

超长距离的输水管道水压试验

张晓川, 陈云, 孙周辉

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要:近年来,随着国民经济的不断发展,为了提高居民的幸福感和获得感,国家加大了对民生水利基础设施建设的投资力度。为了解决安全饮水问题,通过长距离输水管道输水已成为普遍的做法。新疆某水源工程具有的特点:输水线路长、输水管道口径大、工期短,若按照现行施工规范中要求的分段长度进行水压试验,其施工进度满足不了节点要求,进而影响到全线通水的总目标;为此,项目部根据管线的地形条件突破规范要求的限长进行了试验段的划分,编制了详细的水压试验方案,邀请了业内知名专家进行了论证并获得同意;通过分段试验设计、现场施工到最终通水一次成功,证明了所采用的施工方法合理、施工质量合格、检测方法得当。阐述了对输水管道水压试验进行的分析与总结,可供其它类似引水工程借鉴。

关键词:输水管道;水压试验;试验方法;质量控制

中图分类号:[TV91];TV76;TV554;TV522

文献标志码:B

文章编号:1001-2184(2024)02-0081-04

Hydrotest for Ultra-Long Water Pipeline

ZHANG Xiaochuan, CHEN Yun, SUN Zhouhui

(PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu Sichuan 610072)

Abstract: In recent years, with the continuous improvement of the national economy, in order to improve the happiness and sense of achievement of residents, China has increased investment in the construction of water conservancy infrastructure for people's livelihoods. In order to solve the problem of safe drinking water, it has become a common practice to transport water through long-distance water pipelines. A water source project in Xinjiang has the following characteristics: long water transmission line, large diameter of water transmission pipeline, short construction period. If the hydraulic pressure test is carried out according to the segment length required in the current construction specifications, the construction progress will not meet the node requirements, which will affect overall goals for water of the entire line. To this end, the test sections are divided according to the topographic conditions of the pipeline and exceeded the length limit required by the specification, and a detailed hydraulic test plan is compiled, the well-known experts in the industry are invited to conduct demonstrations and obtain approval; Through segmented test design, on-site construction, and successful water supply in one go, it is proven that the construction method adopted is reasonable, the construction quality is qualified and the detection method is appropriate. This article analyzes and summarizes its technology, providing reference for other similar water diversion projects.

Keywords: Water transmission pipelines; Water pressure test; Test methods; Quality control

1 概述

新疆某水源工程输水管道全长 37 km, 管道采用钢管及 PCCP 管交替连接而成, 管道内径为 2 000 mm, 总水头差约 75 m, 最大工作压力为 1.5 MPa, 最大流速为 1.8 m/s, 钢管材质为 Q235, 段长 12 m, 厚度为 16~18 mm; PCCP 管的工作压力为 0.4~1.2 MPa, 长度为 6 m。

由于该工程输水线路穿山越岭, 下穿公路、铁路与河沟, 靠近村镇、学校、医院等重要建筑物, 如果施工期及运行期发生漏水、爆炸等异常事故对

社会的影响较大。为了保证管道输水安全, 在输水管道安装完成后, 按照设计及相关规范要求进行了全面检查, 同时根据地方政府要求必须分段进行功能性注水试验, 以防止发生意外情况而造成恶劣的社会影响。对此, 需结合设计要求和施工规范进行功能性压水试验。笔者阐述了具体的试验过程与质量检验。

2 水压试验段长的划分与确定

按照设计图纸要求、结合《给水排水管道施工及验收规范》GB 50268—2008, 压力管道水压试验的管段长度不宜大于 1 000 m; 为此, 项目部在

收稿日期: 2023-12-10

施工前对管道注水功能性试验的进度及试验费用进行了详细的计划和预算,按照规范规定的段长和试验方法进行压水试验,则其进度将严重滞后而不能满足政府要求的整体通水目标。所遇到的问题与困难为:

(1)由于受规范对段长的划分限制,以及受现场地形条件限制和施工现场靠近村镇、学校、医院的原因,参建各方对此报着谨慎的态度而不敢随意突破规范要求,故在段落划分后寻找试验所需的水源成为较大的难题。若从十多公里外拉水,由于交通条件较差而造成费用成本较高且进度缓慢。

(2)由于分段较多,每个试验段的堵头均须根据压力不同单独设计和制作加工,且因堵头混凝土浇筑需要时间等强、后期需要拆除亦导致进度缓慢、费用成本较高。

(3)若多段同时进行,试验人员、设备、材料的投入大,费用高、点多面广且因施工技术人员的水平参差不齐,容易出现失误和错误。

针对上述问题,为了完成既定的供水目标,降低试验成本,项目部邀请了国内从事过类似工程建设的专家进行论证、最后形成意见:在施工质量合格的情况下可以突破规范要求的 1 000 m,选择有代表性的段落进行试验。

项目部根据专家论证会议精神,最终选择了段长 2 280 m 进行试验,该段落范围避开了村镇、学校、医院等重要场所,水源可采用附近河道直接从试验段的中间开孔(最低点)注水,两端位于坡度的最高点,选择在钢管施工段镇墩旁以便于堵头的安设。

3 打压试验的设计

(1)试验压力的确定。该段对于过河、过沟及过路采用 DN2000 钢管,平直段及爬坡段采用 PCCP 管,使用转换接头连接,管道生产厂家按照 0.8~2.0 MPa 的设计压力进行制造,实际工作压力为 0.25~1.24 MPa,试验压力为 0.49~1.52 MPa。

该段落的一端 LU9+250 处的管道安装高程为 1 885.00 m,工作压力为 0.33 MPa;另一端 LU6+988.17 处的管道安装高程为 1 893.00 m,工作压力为 0.25 MPa,两处的压力差为-0.08 MPa。当 LU9+250 处加压至 0.65 MPa 时,LU6+988 处的试压压力达到 0.57 MPa,能够满

足设计试验压力不小于 0.49 MPa 的要求。
(2)打压设备的选择。打压试验设备的配置情况见表 1。

表 1 打压试验设备配置表

序 号	项 目	单 位	数 量	备 注
1	发电机	台	1	50 kW
2	高压水泵	台	2	50 m 扬程
3	压力表(0~2.5 MPa)	只	6	精度 1.5 级
4	水 箱	个	1	4 m ³
5	阀 门	个	6	

(3)注水及排水排气的设计。注水从该试验段的最低处开孔注水,当水位高出水泵扬程时可在一个较低的端头注水,直至将管道注满,并在注水口处安装了阀门。排水孔设在该段管道最低处或利于排水的段落并安装阀门。排气孔设置在试验段两个端头的管道最高处并安装阀门。

(4)堵头及靠背的设计与选择。①堵头的设计及加工:根据首尾端的试验压力计算并加工了所需要的堵头,选择并采用钢板堵头进行封堵。堵头采用与管道相同材质的钢板制作,板厚 18 mm,直径为 2 200 mm,在堵头板上布设横向和纵向肋板以增加其抗压强度,肋板横纵向各长 20 cm,采用 18 号工字钢做肋,堵头板与管道端头焊接密封后在管道对称部位设置了 4 个焊点与堵板连接。②靠背的设计:根据设计提出的技术要求,打压试验的堵头支撑不能采用管道自身和镇墩混凝土等作为背支撑,以免在加压过程中对上述构筑物造成变形和移动,但在分段试验前该部位的镇墩已经浇筑完成且通过理论计算证明堵头按照要求施工后其可以直接进行打压。为防止发生意外,项目部对其进行了一定的支撑加固,即在镇墩上设置钢板并采用千斤顶与堵板支撑。

(5)试验过程及结果。

①施工资料的检查:施工所需管材全部合格,闸阀等设备均有合格证及出厂检验报告,PCCP 管接头打压试验全部合格、钢管焊缝无损检测均合格,水压试验所用压力表及加压设备合格证齐全。②加压设备工机具:加压试验需要的人、材、机等提前计划并配置到位,对全员进行了技术和安全交底。试验用的压力表提前校验,精度不低于 1.6 级。③管道清理:开展试验前,提前

安排专人做好防护并进入管道内部进行了检查和杂物清理。④管道检查和设备安装检查:检查管件是否符合厂家及设计要求;对在低洼处的排水阀井和高处设置的排气阀进行了完整性检查,看其开启和闭合是否灵活并确保处于关闭状态。⑤加压试验:管段注满水后,在正常的工作压力条件下按照规范规定的时间浸泡后再进行加压试验。浸泡时间见表 2。⑥水压试验规定:压力管道水压试验的压力见表 3。

表 2 浸泡时间表		
管材种类	管道内径 D_1 /mm	浸泡时间 /h
钢管(有水泥砂浆衬里)	D_1	≥ 24
预应力钢管混凝土管	$D_1 > 1\,000$	≥ 72

表 3 压力管道水压试验压力表 /MPa		
管材种类	工作压力 P	试验压力
钢管	P	$P+0.5$,且不小于 0.9
预应力 钢管混凝土管	≤ 0.6	1.5 P
	> 0.6	$P+0.3$

压水预试验:缓慢地往管道内加水,使压力缓慢上升至试验压力后停止注水,稳压 30 min。稳压期间,如果压力值下降需及时注水补压;巡线人员应不间断地检查管道接口处和启闭设备连接处有无异常情况出现,如有漏水、损坏等现象必须及时反馈并立即停止加压,检查并分析异常情况出现的原因并采取相应的措施完成整改后重新加压。

主试验阶段:根据预试验阶段的情况稳定压力 15 min;若 15 min 内压力下降值未超过表 4 所列的允许压力降值情况下将试验压力值降至工作压力并保持稳压 30 min,检查其外观是否有异常情况出现,若无异常漏水现象,判断水压试验成功。压力管道水压试验允许压力降值见表 4。

表 4 压力管道水压试验允许压力降值表 /MPa		
管材种类	试验压力 / P	允许压力降
钢管	$P+0.5$,且不小于 0.9	0
预应力钢管 混凝土管	1.5 P	0.03
	$P+0.2$	

4 管道压力试验

4.1 注水

试压前,从试压段最高点的进入孔或排气阀井井口注水。管道注水时,打开排气阀门和进入

孔处的法兰;管道注水时必须控制水流的速度,管道的进水速度应与排气速度相匹配以防止因进水量大在管道内形成气囊而影响到水压试验效果。具体的注水与排气步骤为:

- (1)注水时打开进排气阀,排放管内的空气;
- (2)注水过程中,时刻注意观察各阀件、接口、管缝是否有渗漏水情况发生。如有渗漏水情况发生则停止注水并进行排水检修;
- (3)注水完成后,稳压 72 h,使管线中的水与其周围水的温度达到平衡并观察水位下降情况。

4.2 升压

- (1)将管道内注满水并控制管道内外水温平衡后打开水泵,开始向管道内注水升压;
- (2)注水升压前,还需要关闭该段管道上的排气阀;
- (3)升压时,采用流量计或水表对注入管道中的水量进行准确计量;
- (4)升压过程应确保压力为缓慢平稳上升。在管道内的压力值达到试验值之前,升压速率不宜过快;
- (5)注水试压的压力为分级升压。当注水压力升至试验压力的一半时,稳压并观察管线表面有无泄漏现象,同时查看压力值的变化;

(6)根据试验中记录的数据绘制出压力和容积、压力和时间对应曲线图。为了推测管道内的空气含量,可以采用以下方式:持续加压达到试验压力的 75%时,若升压曲线基本成一条直线,则说明管线中的空气含量很少,满足相关要求;若升压曲线为一条曲率较大的曲线,则说明管线中的空气含量较高(空气含量不超过管线总容量的 0.2%);当管道中的空气含量超过 0.2%时,需要采取排气措施将管道内的空气排出。具体措施为:降压-排气-降压-排气,反复多次后观察排气口的出水情况,如果出水是连续的,基本可以判断管道内的空气已经排空。

4.3 稳压

- (1)当管道内的压力升至试验压力后,停止注水加压,保持并静止 30 min;
- (2)管道内的压力平衡并稳定后,稳压 15 min。在此期间,对管线的压力变化情况进行记录;

(3)管道内的压力需要在试验压力下稳压 15 min,其压降不超过规范允许的压力数值时保持 30 min,观察管道外观有无渗漏水现象出现,若无渗水则水压试验合格。

4.4 卸压

(1)试压完成后,打开泄水口缓慢将管道内的水排出;

(2)将管道内的水压缓慢释放,其卸压速率不大于 0.1 MPa/min。

5 试通水及通水后对其质量进行的检验

根据试验段成功打压的结果,全线按照地形特点、管道分布情况、打压水源供应等方面综合考虑,详细划分管道打压段落。

待分段打压全部合格后,对其进行了联通后的分段试通水,通水从水源水库至第一条隧洞进口处,采用运行工作压力充分浸泡。实践证明:其质量满足相关设计及规范要求。

全部联通试运行 2 个月及后期运行大半年的实践表明:其施工质量可靠,完全满足设计及规范要求。

6 结 语

笔者根据管道打压试验段的试验过程记录和监测数据分析总结了大口径管道水压试验的改进之处:

(1)对于试验段落长度的确定可以根据实际情况适当进行调整,需专门研究突破要求的不大于 1 000 m 的规定;

(2)对于堵头的设计与施工可以根据理论计算后尽量简化,并且将两端头尽量设置在地形较高的位置;打压注水的速率根据规范要求即可。

该工程水压试验的成功案例可供类似大口径、长距离管道水压试验时参考。

参考文献:

[1] 给水排水管道施工及验收规范,GB 50268-2008[S].
[2] 刘发民.大口径 PCCP 输水管线水压施工方法及工艺探讨[J].农业科技与信息,2021,28(3):99-100,103.
[3] 韦庆华,余金凤,张宪民,等.引水式水电站压力钢管岔管水压试验[J].广西水利水电,2019,47(2):10-13.
[4] 王国君.PCCP 管道水压试验技术研究[J].山西水利科技,2020,27(4):31-34.
[5] 郭谨.PCCP 管道水压试验[J].东北水利水电,2017,35(3):22-24.

作者简介:

张晓川(1984-),男,宁夏固原人,工程师,学士,从事水利工程项目管理工作;
陈 云(1984-),女,湖北咸宁人,副高级经济师,学士,从事水利工程合同管理工作;
孙周辉(1980-),男,陕西宝鸡人,正高级工程师,工程硕士,从事水利工程总承包项目管理工作。

(编辑:李燕辉)

(上接第 71 页)

参考文献:

[1] 谭尧升,樊启祥,汪志林,等.白鹤滩特高拱坝智能建造技术与应用实践[J].清华大学学报(自然科学版),2021,61(7):694-704.
[2] 李庆斌,马睿,胡昱,等.大坝智能建造研究进展与发展趋势[J].清华大学学报(自然科学版),2022,62(8):1252-1269.
[3] 周博.数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用研究[J].建筑设计与研究,2022,3(6):29-30.
[4] 牛广利,李天赐,杨恒玲,等.数字孪生水利工程安全智能分析预警技术研究及应用[J].长江科学院院报,2023,40(3):181-185.
[5] 张社荣,姜佩奇,吴正桥.水电工程设计施工一体化精益建造技术研究进展:数字孪生应用模式探索[J].水力发电

学报,2021,40(1):1-12.
[6] 刘昌军,吕娟,任明磊,陈胜,张晓蕾,宋文龙,张大伟.数字孪生淮河流域智慧防洪体系研究与实践[J].中国防汛抗旱,2022,25(1):40-42.
[7] 黄艳,喻杉,罗斌,等.面向流域水工程防灾联合智能调度的数字孪生长江探索[J].水利学报,2022,53(3):253-269.

作者简介:

廖 悦(1991-),女,重庆市人,工程师,硕士,从事能源行业数字化研发及管理工作;
文伏灵(1987-),男,湖北襄阳人,副高级工程师,硕士,从事能源行业数字化研发及管理工作。
孙周辉(1980-),男,陕西宝鸡人,正高级工程师,工程硕士,从事水利水电工程项目管理及数字化工作。

(编辑:李燕辉)