

油气管道线路工程设计中的几个问题

顾文才^{1*},王萌萌²,徐鹏²,陈亚宁¹

(1. 中国石油管道局工程有限公司天津分公司,天津 300457;

2. 中国石油天然气管道局,河北 廊坊 065000)

摘要:指出油气管道线路工程在管道设计压力、管道试压、钢管选择、山区选线与敷设、大开挖埋管穿越河流、埋地管道涂敷内涂层6个方面需要注意的问题,并给出解决办法。

关键词:油气管道;线路工程;设计

中图分类号:TE832

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2016)12-0186-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2016.12.048

Several problems in the engineering design of oil and gas pipeline

GU Wen-cai^{1*}, WANG Meng-meng², XU Peng², CHEN Ya-ning¹

(1. China Petroleum Pipeline Bureau Tianjin Institute, Tianjin 300457, China;

2. CNPC China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 065000, China)

Abstract: With the development of pipeline, more stringent requirements for pipeline engineering design are put forward. Six problems needed to pay attention to in oil and gas pipeline design, including design pressure and test pressure of the pipeline, steel pipeline selection, mountain line selection and laying, pipeline crossing-river with large excavation and coating inner layers for buried pipeline, are pointed out. The corresponding solutions are also proposed.

Key words: oil and gas pipeline; pipeline project; design

近几年,我国多家设计院在管道线路工程设计中存在以下几个方面的问题。

1 关于设计压力的问题

管道的设计压力与所输介质有关,输送气体与输送液体的管道,在设计压力的取用上是不同的。

对于输送气体的管道,从压气站输出的气体在动态下也存在沿程摩阻损失,各点的动态压力不会是统一的。但是在事故紧急关断阀门后,由于可压缩气体不可能在瞬间泄压,因此,输气管道在全程站间按同一设计压力设计管道。

对于输送液体的管道,从泵站输出的液体在动态下除沿程摩阻使压力降低外,还要克服地势高差液柱的重压力,故管道上任意一点的压力都是不同的。在事故紧急关断阀门后,由于液体的重量产生的压力在两站间各点的高差不同(假定站间线路截断阀均是全开的),而静压力也就不同。因此,输送液体的管道各点的设计压力不同,可分段选用设计压力采用不同壁厚的管子;且各点设计压力是取动态压力与静态压力中最大值。

由上述可知,输气管道进行施工试压时,采用站

间同一个设计压力按规范要求进行强度试压与严密性试压。输油(液体)管道进行施工试压时,应按分段选用的设计压力进行强度试压与严密性试压。

2 关于管道试压问题

试压涉及到试压目的、试压介质、试压环境等。

试压目的目前国际上有2种理念:一种是为了保证管道在正常操作压力下安全平稳运行,不发生爆管事故,强度试压时,管材环向应力不超过90% σ_s ;另一种是为了检验管材强度,采用超过管材规定屈服强度 σ_s 的试验压力,以期将不合格管子,在试压时淘汰掉,确保安全服役运行。前者符合美国、我国及国际标准,后者是加拿大等少数国家的标准要求。从断裂力学角度考虑,虽然高压试压可以清除有较大缺陷的管材,但也有可能使原存在于钢管中的微裂纹扩展到临界状态,并未使钢管断裂,会使管道运行时发生断裂事故。如图1所示,钢管原始状态下存在微裂纹半尺寸为 a_0 ,如果管道运行操作压力产生的环向应力是 σ_0 ,则钢管是在稳定区内服役,不会因运行压力发生管材断裂事故。如果试压时采用高压使管材环向应力达到 σ_1 ,则管材原微裂

纹半尺寸 a_0 就处于临界裂纹扩展,但试压时间较短,当裂纹由 a_0 扩展到 a_1 时,此时管材尚未断裂就泄压了,使管材裂纹变成 a_1 ,当管道在运行压力产生的环向应力达到 σ_0 时,则钢管裂纹 a_1 正处于临界扩展状态,运行时间较长后,会使裂纹扩展到失稳而断裂。如果降低运行压力,使环向应力小于 σ_0 ,管材也不会断裂,但输量不满足设计要求。因此,从安全角度考虑,过高的试验应力不一定能将所有存在裂纹缺陷的管子淘汰掉,有时可能造成安全隐患。因此我国标准与美国标准及 ISO13623 均只采用了强度试验压力为 1.25 倍设计压力(输气管道按地区等级选用),将此倍数乘以设计系数,就会得出强度试压时,钢管环向应力 $\leq 0.9\sigma_s$ 。

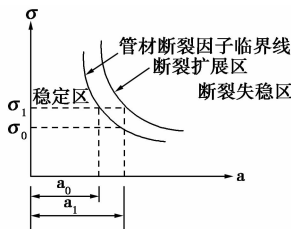


图1 管材应力断裂曲线

试压介质常采用水或空气,由于空气在试验压力下是可压缩得,一旦发生爆管,事故后果严重,故往往推荐采用无腐蚀性水作为试压介质较为安全。对一、二级地区的输气管道,美国 ASME 标准 B31.8 规定可用空气试压,如一级地区管道最大操作压力产生的环向应力 $\leq 0.72\sigma_s$ 时,强度试验压力为最大操作压力的 1.25 倍。但在三、四级地区采用空气试

压只在下列条件下可行:①管子埋深处温度为 0°C 或更低,或者完成试压前降至 0°C ;②符合试压要求的水质与水量不满足试压条件;③对于三级地区试压时的最高环向应力小于 $0.5\sigma_s$,四级地区试压时的最高环向应力小于 $0.4\sigma_s$;④管道的最大操作压力不得超过现场最大试验压力的 80%;⑤所试压的是新管,且管材焊缝系数为 1.0。由此可见,我国目前设计的输气管道,为安全起见,多采用水介质试压。

试压环境除了上述埋地温度环境与供水环境外,尚应考虑试压时周边安全环境、管道所在地因新的发展规划造成地区等级改变。对试压时的安全环境,一般采用一定范围的封闭管理,试压操作人员设置安全操作坑。对于输气管道地区等级的改变,设计人员应重新核算已埋管道是否满足新地区等级的要求。若满足要求,可提出新的试压要求供施工方做新的试压方案;若不满足要求,可考虑在降低最大操作压力条件下的输量有无变更,以满足标准要求,或者是换管试压。另外,山区采用无腐蚀性水试压,由于高差过大使得静水压力在高点与低点相差很大,要同时满足输气管道的高、低点强度试压要求,会使管道分段过多过短,既影响管道施工进度,也使管道对死口过多,不利安全。为此,建议低点的强度试压不超过 95% 的屈服极限,高点按标准规定的强度试验压力,以此高、低点的试验压力差来划分试压管段。西气东输管道工程的山区试压按上述方法试压,并顺利实施,经过 10 余年的运行,证明可行、安全。

(上接第 185 页)

- [2] 安谧,曹青,马晨菲,等.全二维气相色谱在重馏分油分析中的应用[J].现代化工,2015,35(2):172-175.
- [3] 林海,关剑锋,毛容妹,等.全二维气相色谱法测定柴油和生物柴油混合燃料中 7 种脂肪酸甲酯含量[J].现代化工,2016,36(2):188-189.
- [4] Nasreddine Rouba, Person Vicent, Serra Christophe A. Sensors and actuators[J]. B-Chemical, 2016, 224:159-169
- [5] 陈慧,戴晖.空气中苯系物的 GC-MS/SIM 定量分析方法研究[J].理化检测-化学分册,2003,39:212-218.
- [6] 路鹏,吴世新,戴志锋,等.基于电子鼻和 GIS 的大型生活垃圾堆肥厂恶臭污染源测定[J].农业工程学报,2014,30(9):235-232.
- [7] 杜耀,方圆,沈东升,等.填埋场中硫化氢恶臭污染防治技术研究进展[J].农业工程学报,2015,31(1)269-275.

- [8] 李臆,杜晓松,高超,等.具有快速分离效果多道微型气相色谱柱[J].分析实验室,2014,33:493-496.
- [9] 李俊成,张思祥,王晓辰,等.基于微型气相色谱柱技术的快速检测系统[J].分析实验室,2016(6):726-730.
- [10] 孙建海,崔大付,蔡浩原,等.基于微机电系统技术高性能气相色谱柱的制备[J].分析化学,2010,(2):293-295.
- [11] 傅若农.色谱分析理论[M].北京:化学工业出版社,2000:117.
- [12] Yan X H, Yang J, Wang Q W, et al. Theoretical tools for predicting optimal cross-sectional shapes in micro-gas chromatography[J]. Journal of Separation Science, 2013, 36:1537-1544.
- [13] Reza Ghodssi, Pinyen Lin, 黄庆安. MEMS 材料与工艺手册[M].湖南:东南大学出版社,2014:691.
- [14] 刘国詮,余兆楼.色谱柱技术[M].北京:化学工业出版社,2006:15.
- [15] 傅若农.色谱分析理论[M].北京:化学工业出版社,2000:117. ■

3 钢管选用问题

钢管的选用涉及到5方面的问题:承载的力学性能、对输送介质的适应性、对施工组装与管件加工制造的影响、市场供给条件和经济性。目前的设计选用多偏重于经济性,忽略其他方面的考虑,会影响运行时的安全。

钢管的承载性能包含的内容有强度、刚度、稳定性、韧性、疲劳、耐蚀性、变形能力等。管道在服役期间,要承受内外各种荷载的作用,因此规范均规定了相应的强度与稳定性核算。为了防止钢管在运输、储存、防腐加工过程中钢管圆截面失稳,规范规定了钢管的最小壁厚或最小径厚比值要求,这就是刚度要求。钢材一般为弹塑性材料,但在一定低温条件下会转变为脆性材料,使钢管发生脆性断裂,因此钢管标准要求在设计温度条件下(此温度可能比最低使用环境温度还低),钢管应满足落锤试验断裂塑性面积所占比例与试件冲击功值的要求;另一方面,输气管道为防止管道开裂形成长距离塑性扩展,同时提出钢管在设计低温下的塑性止裂能力要求,这种止裂能力要求与管道使用应力和管径相关,这就是所说的钢管韧性。当然,输送液体管道由于事故泄压很快,无需提出塑性止裂要求,采用PSL1钢管即可。由于管道在输送压力不恒定时,压力荷载有周期变化;在自然环境中的管道,由于地震、风激振动、水激振动等也使钢管承受周围荷载变化;由于这些周期变化的长期作用,有可能使钢管发生疲劳破坏,目前尚无相关标准要求,但已注意到这种情况,尽可能采用低碳钢提高抗疲劳能力。由于管道在自然环境与所输介质作用下,可能发生腐蚀、磨蚀、气蚀、冲蚀等情况,这就要求钢管有一定的抗蚀能力。如油气输送管道,除采用防腐涂层外,对管道有时也提出抗HIC、SSC、SCC或抗H₂S的试验要求;浆体输送管道可对钢管提出硬度要求,以期达到抗磨蚀。埋设于自然环境中的管道,由于地震、地陷、山前区地面蠕变或小滑坡、大开挖埋设于水中管道露管等等原因,会使管道发生位移变形,为适应管道变形,规范提出钢管应变控制要求,如抗震设计规范,就是按应变核算钢管抗地震变形,确定是否采取其他抗震措施。当然,目前有些问题还待进一步研究,如灾害地质(滑坡、沉陷等)发生时,管道变形量的确定,钢管允许应变量如何确定等。

管道在输送不同介质时,对钢管性能要求是不一样的,选择钢管应满足不同介质不同要求。如输

气管道要求韧性高、硬度低,而输浆体管道要求抗磨腐蚀高、硬度高、韧性一般。因此前者要选用低碳微合金钢管,后者要求选用耐磨硬度高的碳钢管。

钢管在现场组装焊接时,要防止低温条件下出现冷裂纹,要有好的可焊性;用钢管制作管件时,要考虑冷或热加工对钢管金相组织与力学性能的影响。如采用X80级及以上等级的钢材制管,管体有可能出现晶粒粗化,韧性降低;也有可能出现屈服强度升高,屈强比增大,延性降低;甚至在钢管涂敷防腐层的热温度时也可能出现上述现象。在新的强度等级管材尚未完全把握可能出现的问题时,一味追求采用高强钢管宜慎重。

选用经济性好的钢管当然是正确的,但不宜盲目,除考虑市场供给能力外,还应综合考虑现行设计、施工标准是否适用于所选等级的钢管,以达到安全使用的目的。一般来讲,从经济性角度对比不同钢级管材,往往由于高强钢管选用壁厚较薄,用量省,经济性好。但是对于X80及以上等级的钢管,目前世界上使用尚在开始阶段,存在以下几个问题:①壁厚对管材韧性的影响,现世界已建2000多公里X80级管道,壁厚尚未超过23mm,根据中科院王仪康研究员的试验,由于板材轧制工艺影响,在大于23mm厚的板材中,晶粒粗化,韧性下降。②加工对性能的影响,板材在制管过程中,不同于X70级以下板材出现 σ_s 降低的包辛格效应,而是 σ_s 增大,屈强比增高,延性降低,会影响管材对管道变形的适应能力。③热影响,管材在煨制管件,甚至在涂敷防腐层时,由于热影响金相组织,造成晶粒粗化,降低材料性能。④现有标准是否适用于高强管材尚需验证,因为现有设计、施工、制造等相关标准,均是在大量使用、试验、总结X70级以下管材的基础上制订的,特别是有关施工质量检验要求、止裂韧性计算等用于高强管材,在高应力运行状态下是否能合理保障管道安全,值得进一步研究总结。⑤应力腐蚀问题,采用高强管材建设的管道长期在高应力状态下运行,而钢管壁厚又比采用低强管材薄,耐应力腐蚀的性能如何,还需要深入研究。综上所述,应用高强管材宜慎重,并应加强对有关问题的研究、试用、总结,制订出科学合理的相关标准,以利推广和发展高强管材的应用。

4 山区选线与敷设问题

山区选线首先要考虑的是生态环境与地质灾害,如果走爬山取直翻越,可能对植被、林木破坏严

重,且对输送液体的管道可能增加翻越点造成泵站增加,不利节能;如果走坡脚绕行,可能线路增长,难于避开滑坡或崩塌,甚至由于施工开挖造成新的山坡失稳。如何权衡利弊,选择安全可靠合理的路由,建议考虑几种现场情况:如果山坡不陡,山体不造成增站翻越的高度,以翻山取直为好,采用沟下组焊方式减少植被破坏;如果山坡稳定,也不会因施工开挖造成边坡失稳或山崖崩塌,可以考虑绕山走线,减少对山体植被破坏。但是,现场很少有上述2种单纯的情况,这时不妨考虑选用穿山方式通过,可用隧道,也可用定向钻敷管,视地质条件确定。值得注意的是,当采用隧道穿山时,一定要弄清山体水文地质条件,既要防止切断地下水给地表的补给,又要注意承压水给隧道施工与运行管理带来的危害。同时要注意隧道进出洞口山坡的维稳措施,防止设计山洪对洞口的浸没。在满足上述条件时,为减少山槽开挖,维系山体稳定,隧道设计尽可能早进洞、晚出洞。隧道穿山对保护管道安全是一种好的方式,但可能增加工程投资,设计应多与业主单位沟通,选用过山的合适方案。

5 关于大开挖埋管穿越河流的问题

在《油气输送管道穿越工程设计规范》(GB 50423—2013)中,对于管道的埋深作为强制性条款是必须执行的。规范给出的埋深是最基本的要求,设计人员应结合所穿地点河段的河型、河势、所处上中下游分别对待埋深。如果穿越河段深泓线左右来回摆动,是游荡型河流,管道除满足规范要求的埋深外,还必须将管道在全部摆动范围内埋入统一的高程,不得随河床起伏而埋设不同深度。如果穿越河段的河势是弯曲段内,在河岸易受冲刷不稳的情况下,会出现凹岸冲刷、凸岸淤积的河势演变,若无河工治理,管道应该在凹岸加大埋深,并且延长穿越范围。河流上游的特点是冲深下切无回淤,在此段埋设管道的深度应比规范要求的深度加大;河流中游的特点是出山后旁切与冲深同时存在,且对于地质条件较差的边坡,又无人工堤防的河段,旁切会是很

严重的,如果此段河流水面比降较小,冲刷不会很严重,可按规范要求的埋深执行,但应增大穿越长度;河流下游的特点是水面比降小,河水携带悬浮质泥沙多,洪水期河床冲刷,洪水过后河床会回淤,故管道的埋深与穿越长度可按规范要求执行。

大开挖穿越河流的另一个问题是,很多设计单位的设计人员在没有分析水下管段稳定性的情况下,一律增加压重块。这不仅增加工程投资,有可能会影响河道治理。建议设计者严格按规范要求,核算水下管段的稳定性后,再确定是否加压重块。

大开挖还有一个问题是护坡基础在水下的埋设形式。除了基底埋深应满足设计洪水冲刷线以下的安全深度外,基础挖槽回砌应满槽砌筑,不应留下一块小三角回填土,它不耐水流淘刷,容易使基底掏空。为减少基础工程量,设计人员可将挖槽边坡放陡,如果挖深过大,可采用挡板形式减少挖槽坡工程量。

6 关于埋地管道涂敷内涂层的问题

国内外管道涂敷内涂层有2种情况,一种是油气田集输管道与污水管道,由于对钢材腐蚀严重,采用内涂层防腐;对于输送天然气的干线管道涂敷内涂层,主要是为了降低摩阻损失,提高输量。根据我国最近设计的西气东输一线、二线、三线管道,采用内涂层后,钢管内壁粗糙度按0.01 mm计算摩阻损失,可较无内涂层钢管提高输量15%,或可省3座压气站,可见采用内涂层对于干线输送管道是有经济效益的。但是,内涂层降低摩阻损失在管道满负荷输送时作用显著;如果输量不是满负荷,只有70%~80%,甚至更低输量时,内涂层作用不大。每条管道,从投产到满负荷运行都是不一样的,像西气东输一线投产很快达到满负荷输送,有的管道较长时间都在低负荷状态下运行,如忠武管道。当管道在长期输气过程中,由于气流有一定的磨蚀作用,钢管的粗糙度会逐渐降低,输量也可获得提高的效果,是否需要设内涂层应视管道投产运行过程分析确定,不宜都做内涂层,造成投资增加。■

《现代化工》欢迎广大作者踊跃投稿,投稿系统:<http://www.chemmedia.com.cn/>

GOTOWEB/comtribute.html.