



中华人民共和国国家标准

GB/T 43667—2024

钢筋混凝土腐蚀监检测技术规范

Technical specification for corrosion monitoring and testing of steel
reinforced concrete

2024-03-15发布

2024-10-01实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般规定 2

5 系统 3

6 测试点布设 6

7 安装 7

8 调试 9

9 验收 10

10 运行 10

11 钢筋混凝土腐蚀评价 11

附录 A (资料性) 钢筋混凝土监检测系统施工验收记录表 14

参考文献 15

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由全国腐蚀控制标准化技术委员会(SAC/TC381)归口。

本文件起草单位：厦门乐钢材料科技有限公司、沈阳中科环境工程科技开发有限公司、厦门大学、国网冀北电力有限公司电力科学研究院、广东腐蚀科学与技术创新研究院、中核核电运行管理有限公司、南方电网产业投资集团有限责任公司、中交公路规划设计院有限公司、中交公规土木大数据信息技术(北京)有限公司、东莞市祺兆科技服务有限公司、广东省公路建设有限公司虎门二桥分公司、大庆市汇通建筑安装工程有限公司、浙江数智交院科技股份有限公司、杭州本创科技有限公司、广东建科创新技术研究院有限公司、苏州热工研究院有限公司、中国科学院海洋研究所、福建省海工腐蚀控制研究院有限公司、浙江钰烯腐蚀控制股份有限公司、深圳国能宸泰科技有限公司、青岛理工大学、中冶建筑研究总院有限公司、上海建冶科技股份有限公司、福州榕建工程检测有限公司、武汉科思特仪器股份有限公司、广州港湾工程质量检测有限公司、北京鸿锐嘉科技发展有限公司、中蚀国际腐蚀控制工程技术研究院(北京)有限公司、中国腐蚀控制技术协会、北京碧海云智新材料技术有限公司。

本文件主要起草人：林理文、林昌健、陈博、王熙俊、王震宇、韩光辉、周经中、李娜、刘志强、张维、雷鹰、范磊、吴华成、郑鹏宇、张凯、叶志龙、刘芳亮、李小龙、李毅、李岩、莫烨强、孙永亮、吴昉赞、高艳滨、罗俊平、臧晗宇、谭思敏、林斌、刘晓欣、何晓宇、张秀丽、金国强、刘洪义、刘洪群、赵霞、金祖权、殷曙辉、董泽华、杨厚易、辜志俊、罗家琪、张宏图、徐小梅、郝挺宇、王登堂、方翔、余海龙、刘严强、邸泰深、陈纪国、李侠、王贵明、王雅洁、王婉煜、邵骞、王贵林。

钢筋混凝土腐蚀监检测技术规范

1 范围

本文件规定了钢筋混凝土腐蚀监检测系统(以下简称“监检测系统”)的组成、测试点布设、安装、调试、验收、运行,描述了钢筋混凝土腐蚀的评价方法。

本文件适用于钢筋混凝土结构钢筋腐蚀的监检测、腐蚀评价和工程验收,可用于无阴极保护和有阴极保护的钢筋混凝土结构。

2 规范性引用文件

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

- GB/T 7665 传感器通用术语
- GB/T 10123 金属和合金的腐蚀 术语
- GB/T 33373 防腐蚀 电化学保护 术语
- GB/T 38894—2020 无损检测 电化学检测 总则
- GB 50168 电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准
- GB/T 50344—2019 建筑结构检测技术标准
- JGJ/T 152 混凝土中钢筋检测技术标准

3 术语和定义

GB/T 7665、GB/T 10123和 GB/T 33373界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钢筋混凝土腐蚀 corrosion of steel reinforced concrete
在环境作用下,混凝土结构中钢筋发生退化的过程。

3.2

钢筋自腐蚀电位 self-corrosion potential of steel reinforcement
在无外加电流极化条件下,钢筋在混凝土中腐蚀电池的混合电位。

3.3

钢筋腐蚀速率 corrosion rate of steel reinforcement
混凝土中钢筋单位面积、单位时间内腐蚀的量。

注：钢筋腐蚀速率有三种表示方法：

- a) 单位面积、单位时间内钢筋损失的质量；
- b) 单位面积、单位时间内钢筋直径减薄量；
- c) 单位面积、单位时间内的腐蚀电流。

3.4

保护电位 protection potential
对钢筋混凝土施加阴极保护后,钢筋受阴极极化的电极电位。

3.5

测试区 testarea

在一个结构或构件上,按检测方法要求,选择在重点或代表性区域布置的一个或者若干个检测区域。

3.6

测试点 testpoint

在一个测区内,按检测方法要求,选择在重点或代表性位置埋设一个或者若干个传感器的点位。

4 一般规定

4.1 监检测程序和工作内容

4.1.1 钢筋混凝土腐蚀监检测程序流程如图 1所示。



图 1 钢筋混凝土腐蚀监检测程序流程图

4.1.2 钢筋混凝土监检测工作内容

4.1.2.1 钢筋混凝土监检测项目包括新建和在役钢筋混凝土结构中钢筋的 自腐蚀电位、钢筋腐蚀速率以及混凝土电阻率、混凝土孔隙液的 pH 和氯离子浓度。

4.1.2.2 开展监检测前的调查阶段工作包括：

- a) 收集钢筋混凝土工程结构的设计图纸、施工验收资料；
- b) 现场调查钢筋混凝土工程结构形式、环境条件、服役状态及存在的问题。

4.1.2.3 制定监检测技术方案,确定测试区和测试点,安装传感器、数据采集单元、数据通信单元和监检测数据分析软件,对钢筋腐蚀风险进行测评,出具腐蚀监检测报告。

4.2 测试区和测试点

4.2.1 对于尺寸小于或等于 12 m² 的结构或结构件,如混凝土结构的梁、板、剪力墙等,宜将整个构件作为一个构件布置于测试区。

4.2.2 对于尺寸大于 12 m² 的结构或结构件,如大桥桥墩、承台、隧道拱顶、墙体、水闸闸墩、翼墙、水池池壁、箱涵侧墙等,应按高程、桩号将其划分为若干个具有代表性的区域,每个区域作为一个构件布置于测试区。

4.2.3 测试点宜选择在结构薄弱部位、服役环境恶劣区域、结构易受到环境侵蚀的部位,测试点的布设部位见 6.2。

4.3 监检测项目

钢筋混凝土腐蚀监检测项目及适用条件见表 1。

表 1 钢筋混凝土腐蚀监检测项目及适用条件

序号	监检测项目	监检测目的	适用条件	测试方法
1	钢筋腐蚀电位	钢筋腐蚀倾向性	a) 混凝土呈离子传导性； b) 钢筋无外极化干扰； c) 混凝土结构处于有氧环境	按 GB/T 50344—2019
2	钢筋腐蚀速率	钢筋腐蚀速度	a) 交流扰动信号幅值 ≤ 50 mV； b) 无外加强干扰信号； c) 钢筋未施加阴极保护	按 GB/T 38894—2020
3	混凝土电阻率	钢筋腐蚀风险	混凝土呈离子传导性	按 GB/T 50344—2019
4	混凝土 pH	混凝土中性化程度及 钢筋腐蚀风险	a) 无外加干扰信号； b) 阴极保护时应断电测量	按 GB/T 38894—2020
5	混凝土中氯离子 浓度	混凝土受氯离子侵袭 及钢筋腐蚀风险	a) 无外加干扰信号； b) 阴极保护时应断电测量	按 GB/T 38894—2020

5 系统

5.1 系统组成

监检测系统由传感器、数据采集仪、数据通信和分析软件及阴极保护系统(如有)构成。

5.2 传感器

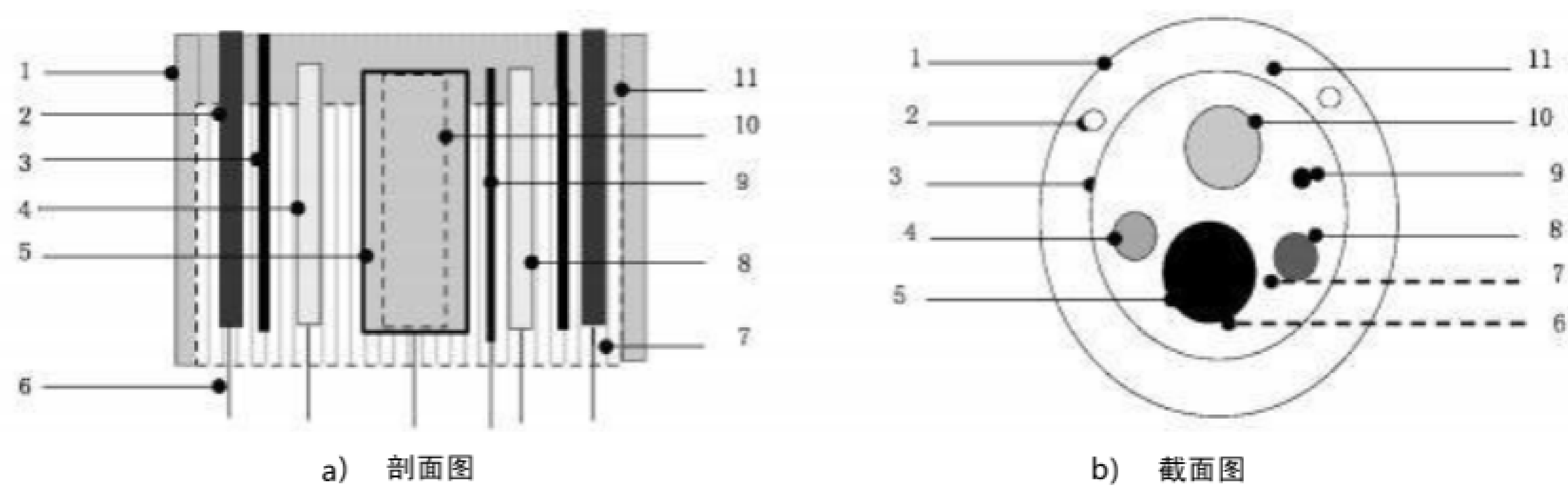
5.2.1 一般要求

钢筋混凝土传感器应满足以下要求：

- 在钢筋混凝土结构的设计寿命周期内,持续正常工作；
- 具有防护性、稳定性、耐久性和集成性；
- 符合钢筋混凝土结构使用、防护及监检测技术要求。

5.2.2 结构

传感器由钢筋工作电极、不锈钢套筒对电极、二氧化锰参比电极、氯离子电极、pH 电极、电阻率电极及温度电极等组成。钢筋工作电极、二氧化锰参比电极、氯离子电极、pH 电极布置在不锈钢套筒对电极内侧,电阻率电极布置在不锈钢套筒对电极外侧,所有电极固定在非金属套筒内。传感器前端一段填充混凝土保护层,后端填充环氧树脂固化封装,其结构示意图如图 2 所示。



- 标引序号说明：
- 1—绝缘套筒；

2—电阻率电极；

3—对电极；

4—氯离子电极；

5—二氧化锰参比电极；

6—电极导线；

7 —环氧树脂固化封装；

8 —pH 电极；

9 —温度电极；

10—钢筋电极；

11—混凝土保护层。

图 2 监测传感器结构示意图

5.2.3 材料

- 传感器中电极材料的选用宜符合以下要求：
- a) 钢筋电极材料选用与待测钢筋混凝土结构中同牌号的钢筋；
 - b) 对电极材料选用 316L 不锈钢；
 - c) 参比电极选用全固态二氧化锰参比电极；
 - d) 氯离子电极选用氯化银电极；
 - e) pH 电极选用氧化铌或氧化钨电极；
 - f) 电阻率电极材料选用 316L 不锈钢。

5.2.4 技术指标

传感器电极工作环境温度应为 -30℃～85℃，传感器电极技术指标应满足表 2 的要求。

表 2 传感器电极技术指标

序号	项 目		指标
1	二氧化锰参比电极	稳定性(≥10d)	±20.0 mV
		内阻值	<1kΩ·cm ²
2	pH 电极	电位响应线性系数	0.9~1.1
		响应时间	<1 min
3	氯离子电极	电位响应线性系数	0.9~1.1
		响应时间	<1 min
注：表中指标均在 23℃氢氧化钙饱和溶液中测试。			

5.2.5 运输与贮存

传感器的运输与贮存应满足以下要求：

- 运输过程中,不沾染油漆、油污,不接触酸、碱、盐等化学药品;
- 贮存在干燥、通风良好、无腐蚀性气体的仓库内;
- 露天贮存的电缆,端头采用可收缩塑料封帽密封。

5.3 数据采集仪

5.3.1 数据采集仪的功能应满足以下要求:

- a) 采用模块化、单元化和标准化设计,增大关键元件和固件的冗余量;
- b) 适应所处环境条件,具有自身防护功能,抗干扰、抗盐雾,性能可靠,维护便利;
- c) 满足长期稳定工作要求,易于更新维护,维护时不影响数据的完整性;
- d) 采用高输入阻抗的极化电路,内置温度采集与补偿电路。

5.3.2 数据采集仪主要技术指标应满足表 3 的要求。

表 3 数据采集仪主要技术指标

序号	指标	精度
1	电位测量范围: -2.000 V~ 2.000 V	FS0.5%
2	电位测量通道: 3 路(钢筋自腐蚀电位、pH 电极电位、氯离子电极电位)	—
3	极化电阻测量范围: 1 kΩ·cm ² ~ 10 MΩ·cm ²	FS0.5%
4	氯离子浓度测量范围: 10 ⁻⁴ mol/L~ 10 ⁻¹ mol/L	FS2%
5	pH 测量范围: 2~ 14	FS2%
6	电阻率测量范围: 100 Ω·cm~ 100 kΩ·cm	FS0.5%
7	温度测量范围: -30℃~ 85℃	±2℃
8	通信端口: RS485、USB或网口,支持 Modbus或 TCP/IP通信协议	波特率: 9 600~ 115 200
9	工作电压: DC 12 V~ 24V	—
10	三防标准: ≥ IP 65 等级	—
注: FS表示量程的范围。		

5.4 数据通信和分析软件

5.4.1 数据通信和分析软件的功能应满足以下要求:

- a) 具备传感器识别、数据导入、查询、绘图、显示、存储、输出、腐蚀评价与预警功能;
- b) 与硬件相匹配,具有安全性、稳定性、容错性、可操作性、兼容性、可扩展性和易维护性;
- c) 具备权限控制功能,防止非法访问,具有网络攻击防护功能;
- d) 具有腐蚀测量参数和预警阈值的设置功能。

5.4.2 钢筋混凝土腐蚀数据通信和分析软件工作流程如图 3所示。

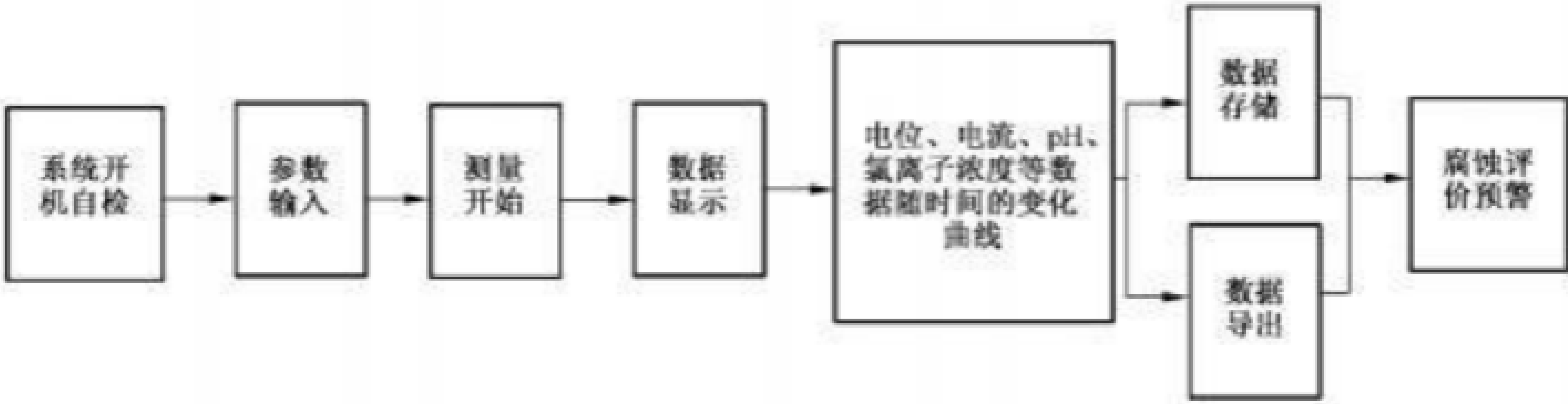


图 3 钢筋混凝土腐蚀数据通信和分析软件工作流程图

5.5 阴极保护

当钢筋混凝土施加阴极保护时，阴极保护主要技术指标应满足表 4 的要求。

表 4 阴极保护主要技术指标

序号	指标	精度
1	瞬时断电电位 $\pm 2.0\text{ V}$	$\leq 10\text{ mV}$
2	阴极保护电位 $\pm 2.0\text{ V}$	$\leq 10\text{ mV}$

6 测试点布设

6.1 一般要求

测试点布设一般要求如下：

- a) 服役于海洋、滨海、化工、盐环境、酸雨等工况条件中的钢筋混凝土结构，在钢筋混凝土结构设计中应设置测试点对结构实施生命周期内的腐蚀监检测；
- b) 确定腐蚀监检测的传感器测试点布设时，应收集的资料包括但不限于：
 - 1) 钢筋混凝土结构设计文件、施工文件，
 - 2) 周边地质、水文、环境状况，
 - 3) 地下岩土工程勘察资料。
- c) 传感器嵌入安装不应影响工程结构的力学性能以及钢筋的防护性能，电缆铺设不应影响钢筋混凝土结构的安全性、适用性和耐久性；
- d) 测试点布设过程中确需开槽、钻孔等，应予以修复，确保开槽、钻孔不对结构造成实质性损伤和性能下降；
- e) 应对测试点进行规范化编号。

6.2 布设部位

钢筋混凝土结构腐蚀监检测位点布设见表 5。

表 5 钢筋混凝土结构腐蚀监检测位点布设

钢筋混凝土结构	传感器布设位置
桥梁	桥墩全浸区、承台潮差区、浪花飞溅干湿交替区
隧道	地下岩石风化槽、裂缝等地质不稳定区域,钢筋焊缝、套筒位置、二衬空洞集中位置及海底隧道最低点、泵房
码头	浪溅区和水位变动区的纵梁、横梁及桩帽
其他钢筋混凝土结构	地质结构薄弱的海上风电基础承台部位
阴极保护的钢筋混凝土结构	实施阴极保护的复杂钢筋混凝土结构以及周围服役环境差异较大的钢筋混凝土结构

7 安装

7.1 安装前的准备

7.1.1 结构设计及环境分析

监检测系统安装前应应对工程结构设计文件、服役环境及施工现场进行勘察分析,确定腐蚀监检测方案、传感器中电极的组成以及安装方式。

7.1.2 原始资料的准备

原始资料包含但不限于以下内容：

- a) 监检测目的及技术要求；
- b) 被监检测构件或结构的描述；
- c) 监检测区域及位点的设计文件；
- d) 监检测施工计划；
- e) 监检测系统的相关技术文件；
- f) 服役环境条件文件；
- g) 监检测过程和测试步骤；
- h) 监检测报告信息。

7.2 传感器安装

7.2.1 一般规定

传感器安装一般要求如下。

- a) 传感器安装前应移除传感器端部的保护套,检查传感器的完整性、电连通性、完好性。
- b) 传感器安装位点选择见 6.1,传感器安装可按一定间隔密度阵列排布或纵向梯度分布。
- c) 安装嵌入式传感器位置应设置明显标记,以便浇筑混凝土后易于识别;安装后应记录传感器的安装位置和埋设深度。
- d) 混凝土浇筑过程中应避免混凝土物料直接冲击损伤传感器和电缆;混凝土振捣点位应避开传感器安装位置和电缆敷设位置。
- e) 应保持传感器与钢筋网的电绝缘,电缆敷设施工应符合设计要求和 GB 50168的规定。
- f) 传感器与延伸电缆宜一体化,电缆总长度应根据需求估算并预留适宜的长度;电缆确需采用中

间接头时,应确保接头连接牢固、可靠,在接头处做绝缘密封和封装防护;待用电缆线头应做临时保护。

- g) 传感器电缆敷设可通过不锈钢管或 PVC管套管加以防护。
- h) 传感器安装后,应及时对传感器及电缆进行检查,发现问题应采取补救措施。

7.2.2 安装位点

钢筋混凝土传感器安装位点的选择应满足以下要求：

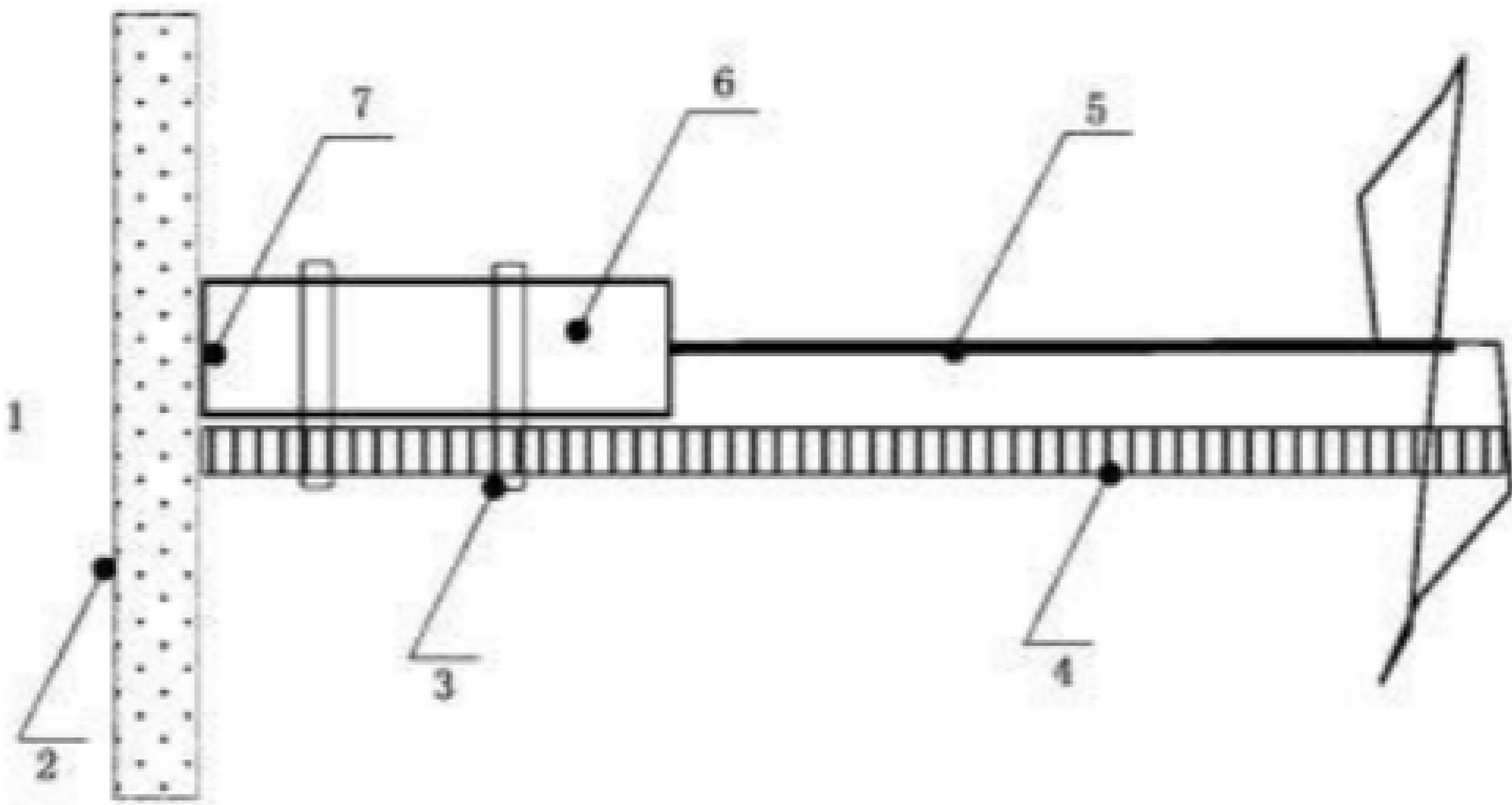
- a) 安装位点安装传感器后,不影响钢筋混凝土结构力学性能；
- b) 安装位点选择在钢筋混凝土结构薄弱部位；
- c) 安装位点选择在受环境侵蚀严重的部位。

7.2.3 实施

7.2.3.1 新建钢筋混凝土结构

新建钢筋混凝土结构中传感器安装应满足以下要求：

- a) 新建钢筋混凝土结构中传感器安装示意如图 4所示；



标引序号说明：

- | | |
|---------|---------------|
| 1—服役环境； | 5—多芯电缆； |
| 2—混凝土层； | 6—钢筋混凝土腐蚀传感器； |
| 3—绑扎带； | 7—传感器测试面。 |
| 4—钢筋； | |

图 4 新建钢筋混凝土结构传感器安装示意图

- b) 传感器测试面朝向服役环境一侧；
- c) 传感器测试面与混凝土表面的距离范围为 20 mm~ 200 mm；
- d) 采用绑扎带将传感器固定在结构中的钢筋上,或先绑扎在辅助钢筋上再固定在结构中的钢筋上,传感器与钢筋接触部位用绝缘带或橡胶垫隔离,传感器测试端朝向与钢筋受侵蚀的方向一致；
- e) 距离相近的多个传感器将信号电缆汇集到数据采集仪的接线箱,接线箱位置的布设满足人员容易达到、安全、不易涉水的要求;当传感器无电子识别编号时,在电缆上标注传感器编号。

7.2.3.2 在役钢筋混凝土结构

在役钢筋混凝土结构中传感器安装可采用钻孔嵌入或外挂试块等方式安装,要求如下：

- a) 应满足 JGJ/T 152选点钻孔安装要求,或外挂试样方式安装要求；
- b) 应用钢直尺测量传感器埋设处的保护层厚度,取最小测量值作为传感器的埋入深度,并做好

记录；

- c) 钻孔安装传感器时,不应损伤钻孔处混凝土周围的钢筋,也不应降低钻孔处钢筋混凝土结构力学性能；
- d) 安装传感器时,传感器的测量端应朝向腐蚀环境,布设完成后,用高于埋设处混凝土标号的水泥砂浆填充、恢复；
- e) 安装传感器时,如对钢筋混凝土结构造成破损或对钢筋造成损伤,应在安装后及时修补,并作好防护措施；
- f) 采用混凝土预制方形混凝土试块安装传感器时,应使用与在役结构同样标号和配合比的钢筋混凝土,确保传感器测试面和试块表面距离与在役钢筋混凝土结构的混凝土保护层厚度相同。

7.3 系统安装

7.3.1 数据采集仪可通过 RS485 协议与串口服务器连接,再通过串口服务器上的光纤或网线接入到中央服务器的计算机。

7.3.2 对于无法布线的区域,可采用无线数据收发器,通过 Lora 协议、Zigbee 协议、无线网络或者移动网络接入到中央服务器或者云服务器。

7.3.3 监检测系统可通过后台服务程序对异常数据或者腐蚀严重区域设置报警,并通过短信或者邮件向管理人员发送报警信息。

7.3.4 对于不能实现在线监检测的环境,可采用数据下载器对采集仪进行定期或不定期数据下载存储。

7.3.5 监检测设备安装位置选择应考虑电源、线缆布置、维护便利性等因素,宜布置在仪器较为集中、安全、通达、通电、干燥、通风、无静电、无强磁场的部位,确保安装环境满足监检测设备的使用要求,不应对结构造成实质性损伤或性能下降。

7.3.6 应根据现场情况和监检测要求确定不同类型的供电方式,并确保在各种天气条件下可使用,宜采用稳定可靠的专用市电电源供电,采用市电供电时,应设置过载、短路和漏电保护装置;附近无可靠市电供电时,可采用太阳能或风能等电源供电;监检测系统供电应配置不间断电源。

7.3.7 电缆敷设应满足 7.2.1 中 e)~g) 的要求;监检测系统布设和接线应规整有序、连接正确可靠、接触良好、绑扎牢固、松紧适度、端头连接规范,电缆标识应清晰齐全;防护箱的进、出线口应密封处理,进、出电缆应予以紧固和防护。

7.3.8 监检测系统安装后,外观应协调一致、整洁、无破损、无松动变形及不影响使用;防护箱内的设备应布局合理,箱体良好密封,箱盖/门可靠关闭;天线牢固安装在适宜位置,并采取必要的防护措施。

8 调试

8.1 监检测系统安装完毕后,应对监检测系统的硬件、软件、数据通信的稳定性与性能指标进行全面调试。

8.2 启动监检测系统,检查通信接口和各监检测节点的数字编号是否正确显示在监控中心服务器显示屏窗口内,监检测系统电缆、接插口等不应发生腐蚀、短路或断路现象,以及控制器供电不足或者通信故障等现象。

8.3 启动监检测系统控制软件,输入被监检测混凝土结构的工程编号,以及服役环境、测试点编号、电极系数、数据采集频率、预警阈值等技术参数,完成腐蚀测量程序的初始化。

8.4 调整监检测计划和监检测模式,并启动监检测系统进行试运行,试运行时间不应少于 5 个工作日。

9 验收

9.1 监检测系统安装完毕后,宜按照附录 A 的要求进行验收,并提供 9.2 的文件,验收合格后方可投入使用。

9.2 监检测系统验收提供的文件包括但不限于:

- a) 监检测系统竣工图;
- b) 监检测系统操作规程;
- c) 由生产企业或第三方检测机构出具的监检测系统设备检验报告;
- d) 监检测系统设备质量合格证明;
- e) 监检测系统质量技术规格书。

10 运行

10.1 运行操作文件

运行监检测系统时,应编制运行操作文件,并按文件运行。操作文件包括:

- a) 监检测目的及技术要求;
- b) 被监检测构件或结构的描述;
- c) 监检测区域及位点;
- d) 监检测传感器分布;
- e) 监检测传感器技术参数;
- f) 有要求时,监检测的验收准则;
- g) 与监检测报告相关的要求;
- h) 监检测人员资格。

10.2 运行设备校验

10.2.1 校验周期

运行设备校验周期包括定期校验、不定期校验。校验周期要求如下:

- a) 除运行设备功能校验外,运行设备的定期校验周期应为一年;
- b) 运行设备定期功能校验,至少应在监检测过程开始前和结束后、监检测人员变动或者监检测设备部件更换时进行功能校验;
- c) 监检测设备有要求时,应对监检测现场的技术指标进行不定期校验。

10.2.2 设备校验

10.2.2.1 运行设备的校验包括对传感器的校验和对数据采集仪的校验。

10.2.2.2 对监检测系统的预埋传感器可使用外置参比电极进行校验。

10.2.2.3 设备校验程序为:

- 与标准参比电极、标准检测仪对比,判断监检测设备漂移的偏差是否可以接受;
- 记录设备出现的偏差和修正措施。

10.2.2.4 设备校验结论分为校验合格与不合格。对校验不合格的设备,应进行校准、维修或更换。

10.3 运行人员

监检测系统的运行人员应经监检测系统供应商培训并考核合格后方可上岗操作。

10.4 运行维护

- 10.4.1 运行管理单位应制定监检测系统维护方案,并定期组织巡视与维护。
- 10.4.2 监检测设备应进行定期检查、清洁和养护,发现问题应及时查明原因并修复,必要时应更换监检测设备。更换监检测设备后应确保更换后设备的主要技术指标不低于更换前的指标,并应与原系统相匹配。
- 10.4.3 监检测数据应定时自动或人工存入数据库,并采用安全、可靠的方式进行定期备份。
- 10.4.4 宜定期人工对监检测系统进行比测或校验,当系统技术性能不满足要求时应进行现场维护。
- 10.4.5 监检测系统不满足使用要求时,应对监检测系统进行补设、更新改造或软件修复升级;监检测系统发生变动时,应建立新旧系统的转换关系,保持变动前后监检测数据的衔接;监检测系统补设、更新改造时,应不破坏原有可用的传感器、监检测设备;监检测系统软件修复升级时,应对软件和数据备份。
- 10.4.6 监检测系统应进行运行安全管理,对使用人员或设备用户进行身份鉴别和权限管理,未经授权不应擅自操作、改动、拆除及停用监检测系统。
- 10.4.7 监检测系统出现异常时,应及时检修,掌握系统运行状况,分析监检测系统存在的问题,提出系统改进或处置意见。
- 10.4.8 长期运行维护 and 管理的监检测系统,可根据实际情况调整预警阈值和监检测频率;监检测系统发出预警信息时,应进行确认和处理。
- 10.4.9 钢筋混凝土结构遭受台风、地震、洪水、船撞、火灾等特殊事件或监检测系统发生重大故障后,应对监检测系统进行全面检查。
- 10.4.10 监检测系统管理维护应建立完整记录,并在钢筋混凝土生命周期内保存。

11 钢筋混凝土腐蚀评价

11.1 一般规定

可根据监检测系统测试测得的氯离子浓度、pH、电阻率、钢筋自腐蚀电位、腐蚀速率等参数综合评价被测的钢筋混凝土结构的环境腐蚀状态、钢筋锈蚀动态趋势及腐蚀风险。

11.2 未施加阴极保护钢筋混凝土腐蚀评价

11.2.1 混凝土 pH和氯离子浓度

根据监检测系统测试得的混凝土 pH 和氯离子浓度,计算氯离子浓度与氢氧根离子浓度比值,监测氯离子浓度与氢氧根离子浓度比值的动态变化趋势,判定腐蚀风险,并确定是否施加阴极保护或其他防护措施,如表面涂层保护、电化学除氯、混凝土再碱化等。氯离子浓度与氢氧根离子浓度比值对钢筋混凝土腐蚀风险评价见表 6。

表 6 氯离子浓度与氢氧根离子浓度比值对钢筋混凝土腐蚀风险评价

$[Cl^{-}]/[OH^{-}]^a$	钢筋腐蚀风险	是否施加阴极保护
>0.6	钢筋表面钝性破坏,发生腐蚀	施加
≤ 0.6	钢筋表面可保持钝性,不发生腐蚀	不需施加
^a 氯离子浓度与氢氧根离子浓度比值对钢筋混凝土腐蚀风险评价适用于符合 JGJ 55 的普通混凝土。		

11.2.2 混凝土电阻率

根据对钢筋混凝土电阻率监检测的结果，电阻率对钢筋混凝土腐蚀风险评价见表 7。

表 7 电阻率对钢筋混凝土腐蚀风险评价

电阻率(ρ) $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$	钢筋腐蚀风险
$\rho > 100$	钢筋腐蚀速率极低，腐蚀风险可忽略
$50 < \rho \leq 100$	钢筋可能发生腐蚀，但腐蚀速率低
$10 < \rho \leq 50$	钢筋已发生腐蚀，腐蚀速率中等
$\rho \leq 10$	钢筋腐蚀环境苛刻，腐蚀速率高

11.2.3 钢筋自腐蚀电位

根据对钢筋混凝土自腐蚀电位监检测的结果，自腐蚀电位对混凝土中钢筋腐蚀倾向性评价见表 8。

表 8 自腐蚀电位对混凝土中钢筋腐蚀倾向性评价

钢筋自腐蚀电位(E , 相对 MnO_2 参比电极) mV	钢筋在混凝土中腐蚀倾向性
$E > -350$	钢筋不发生腐蚀的概率大于 90%
$-500 < E \leq -350$	钢筋发生腐蚀的概率为 50%
$E \leq -500$	钢筋发生腐蚀的概率大于 90%

11.2.4 钢筋腐蚀电流密度

根据对钢筋混凝土腐蚀电流密度监检测的结果，腐蚀速率对钢筋混凝土结构保护层评价见表 9。

表 9 腐蚀速率对钢筋混凝土结构保护层评价

腐蚀速率(i_{corr}) $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	腐蚀速率等级	构件保护层出现损伤的年限(N) a
$i_{\text{corr}} \leq 0.2$	钝化状态	$N > 30$
$0.2 < i_{\text{corr}} \leq 0.5$	低腐蚀速率	$15 < N \leq 30$
$0.5 < i_{\text{corr}} \leq 1.0$	中等腐蚀速率	$10 < N \leq 15$
$1.0 < i_{\text{corr}} \leq 10$	高腐蚀速率	$2 < N \leq 10$
$i_{\text{corr}} > 10$	极高腐蚀速率	$N \leq 2$

11.3 施加阴极保护钢筋混凝土腐蚀评价

根据对施加阴极保护钢筋混凝土监检测的结果，阴极保护电位对钢筋混凝土中钢筋腐蚀风险评价见表 10。

表 10 阴极保护电位对钢筋混凝土中钢筋腐蚀风险评价

阴极保护电位(E_p ,相对 MnO_2 参比电极) mV	钢筋腐蚀风险
$E_p > -1\ 050$	欠保护,钢筋有腐蚀风险
$-1\ 400 < E_p \leq -1\ 050$	钢筋无腐蚀风险
$E_p \leq -1\ 400$	过保护,钢筋有腐蚀风险

11.4 钢筋混凝土腐蚀监检测评价报告

钢筋混凝土腐蚀监检测评价报告包括但不限于以下内容。

- a) 项目概况。
- b) 监检测位点及分布。
- c) 监检测技术设计方案及程序：
 - 1) 设计方案依据；
 - 2) 监检测程序；
 - 3) 监检测内容及参数设置。
- d) 监检测数据与分析：
 - 1) 监检测数据；
 - 2) 监检测数据分析；
 - 3) 腐蚀风险评价及预警值确定；
 - 4) 存在的问题。

附录 A
(资料性)
钢筋混凝土监检测系统施工验收记录表

表 A. 1 为钢筋混凝土监检测系统施工验收记录表。

表 A. 1 钢筋混凝土监检测系统施工验收记录表

钢筋混凝土腐蚀监检测系统施工验收记录表					版本：	
					第 ____ 页/共 ____ 页	
批次			部件数量		部件编号	
验收标准						
序号	验收项目	验收要求		是否达标	处理措施	备注
1	施工环境测定	环境温度 5℃ < T < 30℃		是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		温度：
		环境相对湿度小于 80%		是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		相对湿度：
		表面温度高于露点温度 3℃ 以上		是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		表面温度：
2	监检测传感器质量检查	包装是否完好		是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
		混凝土保护层是否有损伤		是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
		线缆是否有破损		是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
3	监检测传感器安装验收	混凝土保护层厚度	满足设计厚度,偏差范围 0% ~ 10%	是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
		修补验收	同一处预埋回填修补次数不超过两次	是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
4	出厂数据核对	氯离子浓度	与出厂检定数据偏差范围 0% ~ 10%	是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
		pH	与出厂检定数据偏差范围 0% ~ 10%	是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
5	数据采集后验收	远传信号是否正常		是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
		数据回传速率是否正常		是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		
验收意见：						
总体验收结论		验收合格 <input type="checkbox"/> 验收不合格 <input type="checkbox"/>				
施工方代表(签字)：			业主方代表(签字)：		验收日期： 年 月 日	

参 考 文 献

- [1] GB/T 28721—2012 大气环境混凝土中钢筋的阴极保护
 - [2] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范
 - [3] GB 50144—2019 工业建筑可靠性鉴定标准
 - [4] GB/T 50784—2013 混凝土结构现场检测技术标准
 - [5] JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
 - [6] DB34/T 1929—2013 混凝土中钢筋腐蚀检测技术规程
 - [7] CECS220—2007 混凝土结构耐久性评定标准
 - [8] ANN K Y, SONG H. Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete[J]. Corrosion Science, 2007, 49(11) : 4113-4133.
 - [9] 曹楚南. 腐蚀电化学原理(第二版)[M]. 北京 : 化学工业出版社 , 2004.
 - [10] Rong-Gui Du, Rong-Gang Hu, Ruo-Shuang Huang, et al. In-situ Measurement of Cl^- Concentrations and pH at the Reinforcing Steel/Concrete Interface by combination sensors[J]. Analytical Chemistry, 2006, 78: 3179-3185.
 - [11] Shi-Gang Dong, Chang-Jian Lin, Rong-Gang Hu, et al. Effective Monitoring of Corrosion in Reinforcing Steel in Concrete Constructions by a Multifunctional Sensor[J]. Electrochimica Acta, 2011, 56: 1881-1888.
-