

Y

ouTian

Yong BoLi GangGuan

# 油田用玻璃钢管

郭生武 等编著

石油工业出版社

# 油田用玻璃钢管

郭生武 等编著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书详细介绍了陆上油田用低压玻璃钢管线管、高压玻璃钢管线管、海上油田用低压玻璃钢管线管、玻璃钢油管和玻璃钢套管的现状、分类、设计、原材料及制造工艺、力学性能、安装及使用、检测及评价、失效分析及预测预防。

本书是在总结我国油田用玻璃钢管的实际经验和中油集团管材研究所近年来在油田玻璃钢管研究及应用工作的基础上编写的。适用于从事玻璃钢研究和应用的油田科技人员、管理者、技术工人等参考使用,也可作为高等院校有关专业的师生教学、学习与研究的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

油田用玻璃钢管/郭生武等编著.

北京:石油工业出版社,2004.2

ISBN 7-5021-4575-3

I. 油…

II. 郭…

III. 玻璃钢管-应用-石油管道

IV. TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 008134 号

油田用玻璃钢管

郭生武等编著

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:11.75

字数:300 千字 印数:1—1500 册

定价:40.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 《油田用玻璃钢管》编委会

主 任：杨 龙

副主任：冯耀荣 霍春勇 贾立仁

委 员：袁鹏斌 秦长毅 只建克 刘亚旭

武子麒 王立成 马秋荣 赵新伟

史交齐

# 序

玻璃钢管的应用已有五十多年的历史,用于石油工业亦有四十余年之久。国内从 20 世纪 70 年代开始铺设玻璃钢管道,至 90 年代中期,油田玻璃钢管线已达 300 多公里,近年来又在油井中得到了较广泛的应用,获得了良好的经济效益和社会效益。但迄今为止,尚未见到全面介绍和论述油田用玻璃钢管的专著,本书的编写和出版将填补该领域的空白。

《油田用玻璃钢管》一书具有以下特点:

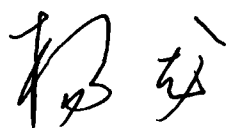
(1)完整性。该书系统全面地介绍了玻璃钢管的发展历史,油田玻璃钢管的分类、设计、材料及制备工艺、力学性能、安装及使用、检测及评价、失效分析及预测预防等内容。引用的资料详实,几乎涉及油田用玻璃钢管的各个方面。

(2)先进性。该书参考了 API 和 ASTM 数十个与油田用玻璃钢管有关的最新标准,引用了近年来国内外学术期刊上发表的玻璃钢管的最新研究结果,对于推动油田用玻璃钢管的研究与发展有较大参考价值。

(3)实用性。作者长期从事与玻璃钢管有关的技术工作,积累了丰富的经验和较高的学术造诣。该书在阐述有关的理论、模型和方法时,例举了大量的应用实例和例题,使该书不仅具有学术价值,而且有一定的应用价值。

该书附录给出了与玻璃钢管有关的多方面的信息,有助于对玻璃钢管不甚熟悉的读者的学习和应用。

希望该书的出版对我国油田用玻璃钢管的研究、开发与应用工作起到积极的推动作用。



# 前 言

石油工业大量使用石油管,每年消耗石油管 120 多万吨,耗资达 100 亿元。腐蚀是石油管的主要失效形式之一。石油管的失效统计分析表明,70% 的失效与腐蚀有关。以玻璃钢管为代表的复合管是为油田防腐蚀而发展起来的石油管新品种。Kevlar 增强的柔性复合管是继玻璃钢管后出现的新品种,可以弥补玻璃管在某些方面的不足。

本书是在总结玻璃钢管油田应用经验和石油管材研究所近年来在油田用玻璃钢管研究和应用工作的基础上编写的。油田用玻璃钢管及其它新出现的复合管良好的耐蚀性受到普遍的关注,希望本书能对玻璃钢管及其它复合管的生产及应用有所帮助。

油田玻璃钢管的产品标准化、设计理论、生产工艺及设备、检测技术、评价方法、应用日趋成熟,初步形成了较为完整的体系。本书在编写过程中,广泛地参考了国内外有关标准、设计理论、科研成果及相关论文与著作,较为系统地叙述了油田玻璃钢管的设计生产与应用。全书共分 9 章,第 1~第 7 章从石油管的腐蚀开始引出油田玻璃钢管的应用史和技术经济效益分析,在详细介绍油田玻璃钢管种类、规格、性能的基础上,给出了油田玻璃钢管生产的主要原料,为了更容易理解油田玻璃钢管的设计、生产工艺及安装与使用,简单地叙述了玻璃钢的力学和玻璃钢管的水力学特性,同时为实物评价试验和失效分析奠定了基础;第 8 章结合油田使用实际,提出了质量检测和实物评价的项目并介绍或设计了试验方法;第 9 章在金属零件失效分析的基础上提出了玻璃钢管的部分失效类型和失效机理,引入了适用性评价概念。附录部分收集了 API 标准出版信息、单位换算、标准代号说明、名词与术语。在编写安排中,力争做到基础性、系统性和手册化,为工程技术人员提供实用方便的工程用书。书中第五章由郭衡纲、任鹏刚编写;部分章节由刘炳禹、张积广提供素材;郭衡纲绘图;杨红兵、马慷慨、张玉芳、邓永容参加了本书所引部分试验工作和部分标准的翻译工作。油田玻璃钢管的尺寸大多仍采用英制单位,本文给出了公制和英制两种单位,但在有些地方仍保留原标准中或原文中的英制单位。

本书由西安交通大学周敬恩教授主审。周教授数十年来致力于材料科学与工程研究和教学工作,在玻璃钢管复合材料方面有很高的学术造诣,他对本书提出了有益的修改意见。此外,石油管材研究所总工程师冯耀荣教授级高工对本书也提出了宝贵的意见,在此一并表示衷心的感谢。

本书由中国石油天然气集团公司技术开发项目“油气工程用非金属管检测、评价方法研究”和中国石油天然气集团公司石油管力学和环境行为重点实验室资助。

由于作者水平所限,不妥之处敬请指正。

编著者

2003 年 11 月

# 目 录

|                        |      |
|------------------------|------|
| 第一章 绪论                 | (1)  |
| 第一节 石油管的腐蚀             | (1)  |
| 第二节 国内外油田玻璃钢管发展状况      | (4)  |
| 第三节 国内外油田玻璃钢管应用的技术经济效益 | (10) |
| 第二章 油田玻璃钢管的性能要求        | (12) |
| 第一节 陆上油田用低压玻璃钢管线管      | (12) |
| 第二节 高压玻璃钢管线管           | (17) |
| 第三节 玻璃钢油管              | (21) |
| 第四节 玻璃钢套管              | (24) |
| 第五节 海上油田用低压玻璃钢管        | (30) |
| 第三章 油田玻璃钢管生产的主要原材料     | (41) |
| 第一节 环氧树脂               | (42) |
| 第二节 不饱和聚酯树脂            | (48) |
| 第三节 酚醛树脂               | (50) |
| 第四节 乙烯基酯化树脂            | (51) |
| 第五节 树脂配方及固化后的性能        | (52) |
| 第六节 玻璃纤维               | (53) |
| 第七节 偶联剂                | (55) |
| 第八节 填料                 | (56) |
| 第九节 着色剂、阻燃添加剂及光稳定剂     | (56) |
| 第四章 玻璃钢基本力学性能          | (58) |
| 第一节 玻璃钢的静态力学特性         | (58) |
| 第二节 玻璃钢的动态力学特性         | (66) |
| 第三节 玻璃钢管的水力学特性         | (67) |
| 第五章 油田玻璃钢管的设计          | (73) |
| 第一节 网络理论               | (74) |
| 第二节 油田玻璃钢管缠绕角的选择       | (75) |
| 第三节 铺层数设计计算            | (78) |
| 第四节 螺纹连接设计             | (79) |
| 第五节 油田玻璃钢管设计的价值分析      | (79) |
| 第六节 低压玻璃钢管线管的设计实例      | (80) |
| 第七节 内衬薄壁玻璃钢管设计举例       | (82) |
| 第六章 油田玻璃钢管的制造工艺        | (84) |
| 第一节 纤维缠绕工艺             | (84) |
| 第二节 离心铸造法制管工艺          | (88) |

|      |                       |       |
|------|-----------------------|-------|
| 第三节  | 缠绕设备的现状及展望 .....      | (89)  |
| 第四节  | 高压玻璃钢管生产工艺实例 .....    | (90)  |
| 第七章  | 油田玻璃钢管的安装与使用维护 .....  | (91)  |
| 第一节  | 包装、运输、装卸和储存 .....     | (91)  |
| 第二节  | 连接 .....              | (92)  |
| 第三节  | 玻璃钢管线设计与安装 .....      | (94)  |
| 第四节  | 玻璃钢油管的下井和起出 .....     | (123) |
| 第五节  | 玻璃钢套管的下井 .....        | (127) |
| 第六节  | 维修 .....              | (128) |
| 第八章  | 油田玻璃钢管的检测与评价 .....    | (129) |
| 第一节  | 理化性能 .....            | (129) |
| 第二节  | 螺纹检测 .....            | (132) |
| 第三节  | 油田玻璃钢管的实验力学 .....     | (132) |
| 第四节  | 实物管力学性能试验法 .....      | (143) |
| 第五节  | 油田环境行为评价 .....        | (152) |
| 第九章  | 失效分析及预测预防 .....       | (157) |
| 第一节  | 油田玻璃钢管失效模式和失效机理 ..... | (157) |
| 第二节  | 油田玻璃钢管失效的预测预防 .....   | (163) |
| 附录 1 | 相关 API 标准 .....       | (170) |
| 附录 2 | 单位换算 .....            | (171) |
| 附录 3 | 标准代号说明 .....          | (172) |
| 附录 4 | 名词与术语 .....           | (173) |
| 参考文献 | .....                 | (179) |

# 第一章 绪 论

玻璃钢(Fiberglass Reinforced Plastics 缩写为 FRP)是指由玻璃纤维增强材料嵌入已固化的热固性树脂中或被其包裹形成复合结构的材料。这种复合结构可以包含骨料、粒料或片状填料、触变剂、颜料或染料,亦可配有热固性或热塑性内衬或涂层。以玻璃纤维为增强材料的玻璃钢管状制品称玻璃钢管。石油和天然气工业使用的玻璃钢管有玻璃钢管线管(Fiberglass Line Pipe)、玻璃钢油管(Fiberglass Tubing)、玻璃钢套管(Fiberglass Casing)。这种管材含增强材料玻璃纤维在 70% 以上,基体树脂一般为热固性的不饱和聚酯、环氧树脂、乙烯基酯化树脂和酚醛树脂,另外还可能有填料硅砂。因此,这种管材有三种物相:玻璃纤维或硅砂相、树脂相和玻璃纤维—树脂界面相。油田玻璃钢管两头带有石油螺纹或其他连接形式,是石油专用管材中的新品种。现代玻璃钢管管体和连接螺纹一次成型,使管材的性能、承压能力、可靠性和适用性达到了统一。

## 第一节 石油管的腐蚀

腐蚀破坏引起突发的恶性事故往往会造成巨大的经济损失和严重的社会后果。世界各国每年仅管道腐蚀就造成巨大的经济损失,美国约 20 亿美元,英国约为 17 亿美元,德国和日本约为 33 亿美元。作为油气勘探开发的油井管(油管、套管、钻杆等)和油气水输送的管线管(长距离油气输送管、出油管、油田油气水集输管、注水注汽、注  $\text{CO}_2$ 、注聚合物管等),其失效主要表现为腐蚀失效,主要的腐蚀介质有  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、硫酸盐还原菌(SRB)等,腐蚀破坏导致的损失巨大。例如 1977 年完工的美国阿拉斯加一条长约 1287km、管径 1219.2mm 的原油输送管道,一半埋地一半外露,每天输送原油约  $200 \times 10^4 \text{ bbl}$ ,造价 80 亿美元。由于对腐蚀研究不充分和施工时采取的防腐蚀措施不善,12 年后发生腐蚀穿孔达 826 处之多,仅修复费用一项就耗资 15 亿美元。由于不可预见的管道外部腐蚀,维护与修理费用已有所增加,美国用于研究、试验、服务、监测、修理、维护及新项目建设方面的年度腐蚀总费用预计超过 100 亿美元。其中,石油天然气工业腐蚀费用预计占其维护、修理及新项目建设费用的 40%。

目前中国部分油田进入高含水期开采,有的新油管下井一年后即发生穿孔,三年就得全部更换(图 1—1)。据初步分析,注水井套管的腐蚀速率约为每年 0.5~0.6mm(图 1—2),维持费逐年增大,油管、抽油杆、泵等设备的更换,每年约为 2.5 亿元。注水井套管寿命一般在 6 年左右,油井套管使用寿命一般在 8 年左右。四川酸性气田特别是磨溪气田,天然气中含有  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{Cl}^-$ 、硫酸盐还原菌(SRB)的地层水,对油、套管,集输管线腐蚀十分严重,特别是井下油管,最短在 2 年左右发生腐蚀断裂,造成内部堵塞,压力下降,产量下降。胜利油田已进入特高含水开发期,采出污水含有溶解氧、硫酸盐还原菌、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{Cl}^-$ ,对钢管管材腐蚀相当严重(图 1—3),平均腐蚀速度为 1~7mm/a,应力作用下的点蚀速度为 14mm/a。胜利油田现有地面管线 20000km,其中原油集输、污水、注水管线占 85%。钢管年更换率为 2.5%,至少更换 400km,损失达 6000 万元。中原油田因水质偏酸性且极不稳定引发腐蚀造成的直接经济损失每年约 7000 万元,间接经济损失约 2 亿元。



图 1—1 油管腐蚀穿孔形貌



图 1—2 套管腐蚀穿孔形貌



图 1—3 输送管腐蚀穿孔形貌

大庆油田现有地面管线约 40000km, 平均寿命 9 年, 年更换率 12.9%。油管柱约 50000km, 平均寿命 3 年。中国石油所属油田管道腐蚀、老化严重、穿孔、漏油事故频繁发生。到 1998 年底, 已建集输原油管线约 70445km, 其中超年限使用的约占 12.7%, 已发生腐蚀的约占 20.58%, 至 2003 年还将增加超年限管道 1048km。

据美国国家运输安全局对 1969~1978 年发生的管道事故报告的统计结果, 管道失效原因中腐蚀占 43.6%。在中国, 管道因腐蚀造成失效也占有相当高的比例, 据一油气田的统计, 1970~1980 年间输气干线共发生 100 起较重大的管道失效事故, 腐蚀失效占 22.5%。

1971 年 5 月, 我国某油田天然气管网因脱硫净化气中的  $\text{CO}_2$  及残留的  $\text{H}_2\text{S}$  的腐蚀破坏引起爆炸和燃烧, 直接经济损失 7000 万元, 伤亡 24 人。此后的 15 年间共发生爆炸燃烧事故 83 次。

1975 年, 北海挪威艾柯基斯克油田阿尔法平台 API X52 高温立管, 由于原油中含有 1.5%~3%  $\text{CO}_2$  及 6%~8%  $\text{Cl}^-$ , 同时由于飞溅区的腐蚀投产仅两个月, 被腐蚀得薄如纸张, 导致了严重的爆炸、燃烧和人身伤亡事故。1988 年英国帕尔波·阿尔法平台油管因  $\text{CO}_2$  腐蚀疲劳造成断裂引发突然爆炸燃烧, 死亡 166 人, 使英国北海油田原油减少 12%。

长庆气田天然气中  $\text{CO}_2$  浓度在 0~5.59% 之间, 平均为 3.02%,  $\text{H}_2\text{S}$  浓度在 0~0.319% 之间, 平均为 0.026%,  $\text{Cl}^-$  浓度最大 146735mg/m<sup>3</sup>。华北油田涪 58 井中的  $\text{CO}_2$  将油管腐蚀穿孔, 使用 18 个月就报废了。新疆塔里木油田的  $\text{CO}_2$  浓度也达到百分之几。上述两油田  $\text{CO}_2$  浓度与艾柯基斯克油田相近。渤海海上油田渤中 13-11 井的套管内侧, 在水蒸气冷凝形成水膜并有  $\text{CO}_2$  存在时, 发生了严重破裂。南海莺歌海牙 13-1 天然气井  $\text{CO}_2$  浓度高达 22%, 还有注  $\text{CO}_2$  采油技术的采用, 高  $\text{CO}_2$  含量的油、气开发将遇到极为严重的腐蚀破坏。塔里木轮南地区的油管腐蚀已成为问题。轮南地区油气中含有  $\text{CO}_2$ , 对油、套管的腐蚀经历了三个阶段。第一阶段为无腐蚀阶段, 即油气自喷, 含水量极少,  $\text{CO}_2$  未造成腐蚀; 第二阶段为全面腐蚀阶段, 即机抽阶段, 随着含水量上升,  $\text{CO}_2$  的腐蚀成为问题, 温度对  $\text{CO}_2$  的腐蚀很敏感, 在 60~90℃  $\text{CO}_2$  的腐蚀最为严重; 第三阶段为垢下腐蚀穿孔及阻塞阶段, 随着注水开发的进行, 含水量继续上升, 垢下腐蚀穿孔成为最严重的问题。目前, 轮南地区正处于第三阶段, 例如轮南某井, 含水率 40% 左右, 2 1/2" P110 油管下井 2 年, 在 1800~2100m 井段(温度约 90℃),  $\text{CO}_2$  腐蚀造成油管穿孔报废(图 1-4)。

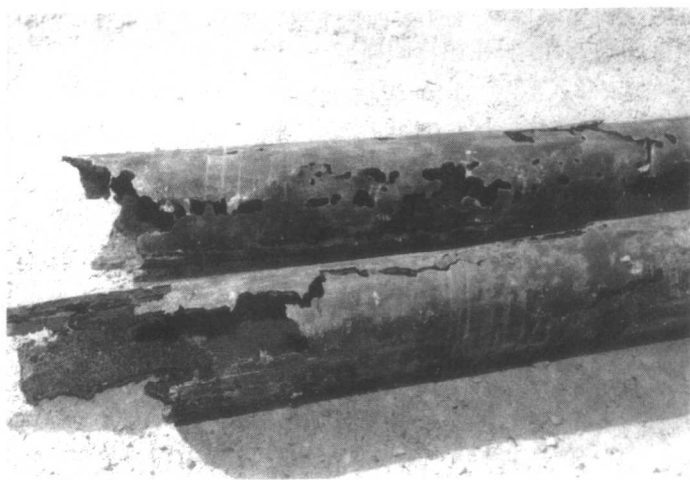


图 1-4 塔里木轮南某井油管  $\text{CO}_2$  腐蚀形貌

上述这些腐蚀恶性事故,造成了巨大的经济损失和严重的社会后果,为了减少腐蚀造成的损失,首先应正确选用管材,在采油、采气、集输、注水等工程中适用的场合使用玻璃钢管等非金属材料是一种正确的选择。

## 第二节 国内外油田玻璃钢管发展状况

油田严重腐蚀造成的巨大经济损失和严重社会后果促进玻璃钢管在油田的应用与发展。玻璃钢管工业诞生于 20 世纪 50 年代(后面均指 20 世纪)初期,至今已有四十多年的历史。

### 一、美国油田用玻璃钢管发展

1950 年,第一根手糊的聚酯玻璃钢管用于石油工业,这第一根手糊管是将玻璃纤维布和树脂涂在卷筒上制成的。在这一年,美国俄克拉荷马州的 Perrault Fibercast 有限公司利用离心浇铸工艺用玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂制成了第一根玻璃钢管,用这种机械法可以大批量地制造质量优良的管材,试验证明首根离心铸管可以经济地解决工业应用中的许多腐蚀问题,并打算供油田集输管线使用。50 年代初该公司的所有权变更,组建了著名的 Fibercast 有限责任公司,与此同时,在制造工艺中他们用环氧树脂取代不饱和聚酯树脂。第一个纤维缠绕技术专利 1946 年在美国注册。50 年代初期 Amercost Bondstrand 公司在南加利福尼亚州创办,该公司采用纤维缠绕工艺生产玻璃钢管道。纤维缠绕法可有效地利用加强的玻璃纤维,用适当的定向的受拉玻璃纤维制成管子,可承受任意条件下的管内加压出现的环向应力与轴向应力作用。在这些条件下,管壁内的环向应力比轴向应力大一倍。分析管壁内的合成应力表明,这些应力最有效地与管轴线成  $\pm 54\frac{3}{4}^{\circ}$  排列的受拉玻璃纤维相对。用这种玻璃纤维制造的薄壁管重量轻且耐压。用双角度结构绕制即玻璃纤维层处在近轴向方位,在近周向采用两倍之多的玻璃纤维层,这种制管法可用于玻璃纤维油管。50 年代中期 Rock Island 石油和精炼公司引进了纤维缠绕玻璃钢管和套管生产线,并开始研制压力高达 1905kPa 的小管径管的高效大量连续制管法。该公司后来叫 KOCH 玻璃钢公司。1955 年, A. O. Smith 公司对纤维缠绕低压玻璃钢管开始进行现场试验,1960 年开始将其产品推广到石油工业。1962 年 6 月,美国史密斯玻璃纤维公司在取得玻璃钢管抗腐蚀的短期良好成绩后,为了掌握整体玻璃钢管在油田长期应用中抗腐蚀的性能,在德克萨斯 Crane Country 油田安装了研究用的 2 条芳香胺固化环氧玻璃钢管埋地管线,管径 610mm,使用条件是连续输送表压为 276~414kPa,温度 27℃ 的盐水、酸性原油和天然气。试验结果表明,试验管在这种使用条件下已正常运行 25 年,而且还有许多年的剩余使用寿命。

胶剂粘接的锥形装配连接系统,因其强度符合要求及操作简单,成为运行压力低于 3100kPa 的油田标准管线。电加热带和化学加热包的研制成功,使得玻璃钢管的安装可以在任何天气条件下进行。每英寸 8 牙螺纹的螺纹接头连接成为较高压力玻璃钢管采用最多的连接系统。8 牙圆螺纹接头更易于安装。60 年代至 80 年代是美国油田应用玻璃钢管的高峰期。在这段时间内,一项关于极苛刻的  $\text{CO}_2$  条件下的玻璃钢管物理及化学性能研究推动了玻璃钢管在大型  $\text{CO}_2$  驱油工程和  $\text{CO}_2$  采出工程上的应用。测试表明,脂肪胺固化的玻璃钢管在 15.64MPa、48.9℃ 的  $\text{CO}_2$  循环和静态试验条件下没有发现物理或化学性能下降。

70 年代初期,美国 EXXON 公司首次将玻璃钢管作为出油管、集输管和产出水的回注管用于德克萨斯州的 CONROE 油田。首先,用玻璃钢管替代旧的、易泄漏的裸碳钢管作为油

管,其管径为 63.5mm 和 76.2mm,制造商压力等级为 8.5MPa。上述所有管线都采用了接箍 EUE 8 牙螺纹连接。在 CONROE 油田,大约已安装玻璃钢管 79km,至今仍在使用。使用情况见表 1—1。

表 1—1 EXXON 公司在 CONROE 油田应用玻璃钢管情况

| 安装时间   | 管 径<br>mm | 工作压力<br>MPa | 总长度<br>km | 用 途 | 使用年限<br>a |
|--------|-----------|-------------|-----------|-----|-----------|
| 1970 年 | 63.5、76.2 | 0.69        | 79        | 出油管 | >13       |
|        | 101.6     | 6.9         |           | 集输管 |           |
|        | 101.6     | 6.9         |           | 注水管 |           |

1970 年至 1975 年,EXXON 公司在德克萨斯西部的 CO<sub>2</sub> 驱开采项目中,陆续安装了长达 182km 的玻璃钢管线,至今已成功运行 13 年。1970 年在墨西哥湾的海上平台注水系统中安装了玻璃钢管。

1984 年,EXXON 公司进入大规模应用玻璃钢管的新阶段。在 MEANS 油田的项目中,EXXON 公司安装了约为 195km 的玻璃钢管出油管、注水管和集输管线。在该项目中,EXXON 公司最大限度地使用玻璃钢管,而内涂层钢管的使用只限于个别处,如交通区及较大尺寸的管线(管径大于 101.6mm,压力等级为 14MPa)。使用情况见表 1—2。

表 1—2 EXXON 公司在 MEANS 油田应用玻璃钢管情况

| 安装时间   | 管 径<br>mm | 工作压力<br>MPa | 总长度<br>km | 用 途 | 使用年限<br>a |
|--------|-----------|-------------|-----------|-----|-----------|
| 1984 年 | 76.2      | 5.5         | 146       | 出油管 | >4        |
| 1984 年 | 76.2      | 5.5         | 41        | 集输管 | >4        |
| 1984 年 | 76.2      | 9.6         | 35        | 注水管 | >4        |

据 1988 年 1~8 月份的统计,EXXON 公司生产的玻璃钢管的销售量在总的输送管线销售量中已占较大比例,其总长度占输送管线总长度的 30.2%,达到 495km,其中 261km 的玻璃钢管线已安全运行 20 年以上,222km 的玻璃钢管线已正常使用 10 年以上。这些玻璃钢管的尺寸范围是 50.8~406.4mm,制造商压力等级范围为 1.02~17MPa。但其中大多数管子尺寸小于 152.4mm,制造商压力等级低于 6.8MPa。大直径玻璃钢管的压力等级为 1.02MPa 和 2.04MPa。

到 1990 年,壳牌公司使用的玻璃钢管总长度已超过 600km。最高压力达 9.5MPa,最高温度大约是 100℃。尽管大多数用于水处理,但仍有 37%用作油管。

在陆上油田,玻璃钢管主要用作出油管线和注水管线。与需要防腐蚀措施的碳钢管相比,安装玻璃钢管可大大节约成本。在过去的 10 年中,在陆上油田安装的直径小于 150mm 的玻璃钢管一般都获得成功。这些玻璃钢管的工作压力达 9.5MPa,工作温度达 65℃。

壳牌公司很少安装直径≥150mm 的玻璃钢管。这是因为对于高压管和大直径玻璃钢管连接的可靠性和安装程序都有待于改善。

表 1—3 中列出了壳牌公司在陆上油田采用玻璃钢管项目情况。

表 1—3 壳牌公司陆上油田应用玻璃钢管情况

| 安装时间   | 管 径<br>mm | 总长度<br>km | 用 途   | 工作压力<br>MPa | 工作温度<br>℃ |
|--------|-----------|-----------|-------|-------------|-----------|
| 1976 年 |           | 128       | 输送乳化液 | 1.0         |           |
| 1978 年 | 63.5      | 5         | 出油管   | 0.4         | 55        |
| 1980 年 |           | 38        | 注水管   | 3.4         |           |
| 1980 年 |           | 15        | 出油管   | 0.5         |           |
| 1980 年 |           |           | 水处理管  | 5.4         |           |
| 1983 年 | 63.5      | 8         | 出油管   | 1.0         | 55        |
| 1985 年 | 88.9      |           | 注水管   | 8.5~9.5     | 65        |
| 1986 年 | 101.6     | 7         | 注水管   | 1.0         | 60        |
| 1986 年 | 406.4     | 10        | 出水管   | 2.2         | 50        |

在海上油田,玻璃钢管已有 18 年的应用历史。玻璃钢管主要用于各种水管,如冷却水管、注水管和污水处理管。只要安装得当,有足够的支撑点以减少振动以及合适的维护工具,就可取得成功。下面是壳牌公司在海上油田应用玻璃钢管的实例:在海湾,76.2~304.8mm 的玻璃钢管用作海水立管,运行良好;工作压力为 10MPa 的玻璃钢管用作消防供水系统。灌满水即可以很好的用于防火,又无有毒气体产生。

在井下,玻璃钢管的应用还不太广泛,因为玻璃钢管的压缩强度小于其抗拉强度。在井中长时间的压缩应力、最大允许压力、CO<sub>2</sub> 的存在以及打捞油管、射孔方法等都会对玻璃钢管在井下应用产生影响。

壳牌公司在井下应用玻璃钢管的实例:广泛应用玻璃钢管作衬管的钢油管。壳牌公司采用这种油管已有 10 年的历史,总长度达  $3 \times 10^4$  m,工作压力为 12MPa,工作温度为 50℃。玻璃钢管和套管用于水的再注入或水处理(工作压力为 1.4MPa,工作温度为常温)。在若干水驱井采用了玻璃钢管套。

美国 WASSON 油田从 1982 年开始试用玻璃钢管。美国 NOTH LOWDEN 油田有注水井 662 口,其中 500 多口用玻璃钢管,占注水井总数的 80%,而且使用 12 年没有一口损坏。美国 Amoco 数千口井使用了玻璃钢出油管,300 口井成套使用了玻璃钢管,4 口井成套使用了玻璃钢套管,还有 CO<sub>2</sub> 井采用了玻璃钢管作采出管。该公司还使用了 Duoline 公司的玻璃钢内衬油管,获得了好的效益。

1981 年,美国应用玻璃钢管达到高峰,并持续到 1986 年,随后美国产油量下滑,应用量也随之下降。但是,玻璃钢管的长期使用经济效益使得世界各石油公司持续使用。

近几年玻璃钢套管在美国使用较少。主要原因是强度不足,包括拉伸和抗外压强度,另一个原因是由于外径为名义直径,内壁必须加厚使环空减少,使用不便。它主要用在无油管采油产气浅井、观察井的产油、气层段,腐蚀严重的生产井。一般使用时,套管柱最下层用玻璃钢套管,上层用钢套管。美国使用玻璃钢套管的油气井总数仅数百口,一般直径 139.7mm,下入深度 1000m 以内,压力为 1.0~2.0MPa。

阿拉斯加普拉德霍湾海上的世界最大的水过滤工程装配着 50~400mm 玻璃钢管。玻璃钢管可用在寒冷气候条件下的阿拉斯加科迪亚克湾和炎热气候条件下的迪拜沿岸波斯湾海上平台上。

美国 Amoco 和英国 AEA 公司等 7 个用户正在试用玻璃纤维或碳纤维增强的树脂钻杆, 目的是为解决大位移水平井的水平位移延长问题提供解决办法。这种钻杆强度高、重量轻、密度接近典型的钻井液密度。在某些井中可使水平位移延长 5 倍。

二、我国油田用玻璃钢管发展

我国油田正在大力推广玻璃钢管,从已有的工程中收到了可观的经济效益。美国 Smith、Ameron、Star 公司的产品已进入中国油田市场,其中 Smith、Etenc 两家公司在中国的黑龙江和江苏建立了合资工厂生产玻璃钢高压管线管和油管。据不完全统计,“八五”及“八五”前后我国油气田应用玻璃钢管:低压输送管约 276km、高压输送管约 22km、油管 3200m、套管 1000m。管材投资约 12921 万元,其中“八五”期间为 11920 万元。估计工程总投资约 35760 万元。全国各油气田玻璃钢管应用情况见表 1—4。

表 1—4 全国各油田玻璃钢管应用情况表

| 油 田 | 管材种类 | 数量, km  | 投资, 万元    | 用 途      | 施工时间   |
|-----|------|---------|-----------|----------|--------|
| 大庆  | 低压   | 31      | 1920      | 输水       | 1991 年 |
|     |      | 18      |           | 供水       |        |
|     |      | 4       |           | 热电       |        |
|     |      | 21.5    |           | 聚合物      | 1994 年 |
|     |      | 14      |           |          | 1996 年 |
|     | 高压   | 0.43    | 190       | 注水       | 1994 年 |
|     |      | 6       |           | 聚合物      | 1994 年 |
| 吉林  | 低压   | 1.56    | 96        | 输油       | 1996 年 |
|     | 高压   | 9.2     | 275       |          |        |
| 辽河  | 低压   | 0.5     | 30        | 抽气<br>注水 | 1996 年 |
|     | 高压   | 1       | 29        |          |        |
| 胜利  | 低压   | 3.09    | 78        | 污水回注系统   | 1989 年 |
|     |      | 2.66    | 164       |          | 1991 年 |
|     |      | 2.78    | 131       |          | 1992 年 |
|     |      | 19.4886 | 1138.24   |          | 1993 年 |
|     |      | 46.886  | 2584.19   |          | 1994 年 |
|     | 高压   | 52.821  | 3200.209  | 注水       | 1995 年 |
|     |      | 5       | 149.71    |          | 1995 年 |
|     |      | 1.7     | 36        |          | 1995 年 |
| 中原  | 低压   | 2.7     | 1306      | 污水处理     | 1984 年 |
|     |      | 21      |           | 站外集输     | 1994 年 |
| 青海  | 低压   | 20      | 1233      | 纯 水      | 1990 年 |
| 江苏  | 低压   | 1       | 62        | 酸 性 水    | 1991 年 |
| 四川  | 高压   | 1500m   | 31.8      | 油 管      | 1995 年 |
| 长庆  | 低压   | 14.41   | 267       |          | 1996 年 |
| 合计  |      |         | 12921.149 |          |        |

注:投资不详的,按同期产品价格估算。

1976年首次铺设的一条玻璃钢管线,爆破压力达12MPa以上,在最大6.5MPa压力下的循环耐压试验在2116次以上仍然良好。管道埋于地下,渗漏、抗压、坠落等性能指标均达到输油管标准要求。该管线在唐山大地震中经受了考验,目前仍在使用(20年)。1974年,胜利油田首先将玻璃钢管用于钻井水管线,同时,原油集输、污水、注水管线推广应用了玻璃钢管。1983首次将玻璃钢管用于污水管线进行工业性试验直到1989年,但都未获成功。1990年4月胜利油田在现河建设了一座设计污水处理能力为20000m<sup>3</sup>/d的污水处理站,该站采用50~500mm玻璃钢管2440m及管配件178个,1991年10月试压投产成功,到1998年连续正常生产7年。在取得现河污水站经验的基础上,随后又在辛一站、102联合站、坨三站、纯梁首站、郝现联、临南站等20座联合站使用玻璃钢管总计27km。随着对玻璃钢管防腐性能的认识,先后把坨三站到坨三污水站管线、郝现联至史南污水管线、梁一注至梁二注水管线、102站至辛7注水管线更换为玻璃钢管,总计42条,长107km,有效地减缓了管道的腐蚀,延长了管线的使用寿命。1995年,胜利油田开始试用高压玻璃钢管,管道是引进美国Ameron、Smith公司的,总长12300m,分别用在5个采油厂的10口污水井、2口注聚合物井的地面管线、1口注水井的井下管和1口采热水井的井下管。试用3年后,注水井井口压力最高11MPa,总计注水36×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>,没有进行深井作业,使用情况良好。热水井深1700m,井底温度93℃,井口水温54℃,运行正常。1996年,胜利油田在孤岛油田西5-检142井1209.40~1290.90m井段下入玻璃钢套管,玻璃钢套管上下均与钢套管连接。目的是利用玻璃钢管的低密度、无磁、不导电、声速低等特点,采用不同的测井方式,监测开发中后期油层水淹状况、采油效率和剩余油饱和度。CJT30MH玻璃钢套管是从俄罗斯燃料能源部科技联合体随测井仪器进口的。基体树脂是酚醛树脂。外径148mm、内径122mm、长6m,轴向抗压力500kN、抗内压22MPa,轴向抗拉力不小于250kN,最高使用温度80℃。套管下井固井后试压成功,测井合格。1991年9月~1994年,大庆油田共完成23项玻璃钢管线工程,这些工程有含油污水深度处理站、地面水质处理站、注水站、站间输水管线、注水高压管线。其中低压管27.28km,高压管0.3km。该高压注水管线最高工作压力16MPa、最高水温80℃,经过运行考验,情况良好。1995年开始,四川石油管理局在川中磨溪等气田成功地应用了7000m玻璃钢油管,基本解决了含硫气井的生产管柱的腐蚀,保证了气井的正常生产。川中含硫气井的井下条件为:气井深度2700~2800m、井底温度87℃、地层压力30~31MPa、天然气中H<sub>2</sub>S含量25~29g/m<sup>3</sup>、CO<sub>2</sub>含量0.3~0.89g/m<sup>3</sup>、地层水中Cl<sup>-</sup>含量(12~18)×10<sup>4</sup>mg/L、地层水中H<sub>2</sub>S含量500~700mg/L、硫酸盐还原菌(SRB)含量10<sup>3</sup>~10<sup>6</sup>个/mL。川中气田六口井使用的是规格2⅜"×2000psi玻璃钢油管,额定压力13.78MPa、渗漏压力31.7MPa。油管材料为脂肪胺固化环氧树脂的玻璃钢,含玻璃纤维75%。玻璃钢油管安装在气井下部腐蚀严重井段,油管柱上部采用NT80SS抗硫油管,安装位置见表1—5。

表 1—5 玻璃钢油管安装环境

| 井 号 | 玻璃钢油管柱长度<br>m | 下入深度<br>m     | 工作温度<br>℃ | 工作环境                                 |
|-----|---------------|---------------|-----------|--------------------------------------|
| M59 | 1100          | 1525.4~2625.4 | 60~84     | H <sub>2</sub> S、CO <sub>2</sub> 、盐水 |
| M60 | 1512.6        | 1157.6~2770.2 | 50~86     | H <sub>2</sub> S、CO <sub>2</sub> 、盐水 |
| M64 | 1000.6        | 1700.7~2701.3 | 65~86     | H <sub>2</sub> S、CO <sub>2</sub> 、盐水 |

续表

| 井 号 | 玻璃钢油管柱长度<br>m | 下入深度<br>m     | 工作温度<br>℃ | 工作环境                                 |
|-----|---------------|---------------|-----------|--------------------------------------|
| M71 | 1515.4        | 1199.2~2714.6 | 50~86     | H <sub>2</sub> S、CO <sub>2</sub> 、盐水 |
| M5  | 432.6         | 2307.6~2740.2 | 75~86     | H <sub>2</sub> S、CO <sub>2</sub> 、盐水 |
| 23  | 1202.4        | 1429.1~2631.5 | 60~80     | H <sub>2</sub> S、CO <sub>2</sub> 、盐水 |

1998 年 4 月,为了对玻璃钢油管使用性能进行评价,对 M71 井进行特别压井作业,起出 2 $\frac{3}{8}$ "玻璃钢油管 5 根(45m)。M71 井油管柱是 1996 年 6 月下井的,总共工作了 690 天。

从井下起出的 5 根(45m)玻璃钢油管位于井深 1955~2000m,井下的工作温度为 72℃ 左右,油管承受的垂直拉力 1600kgf,管体承受内外压力为 20MPa。

检查玻璃钢油管内外面,有少量的结垢,除去垢物,仍可见玻璃钢油管光滑的本体,颜色变深,检查丝扣完好无损,入井上扣时涂的密封脂尚在。

检查 5 根油管的平均外径 61.5mm,比新油管的平均外径 61mm 大了 0.5mm。

全部油管试压 15MPa,稳压 15min 不泄漏,新旧油管清水试压数据见表 1—6。

表 1—6 清水内压密封试验数据

| 规 格                  | 额定值<br>MPa | 极限值<br>MPa | 数 量 | 试验压力<br>MPa | 稳压时间<br>min | 合格率<br>% |
|----------------------|------------|------------|-----|-------------|-------------|----------|
| 2 $\frac{3}{8}$ "(新) | 13.78      | 31.7       | 10  | 15          | 5           | 100      |
| 2 $\frac{3}{8}$ "(旧) | 13.78      | 31.7       | 4   | 15          | 15          | 100      |

拉力试验:对玻璃钢油管进行整体拉力试验,油管受力与伸长数据见表 1—7。

表 1—7 玻璃钢油管拉力试验数据表

| 规 格                  | 额定拉力<br>kN | 数量 | 1        |          | 2        |          | 3        |          |
|----------------------|------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                      |            |    | 拉力<br>kN | 伸长<br>mm | 拉力<br>kN | 伸长<br>mm | 拉力<br>kN | 伸长<br>mm |
| 2 $\frac{3}{8}$ "(新) | 66         | 9  | 45       | 13       | 60       | 20       | 70       | 24       |
| 2 $\frac{3}{8}$ "(旧) | 66         | 4  | 45       | 11       | 60       | 17       | 70       | 20       |

拉伸强度试验数据见表 1—8。

表 1—8 拉伸强度试验数据表

| 规 格                  | 极限拉力<br>kN | 数量 | 最大拉力<br>kN | 试验结果                         |
|----------------------|------------|----|------------|------------------------------|
| 2 $\frac{3}{8}$ "(新) | 209        | 1  | 160        | 油管外螺纹端螺纹被拉脱,有 17 扣从螺纹的根部全部损坏 |
| 2 $\frac{3}{8}$ "(旧) | 209        | 1  | 140        | 油管外螺纹端螺纹被拉脱,有 19 扣从螺纹的根部全部损坏 |