

钢丝缠绕增强聚乙烯复合管的 80 °C 静液压研究*

伍金奎^{1,2,3}, 孔智勇^{1,2,3}, 倪奉尧^{1,2,3,**}, 王立凯², 孔涛³, 孙之状², 夏和生^{4,***}, 刘智博¹

(1. 山东东宏管业股份有限公司国家企业技术中心, 山东 曲阜 273150; 2. 山东省高分子材料复合管道工程研究中心, 山东 曲阜 273150; 3. 山东东宏管业股份有限公司, 山东 曲阜 273150; 4. 高分子材料工程国家重点实验室, 四川大学高分子研究所, 四川 成都 610065)

摘要: CJ/T 189—2007 和 GB/T 32439—2017 是钢丝缠绕增强聚乙烯复合管 (简称钢丝管) 现行标准, 但 CJ/T 189—2007 标准中的 80 °C、1.2 倍公称压力 (PN)、165 h 静液压测试存在较大争议。针对钢丝管 80 °C 静液压问题, 以耐热级管道料为基体、EN390 高温黏接树脂、双密封连接三种优化配置制备了 $dn160 \times 3.5$ MPa 钢丝管, 研究了不同倍率公称压力的 80 °C 静液压。结果表明: 钢丝管的剥离强度、20 °C、2 PN、1 h 静液压、60 °C、1.2 PN、165 h 静液压均符合 GB/T 32439—2017 要求; 以夹具和双密封两种连接方式, 80 °C、1.2 PN、165 h 静液压均无法通过, 当测试压力折减为 0.8 PN, 80 °C、165 h 静液压测试通过。

关键词: 钢丝缠绕增强聚乙烯复合管; 黏接树脂; 80 °C 静液压

中图分类号: U173 文献标识码: A 文章编号: 1005-5770 (2021) 11-0168-05

doi: 10.3969/j.issn.1005-5770.2021.11.035

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Study on 80 °C Hydrostatic Pressure of Steel Wire Reinforced Polyethylene Composite Pipe

WU Jin-kui^{1,2,3}, KONG Zhi-yong^{1,2,3}, NI Feng-yao^{1,2,3}, WANG Li-kai², KONG Tao³,
SUN Zhi-zhuang², XIA He-sheng⁴, LIU Zhi-bo¹

(1. National Enterprise Technology Center of Shandong Donghong Pipe Industry Co., Ltd., Qufu 273150, China;

2. Shandong Polymer Composite Pipeline Engineering Research Center, Qufu 273150, China;

3. Shandong Donghong Pipe Industry Co., Ltd., Qufu 273150, China;

4. State Key Laboratory of Polymer Materials Engineering, Polymer Research Institute, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: CJ/T 189—2007 and GB/T 32439—2017 were the current industry standards for steel wire reinforced polyethylene composite pipe (SRTP). However, the 80 °C, 1.2 PN, 165 h hydrostatic tests in CJ/T 189—2007 were quite controversial. Aiming at the 80 °C hydrostatic pressure problem, SRTP of $dn160 \times 3.5$ MPa was prepared with heat-resistant pipe-grade material as matrix, EN390 high-temperature adhesive resin and double-seal connection. The hydrostatic pressure at 80 °C with different ratios of nominal pressure was studied. The results show that the peeling strength, 20 °C, 2 PN, 1 h hydrostatic pressure, 60 °C, 1.2 PN, 165 h hydrostatic pressure of SRTP could meet the GB/T 32439—2017 requirements. The hydrostatic pressure of 80 °C, 1.2 PN, 165 h could not pass with the clamp connection and double seal connection. The hydrostatic pressure test at 80 °C for 165 h could pass, when the test pressure reduces to 0.8 PN.

Keywords: Steel Wire Reinforced Polyethylene Composite Pipe; Adhesive Resin; Hydrostatic Pressure Test at 80 °C

钢丝缠绕增强聚乙烯复合管^[1-2] (简称钢丝管) 是我国拥有自主知识产权的高新技术复合管道产品, 通过钢丝在塑料芯管左旋缠绕、右旋缠绕后用马来酸酐接枝改性的黏接树脂^[3-5] 对钢丝进行黏接复合而成。钢丝管结合了钢丝和塑料各自的优点, 使之具有更高的耐压能力, 因而广泛应用于工矿^[6] 及市政领域^[7]。

CJ/T 189—2007 和 GB/T 32439—2015 是钢丝管

目前现行的两个标准。CJ/T 189 和 GB/T 32439 对输送介质的最高温度分别定为 60 °C 和 40 °C, 分别要求通过 80 °C、60 °C 的 1.2 PN、165 h 静液压测试。GB/T 32439 是在 CJ/T 189 的基础上修订而来的, 目前 CJ/T 189 在工矿等少数领域仍在使用, 钢丝管制造商和使用方常因管材的 80 °C 静液压测试通不过发生争议。未见钢丝管 80 °C 静液压研究公开报道, 本研究选择标准中压力等级最高的 3.5 MPa 的钢丝管

* 2018 济宁市创新领军人才项目

** 通信联系人: 倪奉尧 ceo@dhguanye.com *** 通信联系人: 夏和生 xiahs@scu.edu.cn

作者简介: 伍金奎, 男, 1982 年生, 高级工程师, 博士, 主要从事复合管道配套功能高分子材料方面的研究。

为研究对象,以耐高温聚乙烯(PERT)管道料为基体、高温基体黏接树脂 EN390 结合专门为高压连接而开发的双密封连接方式,制备了 $dn160 \times 3.5$ MPa 的钢丝管,以耐高温管道料基体、耐高温黏接树脂、双密封高压连接三种优化配置,针对 CJ/T 189 标准中 80 °C 的静液压进行验证性试验。为设计院、使用方和制造商规范钢丝管的设计、选型与应用,提供 80 °C 的静液压基础数据。

1 实验部分

1.1 主要原料

II 型 PERT 管道料: XRT70, 工业级, 道达尔石化; 黏接树脂 (EN390)、黑色母 (EM105G, 炭黑含量 42%)、双密封连接接头 ($dn160$): 工业级, 山东宏管业股份有限公司; 镀铜钢丝: 直径 1.0 mm, 工业级, 山东大业股份有限公司。

1.2 仪器与设备

熔体质量流动速率仪: XRL-400A, 河北承德精密有限公司; 电子万能试验机: WDS-W, 河北承德精密有限公司; 平板硫化机: XLB25-D, 湖州双力自动化科技装备有限公司; 热变形维卡软化点温度测定仪: XRW-300M, 石家庄开发区中实检测设备有限公司; 差示扫描量热仪: DSC131EVO, SETARAM 公司; $dn250$ 钢丝网骨架聚乙烯复合管生产线: 四川金石东方新材料设备股份有限公司; 耐压爆破试验机: XGNB-N-B, 河北承德精密有限公司。

1.3 试样制备

1.3.1 黏接树脂与钢丝剪切强度试样制备

将 EN390 在 200 °C 压成 2 mm 厚的板, 用切刀切成 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 小块备用, 按照 GB/T 32439 附录 A 制备黏接树脂与钢丝剪切强度样品。

1.3.2 钢丝管的制备

钢丝管芯管及外层采用 95% 的 XRT70、5% 的黑色母混配使用, 芯管及外层挤出机的加工温度为 195 °C; 黏接树脂 EN390 挤出温度为 230 °C; 双层钢丝缠绕, 1.0 mm 钢丝 160 条; 管材型号为 $dn160$, 管材公称压力为 3.5 MPa。

1.3.3 双密封连接接头的制备

截取长度 1.2 m 的钢丝管, 端面磨平, 将 $dn160$ 钢丝管配套的金属接头套装在管材的端头, 通过对钢丝管两端翻边及扣压得到两端带双密封接头管材。

1.4 测试与表征

(1) 黏接树脂熔体质量流动速率: 按照 GB/T 3682—2018 进行测定。

(2) 力学性能: 按照 GB/T 1040.2—2018 进行

测定。

(3) 维卡软化温度: 按照 GB/T 1633—2000 进行测定。

(4) 铝片剥离强度: 按照 GB/T 2790—1995 进行测定。

(5) 管材静液压试验: 20 °C、2 PN、1 h 及 80 °C、165 h 静液压按照 CJ/T 189—2007 进行, 60 °C、1.2 PN、165 h 静液压按照 GB/T 32439—2015 测定。

2 结果与讨论

2.1 黏接树脂的性能

EN390 由马来酸酐接枝聚乙烯、耐热聚乙烯等复配而成。表 1 列出了 EN390 的主要性能指标, 满足 CJ/T 189。由表 1 可知, EN390 的拉伸屈服强度为 25.9 MPa, 维卡软化点为 126.7 °C, CJ/T189 要求黏接树脂的维卡软化点大于 120 °C, 通过提高软化点来改善黏接树脂的耐高温性。

表 1 黏接树脂的性能数据

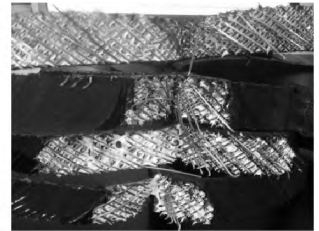
Tab 1 Performance data of adhesive resin

测试项目	测试结果
熔体质量流动速率/(g/10min)	1.5
拉伸屈服强度/MPa	25.9
断裂伸长率/%	997
维卡软化温度/°C	126.7
铝片剥离强度/(N/25mm)	120

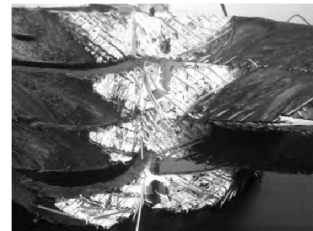
2.2 黏接树脂的黏接效果



a-23 °C



b-60 °C



c-80 °C

图 1 钢丝管不同温度下的剥离状态

Fig 1 Peeling state of SRTP at different temperatures

表 2 列出了不同温度下 EN390 对钢丝剪切强度及钢丝管的剥离强度数据。从表 2 可知, 在 23、60、80 °C 三个环境温度下, 黏接树脂与钢丝剪切强度分

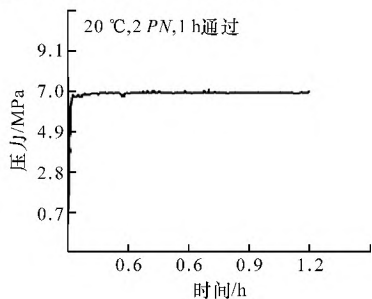
别为 18.7、15.1、11.3 MPa。随着测试环境温度的升高，黏接树脂/钢丝的剪切强度不断降低。但在 60 °C 下钢丝剪切强度可以达到 15.1 MPa，仍然大于 GB/T 32439 中标准要求的 13 MPa；当温度在 80 °C，剪切强度低于了标准的要求。从钢丝管三个温度下剥离强度数据来看，剥离强度均大于 25 N/mm，高于 GB/T 32439 要求的 15 N/mm 及 CJ/T 189 要求的 10 N/mm。图 1 为不同不同温度下管材的剥离状态，均为黏接树脂层内聚破坏，说明 EN390 对芯管和外层良好的黏接效果。管材剥离强度理论上是随温度升高而降低，但由于钢丝层在剥离试验会因钢丝对剥离产生一定阻力，钢丝的牵扯引起剥离强度变大。

表 2 测试温度对钢丝剪切强度及管材剥离强度的影响

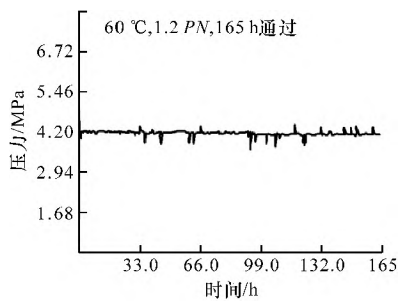
Tab 2 Influence of test temperature on steel wire shear strength and pipe peeling strength

测试温度 / °C	黏接树脂与钢丝剪切强度 / MPa	管材剥离强度 / (N/mm)
23	18.7	25.4
60	15.1	26.4
80	11.3	30.4

2.3 钢丝管 20 °C 及 60 °C 静液压



a



b

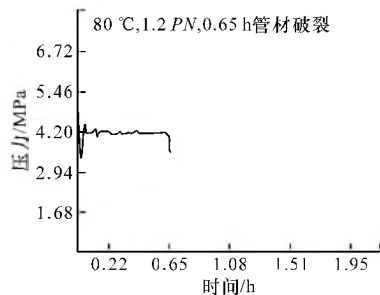
图 2 钢丝管 20 °C、2 PN、1 h 及 60 °C、1.2 PN、165 h 的静液压曲线

Fig 2 Curves of resistance to constant internal pressure at 20 °C、2 PN、1 h and 60 °C、1.2 PN、165 h of SRTP

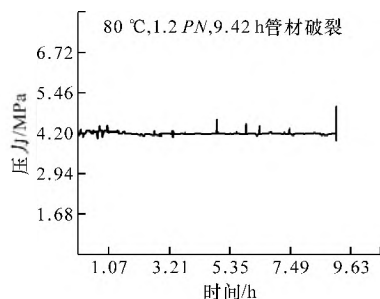
根据 GB/T 32439—2015 要求，钢丝管静液压试验需要通过 20 °C、2 PN、1 h 静液压以及 60 °C、1.2

PN、165 h 静液压。图 2 为钢丝管 20 °C、2 PN、1 h 和 60 °C、1.2 PN、165 h 静液压曲线。从图中可知，对于 3.5 MPa 钢丝管，按照 GB/T 32439—2015 测试，管材 20 °C、2 PN、1 h 静液压以及 60 °C、1.2 PN、165 h 静液压均能正常通过。

2.4 钢丝管 80 °C 静液压



a



b

图 3 钢丝管 80 °C、1.2 PN、165 h 静液压测试曲线
Fig 3 Curves of resistance to constant internal pressure at 80 °C、1.2 PN、165 h of SRTP

根据 CJ/T 189 要求，钢丝管需要通过 80 °C、1.2 PN、165 h 静液压。图 3a 为管材采用夹具进行 80 °C、1.2 PN 静液压曲线。从图中可知，静液压仅持续 0.65 h 就出现了管材端头鼓胀引起钢丝抽动而破裂现象。可见，即使选用耐热级 PERT 为基体，黏接树脂也添加耐热级材料，钢丝管是无法通过 80 °C、1.2 PN、165 h 静液压测试。主要原因有如下两点：(1) 钢丝管的增强层是通过缠绕后以黏接树脂固定的，两层间没有通过焊接固定增强层，因此在钢丝管端头容易因钢丝被抽动而引起管材的鼓胀而破裂，这是钢丝管结构设计存在的不足之处；(2) 黏接树脂对钢丝的固定作用有限，尤其是在 80 °C 高温环境，钢丝与黏接树脂的剪切强度只有 11.3 MPa，因此在高温、高压下，受内压作用钢丝在管材端头容易出现钢丝被抽动发生“灯笼破坏”。针对钢丝管结构设计的缺陷，王立凯等^[8]开发了双密封超强连接机械接头，目前被行业广泛采用。如图 4 所示，通过采用金

属增强件, 将复合管材内钢丝在金属增强件端面拐角处产生一个 90° 的翻折, 管材中钢丝与金属增强件之间的连接除受到金属增强件与管材内壁之间 F_1 及 F_2 对钢丝的夹持力外, 在复合管材接头端面还受到端面聚乙烯与金属增强件之间的 F_3 夹持力, 从而降低管材受压时钢丝的抽动。图 3b 为管材采用双密封连接进行 80 °C、1.2 PN 静液压曲线, 静液压持续了 9.6 h 后出现了管材在端头鼓胀引起钢丝抽动而破裂现象。可见, 在 80 °C、1.2 PN 环境下, 相对于普通夹具连接, 双密封连接延长了静液压的持续时间, 但仍然无法通过 165 h 测试。

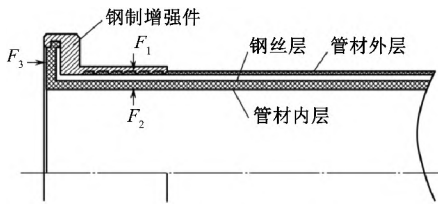
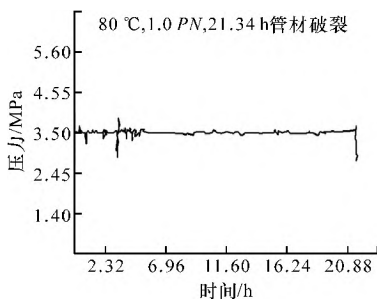


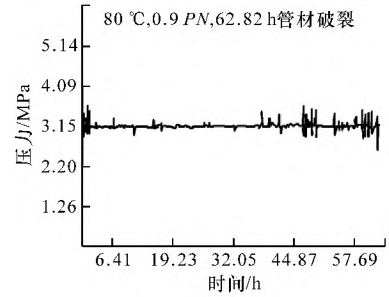
图 4 双密封连接结构示意图

Fig 4 Schematic diagram of the double-seal connection structure

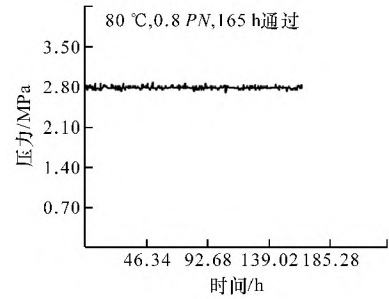
针对采用夹具连接和双密封连接两种方式、以耐热级 PERT 为基体、高温黏接树脂复合的 $dn160 \times 3.5$ MPa 的钢丝管无法通过 80 °C、1.2 PN、165 h 静液压测试问题, 研究了不同倍率公称压力时, 80 °C 静液压的持续时间。图 5 为在 3.50、3.15、2.80、2.625 MPa 四种压力即 1 PN、0.9 PN、0.8 PN、0.75 PN, 采用双密封连接的管材进行 80 °C 静液压的曲线。图中, 当压力为 1.0 PN 时, 静液压进行了 21.3 h; 当压力为 0.9 PN 时, 静液压进行了 62.8 h; 当压力为 0.8 PN 和 0.75 PN 时, 管材通过了 165 h 静液压测试。由此可见, 管材要通过 80 °C、1.2 PN、165 h 静液压, 需要对压力进行折减, 才能保证 80 °C 静液压的通过。因此, 对于钢丝管来讲, 即使采用耐热级的 PERT 为基体、采用耐高温的黏接树脂, CJ/T 189 标准中的 80 °C、1.2 PN、165 h 静液压是无法通过的。



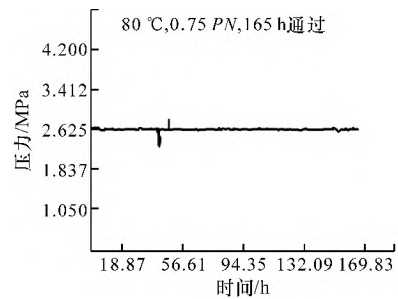
a



b



c



d

图 5 双密封连接钢丝管不同压力下的 80 °C 静液压曲线

Fig 5 Hydrostatic pressure curves of SRTTP with different pressures at 80 °C

3 结论

1) 钢丝管通过了 20 °C、2 PN、1 h 及 60 °C、1.2 PN、165 h 静液压测试, 满足 GB/T 32439 标准要求。

2) 钢丝管采用耐高温管道料基体、高温黏接树脂、双密封连接三种优化配置, 仍然无法通过 80 °C、1.2 PN、165 h 静液压, 结合行业中钢丝管生产厂家进行 80 °C 测试均无法通过现状, 可见 CJ/T 189 的静液压温度设置不合理, 建议钢丝管高温静液压按 GB/T 32439—2015 执行 60 °C、1.2 PN、165 h 测试。

参考文献

[1] 师俊. 基于钢塑界面脱黏的钢丝缠绕增强塑料复合管接头端部鼓胀失效研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2016.

SHI J. Research on bulge failure in the joint of polyethylene pipe reinforced by winding steel wires owing to steel/

- polymer inter-facial debonding [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [2] 林秀锋. 钢丝缠绕增强塑料复合管强度分析与优化设计 [D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
LIN X F. Strength analysis and optimization design of steel wire wound reinforced plastic composite pipe [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [3] 杜壮, 唐舫成, 冯金茂, 等. 黏接树脂在钢丝网增强聚乙烯热水管中的应用研究 [J]. 中国胶黏剂, 2018, 28 (2): 34-35.
DU Z, TANG F C, FENG J M, et al. Application study of adhesive resin in steel wire reinforced PE composite pipe for hot water transmission [J]. China Adhesives, 2018, 28 (2): 34-35.
- [4] 赵连国, 刘洋, 张良均. 马来酸酐接枝茂金属聚乙烯制备及其黏接性能 [J]. 黏接, 2011, 32 (1): 58-63.
ZHAO L G, LIU Y, ZHANG L J. Maleic anhydride grafted metallocene polyethylene: synthesis, characterization and adhesive properties [J]. Adhesives, 2011, 32 (1): 58-63.
- [5] 伍金奎, 倪奉尧, 孔智勇, 等. 一种钢丝管黏接树脂及其制备方法和应用: 202110550670.0 [P]. 2021-05-20.
WU J K, NI F Y, KONG Z Y, et al. The invention relates to a steel pipe bonding resin and a preparation method and application thereof: 202110550670.0 [P]. 2021-05-20.
- [6] 张超, 孙运国, 韩群亮, 等. 钢丝网骨架聚乙烯复合管材在煤矿井下的应用 [J]. 煤炭技术, 2009, 28 (3): 157-159.
ZHANG C, SUN Y G, HAN Q L, et al. Application of plastic-steel mesh skeleton-PE composite pipe in coal mining [J]. Coal Technology, 2009, 28 (3): 157-159.
- [7] 张恒, 纪麟. 浅谈钢丝网骨架聚乙烯复合管在城市供水工程中的应用 [J]. 科技资讯, 2019, 17 (10): 45-46.
ZHANG H, JI L. Application of steel wire mesh skeleton polyethylene composite pipe in urban water supply project [J]. Science & Technology Information, 2019, 17 (10): 45-46.
- [8] 孔令辉, 王立凯. 钢丝网骨架聚乙烯复合管中高压连接技术的研究与应用 [J]. 中国塑料, 2017, 31 (4): 70-74.
KONG L H, WANG L K. Research and application of middle-and-high pressure connection technology for steel wire mesh skeleton polyethylene composite pipes [J]. China Plastics, 2017, 31 (4): 70-74.

(本文于2021-08-24收到)

(上接第161页)

- sodium dehydroacetate for use as food packaging [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019, 22: 100390.
- [11] FAWAY M A, GOMAA M, HIFNEY A F, et al. Optimization of alginate alkaline extraction technology from Sargassum latifolium and its potential antioxidant and emulsifying properties [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 157: 1903-1912.
- [12] WANG H P, GONG X C, MIAO Y L, et al. Preparation and characterization of multilayer films composed of chitosan, sodium alginate and carboxymethyl chitosan-ZnO nanoparticles [J]. Food Chemistry, 2019, 283: 397-403.
- [13] RAHMAN P M, MURALEEDARAN K, MUJEEB V M A. Applications of chitosan powder with in situ synthesized nano ZnO particles as an antimicrobial agent [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 77: 266-272.
- [14] SIRIPAWRAWAN U, HARTE B H. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract [J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24 (8): 770-775.
- [15] CHENG W J, CHEN J C, LIU D H, et al. Impact of ultrasonic treatment on properties of starch film-forming dispersion and the resulting films [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 81 (3): 707-711.
- [16] ROCIO Y A L, ADRIANA I R H, EDUARDO M S, et al. Effect of equilibrium moisture content on barrier, mechanical and thermal properties of chitosan films [J]. Food Chemistry, 2016, 196: 560-566.
- [17] GUL O, SARICAOGLU F T, BWSIR A, et al. Effect of ultrasound treatment on the properties of nano-emulsion films obtained from hazelnut meal protein and clove essential oil [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2018, 41: 466-474.
- [18] YADAV S, MEHROTRA G K, DUTTA P K. Chitosan based ZnO nanoparticles loaded gallic-acid films for active food packaging [J]. Food Chemistry, 2020, 334: 127605.

(本文于2021-07-16收到)