

ICS 75.200;25.220.19

E 16 A 29

备案号:6861—2000

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

P

SY/T 0036—2000

埋地钢质管道强制电流阴极 保护设计规范

**Design specification of impressed current
cathodic protection for buried steel pipeline**

2000 - 03 - 10 发布

2000 - 10 - 01 实施

国家石油和化学工业局 发布

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
3.1	设计原则	4
3.2	应用技术条件	4
3.3	阴极保护准则	5
3.4	其他	6
4	工艺计算	7
5	电源设备	11
6	辅助阳极	13
6.1	常用阳极	13
6.2	辅助阳极设计	15
7	管道阴极保护附属设施	17
7.1	测试桩	17
7.2	埋地型参比电极	17
7.3	导线敷设	19
8	系统调试	20
	标准用词和用语说明	21
	附件 埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范 条文说明	23

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

Design specification of impressed current
cathodic protection for buried steel pipeline

SY/T 0036—2000

主编单位：中国石油天然气管道勘察设计院

参编单位：江汉石油管理局勘察设计院

批准部门：国家石油和化学工业局

石油工业出版社

2000 北京

国家石油和化学工业局文件

国石化政发（2000）84 号

关于批准《石油天然气工业用 190 系列柴油机》等 56 项石油天然气行业标准的通知

中国石油天然气集团公司：

你公司报批的《石油天然气工业用 190 系列柴油机》等 56 项石油天然气行业标准草案，业经我局批准，现予发布。标准名称、编号为：

推荐性标准

- | | |
|----------------|---|
| SY/T 5030—2000 | 石油天然气工业用 190 系列柴油机
(代替 SY 5030—93) |
| SY/T 5044—2000 | 游梁式抽油机
(代替 SY 5044—93) |
| SY/T 5068—2000 | 钻修井用打捞筒
(代替 SY 5068—91、SY/T 5151—93、
SY/T 5196—1995、SY 5438.1—92、
SY/T 5959—94、SY/T 6116—94) |
| SY/T 5069—2000 | 钻修井用打捞矛
(代替 SY/T 5133—93、SY 5284—91、
SY/T 5197—1995、SY 5438.2—92、
SY 5069—91) |

- SY/T 5110—2000 套管刮削器
(代替 SY/T 5110—93)
- SY/T 5147—2000 磁力打捞器
(代替 SY 5147—93)
- SY/T 5249—2000 地面液压驱动可控震源车
(代替 SY 5249—91)
- SY/T 5288—2000 钻采提升设备主要连接尺寸
(代替 SY 5288—91)
- SY/T 5320—2000 JZ 系列指重表
(代替 SY/T 5320—93)
- SY/T 5368—2000 岩石薄片鉴定
(代替 SY/T 5368.1—89、
SY/T 5368.2—1995、SY/T 5368.3—89、
SY/T 5368.4—89、SY/T 5368.5—1995)
- SY/T 5400.1—2000 石油钻修井用动力钳 第 1 部分：钻杆钳
(代替 SY 5399—91)
- SY/T 5400.2—2000 石油钻修井用动力钳 第 2 部分：套管钳
(代替 SY 5400—91)
- SY/T 5429—2000 小直径流量含水测试仪
(代替 SY/T 5429—91)
- SY/T 5915—2000 孢粉分析鉴定
(代替 SY/T 5126—86、SY/T 5915—94、
SY/T 5245—91)
- SY/T 6012—2000 滩海试油作业规程
(代替 SY/T 6012—94)

SY/T 6013—2000	常规试油资料录取规范 (代替 SY/T 6013—94、SY/T 5709—95)
SY/T 6438—2000	油气探井录井资料质量控制规范
SY/T 6439—2000	石油地质实验室样品管理及保存规范
SY/T 6446—2000	油气井射孔弹检验用质量控制靶制作规范
SY/T 6447—2000	油气井聚能射孔弹产品标识
SY/T 6448—2000	核磁共振成像测井原始资料质量规范
SY/T 6449—2000	固井质量检测仪刻度及评价方法
SY/T 6451—2000	探井测井处理解释技术规范
SY/T 6452—2000	岩心油水相对渗透率测定仪
SY/T 6453—2000	水泥浆高温高压失水测定仪
SY/T 6454—2000	数控射孔取心仪
SY/T 6462—2000	油田用注聚合物泵
SY/T 6469—2000	原油管道加降凝剂输送工艺技术规范
SY/T 6470—2000	输油气管道通用阀门操作、维护、检修 规程
SY/T 5046.1—2000	地震检波器 第1部分：动圈式检波器 (代替 SY/T 5046.1—1996)
SY/T 5181—2000	裸眼井砾石充填防砂推荐作法 (代替 SY/T 5181—87)
SY/T 5183—2000	油井防砂效果评价方法 (代替 SY/T 5183—87)

- SY/T 5267—2000 油田原油损耗的测定
(代替 SY/T 5267—91)
- SY/T 5273—2000 油田采出水用缓蚀剂性能评价方法
(代替 SY 5273—91)
- SY/T 5277—2000 油田堵水剂分类及代号编制方法
(代替 SY 5277—91)
- SY/T 5280—2000 原油破乳剂通用技术条件
(代替 SY/T 5280—91)
- SY/T 5281—2000 原油破乳剂使用性能检测方法 (瓶试法)
(代替 SY/T 5281—91)
- SY/T 5289—2000 油井压裂效果评价方法
(代替 SY/T 5289—91)
- SY/T 5338—2000 加固井壁防砂工艺推荐作法
(代替 SY/T 5338—88)
- SY/T 5339—2000 人工井壁防砂推荐作法
(代替 SY/T 5339—88)
- SY/T 5340—2000 油井套管内砾石充填防砂工艺方法
(代替 SY/T 5340—88)
- SY/T 5435—2000 定向井轨道设计与轨迹绘图
(代替 SY/T 5435—92、SY/T 5949—94)
- SY/T 5465—2000 生产井产出剖面测井作业规程
(代替 SY/T 5465—92)
- SY/T 5496—2000 震击器及加速器
(代替 SY/T 5496—92、SY 5082—91、
SY 5054—91、SY 5055—85、
SY 5086—85、SY 5213—87、
SY 5425—91)

SY/T 5518—2000	石油天然气井位测量规范 (代替 SY 5518—92)
SY/T 5537—2000	原油管道运行技术规范 (代替 SY/T 5537—92)
SY/T 5618—2000	套管用浮箍、浮鞋 (代替 SY/T 5618—93)
SY/T 5921—2000	立式圆筒形钢制焊接原油罐修理规程 (代替 SY/T 5921—94)
SY/T 5933—2000	地震反射层地震地质层位代号确定原则 (代替 SY/T 5933—94)
SY/T 6450—2000	气举阀的修理、测试和调定推荐作法
SY/T 6463—2000	采气工程方案设计编写规范
SY/T 6464—2000	水平井完井工艺技术要求
SY/T 6465—2000	泡沫排水采气用起泡剂评价方法
SY/T 6472—2000	油田生产主要能耗定额的分类编制方法
SY/T 6473—2000	石油企业节能技措项目经济效益评价方法
SY/T 0036—2000	埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范 (代替 SYJ 36—89)

以上标准自 2000 年 10 月 1 日起实施。

国家石油和化学工业局
2000 年 3 月 10 日

前 言

根据原中国石油天然气总公司〔98〕中油技监字第 33 号文《关于下达一九九八年石油天然气工业国家标准行业标准制修订项目计划的通知》，《埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范》SYJ 36—89 的修订工作由中国石油天然气管道勘察设计院负责主编，由江汉石油管理局勘察设计院参加编写。

本次修订按照原标准编制的分工，“辅助阳极”一章仍由江汉石油管理局勘察设计院负责，其余各章由中国石油天然气管道勘察设计院负责。

本次修订是在广泛征求设计单位及相关单位的意见，并在总结了近十年来的实践经验和科技发展基础上进行的，本修订版本除保留了原规范行之有效的内容外，还参照国外技术标准补充了新的内容。

本次修订增加了“术语”、“系统调试”，对“保护准则”、“最大保护电位”和“保护电流密度”作了较大修改。

本规范由中国石油天然气集团公司提出，由中国石油天然气集团公司规划设计总院归口。

本规范由中国石油天然气管道勘察设计院负责解释。

本规范从生效之日起，同时代替 SYJ 36—89。

本规范于 1990 年 6 月首次发布，本次为第 1 次修订。

主编单位：中国石油天然气管道勘察设计院。

参编单位：江汉石油管理局勘察设计院。

主要起草人 胡士信 徐 快 贾恒耀

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，制订本规范。

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 0.3m。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 -850mV （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 -850mV 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 100mV 。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 -950mV 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	-1.50V
煤焦油瓷漆	-3.0V
环氧粉末	-2.0V

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 25m^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： $\pm 0.55\text{V}$ ；
- 2 最小保护电位： -0.85V ；
- 3 最大保护电位： -1.25V ；
- 4 覆盖层电阻：
 - 1) 石油沥青、煤焦油瓷漆： $10\,000\Omega\cdot\text{m}^2$ ；
 - 2) 塑料覆盖层： $50\,000\Omega\cdot\text{m}^2$ ；
 - 3) 环氧粉末： $50\,000\Omega\cdot\text{m}^2$ ；
 - 4) 三层复合结构： $100\,000\Omega\cdot\text{m}^2$ ；
 - 5) 环氧煤沥青： $5\,000\Omega\cdot\text{m}^2$ ；

5 钢管电阻率：

低碳钢 (20°)	$0.135\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$
16Mn 钢	$0.224\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$
高强度钢	$0.166\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$

6 保护电流密度应根据覆盖层电阻选取：

在 $5\,000\sim 10\,000\Omega\cdot\text{m}^2$ 时	取 $100\sim 50\mu\text{A}/\text{m}^2$
在 $>10\,000\sim 50\,000\Omega\cdot\text{m}^2$ 时	取 $<50\sim 10\mu\text{A}/\text{m}^2$
在 $>50\,000\Omega\cdot\text{m}^2$ 时	取 $<10\mu\text{A}/\text{m}^2$

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護长度可按式 (4.0.4) 计算：

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

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

式中 L ——单侧保护长度 (m);
 ΔV_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/m²);
 R ——单位长度管道纵向电阻 (Ω/m);
 ρ_T ——钢管电阻率 (Ω·mm²/m);
 D' ——管道外径 (mm);
 δ ——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:

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

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:

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

2 深埋式阳极接地电阻的计算:

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

3 单支水平式阳极接地电阻的计算:

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

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）；
 ρ ——阳极区的土壤电阻率（ $\Omega \cdot m$ ）。

4 阳极组接地电阻的计算：

$$R_g = F \cdot \frac{R_v}{n} \quad (4.0.6 - 4)$$

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 ）。

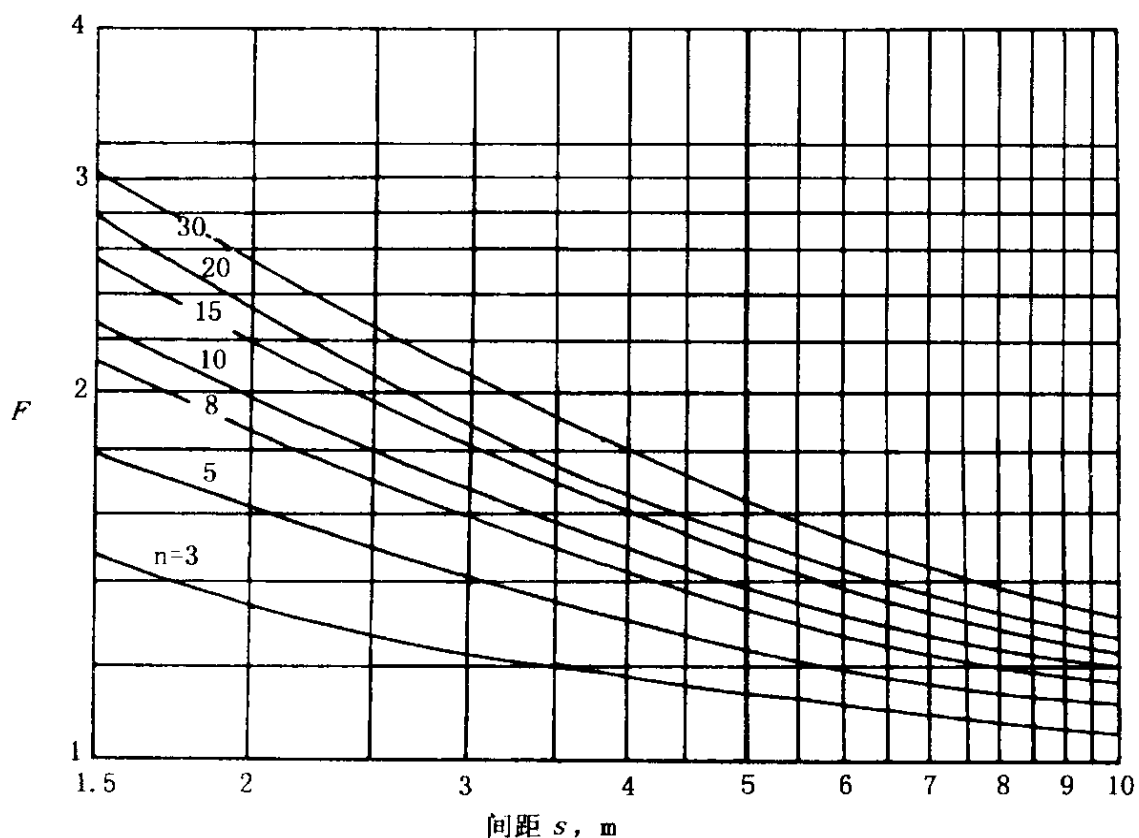


图 4.0.6 阳极组接地电阻修正系数

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：

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

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。

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:

$$P = \frac{IV}{\eta} \quad (4.0.8-1)$$

$$V = I(R_a + R_L + R_C) + V_r \quad (4.0.8-2)$$

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

$$\alpha = \sqrt{\frac{r_T}{R_T}} \quad (4.0.8-4)$$

$$I = 2I_0 \quad (4.0.8-5)$$

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);
 α ——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 ($\Omega \cdot \text{m}$);
 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 $V_r = 2\text{V}$;
 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);
 η ——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用设备。

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 250W 时，可选用太阳能电池；

当风力资源丰富，负载功率在 200W～55kW 时，可选用风力发电机；

对于输气管道，负载功率在 10～500W 时，可选用热电发生器（TEG）；

对于输气管道，负载功率在 100W～4kW 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~ -3.000V（连续可调）；
- 2 电位控制精度： $\leq \pm 10\text{mV}$ ；
- 3 输入阻抗： $\geq 1\text{M}\Omega$ ；
- 4 绝缘电阻： $> 2\text{M}\Omega$ （电源进线对地）；
- 5 抗交流干扰能力： $\geq 12\text{V}$ ；
- 6 耐电压： $\geq 1500\text{V}$ （电源线对机壳）；
- 7 满载纹波系数：单相 $\leq 10\%$ ，三相 $\leq 8\%$ 。

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 $5\sim 80\text{A}/\text{m}^2$ ，消耗率应小于 $0.5\text{kg}/(\text{A}\cdot\text{a})$ 。

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	
	直径 (mm)	长度 (mm)	截面积 (mm^2)	长度 (mm)
1	50	1500	10	≥1500
2	75	1500	10	≥1500
3	100	1500	10	≥1500

4 阳极引出线与阳极的接触电阻应小于 0.01Ω ，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 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	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	1000	10	≥1500
2	100	1450	10	≥1500
3	150	1450	10	≥1500

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 16mm^2 ，阳极外径为 13mm 。

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 $8\sim 10\text{kg}/(\text{A}\cdot\text{a})$ 。

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 $50\Omega\cdot\text{m}$ 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 50m 。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；对良好覆盖层的管道可同沟敷设，最近距离为 0.3m 。

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 1m ；深埋阳极埋深宜为 $15\sim 300\text{m}$ 。
- 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 15mm，填充料厚度一般为 100mm。当采用柔性阳极时，填充料的最大粒径宜小于 3.2mm，填充料厚度为 45mm。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 5V/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 5~10mm 左右的砾石或粗砂，砾石层宜加厚至地面以下 500mm 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，汇流点及每公里处设一支；
- 2 电流测试桩，每 5~8km 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 1.5m 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 $\pm 30\text{mV}$ ；硫酸铜电极不大于 $\pm 10\text{mV}$ 。工作电流密度不大于 $5\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。

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。电极填料应符合国家现行标准《埋地钢质管道牺牲阳极阴极保护设计规范》SY/T 0019 的规定。

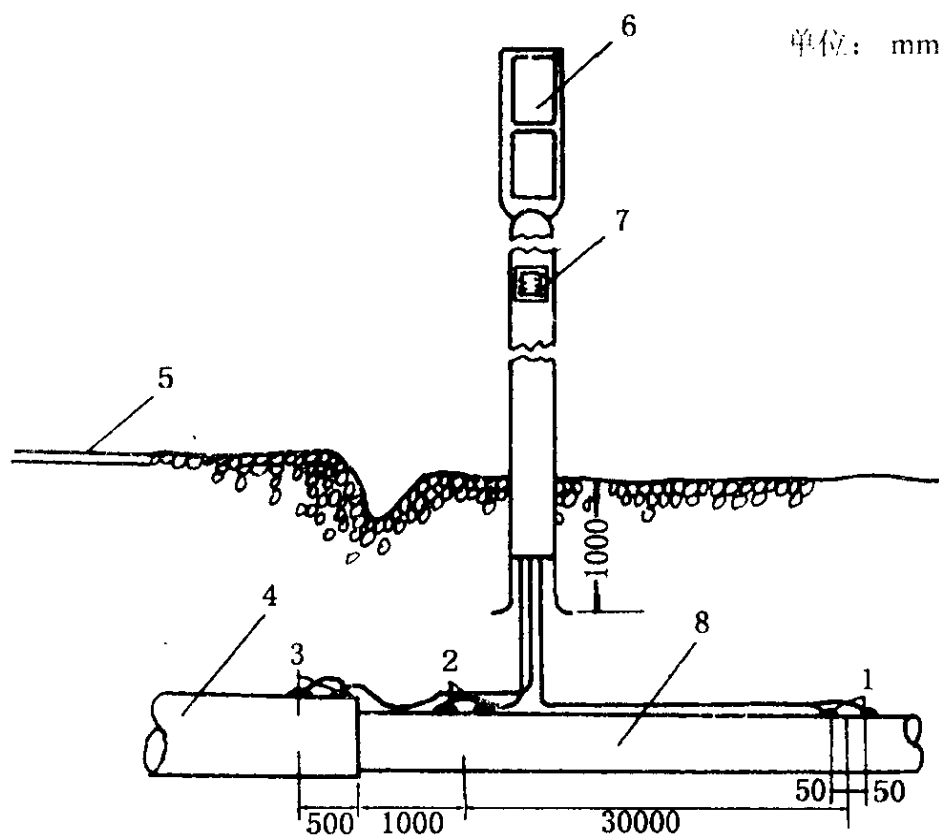


图 7.1.4 测试桩示意图

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

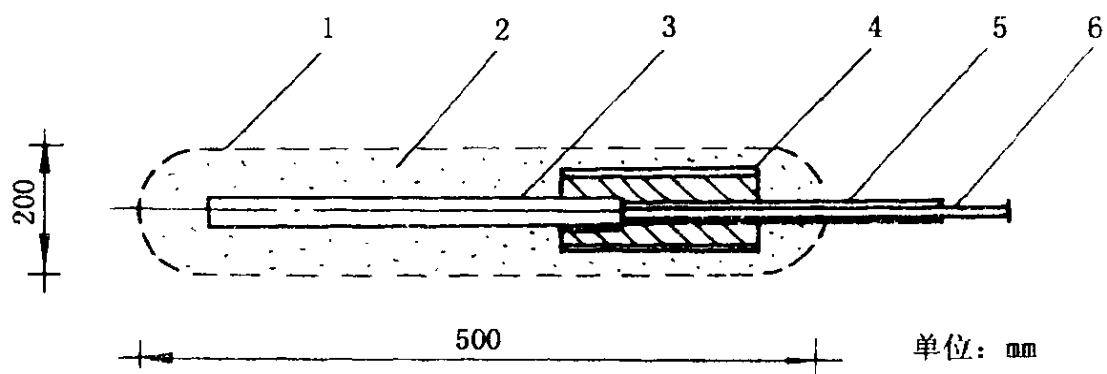


图 7.2.2 埋地型锌参比电极示意图

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

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-1kV 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 30d 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。

标准用词和用语说明

为便于在执行本规范条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

附件

埋地钢质管道强制电流阴极 保护设计规范

条文说明

修 订 说 明

根据原中国石油天然气总公司〔98〕中油技监字第 33 号文下达的任务，对《埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范》SYJ 36—89 进行修订。按照原规范的分工，“辅助阳极”一章仍由江汉石油管理局勘察设计院负责，其余各章由中国石油天然气管道勘察设计院负责。

修订过程中，依据近 10 年来国内外强制电流阴极保护技术的实践和发展，参照了国外最新技术标准，并广泛征求了各石油企业设计和管理单位对原标准的修改意见。本次修订增加了“术语”、“系统调试”，对“保护准则”、“最大保护电位”和“保护电流密度”作了较大修改。

为便于广大设计、施工、科研、学校等有关人员在使用本规范时能正确理解和执行本规范条文的规定，本规范修订组根据编制标准、规范条文说明的统一规定，按本规范的章、节、条的顺序，编制了本条文说明，供本规范使用者参考。在使用中，如果发现本条文说明中有欠妥之处，请将意见函寄中国石油天然气管道勘察设计院总工办（地址：河北省廊坊市金光道 22 号，邮编：065000）。

中国石油天然气管道勘察设计院

1999 年 3 月

目 次

1	总则	26
2	术语	27
3	基本规定	28
3.1	设计原则	28
3.2	应用技术条件	29
3.3	阴极保护准则	30
3.4	其他	31
4	工艺计算	32
5	电源设备	34
6	辅助阳极	36
6.1	常用阳极	36
6.1	辅助阳极设计	37
7	管道阴极保护附属设施	40
7.1	测试桩	40
7.2	埋地型参比电极	40
7.3	导线敷设	41
8	系统调试	42

1 总 则

1.0.1 说明编制本规范的目的。

1.0.2 指明本规范的适用范围。

1.0.3 交待了本规范和其他标准规范的关系。在石油行业已颁发的现行标准中，有些已到修订期，进行了修订，故在执行中应以新修订的规范为准。

2 术 语

本章选择了本规范专用性很强的几条术语，有助于对条文的理解。术语的解释源于《埋地钢质管道及储罐防腐蚀工程基本术语》SYJ 30。术语的内容和 ISO 标准及国家标准的解释基本一致，在审查会上对于个别词条作了修正。

3 基本规定

3.1 设计原则

3.1.1 一般强制电流阴极保护工程设计中，均以新建管道或已建管道的实际条件为基础。在参数选择、设计计算中只要与管道本身参数相符，其设计往往是成功的。但是，随着时间的迁移，管道覆盖层将逐渐老化，所需保护电流增大，保护范围缩小，如美国的一条聚乙烯胶带覆盖层管道，1958 年建设时阴极保护电流密度为 $7.5\mu\text{A}/\text{m}^2$ ，但 16 年后的 1974 年该值为 $16.9\mu\text{A}/\text{m}^2$ 。其他覆盖层更是如此，象煤焦油沥青覆盖层 12 年间其电阻由 $12468.8\Omega\cdot\text{m}^2$ 变为 $447\Omega\cdot\text{m}^2$ 。因此，设计中要考虑余量，来适应这一变化。关于余量的指标各家考虑并不统一，这里提到的 10% 余量是前版审查会上大家讨论的一致意见。

3.1.2 辅助阳极寿命是强制电流阴极保护系统的关键，某种意义上讲决定了系统的寿命。根据目前技术水平，只要选材合理，设计正确，能满足 20 年的设计寿命指标。如原西德《阴极保护简明手册》中提到，每支阳极在 1A 工作电流情况下，硅铁阳极在焦炭中工作寿命可达 430 年，石墨阳极可达 16 年。但考虑在某些条件下，钢铁阳极仍有可能是最经济的辅助阳极方案，其寿命不可能太长，故本条采用了“不宜”程度用语。

3.1.3 随着国民经济发展，埋地金属构筑物日益增多。强制电流阴极保护电流是以大地为回路的，它的流动不可避免要对附近构筑物造成干扰影响。1976 年管道设计院和邮电设计院在丰润县测出秦京管道的阴极保护对附近电缆造成了有害干扰。在新建克乌线与复线之间的测量中也测出了有害影响。这方面的文献报道很多，这就要求在强制电流设计中要考虑这一影响。不过，干

扰的因素甚多，如覆盖层电阻、土壤电阻率、电流量、两者距离、相接近的状态等，很难在设计阶段摸清，故这里仅提出了定性的警告，并提供了处理问题的标准。

3.1.4 根据电子仪器的特点，其最佳工作状态应是额定值的80%。直流电源在制造时就对输出电压、电流确定了一个最佳比值，如不匹配，其功率因素将不理想。过去，国内不少单位都强制规定了阳极接地电阻不得大于 1Ω 。在“钢管阳极时代”似乎很有必要，而且也很容易做到，但到1978年以后，辅助阳极已进入了“难溶阳极时代”了，石墨阳极、高硅铸铁阳极相继开发和应用，这一规定就显得不科学，不合理，而且也不必要。国外文献中有美国哥伦比亚气体公司建设的12组阳极地床的数据，其接地电阻小于 1Ω 的只有一组，在 $1\sim 2\Omega$ 之间的有七组，在 $3.8\sim 11\Omega$ 之间的有四组。在国内管道建设中，首次采用招标形式，由原西德PLE公司和中国石油天然气管道勘察设计院联合承包的南海石油琼深输气管道设计中，其接地电阻为 3Ω 和 10Ω 两种。辅助阳极设计寿命是主要的，接地电阻不应做硬性规定。为了合理设计，这就要求设备功率选择上与之相匹配。这一点打破了过去习惯作法，它将要求国内生产的阴极保护设备要向高电压/电流比方向做些系列化工作。一般认为 $40V/10A$ ， $40V/20A$ 可能合适。

3.2 应用技术条件

3.2.1 本条的规定是阴极保护管道的最基本条件。对于不具有纵向导电或导电不良的管道，阴极保护电流流动的阻力大，电压降大。

管道之间的连接形式一般有插接式、法兰连接式、焊接式等。除了焊接管道外，其余接头电阻较大，采用跨接电缆可改变非焊接管道的纵向导电性能。

3.2.2 国内外的实践证明，并已在标准中规定了腐蚀控制最佳方案，即覆盖层和阴极保护技术相结合的方案。对于裸管施加阴

极保护的作法，在技术上可行，但经济上是不合算的。覆盖层的种类较多，相关标准也陆续建立，为确保质量，要严格执行。

3.2.3 绝缘法兰目前已广泛使用，埋地型绝缘接头应用是从1992年开始，实践证明优于绝缘法兰。主要区别在于它可直接埋地，绝缘性能安全可靠，寿命远大于绝缘法兰。它们的功能是一样的，切断管道的纵向导电，防止电流通过。

3.2.4 采用套管的穿越形式对于管道的阴极保护作用很不利，为了防止套管内输送管道的腐蚀，防水密封十分必要；加上套管在穿越施工中覆盖层将受到破坏，有时近于裸管，在实际中受技术上的限制，施工质量难以保证，如华北地区某一管道已在套管处漏油多次，有人已开始呼吁取消套管和治理套管的影响。在此强调套管处绝缘质量是十分必要的。

3.2.5、3.2.6 这两条是管道穿跨越防止保护电流流失，减少干扰必不可少的措施。

3.3 阴极保护准则

3.3.1 随着科学技术的发展，管/地电位测量技术越来越精确，指标的定义更加科学、严密。有关阴极保护的准则，世界各国都有自己的指标，本条修订来源于 NACE RP 0169—96。

3.3.2 考虑到已建管道和环境的特殊情况，这里给出了几个专门的判断准则，主要依据来自 NACE RP 0169—96 等国外标准。

3.3.3 关于最大保护电位的确定，国内的研究较少，有些油田进行过石油沥青覆盖层的实际阴极剥离试验，较为统一的认识是 -1.7V 为有害剥离的始点，一般认为 -1.5V 为安全值，而且在已颁布的现行标准《长输管道阴极保护工程施工及验收规范》SYJ 4006 中定为 -1.5V ，故本标准也选为 -1.5V 。

煤焦油瓷漆定为 -3.0V 和环氧粉末定为 -2.0V 是 BS 7361 的指标，目前国内尚无此项数据。

3.4 其 他

3.4.1 本条对阴极保护投产时间作了限制，以减少不必要的损失，提高标准的严密性。

关于临时保护措施，国内虽然在设计中已有反映，但尚未真正实际执行。本次修订考虑了施工期间的临时保护，这是合理的。

3.4.2 设计时应应对管理中电位、电流的测试，防腐覆盖层的检漏提供方便，要为故障测试及相邻构筑物的绝缘测试提供保证。

3.4.3 阴极保护间属站内生产设施，为了工作安全，规定了仪器间与人员办公间分开并对建筑面积作了规定。

4 工艺计算

4.0.1 设计基本参数的选取是设计成败的关键。对于新建管道，本条所列参数是合适的。对于特殊条件的管道，应根据实际测量来确定参数。

4.0.2 辅助阳极的特性参数是阴极保护设计中必不可少的，它视阳极质量、工作电流密度不同而不同，第6章中将有详细指标，故本条不列具体数值。

4.0.3 土壤电阻率参数为设计计算中必不可少的，但又不能人为假设，故必须实测。

4.0.4 强制电流阴极保护的范范围计算方法较多，本式是原西德《阴极保护简明手册》中简化计算公式。与其他公式相比，本计算式计算过程简单，没有繁琐的双曲函数，其精度很可靠，完全满足设计的要求。本式计算的关键在于 J_s 和 R 两参数上。

4.0.5 系统的保护电流总量是设计的主要计算项目，它与上一条计算一样，也属简化计算方法，方法简单可行。

提醒注意，这里计算出来的电流只是正常需求值，实际值可能还要求考虑其他因素。如前苏联有关资料中提到了计算式为： $I = I_0 K_1 K_2 K_3 K_4$ ， I_0 为计算的正常需求值； I 为实际值； K_1 为构筑物埋设状态的系数； K_2 为土壤电阻率的系数； K_3 为阳极与管道距离的系数； K_4 为管径系数。每一管道均要根据本身条件，选择具体系数，这样的计算可能更符合实际，但也可能带来较大的误差，故没有推荐。

4.0.6 阳极接地电阻的计算取决于阳极埋设深度和埋置的方式，各种文献计算方法大致相同，这里要说明的是阳极的尺寸应把填料包含进去，否则数据偏大。

4.0.7 阳极质量计算公式属常规计算式，在选取 g 时，要有充

分的依据，否则将会造成数十倍的误差。

g 值取决于阳极质量，如高硅铸铁阳极的含 Si 量，使用环境中的 Cl^- 含量等，对于石墨阳极是否浸渍树脂等。它的工作参数也是极关键的，如超过阳极本身的允许工作电流密度，阳极的消耗率也会崩溃式的加大。希望设计人员选择合理的阳极产品和它的工作参数。

4.0.8 电源功率属常规电工计算。在本次修订时，四川石油管理局勘察设计研究院提出，在不同负载效率下电源效率亦不同。条文中给出的电源效率 0.7 应是满载情况下的数值。

5 电源设备

5.0.1 根据我国的国情，交流电源还是最经济的，因此凡是有交流电网的地区，都应以交流电源为阴极保护的最佳方案。不过，有些交流电源可靠性较差，如当前的农用供电线路经常停电，这种电源作为阴极保护用电显然不合适，应采取适当的备用电源。

5.0.2 对于无市电地区，可作阴极保护电源的种类多种多样，其经济性是主要考虑因素，技术上都是可行的，可靠性取决于产品的质量。太阳能电池和风力发电机还要考虑气候条件。随着科学进步，对于各种电源的认识应不断的修正。

本次修订参考了 ITU（国际电讯协会）和 CCITT（国际电报电话咨询委员会）1985 年关于《远程通讯系统电源的主要种类》的推荐方案，结合油气管道的特点，作了推荐。在实际应用时，要对技术上可靠性和经济上合理性加以比较选用。

5.0.3 直流电源是强制电流阴极保护系统的核心，它的可靠性也就是保护的可靠性，本条是直流电源的基本要求。

5.0.4 恒电位仪是自动控制的整流器，自 70 年代以来国内发展很快，几乎占领了埋地管道、电缆阴极保护的整个领域。在类型上已从晶体管式发展到可控硅式，近几年又重新开发了磁饱和式。在控制精度上有 $\pm 20\text{mV}$ ， $\pm 10\text{mV}$ 和 $\pm 5\text{mV}$ 不等。目前，各家又开发了微机控制式，冠之以“智能型”，还有向高精尖发展的趋势，是喜是忧认识尚难统一。实践证明，智能的必要性不大，它的故障率太大，严重影响了恒电位仪的正常工作。

在国外，恒电位仪主要用于排流、船舶、码头，所需保护电流变化幅度大、变化较频繁的地方。埋地管道的保护电流虽然随季节有所变化，但变化很小，且很慢（以月为周期），故多用整

流器，如英国 BS 标准的观点和原西德 PLE 公司的要求。

表 1 恒电位仪和整流器的比较

对比项目	整流器	恒电位仪
制造、电原理	简单	复杂
环境适应性	强	差
可靠性	高	视产品质量，大多数不高
调节次数	较频繁	较少
检修、维护	简单	复杂
价格	低	高

5.0.5 对阴极保护用电源并无特殊的要求，一般的整流器也可用于阴极保护上，本条只是从阴极保护所需直流电源的特点，长期连续、平滑、安全、可靠为出发点，对整流器的制造提出的技术条件。

5.0.6 整流器装置结构简单，耐气候性强，国外在户外使用均为此型。本条要求按照 BS 7361 提出，对国内不但适用，而且也有了这种产品。

5.0.7 根据企业标准《KKG—3 系列可控硅恒电位仪》Q/SJ 332—80，决定了恒电位仪的检验标准及其工作技术性能，其技术性能指标参考了 Q/SJ 332—80 和《船用恒电位仪技术条件》CB 3220—84，均为基本要求。本次修订，根据电子产品的统一技术要求，对一些参数作了修正。

5.0.8 三防处理对于电子仪器很重要，这对于在海洋大气、工业大气及潮湿环境下工作的仪器尤为重要。在 1976 年鲁宁输油管道建设期间，由于建设周期长，恒电位仪放在仓库里。当使用时，打开箱子检查时，发现所有印刷电路板满是锈斑，严重影响使用，精度大大降低了。

6 辅助阳极

6.1 常用阳极

6.1.1 本条规定了高硅铸铁阳极的化学成分、性能及其规格。

高硅铸铁阳极的化学成分对阳极的性能起关键作用，特别是硅的含量直接影响阳极的耐腐蚀性和机械性能，硅含量增加，耐腐蚀性提高，但脆性也增加。这次按 BS 1591 标准修改了硅的含量。

高硅铸铁阳极的允许电流密度定为 $5 \sim 80 \text{ A/m}^2$ 。这是因为这种阳极耐蚀性强，电流密度太小，经济效果差，电流密度过大又会使消耗率急剧增加。本规范中提出的数值参考了国内外有关资料，见表 2。

表 2 阳极电流密度与消耗率的关系

电流密度 (A/m^2)	消耗率 [$\text{kg}/(\text{A}\cdot\text{a})$]	资料来源
50 ~ 300	0.5	水工钢闸门防腐蚀
5	0.15 ~ 0.5	华北油田设计院译文资料，1981 年
5 ~ 80	0.1 ~ 1.0	中川防蚀工业株式会社
50	0.1 ~ 0.3	日本防锈技术手册
80	0.18	江汉石油管理局勘察设计院
50 ~ 300	0.5	上海防蚀中心讲座资料
50 ~ 300	0.2 ~ 0.5	金属电化学和缓蚀剂技术

这次修订将阳极引出导线的截面改为 10mm^2 ，因为对于任何型号的高硅铸铁阳极，无论是机械强度还是允许的电流密度，

10mm² 的导线都足够了。

阳极与引出导线接头的质量要求是保证该阳极获得充分使用的关键。其数值是根据工程实际提出来的，工程中一组阳极的支数一般都在 10 支以上，又是并联连接，所以 10 个接头并联后的总电阻小于 0.001Ω，这对阳极系统电阻来讲影响是很小的。

6.1.2 本条规定了石墨阳极的技术要求、性能和规格。该材料一般要求经亚麻油或石蜡浸渍。浸渍后的阳极表面电化学活性降低，孔隙中发生反应的可能性减少，从而使阳极的使用寿命延长约 50%。

石墨阳极的常用规格，这次修订将阳极引出导线截面改为 10mm²。

6.1.3 本条规定了柔性阳极的主要性能和规格。

6.1.4 本条给出了几种常用的钢铁阳极材料和钢铁阳极消耗率。

钢铁阳极简单易行，曾获得广泛应用，但由于消耗率高，使用时间短，近年来已渐少用，只在高电阻率地区或小电流、短时间应用的情况下还有一定的使用价值。

6.2 辅助阳极设计

6.2.1 本条为阳极地床位置选择的一般要求。

1，2 款要求主要是为获得较小接地电阻。因为强制电流阴极保护属低电压大电流系统，希望辅助阳极的接地电阻越小越好，这样可节省电力。相同阳极结构和数量，在低电阻率地区易获得较小的接地电阻；在相同接地电阻情况下，低电阻率地区可减少阳极消耗，降低成本。

3 款要求是为便于施工安装。

4 款主要考虑的是辅助阳极的埋设位置应对周围未实施阴极保护的地下金属构筑物的干扰最小。

5 款将阳极位置与管道的垂直距离改为不宜小于 50m，因为只要覆盖层质量优异，50m 的距离足够了。象陕京管线就是采用 50m 距离，一站保护距离可达 200km 以上。由于柔性阳极是沿

管线整个长度平行敷设，所以即使安装在管道很近的范围内，亦可达到满意的保护效果。西部库鄯管道采用了柔性阳极效果很好。

6.2.2 本条规定了阳极选用的一般原则。

1 款是指在一般土壤中高硅铸铁阳极、石墨阳极、钢铁阳极均可采用。但目前实际工程设计中多采用高硅铸铁阳极，石墨阳极、钢铁阳极应用较少。

2 款给出了优选含铬高硅铸铁阳极的环境。土壤中氯离子或硫酸根离子含量大时，阳极是在 pH 值低并含有强氧化剂和腐蚀性气体的环境中使用。又由于土壤中离子扩散慢，气体排放迟缓，可使阳极破坏加剧。NACE 加拿大 1982 年 2 月西部地区会议报告“强制电流系统用阳极的比较”中指出，土壤中含有 $1.9 \times 10^4 \text{mg/L}$ 氯离子或 $2 \times 10^4 \text{mg/L}$ 硫酸根离子时，含铬高硅铸铁比普通高硅铸铁要好。所以，本条所述环境中推荐采用含铬高硅铸铁阳极。

3 款只推荐在高土壤电阻率使用钢铁阳极，以降低阳极接地电阻。因为钢铁阳极消耗率高，使用寿命短，其他环境已少采用。

4 款给出了柔性阳极的应用环境。柔性阳极通常是沿管道平行敷设，且距被保护管道较近，它可避免对附近地下金属构筑物产生干扰；对覆盖层破损严重，甚至无覆盖层的管道也可确保阴极保护电流均匀分布。

6.2.3 本条是对阳极埋设方式及选用的一般要求。

由于土壤冻结后，阳极接地电阻会有较大增加，所以要求浅埋阳极在冻土层以下，以获得稳定的接地电阻。

当尺寸相同时，立式埋设阳极接地电阻较水平式小，全年接地电阻变化较小，所以通常多采用立式阳极埋设。但在不易开挖的位置采用水平式埋设较立式方便，易施工。条件允许的情况下应采用浅埋方式，因为浅埋容易施工、费用低，便于检查、维修、更换阳极。由于深埋阳极造价高，不易施工、维修，只有在

十分必要的情况下，才可采用深埋阳极。

6.2.4 本条规定了阳极地床使用环境填充料的一般要求。

阳极填充料首先必须是导电体，以保证阳极与土壤之间有良好的导电性，其次是成本低、来源广、耐蚀性好。焦炭粒、石油焦炭粒具备其两项条件，是常用的填充料。

阳极填充料具有增大阳极尺寸，减小接地电阻，将阳极表面的阳极反应转移到填充料上，减少阳极本身的消耗，延长使用寿命的作用；还可以消除气阻，使阳极正常工作，这条对石墨阳极尤为重要，因石墨阳极的电极反应会产生大量的 CO 和 CO₂ 气体，所以强调石墨阳极应加填充料。为了减少接地电阻，使阳极表面腐蚀均匀，高硅铸铁阳极、柔性阳极均宜加填充料，只是在一些特殊环境中可不加填充料。

为了保证填充层的密实性、与阳极表面接触良好及填充料的使用效果，对焦炭的最大粒径、焦炭的含碳量、填充料厚度均作了相应的要求。

6.2.5 本条从人畜安全角度规定了辅助阳极地电场的电位梯度不应大于 5V/m。

为了保证阳极反应产生的气体顺利逸出地面，要求在填充料顶部填放 5~10mm 粒径的砾石或粗砂或安装排气管。

为确保导线的强度和阳极地床的使用寿命，要求引出导线和并联母线应采用导电、绝缘性能优良的铜芯电缆。

为了便于辅助阳极的测试、检查和维修，阳极的并联母线与直流电源输出阳极导线可通过接线箱连接。

本规范所述对象为埋地管道，由于管道埋设条件有时存在含油污水、盐水或淡水的河沟、渠道、池塘，而这些存水条件又是阳极区的最佳位置，故本条提出电缆应适合于水中敷设。

7 管道阴极保护附属设施

7.1 测试桩

7.1.1 测试桩是检验阴极保护效果的重要装置。它可起到检测阴极保护电位、电流、电绝缘性能、故障短路，设置是否合理，对于将来系统的管理维护起重要作用。过去，国内只设置电位测试桩，而且结构简单，有的就是一根钢筋，与当代技术很不相称，故本规范参照国外的技术对测试桩的设置原则提出了规定。

为了减少管道标桩，测试桩可以兼作里程桩。对于一条长输管道，作到两桩合一应是很容易作到的。

7.1.2 这条是为了统一的需要，长输管道实际也是这么作的。

7.1.3 管内电流的测试一般是根据欧姆定律来进行的，测量段通常选 30m。然而由于管材的差别，厚度和长度的误差将会给测量引入误差。为了更加精确地测量，就需要用四极法实际标定电阻值，标定后的电阻值就会与材料电阻率、实际尺寸误差无关了。一般标定工作一次就行了，最好由管理单位进行。

7.1.4 目前国内各家测试桩结构不一致，本规范的目的在于统一，但统一又因某些原因难以作到，故本规定推荐一个桩的形式，凡是有条件的应尽量向本规范靠近。本测试桩源于西欧，特点是桩的结构合理、标志醒目、测试方便。

不过有些业主考虑到人为的破坏因素，不愿使用钢管桩，故本规范不排除使用其他材质测试桩的可能性。

7.2 埋地型参比电极

7.2.1 参比电极的基本要求是极化小，稳定性好，对于可埋地使用的锌参比电极、硫酸铜电极来说稳定性能都不错。在海水中 Zn 电极稳定性为 $\pm 15\text{mV}$ ， Cu/CuSO_4 为 $\pm 3\text{mV}$ ，参照国家标准

《船用参比电极技术条件》GB/T 7387 的极化性能，提出了土壤中电极稳定性指标。Cu/CuSO₄ 电极工作电流密度，Shreir 在《Corrosion》中指出不大于 20μA/cm²。本规范选用了现行标准中的指标，其安全系数很大。

关于锌参比电极在土壤中的应用，英国标准 BS 7361 不推荐，四川石油管理局勘察设计研究院也提出了“去掉”的意见。在有些场合，单用硫酸铜电极因易碎往往可靠性差些，国外多选用双参比式。美国 NACE 标准中，一直推荐使用锌参比（RP 0193、RP 0196），而且《Material Performance》杂志常报道双参比的数据。因此，本次修订保留了锌参比电极。

7.2.2 锌参比电极的应用方法如同牺牲阳极，对电极材料的要求是参照 ASTM B418 标准确定的。

7.2.3 参比电极埋设位置是设计时应注意的。对于非热传导的管道，则离管道越近越好，因两者间的 IR 降误差最小。但是，对于热油管道，离管道太近，热力场可能造成土壤干燥，增大电极接地电阻，使电极中电解液干涸，对于锌电极还会造成电极电位的逆转（严重的钝化）而失灵。这一点应特别注意。

7.3 导线敷设

7.3.1 强制电流阴极保护系统的连接导线主要有阴阳极连接导线、均压线、参比电极连线和测试桩导线；从敷设形式上有架空式和埋地式两种。按电力部门有关法规，埋地应采用 VV 型电缆；对于阴极保护导线没有地面构筑物压载，故可选用 VV 型电缆；测试导线可选用铜芯塑料线，即 BVV 型和 BVR 型，架空线通常均采用钢芯铝绞线。

7.3.2 本条所列是电缆敷设和架空线安装的基本要求。

7.3.3 电缆与管道的连接，应采用焊接方式。但焊接需要热量，对于高强度钢管要考虑电焊热量所造成的热影响区的潜在危险，目前国内外广泛使用了铝热焊法。本条内容参照了 NACE RP 0169 和 ANSI B31.8。

8 系统调试

8.0.1~8.0.4 本章所列 4 条是从设计角度对强制电流阴极保护系统运行和管理的最低要求，这里提醒业主，在强制电流阴极保护系统投产时要有一个系统调试过程，它对今后处理故障，分析问题很有帮助。