

浅谈中东地区油气管道项目中RTR和RTP管的应用及优缺点

王维¹, 刘波², 岳媛³, 李亚男⁴

¹中国石油天然气管道工程有限公司, 河北 廊坊

²中国石油天然气管道局有限公司第二工程分公司, 江苏 徐州

³徐州新能建设工程设备有限公司, 江苏 徐州

⁴成都西南交大科技园管理有限责任公司, 四川 成都

收稿日期: 2021年11月26日; 录用日期: 2021年12月22日; 发布日期: 2021年12月31日

摘要

中东地区的石油管道建设在进入21世纪以后, 长输管道中金属管材的应用已不是唯一选项。随着材料科学的进步和发展, 非金属材料在长输管道建设中进一步得到应用, 相比传统金属管线已显示出不俗的优越性。本文将展示中东地区伊拉克、沙特以及阿联酋地区管道项目中非金属和金属管的应用情况, 以及实施过程中所展现出的优势和不足之处。

关键词

增强热固性树脂管RTR, 玻璃钢, 柔性增强热塑性塑料复合管RTP

Brief Analysis on the Application, Advantages and Disadvantages of RTR and RTP Pipe Utilized in Oil and Gas Pipeline Project Executed in the Middle East Area

Wei Wang¹, Bo Liu², Yuan Yue³, Ya'nan Li⁴

¹China Petroleum Pipeline Engineering Corporation, Langfang Hebei

²No. 2 Branch Company of China Petroleum Pipeline Engineering Co. Ltd., Xuzhou Jiangsu

³Xuzhou Xinneng Construction Engineering Equipment Co., Ltd., Xuzhou Jiangsu

⁴Chengdu Xinan Jiaoda Sci. & Tech. Park Management Co., Ltd., Chengdu Sichuan

Received: Nov. 26th, 2021; accepted: Dec. 22nd, 2021; published: Dec. 31st, 2021

Abstract

In the 21st century, the application of metal pipe is not the only option for oil pipeline construction in the Middle East. With the progress and development of material science, non-metallic materials have been further applied in long-distance pipeline construction, which has shown great superiority compared with traditional metal pipelines. This paper will show the application of non-metal and metal pipes in pipeline projects in Iraq, Saudi Arabia and UAE in the Middle East, as well as the advantages and disadvantages in the implementation process.

Keywords

Reinforced Thermosetting Resin Pipe, Fiber Glass Reinforced Plastics, Flexible Reinforced Thermoplastic Pipe

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

上世纪 60 年代开始, 中东重要产油国如沙特、阿联酋、伊拉克、伊朗经历了低强度合金碳钢、镍基与钛基高强度合金碳钢、合金不锈钢到复合高强合金钢管阶段的发展后, 近几十年来涂层钢板已经成为中东地区油田管道建设中的主导的管材。由于各油田所处的地域不同, 地下水矿化度不同, 钢质管道凸显出耐腐蚀性差、安全性低、安装成本高、不环保、较低的热胀性等局限性。随着时间推移与油田日益枯竭, 要求通过注水来维持储层压力, 并且保持开采以达到所要求的压力水平。增加注水和提升原油液面的同时, 使得产油井内含水混合液具有很强的腐蚀性, 导致钢管中大范围的内外腐蚀的加剧。据估计, 全球每年因材料腐蚀而产生的损失高达 2.5 万亿美元, 相当于全球 GDP 的 3.4%。

非金属管道使用寿命长, 耐腐蚀, 保温效果好, 结垢少, 成本低(使用寿命 30 以上), 早在 2015 年, 沙特阿美公司便在胡莱斯(Khuraish)油田这一大型项目中进行了 RTR 管和 RTP 管线的大规模部署, 在油田管网、上水、排水以及化学管线的建设中实际应用, 替代钢制传统管材, 从而提高整体管线生命周期, 减少后期的维护费用。

为了充分抓住非金属材料在石油和天然气行业中的增长机会, 沙特阿美、英国焊接研究所和阿布扎比国家石油公司联合成立了非金属创新中心(NIC), 加速非金属材料在中东地区管道建设中的应用范围。而国内 RTR 玻璃钢管材的厂家较多, 产品质量已达到或超过外国的某些产品。同时, 国内产能优势明显, 价格相对于国外同期产品有一定的优势。但是, 90 年代末期, 国内才陆续出现 RTP 热熔增强管材的生产厂家, 目前还算是起步状态, 且产品质量参差不齐, 因此还需要一段时间形成统一生产和质量验收标准。

2. 非金属材料的产生和发展

增强热固性树脂管 RTR (Reinforced Thermosetting Resin Pipe): 也称为玻璃钢管 GRP (Glass Reinforced Plastic)或纤维玻璃钢管 FRP (Fiberglass Reinforced Plastic)。复合材料是由热固性树脂(基体)和纤维增强体组成的工程材料。在制造过程中, 液体树脂与纤维增强物结合, 然后固化成固体层压板, 详细组成材料请看下图 1 [1]。

在 20 世纪 40 年代末，提出了一种以拉力玻璃纤维为导向，结合环向力和轴向力的长丝缠绕工艺，具有双角度结构的长丝缠绕需要近轴向的玻璃纤维层，从而生产出用于生产井的高压(高达 2000 psi)井下油管。进入 20 世纪 60 年代，进一步开发出一种高效的、大容量的连续玻璃钢管道生产工艺，用于额定压力为 450 psi 的小直径管道，玻璃钢管道大规模使用始于 1964 年，主要安装在两英寸原油集输管道中。

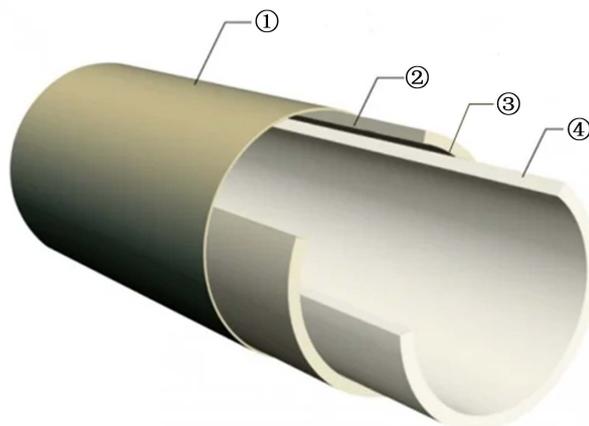


Figure 1. Sectional view of RTR pipe
图 1. RTR 管材截面图

- ① 外表层：提供了保护免受天气，烟雾，溢出和紫外线攻击，并增加了设计寿命的管道；
- ② 内衬层：内部层的耐化学性树脂丰富(约 70%~80%的树脂含量)内衬，从厚度 2.5 mm 以上，以短股毡的形式，这限制了化学渗透到结构层；
- ③ 结构强度层：一般用机织粗纱和切碎股垫，以达到所需的管壁厚度；
- ④ 内表面：为 0.25 mm~0.5 mm 光滑树脂，富含(约 90%的树脂含量)层压板。

增强热塑性管 RTP：(英文：Re-informed Thermoplastic Pipe)：它是指可靠的高强度合成纤维，增强层以及热塑性材料的外套三层组成，压力等级范围为 6.9 至 34.5 Mpa。最初由于法国阿克苏·诺贝尔公司 20 世纪 90 年代初开发，第一次真正意义投入使用，却是荷兰壳牌(SHELL)公司 1996 年底在阿曼油田 7 公里长的直径为 $\Phi 152$ mm 输油管线中，用于解决该地输油管线的腐蚀和泄漏问题，详细组成材料请查看下图 2 [2]。



Figure 2. Sectional view of RTP pipe
图 2. RTP 管材截面图

在此之后, RTP 管作为油气集输管线大量应用于油气田, 并作为耐腐蚀和耐高压的长输管道在其他领域迅速推广目前, 中东地区这类管道的生产和销售主要掌握在如: FLEXPIPE、FIBERSPAR、PIPELIFE 等几家关键公司手中。

- ① **内衬层:** 聚乙烯、聚丙烯、尼龙、聚偏二氟乙烯(PVDF);
- ② **增强层:** 非金属材料(芳纶纤维、聚酯纤维、玻璃纤维、碳纤维等), 金属材料(钢丝、钢带);
- ③ **外层:** 聚乙烯、聚丙烯。

3. 非金属材料的优点和缺点

1) RTR 增强热固性树脂管的特点:

优点: 材料强度高承压能力高; 内表面光滑、输量大且长期使用能耗低; 刚度好抗变形能力强; 安装的可靠性高, 使用寿命长, 设计寿命在 20 年以上。

RTR 玻璃钢管道和普通的热塑性塑料 PVC 管道有很大的不同, 比如: 聚氯乙烯和聚乙烯。这些热塑性系统通常采用非强化挤压管和注射成型配件和法兰, 他们的力量来自于大量的物质。相比之下, 玻璃钢管道材料是通过缠绕工艺制造的, 使用的是用连续玻璃长丝增强的环氧树脂。从而产生优异的温度性能, 而长丝增强材料使管道部件在机械上比普通的非增强热塑性塑料更有能力。其结果是性能提高, 重量轻。

缺点: 由于玻璃钢管采用的是树脂固化工艺, 管道韧性不足, 容易脆裂。单管长度有限, 一般单根长度为: 10~12 米。用于长输管道时连接频繁, 接头易产生泄露。玻璃钢管现场施工技术要求高, 安装人员需要专业的培训和考核, 并按施工规范进行安装。承受外压时易产生裂纹, 抗震能力差, 在地质断层或地震带地区使用时, 易造成接头和管体的断裂, 并且难进行修复。

2) RTP 增强热塑性管材的特点:

优点: 具有良好的防腐性能, 适用于多种腐蚀性介质及各种腐蚀性环境。通过选择不同的增强材料, 具有较高的承压能力最大压力可达 137 MPa, 使用温度范围宽为-42℃~160℃, 可满足大多数场合的温度需求; 管内壁十分光滑, 不结垢, 不结蜡, 流动阻力小, 耐磨损, 输送能力持久不变, 减少了输送管线的维护成本。具有极高韧性、良好的耐冲击性, 抗土壤沉降、地震等能力强。施工便捷, 可用电缆一样盘卷铺放施工; 单根长度可达 400 米, 接头很少、拉伸强度高, 规设计寿命为 20 年。

缺点: 管材生产工艺较为复杂, 单位长度相比玻璃钢及金属钢管成本较高, 需要专业设计及人员进行接头安装, 目前市面上最大管径为 $\Phi 24$ 英寸, 还无法用于大管径、超高压力的长输油气管道施工中。

4. 非金属管与金属管的对比

1) 金属与非金属综合性能对比

目前, 中东地区的井场管网和长输管道多采用 API 5L X65 的金属钢材。因此, 以下性能对比将以 X65 钢材为对比对象, 具体参数如下表 1:

Table 1. Metal and non-metal performance parameters

表 1. 金属与非金属性能参数

性能名称	金属与非金属性能对比		
	RTR 管材	RTP 管材	X65 碳钢管材
冲击载荷	60 MPa	137 MPa	90 MPa
承压能力	45 MPa	37.5 MPa	50 MPa
抗腐蚀性	高	低、中	高

Continued

流体阻力	中、结垢	小、不结垢	大、结垢
安全性能	已破损	不易破损	已破损
维护性能	少	少	较少
使用寿命	20~50年	20~30年	15~25年
接头方式	熔接、螺纹、法兰	熔接、压制、法兰	焊接

2) 金属与非金属管材长度和安装功效对比

中东地区管材长度如下：

- ① RTR 管材：4~8 英寸以下的直管长度为 12 米，10~16 英寸的为 10 米；
- ② RTP 管材：以荷兰公司 SOLUFORCE 为例，长度为 150~400 米的绞盘；
- ③ X65 钢管：为 12 米左右的直管，部分地区要求提供 24 米双联管。

因此，RTR 管的安装相比 X65 钢管较为简单。然而，RTP 管材单盘长度较长，接头最少，安装施工功效相比起来最高，具体对比请看下列图 3、图 4。

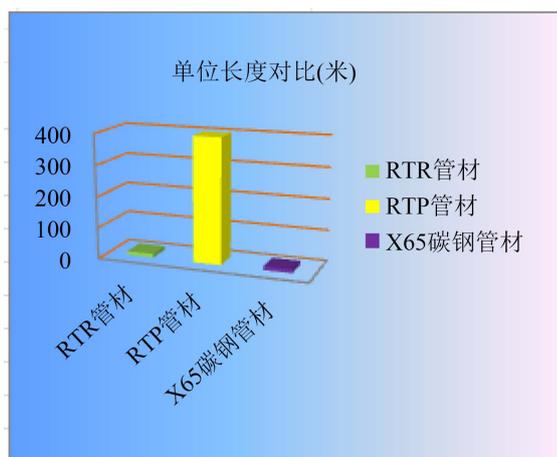


Figure 3. Comparison of unit pipe length

图 3. 单位管材长度对比

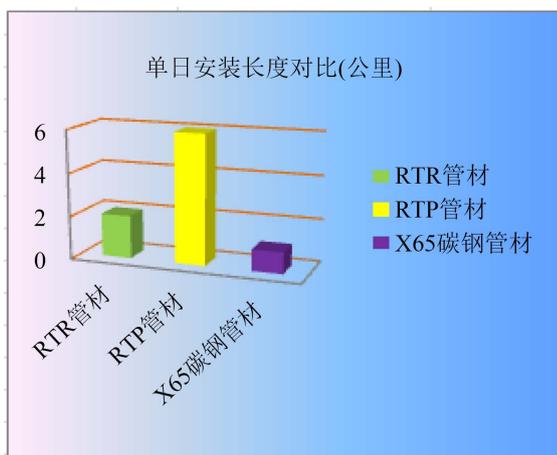


Figure 4. Comparison of installation length per day

图 4. 单日安装长度对比

3) 金属与非金属管材安装人员和设备对比, 详见表 2 及图 5、图 6。

Table 2. Comparison of installation personnel and equipment of metal and non-metal pipes
表 2. 金属与非金属管材安装人员和设备对比

金属与非金属安装人员和设备对比				
项目名称	单位	RTR 管材	RTP 管材	X65 碳钢管材
单位长度	米	12	400	12
单日安装	公里	2	6	1
施工人员	名	12	10	22
施工设备	台	5	3	8

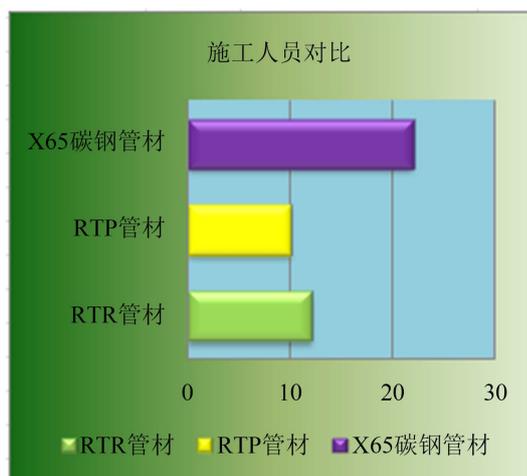


Figure 5. Construction staff comparison
图 5. 施工人员对比

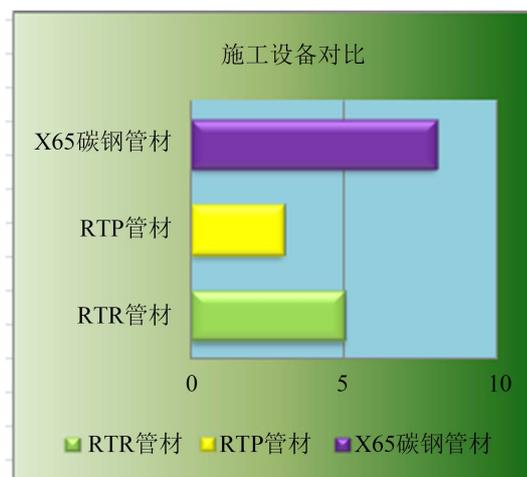


Figure 6. Construction equipment comparison
图 6. 施工设备对比

不难看出, 现场安装 RTP 管线所需的人员和设备要少于 RTR 管线和金属管线, 具体统计整体施工费用比 RTR 管线少 10%, 比金属管线安装费用少 25% 以上。

5. 中东地区金属与非金属管的使用范围

总体来说 RTP 管线在中东地区使用范围在逐年提高,一些地区项目中 RTP 管线的设计和使用已占整体工程的 25% 以上。另外, RTR 管线在注水和废水管线的使用率也在逐步增大。但是,在长输高压管线中 RTR 和 RTP 管线还无法与传统碳基合金钢管线相比。不过,从今后的发展来看,随着材料和生产技术的逐步提高, RTP 管线将逐步在长输高压管道建设中其他更为重要的作用。详见表 3。

Table 3. The scope of use of metals and non-metals in the Middle East
表 3. 中东地区金属与非金属的使用范围

中东地区金属与非金属的使用范围			
施工范围	RTR 管材	RTP 管材	X65 碳钢管材
油气管网		★	★
长输中低压管道		★	★
长输高压管道			★
注水和废水长输管道	★	☆	
市政管道	★	★	★
旧管线升级		★	★
站场消防管道	★	★	☆
污水处理	★	★	

6. 中东地区非金属管材的市场应用和前景[3]

2014 年初,伊拉克马季努恩油田,荷兰 SHELL 公司已建设伊拉克第一条 RTP 管线,将海水淡化场站中的水输送到油田井口。随后,英国 BP 公司在纳斯里耶项目中启用 8 英寸 RTR 管线,用于油田井口注水管线。

2018 年底,位于沙特阿拉伯东部省南部地区的 Haradh 和 Hawiyah 油田区域内, RTR 管道安装 77.3 公里、RTP 管道安装 125.76 公里,及沿线站场、阀室、OPTFS 改造、阴保及其他配套专业施工。

2019 年底,沙特阿美旗下马里安(Marjan)和祖卢夫(Zuluf)油田增产项目部(MZIPD)为马里安海上油田增产开发项目 4 号油气分离站(GOSP-4)引入新型应用材料。新型非金属材料包括用于管道系统的无规共聚聚丙烯(PP-R)、用于次氯酸钠系统的增强热固性树脂(RTR),以及用于海底结构的支架泥垫[4]。

随着生产技术进一步满足服务需求,沙特阿美首次将无规共聚聚丙烯用于旗下项目公共设施的管道系统。增强热塑性树脂也被首次用于处理注入到海水沉箱和消防沉箱的次氯酸钠,从而避免海洋生物附着[5]。

7. 总结

随着中东地区石油和天然气能源出口量的逐年大增,高质量的天然气和石油的油田开发也在加速增长,非金属管材将逐年增加,部分地区 60、70 年代的金属管道需要更换、升级和扩容。另外,沙特新城开发项目的启动,对环保要求的升级。这都对非金属管道的发展起到了重要的助推作用。

在这个背景下,施工承包单位应进一步与国内和国际研究单位开展系统的基础研究工作,特别加强对管道接口和相关配套设备的安装工艺和标准的学习。特别是对管材技术条件、管道可靠性设计、管道连接技术、管道施工及检验技术、管道维抢修技术等研究,解决工程应用的技术难题。撰写施工企业内部施工工法,向施工企业内部进行工法的普及,利用在建项目理论和实操过硬的技术人员,摆脱施工

企业对生产商的施工技术依赖。

非金属材料在未来大口径、高压力油气输送管道技术的突破，必将在国内和国外海水淡化、海底管道、长输高压管道项目中取得更广泛的应用。而如何制定大口径、高压力非金属管线的制作和验收标准，如何规范现场的安装程序，将是非金属管道发展的新课题。

参考文献

- [1] Alsabhan, A.H., Perveen, K. and Alwadi, A.S. (2021) Heavy Metal Content and Microbial Population in the Soil of Riyadh Region, Saudi Arabia. *Journal of King Saud University-Science*, **10**, 21-22.
- [2] 程梦鹏, 姚登樽. 油气输送 RTP 管道技术现状及应用前景[J]. 油气田地面工程, 2016, 35(8): 6-8.
- [3] Pesta, T.J., Georz, K.G., Johnson, G.R., *et al.* (2012) Oil and Gas Pipeline Systems: CSA Z662. Canadian Standards Association, Ontario, 287-289.
- [4] 王大鹏, 孙岩, 张友强, 刘美苓, 程全彪, 姜焕英, 王庆昭, 陈建军, 石兵. 强热塑性塑料复合管的现状及进展[J]. 塑料, 2017, 46(4): 69-72.
- [5] Kruijer, M.P., Warnet, L.L. and Akkerman, R. (2004) Analysis of the Mechanical Properties of a Reinforced Thermoplastic Pipe (RTP). *Composites Part A*, **36**, 291-300. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(04\)00168-X](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(04)00168-X)