

浅谈电缆隧道顶管阴极保护

针对土壤腐蚀对埋地钢管的危害以及存在的严重事故隐患,分析了土壤腐蚀的原因及土壤电阻率对腐蚀影响效果。简单介绍了牺牲阳极法及强制外加电流法,并对两种方法进行比较。本次电缆隧道顶管保护采用了强制外加电流方法,根据本工程特点介绍了阳极保护材料选取以及如何配置数量,并简单介绍了阳极地床及其电源设备配置情况。

李 伟/宝钢工程技术集团有限公司

0 引言

腐蚀是埋地管道不可避免的问题,它是金属和周围环境起化学或电化学反应而导致的一种破坏性侵蚀。某钢厂地处长江入海口地带,其电缆隧道顶管埋在地下,并途经铁路及河床,土壤电阻率较低,土壤腐蚀性较强。必须对地下敷设的钢管外壁采取有效的阴极保护防腐措施,以保证埋地钢管在工厂寿命期内的安全性和可靠性。

1 现状介绍

某钢厂地处长江入海口地带,其某工程电缆隧道间有四段顶管连接,两段为一组,顶管内敷设有高压变电所间220 kV高压电缆。电缆隧道顶管总跨度约为1 km,管道直径为3.0 m,管道中心距所在地坪8.5 m。顶管管道材质为

Q345B,钢管外部喷硅酸锌车间底漆一道,涂环氧铁红防锈漆二道,厚浆型环氧玻璃鳞片面漆三道,进行防腐处理,其漆膜总厚度不小于650 μm ,电缆隧道顶管已经安装完毕并使用多年。

2 土壤腐蚀

影响土壤腐蚀性的主要因素有土壤电阻率、含水量、含盐量、含氧量和微生物。埋地金属构筑物电化学的腐蚀形式有点蚀、宏观腐蚀、局部腐蚀、电解腐蚀以及微弱的交流腐蚀。在天然土壤中,埋地钢结构的腐蚀是不可避免的。研究管道埋地处土壤的结构,并针对土壤特性进行保护是非常必要的。

2.1 土壤电阻率

在土壤的众多参数中,表征土壤导电性能的土壤电阻率常用作判断土壤腐蚀性的最基本参数。多数情况下,土壤电阻率越小,土壤腐蚀性越强。

土壤电阻率与土壤腐蚀性如表1所示。

中华人民共和国电力行业标准《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》在电力工程埋地钢管防腐中指出:管道区域内的土壤电阻率小于20 $\Omega\cdot\text{m}$ 时,埋

表1 土壤电阻率与土壤腐蚀性

(单位: $\Omega\cdot\text{m}$)

腐蚀性	中国	前苏联	英国	日本	法国	美国
极强		<5	<9		<5	
强	<20	5~10	9~23	<20	5~15	<20
中强	20~50	10~20	23~50	20~45	15~25	20~45
一般	>50	20~100	50~100	45~60		45~60
弱		>100	>100	>60	>30	60~100



李 伟/工程师

关键词/Keywords

腐蚀·
土壤电阻率·
阴极保护·
牺牲阳极法·
强制(外加)电流法·

地管道应采用防腐涂层和阴极保护联合防腐。

2.2 土壤腐蚀速度

土壤腐蚀性、腐蚀速率、穿孔年限的关系如表2所示。

表2 腐蚀速率、穿孔年限与土壤腐蚀性

腐蚀速率/(mm/a)	腐蚀穿孔年限/(a/mm)	腐蚀性
>0.125	1~3	强
0.04~0.125	3~5	较强
0.01~0.04	5~10	中
0.002 5~0.01	10~25	弱
<0.002 5	>25	极弱

由表2可以看出，强腐蚀对埋地钢管破坏速率极快，穿孔年限也比较快。

2.3 某钢厂区域的土壤电阻率情况

对某钢厂厂西变电站的土壤电阻率在测试深度范围内进行勘测，各土层电阻率值如表3所示。

表3 土层电阻率

土层名称及层号	$\rho_{\max}/(\Omega\cdot\text{m})$	$\rho_{\min}/(\Omega\cdot\text{m})$	$\rho/(\Omega\cdot\text{m})$	测试样本数n
粘土@ ₁₁	17.8	10.8	14.1	3
含粘性土中粗砂@ ₂₁	21.0	8.8	13.7	5
含粘性土中粗砂@ ₂₂	16.4	16.3	16.35	1
含粘性土中粗砂@ ₂₃	12.7	10.8	11.5	3
含粘性土中粗砂@ ₃₂	17.6	9.2	14.0	4
粘土@ ₃₁	9.3	9.3	3.3	1

参照厂西变电站的土壤电阻率其平均值为13.16 $\Omega\cdot\text{m}$ ，最小值为8.8 $\Omega\cdot\text{m}$ ，某钢厂区域属于强腐蚀性土壤，根据《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》，当土壤电阻率小于20 $\Omega\cdot\text{m}$ 时，埋地管道应采用防腐涂层和阴极保护联合防腐。再加上电缆隧道顶管采用顶管方式施工，管道表面涂层极易破损，涂层失去防腐效果，管道腐蚀加速，导致腐蚀穿孔及因腐蚀使管道抗压强度降低而变形。因此，敷设的钢管外壁采取有效的阴极保护防腐措施，以保证埋地钢管在工厂寿命期内的安全和可靠。

3 阴极保护

阴极保护在方式上主要有牺牲阳极法和强制（外加）电流法两种。尽管方式不同，但效果

是一致的，都是为了对被保护体施加阴极极化电流。两种方法可以视情况择一应用，必要时也可以同时并用。实践证明有效的保护措施可大大减少腐蚀，延长管道寿命，同时带来可观的社会和经济效益。此两种方法现今广泛应用于社会各行业，技术比较成熟。

3.1 牺牲阳极法

根据腐蚀电池的原理，认识到金属被腐蚀是因为其原子在一定条件下丢失了电子，变成了正离子。如果将需要被保护的金属结构作为阴极，通过电气连接与电子电位更负的金属或合金（作为阳极）连接，就可满足腐蚀电池形成的条件，让电子电位低的阳极材料向电子电位高的阴极材料不间断地提供电子，牺牲阳极的电子因较活泼而优先溶解，向被保护金属通入一定量的负极直流电，使其相对于阳极接地装置变成一个大阴极，从而避免腐蚀。在阳极遭到强烈腐蚀的同时，阴极材料的结构首先极化，在结构表面富集电子，不再产生离子，大大地减缓并停止结构的腐蚀进程，达到了保护阴极材料的目的。其保护示意图如图1所示。

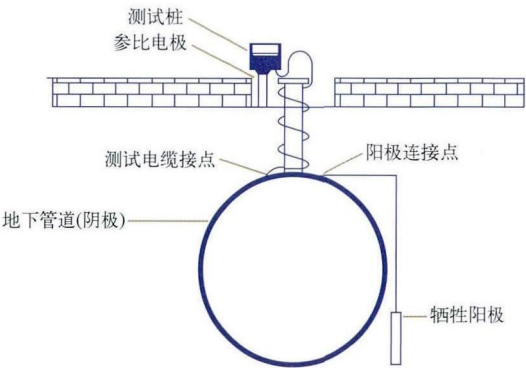


图1 牺牲阳极示意图

3.2 强制外加电流法

通过外加的直流电源（整流器等），直接向被保护的金属材料施加阴极电流，使其发生阴极极化，达到保护阴极金属材料的目的。而给辅助阳极（一般为高硅铸铁或废钢）加一阳极电流，构成一个腐蚀电池，以同样的原理使金属结构得到保护。其保护示意图如图2所示。

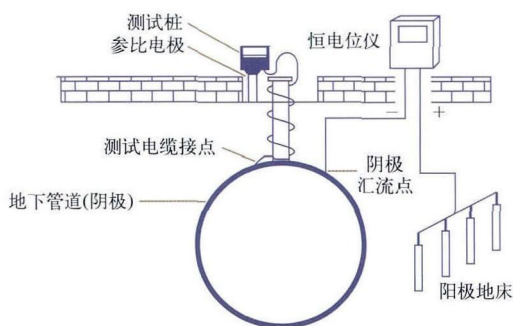


图2 外加电流示意图

强制外加电流法的优点如下：①其保护的
范围比较大；②不受大地电阻率大小的限制；③
输出保护电流连续可调，可满足较大的保护电流
密度要求；④对管道防腐覆盖层质量要求相对较
低；⑤保护装置寿命长，甚至可达25~30年；⑥
工程越大越经济。

而牺牲阳极法有大地高电阻率环境下不宜使
用、对覆盖层质量要求高以及杂散电流干扰大时
不能使用等缺点。

4 电缆隧道顶管阴极保护方案

4.1 采用强制外加电流方法

牺牲阳极法和强制外加电流法结合电缆隧道
顶管阴极保护进行经济投入对比，可采用外加电
流法（浅埋）对电缆隧道顶管进行保护，对比情
况如表4所示。

表4 牺牲阳极、强制外加电流方法技术投入对比

序号	比较项目	牺牲阳极法	强制外加电流（浅埋）
1	主设备情况/套	207	4
2	设备费用/万元	60	95
3	施工情况	难	易
4	施工费用/万元	220	55
5	费用合计/万元	280	150

由于电缆隧道顶管已于2006年施工完毕，
施工采用顶管的方式进行，管道上面有铁路并穿
越河床，如大面积地重新开挖施工难度很大，操
作麻烦，施工困难，而且铁路下方不能开挖。根
据现场实际情况并结合经济投入比较结果，采用
强制外加电流（浅埋），施工相对容易进行，而
且一次性投资少。故本工程采用强制外加电流法

（浅埋），设计标准按对管道的有效保护年限30
年。在有效保护期内，被保护结构的保护度为
100%。

4.2 阳极的选择

目前应用最多的埋地辅助阳极主要是高硅铸
铁，可适用于多种环境介质中（如海水、淡水和
土壤）。由于厂区地处海滨盐滩，土壤中不可避
免存在大量的氯离子等强腐蚀性介质，普通高硅
铸铁不适于氯离子含量较高的强腐蚀性介质，因
此设计采用含铬高硅铸铁。

4.2.1 辅助阳极规格型号

本方案选用的高硅铸铁阳极规格型号如表5
所示。

表5 高硅铸铁阳极规格型号

型号	规格 ϕ /mm	形状
HYGT-03	$\phi 75 \times 1\ 200$	圆柱

4.2.2 辅助阳极填料

为了避免气阻，降低阳极接地电阻，延长阳
极的使用寿命，必须在阳极周围加填料，与其一
起投入使用。本方案的冶金焦炭填料化学成分如
表6所示。

表6 冶金焦炭填料化学成分

组成名称	碳	水分	挥发性质	灰分	硫	备注
成分(%)	>85	<5	<1	<3	<1	粒径<15 mm

4.2.3 辅助阳极发生电流

根据高硅铸铁阳极的主要性能，其发生电流
在1.5~22.6 A之间。为确保阳极长期、安全稳
定运行，设定每支高硅铸铁阳极发生电流最高为 $I_a = 3.8$ A。

4.2.4 阳极数量计算

电缆隧道顶管外壁需用高硅铸铁阳极数量进
行计算，即

$$N = \frac{f I_A}{I_a} \quad (1)$$

式中， I_A 为所需保护电流，A； I_a 为每支阳极输
出电流，A/支； N 为阳极支数，支； f 为备用系

数, 实取1。

计算得 $N=20$ 支。

4.2.5 单支辅助阳极接地电阻

单支辅助阳极接地电阻按式(2)进行计算, 即

$$R_H = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{td} \quad (2)$$

式中, R_H 为浅埋式单支阳极接地电阻, Ω ; ρ 为土壤电阻率, $\Omega \cdot m$; L 为阳极长度(含填料), m ; d 为阳极直径(含填料), m ; t 为埋深(填料顶部距地面), m 。

根据土壤电阻率测试报告和本方案选用的阳极体的规格尺寸, 现将式(2)中的相关数据列入表中, 如表7所示。

表7 式(2)中的相关数据值

阳极型号	$\rho/(\Omega \cdot m)$	L/m	d/m	t/m	备注
HYGT-03	20	2	0.377	2	ρ 值为回填物以下地层

将表7中的相关数据值代入式(2)求得单支阳极接地电阻值为 $R_H=2.66 \Omega$ 。

4.2.6 辅助阳极接地电阻

辅助阳极接地电阻按式(3)进行计算, 即

$$R_V = F \frac{R_H}{N} \quad (3)$$

式中, R_V 为阳极组接地电阻, Ω ; F 为电阻修正系数。

经计算: $R_{V1}=1.06 \Omega$ (4支), $R_{V2}=0.71 \Omega$ (6支)。

4.2.7 强制电流系统电源设备参数(户外型)

强制电流系统电源设备参数按式(4)计算, 即

$$V = I(R_V + R_L + R_C) + V_r \quad (4)$$

$$P = \frac{IV}{\eta} \quad (5)$$

式中, V 为电源设备的输出电压, V ; I 为电源设备的输出电流, A ; R_V 为阳极地床接地电阻, Ω ; R_L 为导线电阻, Ω ; R_C 为阴极/土壤界面过渡电阻, Ω ; V_r 为地床的反电动势, 取 $2 V$; P 为电源设备的功率, W ; η 为电源设备的效率, 取 0.9 。

将有关参数代入式(4)、式(5)求得强制电流系统两台电源设备电压为 $50 V$, 电流为 $50 A$ 。

4.2.8 阳极地床及其电源设备的设计

(1) 阳极地床的设计

方案总的原则是: 阳极地床在整个厂区均匀分布的前提下, 对于地下钢结构物密集的地区, 阳极地床的布置数量比地下钢结构物稀疏的地区多。根据厂区平面布置图和土壤电阻率测试报告中地质情况可知, 在整个区域共布置阳极地床四组, 埋深约为 $2 m$, 阳极间距 $1.5 m$ 。

(2) 电源设备的设计

方案选用的电源设备为恒电位仪, 它能满足长期不间断供电、可靠性高、维护保养简便、寿命长、对环境适应性强以及输出电流、电压可调的要求; 具有抗过载、防雷、抗干扰、故障保护和报警功能, 并能将报警信号传至远方。根据现场实际情况, 阳极井相应的电源设备可集中或分别布置在其临近的建筑物内, 符合电厂电气安装有关规范。

5 结束语

本工程包括阴极保护效果测试系统, 为了检测外加电流对钢管外壁的保护效果, 需要安装测试桩与参比电极, 以测量埋地钢管外壁的保护电位数据及保护效果跟踪。

(收稿日期: 2016-02-10) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告