ICS 25.220.99
A 29

中华人民共和国国家标准

GB/T 28721—2012

大气环境混凝土中钢筋的阴极保护

Cathodic protection of reinforcing steel in atmospherically exposed concrete structures

2012-09-03 发布　　2013-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　总则 …… 2
4.1　设计 …… 2
4.2　质量管理 …… 2
4.3　人员 …… 2
5　建筑物或构筑物状态评估与维修 …… 2
5.1　一般规定 …… 2
5.2　资料 …… 3
5.3　外观检查和分层调查 …… 3
5.4　氯化物分析 …… 3
5.5　碳化深度测量 …… 3
5.6　混凝土保护层厚度和钢筋位置 …… 3
5.7　钢筋电连续性 …… 3
5.8　钢筋/混凝土电位 …… 3
5.9　混凝土电阻率 …… 3
5.10　完整性要求 …… 4
5.11　水泥基覆盖层 …… 4
5.12　新建构筑物 …… 4
6　阴极保护系统 …… 5
6.1　系统组成 …… 5
6.2　供电电源 …… 5
6.3　直流电源装置 …… 5
6.4　阳极 …… 5
6.5　监测传感器 …… 6
6.6　监测设备 …… 7
6.7　数据管理系统 …… 7
6.8　电缆 …… 8
6.9　接线盒 …… 8
7　安装程序 …… 9
7.1　电连续性 …… 9
7.2　性能监测系统 …… 9
7.3　混凝土中钢筋的连接 …… 9
7.4　与阴极保护部件有关的混凝土维修 …… 9

7.5 阳极安装前的表面处理 …… 9
7.6 阳极安装 …… 9
7.7 阳极连接 …… 9
7.8 阳极覆盖层、表面密封剂或装饰涂层的实施 …… 10
7.9 电气安装 …… 10
7.10 安装过程中的测试 …… 10
8 试运行 …… 10
8.1 外观检查 …… 10
8.2 通电前的测量 …… 10
8.3 初始通电 …… 10
8.4 初始调试 …… 11
8.5 初始性能评估 …… 11
8.6 保护准则 …… 11
8.7 保护电流的调整 …… 11
9 系统记录和文件 …… 11
9.1 质量和测试记录 …… 11
9.2 安装和试运行报告 …… 11
9.3 运行和维护手册 …… 12
10 运行和维护 …… 12
10.1 周期和程序 …… 12
10.2 系统复查 …… 12
10.3 系统复查报告 …… 13
附录A（资料性附录） 设计过程 …… 14
参考文献 …… 16

前　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出。

本标准由全国防腐蚀标准化技术委员会(SAC/TC 381)归口。

本标准起草单位:苏州热工研究院有限公司、中国工业防腐蚀技术协会、南京水利科学研究院、大亚湾核电站运营管理有限公司、中石化西北油田分公司工程研究院防腐蚀中心。

本标准主要起草人:高玉柱、葛燕、李济克、单龙信、林斌、刘爽、朱锡昶、李岩、周波、颜永贵、王昊、羊东明。

大气环境混凝土中钢筋的阴极保护

1 范围

本标准规定了大气环境混凝土中钢筋的阴极保护的术语和定义、总则、建筑物或构筑物状态评估与维修、阴极保护系统、安装程序、试运行、系统记录和文件、运行和维护。

本标准适用于大气环境混凝土中钢筋的阴极保护。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 4208 外壳防护等级(IP 代码)

GB/T 10123 金属和合金的腐蚀 基本术语和定义

GB/T 12706(所有部分) 额定电压 1 kV(U_m=1.2 kV)到 35 kV(U_m=40.5 kV)挤包绝缘电力电缆及附件

GB 19212.5 电源电压为 1 100 V 及以下的变压器、电抗器、电源装置和类似产品的安全 第 5 部分：隔离变压器和内装隔离变压器的电源装置的特殊要求和试验

GB/T 19285 埋地钢质管道腐蚀防护工程检验

GB/T 50344 建筑结构检测技术标准

CB* 3220 船用恒电位仪技术条件

JGJ/T 23 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程

BS EN 1504-9 用于保护和修复混凝土结构的产品和系统 定义、要求、质量控制和合格评估 第 9 部分：产品和系统使用的一般规定(Products and systems for the protection and repair of concrete structures—Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity—Part 9: General principles for the use of products and systems)

3 术语和定义

GB/T 10123 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

区域 zone

阴极保护系统的一个部分。

3.2

汇流点 drain point

阴极电缆与被保护建筑物或构筑物钢筋的连接点，保护电流通过此点流回电源。

3.3

阳极 anode

由外部电源提供保护电流用于建筑物或构筑物钢筋阴极保护的电极。

3.4

参比电极　reference electrode

具有稳定可再现电位的电极，在测量其他电极电位值时用以作为参照。

3.5

极化电位　polarized potential

在建筑物/电解质或构筑物/电解质界面处的电位，是钢筋腐蚀电位与阴极极化电位之和。腐蚀电位是在开路条件下，处于电解质中的腐蚀表面相对于参比电极的电位。

3.6

通电电位　on potential

阴极保护系统持续运行时测量的构筑物钢筋对电解质的电位。

3.7

断电电位　off potential

断电瞬间测得的构筑物钢筋对电解质的电位。

3.8

鲁金探头　luggin probe

为减少欧姆电位降对电位测量影响的探头。

3.9

宏电池探头　macro cell probe

肉眼可判别阳极和阴极的腐蚀探头。

4　总则

4.1　设计

设计过程参见附录 A，系统设计至少应包括以下内容：

a)　设计计算；

b)　材料和设备清单；

c)　施工详图；

d)　安装、调试、运行与维护的详细说明。

4.2　质量管理

4.2.1　系统及部件的设计、制造、安装、调试、运行与维护的文件资料都应完整地存档。

4.2.2　应按质量计划进行制造和施工。

4.2.3　系统在安装、调试和运行阶段应进行外观检查、机械测试和电测试。

4.3　人员

阴极保护系统的设计、安装、调试、运行与维护管理，应在受过培训、有可靠专业知识和经验人员的监督下进行。

5　建筑物或构筑物状态评估与维修

5.1　一般规定

5.1.1　在决定实施阴极保护前，应按照 BS EN 1504-9 的要求对建筑物或构筑物材料的状况、结构的

完整性、是否需要维修和如何维修等进行评估。

5.1.2 在决定实施阴极保护后，应按照 5.2～5.10 的内容要求进行补充调查，确认是否适合采取阴极保护措施，并提供系统设计所需要的信息。

5.2 资料

查阅相关的图纸、说明书和记录，确定钢筋的位置、数量、种类和电连续性，以及混凝土的成分和质量情况。

5.3 外观检查和分层调查

5.3.1 对建筑物或构筑物的外观状况进行检查，分析缺陷类型、产生原因、影响范围及其周围的环境特征。

5.3.2 对建筑物或构筑物以往维修区域进行检查，了解使用的维修方法和材料。

5.3.3 对建筑物或构筑物拟采用阴极保护范围内的混凝土保护层进行分层检查。

5.3.4 对裂缝、蜂窝或质量不好的构造缝等缺陷进行记录。

5.4 氯化物分析

按照 GB/T 50344 的规定测定混凝土中氯化物的含量。

5.5 碳化深度测量

按照 JGJ/T 23 的规定测定混凝土的碳化深度。

5.6 混凝土保护层厚度和钢筋位置

5.6.1 对混凝土保护层厚度和钢筋的尺寸、位置进行测量。

5.6.2 检查和评估混凝土表面的小铁丝、金属纤维、金属板、塑料板等导电和非导电材料对阴极保护效果的影响。

5.6.3 对钢筋与阳极之间是否存在短路的可能性进行评估。

5.7 钢筋电连续性

5.7.1 按照 7.1 的要求检测下列内容：

a) 阴极保护系统每一区域内的建筑物或构筑物各构件彼此间的电连续性；

b) 构件中钢筋之间的电连续性；

c) 钢筋与其他金属构件之间的电连续性。

5.7.2 在维修和安装阶段，应按照 7.1 的方法对钢筋的电连续性进一步核查。

5.8 钢筋/混凝土电位

5.8.1 在测量钢筋/混凝土电位前，应对钢筋电连续性进行检查，确保钢筋/混凝土电位测量区域内的钢筋都是电连续的。

5.8.2 使用便携式参比电极，测量已损坏和未明显损坏区域内的钢筋/混凝土电位。测点宜按方格布置，方格的间距不大于 500 mm。

5.8.3 不必对整个建筑物或构筑物的钢筋/混凝土电位进行检测，但应对设计安装参比电极的区域进行仔细的检测，以便将参比电极放置在未加阴极保护时电位最负的位置。

5.9 混凝土电阻率

按照 GB/T 19285 的规定测定混凝土的电阻率。

5.10 完整性要求

5.10.1 修补

在阴极保护系统安装之前应对破损或劣化的混凝土基体进行修补。

5.10.2 凿除混凝土

5.10.2.1 应凿除电阻率超过本体混凝土电阻率50%～200%的修补材料。

5.10.2.2 应清除混凝土表面层内与阳极电连接的电线、钉子或其他金属部件。

5.10.2.3 不必去除已受氯化物污染或碳化但外观完好的混凝土。

5.10.3 钢筋处理

5.10.3.1 应清理钢筋表面的疏松腐蚀产物。

5.10.3.2 钢筋表面不宜有非金属涂层和绝缘粘结剂。

5.10.4 混凝土修复

5.10.4.1 应按照BS EN 1504-9的规定修复混凝土。

5.10.4.2 为避免阳极与钢筋短路,应适当增加混凝土保护层厚度。

5.10.4.3 用于混凝土修复的水泥基材料应满足以下要求:

a) 不含金属材料(包括纤维或粉末);

b) 力学性能应与原混凝土接近;

c) 电阻率在本体混凝土电阻率的50%～200%范围内。

5.10.4.4 安装阳极之前,不应在修复区域表面使用专用养护膜。

5.11 水泥基覆盖层

5.11.1 完成混凝土修补和阳极安装后,应在安装阳极的表面敷设一层水泥基覆盖层。覆盖层材料和实施方法应符合BS EN 1504-9的规定。覆盖层与原混凝土粘接强度的平均值应不小于1.5 N/mm^2 且最小值应不小于1.0 N/mm^2 或测试破坏面在原混凝土上。

5.11.2 实施覆盖层可与混凝土修补相结合。修补材料的电阻率应在本体混凝土电阻率的50%～200%范围内。阳极覆盖层的电阻率最大不应超过100 kΩ·cm。

5.11.3 在施工过程中应监测阳极和钢筋之间的电阻,防止短路。

5.11.4 养护膜应清除或能降解。

5.12 新建构筑物

对于新建构筑物,还应进行下列评估:

a) 按7.1进行钢筋电连续性的检查;

b) 监测传感器和电缆,避免在混凝土浇注和振捣时受到破坏;

c) 金属固定装置和附件等的连接、定位和绝缘,避免受到阴极保护系统的不良影响;

d) 绝缘垫片和固定件应有足够的刚性,确保阳极就位准确,防止在混凝土浇注和振捣时阳极和钢筋短路;

e) 浇注混凝土时应监测阳极和钢筋之间的电阻,防止短路。

6 阴极保护系统

6.1 系统组成

阴极保护系统主要由直流电源装置、阳极、监测传感器、监测设备、电缆、接线盒等组成。

6.2 供电电源

有交流电时，可通过变压-整流器提供直流电源装置。

没有交流电时，可用其他形式的电源，如柴油、风力或涡轮发电机为变压整流器提供交流电。可控的直流电源装置还可通过热电或太阳能发电机和风力或涡轮发电机直接产生，经过整流提供给间歇充电的电池系统，由该系统给直流控制器提供电源。

6.3 直流电源装置

直流电源装置应满足下列要求：

a) 应独立且连续可调。

b) 外壳防护等级符合 GB 4208 的规定。

c) 应具有电源开关、保险丝或断路器和漏电电流保护装置。

d) 主变压器应是符合 GB 19212.5 规定的隔离变压器。

e) 直流输出电压不超过 60 V。

f) 直流电源装置位于人或动物易接近的地方，且没有采取隔离措施时，直流输出电压不应超过 24 V。

g) 应具有从零到最大额定输出范围内的无级恒压、恒流或恒电位控制功能。

h) 应具有电流通、断功能，以便进行“瞬时断电”电位测量。

i) 可配备使用便携式仪器测量下列参数的设备接口：

——输出电压；

——输出电流；

——钢筋/混凝土相对于参比电极的电位；

——钢筋/混凝土相对于电位衰减传感器的电位；

——电流密度探头或宏电池探头/钢筋的电流。

j) 至少提供一个正极端和一个负极端用于电缆的连接。

k) 使用多通道设备时，每一个通道都应有完整的标识。

l) 所有的电测试都应按照 CB* 3220 规定的方法进行。

6.4 阳极

6.4.1 性能要求

阳极的输出电流应符合设计要求，不应导致阳极/混凝土界面的混凝土以及阳极性能的下降。

6.4.2 阳极材料

阳极可采用活性钛或性能更优的阳极材料。

6.4.3 阳极安装

6.4.3.1 混凝土表面安装

6.4.3.1.1 活性钛阳极应按照网状或格状形式分布在混凝土表面。

6.4.3.1.2 阳极之间应采用钛导电条采用点焊连接。

6.4.3.1.3 阳极/电缆连接接头应牢固,接触电阻小于 0.01 Ω。

6.4.3.1.4 在浇注混凝土之前,应使用非金属扣件将阳极固定在混凝土表面或钢筋上,保证阳极和钢筋之间不短路。

6.4.3.2 混凝土保护层凹槽中安装

6.4.3.2.1 阳极应采用实心或网状的钛条或钛格。

6.4.3.2.2 阳极的尺寸和分布应符合保护电流密度要求和最大阳极输出电流密度要求。

6.4.3.3 建筑物或构筑物中安装

6.4.3.3.1 阳极应按下列方式埋设在建筑物或构筑物中:

a) 条状、网状、格状或管状的阳极应埋在水泥基修补砂浆中;

b) 阳极应与石墨基导电回填料结合使用;

c) 用于新建构筑物阴极保护时应安装在混凝土结构中,用于旧构筑物时应安装在修补混凝土中。

6.4.3.3.2 回填料作为阳极系统的一部分时,回填料的工作电流密度和阳极的输出电流密度应符合设计要求。

6.4.3.3.3 使用石墨回填料时,应将石墨当作阳极来计算阳极/钢筋的最小间距。

6.5 监测传感器

6.5.1 基本要求

6.5.1.1 应在未施加阴极保护时电位最负处安装监测传感器,用于评估阴极保护的效果。

6.5.1.2 可使用参比电极测量钢筋/混凝土电位来判断系统的性能。

6.5.1.3 电位衰减电极、电流密度探头、宏电池探头等也可与参比电极配合使用。

6.5.2 固定式参比电极

宜采用双管银/氯化银(Ag/AgCl,0.5 mol/L KCl)凝胶电极和二氧化锰(Mn/MnO_2,0.5 mol/L NaOH)参比电极。

6.5.3 便携式参比电极

6.5.3.1 便携式参比电极可直接或通过鲁金毛细管在混凝土表面使用。

6.5.3.2 直接用于混凝土表面的参比电极应有一块可更换的海绵,确保电极与混凝土接触良好。

6.5.3.3 宜采用双管银/氯化银凝胶电极和二氧化锰电极。

6.5.4 其他传感器

6.5.4.1 电位衰减探头

6.5.4.1.1 电位衰减探头仅可用于测量钢筋/混凝土在有限时间内电位的变化(在电源通和断之间),通常不超过 24 h。该种探头不适用于测量钢筋/混凝土的绝对电位或超过 24 h 的长期电位衰减。

6.5.4.1.2　适合永久性安装在混凝土中的电位衰减探头有石墨、活化钛和锌。

6.5.4.2　电流密度探头和宏电池探头

6.5.4.2.1　电流密度探头和宏电池探头可用于确定钢筋的保护电流密度。

6.5.4.2.2　电流密度探头和宏电池探头应由与钢筋成分相同的钢材制造，埋设在混凝土中，也可截取一段钢筋来制作。

6.5.4.2.3　宏电池探头应包裹在高氯离子含量的砂浆圆柱体中。圆柱体中氯化物的含量应至少是建筑物或构筑物混凝土钢筋位置氯化物含量平均值的5倍。

6.5.4.2.4　可通过阴极保护系统通电后宏电池与主筋之间净电流方向是否发生变化来确认活性腐蚀区域是否受到足够的保护。

6.5.4.3　鲁金探头(电桥)

6.5.4.3.1　鲁金探头应含有装在刚性或半刚性绝缘材料中的离子导电介质。

6.5.4.3.2　鲁金探头使用的材料应适合于埋设在混凝土内，并应防止其完全干燥。

6.5.4.3.3　可用便携式参比电极通过鲁金探头测量埋在建筑物或构筑物深处的钢筋电位。

6.6　监测设备

6.6.1　数字仪表

6.6.1.1　数字仪表应满足以下要求：

a)　最小分辨率为1 mV；

b)　精度为±1 mV或更高；

c)　输入阻抗不小于10 MΩ。

6.6.1.2　零电阻电流表或其他装置的精度和分辨率应能使电流的测量精度小于被测量值的±1%。

6.6.2　数据记录仪

数据记录仪应满足以下要求：

a)　应有多通道输入或多路转接器；

b)　应装有识别测试位置、传感器、直流电源系统和阳极区域等功能的软件；

c)　最小输入阻抗为10 MΩ；

d)　测量范围为2 000 mV时分辨率至少为1 mV；

e)　精确度为±5 mV或更高；

f)　应能够在电源断电的0.1 s～0.5 s内采集到钢筋/混凝土电位；

g)　便携式数据记录仪应能够在户外和现场环境下使用；

h)　固定式数据记录仪应按照6.3和6.5的要求，将其放置在适合于现场环境和气候条件的盒子里，按照6.8的要求与传感器、直流电源装置等连接，应具备与网络的连接的功能。

6.7　数据管理系统

6.7.1　数据管理系统应能对校对、整理和评估阴极保护效果的数据和文件进行处理。

6.7.2　处理内容应至少包括下列信息：

a)　阳极区域布置图；

b)　传感器类型和位置；

c)　直流电源装置参数；

d) 初始(试运行前)传感器读数；
e) 试运行数据；
f) 试运行后的传感器数据；
g) 试运行后直流电源装置的输出数据；
h) 事件记录(如检查日期、系统运行的变化等)。

6.7.3 传感器测得的数据应符合 8.6 的规定。

6.8 电缆

6.8.1 电缆编码标识

6.8.1.1 单芯电缆

单芯电缆宜根据其功能以相应颜色编码：
a) 阳极电缆为红色；
b) 阴极电缆为黑色；
c) 测量接地电缆为灰色，但测量电缆与阴极电缆规格不同时，可为黑色；
d) 参比电极电缆为绿色；
e) 其他监测传感器电缆为黄色。

6.8.1.2 多芯电缆

多芯电缆宜通过颜色或数字标识。

6.8.2 电流、电压和温度

电缆电流、电压和温度应满足下列要求：
a) 在温度增加范围内能够承受大于设计电流的 25%的电流；
b) 电流达到设计最大电流的 125%时，电压降应满足直流电源装置的电压输出和阳极/阴极电压的要求，且电流分布均匀；
c) 温度范围应符合 GB/T 12706 的规定。

6.8.3 尺寸、绝缘和环境适用性

6.8.3.1 埋设在混凝土内或穿管和线槽的多芯电缆的最小芯线截面尺寸应满足以下要求：
a) 阳极和阴极电缆为 1.0 mm^2；
b) 监测电缆为 0.5 mm^2；
c) 数据网络电缆应满足网络要求。

6.8.3.2 单芯电缆最小芯线截面尺寸为 2.5 mm^2。

6.8.3.3 应按照设计功能和安装要求选择电缆。所选用的各种电缆应至少包有 7 股线，其绝缘和保护层应满足 GB/T 12706 的要求。

6.8.3.4 与阳极连接的电缆应适应 pH 值为 2 以下的酸性环境，安装在混凝土内的电缆应适合 pH 值为 13 以上的碱性环境。

6.9 接线盒

接线盒设计应按照 GB 4208 的要求进行。设计时应考虑接线盒内接头的类型，以及接线盒将遇到的最恶劣的外部环境和机械暴露条件。

7 安装程序

7.1 电连续性

7.1.1 使用直流变化极性电阻法或直流电位差法测量混凝土中钢筋之间或其他钢构件之间的电连续性。电阻应小于 1.0 Ω 或电位差小于 1 mV。

7.1.2 在混凝土修补或其他工序施工期间，所有裸露的钢筋都应进行电连续性测试。如被测试的钢筋或部件断开，都应进行电连接，并确保其长期的电连接电阻小于 1.0 Ω。在结构的每个单元或独立部分应留有裸露出的钢筋，进行测试以评定钢筋电连续性。

7.1.3 应对电连续性测试结果、所有的施工图、建筑物或构筑物的性质和结构进行评估。

7.1.4 应对固定在混凝土建筑物或构筑物上或作为混凝土建筑物或构筑物一部分的辅助钢构件(如嵌入的钢筋梁、支撑、排水管等)进行电连续性测试。

7.2 性能监测系统

7.2.1 直流电源装置应能够检测输出电压、输出电流、钢筋/混凝土电位。

7.2.2 应设置永久性的性能监测系统，以便按照第 10 章的规定对数据进行评定。

7.2.3 永久性安装的性能评估系统的布置范围和位置应包括下列区域：

a) 腐蚀概率或欠保护概率高的区域；

b) 过保护概率高的区域；

c) 腐蚀风险或腐蚀活性高的区域。

7.2.4 参比电极和传感器不应放置在修补混凝土中，保证其附近钢筋周围的混凝土始终不受到干扰。

7.3 混凝土中钢筋的连接

7.3.1 每个阴极保护区域应至少安装一根阴极电缆、一根测试电缆。

7.3.2 电缆与钢筋的连接电阻应小于 0.01 Ω。

7.4 与阴极保护部件有关的混凝土维修

应按照第 5 章和 BS EN 1504-9 规定的方法与材料对阴极保护安装期间造成的混凝土破坏进行修复。

7.5 阳极安装前的表面处理

应按照 BS EN 1504-9 的要求对安装阳极的混凝土表面进行处理，表面应清洁，无泥土和碎石。

7.6 阳极安装

7.6.1 根据设计要求或规范进行阳极系统的安装。应采用已被试验或工程实践证明的方法。

7.6.2 避免阳极与任何钢筋、金属构件、绑扎钢筋的铁丝等短路。

7.6.3 实施水泥基覆盖层后，混凝土表面应保持必要的温度、湿度或水分，确保阳极和(或)覆盖层得到充分的养护。

7.6.4 在阳极系统表面实施覆盖层、表面密封剂或装饰涂层之前，应测量阳极/阴极之间的电阻和电位差以确定是否存在短路。如出现短路，应在下一步工序前进行检测和处理。

7.7 阳极连接

7.7.1 每一个阴极保护区域至少安装一根阳极电缆。

7.7.2 阳极与电缆的连接应采用螺栓或焊接方法。

7.7.3 电缆与钢筋的连接电阻应小于 0.01 Ω。

7.7.4 在实施阳极覆盖层、表面密封剂或装饰涂层之前，应对阳极连接状况进行 100%的检查。

7.8 阳极覆盖层、表面密封剂或装饰涂层的实施

实施阳极覆盖层、表面密封剂或装饰涂层，采用的施工方法和控制条件应通过试验或工程实践证明能够满足性能要求，并符合施工设计方案的要求。

7.9 电气安装

7.9.1 所有电气安装工作应按照国家电气安全标准进行。

7.9.2 除特殊要求外，还应采取下列电气安全措施：

a) 交流电缆应与直流电缆分开；

b) 电缆两端都应有标识；

c) 电缆应有支撑和保护以避免环境、人或动物的破坏；

d) 除 f)中的电缆连接外，其他电缆的连接应在密封罩或接线盒内；

e) 当接线盒不能满足对恶劣的外部暴露环境进行保护时，接线盒内电缆接头应防水处理；

f) 埋设在覆盖层中的电缆接头应采用已被试验或工程实践证明的方法处理；

g) 应按照国家标准对设备的电气安全、测试和维护进行标记。

7.10 安装过程中的测试

7.10.1 阴极保护系统测试应包括下列内容：

a) 所有回路的极性检查；

b) 所有回路的电连续性检查；

c) 所有回路的绝缘检查。

7.10.2 对直流电源装置进行电气安全测试。

8 试运行

8.1 外观检查

对阴极保护系统和所有组成部件进行全面的外观检查，所有部件和电缆应安装正确，并已做好标记。

8.2 通电前的测量

通电前，测量和记录下列各项：

a) 钢筋/混凝土相对于固定式参比电极或电位衰减传感器的电位；

b) 钢筋/混凝土相对于便携式参比电极的电位；

c) 其他传感器的数据。

8.3 初始通电

8.3.1 所有水泥基覆盖层养护 15 天后才能通电。

8.3.2 初始通电时，应采用较低的电流值通电并测量和记录，内容应包括下列内容：

a) 钢筋/混凝土相对于所有固定式参比电极和便携式参比电极的电位；

b) 直流电源装置的输出电压和输出电流；

c) 确认所有测量结果的极性符合设计要求，确认通电后的电位向负方向偏移。

8.4 初始调试

8.4.1 应调整电流使系统达到预期保护电位。

注 1：通电电流根据初始通电时系统的反应来确定(如通电时电位向负的方向偏移 200 mV 或 300 mV)。

注 2：在相对较低的电流密度下慢慢极化。

8.4.2 系统应在初始设置的电流下极化足够长的时间，然后再进行初始性能评估。

注：初始通电后的极化时间通常在 7 d 至 28 d 之间，采取慢极化通电方法(较低的初始电流)，充分极化时间可能超过 28 d。

8.5 初始性能评估

8.5.1 初始极化后，应进行初始性能评估，内容包括：

a) 测量各个区域的输出电压和输出电流，计算回路电阻；

b) 在所有固定参比电极位置和其他规定的位置测量“瞬时断电”电位(消除 IR 降)；

注 1：通常“瞬时断电”电位在断电后的 0.1 s～0.5 s 内测量。

c) 切断阴极保护电流达到稳定后测量电位衰减。应说明电位衰减的时间和测量钢筋/混凝土电位的时间间隔；

注 2：典型的衰减时间为 4 h～25 h，在断电后的 0.5 h、1 h、2 h、3 h、4 h、23 h、24 h、25 h 或其中的部分时间进行测量，阴极保护电流达到稳定的时间取决于极化衰减的程度和速度。

d) 测量监测系统传感器的参数；

e) 测量钢筋/混凝土的通电电位(包括 IR 降)。

注 3：测量瞬时断电电位期间，切断和接通直流电源装置进行连续的钢筋/混凝土电位测量。

8.5.2 用于“瞬时断电”电位测量的切断：接通的时间比最小为 1∶4。

注：采用人工采集数据时，典型的时间为切断 3 s，接通 12 s。

8.6 保护准则

8.6.1 任一具有代表性的点应满足以下要求之一：

a) 瞬时断电电位负于－720 mV(相对于银/氯化银参比电极，下同)；

b) 瞬时断电 24 h 内的电位衰减至少为 100 mV；

c) 瞬时断电长时间后(24 h 或更长)的电位衰减至少为 150 mV。

8.6.2 普通钢筋的瞬时断电电位不负于－1 100 mV，预应力钢筋的瞬时断电电位不负于－900 mV。

8.7 保护电流的调整

若性能评估数据分析表明系统已达到保护准则要求，则可按照第 10 章的要求采取措施。若没有达到保护准则要求或是判断将来不能达到保护准则要求，应对保护电流进行调整，至少通电 28 d 后，再次按照 8.5 和 8.6 进行性能评估。

9 系统记录和文件

9.1 质量和测试记录

质量计划、质量文件、外观检查和测试结果都应作为系统记录。

9.2 安装和试运行报告

安装和试运行报告应包括以下内容：

a) 工程整体描述、工程参与者(如业主、设计工程师、监理工程师、承包商、分包商)和阴极保护系统设计、监理、试运行负责人及职责;
b) 有关系统安装和试运行的施工说明、规范和图纸以及设计计算书;
c) 有关安装和试运行的详细描述;
d) 竣工图,应详细描述系统安装及其组成部件,以满足将来对系统及其主体部件进行检查、维护和重建的需要;
e) 系统通电前后和初始系统性能评估期间所有的测量和测试数据;
f) 系统运行记录;
g) 阴极保护系统变更建议。

9.3 运行和维护手册

系统运行和维护手册的内容应包括:
a) 系统的详细描述和竣工图纸;
b) 日常维护和检查周期以及程序;
c) 性能评估及数据分析的周期和程序;
d) 日常维护、检查和性能评估;
e) 系统的维护/维修程序;
f) 系统主要部件清单,包括数据表和备件的来源,以及这些部件和整个系统的维护程序。

10 运行和维护

10.1 周期和程序

10.1.1 运行、维护检查、测试的周期和程序应按照运行和维护手册的要求进行。

10.1.2 配备有电子数据记录或电子数据发射监测系统的阴极保护系统,可降低现场测量的频率。

10.1.3 如经过连续的检查和测试,系统性能没有出现故障、损坏或明显的波动,可考虑延长日常检查和测试的周期。

10.1.4 日常检查程序如下:
a) 功能检查:
   1) 确认所有系统在运行;
   2) 测量阴极保护系统每个区域的输出电压和输出电流;
   3) 数据评估。
b) 性能评估:
   1) 测量“瞬时断电”电位;
   2) 测量电位衰减;
   3) 测量性能监测系统所有传感器的参数;
   4) 对阴极保护系统进行全面的外观检查;
   5) 评估数据;
   6) 调整保护电流。

10.1.5 所有检查和测试都应按照第 8 章的要求进行。

10.2 系统复查

检测和测试工作应包括下列各项,最长时间间隔不能大于 12 个月:
a) 对上次复查以后所有的测试数据和检查记录进行复查;

b) 按照 10.1.4 b)进行性能评估；
c) 对系统进行外观检查；
d) 对数据进行复查和分析整理，通常按照第 8 章的要求进行；
e) 如有必要，根据第 8 章的要求调整保护电流；
f) 依据 10.3 准备系统复查报告。

10.3 系统复查报告

报告应至少包括下列内容：
a) 所做的工作；
b) 收集的数据；
c) 有关改变运行和维护或系统复查间隔时间和程序的建议；
d) 对改变阴极保护系统的建议；
e) 其他需要增加的内容。

附 录 A
（资料性附录）
设 计 过 程

A.1 初步设计

经过可行性评价确认采取阴极保护作为修补方案后，根据以下因素（但不限于）初步确定阳极区域的位置和尺寸：混凝土中的氯化物含量、混凝土电阻率、混凝土湿度、钢筋表面积和分布、预计的保护电流、使用寿命、服役环境、重量、安装顺序和限制条件，同时初步考虑阳极类型、电缆布置、安装变压-整流器的位置。

A.2 阳极系统类型

根据钢筋表面积和分布以及选取或测量得到的阴极保护电流密度，计算阴极保护电流和每个阳极的工作电流密度，根据计算结果确定阳极类型，同时考虑 A.1 中的因素选择适当的覆盖层材料。

A.3 阳极系统布置

设计阳极区域的大小，布置和计算主阳极间距，确保各处的阴极保护电流满足要求，并使该区域内的电压差减少到最小。选取主阳极材料及其横截面，确定主阳极的分布及其与阳极电缆的连接位置以及所需的余量，并使电压降减至最小。

A.4 电流供给

根据工作电流和所需的预留容量，计算总的供给电流。

受到氯化物污染的混凝土中的钢筋，阴极保护所需的电流密度通常为 2 mA/m^2～20 mA/m^2（相对于钢筋表面积）；未受到氯化物污染的混凝土中的钝化钢筋，阴极防护所需的电流密度为 0.2 mA/m^2～2 mA/m^2。

由于极化作用，阴极保护所需的电流将随时间逐渐下降。

相对距阳极较远的钢筋，距阳极最近的钢筋将得到较高的阴极电流密度。

A.5 钢筋的连接

对电流回路和监控回路的钢筋连接进行设计，计算连接的数量和位置以及所需的余量，并使电压降减至最小。

A.6 电缆

确定阳极电缆和阴极电缆的横截面积和走向以及所需的余量，并使电压差降至最小；同时，确定每一接线盒的位置。

A.7 直流电源装置

根据工作电流和预留容量，用回路电阻计算变压-整流器的输出电压；确定用于监控等所需的辅助变压-整流器设备，提出对交流电源的要求。

A.8 监控

确定传感器和其它仪器设备的类型、频率、位置，以达到所需的监测和控制水平。同时确定数据存储要求。

A.9 资料

记载所使用材料/部件的设计资料和规范，系统的安装程序和分布以及各工作阶段要求进行的测试工作的详细内容

参 考 文 献

[1] BS EN 12696—2000 Cathodic protection of steel in concrete.