

福建省工程建设地方标准

DB

工程建设地方标准编号 : DBJ/T 13-200-2025

住房和城乡建设部备案号 : J12845-2025

## 福建省桩基础与地下结构防腐蚀 技术标准

Fujian province technical standard for anticorrosion of pile  
foundation and underground structure

2025-03-06 发布

2025-06-01 实施

福建省住房和城乡建设厅

发布

福建省工程建设地方标准

# 福建省桩基础与地下结构防腐蚀 技术标准

Fujian province technical standard for anticorrosion of pile foundation  
and underground structure

工程建设地方标准编号： DBJ/T 13-200-2025

住房和城乡建设部备案号： J 1 2 8 4 5 - 2 0 2 5

主编单位： 厦门市建设工程质量安全站  
国机陆原工程设计研究有限公司  
厦门华岩勘测设计有限公司

批准部门： 福建省住房和城乡建设厅

实施日期： 2 0 2 5 年 6 月 1 日

2025 年 福州

# 前 言

根据《福建省住房和城乡建设厅关于公布全省住房和城乡建设行业 2022 年第三批科学技术计划项目的通知》（闽建科〔2022〕15 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本标准。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 岩土工程勘察要点；5. 防腐蚀设计；6. 防腐蚀施工；7. 防腐蚀工程质量检验与验收；附录。

本标准修订的主要技术内容是：1. 调整了桩基础在腐蚀性环境中的适用条件；2. 对工作年限 50 年的桩基础与地下结构防腐蚀技术进行了较系统规定；对于设计工作年限 100 年的，提出了建议；3. 调整了 Cl<sup>-</sup>腐蚀介质环境中混凝土防腐蚀规定和最大 Cl<sup>-</sup>含量指标；增加 28 天龄期氯离子迁移系数和抗硫酸盐的抗压强度耐蚀系数等指标；4. 对预制桩、灌注桩和现浇地下结构混凝土分别提出防腐蚀基本要求；增加了地下结构预制构件混凝土防腐蚀基本要求；充实了桩身混凝土防护要求；5. 充实了预制桩接桩防腐蚀要求、并增加施工接桩位置不符合要求时的处理措施；充实了空心桩桩尖选择和防腐蚀要求；6. 增加了钢桩接桩防腐蚀要求，充实了钢桩防腐蚀有关规定；7. 增加了锚杆最低防腐蚀等级、防腐蚀保护等级和防护措施规定；充实了锚杆注浆体和筋体防腐蚀配套体系；8. 增加了承台（桥墩）、地下结构周边外侧面防腐蚀技术内容；增加了临海项目及矿山法海底隧道等地下结构后浇带钢筋防腐蚀要求；9. 增加了参与地下结构抗浮贡献的深基坑围护结构防腐蚀措施规定；10. 增加了植桩防腐蚀技术要求；11. 增

加了环境改善（基坑围护）防腐蚀技术要求；12. 修改了分项工程的划分。

本标准由福建省住房和城乡建设厅负责管理，由厦门市建设工程质量安全站负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送福建省住房和城乡建设厅科技与设计处（地址：福州市北大路 242 号，邮编：350001）和厦门市建设工程质量安全站（地址：厦门市斗西路 209 号电控大厦 6 楼，邮编：361004），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：厦门市建设工程质量安全站  
国机陆原工程设计研究有限公司  
厦门华岩勘测设计有限公司

本标准参编单位：厦门华旻建筑工程设计有限公司  
厦门安捷建筑工程有限公司  
福建省五方建设集团有限公司  
福建古豪建设工程有限公司  
福建省九龙建设集团有限公司  
厦门海升建设有限公司  
中建材（福建）勘测设计有限公司  
厦门城健建设有限公司  
泉州泰景建材有限公司  
广东三和管桩有限公司

本标准主要起草人：林 梁 许勇铁 韩 冬 谢 鑫  
廖良辉 王红旗 张朝慧 肖 锋  
魏 巍 夏柱波 陈玉斌 张海鹏  
陈榕福 戴文彬 陈加才 洪瑞达  
黄清和 方均坪 林少宏 何友林  
本标准主要审查人：戴一鸣 侯伟生 晏 音 陈振建  
黄可明 彭伙水 李 峻

# 目 次

1 总 则 .....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术 语 .....	2
2.2 符 号 .....	3
3 基本规定 .....	5
4 岩土工程勘察要点 .....	7
5 防腐蚀设计 .....	9
5.1 一般规定 .....	9
5.2 混凝土及原材料 .....	10
5.3 预制桩防腐蚀设计 .....	16
5.4 混凝土灌注桩防腐蚀设计 .....	20
5.5 钢桩防腐蚀设计 .....	22
5.6 锚杆防腐蚀设计 .....	25
5.7 植桩防腐蚀设计 .....	29
5.8 地下结构防腐蚀设计 .....	31
5.9 环境改善防腐蚀设计 .....	34
6 防腐蚀施工 .....	35
6.1 一般规定 .....	35
6.2 基桩的防腐蚀施工 .....	35
6.3 混凝土的防腐蚀施工 .....	40
6.4 防腐蚀材料的施工 .....	41
7 防腐蚀工程质量检验与验收 .....	42
7.1 质量控制 .....	42
7.2 质量检验 .....	43

7.3 验 收 .....	46
附录 A 防腐蚀分项工程质量控制资料核查记录 .....	49
附录 B 防腐蚀施工隐蔽验收记录 .....	50
附录 C 预制桩防腐蚀检验批质量验收记录 .....	51
附录 D 灌注桩防腐蚀检验批质量验收记录 .....	52
附录 E 钢桩防腐蚀检验批质量验收记录 .....	53
附录 F 锚杆防腐蚀检验批质量验收记录 .....	54
附录 G 植桩防腐蚀检验批质量验收记录 .....	55
附录 H 地下结构防腐蚀检验批质量验收记录 .....	56
附录 J 基坑围护工程防腐蚀检验批质量验收记录 .....	57
附录 K 基层处理检验批质量验收记录 .....	58
附录 L 防腐蚀分项工程质量验收记录 .....	59
本标准用词说明 .....	60
引用标准名录 .....	61
附：条文说明 .....	64

## Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	3
3	Basic Requirements .....	5
4	Key Points of Geotechnical Engineering Investigation .....	7
5	Anticorrosive Design .....	9
5.1	General Requirements .....	9
5.2	Concrete and Raw Materials .....	10
5.3	Anticorrosive Design of Precast Piles .....	16
5.4	Anticorrosive Design of Concrete Cast-in-place Piles .....	20
5.5	Anticorrosive Design of Steel Piles .....	22
5.6	Anticorrosive Design of Anchors .....	25
5.7	Anticorrosive Design of Planting Piles .....	29
5.8	Anticorrosive Design of Underground Structure .....	31
5.9	Anticorrosive Design of Environment Improvement .....	34
6	Anticorrosive Construction .....	35
6.1	General Requirements .....	35
6.2	Anticorrosion Construction of Piles .....	35
6.3	Anticorrosive Construction of Concrete .....	40
6.4	Construction of Anticorrosion Materials .....	41
7	Anticorrosive Quality Checking and Acceptance .....	42
7.1	Quality Control .....	42
7.2	Quality Checking .....	43

7.3 Acceptance .....	46
Appendix A Anti-corrosion Sub Branch of Engineering Quality Control Data Verification Records .....	49
Appendix B Anti-corrosion Construction Concealed Acceptance Records .....	50
Appendix C Precast Pile Anti-corrosion Inspection Batch Quality Acceptance Record .....	51
Appendix D Casting Cast-inplace Pile Anti-corrosion Inspection Batch Quality Acceptance Record .....	52
Appendix E Steel Pile Anti-corrosion Inspection Batch Quality Acceptance Record .....	53
Appendix F Anchor Rod Anti-corrosion Inspection Batch Quality Acceptance Record .....	54
Appendix G Planting Pile Anti-corrosion Inspection Batch Quality Acceptance Record .....	55
Appendix H Underground Structure Anti-corrosion Inspection Batch Quality Acceptance Record .....	56
Appendix J Foundation Pit Enclosure Engineering Anti-corrosion Inspection Batch Quality Acceptance Record .....	57
Appendix K Grass-roots Treatment Inspection Batch Quality Acceptance Record .....	58
Appendix L Anti-corrosion Sub-items Engineering Quality Acceptance Record .....	59
Explanation of Wording in This Standard .....	60
List of Quoted Standards .....	61
Addition: Explanation of Provisions .....	64



# 1 总 则

**1.0.1** 为规范福建省桩基础与地下结构防腐蚀设计、施工和质量验收行为，保障桩基础与地下结构的防腐蚀设计与施工质量，确保桩基础与地下结构工程满足设计工作年限要求，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于建筑和市政工程桩基础与地下结构防腐蚀的勘察、设计、施工和质量验收。

**1.0.3** 桩基础与地下结构防腐蚀设计应遵循预防为主、防护结合的原则，综合考虑安全、绿色、技术、经济等因素确定防腐蚀措施。

**1.0.4** 桩基础与地下结构防腐蚀设计、施工和质量验收，除应符合本标准外，尚应符合国家、行业和福建省现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 桩基础 piled foundation

由设置于岩土中的桩和与桩顶联结的承台共同组成的基础或由柱与桩直接联结的单桩基础，简称桩基；包括基桩（单桩）和承台。

#### 2.1.2 地下结构 underground Structure

指位于地面（含坡面）、水面以下的所有混凝土结构；包括地下室、隧道、共同管沟等地下建筑结构及其外围（如基坑围护）或相联结的且与土、水（含仅一个侧面）接触的结构构件（如基础、桥墩、锚杆等）。

#### 2.1.3 植桩法 piling method

指按设计要求的桩长，先采用机械成孔到位，让桩孔内充满水泥土或注入水泥土、混凝土或其他固桩液，再依靠预制桩杆自重或压桩设备将预制桩压入的施工方法。

#### 2.1.4 混凝土抗硫酸盐等级 KS Sulfate resistance grade of concrete KS

用抗硫酸盐侵蚀试验方法测得最大干湿循环次数来划分的混凝土抗硫酸盐侵蚀性能等级。

#### 2.1.5 混凝土抗硫酸盐耐蚀系数 $K_f$ Sulfate resistance coefficient of concrete $K_f$

指 3 个硫酸盐侵蚀试件抗压强度平均值与 3 个对比试件抗压强度平均值的比值。

### **2.1.6 水玻璃类防腐蚀材料 soluble glass class anticorrosive materials**

水玻璃是由碱金属氧化物和二氧化硅结合而成的可溶性碱金属硅酸盐材料，又称泡花碱。

### **2.1.7 树脂类防腐蚀材料 resins class anticorrosive materials**

树脂是许多植物正常生长中分泌的一类物质，由多种成分混合而成，其中有树脂酸、树脂醇、树脂烃以及它们的一些更高的聚合物；分为天然树脂和合成树脂两大类。

### **2.1.8 沥青类防腐蚀材料 asphalt class anticorrosive materials**

沥青是一种棕黑色有机胶凝状物质，主要成分是沥青质和树脂，其次有高沸点矿物油和少量的氧、硫和氯的化合物。

### **2.1.9 涂料类防腐蚀材料 paint class anticorrosive materials**

涂料是由成膜物质、颜料、溶剂和助剂等按一定配方配制而成的材料；分为油性涂料、纤维涂料、合成涂料和无机涂料；按涂料或漆膜性状可分为溶液、乳胶、溶胶、粉末、有光、消光和多彩美术涂料等。

### **2.1.10 聚合物水泥砂浆类防腐蚀材料 polymer cement mortar class anticorrosive materials**

聚合物水泥防水砂浆是由水性高分子聚合物材料、普通硅酸盐水泥、石英砂为主要成分，并加入多种改性助剂配制而成。

### **2.1.11 环氧树脂涂层钢筋 epoxy resin coated steel reinforcing bars**

指在普通钢筋表面采用静电喷涂粉末高温熔融结合工艺而制成一层环氧树脂保护涂层的钢筋或成品钢筋，包括环氧树脂涂层钢筋和镀锌环氧涂层钢筋。

## **2.2 符 号**

c—— 电通量指标库仑；

- Cl<sup>-</sup>—— 氯离子；
- D<sub>RCM</sub>—— 试验测得的氯离子扩散系数；
- KS—— 混凝土抗硫酸盐等级；
- K<sub>f</sub>—— 混凝土抗硫酸盐耐蚀系数；
- SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>—— 硫酸根离子；
- ω<sub>lim</sub>—— 最大裂缝宽度限值；
- λ—— 锚杆抗拉强度设计值折减系数；
- △—— 保护层误差。

### 3 基本规定

**3.0.1** 桩基础与地下结构采取的防腐蚀技术措施应符合设计工作年限和耐久性的要求。

**3.0.2** 桩基础与地下结构应根据场地环境类别、腐蚀性等级和作用类型进行防腐蚀设计与施工。

**3.0.3** 环境腐蚀性介质对建筑材料长期作用下的腐蚀性，可分为强腐蚀、中腐蚀、弱腐蚀、微腐蚀 4 个等级。多种腐蚀性介质同时作用同一部位时，腐蚀性等级应取最高者。

当沿地面以下深度的腐蚀性等级不同时，可按不同腐蚀性等级分别采取不同的防腐措施；无法区分或辨识时，应取腐蚀性等级最高者。

**3.0.4** 桩基础与地下结构防腐蚀设计应包括下列内容：

- 1 设计工作年限、环境类别及耐久性、腐蚀性等级及作用类型；
- 2 有利于减轻环境腐蚀性作用的桩型、地下结构型式及其构造措施；
- 3 结构材料的防腐蚀要求；
- 4 钢筋的混凝土保护层厚度；
- 5 混凝土裂缝控制要求；
- 6 防水、排水等构造措施；
- 7 防腐蚀附加措施或多重防护措施；
- 8 施工养护及施工质量验收要求；
- 9 结构使用阶段的维护、修复与监测要求。

**3.0.5** 桩基础与地下结构裂缝控制及其表面裂缝最大宽度计算值  $w_{lim}$  不应超过表 3.0.5 中的限值，裂缝控制等级划分应按现行国家

标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定执行。

表 3.0.5 桩基础与地下结构的裂缝控制及其表面裂缝计算最大宽度限值

腐蚀性等级	钢筋混凝土地下结构		钢筋混凝土抗拔桩		预应力混凝土地下结构（桩）
	裂缝控制等级	$\omega_{lim}$ （mm）	裂缝控制等级	$\omega_{lim}$ （mm）	裂缝控制等级
弱腐蚀	三级	0.20	三级	0.20	二级（一级）
中腐蚀	三级	0.20	三级	0.15	一级（一级）
强腐蚀	三级	0.15	三级	0.10	一级（一级）

- 注：1 当构件混凝土保护层厚度超过 30mm 时，裂缝计算时可取为 30mm；
- 2 表中抗拔桩的内容仅适用于地下室埋深 $\geq 7\text{m}$ 或层数 $\geq 2$ 层的抗拔桩；其它情况下的钢筋混凝土抗拔桩按表中钢筋混凝土地下结构的内容执行；
- 3 括弧中的内容适用于预应力混凝土管桩、预应力混凝土空心方桩、预应力混凝土实心方桩；
- 4 当采用环氧树脂涂层钢筋时，混凝土构件裂缝宽度限值可采用无环氧涂层钢筋混凝土构件的 1.2 倍。

**3.0.6** 桩基础与地下结构防腐蚀工程需要变更设计、材料替代或采用新技术、新材料时，应经原设计单位同意确认。采用新技术、新材料时，应通过专家论证并符合现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 有关性能的要求。

## 4 岩土工程勘察要点

**4.0.1** 建设场地勘察评价水和土对建筑材料的腐蚀性时，应结合桩基础与地下结构防腐蚀设计要求，按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和现行地方标准《岩土工程勘察标准》DBJ/T 13-84 的规定进行分级评价。

**4.0.2** 岩土工程勘察评价水和土对建筑材料的腐蚀性应符合下列要求：

- 1 应对收集的区域气象、水文和地质资料进行分析；
- 2 查明地下水类型、赋存条件和补给、径流及排泄条件，提供地下水初见水位、稳定水位、地下水位变化幅度和近 3 年～5 年最高地下水位或海水潮汐最大变化幅度；
- 3 查明地表水的分布特征及与地下水的水力联系，提供桩基础与地下结构防腐蚀设计所需的水文地质参数；
- 4 评价建设场地水、土对建筑材料的腐蚀性，确定其腐蚀性等级。

**4.0.3** 岩土工程勘察，应查明场地是否存在对地下水或地表水可能造成污染的污染源，并评价可能受污染的程度，查明地下水的分布、运动规律及其与污染作用的关系。

**4.0.4** 当场地附近存在污染源时，应查明场地被污染和可能被污染的程度，并对污染程度进行分类，分类标准应符合下列要求：

- 1 未被污染的拟建场地；
- 2 可能被污染的拟建场地；
- 3 已被污染的拟建场地；
- 4 被污染的已建场地。

**4.0.5** 污染土勘察应根据工程特点和防腐蚀设计要求选择适宜的

勘察手段，并按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和现行地方标准《岩土工程勘察标准》DBJ/T 13-84 的规定进行勘察。

**4.0.6** 勘察时应有针对性采取水、土试样进行水、土化学试验或土的原位电化学测试，判别其腐蚀性作用类型及等级，并根据腐蚀性作用类型及等级提出相应的防腐蚀措施的建议。

**4.0.7** 场地环境类型划分，水、土试样采集数量及位置，测试项目和评定等应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《工程勘察通用规范》GB 55017 和现行地方标准《岩土工程勘察标准》DBJ/T 13-84 的规定。



## 5 防腐蚀设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 桩基础与地下结构设计应按岩土工程勘察报告提供的场地环境类型、腐蚀性等级和设计工作年限及其耐久性要求采取相应的防腐蚀措施。

本标准所提供的防腐蚀设计参数、指标和防护措施，适用的设计工作年限为 50 年；设计工作年限为 100 年的防腐蚀设计，应由建设单位组织研究和试验，并经专家论证后确定。

**5.1.2** 设计采用的钢筋（含防腐、耐蚀钢筋）质量标准，应符合国家现行标准《钢筋混凝土用钢》GB/T 1499、《预应力混凝土用螺纹钢》GB/T 20065、《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、《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502 和现行地方标准《耐蚀钢筋混凝土结构应用标准》DBJ/T 13-342 的有关规定。

**5.1.3** 设计采用的防腐蚀材料质量标准，应符合国家现行标准《建筑石油沥青》GB/T 494、《工业硅酸钠》GB/T 4209、《混凝土外加剂》GB 8076、《双酚 A 型环氧树脂》GB/T 13657、《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736、《混凝土防腐阻锈剂》GB/T 31296、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119、《混凝土抗侵蚀防腐剂》JC/T 1011、《建筑用钢结构防腐涂料》JG/T 224、《钢筋阻锈剂使用技术标准》JGJ/T 192、《钢筋混凝土阻锈剂》JT/T 537、《高氯化聚乙烯防腐涂料》HG/T 4338 和现行地方标准《混凝土外加剂应用技术标准》DBJ/T 13-77 的有关规定。

**5.1.4** 设计宜调整承台埋深，使桩身避开腐蚀性等级相对较高的

区段；或合理配置接桩位置，使接桩接头进入未被污染或腐蚀性等级相对较低的区段，进入深度不宜小于 1m。

**5.1.5** 在确定腐蚀性环境对钢筋混凝土结构构件的作用等级时，不宜考虑混凝土表面防水层对腐蚀性介质的阻隔作用。

**5.1.6** 在腐蚀性环境中，当深基坑围护结构构件兼做地下结构的永久构件时，应按所处环境的腐蚀性等级采取防腐蚀措施。

**5.1.7** 涉及杂散电流干扰腐蚀性环境中的桩基础与地下结构，应按电力专业的有关规定执行。

## **5.2 混凝土及原材料**

**5.2.1** 水泥品种的选择，应符合下列规定：

1 宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥；在微、弱腐蚀条件下，也可选用矿渣硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥；

2 受碱液（ $\text{OH}^-$ ）作用环境时，应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，不得选用高铝水泥或以铝酸盐成分为主的膨胀水泥；

3 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥的熟料中，铝酸三钙含量宜控制在 8% 以下；当采用大掺量掺合料、低水胶比配制时，可放宽至 8%~10%；在腐蚀介质为  $\text{Cl}^-$  时，可放宽至 8%~12%；

4 当腐蚀性环境中硫酸根离子含量小于或等于 2500mg/L 时，可使用中抗硫酸盐硅酸盐水泥；当腐蚀性环境中硫酸根离子含量小于或等于 8000mg/L 时，可使用高抗硫酸盐硅酸盐水泥；

5 当腐蚀介质为  $\text{Cl}^-$  时，不应采用抗硫酸盐硅酸盐水泥；在同时存在  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$  腐蚀介质的环境中，不宜采用抗硫酸盐硅酸盐水泥。

**5.2.2** 混凝土掺合料应符合下列规定：

1 当采用硅酸盐水泥时，宜掺入矿物掺合料；当采用普通硅酸盐水泥时，可掺入矿物掺合料；在硫酸盐为强腐蚀的条件下，掺合料不宜采用高钙粉煤灰；在硫酸盐腐蚀环境中，掺合料不得

采用石灰石粉；使用矿物掺合料混凝土的水胶比不宜大于 0.45；

2 掺合料宜采用磨细矿渣（粒化高炉矿渣）、粉煤灰、硅粉，掺合料的掺量应通过试验确定，在计算矿物掺合料用量时，应计入水泥中已有的矿物含量，当水泥厂家无法提供水泥中的矿物含量时，则该品种水泥不应用于拌制有矿物掺合料的混凝土；

3 混凝土可采用两种或两种以上矿物掺合料，使用前应经过试验确定，不得添加对混凝土有害的碱骨料等成分；

4 矿物掺合料的各项性能指标等要求应经过试验确定。

### 5.2.3 外加剂应符合下列要求：

1 外加剂对混凝土的性能应无不利影响，对钢筋不应有腐蚀作用，严禁使用对人体产生危害、对环境造成污染的外加剂；

2 不同品种外加剂复合使用时，使用前应经相容性试验确定；

3 外加剂与水泥的适应性，使用前应经试验确定；不宜采用无机盐类的早强剂；

4 受碱液作用环境时，不得采用铝酸盐类膨胀剂；在硫酸盐为强腐蚀的条件下，不宜使用铝酸盐、硫酸盐、钙质、镁质膨胀剂；

5 当腐蚀介质为 Cl<sup>-</sup>时，外加剂中 Cl<sup>-</sup>含量应满足混凝土的使用限值要求；在预制桩和预应力混凝土空心桩中，不得采用单一的亚硝酸盐类的阻锈剂；

6 钢筋阻锈剂的掺量应通过试验确定。

### 5.2.4 骨料应符合下列要求：

1 骨料应选用质地坚硬，具有良好级配的天然河砂或机制砂、碎石或卵石；砂及粗骨料的含泥量、泥块含量和坚固性指标等应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 的规定；

2 在酸性介质中，宜采用石英石或花岗石骨料；

3 在碱性介质中，宜采用石灰石、石英石或花岗石骨料；

4 砂的氯离子含量应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008 等有关规定；海砂不得用于预应力混凝土和钢筋混

凝土结构；水泥砂浆和素混凝土骨料不应采用未经净化处理的海砂；

5 不得采用可能发生碱-骨料反应的活性骨料。

5.2.5 混凝土拌和用水质量应符合现行国家标准《混凝土结构通用标准》GB 55008 等有关规定；不得采用受海水等有害介质污染的水。

5.2.6 当腐蚀介质为  $\text{Cl}^-$  时，混凝土防腐措施应符合下列规定：

1 当腐蚀性等级为弱或中时，宜采用水胶比不大于 0.45 的较大掺量的矿物掺合料混凝土；当腐蚀性等级为强时，应采用水胶比不大于 0.4 的大掺量矿物掺合料混凝土；单掺粉煤灰的掺量不宜小于 30%，单掺磨细矿渣的掺量不宜小于 50%，且宜复合使用粉煤灰加硅灰、粉煤灰加矿渣或两种以上的矿物掺合料；

2 腐蚀性等级为弱时，宜掺入钢筋阻锈剂；腐蚀性等级为中、强时，应掺入钢筋阻锈剂；钢筋阻锈剂的用量应根据设计工作年限内腐蚀介质进入混凝土中的量确定；在设计工作年限内进入混凝土中钢筋表面的  $\text{Cl}^-$  含量无法确定时，内掺型单功能阻锈剂掺量可参照表 5.2.6-1 的推荐掺量，其它类型阻锈剂根据生产厂家推荐量并经试验确定掺量；

表 5.2.6-1 内掺型单功能阻锈剂推荐掺量

环境类别	弱	中	强
非干湿交替	4~6	6~8	8~10
干湿交替	6~9	9~12	12~15

注：1 表中掺量数字为每立方米混凝土的阻锈剂掺量（kg）；

2 阻锈剂中有效阻锈成分应不低于 30%。

3 在同时存在  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$  腐蚀介质的环境中，宜按  $\text{Cl}^-$  腐蚀介质为主采取防腐措施；设计混凝土时除应考虑单掺或双掺矿物掺合料以外，宜掺入多功能阻锈剂，其掺量应根据  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$  腐蚀介质的含量以及对施工混凝土的性能要求经试验确定；

4 在中、强腐蚀性环境中，设计应明确桩基础与地下结构混凝土抗  $\text{Cl}^-$  侵入性指标（ $\text{Cl}^-$  迁移系数或电通量指标），其中  $\text{Cl}^-$  迁移系数指标应符合本标准，当采用电通量指标评价时，可按表 5.2.6-2 的规定执行。

表 5.2.6-2 混凝土抗  $\text{Cl}^-$  侵入性指标及耐久性等级（评价）

项 目	弱	中	强
电通量指标（龄期 56d）库仑（C）	<2500	<1500	<1200
耐久性等级（评价）	II（一般）	III（较好）	III（较好）

5.2.7 当腐蚀介质为  $\text{SO}_4^{2-}$  时，混凝土防腐蚀措施应符合下列规定：

1 宜采用抗硫酸盐硅酸盐水泥或高抗硫酸盐水泥；当采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥时，应掺入抗硫酸盐外加剂并宜掺用矿物掺合料；

2 外加剂、掺合料种类和用量应在试验研究的基础上、并结合混凝土表面采取专门的防腐蚀附加措施，经综合分析后确定；

3 处于  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度大于 1500mg/L 的干湿交替变化环境的地下混凝土结构体中，应在混凝土表面采取附加防腐蚀涂层；

4 在中、强腐蚀性环境中，设计应明确桩基础与地下结构等混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能指标；抗硫酸盐侵蚀性能指标应符合本标准第 5 章有关条文的规定。

5.2.8 当腐蚀介质为其它化学物质时，所采取的防腐蚀措施，应按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的有关规定执行。

5.2.9 灌注桩、现浇地下结构、地下结构预制构件和预制桩混凝土防腐蚀基本要求应符合现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB55008 的规定外，尚应符合表 5.2.9-1、表 5.2.9-2、表 5.2.9-3 和表 5.2.9-4 的规定。

表 5.2.9-1 灌注桩混凝土的基本要求

项 目 腐蚀性等级	最低强度等级	最大水胶比	最低抗渗等级	钢筋最小保护层厚度 (mm)	胶凝材料中 Cl <sup>-</sup> 最大含量 (%)	最大碱含量 (kg/m <sup>3</sup> )	胶凝材料最少用量 (kg/m <sup>3</sup> )
弱	C30	0.50	P8	55	0.08	3.0	300
中	C35	0.45	P10	55	0.08	3.0	320
强	不宜采用；符合本标准第 5.4.2 条规定的，方可采用。						
	C40	0.40	P10	65	0.08	3.0	340

表 5.2.9-2 现浇地下结构混凝土的基本要求

项 目 腐蚀性等级	最低强度等级	最大水胶比	最低抗渗等级	钢筋最小保护层厚度 (mm)	胶凝材料中 Cl <sup>-</sup> 最大含量 (%)	最大碱含量 (kg/m <sup>3</sup> )	胶凝材料最小用量 (kg/m <sup>3</sup> )
弱	C30	0.50	P8	按本标准表 5.8.3 执行	0.10	3.5	300
中	C35	0.45	P8		0.10	3.0	320
强	C40	0.40	P10		0.08	3.0	340

表 5.2.9-3 地下结构预制构件混凝土的基本要求

项 目 腐蚀性等级	最低强度等级	最大水胶比	最低抗渗等级	钢筋最小保护层厚度 (mm)	胶凝材料中 Cl <sup>-</sup> 最大含量 (%)	最大碱含量 (kg/m <sup>3</sup> )	胶凝材料最小用量 (kg/m <sup>3</sup> )
弱	C30	0.50	P8	50	0.10	3.5	300
中	C35	0.45	P8	50	0.10	3.0	320
强	C40	0.40	P10	50	0.08	3.0	340

注：1 地下结构预制构件主要包括：地下盾构隧道衬砌管片和地下共同管沟、市政综合管廊与顶管等结构使用的预制混凝土构件；

2 当现浇混凝土未掺入矿物掺合料时，表中“水胶比”为“水灰比”；强腐蚀环境下，采用机制砂的泵送混凝土施工时，最大水胶比可取不大于 0.40；

3 对于有防水要求的地下室结构，胶凝材料用量不宜小于 320kg/m<sup>3</sup>，其中水泥 用量不宜小于 260kg/m<sup>3</sup>；

- 4 预应力混凝土构件最大 Cl<sup>-</sup>含量为胶凝材料用量的 0.06%，最低强度等级应按表中提高一个等级；
- 5 地下结构混凝土抗渗等级尚应符合《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030 及《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定；
- 6 当场地下卧土层中存在淤泥层时，采用挤土工艺成桩的灌注桩（如沉管灌注桩），保护层厚度应增加 10mm。

表 5.2.9-4 预制桩混凝土的基本要求

项 目 桩 型	最低强度等级	最大水胶比	最低抗渗等级	钢筋最小保护层厚度 (mm)	胶凝材料中 Cl <sup>-</sup> 最大含量 (%)	最大碱含量 (kg/m <sup>3</sup> )	胶凝材料最小用量 (kg/m <sup>3</sup> )
预应力高强混凝土空心桩	C80	0.35	P12	35	0.06	3.0	430
预应力混凝土空心桩	C60	0.40	P12	35	0.06	3.0	400
预应力混凝土实心方桩	C60	0.40	P12	35	0.06	3.0	400
钢筋混凝土实心方桩	C40	0.40	P10	45	0.08	3.0	320

注：本标准中所指的空心桩包括预应力管桩和空心方桩等，其它类型预制空心桩的防腐蚀措施可参照执行；实心方桩包括预应力实心方桩和普通实心方桩等。

**5.2.10** 腐蚀性环境中采用的钢筋（含防腐、耐蚀钢筋），除应符合本标准第 5.1.2 条的规定外，尚应符合下列要求：

- 1 同一构件中的受力钢筋，宜使用同牌号的钢筋；
- 2 使用不同牌号热轧钢筋时，其混凝土构件的防腐蚀能力和耐久性设计要求应相同；
- 3 不锈钢钢筋和耐蚀钢筋等耐腐蚀钢筋可用于腐蚀性等级较高的混凝土构件，但不锈钢不得用于含氯离子介质作用的部位；
- 4 锚杆杆体材料不应采用镀锌钢材（钢筋）；
- 5 不同金属材料接触的部位，宜采用有效的隔离措施；
- 6 采用环氧涂层钢筋的混凝土，可同时掺加钢筋阻锈剂，但不得与外加电流阴极防护联合使用。

### 5.3 预制桩防腐蚀设计

**5.3.1** 混凝土预制桩结构防腐蚀设计除应符合国家现行标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476、《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046、《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723、《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197、《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 等外，尚应符合本标准。

**5.3.2** 当场地地下水、土等介质对混凝土和钢筋混凝土中的钢筋具有腐蚀性时，预制桩的桩型与型号选择应符合下列规定：

- 1 应满足桩受力和耐久性的要求；
- 2 采用空心桩的壁厚不应小于 110mm；
- 3 在腐蚀性环境中，不应选用 A 型预应力管桩，当用于抗拔桩时、应选用 B 型或 B 型以上的预制桩；
- 4 在强腐蚀环境下，应选用桩身防腐蚀性能满足要求的预制桩桩型，其型号（组别）的选择应符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 强腐蚀环境下预制桩的型号选择

预制桩类型	可选型号
预应力（高强）混凝土管桩	B 或 C
预应力混凝土空心方桩	B
预应力混凝土实心方桩	B
普通混凝土实心方桩	C（组）

- 注：1 本表中的桩型号与本标准第 5.3.1 条规定的国家和行业现行标准里的桩型号一致，若采用其他标准划分的桩型号、应通过专家论证；
- 2 预制桩接头处极限弯矩应不低于桩身极限弯矩；
  - 3 在腐蚀性环境中，预制桩需穿越孤石、密实砂土、卵石、碎石、抛填石等坚硬复杂地层时，设计宜采用清障或引孔沉桩措施。

**5.3.3** 预制桩桩身混凝土除应符合本标准第 5.2.9 条的规定外，桩身混凝土最低防护要求应符合表 5.3.3 的规定。



表 5.3.3 桩身混凝土防护要求

桩型	腐蚀性介质	防腐蚀措施	腐蚀性强度等级		
			弱	中	强
空心桩	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1. 抗硫酸盐等级与耐蚀系数 K <sub>f</sub> (28d)	可不防护	KS120 K <sub>f</sub> ≥ 0.85	KS150 K <sub>f</sub> ≥ 0.85
		2. 增加混凝土腐蚀裕量 (mm)		≥ 10	≥ 20
		3. 表面涂刷防腐涂层厚度 (μm)		≥ 300	≥ 500
	Cl <sup>-</sup>	1. 28d 氯离子迁移系数 D <sub>RCM</sub> (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)		≤ 7.0	≤ 4.0
		2. 表面涂刷防腐涂层厚度 (μm)		≥ 300	≥ 500
	pH 值	1. 增加混凝土腐蚀裕量 (mm)		≥ 10 (20)	≥ 20 (30)
		2. 表面涂刷防腐涂层厚度 (μm)		≥ 300	≥ 500
实心方桩	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.抗硫酸盐等级与耐蚀系数 K <sub>f</sub> (28d)	可不防护	KS120 K <sub>f</sub> ≥ 0.80	KS120 K <sub>f</sub> ≥ 0.85
		2.增加混凝土腐蚀裕量 (mm)		≥ 20	≥ 30
		3.表面涂刷防腐涂层厚度 (μm)		≥ 300	≥ 500
	Cl <sup>-</sup>	1.28d 氯离子迁移系数 D <sub>RCM</sub> (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)		≤ 8.0	≤ 5.0
		2. 表面涂刷防腐涂层厚度 (μm)		≥ 300	≥ 500
	pH 值	1.增加混凝土腐蚀裕量 (mm)		≥ 20	≥ 30
		2.表面涂刷防腐涂层厚度 (mm)		≥ 300	≥ 500

注: 1 当土中含有酸性液体 pH ≤ 3.0、环境水中 Cl<sup>-</sup> ≥ 20000mg/L 时, 桩基础的防护措施应专门研究;

2 当采用电通量作为混凝土抗 Cl<sup>-</sup>侵入性的指标时, 按本标准表 5.2.6-2 的电通量指标执行;

3 桩基础所处的环境地下水、土的腐蚀性介质主要为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和 Cl<sup>-</sup>且其中 Cl<sup>-</sup> < 20000mg/L, 当桩身混凝土采用或掺入耐腐蚀材料后已能够满足防腐蚀性能要求时, 可不再采用表中 2 和 3 的技术措施;

4 当有两类以上介质同时作用时, 应分别满足各自的防护要求, 但相同的防护措施可不叠加;

5 氯离子迁移系数和抗硫酸盐等级检测试验方法按现行国家标准《普通混凝土长期性

能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行。

**5.3.4 在腐蚀性环境中，预制桩的接桩应符合下列规定：**

1 预制桩的接桩应满足桩受力和耐久性的要求，可采用焊接连接或机械连接；

2 应减少接桩数量，并按本标准第 5.1.4 条规定合理配置接桩位置；

3 抗拔桩、水平承载桩、挤土效应较大的沉桩和单桩接头数量 $\geq 3$  个的接桩，当采用机械连接时，宜同时辅以端板围焊连接或其他措施，其中采用其他辅助措施的，应通过专家论证；当采用焊接连接时，宜采用自动焊接桩、同时辅以帮条焊接；

4 多节拼接的单桩，可根据各接头位置腐蚀性等级，采用不同的接桩连接型式；

5 以氯离子为主的强腐蚀环境中，机械接头钢零件的混凝土保护层厚度不应小于预制桩纵向钢筋的混凝土保护层厚度；

6 接桩处填缝材料的抗拉、耐久性能（含抗疲劳能力）等应符合设计要求。

**5.3.5 在腐蚀性环境中采用空心桩时，采用的桩尖应符合下列规定：**

1 在中～强腐蚀性环境中，应采用桩端封闭措施；在弱腐蚀性环境中，宜采用桩端封闭桩尖；当场地淤泥层厚度超过 5m 的情况下，应采用封闭桩尖或者其它桩端封闭措施；当采用开口型桩尖时，桩端持力层为砂层的，成桩后空心孔底应灌注高不小于 1.5m 的微膨胀 C30 细石混凝土；

2 封闭桩尖无法穿越或嵌入较坚硬岩土层或位于较坚硬持力层倾斜面时，采取变更桩尖型式等设计处理措施应满足相应的防腐要求。

**5.3.6 当场地地下水或土等介质对钢结构具有弱～强腐蚀时，预制桩接桩的接头应符合下列规定：**

1 基桩设计宜优先采用单节预制桩；当采用多节桩时，单桩

接桩接头数量不宜超过 3 个；

**2** 接头采用的钢构（配）件材质应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 等有关规定；

**3** 接桩采用焊接时，接头的端头型钢或钢板厚度及其接桩焊缝尺寸，应根据工作年限期间的腐蚀量和承载力需要经设计计算确定，腐蚀速率的计算取值应符合本标准第 5.5.6 条规定；辅助性的帮条钢板尺寸与数量按预制桩纵向钢筋受力等强配置，辅助性的围焊焊缝尺寸、帮条钢板厚度及其焊缝尺寸不宜小于 8mm；

**4** 接桩在焊接过程中应采用二氧化碳气体保护焊缝，接桩的焊缝质量应满足现行有关标准规定的二级焊缝等级；辅助性的焊缝等级按设计要求确定；

**5** 以氯离子为主的中腐蚀环境中，外露的接桩钢零件应增加 1mm 钢零件厚度和焊缝厚度的腐蚀裕量，并涂刷防腐蚀耐磨涂层不少于 300 $\mu$ m 厚；以氯离子为主的强腐蚀环境中，外露的接桩钢零件应增加 2mm 钢零件厚度和焊缝厚度的腐蚀裕量，并涂刷防腐蚀耐磨涂层不少于 500 $\mu$ m 厚。

**5.3.7** 在中、强腐蚀性环境中，当预制桩作为抗拔桩、同时需要承担水平荷载时，尚宜采取减小基桩承担水平荷载的措施和考虑适量的桩身抗拉承载力裕量。

**5.3.8** 根据本标准第 5.1.3 条的规定进行防腐蚀设计与施工时，因地质与施工条件等原因，出现局部接桩位置不符合设计的防腐蚀等级要求时，应采取以下处理措施：

**1** 空心桩接桩位置处于干湿交替区段时，填芯应延伸到该接桩位置以下不小于 1.0m，连接筋相应延长；

**2** 实心桩接桩位置处于干湿交替区段时，该接桩位置周边上下长度各 200mm 范围包裹 C30 配筋混凝土，包裹的混凝土厚度不应小于 100mm；

**3** 当采用现浇钢筋混凝土接桩时，其现浇的钢筋混凝土防腐蚀应符合本标准第 5.4 节的规定。

## 5.4 混凝土灌注桩防腐设计

**5.4.1** 在腐蚀性环境中，沉管灌注桩、泥浆护壁钻（挖、冲）孔灌注桩、螺旋钻与机械钻孔（扩底）干作业成孔灌注桩、现浇混凝土护壁与长钢套管护壁干作业人工挖孔灌注桩等混凝土灌注桩和地下连续墙的结构设计应符合现行国家标准《工业建筑防腐设计标准》GB/T 50046 的规定。

**5.4.2** 在强腐蚀性的环境中，不宜采用混凝土灌注桩。当场地的地下水干湿交替区段或受污染区段具有强腐蚀性、其他区段为中等腐蚀性及以下等级，且满足下列条件之一时，方可采用混凝土灌注桩：

1 在条件允许的情况下，承台设计标高低于强腐蚀区段，且成桩施工工艺采用现浇混凝土护壁或其他与强腐蚀区段土层有效阻隔的措施；

2 采用地下水控制措施，或者采取封闭式止水帷幕，确保桩身混凝土终凝前地下水水位低于强腐蚀区段以下不小于 1m；

3 采用长钢套管隔离强腐蚀区段后，施工混凝土灌注桩。

**5.4.3** 灌注桩桩身结构（构造）设计除应符合本标准第 5.2 节的规定外，尚应符合下列规定：

1 桩身构造要求应符合表 5.4.3 的规定；

表 5.4.3 灌注桩桩身构造要求

腐蚀性等级	弱	中	强	
桩身纵筋的最小直径（mm）	14	16	不宜采用； 符合本标准第 5.4.2 条的规定方 可采用。	18
桩身箍筋最小直径（mm）	8	10		12
桩身纵筋最小配筋率（%）	0.35	0.40		0.45

2 符合本标准第 5.4.2 条的规定采用灌注桩时，位于 Cl-强腐蚀区段宜采用耐腐蚀钢筋或环氧树脂涂层钢筋（涂层厚度不应小于 500 $\mu$ m）；环氧树脂涂层钢筋应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502 的规定，耐腐蚀钢筋应符合现行国家标准《钢

钢筋混凝土用耐蚀钢筋》GB/T 33953 和现行地方标准《耐蚀钢筋混凝土结构应用标准》DBJ/T 13-342 的有关规定；

3 在  $\text{Cl}^-$  的中等腐蚀性环境中，抗压的灌注桩宜采用环氧树脂涂层钢筋或耐蚀钢筋，抗拔的灌注桩应采用环氧树脂涂层钢筋（涂层厚度应不小于  $300\mu\text{m}$ ）或耐蚀钢筋；

4 地下水水位以下和干湿交替段的腐蚀性等级不同时，灌注桩桩身受力配筋可分段配置；

5 抗拔桩的竖向钢筋应采用机械连接接头；

6 位于  $\text{SO}_4^{2-}$  腐蚀介质或为其它化学物质腐蚀性区段时，应按表 5.4.4 的规定增加混凝土腐蚀裕量。

**5.4.4** 灌注桩桩身混凝土除应符合本标准第 5.2.9 条的规定外，其防护要求尚应符合表 5.4.4 的规定。

表 5.4.4 灌注桩桩身混凝土防护要求

腐蚀性介质	防腐蚀措施	腐蚀性强度等级			
		弱	中	强	
$\text{SO}_4^{2-}$	抗硫酸盐等级与耐蚀系数 $K_f$ (28d)	KS90 $K_f \geq 0.80$	KS90 $K_f \geq 0.85$	不宜采用： 符合本标准第 5.4.2 条的规定方可采用。	KS120 $K_f \geq 0.85$
	保护层增加混凝土腐蚀裕量 (mm)	$\geq 20$	$\geq 40$		$\geq 50$
$\text{Cl}^-$	28d 氯离子迁移系数 $D_{\text{RCM}}$ ( $10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ )	$\leq 10.0$	$\leq 8.0$		$\leq 5.0$
pH 值	保护层增加混凝土腐蚀裕量 (mm)	$\geq 20$	$\geq 40$		$\geq 50$

注：1 当土中含有酸性液体  $\text{pH} \leq 3.0$ 、环境水中  $\text{Cl}^- \geq 20000\text{mg/L}$  时，桩基础的防护措施应专门研究；

2 在  $\text{SO}_4^{2-}$  的腐蚀性环境下，当桩身混凝土及其掺合料等能够满足防腐蚀要求时，可不增加混凝土腐蚀裕量。

**5.4.5** 在中（强）腐蚀性环境中，承担抗拔或水平荷载的灌注桩，桩身表面裂缝宽度控制除应符合本标准第 3.0.5 条的规定外，宜采取减小基桩承担水平荷载的措施和考虑适量的桩身抗拉承载力裕量。

**5.4.6** 在腐蚀性环境中，钢筋混凝土地下连续墙的防腐蚀设计参照本节混凝土灌注桩的有关规定执行。

**5.5 钢桩防腐蚀设计**

**5.5.1** 本标准所指的钢桩包括设计工作年限 50 年的各种型钢桩、钢管桩等；在腐蚀性的环境中，钢桩的适用性选择应符合表 5.5.1 的规定。

表 5.5.1 钢桩的适用性选择

腐蚀性介质		Cl <sup>-</sup>			pH 值		
腐蚀性等级		弱	中	强	弱	中	强
桩所处位置	在最低水位以下	可	可	可（不宜）	可	可	不宜
	在干湿交替段	可	不宜	不宜（不应）	可	不宜	不应

- 注：1 表中“可”、“不宜”、“不应”分别代表可使用、不宜使用、不应使用钢桩；
- 2 有两种选择时，括号中的规定适用于住宅工程；
- 3 当钢桩在干湿交替段有外包强度不低于 C30、厚度不小于 100mm 的混凝土（或砂浆）或采植桩法施工时，可按桩在最低水位以下的规定；
- 4 地下室采用逆作法施工的钢桩（实际作为地下室柱）可不执行本条规定，但钢桩管应考虑施工期间的腐蚀裕量和钢桩外表面二次除锈的厚度损失。

**5.5.2** 同一工程项目的钢桩所采用的钢材应为同一型号钢种；钢桩所用的材质应符合国家现行标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 和《桩用螺旋焊缝钢管》SY/T 5040 的规定；可优先采用 Q235-B 级以上镇静钢或 Q355，也可采用耐腐蚀钢。

**5.5.3** 在腐蚀性环境中，钢桩防腐蚀设计应根据建（构）筑物的重要性、设计工作年限、腐蚀性等级、使用功能、腐蚀速率、施工工艺及防腐涂层的成品保护、后期维护能力等综合分析确定，并应符合下列规定：

- 1 钢管桩宜采用内壁同外界隔绝的形式；在 Cl<sup>-</sup>强腐蚀性环

境和 pH 值的中、强腐蚀性环境中，钢管桩应采用内壁同外界隔绝的形式；

2 场地仅在地下水干湿交替区段或受污染区段的腐蚀性等级与其他区段的腐蚀性等级不同的情况下，同一型号钢种的钢桩防腐可根据不同的腐蚀性等级和施工工艺及其可操作性情况等，分别采取不同的防腐措施，其中防腐措施等级高者应向防腐措施等级低者延伸不少于 1 米；

3 采用无保护措施、增加腐蚀裕量的设计时，腐蚀速率的计算取值应符合本标准第 5.5.6 条的规定；

4 有防腐工程实践经验或科学实验数据时，可采用表面涂防腐层、熔结环氧粉末涂料涂装等表面涂层的保护措施；

5 采用阴极保护防腐措施时，应在设计说明详细阐述使用期间（不短于设计工作年限）对阴极保护的专项维护措施；

6 当采用涂层、阴极保护等防腐做法时，尚应考虑腐蚀裕量；

7 在场地的地下水干湿交替和强腐蚀区段，宜采用双重或多重联合保护措施。

**5.5.4** 在腐蚀性环境中，钢桩的接桩应符合以下规定：

1 接桩位置应设置在受力较小处，且宜在干湿交替段以下不小于 1 米；当采用上桩段有表面涂层、下桩段无表面涂层时，焊接接桩应设在无表面涂层的下桩段；沉桩标高无法准确确定时，预设上桩段（有表面涂层的桩段）长度应适当加长；

2 当钢桩采用涂层保护且钢桩壁厚腐蚀量考虑了涂层贡献时，不应在有涂层段焊接接桩；

3 钢桩接桩应采用等强连接，接桩型式宜采用电焊连接；

4 当采用电焊接桩时，焊缝尺寸除应符合本标准第 5.5.6 条的规定外，尚应按等强设计和考虑腐蚀裕量不小于 2mm。焊缝宜采用单边 V 形剖口熔透焊，上节桩剖口角度为  $45^{\circ} \sim 55^{\circ}$ ，下节桩不宜开坡口，在钢桩内壁应设有内衬套或内衬环；接桩焊缝质量

应满足现行钢结构有关标准规定的二级焊缝等级；

**5** 手工焊接时，焊条应与钢桩主材相适应，应采用碱性低氢型焊条；焊接材料应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 和《热强钢焊条》GB/T 5118 的规定；

自动焊接时，应采用与钢桩主材金属特性相匹配的焊丝和焊剂，焊接材料应符合现行国家标准《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293 和《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470 的规定。

**5.5.5** 在腐蚀性环境中，钢桩采用的表面涂防腐涂层或熔结环氧粉末涂料涂装，其涂层层数、涂层厚度等指标和沉桩施工中磨损情况等应通过试验确定。

**5.5.6** 在腐蚀性环境中，钢桩型材或管壁及其接桩焊缝尺寸应根据腐蚀速率和设计工作年限与承载力需要，经设计计算确定。腐蚀速率宜通过实测确定；当无实测资料时，可按表 5.5.6 取值。

表 5.5.6 钢桩的单面年平均腐蚀速率（mm/y）

钢桩所处环境		弱腐蚀	中腐蚀	强腐蚀
地面 以下	水位以上	0.03	0.04	0.05
	水位以下	0.01	0.02	0.03
	干湿交替段	0.10	0.20	0.30

注：1 设计高桩承台时，地面上大气区或具有腐蚀性挥发介质时，钢桩的单面年平均腐蚀速率为 0.05~0.1（mm/y）；

- 2 当钢管内壁同外界隔绝时，可不考虑内壁防腐蚀；
- 3 当当地 pH 值为中、强腐蚀性时，表中的数值应乘上 2 倍。

**5.5.7** 在腐蚀性环境中，钢桩与其他金属材料接触时应采取隔离措施，不锈钢不得用于含氯离子腐蚀作用的钢桩部位。

**5.5.8** 在浪溅区或受海水直接腐蚀的钢桩及其涂层、阴极保护等防腐设计，可按现行行业标准《水运工程结构防腐蚀施工规范》JTS/T 209 和《码头结构设计规范》JTS 167 的规定执行。



## 5.6 锚杆防腐蚀设计

**5.6.1** 本标准所指的锚杆包括用于地下结构的抗浮锚杆和永久性边坡或挡墙等支护锚杆；锚杆中采用的钢筋、水泥、混凝土材料应符合本标准第 5.2 节的规定。

**5.6.2** 在腐蚀性环境中，抗浮锚杆、永久性边坡与挡墙支护锚杆的适用条件和最低防腐蚀等级应符合表 5.6.2 的规定。

表 5.6.2 锚杆的适用条件和最低防腐蚀等级

腐蚀性等级	强	中	弱	微
钢筋锚杆	不宜使用	可使用	可使用	可使用
钢绞线锚杆	不应(不宜)使用	不应(不宜)使用	不宜(可)使用	可使用
最低防腐蚀等级	——	I 级	II(I)级	III(II)级

注：1 表中括号内条件适用于永久性边坡与挡墙支护锚杆，在中、强腐蚀性环境中，永久性边坡与挡墙支护采用钢绞线锚杆时应进行专项设计；

2 在腐蚀性环境中，抗浮措施应根据承载能力大小，依次选用基桩、钢筋锚杆、预应力钢绞线锚杆，其中钢筋锚杆包括普通钢筋锚杆和预应力钢筋锚杆；

3 预应力锚杆杆体可采用无粘结钢绞线或预应力耐腐蚀钢筋、螺纹钢（精轧螺纹钢）制作，非预应力锚杆杆体可采用耐腐蚀钢筋、精轧螺纹钢、热轧带肋钢筋制作；

4 基坑支护等临时性锚杆，最低防腐蚀等级可根据锚杆服务年限长短适当调整。

**5.6.3** 在腐蚀性环境中，锚杆的结构设计除应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 等有关规定外，尚应符合下列规定：

1 钢筋锚杆的钢筋直径和压力型钢端板的厚度，应根据腐蚀速率和设计工作年限与承载力需要，经设计计算确定；钢筋和承压钢板腐蚀速率的计算取值应符合本标准表 5.5.6 的规定；

2 锚杆钢筋或钢绞线抗拉强度设计值应适当折减，折减系数 $\lambda$ 宜按腐蚀性等级强～弱分别取 0.85～0.95；

3 涉及具有杂散电流干扰腐蚀环境的锚杆，可按现行行业标

准《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》DL/T 5394 的规定执行。

**5.6.4** 在腐蚀性环境中，锚杆防腐等级应符合本标准第 5.6.2 条的规定，锚杆防腐等级对应的防护措施应符合表 5.6.4 的规定。基坑支护临时锚杆可根据锚杆工作时限、环境腐蚀性等级选择锚杆类型和防护措施。

表 5.6.4 锚杆防腐等级及防护措施

保护等级	锚杆类型		锚杆、锚具防护措施			
			锚头保护	筋体保护	承载体保护	保护层
I	压力型	预应力钢筋	采用锚板+螺母+焊接锁定，锚头用混凝土封闭或用钢罩保护	1 采用环氧涂层钢筋体，外设套管，管内注入防腐油脂； 2 设置双层套管，内套管预注润滑脂或水泥浆，双层套管之间注入防腐油脂。	钢质承载体敷涂防腐材料，承载体下留不小于 200mm 长注浆	水泥浆厚度不应小于 25mm，锚杆的锚具、承压板及端头筋体混凝土保护层厚度不应小于 50mm
		无粘结钢绞线	采用过渡管，锚具用混凝土封闭或用钢罩保护	筋体外设套管，管内注入防腐油脂		
	全粘结型	热轧普通钢筋	钢筋锚固在外结构件内	采用钢筋环氧涂层，设波纹管，管内外注浆	——	
II	压力型	预应力钢筋	采用锚端板+螺母+焊接锁定，锚头用混凝土封闭或用钢罩保护	筋体外设套管，管内注入防腐油脂	采用钢质承载体敷涂防腐材料，承载体下留不小于 200mm 长注浆	
		无粘结钢绞线	采用过渡管，锚具用混凝土封闭或用钢罩保护			
	全粘结型	热轧普通钢筋	钢筋锚固在外结构件内	1 采用钢筋环氧涂层、注浆； 2 采用无涂层钢筋、设波纹管，管内外注浆	——	
III	全粘结型	热轧普通钢筋	钢筋锚固在外结构件内	采用注浆	——	

注：1 压力型锚杆包括压力集中型和压力分散型锚杆；  
2 锚杆防腐等级为 I 级时应设置双层保护，II 级时不低于单层保护要求，III 级时可

设置单层保护或不设保护措施；

- 3 有 2 种保护措施者，可任选一种；
- 4 全粘结型波纹管进入外部结构构件（如：地下室底板）内不少于 40mm，钢筋有环氧涂层进入外部结构构件内不少于 120mm。

**5.6.5** 在腐蚀性环境中，锚杆注浆体（细石混凝土、砂浆、水泥浆）应符合以下规定：

1 锚杆注浆体的基本要求应符合表 5.6.5-1 的规定；

表 5.6.5-1 锚杆注浆体的基本要求

项 目 腐蚀性等级	最低抗压 强度等级	最大水 胶比	最低抗 渗等级	筋体最小 保护层厚 度 (mm)	胶凝材料 中 C1 最大 含量 (%)	最大碱 含量 (kg/m <sup>3</sup> )	胶凝材料 最小用量 (kg/m <sup>3</sup> )
微	按本条表 5.6.5-2 执 行。	按本条 第 4 款 执行。	P8	55	0.10	3.5	260
弱			P10	60	0.08	3.0	300
中			P10	65	0.08	3.0	320

注：1 表中胶凝材料中最大氯离子含量适用于非预应力锚杆注浆体，预应力锚杆的最大氯离子含量为 0.06%；非预应力锚杆注浆体用砂的氯离子含量不应大于 0.03%，预应力锚杆注浆体用砂的氯离子含量不应大于 0.01%；

2 表中的最低抗渗等级适用于注浆体为细石混凝土时。

2 注浆体最低抗压强度标准值应符合表 5.6.5-2 的规定；

表 5.6.5-2 注浆体最低抗压强度标准值（MPa）

腐蚀性等级		中	弱	微
全粘结型锚杆		35	30	30
压力型预应 力锚杆	土层锚杆	35	30	30
	岩层锚杆	35	35	35

注：1 预应力锚杆的最低强度等级宜按表中的规定提高两个等级；

2 临时型锚杆可按降低一级腐蚀性等级取值，但预应力锚杆的浆体最低抗压强度标准值不应低于 30MPa。

3 水泥强度等级不应低于 42.5MPa，宜采用普通硅酸盐水泥

或复合硅酸盐水泥，不得采用高铝水泥，在  $\text{SO}_4^{2-}$  腐蚀性环境中，应采用抗硫酸盐或高抗硫酸盐水泥，也可掺入抗硫酸盐的外加剂；

4 水灰比应按注浆工艺需要和注浆体设计强度确定，首次注浆或仅一次性注浆宜采用水灰比 0.50~0.55 的纯水泥浆或灰砂比为 1:0.5~1:1、水灰比为 0.40~0.50 的水泥砂浆，二次注浆宜采用水灰比为 0.45~0.55 的纯水泥浆；

5 浆液拌合用水水质指标应符合现行行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476 的有关规定；

6 水泥注浆材料可使用外加剂，但外加剂不得影响浆体与岩土体的粘结性和对杆体产生腐蚀性；

7 宜掺入矿物掺合料，其掺量应通过试验确定；

8 在  $\text{Cl}^-$  的腐蚀环境中，注浆体应掺钢筋阻锈剂，掺入量可按表 5.2.6-1 取值；

9 氯离子迁移系数、抗硫酸盐等级及耐蚀系数、抗渗等级等指标按本标准第 5.4 节灌注桩的规定值；

10 在 pH 值腐蚀性场地，注浆体应增加筋体保护层腐蚀裕量，弱腐蚀性时增加的腐蚀裕量应不少于 20mm，中等腐蚀性时增加的腐蚀裕量应不少于 40mm。

**5.6.6** 在腐蚀性环境中，锚杆筋体应符合以下规定：

1 采用钢绞线锚杆时，钢绞线应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的有关规定；

2 采用钢筋锚杆时，钢筋应符合国家现行标准《钢筋混凝土用钢》GB/T 1499、《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065、《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 和《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502 的规定；

3 采用环氧树脂涂层时，锚杆钢筋表面应除锈清洁，（自由段）涂刷防腐涂层并采用套管密封保护；防腐涂层厚度应符合表 5.6.6 的规定；

表 5.6.6 锚杆钢筋表面的防腐涂层厚度 ( $\mu\text{m}$ )

腐蚀性等级	中腐蚀	弱腐蚀	微腐蚀
环氧树脂	300	200	200

4 未采用锚头板时,钢筋伸入混凝土梁板内的锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定,钢筋伸入混凝土内的垂直长度不应小于基础梁高或板厚度的一半,且不小于 300mm;采用锚头板时,钢筋伸入混凝土梁板内的锚固长度应通过计算确定;

5 锚杆钢筋连接方式应采用经防腐蚀处理的专用机械连接接头,机械连接施工质量与检验应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定;钢绞线应采用连续体,不得搭接;预应力螺纹钢筋(精轧螺纹钢筋)严禁采用焊接接长,其杆体定位器严禁采用焊接安装;

6 套管或防腐涂层应延伸进入过渡管或外部承载构件并应采用水密性接缝或构造。

## 5.7 植桩防腐蚀设计

5.7.1 植桩防腐蚀设计时,宜考虑成孔灌入混凝土形成的灌浆体可承担一定的防腐蚀作用;成孔形成或灌入的水泥土、砂浆或其他固桩液等不应考虑其承担防腐蚀作用。

5.7.2 植桩成孔防腐蚀设计应符合下列规定:

1 水泥土内植桩:采用机械(搅拌法或旋喷法,含潜孔锤高压旋喷法)成孔深度应大于设计桩长不少于 0.2m,成孔过程施工参数(含搅拌下沉与提升速度、注浆压力、注浆或喷浆量和预制桩压入力等)应通过试打桩确定;

2 灌浆料内植桩:采用机械(冲、钻、挖的方法)成孔深度应大于设计桩长不少于 0.3m,成孔过程施工参数(含向孔内灌入的水泥浆、砂浆、细石混凝土或其他固桩液的配合比和灌入量及

预制桩压入力等)应通过试打桩确定;

3 植桩成孔深度不能满足要求时,应采取引孔措施。

**5.7.3** 植桩法施工使用的水泥、砂浆、混凝土等灌浆料的防腐标准,除本标准第 5.7.5 条有另行规定外,应按本标准第 5.2 节的规定执行。

**5.7.4** 采用水泥土内植桩时,其防腐设计应符合下列规定:

1 植入桩防腐设计应按本标准第 5.3 节、第 5.5 节的规定执行;

2 植入桩采用空心桩时,应采用与桩身整体预制的一体化混凝土封闭桩尖或采取其它桩端封闭措施;

3 采用水泥土内植桩时,复合体直径应比植入桩直径大不少于 300mm。

**5.7.5** 采用灌浆料内植桩时,其防腐设计应符合下列规定:

1 植入桩防腐设计,可按腐蚀性等级降低一级后,参照本标准第 5.3 节、第 5.5 节的规定执行;

2 植入桩的接桩(含抗拔桩)可采用外露式的连接型式,且宜不考虑接桩钢零件和焊缝的腐蚀裕量;

3 植入桩外包裹灌浆体厚度应不小于 100mm(复合体直径应比植入桩直径大不少于 200mm);

4 在  $\text{SO}_4^{2-}$  和 pH 值腐蚀性环境中,植入桩桩身可不考虑腐蚀裕量,但灌浆体混凝土防腐应满足本标准第 5.2 节和第 5.4 节的规定,  $\text{SO}_4^{2-}$  和 pH 对混凝土具有强腐蚀时,尚应按本标准第 5.4.2 条第 2、3 款规定采取施工措施;当考虑灌浆体与植入桩共同承担竖向或水平荷载时,灌浆体应符合本标准第 5.4 节灌注桩预留腐蚀裕量的规定;

5 在 Cl<sup>-</sup> 值腐蚀环境中,灌浆体混凝土可按腐蚀性等级降低一级后,参照本标准表 5.2.9-1(灌注桩混凝土的基本要求)的有关规定执行;灌浆体可不掺钢筋阻锈剂;

6 当空心桩桩管内不填充灌浆料时,空心桩应采用与桩身整

体预制的一体化混凝土封闭桩尖；当空心桩桩管内需要填充灌浆料时，空心桩宜采用开口桩尖，也可不设桩尖；

7 植入桩不宜采用外表面涂层的防腐方式；若有涂刷层，应考虑对复合体整体协同工作的不利影响。

**5.7.6** 植桩法复合桩体裂缝宽度验算仅按植入桩验算即可。

### 5.8 地下结构防腐蚀设计

**5.8.1** 具腐蚀性和已污染或可能受污染的建设场地，地下结构宜避开已污染土层或地下水干湿交替区段。需要进行地基处理时，其处理方法应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 的规定。

**5.8.2** 在腐蚀性等级为中、强的环境下，当桩承台埋深小于 2.5m 时，桩身处于 2.5m 以上的部位宜加强防护。

**5.8.3** 钢筋混凝土地下室结构防腐措施应符合下列规定：

- 1 混凝土材料，应符合本标准第 5.2 节的规定；
- 2 与腐蚀性介质直接接触面的混凝土最小保护层厚度应符合表 5.8.3 的规定；

表 5.8.3 与腐蚀性介质直接接触面的最小保护层厚度 (mm)

项 目		微	弱	中	强
地下室顶板	板	25	30	35	40
	梁	35	40	45	50
地下室 外 墙、底板	外墙、底板	40	40	45	50
	柱、底板梁	40	45	50	60
基础、承台（桥墩）		40	50	55	60

- 注：1 基础、承台（桥墩）、底板均按设有不小于 100mm 厚素混凝土垫层考虑；
- 2 地下室柱和梁箍筋保护层厚度不小于所在墙、板的钢筋保护层厚度；
- 3 地下室外墙及其基础采用地下连续墙的工法施工时，尚应符合本标准第 5.4 节混凝土灌注桩防腐蚀设计的有关规定。

3 地下室底板、墙、顶板、大面积的筏基，当满足本标准第 5.2.9 条的规定时，宜采用混凝土 60 天强度作为配合比设计。

**5.8.4** 在腐蚀性环境下，基础应设置垫层，基础、承台（桥墩）与垫层的防腐蚀措施应符合表 5.8.4-1 的规定；地下空间结构外墙、顶板的防腐蚀措施应符合表 5.8.4-2 的规定。

表 5.8.4-1 基础、承台（桥墩）与垫层的防腐蚀措施

腐蚀性等级	垫层材料	基础的表面防腐蚀措施
强	耐腐蚀材料	1. 环氧沥青或聚氨酯沥青涂层，厚度 $\geq 500\mu\text{m}$ ； 2. 聚合物水泥砂浆，厚度 $\geq 10\text{mm}$ ； 3. 树脂玻璃鳞片涂层，厚度 $\geq 300\mu\text{m}$ ； 4. 环氧沥青、聚氨酯沥青贴玻璃布，厚度 $\geq 1\text{mm}$ 。
中	耐腐蚀材料	1. 沥青冷底子油两遍，沥青胶泥涂层，厚度 $\geq 500\mu\text{m}$ ； 2. 聚合物水泥砂浆，厚度 $\geq 5\text{mm}$ ； 3. 环氧沥青或聚氨酯沥青涂层，厚度 $\geq 300\mu\text{m}$ 。
弱	C20 混凝土， 厚度 100mm	1. 表面不做防护； 2. 沥青冷底子油两遍，沥青胶泥涂层，厚度 $\geq 300\mu\text{m}$ ； 3. 聚合物水泥浆两遍。

注：1 当表中有多种防护措施时，可根据腐蚀性介质的性质和作用程度、基础的重要性等因素选用其中一种；

2 埋入土中的混凝土结构或砌体结构，其表面应按本表要求进行防护；砌体结构表面应先用 1:2 水泥砂浆抹面；

3 垫层可采用具有相应防腐蚀性能且强度等级 $\geq \text{C20}$ 的混凝土（厚度 $\geq 150\text{mm}$ ）、聚合物水泥混凝土（厚度 100mm）等耐腐蚀材料。

表 5.8.4-2 地下结构外周边的防护要求

腐蚀性等级	地下结构外周边防腐蚀措施
强	1. 环氧沥青、聚氨酯沥青贴玻璃布，厚度 $\geq 1\text{mm}$ ； 2. 树脂玻璃鳞片涂层，厚度 $\geq 500\mu\text{m}$ ； 3. 聚合物水泥砂浆，厚度 $\geq 15\text{mm}$ 。
中	1. 环氧沥青或聚氨酯沥青涂层，厚度 $\geq 500\mu\text{m}$ ； 2. 树脂玻璃鳞片涂层，厚度 $\geq 300\mu\text{m}$ ； 3. 聚合物水泥砂浆，厚度 $\geq 10\text{mm}$ 。
弱	1. 环氧沥青或聚氨酯沥青涂层，厚度 $\geq 300\mu\text{m}$ ； 2. 聚合物水泥砂浆，厚度 $\geq 5\text{mm}$ ； 3. 聚合物水泥浆两遍。



注：1 当表中有多种防护措施时，可根据腐蚀性介质的性质和作用程度、结构的重要性等因素选用其中一种；

2 地下空间结构表面附加防腐措施可结合建筑防水措施统一考虑，防水材料与防腐材料应不具有相容性。

**5.8.5** 采用掺入抗硫酸盐的外加剂、钢筋阻锈剂、矿物掺合料的混凝土，用于制作桩基础和地下结构周边结构构件，其混凝土性能满足表 5.8.5 的规定时，可不采取表面防护措施。但处于  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度大于 1500mg/L 或  $\text{Cl}^-$  浓度大于 20000mg/L、pH 值小于 3.0 的地下水流动性变化环境中，其桩基础和地下结构周边外侧面应按本标准第 5.8.4 条的规定采取相应的防护措施。

表 5.8.5 地下结构混凝土防腐要求

腐蚀性介质	防腐要求	腐蚀性强度等级		
		弱	中	强
$\text{SO}_4^{2-}$	抗硫酸盐等级与耐蚀系数 $K_f$ (28d)	KS90 $K_f \geq 0.80$	KS90 $K_f \geq 0.85$	KS120 $K_f \geq 0.85$
$\text{Cl}^-$	28d 氯离子迁移系数 $D_{\text{RCM}}(10^{-12}\text{m}^2/\text{s})$	$\leq 10.0$	$\leq 8.0$	$\leq 5.0$

**5.8.6** 在腐蚀性环境中，地下结构后浇带范围内钢筋，应根据后浇带部位和后浇混凝土预留时间长短、腐蚀介质及腐蚀性作用等级等情况，确定相应的钢筋保护措施；其中临海建（构）筑物等地下结构的外周边（底板、外侧墙、顶板）现浇钢筋混凝土后浇带处，预留外露钢筋及其后浇带两侧各不少于 1m 长度的混凝土内钢筋，应采用环氧树脂涂层钢筋。

**5.8.7** 矿山法海底隧道和海水下方现浇钢筋混凝土地下结构临时施工缝处，预留外露搭接段钢筋及其混凝土内不少于 1m 长度的钢筋宜采用环氧树脂涂层钢筋或耐蚀钢筋；当设计考虑结构层内设置海水渗水导流管的情况下，其现浇混凝土结构中临时施工缝处，预留外露搭接段钢筋及其混凝土内不少于 1m 长度的钢筋应采用环氧树脂涂层钢筋或耐蚀钢筋。

**5.8.8** 场地基槽、基坑回填土时，宜采用无腐蚀性或无污染、低

透水性的粘性土回填且分层夯实。

## 5.9 环境改善防腐蚀设计

**5.9.1** 当场地地下水在干湿交替区段或受污染区段腐蚀性等级随深度逐渐降低、且基坑底为黏性土层等隔水层，深基坑工程采用止水帷幕型式时，其围护工程范围内的桩基础与地下结构防腐蚀设计等级可降低一级，并应符合下列要求：

1 基坑开挖后应由项目地勘单位验证基坑内外地下水或地表水的水力联系情况，并出具验证报告；当被验证基坑内外地下水或地表水存在明显的水力联系时，应采取有效措施消除这种水力联系；无法消除这种水力联系的，应恢复防腐蚀的设计等级；

2 基坑底土的腐蚀性等级不能降低。

**5.9.2** 项目深基坑围护工程采用新技术、新材料、新工艺等，能够确保其影响范围的地下水不能与外界地下水或具有腐蚀性的地表水存在水力联系时，围护工程范围内的桩基础与地下结构防腐蚀设计等级可降低一级。

**5.9.3** 当深基坑围护工程需承担部分防腐蚀功能，且桩基础与地下结构的防腐蚀设计等级降低了一级时，围护工程所采用的水泥和混凝土等防腐蚀措施应符合本标准第 5.2 节的规定。

## 6 防腐蚀施工

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 在腐蚀性环境中，桩基础与地下结构工程防腐蚀措施的施工应符合本标准和设计要求。

**6.1.2** 预制桩制作的构造要求、质量标准应符合本标准第 5.3.1 条的规定；预制桩进入施工现场时，应核对桩型及其防腐蚀措施是否符合设计要求。

**6.1.3** 桩基础与地下结构工程防腐蚀施工前，必须制定专项施工方案；预制桩施工前，应针对防腐蚀措施及成桩施工工艺进行试成桩，经设计确认能够满足防腐蚀要求后，方可施工。

**6.1.4** 钢筋阻锈剂的施工质量与控制应符合现行行业标准《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192 的规定。

**6.1.5** 需要现场配制使用的防腐蚀材料，其配合比必须经有资质的单位试验确定，并应符合现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212 附录 B 施工配合比的规定。配合比经试验确定后，不得随意改变。

**6.1.6** 基层处理施工应符合现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212 的规定。

**6.1.7** 水玻璃类、树脂类、沥青类、涂料类、聚合物水泥砂浆类等防腐蚀材料的施工质量和运输、贮存、施工及养护过程中的环境条件，应符合现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212 的规定。当环境通风较差时，必须采取强制通风。

### 6.2 基桩的防腐蚀施工

### 6.2.1 预制桩防腐施工应符合下列规定：

1 施工前，建设单位应组织参建单位了解预制桩供应单位或制作单位的生产能力和产品质量标准；采购的桩型及其防腐措施和相关钢零配件应满足设计和本标准；

2 进场后应检查质量合格证书及其防腐技术指标，检查桩身混凝土质量、端板坡口尺寸、外观质量及钢配件等；

3 施工前，应采用喷水等方法检查桩身表面是否存在微裂缝情况，表面有环状微裂缝的预制桩不应使用；

4 干湿交替区段设计有要求采用不同防腐措施的预制桩时，预制桩进场后应分类堆放，并立标识牌，不得错用；

5 施工前，应试沉桩不少于 2 根，检验防腐措施的施工工艺和施工质量是否符合要求；预应力混凝土预制桩沉桩施工时，应检查每节桩沉入后桩身端头的裂缝或破损情况，并做好记录，发现裂缝或破损时，应进行原因分析和并报设计单位提出处理意见；

6 采用焊接接桩时，端板焊缝应满焊、连续、饱满，根部应焊透；沉桩施工过程中，应在每次接桩后逐一检查每节焊接接桩的焊缝尺寸和质量，其中辅助性的焊缝可仅做外观检查，并做好记录；对于不能满足要求的焊缝应及时补焊和质量复查；

7 采用机械连接接桩时，应在每次接桩后逐一检查接桩位置连接配件安装紧固到位和预制桩上下端头接触吻合情况等，并做好记录；对接前各连接件凸起高度存在高差（不在一个平面上）或对接后上下端头接触存在契型缝隙等质量问题时，应暂停沉桩施工，查找原因及时消除质量隐患后，方可继续沉桩施工；

8 在中、强腐蚀性环境中，机械连接接桩接头处的连接销、连接盒内注入的沥青涂料应达到充实饱满、接缝周边有溢出为宜，电焊封闭前应对溢出的沥青涂料污染清除干净；其中预应力混凝土管桩的机械连接接桩的施工质量应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406

和现行地方标准《预应力混凝土管桩机械快速连接接头施工及验收规程》DBJ 13-58 的规定；

9 施工过程发现接桩位置不符合设计要求时，应停止作业、并报设计单位提出处理意见；对尚未施工的基桩，设计可通过调整桩长配置，采取避让等措施将接桩位置调整到干湿交替区段外。

#### **6.2.2 灌注桩防腐蚀施工应符合下列要求：**

1 存在淤泥等软土层的中、强腐蚀性环境场地，灌注桩施工前应试成桩，检查施工质量和防腐蚀措施是否符合设计要求；成桩后并具备条件时，可采用开挖方式抽查桩身直径和钢筋保护层厚度；当发现桩身缩径或保护层厚度不满足设计要求时，应分析原因，并采取有效的处理措施；

2 泥浆护壁灌注桩的泥浆应采用无污染的淡水造浆，不应采用海水或受污染的水造浆；

3 设计要求采用环氧涂层钢筋时，钢筋涂层的喷涂环境与施工质量应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502 的规定和设计要求；设计要求采用耐腐蚀钢筋时，其质量指标应符合现行国家标准《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 和现行地方标准《耐蚀钢筋混凝土结构应用标准》DBJ/T 13-342 的规定；钢筋笼宜采用整体制作和吊装，当采用分段吊装电焊连接时、应清除焊渣并对钢筋接头及电焊影响的区域采用人工涂刷环氧涂层，当采用分段吊装机械连接时、钢筋机械连接配件外表面应采用人工涂刷环氧涂层，涂层材料与施工质量应符合设计要求和本标准；

4 施工采用的钢筋、水泥、骨料和掺合料、外加剂、防腐剂等原材料及其配合比防腐蚀指标应符合设计要求和本标准。

#### **6.2.3 钢桩防腐蚀施工应符合下列要求：**

1 钢桩施工前，建设单位应组织参建单位了解钢桩供应单位或制作单位的生产能力和产品质量标准，采购的桩型及其防腐蚀措施等应符合设计和本标准；

2 钢桩进场后应检查质量合格证书及其防腐蚀技术指标,检查桩身质量、端部坡口尺寸、外观质量、钢配件和防腐涂层厚度等质量;施工中可根据截桩的断面对钢桩的钢板或型材厚度进行检查复核;

3 干湿交替区段或表层受污染区段,按设计要求采用不同防腐蚀措施的钢桩时,进场后应分别堆放,并立标识牌,不得错用;

4 当采用焊接接桩时,焊缝应满焊、连续、饱满,根部应焊透,焊缝等级应符合设计要求;沉桩施工过程中,应在每次接桩后逐一检查每节焊接接桩的焊缝厚度及宽度,并做好记录;对于不符合要求的焊缝应及时补焊和质量复查;

5 接桩位置不符合设计要求时,应及时告知设计,并按设计要求采取加强措施。

#### **6.2.4 锚杆防腐蚀施工应符合下列要求:**

1 在腐蚀性环境中,施工采用的锚杆类型及其防腐蚀措施应符合设计和本标准;

2 锚杆使用的各种护管及注浆管和配件等材料、规格、性能应符合设计和相关标准的要求;润滑油脂应符合现行行业标准《无粘接预应力筋用防腐蚀润滑脂》JG/T 430 的规定;

3 锚杆钢筋设计有要求采用环氧涂层的钢筋时,钢筋及隔离架涂层的喷涂环境与施工质量应符合现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502 的规定和设计要求;锚杆钢筋设计要求采用耐腐蚀钢筋时,其质量指标应符合现行国家标准《钢筋混凝土用耐腐蚀钢筋》GB/T 33953、《钢筋混凝土用不锈钢钢筋》GB/T 33959 和现行地方标准《耐蚀钢筋混凝土结构应用标准》DBJ/T 13-342 的规定;采用电焊连接时、应清除焊渣后并对钢筋接头及电焊影响区域采用人工涂刷环氧涂层,当采用机械连接时、钢筋机械连接配件外表面应采用人工涂刷环氧涂层,涂刷层材料与施工质量应符合设计要求和本标准;

4 预应力锚索设计有要求采用防腐涂层锚索时,锚索及隔离

架防腐涂层喷涂或涂刷环境与施工质量应符合设计要求；

**5** 锚杆（索）中浆体材料、外加剂及配合比等应符合设计要求和本标准。

### **6.2.5** 植桩防腐施工应符合下列要求：

**1** 在腐蚀性环境中，植桩法施工采用的成孔方法、植入桩类型和防腐措施，应符合设计和本标准。植入桩防腐施工可参照本标准第 6.2.1 条和第 6.2.3 条的规定执行；灌浆料（混凝土）防腐施工可参照本标准第 6.2.2 条的规定执行。采用搅拌法或旋喷法成孔施工时，应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的规定和设计要求执行，拌和采用水的质量应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定，严禁采用海水或受污染的水。

**2** 植桩法应进行施工前试成桩，并应通过静载荷试验检测植入桩及其复合体的竖向、水平和抗拔承载能力；当考虑灌浆体与植入桩共同承担竖向或水平荷载时，应剥露检查灌浆体与植入桩之间结合牢固程度等；

**3** 采用水泥土内植桩时，应按设计桩长全长注浆；采用灌浆料内植桩时，灌浆料的灌注量应满足植桩后高出桩顶不少于 1m；

**4** 在中、强腐蚀性环境中，采用灌浆料内植桩时，应采取有效措施确保植入桩外包裹灌浆体厚度均匀、并满足设计要求；

**5** 当成孔桩长或植入桩长及灌浆料的充盈系数等不能满足设计和本标准时，应及时报设计处理。

### **6.2.6** 利用基坑围护工程改善腐蚀性环境条件，将桩基础与地下结构的防腐设计等级降低一级时，基坑围护结构防腐施工应符合下列要求：

**1** 基坑围护结构中支护桩（墙）的防腐施工，可根据不同桩型对应本标准第 6.2.1 条～第 6.2.3 条的规定执行；

**2** 基坑围护结构中冠梁、腰梁、传力构件和桩间混凝土支护等防腐施工，按本标准第 6.3 节的规定执行；

3 地下结构外侧与基坑侧壁间隙回填（肥槽）前，应全面排查基坑侧壁，严禁存在渗流水或积水现象；对于基坑侧壁存在渗流水的部位，应采用注浆或灌浆等措施进行封堵，直到无渗流水后，方可回填（肥槽）。

### 6.3 混凝土的防腐蚀施工

**6.3.1** 防腐蚀混凝土的原材料及配合比，应在施工前进行试配；并通过混凝土强度、耐久性指标的测定和抗裂性能的对比试验后，方可确定。

**6.3.2** 防腐蚀混凝土结构施工前应制定专项施工方案，明确施工顺序和施工缝与后浇带的设置位置，施工缝与后浇带的设置应经设计单位确认。

**6.3.3** 在中、强腐蚀性环境中，钢筋混凝土结构中钢筋保护层垫块及钢筋定位应符合下列规定：

1 钢筋保护层垫块可采用工程塑料制作的保护层定位夹或定型生产的纤维砂浆块，不得采用碎石块作为垫块；

2 浇筑混凝土前，应检查定位夹或保护层垫块的位置、数量及其紧固程度，确保保护层厚度尺寸符合要求；

3 构件侧面和底面的垫块间距不大于 500mm；

4 绑扎垫块和钢筋的铁丝头不得伸入保护层内。

**6.3.4** 在弱腐蚀性环境中，钢筋混凝土结构中钢筋保护层垫块及钢筋定位应按设计要求执行，设计无要求时可按本标准第 6.3.3 条的规定执行。

**6.3.5** 混凝土的施工质量与控制，除应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 的规定外，尚应符合下列规定：

1 用于施工后浇带或填充预留孔洞的混凝土应采用补偿收缩混凝土浇筑，其抗渗和抗压强度等级不应低于两侧或周边混凝土；混凝土中掺入的微膨胀剂，使用前应检验其与水泥和其他外



加剂之间的相容性和耐腐蚀性；

**2** 施工缝等各种连接缝处的混凝土施工，应预先制定专项施工方案；当采用引气混凝土时，应有防止混凝土中气泡受到过多损失的措施；

**3** 采用环氧树脂涂层钢筋，插入式混凝土振捣器振捣时，应在金属振捣棒外套橡胶套或采用非金属振捣棒；

**4** 现浇混凝土潮湿养护时间应不少于 14 天；在整个潮湿养护过程中，应根据混凝土温度与气温的差别及变化，及时采取措施，控制混凝土升温和降温速率；

**5** 拆模时，应采取措施防止混凝土的温度过高、导致接触空气时降温过快而开裂的现象发生；

**6** 宜事先通过裂缝控制的试验，确定合理的混凝土施工浇筑工序、养护和拆模方法等。

**6.3.6** 预应力混凝土施工质量与控制应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的规定。

## **6.4 防腐蚀材料的施工**

**6.4.1** 防腐蚀材料施工前应复查基层表面的质量情况，发现受损或被污染应及时处理。

**6.4.2** 水玻璃类、树脂类、沥青类、涂料类、聚合物水泥砂浆类等防腐蚀材料施工应符合现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212 的规定。

**6.4.3** 防腐蚀材料厚度应符合本标准；防腐蚀材料分层施工厚度及其每层施工间歇时间应符合设计要求。

**6.4.4** 施工现场的环境卫生和文明施工应符合国家现行标准《建筑与市政施工现场安全卫生与职业健康通用规范》GB 55034 和《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146 的规定。

## 7 防腐蚀工程质量检验与验收

### 7.1 质量控制

**7.1.1** 桩基础与地下结构防腐蚀工程施工质量检查，应包括下列内容：

- 1 基桩、锚杆的类型和预制桩的规格型号、钢桩规格材质、锚杆及其配件规格型号，以及外观质量和连接接头型式；
- 2 钢筋、水泥、骨料、掺合料、外加剂和钢筋阻锈剂等原材料品种、规格和性能，及其配合比、塌落度等；
- 3 混凝土水灰比、氯离子含量、强度等级、抗渗等级、腐蚀裕量和氯离子迁移系数、电通量或抗硫酸等级及耐蚀系数检验（试验）报告及钢筋类型、保护层厚度；
- 4 防腐蚀原材料的品种、规格和性能及其配合比等；
- 5 预制桩、钢桩焊接接桩焊缝质量及其防腐蚀措施；
- 6 预制桩、钢桩机械连接接头处的机械接头零部件的数量、尺寸、构造与性能质量及其防腐蚀措施；
- 7 灌注桩桩身混凝土充盈系数及混凝土试块抗压强度及其防腐蚀措施；
- 8 锚杆浆体的试块抗压强度及其保护等级对应的防腐蚀措施；锚杆端头及中间机械连接接头等配件及其防腐蚀措施；
- 9 植桩方法、包裹灌浆体厚度、灌浆料防腐蚀措施及施工质量；
- 10 围护型式及其对应的腐蚀性等级和防腐蚀措施；
- 11 混凝土后浇带及施工缝的防腐蚀措施和施工质量；
- 12 基层处理施工质量；

**13 防腐工程的施工质量；**

**14 成品保护措施；**

**15 场地的降水措施与效果。**

**7.1.2** 当施工过程中发现环境腐蚀性等级与前期勘察期间存在变化时，可采用施工补充勘察的方法进行核查。

**7.1.3** 当施工过程中发现地质异常导致桩身混凝土的充盈系数和完整性等指标不能满足要求时，应组织设计等参建单位有关人员核查原因后提出处理意见。

**7.1.4** 防腐工程质量检验部位和验收会议均应拍照留存，并按有关管理规定归档。

## **7.2 质量检验**

**7.2.1** 预制桩防腐质量检验应符合下列规定：

**1** 在腐蚀性环境中，预制桩施工质量验收前，均应利用砍桩废弃的桩节做破碎检查，检查内容包括钢筋直径及其保护层厚度、钢端板厚度和机械接头配件及其保护层厚度等；

**2** 当预制桩施工过程中容易出现崩裂、脆断等现象，且对桩身混凝土强度等级有争议时，可采用钻芯方法检测，钻芯不得在施打过的预制桩上钻取；同一项目工程同生产厂家的预制桩检查数量不应少于 2 根桩，每根桩不少于 1 组、每组 3 个试块；

**3** 预制桩焊接接桩的焊缝质量检查，在强腐蚀性环境中，同一单位工程焊缝探伤检查数量不应少于总桩数的 1%、且不应少于 3 个接头；在中等腐蚀性环境中，同一单位工程焊缝探伤检查数量不应少于 2 根桩、且不应少于 3 个接头；

**4** 在中、强腐蚀性环境中，采用抱压式沉桩、电焊接桩的预应力混凝土管桩或空心方桩施工完成后，建设单位应委托有资质的第三方检测机构，对预应力混凝土预制桩空心孔内采用拍照方式，检查接桩接头附近的桩身混凝土竖向裂缝情况，同一单位工

程检查数量不应少于 3 根，检查桩中每个接头全方位的清晰照片不应少于 2 张；

**5** 焊接接头现场涂刷的防腐层和机械连接接头处使用的沥青涂料，原材料质量取样检验数量应符合本标准和现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB 50224 的规定；

**6** 防腐蚀其它指标的质量检验内容及数量，应符合国家现行标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和现行地方标准《预应力混凝土管桩机械快速连接接头施工及验收规程》DBJ 13-58 的规定。

#### **7.2.2 灌注桩防腐蚀质量检验应符合下列规定：**

**1** 在强、中腐蚀性等级环境中，应开挖灌注桩的桩顶标高以下 1m 范围的桩身，采用卷尺检查桩径和采用钢筋扫描仪或其他有效方法检查钢筋混凝土保护层厚度；同一单位工程中检验数量不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根；

**2** 防腐蚀其它指标的质量检验内容及其数量应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。

#### **7.2.3 钢桩防腐蚀质量检验应符合下列规定：**

**1** 钢桩的钢板或型材等厚度应采用游标卡尺的检查，同一单位工程中检验数量不应少于总桩数的 1%，且不应少于 5 根；

**2** 钢桩焊接接桩的焊缝质量检查，同一单位工程中采用探伤检查数量不应少于总桩数的 1%、且不应少于 3 个接头；

**3** 防腐蚀其它指标的质量检验内容及其数量应符合国家现行标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 和《桩用螺旋焊缝钢管》SY/T 5040 的规定。

#### **7.2.4 锚杆防腐蚀质量检验应符合下列规定：**

**1** 锚杆锚固段外表面涂刷的环氧树脂等防腐涂层，原材料的质量检验应按现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212 的规定执行；同一单位工程中锚杆涂刷层的厚度检验数量

不应少于总杆数的 1%，且不应少于 5 根，每根杆的检测部位应不小于 2 处；

2 预应力锚杆筋体套管内充填的防腐油脂饱满度检查，同一单位工程中检验数量不应少于总杆数的 1%，且不应少于 5 根，每根钢筋中的检测部位应不少于 2 处；

3 防腐蚀其它指标的质量检验内容及其数量应符合国家现行标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086、《建筑工程抗浮技术标准》JGJ476 和《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502 的规定。

**7.2.5** 植桩防腐蚀质量检验应符合下列规定：

1 植入桩（预制桩、钢桩）的防腐蚀质量检验按本标准第 7.2.1 条、7.2.3 条和 7.2.8 条～7.2.10 条的规定执行；

2 灌浆料混凝土的质量检验参照本标准第 7.2.2 条灌注桩中涉及混凝土内容的有关规定执行；

3 当植桩共同承担竖向或水平荷载时，应剥露复合体桩顶标高以下不少于 500mm 深，检查灌浆体与植入桩之间的结合牢固情况，检查比例为复合体总数量的 5%，且不少于 5 处；

4 采用搅拌法或旋喷法（含潜孔锤高压旋喷法）成孔施工时，按国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的规定执行。

**7.2.6** 当利用基坑围护工程改善腐蚀性环境条件，将桩基础与地下结构防腐蚀设计等级降低一级时，基坑围护结构防腐蚀质量检验应符合下列规定：

1 基坑围护结构中支护桩（墙）防腐蚀质量检验，可根据不同桩型对应本标准第 7.2.1 条～第 7.2.3 条的规定执行，其中地连墙防腐蚀质量检验参照本标准第 7.2.2 条的规定执行；

2 基坑围护结构中永久性冠梁、传力构件和桩间混凝土支护等防腐蚀质量检验，可参照本标准第 7.2.7 条的规定执行；

3 基坑围护结构每个侧壁（面）均应全面排查，每个侧壁（面）

应无渗流水点（处），存在渗漏湿渍的部位不应多于 3 处，每处面积不应大于 200cm<sup>2</sup>、长度不应大于 200mm；当单个侧壁（面）面积大于 200m<sup>2</sup>时，每增加 100m<sup>2</sup>（含不足 100 m<sup>2</sup>），渗漏湿渍的部位不得增加 1 处。

**7.2.7** 地下结构工程防腐蚀质量检验应符合下列规定：

1 地下室外墙迎土面混凝土应采用钢筋扫描仪检查钢筋保护层厚度，每个侧面检查数量应不少于 3 处，当面积大于 100m<sup>2</sup>时，每增加 50m<sup>2</sup>，应多抽查 1 处，不足 50m<sup>2</sup>时，按 50m<sup>2</sup>计；

2 防腐蚀其它指标的质量检验内容及其数量应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定；其中防腐涂料厚度采用厚度测试仪进行检查。

**7.2.8** 桩基础与地下结构混凝土的电通量与氯离子迁移系数、抗硫酸盐等级及耐蚀系数检测方法，应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》GB/T 50082 的规定。在中、强腐蚀性环境下，同一项目工程的检验数量，应分别不少于 3 组，每组 3 个试件。

**7.2.9** 桩基础与地下结构中使用的钢筋阻锈剂质量检验，应符合现行行业标准《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192 的规定。

**7.2.10** 防腐蚀原材料及其制成品的质量检验，应符合现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212 的规定。

**7.2.11** 桩基础与地下结构的基层处理和面层防腐蚀材料的施工质量检验，应符合现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB 50224 的规定。

## 7.3 验 收

**7.3.1** 桩基础与地下结构防腐蚀工程施工质量验收应划分为检验批和分项工程。质量验收应符合下列要求：

**1** 检验批可根据桩基础与地下结构工程的施工工艺、质量控制和专业验收的需要,按工程的特点、工程量、结构形式、施工段、变形缝及其同种防腐蚀材料或相同防腐蚀措施等进行划分;包括预制桩防腐蚀、灌注桩防腐蚀、钢桩防腐蚀、锚杆防腐蚀、植桩法防腐蚀、地下结构防腐蚀、基坑围护工程防腐蚀和基层处理等检验批;

**2** 分项工程可根据桩基础与地下结构中防腐蚀材料或防腐蚀措施、施工工艺等划分为若干个子分项工程,包括桩基础(含基桩、灌浆体和承台等)防腐蚀工程、地下结构(地下室、隧道、管廊等地下空间结构和锚杆、围护、桥墩等构筑物结构)防腐蚀工程等子分项工程。

**7.3.2** 施工质量验收及其验收程序、组织应按现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB 50224 的规定执行。

**7.3.3** 桩基础与地下结构防腐蚀工程验收,应包括中间工序交接、隐蔽工程交接和交工验收。未经交接、交工验收,不得进入下一道工序的施工。

**7.3.4** 桩基础与地下结构防腐蚀分项工程验收资料应按附录 A 规定进行核查;并应包括下列内容:

- 1** 施工许可证、分包单位资质证书、施工分包合同;
- 2** 桩基础与地下结构及其防腐蚀勘察报告、设计文件和施工图,包括施工图审批文件、图纸会审纪要、设计变更单等;
- 3** 经施工企业批准、监理单位审核的施工组织设计、施工方案,包括实施中的变更资料;
- 4** 桩基础与地下结构测量放线图,包括工程基线复核签证单;
- 5** 各种原材料、半成品的质量合格证书、产品说明书、施工现场抽样试验(复验)报告等;
- 6** 混凝土与防腐蚀材料配合比和主要技术性能的试验报告;
- 7** 施工记录及汇总、隐蔽工程验收文件等;施工隐蔽记录可按附录表 B 填写;

8 施工现场质量检查与抽检记录等汇总资料,包括混凝土强度、保护层厚度及接头焊缝质量、钢配件和防腐蚀涂层厚度等;

9 质量缺陷修补或质量事故返工处理记录;

10 检验批验收记录,可按附录表 C、D、E、F、G、H、J、K 填写;分项(子分项)工程验收记录,可按附录表 L 填写;特殊工程的交工验收记录应包括防腐蚀监测点预埋平面布置图及保护措施;

11 现行地方标准《福建省建筑工程施工文件管理规程》DBJ 13-56 和《福建省市政工程施工文件管理规程》DBJ/T 13-135 规定的有关验收资料。



## 附录 A 防腐蚀分项工程质量控制资料核查记录

表 A 防腐蚀分项工程质量控制资料核查记录

工程名称		施工单位				
序号	资料名称	份数	施工单位		监理单位	
			核查意见	核查人	核查意见	核查人
1	设计变更、材料代用单					
2	原材料出厂合格证、质量检验报告（质量证明书）或复检报告					
3	混凝土、耐腐蚀材料配合比和主要技术性能的试验报告					
4	基桩、锚杆、地下结构、围护结构等防腐蚀检查交接记录					
5	基层检查隐蔽验收记录和交接记录					
6	中间交接记录					
7	修补或返工记录					
8	检验批、分项（子分项）工程质量验收与交接记录					
结论：		结论：				
施工单位项目技术负责人： （项目部章）  年 月 日		总监理工程师：   年 月 日				

## 附录 B 防腐蚀施工隐蔽验收记录

表 B 防腐蚀施工隐蔽验收记录

工程名称			施工单位		
分部（子分部） 工 程 名 称			分项工程名称		
隐蔽部位	层		轴线	标高	
隐蔽项目			隐蔽日期		
隐蔽内容					
施工单位检查情况					
隐蔽验收结论					
签字栏	施工单位 (项目章)	项目专业技术负责人	质量员	施工员	
	专业监理工程师				

## 附录 C 预制桩防腐蚀检验批质量验收记录

表 C 预制桩防腐蚀检验批质量验收记录

单位(子单位)		分部(子分部)		分项工程			
工程名称		工程名称		名称			
施工单位		项目技术负责人		检验批容量			
分包单位		分包单位项目负责人		检验批部位			
施工依据				验收依据			
主控项目	验收项目		设计要求及规范规定	样本容量	最小/实际抽样数量	检查记录	检查结果
	1	桩型与型号	设计与标准要求				
	2	水泥、外加剂、掺合料、阻锈剂(出厂合格证明)	设计与标准要求				
	3	桩身混凝土强度等级、配筋、保护层厚度等指标(出厂合格证明或现场抽检)	设计与标准要求				
	4	接桩接头型式, 焊缝指标	设计与标准要求				
	5	桩身混凝土的 Cl <sup>-</sup> 迁移系数(或电通量)、抗硫酸盐等级及耐蚀系数	设计与标准要求				
	6	其他防腐蚀措施	设计与标准要求				
一般项目	1	边长 a 或外径 d	+5、-2mm				
	2	端板厚度及坡口尺寸	±0mm				
	3	保护层厚度	+5、0mm				
	4	焊缝受力截面	≥0、-1mm				
	5	局部磕损、漏浆	深度≤5mm、每处≤50cm <sup>2</sup> 、长度≤300mm, 且应修补				
施工单位检查结果		专业工长: 项目专业质量检查员: (项目部章)      年   月   日					
监理单位验收结论		专业监理工程师: 年   月   日					

# 附录 D 灌注桩防腐蚀检验批质量验收记录

表 D 灌注桩防腐蚀检验批质量验收记录

单位（子单位） 工程名称		分部（子分部） 工程名称		分项工程 名称			
施工单位		项目技术 负责人		检验批容量			
分包单位		分包单位项目 负责人		检验批部位			
施工执行标准名称及编号			验收依据				
主控 项目	验收项目		设计要求及 规范规定	样本 容量	最小/实际 抽样数量	检查 记录	检查 结果
	1	桩 型	设计与标准要求				
	2	水泥、水胶比、外加剂、掺 合料、阻锈剂及配合比	设计与标准要求				
	3	混凝土强度等级、配筋、保 护层厚度、抗渗等级等指标	设计与标准要求				
	4	桩身混凝土 Cl <sup>-</sup> 扩散系数 (或电通量)、抗硫酸盐等级 及耐蚀系数	设计与标准要求				
	5	其他防腐蚀措施	设计与标准要求				
一 般 项 目	1	桩 径	≥0、-20mm				
	2	充盈系数	中强腐蚀≥1.1 弱腐蚀≥1.05				
	3	保护层厚度	≥0、-8mm				
	4	钢筋表面防腐蚀层厚度	≥0、-50μm				
	5	其 他	设计与标准要求				
施工单位 检查结果		专业工长： 项目专业质量检查员： （项目部章）      年   月   日					
监理单位 验收结论		专业监理工程师： 年   月   日					

# 附录 E 钢桩防腐蚀检验批质量验收记录

表 E 钢桩防腐蚀检验批质量验收记录

单位(子单位) 工程名称		分部(子分部) 工程名称		分项工程 名称			
施工单位		项目技术 负责人		检验批容量			
分包单位		分包单位项目负 责人		检验批部位			
施工依据				验收依据			
主控 项目	验收项目		设计要求及 规范规定	样本 容量	最小/实际 抽样数量	检查 记录	检查 结果
	1	桩型与型号	设计与标准要求				
	2	钢桩钢材原材料(出厂合格 证明或现场抽检)	设计与标准要求				
	3	钢桩型材或管壁厚度	设计与标准要求				
	4	接桩接头型式与焊缝指 标	设计与标准要求				
	5	其他防腐蚀措施	设计与标准要求				
一 般 项 目	1	外径 d	+ 5、-2mm				
	2	端板厚度及坡口尺寸	±0mm				
	3	焊缝受力截面	≥0、-1mm				
	4	其 他	设计与标准要求				
施工单位 检查结果		专业工长： 项目专业质量检查员： (项目部章)                      年    月    日					
监理单位 验收结论		专业监理工程师：  年    月    日					

## 附录 F 锚杆防腐蚀检验批质量验收记录

表 F 锚杆防腐蚀检验批质量验收记录

单位(子单位)		分部(子分部)		分项工程		
工程名称		工程名称		名称		
施工单位		项目技术负责人		检验批容量		
分包单位		分包单位项目负责人		检验批部位		
施工依据		验收依据				
主控项目	验收项目		设计要求及 规范规定	样本 容量	最小/实际 抽样数量	检查 记录
	1	锚杆类型	设计与标准要求			
	2	钢筋(钢绞线)型号及接头 型式	设计与标准要求			
	3	水泥、水胶比、外加剂、掺合料、 阻锈剂及配合比	设计与标准要求			
	4	锚杆浆体强度等级、保护层 厚度	设计与标准要求			
	5	锚杆浆体的Cl <sup>-</sup> 迁移系数(或 电通量)、抗硫酸盐等级及耐 蚀系数	设计与标准要求			
	6	其他防腐蚀措施	设计与标准要求			
一般项目	1	杆体直径	≥0、-20mm			
	2	充盈系数	≥1.05			
	3	钢筋(钢绞线)表面防腐涂层 厚度	≥0、-50μm			
	4	充填防腐油脂饱满度	≥98%			
	5	保护层厚度	≥0、-5mm			
	6	锚头封闭、水密性接缝	设计与标准要求			
施工单位 检查结果		专业工长: 项目专业质量检查员: (项目部章)      年    月    日				
监理单位 验收结论		专业监理工程师: 年    月    日				

# 附录 G 植桩防腐蚀检验批质量验收记录

表 G 植桩防腐蚀检验批质量验收记录

单位(子单位)		分部(子分部)		分项工程			
工程名称		工程名称		名称			
施工单位		项目技术负责人		检验批容量			
分包单位		分包单位项目负责人		检验批部位			
施工依据		验收依据					
主控项目	验收项目		设计要求及规范规定	样本容量	最小/实际抽样数量	检查记录	检查结果
	1	成孔工艺与植入桩桩型	设计与标准要求				
	2	水泥土或灌浆料中水泥、混凝土强度等级等指标	设计与标准要求				
	3	植入桩合格证及防腐蚀指标:混凝土的C1扩迁移数(或电通量)、抗硫酸盐等级及耐蚀系数(现场抽检)	设计与标准要求				
	4	接桩接头型式,焊缝指标	设计与标准要求				
	5	灌浆体混凝土或植入桩腐蚀性等级降低情况及其他防腐措施	设计与标准要求				
一般项目	6	复合体桩径及粘结牢固	设计与标准要求				
	1	植入桩保护层厚度	+5、0mm				
	2	焊缝受力截面	≥0、-1mm				
	3	端板厚度及坡口尺寸	±0mm				
	4	包裹灌浆体厚度	≥0、-30mm				
	5	灌浆料充盈系数	中强腐蚀≥1.1 弱腐蚀≥1.05				
	6	灌浆体高度	≥0、-100mm				
施工单位检查结果		专业工长: 项目专业质量检查员: (项目部章) 年 月 日					
监理单位验收结论		专业监理工程师: 年 月 日					

## 附录 H 地下结构防腐蚀检验批质量验收记录

表 H 地下结构防腐蚀检验批质量验收记录

单位(子单位)		分部(子分部)		分项工程		
工程名称		工程名称		名称		
施工单位		项目技术负责人		检验批容量		
分包单位		分包单位项目负责人		检验批部位		
施工依据		验收依据				
主控项目	验收项目		设计要求及规范规定	样本容量	最小/实际抽样数量	检查记录
	1	水泥、水胶比、外加剂、掺合料、阻锈剂及配合比	设计与标准要求			
	2	混凝土强度等级、配筋、保护层厚度、抗渗等级等指标	设计与标准要求			
	3	混凝土 C1 迁移系数(或电通量)、抗硫酸盐等级及耐蚀系数	设计要求			
	4	后浇带与变形缝设置及其防腐措施	设计与标准要求			
	5	混凝土结构表面防腐措施	设计与标准要求			
	6	回填材料及压实指标	设计与标准要求			
一般项目	1	混凝土的入模温度	$\pm 2^{\circ}\text{C}$			
	2	保护层厚度	$+10, -3\text{mm}$			
	3	搭接缝宽度	$\geq 5\text{mm}$			
	4	防腐涂层等材料厚度	沥青类 $\geq 0.41\text{mm}$ 树脂类 $\geq 0.50\text{mm}$ 砂浆类 $\geq 0.3\text{mm}$			
	5	穿过防腐层的预埋件、预留孔	$+5, -2\text{mm}$			
施工单位检查结果		专业工长: 项目专业质量检查员: (项目部章)      年 月 日				
监理单位验收结论		专业监理工程师: 年 月 日				



附录 J 基坑围护工程防腐蚀检验批质量验收记录

表 J 基坑围护工程防腐蚀检验批质量验收记录

单位(子单位)		分部(子分部)		分项工程			
工程名称		工程名称		名称			
施工单位		项目技术负责人		检验批容量			
分包单位		分包单位项目负责人		检验批部位			
施工依据		验收依据					
主控项目	验收项目		设计要求及规范规定	样本容量	最小/实际抽样数量	检查记录	检查结果
	1	围护结构和止水帷幕型式与地下主体结构抗浮传力方式	设计要求				
	2	水泥、水胶比、外加剂、掺合料、阻锈剂及配合比	设计要求				
	3	桩身混凝土强度等级、配筋、保护层厚度等指标	设计要求				
	4	后浇带与变形缝设置及其防腐措施	设计要求				
	5	围护结构混凝土的电通量、 $Cl^-$ 扩散系数	设计要求				
一般项目	6	其他防腐措施	设计要求				
	1	回填材料及压实指标	设计要求				
	2	混凝土的入模温度	$\pm 2^{\circ}C$				
	3	保护层厚度	$\geq 0mm, -3mm$				
	4	预留孔、接缝、转角处等细部做法	设计与标准要求				
	5	无渗漏水点(处), 单个侧壁(面)局部渗漏、湿渍	共 $\leq 3$ 处, 每处 $\leq 200cm^2$ 、长度 $\leq 200mm$				
6	其 他	设计与标准要求					
施工单位检查结果		专业工长: 项目专业质量检查员: (项目部章) 年 月 日					
监理单位验收结论		专业监理工程师: 年 月 日					

## 附录 K 基层处理检验批质量验收记录

表 K 基层处理检验批质量验收记录

单位(子单位) 工程名称		分部(子分部) 工程名称		分项工程 名称			
施工单位		项目技术 负责人		检验批容量			
分包单位		分包单位项目 负责人		检验批部位			
施工依据				验收依据			
主控 项目	验收项目		设计要求及 规范规定	样本 容量	最小/实际 抽样数量	检查 记录	检查 结果
	1	基层强度	设计要求				
	2	基层表面密实、平整	标准要求				
一般 项目	3	基层的含水率	标准要求(深度 20mm 内 $\leq 6\%$ )				
	1	洁净度	设计与标准要求				
	2	找平层强度等级 厚度	$\geq C20$ $\geq 30\text{mm}$				
	3	阴阳角做法	设计与标准要求				
	4	穿过防腐蚀层的预埋件、预留 孔	设计与标准要求				
	5	表面的粗糙度	设计要求				
	6	坡度平整度	$\pm 0.2\%$ , $\leq 30\text{mm}$				
	7	平整度	0、 $\leq 2\text{mm}$				
施工单位 检查结果		专业工长: 项目专业质量检查员: (项目部章)      年   月   日					
监理单位 验收结论		专业监理工程师: 年   月   日					

附录 L 防腐蚀分项工程质量验收记录

表 L 防腐蚀分项工程质量验收记录

单位（子单位）工程名称				分部（子分部）工程名称	
分项工程数量				检验批数量	
施工单位		项目负责人		项目技术负责人	
分包单位		分包单位负责人		分包内容	
序号	检验批名称	检验批容量	部位/区段	施工单位检查评定结果	监理（建设）单位验收结论
1	预制桩防腐蚀				
2	灌注桩防腐蚀				
3	钢桩防腐蚀				
4	锚杆桩防腐蚀				
5	植桩防腐蚀				
6	地下结构防腐蚀				
7	基坑围护工程防腐蚀				
8	基层处理				
9					
说明：					
施工单位检查结果		项目专业技术负责人： （项目部章） 年 月 日			
监理单位验收结论		专业监理工程师： 年 月 日			

## 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 条文中指明应按其他有关标准执行时的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《建筑石油沥青》 GB/T 494
- 2 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 3 《工业硅酸钠》 GB/T 4209
- 4 《钢筋混凝土用钢》 GB/T 1499
- 5 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 6 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 7 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 8 《先张法预应力混凝土管桩》 GB/T 13476
- 9 《双酚 A 型环氧树脂》 GB/T 13657
- 10 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》 GB/T 18736
- 11 《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》 GB/T 19496
- 12 《预应力混凝土用螺纹钢筋》 GB/T 20065
- 13 《混凝土防腐阻锈剂》 GB/T 31296
- 14 《钢筋混凝土阻锈剂耐蚀应用技术规范》 GB/T 33803
- 15 《钢筋混凝土用耐蚀钢筋》 GB/T 33953
- 16 《钢筋混凝土用不锈钢钢筋》 GB/T 33959
- 17 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 18 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 19 《岩土工程勘察规范》 GB 50021
- 20 《工业建筑防腐蚀设计标准》 GB/T 50046
- 21 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082
- 22 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》 GB 50086
- 23 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 24 《混凝土质量控制标准》 GB 50164

- 25 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202
- 26 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 27 《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212
- 28 《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB 50224
- 29 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
- 30 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
- 31 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 32 《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003
- 33 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- 34 《热强钢焊条》GB/T 5118
- 35 《工程结构通用规范》GB 55001
- 36 《建筑与市政地基基础通用规范》GB5503
- 37 《组合结构通用规范》GB 55004
- 38 《钢结构通用规范》GB 55006
- 39 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 40 《工程勘察通用规范》GB 55017
- 41 《建筑与市政施工现场安全卫生与职业健康通用规范》GB 55034
- 42 《混凝土抗侵蚀防腐剂》JC/T 1011
- 43 《预应力离心混凝土空心方桩》JC/T 2029
- 44 《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723
- 45 《粉煤灰在混凝土和砂浆中应用技术规程》JGJ 28
- 46 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 47 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 48 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107
- 49 《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146
- 50 《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192
- 51 《建筑用钢结构防腐涂料》JG/T 224
- 52 《高压喷射扩大头锚杆技术规程》JGJ/T 282
- 53 《水泥石复合管桩基础技术规程》JGJ/T 330

- 54 《预应力混凝土管桩技术标准》 JGJ/T 406
- 55 《无粘接预应力筋用防腐蚀润滑脂》 JG/T 430
- 56 《建筑工程抗浮技术标准》 JGJ 476
- 57 《预应力混凝土空心方桩》 JG/T 197
- 58 《环氧树脂涂层钢筋》 JG/T 502
- 59 《水运工程结构防腐蚀施工规范》 JTS/T 209
- 60 《码头结构设计规范》 JTS 167
- 61 《钢筋混凝土阻锈剂》 JT/T 537
- 62 《桩用螺旋焊缝钢管》 SY/T 5040
- 63 《建筑与市政地基基础技术标准》 DBJ/T 13-07
- 64 《福建省建筑工程施工文件管理规程》 DBJ/T 13-56
- 65 《预应力混凝土管桩机械快速连接接头施工及验收规程》 DBJ 13-58
- 66 《混凝土外加剂应用技术规程》 DBJ/T 13-77
- 67 《岩土工程勘察标准》 DBJ /T 13-84
- 68 《先张法预应力高强混凝土管桩》 DBJ/T 13-95
- 69 《福建省市政工程施工文件管理规程》 DBJ/T 13-135
- 70 《福建省耐腐蚀混凝土应用技术标准》 DBJ/T 13-253
- 71 《耐蚀钢筋混凝土结构应用标准》 DBJ/T 13-342

# 福建省工程建设地方标准

## 福建省桩基础与地下结构防腐蚀技术标准

DBJ/T 13-200-2025

### 条文说明



## 修 订 说 明

《福建省桩基础与地下结构防腐蚀技术标准》DBJ/T 13-200-2025，经福建省住房和城乡建设厅 2025 年 3 月 6 日以闽建科（2025）7 号文批准发布，并经住房和城乡建设部备案，备案号为 J 12845-2025。

本标准是在《福建省桩基础与地下结构防腐蚀技术规程》DBJ/T 13-200-2014 的基础上修订而成，上一版的主编单位是厦门理工学院、厦门市建设工程质量安全监督站，参编单位是厦门华昶建筑工程设计有限公司、核工业华南工程勘察院厦门分院、福建省建筑科学研究院、福建四海建设有限公司、福建省大地管桩有限公司、广东三和管桩有限公司、中国京冶工程技术有限公司（厦门）、漳州新三和管桩有限公司、化学工业岩土工程有限公司、福建永强岩土工程有限公司、天津宝丰混凝土桩杆有限公司、厦门浩友建材有限公司、厦门中联建设工程有限公司和厦门特房建设工程集团有限公司，主要起草人员是林梁、许勇铁、廖良辉、何伯干、郑勇、陈云彬、林树枝、张萌、周先齐、杨金辉、魏宜龄、岳伟、林荣坦和王震。

本次修订的主要内容是：1. 调整了桩基础在腐蚀性环境中的适用条件；2. 对工作年限 50 年的桩基础与地下结构防腐蚀技术进行了较系统规定；对于设计工作年限 100 年的，提出了建议；3. 调整了 Cl<sup>-</sup>腐蚀介质环境中混凝土防腐蚀规定和最大 Cl<sup>-</sup>含量指标；增加 28 天龄期氯离子迁移系数和抗硫酸盐的抗压强度耐蚀系数等指标；4. 对预制桩、灌注桩和现浇地下结构混凝土分别提出防腐蚀基本要求；增加了地下结构预制构件混凝土防腐蚀基本要求；

充实了桩身混凝土防护要求；5. 充实了预制桩接桩防腐要求、并增加施工接桩位置不符合要求时的处理措施；充实了空心桩桩尖选择和防腐要求；6. 增加了钢桩接桩防腐要求，充实了钢桩防腐有关规定；7. 增加了锚杆最低防腐等级、防腐保护等级和防护措施规定；充实了锚杆注浆体和筋体防腐配套体系；8. 增加了承台（桥墩）、地下结构周边外侧面防腐技术内容；增加了临海项目及矿山法海底隧道等地下结构后浇带钢筋防腐要求；9. 增加了参与地下结构抗浮贡献的深基坑围护结构防腐措施规定；10. 增加了植桩防腐技术要求；11. 增加了环境改善（基坑围护）防腐技术要求；12. 修改了分项工程的划分。

本标准修订过程中，编制组进行了我省桩基础与地下结构防腐技术应用情况的调查研究，总结了我国工程建设桩基础与地下结构防腐技术应用的实践经验，同时参考了国家现行标准《工业建筑防腐设计标准》GB/T 50046-2018、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 和《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 等内容，通过比对、分析并结合实践可操作性确定了本标准防腐相关的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《福建省桩基础与地下结构防腐技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

# 目 次

1 总 则.....	68
2 术语和符号 .....	71
2.1 术 语 .....	71
3 基本规定 .....	74
4 岩土工程勘察要点 .....	82
5 防腐蚀设计 .....	87
5.1 一般规定 .....	87
5.2 混凝土及原材料 .....	92
5.3 预制桩防腐蚀设计 .....	103
5.4 混凝土灌注桩防腐蚀设计 .....	115
5.5 钢桩防腐蚀设计 .....	117
5.6 锚杆防腐蚀设计 .....	124
5.7 植桩防腐蚀设计 .....	129
5.8 地下结构防腐蚀设计 .....	131
5.9 环境改善防腐蚀设计 .....	134
6 防腐蚀施工 .....	137
6.1 一般规定 .....	137
6.2 基桩的防腐蚀施工 .....	137
6.3 混凝土的防腐蚀施工 .....	139
6.4 防腐蚀材料的施工 .....	141
7 防腐蚀工程质量检验与验收 .....	142
7.1 质量控制 .....	142
7.2 质量检验 .....	143
7.3 验 收 .....	144

# 1 总 则

**1.0.1** 本次修订是基于原国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046-2008 已经修订为现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018, 同时增加了现行行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 等, 还有一些涉及防腐蚀内容的相关国标或行标等均有不同程度的进行了修订, 为此, 原福建省《桩基础与地下结构防腐蚀技术标准》DBJ/T 13-200-2014 也应进行相应的修订, 确保地标符合国标和行标、并具有 consistency。

国家现行标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018、《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 等有关标准规范中, 对于桩基础与地下结构的防腐蚀设计与施工的一些规定, 但尚不能满足建筑与市政工程中桩基础与地下结构的防腐蚀设计、施工和质量验收的配套需要。这些已给我省填海造地等滨海区域及具有腐蚀性场地的建筑和市政工程的防腐蚀设计、施工与质量验收等带来很大的不便, 甚至制约了建筑及市政工程建设需要与可持续发展。因此需要编制一部适合本省地质条件、施工技术条件和环境特殊性的建筑工程和市政工程的桩基及地下结构的防腐蚀技术标准。

实际证明, 在中、强腐蚀性环境中, 桩基础与地下结构在没有防腐蚀措施的情况下或者防腐蚀措施不当或者防腐蚀措施不到位的情况下, 受长期腐蚀后将会降低工作年限, 导致与上部结构的工作年限不相匹配, 使得建(构)筑物的整体工作年限降低, 这将造成极大的社会资源浪费。这是编制本标准的目的所在。

本标准在编制过程中, 参考了国内同行在桩基础与地下结构防腐蚀研究与应用方面的大量研究成果和成功案例; 但是, 防腐蚀是个系统工程, 涉及的环节繁多, 还需要跨行业的技术支撑等;

因此在工程实践中，还需要不断研究探索和经验交流，以提高认识和技术水平，更好的为工程建设服务。

**1.0.2** 本次修订删除了“新建、扩建、改建”等内容，目的是明确在腐蚀性环境下，所有建设工程均要考虑防腐蚀措施。

本条中“市政工程”是指地面、坡面、水面以下市政永久性的、需考虑防腐蚀的工程，包括城市交通隧道、城市桥梁（包括过街天桥）桥墩（台）基础、市政地下综合管廊或隧道（含供电供水通讯网络等共同沟）、过街通道、原水或排污等大型市政管道、轨道交通工程（含地下车站、区间隧道暨海底隧道）、桥墩（台）基础和永久性边坡结构工程等。

本标准是建筑与市政工程防腐蚀的地方性专业技术标准，不适用于食品、医药、生产腐蚀性介质的工业和其他有特殊（如轻骨料混凝土和杂散电流干扰等）要求的专业；也不适用于跨海桥梁、桥墩（台）等。对于轻骨料混凝土、杂散电流干扰腐蚀性环境及其他特种混凝土的桩基础与地下结构应按设计和有关规范要求执行。

**1.0.3** 桩基础与地下结构防腐蚀措施包括预防措施和防护措施，两者均以防止地下结构受腐蚀或减少腐蚀程度为目的，所以应以抗腐蚀效果作为选择措施的前提，实践中往往采用预防与防护相结合的措施效果最为显著，作为应遵循的原则。

本次修订删除了确定防腐蚀措施需考虑的 5 个客观因素，是因为目前国内在防腐蚀技术与材料及施工工艺等方面已具有丰富的经验，所以要求在腐蚀性环境中，必须无条件采取防腐蚀措施。

**1.0.4** 除本标准外，主要还有国家现行标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476-2023、《混凝土防腐阻锈剂》GB/T 31296-2014、《钢筋混凝土用耐蚀钢筋》GB/T 33953-2017、《钢筋混凝土用不锈钢钢筋》GB/T 33959-2017、《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年修订版）、《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086-2015、《混

混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119-2013、《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011、《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212-2014、《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB 50224-2018、《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019、《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003-2014、《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021、《混凝土结构通用规范》GB 55008-2021、《工程勘察通用规范》GB 55017-2021、《建筑与市政施工现场安全卫生与职业健康通用规范》GB 55034-2022、《混凝土抗侵蚀防腐剂》JC/T 1011-2021、《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723-2022、《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192-2009、《高压喷射扩大头锚杆技术标准》JGJ/T 282-2012、《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406-2017、《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019、《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197-2018、《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502-2016、《钢筋混凝土阻锈剂》JT/T 537-2018 和现行地方标准《建筑与市政地基基础技术标准》DBJ/T 13-07-2021、《预应力混凝土管桩机械快速连接接头施工及验收规程》DBJ 13-58-2004、《混凝土外加剂应用技术规程》DBJ/T 13-77-2018、《岩土工程勘察标准》DBJ/T 13-84-2022、《福建省耐腐蚀混凝土应用技术标准》DBJ/T 13-253-2024、《耐腐蚀钢筋混凝土结构应用标准》DBJ/T 13-342-2020 的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

本标准采用的术语以国家现行标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018、《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212-2014、《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB 50224-2018 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 等规范为基础，略作补充和修订。

**2.1.1** 桩基础的定义主要参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 2.1.1 条内容。

**2.1.2** 本次修订的地下结构定义范畴，包括了地下建筑结构及其外围（如基坑围护）或相联结的结构构件（如基础、桥墩、锚杆等）内容，是根据防腐蚀的需要来确定的。

地下建筑：包括地下车站、停车场、商业、仓储、娱乐、运动与医疗场所和独立建设的地下人防、军事设施等，交通、电力与引水工程隧道、地下人行通道、市政工程综合管沟（共同管沟、管廊），及其配套的地下风井（风道）与消防通道等。按照功能划分为以下几种类型：

**1** 市政地下基础设施：地下综合管廊（包括城市供电、供水、通讯、网络、治安、智能化等各种市政管线廊道或共同沟等）、地下公共停车场等；

**2** 城市地下交通设施：地下通道（地下交通隧道、过街通道）、轨道交通专用的地铁车站与隧道等；

**3** 建筑地下室：部分用于人防、防震、救灾（兼做临时停车场），部分用于商业及停车场等；

**4** 城市地下商业设施：地下商城（商业街）、地下娱乐城、

水下游乐馆等；

**5 城市地下军事与防灾设施：**地下军事指挥中心、军事设施(军事光缆、通道、物资储备等)、人民防空、地下医院、疏散干道等；

**6 地下仓储设施：**地下油库、战略物资库等；

**7 地下文化体育设施：**博物馆、图书馆、体育馆等。

**2.1.3** 本标准所指的植桩法，不包括中掘植桩法（指在开口的 PC 管桩、PHC 管桩及钢管桩等的中空部插入专用钻具，边钻孔取土边将桩埋入土中的施工方法）和随钻跟管桩工法；因为中掘植桩法中植入的预制桩外侧没有水泥土或混凝土或其他固桩液等，不能提高复合桩的防腐蚀能力，所以与本标准防腐蚀的意义不同。

**2.1.6 水玻璃类防腐蚀材料：**这类防腐蚀材料包括用于防腐蚀工程面层的钠水玻璃胶泥、砂浆和钾水玻璃胶泥、砂浆和用于防腐蚀工程的整体面层、设备基础和构筑物的钠水玻璃混凝土和钾水玻璃混凝土等。

**2.1.7 树脂类防腐蚀材料：**这类防腐蚀材料包括用于防腐蚀工程的面层或隔离层的环氧树脂、乙烯基酯树脂、不饱和聚酯树脂、呋喃树脂和酚醛树脂、钙基润滑脂等。

**2.1.8 沥青类防腐蚀材料：**这类防腐蚀材料包括用于防腐蚀工程的整体面层或垫层、碎石灌沥青垫层的沥青稀胶泥、沥青胶泥，用于防腐蚀工程的沥青卷材隔离层或块材面层；沥青砂浆或沥青混凝土等。

沥青包括天然沥青、石油沥青、页岩沥青和煤焦油沥青等四种。其中：

天然沥青是石油渗出地表经长期暴露和蒸发后的残留物；

石油沥青是将精制加工石油所残余的渣油，经适当的工艺处理后得到的产品；

页岩沥青是地下石油在长时间受到各种自然因素作用，其中部分或大部分轻质组分挥发、氧化和缩聚而形成固体或半固体的



沥青类物质，一般以纯沥青成分存在于或渗入各种空隙性岩层中，与砂石材料相混而形成的物质，其性质与石油沥青很相似，但其生产工艺又与焦油沥青相同；

焦油沥青是煤、木材等有机物干馏加工所得的焦油经再加工后的产品。四种沥青中的煤焦油沥青在电极焙烧炉制作中会排出大量的有毒的沥青烟，危害性最大，施工中应值得注意。

#### **2.1.9 涂料类防腐蚀材料：**

这类防腐蚀材料包括氯化橡胶涂料、环氧树脂涂料、聚氨酯树脂涂料、高氯化聚乙烯涂料、聚氨酯聚取代乙烯互穿网络涂料、丙烯酸树脂及其改性涂料、氯乙烯—醋酸乙烯共聚涂料、聚苯乙烯涂料、醇酸树脂耐酸涂料、过氯乙烯涂料、聚氯乙烯涂料、氯磺化聚乙烯涂料、沥青类涂料；玻璃鳞片涂料、环氧树脂自流平涂料、有机硅树脂耐高温涂料；乙烯磷化底层涂料、富锌涂料、锈面涂料等品种。

**2.1.11** 本条定义参考了现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502-2016 及其他技术性资料确定的。环氧树脂涂层是在普通钢筋表面经静电喷涂粉末高温熔融结合工艺方法，形成一层对钢筋进行保护的特种涂层，该涂层具有极佳的抗化学腐蚀性能，不与酸碱反应，能长期经受混凝土的高碱性环境而不被破坏。并且涂层具有不渗透性，因此能阻止腐蚀介质如水、氧气、氯化物、硫酸盐等化学成分与钢筋接触，有效地保护了钢筋，使其抗腐蚀寿命大大延长。需要提醒的是：这种涂层工艺制作方法是在特定的工厂环境下进行加工的，而不是在施工现场简易工棚里操作涂刷的，更不是等钢筋绑扎完成后、再采用人工操作在钢筋表面涂刷一层环氧树脂（交叠处漏刷）的做法。

### 3 基本规定

**3.0.1** 因《工程结构通用规范》GB55001-2021 将“设计使用年限”改称为“设计工作年限”，本标准也将“设计使用年限”统一改为“设计工作年限”。按结构工作年限分类：临时性结构为 5 年，易于替换的结构构件为 25 年，普通房屋和构筑物为 50 年，纪念性建筑和特别重要的建筑结构为 100 年。

**3.0.2** 本次修订删除了本标准 2014 版中需进行防腐蚀设计与施工的 5 种环境场地，目的是要求所有拟建场地均要勘察明确地下水及岩土层的腐蚀性情况，并根据腐蚀性情况采取相应的防腐蚀措施，不限于这 5 种。

场地环境及其腐蚀性特点案例介绍如下：

**1** 根据国内研究成果表明，在海洋及近海环境中，采用无防腐蚀措施的普通混凝土时，钢筋混凝土结构的耐久寿命只有 10 年~20 年。场地中的地下水是否受海水及其潮汐的直接影响，由勘察单位在岩土工程勘察报告中明确；实践中有以下三种情况，值得注意和考虑：

- 1)** 场地中的地下水与海水原本没有直接联系，后经开渠引入海水净化河道（含排洪沟）或抽取海水注入造景的周边场地，需要考虑海水对地下水的影响程度。如厦门的松柏湖（筓筓湖的上游）是采用压力管道引入海水进行净化。
- 2)** 场地内存在地质断层，断裂带风化槽的深部与海水有水力联系，形成浅层是淡水、深层是咸水，这种情况也要值得注意和考虑。如厦门\*\*国际（原\*\*国际中心大厦）场地（1998 年）：勘察工作在基坑底进行，勘察深度

无隔水层，B127、B129 钻孔揭露风化槽，其深部地下水为咸水，推测深部地下水与厦门筓筓湖断裂带有水力联系。

- 3) 有些远离海岸线的场地，也存在深层的地下水腐蚀性比浅层的高。如漳州\*\*\*酒店场地（2017 年）：场地距离海岸最近距离 80m，风化残丘地貌，勘察深度无隔水层，设一层地下室，在黄海高程 3m（约高潮线）以上、以下分别取地下水试样进行水质分析发现：深部地下水硫酸根离子、氯离子、矿化度均高于浅部地下水，深部地下水对建筑材料腐蚀性均强于浅部地下水。

2 经填海造地成陆后，随着时间的推移，其场地内的腐蚀性等级是变化的，具有分带性特征，即在靠近海岸始终受到海水入侵影响地段其腐蚀性相对强，与填海时间无关；而在远离海岸、海水入侵影响达不到的地段，地下水随时间逐渐淡化，腐蚀性等级降低明显。如厦门\*\*\*厂场地 1993 年动工填海建设，2022 年（已经历 28 年余）开始改造，重新勘察设计，勘察成果反映了以上规律。

3 具有腐蚀性化工厂拆迁后的旧址场地往往具有化学腐蚀性，而滨海旧盐场的场地往往具有 Cl<sup>-</sup>的腐蚀性，这些值得注意。

**3.0.3** 本条与现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 第 3.1.2 条“介质对建筑材料长期作用下的腐蚀性可分为强腐蚀、中腐蚀、弱腐蚀、微腐蚀 4 个等级”和《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）第 12.1.4 条“水和土对建筑材料的腐蚀性，可分为微、弱、中、强四个等级”的规定一致，方便使用。

沿地面以下深度的腐蚀性等级不同采取不同防腐措施时，应注意地面以下若存在承压地下水可能侵入其他土层、并影响其腐蚀性等级。

一般干湿交替区段的腐蚀性较强，长期水位以下的腐蚀性较

弱，在施工可区分或辨识的前提下，按不同腐蚀性等级分别采取不同的防腐措施，这是合理节约、避免浪费。当基桩与地下室或基桩的桩身上下段可按不同等级进行防腐蚀设计与施工时，对于预制桩其桩身材料及防腐蚀要求、接头做法等原则上可以分区分段对待；对于抗拔灌注桩其裂缝控制标准可分段设置（即桩身可分段配置不同含量的钢筋），但是由于灌注桩施工质量控制和桩侧地下水的流动变化不确定等因素的影响，桩身混凝土强度等级指标不提倡分段设置。

不同介质对钢筋混凝土的腐蚀性机理（作用类型）简述如下：

**1 Cl<sup>-</sup>介质：**Cl<sup>-</sup>的渗透能力很强，在有电解质（水）的情况下，它可与铁发生电化学作用生成氯化亚铁，之后在有氧与水的情况下，电化学作用生成氢氧化亚铁和无粘结性能的氢氧化铁，Cl<sup>-</sup>可被置换出来，而后又会去腐蚀钢铁，生成氯化亚铁，如此不断腐蚀。所以有 Cl<sup>-</sup>的含氧水的腐蚀性很强：如果水中缺氧，则只能生成氯化亚铁，附在钢铁的表面上，腐蚀性减弱。

**2 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 介质：**硫酸盐对混凝土的腐蚀主要是石膏结晶腐蚀和钙矾石结晶腐蚀：①SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>与水泥中的 Ca<sup>2+</sup>发生化学反应，生成硫酸钙，进而形成二水石膏（CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O）结晶，体积膨胀 1 倍多；②硫酸钙与水泥石中的铝酸三钙发生化学反应，生成硫铝酸钙（钙矾石），结晶膨胀力达 20MPa。除了上述两种腐蚀机理外，还有碳硫硅钙石型腐蚀，混凝土破坏的形式不是胀裂，而是酥化，这与混凝土所用的碳酸盐骨料和粉料以及水泥中的碳酸盐含量有关。

**3 pH 值介质：**混凝土是碱性材料，理论上是不耐酸的，即使掺入某些外加剂可能提高一点耐酸性能，但也不能认为它是耐酸的。虽然可以采用增加混凝土腐蚀裕量的措施，但碱性的混凝土在未硬化之前便与酸性溶液接触，产生酸碱中和作用，对混凝土的性能有很大的不利影响。

**4 CO<sub>2</sub> 介质：**碳酸（及 CO<sub>2</sub>）与水泥石中的氢氧化钙作用生

成碳酸钙，其体积比氢氧化钙体积增大 12%，使混凝土表面比较密实，起到一定的保护作用，但混凝土的碱性下降了。侵蚀性 CO<sub>2</sub> 可将混凝土表面难溶的碳酸钙作用生成可溶性的碳酸氢钙，使混凝土深层内的氢氧化钙裸露，又会与碳酸（及 CO<sub>2</sub>）作用生成碳酸钙薄层，这一薄层又会被侵蚀性 CO<sub>2</sub> 作用生成可溶性的碳酸氢钙，如此反复不断进行，直至使混凝土完全破坏。

**3.0.4** 本条是参照现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 第 3.1.2 条的有关规定而制定。

钢筋的混凝土保护层术语介绍：

根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010（2015 年版）第 2.1.18 条“混凝土保护层”：结构构件中钢筋外边缘至构件表面范围用于保护钢筋的混凝土，简称保护层。

根据现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 第 2.1.22 条“钢筋的混凝土保护层”：从混凝土表面到钢筋公称直径外边缘之间的最小距离；对后张法预应力筋，为套管或孔道外边缘到混凝土表面的距离。现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）附录 G 环境类型的分类，表 G.0.1 介绍如下：

表 1 环境类型分类

环境类别	场地环境地质条件
I	高寒区、干旱区直接临水；高寒区、干旱区强透土层中的地下水。
II	高寒区、干旱区弱透土层中的地下水；各气候区湿、很湿的弱透土层；湿润区直接临水；湿润区强透土层中的地下水。
III	各气候区稍湿的弱透土层；各气候区地下水位以上的强透土层。

注：1 本表引自《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）表 G.0.1；高寒区是指海拔高度≥3000m 的地区；干旱区是指海拔高度<3000m，干燥度指数 K≥1.5 的地区；湿润区是指干燥度指数 K<1.5 的地区；

2 强透土层是指碎石土和砂土，弱透土层是指粉土、粘土；

3 含水量<3%的土层，可视为干燥土层，不具有腐蚀环境条件；

- 4 当混凝土结构一边接触地面水或地下水，一边暴露在大气中，水可以通过渗透或毛细作用在暴露大气中的一边蒸发时，应定为I类；
- 5 当有地区经验时，环境类型可根据地区经验划分；当同一场地出现两种环境类型时，应根据具体情况由勘察单位确定。

现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》第 3.2.1 条环境类型的分类，表 3.2.1 介绍如下：

表 2 环境类别

环境类别	名 称	腐 蚀 机 理
I	一般环境	保护层混凝土碳化引起钢筋锈蚀
II	冻融环境	反复冻融导致混凝土损伤
III	海洋氯化物环境	氯盐引起钢筋锈蚀
IV	除冰盐等其他氯化物环境	氯盐引起钢筋锈蚀
V	化学腐蚀环境	硫酸盐等化学物质对混凝土的腐蚀

注：本表引自《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 表 3.2.1；一般环境系指无冻融、氯化物和其他化学腐蚀物质作用。

受环境类型影响，水和土的腐蚀性等级和作用类型评价，详见本标准第 4.0.1 条的条文说明。

**3.0.5** 关于裂缝宽度控制等级和表面裂缝最大宽度限值方面，国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010、《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019和《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008中的相关规定，存在着差异性；实践中选择哪一个标准才是最合理的，也存在着意见不一，有些还很难操作。

比如，现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008第3.5.3条中表3.5.3的注明①：水、土为强、中腐蚀性时，抗拔桩裂缝控制等级应提高一级。即钢筋混凝土桩的裂缝控制等级应由三级提高到二级，这时，基桩桩身的竖向配筋已经严重超筋，还很难达到裂缝控制的要求。

如果按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018第4.2.4条表4.2.4中规定：在强腐蚀性环境下，抗拔桩

的桩身裂缝控制等级为二级、裂缝宽度允许值分别为0.15mm；在中腐蚀性环境下，抗拔桩的、裂缝宽度允许值分别为0.20mm，这样的执行，虽然设计计算上较为方便、可操作性；但是，当地下室埋深较深 $\geq 7\text{m}$ 或层数 $\geq 2$ 层（即抗拔桩需要承担的抗拔力较大、甚至很大）时，若存在地下水文地质条件异常和施工质量可靠度较差等不利情况，则有些或全部抗拔桩的工作年限可能不能满足要求。这些抗拔力的提前失效，将引起较严重或者很严重的后果；为此本条制定是按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010（2015版）规定的裂缝等级确定：在强腐蚀性环境下，抗拔桩桩身裂缝控制等级为三级，而裂缝宽度的允许值采用折中的方法（如本条表3.0.5所示），对地下室埋深 $\geq 7\text{m}$ 、层数 $\geq 2$ 层的抗拔桩进行从严控制。其中根据抗拔桩的钢筋应力计算取值为钢筋抗拉强度设计值的30%时，对应的理论计算桩身裂缝宽度约为0.1mm的情况，增加的钢筋量并不多，是可操作的。

本次新增注4，是源自《福建省耐腐蚀混凝土应用技术标准》DBJ/T 13-253-2024第4.6.5条的规定。

为了方便应用中查阅对照，将现行有关规范中关于混凝土结构（桩）裂缝控制及其表面裂缝最大宽度的规定，分别载录介绍如下：

1 现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018第4.2.4条 设计使用年限为50年的钢筋混凝土和预应力混凝土结构构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度允许值，应符合表4.2.4的规定。

表 3 裂缝控制等级和最大裂缝宽度允许值

结构种类	强腐蚀		中腐蚀		弱腐蚀	
	裂缝控制等级	$\omega_{\text{lim}}$	裂缝控制等级	$\omega_{\text{lim}}$	裂缝控制等级	$\omega_{\text{lim}}$
钢筋混凝土结构	二级	0.15mm	三级	0.20mm	三级	0.20mm
预应力混凝土结构	一级	——	一级	——	二级	——

注：本表引自《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 表 4.2.4；裂缝控制等级的划分应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

2 现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010（2015 版）第 3.4.5 条的规定：结构构件应根据结构类型和本规范第 3.5.2 条规定的环境类别，按表 3.4.5 的规定选用不同的裂缝等级及最大裂缝宽度限值  $w_{lim}$ 。

表 4 结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值  $w_{lim}$  (mm)

环境类别	钢筋混凝土结构		预应力混凝土结构	
	裂缝控制等级	$\omega_{lim}(\text{mm})$	裂缝控制等级	$\omega_{lim}(\text{mm})$
一	三	0.3 (0.4)	三	0.20
二 a		0.2		0.10
二 b		0.2	二	—
三 a、三 b			一	—

注：① 本表引自《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010（2015 版）表 3.4.5；表中的规定适用于采用热轧钢筋的钢筋混凝土构件和采用预应力钢丝、钢绞线及热处理钢筋的预应力混凝土构件；当采用其他类别的钢丝或钢筋时，其裂缝控制要求可按专门标准确定；

② 对于处于四、五类环境下的结构构件，其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定；

③ 表中的最大裂缝宽度限值用于验算荷载作用引起的最大裂缝宽度。

3 现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 3.5.3 条的规定：桩身裂缝控制等级及最大裂缝宽度应根据环境类别和水、土介质腐蚀性等级按表 3.5.3 的规定选用。

表 5 桩身的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值

环境类别		钢筋混凝土桩		预应力混凝土桩	
		裂缝控制等级	$w_{lim}(\text{mm})$	裂缝控制等级	$w_{lim}(\text{mm})$
二	a	三	0.2 (0.3)	二	0
	b	三	0.2	二	0
三		三	0.2	一	0

注：① 本表引自《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 表 3.5.3；水、土为强、中腐蚀性时，



抗拔桩裂缝控制等级应提高一级；

- ② 二 a 类环境中，位于稳定地下水位以下的基桩，其最大裂缝宽度限值可采用括弧中的数值。

4 现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 第 3.5.4 条的规定：在荷载作用下配筋混凝土构件的表面裂缝最大宽度计算值不应超过表 3.5.4 中的限值。对裂缝宽度无特殊外观要求的，当保护层设计厚度超过 30mm 时，可将厚度取为 30mm 计算裂缝的最大宽度。

表 6 表面裂缝计算宽度限值(mm)

环境作用等级	钢筋混凝土构件	有粘结预应力混凝土构件
A	0.40	0.20
B	0.30	0.20 (0.15)
C	0.20	0.10
D	0.20	按二级裂缝控制或按部分预应力 A 类构件控制
E、F	0.15	按一级裂缝控制或按全预应力类构件控制

注：① 本表引自《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 表 3.5.4；括号中的宽度适用于采用钢丝或钢绞线的先张预应力构件；

- ② 裂缝控制等级为二级或一级时，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算裂缝宽度；部分预应力 A 类构件或全预应力构件按现行交通行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 计算裂缝宽度；

- ③ 有自防水要求的混凝土构件，其横向弯曲的表面裂缝计算宽度不应超过 0.20mm。

3.0.6 根据 2000 年的国务院令《建设工程勘察设计管理条例》(第 293 号)第二十九条的规定“建设工程勘察、设计文件中规定采用的新技术、新材料，可能影响建设工程质量和安全，又没有国家技术标准的，应当由国家认可的检测机构进行试验、论证，出具检测报告，并经国务院有关部门或者省、自治区、直辖市人民政府有关部门组织的建设工程技术专家委员会审定后，方可使用。”

## 4 岩土工程勘察要点

本章主要根据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 版、下同）和现行地方标准《岩土工程勘察标准》DBJ/T 13-84-2022 的规定为基础，略作补充和修订。

**4.0.1** 为了方便应用中查阅，现将现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）有关水和土的腐蚀性评价，分别载录介绍如下：

第 12.2.1 条 受环境类型影响，水和土对混凝土结构的腐蚀性评价，应符合表 12.2.1 的规定；环境类型的划分按本规范附录 G 执行。

表 7 按环境类型水和土对混凝土结构的腐蚀性评价

腐蚀等级	腐蚀介质	环境类型		
		I	II	III
微弱 中 强	硫酸盐含量 $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	<200 200~500 500~1500 >1500	<300 300~1500 1500~3000 >3000	<500 500~3000 3000~6000 >6000
微弱 中 强	镁盐含量 $\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	<1000 1000~2000 2000~3000 >3000	<2000 2000~3000 3000~4000 >4000	<3000 3000~3000 4000~5000 >5000
微弱 中 强	铵盐含量 $\text{NH}_4^+$ (mg/L)	<100 100~500 500~800 >800	<500 500~800 800~1000 >1000	<800 800~1000 1000~1500 >1500
微弱 中 强	苛性碱含量 $\text{OH}^-$ (mg/L)	<35000 35000~43000 43000~57000 >57000	<43000 43000~57000 57000~70000 >70000	<57000 57000~70000 70000~100000 >100000

续表 7

腐蚀等级	腐蚀介质	环境类型		
		I	II	III
微弱 中 强	总矿化度 (mg/L)	<10000 10000~20000 20000~50000 >50000	<20000 20000~50000 50000~60000 >60000	<50000 50000~60000 60000~70000 >70000

注：1 本表引自《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）表 12.2.1；表中的数据适用于有干湿交替作用的情况，I、II类腐蚀环境无干湿交替作用时，表中的硫酸盐含量数值应乘以 1.3 的系数；

2 表中的数值适用于水的腐蚀性评价，对土的腐蚀性评价，应乘以 1.5 的系数，单位以 mg/kg 表示；

3 表中苛性碱（OH<sup>-</sup>）的含量（mg/L），应为 NaOH、KOH 中的 OH<sup>-</sup>的含量（mg/L）；

4 环境类型划分的附录 G.0.1，详见本标准第 3.0.4 条的条文说明。

**第 12.2.2 条** 受地层渗透性影响，水和土对混凝土结构的腐蚀性评价，应符合表 12.2.2 的规定。

表 8 按地层渗透性水和土对混凝土结构的腐蚀性评价

腐蚀等级	pH 值		侵蚀性 CO <sub>2</sub> (mg/L)		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)
	A	B	A	B	A
微弱	>6.5	>5.0	<15	<30	>1.0
中	6.5~5.0	5.0~4.0	15~30	30~60	1.0~0.5
强	5.0~4.0	4.0~4.0	30~60	60~100	<0.5
	<4.0	<3.5	>60	— —	— —

注：1 本表引自《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）表 12.2.2；表中 A 是指直接临水或强透水层中的地下水，B 是指弱透水层中的地下水；强透水层是指碎石土和砂土，弱透水层是指粉土和粘性土；

2 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量是指水的矿化度低于 0.1g/L 的软水时，该类水质 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>的腐蚀性；

3 土的腐蚀性评价只考虑 pH 值指标；评价其腐蚀性时，A 是指强透水土层，B 是指弱透水土层。

第 12.2.4 条 水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价，应符合表 12.2.4 的规定。

表 9 水和土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性评价

腐蚀等级	水中的 Cl <sup>-</sup> 含量 (mg/L)		土中的 Cl <sup>-</sup> 含量 (mg/kg)	
	长期浸水	干湿交替	A	B
微	<10000	<100	<400	<250
弱	10000~20000	100~500	400~750	250~500
中	— —	500~5000	750~7500	500~5000
强	— —	>5000	>7500	>5000

注：本表引自《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）表 12.2.4；表中 A 是指地下水位以上的碎石土、砂土，稍湿的粉土，坚硬、硬塑的黏性土；B 是指湿、很湿的粉土，可塑、软塑、流塑的黏性土。

第 12.2.5 条 土对钢结构的腐蚀性评价，应符合表 12.2.5 的规定。

表 10 土对钢结构的腐蚀性评价

腐蚀等级	pH 值	氧化还原电位 (mV)	电阻率 (Ω.m)	极化电流密度 (mA/cm <sup>2</sup> )	质量损失 (g)
微	≥5.5	>400	>100	<0.02	<1
弱	5.5~4.5	400~200	100~50	0.02~0.05	1~2
中	4.5~3.5	200~100	50~50	0.05~0.20	1~3
强	<3.5	<100	<20	>0.20	>3

注：1 本表引自《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）表 12.2.5；土对钢结构的腐蚀性评价，取各指标中腐蚀性等级最高者；

2 现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 中，2009 版删除了 2001 版中水对钢结构、钢管道的腐蚀性评价内容；其中补充条文说明：2001 版中水对钢结构、钢管道的腐蚀性评价可理解为抽取地下水时流动水对钢结构、管道的腐蚀。

另说明：现行地方标准《岩土工程勘察标准》DBJ/T 13-84-2022 第 18.7.4 条中表 18.7.4 “按环境类型（II、III 类环境，福建省内不存在 I 类环境、缺少微腐蚀等级）水和土对混凝土的腐蚀性评价”的有关指标与现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001

表 12.2.1 规定的指标是一致的；第 18.7.5 条、18.7.6 条、18.7.7 条均系直接引用现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 中的表 12.2.2、表 12.2.4 和表 12.2.5 的内容；其中第 18.7.7 条表 18.7.8 中及现行国际标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 第 12.2.5 条表 12.2.5 中均只有“土对钢结构的腐蚀性评价”指标。

鉴于本标准内容包括钢桩、预制桩（接桩处连接配件、焊缝和钢端板等钢构件）、锚杆（端板、锚具）的防腐蚀设计等，其中涉及到外露的钢结构构件等需要进行防腐蚀设计，因此在腐蚀性场地岩土工程勘察报告中，除了需要按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 版）的规定提供相关的腐蚀性评价指标外，还可参考现行国家标准《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487-2008 附录 L 表 L.0.4 的规定，提供水对钢结构的腐蚀性评价指标。现将表 L.0.4 的内容介绍如下：

表 11 环境水对钢结构的腐蚀性判别标准

腐蚀性判定依据	腐蚀程度	界限指标
pH 值、 $(\text{Cl}+\text{SO}_4^{2-})$ 含量 (mg/L)	弱腐蚀	pH 值 3~11、 $(\text{Cl}+\text{SO}_4^{2-}) < 500$
	中等腐蚀	pH 值 3~11、 $(\text{Cl}+\text{SO}_4^{2-}) \geq 500$
	强腐蚀	pH 值 $< 3$ 、 $(\text{Cl}+\text{SO}_4^{2-})$ 任何浓度

- 注：1 本表引自《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487-2008 表 L.0.4；表中是指氯能自由溶入的环境水；
- 2 本表亦适用于钢管道；
- 3 如环境水的沉淀物中有褐色絮状物沉淀（铁）、悬浮物中有褐色生物膜、绿色丛块，或有硫化氢臭味，应做铁细菌、硫酸盐还原细菌的检查，查明有无细菌腐蚀。

**4.0.2** 水文地质参数需要通过探测和抽水等试验测定，主要包括地下水初见与稳定水位埋深、变化幅度（含受海水潮汐影响的变化幅度）和渗透系数、导水系数、释水系数、给水度、水位传导系数、压力传导系数、越流系数等；岩土工程勘察报告中需提供

哪些参数，按工程项目的设计、施工需要具体确定。其中地下水稳定水位埋深是指不受钻探作业影响的地下水自身真实埋深。

具有腐蚀性的低洼场地，当地勘工作完成后，采用回填后地面高程比原地面高程相差较大时，需注意地下水水位埋深高程可能发生变化，必要时可进行补充探测。

第2款中“提供…近3年~5年最高地下水位…”是现行地方标准《岩土工程勘察标准》DBJ/T 13-84-2022第16.1.1条第2款的内容，而“…或海水潮汐最大变化幅度”是本标准防腐蚀设计等需要而提出的要求，没有这个指标，设计将缺乏依据。

## 5 防腐蚀设计

### 5.1 一般规定

本次修订，主要对本章进行了较大深度、广度的修改，因国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046-2008 已修订为《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018，其中在强腐蚀性环境下，取消了原预应力混凝土管桩“不应采用”或“不宜采用”的要求，并增加了使用预应力高强混凝土空心桩的新要求，以及修改了原混凝土灌注桩“不应采用”为现行的“不宜采用”；另外，增加了行业新标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 等；为此需及时对原省标《桩基础与地下结构防腐蚀技术标准》DBJ/T 13-200-2014 进行修订，方可满足本省工程实践的需要。

本省沿海岸线附近的场地中，地下水与岩土层的腐蚀性在竖向分布上存在着差异性。如厦门新近（采用海底淤泥或泥砂进行吹填成陆）填海造地中，按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 的标准判定，其环境类型属Ⅱ类，地下水属 A 型水，地下水对混凝土结构具弱～中等腐蚀性；在长期浸水条件下，对钢筋混凝土结构中的钢筋无～弱腐蚀性，在干湿交替条件下，对钢筋混凝土结构中的钢筋具中～强腐蚀性；地下水对钢结构具中～强腐蚀性。如此分布特征，若仅干湿交替段为强腐蚀、其余区段为弱～中腐蚀，这时不宜采用灌注桩的规定，过于笼统，甚至有些不尽合理；有些场地确实无法实现预制桩的施工，若无技术上的突破、创新，将导致无合理桩型可选。为此，本标准规定允许有条件的情况下采用灌注桩，即采取一些可靠、有效的设计施工防腐蚀措施后，可采用灌注桩；如采用降低环境腐蚀性等级

或提高桩基础与地下结构自身抗腐蚀能力的措施。这样处置并没有降低现行国标等要求，是可行的。具体详见本标准第 5.4 节。

本次修订删除了“纪念性建筑、特别重要工程或环境复杂的桩基与地下结构”的防腐蚀有关内容，是基于本标准第 3.0.2 条的规定涵盖了所有的建设工程。

**5.1.1** 现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）和现行地方标准《岩土工程勘察标准》DBJ/T 13-84-2022 规定的腐蚀性等级划分为微～强四个等级。

本次修订删除了涉及工作年限 100 年的相关内容，新增本条第 2 项规定，是基于在征求意见稿之后、在送审稿前经进一步调研和咨询国内一些专门研究机构和专家后，做出的决定。理由：一是现行国家和行业防腐蚀标准里没有明确工作年限 100 年的相关防腐蚀指标与措施。二是需有系统性的、长期性的科研数据支撑和收集更多的工程实践案例（包括建立长期的监测、检测数据库等）。三是市场应用行为具有复杂性和不确定性，尤其是桩基工程质量出现问题时，不一定能够及时体现出来，等到体现出来后地下结构往往已经受损或破坏了，处理起来代价太大了；如预制桩：①生产中阻锈剂等防腐蚀措施未实施到位；②沉桩后出现桩端头开裂或爆裂破损、钢筋端头或接桩钢零件不该外露的出现外露；③接桩处在受拉或受弯情况下出现结构缝；④机械连接配件安装后不在一个平面上（存在高差），导致没有吻合对接（存在契型缝隙）；⑤电焊连接的质量不满足要求等。这些问题在基桩质量检测与验收无法及时发现时，这对桩基的防腐蚀和耐久性是不利严重的，尤其单桩、双桩、三桩承台后果难以预控。为此需要更多工程经验积累和科学试验验证，方可制定出更合理、更科学的适用 100 年工作年限的防腐蚀参数、指标。

**5.1.2** 涉及钢筋的质量标准有国家现行标准《钢筋混凝土用钢》GB/T 1499-2017、《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065-2016、《钢筋混凝土用耐蚀钢筋》GB/T 33953-2017、《环氧树脂涂层钢



筋》JG/T 502-2016 和现行地方标准《耐蚀钢筋混凝土结构应用标准》DBJ/T 13-342-2020 等。

**5.1.3** 涉及的防腐蚀材料(含防腐蚀外加剂)的质量标准,包括现行国家标准《建筑石油沥青》GB/T 494-2010、《工业硅酸钠》(水玻璃标准)GB/T 4209-2022、《混凝土外加剂》GB 8076-2009、《双酚 A 型环氧树脂》GB/T 13657-2011 和《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736-2017、《混凝土防腐阻锈剂》GB/T 31296-2014、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119-2013 等;还有现行建材行业标准《混凝土抗侵蚀防腐剂》JC/T 1011-2021、建筑行业标准《建筑用钢结构防腐涂料》JG/T 224-2007、《钢筋阻锈剂使用技术标准》JGJ/T 192-2009、交通行业标准《钢筋混凝土阻锈剂》JT/T 537-2018、化工行业标准《高氯化聚乙烯防腐涂料》HG/T 4338-2012 和现行地方标准《混凝土外加剂应用技术标准》DBJ/T 13-77-2018 等。

**5.1.4** 在本标准 2014 版里仅对预制桩有这个要求,这次修订将其前置到这里,是基于这条的内容规定适用于所有桩基础。调整承台埋深或合理配桩,使桩身或接桩避开干湿交替区段或进入无腐蚀性土层或腐蚀性等级相对较低的土层中,则可降低桩身或接头的防腐蚀设计等级。

**5.1.5** 因建筑防水层具有老化失效期限,其耐久年限远低于建筑物的使用年限;另外,防水层的施工质量保证率难以达到 100%,因此不宜考虑其阻隔防腐的作用。

**5.1.6** 这一条是新增加的规定。基坑围护工程是指为保护地下主体结构施工和基坑周边环境的安全,对基坑采用的临时性支挡(围护)、加固、保护与地下水控制的措施;根据工程的需要,有时局部设计为永久性的措施。

在城市轨道交通工程的建设实践中,往往存在在腐蚀性环境中,地铁车站的深基坑围护结构(如地下连续墙结构或排桩+桩间旋喷桩组合结构)参与地下主体结构的抗浮贡献,但是有些施工

图或施工方案里没有充分明确体现，忽略了深基坑围护结构自身也要具有防腐蚀能力，方可满足与地下主体结构同等的工作年限；因此本条规定的意思是：在腐蚀性环境下，无论设计是否考虑深基坑围护结构需要分担防腐蚀的作用，当考虑了其参与地下主体结构的抗浮贡献或兼做地下室永久构件时，即深基坑围护结构也是永久性结构，就要采取相应的防腐蚀措施。

**5.1.7** 涉及杂散电流的干扰，是参照现行行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 的规定。根据国内有关工程技术研究表明，受杂散电流干扰影响地下结构构件内的钢筋将受到不同程度的腐蚀，因此在桩基础与地下结构防腐蚀设计中，需要考虑杂散电流干扰影响时，可按现行电力行业标准《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》DL/T 5394-2021 的有关规定执行。

现行电力行业标准《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》DL/T 5394-2021 中有关杂散电流对桩基础与地下结构腐蚀干扰影响的内容简介如下：

**2.1.16 杂散电流：**从规定的正常电路中流失而在非指定回路中流动的电流。

**2.1.17 杂散电流腐蚀：**由杂散电流作用引起的金属电解腐蚀。

**2.1.18 干扰：**由于杂散电流作用或感应电流作用等对被保护体系产生的有害影响。

**4.0.1** 土壤对埋地钢质管道及接地网的腐蚀性评价，应符合表 4.0.1 的规定。表 4.0.1 介绍如下：

表 12 土壤对埋地钢质管道及接地网的腐蚀性评价指标

腐蚀等级	pH	氧化还原电位 (mV)	电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )	极化电流密度 (mA/cm <sup>2</sup> )	质量损失 (g)	含盐量 (质量分数) (%)
微	7.5~8.5	>400	>100	<0.02	<1	<0.01
弱	6.0~7.5	200~400	50~100	0.02~0.05	1~2	0.01~0.05

续表 12

腐蚀等级	pH	氧化还原电位 (mV)	电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )	极化电流密度 (mA/cm)	质量损失 (g)	含盐量 (质量分数) (%)
中	3.0~6.0	100~200	20~50	0.05~0.20	2~3	0.05~0.75
强	<3.0 或 >8.5	<100	<20	>0.20	>3	>0.75

注：本表引自《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》 DL/T 5394-2021 表 4.0.1；土壤对地下金属构筑物的腐蚀性评价，取各指标中的腐蚀等级最高者。

**4.0.2** 水对埋地钢质管道及接地网的腐蚀性评价，应符合表 4.0.2 的规定。表 4.0.2 介绍如下：

表 13 水对埋地钢质管道及接地网的腐蚀性评价指标

腐蚀等级	pH 和 $(Cl^-+SO_4^{2-})$ 的含量 (mg/L)
弱	pH=3~11, 和 $(Cl^-+SO_4^{2-}) < 500$
中	pH=3~11, 和 $(Cl^-+SO_4^{2-}) \geq 500$
强	pH<3, 和 $(Cl^-+SO_4^{2-})$ 为任何浓度

注：1 本表引自《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》 DL/T 5394-2021 表 4.0.2；表中系指氧能自由溶入的水和地下水，输送介质仅包括淡水和再生水。

2 如水的沉淀物中有铁质褐色絮状物沉淀、悬浮物中有褐色生物膜、绿色丛块，或有硫化氢臭，应做铁细菌、硫酸盐还原细菌的检查，查明有无细菌腐蚀。

**4.0.6** 直流干扰的“表 4.0.6 直流干扰程度评价指标”介绍如下：

表 14 直流干扰程度评价指标

杂散电流干扰程度	小	中	大
土壤表面电位梯度 (mA/cm)	<0.5	0.5~5.0	>5.0

注：本表引自《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》 DL/T 5394-2021 表 4.0.6。

**4.0.7** 交流电干扰的“表 4.0.7 埋地钢质管道及接地网交流电干扰判定指标”介绍如下：

表 15 埋地钢质管道及接地网交流电干扰判定指标

土壤类别	严重性程度（级别）		
	弱	中	强
	判断指标（V）		
碱性土壤	<10	10~20	>20
中性土壤	<8	8~15	>15
酸性土壤	<6	6~10	>10

注：本表引自《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》DL/T 5394-2021 表 4.0.7。

## 5.2 混凝土及原材料

### 5.2.1 关于水泥品种的选择

1 矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥，早期强度低，干缩性大，有泌水现象；若添加减水剂，降低水灰比，水泥性质及其混凝土的耐久性有所改善；但这两类水泥碱度较低，钢筋钝化膜较容易被腐蚀介质侵蚀。另外，在强、中腐蚀性环境中，这两类水泥本身含有掺合料，掺合料含量比例通常在水泥合格证上未体现，且不同厂家或不同批次都存在差异；特别是矿渣硅酸盐水泥，由于矿渣较水泥熟料难磨细，这可能使得实际掺量是增加的。因此，在中、强腐蚀环境下，这两种水泥不能使用。

2 由于高铝水泥含有较多不耐碱的酸性氧化物，所以不得用于在碱液作用下的环境。同理，在碱液作用下的环境也不得采用以铝酸盐成分为主的膨胀水泥，并不得采用铝酸盐类膨胀剂。

3 经调查国内有关研究成果表明：在硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥的熟料中，当铝酸三钙含量高达 9%~17%时，对于大掺量掺合料、低水胶比配制的混凝土不会产生硫酸盐型化学腐蚀破坏。在腐蚀介质为 Cl<sup>-</sup>时，水泥中的铝酸三钙水化物可与渗入混凝土中的 Cl<sup>-</sup>结合，反而推迟了钢筋周围水泥石空隙液的 Cl<sup>-</sup>浓度达到活

化钢筋的临界浓度所需的时间；因此，适当提高硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥熟料中的铝酸三钙，对保护钢筋是有利的。

#### 4 本款涉及的“掺和料混凝土”等术语介绍：

根据交通行业标准《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTG/T B 07-01-2006 第 2.0.11 条“大掺量矿物掺和料混凝土”的定义：是指混凝土胶凝材料总量中单掺粉煤灰量 $\geq 30\%$ ，单掺磨细粒化高炉矿渣（简称矿渣）量 $\geq 50\%$ ，或各种矿物掺和料掺量之和 $\geq 50\%$ 。

根据现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 第 2.1.21 条“矿物掺和料混凝土”的定义：“胶凝材料中含有不小于 30%的矿物掺和料（含水泥中的混合材），需要采取较低的水胶比和特殊施工措施的混凝土”。

根据现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 第 2.1.19 条“胶凝材料”的定义：混凝土原材料中具有胶结作用的水泥和粉煤灰、硅灰、矿渣粉等矿物掺和料的总称。

5 根据《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476，在氯化物环境下，不宜使用抗硫酸盐水泥。当同时存在  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$  腐蚀介质的环境中，不建议使用抗硫酸盐水泥，建议采用多功能的阻锈剂；多功能阻锈剂既具有阻止或减缓混凝土中钢筋锈蚀的作用，又有提高混凝土的抗硫酸盐侵蚀能力。

5.2.2 混凝土掺合料使用的规定可参照国家现行标准《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011、《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003-2014 和《粉煤灰在混凝土和砂浆中应用技术标准》JGJ 28-1986 等。

1 在强、中腐蚀性环境中，硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥掺入掺合料的混凝土，可以改善混凝土的微孔结构，降低混凝土渗透性，从而提高混凝土耐久性。

在  $\text{SO}_4^{2-}$  腐蚀介质环境中，若采用的粉煤灰含钙越高，也会生成石膏，则混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能就越差，因此，在硫酸盐

为强腐蚀的条件下，掺合料不宜采用高钙粉煤灰。

在  $\text{SO}_4^{2-}$  腐蚀介质环境中，石灰石粉将与  $\text{SO}_4^{2-}$  发生化学反应，因此，水泥和掺合料不得采用石灰石粉。

水胶比较高，混凝土空隙较多，掺入掺合料对改善混凝土的微孔结构效果差。

2 同本标准第 5.2.1 条第 1 款条文说明。

**5.2.3** 本条是根据国家现行标准《混凝土外加剂》GB 8076-2009、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119-2013、《钢筋阻锈剂使用技术标准》JGJ/T 192-2009 和现行地方标准《混凝土外加剂应用技术标准》DBJ/T 13-77-2018 的规定而制定。

第 1 款中，一是考虑有些早强剂中含有重铬酸盐、亚硝酸盐，在洗刷混凝土搅拌机时，排出的污水将污染环境或危害人体健康；二是考虑以氯盐为主要成份的早强剂用于  $\text{Cl}^-$  腐蚀环境下的钢筋混凝土中，尚会加剧钢筋被腐蚀的程度；这些应加以限制。

第 4 款是根据《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 的规定，原因同本标准第 5.2.1 条第 2 款条文说明。在碱液作用下，混凝土掺入铝酸盐、硫酸盐、钙质、镁质膨胀剂，其内部（自身）产生膨胀，如硫酸盐侵入可产生叠加膨胀，因为混凝土只能抵抗一定量的膨胀产生的应力，超过混凝土本身所具有的能力，结构就破坏。

**5.2.4** 本条是根据现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008-2021 和《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011 的规定而制定。

第 1 款中的依据有：现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008-2021 第 3.1.2 条规定：“1 …对于有抗渗、抗冻、抗腐蚀、耐磨或其他特殊要求的混凝土，砂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%；高强度混凝土用砂的含泥量和泥块含量分别不应大于 2.0% 和 0.5%；机制砂…控制石粉含量。”第 3.1.3 条规定：“…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%和 0.5%，坚固性指标不应大于 8%；高强度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%。”

第 4 款中对海砂规定的依据有：现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008-2021 第 3.1.2 条第 3 款规定：“3 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%。”现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011 第 2.3.3 条第 4 款“4 钢筋混凝土和预应力混凝土用砂的氯离子含量分别不应大于 0.06%和 0.02%”和第 6 款“6 混凝土用海砂氯离子含量不应大于 0.03%，…海砂不得用于预应力钢筋混凝土”；现行行业标准《海砂混凝土应用技术规范》JGJ 206-2010 第 3.0.2 条“海砂混凝土不得用于预应力混凝土结构”等。另外，混凝土与砂浆中使用经净化处理的海砂，其中  $\text{Cl}^-$  含量的控制，在现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011 和《建设用砂》GB/T 14684-2022 中均有规定，这里不再阐述。

经调研有些工地对海砂使用前仅采用淡水冲（喷）淋处理，没有使用专业设备进行洗筛，这种做法是不规范的、不能满足规定要求。为此，结合了现行地方标准《预拌混凝土绿色生产管理规定》DBJ/T 13-151-2012 的有关规定，从严制定了本条。

**5.2.5** 现行国家标准《混凝土结构通用标准》GB 55008-2021 第 3.1.5 条规定“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；当混凝土骨料具有碱活性时，还应控制碱含量；地表水、地下水、再生水的首次使用前应检测放射性。”因本省地处沿海，所以强调在临海地区的有些地下水可能受到海水等污染，应引起重视。

**5.2.6** 在  $\text{Cl}^-$  的腐蚀介质中的混凝土：

1 低水胶比时，采用较大矿物掺合料的混凝土，抗  $\text{Cl}^-$  侵入性能要好于单独使用硅酸盐水泥的混凝土。

2 本款是根据现行行业标准《钢筋混凝土阻锈剂耐蚀应用技术

术规范》GB/T33803-2017 和《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192-2009 的有关规定和工程实践的经验制定。钢筋阻锈剂通过对钢筋的直接作用，抑制或延缓钢筋锈蚀产生，保护混凝土中的钢筋；钢筋阻锈剂不是起到降低  $\text{Cl}^-$  通过保护层渗透到钢筋表面的作用，而是提高钢筋发生锈蚀的临界  $\text{Cl}^-$  浓度， $\text{Cl}^-$  对混凝土和钢筋都有侵蚀作用，但主要是破坏钢筋表面的钝化膜，掺入钢筋阻锈剂是使用最为广泛和行之有效的一种方法。亚硝酸盐类阻锈剂，其亚硝酸根离子与钢筋表面  $\text{Cl}^-$  的摩尔比大于 0.4 时，具有非常显著的阻锈效果；但亚硝酸盐类阻锈剂具有一定的毒性，应考虑对环保和施工操作人员安全的影响，不能盲目使用。表 5.2.6-1 规定阻锈剂掺量参照《钢筋混凝土阻锈剂耐蚀应用技术标准》GB/T 33803-2017、《钢筋阻锈剂应用技术标准》YB/T 9231-2009，按照海洋氯化物环境土中区的推荐用量。

表 5.2.6-1 中阻锈剂推荐掺量为设计工作年限为 50 年的数值，当设计工作年限为 100 年的、建议取值不小于表中数值的 2 倍。

4 本款是根据现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T50476-2019、《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T50046-2018 等有关规定、并结合本省的工程实际情况而修订，本次修订删除了旧表格中的  $\text{Cl}^-$  扩散系数  $D_{\text{RCM}}$ （龄期 84d） $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  的内容，移到第 5.3、5.4 和 5.8 节中分别将  $\text{Cl}^-$  迁移系数（扩散系数）指标做出规定，并采用 28d 的指标，是保持与国标一致，避免报告时间太长了、有些会影响结构隐蔽或验收的时间。增加了弱腐蚀条件下电通量指标（龄期 56d）库仑（C）指标等。

现将现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009 第 3.0.2 条“混凝土抗  $\text{Cl}^-$  渗透性能的等级划分”表 3.0.2-1 和表 3.0.2-2 介绍如下。



表 16 混凝土抗 Cl<sup>-</sup> 渗透性能的等级划分 (RCM 法)

等 级	RCM-I	RCM-II	RCM-III	RCM-IV	RCM-V
Cl <sup>-</sup> 迁移系数 D <sub>RCM</sub> (RCM 法) ( $\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ )	D <sub>RCM</sub> $\geq$ 4.5	$3.5 \leq D_{\text{RCM}} < 4.5$	$2.5 \leq D_{\text{RCM}} < 3.5$	$1.5 \leq D_{\text{RCM}} < 2.5$	D <sub>RCM</sub> < 1.5

表 17 混凝土抗 Cl<sup>-</sup> 渗透性能的等级划分 (电通量法)

等 级	Q-I	Q-II	Q-III	Q-IV	Q-V
电通量 Q <sub>s</sub> (C)	Q <sub>s</sub> $\geq$ 4000	$2000 \leq Q_s < 4000$	$1000 \leq Q_s < 2000$	$500 \leq Q_s < 1000$	Q <sub>s</sub> < 500

注: ① 上述两个表引自《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009 表 3.0.2-1 和表 3.0.2-2;

RCM 法测试混凝土龄期为 84d;

② 以硅酸盐水泥为主要胶凝材料的混凝土, 电通量法的测试龄期为 28d; 当掺合料超过胶凝材料用量的 50%时, 电通量法的测试龄期可为 56d;

③ 混凝土抗 Cl<sup>-</sup> 渗透性能的等级代号与耐久性评价关系 (推荐) 如下:

等级代号	I	II	III	IV	V
混凝土耐久性评价	差	较差	较好	好	很好

不同测试龄期测得的 Cl<sup>-</sup> 迁移系数的指标值应该是不同的,

《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009 并没有对不同测试龄期给出 Cl<sup>-</sup> 迁移系数不同的指标值, 本标准按 28d 测试龄期的指标值是参照《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 确定的。

### 5.2.7 在 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 腐蚀介质中的混凝土:

有些标准或规范等采用“抗压强度耐蚀系数”来衡量混凝土抗 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 腐蚀性的指标, 其中“抗压强度耐蚀系数”: 是指经过指定的干湿反复次数 (如 KS90 代表 90 次) 后的混凝土强度与标准强度比值, 相当于抗压强度的折减系数。

1 在 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 腐蚀介质中, 采用硅酸盐水泥或高抗硫酸盐水泥或者掺入抗硫酸盐外加剂, 能有效提高混凝土抗硫酸盐腐蚀的能力; 根据《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 的规

定，在腐蚀性环境使用抗硫酸盐水泥或高抗硫酸盐水泥时，宜掺用矿物掺合料。

2 在  $\text{SO}_4^{2-}$  腐蚀介质环境中，膨胀剂类型和矿物掺合料的高钙粉煤灰、石灰石粉，有些是受限使用的，因此应注意排除；

3 在  $\text{SO}_4^{2-}$  腐蚀介质环境中，一侧临土或水（与腐蚀介质接触），另一侧暴露在大气中，例如：地下室底板、外墙、顶板，这种干湿交替状态，混凝土耐腐蚀性较差，因此，当  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度较高时，临土侧的混凝土表面可采取外涂方式。

4 现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009 第 3.0.1 条，按每隔 30 次干湿循环分级，KS30~KS150，其中：KS30 为最低限要求，KS150 具有优异的抗硫酸盐侵蚀性能。

最新一些国家标准和行业标准等增加了“抗压强度耐蚀系数”这一指标，“抗压强度耐蚀系数”：是指经过指定的干湿反复次数（如 KS90 代表 90 次）后的混凝土强度与标准强度比值，相当于抗压强度的折减系数，本次修订标准增加了这项指标要求。

本次修订删除了原规程表 5.2.7，将抗硫酸等级和耐蚀系数这两项指标的要求在其它章节分别提出；因其中的数据主要是根据现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009 的规定而制定。

现将现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009 第 3.0.1 条“混凝土抗水渗透性能、抗硫酸盐侵蚀性能的等级划分”表 3.0.1（部分内容）介绍如下。

表 18 混凝土抗水渗透性能和抗硫酸盐侵蚀性能的等级划分

抗渗等级	P4	P6	P8	P10	P12	>P12
抗硫酸盐等级	KS30	KS60	KS90	KS120	KS150	>KS150

注：本表引自《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193-2009 表3.0.1（部分内容）。

5.2.9 本条表5.2.9-1、表5.2.9-2、表5.2.9-3和表5.2.9-4是在2014版的表5.2.9基础上，按施工或制作工艺条件不同进行分类制定；增

加了灌注桩和地下结构预制构件混凝土的表格，以适应地下建筑结构装配式施工发展的需要，并将预制桩中涉及到的混凝土的基本要求也纳入其中，归类统一，方便比对与使用。其中混凝土基本要求的各指标主要参考现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019和现行地方标准《福建省耐腐蚀混凝土应用技术标准》DBJ/T 13-253的规定，并根据本省工程实践经验进行修订。

#### 一 关于灌注桩钢筋最小保护层厚度的说明

本标准在弱、中腐蚀性环境中最小保护层厚度与国家现行标准（最大值）等相比是一致的，只有符合本标准第 5.4.2 条规定，在强腐蚀性环境中采用灌注桩时，才增加了最小保护层厚度。

灌注桩施工中存在的特点：一是钢筋笼下孔安装后，因自身重量会出现竖向的弯曲变形，保护层垫块容易嵌入（插入）侧壁或侧壁挤土回弹（引发塌孔）等，都会出现局部保护层厚度不足，甚至无保护层，这对于沉管挤土和泥浆护壁的灌注桩尤为突出。所以灌注桩钢筋保护层厚度控制存在不确定因素，有难度。因此规定值比地下结构的保护层厚度略大一点是必要的。

注 6（针对本标准表 5.2.9-1 的规定）“当场地下卧土层中存在淤泥层时，采用挤土工艺成桩的灌注桩（如沉管灌注桩），保护层厚度应增加 10mm”的理由及案例介绍如下：

当场地存在淤泥或淤泥质土层时，采用挤土沉桩往往容易出现缩颈现象，导致保护层厚度不足，甚至局部无保护层。在厦门类似的场地中，沉管灌注桩成桩后经挖露检查，桩身直径在淤泥土层区段普遍缩径 20mm~40mm；而素混凝土桩的缩径更明显（缩径 50mm~90mm）。如下图（图 1）：采用  $\Phi 400$  活瓣桩尖沉管成桩（断面形状近于方形）的素混凝土桩，上段吹填区成桩直径达 500mm×500mm~600mm×600mm，少量 390mm×400mm；但在淤泥区段出现缩径为 310mm×350mm（这些数据来源于主编于 2008 年 3 月的立项课题《吹填土地基应用 CFG 桩复合地基关

键技术研究》的研究成果，厦门市建设局项目编号为 2008-1-10)。



图1 沉管灌注桩穿越淤泥缩径明显

## 二 关于地下结构混凝土基本要求中有关指标的说明

因耐久性或耐腐的标准只按环境条件进行环境作用等级分级，在相同环境作用条件对腐蚀性等级没有进一步分级，使用上存在不合理。如，在本省气候较炎热或昼夜温差较大的情况下，当地下建筑结构面积大、结构较长较宽（超过40m、甚至超过100m），不宜设置永久的伸缩缝时，若混凝土采用C40以上的地下室墙、板出现开裂现象比较普遍、甚至较严重，所以工程实践中对于环境场地腐蚀性等级中等及以下的结构，往往是“不宜采用强度太高的混凝土”，避免因开裂严重而降低了防腐蚀能力或影响耐久性功能。为此在中、弱腐蚀环境下，本标准适当的降低了混凝土强度等级指标和提高了最大水胶比指标。

与现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019（以下简称国标）表6.3.2“氯化物环境中混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度”中Ⅲ-C级及表7.3.2“化学腐蚀环境下混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度”中V-D级和现行地方标准《福建省耐腐蚀混凝土应用技术标准》DBJ-T 13-253-2024（以下

简称省标)表A.0.1“海洋氯化物环境下耐腐蚀混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度”中III-C级及表A.0.2“硫酸盐腐蚀环境下耐腐蚀混凝土材料与钢筋的保护层最小厚度”中V-D级的有关数据进行比较,在强腐蚀环境下,本标准的混凝土强度等级指标与国标和省标是一致的、钢筋的保护层最小厚度指标高于国标和省标、最大水胶比指标低于国标和省标;而在中、弱腐蚀环境下,本标准的混凝土强度等级指标低于国标和省标、最大水胶比和钢筋的保护层最小厚度的指标均高于国标和地标。

采用大掺量矿物掺合料的混凝土,可以采用混凝土60天强度作为配合比设计。尤其是混凝土强度高于C40时,较合理。

三 涉及工作年限100年的混凝土有关指标说明

涉及工作年限100年的混凝土可参照现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019表6.3.2及表7.3.2和现行地方标准《福建省耐腐蚀混凝土应用技术标准》DBJ-T 13-253-2024表A.0.1及表A.0.2的有关数据。

本条各表中混凝土基本要求的指标数据来源介绍如下:

1 《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021第5.2.12条的规定“预制桩的桩身混凝土强度等级不应低于C30;预制桩的纵向受力钢筋混凝土保护层厚度不应小于45mm;预应力混凝土桩钢筋混凝土保护层厚度不应小于35mm……”。

2 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018第4.9.4条“桩身混凝土的基本要求应符合表4.9.4的规定”:

表19 桩身混凝土的基本要求

项目 桩型	最低强度等级	最大水胶比	抗渗等级	钢筋最小保护层厚度 (mm)	胶凝材料中Cl <sup>-</sup> 含量 (%)	碱含量 (kg/m <sup>3</sup> )	胶凝材料最少用量 (kg/m <sup>3</sup> )
预应力高强混凝土管桩	C80	0.35	≥P12	35	≤0.06	≤3.0	430
预应力混凝土管桩	C60	0.40	≥P12	35	≤0.06	≤3.0	400

续表 19

项目 桩型	最低强度等级	最大水胶比	抗渗等级	钢筋最小保护层厚度 (mm)	胶凝材料中Cl <sup>-</sup> 含量 (%)	碱含量 (kg/m <sup>3</sup> )	胶凝材料最少用量 (kg/m <sup>3</sup> )
预制钢筋混凝土桩	C40	0.40	≥P10	45	≤0.08	≤3.0	320
混凝土灌注桩	C30	0.50	≥P8	55	≤0.08	≤3.0	300

注：本表引自《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 表 4.9.4；表中所列基本要求为设计使用年限为 50 年的技术指标。

3 《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021第4.2.3条 的表4.2.3防水混凝土最低抗渗等级的规定：

表20 明挖法地下工程防水混凝土的最低抗渗等级

防水等级	市政工程现浇混凝土结构	建筑工程现浇混凝土结构	装配式衬砌
一级	P8	P8	P10
二级	P6	P8	P10
三级	P6	P6	P8

注：本表引自《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021 表 4.2.3；第 4.2.1 条规定防水做法：一级不应少于 3 道、二级不应少于 2 道、三级不应少于 1 道。

4 水胶比：根据现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019第2.1.20条“水胶比”的定义：单位体积混凝土拌合物中用水量与胶凝材料总量的质量比；根据现行行业标准《普通混凝土配合比设计标准》JGJ 55-2011第2.1.13条“水胶比”的定义：混凝土中用水量与胶凝材料用量的质量比。

### 5 混凝土最大氯离子含量

现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010的规定第3.5.5条规定：“一类环境中、设计使用年限为100年的混凝土结构应符合下列规定：…2 混凝土中的最大氯离子含量为0.06%；”《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019第B.2.1条规定：

“…设计使用年限50年以上的钢筋混凝土构件、其混凝土氯离子含量在各种环境下均不应超过0.08%。”另外，涉及混凝土用砂的氯离子含量的有关规定，详见本标准第5.2.4条的条文说明。

**5.2.10** 本条是新增内容，源自现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 第 7.4 节“金属”、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 第 3.4 节“材料要求Ⅱ钢筋”和《福建省耐腐蚀混凝土应用技术标准》DBJ-T 13-253-2024 第 4.6 节“钢筋”等。氯离子是少数几种可以穿透不锈钢表面铬氧化膜的离子，所以不锈钢过海水会生锈。镀锌钢材在酸性土质中易产生化学腐蚀，发生“氢脆”现象，因此不能采用。

### 5.3 预制桩防腐蚀设计

**5.3.1** 预制桩的结构设计现行的标准有：国家现行标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476-2023、《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018、《预应力离心混凝土空心方桩》JC/T 2029-2010、《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723-2022、《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197-2018、《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406-2017 等。

因现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 涉及桩型的规定变化较大，预制桩的应用比 2008 版有较大程度放宽，即强腐蚀条件下，从“不应或不宜采用管桩”修订为无定性限制，在满足防护要求后即可采用。因此本次修订对预制桩防腐蚀规定做了较大的调整，删除了 2014 版里涉及管桩使用措施规定的有关内容，重新编制了新的条文：新编的内容逻辑性更合理、归类更全面、系统性更完整和可操作性更强。

**5.3.2** 本条预制桩的型号与现行国家标准和行业标准的型号一致：现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476-2023 有 A、AB、B、C 型号（与图集《先张法预应力混凝土管桩》23 G409

一致)，《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197-2018 有 A、AB、B 型号（与图集《预应力混凝土空心方桩》08 SG360 一致），《预应力混凝土实心方桩》JC/T 2723-2022 有 A、B 型号。另外，现行国标图集《预制混凝土方桩》20 G361 中普通型实心方桩按 A、B、C 分组。针对市场上有些企业标准或团体标准中桩型的划分与国家或行业标准不一致，为了避免使用时混乱或擅自降低防腐标准，因此要求其桩型选择需经专家论证。

本条增加了空心方桩的选型要求，弥补了有关现行国标等不足和方便使用；规定空心桩的壁厚不应小于 110mm，比《预应力混凝土空心方桩》JGT 197-2018 第 3.2.2 条表 1 中空心方桩的最小壁厚类型（90、95 和 100mm）的要求高，是根据防腐的需要确定的，前者是无防腐的最小壁厚。现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476-2023 中  $\phi 500$  管桩壁厚由 125 改为 120，经了解原因是管桩  $\phi 500-125$  在生产制作过程中灌注混凝土时填充率达到 76%，混凝土会溢出来，导致合模困难，出现合缝漏浆质量问题等，采用壁厚 120 后可克服这些问题。

表 5.3.2 备注 2 是参考了《预应力混凝土空心方桩》JG/T 197-2018 第 6.5.2 条“空心桩接头处极限弯矩应不低于桩身极限弯矩”的规定，并扩大到所有预制桩。备注 3 是基于无论空心桩或实心桩穿越坚硬复杂地层时，很容易出现桩端或桩身结构的裂缝，造成耐久性和防腐性能降低；这里指出设计宜采取措施，是避免施工中的纠纷。

**5.3.3** 本条是修订新编的内容，与现行国家标准《工业建筑防腐设计标准》GB/T 50046-2018 第 4.9.5 条的有关规定保持一致。

现行国家标准《工业建筑防腐设计标准》GB/T 50046-2018 第 4.9.5 条的规定，包括预制桩与现浇混凝土桩的适用范围及其桩身混凝土防腐的防护要求，与 2008 版相比有所变化，为了方便查阅和比对，现将其中表 4.9.5 的内容介绍如下：



表 21 桩身混凝土的防护要求

桩型	保护措施和要求		腐蚀性介质和强度等级								
			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			Cl <sup>-</sup>			pH 值		
			强	中	弱	强	中	弱	强	中	弱
预应力高强混凝土管桩	1.提高桩身混凝土耐腐蚀性能	抗硫酸盐等级	KS150 ≥0.85	KS120 ≥0.85	可不防护	—	—	可不防护	—	—	可不防护
		28d 龄期氯离子迁移系数 D <sub>RCM</sub> (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /S)	—	—		≤ 40	≤ 70		—	—	
	2.增加混凝土腐蚀裕量 (mm)		≥20	≥10		—	—		≥20	≥10	
		3.表明涂刷防腐涂层厚度 (μm)	≥500	≥300		≥500	≥300		≥500	≥300	
预应力混凝土管桩	1.提高桩身混凝土耐腐蚀性能	抗硫酸盐等级	KS150 ≥0.85	KS120 ≥0.85	可不防护	—	—	可不防护	—	—	可不防护
		28d 龄期氯离子迁移系数 D <sub>RCM</sub> (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /S)	—	—		≤ 40	≤ 70		—	—	
	2.增加混凝土腐蚀裕量 (mm)		≥20	≥10		—	—		≥30	≥20	
		3.表明涂刷防腐涂层厚度 (μm)	≥500	≥300		≥500	≥300		≥500	≥300	
预制钢筋混凝土桩	1.提高桩身混凝土耐腐蚀性能	抗硫酸盐等级	KS150 ≥0.85	KS120 ≥0.80	可不防护	—	—	可不防护	—	—	可不防护
		28d 龄期氯离子迁移系数 D <sub>RCM</sub> (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /S)	—	—		≤ 50	≤ 80		—	—	
	2.增加混凝土腐蚀裕量 (mm)		≥30	≥20		—	—		≥30	≥20	
		3.表明涂刷防腐涂层厚度 (μm)	≥500	≥300		≥500	≥300		≥500	≥300	
混凝土灌注桩	1.提高桩身混凝土耐腐蚀性能	抗硫酸盐等级	不宜采用	KS90 ≥0.85	KS90 ≥0.80	不宜采用	—	—	不宜采用	—	—
		28d 龄期氯离子迁移系数 D <sub>RCM</sub> (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /S)		—	—		≤ 80	≤ 100		—	—
	2.增加混凝土腐蚀裕量 (mm)			≥40	≥20		—	—		≥40	≥20

- 注： 1 本表引自《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 表 4.9.5；适用设计使用年限为 50 年，桩基础所处的地下水、土的腐蚀性介质主要为  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$  环境。当土中含有酸性液体  $\text{pH} \leq 3.0$ 、环境水中  $\text{Cl}^- \geq 20000\text{mg/L}$  时，以及设计使用年限 100 年的防护措施应专门研究。
- 2 桩身混凝土材料可根据防腐蚀要求，采用抗硫酸盐硅酸盐水泥，也可在普通水泥中掺入抗硫酸盐的外加剂、掺入矿物掺合料、钢筋阻锈剂；当桩身混凝土采用或掺入耐腐蚀材料后已能满足防腐蚀性能要求时，可不再采用表中 2 和 3 的技术措施。
- 3 在预制桩和预应力混凝土管桩中，不得采用单一亚硝酸盐类的阻锈剂。
- 4 预应力高强混凝土管桩和预应力混凝土管桩应采用 AB 级及以上型号且最小壁厚应  $\geq 95\text{mm}$ 。
- 5 桩身涂刷防腐蚀涂层的长度，应大于污染土层的厚度。
- 6 当有两类以上介质同时作用时，应分别满足各自防护要求，但相同的防护措施可不选加。
- 7 表中“-”表示可不采用此指标控制。
- 8 氯离子迁移系数和抗硫酸盐等级检测试验方法按现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 执行。

根据国内有关 PHC 管桩腐蚀性与防腐蚀的研究结果，现介绍如下，供同行参考：

### 1 阻锈剂性能的研究成果

阻锈剂分阴极型和阳极型两种；阴极型阻锈剂工作原理：由于钢筋的电磁场较混凝土强，阻锈剂分子是朝向阴极（钢筋）方向，并以离子态吸附到钢筋表面，形成钝化致密的化学膜，且不会像铁锈一样容易溶于水而流失，从而抵抗  $\text{Cl}^-$  的渗透性，并抑制、阻止和延缓钢筋锈蚀的电化学反应过程，延长钢筋混凝土结构的使用寿命。与阳极型阻锈剂相比，阴极型阻锈剂对钢筋的保护性更好。

### 2 电阻率法、RCM 法测定混凝土耐久性的研究成果

混凝土电阻率法用于现场施工质量的控制以及已服役钢筋混凝土结构中钢筋腐蚀速度的估算。RCM 法测定混凝土  $\text{Cl}^-$  扩散系

数用来评估混凝土的配合比设计以及使用寿命的预测。混凝土的电阻率和  $\text{Cl}^-$  扩散系数都随养护龄期的增加而减小，而且两者之间有着良好的线性关系。 $\text{Cl}^-$  扩散系数越小，混凝土的耐久性越好。

### 3 PHC 管桩表面涂刷防腐材料后的研究结果

PHC 管桩表面涂刷硅烷后，对强度达 C80 的蒸压制备的管桩混凝土的耐久性能有明显的改良作用，硅烷渗透深度均达 1mm 以上，吸水率降低一个数量级，抗  $\text{Cl}^-$  渗透性能提高 74.63% 以上。

关于桩身混凝土防护要求方面有以下几个问题值得研讨：

1 根据《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 的规定，当桩混凝土不满足防腐蚀性能时，可以在桩表面涂刷防腐涂层。但实际情况很难保证地下水不渗入桩管内，实践中也常常发现压桩（如抱压沉桩）施工后桩端一段长度范围桩身会出现竖向裂缝，有些在吊装过程和土方开挖（受大型挖掘机碾压）后出现桩身水平或网纹裂缝，这些裂缝将导致地下水渗入桩管内，说明地下水可从桩管内侧壁腐蚀桩身，尤其是对混凝土有腐蚀作用的  $\text{SO}_4^{2-}$  和 pH 值腐蚀环境中，桩管内表面不涂刷防腐涂层是不合适；但是，目前从技术上来看，桩管内表涂刷有难度、不好操作；这个问题尚需继续交流和研究。

2 在  $\text{SO}_4^{2-}$  和 pH 值腐蚀环境中，《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 规定的另一种防腐蚀方式是预留混凝土腐蚀裕量，但对空心桩如何增加混凝土腐蚀裕量？该标准并没有具体说明，如果按腐蚀裕量同时加大桩管内、外侧混凝土保护层厚度，由于生产设备和生产工艺限制，难于实现。对于  $\text{SO}_4^{2-}$  和 pH 值腐蚀环境中，实践中可采用壁厚型桩的壁厚作为桩的最小壁厚，如在桩身承载力验算时，中等腐蚀性按壁厚降低一级考虑（如采用 PHC500-AB125 按 PHC500-AB100 取值设计），强腐蚀性除了壁厚降低一级外，管外表另涂刷防腐涂层，这种处理方式具有可操作性。但其合理性、科学性尚需继续交流和研究。

**5.3.4** 本条是在本标准 2014 版的基础上扩编单列一条，同时参考

了现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 和《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406-2017 的规定，以及结合工程实践中发现的一些质量问题等，进一步细化明确预制桩接桩连接的要求规定。有关预制桩的 5 个质量问题详见本标准第 5.1.1 条的条文说明。

**3** 本款是在本标准 2014 版规定的基础上结合工程实践和采纳各方面专家意见后进行综合修订的。因现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 第 4.9.6 条预制柱接桩的规定和《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406-2017 第 5.3.8 条（管桩接桩的规定）第 2 款“用作抗拔桩的管桩宜采用专门的机械连接接头或经专项设计的焊接接头。当在强腐蚀环境采用机械接头时，宜同时采用焊接连接”的规定，已无法满足本省预制桩接桩的应用发展需要。如在抗拔、水平承载、挤土效应较大和单桩接头数量 $\geq 3$  个等受拉或受弯特殊工况下，一是如何补救机械连接接头处出现结构缝的问题？二是当机械连接配件安装后不在一个平面上（存在高差），导致无法吻合对接（存在契型缝隙）时，需怎么补救？三是沉桩后出现桩端头开裂或爆裂破损、钢筋端头或接桩钢零件不该外露的出现外露等施工质量问题，是按废桩处理或采取补救措施？四是人工焊接接桩焊缝质量可靠性令人担忧，如何提高焊接接桩质量、有没有新技术设备能够有效解决这个问题？为此，制定了本款条文，说明如下：

一是明确在特殊工况下的接桩，机械连接和焊接连接均可使用，但均需增加辅助措施；这样规定既允许两种接桩技术的发展应用，同时也防患任何一种接桩技术中存在的极限性。

二是在机械连接接桩中，接桩处桩身纵向钢筋的机械连接与桩身整体机械连接两种型式的内在机理（概念）不同，所采取的防腐蚀措施也有所不同。本标准允许接桩新技术应用发展情况下，要防患新技术接桩中出现的新问题、确保接桩质量和耐久性；上述所列举的问题（结构缝、契缝对接、破损与非正常外露）可能

影响桩身受力的有效传递和耐久性，不容忽视，因此要求非焊接的辅助措施应通过专家论证。

三是允许在特殊工况下采用焊接接桩，是基于目前焊接接桩已有新的技术设备，既智能数控电焊机的应用，与人工焊接质量相比，其焊缝尺寸和质量可靠性大大提高。因智能数控电焊机的焊缝质量可靠有保障，则接桩外露焊缝的腐蚀量和需要的腐蚀裕量变得容易设计计算确定。但是强调本款特殊工况下不推荐采用人工焊接接桩，辅助性的焊缝除外。

四是采用自动焊接接桩的，要求并允许辅以帮条焊接措施，因为这项技术在省外已有开始应用，为了棒条焊需要在桩身预制时设置预埋件。目前这项技术主要应用于基坑工程支护桩，即用作抗弯和水平承载的桩，这对于本款特殊工况下的预制桩应用具有借鉴作用。帮条焊等辅助性的焊缝可采用人工焊接。

五是关于“挤土效应较大的沉桩”的说明：当桩数较多较密集或穿越淤泥层等情况下，容易出现较大的挤土效应，已成桩的接桩焊缝处易出现拉应力、甚至被拉裂和造成桩身混凝土开裂现象，从而降低基桩整体的耐久性和防腐蚀性能；另外，预制桩穿越较坚硬复杂的岩土层（含孤石、密实砂土、卵石、碎石、抛填石等）时，也可能桩侧存在较大不对称的受拉应力，这对桩身质量完整性是不利的，应引起重视或根据施工断桩等情况采取必要的防腐蚀预控措施。

六是关于“单桩接头数量 $\geq 3$ 个的接桩”的说明：因为实践中少量存在，很有必要有个规定；但现行国标、行标和省标均不做规定，因此本项要求填补了现行标准中的不足。

**4** 本款的规定多节桩拼接的单桩可采用差异性的接桩连接设计，可操作性强，避免浪费、符合绿色节能精神；

**5** 本款参照了现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 第 4.9.6 条第 3 款“…机械接头钢零件的混凝土保护层厚度不应小于纵向钢筋的混凝土保护层厚度”的规定；

6 本款是针对有些机械连接接桩处为了避免钢零件外露(或因接缝通透而易受腐蚀),确保上、下节桩身的胶结整体性和密封性采用了填缝材料(如环氧树脂等),当桩身受水平力或受弯矩作用时,接缝处的填缝材料就会处于受拉状态,因此要求其抗拉、耐久性能(含抗疲劳能力)要满足设计要求。

**5.3.5** 本条是修订新编的内容:是将原本分散在几个条文里面有关预制桩桩尖方面的规定汇集在一起,方便执行。

1 对于空心方桩或管桩,若采用开口型的桩尖,都存在桩底部一段范围的空心段内被泥土堵塞,这些泥土并不能起到止水的作用,实践中往往发现空心的内腔积水很多(很深),因此在中~强腐蚀性环境中,要求采用桩端封闭桩尖。

“当场地淤泥层厚度超过 5m 的情况下,应采用封闭桩尖”是根据以下实践案例经验而制定。

(1) 在本省马尾滨海某工地,场地自上而下土层为:①杂填土层厚度 2m 左右;②粘土层厚度 0.4~1.5m;③淤泥及④淤泥夹砂层厚度 22.10~29.3m;⑤中砂、粗砂等。基坑支护桩采用管桩 PHC600-125-AB,施工中管桩穿过粘土层后在自重作用下自行下沉进入淤泥层,经基坑开挖后发现部分管桩桩身中部出现开裂,后经重新沉桩并拔起检查,发现裂缝如下图(图 2~图 3)所示。



图 2 管桩穿越较厚淤泥桩身开裂(1) 图 3 管桩穿越较厚淤泥桩身开裂(2)

2014 版编制时,经了解广东省在同类地质条件下的管桩施工也出现过类似的事件。根据实践经验,采用了封闭式的桩尖就不

会出现这种裂缝。不用桩尖时，这次修订将淤泥厚度由 8m 提高到 5m，是基于实践中发现小于 8m 厚的淤泥，管桩沉桩后有些也会出现不同程度的竖向裂缝，因此应该提高要求。

(2) 采用开口型的桩尖，当空心方桩或管桩桩端持力层为砂层时，因为砂层的渗透性较好，桩身空腔内的地下水容易与外界地下水进行交换而富含氧气，增加了预制桩内侧钢筋混凝土及接头焊缝的受腐蚀性；成桩后的空心孔底进行灌浆（微膨胀 C30 细石混凝土）后，有利于增强预制桩内侧的防腐蚀。而桩端持力层为渗透性较弱的土层（如粘性土、砂质粘性土或风化土层）时，桩身空腔内的地下水与外界地下水进行交换较小，所以可不考虑孔底灌浆；其他渗透性较好的情况，也需进行孔底灌浆。

2 实践中封闭桩尖有时无法穿越或嵌固进入坚硬土层，而改用开口型钢桩尖；或者，在持力层面标高起伏较大或局部坡度较大（大于 40°）或突变时，也改用十字型钢桩尖；这种做法因为开口型钢桩尖、端板及其焊缝的抗腐蚀耐久性不佳，将影响桩端的长期稳定性，因此不提倡。确实需要这样变更的，钢桩尖、端板及其焊缝的应满足相应的防腐蚀要求。为此遇到这种情况，建议采用先引孔、后沉桩（压桩或植桩）的方式。

**5.3.6** 本条是修订新编的内容：是将原本分散在几个条文里面有关预制桩接桩接头方面的规定汇集在一起，方便执行。

第 3 款中有关接桩接头焊缝尺寸，是指按受力需要计算的焊缝尺寸、加上使用期间焊缝受腐蚀减少的尺寸。受腐蚀减少的尺寸，是指与腐蚀介质接触方向的尺寸；这里不用焊缝的厚度、宽度、深度等名称描述，是为了避免解读误解；实践中往往出现“焊缝厚度”等描述，施工隐蔽验收中就对应检查焊缝的厚度、即外露的桩杆轴线方向的尺寸，这不能真正代表防腐蚀和受力需要的尺寸。因此设计应明确焊缝的深度尺寸（即受力的宽度尺寸）和施焊可操作性需要的坡口宽度。目前有些施工现场发现管桩的端板边缘没有实质性的坡口，而仅仅端板周边边缘 20mm 宽度范围

凹企 2.5mm 深度，则接桩后的缝宽仅为 5mm，因施焊可操作性原因，使得受力需要的焊缝深度（受力宽度）不能满足要求，这将直接影响接桩接头的防腐蚀质量效果，应引起重视。所以设计明确接头焊缝的坡口尺寸是必要。

按本标准第 5.5.6 条的腐蚀速率计算，外露的钢质材料（钢端板、钢抱箍、焊缝、钢零件等）单面的腐蚀量如下表 22。

表 22 外露的钢质材料 50 年的单面腐蚀量（mm）

钢质材料所处环境	外露的钢质材料 50 年的腐蚀量（mm）		
	弱腐蚀（pH 时）	中腐蚀（pH 时）	强腐蚀（pH 时）
水位以上	1.5（3.0）	2.0（4.0）	2.5（5.0）
水位以下	0.5（1.0）	1.0（2.0）	1.5（3.0）
干湿交替段	5.0（10.0）	10.0（20.0）	15.0（30.0）

预制桩接桩还涉及的有关标准为现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 7.3 节“混凝土预制桩的接桩”和《建筑钢结构焊接技术标准》JGJ 81-2002 等。

根据国内“PHC 管桩不同金属性质的钢端板在土壤模拟液中电化学腐蚀的研究结果”，现介绍如下，供同行参考：

通过自然浸泡和电化学测量技术研究实际工程中 PHC 管桩 3 种常用金属端头(其中端板分别用铸钢、冷弯钢和 Q235A 钢)在 4 种典型土壤(氯盐土、盐碱土、中性草甸土和酸性红土)模拟液中的腐蚀性研究。结果表明，金属端头的耐蚀性取决于其各部件(包括端板、裙板和主筋)的材质,进而影响预应力高强混凝土管桩(PHC 管桩)的耐久性。实际工程所用端板的腐蚀速率均小于主筋和裙板，铸钢端板加速裙板和主筋腐蚀的程度不如冷弯钢或 Q235A 钢端板，但铸钢端板本身耐蚀性极差；端板与裙板、端板与主筋在土壤中存在接触电偶腐蚀，端板/裙板电偶对中裙板均为阳极，铸钢端板/主筋电偶对在盐渍土中铸钢为阳极，冷弯钢或 Q235A 钢端板与主筋电偶对中主筋也均为阳极；接触腐蚀加速了



薄壁裙板和小面积主筋的破坏,将导致预应力的过早失效;所以现有金属端头需进行防腐蚀控制。

第5款是根据现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 第4.9.6条的规定:混凝土预制桩的接桩应符合下列规定:第3款“…其他形式的接桩,外露的接桩钢零件应增加2mm钢零件厚度和焊缝厚度的腐蚀裕量并涂刷防腐蚀耐磨涂层500 $\mu\text{m}$ 。”的规定,并结合本省工程实践增加了在中腐蚀环境中外露的接桩钢零件的防腐蚀要求。

**5.3.7** 本条文所提的宜采取减小基桩承担水平荷载的措施,主要包括:增加基桩数量、增加承台尺寸、加固承台周边以其以下一定深度的软弱土层等组合措施,这些组合措施对于减小基桩承担水平荷载是有效的。采用“宜”是指可针对工程实际采取不同的具体措施,如承台周边土层为软弱土层,采取软土加固后,可明显提高基桩抗水平荷载;但处理的宽度、深度范围,视建筑物的重要性而定。

目前有关腐蚀性的试验,多数情况是在没有外力作用下进行的试验,这与管桩的实际工况是有差别的。为了配合本标准(2014版标准)的第一次编撰时,2009年厦门理工学院土木工程与建筑系在福建省大地管桩有限公司、广东三和管桩有限公司等单位的协助下,开展了管桩在竖向力或水平力或竖向与水平力同时组合作用下(模拟实际工况)受腐蚀影响的试验研究。试验采用特制的试件及千斤顶组成可持续加载的模型,在盛有Cl<sup>-</sup>腐蚀性的溶液池(按强、中、弱腐蚀性等级分别设置三个溶液池)中,模拟管桩在轴心受压、轴心受拉、水平推力及其组合等工作状态下,进行持续(累计历时约200d)加载,并定期取出试件,测试桩身混凝土中Cl<sup>-</sup>变化情况。现将不同腐蚀性等级和荷载类型组合作用下,管桩桩身混凝土内Cl<sup>-</sup>扩散系数的影响情况试验结果,列于下表23中,供同行参考。

表 23 荷载对管桩混凝土  $\text{Cl}^-$  扩散系数的影响情况

水平荷载 \ 荷载类型	轴心压应力	偏心压应力	轴心拉应力
无水平荷载时	减少	基本不影响	增加
小于水平极限荷载的 30% 时	不影响	增加约 10%	增加约 15%
$\geq 30\%$ 、 $< 50\%$ 的水平极限荷载时	基本不影响	增加约 20%	增加约 25%
$\geq 50\%$ 的水平极限荷载时	增加约 20%	增加约 30%	增加约 45%

国内其他有关荷载与腐蚀性离子耦合作用的研究成果，现介绍如下，供同行参考：

1 荷载与硫酸根耦合作用下，硫酸根离子在混凝土中的扩散变化规律研究成果（南京理工大学、2012 年，混凝土浸泡时间超过 300d）：

荷载与硫酸根耦合作用下的混凝土试件，随着浸泡时间的变化，其内部的孔隙率是不断变化的。在受硫酸盐侵蚀的混凝土内部， $\text{SO}_4^{2-}$  的浓度和经化学反应消耗的离子浓度均呈梯度分布，在初始阶段，经扩散进入到混凝土内部的  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度增加较快，随着侵蚀时间的增加，混凝土中的  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度分布逐渐趋于稳定。混凝土在弯曲荷载与硫酸盐侵蚀耦合作用下，弯曲荷载显著提高了  $\text{SO}_4^{2-}$  在混凝土内部的传输性能，使得荷载作用下混凝土内  $\text{SO}_4^{2-}$  分布浓度明显高于无荷载作用时的  $\text{SO}_4^{2-}$  分布浓度，并且  $\text{SO}_4^{2-}$  在混凝土内部的传输速度随应力比的增大而提高。

2 侵蚀与荷载耦合作用下腐蚀性离子扩散规律的研究成果

在弯曲荷载下，混凝土试件受荷载破坏最严重的部位为纯弯区拉应力层；在与扩散面距离相同的层面中，纯弯区部位的  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  含量大于弯剪区；在纯弯区和弯剪区部位，拉应力层中的  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  含量大于压应力层；且自压应力层到中间层再到拉应力层，混凝土中  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  含量呈先下降后上升的分布规律，在压应力层接近中间层的位置达到最小值，在拉应力层混凝土表面  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  含量最大。

### 3 侵蚀与荷载耦合作用下混凝土梁承载力与延性的研究成果

在实际工程中,构件的腐蚀是在结构承受荷载的过程中发生的,混凝土不仅本身力学性能退化严重,还会令其对钢筋的保护作用大大降低,加速钢筋锈蚀;同时粘结性能的退化导致钢筋的塑性性能难以充分发挥,降低结构延性。因此在研究钢筋混凝土构件耐久性退化规律,以及进行结构使用寿命预测时,应该同时考虑使用荷载与环境作用的共同影响。

**5.3.8** 本条是修订新增加内容。在根据本标准第 5.1.3 条的规定进行防腐蚀设计与施工时,往往因为地质与施工条件等原因,沉桩结果出现有些接桩位置不能满足设计防腐蚀等级要求,如:原本设计要求避开干湿交替区段接桩,没有按照干湿交替区考虑接桩钢零件和焊缝的腐蚀裕量,沉桩结果出现接桩接头位于干湿交替区,此时如果不采取处理措施,将会带来很不利的质量安全隐患,特别是抗拔桩在拔力作用下最终将直接拔断了,对此,针对不同情况,本标准采用不同的处理措施:

1 采用加长连接筋和填芯深度的方法,必要时应复核计算接桩位置以下连接筋承受最大拔力时的长度。

2 采用钢筋混凝土对接桩位置进行包裹处理,需要考虑接桩位置施工开挖的安全可行性。

3 当预制桩发生超送(即桩顶标高低于设计标高)或者接桩位置较深时,可采用开挖方式并支模(深度不大时)或人工挖孔桩方式成孔(深度较大时),现浇钢筋混凝土接桩时,应注意现浇钢筋混凝土接桩段应按灌注桩采取防腐蚀措施。

## 5.4 混凝土灌注桩防腐蚀设计

**5.4.1** 由于地下连续墙的泥浆护壁和灌注混凝土等施工工艺和混凝土施工质量控制与灌注桩基本一致,因此其防腐蚀措施可参照

混凝土灌注桩的防腐蚀设计要求。

**5.4.2** 根据现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB/T 50046-2018 第 4.9.5 条的规定：在  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  和 pH 值为强腐蚀的环境下均“不宜采用此类桩型”，但本省邻近海岸线的场地基本是仅干湿交替段为强腐蚀、其他区段为微～中腐蚀性，即桩身所处的环境中不是全桩长范围均为强腐蚀。若全按强腐蚀来考虑，不仅使基桩选型受限，且存在不合理。因此本条提出满足三个条件之一，可以采用。

第 2～3 款，目的是为了混凝土凝固前不与强腐蚀介质接触，在能够避免具有腐蚀性的水在混凝土硬化前渗入的情况下，也可以采用。另外，因担心混凝土初凝后长钢套管拔不出来，因此建议“长钢套管”采用可竖向拼拆的长钢套管。

**5.4.3** 本条是整合了本标准 2014 版中涉及桩身结构（构造）设计六个条文（送审稿中四个条文）而成，使本节条文顺序和编制逻辑更加合理。

**1** 本款是将本标准 2014 版的三个条文合并修订，内容不变。根据《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 4.1.1 条灌注桩配筋规定“1 配筋率：当桩身直径为 300～2000mm 时，正截面配筋率可取 0.65%～0.2%（小直径桩取高值）；”本条按腐蚀等级给出最小配筋率，比现行标准的最低限有所提高，是考虑在腐蚀性环境下，灌注桩施工中影响成桩质量的不确定因素较多，需要适当增加钢筋受腐蚀影响的裕量。修订时经多方征求意见认为这样规定的配筋率可以做到。

**2** 符合本标准第 5.4.2 条规定可采用灌注桩，突破了《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 第 4.9.5 条“不宜采用”的规定，因此为保证强腐蚀段桩的防腐可靠性，采取附加措施是必要的。环氧树脂涂层钢筋按现行行业标准《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502-2016 的规定执行，环氧树脂涂层钢筋的制作工艺与性质详见本标准第 2.1.11 条条文说明。耐腐蚀钢筋依据现行国家标准

《钢筋混凝土用耐蚀钢筋》GB/T 33953-2017 和现行地方标准《耐蚀钢筋混凝土结构应用标准》DBJ/T 13-342-2020 的规定执行。

4 仅干湿交替段具中~强腐蚀性时,若全桩身采取相同配筋,有些浪费,但分段配筋前提需满足桩身裂缝宽度控制要求。桩身混凝土强度因施工控制难度等原因不提倡分段配置。

**5.4.4** 表 5.4.4 中指标参数(除强腐蚀等级外)与现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 第 4.9.5 条的规定一致,其他的详见本标准第 5.2.6 条第 4 款、5.2.7 条第 4 款条文说明。

**5.4.5** 当灌注桩承担抗拔或水平荷载(或弯矩)的情况下,桩身若产生裂缝对耐腐蚀是不利的,其原理详见本标准第 5.3.7 条的条文说明,所以规定应进行裂缝验算。采取减小基桩承担水平荷载的措施有多种方法,可加大承台或提高承台之间地梁刚度,也可利用基槽回填土的夯实质量或换填级配砂石或细石混凝土等来提高灌注桩抗水平荷载或弯矩的能力;工程桩水平静载试验中表明,承台侧土土质较好时,能够有效提高被动土压力,相应地增加了基桩抵抗水平荷载的能力。但这个定量评估不容易,作为定性评价或作为提高抗水平荷载或弯矩安全储备是可行的。

## 5.5 钢桩防腐设计

**5.5.1** 本条规定仅适用于设计工作年限 50 年的钢桩工程,工作年限为 100 年的防腐蚀设计不在本标准适用之内,需进行专门研究与设计。各种型钢桩、钢管桩,由于其成本较高、防腐蚀及其维护措施的代价很大、施工工艺要求也较高,以及钢桩在腐蚀性环境下使用的建筑与市政工程经验较少,尚需在实践中不断探索研究及积累工程经验。本条规定在强腐蚀性环境下,住宅工程不宜采用钢桩,比 2014 版对所有工程的限制,放宽了适用范围;仅对住宅工程要求不宜采用,是考虑住宅工程与市政、交通等公共工程不能相提并论,住宅工程往往存在严格的投资与效益控制、使

用中的维护经费和专业队伍难以保证，对于产生纠纷和社会不良的负面影响难以预测；而市政、交通工程属于社会性基础设施或生命线工程等，在专业性队伍和维护经费方面有着较好的保障。因交通系统的工程防腐蚀标准规定，总体上已经较完善和全面，在腐蚀性环境下采用钢桩，可充分参照借鉴，所以本节只做了较粗浅的编制和修订。

如杭州湾东海大桥根据不同地质条件区段分别采用了最经济、适用的三种桩基础形式： $\phi 1.2\text{m}$ PHC 管桩、 $\phi 1.5\text{m}$  钢管桩、 $\phi 1.6\text{m}\sim 2.5\text{m}$  钢筋混凝土灌注桩。其中  $\phi 1.5\text{m}$  钢管桩（长度超过  $80\text{m}$ ）的设计、制作过程中，其壁厚的设计是根据结构受力所需壁厚及钢材腐蚀裕量的两项指标来确定，对于钢管桩的防腐蚀采用分段式的单层或双层环氧粉末防腐蚀技术：即把  $80$  多米长的钢管桩分为三段进行防腐处理，对打入海底土层近  $70\text{m}$  长的钢管桩管采用  $300\mu\text{m}$  厚度的单层熔结环氧粉末防腐蚀技术；对浸在海水中的钢管桩管部分采用  $600\mu\text{m}$  厚度的双层防腐蚀技术，以确保钢管桩耐冲刷性；对于第三层暴露在空气中的钢管桩管壁则采用  $800\mu\text{m}$  厚度双层防腐蚀技术，增强钢管桩的抗老化性和耐磨性。三段熔结环氧粉末涂装防腐工序均在生产线上一次性完成，经过强制水冷、涂层检漏、电火花检测等多项严格的检查合格后再投入使用，该项创新技术完全达到“百年工程”的设计要求。

**5.5.2** 本次修订增加“同一工程项目的钢桩所采用的钢材应为同一型号钢种”内容，是避免钢桩自身和钢桩之间出现电位差腐蚀。本条修订内容主要是参考了《码头结构设计规范》JTS 167-2018 的有关内容。有关现行国家标准是《碳素结构钢》GB/T 700-2006（代替《普通碳素结构钢技术条件》GB/T 700-1988）、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591-2018（代替《低合金高强度结构钢》GB/T 1591-2008），桩用钢管的行业现行标准是《桩用螺旋焊缝钢管》SY/T 5040-2000。

**5.5.3** 本条在 2014 版基础上细化了钢桩防腐蚀设计的具体措施

内容；其中防腐蚀措施除包括增加腐蚀裕量，表面涂层、阴极保护等几种方式外，补充了可以单独或联合使用，有关规定，介绍如下：

1 腐蚀性较强时，腐蚀速率较大，尤其干湿交替段需要的腐蚀裕量很大，采用内壁同外界隔绝的形式可不考虑内壁防腐蚀，减少一半的腐蚀裕量，可大幅度减少用钢量；

2 这一项保留 2014 版（原规程第 5.5.4 条）的精神；在满足同一工程项目的钢桩所采用的钢材为同一型号钢种的前提下，对于不同区段不同腐蚀性等级的情况下，采用分段防腐措施是可行的；但是，若采用现场施工操作的防腐蚀措施，需考虑施工质量与安全的可行性；

3 按无保护措施增加腐蚀裕量，直接加大钢桩壁厚，设计、施工简单，但用钢量比较大，尤其是干湿交替段需要增加较多的腐蚀裕量，这种方法一般较少采用，若采用至少一种附加保护措施作为防腐蚀的安全储备较合理；

4 表面防腐涂层可以减少腐蚀裕量，能够节省钢材，但需要有类似腐蚀性环境的工程经验或实验数据，防腐蚀涂层设计要有充分依据；

5 阴极保护是钢桩防腐的有效方法之一，能够节省钢材，但是，建（构）筑物使用期间，需要专用的设备和专业技术人员持续维护，这项成本费用较高，有些项目（如住宅项目等）一般难以提供稳定的经费来维持设备的正常运行和专业人员的持续维护，对于大型公共工程（如会展、纪念馆、城市标志性建（构）筑物、桥梁、港口工程及城市生命线工程等）的维护经费及专业人员持续维护较有保证；

6 由于涂层或阴极保护的有效使用年限低于桩基设计工作年限，且涂层或阴极保护的保护率不是百分百可靠，因此，有涂层或阴极保护、或两者联合使用，仍应考虑腐蚀裕量，只是需要增加的腐蚀裕量比无保护措施时小些；

7 干湿交替段和强腐蚀区腐蚀速率较大,采用涂层,可以减少腐蚀裕量,即使不考虑涂层的作用,也可作为防腐蚀安全储备,所以采用双重或多重联合保护措施是必要的。

**5.5.4** 这一条是修订新增加的内容,同时,对焊条、焊丝和焊剂提出要求。手工焊接依据现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117-2012(代替《碳钢焊条》GB/T 5117-1995)和《热强钢焊条》GB/T 5118-2012(代替《低合金焊条》GB/T 5118-1995)。自动焊接依据现行国家标准《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293-2018(代替《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293-1999)和《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470-2003(代替《低合金钢埋弧焊用焊剂》GB/T 12470-1990)的规定。

**5.5.5** 介绍港珠澳大桥(设计与施工于 2009~2018 年)的防腐蚀涂料涂层的机械性能比对情况表 24,供同行参考。

表 24 SEBF 系列防腐蚀涂料涂层的机械性能比对一览表

性能	单位	SEBF-2	SEBF-4	SEBF-5	SEBF-6	SEBF-9	国内有关涂料	国外有关涂料	执行标准
粘接强度	MPa	110	90	90	100	80	45	60	GB 6329-Z 245.20
附着力	级	1~2	2	2	1	1~2	—	—	CAN/CSA-Z 245.20
剪切强度	MPa	43	43	43	45	43	40	40	ASTMD1002 -72(83)
抗冲击强度	J	20	24	18	24	18	16	18	ASTMG 14-77
抗弯强度	MPa	95	93		93	87	—	—	GB 1024 -79
挠曲性	级	1	1	1	1	1	—	—	CAN/CSA -Z245.20
耐磨性	L/μm	>3	>3	>3	>3	>3	—	—	ASTMD 968-81
硬度	H	3	3	3	3	3	3	3	GB/T 6739-86
耐阴极剥离	mm	1.5	—	4	—	—	—	—	CAN/CSA -Z245.20

**5.5.6** 本条规定指标是参照现行行业建筑桩基和其他行业中有关规范、工程实践和科研成果而制定。



为了方便使用中对照，现将有关现行标准介绍如下：

（一）现行建筑行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 4.1.18 条有关钢桩腐蚀速率的规定内容介绍如下：

**4.1.18 钢桩的防腐处理应符合下列规定：**

- 1 钢桩的腐蚀速率当无实测资料时可按表 4.1.18 确定；
- 2 钢桩防腐处理可采用外表面涂防腐层、增加腐蚀余量及阴极保护；当钢管桩内壁同外界隔绝时，可不考虑内壁防腐。

**表 25 钢桩年腐蚀速率（mm/年）**

钢桩所处环境		单面腐蚀率（mm/y）
地面以上	无腐蚀性气体或腐蚀性挥发介质	0.05~0.1
地面以下	水位以上	0.05
	水位以下	0.03
	水位波动区	0.1~0.3

注：本表引自《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 表 4.1.18。

（二）现行交通行业标准《码头结构设计规范》JTS 167- 2018 第 4.4.26 条的规定介绍如下：

**4.4.26 海港工程碳素钢的单面年平均腐蚀速度**可按表 4.4.26 取值，有条件时也可根据现场实测确定；河港工程平均低水位以上区域的年平均腐蚀速度可取 0.06mm/a，平均低水位以下区域的年平均腐蚀速度可取 0.03mm/a。

**表 26 海港工程碳素钢单面年平均腐蚀速度 V**

部 位		V（mm/a）（mm/年）
大气区		0.05~0.10
浪溅区	有掩护条件	0.20~0.30
	无掩护条件	0.40~0.50
水位变动区、水下区		0.12
泥下区		0.05

注：① 本表引自《码头结构设计规范》JTS 167- 2018 表 4.4.26；表中年平均腐蚀速度适用

于 pH=4~10 的环境条件，对有严重污染的环境，应适当增大；

② 当采用低合金钢时，可参照表中数值取值，但大气区应适当减小；

- ③ 对水质含盐量层次分明的河口或年平均气温高、波浪大和流速大的环境，其对应部位的年平均腐蚀速度应适当增大。

(三) 根据国内有关钢材腐蚀速率的研究结果，现介绍如下，供同行参考：

1 港西油田采出水对套钢管的腐蚀试验研究成果（2010年：采用三块化学成分含量不同的套钢管试件——挂片，试验温度 60°C、时间 120h）。

1) Cl<sup>-</sup>浓度对腐蚀速率的影响：当 Cl<sup>-</sup>浓度小于 20g/L 时，随着 Cl<sup>-</sup>浓度的增加，腐蚀速率增大；当 Cl<sup>-</sup>浓度在 20g/L 左右时，腐蚀速率最大，达到 0.23~0.29mm/a（毫米/年）；当 Cl<sup>-</sup>浓度大于 20g/L 以后，随着 Cl<sup>-</sup>浓度的增加，腐蚀速率略有下降。

2) HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度对腐蚀速率的影响：当 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度小于 7g/L 时，随着 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度的增加，腐蚀速率增大；当 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度在 7g/L 时，腐蚀速率最大，达到 0.3~0.37mm/a；当 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度大于 7g/L 以后，随着 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度的增加，腐蚀速率反而下降（原因是形成致密的碳酸盐钝化保护膜）。

3) pH 值对腐蚀速率的影响：当 pH=3~10 时，腐蚀速率随着 pH 值的升高而降低；当 pH=7~10 时，腐蚀速率变化幅度较小，腐蚀速率最小；当 pH<7 时，随 pH 值的降低，腐蚀速率大幅增加；当 pH=3 时，腐蚀速率 0.585~0.719mm/a。

4) 矿化度对腐蚀速率的影响：随着矿化度的增加，腐蚀速率先增加后减小；矿化度为  $2.0 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^4$ mg/L 时，腐蚀速率最大，达到 0.17~0.19mm/a。

5) 溶解氧对腐蚀速率的影响：腐蚀速率在爆氧的条件下比在除氧的条件下大幅提高，增加 6.5~7.2 倍。

6) 温度对腐蚀速率的影响：随着温度升高，腐蚀速率加快，

温度从 30℃ 升到 90℃, 腐蚀速率从平均约 0.03mm/a 左右增加到 0.4mm/a 左右。

- 7) 介质剪速对腐蚀速率的影响: 将试验片安装在旋转轴上, 在腐蚀介质流动剪切力作用下, 挂片表面的腐蚀产物膜破损或剥落后, 进入深度腐蚀, 增加了腐蚀速率; 在温度 60℃、转速 240、试验 72h 的情况下, 最大的腐蚀速率达到约 1.1~1.4mm/a。

## 2 港西油田回注水腐蚀试验研究成果 (2009 年)

- 1) 该油田回注水具有硫化氢、二氧化碳含量高, 温度与矿化度高, 部分区块污水中钙镁离子含量高的特点, 注水腐蚀结垢严重, 现场挂片腐蚀速率为 0.5~2.0mm/a (大于石油行业标准 0.076mm/a)。
- 2) 通过室内试验, 得出污水腐蚀结垢的主要原因顺序依次是: 硫化氢含量、水温、污水中矿化度和细菌, 特别是硫化氢含量和回注水水温在管线腐蚀中起到了决定性的作用。
- 3) 针对腐蚀结垢特点, 制定并实施了缓蚀剂的加药方案, 经运行两年多测试, 现场挂片腐蚀速率为 0.016~0.029mm/a, 缓蚀率超过 98%, 明显低于行业标准, 表明实施加药效果方案良好。

3 辽河油田回注水腐蚀试验研究成果 (2010 年): 采用缓蚀剂后, 现场挂片腐蚀速率从 0.79~0.83mm/a 降为 0.04~0.07mm/a。

**5.5.8** 本标准未对在浪溅区或受海水直接腐蚀的钢桩防腐设计做出规定, 也未对钢柱防护涂层、阴极保护等防腐设计做出详细规定, 现行交通行业标准《水运工程结构防腐蚀施工规范》JTS/T 209-2020 和《码头结构设计规范》JTS 167-2018 等标准对这几个方面有比较详细的规定, 本标准推荐采用这些标准。

## 5.6 锚杆防腐蚀设计

**5.6.2** 本条是在国家现行标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086-2015、《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013、《高压喷射扩大头锚杆技术标准》JGJ/T 282-2012 和《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 的基础上，并考虑了地下结构特殊使用功能和本省施工工艺水平与质量可靠性等因素而制定。本次修订锚杆的适用条件保持 2014 版的内容不变，但将原来表格合二为一，并新增最低防腐蚀等级的规定，说明如下：

1 新增最低防腐蚀等级与《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 和《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021 的规定保持一致，内容上在微、弱腐蚀环境中最低防腐蚀等级，边坡锚杆比抗浮锚杆严格一级，源自《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021 的强制性条文，必须遵守。另外，表格中，在强腐蚀性环境中，对于边坡与挡墙的钢绞线锚杆适用条件从送审稿中的“不应”改为“不宜”、是采纳了专家意见：即实践中遇到有些特殊地理位置的边坡与挡墙不得不采用钢绞线锚杆。为此，要求在中、强腐蚀性环境中，永久性边坡与挡墙支护采用钢绞线锚杆时应进行专项设计（包括杆体的腐蚀裕量等）。

2 在现行行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 和《高压喷射扩大头锚杆技术标准》JGJ/T 282-2012 中，虽然对锚杆，在不同腐蚀性等级环境中的防腐构造细部做法，做了较详细的规定。但是钢绞线锚杆防腐构造措施、细部做法工艺较复杂，质量要求较高，需要专业性较强的施工队伍，以及使用维护和经费来源等问题；与永久性边坡工程相比，地下结构钢绞线抗浮锚杆若失效、后果较严重，处理复杂且难度大、费用高，甚至处理后可能影响使用功能。因此规定了地下结构抗浮锚杆在中、强腐蚀性的环境中，不应采用钢绞线锚杆。如，在厦门某临海工

程（场地地下水与海水潮汐有联系）基坑支护中使用的预应力钢绞线锚杆，并根据当时现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2002 的规定采取相应的防腐蚀措施，施工完成项目停工约 5 年后，经开挖检查，发现原支护中的每束锚索均有不同程度的锈蚀，严重的已经断了 1~2 根高强钢绞线，说明预应力钢绞线锚杆的防腐蚀可靠性是较低的。为此，也规定了在弱腐蚀性的环境中，不宜采用钢绞线锚杆。

**3** 钢绞线包括无粘接钢绞线、环氧涂层钢绞线、普通钢绞线等多种，实践中可根据场地腐蚀性等级、施工质量的可靠性、承载能力稳定性（涉及地下渗流或潮汐引起的沙土流失）等情况，综合考虑、择优选用。

**4** 《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021 的规定：在腐蚀环境中，临时锚杆应采用Ⅱ级防腐蚀设计。这个规定可能造成浪费（如服务时间较短）、也可能造成不安全（如分期建设、服务时间较长），因此，本标准对临时锚杆最低防腐蚀等级不作具体规定，由设计根据锚杆服务年限、腐蚀性等级自行确定。

**5.6.3** 送审稿后采纳了专家意见（因锚杆裂缝控制技术有待进一步研究探讨），取消了报审稿条文中有关锚杆裂缝控制要求的内容。考虑到原锚杆裂缝控制条文的意图，即根据工程实践经验，参照钢筋混凝土构件的裂缝计算，拉力型锚杆筋体采用高强钢筋或钢绞线时，如果粘结段裂缝宽度控制在 0.1~0.2mm，筋体拉应力仅为其强度设计值的 30~50%，筋体强度无法得到充分利用；虽然采用普通热轧钢筋，可以充分发挥筋体强度，但需要采用预应力施工工艺。为此保留 2014 版锚杆结构设计的防腐蚀要求内容，并增加了涉及杂散电流干扰的防腐蚀设计要求。

锚杆是整体受拉构件，其防腐蚀设计中应按结构的安全等级进行设计较合理，安全等级设计中遇到的裂缝控制指标，建议参照现行行业标准《建筑桩基础技术规范》JGJ 94-2008 关于桩身裂缝控制的规定。涉及杂散电流干扰腐蚀环境的锚杆设计，需按现

行电力行业标准《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》DL/T 5394-2021 的规定（详见本标准第 5.1.7 条的条文说明），这种常用于轨道交通隧道和电力地下管廊工程中。

现行行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019（以下简称抗浮标准）与其它现行国家标准或行业标准相比，抗浮标准的锚杆按设计等级分为甲、乙、丙级，其它规范标准按锚杆安全等级分为一、二、三级；抗浮标准对锚杆裂缝控制的规定为：甲级的按裂缝控制等级一级（即锚杆浆体不出现拉应力）进行设计，乙级的按裂缝控制等级二级（即锚杆浆体拉应力不应大于浆体轴心抗拉强度标准值）进行设计。据此，设计等级为甲、乙级的锚杆，都必须采用预应力锚杆，方可满足要求；若采用普通钢筋锚杆（非预应力锚杆），则按裂缝控制无法满足要求。对此，实践中业内普遍反映抗浮标准过于严格，执行中存在争议。争议的主要焦点是：预应力锚杆施工技术要求高、工序复杂，底板需穿管，对锚头的二次封闭和止水施工，锚头止水构造复杂且防水可靠性低，其综合施工质量可靠性较低、造价高；而非预应力普通锚杆，施工方便，尤其地下室抗浮锚杆，锚杆钢筋直接锚入底板内，工序简单，不需要锚头的二次封闭和止水施工等，其综合施工质量可靠性较高、造价低。

**5.6.4** 本条是修订新增的条文，参照了现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086-2015 第 4.5.4 条的表 4.5.4 “锚杆I、II、III级防腐保护构造设计”和《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 第 7.5.9 条的表 7.5.9-2 “锚杆防腐保护要求”及国家标准图集《建筑结构抗浮锚杆》22 G815 的具体做法等，制定了筋体防腐蚀措施等。压力型的锚杆包括压力集中型、压力分散型和承压型囊式扩体三种锚杆型式；拉力型预应力锚杆与压力型的有何区别：

一 受力性质不同

拉力型锚杆工作时，锚杆灌浆体处于受拉状态，浆体容易出

现张拉裂缝，地下水极易通过裂缝渗入锚杆内部，从而导致锚杆杆体的抗腐蚀能力下降。

压力型锚杆工作时，锚杆灌浆体处于受压状态或拉应力不大于浆体抗拉强度标准值，灌浆体不易开裂，锚杆抗腐蚀能力较强。

## 二 工作状态不同

锚杆杆体工作时筋体均处于受拉状态，这是拉力型或压力型锚杆的共性特点。不同之处在于拉力型锚杆有粘结锚固段和自由段，工作时锚固段浆体处于受拉状态；而压力型锚杆工作时（筋体全段无粘结、张拉状态）灌浆体处于受压状态。

## 三 防护措施不同

两者均需采用预应力施工工艺，所不同的是：压力型锚杆筋体下端采用承载体（板）固定，筋体需全长相同防护措施；拉力型锚杆的自由段和锚固段筋体需分别采取防护措施，自由段筋体防护措施与压力型的相同，锚固段的防护措施与全粘结的相同。

**5.6.5** 本条修订补充完善了锚杆注浆体的系统防腐要求。

**1** 本条这1款锚杆注浆体的基本要求是修订新增的内容，与本标准第5.2.9条混凝土的基本要求内容形式保持一致。其中锚杆注浆体用砂的氯离子含量指标源自现行国家标准《混凝土结构通用规范》GB 55008-2021第3.1.2条第3款规定（详见本标准第5.2.4条的条文说明）。

**2** 第2~6款参考了国家现行标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086-2015、《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013和《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019的规定。其中强腐蚀环境下的浆液材料指标没有给出，是因为需进行专项技术研究，不可用推定来确定。

### 1) 关于锚杆浆体强度方面：

现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086-2015第4.6.17条的规定“预应力锚杆锚固段注浆体强度”介绍如下：

表 27 预应力锚杆锚固段注浆体强度

锚固地层	锚杆类型	强度标准值 (MPa)
土层	拉力型及拉力分散型	≥20
	压力型及拉力分散型	≥30
岩石	拉力型及拉力分散型	≥30
	压力型及拉力分散型	≥35

注：本表引自《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086-2015 表 4.6.17。

现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013 第 8.3.3 条第 6 款的规定：浆体材料 28 天的无侧限抗压强度不应低于 25MPa；《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 第 7.5.1 条第 3 款的规定：锚固体水泥浆、水泥砂浆强度等级不应低于 30MPa，细石混凝土强度等级不应低于 C30；综合这 3 个标准，制定本条第 1 款表 5.6.5（注浆体最低强度标准值），其中，抗浮锚杆浆体最低强度标准值取 30MPa，以满足《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 的规定，中等腐蚀性浆体最低强度标准值取 35MPa，与本标准第 5.2.9 条表 5.2.9-1 灌注桩的要求一致。

2) 现行行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 表 7.1.10-1 的内容介绍如下：

表 28 材料的耐久性基本要求

环境类别	最大水灰比	最低强度等级	最大氯离子含量 (%)	最大碱含量 (kg/m³)
一	0.60	C20	0.30	不限制
二 a	0.55	C25	0.20	0.30
二 b	0.50	C30	0.15	
三 a	0.45	C35	0.15	
三 b	0.40	C40	0.10	

注：1 本表引自《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019 表 7.1.10-1；氯离子含量系指其占胶凝材料总量的百分比；

2 预应力锚杆中的最大氯离子含量为 0.06%，其最低强度等级宜按表中的规定提高两个等级；



3 有工程经验时，二类环境中最低混凝土强度等级可降低一个等级。

**3** 本条第 7~10 款是参考灌注桩的防腐蚀规定制定的，掺入矿物掺合料，有利提高浆体防腐蚀性能，但是，掺入矿物掺合料会影响注浆施工，如果矿物掺合料掺量太大，可能会堵管，因此，矿物掺合料的掺量比例应通过现场试注浆确定；在  $\text{Cl}^-$  的腐蚀环境中，对于压力型锚杆，筋体有套管（内充润滑脂），浆体不与筋体直接接触，可以不掺钢筋阻锈剂； $\text{pH}$  值腐蚀性场地，注浆体的腐蚀裕量参照灌注桩的规定，在  $\text{SO}_4^{2-}$  腐蚀性环境中，如果浆体本身抗硫酸盐指标不能满足要求，可以按照本条第 10 款的规定增加浆体腐蚀裕量。

**5.6.6** 依据的国家现行标准有《钢筋混凝土用钢》GB/T 1499-2017、《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224-2023、《预应力混凝土用螺纹钢》GB/T 20065-2016、《钢筋混凝土用耐蚀钢筋》GB/T 33953-2017、《钢筋混凝土用不锈钢钢筋》GB/T 33959-2017 和《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502-2016 等。

## 5.7 植桩防腐蚀设计

**5.7.1** 本节是新增的内容，植桩法在强腐蚀性环境中的应用，近年来有较大的发展。在厦门新会展中心-展览中心等多个项目工程采用了植桩法（引孔+灌注细石混凝土或水泥砂浆+植入预制桩的方法），同时解决桩型和防腐蚀两个问题。植桩法的标准目前只有团体标准《静钻根植桩技术规程》T/CECS 738-2020。

植桩法采用的预制桩包括实心桩和空心桩；其中预应力桩包括先张法预应力高强混凝土管桩，先张法预应力混凝土竹节桩、复合配筋先张法预应力混凝土管桩、配置带肋热轧钢筋主筋的预应力高性能混凝土桩、预应力高性能混凝土异形桩、预应力空心方桩和实心桩、预制高强混凝土薄壁钢管桩等，非预应力桩包括预制钢筋混凝土桩、空心方桩和实心桩、螺旋焊接钢管桩等。

植桩法复合体：是指采用旋喷法和搅拌法形成的水泥土桩与同心植入的预制桩形成的复合基桩，或采用冲孔、钻孔和挖孔等工艺成孔，孔内注入水泥浆、水泥砂浆、混凝土或其他固桩液，再植入预制桩形成的复合基桩。

植桩复合体中成孔的水泥土或灌入的混凝土与植入桩的刚度存在差异性，且从设计角度是允许水泥土等与植入桩之间存在滑动、产生相对位移变形的，所以只有形成灌浆体的刚度要与预制桩的刚度基本一致时，预制桩与灌浆体之间才基本没有位移变形，这时灌浆体才能够起到较好的协同防腐蚀，如冲、钻、挖成孔后灌入混凝土；相反，当形成灌浆体的刚度要与预制桩的刚度不一致时，预制桩与灌浆体之间存在相对位移变形，这时灌浆体不能起到较好的协同防腐蚀，如旋喷（含潜孔锤高压旋喷）或搅拌形成的水泥土，以及采用冲、钻、挖成孔后灌入砂浆或水泥土的灌浆体。当然这些砂浆或水泥土不能分担与植入桩功能一样的防腐蚀能力，但可作为辅助性的或作为防腐蚀安全储备之用。

**5.7.2** 植桩成孔的规定，强调施工参数应通过试打桩确定，因为每个建设场地的地层都具有特殊性，若采用经验参数可能影响防腐蚀效果。在强腐蚀性环境中，采用旋喷法、搅拌法施工中成孔形成的水泥土实际已经被腐蚀介质污染了，其复合体的防腐蚀功能降低了或不起作用了，因此选用成孔工艺时应特别注意。

**5.7.3** 按照本标准表 5.2.9-1 的规定，微～强腐蚀性环境中，成孔后灌入的混凝土强度等级分别不宜低于 C25、C30、C35、C40。

**5.7.5** 第 5 款：因灌浆体内没有钢筋，故不需要阻锈剂。但是考虑到桩接头有钢材，由灌浆体来起保护作用，效果上会比不上阻锈剂，因此用“可不掺阻锈剂”来表达。

第 7 款：植桩法中的预制桩桩身外侧面若涂刷环氧涂层后，成孔的水泥土或灌入的混凝土与植入桩之间的粘结力下降、两者较容易发生脱离，影响复合体的整体协同工作，甚至降低复合体的承载能力；这些与防腐蚀无直接的关系，作为提醒同行注意。

## 5.8 地下结构防腐蚀设计

**5.8.1** 地下结构避开已污染或具有腐蚀性的土层，或者避开腐蚀性等级较高的干湿交替区段，可避免或减少采取的防腐蚀措施，节约造价和减少使用期间的维护。有关腐蚀性场地的地基处理，现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 第 4.7 节中已有明确的规定，这里不再重述。

**5.8.2** 本条与现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 的规定一致。

**5.8.3** 本条地下结构混凝土最小保护层厚度是参照现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 和现行地方标准《福建省耐腐蚀混凝土应用技术标准》DBJ-T 13-253-2024 的规定而确定的。比较这两部国家标准，对于最低混凝土强度等级的要求和保护层厚度的规定，后者比前者虽然要求严格，但只按环境作用等级分级，在相同环境作用条件对腐蚀性等级没有进一步分级，使用上存在不合理，目前工程实践情况与前者较吻合。因此，本标准规定的保护层厚度主要是在现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 规定的基础上，并根据腐蚀环境等级细分，适当微调加大；但增加后的保护层厚度没有超过现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476-2019 的规定。

采用大掺量矿物掺合料的混凝土，可采用混凝土 60 天强度作为配合比设计；尤其是混凝土强度高于 C40 时，采用混凝土 60 天强度作为配合比设计比较合理。

现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 第 4.2.5 条的规定“设计使用年限为 50 年的混凝土保护层最小厚度，应符合表 4.2.5 的规定。后张法预应力混凝土构件的预应力钢筋保护层厚度为护套或孔道管外缘至混凝土表面的距离，除应符合表 4.2.5 的规定外，尚应不小于护套或孔道直径的 1/2。”

表 29 混凝土保护层最小厚度（mm）

构件类别	强腐蚀	中、弱腐蚀
板、墙等面形构件	35	30
梁、柱等条形构件	40	35
基础	50	50
与腐蚀性介质直接接触的地下室外墙及底板的表面	50	50

注：本表引自《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 表 4.2.5；设计使用年限为 25 年时，保护层厚度可减少 5mm。设计使用年限为 100 年时，应参见有关标准或进行专门研究。

**5.8.4** 本条防腐措施是参照现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 的规定而制定的；本标准增加地梁、承台（桥墩）、地下空间结构周边结构外侧面（含顶板面）的防腐措施，其中本次增补了承台（桥墩）、地下空间结构周边结构外侧面的防腐蚀内容。

垫层耐腐蚀材料：包括沥青混凝土、碎石灌沥青、聚合物水泥混凝土等，其中碎石、砂骨料等应具有抗腐蚀性环境的能力。

**5.8.5** 本条表 5.8.5 中抗硫酸盐等级、Cl<sup>-</sup>迁移系数指标值是参照《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046-2018 有关灌注桩指标而制定的，保守起见地下结构的指标取值同灌注桩。

**5.8.6** 在腐蚀环境中，当场地地下水较丰富或坑底下卧层存在承压的含水层（含基岩裂隙承压水）时，后浇带处预留外露的钢筋往往锈蚀得很严重；另一方面，当场地地下水与海水有直接联系时，临海地下工程的施工受海水潮汐的影响明显，其中基坑围护体系的止水效果往往不佳或局部失效如下图（图 4～图 6），这也直接导致了地下结构外周边（底板、外侧墙等）后浇带预留外露钢筋的严重锈蚀；预留钢筋暴露时间越长，外露钢筋受腐蚀越严重，钢筋的有效直径也会减少明显，因此采取保护措施或增加钢筋裕量是必要的。

采用环氧树脂涂层钢筋施工操作较简便，且防腐蚀较有效；本标准所提到的环氧树脂涂层钢筋，应符合行业标准《环氧树脂涂层钢筋》JG/T 502-2016 的规定，在钢筋绑扎完成后、采用人工涂刷，曾发现钢筋交叠处没有涂刷到位，以及经太阳暴晒后涂层起皮脱落的现象，用手捏即变粉状，这样的做法显然不能满足防腐蚀的要求。

**5.8.7** 在海底矿山法隧道掘进过程中，虽然有多道止水帷幕和防止渗漏的超前注浆措施，但是海底隧道本身的复杂性和不确定性是永恒存在的，往往发现局部止水效果不理想、海水直接渗透严重，导致隧道的仰拱和底板、侧墙、顶板混凝土结构中临时施工缝外露预留搭接段钢筋锈蚀严重如下图（图 7）。有些渗漏预计后果不会太严重，设计采用常规防渗漏措施，因此要求宜采用环氧树脂涂层钢筋；有些渗漏难以预测或可能有严重后果，设计采用在结构层内设置渗水导流管，这种情况下，则要求应采用环氧树脂涂层钢筋。



图 4 基坑临海面侧壁海水渗漏



图 5 基坑侧壁腰梁面海水渗漏积水



图 6 基坑侧壁海水渗漏坑底积海水



图 7 海底隧道仰拱施工缝处钢筋锈蚀

根据工程实践,在C1的强腐蚀性环境中,设计工作年限为100年的桩基础与地下结构宜采用耐腐蚀钢筋、环氧树脂涂层钢筋较为可靠,且涂层厚度应不小于 $300\mu\text{m}$ 。

**5.8.8** 基础周围采用透水性低的粘性土回填且夯实,可减少腐蚀性离子的渗透速度,从而减轻地下结构的受腐蚀程度。

## 5.9 环境改善防腐蚀设计

**5.9.1~5.9.2** 因腐蚀性场地环境的边界条件改变,使得场地内腐蚀性等级发生变化,这种情况下到底能不能降低场地内桩基础与地下结构的防腐蚀设计等级?在工程实践中常常认为当场地地下水在没有或基本没有或较少与外界地下水或具有腐蚀性的地表水存在水力联系时,在场地四周边界相对封闭范围内、经过深基坑开挖施工降水后,场地内原具有较高腐蚀性等级的地下水被排除后,可以降低防腐蚀设计等级。有些工程是通过组织专家论证咨询来确定,但是处置方法往往不规范,甚至存在不合理,为此利用这次修订,增加这个章节、规范这种行为是非常必要的。

第5.9.1条中“腐蚀性等级随深度逐渐降低”内容包含了不存在深层地下水腐蚀性等级高于浅层的情况,有关案例说明详见本标准第3.0.2条第1款条文说明。

第5.9.1条中“基坑底为黏性土层等隔水层”内容包括淤泥、黏土、砂质黏土、粉质黏土等,砂层、砂性土层不能作为隔水层。本省较多的花岗岩、辉绿岩、凝灰熔岩等岩层风化形成的残积土层、全风化层、强风化层为弱~中透水性土层,不属于黏性土层,也不能作为隔水层。当坑底为中风化岩层且没有裂隙贯通的情况下属于隔水层,但是实践中这种没有裂隙贯通的情况极少;微风化岩层原则上可视为隔水层。

在弱腐蚀情况下,防腐蚀设计等级不再降低。

为了增编这个章节,由本标准修订参加的第三主编单位厦门

华岩勘测设计有限公司向厦门市建设局申请立项了专门的配套科研课题《基坑周边止水帷幕对基坑内地下结构腐蚀性环境等级影响变化的研究》（项目编号：XJK2022-1-11），研究内容包括开展对已经投入使用的沿海附近有关项目的地下室室内地下渗漏水的采集和化学分析，并按照项目原深基坑围护工程的不同型式进行分类分析，得出研究成果结论后，作为本节的编制依据。

根据专项课题的研究成果，本条所指的“止水帷幕”包括以下几种具有较好效果的围护类型：

- 1 采用现浇地下连续墙的围护型式；
- 2 采用灌注桩排桩+咬合桩或桩间旋喷止水帷幕组合的围护型式；
- 3 采用排桩支护+外侧不少于一道三轴搅拌桩作为止水帷幕组合的围护型式；
- 4 采用多道三轴搅拌桩作为支护兼止水帷幕的围护型式。

现将专项课题研究成果的主要内容简介如下：

专项课题研究共选取 22 个临海附近工程项目（房屋），在其地下室室内取水样进行分析研究，其中 19 个已经投入运营使用的取水方法是采取地下室侧壁渗流水进行分析，其余 3 个未投入运营使用的取水方法是采取地下室底板集水井内的积水或另外钻孔取水进行分析。这 22 个项目的基坑围护工程止水帷幕型式分别为：14 个采用桩间旋喷桩止水帷幕、5 个采用搅拌桩（或 SMW 工法桩）形成止水帷幕、2 个采用地下连续墙止水、1 个采用素混凝土咬合桩形成止水帷幕。课题组根据 22 个项目的水质分析成果经与项目场地岩土详细勘察阶段的水质分析成果进行比对，得出的变化趋势如下表 30 所示。

经过对 22 个项目的地下水水样进行水质分析，并对比地下水中相关离子浓度变化情况、项目场区地质条件、止水帷幕设置情况后，初步得出如下规律，供同行参考：

表 30 各项目地下水水质对应的腐蚀性等级变化趋势

腐蚀类型		比对场地详勘阶段腐蚀性等级呈现的变化趋势					
		持平		降低		升高	
		项目数	占比	项目数	占比	项目数	占比
对混凝土结构		12	55%	10	45%	0	--
对钢筋混凝土结构中钢筋	长期浸水	16	73%	5	23%	1	4%
	干湿交替	9	41%	12	55%	1	4%
对钢结构		14	64%	8	36%	0	--

1 50%的样本显示，基坑围护工程采用灌注桩支护+桩间旋喷桩止水帷幕或封闭的三轴搅拌桩止水帷幕+坑底稳定的黏性土层（包括淤泥、黏土、砂质黏土、粉质黏土等）组合体系时，其场地内地下水腐蚀性等级出现了不同程度的等级降低情况，该体系在较长时间内对减弱基坑内外水体交换、改变地下水补给排泄条件有积极作用，在封闭区域内地下水补给、排泄条件发生了质的改变；其次分析同时认为降低程度与止水帷幕的质量有关，对比显示基坑开挖深度不大或者支持结构刚度较大时，地下水相关离子浓度降低较为明显，推测原因是支护体系变形较小，止水帷幕开裂的可能性较低，保障了止水效果。

2 剩余 50%的样本显示，基坑底为残积砂质土层～风化岩土层时，无论基坑围护工程采用何种型式，运营期较短的项目取水分析成果显示 pH 值上升明显，推测止水帷幕在短期内能起到封闭作用，改变地下水补给、排泄条件，延缓基坑内外水体交换，但运营期较长的项目该效果不明显，推测认为是弱透水性的坑底岩土层发生了绕流补给、并成为主导，因此类似项目止水帷幕设置长期而言对减弱内外水体交换，改变地下水补给、排泄条件的作用甚微。

**5.9.3** 围护工程中仅要求水泥和混凝土满足防腐蚀需要。



## 6 防腐蚀施工措施

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 本条是根据本省工程实践管理的需要而制定的。是考虑在工程监督管理工作中,有时发现施工不符合要求,但找不到具体的条文,有了这一条方便监督管理工作。

**6.1.2** 预制桩所涉及的现行有关国家、行业和地方标准(含图集)名称详见本标准第 5.3.1 条条文说明。

预制桩的内掺型防腐蚀措施是在制作中按标准(图集)或设计要求进行配置,因此预制桩的生产厂家需要提供包括防腐蚀技术指标的质量合格证书,供施工、监理单位进场核查。

**6.1.3** 预制桩施工前的试成桩,主要是了解接桩的细部施工质量可靠性等情况,避免达不到设计要求。

**6.1.4** 钢筋阻锈剂的施工质量与控制依据的标准是现行行业标准《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192-2009。

**6.1.7** 依据现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212-2014。

### 6.2 基桩的防腐蚀施工

#### 6.2.1 预制桩

**3** 根据预制桩的施工实践,有些管桩进场后就已经存在环状微裂缝,肉眼不易发现,若采用喷水的方法检查桩身表面,则环状微裂缝马上就显露出来;此类桩,在腐蚀性环境下,其防腐蚀存在先天的缺陷,尤其对于抗拔桩,将影响使用年限,因此不应使用。

**5~6** 预制桩的防腐蚀施工方面最担心的是电焊接桩的焊缝质量问题，以及管桩采用抱压式沉桩时，因施工工艺的特点——每节管桩沉入到端头附近时，端头易出现竖向裂缝。如根据上海宝钢管桩研究所提供的资料，预应力管桩成桩后采用孔内拍照检查发现，在管桩的接桩附近出现不同程度的竖向裂缝现象，有些竖向裂缝在接桩后沉桩中会有所发展，甚至出现局部崩裂的现象；在厦门海沧某工地也发现成桩后的管桩顶端存在竖向裂缝的现象。经交流分析主要存在两个原因：第一是抱压式沉桩沉到每节桩端头时，由于夹具太靠近端头，巨大的抱压力把桩身的端头“压扁”了，导致桩身的端头出现了竖向裂缝的缺陷；第二是有些桩身混凝土强度等级未达到 C80 的要求等。因此需要在施工前试沉桩。

**7** 这款是新增加的内容，因为经过近 10 年来的工程实践，发现预制桩采用机械连接接桩也存在先天性的局限性和一些施工质量问题。比如：一是机械连接在受拉的情况下接头处出现结构缝，这是机械连接的工艺特点（精密度）所具有的；二是当机械连接配件安装后不在一个平面上（存在高差），导致无法吻合对接（存在契型缝隙）；三是沉桩后出现桩端头开裂或爆裂破损、钢筋端头或接桩钢零件不该外露的出现外露等质量问题。当出现第二种情况下强行继续沉桩施工，就会出现预制桩端头混凝土崩裂，这是由于接桩接触面处存在传力不均匀，出现局部超载和局部不承载；因此需要查找原因及时消除质量隐患后，方可继续沉桩施工。

#### **6.2.2 灌注桩**

**2** 针对工程实践中有发现使用海水造浆的现象，因其他规范没有直接明确这类的条文规定，为了方便监管工作而制定本款。

#### **6.2.4 锚杆**

**2** 锚杆各种护管及注浆管包括套管、护套、波纹管、过渡管等，锚杆的配件包括定位架、端帽、束线环或绑扎线、锚具罩等；润滑油脂采用的现行行业标准是《无粘接预应力筋用防腐蚀润滑

脂》JG/T 430-2014。

**6.2.5** 植桩防腐从质量的可靠性来看，最好不提倡灌浆体参与承担防腐的功能。但是，本标准为了能够更广泛的方便使用，对于某些特殊情况、特殊要求的工程，可能需要灌浆体参与承担部分防腐的功能，因此这次修订增加了这一条。

**6.2.6** 基坑围护结构防腐要求前提条件是，设计利用了基坑围护工程来隔离基坑内外的地下水（腐蚀性介质）的自由交换，由此来将其影响范围的桩基础与地下结构的防腐设计等级降低一级进行设计，因此在基坑侧壁间隙回填（肥槽）前不能有渗流水现象，方可满足设计的前提条件。

本条基坑围护结构中的传力构件：是指将基坑围护（部分）结构作为地下结构永久性结构的组成部分，所采取的永久性传力结构构件；基坑支护的换撑结构构件是临时性的传力构件，不需要防腐施工。

### **6.3 混凝土的防腐施工**

**6.3.1** 原材料的配比在正式施工前的试配，是指按实际进场的材料进行适配，不能套用不同地区或不同场地的配合比。

**6.3.2** 专项施工方案应充分考虑混凝土硬化收缩过程中产生的拉应力与开裂的不利因素，确定墙、板、基础等施工缝和后浇带的设置及施工顺序。每个工程的特点不同，施工中往往需要根据工程具体特点对原设计的施工缝与后浇带进行合理调整，但是规定要求必须经设计单位确认，避免施工、监理擅自盲目的变更。

**6.3.5** 第1款中“用于施工后浇带或填充预留孔洞的混凝土应采用补偿收缩混凝土浇筑，其抗渗和抗压强度等级不应低于两侧或周边混凝土”，是参照现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108-2008 第5.2.3条“后浇带施工后浇带应采用补偿收缩混凝土浇筑，其抗渗和抗压强度等级不应低于两侧混凝土”制定。

另外,现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119-2003 (2009 年修订)第 8.4.6 条的条文说明“与桩基结合的底板和大体积混凝土底板,用补偿收缩混凝土可不做外防水,但边墙宜做附加防水层”。

第 3 款是新增的内容,源自《福建省耐腐蚀混凝土应用技术标准》DBJ-T 13-253-2024 第 4.6.5 条的规定。

关于混凝土的施工质量与控制依据标准是现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011 等。有关混凝土的施工质量与控制的经验介绍如下,供同行参考:

1 根据中国京冶工程技术有限公司(厦门)在厦门梧村地下商业街工程的混凝土裂缝控制课题研究成果表明:在夏天炎热的气候下,采取了多种措施拌制混凝土,其中包括有时采用冰水进行拌制和利用夜间浇筑施工等措施后,混凝土的入模温度方可控制在  $30\sim 32^{\circ}\text{C}$  之间,因此,希望按“不超过  $30^{\circ}\text{C}$ ”进行控制基本是做不到的。在夏天炎热的气候下,在厦门地区按“不超过  $32^{\circ}\text{C}$ ”进行控制较合理。本省的其他地区可根据试验情况确定对应的入模温度。

2 根据现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108-2008 第 4.1.27 条“大体积防水混凝土的施工”第 6 款的规定“...温度梯度不得大于  $3^{\circ}\text{C/d}$ ...”和《大体积混凝土施工规范》GB 50496-2009 第 3.0.4 条第 3 款的规定“混凝土现浇体的降温速率不宜大于  $2^{\circ}\text{C/d}$ ”,但根据中国京冶工程技术有限公司(厦门)提供的厦门有关工程经验:对于厚度 $\leq 500\text{mm}$ 的混凝土构件,采取不同的覆盖与养护方法,收集到的混凝土降温速率资料一般为  $4\sim 6^{\circ}\text{C/d}$ 。

3 在现行的有关规范中对于后浇带混凝土的浇筑封闭时间多数规定为“不宜早于本体混凝土浇筑后的  $60\text{d}$ ”,而现行行业标准《补偿收缩混凝土应用技术标准》JGJ/T 178-2009 第 4 条的条文说明“底板和边墙后浇缝最大间距可延长至  $60\text{m}$ ,后浇缝的

回填时间可缩短至 28d”。随着工程技术的发展和经验的积累，在实践中发现：后浇带混凝土的浇筑封闭时间与混凝土收缩变形、建筑物沉降、使用功能要求、施工工艺等多项因素有关。有些以温度收缩变形为主控制的结构体，经课题研究取得创新的成果，如厦门梧村地下商业街超长（长度超过 400m）混凝土结构，采用跳仓法（专项课题研究）的后浇带混凝土，是在本体混凝土浇筑后的 7~10d 进行浇筑封闭，取得良好的效果。若以沉降变形为主控制的结构体，不应教条的参考。

## 6.4 防腐蚀材料的施工

**6.4.1** 原条文内容是“防腐蚀材料施工前应将基层表面清理干净”，本意是担心基层施工完成后产品保护不到位，被其他工种施工损伤或杂物污染等；因执行上存在理解的差异性，所以做了修改，直接明了意图。

**6.4.3** 本条中的“防腐蚀材料的厚度”，在第 5 章的防腐蚀设计已有分别规定；而“防腐蚀材料的分层施工厚度及其每层施工的间歇时间”往往是生产厂家的产品技术要求，当设计同意采用该防腐蚀材料以后，这些指标就属于设计要求的范畴，因此规定了应符合设计要求。

**6.4.4** 国家现行标准为《建筑与市政施工现场安全卫生与职业健康通用规范》GB 55034-2022 和《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146-2013。

## 7 防腐蚀工程质量检验与验收

### 7.1 质量控制

#### 7.1.1

1 本款的检查是指施工（安装）前检查和施工（安装）中核查（抽查）；其中锚杆配件是指锚杆承载体、锚固件与套管等。

3 钢筋类型是指包括钢筋混凝土用钢、预应力混凝土用螺纹钢、环氧树脂涂层钢筋和耐腐蚀钢筋；钢筋保护层厚度的检查包括可采用钢筋扫描仪检查，个别部位当无法采用仪器检查时、可采用轻度破损的挖露检查，并做好封闭处理。

4 防腐蚀原材料品种、规格和性能的质量检查主要依据是现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212-2014 的规定；包括对产品出厂合格证、材料检测报告或现场抽样的复验报告和施工记录等的核查。

13 防腐蚀工程的施工质量检查的内容中，涂层的厚度可采用厚度检测仪检查，钢筋保护层厚度的检查按本条第 3 款内容。

7.1.2 在临海场地，勘察时场地地下水与海水没有直接的联系，但施工中却发现两者有联系等情况，值得注意。

7.1.3 在地质条件较差的场地中，导致桩身混凝土的充盈系数等出现异常的现象是经常发生的，这需要组织设计等参建单位有关人员认真分析核查原因，不能盲目处理。

7.1.4 对于拍照，可按参建各方确定的验收检查具体部位举牌拍照；有关规定包括本省房屋建筑和市政基础设施工程基桩检测技术与管理 and 各级主管部门的规定。

## 7.2 质量检验

### 7.2.1 预制桩

1 利用砍桩废弃的桩节做破碎检查,是对预制桩的产品质量保障具有威慑的意义,且方便和可操作性。

2 预制桩钻芯法检测标准可依据现行国家标准《钻芯法检测混凝土强度技术标准》CECS 03: 2007,管桩钻芯法检测标准可依据现行国家标准《钻芯检测离心高强混凝土抗压强度试验方法》GB/T 19496-2004。

3 现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202-2018 中表 5.10.4 的规定“焊缝电焊质量外观:目测法无气孔、无焊瘤、无裂缝”,“焊缝探伤检验:设计要求,超声波或射线探伤”和现行地方标准《建筑地基基础技术规范》DBJ 13-07-2006 第 9.3.7.6 条第 7 款的规定“(管桩)焊接接头的质量检查,在同一工程内探伤检查数量不得少于总桩数的 1%且不少于 3 个接头”,在实践中,预制桩在焊接接桩和检查中需要停置(暂停送桩)时间较长,往往出现接桩后不能顺利的继续沉桩,给施工带来不少的麻烦。为此本条文是结合了实际情况而制定。

4 需孔内拍照检查详见本标准第 6.2.1 条第 5~6 款条文说明。其中符合本标准第 5.3.3 条第 2 款规定,采用本条相同工艺施工的管桩,其接桩接头附近的桩身混凝土竖向裂缝的检查数量不做规定,是基于使用中的特殊性,需由设计提出特殊的检测要求;

5 质量指标的依据是现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212-2014;质量取样检验数量的依据是现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB 50224-2018。

7 预应力管桩的耐久性性能测试方法,参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082-2009 的规定执行。

**7.2.2** 钢筋保护层厚度的其他有效检查方法是指,当灌注桩外表凹凸不平不方便打磨无法采用钢筋扫描仪检查时,可采用局部凿

开剥露检查，但对剥露点应进行封闭处理。

**7.2.5** 当植桩需要共同承担竖向或水平荷载时，则需要灌浆体与植入桩能够协同工作、共同变形（沉降），因此植桩两者之间的结合牢固情况是非常重要的；若不能结合牢固，则将直接影响其两者的共同承担荷载的功能。

**7.2.6** 基坑围护结构防腐蚀实际上是依靠基桩（墙）+有关混凝土结构构件的耐久性和围护整体的封闭性，因此对于基坑侧壁的渗流水现象应严格控制。其中第2项中的“永久性…传力构件”是指用于抗浮的附加传力构件，这些构件一般都是地下室主体结构施工完成后、基坑肥槽之前施工到位。

**7.2.8** 混凝土电通量和氯离子扩散系数测定方法的依据是现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》GB/T 50082-2009。

**7.2.9** 阻锈剂的质量检验标准为现行行业标准《钢筋阻锈剂使用技术标准》JGJ/T 192-2009。

**7.2.10** 防腐蚀材料包括水玻璃类、树脂类、沥青类、涂料类和聚合物水泥砂浆等防腐蚀工程（面层）使用的材料。其质量指标和质量检验依据分别为现行国家标准《建筑防腐蚀工程施工规范》GB 50212-2014 和《建筑防腐蚀工程施工质量验收标准》GB 50224-2018 的规定。

### 7.3 验 收

**7.3.1** 检验批、分项（子分项）、分部（子分部）的划分主要参考现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300-2013 的规定。桩基础与地下结构防腐蚀分项工程一般是纳入地基基础分部工程。

**7.3.4** 特殊工程的防腐蚀监测点预埋平面布置图及保护措施，按设计要求进行实施。