ICS 27.100
F 20
备案号：J724—2007

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5394 — 2007

电力工程地下金属构筑物防腐技术导则

Guidelines for anticorrosion of underground steel structure in power project

2007-07-20发布　　2007-12-01实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会　发布

目　次

前言 …… III
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 2
3　术语与定义 …… 3
4　一般规定 …… 6
5　腐蚀评价 …… 8
5.1　环境腐蚀评价 …… 8
5.2　管体腐蚀损伤评价 …… 10
5.3　接地网的腐蚀评价 …… 11
6　电力工程埋地钢管防腐 …… 13
6.1　一般规定 …… 13
6.2　埋地钢管表面处理 …… 13
6.3　涂层防腐 …… 15
6.4　阴极保护 …… 21
6.5　干扰腐蚀的防护 …… 25
6.6　管道防腐系统的运行与管理 …… 28
7　电力工程接地网的防腐 …… 30
7.1　一般规定 …… 30
7.2　防腐蚀方法 …… 30
7.3　接地网阴极保护 …… 31
7.4　牺牲阳极阴极保护 …… 31
7.5　外加电流阴极保护 …… 32
7.6　测试桩和参比电极 …… 33
7.7　验收 …… 33
7.8　阴极保护运行和管理 …… 34

附录 A（规范性附录）　除锈质量等级标准 ……35
附录 B（资料性附录）　涂料和涂层性能测定方法……36
附录 C（资料性附录）　牺牲阳极阴极保护计算……37
附录 D（资料性附录）　外加电流阴极保护计算 ……41
条文说明 ……43

前　言

本标准是根据《国家发展和改革委办公厅关于印发2005年行业标准项目计划的通知》（发改办工业［2005］739号）要求编写的。

在电力工程的厂区地下埋有较多的金属构筑物，由于土质情况复杂，地下金属构筑物存在腐蚀问题，有的工程地下金属构筑物腐蚀相当严重。但国内尚无电力工程地下金属构筑物的防腐设计、施工、运行管理等技术规程可依，为此编制地下金属构筑物防腐技术导则是必要的。

本标准的附录A是规范性附录。

本标准的附录B、附录C、附录D是资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电力规划设计标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：中国电力工程顾问集团中南电力设计院、中国电力工程顾问集团公司。

本标准参加起草单位：中国船舶重工集团公司第七二五研究所、海洋化工研究院。

本标准主要起草人：程泽和、郎润华、吴建华、刘登良、周才洋、李淑芳、尚雄斌、高玉柱、于　杰、郑付明、王廷勇、徐云海、舒之清、雍翠萍、钱叶苗、肖继峰、张良成、丁家智。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市白广路二条一号，100761）。

1 范　　围

本标准规定了电力工程地下金属构筑物防腐的技术要求。

本标准适用于发电厂、交流变电站的埋地钢管、接地网防腐蚀工程的设计、施工、验收和管理，其他地下金属构筑物防腐可以参考采用。

2 规范性引用文件

下列标准中的有关条文通过本规程的引用而构成本规程的条文，本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GBZ1 工业企业设计卫生标准

GBJ87 工业企业噪声控制设计规范

GB/T 4950 锌-铝-镉合金牺牲阳极

GB 6514 涂装作业安全规程 涂漆工艺安全及其通风净化

GB/T 7388 船用辅助阳极技术条件

GB/T 8923 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级

GB/T 17731 镁合金牺牲阳极

SY/T 0017 埋地钢质管道直流排流保护技术标准

SY/T 0019 埋地钢质管道牺牲阳极阴极保护设计规范

SY/T 0023 埋地钢质管道阴极保护参数测试方法

SY/T 0032 埋地钢质管道交流排流保护技术标准

SY/T 0036 埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范

SY/T 0063 管道防腐层检漏试验方法

SY/T 0086 阴极保护管道的电绝缘标准

SY/T 0096 强制电流深井阳极地床技术规范

SY/T 0315 钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术标准

SY/T 0413 埋地钢质管道聚乙烯防腐层技术标准

SY/T 0414 钢质管道聚乙烯胶粘带防腐层技术标准

SY/T 0447 埋地钢质管道环氧煤沥青防腐层技术标准

SY/T 0516 绝缘法兰设计技术规定

SY/T 6151 钢质管道管体腐蚀损伤评价方法

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.0.1

腐蚀 corrosion

金属与环境介质间的物理—化学相互作用，其结果使金属的性能发生变化，并可导致金属、环境或由它们组成的作为部分技术体系的功能受到损伤。

3.0.2

腐蚀速率 corrosion rate

单位时间内金属遭受腐蚀的质量损耗量，常以 mm/a 或 g/（m^2 • h）表示。

3.0.3

腐蚀电位 corrosion potential

金属在给定腐蚀体系中的电极电位。

3.0.4

自腐蚀电位 self corrosion potential

没有净电流从金属表面流入或流出时的电极电位。

3.0.5

防腐层 coating

涂覆在金属构筑物及其附件表面上，使其与腐蚀环境实现物理隔离的绝缘材料层。

3.0.6

漏点 holiday

防腐层上的物理不连续点。

3.0.7

阴极保护 cathodic protection

通过降低腐蚀电位，使被保护体腐蚀速率显著减小而实现电化学保护的一种方法。

3.0.8

牺牲阳极　sacrificial anode

与被保护体耦接而形成电化学电池，并在其中呈低电位的阳极，通过阳极溶解释放负电流以对被保护体阴极保护的金属组元。

3.0.9

牺牲阳极阴极保护　cathodic protection with sacrifice

通过与作为牺牲阳极的金属组元耦接而对被保护体提供负电流以实现阴极保护的一种电化学保护方法。

3.0.10

外加电流阴极保护　impressed current cathodic protection

通过外部电源向被保护体系提供负电流以实现阴极保护的一种电化学保护方法。

3.0.11

辅助阳极　impressed current anode

在外加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。

3.0.12

参比电极　reference electrode

具有稳定可再现电位的电极，在测量被保护体电位或其他电极电位值时用于组成测量电池的电化学半电池，作为电极电位测量的参考基准。

3.0.13

极化　polarization

由于金属和电解质之间有净电流流动而导致的电极电位偏移现象。

3.0.14

阴极极化电位　cathodic polarized potential

在阴极极化条件下金属/电解质界面的电位，等于自腐蚀电位与实际极度化电位值的和。

3.0.15

保护度　degree of　cathodic protection

通过阴极保护措施实现的金属腐蚀损伤减小程度的相对百分比，是评价阴极保护效果的基本参数之一。

3.0.16

杂散电流　stray current

从规定的正常电路中流失而在非指定回路中流动的电流。

3.0.17

杂散电流腐蚀　stray-current corrosion

由杂散电流引起的金属电解腐蚀。

3.0.18

干扰　interference

由于杂散电流作用或感应电流作用等对被保护体系产生的有害影响。

3.0.19

排流保护　electrical drainage protection

用电学的或物理的方法把进入被保护体的杂散电流导出或阻止杂散电流进入管道，以防止杂散电流腐蚀的保护方法。

3.0.20

阴极保护电位　cathodic protective potential

为达到阴极保护目的，在阴极保护电流作用下使被保护体电位从自腐蚀电位负移至某个阴极极化的电位值。

3.0.21

IR 降　IR drop

在阴极保护电位回路中，与欧姆定律一致的电阻上的电压降。

4 一 般 规 定

4.0.1 电力工程地下金属构筑物应采用防腐蚀措施，其防腐年限应与电力工程设计寿命协调一致。

4.0.2 电力工程地下金属构筑物防腐措施的确定，除应考虑管道和接地网在电力工程中的重要性外，尚应考虑以下因素：

1 环境腐蚀因素

1）所处环境中介质的腐蚀性；

2）地下金属构筑物材料在土壤中的腐蚀速率；

3）相邻的地下金属构筑物状况及其相互影响；

4）对地下金属构筑物产生干扰的杂散电流源及其影响程度。

2 技术经济因素

1）地下金属构筑物的预期工作寿命及维护费用；

2）地下金属构筑物腐蚀泄露导致的直接和间接费用；

3）用于地下金属构筑物防腐蚀的工程费用。

3 环境保护因素

1）地下金属构筑物防腐蚀系统对人体健康和环境的影响；

2）地下金属构筑物埋设的地理位置、交通状况和人口密度；

3）防腐蚀系统对土壤和水环境的影响。

4 材料因素

1）钢管的材质及管径、壁厚和单位长度的重量；

2）接地材料的材质及尺寸和单位长度的重量；

3）所用套管的口径、壁厚或单位长度的重量、材质，管子与套管之间绝缘块和套管末端密封材料。

4.0.3 电力工程地下金属构筑物分布广泛，并与其他金属构筑物连接，状况较复杂，应全面统计其材质、数量，并充分考虑与之连接的其他金属构筑物的影响，采取相应的防腐措施。

4.0.4 电力工程地下金属构筑物防腐措施的确定可参比相似环境下管道与接地网防腐蚀工程实施、运行和检测的结果。

5 腐 蚀 评 价

5.1 环 境 腐 蚀 评 价

5.1.1 土壤腐蚀性评价

1 土壤腐蚀性应采用检测金属材料在土壤中的腐蚀电流密度和平均腐蚀速率判定，碳钢平均腐蚀速率与土壤腐蚀性的关系见表 5.1.1-1。

表 5.1.1-1 碳钢平均腐蚀速率与土壤腐蚀性

土壤腐蚀性	极弱	较弱	弱	中	强
腐蚀电流密度 $\mu A/cm^2$	<0.1	0.1~3	3~6	6~9	>9
平均腐蚀速率 $g/(dm^2 \cdot a)$	<1	1~3	3~5	5~7	>7

2 对于一般地区的土壤，土壤的腐蚀性应采用土壤电阻率进行判定，土壤电阻率与土壤腐蚀性的关系见表 5.1.1-2。

表 5.1.1-2 土壤电阻率与土壤腐蚀性

土壤腐蚀性	弱	中等	强
土壤电阻率 $\Omega \cdot m$	>50	20~50	<20

3 当土壤存在微生物腐蚀时，其腐蚀性应采用土壤氧化还原电位进行判定，氧化还原电位与土壤腐蚀性关系见表 5.1.1-3。

表 5.1.1-3 氧化还原电位与土壤腐蚀性

土壤腐蚀性	弱	中	较强	强
氧化还原电位 mV	>400	200~400	100~200	<100

4 土壤腐蚀性还应采用土壤 pH 值判定，土壤 pH 值与土壤腐蚀性的关系见表 5.1.1-4。

表 5.1.1-4 土壤 pH 值与土壤腐蚀性

土壤腐蚀性	弱	中	强
土壤 pH 值	6.5～8.5	4.5～6.5	<4.5

5.1.2 输送水质腐蚀性

1 海水是高腐蚀性介质，含以氯化钠为主的电介质 3.5%；江河入海口含盐量 1%～3%，pH= 8.1～8.3，表层含氧量高达 8g/l，呈典型的氧去极化电化腐蚀。

2 淡水冷却水主要来自江河、湖泊及地下水。它们的含盐量可变，0.01%～0.5%，电导率 100μs/cm～1000μs/cm，pH=6.5～7.5；冷却水经喷淋冷却循环使用后基本被氧饱和，含氧量大于 8g/l。

5.1.3 直流干扰

1 管道受到直流干扰程度判定应采用管地电位正向偏移指标或地电位梯度指标。

2 当管道任意点管地电位较自然电位正向偏移大于 20mV 或管道附近土壤的地电位梯度大于 0.5mV/m 时，可确认管道受到直流干扰。一般采用土壤表面电位梯度来评价干扰程度，具体指标见表 5.1.3-1。

表 5.1.3-1 直流干扰程度评价指标

杂散电流干扰程度	小	中	大
土壤表面电位梯度 mV/m	<0.5	0.5～5.0	>5.0

3 当管道任意点管地电位较自然电位正向偏移大于 100mV 或管道附近土壤的地电位梯度大于 2.5mV/m 时，应采取直流排流

保护或其他防护措施。

5.1.4 交流干扰

交流电对埋地管道干扰腐蚀程度，可采用管道交流电干扰电位按表 5.1.4-1 所列的指标进行判定。

表 5.1.4-1 埋地钢质管道交流电干扰判断指标

土壤类别	严重性程度（级别）		
	弱	中	强
	判断指标 V		
碱性土壤	<10	10～20	>20
中性土壤	<8	8～15	>15
酸性土壤	<6	6～10	>10

5.2 管体腐蚀损伤评价

5.2.1 管体腐蚀损伤评价应符合标准 SY/T 6151 的规定，采用最大蚀坑深度指标定性判定。管体腐蚀损伤等级评价指标应符合表 5.2.1-1 的规定。

表 5.2.1-1 管体腐蚀损伤等级评价

指 标	级 别				
	轻	中	重	严重	穿孔
最大蚀坑深度	<1mm	1mm～2mm	2mm～50%壁厚	（50%～80%）壁厚	>80%壁厚

5.2.2 钢管腐蚀速率应采用最大点腐蚀速率和穿孔年限两项指标进行评价，并应以两项指标中级别较严重者为准。钢管腐蚀速率等级评价指标应符合表 5.2.2-1 的规定。

表 5.2.2-1 管体腐蚀速率等级评价

项目	轻	中	重	严重
最大点腐蚀速率 mm/a	<0.305	0.305～0.611	0.611～2.438	>2.438
穿孔年限 a	>10	5～10	3～5	1～3

5.3 接地网的腐蚀评价

5.3.1 采用失重法评测接地网的腐蚀性，即称量待测金属样品在腐蚀介质中，被腐蚀前、后的重量（质量）差别。

失重法的计算方法见下式：

$$K = (g_0 - g_1) / S_0 t \qquad (5.3.1\text{-}1)$$

式中：

K ——为重量法腐蚀速率，g/（m^2 · h）；

g_0 ——接地网投运前金属样片的重量，g；

g_1 ——接地网投运后金属样片的重量，g；

S_0 ——接地网投运前金属样片的面积，m^2；

t ——接地网的腐蚀时间，h。

5.3.2 采用厚度法评测接地网的腐蚀性。在采用失重法评测接地网的腐蚀性的基础上，再采用厚度法评测接地网的腐蚀性，评价指标应符合表 5.3.2-1 的规定。

厚度法的计算方法见下式：

$$K_h = K \times 24 \times 365 / 1000 d = 8.76 K / d \qquad (5.3.2\text{-}1)$$

式中：

K_h ——厚度法腐蚀速率，mm/a；

K ——重量法腐蚀速率，g/（m^2 · h）；

d ——金属的密度，kg/m^3。

表 5.3.2-1 厚度法耐蚀性评价

腐蚀速率 mm/a	耐蚀性评价
≤0.05	优
0.05～0.5	良
0.5～1.5	可用
≥1.5	应采取防腐措施

6 电力工程埋地钢管防腐

6.1 一 般 规 定

6.1.1 利用海水作冷却水时，循环水埋地钢管应采用防腐涂层和阴极保护联合保护系统，同时考虑采取海水防污措施。

6.1.2 新建管道区域内的土壤电阻率小于 20Ω·m 时，埋地钢管应采用防腐涂层和阴极保护联合防腐。

6.1.3 处于干扰腐蚀地区的埋地钢管，应采取防干扰的排流保护措施。

6.1.4 考虑埋地钢管长期运行的锈蚀和制造上的误差，设计采用的钢管壁厚应比结构计算厚度大，Q235 钢应比结构计算厚度大 2mm，Q345 钢应比结构计算厚度大 1mm。

6.2 埋 地 钢 管 表 面 处 理

6.2.1 钢管在防腐处理之前，应对基体表面进行处理，清除基体表面的水分、油污、尘垢、污染物、铁锈和氧化皮，从而提高涂层的质量和使用效果。

6.2.2 钢管表面处理方法。

1 钢管表面处理的常用方法有机械除锈（包括手工除锈、动力工具除锈、高压水除锈、喷砂除锈等）和化学除锈。

2 手工除锈：用刮刀、砂布、钢丝刷、锉刀等清除钢管表面铁锈，适用于防腐要求不高的部位和现场补口的部位。

3 动力工具除锈：用动力钢丝刷、动力砂纸盘或砂轮等工具清除钢管表面铁锈，适用于清除设备毛刺、焊瘤及焊缝不平之处。

4 高压水除锈：用高压水枪喷射除锈，特别适用于涂装系统维修工作，这是一种环保、经济的新型表面处理手段。但这种方

法不能产生粗糙度，会有闪蚀产生。

5 喷砂除锈：利用 0.4MPa～0.6MPa 的压缩空气为动力，将砂子或钢丸通过喷嘴高速喷射到钢管表面。依靠高速射出砂子或钢丸的冲击和摩擦，将钢管表面的铁锈和其他的油脂、污垢、氧化皮、杂物彻底清除，以得到一个粗糙的显露出金属本色的表面。该方法除锈效率高，速度快、质量好，是表面除锈最常用的方法。

6 化学除锈。

1）酸洗除锈：应用无机酸或有机酸与钢管表面的氧化皮、铁锈进行化学反应，生成可溶性铁盐，然后将其从钢管表面清除；

2）磷化处理：用磷酸盐为主的溶液进行处理，在金属表面形成一层难溶于水的结晶型磷酸盐膜。主要目的是给钢管表面提供保护，在一定程度上防止钢管腐蚀，或用于涂装前打底，提高涂膜的附着力和防腐蚀能力。

6.2.3 钢管表面处理的等级标准。

1 钢管的表面除锈质量控制参见 GB/T 8923。

2 未涂装过的钢管表面原始锈蚀程度分四个锈蚀等级，分别以 A、B、C、D 表示：

A 级——全面的覆盖着氧化皮，几乎没有铁锈的钢铁表面；

B 级——已发生锈蚀，并且部分氧化皮已经剥落的钢铁表面；

C 级——氧化皮已因锈蚀而剥落，或者可以刮除，并且有少量点蚀的钢材表面；

D 级——氧化皮已因锈蚀而全面剥离，并且已普遍发生点蚀的钢材表面。

3 钢管表面处理质量等级要求应符合下列规定。

1）手工或动力工具除锈：金属表面处理质量等级定为两级，用 St2、St3 表示。除锈质量等级标准见附录 A.1。

2）喷射或抛射除锈：金属表面处理质量等级定为四级，用 Sa1、Sa2、Sa2.5、Sa3 表示。除锈质量等级标准见

附录 A.2。钢管表面处理最低要求应达到工业级（Sa2级），表面粗糙度值在 40μm～50μm。

3）化学除锈：金属表面处理质量等级定为一级，用 Pi 表示。

6.2.4 表面处理后涂装的时间限定。

钢管表面处理完后应尽快组织验收，验收标准按 6.2.3 条执行。经验收合格后，应尽快涂装，涂装工作必须在表面处理完后 4h 内进行。

6.3 涂 层 防 腐

6.3.1 一般规定

1 涂料性能和涂层性能。

选用涂料应具有良好的性能，同时要适宜钢管的工作环境和合理的经济性。

涂料性能是指涂料的黏度、密度、遮盖力、固体含量、流平性、干燥性。涂料在使用前，应对这几个指标进行取样测定，并出具法定检验机构提供的检验报告。涂料供货方应提供产品说明书、出厂合格证等技术资料。

涂料性能的测定参照附录 B.1 中有关标准。

涂层性能包括防腐涂层的厚度、附着力、柔韧性、耐冲击性、耐磨性、耐湿热性、耐盐雾性、耐候性。

涂层性能的测定参照附录 B.2 中有关标准。

2 所有防腐材料必须符合下列环保要求。

液体涂料的挥发性有机物（VOC）小于 400g/l，不含苯；

所有涂料不得使用含铅、汞、砷、镉的原材料；

与阴极保护配合的场合下，防腐底涂层的耐腐蚀电位大于 1V。

3 大口径埋地钢管防腐涂层可采用环氧煤沥青防腐层、改性环氧防腐涂层、环氧粉末和聚乙烯防腐层等。

4 钢管防腐涂层应符合国家现行标准的规定，且应符合一般要求，包括应具有良好的附着力、耐蚀性、抗冲击性和抗温度变化的能力。

6.3.2 防腐涂层结构设计

1 防腐涂层结构设计应考虑下列因素：

1）土壤环境和输送介质条件；

2）钢管特性（包括管径、管材及管道的重要性等因素）；

3）钢管结构预期工作寿命；

4）钢管施工环境和施工条件（施工季节、工厂涂装、现场涂装及维修保养等）；

5）现场补口条件；

6）防腐涂层及其与阴极保护相配合的经济合理性；

2 防腐涂层结构设计。

钢管防腐涂层结构等级可分为普通级、加强级和特加强级。应根据管道的工作环境及其重要性，按照本标准 5.1 和 6.1 来确定防腐涂层的结构等级。

1）钢管内壁防腐涂层

输送海水管道内壁涂层选用见表 6.3.2-1。

输送淡水管道内壁涂层选用见表 6.3.2-2。

表 6.3.2-1 输送海水管道内壁涂层选用表

涂料	涂层结构等级	防腐层结构	干膜厚度 / 涂装道数
环氧煤沥青涂料	特加强级	车间底漆（可省去）	20μm / 1 道
		防腐底漆	160μm / 2 道
		环氧云铁中间层	80μm / 1 道
		防污面漆	240μm / 3 道
注：采用电解海水或通氯气防污时采用环氧煤沥青面漆。			

表 6.3.2-2 输送淡水管道内壁涂层选用表

涂料	涂层防腐等级	涂层结构	干膜总厚度
环氧煤沥青涂料	普通级	一底三面	≥300μm
	加强级	二底三面	≥400μm
	特加强级	二底四面	≥450μm
改性环氧涂料	加强级	一底一面	≥400μm
	特加强级	一底二面	≥600μm
注 1：改性环氧涂料是比环氧煤沥青涂料更加环境友好的替代产品，高固体分，单道施工可以达到干膜厚度 150～300μm。 注 2：当钢管输送淡水用作饮用水时，涂料应通过国家卫生部鉴定认可并颁发“涉及饮用水卫生安全的国家产品卫生许可证”。			

2）钢管外壁防腐涂层

钢管外壁防腐选用环氧煤沥青涂料或改性环氧涂料时，其涂层结构选用表 6.3.2-3：

表 6.3.2-3 钢管外壁涂层选用表

涂料	涂层防腐等级	涂层结构	干膜厚度，μm
环氧煤沥青涂料	普通级	一底三面	≥300
	加强级	一底两面一布两面	≥400
	特加强级	一底两面一布两面一布两面	≥600
改性环氧涂料	特加强级	一底二面	≥500

钢管外壁防腐也可选用环氧粉末涂层。环氧粉末外涂层为一次成膜的结构，其技术指标应符合标准 SY/T 0315 的规定。其涂层厚度和级别应符合表 6.3.2-4：

表 6.3.2-4 钢管外壁涂层选用表

涂料	防腐等级	总厚度，μm	防腐层结构
环氧粉末涂料	普通级	300～400	一次成膜
	加强级	400～500	一次成膜

3 钢套管和管道附件的防腐层不应低于管体防腐层等级和性能要求。

4 采用玻璃布作防腐层加强基布时，宜选用经纬密度为（10×10）根 / cm^2、厚度为 0.10mm～0.12mm、中碱（碱量不超过 12%）、无捻、平纹、两边封边、带芯轴的玻璃布卷。

6.3.3 环氧煤沥青防腐涂层施工

1 钢管表面预处理合格后，应尽快涂底漆。当空气湿度过大时，必须立即涂底漆。

2 钢管两端各留 100mm～150mm 不涂底漆，或在涂底漆之前，在该部位涂刷可焊涂料或硅酸锌涂料，干膜厚度不应小于 25μm。

3 底漆要求涂敷均匀、无漏涂、无气泡、无凝块，干膜厚度不应小于 25μm。

4 钢管外壁防腐层采用玻璃布作加强基布时，在底漆表干后，对高于钢管表面 2mm 的焊缝两侧，应抹腻子使其形成平滑过渡面。

5 腻子由配好固化剂的面漆加入滑石粉调匀制成，调制时不应加入稀释剂，调好的腻子宜在 4h 内用完。

6 底漆或腻子表干后、固化前涂第一道面漆。要求涂刷均匀，不得漏涂。

7 对普通级防腐层，每道面漆实干后、固化前涂下一道面漆，直至达到规定层数。

8 对加强级防腐层，第一道面漆实干后、固化前涂第二道面漆，随即缠绕玻璃布。玻璃布要拉紧、表面平整，无皱折和鼓包，搭接宽度为 20mm～25mm，布头搭接长度为 100mm～150mm。玻璃布缠绕后即涂第三道面漆，要求漆量饱满，玻璃布所有网眼应灌满涂料。第三道面漆实干后，涂第四道面漆。也可用浸满面漆的玻璃布进行缠绕，代替第二道面漆、玻璃布和第三道面漆，待其实干后，涂第四道面漆。

9 对特加强级防腐层，先按本条第 8 款规定的步骤进行。待第三道面漆实干后，涂第四道面漆，并立即缠第二层玻璃布、涂第五道面漆，或缠第二层浸满面漆的玻璃布，待其实干后，涂最后一道面漆。

6.3.4 防腐涂层涂装要求

1 防腐涂层的工厂涂装

1）在条件许可情况下，尽可能在工厂涂装钢管；

2）严格按照防腐涂层施工工艺，控制涂装环境条件下施工；

3）钢管预留端形成的裸露表面应涂刷可焊的车间底漆；

4）如果最后一道需要现场补涂，涂料应有可重涂性要求；

5）应保证涂层的完整性、连续性及与底材的附着力，防腐层涂覆后质量的检验应符合标准 SY/T 0447、SY/T 0413、SY/T 0315、SY/T 0414 的规定。

2 防腐涂层的现场涂装

1）根据涂料的固化要求，确定适宜的施工环境要求；

2）选择适宜的表面处理工艺，确保表面处理质量标准；

3）规定现场施工的管理和涂装质量控制标准。

6.3.5 防腐钢管的检验、储存、运输和安装

1 防腐钢管现场质量检验应符合下列规定。

1）外观：不得出现气泡、破损、裂纹、剥离等缺陷；

2）厚度：采用测厚仪量测干膜厚度，在测量截面圆周上按上、下、左、右 4 个点测量，以最薄点为准；

3）粘结力：采用剥离法，在测量截面圆周上取 1 点进行测量；

4）连续性：采用电火花检测仪进行检漏，检漏电压按下列公式计算：

当防腐层厚度大于 0.5mm 时

$$U=7900T^{1/2} \qquad (6.3.5\text{-}1)$$

当防腐层厚度小于或等于 0.5mm 时

$$U=3300T^{1/2} \text{ 或 } 5V/\mu m \qquad (6.3.5\text{-}2)$$

式中：

T——防腐层平均厚度，mm；

U——检漏电压，V。

2 防腐钢管检验后不宜长期露天存放，如存放过久，应及时检验和修补。

3 防腐钢管在装卸、堆放、移动、运输和下沟过程中应采取保护防腐层不受损伤的措施，应使用专用衬垫及吊带，严禁使用裸钢丝绳。

4 管沟回填前应对防腐层完整性进行检查，对破损防腐涂层进行修复。防腐涂层的修复和补口应使用与原防腐涂层相容的材料，且不得低于原防腐涂层性能。

5 管底垫层及管周回填的土料、石块和其他硬物，应避免再次破坏防腐涂层。

6.3.6 防腐涂层施工时还应满足有关安全、卫生和环境保护要求

1 钢管除锈、涂装过程中的安全标准控制应符合标准 GB 6514 的规定。

2 钢管除锈、涂装过程中，各种设备产生的噪声应符合 GBJ87 的有关规定。

3 钢管除锈、涂装过程中，空气中粉尘含量不应超过 GBZ1 的规定。

4 钢管除锈、涂装作业区电气设备应符合国家有关爆炸危险场所电气设备的安全规定。电气设施应整体防爆，操作部分应设触电保护器。

5 钢管除锈、涂装过程中，所有机械设施的转动和运动部位应设有保护罩等保护设施。

6.3.7 钢管防腐涂层施工后，应提供的竣工资料

1 防腐工程的简要内容、施工方法及其过程；

2 防腐涂料及胶粘带的出厂合格证及质量检验报告；

3 防腐涂层的质量检查记录；

4 返修记录，包括返修位置、原因、方法、数量和检验结果；

5 其他有关资料。

6.4 阴 极 保 护

6.4.1 一般规定

1 管道应设置绝缘装置，以形成相互独立、体系统一的阴极保护系统。

2 管道阴极保护可采用外加电流法或牺牲阳极法。

3 管道阴极保护应避免对相邻埋地管道或构筑物造成干扰。

4 埋地钢管及构筑物拥挤的电厂厂区内通常采用牺牲阳极阴极保护。在有条件实施区域性阴极保护的场合，宜采用深井阳极地床的外加电流阴极保护。

5 新建管道的阴极保护设计、施工应与管道的设计、施工同时进行，并同时投入使用。

6 运行中管道追加阴极保护时，应对防腐层绝缘电阻进行定量检测。

7 对已实施阴极保护的运行中管道进行接、切线作业时，应对新接入的管道实施阴极保护。

6.4.2 阴极保护准则

1 实施阴极保护的管道保护电位应达到下列指标之一：

1）施加阴极保护后，使用铜/饱和硫酸铜参比电极（以下简称 CSE 参比电极）测得的保护电位至少应达到 –850mV 或更负，测量电位时，必须考虑 IR 降的影响。

2）采用断电法测得管道相对于 CSE 参比电极的极化电位应达到–850mV 或更负。

3）在阴极保护极化形成或衰减时，测得被保护管道表面阴极极化值不小于 100mV。

2 存在微生物腐蚀时，管道保护电位值应达到-950mV 或更负（相对于 CSE 参比电极），测量电位时，必须考虑 IR 降的影响。

3 沙漠地区及干燥土壤（一般土壤电阻率大于 500Ω·m），管道阴极保护电位应达到-750mV 或更负（相对于 CSE 参比电极），测量电位时，必须考虑 IR 降的影响。

6.4.3 电绝缘装置的使用要求

1 阴极保护使用的电绝缘装置可包括绝缘法兰、绝缘接头和绝缘垫块等。

2 高压、次高压、中压管道宜使用整体埋地型绝缘接头。

3 下列部位应安装绝缘接头或绝缘法兰：

1）保护与非保护管道的分界处；

2）管道所有权改变的分界处；

3）管道与井、站、库的连接处；

4）有防腐层管道与裸管道的连接处；

5）管道大型穿、跨越段的两端；

6）杂散电流干扰区的管道两端。

4 绝缘法兰或绝缘接头设计与安装注意事项：

1）根据管道的温度、压力、绝缘性能的要求，选择适宜的绝缘连接设施；

2）严禁安装在管道热补偿器附近；

3）绝缘法兰和绝缘接头两侧各 10m 内的管道外壁，应做特加强级防腐层；两侧管道内壁宜涂一定长度的内防腐层；

4）在绝缘连接设施上应有防雷电过电流保护措施，如避雷器、接地电池、极化电池及二极管保护器等。

5 绝缘法兰和绝缘接头应符合以下规定：

1）绝缘法兰应符合标准 SY/T 0516 的规定。

2）绝缘接头应符合标准 SY/T 0086 的规定。

6 在爆炸危险区，绝缘装置应采用接地电池或极化电池。

7 管道与导电的管道支撑物间应保证可靠的电绝缘。

8 管道与金属套管间应保证电绝缘，且端口部位必须密封，不得渗漏水。

9 在阴极保护管道中设置的管道附件应进行良好的防腐绝缘。

6.4.4 电连续性技术要求

1 非焊接连接的管道及管道设施应采用跨接电缆或其他有效的电连接方式。

2 穿跨越管道安装绝缘装置的部位应采用跨接电缆实现电连接。

6.4.5 阴极保护系统的设计

1 牺牲阳极保护计算

1）保护电流计算参见附录 C 的式（C.1）；

2）阳极接地电阻计算参见附录 C 的式（C.2）；

3）单支阳极发生电流计算参见附录 C 的式（C.3）；

4）单支阳极平均发生电流计算参见附录 C 的式（C.4）；

5）牺牲阳极使用寿命计算参见附录 C 的式（C.5）；

6）牺牲阳极数量计算参见附录 C 的式（C.6）。

2 外加电流保护计算

1）阳极接地电阻，深井式阳极接地电阻计算参见附录 D 的式（D.1）；

2）阳极寿命计算参见附录 D 的式（D.2）；

3）阳极数量计算参见附录 D 的式（D.3）；

4）恒电位仪功率计算参见附录 D 的式（D.4）。

恒电位仪输出电压，输出电流根据上述阳极的计算结果确定。所选用的恒电位仪的性能应符合 SY/T 0036 的规定。

6.4.6 阴极保护系统的施工

1 强制电流阴极保护的施工应符合 SY/T 0036 的规定。

2 牺牲阳极阴极保护的施工应符合 SY/T 0019 的规定。

3 深井阳极地床阴极保护的施工应符合 SY/T 0096 的规定。

4 阴极保护绝缘装置的安装应符合 SY/T 0086 的规定。

5 测试装置的安装

1）宜选择下列位置安装测试装置：

强制电流阴极保护的汇流点；

牺牲阳极中间点；

穿跨越管道两端；

杂散电流干扰区；

套管安装处；

绝缘装置处；

强制电流阴极保护的末端。

2）装置的测试电缆与管道连接可采用铝热焊剂焊接，应做到连接牢固、电气导通，且在连接处必须进行防腐绝缘处理；

3）管道回填时，测试电缆应保持一定的松弛度；

4）装置必须坚固、耐久、易于检测，且应按一定方向顺序排列编号。

6.4.7 阴极保护系统的验收

1 强制电流阴极保护系统测试参数：

管道自然腐蚀电位；

辅助阳极接地电阻；

辅助阳极区的土壤电阻率；

绝缘装置的绝缘性能；

管道保护电位；

管道保护电流；

电源输出电流、电压。

2 牺牲阳极阴极保护系统测试参数：

阳极开路电位；

阳极工作电位；
管道自然电位；
管道保护电位；
单支阳极输出电流；
埋设点的土壤电阻率。

3 测试方法应按 SY/T 0023 的规定进行。

4 阴极保护系统竣工后提供的竣工资料。

1）竣工图：
平面布置图；
阳极地床结构图；
测试桩接线图；
电缆连接和敷设图。

2）设备说明书；

3）产品合格证；

4）隐蔽工程记录；

5）按本标准 6.4.7 中 1～2 条进行的各项参数的竣工验收测试数据记录。

6.5 干扰腐蚀的防护

6.5.1 一般规定。

1 管道和干扰源接近时应作好实地调查，以正确估计不同条件下的干扰电压和电流水平。

2 当确认管道受直流或交流干扰影响和危害时，必须采取与干扰程度相适应的防护措施。

6.5.2 直流干扰的防护。

1 处于直流电力输配电系统、直流电气化铁路、阴极保护系统或其他直流干扰源影响范围内的管道应测量其管地电位的正向偏移值和邻近土壤中直流电位梯度值，并应按表 6.5.2-1 的评价规定确定管道受到直流杂散电流干扰的程度。

其任意点上的管地电位较该点自然电位偏移 20mV 或管道邻近土壤中直流地电位梯度大于 0.5mV/m 时，可确认为管道存在直流干扰。

可采用土壤电位梯度，按下表所列的指标判断直流干扰腐蚀的程度。

表 6.5.2-1 直流杂散电流干扰程度判断指标

杂散电流程度	小	中	大
土壤电位梯度 mV/m	<0.5	0.5~5.0	>5.0

当管道上任意点管地电位较该点自然电位正向偏移 100mV，或者该点管道邻近土壤直流地电位梯度大于 2.5mV/m 时，应采取防护措施。

2 对采取排流保护措施的管道的排流保护设计应符合标准 SY/T 0017 的规定。

3 应对直流干扰的方向、强度及直流干扰源与管道位置的关系进行实测，并根据测试结果选择直接排流、极性排流、强制排流、接地排流中的一种方式或几种方式实施排流保护。

4 直流干扰的防护的相关措施：

1）减少直流干扰源的电流泄露量；

2）适当、合理地设置绝缘装置；

3）提高管道防腐层级别；

4）改变预定的管道走向或阴极保护阳极地床的位置；

5）调节阴极保护电流的输出，或采用牺牲阳极保护代替外加电流阴极保护；

6）对处于同一干扰区的其他金属管道或构筑物实施共同防护。

5 钢管实施排流保护后应达到的要求：

1）受干扰影响的管道的管地电位恢复到未受干扰前的正

常值；

2）排流保护效果评定指标见表 6.5.2-2。

表 6.5.2-2 排流保护效果评定指标

排流类型	干扰时管地电位	正电位平均值比
直接向干扰源排流（直接、极性、强制排流方式）	>10	>95
	10~5	>90
	<5	>85
间接向干扰源排流（接地排流方式）	>10	>90
	10~5	>85
	<5	>80

6.5.3 交流干扰的防护。

1 交流干扰的埋地管道，排流后应达到表 6.5.3-1 规定的指标。

表 6.5.3-1 交流电排流保护效果评价指标

土壤类别	酸性	中性	碱性
排流后电位 V	<6	<8	<10

2 交流电力系统的各种接地装置与埋地管道之间的水平距离不应小于表 6.5.3-2 的规定。

表 6.5.3-2 埋地管道与交流接地体的安全距离

接地形式	电力等级 kV			
	10	35	110	220
	安全距离 m			
临时接地点	0.5	1.0	3.0	5.0
铁塔或电杆接地	1.0	3.0	5.0	10.0
电站或变电接地体	2.5	10.0	15.0	30.0
注：不考虑两线一地输电线路。				

6.5.4 对交流电干扰影响的测试和采取的排流保护措施应符合标准 SY/T 0032 的规定。

6.6 管道防腐系统的运行与管理

6.6.1 运行中钢管防腐层的检查和维护

1 运行中管道防腐层应定期检测，且应符合下列规定。

1）检测周期：

结合电厂的检修周期来确定。

2）检测方法与内容：

管道防腐层绝缘电阻可采用直流法或电流密度法求出；

管道防腐层定性检漏可采用交流法，即选频变频法或多频管中电流法，评价应符合 SY/T 0063 的规定。可采用开挖探坑或在检测孔处通过外观检测、粘结性检测及电火花检测评价管道防腐层状况；

已实施阴极保护的管道，当采用检测阴极保护的保护电流、保护电位、保护电位分布评价管道防腐层状况时，出现下列情况应检查管道防腐层：

运行保护电流大于正常保护电流范围；

运行保护电位超出正常保护电位范围；

保护电位分布出现异常。

2 钢管防腐层发生损伤时，必须进行修补，且应符合相应国家现行有关标准的规定。进行修补的防腐层应与原防腐层有良好的相容性，且不应低于原防腐层性能。

3 出现下列情况时，应先进行钢管补焊、补伤，再实施防腐层的修补。

1）修补的防腐层所包覆的钢管出现泄漏；

2）出现蚀深大于或等于 50%壁厚的损伤。

6.6.2 阴极保护系统的运行和管理

1 阴极保护系统应定期检测，且应符合下列规定。

1）检测周期：

牺牲阳极阴极保护系统每年不少于 2 次；

外加电流阴极保护系统每年不少于 2 次；

电绝缘装置每年不少于 1 次；

阴极保护电源每年不少于 6 次，且间隔时间不超过 3 个月；

阴极保护电源输出电流、电压检测每周不少于 1 次。或可以使用无线遥测系统。

2）检测内容：

应符合本规程 6.6.1 条的规定。

2 阴极保护系统的检测数据应记录在案，并应依此画出不同位置的电位分布曲线图和电流分布曲线图。

3 阴极保护失效区域应进行重点检测，出现下列故障时应及时排除：

1）管道与其他金属构筑物搭接；

2）绝缘失效；

3）阳极地床故障；

4）管道防腐层漏点；

5）套管绝缘失效。

4 阴极保护系统应达到保护度 85%。

5 阴极保护系统投入运行的第一年应进行保护度考核，此后应每 3 年进行一次。

7 电力工程接地网的防腐

7.1 一 般 规 定

7.1.1 在进行接地网的防腐设计时，应在厂区场地平整后，在主厂房区域、主厂房A列外区、升压站区、烟囱区域等实测土壤电阻率。当厂区土壤具有腐蚀性或受到微生物污染和酸性物质污染时，还应进行氧化还原电位和pH值测试。

7.1.2 发电厂（变电站）土壤电阻率在50Ω·m及以下的接地网应采取防腐措施。

7.1.3 土壤电阻率在50Ω·m以上时，接地网应结合土壤氧化还原电位、pH值等其他条件确定是否采取防腐措施。

7.1.4 当接地网与异种金属连接时，应采取相应的防腐措施，避免或减轻电耦腐蚀。

7.2 防 腐 蚀 方 法

7.2.1 土壤电阻率在20Ω·m及以下时，发电厂接地网应采用碳钢加阴极保护防腐措施，接地材料不宜采用铜材；变电站接地网应采用碳钢加阴极保护防腐措施，当技术经济合理时也可采用铜材作为接地体。

7.2.2 发电厂（变电站）土壤电阻率在20Ω·m～50Ω·m之间时，可采用碳钢加阴极保护或碳钢加热镀锌的防腐措施。对于全户内变电站、紧凑型变电站，在技术经济合理时也可采用铜材作为接地体。

7.2.3 发电厂（变电站）土壤电阻率在50Ω·m以上，还应根据土壤氧化还原电位、pH值判定，当土壤具有较强腐蚀性时，接地网可采用碳钢加阴极保护或碳钢加热镀锌的防腐措施。

7.2.4 在 pH 值小于 4.5 的酸性土壤地区，不宜采用铜材作为接地体。

7.2.5 当接地网有钢材和铜材等异种金属连接时，应在铜接地网与钢接地网相连接部位的大于 2m 范围内的铜接地网涂装绝缘材料，在与铜连接的钢接地网端应加强阴极保护。

7.3 接地网阴极保护

7.3.1 接地网阴极保护分为牺牲阳极阴极保护和外加电流阴极保护。

1 当被保护面积较小、土壤电阻率较低且分布均匀的接地网宜采用牺牲阳极阴极保护。

2 当被保护面积较大、土壤电阻率较高且分布不均匀的接地网或对全厂埋地金属进行防腐时，宜采用外加电流阴极保护。

7.3.2 接地网在实施阴极保护时，最小保护电位应为–0.85V（相对于铜/饱和硫酸铜参比电极）；当有微生物腐蚀时，最小保护电位值应为–0.95V。或由接地网的自然电位负向极化 100mV。

7.3.3 保护电流密度：

1 土壤电阻率在 20Ω·m 及以下时，电流密度应大于 20mA/m^2。

2 土壤电阻率在 20Ω·m～50Ω·m 时，电流密度应取 10mA/m^2～20mA/m^2。

3 土壤电阻率在 50Ω·m 以上时，电流密度取 10mA/m^2。

4 当土壤的氧化还原电位在–200mV 以下的厌氧条件下，易受到硫酸盐还原菌的作用而加速腐蚀，应结合情况增加电流密度。

5 当 pH 值小于 4.5 时，土壤的腐蚀性增强，应结合情况增加保护电流密度。

7.4 牺牲阳极阴极保护

7.4.1 牺牲阳极阴极保护计算包括保护电流计算、阳极接地电阻

计算、单支阳极发生电流计算、单支阳极平均发生电流计算、牺牲阳极使用寿命计算、牺牲阳极数量计算。计算公式见附录C。

7.4.2 牺牲阳极材料选择。

1 当土壤电阻率在10Ω·m及以下时，采用锌合金牺牲阳极，锌合金牺牲阳极材料性能应符合GB/T 4950的规定。

2 当土壤电阻率在10Ω·m以上时，采用镁合金牺牲阳极，镁合金牺牲阳极材料性能应符合GB/T 17731的规定。

3 根据土壤电阻率和使用年限选择阳极规格型号，宜采用标准规格型号的阳极。（常用埋地阳极的规格型号见附录C.7）

4 为了降低牺牲阳极的接地电阻，防止阳极表面钝化，保持阳极的活性，埋入地下的牺牲阳极周围必须加装专用的填充料。（锌阳极、镁阳极填充料配方见附录C.8）

7.4.3 牺牲阳极的布置与安装。

1 牺牲阳极宜沿水平接地体等距离均匀布置。

2 在土壤腐蚀性特别强的部位、与异种金属连接的部位应增设牺牲阳极，加强保护。

3 牺牲阳极与被保护接地体之间采用电缆连接，电缆与阳极钢芯应可靠焊接，电缆长度应留有一定裕量。

4 牺牲阳极采用卧式开槽埋设，与水平接地体离开距离宜不小于500mm，阳极顶部埋深距地面不小于1m或与水平接地体埋设在同一标高。埋设时应充分灌水，并达到饱和后回填。

5 牺牲阳极填料厚度应一致、密实。（牺牲阳极组装见附录C.9）

7.5 外加电流阴极保护

7.5.1 外加电流阴极保护系统宜采用深井式阳极结构。

7.5.2 在盐渍土壤、海滨滩涂、酸性土壤、含硫酸根离子较高的土壤区，阳极材料应采用含铬高硅铸铁、钛基金属氧化物阳极，在其他土壤区阳极材料可选用高硅铸铁、含铬高硅铸铁、钛基金

属氧化物、钢铁阳极。材料性能应符合 GB/T 7388、SY/T 0036 的规定。

7.5.3 外加电流阴极保护计算包括深井式阳极接地电阻计算、阳极寿命计算、阳极数量计算、恒电位仪功率计算。计算公式见附录 D。

7.5.4 阳极的布置与安装。

1 阳极的布置位置应根据整个厂区地下金属构筑物的分布及保护电流需要量的分布情况确定，宜布置在下列位置：

1）地下水位较高或潮湿低洼处；

2）土壤电阻率在 50Ω·m 以下处；

3）土层厚、无石块、便于打井施工处。

2 阳极的安装应采用深井式阳极结构。阳极地床应符合 SY/T 0036 的规定。阳极地床中心至地面应安装排气管。

7.6 测试桩和参比电极

7.6.1 为了检测阴极保护参数，应在全厂有代表性的区域设置参比电极和测试桩，测试桩的标志应醒目。

7.6.2 测试桩的埋设要牢固稳定。测试桩可用不锈钢、玻璃钢、混凝土制作。

7.6.3 采用埋地型参比电极。在牺牲阳极保护系统中，参比电极可检测接地网的保护电位、牺牲阳极的开路电位、工作电位；在外加电流阴极保护系统中，参比电极可检测被保护系统的保护电位并为恒电位仪提供控制信号。

7.6.4 根据工程需要，可选用铜/饱和硫酸铜参比电极、锌参比电极。参比电极的结构和性能应符合 SY/T 0036 的规定。

7.7 验　收

7.7.1 牺牲阳极阴极保护系统

1 检查牺牲阳极材料、规格、安装位置、数量应符合设计图

纸和技术文件要求；

2 测量接地网保护电位应达到最低保护电位。

7.7.2 外加电流阴极保护系统

1 检查接线的正确性，阳极材料、规格、安装位置、数量应符合设计图纸和技术文件要求；

2 检查系统的运行状况，恒电位仪工作稳定可靠，被保护系统保护电位应达到最低保护电位。

7.8 阴极保护运行和管理

7.8.1 牺牲阳极阴极保护系统

1 牺牲阳极与接地网连接、浇水、回填埋设后即自动投入工作，不需人为调试。在阴极保护工程全部完成后，在测试桩处检测接地网的电位；

2 阴极保护工程自完工之日起3个月内每周测量一次，4～6个月内每半个月测量一次，半年之后每个月测量一次，当达到保护电位并稳定后，可半年测量一次。

7.8.2 外加电流阴极保护系统

1 自投运之日起每周测量一次恒电位仪的输出电压、输出电流、给定电位和测量电位；

2 当测量电位不能达到保护电位时，应及时调整恒电位仪的输出。

附 录 A
（规范性附录）
除锈质量等级标准

A.1 手工除锈质量等级标准见表 A.1。

表 A.1 手工除锈质量等级标准

质量等级	质 量 标 准
St3	在不放大的情况下目视观察，表面应无可见的油脂、污物，并且几乎没有附着不牢的氧化皮、铁锈油漆涂层异物。但表面处理比 st2 更彻底，底材显露部分的表面应具有金属底材的光泽
St2	在不放大的情况下目视观察，表面应无可见的油脂、污物，并且几乎没有附着不牢的氧化皮、铁锈油漆涂层异物

A.2 机械除锈质量等级标准见表 A.2。

表 A.2 机械除锈质量等级标准

质量等级	质 量 标 准
Sa3	处理后的钢材表面在不放大的情况下目视观察，表面应无可见的油脂、污物、灰尘、氧化皮、锈蚀和油漆涂层与异物。该表面应具有均匀的金属光泽
Sa2.5	处理后的钢材表面在不放大的情况下目视观察，表面应无可见的油脂、污物、灰尘、氧化皮、锈蚀和油漆涂层与异物。通常允许钢材表面残留分散的和非常轻微的由锈迹、氧化皮或旧的涂层留下的阴影，条纹和色斑，但要少于表面积的 5%
Sa2	处理后的钢材表面，在不放大的情况下目视观察，表面应无可见的油脂、污物、灰尘、氧化皮、锈蚀和油漆涂层与异物。通常允许钢材表面残留分散的由锈迹、氧化皮或旧的涂层留下的阴影，条纹和色斑，但要少于表面积的 33%。若最初的表面积被坑蚀，则允许坑的缘口残留锈迹和旧涂层
Sa1	处理后的钢材表面，在不放大的情况下目视观察，表面应无可见的油脂、污垢。钢材表面上应无附着不牢的氧化皮、锈蚀和旧涂层。若氧化皮、锈蚀和旧涂层不能用铲刀刮除，则认为它们附着牢固

附 录 B
（资料性附录）
涂料和涂层性能测定方法

B.1 涂料性能测定方法

涂料性能是指涂料的黏度、密度、遮盖力、固体含量、流平性、干燥性。涂料在使用前，应对其性能进行测定，测定方法参见下列标准：

GB/T 1723 涂料黏度测定法

GB/T 1726 涂料遮盖力测定法

GB/T 1725 涂料固体含量测定法

GB/T 6753.2 涂料表面干燥试验 小玻璃球法

GB/T 3186 色漆、清漆和色漆与清漆用原材料 取样

B.2 涂层性能测定方法

涂层的性能包括厚度、附着力、柔韧性、耐冲击性、耐磨性、耐湿热性、耐盐雾性、耐候性。涂层性能的测定参照下列标准：

GB/T 5210 色漆和清漆 拉开法附着力试验

GB/T 1731 漆膜柔韧性测定法

GB/T 1732 漆膜耐冲击性测定法

GB/T 1768 色漆和清漆 耐磨性的测定 旋转橡胶砂轮法

GB/T 1765 测定耐湿热、耐盐雾、耐候性（人工加速）的漆膜备制法

附 录 C
（资料性附录）
牺牲阳极阴极保护计算

C.1 保护电流计算

保护电流按公式（E.1）计算：

$$I = i \cdot S \tag{C.1}$$

式中：

i ——保护电流密度，A/m^2；

S ——保护面积，m^2。

C.2 阳极接地电阻计算

阳极接地电阻按公式（C.2）计算：

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[\ln\frac{2L}{D_1}\left(1+\frac{\frac{L_1}{4t}}{\ln^2\frac{L_1}{D_1}}+\frac{\rho_1}{\rho}\ln\frac{D_1}{D}\right)\right] \tag{C.2}$$

式中：

L ——阳极长度，m；

L_1 ——填料包长度，m；

D ——阳极当量直径，m；

D_1 ——填料包直径，m；

ρ ——土壤电阻率，Ω·m；

ρ_1 ——填充料电阻率，Ω·m；

t ——从地面至阳极中心的埋深，m。

C.3 牺牲阳极发生电流计算

每支阳极的发生电流按公式（C.3）计算：

$$I_f = \frac{\Delta E}{R} \qquad (C.3)$$

式中：

I_f——每只阳极的发生电流，A；

ΔE——阳极驱动电位，V；（锌合金阳极取ΔE=0.25V，镁合金阳极取ΔE=0.65V）

R——阳极接地电阻，Ω。

C.4 每只阳极平均发生电流计算

每支阳极平均发生电流按公式（C.4）计算：

$$I_m = 0.7 I_f \qquad (C.4)$$

式中：

I_m——每只阳极平均发生电流，A；

I_f——每只阳极发生电流，mA。

C.5 牺牲阳极使用寿命计算

牺牲阳极使用寿命按公式（C.5）计算：

$$Y = \frac{1000Q \cdot G}{8760 I_m} \cdot \frac{1}{K} \qquad (C.5)$$

式中：

Y——阳极使用寿命，a；

Q——阳极实际电容量，A·h/kg；

G——每只阳极重量，kg；

$1/K$——阳极利用系数，取0.85；

I_m——每只阳极平均发生电流，mA。

C.6 牺牲阳极数量计算

牺牲阳极数量按公式（C.6）计算：

$$N = \frac{I}{I_f} \qquad (C.6)$$

式中：

N——牺牲阳极数量，支；

I——保护电流，A；

I_f——每只阳极发生电流，mA。

C.7 根据土壤电阻率和使用年限选择阳极规格型号。常用阳极规格见下表。

表 C.7 常用埋地阳极的规格型号

阳 极	规 格 mm	重 量 kg
锌阳极	1000×（78+88）×85	50
	1000×（65+75）×65	33
	800×（60+80）×65	25
	550×（58+64）×60	15
	600×（40+48）×45	9
镁阳极	700×（130+150）×125	22
	700×（100+120）×105	14
	700×（90+100）×90	11
	700×（75+85）×80	8
	700×（55+60）×55	4

C.8 牺牲阳极填充料

锌合金、镁合金阳极的填充料配方，见表 C.8。

表 C.8 锌合金、镁合金阳极的填充料配方

阳 极	填 充 料 成 分			
	膨润土	$MgSO_4$	$CaSO_42H_2O$	$Na_2SO_410H_2O$
	含 量 %			
锌合金阳极	50	—	25	25
镁合金阳极	50	25	25	—

C.9 牺牲阳极的组装

组装后的阳极见图 C.9。

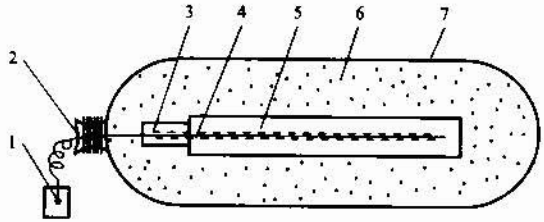


图 C.9 埋地阳极组装示意图

1—接线片；2—阳极电缆；3—密封接头；4—铁芯；5—阳极；6—填充料；7—布袋

附 录 D
（资料性附录）
外加电流阴极保护计算

D.1 阳极接地电阻计算

深井式阳极接地电阻按公式（D.1）计算：

$$R=\frac{\rho}{2\pi L}\ln\frac{2L}{d} \qquad (D.1)$$

式中：

R——阳极接地电阻，Ω；

ρ——土壤电阻率，Ω·m；

L——阳极长度（含填料），m；

d——阳极直径（含填料），m。

D.2 阳极寿命计算

阳极寿命按公式（D.2）计算（本公式不适用于钛基金属氧化物）：

$$T=\frac{KG}{gI} \qquad (D.2)$$

式中：

T——阳极寿命，a；

K——阳极利用系数，取0.7～0.85；

G——阳极重量，kg；

g——阳极消耗率，kg/（A·a）；

I——阳极工作电流，A。

D.3 阳极数量计算

阳极数量按公式（D.3）计算：

$$N=\frac{I}{I_f} \tag{D.3}$$

式中：

N——阳极数量；

I——保护电流，A；

I_f——每只阳极发生电流，mA。

D.4 恒电位仪功率计算

恒电位仪功率按公式（D.4）计算：

$$P=\frac{IV}{\eta} \tag{D.4}$$

式中：

P——恒电位仪功率，W；

I——恒电位仪输出电流，A；

V——恒电位仪输出电压，取60V；

η——恒电位仪效率。

电力工程地下金属构筑物防腐技术导则

条文说明

目　次

5　腐蚀评价 45
5.1　环境腐蚀评价 45
5.2　管体腐蚀损伤评价 45
5.3　接地网的腐蚀评价 45
6　电力工程埋地钢管防腐 46
6.1　一般规定 46
6.3　涂层防腐 46
6.4　阴极保护 47
6.5　干扰腐蚀的防护 49
6.6　管道防腐系统的运行与管理 50
7　电力工程接地网的防腐 52
7.1　一般规定 52
7.2　防腐蚀方法 52

5 腐 蚀 评 价

5.1 环境腐蚀评价

5.1.1 本条文中表 5.1.1-1 摘自《钢质管道及储罐防腐蚀工程设计规范》SY/T 0007 中的表 3.0.3-1。一般情况下，所提腐蚀电流密度采用原位极化法检测，平均腐蚀速率采用试片失重法检测。表 5.1.1-2 摘自 GB/T 19285—2003《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》表 1 土壤腐蚀性评价；表 5.1.1-3 和表 5.1.1-4 氧化还原电位与土壤腐蚀性和土壤 pH 值与土壤腐蚀性标准，系取自德国标准，DIN90929《金属腐蚀在外部腐蚀条件下金属材料的腐蚀概率》总则中的有关规定。

5.1.3 各国对直流干扰腐蚀的评价标准不尽相同，本条中所列是我国目前通用的方法。

5.2 管体腐蚀损伤评价

5.2.1 表 5.2.1-1 是管体腐蚀损伤定性判定的分类，应用方法见《钢质管道管体腐蚀损伤评价方法》SY/T 6151 中的相关规定。我国已有软件用于测量结果的评价。

5.3 接地网的腐蚀评价

5.3.1、5.3.2 腐蚀评价的依据源于：1989 年上海科学技术出版社出版的《金属防腐蚀手册》，中国腐蚀与防护学会金属防腐蚀手册编写组编写。

6 电力工程埋地钢管防腐

6.1 一 般 规 定

6.1.1 利用海水作电厂冷却水时，循环水钢管应采用防腐涂层辅以阴极保护的联合保护方式是目前国内和国际上的普遍做法。

6.1.4 本条文主要是根据火力发电厂的有关设计规程的要求，采用一种简单有效的方法提高钢管的防腐性能，并不影响钢管防腐层和阴极保护的选用。

6.3 涂 层 防 腐

6.3.1 一般规定

涂料的选择及其质量直接决定防腐效果，条文中所列系最基本要求。各项要求的具体指标可按不同防腐层的国家现行标准执行。为了使运行管道腐蚀点易于修复，应考虑防腐层的修补难度。此外，由于对环保的普遍重视，条文中强调了不危害人体健康，不污染环境。

6.3.2 防腐涂层结构设计

6.3.2-1 由于我国地域广阔，气候和土壤环境复杂，各地区火力发电厂发展状况不一，因此条文提出的是钢管防腐层选择的基本因素。

6.3.2-2 结合我国火力发电厂设计和运行的实际情况，电厂地下钢管大多数采用环氧煤沥青涂层防腐，本条文考虑到涂料工业和火力发电厂的发展趋势，参考了国内一些成功的经验和相关的国外标准，增加了改性环氧涂层和熔结环氧粉末涂层的有关内容，使用单位可根据需要参照本条并结合防腐厂家产品样本选择采用。

6.3.4 防腐涂层涂装要求

在工厂预制有利于保证防腐层涂覆质量，也有利于管道防腐效果。在确定工厂预制时，可以考虑防腐层种类、工艺要求、规格、批量、实施条件等因素。

考虑到施工中难以采用焊口处喷砂除锈的情况，故要求在工厂除锈后在预留端涂可焊涂料，该涂料不影响焊接质量，可对管端作临时保护，可焊涂料目前常用硅酸锌涂料或无机可焊涂料。

6.3.5 防腐钢管的检验、储存、运输和安装

6.3.5-2～6.3.5-3 防腐钢管露天存放易受大气腐蚀和阳光照射，对防腐层质量影响较大，因此露天存放应按有关规定控制时间。不适当的堆放和吊装对防腐层会造成损伤，要特别引起注意，严格执行本条款。

6.3.5-4 防腐管道在下沟回填时很容易损伤防腐层，形成腐蚀隐患。目前常采用音频信号检漏仪及时按国家现行标准检查防腐层受损情况，一旦受损，对防腐层应立即采取修补措施。

6.4 阴 极 保 护

6.4.1 一般规定

6.4.1-3 对管道进行阴极保护设计时，应尽量避免对相邻的金属、管道或金属构筑物造成阴极保护干扰。是否造成干扰可通过实测相邻管道或构筑物的管地电位偏移或其附近土壤的电位梯度值来判断，评定标准依据本规程第 5.1.3 条。

6.4.1-5 阴极保护是管道系统的重要组成部分。由于历史的原因，目前一些运行中钢管没有设置阴极保护，使管道由此而引发的问题不断，为保障新建管道安全运行，问题不应再重复出现。

因此，要求阴极保护的设计、施工和管道的设计施工同时进行，并同时投入使用，是最合理的选择。

6.4.2 阴极保护准则

6.4.2-1 本条款规定了对已实施阴极保护的管道中阴极保护的效果判据。

本条款主要参考了美国 NACE RP0169—1996 和《钢质管道及储罐腐蚀控制工程设计规范》SY/T 0007 中的有关规定。

在第 1 小款中规定通电保护下测得的管地电位至少为 -850mV，并应考虑测量方法中所含 IR 降的误差。

在第 2 小款中规定采用断电法得到的电位值，即中断电流去除 IR 降后的管地极化电位值。

在第 3 小款中的规定是用于管道防腐层很差的管道。

美国于 1997 年颁布的 NACETM0497—1997《埋地或水下金属管道系统阴极保护准则的标准测试方法》中对准确测得阴极保护电位值有相关规定，可供参考。

6.4.2-2 采用指标-950mV 是参考了我国现行标准《埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范》SY/T 0036—2000 中的有关规定，这一指标在 NACE RP0169—1996 的 6.2.2.2③中有相同规定，说明在有硫化物、细菌、高温、酸性环境下采用—950mV 指标是充分的。

6.4.2-3 NACE RP0169—1996 中，第 6.2.2.2③中规定当管道在混凝土中，或埋在干燥、充气的高电阻率土壤，即沙漠土中时，阴极保护的极化电位指标稍正一点也就足够了，我国一般采用 -750mV。

6.4.3 电绝缘装置的使用要求

6.4.3-2 由于绝缘法兰密封性能相对较差，其使用的绝缘垫片及绝缘紧固件会在吸水后易造成绝缘失效，从而造成绝缘法兰失效；另外，城镇地下构筑物比较拥挤，绝缘法兰井的给位困难，因此推荐在高压、次高压、中压管道使用整体型埋地绝缘接头。这在国外使用已非常普遍，且部分发达国家已限制绝缘法兰的使用。

有关整体型埋地绝缘接头的性能参见现行标准《阴极保护管

道的电绝缘标准》SY/T 0086。

6.4.3-4 绝缘装置防止意外高电压击穿是指来自雷电、感应交流电或故障下的漏电等高压电涌的破坏。常用的保护措施有设置避雷器、保护性火花间隙接地电解电池、极化电池、二极管保护等方法。

6.5 干扰腐蚀的防护

6.5.2 直流干扰的防护

6.5.2-1 直流干扰之所以规定了管地电位的“正向偏移指标”是因为只在当直流干扰对管道产生了正向偏移的干扰电位后，才能使管道的该部位成为直流干扰腐蚀的阴极区，恰好是腐蚀电流流出的部位，也是管道产生电解腐蚀的阴极溶解部位，即管道上的铁元素从原子状态转变成离子状态，从金属相进入土壤电解质溶液相的部位。也就是管道的腐蚀部位。

反之，如果产生负向偏移，只要其偏移量不超过管道防腐层的阴极剥离电位，则不会对钢管造成损坏；超过阴极剥离电位，则会造成管道防腐层的阴极剥离。

6.5.2-5 表 6.5.2-2 摘自《埋地钢质管道直流排流保护技术标准》SY/T 0017—1996 中的表 4.2.1。其中的正电位均值比用η_V表示，则

$$\eta_V = V_1(+) - V_2(+) / V_1(+) \times 100\,\%$$

式中：

$V_1(+)$——排流前正电位平均值（V）；

$V_2(+)$——排流后正电位均值（V）。

$V_1(+)$、$V_2(+)$的计算方法见《埋地钢质管道直流排流保护技术标准》SY/T 0017 的附录 A。

6.5.3 交流干扰的防护

6.5.3-2 管道与交流接地体的安全距离系指两者之间的净距离，是一项安全指标。高压交流接地体与管道距离过近可造成

管道较为严重的电击腐蚀，这在长输管道和城镇燃气管道中均有实例。

表 6.5.3-2 是国内现行标准中的规定，但实施时常由于地下构筑物的拥挤达不到要求。在这种情况下，可在管道与交流接地体之间设置绝缘装置，或尽量加大距离，以及加强管道在相关地带的外防腐层绝缘等级等方式，避免电击穿腐蚀的发生。

6.6 管道防腐系统的运行与管理

6.6.1 运行中钢管防腐层的检查和维护

6.6.1-1 根据管道的压力级制确定防腐层的检测年限，是保证管道正常运行的需要，同时也促进管道的防腐蚀工作。主要参考有关行业的相关技术标准和当前实际情况提出了一些常用的检测内容与方法。当用电火花检测防腐层时，必须要确定管道有无损伤或泄漏，否则首先应对管道进行补漏、补伤。

6.6.1-2 防腐层更换、修补是各火力发电厂正常运行中经常遇到的，对选用的防腐层材料要考虑场地的特点，防腐层的特性以能适于立即回填为宜。另外，更换、修补时选用的防腐层与原防腐层不同时，必须考虑两种防腐层的相容性，以免防腐层搭接处出现问题。

6.6.2 阴极保护系统的运行和管理

6.6.2-1 管道阴极保护检测周期的规定是根据 2000 年 4 月起开始施行的国家经贸委第 17 号令《石油天然气管道安全监督与管理暂行规定》第六章“管道检测”中的相关规定。

6.6.2-4 保护度≥85%，指阴极保护的有效程度，通过采用重量法将采用已埋地的通电、不通电的阴极保护检查片来计算其腐蚀速率，公式为：

$$T_N = (G_1 / S_1 - G_2 / S_2) / G_1 / S_1 \times 100\,\%$$

式中：

T_N——保护度，%；

G_1——未加保护试片的失重，g；

S_1——未加保护试片的裸露面积，cm^2；

G_2——施加保护试斤的失重，g；

S_2——施加保护试片的裸露面积，cm^2。

7 电力工程接地网的防腐

7.1 一 般 规 定

7.1.1 土壤电阻率、pH 值、土壤氧化还原电位等指标是判定厂址区域土壤腐蚀性的重要依据，在专业互提资料中应提出对上述数据的测量要求，测得数据作为防腐设计的依据。

7.1.4 当两种不同的金属互相连接时，在土壤中就构成了腐蚀电池，其中具有较正电位的金属（惰性）将作为阴极受到保护，而具有较负电位的金属（活泼）将作为阳极而受到强烈腐蚀，因此需要采取相应的防腐蚀措施。

7.2 防 腐 蚀 方 法

7.2.1 用铜材做接地材料，优点是铜材具有良好的导电性，耐腐蚀性也比钢更高。但缺点是铜比钢价格高很多，铜接地系统还会给与之相连的其他地下金属构筑物带来严重的电耦腐蚀问题，此时铜材会受到保护，而钢结构物则产生腐蚀。由于铜材接地体（大阴极）表面积相对于周围埋地管道涂层缺陷处的裸露面（小阳极）的面积非常大，形成了“大阴极”和“小阳极”的情况，通常铜接地体很快就导致地下管道腐蚀穿孔。由于发电厂地下金属管道众多，故在发电厂设计中不推荐采用铜材作为接地体。变电站地下金属管道相对较少，面积较小，在具体工程中可通过技术经济比较确定。

7.2.2 碳钢加热镀锌是接地系统常用的防腐蚀方法，但镀锌层只能在短期内起到防腐作用，试验表明在较强的腐蚀性土壤中镀锌层很快会受到腐蚀损坏，无法持续的起到对碳钢的保护作用。

当土壤电阻率在 20Ω·m～50Ω·m 时，土壤具有中等腐蚀

性，接地网一般需采取防腐措施，推荐采用碳钢加阴极保护防腐；在氧化还原电位和微生物腐蚀不严重时，可采用碳钢加热镀锌防腐。

7.2.3 当土壤电阻率在 50Ω·m 及以上时，在氧化还原电位和微生物腐蚀也较严重时，推荐采用碳钢加阴极保护方式，否则可采用碳钢加热镀锌防腐。

7.2.5 铜材和钢材相连时在铜-铁构成的电池中，其电动势大约为 0.6V～0.8V，这样大的电位差即使在土壤电阻率很高的土壤中也会产生很大的腐蚀电流，使钢材产生腐蚀，因此需采取措施防止接地体腐蚀。