

Discussion on the Experience of Water Pressure Test of Pipelines with Large Drop in Mountainous Areas

Zi'ao Li^{1*}, Shilong Li²

¹Fast Track Construction Management Co. Ltd., Beijing

²China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd. International, Langfang Hebei
Email: *781744080@qq.com

Received: Oct. 19th, 2020; accepted: Nov. 19th, 2020; published: Dec. 15th, 2020

Abstract

Gas pipeline C in Central Asia passes through the Zhambyl region of the Republic of Kazakhstan. The topography of this area is complex, which is mainly composed of hills, mountainous, deserts and plains. The terrain along the pipeline is undulating, steep, dangerous, and different in elevation, so it is the crucial and difficult part of pipeline pressure test. Based on the successful experience of pipeline pressure test in the mountainous area of gas pipeline C in Central Asia, combined with Kazakhstan and domestic specification, and referring to methods and experiences of pressure test in domestic long-distance transmission pipeline, this paper introduces the medium selection of pressure test, pressure test requirements, pressure test area division, water pushing scheme, water replenishment calculation and pressure test process of large drop pipeline.

Keywords

Pipeline Pressure Test, Large Drop, Pressure Test Area Division, Push Water

*通信作者。

山区大落差段管道水压试验经验谈

李子傲^{1*}, 李世龙²

¹快轨建设管理有限公司, 北京

²中国石油管道局工程有限公司国际事业部, 河北 廊坊

Email: *781744080@qq.com

收稿日期: 2020年10月19日; 录用日期: 2020年11月19日; 发布日期: 2020年12月15日

摘要

中亚天然气管道C线工程经过哈萨克斯坦共和国江布尔州, 该区域地形地貌复杂, 以浅丘、山区、沙漠和平原为主。管道沿线地形起伏大、陡坡险坡多、高程差大, 是管道试压的关键段和难点段。根据中亚天然气管道C线工程山区大落差段管道试压的成功经验, 结合哈萨克斯坦和国内规范要求, 借鉴国内长输管道试压的方法和经验, 介绍了大落差管道试压的介质选取、试压要求、区段划分、推水方案、补水量计算和试压过程。

关键词

管道试压, 大落差, 区段划分, 推水

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

管道试压是长输管道建设过程中的重要工序之一, 是对管道承压能力、环焊缝质量的综合检验[1] [2] [3], 包括强度试验和严密性试验。山区段由于落差大、热煨弯管和冷弯管多、弹性铺设频繁、连头口集中等特点, 是长输管道试压的关键区段和难点区段[4]。中亚天然气管道 C 线工程经过哈萨克斯坦共和国(以下简称“哈国”)江布尔州的金德克塔斯山, 山区段长度为 49.7 km, 试压高程差达到 421.8 m; 土质为砾石层和砾石沉积层, 覆盖砂土、砾土、基岩; 山区段内无试压水源, 如采用水压试压需要分段推水试压。根据哈国建筑、城市建设和建设工程领域国家建设标准和规范 СНиП РК 3.05-01-2010《干线管道》[5]的规定, 结合国内 GB 50369-2014《油气长输管道工程施工及验收规范》[6]要求和国内大落差管道水压试验的经验, 成功完成了中亚天然气管道 C 线工程山区大落差段管道水压试验, 保障了管道的顺利投产和安全运行。

2. 项目概述

中亚天然气管道 C 线工程哈国段起点位于乌兹别克斯坦与哈国边界, 终点位于哈国与中国霍尔果斯边界。哈国境内管道全长 1305 km, 管径 1219 mm, 钢材等级 X80, 壁厚为 17.5 mm 和 20.6 mm, 管道设计压力为 9.81 MPa。管道在哈国江布尔州内的高程差达到 586.4 m, 其中 KP742~KP792 为 49.7 km 的大

落差山区段。

3. 试压方案

3.1. 关键环节分析

山区大落差段管道试压的首要关键环节是试压介质选取, 试压介质决定了试压区段划分要求和是否需要分段推水试压。根据管道输送介质类别、地段特性、试压水源情况等确定试压介质; 不同的试压介质决定了试压区段的划分和试压数值, 水压试验需要综合考虑试压水源、试压段长度和高程差等因素, 气压试验则对试压段长度没有具体要求; 在大落差区段推水时, 需要将试压水充满管道, 避免存在残留空气。

3.2. 试压介质选取

长输管道试压介质主要采用空气或水[7]。国内规范规定: 输油管道试压介质应采用水, 在高寒、陡坡等特殊地段, 经设计校核可采用空气作为试压介质, 但管材必须满足止裂要求, 试压时必须采取防爆安全措施; 输气管道按沿线居民户数和(或)建筑物的密集程度划分为四个地区等级; 输气管道位于一、二级地区的管段宜用水作试压介质, 在高寒、陡坡等特殊地段可采用空气作试压介质; 输气管道位于三、四级地区的管段应采用水作试压介质。哈国规范要求, 对于输气管道可以采用气压或水压的方式进行管道试压, 对于原油管道和成品油管道只能采用水压方式; 山区和崎岖不平地区的输气管道的试压允许采用空气和水的混合方式。该管道设计压力高、山区段落差大, 气压及混合方式试压危险性较大, 而且管道沿线区域存在试压水资源, 因此采用洁净水作为试压介质。

3.3. 水压试验要求

哈国规范规定的长输天然气管道等级分类和中国规范存在差异, 相应的水压试验压力值、稳压时间及合格标准也都不同。国内规范将长输天然气分为4级地区, 强度试验压力从设计压力的1.1倍至1.5倍不等, 稳压时间都为4h, 合格标准为无变形、无泄漏; 严密性试验压力为管道设计压力, 稳压持续时间24h, 合格标准为压降不大于1%试验压力值, 且不大于0.1MPa。根据哈国规范, 管道依据途经特殊地段类型、穿越障碍类别、场站设施等将管道划分为I级、II级和III级; 对应不同管道等级, 强度试验的阶段划分、试验压力和持续时间均存在差异; 水压试验和气压试验的压力和稳压持续时间也不同; 长输天然气管道试压对应II级和III级管道, 水压试验压力为1.25倍和1.1倍设计压力, 稳压持续时间都为24h; 管道低点的试验压力不能超过工厂设计的试验压力, 合格标准为测试压力无变化; 严密性试验必须在强度试验之后进行, 严密性水压试验压力等于管道设计工作压力, 稳压持续时间不少于12h, 合格标准是未发现泄漏。如果两种等级长输管道混合进行试压时, 试验压力应为高等级管道要求的试验压力。长输天然气管道水压试验国内规范和哈国规范的要求见表1和表2。

Table 1. Domestic water pressure test requirement for long-distance transmission gas pipeline

表 1. 国内长输天然气管道水压试验要求

管道分类	强度 试验压力	强度时间 (h)	严密性 试验压力	严密性时间 (h)
一级地区	1.1P _{设计}	4	P _{设计}	24
二级地区	1.25P _{设计}	4	P _{设计}	24
三级地区	1.4P _{设计}	4	P _{设计}	24
四级地区	1.5P _{设计}	4	P _{设计}	24

Table 2. Kazakhstan water pressure test requirement for long-distance transmission gas pipeline
表 2. 哈国长输天然气管道水压试验要求

管道分类	强度 试验压力	强度时间 (h)	严密性 试验压力	严密性时间 (h)
II 级	1.25P _{设计}	24	P _{设计}	12
III 级	1.1P _{设计}	24	P _{设计}	12

3.4. 试压区段划分

试压区段划分是山区大落差段管道试压的关键[8] [9]。国内规范要求：水压试验的管道分段长度不宜超过 35 km，应根据该段的纵断面图，计算管道低点的静水压力，核算管道低点试压时所承受的环向应力，其值不应大于管材最低屈服强度的 0.9 倍，对特殊地段经设计允许，其值最大不得大于 0.95 倍。哈国规范要求：空气试压的管道长度不受限制，水压试验和混合试压必须考虑管道高点和低点高程差形成的净水压力，管道低点的试验压力不能超过钢管厂家保证的试验压力。钢管出厂的试验压力为 14.8 MPa，按照哈国规范计算得出水压试验最大的高程差为 258 m。

山区段试压需要考虑管道高点和低点间的净水压力以及管道沿线试压水源的分布情况。鉴于该区段水源稀少，仅在 KP709+971 和 KP852+964 存在两处可利用的试压水源，所以 KP709+971 和 KP852+964 作为试压段的上水点和起始端。受上水点和高程差影响，无法按照阀室和场站间距进行试压分段，区段划分原则为综合考虑高程差、地貌条件和上水点的位置，保证中间倒水点能够安全顺利进行推水，保证上一管段的试压水量满足下一试压段用水量，试压段长度应逐段递减。因此，采取两端向中间逐段推水的方法，共划分 5 个试压段，试压区段划分见表 3，试压段高程示意图见图 1。

Table 3. Division area in pressure test
表 3. 试压区段划分表

起始里程	终止里程	长度 (km)	用水量 (m ³)	最大高程差 (m)
KP709+971	KP748+941	38.970	42,907	219.2
KP748+941	KP769+566	20.625	22,708	85.3
KP769+566	KP783+963	14.397	15,851	228.3
KP783+963	KP816+046	32.083	35,324	127.8
KP816+046	KP852+964	36.918	40,647	199.6

4. 管道试压

4.1. 试压前准备

哈国法律法规健全且执行严格，管道试压涉及的政府机构和职能部门较多，需要办理各种许可。考虑取水、排水对自然环境和生态的影响，提前进行水质分析，办理取水、排水许可。试压前成立管道试压委员会，在当地政府职能部门办理试压许可，试压前通知当地紧急状态委员会。提前预制水压试验收发装置，试压收发装置与管道焊接并进行环焊缝质量的射线检测和超声波检测，收发装置示意图见图 2。调试好试压设备和计量仪表，出具设备、仪表的合格证和校验证证书等；打印必要工序的完工报告、业主批准的程序文件、许可信函等供试压委员会检查；试压沿线设置维抢修人员、设备等。

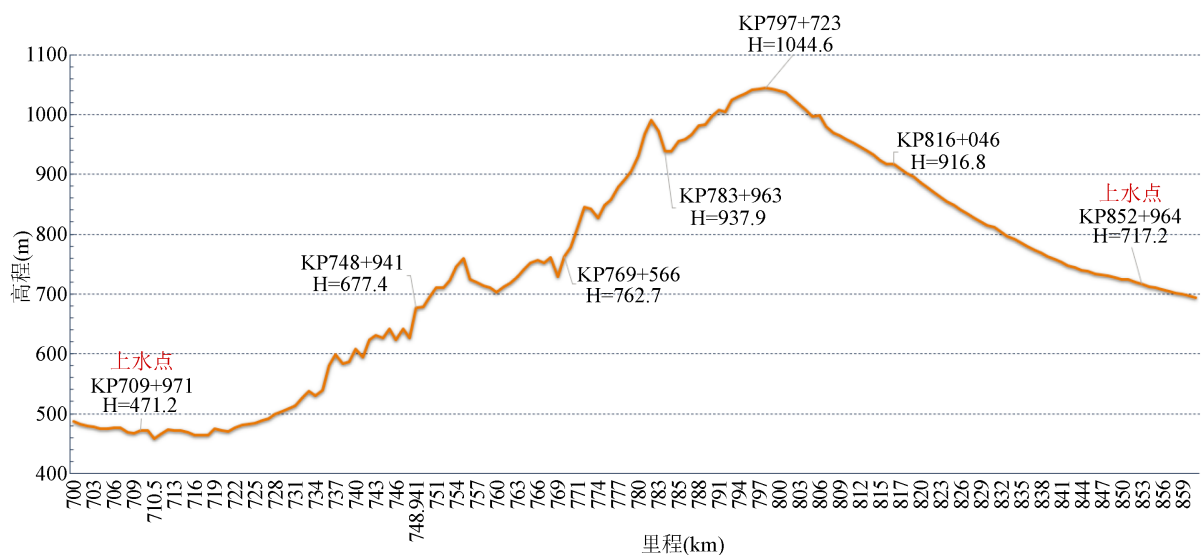


Figure 1. Elevation difference in pressure test area

图 1. 试压段高程差示意图

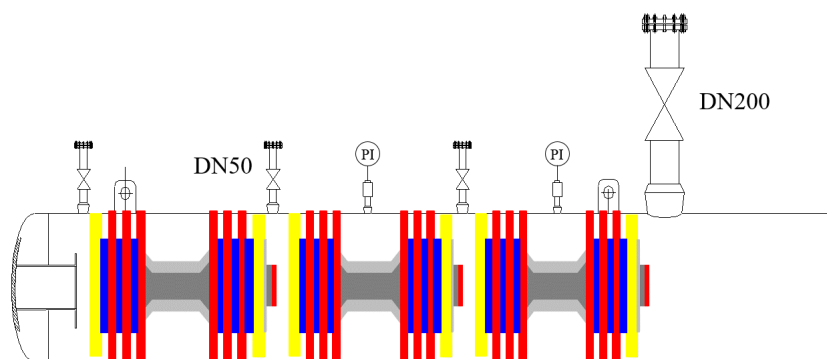


Figure 2. Transmitters and receivers in water pressure test

图 2. 水压试验收发装置示意图

4.2. 大落差段分段推水

分段推水是山区大落差段管道水压试验的难点[9], 尤其是连续 2 段或 3 段的推水。采取先装入清管器后注水的方法, 以水推动清管器将整个管段注满水, 必要时设置高点放空。由于 KP769+566 位于山区石方段, 两侧为陡峭山坡, 设备无法安全运送至中间倒水点, 在此处向 KP783+963 方向推水不易实现, 因此 KP769+566~KP783+963 的试压水由 KP852+964 上水, 经过 KP852+964~KP783+963 两个区段的试压后, 再推水至该区段。KP709+971~KP769+566 的两个试压段由 KP709+971 上水和推水。KP769+566~KP852+964 的 3 个试压段由 KP852+964 上水和推水, 其中后两个区段涉及从高点至地点的推水, 最高点 KP797+723 至 KP783+963 及 KP783+963 至 KP769+566 的高程差分别为 106.7 m 和 228.3 m。从高点向低点推水过程中, 为避免出现水击现象, 根据实际情况可在低点端设置相应的背压[9]。

4.3. 升压补水量计算

在管道升压过程中, 管道容积会变大, 试压水的体积会变小, 需要对管道进行补水。管道试压的理论补水量可以由下面的公式计算[10]。具体各试压区段的最大补水量计算值见表 4。

$$d_v = V d_p \left[\left(\frac{D}{Et} \right) \times (1 - \omega^2) + 1/k \right] \quad (1)$$

d_v ——增加的水量, m^3

V ——试压管道的容积, m^3

d_p ——增加的压力, kPa

D ——管道外径, mm

E ——阳式弹性系数, 2×10^8

t ——管道壁厚, mm

ω ——泊松系数, 0.3

k ——水性模数, 2,343,961, kPa

Table 4. Maximum water replenishment in pressure test area

表 4. 试压段最大补水量

起始里程	终止里程	V (m^3)	d_p (kPa)	D (mm)	t (mm)	d_v (m^3)
KP709+971	KP748+941	42,907	12,162.5	1219	17.5	388
KP748+941	KP769+566	22,708	12,162.5	1219	17.5	205
KP769+566	KP783+963	15,851	12,162.5	1219	17.5	143
KP783+963	KP816+046	35,324	12,162.5	1219	17.5	319
KP816+046	KP852+964	40,647	12,162.5	1219	17.5	368

4.4. 升压及试压

在升压过程中,理论上试验压力 P 与补水量 V 为线性关系,对比 P - V 图中实际和理论的线形走势,可以判断管道中是否有残留空气存在,并根据实际情况采取可行的保障措施[8] [9] [10]。升压过程中当压力达到 $P_{\text{强度试验}}$ 的 30% 时和 $P_{\text{强度试验}}$ 的 60% 时,各稳压 0.5 h 检查是否存在泄漏;到达 $P_{\text{强度试验}}$ 开始进行强度水压试验,稳压 24 h,压力无变化认定为合格;压力降至 $P_{\text{严密性试验}}$ 进行严密性水压试验,稳压 12 h,未发现泄漏试验合格。具体升压及试压过程见图 3。

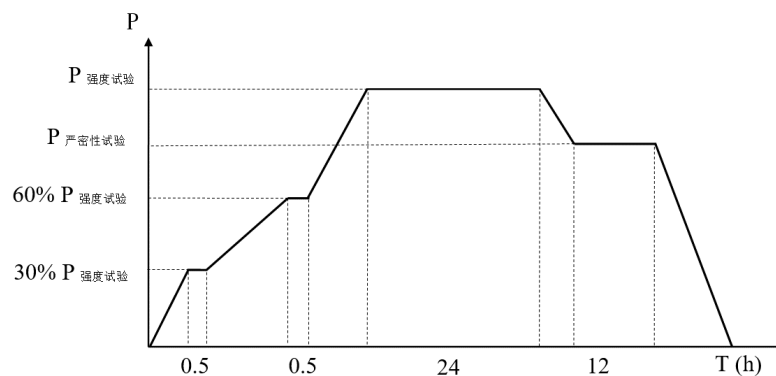


Figure 3. Diagram of pressure boosting and testing process

图 3. 升压及试压过程示意图

4.5. 降压和排水

在监理代表和业主代表接受水压试验结果后,应以一定速度缓慢降低压力,避免降压太快造成管道

的颤动。降压后必须立即将试压水从管道中排出, 根据地形主要从高点向低点排水。由于采取分段推水试压, 将前段试压水经过滤处理后供下段试压继续使用。在天然气管道排水过程中, 放入不少于两个皮碗清管器, 前面是推水功能的清管器, 最后一个是检查功能的清管器, 在压缩空气推动下清管器的移动速度应在 3~10 km/h。如果清管器在未损坏的情况下, 检查功能的清管器前端没有水, 则排水结果符合要求。最后一段试压完成后将试压水清洁处理并排放至附近自然沟渠、溪流或河道; 为避免水流冲击破坏地表生态, 在排水口需要安置钢筋混凝土板或其他挡水板减缓水流冲击; 完成排水工作后, 最后对排水区域进行地貌恢复。

5. 结语

哈国江布尔州山区大落差段是中亚天然气管道 C 线工程的试压难点, 通过进行试压关键环节分析, 明确了合理选取试压介质、划分试压区段和制定推水方案是安全、按期完成试压工作的关键。介绍了哈国和国内规范对试压介质、试压要求、区段划分等规定, 根据试压水源分布和试压安全性, 采用洁净水作为试压介质; 结合国内大落差段管道的试压经验, 制定了切实可行的水压试验区段划分、推水和排水方案, 计算了升压过程的理论补水量, 通过实际应用取得了良好的效果, 为今后国内和中亚地区长输管道的大落差段管道试压提供了借鉴和参考。

参考文献

- [1] 庄晓芳. 大口径管道清管通球、试压技术[J]. 江汉石油职工大学学报, 2008, 21(6): 65-69.
- [2] 孟祥启, 彭顺斌. 长输管道的试压[J]. 油气储运, 2008, 27(9): 50-54.
- [3] 周子栋, 徐娜, 夏政, 等. 油气长输管道试压关键工序研究[J]. 管道技术与设备, 2014(4): 49-51.
- [4] 吴锦江. 山地长输管道的清管扫线与试压[J]. 石油工程建设, 2015, 41(6): 66-68.
- [5] Алматы: РГП «КазНИИССА» (2011) СНиП РК 3. 05-01-2010 Магистральные трубопроводы.
- [6] 石油工程建设专业标准化委员会. GB 50369-2014 油气长输管道工程施工及验收规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [7] 张东晨, 刘洪禄. 埋地长输管道试压问题分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(24): 119-120.
- [8] 刘春晖. 山区段水压试验难点分析[J]. 石油工程建设, 2012, 38(30): 70-72.
- [9] 高文凤, 袁志彬. 山区大落差长输管道水压试验[J]. 石油工程建设, 2009, 35(S1): 22-26.
- [10] 赵传海. 长输管道水压试验中几个重要公式计算[J]. 油气田地面工程, 2007, 26(3): 11-12.