或构件侧面的混凝土硅烷保护，并且经过长期暴露试验和工程应用证明其综合技术和经济性较好。硅烷材料的有效成分和纯度是保持硅烷浸渍混凝土在设计保护年限内满足保护效果的关键控制环节，因此，本条规定了硅烷的有效成分指标。

混凝土硅烷浸渍的保护效果检验其吸水率、渗透深度和氯化物吸收量降低效果。吸水率主要反映了硅烷浸渍后混凝土表面的憎水性能、也就是降低环境中水和氯离子等的侵入能力；渗透深度是硅烷与表层混凝土结合形成一个防护层的厚度，反映了混凝土硅烷浸渍长期保护效果；氯化物吸收量降低效果则是体现了混凝土在硅烷浸渍后抵抗氯盐的渗透能力。

**5.4.3**  钢筋混凝土阻锈剂是掺入混凝土内或涂覆于钢筋混凝土表面，能抑制或减缓钢筋腐蚀的外加剂。钢筋混凝土阻锈剂按使用方式分为掺入式（代号C）和涂覆式（代号T）；按照作用效果分为以无机盐为主的阳极型阻锈剂（I型），以有机醇胺为主的复合型阻锈剂（II型和III型），其中I型和II型均为掺入型，III型为涂覆型。市场上阳极型阻锈剂多以亚硝酸盐为主要阻锈成分，多为粉体，具有一定的毒性和致癌性，因环保问题在瑞士、德国等国家被禁止使用（属于有毒物质）；复合型阻锈剂多以有机醇胺为主要阻锈成分，一般为液体，具有环保、高效、安全等特点，对混凝土工作性能影响小。因此，宜选用以有机醇胺为主的复合型阻锈剂。

根据钢筋混凝土阻锈剂试验研究及其工程实践发现，钢筋混凝土阻锈剂对混凝土或砂浆的初终凝时间、抗压强度和坍落度等会有一定程度的影响。因此，选用的钢筋混凝土阻锈剂，需要通过试验确定掺阻锈剂混凝土性能满足设计及施工要求，且不会导致混凝土性能劣化。

**5.4.4** 目前工程上主要采用两种掺入式混凝土抗蚀材料：一种是疏水型抗蚀抑制剂（TIA），属有机聚合物疏水型材料，通过对混凝土中毛细孔的封堵和憎水基团的引入，抑制氯离子等侵蚀介质在混凝土孔隙溶液中的迁移，提高混凝土抗氯离子渗透性能，多用于桥隧工程；另一种是密实型抗蚀增强剂（CPA），属无机非金属掺合料型材料，通过增强混凝土本身致密性和提高抗裂性能来增强混凝土抗氯离子渗透性能，多用于海港码头工程。本标准规定了抗侵蚀抑制剂和抗侵蚀增强剂两种材料的性能指标，以规范混凝土抗侵蚀剂的应用。

5.5 其他材料

**5.5.2** 氯离子对预应力筋有极强的腐蚀破坏作用。由于在恶劣环境条件下预应力结构孔道灌浆及锚具封锚的质量和耐久性要求高，在参考现行国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》（GB 50476）、《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204）的基础上，本条对用于预应力孔道灌浆的水泥基灌浆材的氯离子含量作了详细规定。

**5.5.3** 复合筋的种类、外观、尺寸偏差和拉伸性能是影响纤维增强复合材料性能的主要因素，应根据实际混凝土工程设计要求进行确定。

6 设 计

6.1 一般规定

**6.1.3** 本条规定了各种基本变量设计的确定方法，参考了国家现行标准《工程结构通用规范》（GB/T 55001）的相关规定。

**6.1.4** 本文给出了不同设计状况的适用范围和采用的极限状态设计方法。为了保证结构的安全性和适用性，海岸工程混凝土结构设计时选定的设计状况应涵盖所能够合理预见到的各种可能性。承载能力极限状态因涉及结构安全和人身安全，因此在各种设计状况下均应加以验算。持久设计状况适用于结构正常使用情况，因此还应当进行正常使用极限状态设计。偶然设计状况对正常使用极限状态验算不做要求。其他设计状况是否进行正常使用极限状态设计则不做强制要求，可根据实际情况确定。

6.2 承载能力极限状态设计

**6.2.1** 本条给出了海岸工程混凝土结构或构件承载能力极限状态的定义。承载能力极限状态代表结构或构件发挥允许的最大承载能力的状态，超过该极限状态，将导致结构或构件失效，需要拆除或大修。

**6.2.2** 本条列出了各类设计状况下海岸工程混凝土结构或构件承载能力极限状态计算应考虑的内容。由于海岸工程混凝土结构面临多种偶然荷载作用，如台风、地震、海啸等自然灾害与爆炸、撞击、火灾等其他灾害，为了保证必要的整体稳固性和鲁棒性，对于倒塌可能引起严重后果的重要结构，本条强调了防连续倒塌设计的必要性。

**6.2.3** 本条给出了承载能力极限状态作用组合的具体操作要求，与国家现行标准《工程结构通用规范》（GB/T 55001）的相关规定一致。

**6.2.4** 本条为承载能力极限状态设计的基本表达式，与现行国家标准《混凝土结构设计规划》（GB／T 50010）和《港口工程结构可靠性设计统一标准》（GB/T 50158）的相关规定一致，具体内容可参考相关标准。

**6.2.5** 本条参考了现行国家标准《混凝土结构设计规划》（GB／T 50010）和《港口工程结构可靠性设计统一标准》（GB/T 50158）的相关规定，但对偶然设计状况下的结构重要性系数作了补充规定。

**6.2.6** 计算水位是河港和海港工程结构设计中相当重要且比较复杂的内容，属于强制性条文。对于海岸工程混凝土结构设计，本条参考了现行国家标准《港口工程结构可靠性设计统一标准》（GB／T 50158）的相关规定，且对地震组合计算水位进行了补充规定。

**6.2.7** 混凝土材料内部分布大量的微缺陷，如微孔洞和微裂缝等，外力作用下这些微缺陷发生扩展、汇聚、压溃等，导致混凝土材料表现出一些典型的非线性力学行为特征，如强度软化、刚度退化、拉压软化、单边效应等。弹塑性分析方法不能准确反映上述特征，本条建议对于二维和三维混凝土结构构件，采用弹塑性损伤力学分析方法进行计算。

6.3 正常使用极限状态验算

**6.3.1** 本条给出了海岸工程混凝土结构或构件的正常使用极限状态的定义。正常使用极限状态代表结构或构件达到使用功能上允许的某个阈值的状态。超过该极限状态，通常不会导致结构发生失效或破坏，在消除某些不利因素之后，结构一般还能继续正常使用。

**6.3.2** 本条列出了各类设计状况下海岸工程混凝土结构或构件正常使用极限状态计算应考虑的内容，与现行国家标准《混凝土结构设计规划》（GB／T 50010）的相关规定一致。

**6.3.3** 本条参考了现行国家标准《工程结构通用规范》（GB/T 55001）的相关规定。所谓可逆是指在导致超出极限状态的因素移除之后，结构可以恢复正常的极限状态；不可逆是指一旦超出极限状态，结构不能再恢复正常的极限状态。不可逆的正常使用极限状态采用的设计准则与承载能力极限状态类似；可逆的正常使用极限状态设计准则可根据实际情况确定。

**6.3.4** 本条为正常使用极限状态设计的基本表达式，与国家现行标准《混凝土结构设计规划》（GB／T 50010）和《港口工程结构可靠性设计统一标准》（GB/T 50158）的相关规定一致。

**6.3.5** 本条参考了国家现行标准《港口工程结构可靠性设计统一标准》（GB/T 50158）的相关规定。这里的极端高水位和极端低水位指的都是设计水位。

6.4 耐久性极限状态设计

**6.4.1** 混凝土结构或构件的材料参数、施工养护条件和结构几何外形等在一定范围内波动，同时环境作用指标也应具有变异性。因此，海洋氯化物环境下海岸工程混凝土结构耐久性定量设计宜采用以概率理论为基础。以分项系数表达的极限状态设计法是现阶段结合可靠度性分析的实用方法。

**6.4.2** 钢筋开始脱钝的极限状态定义为混凝土中钢筋表面的氯离子浓度积累达到钢筋脱钝并导致钢筋开始生锈的极限状态；钢筋适量锈蚀的极限状态定义为钢筋锈蚀发展导致混凝土构件表面开始出现顺筋裂缝，或钢筋截面的径向锈蚀深度达到0.1mm。由于目前没有广泛认可的模型可以分析钢筋开始脱钝到混凝土构件表面开始出现顺筋裂缝或钢筋截面的径向锈蚀深度达到0.1mm阶段的过程，所以采用钢筋适量锈蚀的极限状态进行耐久性定量设计时，需通过专门的研究论证。

**6.4.3** 混凝土结构耐久性极限状态设计应针对确定的极限状态开展设计，海岸工程混凝土结构主要考虑氯离子侵入混凝土内部并在钢筋表面积聚，导致钢筋脱钝生锈，混凝土保护层开裂剥落，引起的混凝土结构耐久性劣化。混凝土从开始服役到钢筋发生脱钝锈蚀时约占混凝土结构使用寿命的70%以上，钢筋开始脱钝的极限状态是对结构和构件耐久性保证率较高、相对保守的极限状态，一般适用于重要的结构和构件，或者维护难度较大的构件。预应力筋的延性差，破坏呈脆性，一旦开始锈蚀，发展速度较快，所以也宜偏于安全考虑，以预应力筋开始脱钝作为耐久性极限状态。

对于钢筋混凝土结构的不同构件（如板、墙、梁和柱）或不同部位（如角部、中部和棱边），氯离子的扩散维数和浓度分布规律具有显著差异，所以需要根据结构的几何外形，确定氯离子在混凝土结构中的扩散维数。板、墙等面形构件或矩形构件的中部，遭受来自一个暴露面的氯离子侵蚀作用，混凝土中的氯离子扩散过程属于一维扩散，如图6.4.3（a）所示；梁、柱等条形构件的棱边区域，遭受来自两个暴露面的氯离子侵蚀作用，混凝土中的氯离子扩散过程属于二维扩散，如图6.4.3（a）所示。

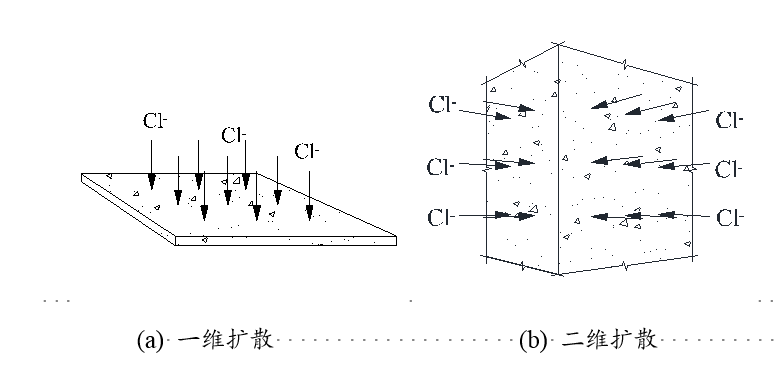


图6.4.3 混凝土中氯离子扩散维数示意图

氯离子在混凝土中的传输是一个非常复杂的物理化学过程，其传输积聚过程中受材料性能、环境条件和结构构件形状的影响，国内外广泛采用Fick第二定律来描述混凝土中氯离子的扩散，考虑氯离子扩散系数的时变性，混凝土中钢筋表面在*t*s时刻的氯离子浓度设计值可由下列公式计算：

**1** 一维扩散：

 (6.4.3-2)

**2** 二维扩散：

 (6.4.3-3)

式中：

——混凝土表面氯离子浓度的设计值(%)；

——混凝土中的初始氯离子浓度(%)；

——混凝土保护层厚度的设计值(mm)；

——设计工作年限(a)；

——在时刻的氯离子扩散系数设计值(m2/s或mm2/a)，其表达式为：

 (6.4.3-4)

式中：

——混凝土快速试验（RCM法）初始氯离子扩散系数（m2/s或mm2/a）；

——氯离子扩散系数的分项系数；

——混凝土中氯离子扩散环境影响系数；

——混凝土氯离子扩散系数试验方法转换系数，应根据室内快速试验与现场长期暴露试验结果的相关系数确定；

——混凝土应力影响系数；

——混凝土开始暴露于氯化物环境中的龄期(d)，一般与混凝土快速试验时龄期相同，可以取*t*0 = 28 d≈0.0767 a；

*n*——龄期衰减系数；

erf(∙)——误差函数。

**6.4.4**  传统的耐久性设计方法通常将混凝土强度、水灰比、水泥用量、氯离子扩散系数等相互关联的材料性能参数同时选取为耐久性设计参数，不仅导致各参数的功用目标不明确，而且各参数的取值也相互干扰。鉴于此，本标准将混凝土保护层厚度、初始氯离子扩散系数及其龄期衰减系数同时选取为海洋氯化物环境下混凝土结构的耐久性设计参数。其中，氯离子扩散系数及其龄期衰减系数是材料性能参数，分别代表了混凝土的抗氯离子侵蚀性能及其时变性质；混凝土保护层厚度属于结构几何参数，与氯离子扩散维数一起反映了结构几何条件对氯离子扩散过程及其浓度分布的影响。因此，将混凝土保护层厚度、氯离子扩散系数及其龄期衰减系数选取为混凝土结构的耐久性设计参数，可以有效克服现行耐久性设计方法所存在的设计参数重复设置、不能反映材料性能衰变特性等缺陷。此外，荷载作用产生的应力通过改变混凝土内部的孔隙结构而影响氯离子扩散系数，因此在对海岸工程混凝土结构进行耐久性设计时需要考虑应力的影响。应力水平定义为混凝土所受的拉应力与混凝土28d龄期的抗折强度标准值的比值。

**6.4.5** 保护层厚度决定了氯离子从混凝土表面传输到钢筋表面的距离，是影响混凝土结构寿命的重要因素之一，因此需要规定混凝土保护层最小厚度值，以防止混凝土过早发生钢筋腐蚀损坏。考虑到Ⅲ-E、Ⅲ-F区的现浇混凝土构件施工过程中质量难控制及容易过早接触海水，混凝土浇筑后的早期，胶凝材料正处于水化过程中，掺合料的二次水化仍在进行，这时混凝土的密实性、抗氯离子渗透性能较低，接触海水时氯离子会以较快的速度侵人混凝土。因此，对Ⅲ-E、Ⅲ-F区的现浇混凝土构件，采取提高现浇混凝土保护层厚度10mm~15mm的方法适度补偿。

**6.4.6** 针对海洋氯化物环境下对于设计工作年限为50年的海岸工程混凝土结构，根据本标准条文6.4.5中规定的混凝土最小保护层厚度，相应的规定了初始氯离子扩散系数*D*0上限值。如果实际保护层厚度高于最小保护层厚度，宜根据附录A进行调整，对于设计工作年限不是50的海岸工程混凝土结构，宜根据附录B的规定计算*D*0的上限值。

**6.4.7** 龄期衰减系数*n*是反映氯离子扩散系数衰减速率的重要参数，矿物掺合料的种类及掺量对龄期衰减系数有重要的影响。编制组统计了杭州湾跨海大桥、青岛海湾大桥、泉州湾跨海大桥、厦漳跨海大桥、惠州海湾大桥、龙门大桥、中化兴中石油转运岙山基地3#码头、港珠澳大桥沉管隧道、深中通道、青岛海底隧道、大连湾海底隧道等桥梁、港口码头和海底隧道的混凝土配合比设计，根据美国Life-365计算程序给出的龄期衰减系数与矿物掺合料的种类及掺量的关系式，计算出实际工程中龄期衰减系数的典型取值范围为0.40~0.65。

**6.4.8** 针对设计使用年限为50年的海洋氯化物环境下海岸工程混凝土结构，分别计算出不同环境作用等级作用下耐久性设计参数、及的候选组合，见附录A。对海岸工程混凝土结构进行耐久性定量设计时，可以从附录A中选取合适的混凝土保护层厚度设计值*c*d、初始氯离子扩散系数*D*0和龄期衰减系数*n*备选组合。当不适合根据附录A确定混凝土结构的耐久性设计参数取值时（如涉及工作年限不为50年），应根据本标准附录B对海岸工程混凝土结构开展耐久性定量设计。

6.5 附加防腐蚀设计

**6.5.3** 处于环境作用E级及以上的海岸工程混凝土结构，耐久性问题突出，可采用两种或两种以上的附加防腐蚀措施，以抵抗环境侵蚀。选择原则一方面需要结合结构设计使用年限、环境条件和防腐蚀措施的设计保护年限等进行综合评估，另一方面也需要考虑不同附加防腐蚀措施之间的技术相容性。

**7 施 工**

7.1 一般规定

**7.1.4** 防腐蚀施工过程包括诸多工序，例如：涂层及硅烷浸渍的表面处理、阴极保护电连接、外加电流的电缆搭设、涂层或硅烷施工工作平台搭设等等，均需要与结构主体施工进行交叉作业，需要在施工中进行通盘考虑，尽量减少交叉作业，合理安排，避免交叉作业影响安全和质量问题。施工作业过程中各道工序的检查是质量控制的重要环节。如混凝土表面涂层的涂装施工会遮盖上一道工序，而上一道工序的质量可能直接影响到下一道工序施工质量，如基材的表面处理质量，会影响整个防腐体系的质量。因此，本条规定这类隐蔽工程需要经过验收后，才能进行下一步作业，以保障施工质量满足规定要求。

**7.2 兼顾强度与耐久性的混凝土配合比设计**

**7.2.1** 本条强调了混凝土配合比设计应兼顾混凝土强度和耐久性能的设计要求。并对混凝土性能测试方法进行了规定。

**7.2.2** 海岸工程混凝土的原材料性能和技术要求是确定混凝土配合比的前提，因此混凝土配合比应根据原材料性能和技术要求计算，并通过试验试配调整后确定。

**7.2.3** 混凝土强度配制值对生产施工的混凝土强度应具有充分的保证率。式（7.2.3-1）和式（7.2.3-2）已经在现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ55）中采用，并在各类工业和民用建筑工程中得到检验，因此本标准继续采用。

**7.2.4** 根据实际生产技术水平和大量调研，并参照《水运工程混凝土施工规范》（JTS 202）相关规定确定表7.2.4的强度标准差取值。

**7.2.5** 海岸工程混凝土的初始氯离子扩散系数配制值的计算模型（7.2.5）是参考强度配制值的计算模型（7.2.3-1）建立的，具有95%的保证率。

当混凝土耐久性保证率为95%时，，初始氯离子扩散系数配制值应按式（7.2.5-2）确定：

 （7.2.5-2）

式中：

—初始氯离子扩散系数的变异系数,是根据国内外研究学者的研究成果选取的，也可根据当地实测的混凝土初始氯离子扩散系数的历史统计资料并参照本规范的式（7.2.5-1）计算得到。

**7.2.6** 水胶比和矿物掺合料掺量均会影响海岸工程混凝土的强度和耐久性，根据现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55）可得水胶比和矿物掺合料掺量与混凝土强度配制值间的关系如下式：

 （7.2.6-1）

式中：

——水泥强度值；

——粒化高炉矿渣粉影响系数，根据《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55中表5.1.3，可利用公式进行近似求解得到。

——粉煤灰影响系数，根据《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55）中表5.1.3，可利用公式进行近似求解得到。

——水泥强度等级值的富余系数；

——与骨料类别相关的回归系数，可参照《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55）相关规定确定取值。

相关研究表明，混凝土氯离子扩散系数与水胶比、粉煤灰掺量、粒化高炉矿渣粉掺量分别呈线性关系，据此可以建立初始暴露龄期的基于配合比参数的氯离子扩散系数配制值的计算模型：

 （7.2.6-2）

式中，和为待定系数，可以通过实测数据进行回归分析确定，从而建立基于水胶比、粒化高炉矿渣粉掺量的初始氯离子扩散系数配制值的计算模型。

美国Life-365报告基于不同地域的长期暴露试验数据，提出了龄期衰减系数关于粉煤灰掺量和粒化高炉矿渣粉掺量的计算模型，即。通过对比分析，Life-365模型相较于其他现有的龄期衰减系数计算模型适用性更广、可靠性较高。

为了方便设计人员使用，本标准附录E中，根据式（7.2.6-1）建立了强度配制值计算模型；通过搜集不同地域测试得到的164组混凝土氯离子扩散系数试验数据，利用试验数据对式（7.2.6-2）进行回归分析确定了待定系数，从而建立了初始氯离子扩散系数配制值的计算模型；龄期衰减系数计算模型沿用了国际认可度较高的Life-365模型。此外，列出了三个计算模型联立求解后水胶比、粉煤灰掺量和粒化高炉矿渣粉掺量解析解的计算式，供设计人员参考使用。

**7.2.7** 由于海岸工程混凝土多为高性能混凝土，混凝土拌合物均表现为塑性，且海岸工程混凝土制备时多采用碎石，因此本条根据塑性混凝土的坍落度等级和碎石的最大粒径规定了如表7.2.7所示的每立方米混凝土的用水量；若采用卵石，卵石的形状较碎石更规则，作为粗骨料会提高混凝土拌合物的流动性，因此采用卵石应在表7.2.7的基础上减少用水量；此外，砂子越细，比表面积越小，吸水率越高，反之，吸水率越低，因此，为了保障混凝土拌合物的工作性能，采用粗砂时可在表7.2.7的基础上减少用水量，采用细砂时可增加用水量；需要注意的是表中数据为未掺加外加剂的混凝土用水量，经多年应用，证明基本符合实际。当混凝土掺加外加剂，且外加剂具有减水效果时，掺加外加剂后的用水量应根据其减水率在表7.2.7的基础通过试验进行调整。

**7.2.8** 对于同一强度等级混凝土，矿物掺合料掺量增加会使水胶比相应减小，如果取用水量不变，按公式（7.2.8）计算的胶凝材料用量也会增加，并可能不是最节约的胶凝材料用量，因此，公式（7.2.8）计算结果仅仅为初算的胶凝材料用量，实际采用的胶凝材料用量应经过试拌选取一个满足拌合物性能要求的、较节约的胶凝材料用量。

**7.2.9** 本条中的外加剂特指具有减水功能的外加剂。

**7.2.10** 计算矿物掺合料用量所采用的矿物掺合料掺量是在计算水胶比过程中选用不同掺量经过比较后确定的。计算得出的胶凝材料、矿物掺合料和水泥的用量还要在试配过程中调整验证。

**7.2.13** 本节对砂率的取值具有指导性，经实际应用，证明基本符合实际。在实际工作中，也可以根据经验和历史资料初选砂率。砂率对混凝土拌合物性能影响较大，可调整范围略宽，也关系到材料成本，因此，按本节选取的砂率仅是初步的，需要在试配过程中调整后确定合理的砂率。

**7.2.15** 在实际工程中，混凝土配合比设计通常采用质量法。混凝土配合比设计也允许采用体积法，可视具体技术需要选用。与质量法比较，体积法需要测定水泥和矿物掺合料的密度以及骨料的表观密度等，对技术条件要求略高。

**7.2.16** 配制高性能混凝土时如果胶凝材料用量太少，且水胶比小则浆体不足，将影响混凝土流动性及施工实用性，因此对胶凝材料浆体体积进行了规定。

**7.2.18** 不同施工情况对混凝土工作性能的要求不同，因此经济合理的配合比应根据实际工程要求的坍落度和配合比经试拌校正后得到，并应进一步根据实际要求制作的试件再进行配合比试验和校核。

7.3 有特殊要求的混凝土配合比设计

**7.3.1** 良好的骨料颗粒粒型和级配有利于配制泵送性能良好混凝土。在混凝土中掺用泵送剂或减水剂以及粉煤灰，并调整其掺用量，是配制泵送混凝土的基本方法。

**7.3.2**  海岸工程混凝土泵送高度越高就需要混凝土具有更好的流动性，因此本条依据《水运工程混凝土施工规范》（JTS/T 153）对不同泵送高度的混凝土坍落度进行了规定；如果胶凝材料用量太少，水胶比大则浆体太稀，黏度不足，混凝土容易离析。水胶比小则浆体不足，混凝土中骨料用量相对过多，这些都不利于混凝土的泵送。工程中泵送混凝土的砂率通常控制在38%～45%。泵送混凝土出机到泵送时间段内的坍落度经时损失值可以通过调整外加剂进控制，通常坍落度经时损失控制在30 mm/h以内比较好。

**7.3.3** 粗骨料粒径太小则限制混凝土变形作用较小。掺用缓凝型减水剂有利于缓解温升，起到温控作用。

**7.3.4**  由于采用低水化热的胶凝材料有利于限制大体积混凝土由温度应力引起的裂缝，所以大体积混凝土中胶凝材料中往往提高矿物掺合料的含量，减少水泥用量；混凝土膨胀剂掺量应按照现行国家标准《混凝土膨胀剂应用技术规范》（GBJ 50119）中的试验方法确定，使用实际工程原材料，进行限制膨胀率试验，以达到工程设计的限制膨胀率和强度指标时的膨胀剂掺量为准。

**7.3.5** 在海岸工程大体积混凝土配合比试配和调整时通过混凝土绝热温升测试设备测定混凝土的绝热温升，或通过计算求出混凝土的绝热温升，从而在配合比设计过程中控制混凝土绝热温升。

**7.3.6** 在混凝土中掺加引气剂，能在混凝上中产生许多独立且均匀分布稳定而封闭的微小气泡，当孔隙内自由水冻结时，气泡被压缩，大大减轻冰冻给孔隙带来的冻胀压力，从而保护混凝土不被破坏。

冻融是我国北方海洋环境水位变动区混凝土结构除氯盐腐蚀外的另一主要破坏形式。适当引气能够提高混凝土的抗冻融能力，混凝土抗冻融的能力与其含气量和气泡大小、分布等有密切关系，因此有抗冻要求的混凝土需要掺入适量的引气剂，使拌合物的含气量控制在表7.3.6-1范围内。调查显示，我国无掩护受冻地区处于水位变动区的护面块体等混凝土构件，因冻融循环作用混凝土表面出现的脱皮、剥落损坏比有掩护条件或其他区域的更为严重，因此，本条对位于水位变动区的混凝土抗冻等级进行了规定，如表7.3.6-2所示。然而，高性能混凝土由于活性矿物掺合料的二次反应生成的水化产物堵塞和填充了毛细孔隙，使孔结构细化，增加了混凝土的密实性。研究表明，混凝土孔隙愈细，冰点越低，试验表明高性能混凝土抗冻等级可达F1000以上。因此，高性能混凝土的抗冻等级高于普通混凝土。

**7.3.7** 砂的含泥量大，石子中的针片状颗料含量高，将使混凝土的需水量增大；石子的空隙率大，则为满足相同的拌合物工作性所需的砂浆量增大，这些均会对自密实混凝土的工作性、力学性能和耐久性产生不良影响。因此，本条对自密实混凝土所采用的骨料粒径和含泥量等指标进行了规定。

**7.3.8** 单位用水量不仅关系到混凝土的强度，而且直接关系到混凝土的耐久性，所以在满足拌合物工作性的前提下还应尽量减小单位用水量。在较低用水量下，拌合物工作性可通过增加外加剂掺量、改善掺合料的需水性等技术措施来保证。胶凝材料用量和骨料级配也是影响混凝土拌合物工作性能的主要因素，因此，本条对海岸工程自密实混凝土的胶凝材料用量和骨料体积进行了规定。

**7.3.9** 本条根据现行国家标准《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）对超高性能混凝土的水胶比、矿物掺合料掺量、胶凝材料用量和纤维掺量等进行了规定。

7.4 混凝土施工

**7.4.1** 本条规定了模板工程的基本要求，参照国家现行标准《混凝土结构通用规范》（GB 55008）、《混凝土结构工程施工规范》（GB 50666）、《水运工程施工规范》（JTS 202）、《公路桥涵施工规范》（JTG/T 3650）的有关规定。

7.5 防腐蚀施工

**7.5.3** 混凝土表面涂层质量或者硅烷浸渍施工质量除了与涂层配套设计、材料质量等有关外，施工工艺、过程控制同样重要。同时，每个工程的混凝土构件所处环境、材料、施工工艺等不尽相同，因此在现场大规模施工前，需要在实体工程典型构件上选择一定面积，采用设计的材料进行小区试验，待验证能满足保护效果后，方可大面积施工。

**7.5.5** 过早进行硅烷浸渍会影响早龄期的混凝土强度，因此规定实施硅烷浸渍的混凝土龄期不宜少于28d，考虑现场施工周转和外部环境作用，时间可以缩短，但是应通过现场试验验证缩短硅烷浸渍的混凝土龄期，不会影响硅烷浸渍效果和混凝土本身性能。

8 维护及拆除

**8.1 一般规定**

**8.1.1** 本条参考了国家现行标准《混凝土结构通用规范》（GB 55008）的相关规定制定，维护管理制度应明确检查、维护的内容、范围和执行计划。

**8.1.2** 信息化建设是实现结构全寿命周期管理的重要手段，信息涵盖设计、施工、维护及拆除整个寿命周期，内容包含结构安全、改造加固、定期检查与维护、监测、预警与处置等。结构维护数据库应包含结构勘察设计信息、结构主要性能参数、定期检测报告、监测报告、维修改造等情况和维护管理相关信息。

**8.1.3** 混凝土结构拆除作业具有高风险性，并会影响环境。为保证拆除作业的安全性，本条规定了拆除需进行方案设计并采取保证安全的措施。

**8.1.5** 本条从生态环境安全、绿色节材角度对结构拆除作业提出原则性要求。

**8.2 结构维护**

**8.2.1** 日常维护检查包含主体结构外观、损伤、超载使用情况、危险品堆放及异常、开洞、拆改、剔凿等人为损伤等情况。

**8.2.3** 本条规定了混凝土结构在维护过程中应当进行检测与鉴定的情况。结构检测与鉴定的主要目的是了解结构使用状况，评估结构承载力、适用性及耐久性，是结构改造、加固的必要前期工作；结构设计时具有一定功能和使用条件，使用中任何有损结构体系、影响结构承载力或增加结构荷载的行为均需有鉴定或设计单位的评估和许可。

**8.2.4** 码头等水工建筑物上的永久性观测点是对建筑物沉降位移和变形及时监控的基准，其作用十分重要，目前部分既有水工建筑物的永久观测点缺失，直接影响了建筑物运营过程的健康状态评估，不利于准确把握建筑物的实际安全状况。

**8.2.5** 巡视检查内容应包括监测范围内的结构和构件变形、开裂、测点布设及监测设备或结合当地经验确定的其他巡视检查内容；系统维护应确保监测系统运行正常，并进行系统更新；预警值是检测参数是否超标的阈值，也是保证结构处于安全状态的警戒值，不同参数经结构分析有不同的预警值。

**8.2.6** 达到设计使用年限，或者使用时间超过50年的海岸工程混凝土结构，其结构性能发生明显退化，需要开展全面的检测评估，并根据检测结果采取相应措施，以保证结构安全。

**8.3 结构处置**

**8.3.1**  混凝土结构开裂后会导致内部钢筋锈蚀，钢筋锈蚀会影响结构受力及耐久性，因此应对较大裂缝及钢筋锈蚀的构件及时处理。受弯构件挠度超过设计允许值时，应查明原因并进行处理。预应力混凝土构件锚固区受力复杂、钢筋集中，是检查和维护的重点。预应力混凝土桥梁的耐久性和可靠性在很大程度上取决于锚固区的可靠性，因此对锚固的检查应细致、专业。预应力构件开裂与内部预应力损失有关，应高度重视，查明原因及时处理。混凝土中氯离子含量超标会导致钢筋锈蚀，影响结构安全及耐久性，应严格控制。

**8.3.2** 经检测鉴定后存在安全隐患的结构，应根据鉴定结果和建议及时采取安全治理措施进行处理。安全治理措施包含安全防范措施、修缮等，对于桥梁尚包含限流、停运等。安全防范措施包含设置警示标志、根据情况采取的人员转移、防汛、防灾、限流、限载等应急抢险措施。

**8.3.3** 结构监测的主要目的是预警结构危险情况，及时采取措施，避免大的人身财产损失，因此当发出预警时，应及时采取措施，启动应急预案进行处理。

**8.3.4**  结突发事件后，各级行政主管部门应立即组织结构检查，发现问题立即处理。结构应急抢险应按照国家应对突发事件的有关规定执行。

**8.4 结构拆除**

**8.4.1** 为确保拆除过程的安全，拆除工程的结构应按短暂设计状况进行结构分析；应考虑拆除过程可能出现的最不利情况；分析应涵盖拆除过程，应考虑构件约束条件的改变。

**8.4.2** 本条对拆除作业的相关事项进行了规定。

**8.4.3** 按照《建设工程安全生产管理条例》第三十条的规定，拆除工作应采取措施减少对环境的影响。

**8.4.4** 混凝土结构采用静态破碎拆除时，灌注药剂的孔型及孔的布置要保证孔内灌入静态破碎剂后实现孔间及孔至构件边缘胀裂裂缝的连通。

**8.4.5** 混凝土结构采用爆破拆除时，应遵守专门操作规程，爆破点布置及每个爆破点的药量应保证结构被爆破，且应采取安全防护措施，保证周边环境安全。

**8.4.6** 海岸工程混凝土结构及其拆除部件、块体、破碎物具有良好的材料强度和性能，应重新利用、再生利用。本条分别明确对不同拆除物回收利用方法，以减少新资源消耗，同时减少建筑垃圾排放。

附录A 设计工作年限为50年的混凝土结构耐久性参数组合值

考虑到跨海大桥、海港码头和海底隧道等海岸工程混凝土常用的配合比设计，采用美国Life-365计算程序给出的龄期衰减系数与矿物掺合料的种类及掺量的关系式计算出实际工程中龄期衰减系数的范围为0.40~0.65。根据条文6.4.5规定的最小保护层厚度取值，不考虑应力对氯离子的扩散影响，分别计算出不同环境作用等级相应的*D*0限值，列于附表A.0.1-A.0.6中。对海岸工程混凝土结构进行耐久性定量设计时，可以从附表A.0.1-A.0.6中选取合适的混凝土保护层厚度设计值*c*d、初始氯离子扩散系数*D*0和龄期衰减系数*n*备选组合。考虑应力影响时，可以根据附录B.1.7计算应力影响系数，对表中的*D*0取值进行修正。当不适合根据附表A.0.1-A.0.6确定混凝土结构的耐久性设计参数取值时，应根据本标准附录B对海岸工程混凝土结构开展耐久性定量设计。

附录B 海岸工程混凝土结构的耐久性定量设计方法

**B.0.1**  混凝土耐久性分析模型使用的氯离子扩散系数是采用现场暴露试验数据利用Fick第二定律拟合得到的表观氯离子扩散系数，而工程质量检测是采用NT Build 492标准的快速电迁移方法（RCM）测试得到的氯离子扩散系数，两者之间通过混凝土氯离子扩散系数试验方法转换系数进行转换，《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153）给出了混凝土氯离子扩散系数试验方法转换系数取值为0.5，可以参考使用。氯离子在混凝土中的传输速率与环境条件有关，其中温度影响较大。同时，应力水平对氯离子的扩散也有影响，因此本标准考虑了环境温度和应力对氯离子扩散系数的影响。

**B.0.2** 混凝土中钢筋脱钝临界氯离子浓度的分项系数和特征值宜根据海岸工程结构所处实际环境条件和既有工程调查确定，并考虑混凝土构件使用环境的温度、湿度以及混凝土材料的组成特性等因素的影响。本标准根据试验数据和收集的国内外实体工程调查数据，并结合国内外规范中临界氯离子浓度研究成果，给出了不同环境作用等级下临界氯离子浓度的特征值和分项系数，供参考使用。

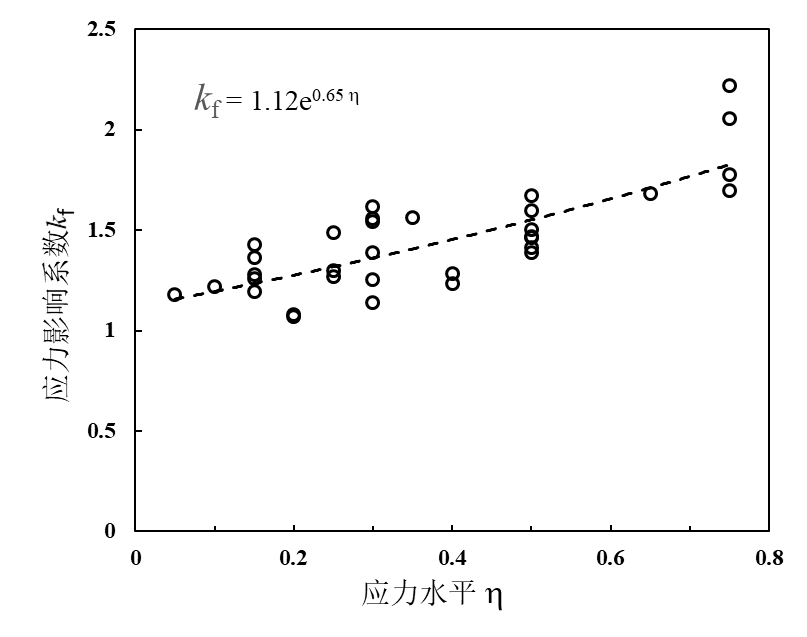
**B.0.3** 由于实际工程中施工水平参差不齐，造成混凝土的保护层厚度具有波动性。由于保护层厚度为几何参数，在海岸工程混凝土结构耐久性设计中，把保护层厚度偏差的安全裕度作为分项系数。对于梁、墩、柱等条形构件的保护层厚度安全裕度可取为10mm，对于板、墙等面型薄壁构件的保护层厚度安全裕度可取为5mm。

**B.0.4** 龄期衰减系数*n*是反映氯离子扩散系数衰减速率的重要参数，矿物掺合料的种类及掺量对龄期衰减系数有重要的影响。编制组统计了杭州湾跨海大桥、青岛海湾大桥、泉州湾跨海大桥、厦漳跨海大桥、惠州海湾大桥、龙门大桥、中化兴中石油转运岙山基地3#码头、港珠澳大桥沉管隧道、深中通道、青岛海底隧道、大连湾海底隧道等桥梁、港口码头和海底隧道的混凝土配合比设计，根据美国Life-365计算程序给出的龄期衰减系数与矿物掺合料的种类及掺量的关系式，计算出实际工程中龄期衰减系数的典型取值范围为0.40~0.65。

**B.0.5** 混凝土表面氯离子浓度的特征值和分项系数的取值通常与结构原材料和配合比、环境条件、混凝土结构所处的暴露位置及暴露时间长短有关，宜根据当地工程实测数据或现场自然暴露试验数据确定，且用于确定表面氯离子浓度特征值和分项系数的混凝土结构的原材料和配合比、施工和暴露条件应与所设计的海岸工程混凝土结构相近。此外，本标准根据收集的现场自然暴露试验数据和国内外实体工程调查数据，结合国内外规范指南中表面氯离子浓度研究成果，给出了不同环境作用等级下表面氯离子浓度特征值和分项系数，供使用者在无法根据当地工程实测数据或现场自然暴露试验数据确定混凝土表面氯离子浓度特征值和分项系数时参考。

**B.0.6** 氯离子在混凝土中的传输速率与环境条件有关。其中，温度影响较大，温度的高低会直接影响离子的传输速率，本标准采用环境影响系数来表征环境温度对氯离子额扩散系数的影响程度。《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153）给出了南方地区、华南地区、北方地区的氯离子扩散环境影响系数取值（见表B.0.6），如表B.0.6所示，可以参考使用。

**B.0.7** 应力不仅会引起混凝土内部孔隙结构发生变化，而且应力超过一定值后会导致混凝土中浆体和骨料的界面过渡区产生微裂缝，从而影响氯离子在混凝土中的传输。《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153）给出了混凝土应力影响系数的计算模型，本标准基于《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153）的计算模型，通过试验数据统计回归分析，确定了受拉区应力水平为0.05~0.75时，对应28d龄期的系数*A*与*B*的取值分别为1.12和0.65。混凝土受拉区应力水平，可根据荷载情况分析确定，没有可靠统计数据时，一般梁可取0.3，板和偏压柱的受拉区可取0.1。



图B.0.7 应力水平对应力影响系数的影响