

失效分析

## Q235B 消防水管道泄漏原因分析

聂向晖<sup>1,2</sup>, 李维星<sup>3</sup>, 丰振军<sup>1,2</sup>, 许彦<sup>1,2</sup>,  
刘永振<sup>4</sup>, 李亮<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油集团工程材料研究院有限公司, 西安 710077; 2. 北京隆盛泰科石油管科技有限公司, 北京 100101; 3. 国家管网集团南山(山东)天然气有限公司, 山东 烟台 264000; 4. 安阳中科工程检测有限公司, 河南 安阳 455111)

**摘 要:** 为了研究某 Q235B 消防水管道泄漏原因, 利用宏观检查、理化性能分析、能谱分析等对泄漏管段进行了检验和分析。结果显示: 泄漏部位位于钢管外表面冷缠带及环氧涂层脱落处, 主要表现为簇状分布的腐蚀坑; 管材化学成分、拉伸性能、压扁试验结果满足相关标准要求; 管体金相组织均为铁素体+珠光体, 组织未见异常; 腐蚀坑附近腐蚀产物中主要含有 Fe、O、Si、Ca 及少量 Cl。分析表明, 管道泄漏是因为钢管表面冷缠带及底漆脱落, 导致钢管金属基体与土壤介质接触, 从而产生局部腐蚀及穿孔。

**关键词:** Q235B; 消防水管道; 泄漏; 腐蚀

中图分类号: TG174.1

文献标识码: B

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2022.09.007

## Leakage Cause Analysis of Q235B Fire Water Pipeline

NIE Xianghui<sup>1,2</sup>, Li Weixing<sup>3</sup>, FENG Zhenjun<sup>1,2</sup>, XU Yan<sup>1,2</sup>, LIU Yongzhen<sup>4</sup>, LI liang<sup>1,2</sup>

(1. CNPC Tubular Goods Research Institute, Xi'an 710077, China; 2. Beijing Longshine Oil Tubular Technology Co., Ltd., Beijing 100101, China; 3. PipeChina Nanshan(Shandong) LNG Co., Ltd, Yantai 264000, Shandong, China; 4. Anyang Zhongke Engineering Detecting Co., Ltd., Anyang 455111, Henan, China)

**Abstract:** In order to investigate the leakage cause of Q235B fire water pipeline, the leakage pipe section was tested and analyzed by means of macro inspection, mechanical properties testing and chemical analysis and EDS analysis. The test results showed that the leakage point was located at the place where the cold-tangled belt and epoxy coating fall off, and distributed in clusters corrosion pits. The chemical composition, tensile properties and flattening test results meet the requirements of relevant standards. The metallographic structure of the pipe body is ferrite + pearlite. The corrosion products near the pit mainly contain Fe, O, Si, Ca and a small amount of Cl. The analysis indicates that the leakage of the pipe is caused by the peeling of cold-tangled belt on the surface and primer, which leads to the contact between the metal base of the steel pipe and the soil medium, resulting in local corrosion and perforation.

**Key words:** Q235B; fire water pipeline; leakage; corrosion

腐蚀是埋地钢质管道失效的一个主要原因, 影响埋地管道腐蚀的因素主要包括内部介质条件及外部环境因素、钢管材质及加工缺陷、管道受力状态等, 通常情况下, 管道发生腐蚀是这些因素相互作用的结果<sup>[1-2]</sup>。影响埋地管道腐蚀的外部环境因素主要包括土壤类型、含水量、pH 值、

电阻率、微生物等, 腐蚀防护是减缓埋地管道发生腐蚀的关键, 对于油气长输管道来说, 一般采用“防腐涂层+阴极保护”的双重保护措施, 而对于生活用水、生产用水等输水管道一般采用防腐涂层的保护形式。防腐涂层的主要作用是隔离钢管管体与周围的土壤环境, 从而避免土壤腐蚀

的发生，涂层一旦发生剥离或破损，则失去了保护效果<sup>[3-6]</sup>。

某消防水管道采用 Q235B 钢级  $\Phi 219.1\text{ mm}\times 7.0\text{ mm}$  高频电阻焊钢管，订货标准为 GB/T 3091—2015《低压流体输送用焊接钢管》<sup>[6]</sup>，工作压力为 0.8~1.0 MPa，埋深 2 m，管道采用液态环氧底漆加冷缠带防腐措施，未进行阴极保护。该管道投入使用一年后多处发生泄漏，为了查明泄漏原因，对泄漏部位钢管进行了检验和分析。

## 1 外观检查

在消防水管道泄漏处及其邻近截取钢管试样，如图 1 所示。从图 1 可以看出，钢管外表面采用冷缠带包覆，泄漏部位及其附近的冷缠带防护层及底漆已大面积剥落，冷缠带脱落处钢管表面覆盖着较厚的泥土及棕褐色锈蚀产物层，在冷缠带及底漆完好部位未见明显的腐蚀现象。用钢丝刷清除钢管外壁污物，两支钢管管体表面存在

簇状密集分布的腐蚀坑，个别蚀孔已贯穿钢管壁厚，钢管腐蚀形貌如图 2 所示。其中，1# 钢管泄漏处蚀坑呈外大内小的漏斗形特点，外表面蚀坑长轴约 10 mm，短轴约 6 mm（图 2（a）），其内表面腐蚀相对较轻，除泄漏部位存在一直径约 2 mm 的蚀孔外，其余未见明显蚀坑存在（图 2（b））。2# 钢管表面也发现有密集分布的腐蚀坑，最大蚀坑深度已经超过钢管壁厚的一半，约 4 mm 左右（图 2（c）），与 1# 试样钢管类似，其内表面腐蚀轻微，未见明显的蚀坑存在。

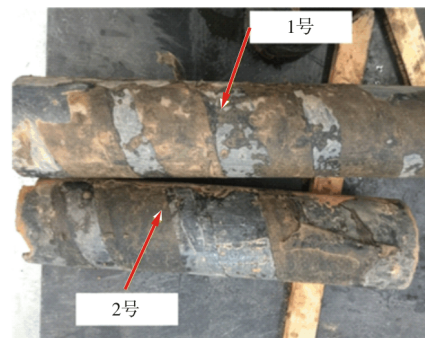


图 1 取样钢管实物照片



（a）1#钢管外壁



（b）1#钢管内壁



（c）2#钢管外壁

图 2 泄漏钢管腐蚀形貌

## 2 理化检验

### 2.1 化学成分分析

在 1# 和 2# 管体未发生明显腐蚀的部位取样，

采用 ARL 4460 直读光谱仪，依据 GB/T 4336—2016 对其进行化学成分分析，结果见表 1，由检测结果可以看出，两根钢管的化学成分满足 GB/T 3091—2015《低压流体输送用焊接钢管》要求。

表 1 Q235B 泄漏管道管体化学成分

项目	化学成分/%													
	w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(P)	w(S)	w(Cr)	w(Mo)	w(Ni)	w(Nb)	w(V)	w(Ti)	w(Cu)	w(B)	w(Al)
1# 钢管	0.033	0.16	1.14	0.008 0	<0.002	0.17	<0.000 9	0.008 2	0.030	0.004 0	0.013	0.008 3	0.000 2	0.003 4
2# 钢管	0.079	0.19	1.05	0.020	0.002 4	0.050	0.001 2	0.038	<0.000 8	0.004 8	0.018	0.028	0.000 3	0.029
标准 要求	≤0.20	≤0.35	≤1.40	≤0.045	≤0.045	≤0.30	—	≤0.30	—	—	—	≤0.30	—	—

## 2.2 拉伸性能试验

在 1<sup>#</sup> 钢管和 2<sup>#</sup> 钢管的管体及焊缝处分别取拉伸试样, 采用 SHT4106 试验机, 依据 GB/T 228.1 进行拉伸性能试验, 试验结果见表 2, 由检测结果可以看出, 两根钢管的拉伸性能满足 GB/T 3091—2015《低压流体输送用焊接钢管》要求。

表 2 泄露管道拉伸性能试验结果

试样编号	取样部位	$R_m$ /MPa	$R_{el}$ /MPa	$A$ /%	断裂位置
1 <sup>#</sup> 钢管	管体横向	502	445	40.0	—
	焊接接头	531	—	—	母材
2 <sup>#</sup> 钢管	管体横向	425	337	43.5	—
	焊接接头	456	—	—	母材
标准要求		$\geq 370$	$\geq 235$	$\geq 20$	

## 2.3 压扁试验

在 1<sup>#</sup> 和 2<sup>#</sup> 钢管上分别取样, 利用 YH41—100C 液压机, 按照 GB/T 246 方法进行压扁试验, 试样规格为  $\Phi 219.1 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 。压扁试验结果见表 3, 试验结果满足 GB/T 3091—2015《低压流体输送用焊接钢管》要求。

表 3 泄露管道压扁试验结果

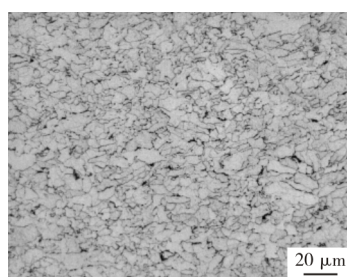
试样编号	焊缝位置	平板间距/mm	试验结果
1 <sup>#</sup> 钢管	0°	146 (2D/3)	未出现裂纹
		109 (D/2)	未出现裂纹
		贴合	未出现裂纹
	90°	146 (2D/3)	未出现裂纹
		109 (D/2)	未出现裂纹
		贴合	未出现裂纹
2 <sup>#</sup> 钢管	0°	146 (2D/3)	未出现裂纹
		109 (D/2)	未出现裂纹
		贴合	未出现裂纹
	90°	146 (2D/3)	未出现裂纹
		109 (D/2)	未出现裂纹
		贴合	未出现裂纹

## 2.4 金相分析

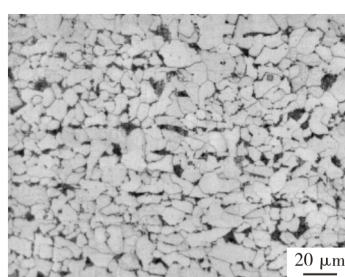
在 1<sup>#</sup> 钢管和 2<sup>#</sup> 钢管管体处分别取金相试样, 依据 GB/T 13298—2015, 采用 OLS 4100 激光共聚焦显微镜进行组织分析及非金属夹杂物、晶粒度检测, 结果见表 4。图 3 为两支钢管未明显腐蚀及穿孔处的金相组织。由表 4 和图 3 可知, 两支钢管的组织均为铁素体+珠光体, 夹杂物级别较低, 最高为 1 级, 晶粒较细, 管体及蚀坑处未见组织异常及变形。

表 4 泄露管道金相评定结果

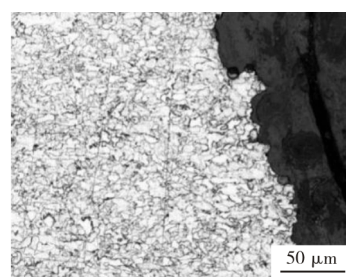
试样编号	非金属夹杂物								组织	晶粒度
	A		B		C		D			
	薄	厚	薄	厚	薄	厚	薄	厚		
1 <sup>#</sup> 钢管	0.5	0	0.5	0	0	0	1.0	0	F+少量 P	10.5 级
2 <sup>#</sup> 钢管	0.5	0	0.5	0	0	0	0.5	0	F+P	9.5 级



(a) 1<sup>#</sup> 钢管管体



(b) 2<sup>#</sup> 钢管管体



(c) 1<sup>#</sup> 钢管穿孔处

图 3 泄露管道金相组织

## 2.5 能谱分析

从 1<sup>#</sup> 管体泄漏点附近取样进行扫描电镜形貌观察和能谱分析, 图 4 为钢管外表面腐蚀穿孔处的腐蚀产物形貌, 由图 4 可以看出, 钢管表面腐蚀产物层松散, 且产物表面存在孔洞及龟裂现

象。图 5 为腐蚀产物能谱分析结果, 可以看出腐蚀产物中主要含有 Fe、O、Si、Ca 及少量的 Cl 元素, 其中 Fe 及部分 O 元素主要来自于钢管表面的腐蚀产物, Si、Ca、Cl 及部分 O 元素主要来自于土壤。



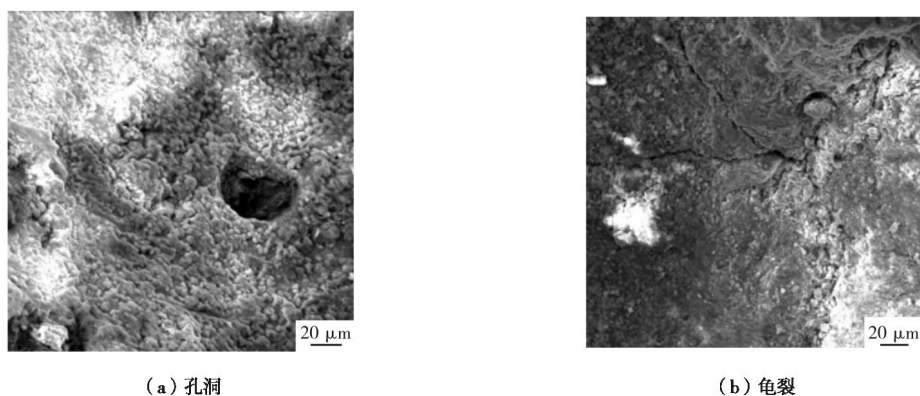
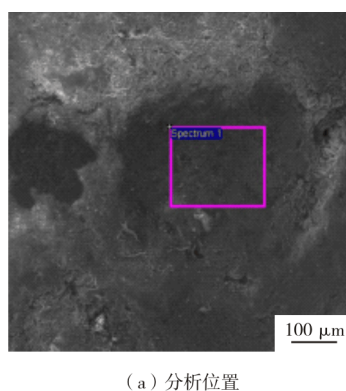


图4 1#管体腐蚀产物形貌



元素	质量百分数/%
O K	38.60
Si K	2.95
Cl K	0.44
Ca K	2.04
Fe K	55.97
总计	100.00

(b) 分析结果

图5 1#管体腐蚀产物能谱分析结果

### 3 分析与讨论

从上述试验结果可以看出,所取两支钢管的化学成分、力学性能及金相组织未见异常,均符合 GB/T 3091—2015《低压流体输送用焊接钢管》要求。由宏观检查结果可知,泄漏消防水管道的腐蚀及穿孔位于冷缠带及底漆脱落处,冷缠带及底漆完好部位未见明显腐蚀;钢管外表面裸露部位局部腐蚀严重,主要表现为簇状分布的腐蚀坑,蚀坑外大内小,即呈现由外表面逐渐向管体内壁发展的趋势,内表面腐蚀轻微,除泄漏穿孔部位外,未见明显的腐蚀坑。据此可判断该消防水管道泄漏的原因是钢管表面冷缠带及底漆脱落,导致钢管金属基体与土壤介质接触而产生的土壤腐蚀。

土壤腐蚀是电化学腐蚀的一种,其发生的先决条件是在金属表面有电解质溶液的存在。土壤是一种复杂的混合物,包含有机物及盐分等多种物质,土壤含水后其盐分溶于水成为电解质溶液,在金属表面形成电解质薄膜,薄膜下裸露的

金属表面由于电极电位的差异形成许多微小的阴极和阳极,构成无数个腐蚀微电池。理想状况下,这些微小的阳极和阴极在金属表面是随机分布的,并且位置也不断变化,形成全面腐蚀<sup>[7-8]</sup>。

而在实际环境中,由于金属表面状态的不同,以及土壤结构、含水量差异的影响,在金属表面不同部位的电极电位及氧含量不同,往往会形成腐蚀宏电池。其中,透气良好、金属表面电解液膜较薄的部位氧浓度大、电极电位高,成为电化学腐蚀中的阴极区,阴极区主要发生 $\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$ 的还原反应,该部位金属受到保护不发生腐蚀;而对于透气不良或电解液膜较厚的部位氧浓度小、金属电极电位低,成为电化学腐蚀的阳极区,阳极区发生 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ 的溶解反应,从而发生腐蚀<sup>[9]</sup>。对于这种宏电池腐蚀,其阴极和阳极的位置一般是固定的,如图2(a)及图2(c)所示,腐蚀坑处为阳极区,蚀坑周围的钢管表面则为阴极区,因此为典型的大阴极小阳极腐蚀宏电池。

在钢管腐蚀过程中,其腐蚀产物沉积在金属表面,沉积物内部由于缺氧促进了阳极过程的进展,所以沉积物下腐蚀不断加剧,逐步发展为闭塞电池形成腐蚀坑。蚀坑形成后,由于供氧差异,蚀坑外的金属供氧充足,为腐蚀原电池的阴极,蚀坑内金属由于缺氧而成为阳极<sup>[10]</sup>。随着腐蚀过程的进展,蚀坑内  $\text{Fe}^{2+}$  浓度不断增加,为保持电中性,蚀坑外  $\text{Cl}^-$  等阴离子向坑内迁移,蚀坑内  $\text{Cl}^-$  等阴离子浓度升高。随着蚀坑内金属离子浓度增高并发生水解反应  $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$ ,促进了坑内  $\text{H}^+$  浓度的升高, pH 值降低,蚀坑内电解液酸化,酸性环境加剧腐蚀的发展,且蚀坑内壁始终处于活化溶解状态,这样使蚀坑内的腐蚀以自催化的过程持续发展下去,蚀坑内部阳极区加速腐蚀,蚀坑深度不断增大,最终导致钢管穿孔泄漏。

#### 4 结论与建议

(1) 采用 Q235B 钢级  $\Phi 219.1 \text{ mm} \times 7.0 \text{ mm}$  高频电阻焊钢管的消防水管道,其化学成分、力学性能符合 GB/T 3091—2015《低压流体输送用焊接钢管》要求,金相组织未见异常。

(2) 该消防水管道泄漏的主要原因是钢管表面冷缠带及底漆脱落,导致钢管金属基体在土壤介质中发生局部腐蚀及穿孔。

(3) 在管道的建设及施工过程中应注意保持钢管外表面防腐涂层及保护层完好,避免其破坏

导致钢管腐蚀。在条件允许时应对该消防水管道进行开挖,检查防腐涂层及保护层的破损情况及早修复,避免腐蚀的进一步发生。

#### 参考文献:

- [1] 刘秀晨,安成强. 金属腐蚀学[M]. 北京:国防工业出版社,2002:159.
- [2] 聂向晖,王高峰,赵金兰,等. HFW 焊管在 NS4 及鹰潭土壤模拟溶液中的腐蚀及机理分析[J]. 焊管,2014,37(4):18-22.
- [3] 王强,白真权,苗健,等. 国内高强度管线钢土壤腐蚀研究现状[J]. 腐蚀科学与防腐技术,2012,24(2):171-172.
- [4] 何俊峰. 埋地管线防腐层破损原因探讨[J]. 全面腐蚀控制,2021,35(12):101-103.
- [5] 张少龙. 浅析供水管线的腐蚀问题及其控制[J]. 全面腐蚀控制,2016,30(10):24-24.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 低压流体输送用焊接钢管: GB/T 3091—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [7] 何文新. 油气管道腐蚀的特点及防护措施探析[J]. 全面腐蚀控制,2021,35(8):87-89.
- [8] 刘英义,贾宏斌,张红梅,等. 高钢级 X80 管线钢土壤腐蚀行为的研究[J]. 热加工工艺,2015,44(8):57-60.
- [9] 么惠平,闫茂成,杨旭,等. X80 管线钢红壤腐蚀初期电化行为[J]. 中国腐蚀与防护学报,2014,34(5):472-476.
- [10] 伍超群,刘英坤,熊文. 燃气钢管腐蚀穿孔原因分析[J]. 理化检验-物理分册,2014,50(2):137-139.

作者简介:聂向晖(1972—),男,河南人,高级工程师,现主要从事石油管材无损检测及失效分析工作。

收稿日期:2022-04-18

编辑:黄蔚莉

## 我国首个油气管道高速总线应用平台启用

2022年9月1日,中国石油天然气集团有限公司管道局承担的国内首个油气管道国产化高速总线工业性应用平台在湖北宜昌正式启用,标志着油气管道国产化高速总线正式进入推广应用阶段,为我国在石油石化行业工业信息网络实现自主可控提供了有力保障。

现场总线是工业信息网络的重要组成部分,其主要功能为采集、传输现场数据,通过分析这些数据,从而控制相关的仪器仪表和制动设备。作为管道局和国家管网集团西部管道分公司、北京东土科技有限公司共同推进的关键设备国产化课题成果,油气管道国产化高速总线具有全产业链国产化的特点,布线、安装简单,便于网络维护,通过总线组网可以缓解石油石化行业信号传输的痛点,突破终端数据传输的瓶颈。该平台在开发端、应用端具有高度开放性,是全互联互通开放式共享平台,具备极高的推广应用价值。

(摘自 中国电力报)