



团 体 标 准

T/CSPSTC XXX—2025

海洋环境水位变动区现浇混凝土结构 耐久性应用技术规程

Technical specifications for durability application of cast in situ concrete
structures in marine environment tidal zone

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国科技产业化促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和符号 1

 3.1 术语 1

 3.2 符号 2

4 基本规定 3

5 耐久性设计 4

 5.1 结构形式与构造要求 4

 5.2 混凝土材料与性能 5

 5.3 附加防腐蚀措施 7

6 施工质量控制 8

 6.1 混凝土施工质量控制 8

 6.2 附加防腐蚀施工质量控制 9

7 检验与验收 10

 7.1 混凝土检验与验收 10

 7.2 附加防腐蚀措施检验与验收 11

附录 A（规范性）海洋水位变动区混凝土结构设计使用年限校核 12

附录 B（资料性）海工混凝土结构表面涂层涂装龄期的确定方法 15

条文说明 16

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中交四航工程研究院有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：XXX、XXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

海洋环境水位变动区现浇混凝土结构耐久性应用技术规程

1 范围

本文件规定了海洋环境水位变动区的现浇混凝土结构耐久性设计、施工控制、检验与验收。

本文件适用于海洋环境水位变动区的现浇的钢筋混凝土结构。

海洋环境水位变动区混凝土结构耐久性设计、施工除应符合本文件外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 175 通用硅酸盐水泥
GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB 8076 混凝土外加剂
GB/T 10171 建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站（楼）
GB/T 14684 建设用砂
GB/T 14685 建设用卵石、碎石
GB/T 14902 预拌混凝土
GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂
GB/T 25826 钢筋混凝土用环氧涂层钢筋
GB/T 33803 钢筋混凝土阻锈剂耐蚀应用技术规范
GB/T 33959 钢筋混凝土用不锈钢钢筋
GB/T 39154 金属和合金的腐蚀 混凝土用钢筋的阴极保护
GB/T 50082 混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
GB/T 50107 混凝土强度检验评定标准
GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
JC/T 1011 混凝土抗侵蚀防腐剂
JC/T 2553 混凝土抗侵蚀抑制剂
JGJ 63 混凝土用水标准
JGJ/T 322 混凝土中氯离子含量检测技术规程
JG/T 5094 混凝土运输车
JT/T 736 混凝土工程用的透水模板布
JTS 153 水运工程结构耐久性设计标准
JTS 202 水运工程混凝土施工规范
JTS/T 209 水运工程结构防腐蚀施工规范
JTS 257 水运工程质量检验标准
JTS 257-2 海港工程高性能混凝土质量控制标准

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

海洋环境 *marine environment*

受海水、江河入海口咸淡水或滨海氯盐影响的建筑物所处的环境总称，包括海水环境、江河

入海口环境及滨海环境。

3.1.2

结构耐久性 *structure durability*

在设计规定的环境作用和正常维护、使用条件下，结构及构件在设计使用年限内保持其适用性和安全性的能力。

3.1.3

设计使用年限 *design working life*

设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按预定目的使用的年限。

3.1.4

功能梯度混凝土结构 *graded concrete structure*

一种通过分层采用不同材料性能设计的混凝土结构，包括外部功能结构层和内部结构层两部分。

3.1.5

功能结构层混凝土 *functional concrete structure*

通过掺加特种水泥、新型掺合料、功能外加剂等方式，或特殊工艺，赋予混凝土具有某种特殊功能，用于海洋环境具有优异的抗腐蚀性能。

3.1.6

大体积混凝土 *mass concrete*

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

3.1.7

氯离子扩散系数 *chloride diffusion coefficient*

表示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。

3.1.8

附加防腐蚀措施 *additional protective measures*

提高混凝土结构耐久性所采用的涂层、阴极保护、阻锈剂、环氧涂层钢筋等措施的统称。

3.1.9

设计保护年限 *design protection life*

混凝土结构采取的附加防腐蚀措施按设计目的使用不需进行大修的使用年限。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

$H_1\%$ ——波列累积频率为 1% 的波高 (m)；

η_0 ——为设计高水位时的重现期 50 年 $H_1\%$ 波峰面高度 (m)；

t_i ——钢筋开始腐蚀阶段混凝土结构使用年限 (年)；

x ——混凝土保护层厚度计算值，单位为毫米 (mm)；

$D_{cl}(t)$ ——时间函数的混凝土氯离子扩散系数 ($10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$)；

erf ——误差函数；

c_{cr} ——混凝土临界氯离子浓度计算值 (%)；

c_0 ——混凝土初始氯离子浓度计算值 (%)；

c_s ——混凝土表面氯离子浓度计算值 (%)；

$c_{cr,c}$ ——混凝土临界氯离子浓度特征值 (%)；

$\gamma_{c_{cr}}$ ——混凝土临界氯离子浓度分项系数；

A_{c_s} ——混凝土表面氯离子浓度回归系数；

- w/b ——混凝土水胶比；
 γ_{c_s} ——表面氯离子浓度分项系数；
 x ——混凝土保护层厚度计算值（mm）；
 x_d ——混凝土保护层厚度设计值（mm）；
 Δx ——混凝土保护层厚度偏差（mm）；
 $D_{cl}(t)$ ——时间函数的混凝土氯离子扩散系数（ $10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ）；
 $k_{c,cl}$ ——混凝土氯离子渗透性试验方法转换系数；
 $k_{\eta,cl}$ ——混凝土荷载影响系数；
 $k_{h,cl}$ ——接触海水龄期影响系数；
 $k_{f,cl}$ ——应力对受拉区混凝土氯离子扩散系数的影响因子；
 $D_{cl,0}$ ——混凝土氯离子扩散系数试验值（ $10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ）；
 t_0 ——试验混凝土氯离子渗透性试验龄期（年）；
 t ——混凝土氯离子扩散系数衰减至恒定值的时间（年）；
 n_{cl} ——试验混凝土扩散系数龄期因子；
 $\gamma_{D_{cl}}$ ——混凝土氯离子扩散系数分项系数。
 η ——混凝土受拉区承受的应力水平；
 P ——混凝土产生顺筋裂缝时钢筋的临界锈蚀深度（mm）；
 λ ——钢筋腐蚀速率（mm/年）；
 d ——钢筋直径（mm）；
 f_{cu} ——混凝土立方体抗压强度（MPa）；
 t_e ——混凝土养护龄期（h）；
 R ——混凝土表面涂层的粘结强度（MPa）；
 t_e ——混凝土养护龄期（h）；
 t ——等效龄期（h）；
 α_T ——温度为 T 的等效系数；
 t_T ——温度为 T 的持续时间（h）；
 $f_{cu,k}$ ——混凝土抗压强度标准值（MPa）；
 i ——混凝土保护层开裂前钢筋的腐蚀电流密度（ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ）；

4 基本规定

- 4.1 海洋环境水位变动区现浇混凝土结构应进行耐久性设计，宜采用抗氯离子侵蚀性良好的混凝土材料、采取严格的施工质量控制措施以及实施合理的后期维护。
- 4.2 海洋环境水位变动区现浇混凝土结构设计和施工，应针对结构功能、作用等级和施工条件，合理采取对耐久性有利的技术措施。
- 4.3 海洋环境水位变动区现浇混凝土结构耐久性设计应充分考虑结构在使用阶段的维护要求。
- 4.4 混凝土结构环境应按下列规定进行划分：
- 海水环境；
 - 江河入海口环境；
 - 滨海环境。
- 4.5 海水环境和江河入海口环境的水位变动区混凝土结构部位划分应符合表 1 的规定。

表 1 海洋环境水位变动区现浇混凝土结构部位划分

掩护条件	划分类别	水位变动区
有掩护条件	按港工设计水位	设计高水位减1.0 m至设计低水位减1.0 m之间
无掩护条件	按港工设计水位	设计高水位减 η_0 至设计低水位减1.0 m之间
	按天文潮位	最高天文潮位减百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 至最低天文潮位减0.2倍百年一遇有效波高 $H_{1/3}$ 之间
η_0 为设计高水位时的重现期50年 $H_1\%$ （波列累积频率为1%的波高）波峰面高度（m）。 当无掩护条件的海水环境混凝土结构无法按有关规范计算设计水位时，可按天文潮位确定混凝土结构的部位划分		

4.6 海洋环境水位变动区混凝土结构的环境作用等级划分应符合表 2 规定。

表 2 海洋环境下混凝土结构的环境类别和作用等级划分

环境类别	环境作用等级	环境条件
海水环境	严重	海水环境水位变动区
江河入海口环境	轻度	水体氯离子浓度为100 mg/L～500 mg/L的江河入海口环境水位变动区
	中度	水体氯离子浓度为500 mg/L～5000 mg/L的江河入海口环境水位变动区
	严重	水体氯离子浓度为5000 mg/L～10000 mg/L的江河入海口环境水位变动区
滨海环境	轻度	接触水体氯离子浓度为100 mg/L～500 mg/L或土体氯离子浓度为150 mg/kg～750 mg/kg，且有干湿交替作用的混凝土结构
		一侧接触水体或土体（水体氯离子浓度低于500 mg/L或土体氯离子浓度低于750 mg/kg），另一侧接触空气的地下空间或隧道结构
	中度	接触水体氯离子浓度为500 mg/L～5000 mg/L或土体氯离子浓度为750 mg/kg～7500 mg/kg，且有干湿交替作用的混凝土结构
		一侧接触水体或土体（水体氯离子浓度为500 mg/L～5000 mg/L或土体氯离子浓度为750 mg/kg ～7500 mg/kg），另一侧接触空气的地下空间或隧道结构
	严重	接触水体氯离子大于5000 mg/L或土体氯离子浓度大于7500 mg/kg，且有干湿交替作用的混凝土结构
		一侧接触水体或土体（水体氯离子浓度大于5000 mg/L或土体氯离子浓度大于7500 mg/kg），另一侧接触空气的地下空间或隧道结构
注：江河入海口环境水体氯离子浓度按枯水期的检测值，接触水体氯离子浓度大于 10000 mg/L 时按海水环境进行耐久性设计。		

5 耐久性设计

5.1 结构形式与构造要求

- 5.1.1 混凝土结构型式的选择应综合考虑结构功能、环境条件、施工条件和建设成本等因素，宜选择对耐久性有利的结构型式。
- 5.1.2 处于环境作为等级为严重的现浇钢筋混凝土结构宜采用预制混凝土免拆除模板结构体系，或采用功能梯度混凝土结构体系，并应符合下列规定：
- a) 当采用预制混凝土免拆除模板结构体系时，免拆除模板结构的承载力应满足施工荷载的要求，且免拆除模板结构所用的混凝土强度等级、抗氯离子渗透性不宜低于主体结构混凝土，钢筋保护层最小厚度不宜低于主体结构；
 - b) 当采用功能梯度混凝土结构体系时，外部功能结构层宜采用抗氯离子渗透性优良、吸水率低的高性能混凝土，内部结构层混凝土性能要求不应低于工程主体结构混凝土。

5.1.3 构件截面几何形状应简单、平顺，减少棱角、突变和应力集中，暴露部位构件的最小截面尺寸应满足下列要求：

- a) 直线形构件的最小边长不宜小于保护层厚度的 6 倍；
- b) 曲线形构件的最小曲率半径不宜小于保护层厚度的 3 倍。

5.1.4 大体积混凝土应根据结构所处的环境选择合理的结构型式、构造措施和混凝土强度等级。结构型式应简单，减少应力集中，降低基础约束，并应考虑温度应力对结构的影响，配置必要的构造钢筋。

5.1.5 施工缝、伸缩缝等连接缝的设置宜避开局部环境作用不利的部位，否则应采取有效的保护措施。

5.1.6 构件截面配筋在满足混凝土浇筑前提下应符合下列规定：

- a) 构件中受力钢筋和构造钢筋宜构成闭口的钢筋笼；
- b) 钢筋间距应能保证混凝土浇筑均匀、捣实，且不宜小于 50 mm，必要时可采用并；
- c) 钢筋混凝土构件受力钢筋直径不宜大于 0.4 倍的混凝土保护层厚度；
- d) 分布钢筋、架立钢筋等构造钢筋宜布置在主筋外侧；
- e) 有控制温度或收缩裂缝要求的混凝土构件应配置分布钢筋，分布钢筋的间距不宜大于 80 mm，钢筋宜采用直径不大于 12 mm 的带肋钢筋。

5.1.7 海洋环境钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合表 3 的规定。箍筋直径大于 6 mm 时混凝土保护层厚度应按表中规定增加 5 mm。

表 3 海洋环境受力钢筋的混凝土保护层最小厚度 (mm)

环境作用等级	轻度	中度	严重
保护层厚度	40	50	60

5.1.8 钢筋混凝土构件应根据耐久性要求，在荷载作用下钢筋混凝土构件表面最大裂缝宽度限值应符合表 4 的规定。

表 4 海洋环境钢筋混凝土构件最大裂缝宽度限值 (mm)

环境作用等级	轻度	中度	严重
最大裂缝宽度限值	0.30	0.20	0.20

5.2 混凝土材料与性能

5.2.1 混凝土的原材料宜包括水泥、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰、偏高岭土、细骨料、粗骨料、拌合水和外加剂等，原材料中的有害成分含量不得对钢筋和混凝土强度、耐久性及体积稳定性等产生不利影响。

5.2.2 混凝土用原材料应满足水泥宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，其质量指标和检测方法应符合 GB 175 的有关规定。

5.2.3 混凝土用粉煤灰应采用 II 级及以上的干排法原状 F 类粉煤灰，其质量指标和检测方法应符合 GB/T 1596 的有关规定。

5.2.4 混凝土用粒化高炉矿渣粉应采用 S95 级及以上级别的粒化高炉矿渣粉，其质量指标和检测方法应符合 GB/T 18046 的有关规定。

5.2.5 混凝土用硅灰的质量指标和检测方法应符合 GB/T 18736 的有关规定。

5.2.6 混凝土用偏高岭土的质量指标和检测方法应符合 GB/T 18736 的有关规定。

5.2.7 混凝土抗侵蚀抑制剂和混凝土抗侵蚀增强剂质量指标和检测方法应符合下列规定：

- a) 混凝土抗侵蚀抑制剂的质量指标和检测方法应符合 JC/T 2553 的有关规定；
- b) 混凝土抗侵蚀增强剂的质量指标应符合表 5 的规定，其检测方法应符合 JC/T 1011 的有关规定。

表 5 混凝土抗侵蚀增强剂匀质性和主要性能要求

项目		控制指标
氧化镁含量		≤5%
氯离子含量		≤0.05%
比表面积 (kg/m ²)		≥300
凝结时间/min	初凝	≥ 45
	终凝	<600
抗压强度比/%	7 d	≥90
	28 d	≥100
膨胀率/%	1 d	≥0.05
	28 d	≤0.6
氯离子扩散系数比	28 d	≤0.85

- 5.2.8 细骨料应采用质地坚固、公称粒径在 4.75 mm 以下的河砂、机制砂或混合砂，细骨料的性能指标和检测方法应符合 GB/T 14684 的有关规定。
- 5.2.9 粗骨料应满足骨料级配和粒型的要求，宜采用单粒级两级配或三级配，分级配料，粗骨料的性能指标和检测方法应符合 GB/T 14685 的有关规定。
- 5.2.10 混凝土应根据要求选用减水剂、引气剂等，外加剂的性能指标和检测方法应符合 GB 8076 的有关规定。
- 5.2.11 混凝土的拌合用水宜采用饮用水，不得使用影响水泥正常凝结、硬化和促使钢筋锈蚀的拌合水，混凝土拌合用水应符合表 6 的规定。拌合用水的检测方法应符合 JGJ 63 的有关规定。

表 6 拌合用水质量指标

项目	钢筋混凝土、预应力混凝土
pH 值	≥5.0
不溶物 (mg/L)	≤2000
可溶物 (mg/L)	≤2000
氯化物 (以 Cl ⁻ 计, mg/L)	≤200
硫酸盐 (以 SO ₄ ²⁻ 计, mg/L)	≤600
碱含量 (mg/L)	≤1500
碱含量按 Na ₂ O+0.658K ₂ O 计算值来表示。 当采用非活性碱骨料时，可不检验碱含量	

- 5.2.12 海洋环境混凝土强度等级应同时满足承载能力和耐久性的要求，处于环境作为等级为严重的钢筋混凝土结构，混凝土最低强度等级不应小于 C35；处于环境作为等级为中度或轻度的钢筋混凝土结构，混凝土最低强度等级不应小于 C30。
- 5.2.13 海洋环境水位变动区混凝土拌合物的水溶性氯离子含量不应大于 0.10%（按胶凝材料质量百分比），其检测方法应符合 JGJ/T 322 的有关规定。
- 5.2.14 海洋环境水位变动区混凝土中三氧化硫的最大含量不应超过胶凝材料总量的 4%。当混凝土中掺加抗侵蚀增强剂时，其掺量计入胶凝材料总量。
- 5.2.15 海洋环境水位变动区的混凝土结构，总碱含量不大于 3.0 kg/m³。
- 5.2.16 对于设计使用年限 50 年的工程，混凝土的抗氯离子渗透性指标应符合表 7 的规定。混凝土抗氯离子渗透试验方法应符合 GB/T 50082 中的电通量法规定。

表7 海洋环境混凝土抗氯离子渗透性指标最高限值

氯离子渗透性指标	普通混凝土	高性能混凝土
电通量法 (C)	2000	1000
试验用的混凝土试件，对掺加粉煤灰或粒化高炉矿渣粉的混凝土，应按标准养护条件下56 d龄期的试验结果评定；其他混凝土应按标准养护条件下28 d龄期的结果评定。 当构件为蒸汽养护或离心式成型等工艺时，可按同条件养护下留置样品或构件取芯样品28 d龄期的结果评定		

5.2.17 对于设计使用年限50年以上的工程，混凝土按GB/T 50082中的快速氯离子迁移系数法规定测出的抗氯离子渗透性指标应符合表8的规定，并按附录A的方法对设计使用年限进行校核。

表8 海洋环境混凝土抗氯离子渗透性指标最高限值

氯离子渗透性指标	中度	严重
扩散系数法 ($10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	8.0	6.5
试验用的混凝土试件，对掺加粉煤灰或粒化高炉矿渣粉的混凝土，应按标准养护条件下56 d龄期的试验结果评定。其他混凝土应按标准养护条件下28 d龄期的结果评定		

5.2.18 采用功能梯度混凝土结构体系时，对于不同设计使用年限的工程，功能结构层混凝土7 d 养护龄期的吸水率指标应符合表9的规定，吸水率测试方法应符合JC/T 2553的有关规定。

表9 海洋环境水位变动区混凝土吸水率指标最高限值

设计使用年限	50年	50年以上
吸水率指标 (%)	1.5	1.0

5.2.19 大体积混凝土或有防收缩开裂要求的混凝土宜采取以下措施：

- 胶凝材料由水化热较低的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等组成，宜提高矿物掺合料用量，降低水泥用量；
- 骨料选用级配良好的洁净中砂和孔隙率较小的粗骨料，宜提高骨料的用量，降低胶凝材料用量；
- 必要时掺入适量缓凝剂；
- 在设计允许的条件下，宜采用 60 d 或 90 d 强度作为混凝土验收强度进行配合比设计；
- 配合比确定后宜进行胶凝材料水化热的测定或验算，并宜进行开裂敏感性试验，其试验方法应符合 GB/T 50082。

5.3 附加防腐蚀措施

5.3.1 混凝土结构附加防腐蚀措施应根据防腐蚀措施的设计保护年限、环境作用等级、施工条件、维护及全寿命成本等因素进行合理设计。

5.3.2 海洋环境水位变动区现浇混凝土结构采取的附加防腐蚀措施宜按照表 10 选用，当采用其他防腐蚀措施时，应结合结构所处环境和使用条件对其防腐蚀性能进行论证。

表 10 海洋环境水位变动区现浇混凝土结构附加防腐蚀措施

环境作用等级	设计保护年限 20 年及以下	设计保护年限 20 年以上
轻度	不需采取保护措施	不需采取保护措施
中度	表面涂层、透水模板衬里	表面涂层、环氧涂层钢筋
严重	表面涂层、钢筋阻锈剂、透水模板衬里	表面涂层、环氧涂层钢筋、不锈钢钢筋、外加电流阴极保护，或环氧涂层钢筋与表面涂层联合保护
对处于滨海地区地下水、土环境中的地下工程混凝土主体结构，当所采取的防水措施同时具备防腐蚀作用时，应对其防腐蚀性能进行论证		

5.3.3 混凝土结构采用的附加防腐蚀措施应明确主要材料的性能指标及其检验方法。

5.3.4 透水模板布应满足下列要求：

- 高温、大风、干燥环境等条件下施工时，混凝土结构宜采用透水模板布；
- 透水模板布的质量要求应符合 JT/T 736 的有关规定。

5.3.5 混凝土表面涂层应满足下列要求：

- a) 混凝土结构采用表面涂层的设计保护年限不宜低于 10 年；
 - b) 混凝土表面涂层体系的设计要求与表面涂层性能指标应符合 JTS 153 的有关规定；
- 5.3.6 钢筋阻锈剂应满足下列要求：
- a) 混凝土结构采用钢筋阻锈剂的设计保护年限不宜大于 20 年；
 - b) 钢筋阻锈剂的性能指标应符合 GB/T 33803 的有关规定。
- 5.3.7 环氧涂层钢筋应满足下列要求：
- a) 混凝土结构采用环氧涂层钢筋的设计保护年限宜为 20 年～30 年；
 - b) 环氧涂层钢筋材料和检测方法应符合 GB/T 25826 的有关规定。
- 5.3.8 不锈钢钢筋应满足下列要求：
- a) 混凝土结构采用不锈钢钢筋的设计保护年限不宜小于 30 年；
 - b) 不锈钢钢筋的性能指标应符合 GB/T 33959 的有关规定。
- 5.3.9 混凝土结构外加电流阴极保护应满足下列要求：
- a) 混凝土结构采用外加电流阴极保护的设计保护年限不宜小于 30 年；
 - b) 混凝土外加电流阴极保护系统的设计应符合 GB/T 39154 的有关规定。

6 施工质量控制

6.1 混凝土施工质量控制

- 6.1.1 混凝土所用的原材料进场时，应提供出场检验报告或合格证等质量证明文件。
- 6.1.2 混凝土所用的原材料进场检验时，抽样试验检验项目、组批规则应符合GB 50204的有关规定，原材料的性能应符合5.2的有关规定。
- 6.1.3 存放水泥、粉煤灰、矿粉、硅灰、偏高岭土等粉状胶凝材料宜采用罐装，如采用袋装，应存放于干燥料仓内。
- 6.1.4 骨料应堆放于具有排水功能的平整场地，对骨料有含水率要求的，宜采用具有遮蔽雨水功能的封闭式料仓内。
- 6.1.5 外加剂的储存应符合以下规定：
- a) 液体外加剂应储存在密闭、耐腐蚀的专用储存罐内，并采取遮阳隔热措施，避免阳光直射；
 - b) 储存罐应配置循环系统，并应定期启动循环系统，确保外加剂均匀无沉淀；
 - c) 长期储存时，应对外加剂的性能指标进行周期性检测，确保其质量符合现行标准要求。
- 6.1.6 原材料的计量允许偏差不应大于表 11 规定的范围，并应每班检查 2 次，计量设备应符合 GB/T 14902 相关规定。

表 11 混凝土原材料计量允许偏差（%）

原材料品种	水泥	骨料	水	外加剂	掺合料
每盘计量允许误差	±2	±3	±1	±1	±2
累计计量允许误差	±1	±2	±1	±1	±1

注：累计计量允许偏差是指每一运输车中各盘混凝土的每种材料计量和的偏差。

- 6.1.7 计量设备应符合以下规定：
- a) 应委托法定计量机构对计量设备进行周期性强制检定，检定频率应符合 GB/T 14902 的规定，且每 12 个月至少进行一次；
 - b) 应通过标准砝码或标定装置对计量设备进行自校准；
 - c) 当自校误差超过设备最大允许误差的 50%时，应立即停止使用并重新检定；
 - d) 应建立计量设备检定、自校及维修台账，记录保存期不得少于 3 年。
- 6.1.8 混凝土搅拌应符合下列规定：
- a) 混凝土搅拌应在专用的混凝土搅拌站（楼）内集中进行；
 - b) 宜采用具备自动称量、骨料含水率实时检测及加水量动态调整功能的搅拌系统，且应采用搅拌效率高、均质性好的非立轴强制式搅拌机或振动式搅拌机，不得使用自落式搅拌机。
 - c) 应根据工程需求选择合适容量搅拌机，确保搅拌效率和质量；

- d) 加料顺序应保证物料充分混合，并应符合 GB/T 50107 相关规定；
 - e) 应定期对搅拌机进行维护，确保设备清洁、运转正常，并应符合 GB/T 10171 相关规定。
- 6.1.9 新拌混凝土质量控制应符合下列规定：
- a) 相同配合比的混凝土每连续浇筑 100 m³ 应至少检测 1 次，当一班组相同配合比不足 100 m³ 的应至少检测 1 次；
 - b) 相同配合比的混凝土连续浇筑 1000 m³ 以上时，每 200 m³ 取样不得少于 1 次；
 - c) 混凝土拌合物的坍落度、扩展度、含气量应在搅拌地及浇筑地分别取样检测，当运输时间不超过 15 min 时，可在搅拌地取样检测；
 - d) 大体积混凝土应测试混凝土出机温度及入模温度，并详细记录每次检测的数据和结果，每台班不应少于 2 次；
 - e) 同一工程、同一配合比的混凝土的氯离子含量应至少检测 1 次。
- 6.1.10 混凝土的运输应符合下列规定：
- a) 混凝土拌合物运送到浇筑地点时，不应出现离析或分层，并具有施工所要求的稠度。
 - b) 对于寒冷或炎热的天气情况，搅拌运输车的搅拌罐应有保温或隔热措施；
 - c) 搅拌运输车在装料前应将搅拌罐内积水排尽，装料后严禁向搅拌罐内的混凝土拌合物中加水；
 - d) 混凝土拌合物运至浇筑地点的温度不宜高于 35℃，且不宜低于 5℃。
- 6.1.11 混凝土的浇筑应符合下列规定：
- a) 浇筑前应确保模板牢固、尺寸准确、接缝严密，模板表面清洁并涂脱模剂；
 - b) 每层浇筑厚度控制在 30 cm~50 cm，避免混凝土流动过大导致离析；
 - c) 卸料高度不应超过 2 m，超过时应使用溜槽或串筒辅助浇筑；
 - d) 大体积混凝土的浇筑应合理分段分层进行，使混凝土沿高度均匀上升；应在室外气温较低时段进行浇筑，混凝土浇筑温度不宜超过 28℃。
- 6.1.12 功能梯度混凝土结构宜采用整体浇筑工艺，且应符合下列规定：
- e) 水平分层的功能梯度混凝土结构，界面应安装收口网或镀锌钢丝网，网孔孔径不宜大于 20 mm；混凝土宜连续浇筑，应先浇筑功能结构层混凝土，再浇筑结构层混凝土；
 - f) 竖向分层的功能梯度混凝土结构，应先浇筑下层的功能结构层混凝土，再浇筑上层的结构层混凝土；
 - g) 当不同分层混凝土浇筑难以连续进行时，浇筑间歇时间应根据混凝土硬化速度和振捣能力经试验确定。
- 6.1.13 混凝土的振捣应符合下列规定：
- a) 根据混凝土类型和施工要求选择合适的振捣器，振捣器应具有良好的工作效果和稳定的振捣能力；
 - b) 混凝土振捣顺序应从边缘向中心或从一端向另一端进行，避免漏振或过振，靠近模板处应加强振捣，确保模板表面密实；
 - c) 混凝土振捣过程中应注意避免对模板、钢筋和已经硬化的混凝土造成破坏。
- 6.1.14 混凝土的养护应符合下列规定：
- a) 混凝土浇筑完毕后表面应及时加以覆盖，终凝后应保湿养护；
 - b) 混凝土养护宜采用洒水、土工布覆盖浇水、包裹塑料薄膜、蓄水养护、喷涂养护液等养护方式，不得使用海水养护；
 - c) 日平均气温低于 5℃ 时，不宜采用洒水养护，应采取覆盖保温材料、使用加热设备等保温措施养护；当气温超过 30℃，宜采取遮阳、洒水等降温措施养护；
 - d) 大体积混凝土的养护应通过热工计算，确定其保温、保湿或降温措施，并宜设置测温孔或埋设热电偶等方法测定混凝土内部和表面温度，应控制在设计要求的温差内，设计无要求时温差不宜大于 25℃；
 - e) 在常温下混凝土潮湿养护时间不应少于 14 d，气温较低时应适当延长潮湿养护时间。
 - f) 混凝土与海水接触的龄期不宜少于 14 d，如需提前接触，应通过试验验证或采用临时屏障、涂层措施防止氯盐过早进入混凝土内部。

6.2 附加防腐蚀施工质量控制

6.2.1 混凝土结构防腐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，并制定防腐施工专项方案。专项方案宜包括下列主要内容：

- a) 工程概况；
- b) 防腐设计要求；
- c) 材料质量及性能；
- d) 施工工艺及质量控制措施；
- e) 验收参数及要求。

6.2.2 防腐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。

6.2.3 透水模板布施工质量控制应符合下列规定：

- a) 透水模板布的施工应按照模板表面清理、模板布裁剪、喷涂胶水、粘贴模板布、保养的流程执行；
- b) 透水模板布粘贴后应在 24 h 内进行混凝土浇筑；
- c) 透水模板布重复使用次数不宜超过 2 次。

6.2.4 混凝土表面涂层施工质量控制应符合下列规定：

- a) 涂装前应按设计的表面涂层体系进行小区试验；
- b) 混凝土表面涂层涂装龄期的确定应考虑施工环境、结构形式、材料特性等因素，宜按附录 B 的方法确定涂装龄期。
- c) 混凝土表面涂层体系的施工质量控制应符合 JTS/T 209 的有关规定。

6.2.5 钢筋阻锈剂施工质量控制应符合下列规定：

- a) 采用钢筋阻锈剂的混凝土其搅拌时间应适当延长，延长时间应通过试验确定；
- b) 钢筋阻锈剂产品应明确其有效阻锈成分和含量，钢筋阻锈剂掺量应根据生产厂家推荐用量并经试验确定；
- c) 混凝土浇筑前，应确定钢筋阻锈剂对混凝土初凝和终凝时间的影响。

6.2.6 环氧涂层钢筋施工质量控制应符合下列规定：

- a) 环氧涂层钢筋在运输、搬运、施工和贮存时，应采取有效措施避免环氧涂层损伤，少量涂层破损应及时补救；
- b) 环氧涂层钢筋现场施工质量控制应符合 JTS/T 209 的有关规定。

6.2.7 不锈钢钢筋施工质量控制应符合下列规定：

- a) 不锈钢钢筋材料性能应符合 GB/T 33959 的有关规定；
- b) 不锈钢钢筋应避免与普通钢筋在同一平面内直接接触，绑扎时不应采用焊接连接；
- c) 不锈钢钢筋现场施工质量控制应符合 JTS/T 209 的有关规定。

6.2.8 混凝土结构外加电流阴极保护施工质量控制应符合下列规定：

- a) 外加电流阴极保护系统的施工应包括阴极保护单元内阴极钢筋电连接、辅助阳极系统安装、参比电极安装、电缆铺设、电源系统安装以及调试等；
- b) 钢筋电连接应在混凝土浇筑前进行，且每个保护单元内阴极钢筋的连接电阻值应及时测量；
- c) 阴极保护系统的通电调试应在阴极保护系统施工完毕后、提交竣工验收之前进行，阴极保护通电极化应按设计要求逐步调整电流值，直至达到保护要求的电流水平。

7 检验与验收

7.1 混凝土检验与验收

7.1.1 混凝土的外观质量检验应符合 JTS 257 的有关规定。

7.1.2 混凝土强度的检验与验收应符合 GB 50204 的有关规定。

7.1.3 混凝土抗氯离子渗透性、抗冻性、抗水渗透性的检验与验收应符合 JTS 202 的有关规定。

7.1.4 混凝土吸水率试件的留置应符合下列规定。

- a) 同一配合比的混凝土每浇筑 1000 m³，应留置 1 组试件，每个混凝土分项工程应至少留置 3 组试件。
- b) 当对留置试件混凝土抗氯离子渗透性合格评定结论有异议时，可采用在构件上钻取芯样法进行验证性检测，同类构件的芯样试件数量不宜少于 3 个。

- 7.1.5 混凝土吸水率的评定应符合下列规定。
- a) 试件组数为 3 组时，任何 1 组的平均值均应符合设计规定的限值。
 - b) 试件组数为 4 组～10 组时，总平均值不得大于设计规定的限值，其中任何 1 组的平均值不得超过限值的 10%。
 - c) 试件组数大于 10 组时，总平均值不得大于设计规定的限值，其中任何 1 组的平均值不得超过限值的 15%。
- 7.1.6 混凝土施工生产过程中产生的表面缺陷、裂缝等质量缺陷构件的检查和验收，应按 GB 50204 的有关规定执行。混凝土施工缺陷处理方法宜按照 JTS 202 的有关规定执行。
- 7.1.7 混凝土保护层厚度的检验与验收应符合 JTS 257-2 的有关规定。
- 7.1.8 混凝土保护层厚度或混凝土的耐久性指标不满足设计要求时，应采取有效的附加防腐蚀措施。

7.2 附加防腐蚀措施检验与验收

- 7.2.1 混凝土表面涂层质量检验应符合下列规定：
- a) 表面涂层质量检验应符合 JTS/T 209 的有关规定；
 - b) 在涂装施工完成 7 d 后进行，检验指标包括涂层外观、涂层干膜厚度和涂层粘结强度；
 - c) 涂层表面应光滑平整、色泽一致，无气泡、透底、开裂、漏涂等缺陷；
 - d) 涂层干膜厚度测点值小于设计值的测点数不应大于总测点数的 10%，且干膜厚度测点值不应小于设计值的 90%；
 - e) 涂层粘结强度的测点值不应小于设计值；
 - f) 混凝土结构表面涂层质量检验批有不合格项时，应双倍抽样复检不合格项，仍有不合格项时，应判定该检验批不合格。
- 7.2.2 钢筋阻锈剂混凝土的质量检验应符合下列规定：
- a) 钢筋阻锈剂混凝土质量检测方法应符合 JTS/T 209 的有关规定；
 - b) 抽样检测结果有不合格项时，可对留备考查的试件进行复检；仍不合格时，应判定该批产品质量不合格。
- 7.2.3 环氧涂层钢筋的质量检验应符合下列规定：
- a) 环氧涂层钢筋的质量检验应在混凝土浇筑前进行；
 - b) 环氧涂层钢筋的现场检验应按 JTS/T 209 的有关规定进行；
 - c) 环氧涂层钢筋现场修补后应检测单个缺陷面积大于 1 cm² 的修补区域的涂层连续性和涂层厚度。
- 7.2.4 不锈钢钢筋的质量检验应符合下列规定：
- a) 不锈钢钢筋施工验收应在混凝土浇筑前进行；
 - b) 不锈钢钢筋的现场检验应按 JTS/T 209 的有关规定。
- 7.2.5 混凝土外加电流阴极保护质量检验应符合下列规定：
- a) 混凝土外加电流阴极保护质量检验应在施工完成后 90 d 内进行。阴极保护质量检验应包括钢筋保护电位、直流电源和监控设备运行状况；
 - b) 混凝土外加电流阴极保护的现场检验应符合 GB/T 39154 和 JTS/T 209 的有关规定。
- 7.2.6 附加防腐蚀措施的竣工验收资料应符合 JTS/T 209 的有关规定。

附录 A
(规范性)
海洋水位变动区混凝土结构设计使用年限校核

A.1 一般规定

A.1.1 海洋环境混凝土结构设计使用年限计算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。

A.1.2 钢筋混凝土结构设计使用年限应指从建成到钢筋腐蚀导致保护层出现 0.3 mm 顺筋裂缝时的状态所经历的时间。

A.2 钢筋开始腐蚀阶段

A.2.1 钢筋开始腐蚀阶段所经历的时间可按式 (A.1) 计算：

$$t_i = \frac{0.0317(x)^2}{4D_{cl}(t) \left[\operatorname{erf}^{-1} \left(1 - \frac{c_{cr} - c_0}{c_s - c_0} \right) \right]^2} \quad (\text{A.1})$$

式中：

t_i ——钢筋开始腐蚀阶段混凝土结构使用年限（年）；

x ——混凝土保护层厚度计算值，单位为毫米（mm）；

$D_{cl}(t)$ ——时间函数的混凝土氯离子扩散系数（ $10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ）；

erf ——误差函数；

c_{cr} ——混凝土临界氯离子浓度计算值（%）；

c_0 ——混凝土初始氯离子浓度计算值（%）；

c_s ——混凝土表面氯离子浓度计算值（%）。

A.2.2 混凝土临界氯离子浓度计算值可按式 (A.2) 计算：

$$c_{cr} = c_{cr,c} \cdot \frac{1}{\gamma_{c_{cr}}} \quad (\text{A.2})$$

式中：

c_{cr} ——混凝土临界氯离子浓度计算值（%）；

$c_{cr,c}$ ——混凝土临界氯离子浓度特征值（%），无可靠统计资料时，可取 0.75；

$\gamma_{c_{cr}}$ ——混凝土临界氯离子浓度分项系数。

A.2.3 混凝土表面氯离子浓度计算值可按式 (A.3) 计算：

$$c_s = A_{c_s} \cdot (w/b) \cdot \gamma_{c_s} \quad (\text{A.3})$$

式中：

c_s ——混凝土表面氯离子浓度计算值（%）；

A_{c_s} ——混凝土表面氯离子浓度回归系数，当无可靠统计资料时，可取 11.57；

w/b ——混凝土水胶比；

γ_{c_s} ——表面氯离子浓度分项系数。

A.2.4 混凝土保护层厚度计算值可按式 (A.4) 计算:

$$x = x_d - \Delta x \quad (\text{A.4})$$

式中:

x ——混凝土保护层厚度计算值, 单位为毫米 (mm);

x_d ——混凝土保护层厚度设计值, 单位为毫米 (mm);

Δx ——混凝土保护层厚度偏差, 单位为毫米 (mm), 现浇混凝土构件取 10 mm。

A.2.5 混凝土氯离子扩散系数计算值可按式 (A.5) 计算:

$$D_{cl}(t) = k_{c,cl} \cdot k_{\eta,cl} \cdot k_{h,cl} \cdot D_{cl,0} \cdot \left(\frac{t_0}{t} \right)^{n_{cl}} \cdot \gamma_{D_{cl}} \quad (\text{A.5})$$

式中:

$D_{cl}(t)$ ——时间函数的混凝土氯离子扩散系数 ($10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$);

$k_{c,cl}$ ——混凝土氯离子渗透性试验方法转换系数;

$k_{\eta,cl}$ ——混凝土荷载影响系数;

$k_{h,cl}$ ——接触海水龄期影响系数;

$D_{cl,0}$ ——混凝土氯离子扩散系数试验值 ($10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$);

t_0 ——试验混凝土氯离子渗透性试验龄期 (年);

t ——混凝土氯离子扩散系数衰减至恒定值的时间 (年);

n_{cl} ——试验混凝土扩散系数龄期因子;

$\gamma_{D_{cl}}$ ——混凝土氯离子扩散系数分项系数。

1 混凝土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。当快速试验采用混凝土抗氯离子渗透性扩散系数电迁移试验方法时可取 0.5;

2 混凝土氯离子扩散系数的荷载影响系数可按式 (A.6) 计算:

$$k_{f,cl} = A \cdot e^{B\eta} \quad (\text{A.6})$$

式中:

$k_{f,cl}$ ——应力对受拉区混凝土氯离子扩散系数的影响因子;

A, B ——与混凝土龄期有关的常数, 无统计资料时, A, B 分别取 0.94, B 取 1.16。

η ——混凝土受拉区承受的应力水平。

3 不同掺合料的混凝土接触海水龄期的影响系数应根据类似工程实测值或暴露试验结果确定, 当无可靠资料时可按表 A.1 取值。

表 A.1 混凝土接触海水龄期的影响系数

养护龄期 (d)	活性掺合料的种类			
	硅酸盐水泥	单掺粉煤灰	单掺矿渣粉	双掺粉煤灰与矿渣粉
3	1.50	2.50	1.40	1.50
7	1.00	1.60	1.20	1.20
14	1.00	1.00	1.00	1.00
28	1.00	0.70	0.70	0.70

4 混凝土氯离子扩散系数衰减至恒定值的时间应根据类似工程实测值或暴露试验结果确定, 当无可靠资料时可取 20 年。

5 混凝土氯离子扩散系数龄期因子应根据类似工程实测值或暴露试验结果确定, 当无可靠

资料时可按表 A. 2 取值。

表 A. 2 混凝土氯离子扩散系数龄期因子

硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥	单掺粉煤灰	单掺粒化高炉矿渣粉	粉煤灰和粒化高炉矿渣粉混掺	单掺硅灰
0.20	0.45	0.50	0.50	0.20

A. 2. 6 钢筋开始锈蚀阶段年限校核公式中分项系数应根据相关参数的分布函数结合目标可靠指标确定。当无可靠统计资料时可按表 A. 3 取值。

表 A. 3 海洋环境混凝土结构钢筋开始锈蚀阶段分项系数取值

混凝土构件部位	$\gamma_{c_{cr}}$	γ_{c_s}	$\gamma_{D_{cl}}$
水位变动区	1.2	1.1	1.1

A. 3 保护层锈胀开裂阶段

A. 3. 1 混凝土保护层锈胀开裂阶段所经历的时间应按可按式 (A. 7) 计算：

$$t_c = \frac{p}{\lambda} \tag{A.7}$$

式中：

- t_c ——混凝土保护层锈胀开裂阶段所经历的时间（年）；
- p ——混凝土产生顺筋裂缝时钢筋的临界锈蚀深度，单位为毫米（mm）；
- λ ——钢筋腐蚀速率，单位为毫米每年（mm /年）。

A. 3. 2 混凝土产生顺筋裂缝时钢筋的临界锈蚀深度可按式 (A. 8) 计算：

$$p = a_1 + a_2 \frac{x_d}{d} + a_3 f_{cu,k} \tag{A.8}$$

式中：

- p ——混凝土产生顺筋裂缝时钢筋的临界锈蚀深度，单位为毫米（mm）；
- a_1 ——钢筋的临界锈蚀深度修正系数，无统计资料时，取 0. 018；
- a_2 ——结构影响系数，无统计资料时，取 0. 012；
- x_d ——混凝土保护层厚度设计值，单位为毫米（mm）；
- d ——钢筋直径，单位为毫米（mm）；
- a_3 ——强度影响系数，无统计资料时，取 0. 00084；
- $f_{cu,k}$ ——混凝土抗压强度标准值，单位位为兆帕（MPa）。

A. 3. 3 钢筋腐蚀速率可按式 (A. 9) 计算：

$$\lambda = 0.0116 \times i \tag{A.9}$$

式中：

- λ ——钢筋腐蚀速率，单位为毫米每年（mm/年）；
- i ——混凝土保护层开裂前钢筋的腐蚀电流密度，单位为微安每平方厘米（ $\mu A/cm^2$ ），无统计资料时，可取 0. 5 $\mu A/cm^2$ 。

附录 B (资料性)

海工混凝土结构表面涂层涂装龄期的确定方法

B.1 本方法在确定混凝土结构表面涂覆防护涂装龄期时，需要开展以下试验内容：

- a) 需用实际工程使用的混凝土原材料和配合比，制作不少于 6 组混凝土立方体标准试件，在标准养护条件下养护，得出 3 d、5 d、7 d、14 d、21 d 及 28 d 的强度值。
- b) 需用实际工程使用的混凝土原材料和配合比，制作不少于 6 组混凝土立方体标准试件，制作不少于 6 组混凝土立方体标准试件，在标准养护条件下养护，标准养护 3 d、5 d、7 d、14 d、21 d 及 28 d 后，对混凝土试件按照施工要求进行表面涂层涂刷，涂刷结束后室内养护 3 d，测试不同龄期涂层的粘结强度。

B.2 本方法需要取得现场养护混凝土时间和温度实测资料（温度、时间）。

B.3 用等效标准养护试件的各龄期强度数据，经回归分析形成式（B.3）的曲线方程：

$$f_{cu} = a \cdot \ln t_e + b \quad (\text{B.3})$$

式中：

f_{cu} ——混凝土立方体抗压强度，单位为兆帕（MPa）；

t_e ——混凝土养护龄期，单位为小时（h）；

a 、 b ——拟合常数，利用标准养护试验结果，经回归分析得到。

B.4 利用等效标准养护试件的混凝土，根据不同龄期的表面涂覆混凝土的粘结强度，经回归建立式（B.4）的曲线方程：

$$R = c \cdot \ln(t_e) + d \quad (\text{B.4})$$

式中：

R ——混凝土表面涂层的粘结强度，单位为兆帕（MPa）；

t_e ——混凝土养护龄期，单位为小时（h）；

c 、 d ——拟合常数，利用标准养护试验结果，经回归分析得到。

B.5 根据现场的实测混凝土养护温度资料，用公式（B.5）计算混凝土已达到的等效龄期（相对于 20℃ 标准样的时间）。

$$t = \sum \alpha_T t_T \quad (\text{B.5})$$

式中：

t ——等效龄期，h；

α_T ——温度为 T 的等效系数，按表 B.5 采用；

t_T ——温度为 T 的持续时间，h。

B.6 根据式（B.4）计算当混凝土表面涂层粘结强度为 2.0 MPa 的养护龄期 t_a 。

B.7 根据式（B.3）计算当混凝土强度为 85% 设计强度时的养护龄期 t_f 。

B.8 根据现场实测温度资料按公式（B.5）计算混凝土的等效龄期，当 $t = \text{MAX}(t_f, t_a)$ 作为混凝土结构表面涂层的涂装龄期。

条文说明

3. 4

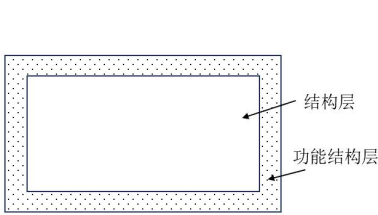
梯度混凝土结构核心在于不同区域采用差异化的混凝土性能指标，以满足特定环境或功能需求。该结构通过提升外侧混凝土结构的抗氯离子渗透性，实现水位变动区现浇混凝土结构整体性能的提升与优化设计。

5. 1. 2

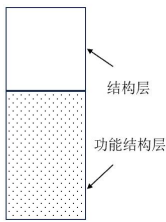
为保证海洋环境水位变动区现浇混凝土结构的施工质量，避免海水过早对混凝土的侵蚀，可在混凝土结构施工时采用预制混凝土模版，该预制混凝土模版与新浇筑的混凝土形成一体，从而保证新浇筑混凝土免遭海水侵蚀、提高水变区现浇混凝土结构的耐久性。此外，海洋环境水位变动区现浇混凝土结构也可采用功能梯度混凝土结构，其外层混凝土采用早龄期抗腐蚀性强的混凝土，内层采用普通海工混凝土。

6. 1. 12

海洋环境水位变动区现浇功能梯度混凝土结构由结构层和功能结构层组成，在不同结构主要表现为水平分层和竖向分层两种功能梯度混凝土结构，如下图所示。水平分层功能梯度混凝土结构主要在跨海大桥承台等大体积混凝土结构上应用，其中功能结构层覆盖钢筋保护层区域，不宜不超过0.5 m；竖向分层功能梯度混凝土结构主要在墩柱等结构上应用，其中功能结构层设计在下层，覆盖全部或部分水位变动区。



附图1 水平分层功能梯度混凝土结构



附图2 竖向分层功能梯度混凝土结构