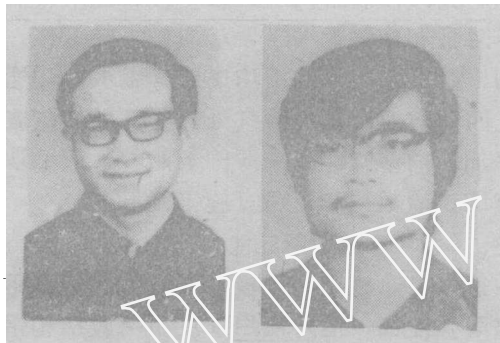


编者按 本刊“工程材料”专栏从1987年第6期以来,连续精选刊载了石油基本建设工程材料中心站1986年年会收到的论文15篇,到本期已全部刊完。从收到的反馈信息中,我们获知读者对该专栏所寄予的厚望。“工程材料”专栏将在读者、作者的扶植下办得更好,更有效地为读者、作者服务。

油气管道使用复合材料的可行性

姚安林 付强

(西南石油学院)



姚安林 讲师,生于1959年,1982年毕业于西南石油学院油气储运专业,获工学学士学位。毕业后留校,从事油气管道工程的教学、科研工作。

付强 助教,生于1965年,1987年毕业于西南石油学院油气储运专业,获工学学士学位。毕业后留校,从事教学工作。

提要 本文通过对目前应用较广的GRP复合材料的基本特性和应用效果的综述,提出了在油气管道工程中使用玻璃钢复合材料代替钢管的设想。通过比较玻璃钢与钢材的一些主要性能,论证了这一设想在技术上的可行性,并且根据国内外资料介绍的一些经济指标和应用实例阐明了在油气管道中应用复合材料的经济合理性。最后就目前我国油气管道建设中发展复合材料急需解决的问题提出了几点意见。

一、概述

复合材料通常由两种或两种以上不同化学性质或不同组织的物质以微观或宏观的形式组合^[1]。从基体材料性质来分,有树脂基复合材料、金属基复合材料、陶瓷基复合材料以及水泥基复合材料等。然而树脂基复合材料的比重仍然占绝对优势^[2]。本文就目前生产量最大、应用范围最广的树脂基复合材料——玻璃钢,即玻璃纤维增强塑料(Glass Fiber Reinforced Plastics,简称GRP)为例来论证用它取代或部分取代油气储运工程中的钢管道技术的可行性和经济合理性,以此推动复合材料在油气储运工程中的应用。

二、玻璃钢的基本特性及应用效果

在复合材料的发展过程中,玻璃钢之所以成为发展最迅速、应用最广泛的一种材料,其原因之一是它具有低廉的价格和简单的制造工艺。八十年代初我国的碳纤维价格一般在1000元/kg以上,而S-玻璃纤维和M-玻璃纤维的价格约30元/kg^[3,4]。此外,玻璃钢具有的如下特点也是促进其迅速发展的重要因素。

1. 轻质高强

一般GRP的比重约为1.5~2.0,只有钢材比重的1/4~1/5,而其强度却是钢材的4倍多,弹性模量略小于钢材^[5]。

2. 耐腐蚀性强

GRP几乎不被水、油、盐类等介质侵蚀,可以在某些场合代替不锈钢。其耐腐蚀性能主要取决于作为基体的树脂,如果将它与聚四氟乙烯一起作成复合管道,可以在高温(120℃)和强腐蚀介质(氟气及其衍生物)中正常使用1~2年。

3. 良好的电性能

GRP是优良的电气绝缘材料,在高频电场作用下,仍能保持良好的介电性能。它不受电磁作用的影响,不反射无线电波,微波透过性能良好。

4. 良好的热性能

GRP的比热大,是金属的2~3倍,导热系数为金属的1/100~1/1000。一般可在120℃以下的腐蚀介质中使用,在气相腐蚀环境中,GRP耐热可达150℃左右^[6]。

5. 老化性能

老化实验表明,GRP在大气环境条件下的性能变化特点是:力学性能变化缓慢且保留率较好。据实验结果表明,就目前我国的原材料和生产技术水平以及我国的自然条件来看,质量好的聚酯玻璃钢产品可以使用15~20年。因此,它的应用范围目前几乎扩大到经济建设的各个领域。表1列出了1982年各主要工业国的玻璃钢年产量及应用百分比的统计数据。

表1

国别	美国	日本	联邦德国	法国	意大利	英国
用量(%) 应用	87.0万t	22.0万t	17.6万t	12.3万t	9.3万t	8.5万t
建筑制品	17.0	41.9	16.0	23.5	43.0	16.0
船舶	15.17	20.0	6.5	10.0	11.0	20.0
车辆	23.90	2.3	16.0	26.0	10.0	24.0
耐腐蚀制品	15.70	13.1	17.7	13.5	25.0	18.0
其它	28.23	22.7	26.17	27.0	11.0	22.0

从表1可以看出,玻璃钢不仅是一种性能优良的耐腐蚀材料,而且它作为结构材料所具有的自身承载能力也是大有潜力可挖的。如十多年前保加利亚就建成了一座12.5m长、8m宽的玻璃钢公路桥^[6],国内继北京密云GRP公

路桥(跨度20m、承载5.18t·m)之后,重庆交通大学复合材料桥梁研究所也于1986年9月建成一座跨度为27m的GRP人行斜拉桥。

在非腐蚀性介质环境中,目前玻璃钢的使用寿命还达不到钢材的使用寿命,但一般情况下玻璃钢的使用寿命能够保证10年。即使在强腐蚀介质环境中,其寿命也可达到3~5年^[7]。

国外在石油化工方面对玻璃钢的使用已较多。如在美国,各大石油公司的公路加油站所用的汽油贮罐已采用GRP制造。八十年代初美国就已建造了容积达3000m³的GRP贮油罐^[8]。近年来,我国石油部门的少数单位在应用玻璃钢代替钢管和作钢管增强等方面做了些工作。如胜利、大港、大庆等油田均已建有输水GRP管道^[9]。四川石油管理局输气处应用环氧树脂玻璃钢来加固内壁腐蚀而减薄的天然气管道已取得可靠的试验数据和成功的施工经验^[10]。

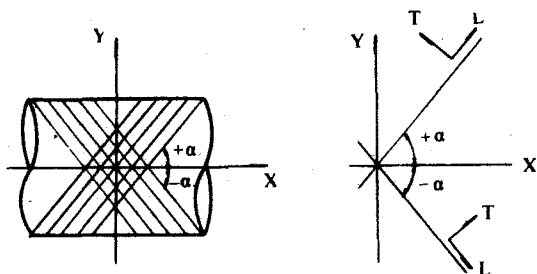
三、GRP管道的承压能力

一般来说,玻璃钢的极限强度不如优质钢材的极限强度高。但其使用强度和一般结构钢材的使用强度差不多。如(4:1)E42环氧玻璃钢的经向拉压极限强度分别为365.17MPa和304MPa,这和A3钢的抗拉极限强度372.6MPa^[11]已很接近了。由此可见,用玻璃钢来制造压力管道其机械强度是可以得到保证的。七十年代初国内对φ57×1.5mm的环氧-酚醛玻璃钢管进行了油压试验,取得了在承压14.7MPa时玻璃钢管道不渗油、不漏油的试验结果。近年某厂用环氧树脂和酚醛树脂为粘接剂,中碱人字纹玻璃布为增强材料生产的φ102mm玻璃钢输油输液管经胜利、大港、大庆等油田输水和两个机场油库输油及两个炸药厂输送带腐蚀性废水的实际应用,证明在输液压力不大于2MPa和支点跨距不大于3m的条件下,应用5~10年是完全有保证的^[9]。

为了进一步检验GRP管道的承压能力,我们以一段由E42环氧玻璃钢材料制成的φ168×5mmGRP管道为例来分析其承压能力,并

将结果与同规格的A3钢管作个对比。

假设GRP管道按 $\pm\alpha$ 角缠绕而成,如下图所示。



玻璃钢的基本力学性能参数如表2。

(4-1)E42环氧树脂玻璃钢的基本力学性能 表2

性能	拉伸		压缩		扭转	
	经向	纬向	经向	纬向	经向	纬向
极限强度(MPa)	365.7	139.6	304.0	225.5	65.7	42.1
弹性模量(GPa)	25.5	11.17	23.5	12.7	2.8	2.8
泊松比	0.20	0.10	0.24	0.12		

依据文献[12]中GRP管道主轴方向的弹性系数公式和目前国内外通用的限定应变准则设计法中计算圆柱形压力容器的壁厚公式,取 $\alpha = 60^\circ$,按强腐蚀介质取容许应变值 $[\epsilon] = 0.1$ ^[13]则可计算出 $\phi 168 \times 5$ mm玻璃钢管道的理论承压能力 $P_1 = 391.48$ MPa、 $P_2 = 129.65$ MPa。按文献[13]的建议,对手糊成型的玻璃钢输液管道,取安全系数为10,则上述GRP管道的安全使用压力可达到12.965MPa。

若用A3钢制成与上述玻璃管规格相同的无缝钢管,取A3钢的许用应力为166.71MPa^[4]则经计算得钢管的安全使用压力也只有10.55MPa。

从上面这个简单的例子分析中不难看出,用现有玻璃钢材料来制造输送石油和天然气的管道是可以达到普通钢管的承压能力的。而且根据玻璃钢复合材料性能的可设计性,只要选取性能优良的基体树脂和增强纤维的最佳缠绕角,则GRP管道的承压能力还可进一步提高。

四、应用GRP管道的经济合理性

相对现有钢材价格来说,玻璃钢的价格要高出4~5倍。但是,只要我们把使用这种材料可能带来的综合经济效益联系起来,就可发现使用玻璃钢的经济效益是很可观的。早在七十年代初,青岛模型厂就算过这样一笔帐,当时玻璃钢的材料费为6~8元/kg,钢材为1元/kg,但由于玻璃钢的比重小,1kg玻璃钢等于4~5kg钢材用。这样计算1kg玻璃钢的材料费用只是钢材的1.2~1.6倍,但前者的使用寿命为后者的8倍以上(依据该厂同青岛钢厂所做通风管的试验结果推测),这样1kg玻璃钢的材料费就只有钢材的0.15~0.2倍了。由此可见,使用玻璃钢比使用钢材的经济效益高得多。

金属腐蚀是目前油气集输管道和油田输废液管道的最大危害,通常我国的地下油气管道投产1~2年后即发生腐蚀穿孔的情况,油田地下管道的平均腐蚀速度在1.5mm/a以上^[5]。

用玻璃钢等复合材料取代钢材制作输送各类带腐蚀性介质的管道,在国外已取得明显的经济效益。如美国在七十年代初各地的纤维缠绕管道就有729014km,是全美第三位的运输工具,所负担供应的能量占全国的一半以上^[16]。美国一家公司曾用GRP管道代替2km长的铜管、铝管来输送苛性钾生产中的残液,成本降低了1/3,寿命由原来的6~9个月提高到2~3.5年,且结构重量减轻了60%^[8]。从最近大量的国外资料看出,目前世界一些主要工业国普遍采用非金属材料管道(塑料和玻璃钢管)来代替承受中、低等压力的输送各类介质的钢管道。这当中,除了技术上的可行性外,就是经济上的合理性在起推动作用。下面的例子可以更清楚地了解应用GRP管道的经济合理性。

假设某油田需敷设一条5km的排污管道,其最大工作压力为0.5MPa。原设计选用规格为 $\phi 168 \times 5$ mm的A3无缝钢管,设计使用寿命为2年。现考虑用同规格的E42环氧树脂玻璃钢管代替无缝钢管。已知玻璃钢的比重为2.0,使用寿

命10年,钢管和GRP管的价格分别为1400元/t,和8000元/t,资金的年利率为10%。

从前面第三部分的承压能力分析中可知这里所选的GRP管道的承压能力是很富裕的。依据上面给定条件计算,建设5km的排污管线所需管材成本费分别为 $A_m = 13.98$ 万元, $A_{GRP} = 20.48$ 万元。取排污管线的材料费残值为零,不考虑管理费用。于是用年费用法⁽¹⁷⁾来比较经济合理性,则有

$$B = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} A$$

式中: B ——平均年度折旧费(万元/年);

A ——初投资,即管材的成本费(万元)

n ——使用期限(年);

i ——年利率。

将有关数据代入上式可算得

$$B_m = \frac{0.1 \times (1 + 0.1)^2}{(1 + 0.1)^2 - 1} \times 13.98$$

$$\approx 8.06 \text{ (万元/年)}$$

$$R_{GRP} = \frac{0.1 \times (1 + 0.1)^{10}}{(1 + 0.1)^{10} - 1} \times 20.48$$

$$\approx 3.33 \text{ (万元/年)}$$

从上面的计算结果可以看出,使用E42环氧玻璃钢管来代替原设计中的钢管,虽然管材成本初投资高,但年折旧费不到钢管的一半,显然使用GRP管比钢管经济。若将由于使用GRP减轻的管道重量而导致施工费用的降低考虑进去,则使用GRP管道的经济效益会更高。

此外,由于纤维增强塑料管的内壁对输送流体的摩擦阻力较钢管小,所以使用GRP管道来输送石油和天然气还可获得明显的节能经济效益。R.A. Currie在管路长度为30.48m,流体比重为1.2,粘度为 $2.5 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$,流量为18925 L/min,公称管径0.1016m的输送条件下进行了分析计算,结果表明,用钢管输送所需泵的功率为 $2.2 \times 10^4 \text{ W}$;用纤维增强塑料管时,泵的功率为 $1.4 \times 10^4 \text{ W}$,使泵的功率减少37%⁽¹⁸⁾。

五、总结与建议

综上所述,我们可以得出在承受中、低等

压力的油气管道中应用GRP复合材料取代钢材不仅在技术上可行,而且在经济上也合理的正确结论。近年来复合材料的发展相当迅速,已研制成功并投入使用的硼、碳、晶须及kevlar-49等新型增强纤维的机械强度已超过高强度钢材的机械强度。可以预计,如果用这些性能更优的增强纤维来制造复合材料管道,则现有油气田中使用的承高压钢管也可用复合材料来制造。

下面就我国油气管道建设中发展复合材料目前急需解决的问题谈几点不成熟的看法。

1. 当前应组织专门研究机构,同我国的有关材料科学工作者一道,有计划地进行复合材料管道的开发应用研究。

2. 复合材料管道的连接仍是一个需要认真研究的课题。当前国内对GRP管道的连接一般采取粘接和机械连接的方式。但对于将承受较大内压的油气管道来说,这样的接口处理方式能否满足强度和气密性的要求尚需要实践来检验。

3. 目前国内玻璃钢工业发展的基本特点是(1)水平低、质量差;(2)定型产品少,机械化程度低;(3)原材料品种不配套、成本高、价格不合理;(4)发展不平衡。显然,这样的生产现状是不可能满足油气管道的大批量需求和可靠性要求的。因此,在作技术基础研究的同时应考虑引进部分国外先进的原料生产设备和制管设备。

4. 复合材料的发展历史较短,许多理论分析方法和性能指标均有待在实际应用中加以修改和完善。因此,在实际应用中,应做好材料各项性能参数和使用效果的跟踪调查记录,以便为进一步改善复合材料管道的结构性能提供必要的现场资料。

(收稿日期1988年2月5日)

参考文献

- (1) 赵秉森编译:《复合材料》,国防工业出版社,1979年
- (2) 吴人洁:从第五届ICCM国际会议展望高聚物用于复合材

泡沫夹克防腐保温管 端面防水密封材料的选择

白恩玉

(胜利油建一部)

泡沫黄夹克防腐保温管线已在各油田原油集输工程上大量应用。但在贮存、运输过程中,由于雨水、潮气从保温管的端面渗入,不但影响保温效果,而且会造成钢管的腐蚀。这是目前泡沫黄夹克防腐保温技术推广中急待解决的问题。

按照石油部SYJ18—86《埋地钢质管道硬质聚氨酯泡沫塑料防腐保温层技术标准》的要求,防腐保温层的端面必须采取良好的防水密封措施,因此选择优良的密封材料是很重要的。这里试就泡沫黄夹克防腐保温管端面防水密封材料的测试方法进行讨论,并推荐几种有效的防水密封材料。

一、防腐保温管端面密封材料透水性的测试方法

透水性是端面防水密封材料的主要性能。对密封材料的透水性应有严格的测试方法,下面介绍我厂采用的方法。

1. 材料与仪器设备

泡沫塑料块 $>50 \times 50 \times 15 \sim 50$ (mm)三块
蒸馏水(除去空气);天平(感量0.01g);游标卡尺(精度0.02mm);恒温干燥箱(精度 $\pm 2^\circ\text{C}$);网丝笼(由不受蒸馏水侵蚀的材料制成,其大小应足以容纳试样)。

2. 测试方法

(1)将泡沫塑料按规定尺寸加工成方形试样三块,并除去表面硬皮粉末。

(2)将试样置于恒温干燥箱中,在 $50 \pm 3^\circ\text{C}$ 下温度放置24h。

(3)取出试样,放在干燥箱中冷却到室

料的动向,《工程塑料应用》,1986, No 4

[3]袁裕生、顾里之:复合材料在机械工业中的发展前景,《机械工程材料》,1981, No 1

[4]顾里之:纤维增强塑料的发展动向,《机械工程材料》,1984, No 6

[5]顾念武:《玻璃钢及其在冶金防腐中的应用》,冶金工业出版社,1981年

[6]D. J. Just: GRP in Structural Engineering, 1983

[7]1985年我国工程塑料的进展,《工程塑料应用》,1986, No 3

[8]文和阳、王云惠:《复合材料浅说》,中国建筑工业出版社,1983年

[9]1986年我国工程塑料的进展,《工程塑料应用》,1987, No 3

[10]周光明等:高分子聚合材料用于天然气管道维修,《油气储运》,1986, No 6

[11]《石油工业常用材料手册》(修订本),石油工业出版社,1981年

[12]刘锡礼、王秉权:《复合材料力学基础》,中国建筑工业出版社,1984年

[13]王建新:耐腐蚀玻璃纤维增强塑料的设计,《工程塑料应用》,1987, No 1

[14]《钢结构设计规范(TJ 17-74)》,中国建筑工业出版社,1985年

[15]严大凡主编:《输油管道设计与施工》,石油工业出版社,1986年

[16]D. V. 罗隆得:《纤维缠绕GRP》,中国建筑工业出版社,1973年

[17]赵英才、孙裕君:《技术经济效益分析方法》,机械工业出版社,1985年

[18]苏玉堂:增强塑料/复合材料的应用与节能,《工程塑料应用》,1986, No 1

PETROLEUM ENGINEERING CONSTRUCTION

Vol.14, No.5, Oct.1988

CONTENTS AND ABSTRACTS

· RESEARCH AND DISCUSSION ·

(1) Mathematical Simulation about Reaction Characteristics of Horizontal Bearing Piles

All traditional methods for studying the reaction characteristics of horizontal bearing piles such as K-method, C-method etc. are based on the assumption that the relation between soil reaction and pile horizontal replacement varies with the depth according to some rules. Based on the analysis of actual measuring data, this article gives the mathematical expression formula which can exactly explain the bending moment of horizontal bearing piles, and based on the theory of tensile beams, this article also gives the calculation formula of share force, earth reaction and horizontal replacement characteristics of piles. The results of P-Y curve calculated by the method in this article have a good fitting with that by the recommended API standards. In this article, some examples used in designing and their comparison with the analysis results of finite element are also given.

Yan Shuwang

· ENGINEERING MATERIALS ·

(7) Feasibility for Using Compound Materials on Oil and Gas Pipeline

A conception using glass fiber compound materials instead of steel pipe for oil and gas pipeline construction is given through the comprehensive summary of the basic properties and achieved results of GRP compound materials used widely at present. The technical feasibility of this conception is discussed through the comparison of properties between fiber glass and steel. Based on some economical index and achieved examples got from domestic and foreign informations, the economical benefits for using such compound materials on oil and gas pipeline are set forth in this article. Finally the suggestions for solving some urgency problems in development of such compound materials on oil and gas pipelines are offered by the authors.

Yao Anlin Fu qiang

(11) Choosing of Water Resistant Seal Materials for End Face of Yellow Jacket Anti-corrosion Thermal Insulation of Pipe

Bai Enyu