川西气田输气管道防腐层检测调查分析

唐林华[1], 蔡英华[1], 路 芳[1], 涂茂川[2]

(1. 中石化西南分公司川西采输处, 四川 德阳 618000; 2. 中石化西南有限公司重庆钻井分公司, 重庆 400042)

摘 要: 针对川西气田输气管网的新青管线、黄金管线的管道防腐层进行直流电位梯度法(DCVG)及多频管中电流测试(PCM)联合检测, 对川西气田输气管道腐蚀涂层的失效进行了调查分析, 初步探明川西输气管网的腐蚀主要由涂层局部失效所引起, 为今后川西气田长输管道经济、可靠的维护, 确保输气管道安全、正常运行提供了良好的解决方法。

关键词: 输气管道; 防腐层; 检测

文章编号: 1006-5539(2008)04-0019-05 文献标识码: B

0 引言

自 1984年以来, 经过近二十年的滚动建设, 川西气田整个输气管网形成以新场气田为中心的环状与放射状相结合的管网体系, 总里程达八百余公里。由于大部分埋地长输管道的外防腐层采用石油沥青或环氧煤沥青, 部分管线建设质量较差, 在运行的过程中也难免受到介质、温度、疲劳、腐蚀、局部载荷的影响, 运行一段时间后产生缺陷或导致缺陷扩展, 并可能最终发生失效, 从而造成一些不必要的损失。据统计, 自 1998以来, 川西气田所属长输管线因腐蚀共发生天然气泄露事故超过 250处, 且成逐年上升趋势。

为防止管道因腐蚀而发生事故, 在调研目前国内外输气管道腐蚀监测工艺技术现状及应用的基础上, 结合川西采输处目前实际技术水平及研究手段, 选择采用 PCM多频管中电流检测仪和海安 SL—2098型埋地管道外防腐状况检测仪联合检测等技术, 对川西输气管道新青管线、黄金管线开展了腐蚀调查[1~2]。

1 调查内容

对新青管线 50 km、黄金管线 44.5 km进行直流电位梯度法(DCVG)及多频管中电流测试(PCM)联合检测, 完成 PCM电流测绘 42 km, SL—2089涂层检漏 80处, 采集检测数据 2 100个, 对检测到的涂层缺陷点进行随机开挖腐蚀探坑 42个, 取得探坑腐蚀数据 3 360个, 建立了管道腐蚀检测数据资料, 并对检测出的破损涂层进行了超过 80处的修补, 对所检测的管道进行腐蚀评价, 使管道保护实际有效, 腐蚀得到有效控制。

1.1 检测方案

目前国内外埋地管道腐蚀检测可分为管道内腐蚀检测和管道外腐蚀检测两大类。管内检测法不能直接检测管道防腐层的状况以及阴极保护的效能, 而且管内检测设备造价及检测费用过高, 使管道内检测技术的应用受到极大的限制[3]。目前, 国内主要使用的外腐蚀检测技术主要包括直流电位(DCVG)梯度技术、管内电流衰减法等[4]。这些检测方法都能够实现在不开挖、不影响正常工作的情况下对埋地管道进行检测, 对埋地管道防腐层的总体评价起到一定的作用。川西管网涂层检测技术的基本方案如下:

a. 采用 PCM电流测绘系统对 PS分析的管道进行初测, 将 PCM测试的现场数据录入软件形成曲线, 对数据曲线进行分段处理, 得到各段管道涂层

收稿日期: 2008-01-07

作者简介: 唐林华(1975-), 女, 四川德阳人, 工程师, 学士, 主要从事天然气储运方面工作。电话: (0838)2405139。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Rg值，获得本管道相对的各段涂层电阻的基本信息，从而了解涂层的大致状况。

b在 PCM电流变化率最大的管段上，再使用SL—2098涂层缺陷检测仪进行地面涂层检漏，标出破损位置。

c对标志出严重涂层破损地面位置进行探坑开挖，找到涂层实际破损位置。

d修复查找到涂层破损，对修复后的管道涂层进行电火花检漏，保证涂层无漏电点。

1.2 防腐层检测

1.2.1 现场检测思路

现场检测思路，见图 1。

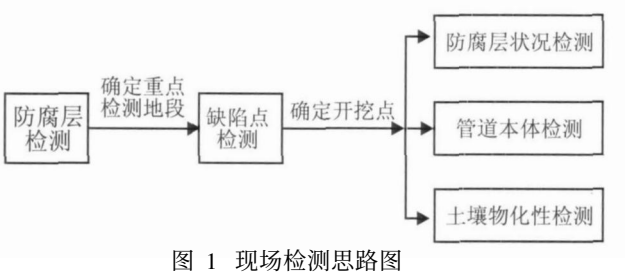

图 1 现场检测思路图

1.2.2 防腐层状况检测

防腐层是埋地金属管道防腐蚀技术措施最重要的组成部分，它对金属管道与环境隔开起到很好的防腐保护作用，同时又对阴极保护防腐蚀措施的设计运行、效果有着重大影响。防腐层的质量如何直接关系到管道的使用寿命，腐蚀层调查工作的主要内容见表 1。

表 1 防腐层测试内容

测试项目	测试手段或方法
外观检查	检测人员用肉眼观测、描述
厚度测定	采用涂层厚仪进行测量
粘附力	检测人员经验判断
针孔检查	检测人员经验判断
防腐层绝缘电阻 /Ω·m²	PCM现场检测
防腐层地面缺陷检测	SL—2098涂层缺陷检测仪检测

1.2.3 管体腐蚀状况调查

金属管体的腐蚀状况是运行管理人员最为关切的问题，对于正在运行的管道，国内外大多采用随机选点开挖检查的方法，用统计规律分析，并结合管道防腐层及所处自然环境，对管体腐蚀性进行综合评价，调查内容见表 2。

表 2 金属管体测试

测试项目	测试手段或方法
外观检查、腐蚀产物收集	检测人员用肉眼观测、描述
腐蚀坑深度检测 /mm	采用深规测量
金属管体壁厚测试 /mm	采用超声波测厚仪测量

1.2.4 现场检测步骤

在收集管道信息、资料的基础上，检测人员沿管道徒步按以下步骤进行检测：

a获取管道相对的各段涂层电阻的基本信息，选取管道重点检测地段。

采用英国雷迪公司生产的 PCM管道电流测绘系统对管道相对的各段涂层电阻进行全面检测，结合检测数据，利用埋地管道防腐层检测数据处理系统（GDFBW软件），根据 SY/T0087—95《钢质管道及储罐腐蚀与防护调查方法标准》中的“管道外防腐层涂层电阻值的评价指标”[5]（见表 3）判定管道防腐层的老化、退化状况，结合 SY/T0007—1999《钢质管道及储罐腐蚀控制及工程设计规范[6]，对判定为差和劣的管段，确定为重点检测地段。

表 3 管道外防腐层涂层电阻值的评价指标

级别	涂层电阻 Rg /Ω·m²	老化状况
一级（优）	＞10 000	基本无老化
二级（良）	5 000～10 000	老化轻微，无剥离和损坏
三级（一般）	3 000～5 000	老化较轻，基本完整，沥青法脆
四级（差）	1 000～3 000	老化较严重，有剥离较严重吸水现象
五级（劣）	＜1 000	老化和剥离严重，轻剥即掉

b采用埋地管道外防腐缺陷检测仪（SL—2098）对重点检测地段涂层缺陷检测，对涂层缺陷情况进行判定，选取典型涂层缺陷点进行开挖。

c开挖典型涂层缺陷点处管道，对涂层外观、厚度、粘附力、针孔等进行检查。通过开挖典型涂层缺陷点处的管道，对防腐层外观，缺陷点进行现场描述[7]。采用涂层测厚仪对涂层厚度进行测量，涂层针孔采用电火花检漏仪进行检测。涂层粘附力根据检测人员现场判定。

d对开挖管道钢质进行外观检查、腐蚀产物收集，腐蚀坑深度检测、金属管体壁厚测试。在管道涂层检测后，对收集腐蚀产物进行试验室分析，并采用超声波测厚仪对钢质管道本体进行壁厚检测。

e清理开挖管道，对涂层破损处进行重新防腐，

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

回填开挖坑。

2　防腐层检测分析

通过 PCM电流测绘系统检测涂层缺陷 42 km,SL—2098涂层检漏仪对涂层缺陷进行准确定位。确定了开挖点 70处,实际开挖 42处。主要检测结果有 PCM涂层电流测绘现场检测和管道涂层腐蚀破坏。

2.1　PCM检测

检测管道涂层 42 km,通过天津嘉信技术工程公司开发的埋地管道防腐层检测系统软件(GD-FFW)对数据进行录入、处理,黄金线和新青线有代表的检测数据曲线见图 2~3。

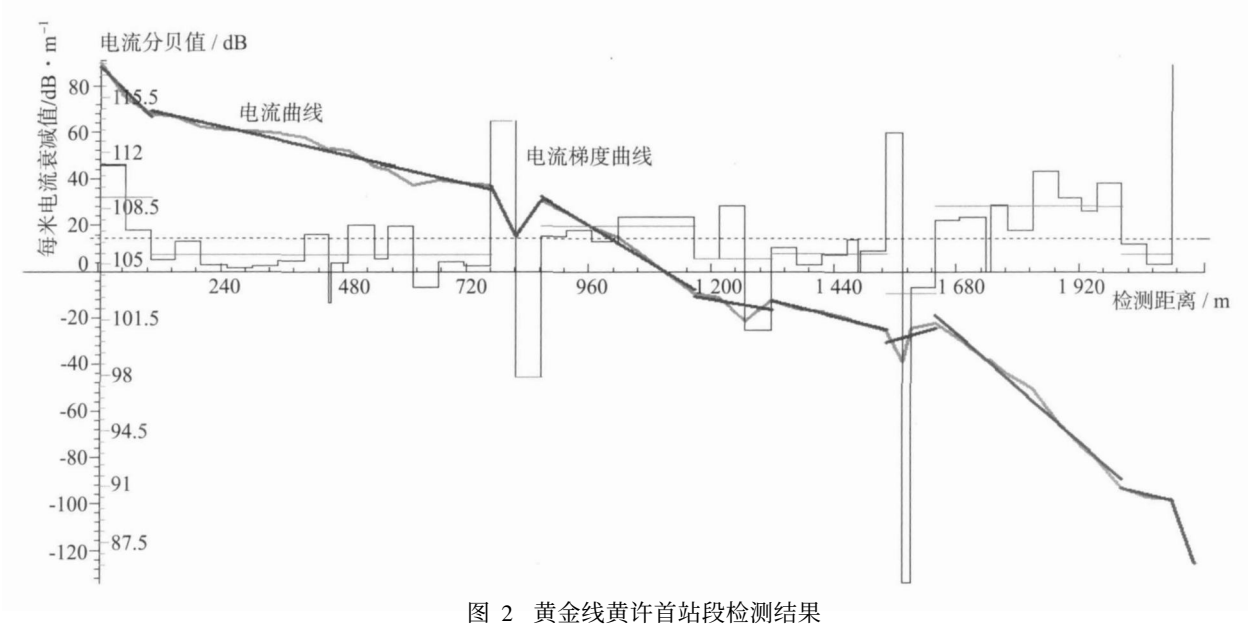

图 2　黄金线黄许首站段检测结果

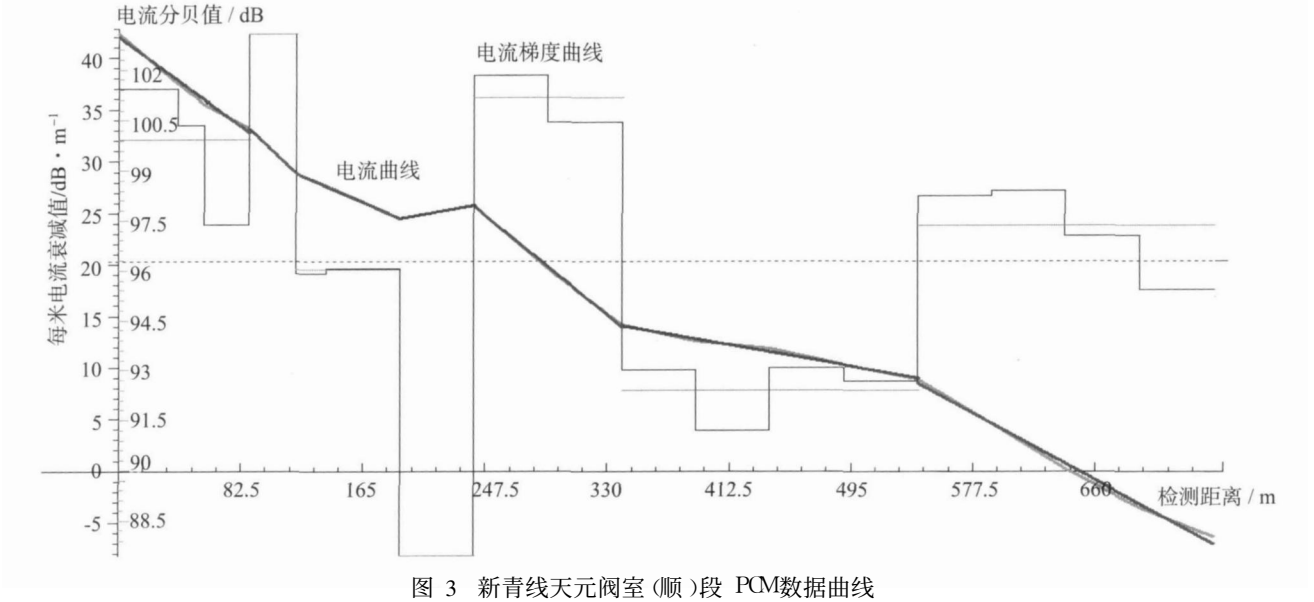

图 3　新青线天元阀室(顺)段 PCM数据曲线

黄金线黄许首站段(检测管段)长 2 147 m,经测试和数据处理,发现 767~817 m及 1 542~1 639 m

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

段两处电流异常，管段防腐层可能存在缺陷。从整体来看，前端管段防腐层状况优于后端。通过管道相对的各段涂层电阻 Rg值计算结果见表 4。

表 4 黄金线（黄许首站段）电阻计算统计表

检测距离/m	每米电流衰减值/dB·m^{-1}	Rg/kΩ·m^2	相关系数 Rxy	管道长度/m	防腐层等级
5～105	31.96	0.68	−0.971	100	劣
105～767	7.4654	＞10.0	−0.975	662	优
767～817	64.586	＜0.1	−1.001	50	劣
817～867	−45.414	0.28	1	50	劣
867～1 167	19.553	2	−0.996	300	差
1 167～1 317	5.694	＞10.0	−0.484	150	优
1 317～1 542	7.77	＞10.0	−0.99	225	优
1 542～1 639	−9.325	8.99	0.335	97	良
1 639～2 002	28.549	0.88	−0.994	363	劣
2 002～2 102	7.735	＞10.0	−0.952	100	优
2 102～2 147	89.965	＜0.1	−1.001	45	劣

注：管道防腐层平均电阻 Rg为 6.2 kΩ·m^2；防腐层综合等级为良。

新青线天元阀室段（检测管段）长 740 m，经测试和数据处理，发现 82～125 m处电流异常，管段防腐层可能存在缺陷。从整体来看，330 m以后的管段防腐层状况优于 330 m之前的管道。通过管道相对的各段涂层电阻 Rg值计算结果见表 5。

表 5 新青管线（天元阀室段）电阻计算统计表

检测距离/m	每米电流衰减值/dB·m^{-1}	Rg/kΩ·m^2	相关系数 Rxy	管道长度/m	防腐层等级
0～88	32.162	0.93	−0.995	88	劣
88～120	42.258	0.5	−1.001	32	劣
120～190	19.49	2.69	−1.001	70	差
190～240	−8.182	＞10.0	1	50	优
240～340	63.091	0.72	−1	100	劣
340～540	7.852	＞10.0	−0.994	200	优
540～740	23.814	1.77	−0.997	200	差

注：管道防腐层平均电阻 Rg为 4.3 kΩ·m^2；防腐层综合等级为一般。

2.2 DCVG检测

DCVG检测效率很低，使用极为不便，因此考虑检测的时间和多方面原因，仅作为检测技术优选中的比较应用。

根据 DCVG检测方法，在黄金线管线中选择了东河阀室段进行了检测，检测结果见图 4。

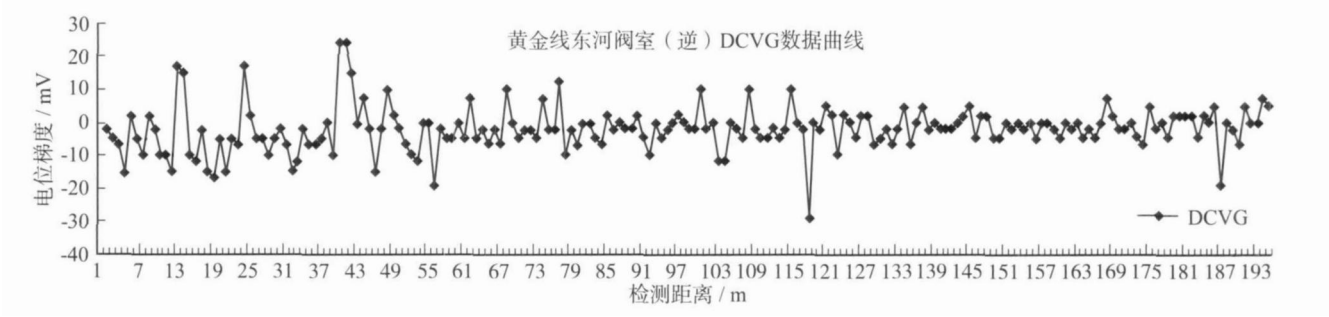

图 4 黄金线东河阀室检测结果

从图 4的曲线上可以看出东河阀室逆气流段的 DCVG(电位梯度)，曲线上近乎等距离的点可以判定为涂层破损。曲线反映出涂层状况在前大半部分较差，后面的相对较好。

2.3 防腐层检测分析

对 PCM检测管段，DCVG检测随机验证，PCM检测与 DCVG检测结果基本一致。通过 PCM的检测，大致了解管道涂层的状况，然后采用 SL−2098对 PCM电流变化率较大的管段进行涂层破损的重点检测，有的放矢的检测出涂层破损严重的管段。检测数据录入《埋地管线防腐层检测数据处理系统》（GDFPW分析软件）绘制成曲线[8]，根据曲线进行分段计算 Rg值，用 Rg值评价涂层的等级，见表 6～7。

表 6 新青线管道防腐层 Rg分级表

地 名	检测距离/m	Rg值/kΩ·m^2	涂层级别/级	评定长度/m
德阳至杨嘉公路旁（逆）	0～103	＜0.1	5	103
	103～226	0.15	5	123
	226～325	1.01	4	99
	325～664	0.66	5	339
德阳至杨嘉公路旁（顺）	0～250	0.35	5	250
	250～446	0.12	5	196
	446～908	0.16	5	462
杨家（逆）	0～509	0.11	5	509
杨家（顺）	0～340	0.14	5	340
	340～540	1.21	4	200
	540～740	0.13	5	200

注：地名为信号加入点（测试桩或 CP站），检测距离为以信号加入点为原点的顺、逆气流距离。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 7　管道防腐层分级统计表

级　别	一级(优)/m	二级(良)/m	三级(可)/m	四级(差)/m	五级(劣)/m
黄金线总距离	7 372	1 775	4 002	3 500	10 864
新青线总距离	/	/	/	299	5 583

管道腐蚀情况的现场调查情况见表 8。

表 8　新青线、黄金线管道腐蚀统计表

序号	坑　号	地　址	时钟刻度	腐蚀类型	腐蚀速率/mm·a^{-1}
1	新青线 04	杨柳村 7组	11:00~12:00	坑蚀	0.020
2	新青线 12	杨家 7树村 4组	4:00~7:00	均匀腐蚀	0.018
3	新青线 13	杨家 7树村 4组	6:00~9:00	坑蚀	0.031
4	新青线 20	小汉上林村 4组	3:00~5:00	坑蚀	0.032
5	新青线 24	天元 5庙村 2组	4:00~6:00	坑蚀	0.003
6	黄金线 03	连山双桥 2组	0:00~1:00	坑蚀	0.003
7	黄金线 18	连山双桥 2组	10:00~3:00	坑蚀	管在水中

川西管道腐蚀在调查的管道中属于中等腐蚀,探坑验证点最大的腐蚀速率为 0.032 mm/a,远远超过工程应用的 0.01 mm/a的要求,管道腐蚀的原因最主要的是涂层实效。

3　结论及建议

a.通过防腐层检测与腐蚀评价,川西输气管网的腐蚀主要由涂层局部失效所引起,黄金线的涂层优于新青线。

b.在 42 km距离的检测中,五级的涂层属于涂层大修范围,总计长度为 15 km。在涂层检测过程中发现新青线基本上每 km涂层漏损点数量都已大大超出 SY/T0087—95《钢质管道及储罐腐蚀与防护调查方法标准》每 10 km少于 8个的要求。

c.黄金线的部分涂层相对较好。防腐层漏损点主要集中在管道浅埋(易受到第三方人为破坏)以及对接环焊缝补口质量较差地段,由于管道防腐层漏损点较多,总体上影响了防腐层的质量等级。

d.经探坑现场调查发现,部分管段涂层质量较差。现场探坑的涂层存在的问题有:一是涂层粘接力基本消失;二是因为施工质量差管道表面涂层仅为一层玻璃布,目前玻璃布已经老化,轻触即破碎完全丧失涂层的保护作用;三是涂层出现连续的大量的漏电点。

e.针对川西管网涂层很差的问题,建议建立川西管网涂层检漏与修复生产维护体系,实施常规的涂层修复,对严重涂层失效的管段进行有计划的涂层大修。

参考文献:

[1] 韩兴平,候　胜.水下及埋地管线腐蚀检测新技术[J].天然气工业,2000,20(6):85-87.

[2] 吕海青,夏智富,张殿武,等.石化厂区地下输水管网腐蚀状况调查[J].全面腐蚀控制,2004,18(3):23-26.

[3] 胡士信,徐　快,孟宪级,等.阴极保护手册[M].北京:化学工程出版社.1999.

[4] 高立群,李洪锡,孙　成,等.坨子里—鞍山输油管线腐蚀调查[J].全面腐蚀控制,2000,14(2):17-19.

[5] SY/T0087—95 钢质管道及储罐腐蚀与防护调查方法标准[S].

[6] SY/T0007—1999 钢质管道及储罐腐蚀控制及工程设计规范[S].

[7] 张　平,龚树鸣.南干线四川气田榕佛段外腐蚀调查总结[J].天然气与石油,2001,19(4):43-46.

[8] 邱关源,林守江.埋地钢质管道防腐层状况检测系统——多频管中电流法[Z].天津:天津市嘉信技术工程公司,2002.