中华人民共和国石油天然气行业标准

埋地钢质管道牺牲阳极阴极保护设计规范

SY/T 0019—1997

代替：SYJ 19—1986
SYJ 20—1986

批准部门：中国石油天然气总公司
批准日期：1997-07-17
实施日期：1998-01-01

1 总则

1.0.1 为了有效地实施牺牲阳极阴极保护技术，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于埋地及水中钢质管道牺牲阳极阴极保护系统的设计。

本规范不适用于海洋环境中牺牲阳极阴极保护。

1.0.3 在牺牲阳极阴极保护系统的设计中，除执行本规范外，未涉及部分应按有关标准（规范）的要求执行。

1.0.4 引用标准：

GB/T 4948—1985 铝-锌-铟系合金牺牲阳极

SYJ 23—1986 埋地钢质管道阴极保护参数测试方法

2 术语

2.0.1 阴极保护 cathodic protection

通过降低腐蚀电位而达到的电化学保护。

2.0.2 牺牲阳极 sacrificial anode

靠着自身腐蚀速度的增加而提供阴极保护电流的金属或合金。

牺牲阳极通常有镁、锌、铝三类。

2.0.3 临时性阴极保护 temporary cathodic protection

在管道埋入地下后，正式阴极保护尚未投运之前对强腐蚀地区的管段采取的腐蚀控制手段。

2.0.4 接地电池 electrolytic grounding cell

采用一对或几对牺牲阳极，互相用绝缘垫隔开，再用填料填充并包扎，通过填料的电阻耦合起来，以消除强电电涌冲击。

2.0.5 接地垫 ground mat

安装在地面或地下的裸露的导体。彼此排列相连，以提供一个跨步距离范围内的等电位。

为了不影响管道的阴极保护，通常可采用镁带或锌带。

2.0.6 填包料 backfill

为改善埋地阳极工作条件而填塞在阳极四周的导电性材料。

2.0.7 冷隔

金属浇铸冷却过程中形成的阶梯面。

2.0.8 长效参比电极 permanent reference cell

寿命大于 1 年的土壤或水中的参比电极。

3 一般规定

3.0.1 牺牲阳极系统的设计应确保阳极在设计寿命内阴极保护的有效性和可靠性。

3.0.2 牺牲阳极的设计寿命应与管道使用年限相匹配，一般为 10～15 年。

3.0.3 临时性阴极保护牺牲阳极的设计寿命应满足用户要求，一般为 2 年。

3.0.4 被保护的管道应具有质量良好的覆盖层。新建管道的覆盖层电阻不得小于 10 000 Ω·m^2，否则不宜采用牺牲阳极。对于旧管道，应根据具体需要决定。

3.0.5 当土壤电阻率大于 100 Ω·m 时，不宜采用牺牲阳极。

3.0.6 所有被保护的埋地钢质管道应根据需要设置绝缘接头或绝缘法兰。

3.0.7 保护准则：

1 相对于饱和铜/硫酸铜参比电极的管道阴极极化电位至少为 850 mV。

2 管道表面与接触电解质的稳定饱和铜/硫酸铜参比电极之间的阴极极化电位差值最小为 100 mV。这一参数可以是极化的建立或衰减过程中的数据。

4 技术条件

4.1 镁合金阳极

4.1.1 镁合金阳极(以下简称镁阳极)的化学成分应符合表 4.1.1 的规定。

表 4.1.1 镁阳极的化学成分

阳极型号	化学成分(%)							
	Al	Zn	Mn	Mg	Fe	Ni	Cu	Si
高纯 Mg	<0.010	<0.010	<0.030	>99.95	<0.002	<0.001	<0.001	<0.010
Mg-Mn	<0.010	—	0.50～1.30	余量	<0.03	<0.001	<0.020	—
Mg-Al-Zn-Mn	5.3～6.7	2.5～3.5	0.15～0.60	余量	<0.005	<0.003	<0.020	<0.1

4.1.2 镁阳极的电化学性能必须符合表 4.1.2 中的指标。

表 4.1.2 镁阳极的电化学性能

性能		单位	Mg、Mg-Mn	Mg-Al-Zn-Mn
密度		g/cm^3	1.74	1.77
开路电位		−V(SCE)	1.56	1.48
理论发生电量		A·h/g	2.20	2.21
海水中 (3 mA/cm^2)	电流效率	%	50	55
	发生电量	A·h/g	1.10	1.22
	消耗率	kg/(A·a)	8.0	7.2
土壤中 (0.03 mA/cm^2)	电流效率	%	40	≥50
	发生电量	A·h/g	0.88	1.11
	消耗率	kg/(A·a)	10.0	≤7.92

注：以土壤介质试验时应采用填包料，厚度为 5～10 mm。

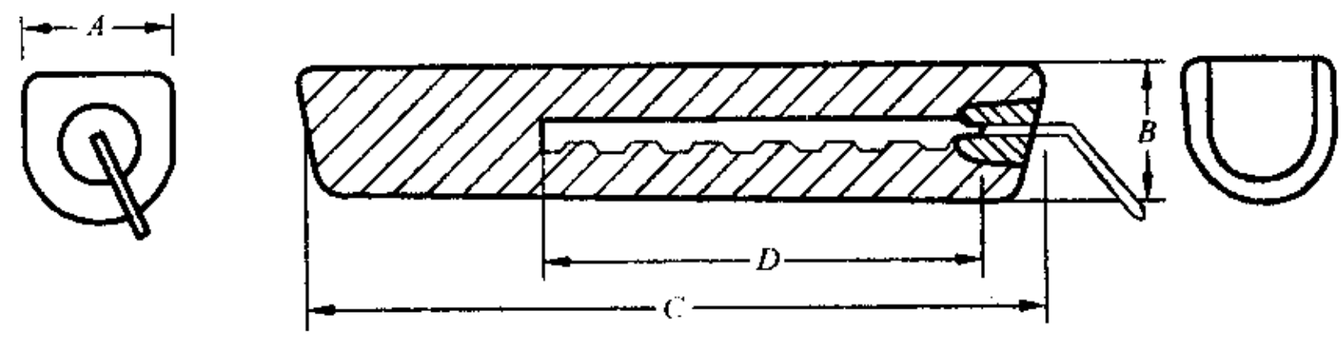
4.1.3 镁阳极按截面划分有梯形和 D 形两种，其规格见表 4.1.3-1 和表 4.1.3-2。当在水中应用时，阳极可做成半球形或镯式，其重量应能满足阳极工作寿命的要求。

表 4.1.3-1 梯形截面镁阳极形状及尺寸



规格号	镁重 (kg)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	规格号	镁重 (kg)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
—1	2.2	75	95	75	200	206	—4	11.34	90	110	88	680	700
—2	4.0	75	95	75	350	360	—5	14.5	100	120	101	680	700
—3	7.7	75	95	75	680	700	—6	22.68	130	150	125	680	700

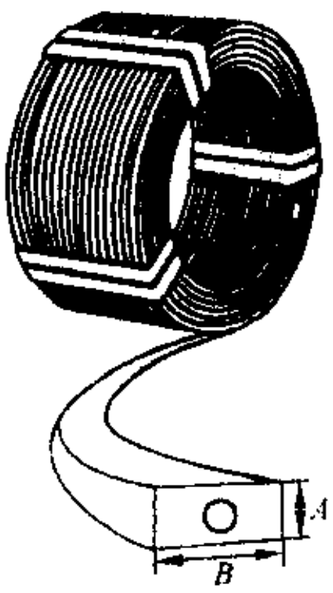
表 4.1.3-2 D 形截面镁阳极形状及尺寸



规格号	镁重 (kg)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	规格号	镁重 (kg)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
—1	2.3	89	92	205	126	—4	10.0	122	122	559	362
—2	4.1	89	92	440	301	—5	14.5	152	139	603	362
—3	7.7	114	114	527	330	—6	23.4	159	165	620	362

4.1.4 带状镁阳极可用高纯镁或 Mg-Mn 合金制造，其形状及性能列在表 4.1.4 中。

表 4.1.4 带状镁阳极形状及性能



截面($A\times B$)		9.5 mm×19 mm
钢芯直径		3.2 mm
单 重		0.37 kg/m
电流输出	海 水	2.4 A/m
	土 壤 (5 000 Ω·cm)	10 mA/m
	淡 水 (15 000 Ω·cm)	3 mA/m

4.1.5 铸造镁阳极不应翘曲，其表面无飞刺、裂纹、气孔、夹杂物和附着物，缩孔、冷隔深度应小于镁阳极厚度的 10%。

4.1.6 挤压制造的带状镁阳极，其表面应光滑，无裂纹、夹杂物和附着物。

4.1.7 镁阳极钢芯表面应镀锌，阳极体与钢芯的接触电阻应小于 0.001 Ω。

4.2 锌合金阳极

4.2.1 锌合金阳极(以下简称锌阳极)的化学成分应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 锌阳极的化学成分

阳极型号	化学成分（%）						
	Al	Cd	Zn	Fe	Cu	Pb	Si
高纯 Zn	<0.005	<0.003	>99.995	<0.001 4	<0.002	<0.003	—
Zn-Al	0.3～0.6	—	余量	<0.005	<0.005	<0.006	<0.125
Zn-Al-Cd	0.3～0.6	0.05～0.12	余量	<0.005	<0.005	<0.006	<0.125

4.2.2 锌阳极的电化学性能应符合表 4.2.2 中的规定。

表 4.2.2 锌阳极的电化学性能

性能		单位	Zn、Zn 合金
密度		g/cm³	7.14
开路电位		−V(SCE)	1.03
理论发生电量		A·h/g	0.82
海水中 (3 mA/cm²)	电流效率	%	95
	发生电量	A·h/g	0.78
	消耗率	kg/(A·a)	11.88
土壤中 (0.03 mA/cm²)	电流效率	%	≥65
	发生电量	A·h/g	0.53
	消耗率	kg/(A·a)	≤17.25

注：在以土壤介质作阳极性能试验时，阳极周围应有填包料。

4.2.3 锌阳极为梯形截面，其规格按净重分为 6.3，9，12.5，18，25，35.5 和 50 kg 七种，长度有 600、800 和 1 000 mm 三种。

4.2.4 作参比电极用的锌阳极的规格为直径 50 mm、长度 300 mm。

4.2.5 作接地极用的锌阳极的结构见图 4.2.5。

4.2.6 用于锌阳极的钢芯表面应镀锌，阳极体和钢芯之间的接触电阻应小于 0.001 Ω。

4.2.7 铸造锌阳极不应翘曲，其表面无氧化渣、毛刺、飞边、裂纹，缩孔深度应小于阳极厚度的 10%。

4.3 镁、锌复合式阳极

4.3.1 复合式牺牲阳极由镁和锌两部分组成，锌在芯部，镁在外部。镁部和锌部的成分应分别符合表 4.1.1 和表 4.2.1 中的规定。

4.3.2 复合阳极锌芯的规格应符合 4.2.3 的规定，镁包覆层的厚度应以可制造工艺的最低厚度为准。

4.3.3 复合阳极表面为铸造表面，其表面应清洁、平滑，无明显夹杂物等铸造缺陷，表面允许机械加工。镁包覆层允许稍有裂纹及包覆不全缺陷。

4.4 阳极质量保证

4.4.1 所有埋入地下的牺牲阳极必须具有厂方提供的质量保证书，每批产品均应附有质量保证书，该保证书应归入技术档案。质量保证书上应注明：

1 供方名称；

2 产品名称；

3 牌号、规格、批号；

4 重量或支数；

5 化学分析报告；

6 技术监督部门的印记；

7 执行的标准号；

8 制造日期及出厂时间。

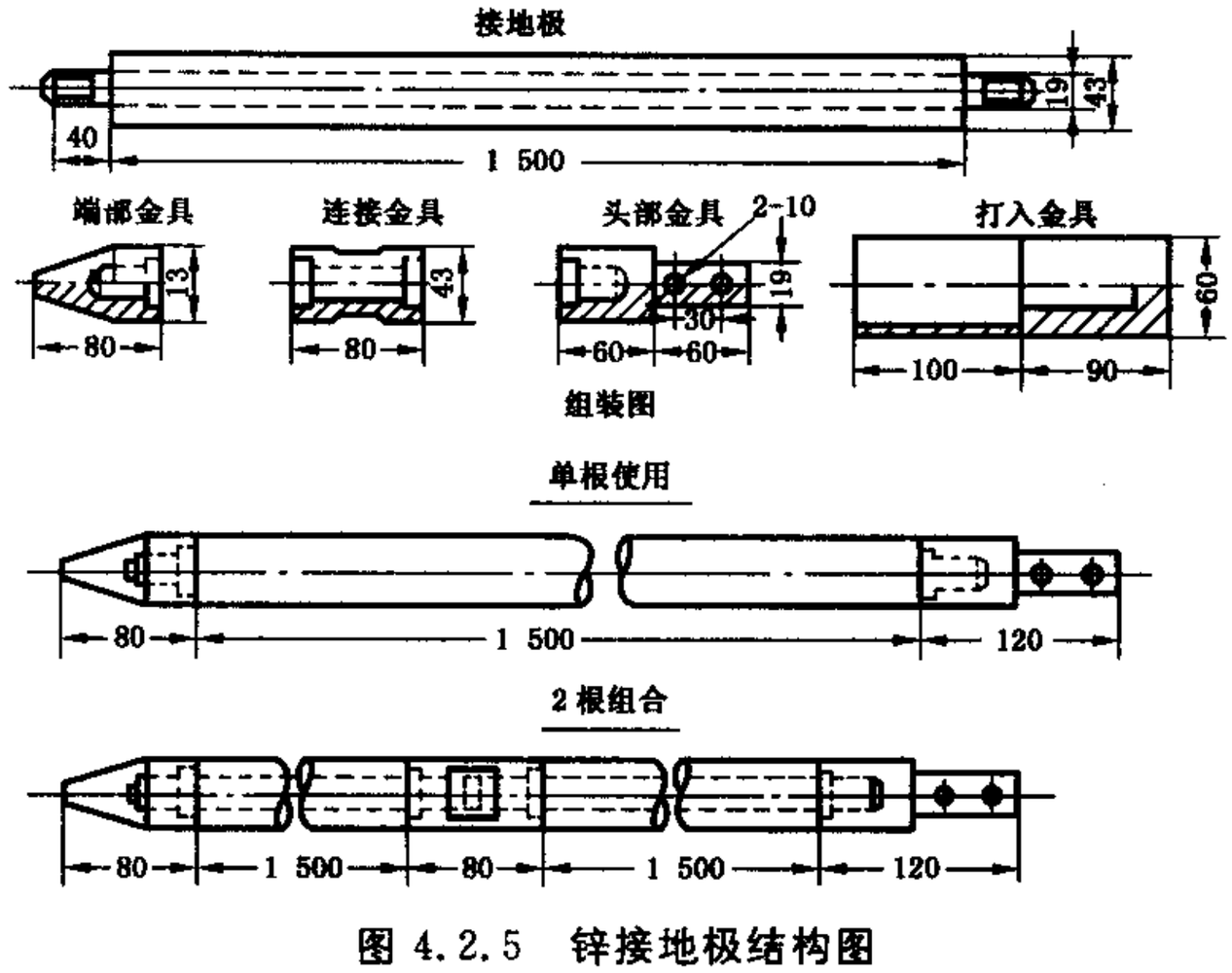


图 4.2.5 锌接地极结构图

4.4.2 在牺牲阳极验收时，应对外观、质量进行检验。钢芯与阳极的接触电阻、化学成分及电化学性能，应按批量进行抽样检查，抽查率为 3%，但至少不少于 3 支。若不合格，加倍抽查；其中一支仍不合格，则判定该批不合格。当化学成分不合格，而接触电阻和电化学性能合格时，可以使用。

接触电阻测试方法见《铝-锌-铟系合金牺牲阳极》中的附录 B，化学成分分析方法按供方采用的标准进行，电化学性能参照《铝-锌-铟系合金牺牲阳极》中的附录 C（试验介质改用当地土壤，并用当地地下水饱和，在被检阳极四周应有 5～10 mm 厚的填包料）。

复合阳极可按镁、锌部分分别检测其成分和电化学性能。

4.4.3 牺牲阳极应储存在室内仓库里，严禁沾染油污、油漆和接触酸、碱、盐。

5 工艺计算

5.0.1 单支阳级接地电阻按下列公式计算。

$$R_H = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2L}{D} + \ln\frac{L}{2t} + \frac{\rho_a}{\rho}\ln\frac{D}{d}\right) \qquad (5.0.1\text{-}1)$$

$$R_V = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2L_a}{D} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t+L_a}{4t-L} + \frac{\rho_a}{\rho}\ln\frac{D}{d}\right) \qquad (5.0.1\text{-}2)$$

式中：R_H——水平式阳极接地电阻(Ω)；

R_V——立式阳极接地电阻(Ω)；

ρ——土壤电阻率(Ω·m)；

ρ_a——填包料电阻率(Ω·m)；

L——阳极长度(m)；

L_a——阳极填料层长度(m)；

d——阳极等效直径[$d=\frac{C}{\pi}$，C为边长(m)]；

D——填料层直径(m)；

t——阳极中心至地面的距离(m)。

5.0.2 组合阳极接地电阻按下式计算。

$$R_{总}=k\frac{R_v}{N} \qquad (5.0.2)$$

式中：$R_{总}$——阳极组总接地电阻(Ω)；

N——阳极数量(支)；

k——修正系数，查图5.0.2。

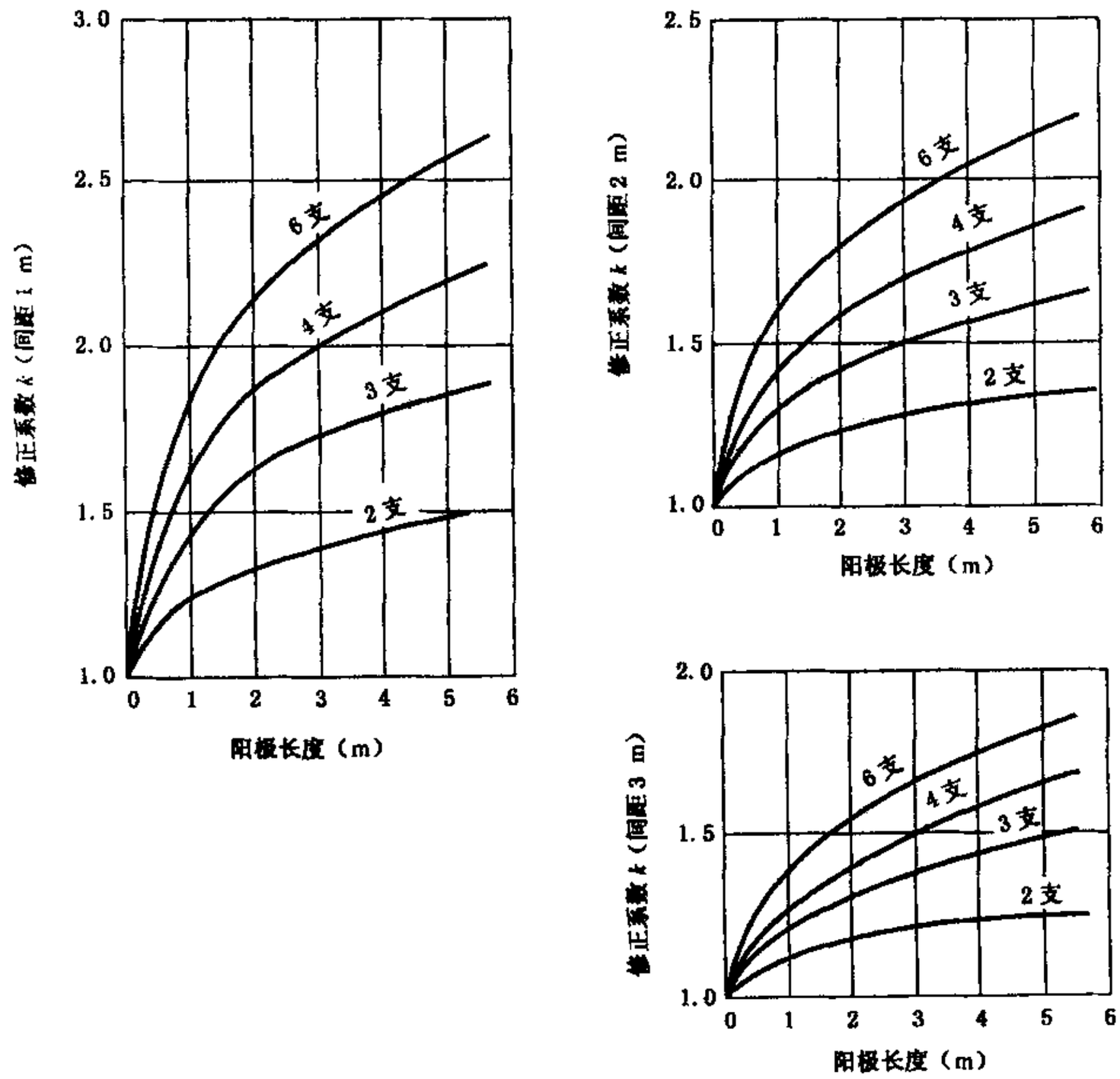


图 5.0.2 阳极接地电阻修正系数k

5.0.3 阳极输出电流按下式计算。

$$I_a=\frac{(E_c-e_c)-(E_a+e_a)}{R_a+R_c+R_w}=\frac{\Delta E}{R} \qquad (5.0.3)$$

式中：I_a——阳极输出电流(A)；

E_c——阴极开路电位(V)；

E_a——阳极开路电位(V)；

e_c——阴极极化电位(V)；

e_a——阳极极化电位(V)；

R_a——阳极接地电阻(Ω)；

R_c——阴极过渡电阻(Ω)；

R_w——回路导线电阻(Ω)；

ΔE——阳极有效电位差(V)；

R——回路总电阻(Ω)。

5.0.4 所需阳极数量按下式计算。

$$N = \frac{f \cdot I_A}{I_e} \qquad (5.0.4)$$

式中：N——阳极数量(支)；

I_A——所需保护电流(A)；

I_e——单支阳极输出电流(A)；

f——备用系数，取2～3倍。

5.0.5 阳极工作寿命按下式计算。

$$T = 0.85 \frac{W}{\omega I} \qquad (5.0.5)$$

式中：T——阳极工作寿命(a)；

W——阳极净质量(kg)；

ω——阳极消耗率[kg/(A·a)]；

I——阳极平均输出电流(A)。

6 工程设计

6.1 阳极种类的选择

6.1.1 通常根据土壤电阻率选取牺牲阳极的种类，根据保护电流的大小选取阳极的规格。

在水中和土壤中推荐的牺牲阳极种类见表6.1.1。

表6.1.1 土壤中牺牲阳极种类的应用选择

可选阳极种类	土壤电阻率（Ω·m）
带状镁阳极	>100
镁(−1.7 V)	60～100
镁	40～60
镁(−1.5 V)	<40
镁(−1.5 V)，锌	<15
锌	<5

注：① 在土壤潮湿情况下，锌阳极使用范围可扩大到30 Ω·m；

② 表中电位均相对 $Cu/CuSO_4$ 电极。

6.1.2 若在土壤环境中作参比电极用，宜选用高纯锌，其尺寸见4.2.4。

6.1.3 防雷、防静电的接地极宜选用锌合金，其尺寸应符合4.2.5的要求。

6.1.4 在锌阳极的使用条件下，可使用复合阳极。

6.1.5 为防止绝缘件的电冲击，通常可采用成双的锌阳极构成接地电池。

6.1.6 带状阳极应用于高电阻率环境、临时性阴极保护、套管内输送管的保护及防交流干扰的接地垫。

6.2 阳极地床

6.2.1 埋地牺牲阳极必须使用化学填包料，其配方见表6.2.1。

表 6.2.2 牺牲阳极填包料的配方

阳极类型	填包料配方[%(m/m)]				适用条件（电阻率）
	石膏粉 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)	工业硫酸钠	工业硫酸镁	膨润土	
镁阳极	50	—	—	50	≤20 Ω·m
	25	—	25	50	≤20 Ω·m
	75	5	—	20	>20 Ω·m
	15	15	20	50	>20 Ω·m
	15	—	35	50	>20 Ω·m
锌阳极	50	5	—	45	—
	75	5	—	20	—

6.3 阳极分布

6.3.1 牺牲阳极在管道上的分布宜采用单支或集中成组两种方式，同组阳极宜选用同一批号或开路电位相近的阳极。

6.3.2 牺牲阳极埋设有立式和卧式两种，埋设位置分轴向和径向。阳极埋设位置在一般情况下距管道外壁 3~5 m，最小不宜小于 0.3 m，埋设深度以阳极顶部距地面不小于 1 m 为宜。成组布置时，阳极间距以 2~3 m 为宜。

6.3.3 牺牲阳极必须埋设在冰冻线以下。在地下水位低于 3 m 的干燥地带，阳极应适当加深埋设；在河流中阳极应埋设在河床的安全部位，以防洪水冲刷和挖泥清淤时损坏。

6.3.4 在布置牺牲阳极时，注意阳极与管道之间不应有金属构筑物。

6.3.5 作接地用的锌阳极，其分布应符合有关电力接地技术标准。接地极可单支，也可二支、三支串接成一体使用，所用接地极的数量应满足接地电阻的要求。

6.4 测试系统

6.4.1 牺牲阳极阴极保护的测试系统应能提供被保护体的自然电位、阳极性能、保护电位的功能。

6.4.2 通常应在相邻两组牺牲阳极管段的中间部位设置测试桩，桩的间距以不大于 500 m 为宜。

6.4.3 牺牲阳极测试桩处应设有辅助试片及长效参比电极，辅助试片应与被保护材质相同。

6.4.4 牺牲阳极的连接电缆通常使用铜芯电缆。推荐型号为：VV-1 kV/1×10 mm^2

7 施工要求

7.0.1 根据施工条件选择经济合理的阳极施工方式，立式阳极宜采用钻孔法施工，卧式阳极宜采用开槽法施工。

7.0.2 牺牲阳极使用之前，应对表面进行处理，清除表面的氧化膜及油污，使其呈金属光泽。

7.0.3 阳极连接电缆的埋设深度不应小于 0.7 m，四周垫有 5～10 cm 厚的细砂，砂的上部应覆盖水泥护板或红砖。敷设时，电缆长度要留有一定裕量。

7.0.4 阳极电缆可以直接焊接到被保护管道上，也可通过测试桩中的连接片相连。

与钢质管道相连接的电缆应采用铝热焊接技术连接。焊点应重新进行防腐绝缘处理，防腐材料与等级应和原有覆盖层相一致。

7.0.5 电缆和阳极钢芯宜采用焊接连接，双边焊缝长度不得小于 50 mm。电缆与阳极钢芯焊接后，应采取必要的保护措施，以防施工中连接部位断裂。

7.0.6 阳极端面、电缆连接部位及钢芯均要防腐绝缘。

7.0.7 填包料可在室内包装，也可在现场包装，其厚度不应小于 50 mm。无论用什么方式，都应保证

阳极四周的填包料厚度一致、密实。室内预包装的袋子必须采用天然纤维(棉布或麻袋)织品,严禁使用人造纤维织品。

7.0.8 填包料应调拌均匀,不得混入石块、泥土、杂草等。阳极埋地后应充分灌水,并达到饱和。

8 运行与管理

8.0.1 牺牲阳极投入运行后的测量项目一般有:

1 电位

1) 阳极开路电位;

2) 阳极闭路电位;

3) 管道开路电位(投运前为自然电位);

4) 管道保护电位;

5) 试片自然电位。

2 电流

1) 单支阳极输出电流;

2) 组合阳极联合输出电流。

3 电阻

1) 单支阳极接地电阻;

2) 组合阳极联合接地电阻。

4 埋设点的土壤电阻率。

所有参数的测量应符合《埋地钢质管道阴极保护参数测试方法》的规定。

8.0.2 牺牲阳极保护参数投产测试,必须是在阳极埋入地下及填包料浇水 10 d 后进行,测试项目按 8.0.1中的规定进行。

8.0.3 牺牲阳极投入运行后,应定期进行监测和维护,至少每半年一次。