

## 聚乙烯管道及其增强复合管道在实际工程应用中的问题

李红伟, 章勇锋, 齐武军, 阮刚勇, 阮沥波, 方宇超

(浙江闰土股份有限公司, 浙江 绍兴 312300)

**摘要:** 分析对比了我国目前聚乙烯管道及其增强复合管道的产品标准, 列出不同执行标准下的产品管径、压力、温度、介质的适用范围。介绍了聚乙烯管道及其增强复合管道在实际工程应用中的优势, 阐述其在工程实践中实际存在的问题, 主要可以归纳为 3 个方面: 一是由材料本身性能所造成的问题; 二是由产品执行标准所造成的问题; 三是由设计施工标准所产生的问题。

**关键词:** 聚乙烯管道; 增强聚乙烯复合管道; 执行标准

中图分类号: TQ320.72 文献标识码: A 文章编号: 1001-9278(2023)08-0069-10

DOI: 10.19491/j.issn.1001-9278.2023.08.010

## Problems of polyethylene pipes and reinforced polyethylene composite pipes in practical engineering application

LI Hongwei, ZHANG Yongfeng, QI Wujun, RUAN Gangyong, RUAN Libo, FANG Yuchao  
(Zhejiang Runtu Company Limited, Shaoxing 312300, China)

**Abstract:** In this study, the product standards of polyethylene pipes and reinforced polyethylene composite pipes in our country were analyzed and compared, the applicable ranges of pipe diameter, pressure, temperature and media under different implementation standards were enumerated. The advantages of polyethylene pipes and reinforced polyethylene composite pipes in the practical engineering application were introduced. The actual problems in the engineering practice were summarized into the following three aspects: (1) the problems caused by the performance of the material itself; (2) the problems caused by the implementation of product standards; (3) the problems resulting from the design and construction standards.

**Key words:** polyethylene pipe; reinforced polyethylene composite pipe; implementation standard

### 0 前言

中国市场拥有全球最大的聚乙烯产能, 占全球聚乙烯总产能的比重超过 20 %<sup>[1]</sup>。利用聚乙烯生产出的各种管道具有耐腐蚀、流动阻力小、安装方便、生产耗能少、可回收利用、环境污染小等优点, 正在不断地被工程界所推广应用<sup>[2]</sup>。聚乙烯管道早期主要应用于给水和燃气系统中<sup>[3-5]</sup>, 经历多年使用经验的积累, 形成了相对完善的国家标准, 近年来聚乙烯管道的研究愈发成熟稳定, 也逐步应用于核工业中<sup>[6-9]</sup>, 并且形成了国家标准。由于纯聚乙烯管道耐温耐压性能不强, 无法满足更多工况的应用, 各行各业又迫切需要利用聚乙烯极佳的防腐性能, 因此逐步发展出了增强聚乙烯管道, 目前增强聚乙烯管道在污水、油气混合物, 输送腐蚀性

气体、液体、固体粉末的工艺管, 海水淡化等领域已经应用得比较充分, 由于城建、石化、化工等行业呈现出差异化需求, 因此增强聚乙烯管道结合行业特点形成了各自的行业标准, 呈现出“百花齐放”的状态。

聚乙烯及其增强复合管道的应用范围在不断拓展, 随着技术的发展, 在工况相对温和的应用领域中, “以塑代钢”必然会成为一种趋势。聚乙烯及其增强复合管道的产品执行标准规定了其应用范围, 同时揭示了其在工程应用领域中的局限性。本文率先系统性地介绍了聚乙烯及其增强复合管道的产品执行标准; 再从其与传统金属管道对比中着手介绍其优缺点; 最后从材料本身、产品标准以及其相应的设计施工规范三方面入手对其在工程实践过程中所存在的具体问题进行阐述并提出相应的建议。

收稿日期: 2023-03-09

第一作者: 李红伟(1987—), 男, 高级工程师, 从事机电系统集成方向研究工作, zzulihw@126.com

# 1 聚乙烯及其增强复合管道执行标准

目前,工程上应用聚乙烯管道可以大致划分为聚乙烯管道和增强聚乙烯复合管道。增强聚乙烯复合管可以分为钢骨架增强聚乙烯复合管和纤维增强聚乙烯复合管,其中钢骨架增强聚乙烯复合管又可以细分为钢丝焊接骨架增强聚乙烯复合管、钢板网骨架增强聚

乙烯复合管以及钢丝缠绕骨架增强聚乙烯复合管。

管件可以分为聚乙烯管件和增强聚乙烯复合管件。增强聚乙烯复合管件又可以细分为钢板网骨架增强聚乙烯复合管件以及钢丝网骨架增强聚乙烯复合管件。

不同执行标准下聚乙烯管道(管件)及增强聚乙烯复合管道(管件)对比见表1。

表1 不同执行标准下聚乙烯管及增强聚乙烯复合管对比

Tab. 1 Comparison of polyethylene pipes and reinforced ones under different implementation standards

序号	标准号	标准名称	类型	材质	管径	温度/°C	公称压力/MPa	范围
1	GB/T 13663.2—2018	《给水用聚乙烯(PE)管道系统第2部分:管材》	管材	PE80、PE100	公称外径16~2500 mm	≤40	0.32、0.4、0.5、0.6、0.8、1.0、1.25、1.6、2.0	一般用途的压力疏水和饮用水输配
2	GB/T 13663.3—2018	《给水用聚乙烯(PE)管道系统第3部分:管件》	管件	PE80、PE100	公称外径16~1600 mm	≤40	0.32、0.4、0.5、0.6、0.8、1.0、1.25、1.6、2.0	一般用途的压力疏水和饮用水输配
3	GB 15558.1—2015	《燃气用埋地聚乙烯(PE)管道系统第1部分:管材》	管材	PE80、PE100	公称外径16~630 mm	≤40	最大设计压力基于设计应力确定,并考虑耐快速裂纹扩展(RCP)性能的影响。	燃气
4	GB 15558.2—2005	《燃气用埋地聚乙烯(PE)管道系统第2部分:管件》	管件	PE80、PE100	公称外径16~630 mm	≤40	与GB15558.1—2003配套	燃气
5	GB/T 40967—2021	《核电厂用聚乙烯(PE)管材及管件》	管材 管件	聚乙烯	公称直径1/2~54英寸、 公称外径16~1600 mm	≤60	设计确定	供水
6	GB/T 32439—2015	《给水用钢丝网增强聚乙烯复合管道》	管材 管件	钢丝网增强, PE80以上	公称外径50~800 mm	≤40	0.8、1.0、1.6、2.0、2.5、3.5	给水
7	HG/T 3690—2022	《工业用钢骨架聚乙烯塑料复合管》	管材	钢丝网增强, PE80以上	公称内径50~800 mm	0~70	1.0、1.6、2.0、2.5、4.0	石油、化工、医药、冶金、采矿以及船舶、市政建设、食品等行业
8	HG/T 3691—2022	《工业用钢骨架聚乙烯塑料复合管件》	管件	钢骨架增强, PE80以上	公称内径50~800 mm	0~70	1.0、1.6、2.0、2.5、4.0	工业流体输送用管件
9	HG/T 3706—2014	《工业用孔网钢骨架聚乙烯复合管》	管材	孔网钢骨架增强,聚乙烯或耐热聚乙烯	公称外径50~500 mm	0~70 (耐热聚乙烯可至85)	1.25、1.6、2.0	石油、化工、冶金、制药、船舶及采矿、食品等行业用的复合管,也可用于市政建设等领域
10	HG/T 3707—2012	《工业用孔网钢骨架聚乙烯复合管件》	管件	孔网钢骨架增强,聚乙烯或耐热聚乙烯	公称直径50~630 mm	0~70 (耐热聚乙烯可至90)	2.0、2.5、3.5	石油、化工、冶金、港口、船舶、矿山、制药、市政建设等行业用的管材配套用管件
11	HG/T 4586—2014	《化工用缠绕成型钢丝网骨架聚乙烯复合管》	管材	钢丝网增强聚乙烯复合管	内径80~800 mm、外径90~800 mm	给水、特种流体≤70,燃气≤40	0.4、0.6、0.8、1.0、1.6、2.0、2.5、3.5	石油、化工、电力、煤矿、冶金、海底输送、矿山、船舶、港口、制药及食品等行业用复合管,也可适用于市政建设等领域的复合管

表1(续)

序号	标准号	标准名称	类型	材质	管径	温度/℃	公称压力/MPa	范围
12	SY/T 6662.1 —2012	《石油天然气工业用非金属复合管第1部分:钢骨架增强聚乙烯复合管》	管材 管件	钢丝焊接骨架增强聚乙烯复合管	公称内径50~600 mm、公称外径75~630 mm	气体 $\leq$ 40、其他介质 $\leq$ 70	1.0、1.6、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0	石油、天然气工业油、气、污水输送及混输,饮用水、消防水及腐蚀性液体输送。不适用于硫化氢分压大于0.3kPa的酸性环境
				钢板网骨架增强聚乙烯复合管	公称外径50~630 mm		1.0、1.2、1.6	
				钢丝缠绕骨架增强聚乙烯复合管	公称外径50~630 mm		1.6、2.0、2.5、3.0、4.0、5.0、6.3、8.0、10.0、12.0、16.0	
13	SY/T 6662.2 —2020	《石油天然气工业用非金属复合管第2部分:柔性复合高压输送管》	管材 管件	工业长丝、芳纶长丝、超高分子量聚乙烯长丝、钢丝绳增强聚乙烯、交联聚乙烯、偏氟乙烯	最小内径17~200 mm	$\leq$ 110 <sup>a</sup>	2.5、6.4、12.0、16.0、20.0、25.0、32.0	油气田的油气集输、高压注醇、油田注水、污水处理等复合管
14	SY/T 6662.4 —2014	《石油天然气工业用非金属复合管第4部分:钢骨架增强热塑性塑料复合连续管及接头》	管材 管件	钢丝增强聚乙烯	公称内径40~65 mm	$\leq$ 90	5.5、7	石油天然气工业地面输送原油、气、水及其他流体介质(包括工业废水)用
				钢带增强聚乙烯	公称内径40~146 mm		5.5、7、12、16、20、25	
15	SY/T 6662.5 —2014	《石油天然气工业用非金属复合管第5部分:增强超高分子量聚乙烯复合连续管及接头》	管材 管件	钢丝增强超高分子量聚乙烯	公称内径40~152 mm	$\leq$ 70	4.0、6.3、8.0、10.0、12.5、16.0、20.0、25.0、32.0	石油天然气工业埋地输送原油、气、水及其他流体介质(包括工业废水)用
				纤维增强超高分子量聚乙烯	公称内径40~150 mm		2.5、4.0、6.3、8.0、10.0、12.5、16.0、20.0、25.0、28.0、32.0	
16	CJ/T 123 —2016	《给水用钢骨架聚乙烯塑料复合管》	管材	钢丝网增强聚乙烯, PE80以上	公称内径50~600 mm	$\leq$ 80	1.0、1.6、2.0、2.5、4.0	架空与埋地的给水用
17	CJ/T 124 —2016	《给水用钢骨架聚乙烯塑料复合管件》	管件	孔网钢板增强聚乙烯, PE80以上	公称内径50~600 mm	$\leq$ 80	配套CJ/T123—2016	架空与埋地的给水用
18	CJ/T 125 —2014	《燃气用钢骨架聚乙烯塑料复合管及管件》	管材 管件	钢丝网骨架增强聚乙烯管 孔网钢板增强聚乙烯管件	公称内径50~600 mm	-20~40	$\leq$ 1.6	燃气
19	CJ/T 181 —2003	《给水用孔网钢带聚乙烯复合管》	管材	孔网钢带增强聚乙烯管	公称外径50~630 mm	$\leq$ 40	1.0、1.25、1.6、2.0	排水用管,工业用管也可选用
20	CJ/T 182 —2003	《燃气用埋地孔网钢带聚乙烯复合管》	管材	孔网钢带增强聚乙烯管	公称外径50~630 mm	$\leq$ 40	0.6、0.8、1.0	燃气
21	CJ/T 189 —2007	《钢丝网骨架塑料(聚乙烯)复合管材及管件》	管材 管件	钢丝网增强聚乙烯管 钢骨架聚乙烯管件	公称外径50~630 mm	给水、燃气 $\leq$ 60,特种流体 $\leq$ 40	0.4、0.6、0.8、1.0、1.25、1.6、2.0、2.5、3.5	城镇供水、城镇燃气、建筑给水、消防给水以及特种流体(包括适合使用的工业废水、腐蚀性气体溶浆、固体粉末等)
22	CJ/T 358 —2019	《非开挖工程用聚乙烯管》	管材	聚乙烯管	公称外径63~1 200 mm	$\leq$ 40	$\leq$ 1.6	给开挖铺设的城镇给水、排水、再生水和燃气用聚乙烯管材

表 1(续)

序号	标准号	标准名称	类型	材质	管径	温度/℃	公称压力/MPa	范围
23	CJ/T 323—2015	《超高分子量聚乙烯钢骨架复合管材》	管材	钢丝网增强超高分子量聚乙烯管	公称外径 75~630 mm	给水、燃气≤65,特种工业流体≤40	1.0、1.6、2.0、2.5、3.0、4.0、5.0、6.3	城镇供水、建筑给水、消防给水、特种流体(包括适合使用的工业废水、腐蚀性气体溶浆、固体粉末等)输送用管材,也适用于石油、天然气行业油气污水输送及混输复合管材,城镇燃气可参照使用

注:<sup>a</sup>聚乙烯及增强聚乙烯管道因标准和使用条件,使用温度范围有所不同。

通过表 1 对比可以得出如下结论。一是聚乙烯管道目前主要以国家标准为主,适用于给水和燃气。聚乙烯管道最早大规模适用于给水管道,给水系统的特点是压力低、腐蚀性小、危险性小,因此 GB/T 13663.2—2018 形成相对完善的壁厚系列 SDR9/11/13.6/17/21/26/33/41,总体使用系数一般取 1.25,标准中直接提供了对应的压力,例如 PE100、SDR11 对应公称压力 1.6 MPa 级别,在实际使用过程中主要考虑温度影响,应用非常广泛和方便。

GB 15558.1—2015 主要适用于燃气管道,由于天然气易燃易爆,危险性相对较大,属于压力管道范畴,因此其设计过程中需要考虑耐快速裂纹扩展性能的影响,同时还需要考虑燃气中一些有害成分对管材性能的不利影响,其壁厚系列主要可以分为 SDR11/17/21/26,总体设计系数不小于 2。由于天然气危险性较大,并且其可压缩,输送流速也比液体要大得多,因此目前其公称直径最大为 630 mm,比给水用聚乙烯管道直径范围小。

GB/T 40967—2021 主要适用于核电冷却水及一般压力输水,早年设计的核电冷却水系统主要以金属管道等为主,腐蚀、结垢比较严重,近年来逐步采用聚乙烯管道进行替代,国内已经逐步展开了大规模的研究并应用于实践<sup>[10-11]</sup>。在核电厂用聚乙烯管道国外标准方面,美国标准相对更加完善,因此与 GB/T 13663.2—2018 和 GB 15558.1—2015 主要借鉴 ISO 体系不同,GB/T 40967—2021 主要借鉴了 ASME 标准,并结合国内实际,其管道外径出现了 IPS 系列和 ISO 系列,壁厚系列分别为 DR7/911 和 SDR7.4/9/11,原材料方面也分别参照了 ASTM 标准和 ISO 标准。由于核电厂供水对安全性要求比较高,因此其设计因子取 0.63(即相当于总体设计系数取 1.6),如果用于核安全级管道,设计因子取 0.5(即相当于总体设计系数取 2.0)。

CJ/T 358—2019 主要用于城建工程给水和燃气,

在实际施工过程中会面临许多非开挖工程的需要,因此城建行业标准发展出了非开挖工程用聚乙烯管道的标准,该标准在原材料选用上更加严苛,对其耐候性提出了更高的要求,更加能够适应行业发展的需要。

聚乙烯管道由于其自身材料问题,其使用公称压力等级范围比较低,使用温度也比较低,一般为 40℃,仅 GB/T 40967—2021 适用于 60℃。

二是由于聚乙烯的优良性能,为了拓展其应用范围,发展出了增强聚乙烯管道,目前增强聚乙烯管道执行标准可以划分为国家标准、化工行业标准、石油天然气行业标准和城建行业标准。由于有增强层的存在,管径范围基本最小从公称直径 40 mm 开始。

国家标准 GB/T 32439—2015 主要为钢丝网增强聚乙烯管道,适用于供水用,温度限制也只有 40℃。其主要目的是为了替代聚乙烯给水管道,相比于聚乙烯给水管道而言,其管道耐压等级更高,管道壁厚相对较小。

化工行业较多物料可以利用聚乙烯的耐腐蚀性等性能,根据化工行业特点发展出行业标准, HG/T 3690—2022 主要为钢丝焊接而成的网状钢骨架增强, HG/T 3706—2014 为孔网钢骨架增强, HG/T 4586—2014 为缠绕钢丝网增强,其增强方式不同,但是其许用温度基本为 70℃,另外其使用公称压力也进行拓展,相比之下,管道壁厚也有所减薄,比同公称外径聚乙烯管道的流通量更大,在实际使用过程中满足了一般用工业条件,能够大大拓展其在工业领域应用范围。由于输送燃气的不利因素较多,需加大其设计的安全系数,因此 HG/T 4586—2014 对天然气的许用公称压力、复合管钢丝条数等进行单列,其使用温度也限制在 40℃。

石化行业相对于化工行业而言更加特殊,多涉及到高压,输送介质包括石油、工业油、气体等,输送量一般比较小,但是输送距离一般均较远,其工作条件相比于一般化工行业而言更加苛刻,因此形成了石油行业标准。其

中SY/T 6662.1—2012包括了钢丝焊接骨架、钢板网骨架和钢丝缠绕骨架3种,其中钢丝焊接骨架增强、钢板网骨架增强的公称压力范围依然较低,但是钢丝缠绕骨架增强聚乙烯管道公称压力范围已经可以拓展至16 MPa,其余SY/T 6662.2—2020、SY/T 6662.4—2014、SY/T 6662.5—2014公称压力等级范围均拓展至32 MPa,但是其公称直径范围均在200 mm以下,另外为了保证管道的流通面积,石化行业标准主要以控制内径为主。

城建行业的主要涉及城市建设,其应用范围主要为给水和燃气,其中CJ/T 123—2016、CJ/T 125—2014为连续缠绕焊接成型的网状钢筋骨架增强聚乙烯管,主要管径系列以内径为主,主要适用于给水和燃气,CJ/T 181—2003、CJ/T 182—2003为孔网钢带增强聚乙烯管,管径系列以外径为主,适用于给水和燃气,CJ/T 189—2007为钢丝网骨架增强聚乙烯管,但是管径以外径系列为主,CJ/T 189—2007比CJ/T 123—2016、CJ/T 125—2014管道壁厚薄,更容易制造,成本更低,其压力范围相差不大。随着技术的发展,超高分子量聚乙烯逐渐应用于工程,CJ/T 323—2015即为钢丝网增强超高分子

量聚乙烯管,由于超高分子量聚乙烯的使用,管道的使用压力等级范围相比较较大,适用范围更广泛。

整体而言,增强聚乙烯复合管道(管件)的公称压力等级范围和许用温度范围普遍高于聚乙烯管道。由于各个行业的不同特点而衍生出来了不同行业标准,在行业内的通用性和实用性较强,但是在行业之间仍存在难以协调的问题,亟待形成国家标准。

## 2 管道与传统金属管道相比的优缺点

聚乙烯管道和增强聚乙烯管道在工程应用中展现出了一定的优势,但同时也存在一定的局限性,其与传统金属管道的对比如表2所示。通过表2可知聚乙烯管道及其增强复合管道相对于传统金属管道而言具有若干优势。

### 2.1 质量轻、成本低

相对于金属管道而言,聚乙烯材料密度小,其成品管道质量轻,成本较低,加上其施工更加方便<sup>[12-13]</sup>,相比于金属管道更有优势。随着技术的发展,如今聚乙烯的最小要求强度值更高,管道壁厚更薄,可以更加减轻

表2 聚乙烯管道及其增强复合管道与传统金属管道对比

Tab. 2 Comparison between polyethylene pipes and reinforced ones with traditional metal pipes

项目	原材料成本	耐腐蚀性	绝对粗糙度/ μm	耐磨性	传热系数	卫生性能	自示踪性能	施工安装	使用温度/ ℃	使用环境	压力等级	膨胀系数/ 10 <sup>-6</sup> ℃ <sup>-1</sup>	无损检测手段
20号碳钢管道 (GB/T 8163—2018)	中	对碱性溶液、有机液体有良好耐腐蚀性能,但是不耐酸、盐等	新的无缝钢管20~50、有轻度腐蚀时200~300	差	高	差	有	电弧焊、氩弧焊、氩电联焊,难	-20~475	无限制	可适用于高中低压管道	10.6~12.2	射线、超声、磁粉等较为完善
S30408不锈钢管道(GB/T 14976—2012)	高	耐有机酸、有机化合物、碱、中性液体,不耐非氧化性酸	20~50	优	高	优	无	氩弧焊、氩电联焊,难	-255~700	无限制	可适用于高中低压管道	15.6~19.2	射线、超声、磁粉等较为完善
聚乙烯管道	低	不溶于绝大多数无机和有机溶液,可耐大多数酸、碱、盐	0.22~0.47	优	低	优	无	热熔对焊、电熔焊,易	-20~40 <sup>b</sup>	多用于地理管道,个别标准包括架空施工	一般限制在2.0 MPa以下	120	超声等已有研究但不完善
增强聚乙烯管道	中	不溶于绝大多数无机和有机溶液,可耐大多数酸、碱、盐	0.22~0.47	优	中	优	有	电熔焊,易	-20~70 <sup>b</sup>	多用于地理管道,个别标准包括架空施工	以中低压为主,个别标准包括高压	25~35	超声等已有研究但不完善

注:<sup>b</sup>聚乙烯及增强聚乙烯管道因标准和使用条件,使用温度范围有所不同,详见表1。

管道质量,降低成本。

## 2.2 耐化学腐蚀性

聚乙烯拥有极好的化学稳定性,拥有较多的应用场合,另外聚乙烯管道及其增强复合管道有双面防腐的功能,在用于埋地管道时完全不必另行防腐<sup>[14]</sup>,比金属埋地管道施工要便利得多。

## 2.3 流动阻力小、压降小、能耗少

聚乙烯管道及其增强复合管道的内壁绝对粗糙度比钢管小得多,在长时间运行后,金属管道因为腐蚀等原因,粗糙度或多或少都会上升,而聚乙烯则能保持表面粗糙度相对稳定;除此之外,由于聚乙烯在输送粉体物料、液体及气固混合物料等方面拥有良好的耐磨性,更加符合现代工业节能降耗的要求<sup>[15]</sup>。

## 2.4 保温性能优良

聚乙烯的传热系数比金属管道小得多,一般而言不需要采取额外的保温措施,便于施工,降低成本。

## 2.5 良好的环保卫生性能

聚乙烯管原材料无毒性,无积垢层,不滋生细菌,是一种健康安全的管道原材料,在给水管方面拥有独特的优势。另外聚乙烯原材料自身可回收再利用,不会产生对大自然有害的物质,在环保方面也更加符合现代资源回收再利用的要求。

## 2.6 使用温度、压力范围、力学性能等

增强聚乙烯管道相对聚乙烯管道拥有更广泛的使用温度、压力范围、力学性能等。由于有钢骨架或纤维增强层的存在,复合材料的性能优于聚乙烯管道,因此拥有更加广泛的使用温度和压力范围。另外由于增强层的存在,承受环向负载能力大大提高,改善了其力学性能,在管道刚性、耐冲击性能和尺寸稳定性方面更加优异,并且复合管道还兼顾了柔韧性,在运输、安装等方面比聚乙烯管道更有优势,综合性价比也比聚乙烯管道高。

## 2.7 钢骨架增强聚乙烯管道具有自示踪性能

目前聚乙烯管道及其增强复合管道仍以埋地为主,钢骨架增强聚乙烯复合管道由于有金属成分存在,可以采用磁性金属探测器进行追踪,在抢修或其他需要寻管作业的工作中拥有无可比拟的优势。

# 3 管道在工程实践中的问题

## 3.1 材料本身性能所存在的问题

### 3.1.1 膨胀系数较大

钢管线性膨胀系数为 $0.010\ 6\sim 0.012\ 2\ \text{mm}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ,聚乙烯管道的线性膨胀系数一般为 $0.12\ \text{mm}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ,而钢骨架增强聚乙烯复合管道的线性膨胀系

数约为 $0.035\ \text{mm}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ,孔网钢骨架聚乙烯复合管和缠绕成型钢丝网骨架聚乙烯复合管的线性膨胀系数一般需要制造商提供。

由于其线性膨胀系数大,在设计过程中需要更多地考虑热胀冷缩、压力膨胀、管架和端点位移所造成的问题,更多地考虑应变、疲劳、过大的管道推力或者扭矩等。现阶段聚乙烯管道及其增强复合管道在施工过程中仍以埋地为主,在地下温度相对恒定,膨胀所带来的影响相对比较小,目前的应对方法是在合适的天气施工、采用管道伸缩器、采用锚固装置、在施工过程中进行蜿蜒敷设等方法来减少线性膨胀的影响<sup>[16]</sup>。但是在架空作业过程中,受气候影响较大,管道膨胀更加严重,目前的解决方案主要是考虑管道柔性、采用自然补偿(L型、Z型、 $\pi$ 型)和补偿器补偿(设置柔性接头或非金属补偿器),采取减震措施,适当的位置设置刚性支架、导向支架、限位支架等。

除此之外,建议在后期出台相应标准,明确孔网钢骨架聚乙烯复合管和缠绕成型钢丝网骨架聚乙烯复合管的线性膨胀系数,更加有利于设计单位进行设计。

### 3.1.2 使用温度限制

相比于传统金属管道,聚乙烯管道耐温性能较差,其使用温度一般在 $40\ ^{\circ}\text{C}$ 内(GB/T 40967—2021规定为 $60\ ^{\circ}\text{C}$ ),增强复合管道使用温度基本限制在 $70\ ^{\circ}\text{C}$ 以下,只有柔性复合高压管在特定材质情况下才可以达到 $110\ ^{\circ}\text{C}$ 。

各个标准分别规定了聚乙烯管道或增强聚乙烯管道在不同温度下的压力折减系数,在设计选择过程中需要根据不同标准规定进行设计计算。

我国的标准规定相对比较保守,例如GB/T 13663.2—2018中说明了压力折减系数参考ISO 13761—2017,GB/T 13663.2—2018限制了温度为 $0\sim 40\ ^{\circ}\text{C}$ ,而ISO 13761—2017中为 $0\sim 50\ ^{\circ}\text{C}$ ,建议在标准制定时借鉴成熟经验,扩展管道温度使用范围。

### 3.1.3 使用环境限制

目前聚乙烯管道及其复合管道仍以较多地应用在埋地施工作业中,由于其优异的性能,逐步开始架空应用<sup>[17-18]</sup>,但仍未大规模应用。其主要原因是架空工程中受气候影响,线性膨胀严重,设计相对复杂;另外管道自身刚度比较小,支架间距相当密集,也影响了其架空使用;除此之外,在风吹日晒下,受紫外线照射、氧气氧化等不利条件影响<sup>[19-20]</sup>,叠加管内介质温度和特性影响,并附带应力集中、交变载荷等有害因素,虽有较多人进行了相关研究,但是针对聚乙烯管及其增强复合管在大自然环境下实际使用寿命目前仍无确切

定论<sup>[21-25]</sup>。

为了拓展其应用范围,目前应该从两方面入手,一是加强耐候性材料的研究和使用以及标准的制定工作;例如耐候性材料PE100-RC,据报道,PE100-RC相比于PE100材料在耐慢速裂纹增长性能上有质的飞跃,CJ/T 358—2019《非开挖工程用聚乙烯管》已经开始采用PE100-RC管道,该标准在检验指标上也提出了更高的要求,其管道明确可以应用于非开挖工程或者架空作业,后期应该加速推广使用以拓展其在架空作业工程中的应用。另一方面,应该加强老化机理的研究,尤其是建立多破坏模式交互研究模型以研究管道的老化行为,制定完善的加速老化标准,对管道寿命进行准确预估,对于工程实践有着极为重要的意义。

### 3.2 产品标准方面所存在的问题

#### 3.2.1 产品标准种类繁多

由表1可知,给水、燃气、核电厂用聚乙烯管道形成了相对完善的国家标准,其增强复合管道仍旧以行业标准为主。产品标准面向制造商,规定了产品的尺寸规格、公差、加工方法和测试要求等。产品标准归口部门的繁多导致标准通用性不强,相互之间协调推进机制不完善,甚至存在互相交叉、互相冲突的问题,在产品实际生产和应用中存在诸多不便<sup>[26-27]</sup>。

以聚乙烯管道为例,给水、燃气、核电厂用聚乙烯管道的设计公式基本完全相同,GB/T 13663.2—2018中规定总体使用(设计)系数为1.25;GB 15558.1—2015规定总体设计系数不小于2;GB/T 40967—2021中的设计因子取0.63或0.5,设计因子与设计系数互为倒数关系,即对应着总体设计系数为1.6或2。3个规范完全可以实现设计公式的统一,总体使用系数、总体设计系数、设计因子从根本上来讲是一个安全系数,完全可以制定一个统一的专业术语,用于不同场合时取值不同即可。

除此之外,国内标准目前存在公称内径与公称外径共存的情况,不同的管径系列意味着需要采用不同的生产工艺,对应的管道系列、管件系列、模具系列等数量非常大,这对任何一家企业来讲都是一个巨大的挑战。从工程施工角度来讲,尤其是采用电熔熔接或者承插熔接等依靠外径焊接的方法来讲,采用公称外径是一个相对简便而且更加容易统一的方法,后期应该以市场为主导,制定相对统一的管道系列,方便制造及设计选用。

建议在制定标准时尽可能做到协调统一,根据市场状况和行业需求合理地制定标准,这样不仅能够为企业生产提供便利,同时也方便了下游企业

的应用,能够大大缓解通用性不强等问题,能够更好推广其实际工程应用。

#### 3.2.2 较多产品标准已经明显落后于时代

目前所用的聚乙烯混配料仍旧以PE80和PE100为主,但是PE125等材料已经出现,PE125具有更高的力学强度性能,可以实现更高的压力等级,也可以显著降低管道壁厚,新材料的推出势必需要适当的生产制造工艺、焊接技术、安装方法等以促进其在工程中的应用,而目前这些标准尚未推出,不利于新材料新技术的应用。

此外,国内标准主要参考ISO标准和ASME标准,但是国内标准制定年份已经明显滞后于ISO标准和ASME标准的更新,多的已经相差10余年,一方面来讲我国的标准在国际上通用性不强;另一方面,一些国际上最新的研究成果我国标准也并未采纳,这对我国经济发展来讲是非常不利的。我国应该加快标准的更新换代,在借鉴国际先进经验的同时,结合我国自身实际情况,及时吸纳新工艺、新技术,制定适合我国国情的产品标准。

### 3.3 设计施工标准方面所存在的问题

#### 3.3.1 设计、施工规范和标准相对复杂且有欠缺

目前我国现行的比较成熟的设计、施工规范主要有:CJJ 63—2018《聚乙烯燃气管道工程技术标准》。主要针对GB 15558.1—2015和GB 15558.2—2005系列聚乙烯管道、管件、阀门。其中规定了聚乙烯燃气管道严禁明设。CJJ 101—2016《埋地塑料给水管道工程技术规程》,可适用于GB/T 13663.2—2018、GB/T 13663.3—2018、CJ/T 123—2016、CJ/T 124—2016、CJ/T 181—2003、CJ/T 189—2007系列管道、管件。SY/T 6769.2—2018《非金属管道设计、施工及验收规范第2部分:钢骨架增强聚乙烯复合管》适用于SY/T 6662.1—2012、HG/T 3691—2022和HG/T 3707—2012。SY/T 6769.4—2012《非金属管道设计、施工及验收规范第4部分:钢骨架增强塑料复合连续管》适用于SY/T 6795—2010(被SY/T 6662.4—2014所替代)。SY/T 6769.5—2016《非金属管道设计、施工及验收规范第5部分:纤维增强热塑性塑料复合连续管》适用于SY/T 6662.2—2020和SY/T 6662.5—2014。GB/T 50690—2011《石油化工非金属管道工程施工质量验收规范》适用于塑料管道和钢骨架聚乙烯复合管道。SH/T 3161—2021《石油化工非金属管道技术规范》规定了非金属管道的管道布置、器材选用、制造与检验、标志、包装、运输与贮存、安装及验收等要求。

上述施工标准规定相应部分规范的设计、施工及

验收等,但是仍有较多规范未涉及到,例如CJ/T 125—2014、CJ/T 358—2019等规范。除此之外,设计规范和产品规范的规定也存在相互矛盾之处,例如SH/T 3161—2021中规定缠绕成型钢丝网骨架聚乙烯复合管道在40℃时取调整系数0.74,而产品规范中HG/T 4586—2014则规定40℃时取调整系数0.90。

产品标准面向产品制造单位;设计规范面向服役工况,供设计人员设计时使用;施工标准面向现场施工人员,规定了实际施工过程中的操作、验收、实验等环节。目前,产品标准的种类繁多、归口部门众多,导致设计标准、施工标准更加难以协调统一,甚至存在施工设计标准和产品标准之间存在相互冲突、矛盾,另有较多产品标准并无实际的设计施工规范可以使用,上述因素导致在实际工程实践过程中存在巨大的困难和障碍。

目前设计施工规范仍旧以行业标准为主,国家标准尚不完善,我国应建立统一的标准归口管理机构,在行业标准运行管理经验的基础上,逐步完善制定设计施工国家标准。此外,我国在制定产品标准的同时,应该同步协调制定相应的设计、施工规范,做到制造、设计、施工的有机统一,打通产品生产使用所有环节,构建一整套标准体系。

### 3.3.2 压力管道应用方面存在诸多困难

根据压力管道的定义,实际工业生产过程中,较多管道均属于压力管道范畴。TSG D 2002—2006《燃气用聚乙烯管道焊接技术规则》中规定了燃气用和其他流体输送用聚乙烯管道焊接技术工作,并且该标准只针对GB 15558.1—2015及GB 15558.2—2005的管道和管件。而对于复合管道则没有相应的规范,这就限制了目前涉及聚乙烯管道及其增强复合管道在压力管道方面的应用。

在实际的工程实践过程中,设计单位和安装单位也因为相应标准的混乱和缺失,取得相应设计资质和施工资质的单位较少,限制了聚乙烯管道及其增强复合管道在压力管道方面的应用,较多的设计单位在设计时更倾向于采用钢衬聚乙烯管道作为压力管道,一方面对建设单位来讲成本较高;另一方面钢衬聚乙烯管道采用法兰连接,公称压力不大于2.5 MPa,在使用过程中出现跑冒滴漏的可能性更大,并且在使用压力范围上也不如增强聚乙烯管道。

针对压力管道,施工质量的检验是一个极为重要的工作,在传统金属管道施工过程中,无损检测应用极为广泛,各种无损检测技术可以有效地检测出焊接质量缺陷,对压力管道长期安全运行提供了保障。而在

非金属管道施工过程中,无损检测技术近年来虽得到了长足发展,超声检测技术、微波检测技术、X射线检测技术、红外热成像技术已经得到了一定研究<sup>[28-38]</sup>,也有一部分标准被制定出来,但是无损检测适用性仍旧还不强,还未有一种方法能够系统地针对接头中的各类缺陷进行有效检测<sup>[39]</sup>,目前施工规范中检验仍旧以强度试验、严密性试验为主,施工质量受人为影响较大,很难高质量、系统性地评价压力管道质量。

此外,压力管道定期检验能够及时发现服役管道的缺陷,同时也可以定期检验过程中及时检测压力管道的状态,预估其使用寿命,但是我国在非金属压力管道中尚未建立起此类标准。

目前聚乙烯管道及其增强复合管道在压力管道范畴内应用最多的依然是燃气管道,也有了几十年的运维经验,我国应该以此为基础,总结出一套切实可行的设计施工规范、无损检测标准、定期检验标准等标准,能够在压力管道全生命周期内对管道进行监管,这可以大大推广聚乙烯及其增强复合管道在压力管道方面的应用,有效降低使用单位实际生产成本。

## 4 结语

(1)目前聚乙烯管道已经形成较为完善的国家标准体系,主要用于燃气、给水;而增强聚乙烯复合管道仍旧以行业标准为主,且归口部门众多,相互之间存在难以协调、相互冲突之处,亟须形成相对完善的国家标准;聚乙烯及其增强复合管道性能优异,尤其是耐腐蚀性能,在实际工程实践中有较多领域可以应用,以塑代钢是近年来管道发展的潮流;

(2)因为材料本身的特性,其线性膨胀系数比较大、使用温度范围较小、承压范围也比较低;目前主要是通过设计和施工来解决其膨胀问题,后期应该建立标准来统一线性膨胀系数,方便设计施工;在使用温度方面应及时借鉴国际先进经验,扩展温度使用范围;聚乙烯及其增强复合管道仍旧以地理为主,但是更多的工程实践需要其架空施工;应该加速耐候性材料(如PE100-RC)的研究和使用以及标准的制定工作,同时应该加强老化机理的研究,对其使用寿命进行准确预估;

(3)聚乙烯及其增强复合管道产品执行标准繁多且明显落后于时代,我国应该统一归口管理产品执行标准并应该加快更新换代,在借鉴国际先进经验的同时,结合我国市场状况和行业需求,及时吸纳新工艺、新技术,形成相对统一且紧跟时代的产品执行标准;聚乙烯及其增强复合管道设计施工规范目前难以协调统

一,设计施工标准和产品标准之间存在相互冲突、矛盾,较多产品标准并无实际的设计施工规范可以使用;我国在制定产品标准的同时,应该同步协调制定相应的设计、施工规范,做到制造、设计、施工的有机统一;针对聚乙烯及其增强复合管道在压力管道方面的应用,我国应该总结出一套切实可行的设计施工规范、无损检测标准、定期检验标准等标准,能够在压力管道全生命周期内对其进行监管。

#### 参考文献:

- [1] 2023-2028年中国合成树脂行业市场前瞻与投资规划分析报告[R]. 深圳:前瞻产业研究院,2022.
- [2] Technical Committee ISO/TC 138. Plastics pipes and fittings for industrial applications-Collection of data on combined chemical-resistance: ISO/TR10358-2021[S]. Switzerland, 2021.
- [3] 涂欣,李茂东,张胜军,等. 燃气用聚乙烯管道原料研究与发展现状[J]. 广东化工,2018,45(9):147,166.  
TU X, LI M D, ZHANG S J, et al. Research and development status of the raw materials of polyethylene pipelines for the supply of gaseous fuels[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2018, 45(9):147,166.
- [4] 贺子东,梁耀方. 聚乙烯燃气管道的应用及发展[J]. 化工管理,2022,4:107-109.  
HE Z D, LIANG Y F. Application and development of polyethylenegas pipeline[J]. Chemical Enterprise Management, 2022, 4:107-109.
- [5] 陈殿成. 聚乙烯管作为供水管的优势及应用标准[J]. 塑料助剂,2022,3:75-77,81.  
CHEN D C. Advantage and application standard of polyethylene pipe as water supply pipe [J]. Plastics Additives, 2022, 3:75-77,81.
- [6] 冯建,吴双,赵云龙,等. 核电厂用大口径厚壁聚乙烯管道的制造工艺和试验方法研究[J]. 中国核电,2022,15(2):235-239.  
FENG J, WU S, ZHAO Y L, et al. The study on the manufacturing process and test method of large diameter thick-wall polyethylene pipe for nuclear power plant[J]. Nuclear Power Equipment, 2022, 15(2):235-239.
- [7] MCKENZIE D. EDF-energy experience in the adoption of hdpe as he material of choice for cooling water pipe work [Z]. EDF-Energy, 2014.
- [8] LASHLEY M, MILLIGAN J, Agnew J. Advanced NDE on HDPE[J]. News & Views, 2015, 39:32-33.
- [9] PHILIP H, KOHN P E. Catawba nuclear station use of high density polyethylene piping for ASME section III class 3 service[Z]. IAEA Technical Meeting on Ageing Management of Buried and Underground Piping and Tanks at Nuclear Power Plants, 2014.
- [10] 胡安琪,于发,杨若冰,等. 核电厂聚乙烯管道设计方法及标准简介[J]. 中国塑料,2020,34(3):67-77.  
HU A Q, YU F, YANG R B, et al. Introduction of design methods and standards of polyethylene pipes for nuclear power plants[J]. China Plastics, 2020, 34(3):67-77.
- [11] 孙海涛,凌礼恭,陈树山,等. 核电厂核级高密度聚乙烯管道应用技术要求[J]. 中国塑料,2021,35(4):93-97.  
SUN H T, LING L G, CHEN S S, et al. Technical requirements for application of nuclear class piping made by PE-HD in nuclear power plant[J]. China Plastics, 2021, 35(4):93-97.
- [12] 何嘉平,杨波,向健平,等. 聚乙烯管材 SCG 性能评价及寿命预测论述[J]. 塑料,2020,49(1):152-155.  
HE J P, YANG B, XIANG J P, et al. Performance evaluation and life prediction of polyethylene pipe SCG[J]. Plastics, 2020, 49(1):152-155.
- [13] 张圣博,崔莹,田沛,等. 聚乙烯管材的应用及降解行为的发展[J]. 塑料,2019,48(5):107-110.  
ZHANG S B, CUI Y, TIAN P, et al. The exploration of application and degradation behavior of polyethylene pipe [J]. Plastics, 2019, 48(5):107-110.
- [14] 秦丽婷. 聚乙烯的结构特点以及应用发展探析[J]. 化工设计通讯,2022,48(10):52-54.  
QIN L T. Structural characteristics and application development of polyethylene [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2022, 48(10):52-54.
- [15] 苏海平. 非金属管道在苏里格气田集输系统中的应用研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东),2016.
- [16] 成强. 市政聚乙烯管道施工纵向伸缩变形控制探讨[J]. 城镇供水,2022,3:32-34,31.
- [17] 倪正超,樊敏江,钮钊钰,等. 核安全级架空高密度聚乙烯材料管道设计方法的研究和应用[J]. 压力容器,2018,35(10):31-36.  
NI Z C, FAN M J, NIU S X, et al. Research and application of design and evaluation methods for above ground safety related HDPE piping[J]. Pressure Vessel Technology, 2018, 35(10):31-36.
- [18] 胡安琪. 核安全3级架空聚乙烯管道抗震性能研究[D]. 杭州:浙江大学,2021.
- [19] QI Zhengpan, HU Ning, LI Ziang, et al. A stress-based model for fatigue life prediction of high density polyethylene under complicated loading conditions[J]. International Journal of Fatigue, 2018, 119:281-289.
- [20] GAUTHIER E, LAYCOCK B, CUOQ F J J M, et al. Correlation between chain microstructural changes and embrittlement of LLDPE-based films during photo and thermo-oxidative degradation[J]. Polymer Degradation and Stability, 2013, 98(1):425-435.

- [21] 陈国华,杨毅,周志航. 聚乙烯管材老化行为研究进展[J]. 高分子通报,2018,11:35-43.  
CHEN G H, YANG Y, ZHOU Z H. Research progress on aging behavior of polyethylene pipe[J]. Polymer Bulletin, 2018,11:35-43.
- [22] WANG Yang, LAN Huiqing, MENG Tao. Lifetime prediction of natural gas polyethylene pipes with internal pressures[J]. Engineering Failure Analysis,2018,95:154-163.
- [23] CHEN Guohua, YANG Yi, ZHOU Chilou, et al. Thermal-oxidative aging performance and life prediction of polyethylene pipe under cyclic and constant internal pressure[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2019, 136(28):1-9.
- [24] MAHL M, JELICH C, BAIER H. Thermo-mechanical behavior of polyethylene under mechanical loads at cryogenic and elevated temperatures[J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2016, 150:11-18.
- [25] FRANK A, PINTER G, LANG R W. Prediction of the remaining life time of polyethylene pipes after up to 30 years in use[J]. Polymer Testing, 2019, 28(7):737-745.
- [26] 李茂东,吴文栋,辛明亮,等. 非金属压力管道元件标准体系现状分析与对策[J]. 中国塑料,2018,32(10):123-131.  
LI M D, WU W D, XIN M L, et al. Analysis and solutions for standard system of non-metallic pipeline components[J]. China Plastics, 2018, 32(10):123-131.
- [27] 施建峰,胡安琪,郑津洋. 聚乙烯管材标准发展现状分析[J]. 中国塑料,2021,35(3):112-123.  
SHI J F, HU A Q, ZHENG J Y. Development status of technical standards in polyethylene piping[J]. China Plastics, 2021, 35(3):112-123.
- [28] 施建峰,冯颖,陶杨吉,等. 聚乙烯管道无损检测技术标准进展[J]. 压力容器,2021,38(10):66-75.  
SHI J F, FENG Y, TAO Y J, et al. Advances in technical standards for non-destructive testing of polyethylene pipes[J]. Pressure Vessel Technology, 2021, 38(10):66-75.
- [29] XIA Fuyong, LI Weizhong, LIU Yanlei. Research on ultrasonic testing technology for polyethylene pipe hot-melted welded joints[J]. Mechanics and Materials. 2013, 331:170-175.
- [30] TROUGHTON Mike, HAGGLUND Fredrik. Development and assessment of ultrasonic inspection system for polyethylene pipes[C]// Proceedings of the ASME 2013 Pressure Vessels and Piping Conference. Paris, France: American Society of Mechanical Engineers, 2013:14-18.
- [31] 施建峰,陶杨吉,安成名,等. 聚乙烯燃气管道超声相控阵检测工程应用案例分析[J]. 压力容器,2020,37(12):54-62.  
SHI J F, TAO Y J, AN C M, et al. On-site phased array ultrasonic testing of polyethylene gas pipeline[J]. Pressure Vessel Technology, 2020, 37(12):54-62.
- [32] ZHENG Jinyang, ZHANG Yue, HOU Dongsheng, et al. A review of nondestructive examination technology for polyethylene pipe in nuclear power plant. Frontiers of Mechanical Engineering [J]. Frontiers of Mechanical Engineering, 2018, 13(4):535-545.
- [33] STAKENBORGHS Robert, LITTLE Jack. Microwave based NDE inspection of HDPE pipe welds[C]//17th International Conference on Nuclear Engineering. Brussels, Belgium:ASMEDC, 2009:185-193.
- [34] 祝新伟,潘金平,谭连江,等. 微波扫描法检测聚乙烯管道热熔接头缺陷初探[J]. 压力容器,2013,30(2):73-76,21.  
ZHU X W, PAN J P, TAN L J, et al. Microwave scanning inspection of defects in thermo-fusion joints of polyethylene piping[J]. Pressure Vessel Technology, 2013, 30(2):73-76, 21.
- [35] 祝新伟,潘金平,谭连江. 聚乙烯管道热熔接头冷焊缺陷的微波检测和真密度测试研究[J]. 压力容器,2013,30(9):54-59.  
ZHU X W, PAN J P, TAN L J. Microwave inspection and true density measurement for cold weld defect in thermo-fusion welds of polyethylene piping[J]. Pressure Vessel Technology, 2013, 30(9):54-59.
- [36] Murphy Ken, Lowe David. Evaluation of a novel microwave based NDT inspection method for polyethylene joints[C]// ASME 2011 Pressure Vessels and Piping Conference. Baltimore, Maryland, USA:ASMEDC, 2011:321-327.
- [37] 李兆璞,武立文,乔亮,等. 聚乙烯管道热熔焊接技术研究进展[J]. 中国塑料,2022,36(10):104-116.  
LI Z P, WU L W, QIAO L, et al. Research progress in polyethylene pipeline hot melt welding technology[J]. China Plastics, 2022, 36(10):104-116.
- [38] 董洋. PE管道热熔对接接头的 TOFD 检测[J]. 无损检测, 2022, 44(9):42-44, 62.  
DONG Y. TOFD inspection of PE pipe hot melted butt joint [J]. Nondestructive Testing, 2022, 44(9):42-44, 62.
- [39] 李陈,曹彬彬,王维. 燃气聚乙烯管道热熔接头无损检测技术综述[J]. 上海化工,2022,47(4):76-78.  
LI C, CAO B B, WANG W. Summary of nondestructive testing technology for hot melt joints of gas polyethylene pipelines [J]. Shanghai Chemical Industry, 2022, 47(4):76-78.

欢迎投稿

欢迎订阅

欢迎刊登宣传资料