

文章编号:1001-4179(2015)18-0020-04

# 双江口水电站水轮机筒形阀设置可行性研究

张 帅

(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:**为了使水电站能够安全、可靠、经济地运行,针对双江口水电站水轮发电机组容量大、运行水头较高,以及水流中含有大量泥沙等特点,开展了大量的技术研究与分析工作。基于分析结果,提出了相应的解决措施,即对水轮机设置筒形阀。系统地对设置筒形阀的必要性、可行性、经济性及其运行的可靠性进行了研究,结果表明,对该水电站水轮机设置筒形阀在技术上是可行的、经济上是合理的,而且能为类似条件的水电站水轮机设置筒形阀提供一定的参考。

**关 键 词:**水轮机;筒形阀;可行性研究;双江口水电站;四川省

中图法分类号:TV734

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.18.005

## 1 概 述

### 1.1 电站概况

双江口水电站位于四川省阿坝藏族羌族自治州马尔康县与金川县交界处的大渡河上游干流,为大渡河干流河段自上而下梯级开发规划的第 5 座水电站。双江口水库为大渡河干流河段梯级开发的上游控制性水库,水库总库容为 28.97 亿  $\text{m}^3$ ,消落深度为 80 m,调节库容为 19.17 亿  $\text{m}^3$ ,具有年调节能力。

水电站坝址处河段的天然河流泥沙年平均含沙量为 0.272  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;水库投运 20 a 以后,年平均过机泥沙含量为 0.035  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,汛期的过机泥沙含量为 0.067  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,过机泥沙粒径为 0.007~0.025 mm。

水电站的压力管道采用单机单管供水,4 条压力管道平行布置,管径为 8.3 m;电站采用首部式地下厂房,厂房内安装有 4 台额定功率为 500 MW 的水轮发电机组,建成后的供电范围为四川电网,并参与华中电网的西电东送。

### 1.2 电站基本参数

双江口水电站主要动能参数如下:

装机容量	2 000 MW
单机容量	500 MW
年利用小时数	3 854 h
年发电量	77.07 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$
保证出力	480 MW
电站特征水头如下:	
最大水头	251.4 m
加权平均水头	221.2 m
汛期加权平均水头	228.6 m
额定水头	215.0 m
最小水头	161.6 m

## 2 设置筒形阀的必要性

为了提高水轮机运行的可靠性、安全性和经济性,针对该水电站水轮机设置筒形阀的必要性,开展了比较全面的论证研究工作。现行 2004 年版《水力发电厂机电设计技术规范》(DL/T5186-2004)中也有相应的规定,指出:“对于多泥沙河流水电厂的单元压力管道输水管或压力管道较长的单元压力管道输水管,为水轮机装设进水阀或在水轮机流道中装设筒形阀,应进行技术经济比较论证”。

收稿日期:2015-05-18

作者简介:张 帅,男,高级工程师,硕士,主要从事水电站水力机械设计工作。E-mail:13683426262@126.com

双江口水电站水头高,单元压力引水管管道长,因此,有必要对其装设筒形阀。

## 2.1 筒形阀的综合作用

### 2.1.1 减轻停机后导水机构间隙磨损和空蚀

在机组停机时,如果水轮机前面未装设进水阀或未关闭进水阀,一旦导水叶关闭不严,通过水轮机导水叶立面和上、下端面间隙的高速含沙水流,将会造成导水机构的间隙空蚀和磨损。水电站的水头越高,过机的泥沙量越大,停机时间越长,损坏越严重,导水机构停机的漏水量就会越大,而且开、停机也就越困难。这种状况在多泥沙河流上的中、高水头电站显得尤为突出,轻则提门或开阀充水平压时间过长,重则根本无法实现平压<sup>[2]</sup>。

双江口水电站水头高,高水头区历时长(水头 200 m 以上每年历时大约为 9 个月),枯期蓄水承担调峰任务,机组停机台时数大,停机导叶关闭时,导叶立面、上/下端面间隙的水流速度达 46.1 m/s 以上,高速水流对导叶端部及顶盖、底环的相应部位造成的局部空化、空蚀对导水机构有较大威胁。而在泥沙磨损方面,由于该水电站大水库的沉淀作用,致使汛期的过机含沙量仅为 6.7 g/m<sup>3</sup>,这样的过机泥沙量不致于对导叶造成比较大的威胁。

导水机构的损坏程度和导叶漏水量的大小往往成为机组是否需要实施大修的确定性因素。若机组的大修周期缩短,会增加水电站年机组大修台时数、人工和设备材料费用以及大修期间的电能损失。由于筒形阀具有良好的密封性能,因此,在停机时只须关闭筒形阀,就可以基本上避免停机以后导水机构间隙空蚀和磨损现象的发生,起到保护导叶的作用,从而延长水轮机的检修周期。

根据漫湾电厂的运行经验,在采用筒形阀以后可以将水轮机的大修周期延长 3 倍<sup>[1]</sup>。笔者曾对和双江口水电站水轮机运行工况极为相似的小湾电站的状况进行调研,在调研期间,发现 6 号水轮机组在投运 3 a 之后,在对活动导叶进行大修检查时,其导叶竟然无明显的气蚀孔,金属面也光泽如新,而且导叶立面的金属加工痕迹仍然明显可见。这就充分说明,筒形阀确实可以起到保护导叶的作用。

综上所述,从保护导水机构、延长机组大修周期等方面的要求来看,对双江口水电站水轮机装设筒形阀是非常必要的。

### 2.1.2 基本消除导叶漏水

中高水头的水轮发电机组在停机时,如果水轮机的前面没有安装进水阀或在停机时没有关闭进水阀的

情况下,导水机构的零部件在水压作用下就会产生弹性变形,从而导致导叶立面、端面间隙增大,导叶的漏水量增加。对于小机组,其刚度相对而言也较大,产生的受压变形比较小,因此,上述影响也会比较小。对于大机组,特别是巨型机组,其尺寸大,零部件和机组的整体刚度相对较低,因而导水机构受到水压变形所增加的漏水量比较大。随着水电站运行年限的加长,导叶损坏程度将会进一步加剧,因此其漏水量也就会进一步增大。

笔者调研时发现,瀑布沟水电站的水轮机刚投运时,如果停机不关筒形阀,那么运行人员在水轮机层就能听到水轮机机坑内发出的明显水流声;但是在停机关筒形阀以后,在水轮机层就听不到机坑内水流声音。

按照《水轮机基本技术条件》(GB/T15468 - 2006)中的规定,新导叶的漏水量不得大于额定流量的 0.3%;按照《水轮机筒形阀基本技术规范》(GB/T 30141 - 2013)的规定,像双江口水电站这种规模的筒形阀,在运行初期的漏水量不得大于 0.01 m<sup>3</sup>/s。因此,当双江口水电站停机时,在只关闭导叶的情况下,水轮机的漏水量在发电初期为 0.78 m<sup>3</sup>/s 左右,那么以后这一漏水量将会逐年增加;但是在停机的同时,既关闭导叶又关闭筒形阀的情况下,其漏水量仅为 0.01 m<sup>3</sup>/s 左右。

综上所述,针对像双江口水电站这样的巨型水轮机,为了能够基本上消除导水叶的漏水影响,采用停机关阀的措施是非常必要的。

### 2.1.3 有效防止机组蠕动

筒形阀在停机状态下投入运行以后,导叶的漏水量会显著降低,这样就能够有效地防止机组发生蠕动,以保护推力轴瓦和主轴密封装置。

### 2.1.4 有效防止机组飞逸

在机组发生飞逸时,快速闸门需要 2 min 左右的时间才能下门到底。然而,此时的压力管道中的水柱压力仍然很高,在变水头的作用下,水轮机运行的水力条件十分恶劣。机组转速持续地增高会使振动加剧,如果退出飞逸的速度慢,飞逸持续的时间就会延长,那么对机组零、部件造成变形损坏的可能性就会上升,从而使飞逸的危害性更大。

筒形阀动水关闭时间为 60 ~ 90 s,与机组进门口防飞逸快速闸门相比,因筒形阀紧靠着转轮进口,因而能更快速有效地使机组安全地退出飞逸,达到缩短机组飞逸持续时间的目的。

### 2.1.5 缩短压力管道充水时间

双江口水电站压力管道的充水容积大约为 2.4 万

~2.8 万  $\text{m}^3$ ,即使导叶不漏水,压力管道和蜗壳的充水时间也会在 3 h 以上,若导叶漏水,那么充水所需时间就会更长,甚至不能充水平压。但是设置筒形阀以后,引水管进口闸门的下门机会少,偶尔的管道充水也不致于会因导叶漏水而延长充水的时间。因此该水电站在设置筒形阀以后,可以缩短压力管道的充水时间,提高机组启动的速动性。

#### 2.1.6 减少导叶漏水电能损失

如前所述,如果不设置筒形阀,那么在整个大修间隔期内,导叶的平均漏水量大约为  $0.78 \text{ m}^3/\text{s}$ ;但是,在设置筒形阀以后,其漏水量大约仅为  $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ 。因此,经过对比计算,双江口水电站水轮机在装设筒形阀前后,机组停机漏水所造成的电能损失分别为 2 343 万  $\text{kW} \cdot \text{h}$  和 30 万  $\text{kW} \cdot \text{h}$ ,即在装设筒形阀以后,水电站每年至少可以减少电量损失 2 313 万  $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

### 2.2 小结

通过以上分析可以看出,从保护导水机构、延长机组大修间隔周期、减少导叶漏水量、防止机组飞逸、提高机组启动速动性以及节能等方面的要求来看,双江口水电站水轮机装设筒形阀以后获得的综合效益比较明显。因此,非常有必要装设筒形阀。

### 3 经济性分析

如果将筒形阀安装在水轮机固定导叶与活动导叶之间,就不会因为安装了筒形阀而增大厂房的尺寸,因此也不会引起土建费用的增加。实际上,安装筒形阀只是增加筒形阀的设备费及安装费。根据近期对大型水轮机招标采购方面的统计,设置筒形阀所增加的投资费用大约为水轮机价格的 10% 左右,而双江口水电站设置 4 台筒形阀,大约会增加 3 000 万元的直接投资额。

如前所述,该水电站在装设筒形阀以后,每年至少可以减少电量损失 2 313 万  $\text{kW} \cdot \text{h}$  左右。按照四川省的标杆电价  $0.288 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$  计算,每年的增收大约为 666 万元。在该增收中,尚未计入在设置筒形阀以后的延长机组大修周期,以及减少大修工作量所节约的费用。

据初步估计,水电站运行大约 5 a 左右,就能把安装筒形阀的投资全部收回。双江口水电站投资的回收期为 21.5 a,4 台筒形阀的投资收回年限远小于水电站的投资回收年限。因此,该水电站设置筒形阀在经济上是合理的。

### 4 可行性分析

以筒形阀直径  $\times$  设计压力作为筒形阀设计制造的

难度系数见表 1。与国内外巨型筒形阀相比,双江口水电站的筒形阀设计制造有一定的难度。因此,必须对其设计制造的可行性开展研究,同时还应当对其可靠性给予足够的重视,以确保其安全可靠地运行。

#### 4.1 国内外的应用情况

早在 20 世纪 40 年代,法国奈尔匹克公司就提出了筒形阀专利权申请;60 年代初,外径尺寸为 3 560 mm、运用水头为 127 m 的筒形阀首先在法国 Monteynard 水电站投运。加拿大、法国、俄罗斯等国家在对筒形阀的研究、设计方面较先进,同时也是对筒形阀设计、制造以及使用较多的国家。我国在筒形阀的研究、使用方面起步较晚,但随着技术的引进,在筒形阀的研制技术方面发展很快。

在我国,从 20 世纪 90 年代初建设漫湾电站开始,特别是从 21 世纪初开始,筒形阀已得到了大力推广和运用<sup>[2]</sup>。国内外至今已投入运行的筒形阀大约有 150 台,筒形阀的最大直径达 11.025 m,最高工作水头达 320 m(见表 1)。

#### 4.2 运行的可靠性

国内大型筒形阀自建设漫湾电站时引进技术、自行设计制造以来,通过不断改进和完善,已在随后的大朝山、坑滩、小湾、光照、小浪底以及瀑布沟等项目的应用中得以日臻成熟。除了早期国内外有极个别筒形阀在投运初期出现过筒体变形或局部缺陷,但经改进设计、修复以后仍断续正常运行外,并未见到其他关于筒形阀出现事故的报道。大量筒形阀的运行实例表明,总体而言,筒形阀在静水中开关平顺、发卡现象少,在机组事故情况下,可动水安全关闭,保护机组。目前,大型筒形阀及其辅助设备的设计制造技术已成熟,运行的可靠性较高。

#### 4.3 制造的可行性

从表 1 可以看出,双江口水电站水轮机筒形阀的制造难度与德聂斯特洛夫斯克水电站筒形阀在同一水平,小于小湾、锦屏一级、锦屏二级和溪洛渡的筒形阀。筒形阀的筒体厚度也是筒形阀加工难度的一个参考指标,目前制造商为双江口水电站推荐的筒形阀筒体厚度为 160 ~ 175 mm,该厚度未超过小湾、锦屏一级、锦屏二级和溪洛渡等水电站巨型筒形阀的筒体厚度。因此,国内制造商目前已完全具备生产双江口水电站筒形阀的能力。

综上所述,国内制造商已为小湾、瀑布沟、锦屏一级以及溪洛渡等水电站生产了巨型筒形阀,因此接下来制造双江口水电站所用的筒形阀是完全可行的。

表 1 国内外筒形阀主要参数

电站名称	国别	水轮机 功率/ MW	最大 水头/ m	筒形阀 外径/ mm	筒形阀 壁厚/ mm	筒形阀 高度/ mm	投运 年份	难度系数 ( $\Phi \cdot H_{\max}/10^5$ )	制造公司
Monteynard	法国	83	127.0	3560	75	980	1962	4.5	Neyrpic&MIL
奥塔德 3	加拿大	196	146.3	6500	100		1969	9.5	Dominion
Monicouagan3	加拿大	197	94.2	7200	100		1976	6.8	Dominion
拉格朗德 2	加拿大	339	137.2	7849	127	1460	1979	10.8	Dominion&MIL * *
St - Guillerme	法国	58	275.0	3150	100	258 *	1982	8.7	阿尔斯通
拉格朗德 4	加拿大	300	116.7	7639	120	1444	1983	8.9	MIL
德聂斯特洛夫斯克	前苏联	388	165.6	11025	278	1049	1993	18.3	ЛМЗ
漫湾	中国	255	100.0	7450	108	1450	1993	7.5	东方电机
小浪底	中国	306	141.7	8400	145	1710	1999	11.9	福伊特(美)
大朝山	中国	230	89.7	7937	120	1815	2001	7.1	东方电机
溪洛渡	中国	784	229.4	9910	200	1620	2013	22.7	哈电
		784	229.4	9935	200	1500	2013	22.8	VSS
		784	229.4	9818	200	1435	2013	22.5	东方电机
小湾	中国	711	251.0	8686	180	1460	2009	21.8	东方/福伊特
瀑布沟	中国	611	181.7	9290	170	1583	2009	16.9	东方电机
				8890	160	1430		16.2	GE
锦屏一级	中国	611	240.0	8710	180	1244	2013	20.9	东方电机
锦屏二级	中国	611	318.8	8625	225	900	2012	27.5	上海福伊特
双江口	中国	510	251.4	7750	~180	1110	可研	19.5	

说明: \* 表示导叶高度, \* \* Dominion&MIL 各生产 8 台。

5 结 语

(1) 双江口水电站水轮机容量大、工作水头较高,为了确保水电站的安全、可靠运行,经过大量认真的分析研究,决定对其设置筒形阀,这样可有效消除水轮机停机后导水机构间隙产生的空蚀和磨损,减轻导水机构的快速损坏和漏水;快速、有效地防止机组飞逸和确保机组安全及可靠地退出飞逸;提高机组启动的速动性、运行的灵活性和可靠性。除此之外,仅在设置筒形阀以后减少的导叶漏水量每年所产生的电量即为 2 313 万 kW · h。

(2) 在设置筒形阀以后,大约会使设备的投资增加 3 000 万元。但是,仅考虑减少导水机构漏水造成的

电能损失每年所带来的直接收益即可达 666 万元,这样算来,就可在不到 5 a 的时间内收回投资,因此,经济效益非常显著。

(3) 国内制造商在制造了小湾、瀑布沟、锦屏一级以及溪洛渡等巨型水电站筒形阀以后,积累了丰富的经验,因此,为双江口水电站的水轮发电机组生产筒形阀是可行的。

参考文献:

[1] 武赛波. 阿海水电站水轮机设置筒形阀研究[J]. 红水河, 2008, (8): 59 - 62.  
[2] 俸培德, 胡卫, 郑正勤, 等. 大型水电站应用筒形阀的发展前景[J]. 水电站机电技术, 2006, (8): 8 - 11.

(编辑: 赵秋云)

Feasibility study on installation of cylindrical valve in hydraulic turbine  
of Shuangjiangkou Hydropower Station

ZHANG Shuai

(PowerChina Chengdu Engineering Corporation Ltd. , Chengdu 610072, China)

**Abstract:** To ensure the safe, stable and economical operation of the hydropower station, the technical study and analysis are conducted according to the characteristics of the turbine generator unit of Shuangjiangkou Hydropower Station including the large generator capacity, high operating head, and the large quantity of sediments in the flow. Based on the analysis results, correspondent measures are worked out: to install cylindrical valve in the turbine. The necessity, feasibility and economic efficiency of the cylindrical valve are studied. The results show that the installation is technically feasible and economically efficient, which will provide reference for the installation of cylindrical valve in turbines of other hydropower stations in similar conditions.

**Key words:** hydraulic turbine; cylindrical valve; feasibility study; Shuangjiangkou Hydropower Station; Sichuan Province