

水下隧道穿越管道保护效果测试评价

张 平, 屠海波, 龚树鸣, 牟 华

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要:通过对四川气田北干线涪江隧道穿越管道阴极保护电参数的现场测试, 取得了实际可信的基础数据, 验证了处于水下隧道洞内的穿越段管道, 能得到陆上强制电流阴极保护系统的有效保护, 保护电流所必经的岩石层和锚喷钢筋混凝土层对保护电流没有构成屏蔽的结论, 对管道工程设计和运行管理具有参考作用。

关键词:隧道穿越; 电流屏蔽; 通电电位; 断电电位; 钢筋混凝土层

文章编号: 1006-5093(2007)03-0033-03

文献标识码: A

水下隧道穿越段是管线的重要部位, 管道处于长期浸泡于水中状态, 腐蚀环境较为恶劣, 采用性能优异的外防腐, 并实施可靠、有效的阴极保护方式来保证其长期安全运行的方案是理所当然的。但由于隧道结构的特殊性, 陆上强制电流阴极保护系统的保护电流必经的岩石层和锚喷钢筋混凝土层对保护电流是否屏蔽; 在采用诸如三层 PE 这类防腐层电阻率高, 阴极保护电流密度需要量小的防腐层时能否得到可靠有效的保护; 是否有必要再用牺牲阳极方式进行补充保护等问题, 在业内存在较大争论。对国内外相关资料的检索也未收集到具体的例证与参数, 因此, 选择在隧道结构和场地水文地质条件方面具有代表性的工程上进行现场测试, 取得实际的、准确的基础数据, 对指导工程设计和运行管理均具有重要意义。

1 基础资料及概况

北干线涪江隧道穿越复线管道为 $I360 \Phi 720 \times 14.1/8$ 螺旋埋弧焊钢管, 全部采用三层结构挤塑聚乙烯加强级外防腐层, 热煨弯头外防腐及补口采用带环氧底漆的辐射交联聚乙烯热收缩套。隧道穿越采用: 斜巷 (西岸) — 平巷 — 斜巷 — 竖井 (东岸) 形式, 隧道洞内总长 1 588 m; 在隧道平巷内预先安装有 6 支长效硫酸铜参比电极, 参比电极电缆引入设

置在两岸的电流测试桩内, 两电流测试桩间管道长度为 1 668 m; 东、西岸陆上连接管道长度分别为 4.2 km 和 2.4 km。阴极保护设施情况见图 1。

2 场地水文地质条件

输气管道横穿于涪江河床之下, 各主要地层基本特征及其分布情况:

° 上部主要为粉土、砂质粘土、砂, 厚度变化大, 一般厚度 5.50 ~ 12.50 m;

° 河漫滩及河床地带厚 6.60 ~ 18.50 m 为砂砾卵石夹砂层透镜体; 砂卵石层存在孔隙潜水, 漫滩、阶地的砂卵石层地下水与涪江河水有极强的水力联系;

° 基岩层岩性为紫红色泥岩 (砂质泥岩) 与青灰色、棕紫色砂岩不等厚互层, 区内多以砂岩为主, 占 70% 多, 穿越隧道洞顶以上基岩厚度一般 21.70 ~ 34.53 m; 岩性多为中风化砂岩、泥岩及砂质泥岩, 裂隙中等发育, 仅在砂、泥岩接触部位略有裂隙, 透 (含) 水性较强。局部因上覆中风化泥岩相对隔水而使下伏砂岩裂隙水微具承压性, 深部基岩裂隙水同江水无直接水力联系。基岩裂隙水和孔隙潜水的地质类型 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+}$ 型水, 江水的水质类型 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+} \text{Mg}^{2+}$ 型水, pH 值 7.40 ~ 7.80 属中偏碱性水。

收稿日期: 2007-03-29

作者简介: 张 平 (1965-), 男, 重庆江津人, 高级工程师, 学士, 主要从事油气田外防腐层及阴极保护设计、研究工作。电话: (028) 86014305

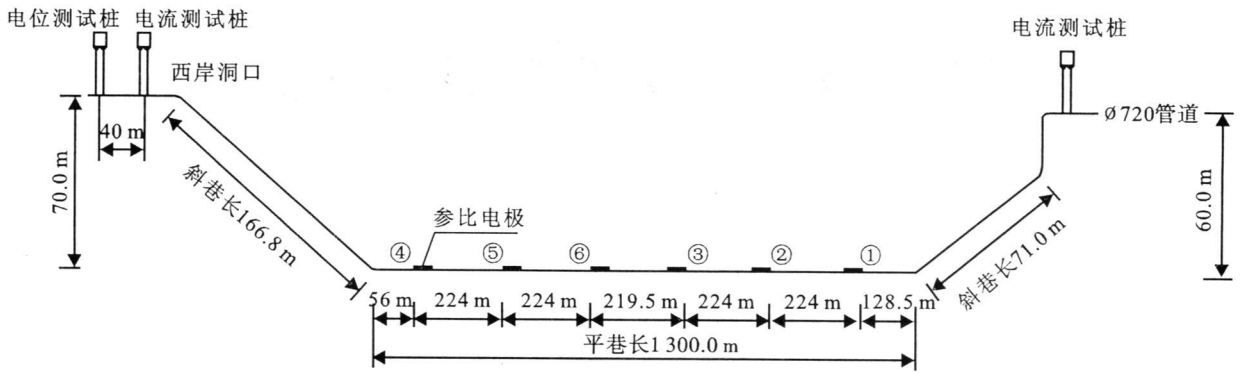


图1 参比电极测试桩设置图

注: ①~⑥为对应编号的硫酸铜参比电极。

3 隧道结构

该隧道为深埋隧道, 支护结构上包括隧道围岩层和二次衬砌层。围岩中平巷初期支护采取全断面锚喷混凝土, 厚度为 80~100 mm; 在拱顶和侧墙围岩破碎处做锚喷支护或挂网锚喷支护, 个别围岩破碎处, 加设格栅钢架。二次衬砌采用全断面钢筋混凝土现浇, 视围岩情况, 厚度在 250~300 mm; 底板现浇 200 mm 厚 C20 混凝土或钢筋混凝土。斜巷段采用钢筋砼支护措施。

4 相关技术资料

从上述的管径、穿越长度、外防腐层类型、隧道结构和场地水文地质条件等方面看, 该工程具有代表性。采用强制电流方式时, 最为关心的是保护电流要到达管体, 回路中电流必须经过的: a. 基岩层; b. 洞壁支护所采用的围岩层(锚喷混凝土和钢筋网混凝土)和二次衬砌层(现浇钢筋混凝土)。

这些特殊结构是否会阻隔管道获取足够的保护电流? 汇总相关的国外技术观点如下:

在洞中进水后管道处于水饱和环境, 锚杆及钢筋网金属件本身导电, 潮湿状况下的混凝土电阻率约 $50 \Omega \cdot m$ 。不构成屏蔽影响, 如同水下配重层下的海底管线或混凝土连续覆盖层下的穿越管道可获得良好的阴极保护一样; 岩石层可通过孔隙潜水、细小裂缝透水构成导体, 对保护电流不构成完全的屏蔽层, 类似于高土壤电阻率环境对电流的阻碍, 典型例子如穿过岩石层并用水泥固井的油井套管仍可实施外加强制电流保护。NACE 推荐的经典著作《管

线腐蚀控制》也指出: 如果屏蔽层具有足够的多孔性吸收水分并成导体, 那么就会有足够的电流通过它来部分或完全保护涂层缺陷处的管线^[1]。三层 PE 防腐管完整性好, 按标准, 所需阴极保护电流密度 $< 3 \mu A/m^2$, 根据 1987 年 J. L. Banach 先生对横贯加拿大管线 (TCPL) 12 000 km 以上管段调查后所著《PIPELINE COATINGS EVALUATION, REPAIR AND IMPACT ON CORROSION PROTECTION DESIGN AND COST》认为: 对阴极保护电流密度 $< 10 \mu A/m^2$ 的管道, 即使土壤电阻 $> 500 \Omega \cdot m$ 管道也不需考虑屏蔽影响, 能得到远程阴极保护站的充分保护^[2]。

5 现场测试

现场测试利用隧道洞内自然进水已淹没管顶的参比电极, 且复线管道尚未与北干线连通的有利时机, 通过在西岸电位测试桩对该段管道单独进行馈电实验, 进行了管道各处瞬间通断电位、管内电流等相关参数的测试。因为此时测试, 无须在射洪和蓬溪阴极保护站安装 GPS 卫星同步断电器, 可保证测试参数的真实可信性。根据测试结果绘制的管道电位分布曲线见图 2。

位于深埋隧道中间位置的 5 号参比电极处管道, 随馈入电流的增加和极化时间的充分, 其极化情况见表 1。

6 测试结果分析

上述的管地电位分布曲线图 (图 2) 和极化情况表 (表 1) 清楚地说明, 随着馈入电流量的逐步增加,

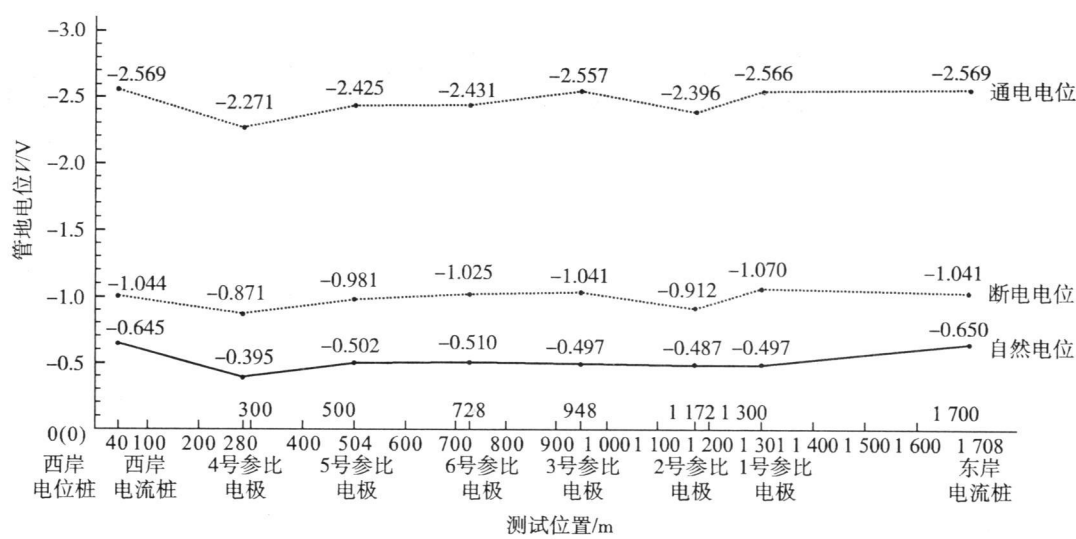


图 2 管地电位分布曲线图

表 1 管道(5 参比电极处)极化情况表

测试时间	12:15	14:31	15:11	15:41	16:50	17:00
馈入电流 /mA	132	235	340	392	445	430
通电电位 /V	-1.239	-1.648	-2.113	-2.304	-2.482	-2.425
断电电位 /V	-0.722	-0.833	-0.875	-0.912	-0.946	-0.981

洞内和陆上管道的极化电位均同步地向负方向偏移,管道能获得充分的保护电流;无论是洞外陆地段管道,还是处于深埋隧道洞内特殊支护结构中的水下管

道,均可获得充分的极化,并达到阴极保护准则要求的保护电位。

测试过程中管道极化时间略显短些,但不影响结论。反映出随着极化时间的延长,IR降会有所减少。

7 穿越段防腐层电阻率

根据现场在两岸电流测试桩处测得的相关阴极保护电参数,按 NACE TM102《埋地管线保护涂层电导测试方法标准》进行数据处理,隧道穿越测量段防腐层电阻率见表 2

表 2 隧道穿越测量段平均防腐层电阻率数据表

测量管段	管段长度 /m	平均通/断电电位差 $\Delta V_i/V$	电流漏失量 $\Delta I/A$	防腐层电阻 R_f/Ω	管段表面积 /m ²	平均电阻率 $\rho/\Omega \cdot m^2$
隧道穿越段	1 688	1.526	0.018	84.8	3 773	319 950

8 结论及建议

a. 处于水下隧道洞内的穿越段管道,能得到陆上强制电流阴极保护系统的有效保护,隧道的结构对阴极保护电流构不成屏蔽。

b. 土壤 IR降大,阴极保护电源设备的控制电位应具有在 -0.500 ~ -3.000 V 范围连续可调的功能。今后运行管理中应以消除了有害误差 IR降的瞬间断电法为基准,来合理调试阴极保护站的控制电位,用断电电位来评价保护效果是重要的。

c. 外防腐层的方案是合理的,洞内管道进水前为架空敷设状况,避免了陆地管道施工回填中对外防腐层的损伤,能直观检测防腐层质量,实测结果表明防腐层质量好。

参考文献:

[1] 皮博迪 A W. 管线腐蚀控制 [M]. 吴建华, 许立坤, 王廷勇, 译. 北京: 化学工业出版社, 2004 32-34

[2] Banch J L. PIPELINE COATING-EVALUATION AND IMPACT ON CORROSION PROTECTION DESIGN AND COST [M]. San Francisco: Corrosion, 1987 5-7.