

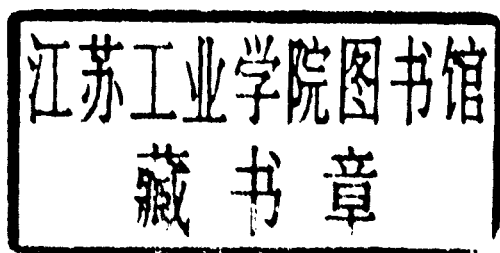
西气东输管道与钢管 应用基础及技术研究论文集

中国石油天然气集团公司管材研究所 编
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

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

西气东输管道与钢管 应用基础及技术研究论文集

中国石油天然气集团公司管材研究所 编
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



石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集近两年西气东输管道与钢管应用基础及技术研究的论文 55 篇, 主要包括: 西气东输管道压力、钢级、管型、材质选用研究; 西气东输工程用高钢级管线钢及大口径输气钢管国产化技术研究; 西气东输管道安全可靠性的研究; 西气东输工程用管材驻厂监造。

本书可供从事与管道建设相关的人员、工程技术人员和管理人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

西气东输管道与钢管应用基础及技术研究论文集/中国石油天然气集团公司管材研究所, 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编. --北京: 石油工业出版社, 2004. 11

ISBN 7-5021-4804-3

I. 西…

II. ①中… ②中…

III. 天然气输送—长输管道—研究—中国—文集

IV. TE832-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 100091 号

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 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 26

字数: 700 千字 印数: 1—1500 册

定价: 80.00 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

编辑委员会

顾问：师昌绪 李天相 柯 伟 钟群鹏 潘家华

名誉主任：李鹤林 刘振武 黄维和

主任：杨 龙

副主任：陈希吾 孙 宁 黄志潜

委员（以姓氏笔画排序）：

丁建林	王功礼	王茂棠	王秦晋	方朝亮	只建克
刘文成	刘 磊	冯耀荣	李平全	陈 琳	张 余
张劲军	杨祖佩	赵 明	郑茂盛	高泽涛	高惠临
贾立仁	秦长毅	袁鹏斌	霍春勇		

编辑组

组 长：冯耀荣

副组长：霍春勇 李平全

成 员：吉玲康 易晓明 董保胜 马秋荣 刘亚旭

序

举世瞩目的西气东输管道工程规模宏大，具有重大政治、经济意义，同时是一项科研与工程建设紧密结合的工程。建设中遇到了钢材、钢管和管道的很多基础研究和技术研究问题，研究解决这些问题完全为了应用。

西气东输管道工程采用 X70 钢级的钢管在国内是史无前例的。从 X70 钢级的选用、1016mm 管径的论证到钢材、钢管技术条件的编制，从原材料小批量试制到实现钢材、钢管的国产化，从组织钢材进口采购到安排国内制管、防腐、监造、验收，从管道施工采用全自动焊机到全自动超检探伤，第一次遇到和毫无经验的问题出现在钢管供应和施工的很多环节。再加上钢管需要数量大、工期短、市场、供求矛盾多变等，我们面临严峻的考验和挑战。

自 2001 年初西气东输管道工程采办工作启动到 2003 年底的两年多时间里，共完成钢材采购 167 多万吨（原材料及钢管），采购资金约 60 亿元。其中进口直缝钢管、宽厚板、热轧卷板 $111 \times 10^4 \text{t}$ ；国产热轧卷板、宽厚板 $56 \times 10^4 \text{t}$ 。干线钢管长度共计 3874km，其中国内制管占 52%。

西气东输管道工程的钢管供应工作一直伴随着大量的技术问题和质量问题，要科学地、实事求是地处理遇到的各种问题，在确保质量的前提下保证工程进度需要，并尽可能降低采购成本，必须依靠强有力的技术支持。

西气东输管道工程建设包括 X70 钢材国产化一直受到国家领导和有关部门的高度关注，在中国石油天然气集团公司和中国石油天然气股份有限公司（以下简称集团公司和股份公司）领导的直接关心、指导和决策下取得了理想的结果，实现了 X70 螺旋钢管、直缝钢管国产化，填补了国内空白，达到同类产品国际先进水平，同时也产生了一批与工程建设实际紧密结合的研究成果。

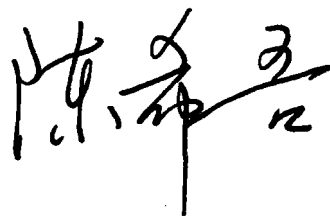
在西气东输管道工程的前期准备和施工建设过程中，出现了多种多样的问题，如欧洲钢管公司钢管的带状组织问题、屈服强度与包辛格效应问题、管口椭圆度及焊缝余高问题、宝钢和韩国浦项卷板的重皮问题、浦项宽厚板的混料问题……。依靠管材研究所的技术支持我们及时准确地处理了这些影响钢材、钢管质量问题，对保证工程质量的顺利进行提供了有力的技术保障。实践证明选择集团公司管材研究所承担西气东输管道工程的技术支持与技术服务是必要和正确的。

为解决工程中的实际问题，管材研究所的领导、专家和中青年科技人员在实物实验的基础上开展大量的应用基础研究和技术研究，如西气东输管道材质和管型选用研究，西气东输管道工程用高钢级管线钢及大口径输气钢管国产化技术研究，西气东输管道工程用螺旋缝埋弧焊钢管及热轧板卷、直缝埋弧焊钢管及制管用钢板技术规范等标准研究与编制，针状铁素体组织鉴别方法、带状组织和晶粒度评定方法研究，高强度微合金管线钢显微组织分析与鉴别图谱编制，西气东输管道工程用 X70 大口径感应加热弯管及大口径三通国产化研究，西气东输管道的安全可靠研究等，解决了高强度管线钢应用中的一系列复杂技术问题。并与

国内外专家、学者、有丰富经验的工程技术人员密切合作，兼收并蓄，取长补短，使这些研究成果既被实践证明，又为国内外业界认可，代表了当前我国石油输送管的研究水平。

《西气东输管道与钢管应用基础及技术研究论文集》内容十分丰富，既有应用基础问题，又有工程实际问题，理论与实际结合紧密，反映了管材研究所和石油管力学和环境行为重点实验室两年多来在西气东输管道方面的最新研究成果。相信本论文集的出版，必将对从事高性能管线钢和管线钢管研究开发、生产应用、质量控制、现场施工等方面的工程技术人员和管理人员有所帮助，为当前和今后的大口径高压天然气管道建设提供参考和指导。

看到这个成果十分高兴，遵管材研究所嘱，勉为其序，如有不妥，敬请指正。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '陈辉' (Chen Hui), with a stylized flourish extending to the right.

2004 年 6 月

前 言

西气东输管道工程（以下简称西气东输工程）在党中央、国务院的关心和国家西气东输工程建设领导小组的指导下，在集团公司、股份公司的组织领导下，于2003年10月1日东段顺利进气，11月20日西段焊接完成，标志着举世瞩目的西气东输工程取得了重大阶段性成果，同时，也标志着管材研究所为西气东输工程承担的科研、西气东输工程用管材驻厂监造和技术支持工作结出了丰硕的成果。

从2000年开始，我所动员全所员工，全力投入西气东输工程，承担了西气东输管道应用基础研究工作，西气东输工程用大口径输气钢管国产化工作，西气东输工程用焊管驻厂监造与技术支持工作。截至目前，在上级领导的关心和支持下，在所党委的领导下，经过全所职工的共同努力，我们已经高质量、高水平地完成了任务，为西气东输工程交上了一份满意的答卷。

在西气东输科研方面，自2000年以来，我所承担了国家经贸委西气东输钢管国产化项目的研究，同时开展了多项应用基础研究和技术开发工作，取得了很好的成果。

西气东输管道压力、钢级、管型、材质选用研究，在对国际上大口径天然气管道发展趋势和钢管使用状况进行系统调查和分析的基础上，与同行专家共同提出并验证了西气东输等大口径输气管道采用高压输送和选用高钢级管材的建议；通过螺旋缝埋弧焊管与直缝埋弧焊管的系统对比试验研究，提出了大口径输气管线管型选用的建议。同时，提出了螺旋缝埋弧焊管质量改进方向。为西气东输工程用螺旋缝埋弧焊管的设备改造和国产化提供了理论和技术基础；通过对铁素体+珠光体型与针状铁素体型管线钢的系统对比试验研究，证明成分和工艺设计合理的针状铁素体管线钢具有优良的综合性能，与同行专家共同提出并验证了西气东输管道用钢拟采用以针状铁素体为主的管线钢的技术路线。

西气东输工程用高钢级管线钢及大口径输气钢管国产化技术研究，包括“西气东输工程用钢板和焊管技术条件研究”、“西气东输工程用X70管线钢针状铁素体组织分析研究”、“X70大口径输气管线用板卷国产化及评价”、“X70大口径螺旋缝埋弧焊管国产化及评价”、“X70直缝埋弧焊管国产化及评价”等项目。在对西气东输钢管的一系列关键技术指标进行深入研究的基础上，参与编制并审查完稿《西气东输管道工程用螺旋缝埋弧焊钢管》、《热轧板卷、直缝埋弧焊钢管》及《制管用钢板技术规范》等5项标准；在消化吸收国内外相关成果的基础上，通过对典型X70管线钢管的研究，规范了对针状铁素体管线钢的认识，提出了针状铁素体组织鉴别方法、带状组织和晶粒度评定方法，编著了《高强度微合金管线钢显微组织分析与鉴别图谱》，为新型管线钢的研究开发、质量控制和工程检验提供了技术支持；参与完成了卷板及焊管国产化整体方案制定、论证及试制，负责完成了对国内3个钢厂试制的14.6mm卷板的试验评价和4个钢管厂试制的1016mm×14.6mm螺旋缝埋弧焊管试验评价，同时对国内外钢厂和管厂试制的1016mm×17.5mm焊管进行了试验评价；在材料组织设计、带状组织和断口分离、性能均匀性等方面提出了一系列改进和控制的建议。与西气东输项目部、钢厂和管厂紧密结合，解决了热轧卷板和螺旋焊管国产化中的一系列关键技术问题（如Bauschinger效应问题、残余应力控制方法及标准等）；经过共同努力，试制成功了

以针状铁素体为主的 X70 厚壁管线钢板卷, 各项技术指标全面达到西气东输热轧卷板技术条件要求。宝鸡、华北、辽阳等多个钢管厂螺旋缝埋弧焊管的焊缝质量和工艺质量达到技术条件的要求。X70 热轧卷版和螺旋缝埋弧焊管已批量生产, 产量达 60 余万吨, 并在西气东输管道工程中大批量使用。

西气东输工程用 X70 大口径感应加热弯管及大口径三通国产化研究, 包括“西气东输工程感应加热弯管技术条件研究”、“大口径感应加热弯管装备国产化”、“大口径感应加热弯管工艺研究及国产化研制”、“X70 感应加热弯管组织、性能与工艺研究”等项目。与有关单位一起, 研究制定了感应加热弯管国产化方案, 解决了弯管国产化中的多个关键技术问题, 包括母管选择, 感应加热、冷却、回火等工艺参数优选, 弯管生产技术路线、试验检验标准等, 进行了多个弯管厂数十批热弯弯管的工艺研究和质量评定。试验研究及评价结果表明, 试制弯管的主要质量技术指标可以达到西气东输工程用弯管技术条件的规定。在该项目成果的支持下, 有多个弯管生产厂生产出了符合西气东输工程技术标准要求的感应加热弯管, 满足了西气东输工程的急需。与此同时, 我所与有关工厂合作, 进行了大口径三通研究开发与试制, 解决了大口径三通材料和生产技术中的难题, 顺利转入国产化生产, 使西气东输三通供货中的“瓶颈”问题得到圆满解决, 受到西气东输管道公司的好评。

西气东输管道的安全可靠性研究, 包括“西气东输用大口径高压输气管线的安全可靠性研究”、“天然气输送用 X70 管线钢的组织性能与断裂控制研究”、“西气东输管道安全性和风险预评价”等研究。负责完成了西气东输工程科研报告中管道安全可靠性研究、管道风险预评价工作, 为管道设计和方案优化提供了依据; 在消化吸收国外相关成果的基础上, 结合西气东输管线实际情况, 开展了焊缝与母材不同强韧性匹配对缺陷容限尺寸及安全性影响的研究, 提出了西气东输管线的焊缝启裂韧性要求及环焊缝工艺匹配方案; 针对国际上管材止裂韧性预测公式的不准确性, 在对管材进行止裂试验研究和对相关实物爆破试验结果进行分析的基础上, 首次提出了输气管线止裂韧性预测的新参量 M 及 M 参量的修正公式; 利用联盟管道的实物爆破试验数据建立了裂纹扩展速度的衰减模式及简化的线性衰减模式, 改进了国际上用以计算管道动态断裂与止裂的 PFRAC 程序和方法。研究了管材 CTOA 大小、内压、壁厚等因素对西气东输管道止裂的影响; 首次提出管道材料性能指标组合值的概念, 分析研究了管道材料强度、塑性、韧性、屈强比等性能指标之间的关系, 提出了不同断裂判据下管道材料性能要求的确定方法及指导原则; 研究了 X70 管线钢的断口分离与上升平台行为, 为具有上升平台行为的 X70 管线钢断裂韧性的确定和西气东输管线的断裂控制方案制定提供了参考。

参与复杂地形地貌地质条件下的非开挖管道定向穿越技术研究, 负责完成的“钻具受力分析、结构优化及钻具的失效分析与预防”专题, 根据非开挖管道定向穿越时钻具的实际工况条件建立了钻具的受力与变形力学模型, 钻具组合失稳变形微分方程, 分析了悬空段钻具的载荷与变形, 为钻具组合优化提供了依据; 通过对断裂钻铤的失效分析, 提出了具体的预防措施; 研究提出了钻具的选用、操作和使用规范, 制定了钻具检验方法和判废标准。

上述成果或对西气东输管道进行了验证或在西气东输管道工程中得到应用, 对西气东输管道设计、施工、断裂控制、管材选用及质量控制、确保管道安全靠地运行具有重要作用。

在西气东输工程用管材驻厂监造方面, 我们按照与西气东输管道公司签订的“西气东输管道工程用焊管驻厂质量监造及技术服务”合同要求, 以标准为依据, 严格按西气东输用钢

管及板材技术条件,配合经用户认可的驻厂监造质量计划和经用户认可工厂 MPS 文件,对西气东输焊管生产过程进行驻厂监造。我们采取监督工厂质量体系运行的有效性与检查工厂产品质量的符合性相结合的独特的驻厂监造模式,本着“严格监造、热情服务、积极协调、及时反馈”的原则,通过精心组织,严格管理,规范运作,持续改进,共完成了国外 8 个生产厂、国内 10 余个生产厂、共计 160×10^4 t 干线钢管、 4×10^4 t 支线钢管和近 1×10^4 t 站场用钢管和 1800 余支弯管的驻厂监造任务。监造工作从产品的试制开始,到钢管的正式生产,严格审查工厂的质量体系、人员资质、生产检验设备的配备情况及有效性、原材料质量控制情况等,并按我所特有的驻厂监督质量计划进行抽检,发现和解决了大量质量控制问题和产品质量问题,促使管厂的质量管理体系不断完善,产品质量水平不断提高。以螺旋缝埋弧焊管为例,一次合格率由开始生产时的 40% 提高到目前的 70%,产品合格率由开始生产时的 80% 提高到目前的 97%,国产螺旋缝埋弧焊管的性能指标达到进口同钢级钢管的水平。钢管质量的明显提高,减少了工厂的返修率,降低了生产成本,提高了使用的安全可靠。

在监造过程中,我所驻厂监造自身的管理水平和工作质量也得到不断改进和提高。通过全体驻厂监造人员的艰苦努力,实现了“保证出厂钢管 100% 受控,试压一次通过”的质量目标。管材研究所按照与西气东输管道公司签订的驻厂监造合同的要求,全面完成任务,工作质量受到各方面的好评。

在西气东输技术支持方面,作为西气东输指定的管材方面主要的技术支持单位,以应用基础研究和技术开发项目为基础,协助项目部解决了管材订货、生产、检验和现场施工中遇到的一系列问题。如:管材、板材标准中的关键技术问题,首批订货 EUROPIPE 钢管的显微组织问题,宝钢卷板的重皮问题,厚壁钢管 DWTT 试验问题及异常断口问题,控制试验不合格时的处理问题,POSCO 钢板混料问题,POSCO 卷板的压坑问题,热轧卷板的 BAUSCHINGER 效应问题,X70 管线钢管的屈强比问题,站场钢管生产中的开裂问题及钢管技术条件问题,感应加热弯管技术路线、成分设计、生产工艺、技术标准及试验检测问题、CU 污染问题,大口径 X70 管件生产技术和供货问题等。

在项目部的统一组织和领导下,管材研究所的专家和中青年科技工作者与有关单位及同行专家共同努力,坚持实事求是的原则和科学严谨的工作态度,急工程之所急,在确保管道安全使用的前提下,使这些困扰西气东输管道建设的问题得到了妥善处理。

受项目部的委托,我们还承担了西气东输管材供货厂商工厂考察、采办技术疑义澄清、订货技术谈判、标准制定和修订、管材板材国产化试制评价与质量改进、管道试压介质论证等工作;承担了进口 UOE 钢管的商检、生产许可证检验及 API 认证咨询工作、西气东输 SSAW、UOE 钢管及板卷的日常检验、环焊缝质量检验、弯管检验、三通检验、弯头检验等工作;同时还完成了黄河穿越工程钻具检验、西气东输管线现场无损检测人员和监理人员培训、西气东输钢管制造厂无损检测人员培训考核等工作。

综上所述,我所西气东输科研、驻厂监造与技术支持工作的确取得了较大成绩,这些成绩的取得,是上级有关部门正确领导和大力支持的结果,是与有关工厂密切配合的结果,同时也是管材研究所全体员工共同努力的结果。

在驻厂监造与技术支持方面取得成功的原因主要有以下几点:

(1) 明确的监造理念。我所的西气东输驻厂监造工作牢固树立了“向业主负责、为用户创造价值”的理念,坚持“事前预防把关、事中处理改进、事后总结提高”的工作原则,一切以质量为目标,严格按照合同和用户需求为工程提供高质量和高水平的技术服务。发现问

题时，积极为用户出主意、想办法，给生产厂提改进建议，保证问题及时、妥善地得到处理，保证生产订货和工程顺利进行。

(2) 独特的监造模式。我们采取了监督工厂质量体系的有效运行和对工厂产品质量符合性的抽查检验相结合的独特的监造模式在西气东输管材质量控制中发挥了重要作用；驻厂质量监造及技术服务工作从钢板及钢管的标准开始，这是保证钢管质量的先决条件；完善的质量管理体系，规范化的运作，保证了钢管的监造质量。

(3) 高素质的职工队伍和雄厚的技术实力。这是保证工作质量的关键。

(4) 强有力的技术支持是做好西气东输驻厂监造的基础，也是管材研究所在该领域占据领先地位的秘诀。由于我们有长期进行油气输送管应用基础研究的优势，从而使西气东输工程用焊管的驻厂监造、技术支持和现场服务建立在高质量和高水平的基础上，受到各级领导的好评和用户的信赖。驻厂监造的效果也十分明显。

总之，近三年来，在集团公司、股份公司的正确领导下，在科技发展部、质量安全与环保部、西气东输管道公司的亲切关怀、大力支持和帮助下，在国内外各工厂和相关单位的密切配合下，我们依靠所党委的坚强领导，全体职工的艰苦努力，圆满地完成了西气东输科研、驻厂监造和技术支持任务，我们的工作也受到了各方面的好评。我所的驻厂监造工作先后两次被西气东输管道公司评为“QHSE 先进单位”，驻宝鸡钢管公司监造组和驻华油钢管公司监造组被评为“优秀监造组”，我所作为主要参加单位的“西气东输 X70 钢管研制与应用课题组”被国家西气东输工程建设领导小组和集团公司授予“国家西气东输管道工程先进集体”荣誉称号。我所主持或参与完成的 5 项成果被集团公司评为“杰出成果奖”和“优秀成果奖”，这些荣誉凝聚着上级领导的关心、全体职工的努力及兄弟单位的配合。在此，我谨向关心、支持管材研究所的集团公司、股份公司的各级领导以及兄弟单位的领导表示衷心的感谢。

我所在西气东输项目中虽然取得了较大的成绩，西气东输工作还没有结束，还有很多工作需要努力开展。在刚刚结束的国家西气东输工程建设领导小组第六次工作会议、集团公司工作会议、集团公司西气东输工作会议上，中央领导、国家有关部委领导、集团公司和股份公司领导为下一步西气东输工作提出了明确的要求。我们要进一步认识西气东输工程的重大意义，增强为西气东输工程努力工作的自觉性和使命感，再接再厉，埋头苦干，高质量高效率地完成我们所承担的各项工作和任务，为西气东输工程做出更大的贡献。

在西气东输工程前期及西气东输工程建设过程中，各种技术问题层出不穷，我所的专家和中青年技术人员为解决这些问题付出了辛勤的努力，认真总结在西气东输管道科研与技术支持中的成功经验，对西气东输管道工程的全面顺利完成及今后的天然气管道建设具有重要的意义。本文集是继由集团公司管材研究所和集团公司石油管力学和环境行为重点实验室编辑、石油工业出版社于 2001 年 8 月出版的《石油管工程应用基础研究论文集》后又一本重要文集。反映了管材研究所和石油管力学和环境行为重点实验室近两年多来在油气管道建设特别是西气东输管道方面的最新研究成果，是集体智慧的结晶。内容涉及西气东输管材选用、大口径输气钢管国产化、大口径感应加热弯管及大口径三通国产化、西气东输管道安全可靠性与风险评价、西气东输用管材驻厂监造与技术支持等方面。可供从事相关工作的研究人员、工程技术人员和管理人员参考，希望能对正在进行的和今后将要建设的油气管道工程有所帮助。

由于我们水平有限，经验不足，加之时间仓促，错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

杨弘

2004 年 6 月

目 录

综 述

油气输送钢管的发展动向与展望	李鹤林 (3)
西气东输管道及钢管相关技术研究	冯耀荣 霍春勇 马秋荣 李鹤林等 (18)
行业监理制度在西气东输中的作用及今后的挑战	袁鹏斌 杨 龙 刘文成等 (33)
西气东输工程用钢管的质量控制	李平全 霍春勇 冯耀荣等 (45)

应用基础研究及技术开发

油气管道性能要求的探讨	冯耀荣 (67)
西气东输管线钢管技术条件关键技术指标研究	霍春勇 马秋荣 袁鹏斌等 (75)
输气管道动态裂纹扩展及止裂判据的研究	庄传晶 冯耀荣 霍春勇等 (88)
裂纹尖端张开角及在输气管线止裂预测中的应用	冯耀荣 庄传晶 霍春勇等 (98)
输气管线裂纹止裂韧性预测研究	马秋荣 霍春勇 冯耀荣 (105)
一种新的裂纹尖端临界张开角计算方法	冯耀荣 庄传晶 马秋荣等 (117)
X70 管线钢冲击试样断口分离现象的研究	李为卫 李爱萍 马秋荣等 (124)
X70 管线钢的断口分离现象	熊庆人 李为卫 冯耀荣等 (132)
X70 管线钢的动态断裂行为研究	冯耀荣 柳永宁 (140)
EFFECT OF STRENGTH MISMATCH OF GIRTH WELD ON SAFETY OF THE WEST-EAST PIPELINE	Zhuang Chuanjing, Feng Yaorong, Huo Chunyong et al (152)
进口 X70 UOE 直缝埋弧焊管试验评价及对比分析	冯耀荣 熊庆人 李为卫 (159)
DEVELOPMENT OF LARGE DIAMETER X70 HIGH TOUGHNESS HSAW LINEPIPE FOR GAS TRANSMISSION	Huo Chunyong, Ma Qiurong et al (167)
X70 管线钢感应加热弯管过程组织性能的控制	李为卫 刘迎来 霍春勇等 (174)
再加热对高强度控轧钢力学性能的影响	刘迎来 冯耀荣 李为卫 (182)
西气东输工程用大口径 WPHY70 三通研制及生产	刘迎来 霍春勇 余大涛等 (189)
西气东输管道可靠度预评估	罗金恒 赵新伟 韩晓毅等 (199)
西气东输管线第三方损伤预测	董保胜 赵新伟 陈宏达等 (207)
含体积型缺陷管道剩余强度的计算与试验	董保胜 赵新伟 韩晓毅等 (211)
焊接管道疲劳寿命预测	韩晓毅 赵新伟 罗金恒等 (218)
EXAMPLE OF QUALITATIVE RISK ANALYSIS OF A GAS PIPELINE	Huo Chunyong, Zhuang Chuanjing, Li Helin et al (233)

质量检验分析和重要问题处理

铁素体 + 珠光体组织、针状铁素体组织 X70 钢级管线钢的带状组织

.....	李平全 霍春勇 李金凤等	(239)
西气东输工程用 X70 管线钢落锤撕裂试验断口形貌影响因素分析		
.....	帅亚民 杨满存	(256)
DWTT 异常脆性断口的评判	陈宏达 霍春勇 马秋荣等	(259)
关于热轧板重皮的认识	李平全 李金凤	(268)
1016mm 输气管线环焊缝试压开裂原因分析	张国正 李平全	(272)
1016mm X70 钢管螺旋埋弧焊缝缺陷分析	李平全 马秋荣 张鸿博等	(279)
关于西气东输站场用 X60 钢管的质量分析	李平全 吉玲康	(283)
φ1016mm×21mm X70 感应加热弯管煨弯开裂失效分析	李金凤 吕栓录	(291)
西气东输管道未焊透缺陷的安全评价	朱春鸣 冯耀荣 袁鹏斌	(295)
焊缝未焊透缺陷产生原因、漏检分析及预防措施	王长安 李京川 袁鹏斌	(300)
国内螺旋焊管超声波自动探伤探头耦合结构的改进方法	朱春鸣 朱建国 袁鹏斌	(303)
利用电磁声换能器进行板材的超声波检测	黄 磊	(308)
感应加热弯管管端面垂直度和弯曲角度检测方法改进	董保胜 赵新伟 陈宏达等	(313)
用超声波波形判断焊管焊缝缺陷类型	乔志成 李云龙	(315)
有关焊接接头拉伸试验问题的讨论	左富纯	(319)
X70 管线钢中硫的分析	邓永琰 方天录	(324)

驻厂质量监督

驻厂质量监督与科研相结合确保西气东输管道工程质量和安全

.....	马秋荣 冯耀荣 李云龙等	(331)
输送用焊管驻厂监理内容确定、划分和发展	郭生武	(336)
谈西气东输工程用焊管的驻厂监理实践及其重要性	陈宏达	(342)
规范驻厂监理, 确保西气东输工程钢管质量	帅亚民	(345)
驻厂监理质量控制方法的研究	陈宏达	(349)
驻厂监理 任重道远	解仲英 袁鹏斌	(355)
坚持自我, 做好监造工作	李记科 田育洲	(360)
计划切实可行, 监督点面结合, 工作认真细致, 反应快速果断和生产厂相互配合, 保证钢管产品质量	吉玲康	(364)
驻厂监造与各方关系及监造工作管理的探讨	李云龙	(370)
国外驻厂监督的工作特点	陈宏达	(374)
加强沟通, 紧密交流, 严格规范, 确保弯管质量	王长安 王新虎 罗金恒	(379)
西气东输工程钢管驻厂监造的几点体会	张鸿博	(382)
在完善的 HSE 体系下更进一步提高驻厂监督质量	刘 锋	(386)

其 他

国外大直缝钢管生产的一些情况	李记科 黄开文 李云龙	(391)
国外直缝埋弧焊钢管生产中的无损探伤简介	张鸿博	(395)

综 述

油气输送钢管的发展动向与展望

李鹤林

(中国石油天然气集团公司管材研究所, 石油管力学和
环境行为重点实验室 西安 710065)

摘 要 本文是油气输送钢管发展动向与展望的综合评述, 由 5 部分组成。第 1 部分是油气输送钢管的历史回顾, 简要介绍了油气输送管的发展历程和管线钢的技术进步; 第 2 部分(管线钢的组织与性能)在评介管线钢的组织分类的基础上, 论述了针状铁素体型管线钢的性能特点(优良的强韧性、较高的形变强化能力和小的包申格效应、良好的焊接性和耐腐蚀性能); 第 3 部分是管型选择, 重点评述了螺旋缝埋弧焊管与直缝埋弧焊管、高频电阻焊管(ERW)与无缝钢管的比较与选择; 第 4 部分论述了高压输气钢管断裂控制的意义、进展及存在问题; 第 5 部分讨论了油气管道工程对高性能管线钢的需求, 包括高强度管线钢、低温用管线钢、具有良好断裂控制性能的管线钢、抗 HIC 管线钢、抗 CO₂ 腐蚀管线钢、抗大变形管线钢及钢/玻璃纤维复合管等。

关键词 油气输送 钢管 管型 针状铁素体 断裂控制

今后 10~15 年, 全球总能源消耗将比现在增加 60% 左右, 其中天然气消耗将翻一番^[1,6]。天然气需求的增长主要集中在北美、欧洲和经济迅速发展的亚洲。从地域上来看, 用户主要在工业发达的城市地区, 而油气田则大部分在极地、冰原、荒漠、海洋等偏远地带。因而作为石油和天然气的一种经济、安全、不间断的长距离输送工具, 油气输送管线在近 40 年得到了巨大的发展, 这种发展势头在未来的几十年中仍将持续下去。预计今后 10~15 年内, 我国共需各类油气输送钢管 $1000 \times 10^4 \text{ t}$ 左右(不包括城市管网)^[1,2]。

1 油气输送钢管的历史回顾

管道输送是石油、天然气最经济、合理的运输方式。目前, 全世界石油、天然气管线的总长度已超过 $2.30 \times 10^6 \text{ km}$, 并以每年 $4 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{ km}$ 的速度增加。我国从 1958 年开始建设长距离原油输送管线(新疆), 1963 年开始建设长距离天然气输送管线(四川)。

我国已建成的石油天然气输送管线所使用的螺旋焊管, 主要是由原中国石油天然气总公司的 6 个焊管厂生产的。焊管用的板卷, 从 20 世纪 50 年代到 70 年代主要采用鞍钢等厂家生产的 A3、16Mn, 70 年代后期和 80 年代则采用从日本进口的 TS 52K(相当于 X52)。20 世纪 90 年代, 塔里木三条油气管线、鄯—乌输气管线、库—鄯输油管线和陕—京输气管线的 X52、X60、X65 热轧板卷主要由上海宝钢生产供应。直缝埋弧焊管过去一直依赖国外进口。

“西气东输”工程采用 X70 钢级, 跟上了国外的发展水平。X70 钢级螺旋缝焊管全面实现了国产化, 直缝埋弧焊管前期仍依赖进口, 后期采用了巨龙钢管公司的 JCOE 焊管。

1.1 油气输送管的发展历程

我们的祖先在公元前 600 年即开始用竹筒输送天然气。两千多年以后, 英国人用木管和铅

管输送天然气,其安全性极差。输送油、气的大口径钢管,本世纪初首先在美国发展起来。1926年,美国石油学会发布的 API 5L 标准只包括 3 个碳素钢级。1947 年发布的 API 5LX 增加了 X42、X46、X52 三个钢级。1964 年的 API 5LS 将螺旋焊管标准化。1967~1970 年期间 API 5LX 和 5LS 增加了 X56、X60、X65 钢级,1973 年增加了 X70 钢级。1987 年 6 月,API 5LX 和 5LS 合并于第 36 版 SPEC 5L 中。第 36 版到现在的第 43 版包括 A25、A、B、X42、X46、X52、X56、X60、X65、X70、X80 共 11 个钢级。X100 和 X120 已开发成功,但尚未列入 API 标准。目前,全世界油气输送管的用量中,X65 和 X70 之和占 85% 以上。

油气输送管的几个里程碑^[3]: 1806 年英国伦敦安装了第一条铅制管道; 1843 年铸铁管开始用于天然气管道; 1925 年美国建成第一条焊接钢管天然气管道; 1967 年第一条高压、高钢级(X65)跨国天然气管道(伊朗至阿塞拜疆)建成; 1970 年在北美开始将 X70 管线钢用于天然气管道; 1994 年德国开始在天然气管道上使用 X80 钢级^[4]; 1995 年加拿大开始使用 X80 钢级^[5]; 2000 年开始开发玻璃纤维-钢复合管用于高压天然气管道; 2002 年 TCPL 在加拿大建成了一条管径 1219mm、壁厚 14.3mm X100 钢级的 1km 试验段; 同年,新版的 CSZ245-1-2002 中首次将 Grade690 (X100) 列入加拿大国家标准^[6]; 2004 年 2 月,ExxonMobil 石油公司采用与新日铁合作研制的 X120 焊管在加拿大建成一条管径 914mm、壁厚 16mm 的 1.6km 长的试验段。

图 1 输送压力随年代的发展变化^[5]

油气输送管道输送压力和钢级随年代的发展变化如图 1 和 2 所示。全球已建设的 X80 管线项目如表 1 所示。

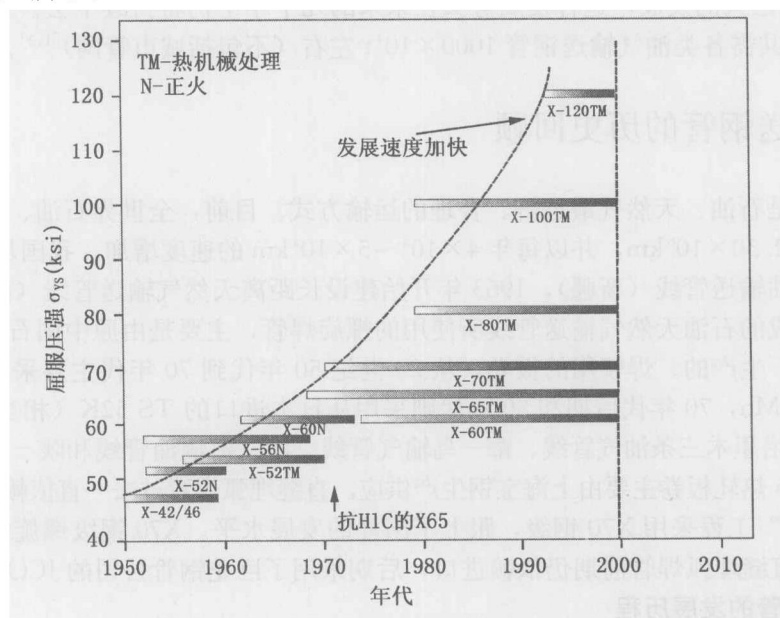


图 2 管线钢钢级随年代的发展变化^[7]