

# 浅谈长距离大口径PCCP管道功能性水压试验方案的优化

赵 斌

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450001

**摘 要:**水管道安装完成后需通过管道水压试验检验管道的密封性,但是按照传统规范和要求进行水压试验存在段数多、水源少、工期长、费用高等问题,这就会延误工期并增加成本,所以本文提出对水压试验方案分段和堵头设计进行优化,以及降低施工中的劳动强度,加快施工进度,节约施工成本,更好促进水利水电工程建设效益的提升。

**关键词:**长距离大口径PCCP管道;功能性水压试验;方案优化

## Discussion on optimization of functional hydraulic test scheme for long distance large diameter PCCP pipeline

Bin Zhao

China Water and Hydropower 11th Engineering Bureau Co., LTD., Zhengzhou 450001, China

**Abstract:** After the installation of water pipelines, it is necessary to conduct hydrostatic pressure tests to inspect the sealing performance of the pipes. However, traditional specifications and requirements for hydrostatic pressure tests present several issues such as a large number of test sections, limited water sources, long construction periods, and high costs. These problems can result in project delays and increased expenses. Therefore, this paper proposes optimizing the segmentation of the hydrostatic pressure test plan and designing effective plugs, as well as reducing labor intensity during construction. These measures aim to expedite the construction progress, save construction costs, and enhance the overall efficiency of water conservancy and hydropower projects.

**Keywords:** long distance large diameter PCCP pipeline; Functional hydraulic test; Scheme optimization

### 一、工程概况

引江济淮工程是历次淮河流域综合规划和长江流域综合规划中明确提出的由长江下游向淮河中游地区跨流域补水的重大水资源配置工程,引江济淮工程河南段属于江水北送的一部分,第六施工标段包含商丘、夏邑共槽段~夏邑输水管线(QX25+000~QX61+621.399),线路长度为36.62Km,采用直径3200mm的PCCP管,全段单管输水,管线设计流量13.8m<sup>3</sup>/s。

本施工段输水管线管道工作压力有0.4Mpa和0.6Mpa两种,其中QX25+000~QX30+000.000段管道工作压力0.6Mpa, QX30+000.000~QX61+621.399段管道工作压力0.4Mpa。

### 二、PCCP管道水压试验优化背景

根据《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB50268-2008)以及招标文件《土建及水保、环保部分技术条款》规定,给水管道安装完成后应进行管道水压试验,以检验管道的密封性,如按此要求对全线管道进行水压试验,则有以下几个问题:

段数多:本工程设计文件要求,水压试验段应该按1.0km

为一段,则输水管线全线需要进行37段水压试验;

水源少:根据管道充水量计算每公里试验所需水量为8038m<sup>3</sup>,大多试验段附近距现有河道较远取水极为困难,试验完成后,需要将管道内水排放相对比较困难;

工期长:每段试验均需要进行混凝土堵头做靠背,且存在本段进行水压试验时下一段不能进行施工,工期难以保证;

费用高:根据合同条款13.12 计量与支付:管内冲洗消毒、管道水压试验、联合试运行等的费用包含在《工程量清单》所列管道安装项目的单价中,发标人不再另外支付;鉴于以上原因,综合成本和工期考虑,必须对水压试验方案分段和堵头设计进行优化。

### 三、PCCP管道水压试验优化过程

通过仔细研究招标文件、设计图纸以及相关规范,在《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268-2008)、《预应力钢管混凝土管道技术规范》(SL 702-2015)解释条款中都有提到特殊情况下可以根据工程具体情况划分水压试验段长度,实施前需经专家论证同意。

其中在《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB50268-2008)第9章第9.1.9节规定:在水压试验中,试

验段的管道长度最大不能够超过1.0km, 如果另有设计要求或者在规范中规定的除外。如果管道不能够进行分段, 则可以结合具体情况来确定管道试验长度。

在《预应力钢筒混凝土管道技术规范》(SL702-2015)条文说明中第11章第11.1.5节说明: 对于长距离、大口径、管线附近无水源及排水困难的管道工程, 实施难度大。若有充分论证或专项设计, 可不受此分段长度限制。7段水压试验段内均有现状河流、沟渠, 打压时可协调由上游分水闸放水, 保证试验用水, 试验完成后, 排水可排至原河道。

《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB50268-2008)第9.2.10节规定: 当工作压力≤0.6Mpa时, 水压试验的试验压力为1.5倍工作压力。工作压力为0.6MPa的PCCP管线(试验压力0.9Mpa), 水压试验段两端采用定制打压管堵板, 无需额外浇筑混凝土堵头做靠背。按照0.9Mpa设计打压管堵板可以满足全线水压试验的要求。

对水压试验段长度以及堵板的选择进行优化后, 项目部积极主动与监理、设计、业主单位沟通交流, 各方一致同意可以按此优化后的水压试验方案组织专家进行论证。邀请相关规范编写人员、国内知名专家, 对水压试验划分和堵板优化方案进行专家论证。与会专家在听取相关方PCCP管道水压试验方案汇报后, 经质询及讨论, 同意水压试验分段按照水源及现场条件划分水压试验段的长度。

#### 四、堵板设计与选择

堵板设计: 管道工作压力0.6Mpa, 试验压力为工作压力的1.5倍即0.9Mpa, 选择打压管作为试验段两端堵板。均选用DN3200平盖封头作为封堵板。

具体试验时, 将两端检修阀井的液控蝶阀阀门卸掉, 两侧以法兰连接内有堵板的打压管, 堵板采用DN3200平盖封头, 采用内外加筋圆形结构, 钢板背面焊接加强肋板。经计算完全能够满足本次管道水压试验的试验压力。

打压管、平盖封头结构设计图如右图所示:

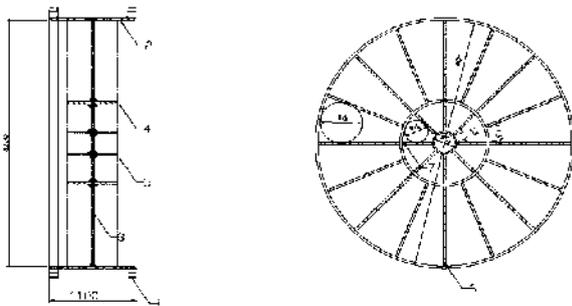


图1 平盖封头结构设计图

#### 1.平盖封头

本工程水压试验利用法兰将平盖封头与打压管固定, 平盖封头采用内外加筋圆形结构。

依据《压力容器第3部分: 设计》(GB150.3-2011), 加筋圆形平盖厚度计算公式如下:

$$\delta p = 0.55d \sqrt{\frac{Pc}{[\sigma] t \times \phi}}$$

式中: d—当量直径, 取 d1 和 d2 中的较大者 (mm),

$$\text{其中 } d1 = \frac{\sin(180^\circ/n)}{1+\sin(180^\circ/n)} Dc;$$

$\delta p$ —堵板厚度 (mm);

K—堵板系数, 取 0.55;

Pc—水压试验最高允许压力, 取 1.5 倍设计压力(MPa);

$[\sigma] t$ —许用应力 ( $[\sigma]_{20^\circ C} = 147.5\text{Mpa}$ );

$\phi$ —基本应力修正系数, 取 0.9。

此外筋板与平盖组合截面抗弯模量 W 应满足下式, 且平盖中心加强圆环截面的抗弯模量不小于加强筋板的截面抗弯模量。

$$W \geq 0.08 \frac{Pc \times Dc^3}{n [\sigma] t}$$

式中: n—加筋板个数;

Dc—计算直径。

表1 DN3200 平盖封头设计计算书

设计依据:	GB 150-2011		
<b>一、设计条件</b>			
公称直径	D	3200	mm
计算直径	Dc	3260	mm
工作压力	P	0.6	MPa
设计压力	Pc	0.9	MPa
材料强度		295	MPa
材料许用应力	$[\sigma]^t$	147.5	MPa
焊接接头系数	$\psi$	0.8	
<b>二、结构计算</b>			
内环筋板数量	n	8	
内环筋板切线圆直径	$d1 = d2 \cdot \frac{\sin(180^\circ/n)}{1+\sin(180^\circ/n)}$	296.14246	mm

内环加强圆环直径	d2	300	mm
外环筋板数量	n'	16	
外环筋板切线圆直径	$d1' = Dc \sin(180^\circ / n') / [1 + \sin(180^\circ / n')]$	532.172705	mm
外环加强圆环直径	d2'	1070	mm
当量直径	d	532.172705	mm
内环筋板间距	L3	114.80503	mm
外环筋板间距	L3'	208.746645	mm
平盖计算厚度	$\delta p = 0.55 d \sqrt{(pc / [\sigma]^t / \psi)}$	25.562042	mm
平盖厚度取值		30	mm
筋板厚度取值	$\delta 1$	30	mm
内环筋板组合截面最小抗弯模量	$W1 = 0.08 * Pc * d2'^3 / (n * [\sigma]^t)$	74748.38644	mm <sup>3</sup>
内环筋板计算高度	h1	300	mm
行心至平盖底面距离	$y1 = (\delta 1 * h1 * (h1/2 + \delta p) + L3 * \delta p * (\delta p/2)) / (\delta 1 * h1 + L3 * \delta p)$	134.333172	mm
内环筋板组合截面抗弯模量	W =	1009233.601	mm <sup>3</sup>
	W > W1		
外环筋板组合截面最小抗弯模量	$W1' = 0.08 * Pc * Dc^3 / (n' * [\sigma]^t)$	1056995.878	mm <sup>3</sup>
外环筋板计算高度	h1'	300	mm
行心至平盖底面距离	$y1' = (\delta 1 * h1' * (h1'/2 + \delta p) + L3' * \delta p * (\delta p/2)) / (\delta 1 * h1' + L3' * \delta p)$	112.297939	mm
外环筋板组合截面抗弯模量	W' =	1500537.251	mm <sup>3</sup>
	W' > W1'		mm
	加强筋校核通过		
<b>三、设计结果</b>			
筋板设计厚度	Q355	30	mm
筋板设计高度	双面加筋(按单面加筋计算)	300	mm
平盖厚度	Q355	30	mm
内环筋板数量		8	
内环加强圆环直径		300	mm
外环筋板数量		16	
外环加强圆环直径		1070	mm

由计算结果可知在设计内压条件下,平盖设计厚度

30mm,在采用单面加筋(内、外环及筋板加筋)结构构造,并且满足规范对截面抗弯模量的要求下,内环直径为300mm,加筋板数量为8条,外环直径1070mm,加筋板数量为16条,筋板高度300mm。平盖封头加工完成后,两端焊接和PCCP管检修阀螺栓孔相对应的法兰,便于在水压试验时衔接。

## 2.靠背及止推环设计

本工程阀井设计设置了止推环,在试验前为了满足水压试验止推的作用,在检修阀井内部增加了四根12工字钢(10cm),工字钢和PCCP钢配件采用满焊,(如图2所示)通过止推环与钢支撑共同推作用,将水压时的静水压力产生的推力传递到阀井上,可利用阀井作靠背,在阀井回填时,对阀井周围土体分层夯实,达到压实度0.96的要求。

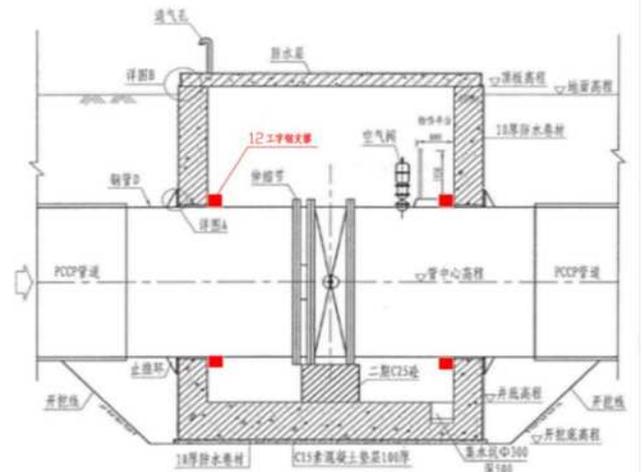


图2 12工字钢支撑设计图

## 五、水压试验方案的实施过程

### 1.注水

在相关准备工作完成后,需要上报至试验小组,在通过其的验收和批准后,才可注水。

试压现场通过既定好的供水线路,向管内缓慢充水,注水流速在0.3m/s之内,以减少余留空气量及水锤压力,对管道造成损坏。充水时应从下游缓慢注入,注入时在试验管段上游的管顶及管段中的高点应设置排气阀,将管道内的气体排除,直至充满水后。

### 充水过程及注意事项:

(1)注水前,需要分别打开排气阀和排空阀,经检测均符合要求后,才可展开后续作业;

(2)充水时,先通过管道法兰孔正常注水,在几乎充满管道后,再将试压装置安装上,之后再继续注水。

(3)由低向高缓慢进行注水,将管道内空气有血排出。

充水速度需要控制在 0.2m/s 以内,注水量则需要与排气量保持一致,这样可避免气体滞留形成气囊,确保实验结果的准确有效。

(4) 在试压泵注水结束后,将各阀门以及注水口都关闭,然后再详细排查整个管道和所有阀门有无漏水问题。

(5) 注水过程中需要打开管段排气阀前半球阀,以便于排气。如果在此过程中出现漏水、排气不良等问题,则需要及时与厂家沟通,安排人员展开维修检查,直至无问题。

(6) 阀门处必须设置工作人员,实时检查和控制阀门,确保试验安全。

## 2.管道浸泡

试验管段灌满水后,宜在不大于工作压力条件下充分浸泡后再进行水压试验,浸泡时间不少于 72 小时。

## 3.升压试验

(1) 试验压力按前述第三节规定选择确定。

(2) 升压时应分级升压,每次升压以 0.2MPa,每升一级应稳压不少于 10min,并检查闸阀、管身、镇墩、阀门及接口,并及时进行安全监测、采集数据,当无异常现象时,再继续升压。

(3) 管道升压时,管内气体应排除;升压过程中若发现压力表指针摆动、不稳,且升压较慢时,应重新排气后再升压;在加压泵处安装两个压力表,以便复核压力读数,避免错误。

(4) 升级至试验压力值,稳压 2h,检查接口、管身无破损及漏水现象,且补水量(即渗漏量)不超过 7.92 L/min·km 时,判定合格。

(5) 试验过程中,出现管压升不上去或管堵损坏时,应立即停止试验,找出原因,采取有关措施后,再重新试压。

(6) 管道水压试验合格后,应立即利用排空井排水以解除管道内水压力。

## 4.打压监测

(1) 在水压试验过程中,及时同看护人员、巡查人员、监测人员联系,要求所有小组在试验过程中连续不间断检查、监测作业,确保水压试验整体安全受控状态。

(2) 每升一级后,立即通知看护组、巡视组加强检查后背、阀门及接口,并及时通知监测组进行监测数据采集,当无异常现象时,再继续升压。

(3) 水压试验过程中,及时同配合各小组联系,确保试验范围内的各个标段信息通畅。

## 5.排水、卸压、拆除打压设备

(1) 管道水压试验合格后,立即进行排水工作,卸除

管道内的水压力,填写水压记录,经有关人员签字后,完成打压工作。

(2) 要特别注意将管道内低处的存水泄掉,采用潜水泵将管底存水抽排。

(3) 若出现打压不合格现象,则停止打压,请建设、设计、监理配合查找原因,采取相关处理措施后,重新打压,直至打压合格。

## 6.冲洗消毒

给水管道水压试验后,竣工验收前应冲洗消毒。冲洗消毒用水采用附近供水管网的自来水或深层地下水。

(1) 给水管道冲洗与消毒应符合下列要求:

1) 给水管道严禁取用污染水源进行水压试验、冲洗,施工管段处干污染水域较近时,必须严格控制污染水进入管道;如不慎污染管道,应由水质检测部门对管道污染水进行化验,并按其要求在管道并网运行前进行冲洗消毒。

2) 施工单位应在建设单位、管理单位的配合下进行冲洗与消毒;

3) 冲洗时,应避开用水高峰,流速不小于 1.0m/s,连续冲洗。

(2) 管道冲洗与消毒应符合下列规定:

1) 管道第一次冲洗应用清洁水冲洗至出水口水样浊度小于 3NTU 为止,冲洗流速应大于 1.0m/s。

2) 管道第二次冲洗应在第一次冲洗后,用有效氯离子含量不低于 20mg/L 的清洁水浸泡 24h 后,再用清洁水进行第二次冲洗直至水质检测、管理部门取样化验合格为止。

## 7.试验成果

打压试验完成后,及时整理数据,上报水压试验报告。

## 六、质量控制

1.对试压设备、压力表(精度 1.5 级,最大量程为试验压力的 1.5 倍,表壳的公称直径不应小于 150mm,使用前应校正)、连接管、排气管、进水管及管件进行详细检查,确保系统的严密性。使用前需校正并经第三方具有检测资质单位进行检测,出具检定证书。水泵、压力计应安装在与管道轴线相垂直的支管上。

2.管道试压前,箱涵内的管件应采取加固措施;管道试压时,密切观察各处封板(含法兰片部位)的变形情况,如有异常,应暂停试压,查明原因后进行整改。

3.管道试压时,安排专人对各个阀门进行看守,同时密切观察压力表的变化,发现问题及时处理。

## 七、安全措施

1.试压前,检查所有管路支、吊架是否正确和稳固;认真查承压设备、管道的临时盲板、法兰、压力表的情况,是否按要求设置。

2.压力表应经校验合格,且不得少于两块。

3.压力试验前,对管线辐射区,拉设警戒线,挂设警示标识,无关人员不得进入。

4.在试压过程中,如发现泄漏现象,不得带压紧螺栓、补焊或修理。检查受压设备和管道时,在法兰、盲板的侧面和对面不得站人。

5.对于所有要拆除或隔离的部位要编制详细清单,试压前后都要逐项检查、销号。

6.进入施工现场,应按规定穿戴安全帽、工作服、工作鞋等防护用品,正确使用安全绳、安全带等安全防护用具及工具,严禁穿拖鞋、高跟鞋或赤脚进入施工现场。

## 八、小结

本技术将试验所需堵头优化为可以重复利用的打压管,利用检修阀井混凝土止推作为靠背止推环,相比于传统的混凝土墙做后背墙,解决现有技术的不足,减小劳动强度施工速度快,加快施工进度,节约了施工成本。该成果具有重要的理论意义和工程实用价值,为今后的同类条件下进行大口径 PCCP 管道水压试验提供了宝贵的理论依据和实践经验。

### 参考文献:

[1]郝红新.魏楼水库 PCCP 引水管道水压试验问题探讨[J].陕西水利,2021,No.250(11):207-209.

[2]王国君.PCCP 管道水压试验技术研究[J].山西水利科技,2020,No.218(04):31-34.

[3]解晓东.大口径 PCCP 管道无靠背水压试验方法研究[J].江西建材,2019,No.245(06):27+29.

[4]戴敏,田祥勇,陈华贵.鄂北工程试验段 PCCP 管道水压试验研究分析[J].中国水利,2017,No.832(22):34-36.