



中国腐蚀与防护学会团体标准

T/CSCP 0070-2026

航油供油系统飞行区埋地金属管道区域 阴极保护设计导则

Guidelines for cathodic protection design of buried metal
piping in airfield areas of aviation fuel supply systems

2026-4-20 发布

2026-06-20 实施

中国腐蚀与防护学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 规定与准则	2
4.1 基本规定	2
4.2 阴极保护准则	3
5 设计	4
5.1 一般规定	4
5.2 资料收集与现场测试	5
5.3 保护电流的确定	6
5.4 阴极保护方式选择	7
5.5 阳极地床设计	9
5.6 杂散电流防护	13
5.7 区域阴极设备及附件要求	16
6 施工及验收	17
6.1 一般规定	17
6.2 电源设备	17
6.3 辅助阳极	17
6.4 牺牲阳极	17
6.5 接线箱	18
6.6 调试	18
6.7 工程验收	18
7 运行管理	19
附录 A	20
附录 B	21
附录 C	22

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

本文件由中国腐蚀与防护学会提出。

本文件由中国腐蚀与防护学会归口。

本文件起草单位：北京科技大学，北京中航油工程建设有限公司，北京碧海云智新材料技术有限公司。

本文件主要起草人：杜翠薇，沈青，杜艳霞，李旭光，丁宝峰，李晓刚，许迎，牛凤科，张金波，刘晓蕾，郑磊，张炜，吕家兴，姜德文，王国强，王宇君，连明浩，李腾飞。

本文件为首次发布。

航油供油系统飞行区埋地金属管道区域阴极保护设计导则

1 范围

本文件规定了航油供油系统飞行区埋地金属管道（以下简称“管道”）区域阴极保护设计、施工、验收和运行管理的技术要求。

本文件适用于新建、改建和扩建的航油供油系统飞行区埋地金属管道的区域阴极保护设计、施工、验收及运行管理。

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 21448《埋地钢质管道阴极保护技术规范》

GB/T 35508《场站内区域性阴极保护》

GB 50991《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》

CJJ95《城镇埋地钢制管道腐蚀控制技术规程》

SY/T 0087.4《钢质管道及储罐腐蚀评价标准 第4部分：埋地钢质管道直流干扰腐蚀评价》

SY/T 0087.6《钢质管道及储罐腐蚀评价标准 第6部分：埋地钢质管道交流干扰腐蚀评价》

QB/3C 01《埋地钢质管道腐蚀控制参数测量技术规程》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 飞行区埋地金属管道区域阴极保护 *cathodic protection in the area of buried metal pipes in the airfield*

对飞行区内的所有需要被保护对象作为一个整体实施的阴极保护，保护对象包括供油主管、加油次环管、加油支管、加油主管、加油短管、装油支管及加油栓井、低点放水井、高点放气井和（电动）阀门井等。

3.2 绝缘装置 *isolating/insulating devices*

用于隔离金属间电连续专用的配件、加工件等设施，包括绝缘接头、绝缘法兰、绝缘短管、绝缘支撑块和绝缘垫片等。

3.3 强制电流阴极保护 *impressed current cathodic protection*

通过外部电源对埋地金属构筑物提供电子以实现阴极保护的一种电化学保护方法，也称为外加电流阴极保护。

3.4 牺牲阳极阴极保护 sacrificial protection with sacrificial anode

通过与作为牺牲阳极的金属组元偶接而对埋地金属构筑物提供电子以实现阴极保护的一种电化学保护方法。

3.5 辅助阳极 impressed current anode

在强制电流阴极保护系统中，与外部电源正极相连并在阴极保护电回路中起导电作用构成完整电流回路的电极。

3.6 地床 ground bed

埋地的牺牲阳极或强制电流辅助阳极系统。

3.7 IR 降 IR-drop

根据欧姆定律，由于电流的流动在参比电极与金属构筑物之间电解质内以及管体中产生的电压降。

3.8 极化电位 polarized potential

消除由阴极保护电流或其他电流所引起的 IR 降后金属构筑物对电解质的电位。

3.9 自腐蚀电位 corrosion potential

在开路条件下，处于电解质中的腐蚀金属表面相对于参比电极的电位，即没有净电流从金属表面流入或流出时的电极电位，也称为静止电位、开路电位或自然腐蚀电位。

3.10 馈电试验 Feed-in test

利用临时阳极地床为被保护对象提供保护电流，通过现场试验确定阴极保护电流需求量的方法。

3.11 测试桩 test station

布设在埋地管道沿线，用于测试或监测管道阴极保护参数的设施。

3.12 通电电位 on potential

阴极保护系统持续运行时测量的金属构筑物对电解质电位。

3.13 断电电位 off potential

在断电瞬间测得的金属构筑物对电解质电位。

4 规定与准则

4.1 基本规定

4.1.1 新建飞行区埋地金属管道区域阴极保护工程与飞行区主体工程应同时勘察、设计、施工和投运。在强腐蚀性土壤（土壤腐蚀性评估应基于土壤环境理化性质的调研）环境中，管道及设备在埋入地下时应加临时阴极保护措施，直至正常阴极保护投运；在非强腐蚀性土壤环境中，当阴极保护系统在管道埋地超过六个月不能投入运行时，宜采取临时性阴极保护措施；对于已投运的未实施区域阴极保护的飞行区，宜增设区域性阴极保护系统，应定期对阴极保护效果进行检测评价。

4.1.2 飞行区埋地金属管道区域阴极保护的电流需求量计算应考虑拟保护埋地管道及飞行区内接地系统、电动阀井等与被保护管道电连接的金属构筑物对保护电流需求量的影响。飞行区埋地金属管道与库站内工业金属管道应设置绝缘装置，当未设置绝缘装置或绝缘失效时，应优先增加或更换绝缘装置，如条件限制无法增加或者更换，在设计阴极保护系统时应考虑额外的电流消耗问题以及电流分配的均匀性问题。

4.1.3 飞行区埋地金属管道阴极保护方式选取时应考虑工程规模、土壤环境、管道防腐层质量等因素，宜优先选择外加电流阴极保护方式，辅助阳极地床可采用分布式阳极、柔性阳极、深井阳极或者多种阳极形式的组合；当所需电流小于 5A 且土壤电阻率低于 $100\ \Omega \cdot m$ 时，可选择牺牲阳极阴极保护方式。

4.1.4 在进行飞行区埋地金属管道外加电流阴极保护设计时，应尽量避免对外部金属结构物的干扰，直流干扰风险评估应按现行行业标准《钢质管道及储罐腐蚀评价标准第 4 部分：埋地钢质管道直流干扰腐蚀评价》SY/T0087.4 的规定进行。

4.1.5 飞行区内的接地宜采用锌棒、镀锌扁钢、锌包钢等接地体，不宜采用比钢电位序更正的材料如铜、石墨、不锈钢、低电阻模块等，且接地体应与飞行区埋地金属管道进行良好绝缘。

4.1.6 飞行区改、扩建后，宜对已有的区域阴极保护系统进行测试，包括管道阴极保护效果，外加电流阴极保护系统、牺牲阳极阴极保护系统的运行状况及绝缘接头绝缘性能，保护效果无法满足要求时应进行阴极保护系统的调整和改造。

4.1.7 飞行区埋地金属管道区域阴极保护设计应充分考虑飞行区内电动阀井、建筑物接地体、轨道交通等设施对阴极保护参数的影响。

4.2 阴极保护准则

4.2.1 飞行区埋地钢质管道阴极保护电位（管/地极化电位） E_p 应满足： $-1200\text{mV (CSE)} \leq E_p \leq -850\text{mV (CSE)}$ 。

4.2.2 在以下条件下管道阴极保护电位应进行调整，具体调整原则如下：

4.2.2.1 在硫酸盐还原菌（SRB）存在的土壤环境中，如淤泥、沼泽等缺氧或无氧环境，埋地钢质管道极化电位应满足 $-1200\text{mV (CSE)} \leq E_p \leq -950\text{mV (CSE)}$ ；

4.2.2.2 在土壤电阻率 $100\ \Omega \cdot m \sim 1000\ \Omega \cdot m$ 环境下，飞行区埋地钢质管道阴极保护极化电位 E_p 宜满足 $-1200\text{mV (CSE)} \leq E_p \leq -750\text{mV (CSE)}$ ；在土壤电阻率大于 $1000\ \Omega \cdot m$ 环境下，飞行区埋地钢质管道阴极保护极化电位 E_p 宜满足 $-1200\text{mV (CSE)} \leq E_p \leq -650\text{mV (CSE)}$ ；

4.2.2.3 在温度高于 60°C ，飞行区埋地钢质管道阴极保护电位（管/地极化电位） E_p 应满足 $-1200\text{mV (CSE)} \leq E_p \leq -950\text{mV (CSE)}$ ；

4.2.2.4 在存在交流干扰情况下，若交流电流密度 $> 30\text{A/m}^2$ ，飞行区埋地钢质管道阴极保护极化电位 E_p 应满足 $-1150\text{mV (CSE)} \leq E_p \leq -900\text{mV (CSE)}$ ；

4.2.2.5 在存在稳态直流干扰情况下，飞行区埋地钢质管道极化电位应满足 5.1 的要求；在存在动态直流干扰情况下，管道极化电位正向偏移量及其时间比例应满足表 4-1 “低”腐蚀风险等级的要求。

表 4-1 动态直流干扰下的阴极保护准则

腐蚀风险等级	低	中	高
管道极化电位正于最小保护电位准则的时间比例	①电位正于最小保护电位准则的时间比例不超过测试时间的 10%;	处于“低”腐蚀风险与“高”腐蚀风险间的为“中”腐蚀风险等级。	①电位正于最小保护电位准则的时间比例超过测试时间的 20%;
	②且电位正于最小保护电位准则+50mV 的时间比例不超过测量时间的 5%;		②或电位正于最小保护电位准则+50mV 的时间比例超过测量时间的 15%;
	③且电位正于最小保护电位准则+100mV 的时间比例不应超过测量时间的 1%。		③或电位正于最小保护电位准则 +100mV 的时间比例超过测量时间的 10%。

注：表中的最小保护电位应根据 4.2.1 与 4.2.2 进行调整。

4.2.3 在上述准则难以达到时可采用阴极电位相对于自然腐蚀电位负向偏移至少 100mV 的准则，在高温条件下、SRB 的土壤中、存在杂散电流干扰及异种金属偶合的金属构筑物中不能采用 100mV 极化准则。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 飞行区拟保护的埋地钢质管道应与其它非保护的金属结构物具有良好的电绝缘性，当无法做到电绝缘时，应考虑到非保护的金属结构物对飞行区埋地钢质管道的阴极保护参数及阳极地床形式的影响。

5.1.2 飞行区埋地钢质管道阴极保护电流需求量的设计应留有裕量，宜不小于计算保护电流的 30%。

5.1.3 飞行区埋地钢质管道阴极保护设计选用的阳极材料及材料性能，应满足现行国家标准《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T21448 的规定。

5.1.4 阴极保护系统设施应设置于爆炸危险区域外，若置于爆炸危险区域内，应考虑防爆设计。

5.1.5 飞行区埋地金属管道区域阴极保护设计流程宜包括：资料收集、现场测试、阴极保护电流需求量的确定、阴极保护方式选取、已建飞行区馈电试验、新建飞行区的区域阴极保护方案计算及区域阴极保护设计等，设计流程如图 5-1 所示。

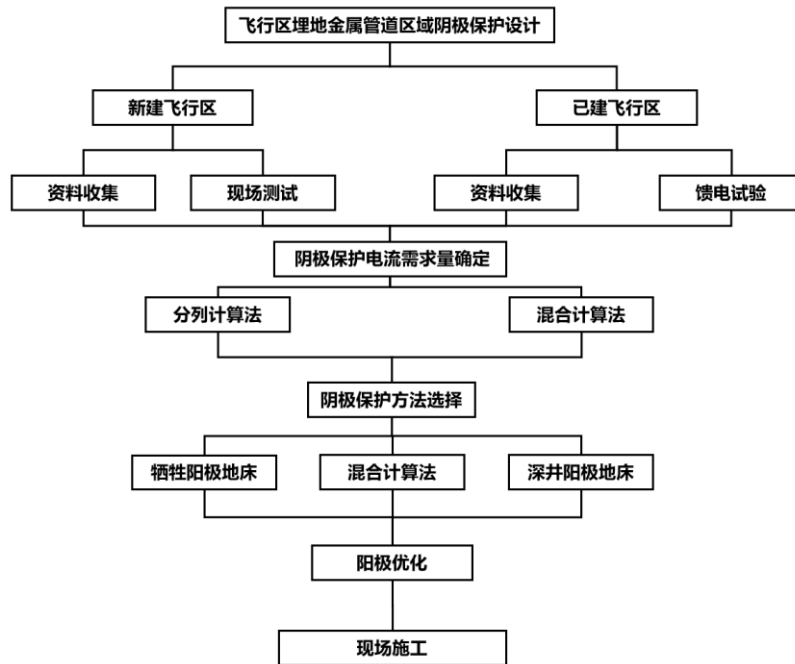


图 5-1 飞行区埋地钢质管道阴极保护设计流程图

5.2 资料收集与现场测试

5.2.1 设计资料收集应包括以下内容：

- (1) 机坪管网平面布置图，如果机坪管网平面布置图中有防爆区域，应明确标注；
- (2) 被保护埋地管道的参数（包括长度、直径、壁厚、材质与等级）、防腐层种类及等级；
- (3) 如果考虑采用外加电流技术，则应在机坪管网平面布置图上标注出可供选择的供电电源的位置；
- (4) 阴极保护系统的设计寿命；
- (5) 与管道电性连接的接地系统的分布图、材质、形状、几何尺寸、数量和位置；
- (6) 场地的地形地貌、气候条件、冻土层深度、地下水位的数据；
- (7) 如果考虑采用深井阳极地床技术，则需要场地不同深度土壤电阻率的分布数据或地下岩层的分布资料；
- (8) 飞行区内加油栓井及电动阀井等设施分布及数量；
- (9) 管道套管的位置和结构；
- (10) 被保护管道之间的电连续性状况、被保护管道与外部金属构筑物的电绝缘状况（绝缘装置的类型和位置）；
- (11) 场地附近和场地内的高压输电线路、埋地高压电缆的位置、走向及额定电压，场地内变电站的位置；
- (12) 场地内交、直流电气化牵引系统的特性参数和其他干扰电流源的特性参数；
- (13) 飞行区已有阴极保护系统的设计文件及阴极保护系统的运行情况（测试桩的阴极保护电位、恒电位仪的运行参数）；

5.2.2 设计前应对飞行区内以下内容进行核实：

- (1) 埋地金属管道布局与设计图纸的一致性；
- (2) 电源的可利用性；

- (3) 飞行区内可放置阳极地床的位置;
- (4) 飞行区内阀井位置;
- (5) 飞行区内可放置测试桩的位置;
- (6) 绝缘接头位置。

5.2.3 现场测试应符合下列规定:

(1) 设计前应测试飞行区埋地金属管道的绝缘接头性能、自腐蚀电位、土壤电阻率等测试, 具体测试方法应符合 GB/T21246 的要求;

(2) 如存在交直流干扰源, 应对飞行区埋地钢质管道的交、直流杂散电流干扰情况进行测试, 具体测试方法应符合 SY/T0087.4 及 SY/T0087.6 的要求。

5.3 保护电流的确定

5.3.1 当飞行区埋地钢质管道与其它埋地金属结构物良好绝缘时, 应根据管道防腐层的类型选取保护电流密度, 对于三层复合结构 (3PE), 熔结环氧粉末 (FBE), 及沥青类防腐层可选择的电流密度分别为 $0.01\sim 0.04\text{mA}/\text{m}^2$ 、 $0.03\sim 0.05\text{mA}/\text{m}^2$ 、 $0.05\sim 0.1\text{mA}/\text{m}^2$;

5.3.2 当飞行区内埋地钢质管道与其它埋地金属结构物存在电连接时, 根据已有阴极保护参数可采用分列计算法、混合计算法及现场馈电实验确定保护电流密度。

5.3.3 分列计算法宜按照以下要求开展计算:

5.3.3.1 根据分列计算法, 飞行区埋地钢质管道阴极保护总电流宜根据公式 (5.1) 开展计算:

$$I = 0.001 \times (i_p S_p + i_g S_g + i_c S_c) \quad (5.1)$$

式中:

I ——飞行区埋地金属管道需要的阴极保护总电流, 单位为 A;

i_p ——被保护管道所需的保护电流密度, 单位为 mA/m^2 ;

S_p ——被保护管道的表面积, 单位为 m^2 ;

i_g ——与被保护管道电连接的接地系统所需的保护电流密度, 单位为 mA/m^2

S_g ——与被保护管道电连接的接地系统的表面积, 单位为 m^2 ;

i_c ——与被保护管道电连接的混凝土中钢筋所需的保护电流密度, 单位为 mA/m^2 ;

S_c ——与被保护管道电连接的混凝土中钢筋的表面积, 单位为 m^2 。

5.3.3.2 被保护管道所需的保护电流密度可以根据 5.3.1 的要求进行选取。

5.3.3.3 镀锌扁钢接地材料的保护电流密度通常取值为 $20\sim 30\text{mA}/\text{m}^2$ 。

5.3.3.4 对于其他金属结构物的保护电流密度需求宜根据相关资料或试验确定。

5.3.4 混合计算法宜按照以下要求开展计算

5.3.4.1 飞行区埋地钢质管道阴极保护总电流可根据公式 (5.2) 计算:

$$I = 0.001 \times i_p S_p \quad (5.2)$$

式中:

I ——飞行区埋地金属管道需要的阴极保护总电流, 单位为 A;

i_p ——被保护金属管道的混合保护电流密度, 单位为 mA/m^2 ;

S_p ——为被保护管道的表面积, 单位为 m^2 。

5.3.4.2 被保护金属的混合阴极保护电流密度宜根据管道工况及阳极类型进行选取, 具体选择原则如表 5-1 所示:

表 5-1 不同类型管道在不同阳极类型下的混合阴极保护电流密度

阳极类型	管道类型	保护电流密度	保护电流密度	保护电流密度
		(mA/m ²) (20-60 Ω·m)	(mA/m ²) (60-100 Ω·m)	(mA/m ²) (100-200 Ω·m)
柔性阳极 (柔性阳极沿线布设阳极电 缆, 每隔 300-500m 设置一 组电缆连接点)	单根管道	3.5	1.7	1.1
	多根并行管道	2.6	1.6	0.8
	电动阀门接地	5.8	5.3	1.8
	建构筑物接地	6.7	4.5	2.1
浅埋分布阳极地床	单根管道	1.9	2	0.6
	多根并行管道	2.7	2.1	1.0
	电动阀门接地	26.5	18.8	8.2
	建构筑物接地	14	9.8	3.9

5.3.5 馈电实验宜按照以下要求进行

5.3.5.1 宜按照附录 B 的要求分区域开展现场馈电试验, 获得现场馈电试验数据后宜采用公式 (5.3) 进行飞行区埋地钢质管道保护电流的计算

$$I_{req} = \frac{\Delta E_{req} \times I_{test}}{\Delta E_{test}} \quad (5.3)$$

式中:

I_{req} ——阴极保护电流需求量, 单位为 A;

ΔE_{req} ——达到飞行区埋地金属管道阴极保护准则需要的阴极极化量, 为自腐蚀电位与阴极保护极化电位准则之差, 单位为 V 或 mV;

ΔE_{test} ——馈电试验中得到的阴极极化量, 为自腐蚀电位与馈电电流施加极化电位之差, 单位为 V 或 mV;

I_{test} ——馈电试验施加的电流, 单位为 A。

5.4 阴极保护方式选择

5.4.1 飞行区埋地钢质管道区域阴极保护宜优先采用外加电流阴极保护方式, 当飞行区埋地金属管道与接地绝缘良好时, 可选用深井阳极辅助地床形式; 当飞行区埋地金属管道与接地系统存在电连接时, 宜选用浅埋分布式或柔性阳极辅助地床形式; 当飞行区埋地金属管道区域阴极保护电流需求量低于 5A, 现场无电源条件或用于局部补充保护时, 可采用牺牲阳极阴极保护方式并设置可更换牺牲阳极的机坪地井, 各类型阳极适用范围如表 5-2 所示。

5-2 各类型阳极地床适用范围

阳极类型	牺牲阳极地床	浅埋阳极地床	柔性阳极地床	深井阳极地床
适用范围	见 5.4.2	埋地金属管道与接地系 统存在电连接	埋地金属管道与 接地系统存在电 连接	飞行区埋地金属 管道与接地绝缘 良好

5.4.2 机坪管网阴极保护不推荐单独应用牺牲阳极方式, 除非同时满足以下条件:

- (1) 总保护电流小于 5A;
- (2) 场地土壤电阻率小于 100Ω.m, 土壤环境湿润、地下水位较高;
- (3) 牺牲阳极材料的总质量应能够支持阳极在系统设计寿命内提供所需电流。

5.4.3 如果飞行区埋地金属管道阴极保护采用了外加电流法, 但一些孤立部位处于欠保护状态的埋地管道, 在土壤环境满足要求的条件下, 可采用牺牲阳极进行补充保护。这些孤立部

位包括但不限于：

- (1) 飞行区埋地金属管道发生屏蔽的区域；
- (2) 距离辅助阳极地床距离较远的埋地管道；
- (3) 没有防腐层的阀门附近；
- (4) 套管或防腐层受到严重破坏的部位。

5.4.4 飞行区埋地钢质管道采用深井阳极地床设计前要有场地的地质勘探报告证明深井阳极地床设计的可行性。

5.4.5 飞行区埋地钢质管道外加电流阴极保护三种不同类型的辅助阳极形式在单根管道、多根并行管道、电动阀门接地、建构筑物接地四种管道工况下对应的保护电流、保护长度，保护半径等参数设计可参考表 5-3 至表 5-5：

表 5-3 不同类型管道在不同阳极类型下的保护范围 (20-60 $\Omega \cdot m$)

阳极类型	管道类型	输出电流/A	保护长度/m	保护半径/m
柔性阳极 (柔性阳极沿线布设阳极 电缆, 每 300~500m 设置 一组电缆连接点)	单根管道	8	1200	600
	多根并行管道	6.3	1300	1300/n (并行管道 数量)
	电动阀门接地	6.5	600	300
	建构筑物接地	8.8	700	350
浅埋阳极	单根管道	3	850	425
	多根并行管道	5.6	1100	1100/n (并行管道 数量)
	电动阀门接地	4.5	90	45
	建构筑物接地	18	700	350
深井阳极 (井深 100m, 活 性段 60m)	单根管道	150	2300	650
	多根并行管道	45	2000	300
	电动阀门接地	25	350	80
	建构筑物接地	8.5	2200	350

表 5-4 不同类型管道在不同阳极类型下的保护范围 (60-100 $\Omega \cdot m$)

阳极类型	管道类型	输出电流/A	保护长度/m	保护半径/m
柔性阳极 (柔性阳极沿线布设阳 极电缆, 每 300~500m 设置一组电缆连接点)	单根管道	5.2	1600	800
	多根并行管道	4	1300	1300/n
	电动阀门接地	4.5	600	300
	建构筑物接地	6	700	350
浅埋阳极	单根管道	3.2	850	425
	多根并行管道	4	1000	1000/n
	电动阀门接地	3.2	90	45
	建构筑物接地	12	650	325
深井阳极 (井深 100m, 活性段 60m)	单根管道	25	2500	1250
	多根并行管道	13	2100	700
	电动阀门接地	10.5	680	340
	建构筑物接地	25	2200	1100

表 5-5 不同类型管道在不同阳极类型下的保护范围 (100-200 $\Omega \cdot m$)

阳极类型	管道类型	输出电流/A	保护长度/m	保护半径/m
柔性阳极 (柔性阳极沿线布设阳极 电缆, 每 300~500m 设置 一组电缆连接点)	单根管道	2.5	1200	600
	多根并行管道	2	1400	1400/n
	电动阀门接地	2	600	300
	建构筑物接地	2.8	700	350

浅埋阳极	单根管道	0.9	750	375
	多根并行管道	2	1100	1100/n
	电动阀门接地	1.4	90	45
	建构物接地	5.5	750	375
深井阳极（井深 100m，活性段 60m）	单根管道	42	2200	600
	多根并行管道	13	2200	400
	电动阀门接地	7.5	350	80
	建构物接地	25	2100	350

5.5 阳极地床设计

5.5.1 牺牲阳极地床设计计算：

5.5.1.1 飞行区埋地钢质管道采用牺牲阳极阴极保护方式时，宜根据表 5-4 的要求选择镁合金或锌合金阳极材料：

表 5-4 土壤环境中镁合金及锌合金的选择原则

阳极种类	土壤电阻率 $\Omega \cdot m$
锌合金牺牲阳极	<15
镁合金牺牲阳极	15~100

5.5.1.2 牺牲阳极规格选择：根据 5.5.1.1 所示土壤电阻率范围选择镁合金或锌合金牺牲阳极，对于适用于镁合金牺牲阳极的场合，根据土壤电阻率初步确定牺牲阳极的规格，选择依据如表 5-5 所示：

表 5-5 在不同土壤电阻率下可选用的镁合金牺牲阳极规格

	土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)	腐蚀性简单判断	可选用的镁阳极规格
1	100~50	土壤腐蚀性弱	8kg 或 11kg
2	50~20	土壤腐蚀性中等	11kg 或 14kg
3	20~10	土壤腐蚀性强	14kg 或 22kg

5.5.1.3 牺牲阳极应沿被保护飞行区埋地钢质管道均匀分布，牺牲阳极的类型和规格应能连续提供最大电流需要量；阳极材料的总质量应能够满足阳极提供所需电流的设计寿命。

5.5.1.4 计算阳极的接地电阻

单支立式牺牲阳极的接地电阻可根据公式（5.4）计算：

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi l_g} \left(\ln \frac{2l_g}{D_g} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_g + l_g}{4t_g - l_g} + \frac{\rho_g}{\rho} \ln \frac{D_g}{d_g} \right) (l_g \gg d_g, t_g \gg l_g/4) \quad (5.4)$$

式中：

R_v ——立式牺牲阳极接地电阻，单位为欧(Ω)；

ρ ——土壤电阻率，单位为欧米($\Omega \cdot m$)；

l_g ——裸牺牲阳极长度，单位为米(m)；

D_g ——预包装牺牲阳极直径，单位为米(m)；

t_g ——牺牲阳极中心至地面的距离，单位为米(m)；

ρ_g ——填包料电阻率，单位为欧米($\Omega \cdot m$)；

d_g ——裸牺牲阳极等效直径，单位为米(m)[$d_g = c/\pi$, c 为周长，单位为米(m)]。

单支水平式牺牲阳极的接地电阻可根据公式（5.5）计算：

$$R_h = \frac{\rho}{2\pi l_g} \left\{ \ln \frac{2l_g}{D_g} \left[1 + \frac{l_g/4t_g}{\ln^2 l_g/D_g} \right] + \frac{\rho_g}{\rho} \ln \frac{D_g}{d_g} \right\} (l_g \gg d_g, t_g \gg l_g/4) \quad (5.5)$$

式中:

R_h ——水平式牺牲阳极接地电阻, 单位为欧(Ω);

ρ ——土壤电阻率, 单位为欧米($\Omega \cdot m$);

l_g ——裸牺牲阳极长度, 单位为米(m);

D_g ——预包装牺牲阳极直径, 单位为米(m);

t_g ——牺牲阳极中心至地面的距离, 单位为米(m);

ρ_g ——填包料电阻率, 单位为欧米($\Omega \cdot m$);

d_g ——裸牺牲阳极等效直径, 单位为米(m)[$d_g=c/\pi$, c 为周长, 单位为米(m)].

多支牺牲阳极的接地电阻可根据公式 (5.6) 计算:

$$R_g = f \frac{R_o}{n} \quad (5.6)$$

式中:

R_g ——多支组合牺牲阳极接地电阻, 单位为欧(Ω);

f ——牺牲阳极电阻修正系数;

R_o ——单支牺牲阳极接地电阻, 单位为欧(Ω);

n ——阳极支数。

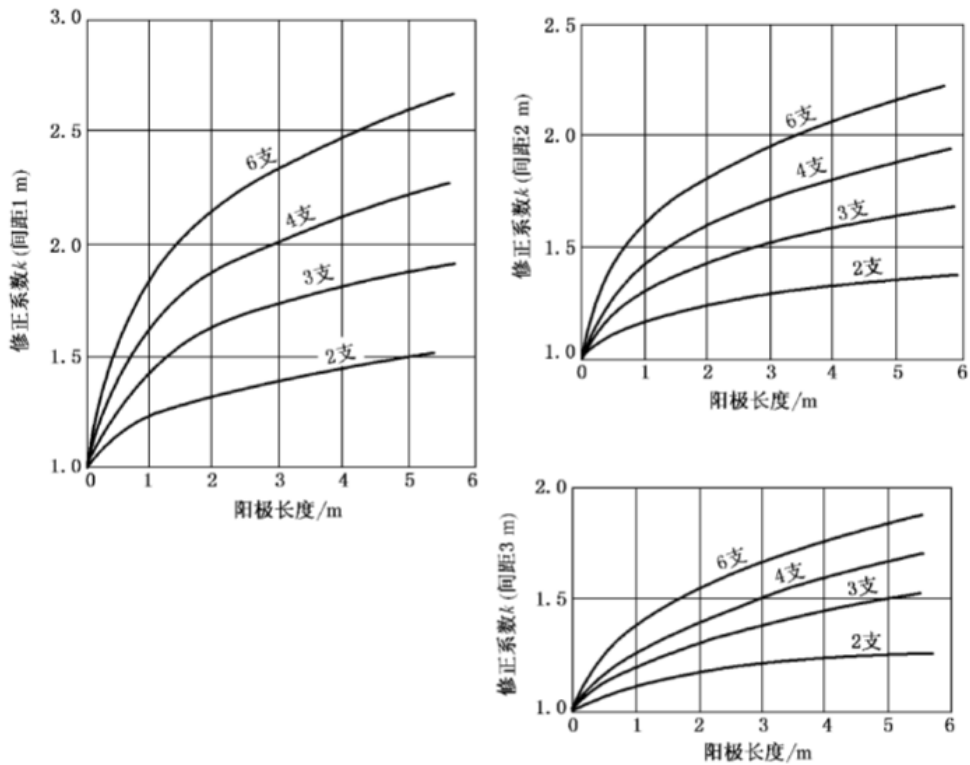


图 5-2 阳极接地电阻修正系数 k

5.5.1.5 管道/大地的过渡电阻可根据公式 (5.7) 计算:

$$R_{pipe} = \frac{E_{acorr} - E_{ap}}{I} \quad (5.7)$$

式中:

R_{pipe} ——管道的接地电阻, 单位为欧(Ω);

E_{acorr} ——埋地管道的自然电位, 可以现场测量, 也可以按照 $-0.55V_{CSE}$ 估算。

E_{ap} ——管道的极化电位, 可取值 $-1.0V_{CSE}$ 。

I ——总保护电流。

5.5.1.6 计算回路总电阻:

回路总电阻=阳极接地电阻+管道接地电阻+导线电阻。

导线电阻根据牺牲阳极电缆的规格根据电阻定律计算，铜的电阻率取值 $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 。

5.5.1.7 牺牲阳极的输出电流可根据公式（5.8）计算：

$$I_g = \frac{e_c - e_a}{R} = \frac{(E_c - \Delta E_c) - (E_a + \Delta E_a)}{R_g + R_c + R_l} = \frac{\Delta E}{R} \quad (5.8)$$

式中：

I_g ——牺牲阳极输出电流，单位为安(A)；

e_c ——阴极极化电位，单位为伏(V)；

e_a ——阳极极化电位，单位为伏(V)；

R ——回路总电阻，单位为欧(Ω)；

E_c ——阴极开路电位，单位为伏(V)；

ΔE_c ——阴极极化电位，单位为伏(V)；

E_a ——阳极开路电位，单位为伏(V)；

ΔE_a ——阳极极化电位，单位为伏(V)；

R_g ——多支组合牺牲阳极接地电阻，单位为欧(Ω)；

R_c ——阴极过渡电阻，单位为欧(Ω)；

R_l ——导线电阻，单位为欧(Ω)；

ΔE ——牺牲阳极有效电位差，单位为伏(V)。

5.5.1.8 牺牲阳极的数量可根据公式（5.9）计算：

$$n = \frac{B \times I}{I_{g0}} \quad (5.9)$$

式中：

n ——阳极支数；

B ——备用系数，取 2~3；

I ——保护电流，单位为安(A)；

I_{g0} ——单支牺牲阳极输出电流，单位为安(A)

5.5.1.9 牺牲阳极的工作寿命可根据公式（5.10）计算：

$$T_g = 0.85 \frac{W_g}{\omega_g I} \quad (5.10)$$

式中：

T_g ——牺牲阳极工作寿命，单位为年(a)；

W_g ——牺牲阳极组净质量，单位为千克(kg)；

ω_g ——牺牲阳极消耗率，单位为千克每安年[kg/(A·a)]；

I ——保护电流，单位为安(A)。

5.5.2 外加电流的设计计算

5.5.2.1 外加电流阴极保护辅助阳极设计和选址应满足以下条件：

- (1) 能够使被保护管道获得足够保护电流；
- (2) 避免阳极与被保护管道之间产生电屏蔽；

5.5.2.2 外加电流阴极保护辅助阳极设计应根据具体工程情况结合阳极地床的性能特点确定，应综合考虑下列因素：

- (1) 被保护管道的规模与分布及电流需求量；
- (2) 被保护区域地质、土壤电阻率随深度的变化情况；
- (3) 进、出站管道位置与阳极地床的相对位置关系；
- (4) 达到预期效果的前提下的经济性、施工与维护的方便性。

5.5.2.3 辅助阳极材料周围应有焦碳回填料，焦碳回填料厚度一般不小于 100mm，焦碳粒

径不大于 15mm，含碳量不小于 85%。

5.5.2.4 飞行区埋地钢质管道的阴极保护电流宜根据 5.3 进行计算；

5.5.2.5 计算辅助阳极的接地电阻：

单支立式辅助阳极的接地电阻可根据公式（5.11）计算：

$$R_{V1} = \frac{\rho}{2\pi L_a} \ln \left(\frac{2L_a}{D_a} \sqrt{\frac{4t+3L_a}{4t+L_a}} \right) (t \gg D_a)(D_a \gg L_a) \quad (5.11)$$

式中：

R_{V1} ——单支立式辅助阳极接地电阻，单位为欧(Ω)；

ρ ——土壤电阻率，单位为欧米($\Omega \cdot m$)；

L_a ——辅助阳极长度(含填料)，单位为米(m)；

D_a ——辅助阳极直径(含填料)，单位为米(m)；

t ——辅助阳极埋深(阳极体中间位置距地表面)，单位为米(m)。

单支水平式辅助阳极的接地电阻可根据公式（5.12）计算：

$$R_h = \frac{\rho}{2\pi L_a} \ln \left(\frac{L_a^2}{tD_a} \right) (t \ll L_a)(D_a \ll L_a) \quad (5.12)$$

式中：

R_h ——单支水平式辅助阳极接地电阻，单位为欧(Ω)。

深井式辅助阳极的接地电阻可根据公式（5.13）计算：

$$R_{V2} = \frac{\rho}{2\pi L_a} \ln \left(\frac{2L_a}{D_a} \right) (t \gg L_a) \quad (5.13)$$

式中：

R_{V2} ——深埋式辅助阳极接地电阻，单位为欧(Ω)；

辅助阳极组的接地电阻可根据公式（5.14）计算：

$$R_Z = F \frac{R_a}{n} \quad (5.14)$$

$$F \approx 1 + \frac{\rho}{nsR_a} \ln(0.66n) \quad (5.15)$$

式中：

R_Z ——辅助阳极组接地电阻，单位为欧(Ω)；

F ——辅助阳极电阻修正系数；

R_a ——单支辅助阳极接地电阻，单位为欧(Ω)；

n ——阳极支数；

ρ ——土壤电阻率，单位为欧米($\Omega \cdot m$)；

s ——辅助阳极间距，单位为米(m)。

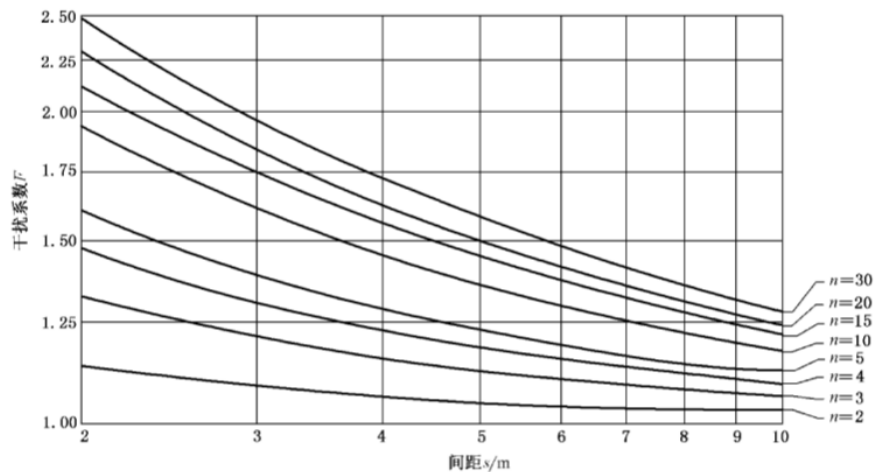


图 5-3 由 n 支阳极组成的阳极地床的干扰系数 F

5.5.2.6 辅助阳极的质量可根据公式(5.16)计算:

$$W_a = \frac{T_a \times \omega_a \times I}{K} \quad (5.16)$$

式中:

W_a ——辅助阳极总质量,单位为千克(kg);

T_a ——辅助阳极设计寿命,单位为年(a);

ω_a ——辅助阳极的消耗率,单位为千克每安年[kg/(A·a)];

I ——保护电流,单位为安(A);

K ——辅助阳极利用系数,取0.7~0.85。

5.5.2.7 电源设备的功率可根据公式(5.17)~(5.21)计算:

$$P = \frac{IV}{\eta} \quad (5.17)$$

$$V = I(R_z + R_l + R_c) + V_r \quad (5.18)$$

$$R_c = \frac{\sqrt{R_t \times r_t}}{2th(\alpha L)} \quad (5.19)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{r_t}{R_t}} \quad (5.20)$$

$$I = 2I_0 \quad (5.21)$$

式中:

P ——电源功率,单位为瓦(W);

I ——保护电流,单位为安(A);

V ——电源设备的输出电压,单位为伏(V);

η ——电源设备效率,一般取0.7;

R_z ——辅助阳极组接地电阻,单位为欧(Ω);

R_l ——导线电阻,单位为欧(Ω);

R_c ——阴极过渡电阻,单位为欧(Ω);

V_r ——辅助阳极地床的反电动势,单位为伏(V),当采用焦炭填充时,取 $V_r=2V$;

R_t ——防腐层过渡电阻率,单位为欧米($\Omega \cdot m$);

r_t ——管道线电阻,单位为欧每米(Ω/m);

α ——管道衰减因数,单位为每米(m);

L ——被保护管道长度,单位为米(m);

I_0 ——单侧保护电流,单位为安(A)。

5.6 杂散电流防护

5.6.1 直流杂散电流防护设计

5.6.1.1 飞行区埋地金属管道直流杂散电流防护措施包括排流保护、阴极保护、防腐层修复、分段绝缘等。

5.6.1.2 排流保护方式包括强制接地排流、极性接地排流和直接接地排流等,不同排流方式的原理及适用范围如图5-6所示,宜在被干扰埋地钢质管道上选取一点或多点作排流点,设置排流保护设施。

表 5-6 常用的埋地金属管道直流杂散电流排流保护方式

式	强制接地排流	极性接地排流	直接接地排流

	干扰源	干扰源	干扰源
理示意图			
用范围	适用于管道干扰程度高、阳极区不稳定且有供电条件的场合	适用于管道干扰程度较高、阳极区不稳定的场合。	适用于管道干扰程度较高、阳极区稳定的场合

5.6.1.3 排流点的选择宜通过现场排流试验或数值模拟计算并综合下述条件确定：

- 排流点处管地电位存在较大的正向偏移且正向偏移持续时间较长；
- 管道沿线存在多个干扰源时，应进行详细的干扰源调查，排流点宜选择影响最大的干扰源附近；
- 强制接地排流点应考虑供电条件；
- 排流接地体埋设处的土壤电阻率应较低；
- 排流点所在场地应便于管理。

5.6.1.4 排流的电流（排流量）宜通过现场排流试验或数值模拟确定；不具备条件时，可参照现行国家标准《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB50991 中提供的方法确定。

5.6.1.5 排流防护系统不应影响管道防腐防护产生影响。

5.6.1.6 排流区域应设置排流测试装置，测试装置应具备排流效果测试功能，并与排流系统同步实施。

5.6.1.7 管道采用强制接地排流防护时，应符合下列规定：

- 排流地床宜设置在干扰严重区域，宜尽可能靠近干扰源；
- 控制系统宜具备自动调节功能；
- 干扰严重区域宜设实时远程监测报警系统；
- 地床材料宜选用高硅铸铁阳极或混合金属氧化物阳极，材料性能应符合现行国家相关标准的有关规定。

5.6.1.8 管道采用极性接地排流或直接接地排流时，排流地床位置应符合下列规定：

- 应设置在被干扰管道的干扰较为严重的区段，宜根据缓解目标来确定是否采用极性接地排流；
- 应采用电位较负的镁阳极或锌阳极等材料作为接地体，材料性能应符合国家现行相关标准的有关规定；
- 牺牲阳极排流床设计寿命宜不少于 10 年；
- 宜设置在土壤电阻率小的位置。

5.6.1.9 应定期进行防腐层绝缘性能检测，及时发现防腐层是否存在破损。管道防腐层阴极区的防腐层破损应及时修复，对于管道阳极区的防腐层破损应待该管段转变为管道阴极区或干扰消除后进行修复。

5.6.1.10 受干扰管道可通过绝缘接头或绝缘法兰等绝缘装置实现管道分段绝缘，并符合下列规定：

- 对于干扰复杂且采取其他干扰防护措施后无法有效缓解干扰的管段，可通过绝缘装置将其从整条管道中隔离出来，单独采取针对性的防护措施；
- 新建管道临近车辆段或车辆基地和地铁站的管段宜优先考虑采用分段绝缘的防

护措施；

c) 对于分段绝缘的受干扰管道，宜优先考虑增设强制接地排流站，必要时采取其他防护措施；

d) 绝缘装置应安装防电涌保护器；

e) 绝缘装置位置应设置测试装置；

f) 绝缘装置性能应符合现行相关标准的有关规定；

g) 绝缘装置两侧各 10m 内的管段防腐层应无破损点。

应对绝缘装置两端区域进行测试评估，避免形成新的干扰点。

5.6.2 交流杂散电流防护设计

5.6.2.1 管道与110kV以上交流高压输电线路交叉角度宜不小于55°，在不能满足要求时，宜根据工程实际情况进行交流杂散电流干扰评估，评估显示交流杂散电流干扰程度不可接受时应制定针对性防护措施。

5.6.2.2 管道设计阶段可以采取安装绝缘接头、缓解线或接地地床等措施缓解交流腐蚀。

5.6.2.3 采用安装绝缘接头的防护设计时，应符合下列规定：

(1) 应考虑管道遭受直流杂散电流干扰状况；

(2) 可使用数值模拟方法确定绝缘接头的位置；

(3) 宜安装在并行路由密集或高土壤电阻率(比如大于 $500\Omega \cdot \text{m}$)的地区；

(4) 应考虑杂散电流沿管道分布的连续性/不连续性。

5.6.2.4 采用安装缓解线或接地地床的防护设计时，应符合下列要求：

(1) 缓解线或接地地床与管道之间宜通过去耦合装置进行电连接，缓解线或防护地床的数量与位置应通过现场缓解试验与电磁干扰计算分析确定；

(2) 不应采用铜或其它正电性材料作为缓解线或防护地床材料。

5.6.2.5 采用安装接地地床的防护措施时，应符合下列规定：

(1) 宜根据当地土壤电阻率以及当地的施工条件采用水平或垂直安装的接地地床；

(2) 接地地床应具有足够低的对地电阻以实现将管道交流干扰参数降至可接受的程度，

宜低于 10Ω ；

(3) 接地点的设置应综合考虑以下相互位置条件和其他技术条件后，根据详细测试或计算结果分析确定；

(4) 相互位置条件应至少包括以下内容：

1) 被干扰管道首、末端；

2) 管道接近或离开干扰源处；

3) 管道与干扰源距离最小的点；

4) 管道与干扰源距离发生突变的点；

5) 管道穿越干扰源处。

(5) 其他技术条件应至少包括以下内容：

1) 交流电流密度较大的点；

2) 交流干扰电压较高，且持续时间较长的点；

3) 高压输电线导线换位处；

4) 土壤电阻率低，便于接地体设置的场所。

5.6.2.6 采用管道与接地地床连接的防护措施时，应符合下列规定：

(1) 接地地床宜通过去耦合装置连接管道；

(2) 直流去耦合装置不应干扰正常阴极保护系统运行以及阴极保护有效性的监测和管道的接触电压保护；

(3) 在确定待实施阴极保护管道的阴极保护电流需求时, 应考虑已经选定的去耦合装置的直流漏流量。

5.7 区域阴极设备及附件要求

5.7.1 强制电流阴极保护的交流电源应长期不间断供电, 优先使用市电或使用各类在飞行区稳定可靠的交流电源。

5.7.2 强制电流阴极保护电源设备应具备以下特点:

- (1) 可靠性高;
- (2) 维护保养简便;
- (3) 寿命长;
- (4) 对环境适应性强;
- (5) 输出电流、电压可调;
- (6) 应具有抗过载、防雷、抗干扰、故障保护功能。

5.7.3 对恒电位仪的要求除满足本规程第 5.7.6 和 5.7.7 条的规定外, 还应符合以下条件:

- (1) 参比信号输入端综合输入阻抗应不低于 $1M\Omega$;
- (2) 应能长期稳定工作, 控制电位的温度飘移和24h时间飘移不宜大于 $10mV$;
- (3) 恒电位范围在 $0.000V\sim 3.000V$ 连续可调;
- (4) 流经参比电极电流不大于 $3\mu A$;
- (5) 仪器允许连续工作环境温度 $-20^{\circ}C\sim 40^{\circ}C$;
- (6) 仪器抗交流干扰能力大于等于 $12V$;
- (7) 绝缘电阻大于 $2M\Omega$;
- (8) 耐电压大于等于 $1500V$;
- (9) 满载波纹系数, 单相小于等于 10% , 三相小于等于 8% ;
- (10) 具有参比电极流空、断线自动保护; 仪器故障自动报警;
- (11) 过流自动保护: 仪器输出电流超出设定值时, 自动关闭并报警, 发生短路, 自动停机并报警。

5.7.4 选用恒电位仪作阴极保护直流电源时, 宜配用长效参比电极。长效参比电极应埋在冰冻线以下, 并避开杂散电流影响或水泥地面区域, 地面上宜设有标志。

5.7.5 阴极保护电缆与电缆连接应符合下列要求:

(1) 阴极保护电缆应采用铜芯电缆, 测试电缆铜芯的截面积不宜小于 $4mm^2$ 。采用多股连接导线时, 每股导线的截面积不宜小于 $2.5mm^2$;

(2) 用于外加电流阴极保护的阴极电缆和阳极电缆铜芯截面积不宜小于 $16mm^2$, 用于牺牲阳极阴极保护的铜芯电缆的截面积不宜小于 $4mm^2$;

(3) 电缆宜埋地敷设至接线箱并通过套管引入箱内, 确需地上敷设时应采取遮蔽、防护和防爆措施;

(4) 阳极引出电缆应具有严格的防水绝缘密封要求。

5.7.6 管道及阴极保护附属设备应符合下列要求:

(1) 测试桩应由桩体、测试接线板、测试导线和铭牌等几部分组成;

(2) 测试桩宜设置在以下位置:

- 1) 飞行区阀井或加油栓井附近区域、管网的中间管道、管道与电力接地连接处等;
- 2) 牺牲阳极保护方式中两组阳极的中间点;
- 3) 容易出现阴保电流屏蔽位置;
- 4) 阴极汇流导线处;

- 5) 绝缘接头处;
- 6) 距阳极最近和最远处;
- 7) 管道相互交叉处和折点处。
- (3) 测试桩宜安装长效参比电极或极化探头, 参比电极和极化探头应设置在管道附近;
- (4) 测试桩应注明编号、功能;
- (5) 测试桩电缆进线套管口应采取密封措施;
- (6) 测试导线和被保护体的连接宜采用焊接, 焊接处应做防腐绝缘, 不应有金属外露。

5.7.7 外加电流阴极保护和牺牲阳极阴极保护设计的其它计算按现行国家标准《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T21448 进行。

6 施工及验收

6.1 一般规定

6.1.1 施工应按设计文件及电气仪表的产品技术文件进行。

6.1.2 阴极保护系统材料在安装前应核对全部产品质量证明文件及进场验收文件, 质量应符合国家现行标准的有关规定, 材质、规格型号应符合设计文件要求。

6.1.3 对已建飞行区, 区域阴极保护可采用分步施工、试运调整的方式。

6.1.4 接线箱内、阴极保护电源位置电缆接头, 应有电缆功能标识。

6.1.5 阴极保护电缆敷设位置、阳极地床埋设位置宜设置地面标记。

6.2 电源设备

6.2.1 阴极保护电源设备宜安装在户内, 其安装包括电源设备与阳极电缆、阴极电缆、零位接阴电缆、参比电缆的连接, 以及设备接地。

6.2.2 安装时应按照产品说明书进行, 电缆连接应确保极性正确, 并确保电气接触导通良好。

6.2.3 施工中应保证每路阴极保护系统各自的接线正确。

6.3 辅助阳极

6.3.1 阳极地床的布局、位置和阳极数量应符合设计要求, 现场无实施条件时, 可由设计单位出具设计更改通知单或现场指导做适当调整。

6.3.2 阳极地床施工前应对阳极电缆进行检查, 阳极电缆应完整无损伤, 每根阳极电缆长度均应符合安装位置尺寸的要求, 并留有裕量。

6.3.3 线性辅助阳极与被保护体之间的距离不应小于 300mm, 在安装时应在管沟内留有一定的裕量, 以防土壤下沉应力对阳极可能的破坏。安装过程应防止阳极与相邻或交叉的管道、接地网等金属构筑物搭接。

6.4 牺牲阳极

6.4.1 牺牲阳极的布局、位置和数量应符合设计要求。

6.4.2 施工时应除去牺牲阳极所有的防水包装材料, 阳极周围应填充牺牲阳极专用的填包料, 并将阳极置于填包料中心位置。采用预包装牺牲阳极时, 填包料应采用麻袋或者棉质布袋包装, 不应采用化纤类包装袋。

6.4.3 牺牲阳极就位后应浇水湿润。

6.5 接线箱

- 6.5.1 防爆接线箱应满足接地要求。
- 6.5.2 每组阳极电缆和阴极电缆应有电缆编号，按照顺序接入防爆接线箱内的端子内。
- 6.5.3 防爆接线箱内的接线端子及可调电阻的电流容量应满足设计要求。
- 6.5.4 接线箱的进线电缆套管应采取密封措施。

6.6 调试

6.6.1 飞行区阴极保护系统安装结束后，应按设计要求和本标准的规定进行检查，确保接线正确，安装完全符合要求后方可进行调试。

6.6.2 通电运行之前，应测试并记录被保护构筑物电位、辅助阳极接地电阻、牺牲阳极开路电位和牺牲阳极接地电阻，宜测试记录相邻金属构筑物电位和现有邻近阴极保护系统运行参数。

6.6.3 在满足飞行区内阴极保护电位要求的同时，应将站内阴极保护电流调整到最小值。

6.6.4 调试过程中应测试记录被保护构筑物电位、阳极地床输出电流、电源设备输出电流、输出电压和牺牲阳极闭路电位，宜测试记录相邻金属构筑物电位、现有邻近阴极保护系统运行参数和绝缘接头两侧电位。

6.6.5 调试完成后，对测试桩逐个测试，被保护埋地体的保护电位宜满足阴极保护准则要求。

6.7 工程验收

6.7.1 飞行区阴极保护工程竣工验收时，应具备以下条件：

- (1) 竣工的工程应符合设计要求；
- (2) 出具的技术文件齐全、完整；
- (3) 应按附录 A 飞行区阴极保护验收表测试相关内容，保证阴极保护系统运行正常，保护电位符合要求，并按附录 A 填写。

6.7.2 工程验收指标的保护电位应符合本规程第 4 章的规定。

6.7.3 工程验收时，提交的资料，除应符合当地档案馆要求，还应包括下列：

- (1) 设计施工图、竣工图、施工联络单、设计变更通知单；
- (2) 阴极保护产品的说明书、产品合格证、检验报告、安装图纸等；
- (3) 调试试验记录；
- (4) 隐蔽工程验收记录；
- (5) 施工记录，包括阳极数量、类型、尺寸、埋深、填料及间距；
- (6) 测试报告；
- (7) 飞行区阴极保护系统的运行参数，包括：输出电压、输出电流和保护电位。

7 运行管理

7.1 飞行区阴极保护的检测周期和检测内容应符合下列规定，检测方法应符合国家标准 GB/T 21246 的要求：

(1) 被保护金属构筑物电位检测每年不应少于 1 次。被保护金属构筑物电位包括通电电位和断电电位；

(2) 外加电流阴极保护系统检测不宜少于每半年 1 次。检测内容包括阳极地床的接地电阻、系统回路电阻、长效参比电极误差；

(3) 牺牲阳极阴极保护系统检测每年不应少于 1 次。检测内容包括阳极的保护电位、开路电位、输出电流、接地电阻；

(4) 绝缘装置的绝缘性能检测每年不宜少于 1 次。

7.2 阴极保护电源输出情况（电压、电流）巡检应符合下列规定：

(1) 飞行区应每天至少检测一次，阴极保护电位宜每月测量一次；

(2) 阴极保护电源设备显示准确性、电源设备输出电压和电流检测不宜少于每半年 1 次；

(3) 飞行区阴极保护电源设备应持续运行，发现异常时及时进行排查、纠正。

7.3 对阴极保护不达标区域应进行失效原因排查，出现故障时应及时排除。

7.4 每年应检查阴极保护系统的保护率和运行率。

7.5 接线箱、接线柱、参比电极、测试装置等阴极保护设施，应定期检查并维护，保证正常运行，每年不应少于 1 次。检查内容包括线缆接头是否有虚接、烧蚀，以及参比电极是否有电位漂移等。

附录 A (规范性)

飞行区阴极保护系统验收表

飞行区名称		测试人		测试日期	
阴极保护系统运行参数					
	输出电流, A	输出电压, V	系统给定电位, V	阳极地床 接地电阻 Ω	1#
1#机					2#
2#机					3#
3#机					4#
保护电位					
测试桩号	测点位置	测量电位 V	电位是否达标 (×或√)	满足哪个保护准则 (√)	
				-850mV _{CSE} ~-1200 mV _{CSE}	100mV 极化
阴极保护运行工况评价					
异常部位及可能的原因					
其它需要说明的问题					

附录 B (资料性)

已建飞行区馈电试验

1. 已建飞行区馈电试验应符合下列要求:

(1) 应查阅被保护飞行区的设计资料、施工资料以及竣工资料等, 资料应包括几何尺寸、涂层情况、相对位置、埋深、防雷接地系统等, 确认飞行区内埋地管道分布、加油栓井和阀井位置等;

(2) 准备测试仪器和相关材料, 包括直流稳压电源、断路器、万用表、硫酸铜参比电极、临时阳极材料以及电缆等;

(3) 现场实际考察, 核对相关资料, 确定电位测试点和临时地床的数量及位置, 确定直流电源供电条件以及被保护飞行区是否有阴极保护或者是否受到外界杂散电流干扰等;

(4) 待电位监测点确定后, 进行被保护结构物的自腐蚀电位测试;

(5) 待自然腐蚀电位测试完毕后, 安装临时阳极地床, 并分别从临时阳极地床和被保护金属结构物上各引出一根电缆, 将临时阳极地床引出的电缆接到直流电源的正极, 将被保护金属结构物引出的电缆接到直流电源的负极;

(6) 对飞行区内管道和阀井等结构物通电极化, 通电稳定的时间宜在 3h 以上, 在被保护结构物和直流电源负极之间串联一个断路器, 设置好通断电时间后, 在选好的电位测试点处测试被保护结构物的通断电电位;

(7) 管道与阀井等结构物的通、断电位测试, 以断电电位表示极化电位, 并记录对应的馈电电流;

(8) 计算阴极保护电流, 确定阳极地床保护范围;

(9) 试验完毕, 应进行场地恢复。

2. 馈电试验可使用废弃的钢管、镀锌扁铁、角钢、混合金属氧化物阳极或高硅铸铁阳极等材料作为临时阳极地床。

3. 馈电试验前应排查管道被屏蔽的情况, 在被屏蔽区域应布设足够的临时阳极或调整足够的电流输出量。

4. 根据被保护结构物的几何分布, 做出通断电电位分布图谱, 从图中判断被保护结构物电位衰减情况, 临时阳极地床的保护范围以及屏蔽严重区域。

附录 C (资料性)

数值模拟计算

1 新建飞行区宜采用数值模拟计算辅助区域阴极保护阳极地床设计, 优选保护方案, 确定阳极地床种类、数量、位置等参数;

2 已建飞行区不便于开展现场馈电试验或现场馈电试验区域有限时, 宜采用数值模拟计算辅助区域阴极保护阳极地床设计, 优选保护方案, 确定阳极地床参数;

3 飞行区埋地金属管道区域阴极保护数值模拟计算设计流程宜按以下步骤进行:

(1) 建立埋地构筑物的几何模型, 应包括阀井、加油栓井及其他与管道存在电连接的金属构筑物信息, 并对构筑物进行网格划分;

(2) 新建飞行区, 根据埋地管道防腐层类型和接地材料选取已有的极化曲线作为数值模拟计算阴极边界条件;

(3) 已建飞行区, 测试站内带防腐层管道的极化特性, 或采用馈电试验结果反演获得不同区域埋地金属构筑物的极化特性, 将其作为数值模拟计算阴极边界条件;

(4) 牺牲阳极边界宜采用恒电位边界条件, 辅助阳极边界宜采用恒电流或电流密度边界条件;

(5) 阳极地床形式优化设计, 确定区域阴保保护方案。宜根据管道保护效果调整阳极地床的种类、数量和位置等参数, 保证飞行区内埋地管道电位达到设计要求, 且电位分布均匀, 最终经过保护效果、可实施性及经济性比选得到一种或多种阴保方案。