

油气长输管道在大落差山区中水压和气压试验的优劣分析

李俊

(重庆燃气集团股份有限公司, 重庆 400020)

摘要:在油气长输管道建设中,管道试压属于重要工序,能够有效验证油气长输管道建设质量。基于此,本文简单分析油气长输管道在大落差山区中水压和气压试验的优劣,并深入探讨大落差山区中油气长输管道水压试验的具体应用要点,以供参考。

关键词:油气长输管道;大落差山区;水压试验;气压试验

中图分类号:TE973

文献标识码:A

文章编号:1004-7344(2022)16-0100-03

0 引言

大落差山区油气长输管道存在较大起伏,这使得管道的试压难度较高,气压试验与水压试验的选择近年来开始引起重视。为保证大落差山区油气长输管道试验能够安全、顺利完成,正是本文围绕该课题开展具体研究的原因所在。

1 水压和气压试验优劣分析

油气管道试压可选择空气或洁净水作为介质,惰性气体、天然气等也可以用于试压,必要时还可以选择防冻液。在油气管道的早期试压中,最常用的试压介质为空气,但受到20世纪70年代前多次出现的油气管道空气试验事故影响,近年来油气管道试压更多选择水压试验方式,油气管道气压试验很容易引发爆炸、撕裂等事故,这是由于管道缺陷处会因气压试验出现破裂或泄露,在管道开裂扩展速度大于气体试压介质减压速度的情况下,止裂要求可能无法由管道止裂韧性满足,严重的次生灾害及大段管道破裂会因此出现,这使得油气管道的气压试验需要较为谨慎进行。对于本文研究的大落差山区油气长输管道试压来说,由于长期以来我国主要在中低压输气管道开展气压试验,大落差山区油气长输管道气压试验的经验较为缺乏,具体在试压工艺和设备、管材韧性分析、气压试验规范方面存在一定不足,这种情况下油气管道气压试验本身具备的高效、环境保护、不受温度和积极影响等等优势无法充分发挥,大落差山区油气长输管道试压安全也可能受到威胁^[1]。

对于具备不可压缩性特点的水来说,相较于管道开裂扩展速度,作为试压介质的水减压速度更大,因此油气管道水压试验的安全性更高,不会引发严重次生

灾害和大段破坏,这使得水压试验近年来在我国油气管道试验中大量应用,属于大落差山区油气长输管道试压的主要方式。在水压试验过程中,需要准确提高管道整体试压强度,直至110%管道屈服强度,这种试验能够实现对油气管道缺陷的充分暴露,管道运行压力提升及安全运行可由此顺利实现。结合现行《输气管道工程设计规范》(GB 50251—2015)可以了解到,一、二类地区可选择水或气体用于油气管道试压,三、四类地区油气管道试压介质需要选择水。如对新管道进行试压且存在1.0的焊缝系数,三、四类地区可开展空气试压。结合相关理论研究和实践探索可以发现,应选择水作为试验介质用于三、四类地区油气管道试压,如开展空气试压,则需要采用一定措施保证试验安全。总的来说,油气长输管道在大落差山区中的试压需要首先选择水作为试压介质,如不具备使用水作为试压介质的条件,则需要在管道焊接和环向应力满足要求的前提下进行空气试压,这说明水压试验更适合用于油气长输管道在大落差山区试验,气压试验仅为特殊条件下的备选方案^[2]。

2 实例分析

2.1 工程概况

为提升研究的实践价值,本文以西气东输某标段为例,管道全长77.5km,线路存在较大起伏,最大存在621m高差,沿线地区缺乏水资源。案例标段采用X70材质的管段,管段中一类地区的管道规格分为两种,包括D1016×14.6mm、D1016×17.5mm,同时存在10MPa的设计工作压力。管段中二类地区的管道规格分为两种,包括D1016×17.5mm、D1016×21.0mm。结合现行规范,一类地区、二类地区需要按照1.1倍、1.25倍设计压力

作为最低试验压力，同时工程基于设计划分地区等级开展试压，同时充分考虑安全因素。结合国内外优秀经验，为降低现场施工难度，具体以满足规范规定的最高点压力作为试验压力，段落划分总原则为不超过 0.95 倍钢管最低屈服强度的低点管道环向应力，因此需要基于式(1)计算管道允许的最大试验压力。

$$P_{\max} = 2\sigma_{\text{环}} t/D \leq 1.9\sigma_s t/D \quad (1)$$

结合计算，可求得管道最高、最低试验压力，具体如下如表 1 所示。

对于厚度为 14.6mm 的钢管，一类地区管道分段所允许最大高差为 216m。厚度为 21.0mm 钢管，二类地区

表 1 管道试验压力

地区等级	钢管壁厚/mm	最高试验压力/MPa	最低试验压力/MPa
1	14.6	13.16	11.0
2	17.5	15.77	12.5
2	21.0	18.93	12.5

管道分段所允许最大高差为 643m。厚度为 17.5mm 的钢管，一类地区、二类地区管道分段所允许最大高差分别为 477m、327m。结合计算结果及施工场地和现场水源实际情况，案例工程的水压试验基于 5 个段落开展，具体情况如表 2 所示。

表 2 试压段落情况

编号	试压段长度/m	低点高程/m	高点高程/m	高差/m	低点壁厚/m	高点壁厚/m	最高点压 强/MPa	最低点压 强/MPa	起点压 强/MPa	终点压 强/MPa
1	21.355	730.95	1089.12	358.17	17.5	14.6	11.54	15.12	15.08	11.64
2	10.058	1078.39	1355.19	276.79	17.5	14.6	11.42	14.18	14.18	12.75
3	26.590	911.30	1220.94	309.64	17.5	14.6	11.16	14.17	11.16	12.61
4	7.443	966.30	1182.62	216.32	17.5	17.5	12.50	14.66	13.60	14.66
5	12.066	806.30	992.22	185.92	17.5	17.5	12.50	14.36	12.76	14.01

2.2 上水方案编制

在大落差山区开展长输管道水压试验时，缺乏管道沿途试压水源的情况很容易出现，为保证试验顺利开展，管道一般需要从距离较远处连续上水，但在起伏频繁、落差大的大落差山区管道特点影响下，较高的大排量高扬程注水泵功率和价格、山区相对欠缺的电力

供应均会影响水压试验顺利开展，因此必须聚焦上水方案的科学编制。在案例管段，由于当地严重缺水，试压用水来源水库与管道起点距离为 5km，基于工程要求，案例标段需要通过上一标段进行试压用水的整体上水，因此可以视作管道起点处为水源，图 1 为案例标段管道分布情况。

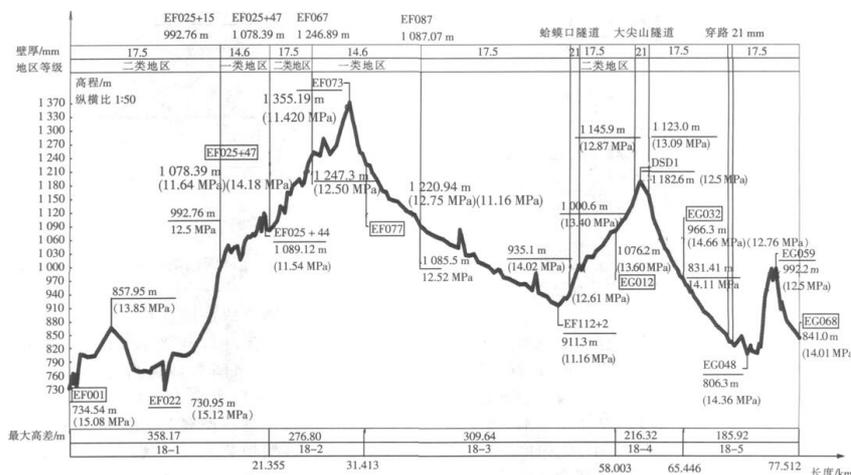


图 1 案例标段管道分布情况

结合图 1 进行分析可以发现，如第二试压段内高点能够由上水水头顺利翻越，水压试验过程中的上水工作即可顺利完成，由此开展的上水方案编制需要结合现场用电可行性与上水设备费用。具体需要在表 2 中的编号 1 试压段起点进行一级提水装置设置，具体设置多级离心泵 4 台，流量、扬程分别为 46m³/h、500m；编号 2 试压段起点进行二级提水装置设置，具体设置多级离心泵 4 台，流量、扬程分别为 46m³/h、400m，地势

高差可由此克服，编号 2、3、4、5 试压段间通过连通管进行直接连接，连续上水可由此实现。结合具体的水压试验可以确定，上述方案顺利完成上水任务，在密闭连续上水下，缺水问题有效解决。

2.3 压力试验

完成上水后，考虑到环境温度与注入水温度间存在一定差值，为保证试压高精度完成，需要等待一定时间作为稳定期，最短为 24h。在升、稳压环节，需要实时

监控整个试压系统,通过分析各种情况,保证处理及时性和针对性,具体监控可围绕以下几方面进行:

(1)数据采集。案例标段水压试验采集数据过程使用的设备包括压力图表记录仪、涡轮流量计、弹簧管型压力表、压力天平、温度记录仪,这类设备的科学应用极为关键。

(2)“压力-比体积”图绘制。水压试验过程还需要做好对“压力-比体积”图的绘制,这一过程需聚焦注水量增加下压力的变化情况,具体变化如式(2)所示。

$$\Delta V = V \Delta P [(D/Et)(1-\omega^2) + 1/K] \quad (2)$$

式(2)中的 ΔV 、 ΔP 、 ω 分别为升压过程中注入管道的水、压力增加量、泊松系数, K 、 t 、 E 、 D 、 V 分别为水的弹性模量、管道壁厚、管材阳氏弹性系数、管道外径、试压系统容积。基于上式,横坐标、纵坐标分别为 ΔV 、 ΔP ,可得到注水升压环节试压管道系统的“压力-比体积”图,图2为编号5试压段“压力-比体积”^[9]。

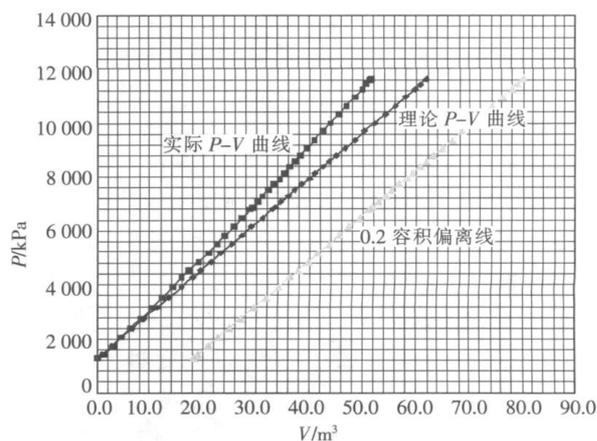


图2 西气东输编号5试压段“压力-比体积”

(3)分析温度。基于现行规范要求,在开展油气管道强度实验4h后,严密性实验需要按照24h开展,具体以试压允许的压力降作为严密性和强度试验标准依据。在严密性实验过程中,需要保证存在不大于0.1MPa的压力降,同时该值需要控制在1%试验压力内。考虑到埋地管道存在较小温度变化,上述要求能够较好满足,但在穿越河流、公路时,长输管道的单独试压极为关键,在大气中暴露的管道存在较大温度变化,管道泄漏与温度变化引发的试压压力变化存在较高分辨难度,因此需要针对性分析压力和温度带来的影响,具体分析基于式(3)进行。

$$\Delta P = (\beta - 2\alpha) / [(D/Et)(1-\omega^2) + 1/K] \quad (3)$$

式中: ΔP ——压力变化; K ——水的弹性模量; t ——管道壁厚; E ——管材阳氏弹性系数; D ——管道外径; α ——钢材线形热膨胀系数; ω ——泊松比。以案例管段的X70管道为例,规格为D1016×17.5mm,在25℃的试

压温度下降至22℃时,通过式(3)进行计算可确定存在991.2kPa的压力下降,该值远超出规范要求。为保证水压试验顺利开展,必须精确测量试压介质具体温度,进而对压力变化原因开展深入研究。

2.4 泄压排水

完成水压试验后,排水作业极为关键,这一环节需要设置压风机于排水口的另一端,以此推动排水球完成排水,这一过程需考虑起伏频繁、落差较大山区特点,保证排水方案科学性与实用性,保证排水施工顺利完成,具体泄压排水要点为:①排水背压控制。排水背压需要在泄压排水环节严格控制,基于管段高点压力,需保证背压控制在0.3MPa及以上,排水阀需要在排水时缓慢开关,避免管道因水击破坏。②不得直接排水。在完成水压试验后,不得将低端阀门打开进行直接排水,这是由于大落差山区管道无法自流排空水分,压力下降至一定值的管道会导致排水口进入大量空气,气穴会随之形成,排水压力会因压力叠加显著提升。③顺序控制。具体的泄压排水需要结合实际现场情况,首先选择排水压力低且高差小的段落,完成排水后不得排掉压缩空气,而是需要将其作为储气段,用于其他段排水的加压,排水球运行速度提升、设备利用率提高可顺利实现。如案例管段选择编号3试压段首先排水,该段储压进一步用于编号2试压段排水,之后依次开展编号1试压段、编号4试压段、编号5压段的排水,这一过程需同时关注排水缓冲设施的安装,最大程度降低泄压排水对周边环境带来的负面影响。

3 结语

综上所述,水压试验更适合用于大落差山区油气长输管道试压。在此基础上,本文涉及的上水方案编制、压力试验、泄压排水等内容,则提供了可行性较高的大落差山区油气长输管道水压试验路径。为更好开展水压试验,安全管理工作的细致开展、相关人员的严格培训、新技术与设备的积极应用同样需要得到重视。

参考文献

- [1] 崔光强.市政工程的给排水系统施工中的管道试压技术[J].中国高新科技,2021(24):45-47.
- [2] 董振杰.石油化工管道系统试验的设计[J].化工管理,2021(34):136-137.
- [3] 何绪虎.试压技术在加纳天然气管道支线的应用[J].石油和化工设备,2020,23(4):106-108.

收稿日期:2022-02-20

作者简介:李俊(1988—),男,汉族,重庆人,本科,工程师,主要从事天然气工程施工管理工作。