中华人民共和国石油天然气行业标准

# 埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范

SY/T 0036—2000

代替 SYJ 36—1989

批准部门：国家石油和化学工业局
批准日期：2000-03-10
实施日期：2000-10-01

## 1 总则

1.0.1 为了统一埋地钢质管道(以下简称管道)强制电流阴极保护系统的设计，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建和已建管道外壁的强制电流阴极保护系统的设计。

1.0.3 管道强制电流阴极保护系统的设计，除执行本规范外，尚应符合国家现行的有关强制性标准规范的规定。

## 2 术语

2.0.1 阴极保护 cathodic protection

通过阴极极化控制电化学腐蚀的技术。阴极保护有牺牲阳极法和强制电流法。

2.0.2 强制电流 impressed current

又称外加电流。通过外部电源施加的电流。

2.0.3 辅助阳极 impressed current anode

旧称接地阳极。与强制电流电源的正极相连，仅限于以导电为目的的电极。

土壤中常用的辅助阳极有石墨阳极、高硅铸铁阳极、钢铁阳极、磁性氧化铁阳极和柔性阳极。

2.0.4 最小保护电位 minimum protective potential

金属达到完全保护所需要的、绝对值最小的负电位值。

2.0.5 最大保护电位 maximum protective potential

阴极保护条件下，允许的绝对值最大的负电位值。

2.0.6 测试桩 test station

从埋地管道上引出的，用于测量阴极保护参数的装置。

2.0.7 IR 降 IR drop

电流在介质中流动所造成的电阻压降。

注：测量管道保护电位中，IR 降为有害误差，应予排除。

2.0.8 腐蚀电位 corrosion potential

腐蚀体系中金属的电极电位。

2.0.9 自然电位 natural potential

无外部电流影响的腐蚀电位。

2.0.10 极化电位 polarized potential

由于电流的流动引起电极/电解质界面电位的偏移称为极化，在极化状态下的电位称为极化电位。

2.0.11 断电瞬间电位 switch-off potential

断电瞬间测得的管道腐蚀电位。

注：断电电位中消除了 IR 降成分。

## 3 基本规定

### 3.1 设计原则

3.1.1 管道强制电流阴极保护系统的设计，对其保护长度，根据工艺计算宜留有 10%的余量。

3.1.2 辅助阳极的设计寿命应与被保护管道相匹配，不宜小于 20 年。

3.1.3 设计强制电流阴极保护系统时，应注意保护系统与外部金属构筑物之间的干扰影响，并按国家现行标准《埋地钢质管道直流排流保护技术标准》SY/T 0017 的要求，采取相应的防护措施。

3.1.4 电源的最大输出电压与最大输出电流之比应大于阴极保护回路的总电阻。

### 3.2 应用技术条件

3.2.1 被保护的管道必须具有良好的纵向导电的连续性。对于非焊接连接的管道接头应增设跨接电缆。

3.2.2 被保护的新建管道应具有质量良好的覆盖层。

3.2.3 被保护管道应在下列位置装设绝缘接头或绝缘法兰，并应符合国家现行标准《阴极保护管道的电绝缘标准》SY/T 0086 和《绝缘法兰设计技术规定》SY/T 0516 的要求。

1 设计保护系统范围内管道与非保护对象连接处；

2 管道与厂、站、库、井的连接处；

3 干线管道与分支管道的连接处；

4 杂散电流强干扰区与非干扰区的分界处；

5 不同金属结合部位；

6 有覆盖层的管道与裸管道的交接部位；

7 其他需要的部位。

3.2.4 在使用金属套管的位置，管道应与套管电绝缘，套管两端应进行防水密封。套管内宜安装牺牲阳极保护套管内的输送管。

3.2.5 管道必须与支撑的墩台、管柱、管桥、固定墩、支座、管卡或混凝土中的钢筋等电绝缘。然而，若管桥两端装有绝缘装置，已将管桥上管道与埋地管道相绝缘，那么这段管道可以直接敷设在管桥上而不必施加电绝缘。

3.2.6 被保护管道与其他管道、电缆交叉处必须电绝缘，并确保最小间距 0.3 m。必要时，应在两者之间垫以绝缘板隔开。

### 3.3 阴极保护准则

3.3.1 埋地钢质管道阴极保护准则可采用下列任意一项或几项为判据：

1 在施加阴极电流的情况下，测得管/地电位为－850 mV(相对饱和硫酸铜参比电极，下同)或更负。

注：正确解释管/地电位测量值，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：

1) 测量或计算 IR 降；

2) 检查阴极保护系统以往的性能；

3) 评价管道及其环境的物理和电性能；

4) 确定是否存在腐蚀的直接证据。

2 相对饱和硫酸铜参比电极的管/地极化电位为－850 mV 或更负。

3 管道表面与同土壤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中。

3.3.2 特殊条件的考虑

1 对于裸钢表面或涂敷不良的管道，在预先确定的电流排放点(阳极区)，确定净电流是从电解质

流向管道表面。

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。

3.3.3 最大保护电位的限制应根据覆盖层种类及环境来确定，以不损坏覆盖层的粘结力为准。

推荐的最大保护电位为：

石油沥青 －1.50 V

煤焦油瓷漆 －3.0 V

环氧粉末 －2.0 V

3.4 其他

3.4.1 强制电流阴极保护系统应与管道主体工程同时勘察、同时设计、同时施工。在强腐蚀性土壤环境中的管道应设计临时性阴极保护。

3.4.2 强制电流阴极保护系统的设计，应能满足正常管理中测量、覆盖层检漏及保护效果判断的要求，并为方便管理操作提供必要的技术条件。

3.4.3 长输管道有人值守的阴极保护间，应分为仪器间和工作间两部分，建筑等级和标准应与主体工程一致，使用面积不应小于25 $m^2$。

## 4 工艺计算

4.0.1 强制电流阴极保护系统的设计参数，对新建管道可按下列常规参数选取。

1 自然电位：－0.55 V；

2 最小保护电位：－0.85 V；

3 最大保护电位：－1.25 V。

4 覆盖层电阻：

1）石油沥青、煤焦油瓷漆：10 000 Ω·$m^2$；

2）塑料覆盖层：50 000 Ω·$m^2$；

3）环氧粉末：50 000 Ω·$m^2$；

4）三层复合结构：100 000 Ω·$m^2$；

5）环氧煤沥青：5 000 Ω·$m^2$。

5 钢管电阻率：

低碳钢(20#) 0.135 Ω·$mm^2$/m

16Mn钢 0.224 Ω·$mm^2$/m

高强度钢 0.166 Ω·$mm^2$/m

6 保护电流密度应根据覆盖层电阻选取：

在5 000～10 000 Ω·$m^2$ 时 取100～50 μA/$m^2$

在＞10 000～50 000 Ω·$m^2$ 时 取＜50～10 μA/$m^2$

在＞50 000 Ω·$m^2$ 时 取＜10 μA/$m^2$

对已建管道应以实测值为依据。

4.0.2 辅助阳极的消耗率应根据材料及工作条件来选定，详见本规范第6章。

4.0.3 土壤电阻率数据应取自勘测资料或现场实测。

4.0.4 强制电流阴极保护的保护长度可按式(4.0.4)计算。

$$2L = \sqrt{\frac{8\Delta V_L}{\pi \cdot D \cdot J_s \cdot R}} \qquad (4.0.4\text{-}1)$$

$$R = \frac{\rho_T}{\pi(D' - \delta)\delta} \qquad (4.0.4\text{-}2)$$

式中：$L$——单侧保护长度(m)；

$\Delta V_L$——最大保护电位与最小保护电位之差(V)；

$D$——管道外径(m)；

$J_s$——保护电流密度($A/m^2$)；

$R$——单位长度管道纵向电阻(Ω/m)；

$\rho_T$——钢管电阻率($\Omega \cdot mm^2/m$)；

$D'$——管道外径(mm)；

$\delta$——管道壁厚(mm)。

4.0.5 强制电流阴极保护系统的保护电流可按式(4.0.5)计算。

$$2I_o = 2\pi D \cdot J_s \cdot L \qquad (4.0.5)$$

式中：$I_o$——单侧保护电流(A)。

4.0.6 辅助阳极接地电阻应根据埋设方式按下列各式计算。

1 单支立式阳极接地电阻的计算：

$$R_{V1} = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d} \cdot \sqrt{\frac{4t+3L}{4t+L}} (t \gg d) \qquad (4.0.6\text{-}1)$$

2 深埋式阳极接地电阻的计算：

$$R_{V2} = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d} (t \gg L) \qquad (4.0.6\text{-}2)$$

3 单支水平式阳极接地电阻的计算：

$$R_H = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln \frac{L^2}{td} (t \ll L) \qquad (4.0.6\text{-}3)$$

式中：$R_{V1}$——单支立式阳极接地电阻(Ω)；

$R_{V2}$——深埋式阳极接地电阻(Ω)；

$R_H$——单支水平式阳极接地电阻(Ω)；

$L$——阳极长度(含填料)(m)；

$d$——阳极直径(含填料)(m)；

$t$——埋深(填料顶部距地表面)(m)；

$\rho$——阳极区的土壤电阻率(Ω·m)。

4 阳极组接地电阻的计算。

$$R_g = F \cdot \frac{R_V}{n} \qquad (4.0.6\text{-}4)$$

式中：$R_g$——阳极组接地电阻(Ω)；

$n$——阳极支数；

$F$——电阻修正系数(查图 4.0.6)；

$R_V$——单支阳极接地电阻(Ω)。

4.0.7 阳极的质量应能满足阳极最小设计寿命的需要，按式(4.0.7)计算。

$$G = \frac{T \cdot g \cdot I}{K} \qquad (4.0.7)$$

式中：$G$——阳极总质量(kg)；

$g$——阳极的消耗率[kg/(A·a)]；

$I$——阳极工作电流(A)；

$T$——阳极设计寿命(a)；

$K$——阳极利用系数，取 0.7～0.85。

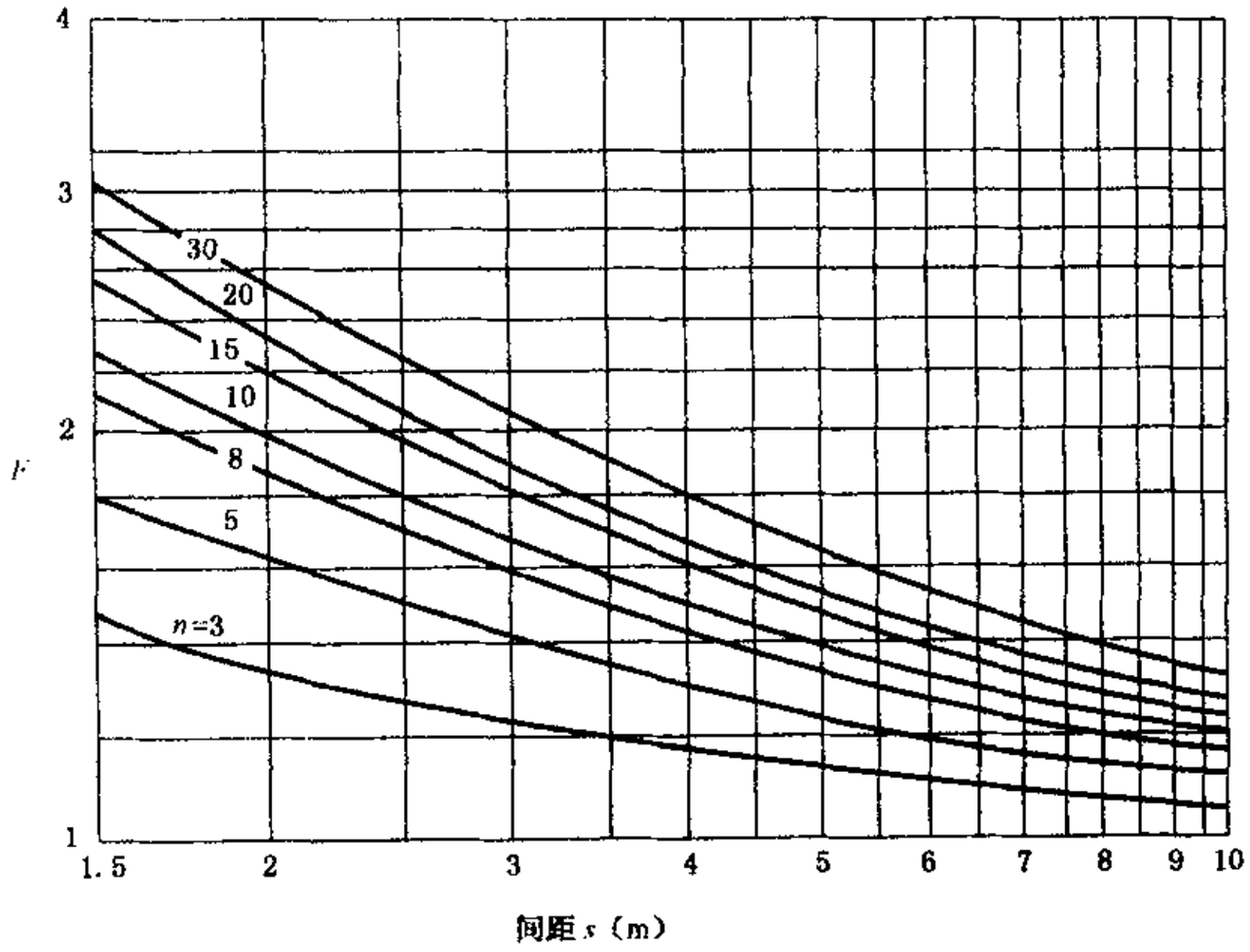



图 4.0.6　阳极组接地电阻修正系数

4.0.8　强制电流阴极保护系统的电源设备功率按下列公式计算。

$$P = \frac{IV}{\eta} \tag{4.0.8-1}$$

$$V = I(R_a + R_L + R_C) + V_r \tag{4.0.8-2}$$

$$R_C = \frac{\sqrt{R_T r_T}}{2\text{th}(\alpha L)} \tag{4.0.8-3}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{r_T}{R_T}} \tag{4.0.8-4}$$

$$I = 2I_0 \tag{4.0.8-5}$$

式中：$V$——电源设备的输出电压(V)；

$R_a$——阳极地床接地电阻(Ω)；

$R_L$——导线电阻(Ω)；

$R_C$——阴极(管道)/土壤界面过渡电阻(Ω)；

$\alpha$——管道衰减因数($m^{-1}$)；

$r_T$——单位长度管道电阻(Ω/m)；

$R_T$——覆盖层过渡电阻(Ω·m)；

$L$——被保护管道长度(m)；

$V_r$——地床的反电动势(V)，焦炭填充时取 $V_r = 2$ V；

$I$——电源设备的输出电流(A)；

$I_0$——单侧方向的保护电流(A)；

$P$——电源功率(W)；

$\eta$——电源设备效率，一般取 0.7。

## 5　电源设备

5.0.1　强制电流阴极保护对交流电源的基本要求为：能满足长期不间断供电；应优先使用市电或使用各类站场稳定可靠的交流电源；当电源不可靠时，应装有备用电源或不间断供电专门设备。

5.0.2 对于无交流电地区，可选用下列电源：

当太阳能资源丰富，负载功率小于 250 W 时，可选用太阳能电池；

当风力资源丰富，负载功率在 200 W～55 kW 时，可选用风力发电机；

对于输气管道，负载功率在 10～500 W 时，可选用热电发生器(TEG)；

对于输气管道，负载功率在 100 W～4 kW 时，可选用密闭循环发电机组(CCVT)；

有时大容量蓄电池也是经济合理的电源方案。

5.0.3 强制电流阴极保护对电源设备的基本要求为：

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。

5.0.4 强制电流阴极保护电源设备，一般情况下应选用整流器或恒电位仪。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，应使用恒电位仪。

5.0.5 阴极保护用整流器纹波系数应满足单相不大于 50%，三相不大于 5%的要求，最大温升不得超过 70℃。在交流输入端和直流输出端应装有过流、防冲击等保护装置。

5.0.6 户外型整流器装置应能适应当地所处的气候环境，可装在房顶、墙上或电杆上工作。

5.0.7 恒电位仪通常应在室内工作，其技术性能要求如下：

1 给定电位：−0.500～−3.000 V(连续可调)；

2 电位控制精度：≤±10 mV；

3 输入阻抗：≥1 MΩ；

4 绝缘电阻：>2 MΩ(电源进线对地)；

5 抗交流干扰能力：≥12 V；

6 耐电压：≥1 500 V(电源线对机壳)；

7 满载纹波系数：单相≤10%，三相≤8%。

5.0.8 恒电位仪印刷电路板一般应采取防潮、防盐雾、防细菌的措施。

## 6 辅助阳极

### 6.1 常用阳极

6.1.1 高硅铸铁阳极应满足下列要求：

1 高硅铸铁阳极的化学成分应符合表 6.1.1-1 的规定。

表 6.1.1-1 高硅铸铁阳极的化学成分 %

| 序号 | 类型 | 主要化学成分 | | | | | 杂质含量 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Si | Mn | C | Cr | Fe | P | S |
| 1 | 普通 | 14.25～15.25 | 0.5～0.8 | 0.80～1.05 | | 余量 | ≤0.25 | ≤0.1 |
| 2 | 加铬 | 14.25～15.25 | 0.5～0.8 | 0.8～1.4 | 4～5 | 余量 | ≤0.25 | ≤0.1 |

2 高硅铸铁阳极的允许电流密度为 5～80 A/m$^2$，消耗率应小于 0.5 kg/(A·a)。

3 常用高硅铸铁阳极规格见表 6.1.1-2。

表 6.1.1-2 常用高硅铸铁阳极规格

| 序 号 | 阳 极 规 格 | | 阳极引出导线规格 | |
|---|---|---|---|---|
| | 直流（mm） | 长度（mm） | 截面积（$mm^2$） | 长度（mm） |
| 1 | 50 | 1 500 | 10 | ≥1 500 |
| 2 | 75 | 1 500 | 10 | ≥1 500 |
| 3 | 100 | 1 500 | 10 | ≥1 500 |

4 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，阳极表面应无明显缺陷。

6.1.2 石墨阳极应满足下列要求：

1 石墨阳极的石墨化程度不应小于 81%，灰分应小于 0.5%。

2 石墨阳极宜经亚麻油或石蜡浸渍处理。

3 石墨阳极的性能应符合表 6.1.2-1 的规定。

4 常用石墨阳极规格见表 6.1.2-2。

表 6.1.2-1 石墨阳极的主要性能

| 密 度（$g/cm^3$） | 电阻率（$\Omega \cdot mm^2/m$） | 气孔率（%） | 消耗率［kg/(A·a)］ | 允许电流密度（$A/m^2$） |
|---|---|---|---|---|
| 1.7～2.2 | 9.5～11.0 | 25～30 | <0.6 | 5～10 |

表 6.1.2-2 常用石墨阳极规格

| 序 号 | 阳 极 规 格 | | 阳极引出导线规格 | |
|---|---|---|---|---|
| | 直径（mm） | 长度（mm） | 截面积 $(mm)^2$ | 长度（mm） |
| 1 | 75 | 1 000 | 10 | ≥1 500 |
| 2 | 100 | 1 450 | 10 | ≥1 500 |
| 3 | 150 | 1 450 | 10 | ≥1 500 |

5 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，阳极表面应无明显缺陷。

6.1.3 柔性阳极应满足下列要求：

1 柔性阳极是由导电聚合物包覆在铜芯上构成，其性能应符合表 6.1.3 的规定。

表 6.1.3 柔性阳极主要性能

| 最大输出电流（mA/m） | | 最低施工温度（℃） | 最小弯曲半径（mm） |
|---|---|---|---|
| 无填充料 | 有填充料 | | |
| 52 | 82 | −18 | 150 |

2 柔性阳极铜芯截面积为 16 $mm^2$，阳极外径为 13 mm。

6.1.4 钢铁阳极应满足下列要求：

1 钢铁阳极是指用角钢、扁钢、槽钢或钢管制作的阳极。

2 钢铁阳极的消耗率为 8～10 kg/(A·a)。

6.2 辅助阳极设计

6.2.1 辅助阳极位置的选择应符合下列要求：

1 地下水位较高或潮湿低洼处。

2 土壤电阻率 50 Ω·m 以下的地点。

3 土层厚，无石块，便于施工处。

4 对邻近的地下金属构筑物干扰小，阳极位置与被保护管道之间不宜有其他金属构筑物。

5 阳极位置与管道的垂直距离不宜小于 50 m。当采用柔性阳极时，对于裸管道阳极的最佳位置是距管道 10 倍管径处；对有良好覆盖层的管道可同沟敷设，最近距离为 0.3 m。

6.2.2 阳极种类的选择应遵守下列原则：

1 在一般土壤中可采用高硅铸铁阳极、石墨阳极、钢铁阳极。

2 在盐渍土、海滨土或酸性和含硫酸根离子较高的环境中，宜采用含铬高硅铸铁阳极。

3 在高电阻率的地方宜使用钢铁阳极。

4 覆盖层质量较差的管道及位于复杂管网或多地下金属构筑物区域内的管道可采用柔性阳极，但不宜在含油污水和盐水中使用。

6.2.3 阳极埋设方式应符合下列要求：

1 阳极可采用浅埋和深埋两种方式。浅埋阳极应置于冻土层以下，埋深一般不宜小于 1 m；深埋阳极埋深宜为 15～300 m。

2 阳极通常采用立式埋设；在沙质土、地下水位高、沼泽地可采用水平式浅埋；在复杂环境或地表土壤电阻率高的情况下可采用深埋阳极。

6.2.4 阳极地床填充料的使用应符合下列要求：

1 阳极常用的填充料有焦炭粒、石油焦炭粒。

2 石墨阳极应加填充料；高硅铸铁阳极宜加填充料，在沼泽地、流沙层可不加填充料；柔性阳极宜加填充料；钢铁阳极可不加填充料。

3 填充料的含碳量宜大于 85%，最大粒径宜小于 15 mm，填充料厚度一般为 100 mm。当采用柔性阳极时，填充料的最大粒径宜小于 3.2 mm，填充料厚度为 45 mm。预包覆焦炭粉的柔性阳极可直接埋设，不必采用填充料。

6.2.5 阳极地床还应满足下列要求：

1 辅助阳极地电场的电位梯度不应大于 5 V/m，设有护栏装置时不受此限制。

2 阳极填充料顶部应放置粒径为 5～10 mm 左右的砾石或粗砂，砾石层宜加厚至地面以下 500 mm或在砾石上部加装排气管至地面以上。

3 阳极的引出导线和并联母线应为铜芯电缆，并应适合于地下(或水中)敷设。

4 阳极的并联母线与直流电源输出阳极导线连接可通过接线箱连接，若阳极导线为铝线，则应采用铜铝过渡接头连接。

## 7 管道阴极保护附属设施

7.1 测试桩

7.1.1 为了定期检测管道强制电流阴极保护参数，应根据需要设置测试桩。各类测试桩及其设置原则一般为：

1 电位测试桩，汇流点及每千米处设一支；

2 电流测试桩，每 5～8 km 处设一支；

3 套管、管道电位测试桩，每一套管处设一支；

4 绝缘接头测试桩，每一绝缘连接处设一支；

5　跨接测试桩，与其他管道、电缆等构筑物相交处设一支；

6　站内测试桩，按需要数量设置。

7.1.2　管道测试桩按油气流向排列编号，一般位于流向左侧距管道中心线 1.5 m 处。桩的标志应醒目，埋设要牢固稳定。

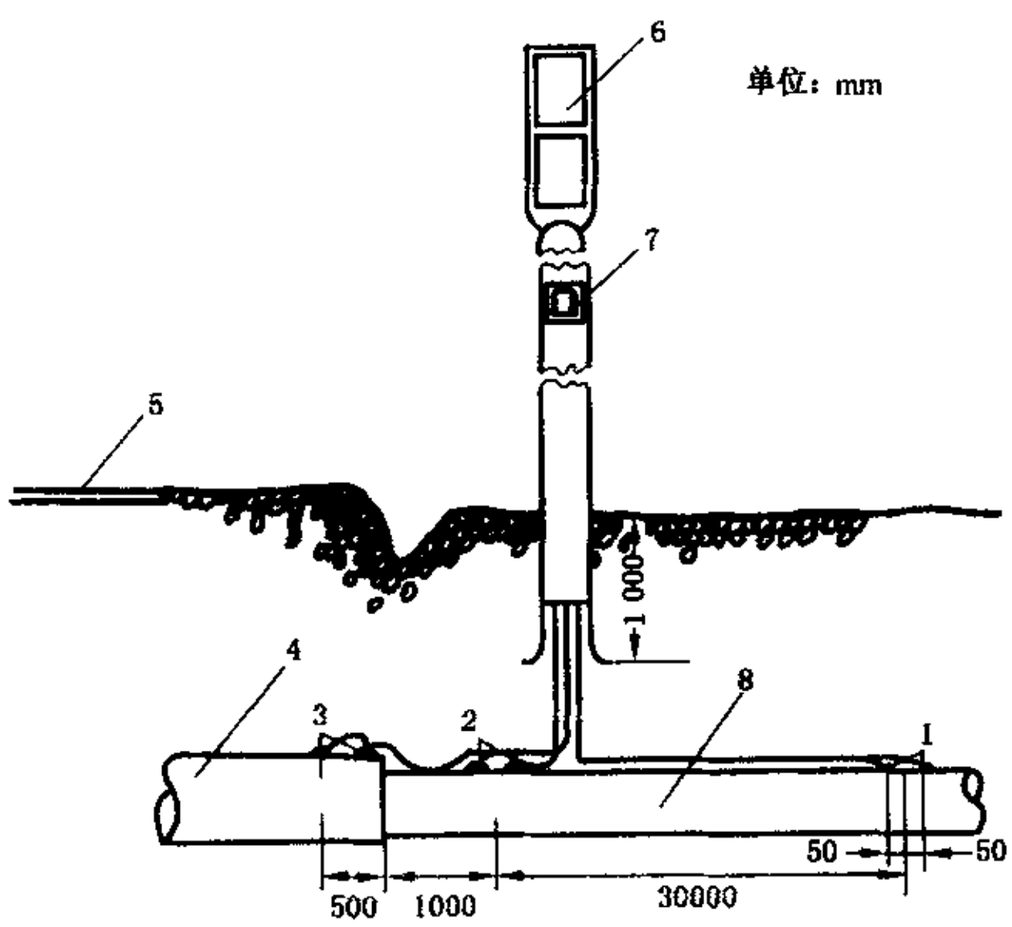
7.1.3　用于测量管路电流的测试桩，应将其测量段电阻值标在桩的铭牌上，特殊功能的测试桩应标上特殊的标记或说明。

7.1.4　测试桩可用钢管、玻璃钢和混凝土制作。位于套管处具有电位与电流测试功能的测试桩，其测试接线示意图见图 7.1.4。

7.2　埋地型参比电极

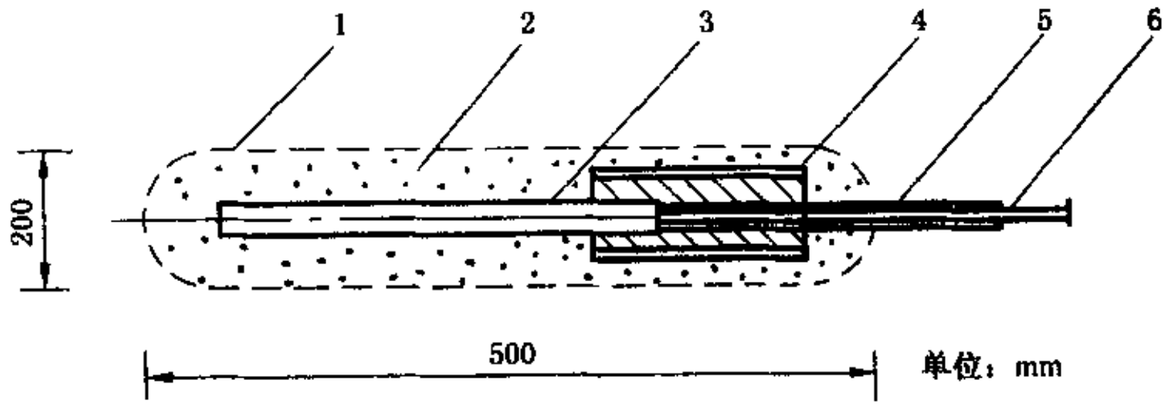
7.2.1　参比电极基本要求是极化小、稳定性好、寿命长。土壤中参比电极稳定性要求是：锌参比电极不大于±30 mV；硫酸铜电极不大于±10 mV。工作电流密度不大于 5 $\mu A/cm^2$。

7.2.2　埋地型锌参比电极示意图见图 7.2.2，电极材料为纯度不小于 99.995%、铁杂质含量小于 0.0014%的高纯锌。电极填包料应符合国家的现行标准《埋地钢质管道牺牲阳极阴极保护设计规范》SY/T 0019 的规定。




1 和 2—管线电流测试头；2—电位测试头；3—套管测试头；1、2、3—每端两处铝热焊接；4—套管；5—公路；6—标牌；7—接线端子；8—管道

图 7.1.4　测试桩示意图




1—棉布袋；2—填包料；3—锌电极；4—接头密封护管；5—电缆护管；6—电缆

图 7.2.2　埋地型锌参比电极示意图

7.2.3 参比电极埋设位置应尽量靠近管道，以减轻土壤介质中的 IR 降影响；对于热油管道要注意热力场对电极性能的不良影响。

7.3 导线敷设

7.3.1 强制电流阴极保护系统中，所有连接导线宜采用电缆直接埋地敷设，也可采用架空线方式。电缆、架空线和测试桩引线宜采用下列型号：

电缆　　VV-1 kV 型

架空线　　LGJ 型

测试桩引线　BVV，BVR 型

7.3.2 直埋电缆、架空线的安装应符合现行国家标准《低压配电设计规范》GB 50054 和《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》GB 50254 的规定。对于年平均雷暴日超过 30 d 的地区，架空线路应装设避雷装置。

7.3.3 电缆与管道的连接，应采用铝热焊或锡焊。确保机械牢固可靠，导电性能良好。焊接处裸露的管壁及导线，均应采用与管道覆盖层相适应的材料防腐绝缘。

## 8 系统调试

8.0.1 强制电流阴极保护系统，在投入运行之前应进行一次系统测试。测试方法应按国家现行标准《埋地钢质管道阴极保护参数测试方法》SY/T 0023 的规定进行。

8.0.2 系统参数测试包括以下项目：

1 沿线土壤电阻率；

2 管道自然电位；

3 辅助阳极区的土壤电阻率；

4 辅助阳极接地电阻；

5 覆盖层电阻（可结合阴极保护调试）。

8.0.3 应对管道电绝缘装置（套管绝缘支撑、绝缘接头、支架等）的绝缘性能进行检测。

8.0.4 阴极保护系统调试应包括以下项目：

1 仪器输出电流、电压；

2 管道电流；

3 保护电位。