

油气储运技术论文集

(第八卷)

中国石油天然气管道工程有限公司 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本论文集收集了中国石油天然气管道工程有限公司员工在工作、科研、学习中的技术总结、新技术研究、新工艺应用和管理创新理念的论文 157 篇。作者从工程咨询、工程勘察、工程设计、工程施工等方面研究了管道、油气田地面建设的新技术、新工艺、新管理和新发展,介绍了管道工程、储油库、自动控制、商务、管理以及科研等方面取得的成果、经验和最新信息。

本书可以为油气储运和管道工作者提供有益的帮助与创新的思维,有助于推动油气储运和管道行业的快速发展,也可供石油院校师生阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气储运技术论文集. 第 8 卷/中国石油天然气管道工程有限公司编.
北京:石油工业出版社,2012. 8
ISBN 978-7-5021-9181-8

I. 油…

II. ①中…

III. ①石油与天然气储运-文集

IV. TE8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 168812 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. com. cn

发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

889×1194 毫米 开本:1/16 印张:44.75

字数:1400 千字

定价:170.00 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 委 会

名誉主编：

张志宏 赵 蕊

主 编：

张文伟

副主编：

陈 枫

编 委(以姓氏笔画为序)：

丁洪兵 王 峰 付景龙 宋 鹏 杨 宏 单煜炎

简朝明 高建章 桑广世

前 言

中国石油天然气管道工程有限公司近年来先后承揽了西气东输增输改造工程、西气东输二线工程、中缅油气管道工程、中亚天然气输送管道工程、缅泰输气管道工程、兰郑长成品油管道工程、锦州—郑州成品油管道工程、中哈原油管道工程、独山子—乌鲁木齐原油管道工程、长庆油田—呼和浩特石化原油管道工程、俄罗斯原油改造工程、大庆—锦西原油管道工程、东北管网改造工程等一大批国内外重点项目。在这些工程项目中应用了许多新技术、新工艺和新的项目管理模式,同时也积累了丰富的经验和资料。

中国石油天然气管道工程有限公司从 2005 年至今,先后编写了《油气储运技术论文集》第一卷至第七卷,这些论文集的发表为员工学术研究和技术成果提供了平台。

本论文集共收集了公司员工撰写的论文 157 篇,分类编设专业栏目五个。向读者提供了油气开发储运的勘察、设计、工程项目管理等方面的研究成果、经验和最新信息。

在本论文集编辑出版过程中得到中国石油天然气管道工程有限公司领导、有关部门及专家的支持与帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,在编辑过程中难免有不妥之处,希望广大读者及时提出宝贵意见。

编委会

2012 年 7 月 1 日

目 录

· 安全与站场设计 ·

涩宁兰输气管道复线工艺设计特点及分析	黄 丽	(1)
输油气站场用钢管的低温使用条件研究	孙立刚	(4)
输油主泵非电力驱动方式选择研究	郭小强等	(10)
浅谈输气管道站场安全阀的设置	孙立刚等	(16)
浅谈输气管道设计系数选取	张月静	(21)
锦郑管道油品界面检测技术的应用及优化设计	许 莉等	(25)
利用可用率分析确定压缩机站备用机组数量	董平省等	(29)
放空系统阻火器设计压力选取	范云鹏等	(34)
油气管道清管器收发系统的操作和设计要点	孙立刚等	(39)
成品油管道水力系统控制方式浅析	李 苗等	(43)
LNG 接收站蒸发气的计算及控制方法	信 鹏等	(48)
LNG 接收站蒸发气再冷凝工艺研究	高萃仙等	(51)
定压力配送模式在成品油管道设计中的应用分析	何 超等	(56)
压缩机站可用率计算方法研究	姜焕勇等	(61)
离心式压缩机喘振控制浅析	陈毅龙等	(65)
浅谈中亚和国内天然气管道在站场工艺设计方面的差异	李 艳等	(68)
原油动态计量中温度、压力对其标准体积的影响和分析	杨旭光等	(72)
油气储运项目《安全设施设计专篇》编制重点浅析	潘 盼等	(77)
原油管道泄漏流速及体积分数数值计算	高雪利等	(81)
在西气东输二线站场设计中引入定量风险评价技术实践	李可夫等	(86)
HAZOP 分析在西气东输三线工程中的应用	姜焕勇等	(91)
国内外输气管道压力容器安全阀设计差异性分析	朱成林等	(96)
浅谈 DBB 及 DIB 球阀密封原理及特点	黄 曦等	(99)
蜡沉积速率及周期分析	曹 莹等	(103)
浅谈先导式安全阀工作原理及失效分析	王 新等	(109)
浅析输油泵机械密封的耗损与改进意见	孙 伟等	(114)
输气管道压气站清管区应力分析方法简述	李 钦等	(118)
浅谈压气站冷却器的选型及应用	孟令兵等	(124)

长输热油管道运行优化研究	于 加等	(129)
浅谈应力分析在泵进出口管道安装中的应用	黄 龙等	(134)
浅论施工图设计中二维和三维的应用对比	白 爽等	(139)
浅谈防腐材料在站场管道中的应用	曹 莹等	(143)
混凝土柱 $P-M$ 相关图分析原理及在缅泰输气项目中的应用	任文明等	(148)
中缅管道岩溶地基处理设计思路	赵薇薇等	(153)
浅析外墙外保温节能技术在管道站场建筑中的应用	冯 硕等	(157)
站场雨水设计分析	刘 录等	(161)
《站场建筑及总图标准图集(管道篇)》在西气东输二线管道工程(东段)中的应用研究	赵 雄等	(167)
谈西气东输二线黄土地基处理方法	李兵兵等	(173)
混凝土耐久性机理研究及预防措施	于来刚等	(177)
地表雨水设施浅析	刘 录等	(180)
HRB400 级钢筋在管道工程的应用	杨 丹等	(184)
浅述防止设备基础沉降的设计措施	杨 丹等	(187)
浅析大体积混凝土裂缝成因及预防措施	于来刚等	(190)
基于 VB 语言的发球筒参数化应力分析	赵树炳等	(193)
浅谈电力系统的接地技术	杨 利等	(198)
浅谈 ATSE 在输油、气管道站场中的应用	张 佳等	(202)
变电所接地系统的问题分析	李 林	(206)
浅谈电伴热在油气储运建设中的应用	王 辉	(211)
乌鲁木齐压气站工艺冷却水系统设计	赵立前等	(216)
西气东输二线管道工程站场给水管道设计	李桂涛等	(223)
浅谈 LNG/L-CNG 汽车加气站的设计	周长才	(230)
湿陷性黄土地区输油气站场给排水设计	彭新政等	(235)
浅谈污水热能采集套管换热法的阻力特性	李桂涛等	(240)
浅议 Enbridge 公司输油泵站控制逻辑	吴凤荣等	(246)
浅谈中哈原油管道二期工程设计工作特点	李 耕等	(249)
庆铁线输送引进俄罗斯原油方案探讨	武化宇等	(253)
大型原油储罐设计中的安全问题及对策	刘亮亮	(259)
石油储罐环墙基础设计研究	关学强	(263)
混凝土冬季施工质量通病及防治措施	刘 婧	(269)
疏水器在输油蒸汽系统中的选择与应用	丁 哲等	(272)
原油储库含油污水处理方式分析与对比	李 平等	(276)
一种新型补偿器—旋转补偿器的应用	席晓峰等	(280)
基于非线性接触分析的占压管道仿真计算	杨 帆等	(285)
浅谈清管阀在短距离天然气长输管道清管工艺上的设计及应用	肖爱桂等	(293)

浅议 CNG 母站压缩机的选型	王 均等	(298)
微生物在环境保护中的应用	王晨晖等	(303)
探讨如何提高输气站场供气可靠性	王立鑫等	(308)
气液联动阀故障分析及改进措施	何 军等	(312)
油气管道工程典型公网电路组网方案设计	景其隆等	(316)

· 线路勘察与工程 ·

城市高压输气管网线路设计要点分析	韩 锋	(321)
长输管道采空区段选线分析	王洪波等	(326)
水网地区大口径管道的施工方法简介	刘 刚等	(329)
兰成管道特殊地段的风险分析及设计对策	张振永等	(334)
桩板墙在油气管道工程中的应用	王 进等	(342)
管道定向钻穿越滑坡区的分析与探讨	邓 勇等	(345)
无人机航测在大比例测图中的应用	罗伟国等	(350)
利用 Google 遥感影像快速制作站场区域位置图	姚辉文等	(355)
格构锚固结构在高边坡治理设计中的应用	王 进等	(360)
西气东输二线湿陷性黄土分布及环境工程地质问题分析	江 波	(364)
定向钻对接技术在大辽河穿越方案中的应用	张连彬等	(368)
日照—东明原油管道沂河穿越防渗设计	刘志国等	(373)
河道内管道敷设	郜高瑞等	(381)
长距离输油管道阴极保护死区的腐蚀控制	刘仲超等	(384)
GIS 系统在管道行业中的应用	孙宇泽等	(387)
油气管道振动原因及处理对策	赵鹏飞等	(391)
ANSYS 在输油管道支座计算中的应用	刘亮亮等	(395)
山区地段输气管道水工保护设计	田士国等	(403)
水网地区植片式护岸在水域穿越中的理论设计	彭 阳等	(407)
水网地区管道开挖施工井点降水的设计及运用	彭 阳等	(412)
浅谈长输管道防腐技术	黄 曦等	(418)
浅析定向钻穿越方式在南方水网地区的应用	李继果等	(422)
天然气管道在淤泥类土中的敷设	邓小涛等	(425)
牺牲阳极在城市燃气中的应用	杨 浩等	(429)
规划区内管道线路设计方案实例分析	钟 军等	(432)
长输管道聚乙烯热收缩带防腐补口存在的典型质量问题与对策分析	康坤坤等	(436)
浅谈湿陷性黄土地区油气管道典型穿越施工方法	孙 伟等	(440)

· 通信与自动化 ·

省级管网调度中心 SCADA 系统设计	刘庆宏等	(446)
浅谈哈中原油管道二期工程仪表自动化设计	陈子康	(451)
中亚管道压缩机组控制系统特点——远程 IO 控制方式	崔彦星等	(456)
西三线站控制系统远程 IO 的应用	王 勇等	(458)
哈中原油管道末站流量计的选择	陈子康等	(462)
质量流量计在线远程维护系统	胡协兰等	(465)
油气管道能耗数据采集与应用设计	刘庆宏等	(469)
能耗数据采集系统二期工程的方案比选	陈子康等	(473)
分布式装车控制系统浅谈	陈宏宇等	(478)
浅谈管道仪表与自动化节能的设计	郑 前等	(482)
周界报警系统误报、漏报问题分析	刘永军等	(487)
油气管道站场 WLAN 的 AP 规划和设计	刘晓峰等	(492)
浅谈油气管道站场 IP 无线通信	刘晓峰等	(497)
油气管道应急指挥中心搭建	杨子慧等	(500)
输气管道截断阀远程监控系统技术的应用探讨	韩冬梅等	(506)
激光周界报警系统在油气管道中的设计与应用	赵雅琴等	(510)
浅谈广播呼叫对讲系统在油库上的应用	董晓琪等	(513)
输气站仪表风系统计算	刘鹏飞	(517)
浅析振动电缆周界报警系统在油气管道站场的应用	马 雯等	(521)

· 科学管理 ·

设计数据管理流程研究	于铁兵等	(526)
浅谈企业级信息系统开发平台的选择	陈何军等	(529)
浅谈 CPPE 数据备份方案	王照付等	(533)
服务器性能管理分析	刘献泽等	(537)
浅谈中国石油加工制造投资项目自我后评价的内容和重点	刘 毅等	(541)
浅议西气东输二线西段 EPC 模式下设计进度控制	王凤梅等	(546)
浅谈项目沟通中的主要障碍及其解决方法	刘 洋等	(550)
浅谈如何做好工程项目中的设计管理工作	刘梓舟等	(554)
建设工程设计合同应注意三个要点问题	刘绮珊等	(558)
浅谈天然气长输管线施工过程中的 HSE 管理	李晓峰等	(562)
浅谈知识产权战略对设计院发展的重要性	姜宇澄等	(567)
论基层单位应急管理执行力建设	景其隆等	(570)

浅谈国际工程施工索赔难点与关键	王 震等	(575)
浅谈项目管理与管理项目	付国英	(581)
浅谈工程设计项目沟通管理	王 玺等	(584)
浅谈企业精细化管理	卢伟宁	(589)
翻译中的超语言因素	王 玺等	(592)
浅谈工程项目中计划的制定和控制	李 岩等	(595)
项目核准制应用于油气管道项目的体会	曹喜翰等	(598)
油气管道设计阶段项目管理探析	景其隆等	(602)
创先争优活动实践性研究	王秋红	(606)
海外建设工程安全生产管理	李晨侨等	(612)
浅谈构建学习型企业的可操作性及其实际意义	乔 凡	(615)
浅议秘书工作中的时间管理	丁睿明等	(619)
用乾坤智慧看现代项目管理	王 玺等	(624)
成长期企业人才培养问题初探	付艳娜等	(629)
员工离职现象剖析及离职管理	付艳娜等	(633)
海外天然气运输项目风险分析和控制	李晨侨等	(637)
企业内容管理综述	王 红等	(642)

· 探索与发展 ·

超大输量天然气管道方案初探	张振永等	(645)
管道完整性管理与线路设计关系探讨	何祖祥等	(652)
北美天然气管网发展现状及分析	曹书荣	(657)
浅议成品油管道工艺改进和发展	张效研等	(667)
建筑物隔震设计在管道站场建设中应用前景展望	刘稚媛等	(669)
探讨松木桩在处理软土地基中的应用	赵薇薇等	(672)
双鞍座埋地卧式容器鞍座反力分析探讨	梁奋飞等	(676)
长输管道站内管件许用应力的取值探讨	崔成山等	(681)
油气管道同沟敷设光缆引接技术探讨	段得福等	(684)
特殊地段同沟敷设光缆防护技术探讨	段得福等	(688)
西部输气站场第二水源探讨	周 琳	(691)
项目计划管理软件在长输管道工程中的应用探索	刘 洋等	(696)
智能音波泄漏监控系统在输油管线上方案探讨	景治强等	(700)

涩宁兰输气管道复线工艺设计特点及分析

黄 丽

(中国石油天然气管道工程有限公司)

摘 要 涩宁兰输气管道复线工程是中国石油第一条老线和复线采用同一水力系统、压缩机组实现联合运行的复线输气管道工程。本文概括介绍了涩宁兰输气管道复线工程工艺设计特点,同时分析了两条并行管道采用同一水力系统联合运行的优点,并根据分析结果给出今后复线工程建设的推荐作法及注意事项。

一、涩宁兰输气管道复线工程简介

涩宁兰输气管道复线工程(以下简称涩宁兰复线)起自青海省柴达木盆地涩北一号气田涩宁兰老线涩北首站,东至兰州西固区 F35#阀室,线路长 921.4km。管道沿线途径青海省格尔木市、大小柴旦镇、德令哈市、乌兰县、共和县、湟源县、贵德县、湟中县、平安县、乐都县、民和县以及甘肃省永靖县、兰州市,共计 13 个县、市、区。设计压力 6.3MPa(表压),干线管径为 $\phi 660\text{mm}$ 。一级地区管线材质采用 L415(X60),二、三、四级地区管线材质采用 L450(X65),管道采用高温加强级三层 PE 防腐层加阴极保护的联合保护方案。涩宁兰复线路由基本与涩宁兰老线并行或伴行敷设,局部绕行。涩宁兰复线与涩宁兰老线通过工艺站场完全连通,两条管道联合运行条件下的最大商品输气量为 $1905 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ (标况),涩宁兰复线输气量为 $972 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ (标况)。全线设工艺站场 7 座,分别为涩北压气站、羊肠子沟压气站、乌兰压气站、湖东压气站、西宁分输站、河口分输站及兰州末站。管道采用 SCADA 系统对管道全线的运行情况进行集中监视控制和生产运营管理。同时,本工程 SCADA 系统与涩宁兰老线系统整合,纳入到涩宁兰老线已有的 SCADA 系统中。采用光纤通信为主通信信道,公网 DDN 备用。

二、涩宁兰复线工艺设计特点及分析

涩宁兰复线工程规模虽然没有西气东输一线、二线等工程庞大,但该工程是中国石油第一条老线和复线采用同一水力系统、压缩机组实现联合运行的复线输气管道工程。工艺设计特点分析如下。

1. 涩宁兰复线工程与老线采用同一水力系统,降低管道运行成本

在涩宁兰复线设计过程中,对于复线和老线是否采用同一水力系统运行进行了大量的模拟计算。同为设计压力 6.3MPa,管径 $\phi 660\text{mm}$ 的设计方案,表 1 为不同输量条件下涩宁兰复线和老线采用同一水力系统计算结果,表 2 为不同输量条件下涩宁兰复线和老线分别采用独立水力系统计算结果。

表 1 涩宁兰复线和老线采用同一水力系统计算结果

输量(标况), $10^4 \text{m}^3/\text{d}$	启运压气站座数	压缩机组运行台数	自耗气(标况), $10^4 \text{m}^3/\text{d}$	压缩机组功率, kW
1500	3	6	26.82	32848.324
1400	3	6	18.59	22595.1
1300	2	4	12.928	15880.17
1120	1	2	8.532	10130.72

表2 涩宁兰复线和老线分别采用独立水力系统计算结果

输量(标况), $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	启运压气站座数	压缩机组运行台数	自耗气(标况), $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	压缩机组功率, kW
1500	4	6	25.552	31361.15
1400	4	5	25.263	31146.85
1300	4	5	23.237	28595.64
1120	4	4	20.02	24550.56

从表1和表2可知,涩宁兰复线与老线在两种不同运行方式下,压气机组的运行数量或自耗气量均不相同。涩宁兰复线和老线采用同一水力系统运行时,在相同的输量情况下,启运的压气站座数少、压缩机组运行台数少、自耗气低,并且输量越低,两条管线联合运行时天然气耗量越低,即管道的运行成本也就越少。从涩宁兰复线工艺分析计算结果,我们可以得出这样的结论,如果两条天然气管道并行敷设,输送工艺应首先推荐两条管道采用同一水力系统联合运行。两条管线联合运行,还可以同时备用1套压缩机组,降低了工程的投资。

2. 涩宁兰输气管道复线工程与老线采用同一水力系统,出现流量“倒灌”现象

在进行涩宁兰输气管道复线水力系统分析时,发现系统联合运行工况下涩宁兰复线的管道在没有外部注气的条件下流量增加;而涩宁兰老线的管道在没有分输的条件下流量减少。图1为涩宁兰复线和老线联合运行工况下涩宁兰复线沿线压力—流量曲线图,图2为涩宁兰复线和老线联合运行工况下涩宁兰老线沿线压力—流量曲线图。

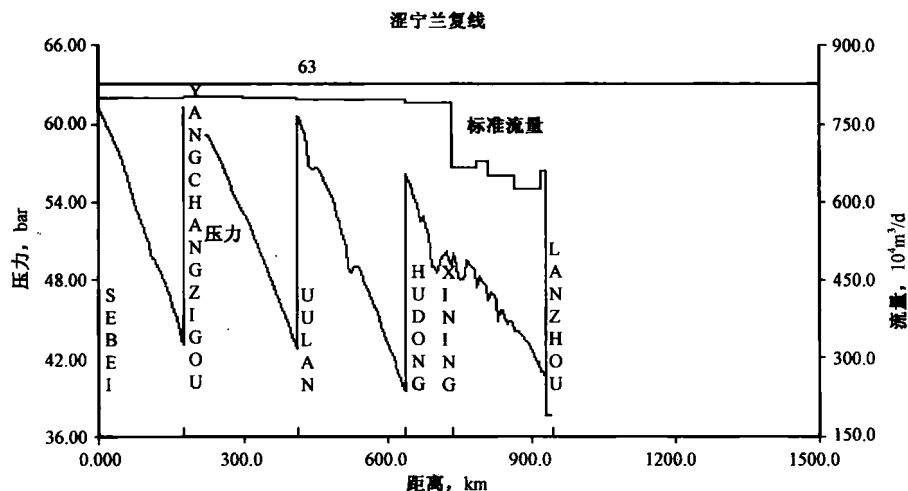


图1 涩宁兰复线和老线联合运行工况下涩宁兰复线沿线压力—流量曲线图

对于涩宁兰复线在无注气而出现流量增加即“倒灌”现象进行认真分析,涩宁兰复线和老线路基本为并行敷设,但局部地段受条件限制需绕行,由此导致复线和老线的站场间距是完全相同的,根据水力平衡,对于站间距长的管道流量将减少,站间距短的流量增加,即出现了流量“倒灌”现象,这也就是两条并行管道站场合建联合运行时,两条管道的输量是不完全相同的,站间距相差越多,这种“倒灌”现象越明显,但对管道的运行没有影响。

3. 压缩机组进出口汇管通过流程优化保持不变

涩宁兰老线压缩机组采用一用一备的运行方式,在老线压缩机组建设过程中压缩机组进出口汇管的管径选择未考虑复线工程的建设。涩宁兰复线和老线采用同一水力系统,要实现压缩机组两用一备的联合运行方式,汇管的管径无法满足两台压缩机组的流量需求。其中一种方案就是要将汇管的管径增大,而这样设计的结果现场的施工工程量将增加很多,且老线压缩机组停运的时间会要求很长,这是管道运行单位不允许

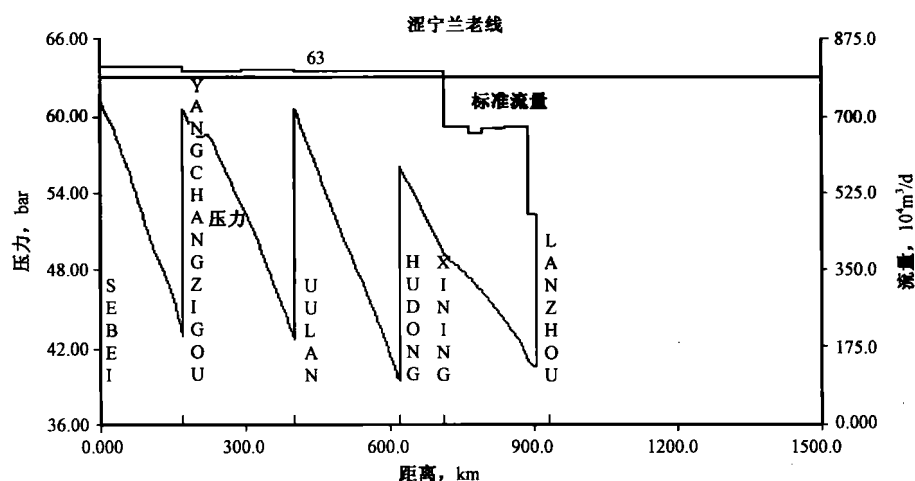


图2 涩宁兰复线和老线联合运行工况下涩宁兰老线沿线压力—流量曲线图

的。压缩机组进出汇管管径的选择主要依据就是汇管内天然气的流速,通过对流程认真进行分析和研究,确定复线再进入汇管的天然气从汇管的反方向进入,天然气流出同样采用反方向流出。通过采用此种设计方案,4座压气站的汇管将不进行更换,有利于现场的施工,也减少了现场已经运行压缩机组的施工停机时间。

4. 辅助工艺系统充分利用老线已建设施

涩宁兰复线在设计过程中,充分利用老线已建辅助系统,减少工程投资。4座压气站的空气压缩系统在原空压机橇座基础上增加一台空气压缩机橇座,并对控制系统进行改造,实现空压机的两用一备运行方式,满足天然气压缩机组的运行需求。通过对压缩机组燃料气橇座各种设备的能力核算,提出通过对燃料气橇座进行少量改造,满足压缩机组运行的需求,解决了工艺场地面积不满足新建燃料气橇座的难题。

值得注意的问题是:由于涩宁兰老线在建设过程中并未考虑到建立复线的预留工作,因此在工艺站场设计及施工中均出现了新建设施与老线已有地下管线或构筑物碰撞的问题。对于设计来讲,无论工程是否考虑建立复线,对综合管网等均应做好整体规划,为后续工程建设做好预留。

输油气站场用钢管的低温使用条件研究

孙立刚

(中国石油天然气管道工程有限公司工艺室)

摘 要 目前,国内输油气管道对站场用钢管的低温使用条件和低温韧性要求的规定还不完善,本文分析了站场用钢管的使用条件的特点,对国内外相关规范中有关的条文进行对比,提出了相关建议。

一、引 言

当承受的负荷缓慢增加时,金属材料的性质是稳定的;当加载速度较快时,塑性变形速度跟不上应力的增加速度,在金属强度指标(屈服强度和抗拉强度)上升的同时,塑性指标(延伸率和界面收缩率)反而下降,材料的脆性增加,特别是在低温条件下,材料的断裂危险性更大。为确保油气管道安全运行,不仅要求管道有一定的强度,还应有足够的韧性。

对钢管(包括焊缝)的韧性要求包括两部分:首先,不发生脆性断裂;其次,一旦发生断裂(可能是脆性断裂,也可能是延性断裂),应能在1~2根管长内止裂,即钢管应有一定的止裂韧性。

为避免管材发生脆性断裂,就要保证管材的“韧脆转变温度”不高于管道的设计运行温度,材料的韧脆转变温度可以通过测定系列温度夏比冲击功(CVN)和落锤撕裂试验(DWTT)的剪切面积百分比获得。为保证管材的止裂韧性,需要控制指定温度下的管材夏比冲击功不低于限定值。

在国内已建成的西气东输一线等管道的设计和建设中,对埋地线路管道的止裂韧性指标给予了充分的重视,参考国外的 Battelle 经验公式和 Brian N Leis 修正公式,提出了较为严格的 DWTT 和 CVN 指标,用于保证钢管的止裂韧性。

输油气管道工程站场(含阀室)用钢管与站外线路管道使用条件差异较大,但国内标准和规范对站场用钢管的韧性指标,尤其是低温条件下的韧性指标及使用条件的规定还比较粗略,与国外规范对比尚有差距,需要引起关注。

二、站场用钢管与线路钢管使用条件的区别

(1)线路管道基本采用埋地敷设方式,埋深均在冻土层以下,埋深处地温均高于 0°C ,在最寒冷的中国东北和西北地区,通常管道埋深处的地温也不低于 4°C 。

输油气管道工程站场用钢管主要采用地上敷设,直接与大气环境接触,东北和西北很多地区的极端最低气温可达到 -30°C 以下,最冷月平均气温低于 -20°C 。

在正常输送情况下,站场管道内有介质流动,会不断补充管壁散失的热量,维持钢管的温度不至于过低,通常温度不会低于 0°C ;在冬季,如果管道停输(由于事故或检修需要),管道内介质停止流动,处于寒冷地区的站场地面管道温度会在一定时间内降低至大气环境温度。对于原油或成品油管道,由于介质热容较大,管道温度降低较慢,而天然气管道,其介质热容较小,管道温度会很快降低至大气温度。

(2)线路管道采用埋地敷设,埋深不低于0.8m,受到外部载荷冲击的几率较少。

管道站场内设备繁多、流程复杂,操作也比较频繁,地面管道受到内部或外部载荷冲击的机会比埋地线路管道高。

站场管道的应力情况也比较复杂,不仅要承受内部介质产生的压应力、安装应力和热应力,还要承受安全阀和泄放阀排放产生的冲击和压缩机组产生的震动。

(3) 线路钢管的连续长度很大,在级别最高的四类地区,线路钢管长度也有 8km 的连续长度。20 世纪 60 年代,美国一条输气管道发生事故后的裂纹扩展长达 13km。

输油气站场内部设备较多,钢管的连续长度很短,管道即使发生断裂,裂纹的扩展也很难超过 100m。

(4) 对于一个工程而言,线路管道的规格较少,而站内管道的规格较多。通常一个站场的钢管几十种口径,不同口径的钢管通常采用不同的材质、壁厚和制管形式。由于每种规格的钢管使用量均较小,如果要求每种规格的钢管均进行设计温度条件下的低温韧性试验,代价很高,也会对供货时间产生较大的影响。

三、国内外有关标准、规范对钢管低温韧性和使用条件的要求

1. GB/T 9711

我国目前采用的管线管国家标准 GB/T 9711《石油天然气工业—输送钢管交货技术条件》是等效采用 ISO 3183 制定的,包括三部分:A 级钢管、B 级钢管和 C 级钢管。A 级钢管与 API Spec 5L(PSL1)相当,它是规定了满足石油行业基本质量要求的钢管;B 级钢管与 API SPEC 5L(PSL2)相当,它规定了除基本质量要求之外的附加要求(如屈强比、韧性、无损检测等);C 级钢管则为特殊要求的钢管,如酸性条件、海洋条件和低温条件等对钢管质量和试验有严格要求的钢管。

为方便比较,将不同等级钢管标准中有关韧性的控制指标列表说明,详见表 1。

表 1 不同等级钢管标准韧性控制指标

韧性指标	GB/T 9711.1 A 级管	GB/T 9711.2 B 级管	GB/T 9711.3 C 级管
试验温度	0℃	0℃	脆性断裂试验温度为:用户指定的设计温度为(10 ~ 30)℃;延性断裂试验温度为:-10℃或更低的协议温度
脆性断裂夏比冲击功控制指标	无	无	有(按材质列表说明)
延性断裂夏比冲击功控制指标	无	有	有(按管径和材质列表说明)
DWTT(最小剪切面积百分率)	无	有	有(按管径和材质列表说明)

2. GB 50251, GB 50253 和 GB 150

GB 50251《输气管道设计规范》和 GB 50253《输油管道设计规范》是国内分别指导输气和输油长输管道设计的强制性标准。上述两个标准有关材料的韧性说明较少,仅规定在设计温度低于 -20℃ 时,应对金属材料的低温韧性提出要求。

GB 150《钢制压力容器》中的 4.1.7 规定:钢材的使用温度低于或等于 -20℃ 时,应按附录 C 的规定进行夏比(V 型缺口)低温冲击试验。虽然没有说明,但可以看出 GB 50251 和 GB 50253 中 -20℃ 的使用温度下限是参照 GB 150 划定的。

3. GB 50316

GB 50316《工业金属管道设计规范》是用于指导工业生产装置和辅助设施管道设计的规范,该规范适用范围较宽,石油、化工装置、石油储备库、加油加气站、自备电站设计均可采用该规范。原则上,长输油气管道站场设计也可使用该规范。

该规范对材料的低温韧性和低温使用条件有较为详细的规定,主要包括:

(1) 按材质、制管形式、热处理状态、壁厚范围,列表说明了常用钢管(不包括 API 5L 钢管)的最低使用温度下限。

(2)即使管道设计温度高于最低使用温度下限,但低于或等于 -20°C ,碳素钢、低合金钢、中合金钢和高合金铁素体钢也应进行低温冲击试验。

4. ASME B31.4 和 ASME B31.8

ASME B31.4 Pipeline transportation systems for liquid hydrocarbons and other liquids 和 ASME B31.8 Gas transmission and distribution piping systems 是美国工程师协会编制的美国国家强制标准,分别用于规范石油液体和气体长输管道的设计、建造、检验、试验、操作和维修。

ASME B31.4 规定了 $-29^{\circ}\text{C} \sim 121^{\circ}\text{C}$ 间钢管的许用应力,并要求工程师注意在异常低温、异常低地温或短暂低温操作条件下材料的低温性能。

ASME B31.8 明确指出该规范不适用于金属温度低于 -29°C 的管道。规定对于口径大于或等于 $DN400\text{mm}$ 、环向应力高于 40% SMYS(规定最低屈服强度)和口径小于 $DN400\text{mm}$ 、环向应力高于 72% 的钢管应规定其断裂韧性指标或适用止裂器(套筒、钢丝绳、厚壁管等)控制裂纹扩展。

针对脆性断裂控制,ASME B31.8 提出:如果操作温度低于 0°C ,应采用相应较低的试验温度进行断裂韧性试验(夏比冲击功试验或落锤撕裂试验),试验温度应考虑到管道所在地历年记录的较低的大气温度和土壤温度。

针对延性断裂控制,ASME B31.8 规定以下四种公式之一计算最低夏比冲击功能量值: Battelle 实验室公式、AISI 公式、BGC 公式和 BSC 公式。

5. ASME B31.3

ASME B31.3 Process piping 是美国工程师协会编制的美国国家强制标准,用于规范炼油、化工、制药等工厂内输送化工原料、石油产品、气体、制冷剂、低温流体管道的设计、建造、检验、试验和操作。

笔者认为,本文所列各标准规范中,ASME B31.3 对管道低温使用条件规定的最为详细、严谨,更为可靠,但该规范中使用的力学、材料学术语、缩写和注释较多,各条文之间的穿插引用繁琐,也没有说明各条文的制定依据和背景,因此很多工程师在该规范的理解和使用上往往存在障碍。以下着重介绍和解释 ASME B31.3 对钢管低温使用条件的规定。

ASME B31.3 在其附录的表 A-1 中开列了包括 API 5L 在内的常用金属管、板材和锻件的许用应力和最低使用温度。该表规定了各等级的 API 5L 钢管从最低使用温度至 204°C 的许用应力。

需要注意的是,ASME B31.3 表 A-1 中金属材料的屈服强度除以许用应力得到的安全系数(也称设计系数)不是 ASME 31.8 或 GB 50251 中规定的恒定值,而是随着金属强度的提高而降低的值。按 ASME B31.3 表 A-1, API 5L B, X42, X52, X60, X70, X80 级的安全系数分别是 $0.57, 0.47, 0.42, 0.42, 0.39, 0.38$,即钢管强度越高,其安全余量越高。这主要是考虑高强度钢的屈服比较高,塑性变形和断裂之间的余量较小,因此越是高强度钢管越需要采用更高的安全系数。可以看出,在高强度钢的使用要求上,ASME B31.3 比 B31.8 更为保守。

虽然材料的强度会随着温度的降低而提高,但规范不允许设计者利用这个特点,因此在 ASME B31.3 中的表 A-1 中,材料的许用应力从最低温度到 38°C 是相等的。

ASME B31.3 规定,对于表 A-1 中某些有注释的材料,如果其最低设计温度—厚度的交点在图 1 (ASME B31.3 中的图 323.2A)中对应曲线的下方则需要做低温冲击试验,反之则可以免除冲击试验。这是本文中其他规范所没有规定的内容。

经过正火或淬火加回火处理的 API 5L 钢管适用图 1 曲线 B。按照曲线 B,可以看到两个有趣的极端工况:当公称壁厚低于 13mm ,只要 API 5L 钢管的设计最低温度不低于 -29°C ,即可免除低温冲击试验;而当公称壁厚达到 75mm ,API 5L 钢管在设计最低温度到达 25°C 时,也需要做低温冲击试验。需要注意的是,仅通过形变热处理的钢板制成的 API 5L 钢管不适用于图 1。

那么,API 5L 钢管的设计最低温度如果低于图 1 中的曲线 B,应该如何处理呢? ASME B31.4 和 ASME B31.8 均对此没有规定。ASME B31.3 指出当材料的设计最低温度低于曲线 B 时,母材、焊缝和热影响区均

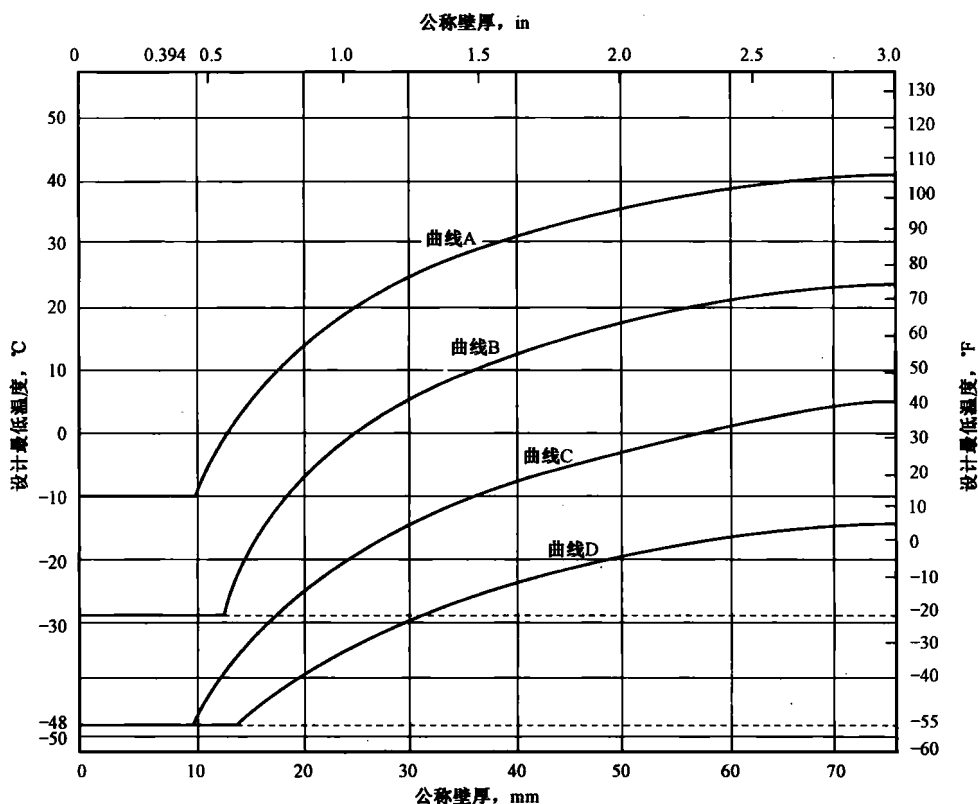


图1 公称壁厚与设计最低温度关系图

应该进行冲击试验,但焊缝和热影响区的试验是作为焊接工艺评定的一部分进行的,不需要对现场管道的焊接重复试验。试验温度与材料的厚度和夏比 V 型口的宽度有关,但均不低于设计最低温度,详见 ASME B31.3 中的表 323.3.4;最低冲击功要求见 ASME B31.3 中的表 323.3.5。

区别于本文中的其他规范,ASME B31.3 还提出了应力系数的概念,应力系数的定义详见 ASME B31.3 中的图 323.2.2B 的注释,简单而言就是当管道组合应力与材料许用应力的比值,当钢管的应力低于许用应力时,免除冲击试验的温度可以进一步降低,应力系数越小,可以降低的温度就越多。在最低设计温度不低于 -104°C 前提下,根据该图,当应力系数降低至 0.3 以下时,可以免除钢管的低温冲击试验。本文中的图 2 即 ASME B31.3 中的图 323.2.2B。

四、分析、总结和建议

(1) 目前,国内规范认为钢管温度在 -20°C 以上无需做冲击试验;以前,ASME 也有类似认识,他们认为一些碳钢材料温度在 -29°C 以上,可以免除冲击试验。但是后来 ASME 认识到,当材料的厚度较大时,会以脆性方式失效,因此新版的 ASME B31.3 在图 323.2.2A 中规定了最低温度和材料厚度的关系。另外 ASME 还提出了应力系数的概念,在较低的应力系数下可以提高低温试验的温度,甚至可以免除低温试验,而国内规范还没有低应力工况的相应规定。

(2) 根据站场用钢管的使用条件,当钢管发生断裂后,和钢管连接的阀门等设备会起到止裂器的作用,阻止裂纹进一步扩展。因此,站场用钢管更应该关注在最低设计温度下的起裂韧性,确保不发生脆性断裂,而不必像线路用管那样更多关注止裂韧性。约束脆性断裂的韧性控制指标比止裂韧性指标要低很多,管材更容易满足要求。建议国内长输管道行业根据站内钢管的使用特点,开展专题研究,提出适合我国管材制造

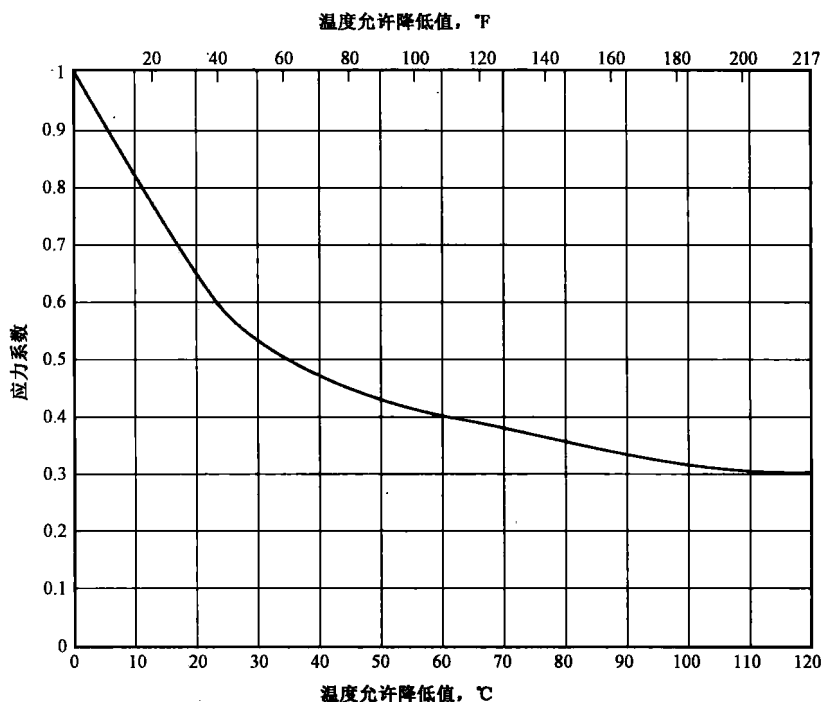


图2 温度允许降低值与应力系数关系图

水平的站场用钢管低温韧性指标。

(3)若采用 GB/T 9711.1 或 9711.2 作为站场用钢管的交货条件,建议不仅以 0℃ 作为是否做冲击功的条件,而是参照 ASME B31.3 的图 323.2.2A 确定是否进行冲击功试验,冲击功温度和冲击功能量值的确定也可参照 ASME B31.3 或 GB/T 9711.3 中的有关规定。

(4)应进一步明确站场用管设计温度的定义。考虑到站场停输后地上钢管温度会降低至大气温度的情况,笔者建议站场用钢管设计最低温度按当地历年月平均最低气温确定,月平均最低气温为当月各天平均最低气温值相加后除以当月天数,该值可以从气象部门获得。

(5)根据国外文献,1.5 倍的水压试验可提供一种称为温态预应力 (Warm Pre-stress) 的好处,该应力可以使钢管中存在的裂纹钝化,使裂纹尖端处于受压缩的状态,起到了提高材料韧性的额外作用。虽然 GB 50251 允许在规定的低应力情况下站场采用空气试压(见 GB 50251 的 10.2.3),但笔者仍强烈建议设计和施工单位不要利用上述豁免条件,而尽量采用 1.5 倍水试压。

(6)考虑到国内工程进度往往较为紧张以及供货价格的限制,钢管供货商通常不会提供低温试验。在这种情况下,笔者建议在管道站场的操作原则中规定,当站场在冬季发生停输后,利用管道中的温度仪表检测介质温度,当检测温度低于规定值后泄放站内全部或部分介质,通过降低应力提高允许的运行温度。当然,上述做法均不是最可靠的办法,最可靠的办法仍是通过控制材料的低温韧性确保安全。

(7)输气管道站内放空管道在放空过程中受 T-J 效应影响,放空时天然气温度迅速降低,如果低于 -20℃,而工厂又无法提供相应低温韧性实验数据,则应采用 A333、A334 等耐低温合金管材,但应注意焊接评定应对其焊缝和热影响区进行低温冲击试验。

参考文献

- [1] 刘鸿文. 材料力学. 北京:高等教育出版社,2004. 1.
- [2] 张景臻,石登举. 工程力学. 北京:冶金工业出版社,1993. 7.
- [3] Charles Becht IV, Process piping: the complete guide to ASME B31.3, Second Edition, ASME Press. ,2004.