

# Optimal Design of Hydraulic Test Head for Bifurcated Pipe of Jiaticde Hydropower Station in Indonesia

Xu Hui Hong Wang

Sinigydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611830, China

## Abstract

The installation of bifurcated pipes and hydraulic pressure tests are the most critical control links in the installation and construction of penstocks of hydropower stations, and they are the technical control difficulties and key points. Hydrostatic test is the main test method for detecting the overall structure of bifurcated pipes. It is widely used in the construction of hydropower stations. With the development of non-destructive testing methods, some designs use non-destructive testing to ensure the quality of bifurcated pipes, but hydrostatic tests are used as destructive tests. Has an irreplaceable role. The design of the head is the key to the hydrostatic test. The design selection, manufacture, and installation of the head have become important constraints in construction.

## Keywords

hydraulic test of bifurcated pipe; head; optimal design

# 印尼佳蒂格德水电站岔管水压试验封头优化设计

惠旭 王宏

中国水利水电第十工程局有限公司, 中国·四川成都 611830

## 摘要

岔管安装和水压试验在水电站压力钢管安装施工中属于最关键控制环节,属于技术控制难点和关键点。水压试验作为检测岔管整体结构的主要测试方法,在水电站施工中运用非常广泛,随着无损检测手段的发展,部分设计采用增加无损检测来保障岔管质量,但水压试验作为破坏性试验具有不可替代的作用。封头的设计又是水压试验的关键,封头的设计选用、制造、安装在施工中成为重要的制约因素。

## 关键词

岔管水压试验;封头;优化设计

## 1 引言

佳蒂格德水电站项目压力管道安装为洞内埋管,有上弯、竖井、下弯、下平、岔管、支管段六个单元分布组成,其中支管直径 $\Phi 2800/\Phi 2500$ ,总重量124.52吨。岔管型式为“人”字岔管,岔管总重为33吨,A锥10.13吨,月牙肋为3.49吨,B锥为10.13吨,C锥为9.46吨,分叉角度70度。岔管主要技术参数如下:

公切球半径: 2.3米	工作压力: 2.74兆帕
布置形式: “人”字形地下埋管	壁厚: 44毫米
材质: A537CL-1	水压试验压力: 3.42兆帕

本工程采用洞内现场拼装完成后,在安装位置进行水压试验,初步设计采用锥形封头,为了施工方便试压时包含岔管上下游主管和支管直管段的一个管节。

## 2 主要控制点

由于印尼当地属于火山沉积岩类型地质,隧洞围岩类型较差,对岔管和封头的安装带来了一定的困难。主要有以下几点:

- (1) 围岩类型较差,传统天锚、卷扬机系统的布置在工期和资源投入上存在较大局限性,采用隧洞支护顶拱加立柱支撑,利用手拉葫芦进行吊装的方式增加了施工难度。
- (2) 封头的选型、设计和安装对工期有较大的影响。
- (3) 水压试验的现场组织,质量安全管理是本次施工的重点。

## 3 封头优化

本工程主管与岔管连接处内径4米,经“人”字形岔管

变径为 2.8 米支管向两台机组供水，月牙肋板厚 9 厘米。

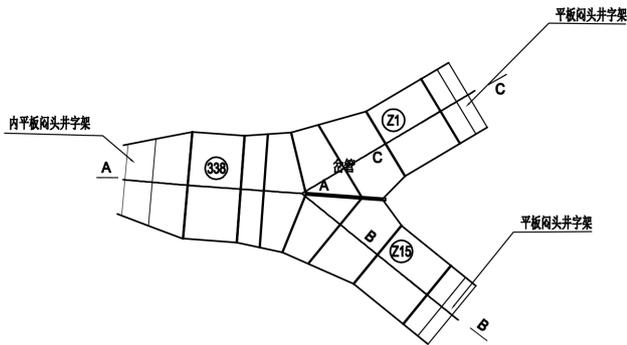


图 1 水压试验布置示意图

### 3. 优化思路

印尼佳蒂格德水电站项目在压力钢管制作筹划前期，考虑到印尼当地实际情况和其他国家项目特点，计划在现场进行水压试验封头的设计制作，经过方案初步讨论采用和岔管同样材质和壁厚的钢板进行封头的制作，结构布置形式为锥形封头。但在实际施工过程中，在资源投入的综合比较以及现场施工难易程度的比较下，项目对封头的设计进行了优化设计，找到了其中最优和最符合现场实际的一个方案<sup>[1]</sup>。主要优化思路如下：

(1) 封头制作容易，工艺简单，拼装和安装难度低。

(2) 封头安全系数高，在满足材料许用应力的条件下选用封头结构形式，保障施工质量安全和人身安全。

(3) 同等条件下，资源投入较少。

### 3. 优化方案比较

根据同类水电站岔管水压试验方案的经验，根据以往项目的施工经验以及现场实际施工情况，通过方案优化讨论，拟采用以下方案实施。

#### 3.2.1 主要方案

(1) 全部采用锥形封头加小平板封头的形式<sup>[1]</sup>

主管侧锥形过渡段参数：

D1=4000 毫米 60° 圆锥角 D2=2800 毫米 90° 圆锥角 D3=455 毫米

主管侧平板封头参数：D=596 毫米

支管锥形过渡段参数：

锥形过渡段：D1=2800 毫米 90° 圆锥角 D2=455 毫米

1# 和 2# 支管平板封头 D=455 毫米。

(2) 锥管加平板封头的形式<sup>[1]</sup>

主管侧过渡段参数：D1=4000 毫米 30° 圆锥角 D2=2800 毫米 60° 圆锥角 D3=1000 毫米

支管侧过渡段参数：D2=2800 毫米 60° 圆锥角 D3=1000 毫米

(3) 主管侧过渡锥加直径 2.8 米平板封头，支管侧 1.5 米直管加 2.8 米封头的形式<sup>[1]</sup>

主管过渡锥参数：D1=4000 毫米 62° 圆锥角 D2=3258 毫米

D2=3258 毫米 66° 圆锥角 D3=2558 毫米

#### 3.2.2 资源投入对比

制作安装难易程度：锥形封头大于平板封头，锥形过渡段加小平板方式锥管制作难度大，制作安装尺寸控制难度大，耗费人工、材料和机械台班都较多。平板封头在制作上结构形式简单，工艺最简单，制作安装尺寸控制容易<sup>[2]</sup>。

安全系数：锥形过渡段封头结构形式大于平板封头，经过技术和模拟论证，三个方案的安全系数都有保障。

资源投入：从工艺流程全过程来看，锥管制作的切割下料、焊接、尺寸矫正和安装尺寸控制方面都要投入大量的人力和时间，焊接主要为手工焊不便于采用自动焊接，但平板封头大部分采用自动焊和二保焊，有利于提高功效降低投入。

材料消耗：锥管制作会产生更多的边角余料，平板封头可以利用现场已有预料进行筋板的拼装，有利于节约材料消耗。

综上所述，方案三属于最优方案，方案一在制作安装难度、材料消耗和资源投入方面都最大，方案二属于折中方案。各方案投入比见表 2。

表 2 方案投入对比表

方案	资源投入					
	人	机	材料	方法	环境	工时
方案一	较多	较少	较大	困难	较高	较多
方案二	一般	一般	中等	中等	一般	一般
方案三	最少	较多	较少	容易	容易	最少

### 3. 主要实施经过

#### 3.3.1 方案三细化

根据方案的优化比较，在印尼佳蒂格德水电站岔管水压

试验中主要采用平板封头的结构布置形式。

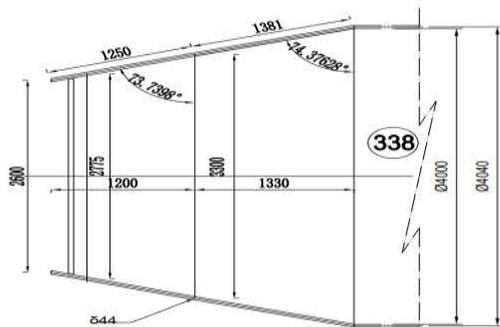


图2 主管侧封头布置示意图

主管侧采用两个过渡锥加一个平板封头的布置形式，降低了锥管的制作难度。

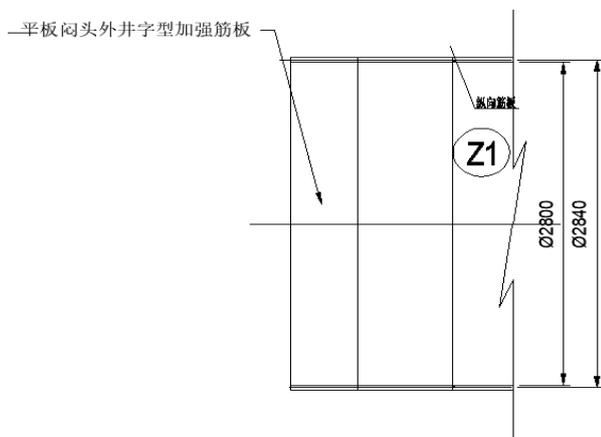


图3 支管侧封头布置示意图

支管侧采用1.5米直管加平板封头的布置形式，制作工作全部在制作场内完成，组装焊接方便快捷，节约了大量的人力和物力，同时采用埋弧焊和二保焊，提高了工作效率。

### 3.3.2 主要验证计算

本次水压试验根据设计计算校核，试验压力为不良工况最高水位的1.25倍<sup>[2]</sup>，3.42兆帕。如果采用2.8米的平板封头，板厚达到17厘米，材料和制作都受到很大的限制。根据现场实际施工情况，本次主要采用试验验证和模拟软件分析的方式进行安全性可靠性设计。

#### (1) 试验验证

在平板封头上加井字形隔板，力学计算模型可简化为两端固定的“T”形梁，由于隔板较多，截面特性计算较为繁琐，此处不做计算讨论。本次试压中在制作厂内对支管封头进行了压力试验，主要数据如下：

表3 平板封头试压数据记录表1

压力 (兆帕)	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5
	变形量 (毫米)	变形量 (毫米)	变形量 (毫米)	变形量 (毫米)	变形量 (毫米)
0	0	0	0	0	0
0.1	3	5	6.5	5	2.5
0.3	4	10	12	8	4.5
0.5	7	19	23	17	8.5
0.7	13	29	36	26	13.5
1.0	14	32	40	30	15.5
1.1	14	34	43	32	16.5
1.2	15	36	45	33	17.5
1.3	19	42	50	37	20.5
1.4	19	43	53	40	21.5

表4 平板封头试压数据记录表2

压力 (兆帕)	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5
	变形量 (毫米)	变形量 (毫米)	变形量 (毫米)	变形量 (毫米)	变形量 (毫米)
0	0	0	0	0	0
0.1	2	6	8	7.5	3
0.3	4	9.5	13	10.5	5
0.5	7	14.5	19	17.5	7
0.7	8	17.5	23	20.5	7
1.0	13	26.5	35	29.5	12
1.1	14	34	43	32	16.5
1.2	15	31.5	41	35.5	15
1.3	15	33.5	42	37.5	15
1.4	18	38.5	50	43	19

说明：测点布置在封头任意一条直径线上。

通过现场试验检测，平板封头变形最大处在圆心附近，和简支梁受均布荷载时最大弯矩出现在梁的中部相符，和三维模拟位移相符。根据试验结构，考虑在封头上加井字形筋板的方案可行，重点对中心部位进行补强。

#### (2) 应力分析结果

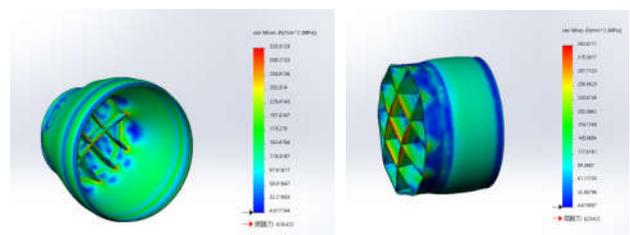


图4 封头三维模型应力分析

根据应力分析图，主管锥形过渡段和平板封头加内隔板局部最大应力位置为隔板与锥形过渡段焊接处，最大值为336MPa；支管侧平板封头加外隔板局部最大应力位置为隔板端部，最大值为344MPa。均未超过A537CL-1屈服极限为 $\sigma_s=345\text{MPa}$ 。

对局部集中应力的控制：锥管与锥管、锥管与隔板实行

过渡焊, 避免应力集中。

### (3) 位移分析结果

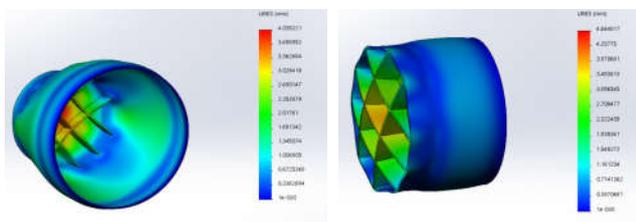


图5 封头三维模型位移分析

主管锥形过渡段及平板封头加内隔板和支管侧平板封头加外隔板变形较小。

## 4 成果检验

通过对印尼佳蒂格德水电站岔管水压试验封头设计制作的优化, 对施工中使用结构形式最简单, 但在安全性不高的布置形式, 安全顺利的完成了本次水压试验。在封头制作过程中自动焊、二保焊的使用提高了焊接速度, 单节支管和封头在制作场内进行拼装, 节约了现场安装时间, 直管的安装降低了安装难度。方案三的成功实施证明本方案安全有效切实可行。

## 5 总结

在围岩情况较差的条件下, 传统天锚-卷扬机系统吊装布置受限的情况下, 有效的利用隧洞原有支护, 综合考虑吊

装布置, 在安装位置对岔管整体组装和安装是施工的可行性选择。

在设计中, 在同样的压力条件下, 平板封头的结构形式对板厚要求最高, 但具有结构简单, 制作方便, 便于自动化生产(自动焊、二保焊), 在岔管水压试验中可以优化设计后使用, 将会更好的达到提质增效的目的。

锥形封头制作难度大, 分段太多将增加较大焊接量, 造成应力集中, 不便于自动化制作, 安装控制都较难, 不利于现场施工。

本次水压试验封头的优化设计, 从人机材的投入到效益的产出做了合理化的探索, 为同类施工积累了经验。

## 6 结语

印尼佳蒂格德水电站岔管水压试验的安全顺利完成, 为水电站岔管水压试验的施工积累了经验, 不良地质条件下的岔管安装, 平板封头的大胆使用都为今后的施工提供了有效的、合理化的参考。此方案在施工运用中值得推广。

## 参考文献

- [1] 水利水电工程金属结构设计规范, 水利出版社.
- [2] 康世荣等. 水利水电工程施工组织设计手册. 中国水利水电出版社. 1996.
- [3] 任金明等. 水利水电工程施工组织设计规范 (SL303-2004). 中国水利水电出版社. 2004.