阴极保护技术应用介绍

腐蚀与防护中心　柳伟

两种阴保的实验现象

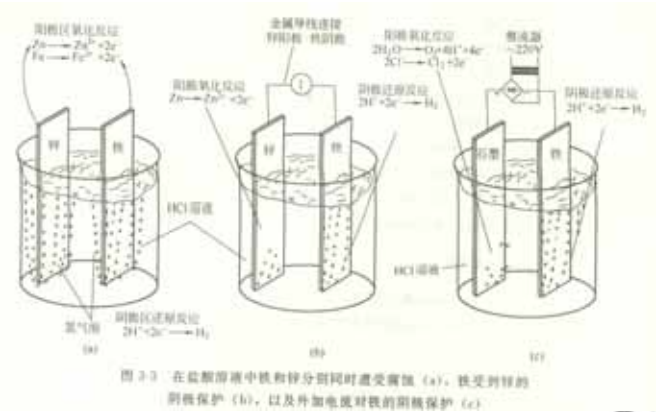


图 3-3　在盐酸溶液中铁和锌分别同时遭受腐蚀（a），铁受到锌的阴极保护（b），以及外加电流对铁的阴极保护（c）

外加电流阴保和牺牲阳极阴保的比较

方法	优点	缺点
外加电流法阴极保护	1.输出电流连续可调	1.需要外部电源
	2.保护范围大	2.对邻近构筑物干扰大
	3.**不受环境电阻率限制**	3.维护管理工作量大
	4.工程越大越经济	
	5.保护装置寿命长	
牺牲阳极法阴极保护	1.不需要外部电源	1.高电阻率环境不适用
	2.对邻近构筑物无干扰或很小	2.保护电流几乎不可调
	3.投产调试后可不需管理	3.覆盖层质量必须好
	4.工程越小越经济	4.投产调试工作复杂
	5.保护电流分布均匀、利用率高	5.消耗有色金属

外加电流阴保示例（长距离输气管线）

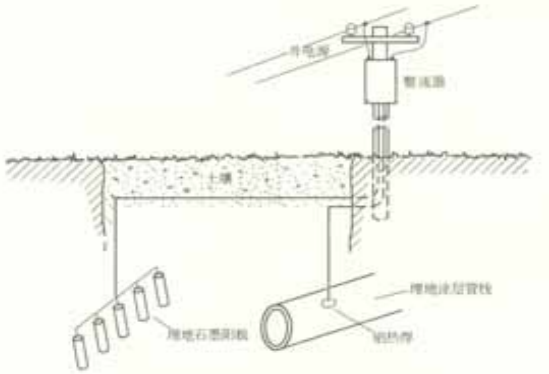
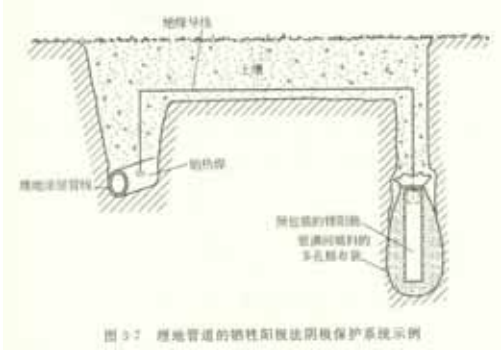
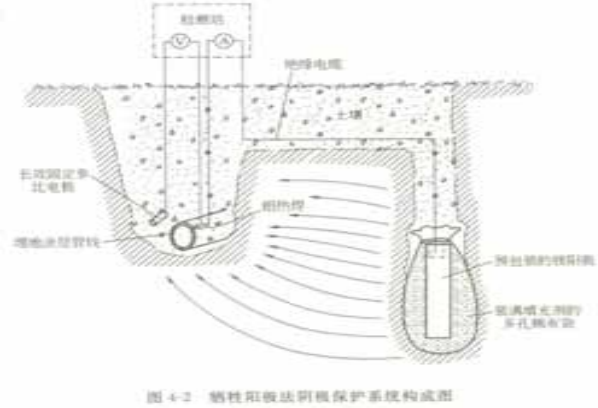


图 3-8　埋地管道的外加电流法阴极保护系统的简明示例

牺牲阳极法示例（城市燃气管线）



带有检测装置的实际应用的阴保系统



对外加电流阴保直流电源要求

- 对直流电源的基本要求
  - 能长期连续供电、可靠性高
  - 输出电压、电流可调
  - 输出阻抗与阴极保护系统回路电阻相匹配
  - 具有过载、防雷、故障保护装置
  - 对工作环境适应性强，操作维护简便
  - 投资成本考虑

外加电流阴保的直流电源种类

- 整流器
- 恒电位仪
- 恒电流式整流器
- 其它形式电源（太阳能、风力发电机、蓄电池）

（外加电流阴保）辅助阳极

- 外加电源的正极连接辅助阳极
- 作用是向被保护结构物供给电流
- 辅助电极的作用是通电，故辅助电极材料必须导电良好，能通过较大的极化电流密度，有足够的耐蚀性 、机械性能，加工性能、经济性能，且寿命要长。

常用的辅助阳极

- 钢铁
- 铝和锌
- 高硅铸铁
- 石墨（机械强度低，易破损）
- 铅合金
- 磁性氧化铁（具有耐蚀性能良好、消耗率低）
- 铂和镀铂阳极
- 柔性阳极（由包覆在铜芯上的导电塑料构成）

辅助阳极材料的性能

阳极材料	使用环境	容许电流密度 (A/dm^2)	消耗率 Kg/Ay
碳钢	水中、土中	—	9
铸铁	水中、土中	—	2~9
铝	淡水	0.1	2.4~4
硅铸铁	海水	0.5	0.3~1
硅铸铁	淡水、土中	0.1	0.05~0.2
石墨	海水	0.1	0.16
石墨	淡水	0.025	0.04
磁性氧化铁	海水	4.0	约 0.1
磁性氧化铁	土中	0.1	约 0.1
铅银合金	海水	0.3~3	0.03
镀铂钛	海水、淡水	10	0.000006
镀铂钛	土中	4	0.000006

保护电位与外加电流密度的关系

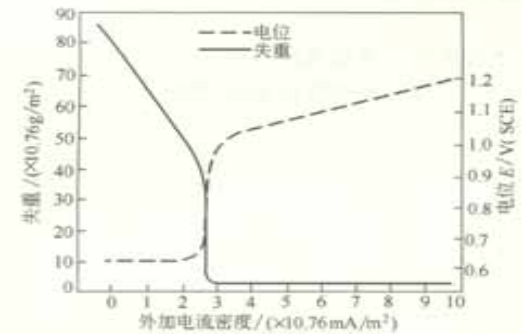


图 3-10　试验钢板的失重和保护电位与阴极保护运行电流密度的关系[10]

涂覆层种类与阴保电流密度的关系

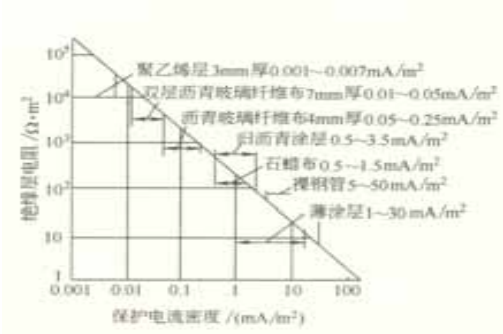


图 3-12 钢制管线的阴极保护电流密度 i_p 和涂覆层平均绝缘电阻 r_c 与管道涂覆层已使用状态的关系[8]

国外标准对最小保护电位的规定

表 3-1 英国标准 BS 7361—1991 中规定的一些金属的最小保护电位 （单位：V）

金属或合金		参比电极			
		铜/饱和硫酸铜（土壤和淡水）	银/氯化银/饱和氯化钾（任何电解质）	锌/氯化银/海水①	铝/海水①
质软钢	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
铝合金		−0.95～−0.85	−0.85～−0.80	−0.45～−0.6	+0.8～+0.45
铝	正极限	−0.95	−0.85	−0.9	+0.15
	负极限	−1.2	−1.1	−1.15	−0.1

① 属于潜活，未搅拌和充气的海水中。海水直接和金属电极相接触。

注：所有电位值数据经取舍处理成 0.05V 的倍数。

国外标准对最小保护电位的规定

表 3-2 德国标准 DIN 30676 中一些金属在不同环境中的最小保护电位和最大保护电位

（单位：V，相对于饱和的 $Cu/CuSO_4$ 电极）

材料	环境条件	自然腐蚀电位（大致范围）	最小保护电位（最低负值）	最大保护电位（最大负值）
非合金钢	<35℃	−0.65～−0.80	−0.85	不限
	>60℃	−0.60～−0.70	−0.95	不限①
	缺氧环境	−0.80～−0.85	−0.95	不限
	砂土，电阻大于 $50\Omega \cdot m$	−0.50～−0.70	−0.75	不限
不锈钢（含 16%Cr）	土壤，<60℃	−0.20～+0.20	−0.50	不限
	淡水，>60℃	−0.20～+0.20	−0.50	不限
	盐水	−0.20～+0.20	−0.50	不限
铜及合金		−0.20～0.30	−0.50	不限
铅		−0.50～−0.60	−0.65	−1.7
铝	在淡水中	−1.00～−0.20	−0.80	−1.2
	在盐水中	−1.05～−0.50	−0.90	−1.1
钢	在混凝土中	−0.60～−0.10	−0.75	−1.3
镀锌钢		−1.10～−0.80	−1.20	不限

① 在 NaOH 介质中有产生应力腐蚀破裂危险。

国外标准对最小保护电位的规定

表 3-3 前苏联标准 ГОСТ 9.602—89 中关于三种埋地金属的最小保护电位和最大保护电位

（单位：V，相对于饱和的 $Cu/CuSO_4$ 电极）

金属材料	最小保护电位	最大保护电位	金属材料	最小保护电位	最大保护电位
钢	−0.85	−1.15	铝	−0.85	−1.10
铅	−0.70	−1.20			

重要腐蚀体系的最小保护电位及保护电位范围



不同腐蚀环境下的阴保电流密度要求

表 3-7 裸钢在不同海域中所需阴极保护电流密度[1]

海域	阴极保护电流密度/(mA/m²)	海域	阴极保护电流密度/(mA/m²)	海域	阴极保护电流密度/(mA/m²)
北海(表层)	100～140	墨西哥湾	65	波斯湾	108
北海(北层)	110～160	美国西海岸	85	印度尼西亚	65
北罗斯海(西部)	90～120	东北海湾	440	海底	20

表 3-8 钢铁在不同腐蚀环境条件下的最小保护电流密度[1]

环境	条件	保护电流密度/(mA/m²)	环境	条件	保护电流密度/(mA/m²)
海底泥[1]	室温	1200	中性土壤	细菌繁殖	400
海水	流动	150	中性土壤	通气	40
淡水	流动	60	中性土壤	不通气	4
高温海水	氧饱和	180	混凝土	含氯化物	5
高温海水	缺气	40	混凝土	无氯化物	1

① 由表中的数据可知，像稀硫酸这类强腐蚀性介质所需的保护电流密度非常大，以致在实际上很难应用阴极保护。

不同涂覆层种类和涂覆层电阻对应的保护电流密度

表 3-11 涂覆层种类和涂覆层电阻对各种结构物阴极保护电流密度的影响[1]

结构物	环境介质	涂覆层种类	涂覆层电阻/(kΩ·m²)	保护电流密度/(mA/m²)
新的钢制管线	土壤	煤乙烯涂覆层	10	0.005～0.01
旧的钢制管线	土壤	沥青·玻璃纤维布	0.2	0.1～2
钢板桩墙	土壤	水泥	—	20～30
高压管道	土壤	沥青·玻璃纤维布	10	0.05～0.10
通讯电缆	土壤	沥青·蒸麻	0.01	10～30
储罐基础	土壤	沥青·蒸麻	0.1	0.2～2
工业供水管线	土壤	钢筋混凝土建筑物附近的管线	—	2～5
海底管线	海水	包覆混凝土	0.2	2～10
低潮塔、系油平台	海水	无	—	80～150
闸门、坝墙	淡水	沥青涂料	0.05	20～30
栈桥、系泊桩	海水	氯油环氧涂料	0.1	10～20
船舶、浮桥	海水	油漆	0.2	5～30
水箱	饮用水	氯化橡胶	0.05	0.1～0.2
热水锅炉	饮用水	搪瓷	20	0.01～0.02
给水管道	锅炉用水	无	—	100～200
氧化脱气塔	工业用水	氯油环氧涂料	0.2	0.5～1
压水槽	废水	煤焦油·沥青	0.2	1～2
给水分离器内外壁	给水	无	—	50～100

实际应用的牺牲阳极



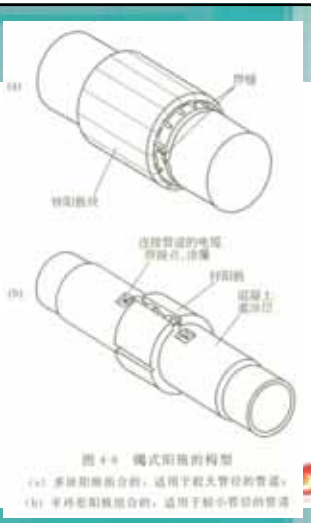


图 4-6 镯式阳极的构型

(a) 多块阳极组合的，适用于较大管径的管道；

(b) 单块型阳极组合的，适用于较小管径的管道

牺牲镁阳极

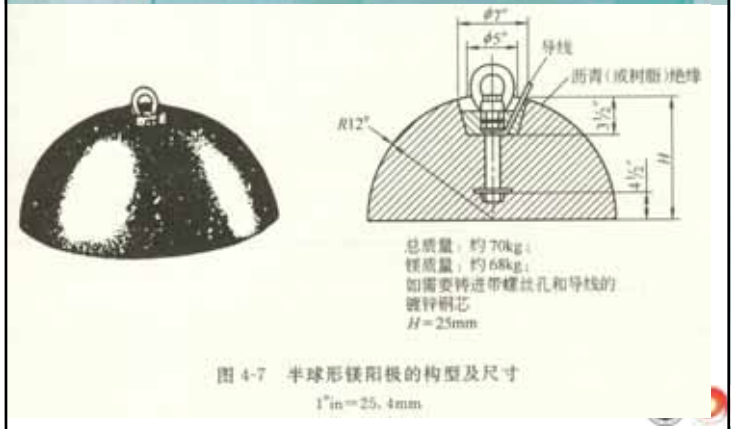


图 4-7　半球形镁阳极的构型及尺寸

1"in=25. 4mm

牺牲阳极检测站介绍

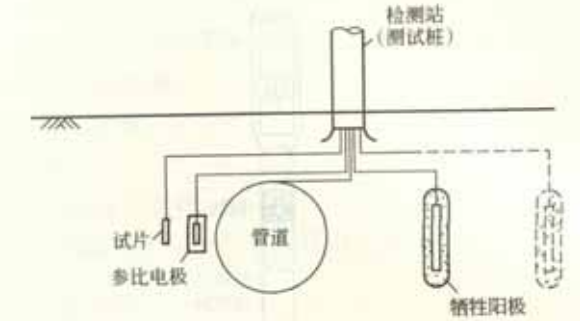
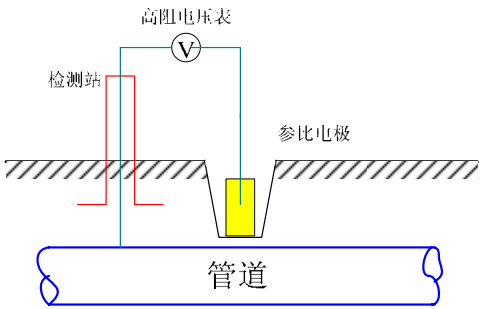
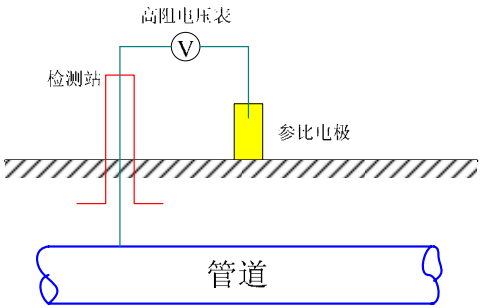


图 4-27　牺牲阳极检测站接线原理图

阴极电位的测量-近参比法



地表参比法



阴保效果的检测片检查

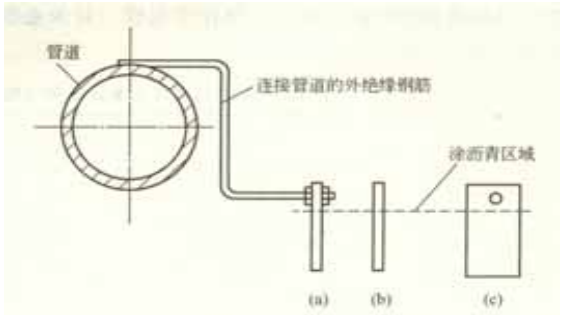


图 4-28 埋地管道检测片安装示意

(a) 受保护的检测片；(b) 无保护的检测片；(c) 正面视图