

ICS 71.120.01  
G 90  
备案号:25800—2009

HG

# 中华人民共和国化工行业标准

HG/T 4078—2009

## 阴极保护技术条件

Cathodic protection technical specification

2009-02-05 发布 标准分享网 [www.bzfxw.com](http://www.bzfxw.com) 免费下载

2009-07-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 术语与定义 .....	1
3 阴极保护系统评价规定 .....	3
3.1 一般规定 .....	3
3.2 最小保护电位 .....	3
3.3 最大保护电位 .....	3
3.4 IR 降 .....	3
3.5 参比电极 .....	3
3.6 铁和钢构筑物的阴极保护评价 .....	4
3.7 铝质构筑物的阴极保护评价 .....	4
3.8 铜质构筑物的阴极保护评价 .....	4
3.9 异金属构筑物的阴极保护评价 .....	4
3.10 注意事项 .....	4
4 阴极保护设计规定 .....	5
4.1 一般规定 .....	5
4.2 阴极保护设计的主要目的 .....	5
4.3 阴极保护设计所用的资料 .....	5
4.4 阴极保护系统的类型 .....	5
4.5 影响阴极保护系统类型选择的因素 .....	6
4.6 影响阴极保护系统设计的因素 .....	6
4.7 设计图和设计说明书 .....	6
4.8 构筑物的设计和改造 .....	7
4.9 牺牲阳极阴极保护系统设计 .....	7
4.10 外加电流阴极保护系统设计 .....	8
4.11 注意事项 .....	9
5 阴极保护施工规定 .....	10
5.1 一般规定 .....	10
5.2 施工规范 .....	10
5.3 施工监理 .....	10
5.4 牺牲阳极系统 .....	10
5.5 外加电流系统 .....	10
5.6 阴极保护测试站、连接和跨接 .....	11
5.7 电绝缘 .....	11
5.8 调试 .....	11
5.9 交接验收及竣工资料 .....	11
6 阴极保护材料与设备规定 .....	12
6.1 牺牲阳极装置 .....	12



6.2	外加电流装置·····	12
7	阴极保护系统的运行和维护规定·····	14
7.1	一般规定·····	14
7.2	阴极保护检测·····	14
7.3	补救措施·····	14
7.4	阴极保护系统记录·····	14

## 前 言

本标准由中国石油和化学工业协会提出。

本标准由化学工业机械设备标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位：中国工业防腐蚀技术协会、厦门洗霸科技有限公司、洛阳成邦防腐有限公司。

本标准主要起草人：任振铎、辜志俊、王卫东、李济克、张炎明、潘小洁。

本标准为首次发布。

## 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、材料设备和运行维护的技术条件。  
本标准适用于各种状况的阴极保护系统。

### 2 术语与定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 2.1

**阳极 anode**

电化学电池中发生氧化反应的电极。电子从阳极的外部环路流出。阳极往往发生腐蚀,并且金属离子由此进入溶液。

#### 2.2

**阴极 cathode**

电化学电池中以还原反应为主要反应的电极。电子流向外部回路的阴极。

#### 2.3

**阴极剥离 cathodic disbondment**

由阴极反应的产物引起的防腐层与涂敷表面之间的黏结力的破坏。

#### 2.4

**阴极极化 cathodic polarization**

由于电流流过电极/电解质界面引起的在活性(负值)方向的电极电位变化(见极化)。

#### 2.5

**阴极保护 cathodic protection**

通过使金属表面成为电化学电池的阴极来减少金属表面腐蚀的技术。

#### 2.6

**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。

#### 2.7

**腐蚀 corrosion**

由于与周围环境的作用而引起的材料(通常是金属)的破坏。

#### 2.8

**腐蚀电位 corrosion potential**

在开路条件下电解质中腐蚀表面相对于参比电极的电位(也叫做自然电位、开路电位或自腐蚀电位)。

#### 2.9

**电流密度 current density**

流过电极表面单位面积的电流。

#### 2.10

**绝缘防腐层 insulated anti-corrosion coating**

不导电的防腐层。



2.11

**电绝缘 electric isolation**

与其他金属构筑物或环境呈电隔离的状态。

2.12

**电极电位 electrodic potential**

相对于参比电极的电解质中的电极电位。(该电极电位不包括溶液中或外部回路的任何电位阻抗损失。它表示将一单位电荷从电极表面通过电解质移动到参比电极的可逆作用。)

2.13

**电解质 electrolyte**

含有在电场中可以迁移的离子的化学物质,如土壤和水。

2.14

**外部构筑物 foreign structure**

不作为阴极保护系统一部分的金属构筑物。

2.15

**牺牲阳极 galvanic anode**

当在电解质中进行电连续时,为另一较惰性的金属提供牺牲保护的金属。这种阳极是此类阴极保护的电子来源。

2.16

**地床 ground bed**

为了提供阴极保护而安装在地表面下的一个或多个阳极。

2.17

**外加电流 impressed current**

利用电极系统以外的电源设备提供的电流(如阴极保护的直流电)。

2.18

**IR 降 IR drop**

按照欧姆定律电流流过电阻产生的电压降。

2.19

**绝缘 isolation**

见 2.11 电绝缘。

2.20

**极化 polarization**

由于电流通过电极/电解质界面而引起的开路电位的变化。在本标准中,极化被认为是由直接进入或流出电极的电流引起的金属表面的电压变化。

2.21

**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。

2.22

**参比电极 reference electrode**

在相似的测量条件下可以认为开路电位恒定不变的电极,可以用作测量其他电极的相对电位。

2.23

**杂散电流 stray current**

非预期回路上通过的电流。



2.24

杂散电流腐蚀 stray current corrosion

由非预期回路上流过的电流引起的腐蚀,如土壤中任何外来电流引起的腐蚀。

2.25

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。

2.26

最小保护电位 minimal protection potential

阴极保护条件下,金属达到完全保护所需要的、绝对值最小的负电位值。

2.27

最大保护电位 maximum protection potential

阴极保护条件下,允许的绝对值最大的负电位值。

3 阴极保护系统评价规定

3.1 一般规定

阴极保护效果一般以保护电位为评价标准。

3.2 最小保护电位

表1中列出了阴极保护需达到的电位最小值(即最小保护电位)。电位值若比最小保护电位值正就可能发生腐蚀。电位值的大小取决于使用的参比电极。

表1 阴极保护需达到的最小保护电位

单位为伏

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/饱和氯化钾 (在任一电解质中)	银/氯化银/海水 <sup>a</sup>	锌/海水 <sup>a</sup>
铁和钢	有氧环境	-0.85	-0.75	-0.8	+0.25
	缺氧环境	-0.95	-0.85	-0.9	+0.15
铅		-0.6	-0.5	-0.55	+0.5
铜基合金		-0.5~-0.65	-0.4~-0.55	-0.45~-0.6	+0.6~+0.45
铝	负极限	-0.95	-0.85	-0.9	+0.15
	正极限	-1.2	-1.1	-1.15	-0.1
<sup>a</sup> 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。					

3.3 最大保护电位

最大保护电位的限制应根据被保护金属、覆盖层种类及环境来确定,以不损坏被保护金属及覆盖层的黏结力为准。

3.4 IR降

正确判定被保护体/电解质电位测量值,必须考虑测量方法中所含的IR降误差,通常采用下面的几个方法:测量或计算IR降;检查阴极保护系统以往的性能;评价被保护体及其环境的物理和电性能;确定是否存在腐蚀的直接证据。

3.5 参比电极

3.5.1 其他标准参比电极可以替换铜-饱和硫酸铜参比电极。它们的电压数值必须按照表2转换成相对于铜-饱和硫酸铜参比电极的数值。



表 2 电位测量相对于饱和硫酸铜参比电极的转换

单位为伏

	相当于-0.85 V 铜-饱和硫酸铜参比电极	修正
甘汞	-0.776	加-0.074
银/氯化银	-0.78	加-0.07
锌	+0.25	加-1.10

3.5.2 除了上述标准参比电极之外,金属材料或结构也可代替饱和铜-硫酸铜参比电极使用,只要保证其电位的稳定性,同时要确认其相对饱和铜-硫酸铜参比电极的电位。

### 3.6 铁和钢构筑物的阴极保护评价

铁和钢构筑物的阴极保护评价可采用下列任意一项或多项准则:

a) 在施加阴极保护的情况下,测得构筑物/电解质电位为-850 mV(相对于铜/饱和硫酸铜参比电极)或更负。

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。这一准则可以用于极化的建立过程或衰减过程。

### 3.7 铝质构筑物的阴极保护评价

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。

### 3.8 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。

### 3.9 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。

### 3.10 注意事项

#### 3.10.1 铁和钢

3.10.1.1 在裸露或涂敷不良的构筑物上,可采用以下准则:在预先确定的电流排放点(阳极区),按大地电流测量技术,确定净电流是从电解质流向构筑物表面。但有多处被保护体通过的区域、高电阻率表层土、深埋构筑物、杂散电流区或局部腐蚀电池起主要作用的场合,该准则不适用。

3.10.1.2 当土壤或水中含有硫酸盐还原菌,且硫酸根含量大于 0.5 % 时,通电保护电位应达到-950 mV或更负(相对于饱和硫酸铜参比电极)。

3.10.1.3 当被保护体可能发生应力腐蚀开裂时,特别提醒注意被保护体的阴极保护不能使用比-850 mV更正的极化电位(相对于饱和硫酸铜参比电极)。

3.10.1.4 应避免在外表面涂敷的被保护体上使用过负的极化电位,以使覆盖层的阴极剥离程度减少到最小。

#### 3.10.2 铝

3.10.2.1 过电位: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。

3.10.2.2 碱性条件:在施加阴极保护之前,应进行仔细的调查或测试,以阻止铝在 pH 值超过 8.0 的自然环境中产生点蚀破坏。

#### 3.10.3 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:瞬间断电电位比极化完全衰减后的电位(4 h 后测量的结果)之差应比 100 mV 更负。



### 3.10.4 杂散电流

对可能存在杂散电流和杂散电位梯度的情况,应进行专门分析。

### 3.10.5 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。

## 4 阴极保护设计规定

### 4.1 一般规定

4.1.1 本章主要针对钢质材料的阴极保护,其他金属材料的阴极保护应满足第3章准则并需特殊的考虑。

4.1.2 确认建设地点主要腐蚀危险条件、选择材料、规定技术要求和施工方法,以保证阴极保护装置安全地安装和运行。

4.1.3 材料选择及安装技术要求,应当符合现行国家标准。

4.1.4 材料选择、技术要求及安装方法,应保证阴极保护系统在预期工作寿命期间内能可靠和经济地运行。

4.1.5 安装地点应选择对周围其他埋地或水下金属构筑物产生有害影响的电流或大地电位梯度为最小。

4.1.6 通过相关单位的联合调查,以确定彼此均满意的干扰问题解决方案。

4.1.7 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,均应给予特殊考虑。

4.1.8 应避免可能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。

4.1.9 对于两性金属的情况,不应产生能造成金属阴极腐蚀的高pH值条件。

### 4.2 阴极保护设计的主要目的

4.2.1 向被保护构筑物提供足够的电流,并分配这一电流,以充分达到所选定的阴极保护准则。

4.2.2 对相邻地下构筑物的干扰电流最小。

4.2.3 提供与被保护构筑物预期寿命相当的阳极系统设计寿命,或者提供可以定期更换的阳极系统。

4.2.4 预计所需电流会随时间变化,应提供充分裕量。

4.2.5 在干扰或损伤可能性最小的位置安装阳极。

4.2.6 为测试和评价系统性能提供适当的检测设施。

### 4.3 阴极保护设计所用的资料

4.3.1 所用的被保护体系统技术资料有: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。

4.3.2 与被保护体系统现场条件有关的资料有:已有的和规划的阴极保护系统;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。

4.3.3 现场调查、腐蚀测试数据和运行经验所获得的有用的资料有: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。

4.3.4 如果先前的经验和测试数据可用来评估电流需要量、电解质电阻率和其他设计因素,那么也不总是必要进行实际使用阴极保护之前的现场调查工作。

### 4.4 阴极保护系统的类型

#### 4.4.1 牺牲阳极系统

牺牲阳极可以用镁、锌和铝的合金材料制造,阳极既可单独也可成组与被保护体连接。



#### 4.4.2 外加电流系统

外加电流系统用辅助阳极可以是石墨、高硅铸铁、铅银合金、贵金属或钢等材料。通过绝缘电缆把它们单独或成组地与直流电源(如整流器或发电机)的正极相连,被保护体连到直流电源的负极。

#### 4.5 影响阴极保护系统类型选择的因素

选择阴极保护系统类型时应考虑:

- a) 保护电流的需要量。
- b) 杂散电流导致被保护体和大地间明显的电位波动,可能排除了牺牲阳极的使用。
- c) 阴极保护干扰电流对邻近构筑物的影响,可能限制了强制电流阴极保护系统的使用。
- 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、获得通行权、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。

#### 4.6 影响阴极保护系统设计的因素

4.6.1 针对给定的电流输出,阳极寿命取决于环境和阳极材料及阴极保护系统中的单支阳极质量和阳极数量。已有的阳极性能数据可用来计算大致的消耗率。

4.6.2 阳极的尺寸、埋深、排列及电解质电阻率可用来计算阳极系统对电解质的电阻。有关这些因素的公式和图表,可以从文献中或制造商处得到。

4.6.3 牺牲阳极系统的设计应考虑阳极对被保护体电位、电解质电阻率、输出电流,以及特殊情况下的导线电阻,可能不必要对每支阳极或阳极系统单独设计。

4.6.4 通过使用专门的填包料,在大多数土壤中牺牲阳极的性能得到改善。最常用的是石膏、膨润土和无水硫酸钠的混合物。

4.6.5 通过在辅助阳极周围使用专用填充料,可以减少所需的阳极数量,并使它们的寿命得以延长。最常用的材料是焦炭、煅烧石油焦,以及天然或人造石墨。

4.6.6 在设计大范围分布式阳极强制电流系统时,应考虑沿阳极连接电缆(汇流电缆)的电压和电流的衰竭。在这种情况下设计阳极系统时,为使受保护构筑物的末端达到有效的腐蚀控制,应当优化阳极系统长度、阳极间距和尺寸,以及电缆尺寸。

4.6.7 在阳极反应产生的气体滞留可能削弱强制电流辅助阳极地床泄放电流能力的地方,应采取适当的阳极地床排气的预防措施。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。

4.6.8 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,保证阳极周围足够的土壤湿度。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进一步减轻电渗效应。

#### 4.7 设计图和设计说明书

4.7.1 应绘制适宜的图样,标明被保护体的总体布置及结构构件、腐蚀控制测试站(桩)、导电跨接、电绝缘装置和相邻的地下或水下金属构筑物等主要项目的所处位置。

4.7.2 应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个部分相对被保护构筑物和相对重要的自然地面标志物的细节和位置,这些图样应包括有关通行权的资料。

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

4.7.4 应编制阴极保护系统的施工中所涉及的各种材料和安装做法的技术说明书。



## 4.8 构筑物的设计和改造

### 4.8.1 电连续性

采用阴极保护前,对要进行保护的构筑物的不同部分之间安装导电跨接。应充分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。

### 4.8.2 防腐覆盖层

以构筑物的类型及其所处的环境决定最适用的覆盖层类型。要求覆盖层具有一定耐阴极剥离性能。选取覆盖层类型的原则是: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)最经济。

### 4.8.3 电绝缘

对良好涂敷的构筑物实施阴极保护前,应与没有必要进行保护或者保护是不经济的金属构筑物电绝缘。

### 4.8.4 测试保障

在设计阶段必须考虑测试装置。

## 4.9 牺牲阳极阴极保护系统设计

### 4.9.1 牺牲阳极阴极保护系统设计寿命

主要根据业主要求,同时考虑被保护系统设计寿命及被保护系统运行中阴极保护可能的寿命。

### 4.9.2 电流密度

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,可确定达到特定保护准则所需电流。也可以通过计算表面积,并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,来估算所需电流。

### 4.9.3 牺牲阳极的选择

4.9.3.1 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。这些阳极的选择和使用是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。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。

4.9.3.2 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。

4.9.3.3 当使用高纯度锌时,应注意确保阳极满足国标中阳极材料的要求。作为土壤用的牺牲阳极,锌的纯度大大影响它的性能。

4.9.3.4 当阳极环境温度高于 49℃ 时,不应使用锌阳极。

4.9.3.5 用专门的回填料可提高牺牲阳极的性能。75%石膏、20%膨润土和 5%硫酸钠的混合物一般用于镁阳极;75%石膏、20%膨润土和 5%硫酸钠的混合物,或 50%石膏和 50%膨润土的混合物可用于锌阳极。

4.9.3.6 阳极宜附带有连好的导线。导线至少用截面积为 10 mm<sup>2</sup> (VV1×10) 的实心导线,外包热塑性绝缘层或相当的耐油和耐水绝缘层。

### 4.9.4 牺牲阳极的安装

4.9.4.1 阴极保护阳极应以电流最优分布的方式安装在被保护体的周围。

4.9.4.2 应安装足够松弛的阳极导线以避免由于周围土壤沉降而可能遭到的破坏。

### 4.9.5 牺牲阳极的设计

电解质电阻率高的环境,阳极最好是制成棒状或细长的块状;如果周围电解质的电阻率特别高,则制成挤压条或挤压带的形状。对于电阻率较低的电解质,要有足够的材料来保证充分的使用期限,要求使用相对粗一些的棒状或块状阳极,乃至球形的阳极。埋地阳极可以用比土壤电阻更低一些的回填料填包以降低电阻。牺牲阳极应含有电负性小的材料制成的嵌入物(比如钢)。对嵌入物应进行整形和预处理,以使其机械性能符合牺牲阳极本体金属材料的要求。

直接或间接固定在被保护构筑物上的牺牲阳极通常的制造方法是在钢芯或钢质嵌入物周围铸造



而成。

#### 4.10 外加电流阴极保护系统设计

##### 4.10.1 外加电流阴极保护系统设计因素

本节推荐设计外加电流阴极保护系统的程序。在设计阴极保护系统时,应考虑下列因素:认识现场危险条件,以确保安全安装和运行;所有适用的法规;材料选择和规格、安装作法,以确保系统在预计的使用寿命期间可靠、经济地运行;选择推荐安装方式以减少杂散电流。

##### 4.10.2 外加电流阴极保护系统设计寿命

主要根据业主要求,同时考虑被保护系统设计寿命及被保护系统运行中阴极保护可能的寿命。

##### 4.10.3 电流密度

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,可确定达到特定的保护准则所需电流。也可以通过计算表面积,并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,估算所需电流。

##### 4.10.4 电连续性

4.10.4.1 所有被保护构筑物必须电连续。

4.10.4.2 非焊接接头不一定是电连续的。必须确认被保护系统所有部件之间是电连续的。

4.10.4.3 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作用。

##### 4.10.5 阳极系统

4.10.5.1 多种材料,如高硅铸铁、石墨、涂有金属/氧化物混合物的钛和涂有白金的钛或铌,可用作辅助阳极。这些阳极通常和低电阻率的含碳回填料一起安装。

4.10.5.2 阳极导线应绝缘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直流电源的正端相连,被保护系统的部件应使用绝缘电缆与负端相连。

4.10.5.3 阳极、整流器、从构筑物返回到整流器负极的电缆需要专门的绝缘。在塑料管内安装电缆是最好的做法。如果安装在土壤中,需要下列电缆绝缘性质:

- a) 耐磨性。
- b) 低吸水性。
- c) 耐储罐产品的泄漏。

4.10.5.4 阳极周围使用低电阻率、含碳的导电回填料。这些回填料最常用的是由煤制成的冶金焦炭屑和煅烧石油焦炭。低电阻率、含碳的、导电的回填料也减少阳极/地的电阻。

4.10.5.5 阳极地床的构筑物可以是垂直的、水平的或有角度的。阳极形状的选择取决于环境因素、电流需求、电流分布、被保护构筑物的尺寸和形状。阳极的放置宜使保护电流在被保护系统表面呈均匀分布。

4.10.5.6 尽管有许多直流电源可用于强制电流阴极保护,但整流器是最常用的。可使用不同类型的整流器如:固定电压、恒定电流、自动电位控制和上述的组合。

可使用带直流供电的分离的终端盒子,它们能提供多路输出,每路输出能随单个回路或阳极而变化。这些都装有分流器,以便能监控单个阳极电流输出。

4.10.5.7 应以安全考虑为优先设计所有的强制电流系统。所有的电缆线路宜被保护起来以免遭物理损坏和击穿。如果有需要,整流器和连接盒应防爆。

##### 4.10.6 测试站

4.10.6.1 为了使每个系统有足够的地点进行阴极保护试验,应考虑电位和电流测量的测试站,在测试站中埋设永久性参比电极。

4.10.6.2 如果用便携式的参比电极进行监测,宜处理一块干净的、未屏蔽的回填土壤的区域进行电极安装。



**4.10.6.3** 对于牺牲阳极阴极保护系统来说,测试站的设计应允许将阳极断开。当需要时,测试站也应留有空间,容纳埋地参比电极的试验导线。

**4.10.6.4** 测试站宜清晰标记,容易接近和安装,免遭车辆损坏。

**4.10.6.5** 应通过最小埋深 0.5 m,或使用非金属导管将进入测试站的所有导线保护起来以免遭破坏。

#### **4.10.7 电线和连接**

**4.10.7.1** 用于阳极参比电极和监测连接的导线需要用具备下列性质的绝缘:

- a) 低的吸水性。
- b) 耐罐内产品的泄漏。
- c) 耐磨损。
- d) 满足使用的足够的破坏强度。

**4.10.7.2** 阳极导线应用锡焊或铜焊将导线和阳极接触面连接牢固。焊上的阳极应有可焊的钢芯便于直接连接到构筑物上。连接到构筑物上的配线宜使用发热焊接、可焊的钢质电压线连接器、或适当的机械连接器进行连接,并承受抗拉试验。连接的地方应在连接之前用刮或刷的方法清理干净。连接器和连接区域应在连接完后全部涂敷。

**4.10.8** 阳极和地床的设计和安装。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。

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,将阳极放在振动最小和产生疲劳失效可能性最小的位置。

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必须避免造成局部过保护以及保护电流分布差,同时考虑经济。

在附近安装的阳极材料或敷设的连接电缆材料都应是耐氯气的,应制定自然排气的规定。

#### **4.10.9 变压-整流装置的电源**

在进行地床和架空线系统所需延伸的设计工作时,应注意保证在阳极地床的边界区内没有架空线的系紧线。

安装在地下给变压整流装置供电的地点,使用带有类似于聚氯乙烯这类绝缘材料的全密封防腐蚀电缆。

应严格预防变压-整流装置的金属系统与接地端的跨接,以保证接地系统与阴极保护装置的地床之间,不能出现金属连接。

变压-整流装置应与供电电源隔离。

#### **4.10.10 其他**

**4.10.10.1** 设计图样应显示被保护的构筑物、阴极保护系统、相关附属物的整个布局。

**4.10.10.2** 技术规范应说明用于阴极保护系统建设的材料和安装方法。

**4.10.10.3** 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。

#### **4.11 注意事项**

##### **4.11.1 过电压损害或危险的避免**

地床与保护接地系统应保持电分离状态;在土壤电阻率比较高的地区,使用一个保护接地系统。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地接地极;在变压-整流设备的输出端应安装适当规格的避雷器或保护性火花间隙。

##### **4.11.2 交流电对阴极保护系统的影响**

应避免阴极保护装置上交流电的存在。



## 5 阴极保护施工规定

### 5.1 一般规定

5.1.1 使构筑物达到保护的阴极保护系统的安装步骤,应遵守本标准中第4章推荐的设计要点。

5.1.2 所有的工作应按照所有可适用的健康和安全规范进行。

### 5.2 施工规范

所有阴极保护系统的施工工作应按照施工图样和施工规范进行,施工规范应与本标准中第4章推荐的做法一致。

### 5.3 施工监理

5.3.1 所有的阴极保护系统的施工工作应在经过培训并授予资格的人员监督之下进行,以验证安装是严格按照图样和施工规范执行的。只有在得到授予资格和负责腐蚀控制的人员批准后才能有例外。

5.3.2 所有与施工规范不符之处均应在竣工图上标明。

### 5.4 牺牲阳极系统

#### 5.4.1 检验、搬运和储存

5.4.1.1 应检验预封装阳极,并采取恰当步骤保证完全包覆在阳极周围。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,那么在安装前必须去掉这种容器。在储存期间,袋装阳极应保持干燥。

5.4.1.2 必须把导线牢固地与阳极连接。应检查导线,以保证导线没有损伤。

5.4.1.3 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,且搬运期间的任何损伤不能影响应用。如果在阳极箍和“手镯式”阳极圆弧段的内表面和两侧使用了覆盖层,必须对其进行检查,如有损伤,应在阳极安装前进行修补。

#### 5.4.2 阳极的安装

5.4.2.1 应按照施工规范安装阳极。

5.4.2.2 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。在所有的操作中均应小心,确保导线和接头不受损伤。为避免张应力,导线应留有充分的松弛度。

5.4.2.3 在使用手镯式阳极的位置,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。如果在管道上喷涂混凝土后,应去除阳极表面上所有的混凝土,如果使用钢筋混凝土,在阳极和钢筋之间或钢筋网和被保护体之间严禁有金属接触。

5.4.2.4 在使用带状阳极的位置,可以挖沟或犁沟埋设,根据要求使用或不使用化学填包料,通常与被保护体平行。

### 5.5 外加电流系统

#### 5.5.1 检验和搬运

5.5.1.1 应检查整流器或其他电源,以保证其内部接线机械牢固,装置没有损伤。电源的额定参数应与施工规范相符。搬运和安装电源时应小心进行。

5.5.1.2 应检查强制电流辅助阳极,其材质、尺寸、导线电缆长度、阳极接头以及密封的完整性等应与技术规格书一致。在搬运和安装期间应小心进行以防阳极断裂或损伤。

5.5.1.3 所有电缆均应仔细检查,检测其绝缘缺陷,应小心进行以防损伤电缆的绝缘,电缆的绝缘缺陷必须进行修补。

5.5.1.4 阳极填充料应与技术规格书一致。

#### 5.5.2 安装规定

5.5.2.1 整流器或其他电源的安装方式应使其损坏或人为破坏的可能性最小。

5.5.2.2 与整流器相连的导线应遵循地方和国家电气规程,与所用的供电电源的要求一致。应在交流



回路中提供外部断路开关。整流器外壳应可靠接地。

**5.5.2.3** 对于热电发生器,应安装反向电流装置。

**5.5.2.4** 强制电流辅助阳极可按照施工规范的要求垂直、水平埋地或在深井中埋设。回填的填充料应保证阳极周围没有空隙,回填时应小心进行,以免损伤阳极和电缆。

**5.5.2.5** 从整流器负极到被保护体的电缆应按 5.6 中的要求连接,电缆与整流器的连接必须机械牢固和导电良好。在启动电源之前,必须核对阴极电缆与保护构筑物相连,阳极电缆与阳极相连。直流电源接通之后,应进行适当的测量以确认这些连接是正确无误的。

**5.5.2.6** 通向地床的主电缆(阳极电缆)的地下绞接头数量应保持最少。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,这些连接点必须密封以防水分渗入,保证与环境的电绝缘。

**5.5.2.7** 直埋安装阳极电缆(正极电缆)时,应小心进行以防绝缘损伤。所有电缆应留有足够的松弛度以避免张应力,电缆周围的回填料应去除石块和其他可能损伤绝缘的物质。如果采取了适当预防措施,电缆可以犁沟埋设。

**5.5.2.8** 如果地下或水下主电缆及其绞接头的绝缘密封不完整,则电缆可能因腐蚀而失效。

## **5.6 阴极保护测试站、连接和跨接**

**5.6.1** 进行连接时,连接处的设备和测试导线应干燥、清洁,没有其他杂物,测试导线与设备的连接必须保持机械牢固和导电良好。

**5.6.2** 所有地下或水下测试导线的附件,均应使用与被保护体覆盖层和导线绝缘层的相容的电绝缘材料涂敷。

**5.6.3** 测试导线应有颜色标志或用其他永久性的标志,导线安装应留有松弛度,应避免绝缘损伤,如果发生了损伤应进行修补。测试导线不应暴露在过热环境和阳光下,最好选用地面测试站。如果测试站与地面相平,测试站内的导线应有充分的松弛度,以方便测试连接。

**5.6.4** 与其他构筑物跨接或跨越绝缘接头的电缆连接,应机械牢固,导电良好,并进行适当涂敷,跨接连接应便于进行测试。

## **5.7 电绝缘**

检查和测量以验证电绝缘是满足要求的。

## **5.8 调试**

**5.8.1** 外加电流和牺牲阳极阴极保护装置建成后应做好调试工作。外加电流阴极保护调试时,其电源设备给定电压应由小到大,连续可调。

**5.8.2** 采用外加电流阴极保护时,阴极保护电位应符合本标准第 3 章与第 4 章规定。

**5.8.3** 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。

## **5.9 交接验收及竣工资料**

**5.9.1** 阴极保护装置在竣工验收时,必须符合下列要求:

- a) 竣工验收的工程符合设计要求。
- b) 规定提出的技术文件齐全、完整。
- c) 按本标准进行外观检查,工程质量符合本标准规定。
- d) 按本标准规定进行测试和检验,并作记录。

**5.9.2** 竣工的阴极保护装置,在交接验收时,应提交下列技术文件:

- a) 实际施工图。
- b) 变更设计的证明文件。
- c) 制造厂提供的说明书、试验记录、产品合格证件、安装图样等技术文件。
- d) 安装技术记录。
- e) 调试试验记录,保护电位参数。



f) 隐蔽工程记录(电缆敷设、汇流点,阳极装置、检查片等)。

5.9.3 设计中提供的仪器、仪表在竣工验收时一起移交业主,工程竣工后,各施工单位必须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、生产管理部门及施工企业自存作为指导正常阴极保护必需的原始资料和施工技术档案。

6 阴极保护材料与设备规定

6.1 牺牲阳极装置

6.1.1 牺牲阳极装置主要是牺牲阳极材料。

6.1.2 牺牲阳极材料。

用做牺牲阳极的材料有镁基、锌基或铝基合金。表 3 中给出了常见的成分。

注:某些合金可能产生有毒物,在预定的使用条件下应查清是否允许使用推荐的那种合金。

表 3 牺牲阳极材料的典型资料

合 金	常用环境	开路电位(指定参比电极)/V	电容量 /(A·h/kg)	消耗率 /[kg/(A·a)]
镁				
1.5 % 锰	土壤/海水	-1.7(饱和 Cu/CuSO <sub>4</sub> )	1 200	7.5
6 % 铝,3 % 锌	土壤/海水	-1.5(饱和 Cu/CuSO <sub>4</sub> )	1 200	7.5
锌				
0.5 % 铝,0.1 % 镉	海水	-1.05(Ag/AgCl/海水)	780	11.25
铝				
0.4 % 锌,0.04 % 汞	海水	-1.05(Ag/AgCl/海水)	>2 800	3.15
5 % 锌,0.04 % 汞	海底淤泥	-1.05(Ag/AgCl/海水)	1 800~2 000	4.38~4.86
3 %~5 % 锌	海水	-1.1(Ag/AgCl/海水)	1 800~2 000	4.38~4.86
0.01 % 铟~0.03 % 铟	海底淤泥			

6.2 外加电流装置

6.2.1 外加电流保护装置是由直流电源、辅助阳极及阴极所组成。

6.2.2 外加电流装置的阳极。

目前使用的阳极材料有钢、铸铁、石墨、高硅铸铁、磁铁矿、铝合金、贵金属、金属氧化物、导电聚合物等。

主要阳极材料的性能在表 4 中进行了归纳。这些阳极材料按照费用/消耗率的顺序排列,给出的仅是一种示例。



表4 主要辅助阳极材料的性能

材 料	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最大工作 电流密度 (A/cm <sup>2</sup> )	消耗率 /[质量/(A·a)]	最大工作 电压/V	可达到的 利用率/%	备 注
钢	7.85	5	9 kg	50	30~50	带碳质填料
浸渍过的石墨	1.1	10	0.5 kg	50	50	带碳质填料
高硅铸铁	7.0	50	0.2~1.0 kg	50	50~90	在含氯化物的环境 如果没有加入铬或钼, 消耗率将高一些
碳质填料	0.7~1.1	5	1~2 kg	50	50	必须与其他阳极材 料配合使用
磁性氧化铁	5.8	100	<5 g	50	60	
铅合金	11.3	300	25 g	25	80	
钛、铌或钽上镀铂	21.5	1 000	10 mg <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup> 40 <sup>b</sup>	90	不能经受电流逆转 有氧条件下工作电流 密度不能超过 200 A/ m <sup>2</sup> 。镀铂阳极和铂、 铌阳极的消耗率随着 氯化物含量的下降而 增大
<sup>a</sup> 钛上镀铂。 <sup>b</sup> 铌上镀铂或钽上镀铂。						

### 6.2.3 电源。

阴极保护常用的电源通常来自交流市电的变压整流器。在没有主电网的地方,可以使用其他类型的发电装置,如柴油发电机、太阳能电池、风力发电机、热电发生器或涡轮发电机。

### 6.2.4 变压-整流装置。

变压-整流装置应为油冷或风冷式,连续可调,适用于将要运行的环境。

整流器应桥式连接,以进行全波整流,在整个电压范围内连续加载到最大电流,并能够抵抗一定的电涌。

对于标准的恒电位装置,可通过转换变压器上的抽头,或在主变压器的二次端附加一个自动变压装置,或使用一种电子装置,实现负载的调整。提供的调整范围应在负载直流电压的 5%~100% 内变化。

### 6.2.5 控制设备。

要提供一个电压表以显示直流电源输出的电压,如果采用多支阳极,或者多个阴极由同一台整流器供电,则还要提供测量总输出电流和每个阳极或阴极回路电流的设备。

对于无覆盖层的构筑物,参比电极应放在远离阳极的位置。对于带覆盖层或漆膜的金属表面,电位应居中。一般情况下,使用临时安装的设备进行调试,并且确定使用某一参比电极测得的相应的金属/电解质电位,这一位置的参比电极就被用做控制电极。



## 7 阴极保护系统的运行和维护规定

### 7.1 一般规定

7.1.1 为了确定按照可适用的准则建立起的保护和阴极保护系统的每个部分都正常地运行,必须进行电参数测量和检查。

7.1.2 随着时间的推移,影响保护的条件易发生变化。为了维持保护要求,阴极保护系统应相应地变化。

7.1.3 为了检测阴极保护系统的变化,有必要定期进行测量和检查。

7.1.4 在选择用于确定阴极保护适当性的电测量位置、数量和类型时应谨慎。

### 7.2 阴极保护检测

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3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。

7.2.3.1 所有外加电流电源每两个月应检查一次。运行正常的判据是:电流输出、正常的功耗、表示正常运行的信号或被保护体上令人满意的阴极保护水平。

7.2.3.2 所有外加电流保护设施应每年检查一次,间隔长一些或短一些也可能是合适的。检查内容应包括电气故障、安全接地的连接点、仪表的精度、效率及回路电阻。

7.2.3.3 反向电流开关、二极管、干扰跨接和其他保护装置等,其正常的功能检查应每两个月一次。

7.2.3.4 应定期检查并评价绝缘接头、电连续性跨接及套管绝缘的有效性,可通过电位测量完成。

7.2.4 在设备未被涂敷的地方,应检查腐蚀的迹象,如果做过外腐蚀防护,应检查外覆盖层的状况。

7.2.5 用于各种电参数的测试设备型号应当合适,仪器和相关设备应保持良好的运行状况并检查其精度。

### 7.3 补救措施

在定期测试和检查表明保护不充分的位置,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) 消除意外的金属接触。
- 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 有关确定外部腐蚀控制,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 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 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 有关阴极保护系统的安装,应记录下列项目。



#### 7.4.4.1 阴极保护设施的安装。

强制电流系统:设备的位置和投产日期;阳极的数量、类型、尺寸、深度、填料及间距;整流器或其他电源的规格;电缆规格和绝缘类型。

牺牲阳极系统:安装位置和投产日期;阳极的数量、类型、尺寸、填料及间距;电缆规格和绝缘类型。

#### 7.4.4.2 干扰排流设施的安装。

干扰跨接设施的细节:有关公司的位置和名称;电阻值或其他相关资料;排出电流的大小和极性。

反向电流开关的细节:有关公司的位置和名称;开关或等效装置的类型;说明有效运行调节的数据。

#### 7.4.4.3 其他补救措施的细节。

#### 7.4.5 应保留调查、检查和测试的记录,以证明已满足了干扰控制和阴极保护适用的准则。

#### 7.4.6 有关阴极保护系统维护,应记录下列项目。

##### 7.4.6.1 阴极保护系统的维护:整流器或其他直流电源的维修;阳极、接头、导线或电缆的维修或更换。

##### 7.4.6.2 干扰跨接和反向电流开关的维护:干扰跨接的维修;反向电流开关或等效装置的维修。

##### 7.4.6.3 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。

#### 7.4.7 足以证明能评价阴极保护措施必要性和有效性的记录,应同设施持续使用保留一样长的时间,其他有关阴极保护系统记录,应保留至满足各个公司所需要的时间。

---