ICS 25.220.99
A 29

中华人民共和国国家标准

GB/T 33378—2016

阴极保护技术条件

Technical specification of cathodic protection

2016-12-30 发布　　2017-07-01 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、定义和缩略语 …… 1
3.1　术语和定义 …… 1
3.2　缩略语 …… 3
4　阴极保护系统评价 …… 3
4.1　一般规定 …… 3
4.2　最小保护电位 …… 4
4.3　最大保护电位 …… 4
4.4　IR 降 …… 4
4.5　参比电极 …… 4
4.6　金属构筑物的阴极保护有效性 …… 4
5　阴极保护系统设计 …… 5
5.1　一般规定 …… 5
5.2　设计的主要目的 …… 6
5.3　设计所用的资料 …… 6
5.4　阴极保护系统的类型和选型影响因素 …… 6
5.5　阴极保护系统设计的影响因素 …… 6
5.6　设计图和设计说明 …… 6
5.7　构筑物的改造 …… 7
5.8　牺牲阳极阴极保护系统设计 …… 7
5.9　强制电流阴极保护系统设计 …… 9
5.10　阴极保护系统设计的注意事项 …… 13
6　阴极保护系统施工 …… 13
6.1　一般规定 …… 13
6.2　施工监理 …… 13
6.3　电绝缘 …… 14
6.4　牺牲阳极系统 …… 14
6.5　强制电流系统 …… 15
6.6　阴极保护测试装置的安装 …… 15
6.7　阴极保护在线监控系统 …… 15
6.8　调试 …… 15
6.9　交接验收及竣工资料 …… 16
7　阴极保护系统的运行和维护 …… 16
7.1　一般规定 …… 16

7.2 阴极保护系统检测 …… 16
7.3 补救措施 …… 16
7.4 阴极保护系统记录 …… 17
附录 A（规范性附录） 特殊金属和金属构筑物的阴极保护评价 …… 18
附录 B（资料性附录） 铝合金牺牲阳极的化学成分和电化学性能 …… 19
附录 C（资料性附录） 锌合金牺牲阳极的化学成分和电化学性能 …… 20
附录 D（资料性附录） 镁合金牺牲阳极的化学成分和电化学性能 …… 22

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。

本标准主要起草单位:厦门易亮科技有限公司、南京裕扬工程检测有限责任公司、中蚀国际防腐技术研究院(北京)有限公司、中国工业防腐蚀技术协会、沈阳中科腐蚀控制工程技术有限公司、北京碧海舟腐蚀防护工业股份有限公司、中油新兴能源产业集团有限公司、西安泰金工业电化学技术有限公司、宁波钰烯阴极保护材料有限责任公司、德阳瑞晨管业股份有限公司、吉林钰翎珑钢管钢结构制造有限公司、河南新纪元防腐绝热工程有限公司、河南省啄木鸟地下管线检测有限公司。

本标准主要起草人:辜志俊、李济克、崔刚、黄少华、黄万福、臧晗宇、杨春玉、邸建军、刘严强、王文法、胡玉明、鞠鹤、张玉萍、欧曙辉、梁云、王建东、费敏建、吴宝石、胡海文、张新朝、宁华东、单龙信。

阴极保护技术条件

1 范围

本标准规定了阴极保护系统的评价、设计、施工、运行和维护。

本标准适用于钢质构筑物的阴极保护，其他金属构筑物的阴极保护也可参照使用。

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/T 470—2008 锌锭

GB/T 3623 钛及钛合金丝

GB/T 4948—2002 铝-锌-铟系合金牺牲阳极

GB/T 21246 埋地钢质管道阴极保护参数测量方法

GB/T 21448—2008 埋地钢质管道阴极保护技术规范

GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范

GB 50194 建设工程施工现场供用电安全规范

JGJ 46 施工现场临时用电安全技术规范

JGJ 80 建筑施工高处作业安全技术规范

JGJ 146 建设工程施工现场环境与卫生标准

JGJ 184 建筑施工作业劳动防护用品配备及使用标准

SY/T 0086 阴极保护管道的电绝缘标准

SY/T 0096 强制电流深阳极地床技术规范

YS/T 828 土壤及淡水环境阴极保护用钛阳极

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

阴极剥离 cathodic disbondment

由阴极反应产生的氢气引起的涂镀层与涂覆表面之间的分离。

3.1.2

阴极极化 cathodic polarization

电流流过导体/电解质界面引起的电极电位向负值方向的变化。

3.1.3

阴极保护 cathodic protection

通过引入导致阴极极化的电流、降低金属的电位而达到使金属腐蚀速率显著减小的一种电化学保护方法。阴极保护通常有两种方法，即牺牲阳极法和强制电流法。

3.1.4

连续性接头　continuity bond

一种在可导电的构筑物之间提供电连续性的金属连接。

3.1.5

腐蚀　corrosion

由于与周围环境的作用而引起的材料(本标准主要指金属)的破坏、退化。

3.1.6

腐蚀电位　corrosion potential

无外加电流时,金属表面达到稳定腐蚀状态时的电位。

3.1.7

电流密度　current density

单位电极表面上通过的电流强度。

3.1.8

绝缘防腐层　insulated anti-corrosion coating

不导电的防腐层。

3.1.9

电绝缘　electric isolation

与其他金属构筑物呈电气隔离的状态。

3.1.10

电极电位　eletrodic potential

在电解质溶液中,电子导体与溶液界面间的电位差。

3.1.11

电解质　electrolyte

在熔融状态下或溶解于合适的溶剂(通常是水)中时能导电的化合物。

3.1.12

外部构筑物　foreign structure

阴极保护系统以外的金属结构。

3.1.13

牺牲阳极　galvanic anode

由电位较负的金属材料或合金制成,当它与被保护的金属连接时,自身发生优先消耗,从而抑制了被保护体的腐蚀,故称为牺牲阳极。

3.1.14

地床　ground bed

埋地的或浸没在水中的牺牲阳极或强制电流辅助阳极系统。

3.1.15

强制电流　impressed current

利用电极系统以外的电源设备提供的电流。

3.1.16

IR 降　IR drop

保护电流在参比电极与被保护的金属构筑物之间的电解质(如土壤)上产生的电压降。

3.1.17

绝缘　isolation

见电绝缘。

3.1.18

极化　polarization

有外加电流时，电极电位偏离腐蚀电位的现象。

3.1.19

极化电位　polarized potential

通过构筑物/电解质界面的电位，是腐蚀电位和阴极极化的总和。

3.1.20

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作为参照。

3.1.21

杂散电流　stray current

在非指定回路中流到构筑物上的电流，该电流从构筑物某一部位流入，从另一部位流出而进入电解质，造成流出部位的腐蚀。

3.1.22

杂散电流腐蚀　stray current corrosion

由非指定回路上流过构筑物的电流引起的腐蚀。

3.1.23

构筑物/电解质电位　construction/ electrolyte potential

用与电解质接触的参比电极测量的埋地金属构筑物与电解质之间的电位差。

3.1.24

最小保护电位　minimal protection potential

阴极保护条件下，金属达到一定保护所需要的最正的电位值。

3.1.25

最大保护电位　maximum protection potential

阴极保护条件下，允许的最负的电位值即不引起被保护金属及其保护涂层等损害的最负电位。

3.2　缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CCVT：密闭循环蒸气发电机组(Closed Cycle Vapor Turbine)

CIPS：密间隔电位测量(Close Interval Potential Survey)

CSE：铜/饱和硫酸铜参比电极(Cu/$CuSO_4$ Reference Electrode)

DCVG：直流电位梯度测量(Direct Current Voltage Gradient Survey)

SCC：应力腐蚀开裂(Stress Corrosion Cracking)

SCE：饱和甘汞电极(Saturated Calomel Electrode)

SRB：硫酸盐还原菌(Sulfate Reducting Bacteria)

TEG：热电发生器(Thermoelectric Generator)

4　阴极保护系统评价

4.1　一般规定

阴极保护效果以保护电位为评价标准。

4.2 最小保护电位

阴极保护的最小保护电位应符合表1的要求，电位值的大小取决于使用的参比电极。

表1 阴极保护最小保护电位[a] 单位为伏特

金属或合金		参比电极及使用条件		
		铜/饱和硫酸铜(在土壤中和淡水中)	银/氯化银/海水[b]	锌/海水[b]
铁和钢	有氧环境	−0.85[c]	−0.78	+0.25
	缺氧环境[d]	−0.95	−0.9	+0.15
铅		−0.6	−0.55	+0.5
铜基合金		−0.5～−0.65	−0.45～−0.6	+0.6～+0.45

[a] 消除IR降后的电位。

[b] 适用于清洁、无杂质、充气的海水中。海水直接与金属电极接触。

[c] 在土壤电阻率100 Ω·m～1 000 Ω·m环境中，阴极保护电位应负于−750 mV；在土壤电阻率大于1 000 Ω·m的环境中，阴极保护电位应负于−650 mV。

[d] 亦适用于存在厌氧菌、SRB(硫酸根含量大于0.5%时)或其他有害菌的土壤和水环境。

4.3 最大保护电位

最大保护电位应根据被保护金属、覆盖层种类及环境来确定，以不损坏被保护金属与覆盖层及两者之间的粘结力为准。

4.4 IR降

为了准确判定被保护体/电解质电位测量值，应考虑测量方法中所含的IR降误差。

4.5 参比电极

4.5.1 土壤环境中，常用铜/饱和硫酸铜参比电极；海水、淡水环境中，常用银/氯化银参比电极。

4.5.2 各种参比电极的电位测量值可按表2进行转换。

表2 电位测量值相对于饱和硫酸铜参比电极的转换 单位为伏特

电极类型	相当于−0.85 V铜/饱和硫酸铜参比电极	修正
甘汞电极	−0.776	加−0.074
银/氯化银电极	−0.78	加−0.07
锌电极	+0.25	加−1.10

4.5.3 如果能确保电位测量的稳定性，且已有成功的工程实例，其他金属材料或结构也可代替上述参比电极使用。

4.6 金属构筑物的阴极保护有效性

4.6.1 铁和钢构筑物的阴极保护有效性评价采用下列一项或多项准则：

a) 在施加阴极保护的情况下，铁和钢构筑物表面的最小保护电位应符合表 1 的规定。

b) 在构筑物表面和与电解质接触的稳定的参比电极之间，阴极极化电位值最小为 100 mV。这一准则适用于极化的建立过程或衰减过程。

c) 在高温条件下，SRB 的土壤中存在杂散电流干扰及异种金属材料偶合的构筑物不能采用该 100 mV 极化准则。

4.6.2 特殊金属和金属构筑物的阴极保护有效性评价见附录 A。

4.6.3 金属构筑物阴极保护评价的注意事项如下：

a) 铁和钢：

1) 当被保护体可能发生应力腐蚀开裂时，被保护体的阴极保护不能使用比－850 mV 更正的极化电位(相对于铜/饱和硫酸铜参比电极，消除 IR 降后，下同)。

2) 对高强度钢(最大屈服强度大于 550 MPa)和耐蚀合金钢，如马氏体不锈钢、双相不锈钢等，极限保护电位要根据实际析氢电位来确定，其保护电位应比－850 mV 稍正。在某些条件下，在－650 mV～－750 mV 的电位范围，构筑物会引起高 pH 值的应力腐蚀开裂，所以使用比－850 mV 更正的保护电位时，应当考虑这一问题。

3) 应避免在有外表面涂敷层的被保护体上使用过负的极化电位，以降低覆盖层的阴极剥离程度。

b) 混凝土中的钢筋：

混凝土中的钢筋的阴极保护采用的判断准则是：瞬间断电电位与极化完全衰减后的电位(断电 4 h 后测量的结果)之差应大于 100 mV。

c) 杂散电流：

对可能存在杂散电流腐蚀的情况，应进行专门分析。

d) 析氢：

在所有金属上，特别是高强钢、某些等级的不锈钢、钛、铝合金及预应力混凝土构筑物，应避免使用导致大量析氢的过负的极化电位。

5 阴极保护系统设计

5.1 一般规定

5.1.1 本章主要针对钢质构筑物的阴极保护，其他金属构筑物的阴极保护应符合 4.6.2 的要求，并作特殊的考虑。

5.1.2 确认建设地点主要腐蚀因素，明确相应的阴极保护技术要求、施工规范，以保证阴极保护装置正确地安装和安全地运行。

5.1.3 应充分考虑所需保护电流随时间的变化情况，提供设计裕量。

5.1.4 选择的材料及相应的施工技术，应符合现行国家标准。

5.1.5 选择的材料、安装方法及技术要求，应保证阴极保护系统在预期工作寿命期间内能安全可靠地运行。

5.1.6 应选择对周围其他埋地或水下金属构筑物的影响小的地点进行材料的安装。

5.1.7 应通过相关单位的联合调查，以确定各相关方均同意的干扰问题解决方案。

5.1.8 对存在硫化物、细菌、剥离的覆盖层、隔热保温层、高温、屏蔽、酸性环境及异金属的情况，均应给予考虑。

5.1.9 应避免产生外部覆盖层剥离或析氢导致高强钢损坏的阴极保护过保护。

5.1.10 对于多金属构筑物，不应产生高 pH 值造成金属阴极腐蚀。

5.2 设计的主要目的

5.2.1 向被保护构筑物提供足够的电流，并分配这一电流，以满足第4章的阴极保护准则。

5.2.2 提供与被保护构筑物预期寿命相当的阴极保护系统，或者提供可以定期更换的阴极保护系统。

5.3 设计所用的资料

5.3.1 被保护体的技术资料有：线路图和地形图册；建设日期；设备、配件和其他附件；外部覆盖层；套管；腐蚀控制测试站（桩）；电绝缘装置；导电跨接；架空、管桥和水下穿越。

5.3.2 与被保护体现场条件有关的资料有：已有的和规划中的阴极保护系统；可能的干扰源；特殊的环境条件；相邻的埋地、水下金属构筑物（包括位置、所有权和腐蚀控制方法）；构筑物的可接近性；电源的可用性；与外部构筑物电绝缘的可行性。

5.3.3 通过现场调查、腐蚀测试和已有阴极保护系统运行经验所获得的可用的资料有：满足适用准则的保护电流需要量；电解质的电阻率；电连续性；电绝缘情况；外覆盖层的完整性；累计的泄漏史；干扰电流；与施工技术要求不同之处；其他维护和运行数据。

5.4 阴极保护系统的类型和选型影响因素

5.4.1 按照阴极保护电流的供给方式，阴极保护系统可分为牺牲阳极系统和强制电流系统。

5.4.2 牺牲阳极系统由牺牲阳极提供阴极保护电流，强制电流系统由直流电源设备提供阴极保护电流。

5.4.3 选择阴极保护系统类型时应考虑：

a) 保护电流的需要量；
b) 杂散电流的影响；
c) 阴极保护电流对邻近构筑物的影响；
d) 电源的可利用性；
e) 实际可利用的空间、与外部构筑物的靠近程度、可获得的通行权、地表条件、街道和建筑物的存在、穿越河流及其他安装和维护方面的因素；
f) 通行区域未来的发展和今后被保护体系统的扩建；
g) 安装、运行和维护的费用；
h) 环境的电阻率。

5.5 阴极保护系统设计的影响因素

5.5.1 在设计大范围的分布式阳极强制电流系统时，应考虑电压和电流的衰竭，同时为使受保护构筑物的末端达到有效的保护，应当优化阳极系统分布、阳极尺寸和间距以及电缆尺寸。

5.5.2 阳极反应产生的气体滞留会削弱强制电流系统辅助阳极地床泄放电流能力，应采取适当的阳极地床排气措施。对于系统同等的电流输出，增加专用填充料的表面积或增加阳极的数量可降低气阻。

5.5.3 在电渗效应可能削弱阳极地床泄放电流能力的地方，应采取适当的预防措施，保证阳极周围的土壤湿度。增加强制电流辅助阳极的数量或增加专用的填充料的表面积可减轻电渗效应。

5.6 设计图和设计说明

5.6.1 绘制阴极保护设计图，标明被保护体的总体布置及结构构件、阴极保护测试站（桩）、导电跨接、电绝缘装置和相邻的地下、水下金属构筑物等主要项目的所处位置。

5.6.2 绘制每个强制电流阴极保护设施的平面布置图，标明阴极保护系统各部分相对被保护构筑物和相对重要的自然地面标志物的位置和细节，这些图样应包括有关通行权的资料。

5.6.3 阳极安装的位置应标记在图样上或记录在表格中，同时注明阳极类型、质量、间距、埋深和填包料材料。

5.6.4 编制阴极保护系统的施工中所涉及的各种材料的安装技术说明书。

5.7 构筑物的改造

5.7.1 电连续性

5.7.1.1 安装阴极保护系统前，对要进行保护的构筑物的不同部分之间安装导电跨接。

5.7.1.2 应降低导电跨接电阻以保证保护电流从这些构筑物上流过时的 IR 降最小。

5.7.2 防腐覆盖层

5.7.2.1 根据构筑物的类型及其所处的环境决定适用的覆盖层类型，要求覆盖层具有耐阴极剥离性能。

5.7.2.2 选取覆盖层类型时，应兼顾被保护构筑物费用和保护方案总费用(包括基建费用与运行费用)。

5.7.3 电绝缘

5.7.3.1 具有良好防腐覆盖层的构筑物在实施阴极保护前，应与公共接地系统电绝缘。

5.7.3.2 阴极保护构筑物应与外部构筑物电绝缘。

5.7.3.3 在交流高压输电系统感应影响范围内，构筑物上可能产生超过绝缘接头绝缘能力的高压危险电涌冲击，所以应当采用接地电池、极化电池或避雷器保护电绝缘装置。

5.7.3.4 电绝缘的设计、材料、尺寸和结构应当符合 SY/T 0086 的要求。

5.7.3.5 电绝缘的主要形式有：

a) 绝缘接头或绝缘法兰；
b) 绝缘支撑；
c) 绝缘支架；
d) 绝缘短管；
e) 绝缘管接头；
f) 其他。

5.8 牺牲阳极阴极保护系统设计

5.8.1 一般原则

5.8.1.1 牺牲阳极系统适用于在电阻率较低的土壤中、水中、沼泽或湿地环境中的敷设的金属构筑物。

5.8.1.2 在下列状况中，可选用牺牲阳极系统：

a) 无合适的可利用电源；
b) 电器设备不便实施维护保养的地方；
c) 临时性保护；
d) 强制电流系统保护的补充；
e) 永久冻土层内管道周围土壤融化带；
f) 保温管道的保温层下。

5.8.1.3 牺牲阳极系统的适用条件有：

a) 土壤电阻率或阳极填包料电阻率足够低；
b) 所选阳极类型和规格应能连续提供最大电流需要量；
c) 阳极材料的总质量能满足阳极提供所需电流的设计寿命。

5.8.2 设计寿命

5.8.2.1 主要根据业主要求来确定牺牲阳极阴极保护系统的设计寿命。

5.8.2.2 牺牲阳极系统设计时，也应考虑被保护系统设计寿命及阴极保护系统可达到的使用寿命。

5.8.3 电流密度

5.8.3.1 通过在已有构筑物上使用临时或模拟阴极保护系统进行初步试验，来确定达到保护准则所需的电流密度。

5.8.3.2 若被保护构筑物结构较简单，且有类似的阴极保护系统工程经验，也可使用基于经验和合理的工程判断所得到的最小保护电流密度。

5.8.4 牺牲阳极

5.8.4.1 牺牲阳极系统中常用的牺牲阳极有铝合金牺牲阳极、锌合金牺牲阳极和镁合金牺牲阳极。

5.8.4.2 铝合金牺牲阳极的化学成分和电化学性能应满足 GB/T 4948—2002 中表 10、表 11 的规定，具体参见附录 B。

5.8.4.3 锌合金牺牲阳极的化学成分和电化学性能应满足 GB/T 21448—2008 中表 4～表 7 的规定，具体参见附录 C。

5.8.4.4 镁合金牺牲阳极的化学成分和电化学性能应满足 GB/T 21448—2008 中表 8～表 10 的规定，具体参见附录 D。

5.8.4.5 牺牲阳极填包料是由石膏粉、膨润土和工业硫酸钠组成的混合物，可提高牺牲阳极的性能。常规的牺牲阳极填料配方见表 3。

表 3 牺牲阳极填包料配方

阳极类型	质量分数/%			适用土壤电阻率/(Ω·m)
	石膏粉[a]	膨润土	工业硫酸钠	
镁合金牺牲阳极	50	50	—	≤20
	75	20	5	>20
锌合金牺牲阳极	50	45	5	≤20
	75	20	5	>20

[a] 所选用石膏粉的分子式为 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$。

5.8.5 牺牲阳极的选择

5.8.5.1 在土壤环境中三种最常用的牺牲阳极是标准电位的镁、高电位的镁和高纯度的锌，可按照表 4 来选取牺牲阳极，对于高电阻率土壤环境及专门用途，可选择带状牺牲阳极。这些阳极的选择和使用应基于被保护构筑物所需的电流、被保护构筑物的温度和土壤条件。

表 4 土壤环境中牺牲阳极的选择

阳极种类	土壤电阻率/(Ω·m)
镁合金牺牲阳极[a]	15～150
锌合金牺牲阳极[b]	<15

[a] 对于镁合金牺牲阳极，当土壤电阻率大于 150 Ω·m 时，应现场试验确认其有效性。

[b] 对于锌合金牺牲阳极，当土壤电阻率大于 15 Ω·m 时，应现场试验确认其有效性。

5.8.5.2 在淡水环境最常用的是镁合金牺牲阳极，在海水环境中最常用的是铝合金牺牲阳极。

5.8.5.3 每种阳极的输出电流主要取决于土壤条件、阳极形状和阳极净驱动电位。

5.8.5.4 当使用高纯度锌时，应确保锌纯度不低于 GB/T 470—2008 中 Zn99.995 的规定。作为土壤中使用的牺牲阳极，锌的纯度大大影响它的性能。

5.8.5.5 当环境温度高于 49 ℃时，不应使用锌阳极。

5.8.5.6 阳极应附带连好的导线，且导线应用截面积至少为 10 mm^2（VV1×10）的实心导线，外包热塑性绝缘层或性能相当的耐油和耐水绝缘层。

5.8.6 牺牲阳极的设计

5.8.6.1 电解质电阻率高的环境，阳极应制成棒状或细长的块状；如果周围电解质的电阻率特别高，则应制成挤压条或挤压带的形状。

5.8.6.2 对于电阻率较低的电解质，应留有设计余量来保证要求的使用期限，因此要求使用相对粗一些的棒状或块状阳极，乃至球形的阳极。

5.8.6.3 牺牲阳极内部应含有由电负性较小的材料制成的嵌入物（比如钢芯或钢质嵌入物），并对嵌入物进行整形和预处理，使其机械性能符合牺牲阳极本体金属材料的要求。

5.8.7 牺牲阳极的安装

5.8.7.1 牺牲阳极可通过电缆与钢质构筑物实现电连接，也可直接焊接在钢质构筑物上。

5.8.7.2 牺牲阳极应以电流最优分布的方式安装在被保护体的周围。

5.8.7.3 敷设牺牲阳极导线时应留有余量，以避免由于周围土壤沉降而可能造成的破坏。

5.8.7.4 测试装置应可以将装置与阳极断开。当需要时，测试装置也应留有空间，以容纳埋地参比电极的试验导线。

5.9 强制电流阴极保护系统设计

5.9.1 强制电流阴极保护系统设计考虑因素

在设计强制电流阴极保护系统时，应考虑以下因素：现场危险条件的确认；适用的标准、规范；材料的选择和施工工艺；选择适宜的安装方式以减少杂散电流。

5.9.2 强制电流阴极保护系统设计寿命

5.9.2.1 主要根据业主要求来确定强制电流阴极保护系统的设计寿命。

5.9.2.2 强制电流系统设计时，也应考虑被保护系统设计寿命及阴极保护系统可达到的使用寿命。

5.9.3 电流密度

5.9.3.1 应通过在已有构筑物上使用临时或模拟阴极保护系统进行初步试验，来确定达到保护准则所需的电流密度。

5.9.3.2 若被保护构筑物结构较简单，且有类似的阴极保护系统工程经验，也可使用基于经验和合理的工程判断所得到的最小保护电流密度。

5.9.4 电连续性

5.9.4.1 所有被保护构筑物应电连续。

5.9.4.2 应检查非焊接接头的电连续性，保证被保护系统所有部件之间是电连续的。

5.9.4.3 阴极保护系统的设计应减轻杂散电流对阴极保护系统影响范围内的外部金属构筑物的不利

影响。

5.9.5 电源

5.9.5.1 强制电流阴极保护系统对交流电源的基本要求为：

a) 长期不间断供电；

b) 优先选择市电或各类站场稳定可靠的交流电源；

c) 当电源不可靠时，应装有备用电源或不间断供电专用设备；

d) 无交流市电的地区，可根据气象资料和所输介质来选用太阳能电池、风力发电机、TEG、CCVT等直流电源。

5.9.5.2 强制电流阴极保护电源设备的基本要求为：可靠性高；维护保养简便；寿命长；对环境适应性强；输出电流；电压可调；具有抗过载、防雷、抗干扰、故障保护等功能。

5.9.5.3 一般情况下，应选用整流器或恒电位仪作为强制电流阴极保护电源设备。当管地电位或回路电阻有经常性较大变化或电网电压变化较大时，应选用恒电位仪。

5.9.5.4 选择电源设备时，应包括下列内容：与交流电源的匹配性；整流器或恒电位仪的类型；相关参数的显示；冷却方式(空冷或油冷)；输出控制的方式；设备保护与安全要求；标识和铭牌。

5.9.5.5 应以安全考虑为优先设计所有的强制电流系统。所有的电缆线路应设保护措施以免遭物理损坏和击穿。在防爆区域使用的电源设备应符合 GB 50058 的要求。

5.9.5.6 所有埋地的阴极保护电缆，应使用铠装、聚氯乙烯绝缘护套的全密封防腐蚀电缆。

5.9.5.7 电源设备应与供电电源隔离。

5.9.6 辅助阳极

5.9.6.1 常用的辅助阳极有高硅铸铁阳极、金属氧化物阳极、柔性阳极等，这些阳极应与低电阻率的含碳回填料一起安装。

5.9.6.2 选用的阳极材料的质量应按阴极保护系统设计寿命期内最大预期保护电流计算，并提供一定的设计裕量。

5.9.6.3 高硅铸铁阳极的化学成分应符合表 5 的规定。阳极的允许电流密度为 5 A/m^2～80 A/m^2，消耗率应小于 0.5 kg/(A·a)。阳极引出线与阳极的接触电阻应小于 0.01 Ω，拉脱力数值应大于阳极自身质量的 1.5 倍，接头密封可靠。阳极引线长度不应小于 1.5 m，阳极表面应无明显缺陷。

表 5 高硅铸铁阳极的化学成分

序号	类型	主要化学成分的质量分数/%					杂质质量分数/%	
		Si	Mn	C	Cr	Fe	P	S
1	普通	14.25～15.25	0.5～1.5	0.80～1.05	—	余量	≤0.25	≤0.1
2	加铬	14.25～15.25	0.5～1.5	0.8～1.4	4～5	余量	≤0.25	≤0.1

5.9.6.4 依据内部阳极芯材的不同，柔性阳极可分为两种，即以热塑性导电聚合物为阳极的导电聚合物柔性阳极和以 MMO/Ti 丝为阳极的 MMO/Ti 柔性阳极。其中，MMO/Ti 柔性阳极的 MMO/Ti 丝应符合 YS/T 828 的规定；钛丝的直径≥0.8 mm，且应符合 GB/T 3623 的规定；在规定的电流密度下，MMO/Ti 丝的寿命不宜少于 25 年，检测方法应符合 YS/T 828 的规定。

5.9.7 辅助阳极地床

5.9.7.1 辅助阳极地床(以下简称地床)的设计和选址应满足以下条件：

a) 在最大的预期保护电流需要量下，电源设备的输出电压应小于额定输出电压的 70%；

b) 避免对邻近埋地、水下金属构筑物造成干扰影响。

5.9.7.2 阳极地床可以是垂直的、水平的或倾斜的，选择何种形式的地床取决于环境条件、电流需求、电流分布、被保护构筑物的尺寸和形状。阳极的布置应使保护电流在被保护系统表面均匀分布。

5.9.7.3 阳极地床有深井型和浅埋型，在选择时应考虑：

a) 岩土地质特征和土壤电阻率随深度的变化；

b) 地下水位；

c) 不同季节土壤条件极端变化；

d) 地形地貌特征；

e) 屏蔽作用；

f) 第三方破坏的可能性。

5.9.7.4 阳极地床通常使用冶金焦炭、石油焦炭、石墨填充料，使用时应符合下列要求：

a) 石墨阳极、高硅铸铁阳极应加填充料；

b) 在沼泽地、流沙层可不加填充料；

c) 预包覆焦炭粉的柔性阳极可直接埋设，不必采用填充料；

d) 填充料的含碳量应大于 85%，最大粒径应大于 15 mm。

5.9.7.5 存在下面一种或多种情况时，应考虑采用深井阳极地床：

a) 深层土壤电阻率比地表的低；

b) 存在邻近管道或其他埋地构筑物的屏蔽；

c) 浅埋型地床的应用受到空间限制；

d) 对其他设施或系统可能产生干扰。

5.9.7.6 深井阳极地床的设计、安装、运行与维护等技术要求应符合 SY/T 0096 的规定。在计算地床电阻时，应采用位于阳极段长度中点深度的土壤电阻率值，并应考虑不同层次土壤电阻率差异的影响。

5.9.7.7 与 5.9.7.5 的条件相反时应采用浅埋型地床。浅埋阳极地床有水平式和立式两种方式，应置于冻土层以下，埋深不应小于 1 m。

5.9.7.8 辅助阳极地床设置的注意事项：

a) 无论要将阳极埋在地下，还是浸没在水下，其质量均应足够大，以保持一定的使用年限。而且在设计中，包括连接部分的设计，应允许在电连续性破坏之前阳极材料已几乎完全消耗，即利用系数高。

b) 浸没在水下的阳极应足够牢固，以承受液体流体产生的应力。放在管道系统内部或类似设备中的阳极不能对流体有过大的阻力。在设计中应特别注意，将阳极放在振动小和产生疲劳失效可能性小的位置。

c) 在任何情况下，阳极或地床相对于被保护构筑物的位置设计应避免造成局部过保护以及保护电流分布不均匀，同时兼顾经济因素。

d) 在地床中安装的阳极材料或敷设的连接电缆材料都应是耐氯气的，并制定自然排气的措施。

5.9.8 测试装置

5.9.8.1 为了使每个系统进行阴极保护测试，应设置电位和电流测量的测试装置。

5.9.8.2 测试装置中应埋设永久性参比电极。

5.9.8.3 阴极保护测试装置应与阴极保护系统同步安装。

5.9.8.4 根据整个阴极保护构筑物大小、位置、走向，合理布置测试装置。在下列位置处，应特别设置测试装置：

a) 与外部金属构筑物相邻处；

b) 穿越铁路或河流处；
c) 辅助试片及接地装置连接处；
d) 与其他设施连接处；
e) 接地系统连接处；
f) 绝缘装置处。

5.9.8.5 每个测试装置中应至少有一根测试电缆与被保护体连接，用颜色、标签或其他标记法进行电缆的区分，并做好全系统的统一。

5.9.8.6 测试装置应标记清晰，容易接近和安装，免遭外力损坏。

5.9.8.7 测试装置外部的所有导线的埋深应大于 0.7 m，或使用电缆保护管进行保护以免遭破坏。

5.9.9 阴极保护在线监控系统

5.9.9.1 一般要求

5.9.9.1.1 阴极保护在线监控专家系统是面向阴极保护领域的远程智能在线监控系统，系统应可通过公共无线数据通讯方式、有线通讯方式或两者相结合的方式进行数据传输，实现遥测和遥控。

5.9.9.1.2 在线监控系统应可实现对被保护体保护状况的在线检测。监测人员可以在室内通过监控系统实时地查看设备的状态、位置、周边环境以及相关的被保护体状况，并可根据实际情况远程调整恒电位仪的工作状态。

5.9.9.2 系统组成

5.9.9.2.1 管理中心服务器系统

5.9.9.2.1.1 管理中心服务器系统应由软件和硬件两部分构成。

5.9.9.2.1.2 服务器系统软件应包括阴极保护在线监控专家系统和数据库。

5.9.9.2.1.3 服务器系统硬件应包括阴极保护服务器、Internet 静态 IP 地址的宽带接入口(采集仪 GPRS 通讯)或短信接收模块及短信中心手机卡(采集仪 GSM 通讯)。

5.9.9.2.2 阴极保护恒电位仪系统

5.9.9.2.2.1 每个阴极保护站应配备一套阴极保护电源系统，每套阴极保护电源系统由恒电位仪和阴极保护控制柜构成。

5.9.9.2.2.2 根据现场数据传输的具体情况，选用恒电位仪的通讯转换器类型。

5.9.9.2.3 智能电位采集系统

5.9.9.2.3.1 每个电位采集点应配备一套智能电位采集系统。

5.9.9.2.3.2 每套智能电位采集系统由智能电位采集仪、长效参比电极和阴极保护测试桩构成。

5.9.9.3 系统功能

5.9.9.3.1 对于不良的阴极保护情况，应可通过远程控制命令即时调整恒电位仪的运行参数，并能够及时反应调整后保护体的阴极保护状况，通过对智能电位采集仪采集时刻的调整，掌握保护状况每天每时刻的变化情况，从而使阴极保护达到最佳的保护效果。

5.9.9.3.2 电位采集仪和恒电位仪应能实现数据的自动采集和传输，并能够客观的反应阴极保护状况的实际情况、有效的杜绝人为的测量误差，长期的连续监测过程能够实现阴极保护的数据积累，可以掌握被保护构筑物的阴极保护状况和反应阴极保护状况的历史变化趋势。

5.9.9.3.3 监控系统应具备数据自动分析功能，当数据异常时系统会自动报警，并能够及时、准确的定

位上传异常数据的设备，从而能够明显的缩小故障范围，利于故障的排查和被保护体的安全运行。

5.9.9.3.4 阴极保护在线监控专家系统是一套集设备监控、数据自动采集、数据自动存储、数据查询、故障诊断于一体的管理系统，为了便于管理单位的阴保专业工程师进行全线阴极保护的监控与管理，能够有效的掌握恒电位仪的运行情况和被保护体的保护情况，应可实现统一、集中管理。

5.9.9.3.5 阴极保护在线监控应能在充分利用监控数据的基础上，有效地对阴极保护运行过程中出现的问题进行诊断，并给出故障发生的原因和相应的处理意见，从而给故障排查和维修提供依据，提高科学性和准确性。

5.9.10 电缆和连接

5.9.10.1 阳极导线应有绝缘护套层以满足环境耐机械和耐化学品的要求。辅助阳极应单独或成组地与电源设备的正端相连，被保护系统的部件应使用绝缘电缆与负端相连。

5.9.10.2 阳极、电源设备、从构筑物返回到电源设备负极的电缆及监测用的导线需要专门的绝缘。如果埋设在土壤中，需要具有下列电缆绝缘性质：

a) 低的吸水性；
b) 耐外部介质的腐蚀；
c) 耐磨损；
d) 满足使用的破坏强度。

5.9.10.3 阳极导线应采用锡焊或铜焊将导线和阳极接触面连接牢固。

5.9.10.4 牺牲阳极表面应有可焊的钢芯便于直接连接到被保护构筑物上。

5.9.10.5 连接到构筑物上的电缆应使用铝热焊接或适当的机械连接器进行连接，并能承受抗拉试验。构筑物的连接部位应在连接之前用钢丝刷或电动除锈工具清理干净，电缆连接完后再用防腐材料涂敷、封堵。

5.10 阴极保护系统设计的注意事项

阴极保护系统设计的注意事项如下：

a) 阳极地床与保护接地系统应保持电隔离状态。
b) 在土壤电阻率比较高的地区，使用统一的保护接地系统。这个系统包括与所有工作或设备的接地端或中性点端的跨接，并应禁止使用质量较大的裸铜材料做接地极。
c) 在电源设备的输出端应安装适当规格的避雷器或火花间隙保护器。
d) 应避免阴极保护装置上交流电的存在。
e) 设计地下设施系统的阴极保护系统时，宜考虑溢漏保护、过压保护、泄放检测、防挥发措施、电接地或内衬里等措施。

6 阴极保护系统施工

6.1 一般规定

6.1.1 为使构筑物达到设计的阴极保护效果，阴极保护系统的安装应符合第5章的设计要求。

6.1.2 所有阴极保护系统的施工应按照施工图样进行。

6.1.3 所有的施工应符合GB 50194、JGJ 46、JGJ 80、JGJ 146和JGJ 184的健康和安全规定。

6.2 施工监理

6.2.1 所有阴极保护系统的施工都应在具有监理资格的人员监督之下进行，以确保施工是按照施工图样进行的。

6.2.2 所有与施工图不符之处均应在竣工图上标明。

6.3 电绝缘

6.3.1 电绝缘装置的安装位置

对于埋地钢质管道来说,可在下列位置设置绝缘接头,但不局限于此:

a) 支线管道连接处;
b) 不同防腐层的管段间;
c) 不同电解质的管段间(如河流穿越处);
d) 交、直流干扰影响的管段上;
e) 实施阴极保护的管道与未保护的设施之间。

6.3.2 电绝缘装置的安装

6.3.2.1 安装前,在干燥的空气中,用 1 kV 绝缘摇表对电绝缘装置进行检测,绝缘装置两侧的电阻值应大于 10 MΩ。

6.3.2.2 安装后,检查和测量以验证电绝缘是否满足要求。

6.3.2.3 当采用绝缘法兰时,应对法兰采取适当防护措施,以保证绝缘性能不受外力的破坏。

6.3.2.4 对于输送导电介质的管道,应在绝缘接头阴极(负电位)侧的内表面涂覆内涂层,涂刷长度应根据输送介质的电阻率计算足以避免干扰电流腐蚀为准。所有密封、涂料、绝缘材料应能适应所输送的介质。

6.4 牺牲阳极系统

6.4.1 检验、搬运和储存

6.4.1.1 应检验预封装阳极,保证填包料完全包覆在阳极周围。

6.4.1.2 盛装填包料和阳极的容器应完好无损。如果用防护容器单独包装阳极,那么在安装前应去掉这种容器。

6.4.1.3 应检查阳极的连接导线,保证导线连接牢固、无损伤。

6.4.1.4 其他类型牺牲阳极,如无包装的“手镯式”阳极或带状阳极,应进行检查以保证规格尺寸与技术规格书一致,且搬运期间严禁有任何损伤。如果阳极箍和“手镯式”阳极圆弧段的内表面和两侧使用了覆盖层,应对其进行检查,如有损伤,应在阳极安装前进行修补。

6.4.1.5 在储存期间,袋装阳极应保持干燥。

6.4.2 阳极的安装

6.4.2.1 应按照施工要求和产品说明书安装阳极。

6.4.2.2 袋装牺牲阳极应使用适当的夯实材料回填。当阳极和专用填包料分开供应时,阳极应置于填包料的中心位置,并且在回填前将填包料捣实。所有的操作均应小心,确保导线和接头不受损伤;导线应留有充分的松弛度。

6.4.2.3 在使用手镯式阳极的部位,阳极下方的被保护体覆盖层应没有缺陷。安装手镯式阳极时,应小心进行以防损伤覆盖层。

6.4.2.4 在使用带状阳极的部位,应挖沟或犁沟埋设,根据要求填充化学填包料。

6.5 强制电流系统

6.5.1 检验和搬运

6.5.1.1 应检查恒电位仪或其他电源设备，以保证其内部接线机械牢固，装置没有损伤。搬运和安装时应小心进行。

6.5.1.2 电源设备的额定参数应与设计要求相符。

6.5.1.3 应检查辅助阳极的材质、尺寸、导线电缆长度、阳极接头，以及密封的完整性，保证与技术规格书一致。在搬运和安装期间应小心进行以防阳极断裂或电缆头损伤。

6.5.1.4 所有电缆均应仔细检查，检测其绝缘性能。

6.5.1.5 阳极填充料应与技术规格书一致。

6.5.2 安装规定

6.5.2.1 恒电位仪或其他电源设备的安装方式应使其被损坏或人为破坏的可能性小。

6.5.2.2 与电源设备相连的导线应遵循国家和地方电气规程，并与所用的供电电源的要求一致。

6.5.2.3 电缆与电源设备的连接应机械牢固和导电良好。

6.5.2.4 应在交流回路中提供外部断路开关。恒电位仪外壳应可靠接地。

6.5.2.5 对于热电发生器，应安装反向电流装置。

6.5.2.6 安装强制电流系统辅助阳极时，回填的填充料应保证阳极周围没有空隙，回填过程应小心进行，以免损伤阳极和电缆。

6.5.2.7 应尽可能减少地床的主电缆（阳极电缆）的地下电缆接头数量。主电缆与阳极引线之间的连接应机械牢固和导电良好。如果在地下或水下，这些连接点应密封以防水分渗入，保证与环境的电绝缘。

6.5.2.8 直埋安装阳极电缆时，应小心进行以防绝缘层损伤。所有电缆应留有足够的松弛度，电缆周围的回填料应去除石块和其他可能损伤绝缘层的物质。

6.5.2.9 在启动电源之前，应保证阴极电缆与被保护构筑物相连，阳极电缆与阳极相连。直流电源接通之后，应进行适当的测试以确认这些连接是正确无误的。

6.6 阴极保护测试装置的安装

6.6.1 安装过程中，保持测试装置和测试导线的干燥、清洁，测试导线与装置的连接应机械牢固和导电良好。

6.6.2 所有地下或水下测试导线的附件，其涂敷的电绝缘材料应与被保护体覆盖层和导线绝缘层相容。

6.6.3 测试导线应有颜色标志、电缆标志牌或用其他永久性的标志。导线安装应留有松弛度，避免绝缘损伤，如果发生了损伤应进行修补。

6.6.4 测试导线不应暴露在过热环境和阳光下，应选用地上测试桩。如果测试装置与地面相平，装置内的导线应有充分的松弛度，以方便测试连接。

6.7 阴极保护在线监控系统

阴极保护在线监控系统应由产品供应商专业人员进行安装、接线和调试。

6.8 调试

6.8.1 强制电流和牺牲阳极阴极保护系统建成后应做好调试工作。

6.8.2 强制电流阴极保护系统调试时，其电源设备给定电压应由小到大，连续可调。

6.8.3 采用强制电流阴极保护时，阴极保护电位应符合第4章与第5章规定。

6.8.4 调试的保护电位以极化稳定后的保护电位为准。其极化时间不应少于3天。

6.9 交接验收及竣工资料

6.9.1 阴极保护系统在竣工验收时，应符合下列要求：

a) 竣工验收的工程符合设计要求；

b) 提交的技术文件齐全、完整；

c) 进行系统的外观检查，工程质量符合设计要求；

d) 按设计要求进行测试和检验，并作记录。

6.9.2 竣工的阴极保护系统，在交接验收时，应提交下列技术文件：

a) 实际施工图；

b) 设计变更文件；

c) 产品和设备的说明书、合格证件、试验记录、安装图样等技术文件；

d) 安装施工记录；

e) 调试试验记录，阴极保护参数记录；

f) 隐蔽工程记录(电缆敷设、汇流点，阳极装置、检查片等)。

6.9.3 工程竣工后，应提供以上技术资料作为交工依据，汇总建立技术档案交上级主管部门、生产管理部门，并且施工单位应将这些技术资料备份，作为后续阴极保护系统施工和管理的指导档案。

7 阴极保护系统的运行和维护

7.1 一般规定

7.1.1 为了确保阴极保护系统的正常运行，应进行阴极保护参数的测量和检查，可参照GB/T 21246进行测量操作。

7.1.2 为了监测阴极保护系统的变化，应定期进行测量和检查，可参照GB/T 21246进行测量操作。

7.2 阴极保护系统检测

7.2.1 每个阴极保护系统启动或调试之后，应及时进行检测，以确定是否满足第4章的准则。

7.2.2 应每年定期检测阴极保护系统的有效性。

7.2.3 为保证阴极保护系统的正确运行和维护，应进行的检查和测试内容如下：

a) 所有强制电流电源设备每两个月应检查一次，运行是否正常的判据是：电流输出、功耗、设备的指示信号或被保护体的阴极保护水平；

b) 所有强制电流保护设施应每年检查一次，检查内容应包括电气运行状态、安全接地点、仪表精度、效率及系统回路电阻；

c) 反向电流开关、二极管、干扰跨接和其他保护装置等，应每两个月进行一次功能检查；

d) 应定期进行电位测试，评价绝缘接头、电连续性跨接及套管绝缘的有效性。

7.2.4 被保护构筑物表面未涂敷防腐层的部位，应检查腐蚀的迹象；如果构筑物表面有外防腐层，应检查外覆盖层的质量状况。

7.2.5 应选用符合规范的阴极保护参数的测试仪器，测试仪器和相关设备应运行状况良好并具有符合要求的精度。

7.3 补救措施

在定期测试和检查中，查明的保护不充分的部位，应采取补救措施。这些措施有：

a) 阴极保护系统的维修、替换或调整；
b) 当需要额外的保护时，提供附加设施；
c) 连续性以及干扰接头的维修、替换或调整；
d) 排除系统外部金属结构的跨接；
e) 有缺陷的绝缘装置的维修。

7.4 阴极保护系统记录

7.4.1 外腐蚀控制的记录

有关外腐蚀控制，应记录下列项目：
a) 腐蚀的泄漏、开裂及设备更换；
b) 当埋地构筑物外露时，观察到的设备和外覆盖层的情况。

7.4.2 构筑物设计的记录

有关构筑物设计，应记录下列项目：
a) 相关腐蚀控制措施和施工技术规范；
b) 绝缘装置、测试导线及其他测试装置的设计及位置，以及采取的其他特殊外部腐蚀控制措施的细节。

7.4.3 阴极保护系统设计的记录

有关阴极保护系统的设计，应记录下列项目：
a) 电流需要量测试结果；
b) 土壤电阻率测量结果；
c) 外部构筑物的位置；
d) 干扰测试、干扰跨接的设计及反向电流开关的安装。

7.4.4 阴极保护系统安装的记录

7.4.4.1 阴极保护设施的安装，包括：
a) 强制电流系统：仪器、设备安装位置和投产日期；阳极的数量、类型、尺寸、深度、填料及间距；恒电位仪或其他电源设备的规格；电缆规格和绝缘类型等。
b) 牺牲阳极系统：仪器、设备安装位置和投产日期；阳极的数量、类型、尺寸、深度、填料及间距；电缆规格和绝缘类型等。

7.4.4.2 其他补救措施的细节。

7.4.5 阴极保护系统维护的记录

7.4.5.1 阴极保护系统的维护：恒电位仪或其他直流电源设备的维修；阳极、接头、导线或电缆的维修或更换。

7.4.5.2 外部覆盖层、绝缘装置、测试导线和其他测试装置的维护、修理或更换。

7.4.6 阴极保护调查、检查和测试的记录

应保留阴极保护调查、检查和测试的记录，以完整呈现阴极保护系统的安装、运行状况。

7.4.7 阴极保护系统记录的时间

阴极保护措施必要性和有效性的评价记录的保存期限应与阴极保护设施的服役年限一致，其他有关阴极保护系统记录的保存期限，以业主的要求为准。

附 录 A
（规范性附录）
特殊金属和金属构筑物的阴极保护评价

A.1 铝质构筑物的阴极保护评价

A.1.1 铝质构筑物的阴极保护评价应采用如下准则：在构筑物表面和与电解质接触的稳定的参比电极之间，最小阴极极化电位值为 100 mV。这一准则可以用于极化的建立过程或衰减过程。

A.1.2 铝质构筑物阴极保护评价的注意事项如下：

a) 除非预先测试表明，在特定环境中不会产生明显的腐蚀，否则不应采用比－1 200 mV 更负的极化电位（相对于铜/饱和硫酸铜参比电极，消除 IR 降后）；

b) 在施加阴极保护之前，应进行仔细的调查或测试，以防止铝在 pH 值超过 8.0 的自然环境中产生点蚀破坏。

A.2 铜质构筑物的阴极保护评价

铜质构筑物的阴极保护评价应采用如下准则：在构筑物表面和与电解质接触的稳定的参比电极之间，阴极极化电位值最小为 100 mV。这一准则可以用于极化的建立过程或衰减过程。

A.3 异金属构筑物的阴极保护评价

所有构筑物表面和与电解质接触的稳定的参比电极之间的阴极电位等于最正的阳极性金属维持其保护状态所要求的值。

附 录 B
（资料性附录）
铝合金牺牲阳极的化学成分和电化学性能

B.1 铝合金牺牲阳极的化学成分

铝合金牺牲阳极的化学成分见表 B.1。当用户有要求时，对牺牲阳极的化学成分可作适当调整，但其性能与质量均应符合表 B.1 的规定。

表 B.1 铝合金牺牲阳极化学成分

种类	化学成分/%										
	Zn	In	Cd	Sn	Mg	Si	Ti	杂质 不大于			Al
								Si	Fe	Cu	
铝-锌-铟-镉 A11	2.5～4.5	0.018～0.050	0.005～0.020	—	—	—	—	0.10	0.15	0.01	余量
铝-锌-铟-锡 A12	2.2～5.2	0.020～0.045	—	0.018～0.035	—	—	—	0.10	0.15	0.01	余量
铝-锌-铟-硅 A13	5.5～7.0	0.025～0.033	—	—	—	0.10～0.15	—	0.10	0.15	0.01	余量
铝-锌-铟-锡-镁 A14	2.5～4.0	0.020～0.050	—	0.025～0.070	0.50～1.00	—	—	0.10	0.15	0.01	余量
铝-锌-铟-镁-钛 A21	4.0～7.0	0.020～0.050	—	—	0.50～1.50	—	0.01～0.08	0.10	0.15	0.01	余量

B.2 铝合金牺牲阳极的电化学性能

铝合金牺牲阳极的电化学性能应符合表 B.2 的规定。

表 B.2 铝合金牺牲阳极的电化学性能

项目	阳极材料	开路电位/V	工作电位/V	实际电容量/(A·h/kg)	电流效率/%	消耗率/[kg/(A·a)]	溶解状况
电化学性能	1 型	−1.18～−1.10	−1.12～−1.05	≥2 400	≥85	≤3.65	产物容易脱落，表面溶解均匀
	2 型	−1.18～−1.10	−1.12～−1.05	≥2 600	≥90	≤3.37	
注：参比电极：饱和甘汞电极；介质：人造海水或天然海水；阳极材料：A11、A12、A13、A14 为 1 型；A21 为 2 型。							

附 录 C
（资料性附录）
锌合金牺牲阳极的化学成分和电化学性能

C.1 锌合金牺牲阳极的化学成分

锌合金牺牲阳极的化学成分见表 C.1。如果在相似土壤环境中的阳极性能能够被证明可靠且有证据支持时，其他成分的锌合金牺牲阳极也可以使用。

表 C.1 锌合金牺牲阳极的化学成分

元 素	锌合金主要化学成分的质量分数/%	高纯锌主要化学成分的质量分数/%
Al	0.1～0.5	≤0.005
Cd	0.025～0.07	≤0.003
Fe	≤0.005	≤0.001 4
Pb	≤0.006	≤0.003
Cu	≤0.005	≤0.002
其他杂质	≤0.1	—
Zn	余量	余量

C.2 锌合金牺牲阳极的电化学性能

C.2.1 棒状锌阳极

棒状锌合金牺牲阳极的电化学性能应符合表 C.2 的规定。

表 C.2 棒状锌合金牺牲阳极的电化学性能

性 能	锌合金、高纯锌	备注
密度/(g/cm^3)	7.14	
开路电位/V	−1.03	相对于铜/饱和硫酸铜参比电极
理论电容量/(A·h/kg)	820	
电流效率/%	95	在海水中，3 mA/cm^2 条件下
发生电容量/(A·h/kg)	780	
消耗率/[kg/(A·a)]	11.88	
电流效率/%	≥65	在土壤中，0.03 mA/cm^2 条件下
发生电容量/(A·h/kg)	530	
消耗率/[kg/(A·a)]	≤17.25	

C.2.2 带状锌阳极

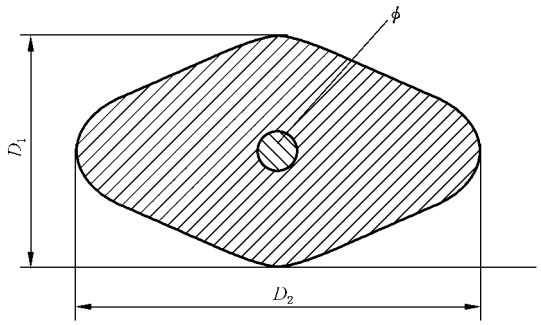
带状锌合金牺牲阳极的电化学性能应符合表 C.3 的规定，其规格及尺寸见表 C.4，带状锌阳极的截面示意图，见图 C.1。

表 C.3 带状锌合金牺牲阳极的电化学性能

型号	开路电位/V		理论电容量/(A·h/kg)	实际电容量/(A·h/kg)	电流效率/%
	相对 CSE	相对 SCE			
锌合金	≤−1.05	≤−0.98	820	≥780	≥95
高纯锌	≤−1.10	≤−1.03	820	≥740	≥90
注：实验介质为人造海水。					

表 C.4 带状锌合金牺牲阳极的规格及尺寸

阳极规格	ZR-1	ZR-2	ZR-3	ZR-4
截面尺寸 $D_1\times D_2$/mm^2	25.40×31.75	15.88×22.22	12.70×14.28	8.73×10.32
阳极带线质量/(kg/m)	3.57	1.785	0.893	0.372
钢芯直径 ϕ/mm	4.70	3.43	3.30	2.92
标准卷长/m	30.5	61	152	305
标准卷内径/mm	900	600	300	300
钢芯的中心度偏差/mm	−2～+2			
注：阳极规格 Z 代表锌，R 代表带状，后面的数字为序列号。				



说明：

D_1——D_2 截面尺寸；

ϕ ——钢芯直径。

图 C.1 带状锌阳极的截面示意图

附 录 D
（资料性附录）
镁合金牺牲阳极的化学成分和电化学性能

D.1 镁合金牺牲阳极的化学成分

镁合金牺牲阳极化学成分见表 D.1。如果在相似土壤环境中的阳极性能能够被证明可靠且有证据支持时，其他成分的镁合金牺牲阳极也可以使用。

表 D.1 镁合金牺牲阳极的化学成分

元 素	标准型主要化学成分的质量分数/%	镁锰型主要化学成分的质量分数/%
Al	5.3～6.7	≤0.010
Zn	2.5～3.5	—
Mn	0.15～0.60	0.50～1.30
Fe	≤0.005	≤0.03
Ni	≤0.003	≤0.010
Cu	≤0.020	≤0.020
Si	≤0.10	—
Mg	余量	余量

D.2 镁合金牺牲阳极的电化学性能

D.2.1 镁阳极

镁合金牺牲阳极的性能测试应当按照 SY/T 0095 进行，其电化学性能应符合表 D.2 的规定。

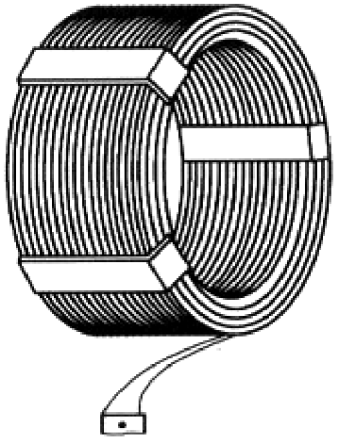
表 D.2 镁合金牺牲阳极的电化学性能

性 能	标准型	镁锰型	备注
密度/(g/cm^3)	1.77	1.74	
开路电位/V	−1.48	−1.55	相对于铜/饱和硫酸铜参比电极
理论电容量/(A·h/kg)	2 210	2 200	
电流效率/%	55	50	在海水中，3 mA/cm^2 条件下
发生电容量/(A·h/kg)	1 220	1 100	
消耗率/[kg/(A·a)]	7.2	8.0	
电流效率/%	≥50	40	在土壤中，0.03 mA/cm^2 条件下
发生电容量/(A·h/kg)	1 110	880	
消耗率/[kg/(A·a)]	≤7.92	10.0	

D.2.2 带状镁阳极

镁锰合金挤压制造的带状镁合金牺牲阳极规格及性能见表 D.3。

表 D.3 带状镁合金牺牲阳极规格及性能

	截面/mm		9.5×19
	钢芯直径/mm		3.2
	阳极带线质量/(kg/m)		0.37
	输出电流线密度/(mA/m)	海水	2 400
		土壤	10
		淡水	3
注：土壤条件下，电阻率取 50 Ω·m；淡水条件下，电阻率取 150 Ω·m。			