

测试·分析

# 钢丝增强液压胶管钢丝的锈蚀分析

王宝星, 刘敬平, 罗奕文

[贝卡尔特(中国)技术研发有限公司, 江苏 江阴 214434]

**摘要:** 研究钢丝增强液压胶管的失效原因及外部环境对其钢丝锈蚀的影响。结果表明: 环境温度和湿度是导致钢丝增强液压胶管钢丝锈蚀的重要因素, 其中湿度的影响比温度更大, 胶料中氯元素的存在加速了钢丝锈蚀的速度; 合理控制原料钢丝的储存和使用环境对保证钢丝质量非常重要, 胶料的胶种选择和配方优化、胶管的生产工艺调整等对提高钢丝增强液压胶管的质量有重要作用。

**关键词:** 液压胶管; 钢丝; 锈蚀; 温度; 湿度

**中图分类号:** TQ336.3; TQ330.38<sup>+9</sup>

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-890X(2022)06-0470-04

**DOI:** 10.12136/j.issn.1000-890X.2022.06.0470



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

作为液压系统的关键部件, 胶管的生产工艺随着环保和应用要求的不断提高而改进, 其性能的主要影响因素包括环境温度、液体压力、弯曲半径、爆破压力和脉冲寿命等<sup>[1]</sup>。应用于工程机械或汽车液压系统的SAE(美国汽车工程师协会)系列钢丝增强液压胶管性能要求更是越来越高<sup>[2]</sup>。

胶管外胶层常暴露在大气环境中并与不同介质接触, 且经常因胶管被拖拽而受摩擦, 因此需要具有优良的耐臭氧、耐天候以及一定的耐油性和耐磨性能, 目前胶管外胶层胶种多采用氯丁橡胶(CR), 考虑价格因素, 也常采用CR与氯化聚乙烯(CPE)、丁腈橡胶(NBR)、丁苯橡胶(SBR)等并用<sup>[3]</sup>。

原材料品质<sup>[4]</sup>、配方设计<sup>[5]</sup>和生产工艺控制<sup>[6-9]</sup>对保证胶管质量非常关键。本工作对钢丝增强液压胶管进行失效分析, 并重点研究其钢丝骨架材料在不同环境条件下的表面变化情况。

## 1 实验

### 1.1 胶管样品

胶管样品为低脉冲周期失效钢丝增强液压胶管, 其所用钢丝为0.295HT钢丝(江阴贝卡尔特钢

丝制品有限公司)。

### 1.2 试验仪器

Axiophot型光学显微镜(OM)、SUPRA40型场发射电子显微镜(SEM)和X射线能量色散光谱仪(EDX), 德国ZEISS集团产品; SZX7型体式显微镜, 日本OLYMPUS集团产品; vkx150型共聚焦显微镜, 日本基恩士集团产品; KTHA-010THS型恒温恒湿箱, 昆山庆生电子科技有限公司产品。

### 1.3 测试分析

从失效胶管中取出非爆口区域钢丝, 分别采用OM和SEM进行表面观察, 用EDX进行化学元素测试。胶管原料钢丝试验有4种组合条件, 条件1: 温度 26℃, 湿度 50%; 条件2: 温度 32℃, 湿度 50%; 条件3: 温度 26℃, 湿度 80%; 条件4: 温度 32℃, 湿度 80%<sup>[10]</sup>。钢丝在湿热老化箱中进行老化, 间隔一定时间取样, 在OM下观察表面颜色变化和锈蚀情况。

## 2 结果与讨论

### 2.1 失效胶管分析

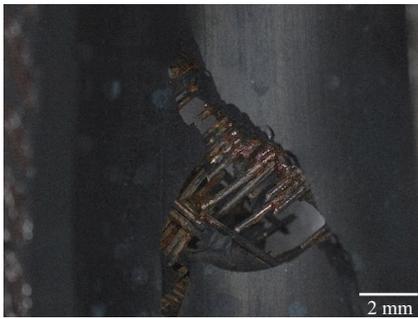
图1所示为胶管的失效区域形貌。由图1可

**作者简介:** 王宝星(1980—), 男, 山东济南人, 贝卡尔特(中国)技术研发有限公司技术项目经理, 硕士, 主要从事橡胶与骨架材料粘合研究及钢丝新产品开发和应用工作。

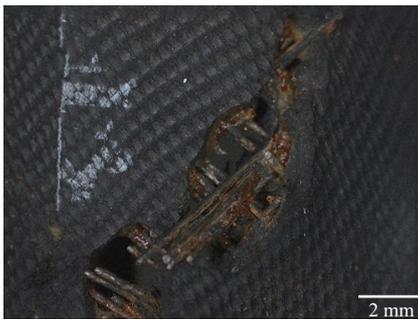
**E-mail:** wang.baoping@bekaert.com

**引用本文:** 王宝星, 刘敬平, 罗奕文. 钢丝增强液压胶管钢丝的锈蚀分析[J]. 橡胶工业, 2022, 69(6): 470-473.

**Citation:** WANG Baoping, LIU Jingping, LUO Yiwen. Corrosion analysis of steel wire reinforced hydraulic hose[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(6): 470-473.



(a) 内表面



(b) 外表面

图1 胶管的失效区域形貌

Fig. 1 Topographies of hose failure areas

见,失效区域右向和左向均有大量断口,断口处钢丝锈蚀现象严重。为了避免胶管失效后钢丝锈蚀对分析问题的判断,故取远离失效区域钢丝进行后续观察测试。

在胶管远离失效爆口的橡胶包覆良好区域,去除橡胶后,也可以看到大量的钢丝断口,取出一定数量的钢丝,用OM观察,如图2所示。图2中可以看到钢丝表面已经产生一定的锈蚀。

在共聚焦显微镜下可以更清楚地看到钢丝表面的锈蚀形貌(见图3)。在此成像系统中,采用激光点光源照射钢丝,具有特征信息的光被点探测器



图2 未失效区域钢丝的OM图像

Fig. 2 OM image of steel wires in unfailed area

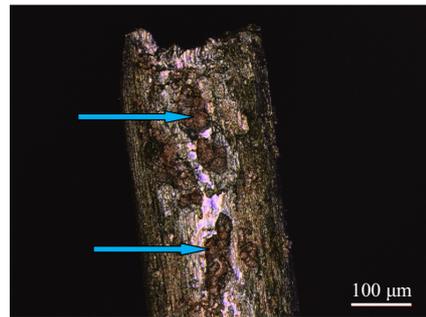


图3 未失效区域钢丝的共聚焦显微镜图像

Fig. 3 Confocal microscopy image of steel wire in unfailed area

收集,最后利用横向和轴向扫描技术获得整个钢丝的三维彩色图像。由图3可以清楚看到,钢丝锈蚀区域呈现凹坑形貌,显示红褐色(如箭头所指)。

随机取到的2根断口钢丝的SEM照片,见图4。由图4可以更清楚地看到钢丝表面锈蚀为点蚀,呈现锈蚀坑形貌(如箭头所指)。分析认为,胶管外胶层在硫化过程中会有一些量的氯化氢脱出<sup>[5,11]</sup>,相关钢绞线蚀坑演化规律研究<sup>[12]</sup>表明,在氯原子存在的条件下钢丝产生的锈蚀坑向内表面凹进,呈现椭球状。另有研究<sup>[13]</sup>表明,在有水和氧的条件下,氯的存在可以显著加速钢丝表面的锈蚀速度。

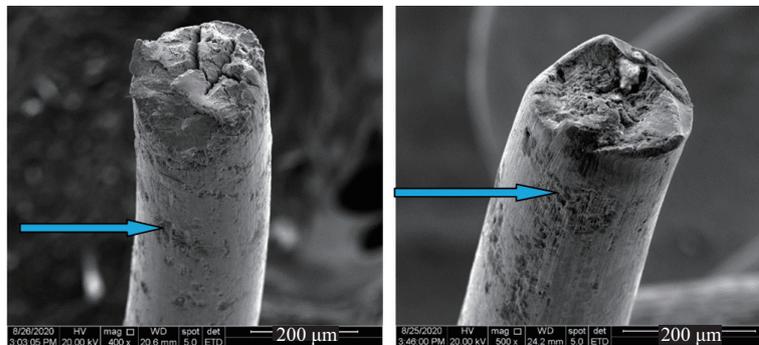


图4 钢丝断口的SEM图像

Fig. 4 SEM images of steel wire fractures

采用EDX对未失效区域钢丝表面进行元素分析,SEM图像和EDX测试结果分别如图5和表1所示。位置1为钢丝表面平整、未发生锈蚀区域,位置2为发生锈蚀、形成坑洞区域。对比可以得出,锈蚀区域有大量的氧和铁元素,铜锌镀层被破坏。

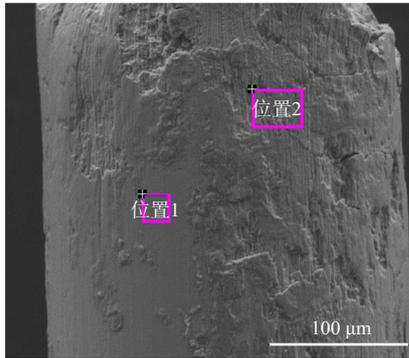


图5 未失效区域钢丝的SEM图像  
Fig. 5 SEM image of steel wire in unfailed area

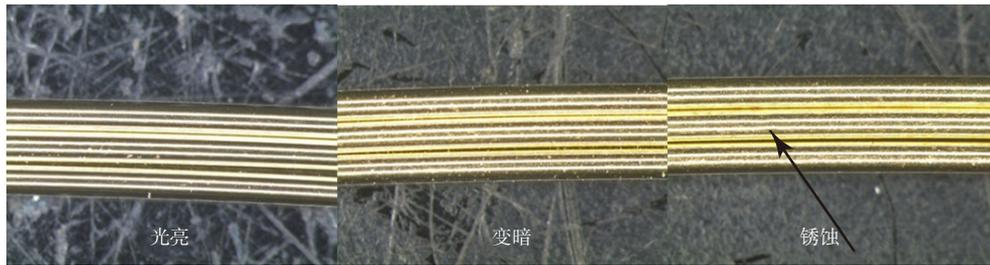


图6 3种状态钢丝的表面形貌  
Fig. 6 Surface morphologies of 3 type state steel wires

表2 钢丝的表面状态变化时间

组合条件	观察间隔	光亮	变暗	锈蚀
1	24	42	66	90
2	16	16	32	48
3	6	6	12	16
4	2	6	8	10

因此在GB/T 11182—2017《橡胶软管增强用钢丝》<sup>[14-15]</sup>中对胶管钢丝的包装和储存提出了更高的要求:在运输过程中要有防雨和防潮措施,在包装完好的情况下钢丝的保质期为6个月,开包装前应将包装箱置于实际使用环境下至少12 h。

此外,在胶管的生产过程中,钢丝的储存和使用条件更为关键,因为生产计划或产能等原因,部分钢丝会使用多个班次,或者编织后的胶管会

表1 未失效区域钢丝成分的EDX测试结果

位置	C	O	Si	S	Cl	Mn	Fe	Cu	Zn	合计
1	5.9	1.7	0	8.2	0.3	0	29.5	49.6	4.8	100
2	10.2	14.2	0.2	0.4	0.2	0.4	62.9	9.1	2.4	100

## 2.2 不同温度和湿度下原料钢丝的变化

未使用的胶管钢丝在温度为26和32 ℃、湿度为50%和80%的4个组合条件下<sup>[10]</sup>,在湿热老化箱中间隔一定时间取出以在OM下观察表面颜色变化和锈点产生时间。

对钢丝表面状态给出3个定义,一是初始光亮状态,二是一段时间后变暗,三是开始产生锈蚀,如图6所示。记录在不同温度和湿度下钢丝开始变暗和发生锈蚀的时间,如表2所示。

从表2可以看出:在条件1下42 h后钢丝表面依然光亮,但是66 h后变暗,90 h后开始有锈蚀产生;对比条件1—4结果,湿度比温度对钢丝锈蚀的影响更大。

停放较长时间再进行包覆外胶以及硫化;夏季部分区域的温度和湿度远超过本研究设计的试验条件;车间采用高压水冲洗地面以保持整洁,但这导致车间湿度过高,诸多上述原因导致每年夏季胶管失效问题频发。

## 3 结论

分析了钢丝增强液压胶管的失效原因及其钢丝的锈蚀现象。结果表明,温度和湿度是导致胶管钢丝锈蚀的重要因素,其中湿度的影响比温度更大,胶料中氯元素的存在也加速了钢丝锈蚀速度。因此,合理控制原料钢丝的储存和使用环境对保证钢丝质量非常重要,此外,胶料的胶种选择和配方优化、胶管的生产工艺调整等对提高胶管质量有重

要作用。

### 参考文献:

- [1] 刘玉田. 世界胶管工艺的新进展[J]. 中国橡胶, 2008, 24(7): 8-13.  
LIU Y T. New developments in the world's hose technology[J]. China Rubber, 2008, 24(7): 8-13.
- [2] 张一川, 刘枫, 符寿康, 等. 制动胶管编织骨架层正交各向异性力学性能与管体扭转变形仿真分析及试验验证[J]. 橡胶工业, 2020, 67(2): 83-90.  
ZHANG Y C, LIU F, FU S K, et al. Simulation analysis and experimental verification of orthogonal anisotropic mechanical properties of braided framework layer and torsion characteristics of brake hose[J]. China Rubber Industry, 2020, 67(2): 83-90.
- [3] 张一川. 制动胶管及总成建模和力学性能有限元模拟分析研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2020.
- [4] 白子文. 氯丁橡胶含水量对其焦烧性能的影响[J]. 山西化工, 1987(4): 17-19.  
BAI Z W. Influence of water content of chlorinated butadiene rubber on its scorch performance[J]. Shanxi Chemical Industry, 1987(4): 17-19.
- [5] 刘枫. 胶管用编织层的几何建模和力学性能有限元模拟分析研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2019.
- [6] 张广鑫. 加强质量管理, 提高钢丝缠绕胶管质量[J]. 广东橡胶, 2001(8): 16-20.  
ZHANG G X. Strengthening of quality management and improvement of quality of steel wire wound hose[J]. Guangdong Rubber, 2001(8): 16-20.
- [7] 姚玉玲, 王伟. 从钢丝缠绕胶管的质量变化看质量改进的作用[J]. 中国质量, 2006(11): 81-83.  
YAO Y L, WANG W. Viewing the effect of quality improvement from the quality change of steel wire wound rubber hose[J]. China Quality, 2006(11): 81-83.
- [8] 刘嘉鑫. 钢丝缠绕胶管骨架结构的有限元分析与仿真[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2013.
- [9] 张亮, 邹永振. 钢丝编织、缠绕胶管常见质量问题、原因及解决措施[J]. 中国橡胶, 2015, 31(20): 46-48.  
ZHANG L, ZOU Y Z. Common quality problems, causes and solutions for steel wire braided and wound rubber hoses[J]. China Rubber, 2015, 31(20): 46-48.
- [10] 周嘉瑜. 梅雨季节话锈蚀[J]. 航空工艺技术, 1979(5): 36-38.  
ZHOU J Y. Corrosion during the rainy season[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 1979(5): 36-38.
- [11] 齐景霞, 高红. 提高钢丝编织胶管粘合性能的胶料制备[J]. 天津化工, 2010, 24(3): 40-43.  
QI J X, GAO H. Preparation of compound for improving bonding performance of steel wire braided hose[J]. Tianjin Chemical Industry, 2010, 24(3): 40-43.
- [12] 毛燕红. 氯盐腐蚀钢绞线蚀坑演化规律[J]. 重庆建筑, 2014, 13(12): 41-44.  
MAO Y H. Development law of corrosion pits in chloride salt corroding steel strands[J]. Chongqing Architecture, 2014, 13(12): 41-44.
- [13] 唐占梅, 胡石林, 张平柱. 氯和氧对304N在高温水中应力腐蚀开裂的影响[J]. 原子能科学技术, 2012, 46(11): 1296-1300.  
TANG Z M, HU S L, ZHANG P Z. Effect of chloride and oxygen on stress corrosion cracking of 304N in high temperature water[J]. Atomic Energy Science and Technology, 2012, 46(11): 1296-1300.
- [14] 全国钢标准化技术委员会. 橡胶软管增强用钢丝: GB/T 11182—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [15] 王宝玉, 毛稳石. GB/T 11182—2017助推胶管钢丝技术进步[J]. 金属制品, 2018, 44(6): 51-52.  
WANG B Y, MAO W S. GB/T 11182—2017 boost technology progress of steel wire for rubber hose[J]. Metal Products, 2018, 44(6): 51-52.

收稿日期: 2021-12-07

## Corrosion Analysis of Steel Wire Reinforced Hydraulic Hose

WANG Baoxing, LIU Jingping, LUO Yiwen

[Bekaert(China) Technology Research & Development Co., Ltd, Jiangyin 214434, China]

**Abstract:** The failure causes of the steel wire reinforced hydraulic hose and the influence of external environment on the corrosion of the steel wire were studied. The results showed that the environmental temperature and humidity were important factors leading to the steel wire corrosion of the steel wire reinforced hydraulic hoses. Among them, the influence of humidity was greater than that of temperature. The presence of chlorine elements accelerated the corrosion rate of the steel wire. Therefore, reasonable control of the storage and use environment of the raw steel wire was very important to ensure the quality of the steel wire. The selection of the rubber type and formula optimization of the compound and the production process adjustment of the hose all played an important role in improving the quality of the steel wire reinforced hydraulic hose.

**Key words:** hydraulic hose; steel wire; corrosion; temperature; humidity