

# 大型水斗式转轮翻转吊具的研究及应用

杨超龙, 伍超, 何念民

(四川川投田湾河开发有限责任公司, 四川成都 610213)

**摘要:**针对田湾河大型水斗式转轮常规吊具在吊装及翻转中存在的安全风险大、效率低等问题,进行原因分析,改进设计和解决方案,在吊杆有限元核算和实际运用的基础上,总结出专用水斗式转轮翻转工具具有简单、省力、安全、高效的特点,对类似电站和设备的翻转及吊装有一定的借鉴和参考作用。

**关键词:**常规吊具;存在的问题;翻转吊具研制;翻转吊具的应用

**中图分类号:**[TM622];TK735+.1;U653.929.+1 **文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2022)04-0127-04

## Research and Application of the Large Pelton Runner's Overturning Tool

YANG Chaolong, WU Chao, HE Nianmin

(Sichuan Chuantou Tianwan Hydropower Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610213)

**Abstract:** in view of the problems of high safety risk and low efficiency in the lifting and overturning of the conventional hook of Tianwanhe large pelton runner, this paper analyzes the causes, improves the design and proposes solutions. Based on the finite element calculation and practical application of the hook, it concludes that this special hook has the advantage of simplicity, labor-saving, safety and high efficiency. It can be used as a reference for overturning and lifting of similar equipment.

**Key words:** Conventional hook; existing problems; research on overturning tool; application of overturning tool

## 1 概述

田湾河水电站均为大型立式水斗式<sup>[1]</sup>水轮发电机组。运行中,转轮在转轮室的空气中运转,无吸水高度<sup>[2]</sup>,因此,水轮发电机的安装和检修顺序则与混流式、转桨式水轮发电机组存在差别。混流式、转桨式水轮发电机组的安装和检修是按机组从上至下拆卸、从下至上回装的顺序进行,而水斗式水轮发电机组的转轮室位置比尾水高,转轮等水机部件可从机组旁的吊物孔吊入球阀层,再转运至转轮室进行安装,故可以与发电机同时进行安装和检修,不存在先后顺序问题。但是,为了节约电站建设成本,需缩短厂房布置宽度,则厂房各层的转轮吊物孔宽度尺寸不宜过大,所以,水斗式转轮需要垂直吊装,即先将转轮进行翻转操作,由水平调整为垂直,然后穿过狭小的吊物孔到达球阀层或安装间再进行翻回,最后进行转轮的水平安装或放置。水斗式转轮立式吊装见图1。

## 2 大型水斗式转轮常规吊具吊装存在的问题



图1 水斗式转轮立式吊装图

大型水斗式转轮常规吊具一般有转轮专用吊装螺具、钢丝绳、大吨位手拉葫芦等众多工器具,在吊装及翻转过程中,需要大量人力拉动手拉葫芦进行多次操作及调整。这种方式存在较多的弊端:(1)整个过程需要的工器具、人员较多,翻转时间较长;(2)在转轮翻转过程中,人员高空操作手

拉葫芦,坠落的安全风险较大;(3)水斗式转轮斗叶不规则的外缘不易保护,容易损伤甚至割断钢丝绳,存在高空吊装物坠落的风险。为保证作业安全,提高作业效率,研制一种简单、高效、省力的专用吊具十分必要。

### 3 大型水斗式转轮翻转吊具的研制

#### 3.1 吊具的特点及要求

因转轮在吊装及翻转过程中需要的常规吊具众多,结构不紧凑,分散的手拉葫芦需要大量人力,且存在较多的安全风险,针对这些问题,须分析转轮翻转吊具的特点,以便有效地解决。

(1)在吊装及翻转过程中,不再使用钢丝绳和手拉葫芦等工器具,以达到简单、高效及节约人力目的;

(2)应具有轻松翻转功能,用少量人力即可翻转转轮;

(3)配合转轮吊装的总体架构应符合顺利穿过厂房各层吊物孔的尺寸要求;

(4)在转轮立式吊装时,应有防转轮倾斜及翻转的措施。

#### 3.2 吊具的设计制造方案

根据转轮翻转专用吊具的特点,分析并设计制造方案:

(1)为使转轮吊装顺利穿过各层吊物孔,吊具与转轮装配后的尺寸应小于吊物孔。按要求,将吊杆设计为“弯月”形,“弯月”的一端在水斗式转轮中心连接受力,另一端伸出转轮外缘与厂房桥机吊钩连接,吊装时“弯月”型的吊杆将水斗式转轮进行半包围。

(2)为使转轮在翻转及吊装过程中不倾斜,吊具的吊点应与水斗式转轮的重心重合。由力矩公式  $M = F \times L$  可知,转轮重心的力臂  $L$  为“0”,故转轮重心的力矩也为“0”。翻转过程中,施加的外力力臂  $L$  为水斗式转轮的半径,外力力矩  $M = F \times R$ 。因转轮各部分的形状及质量基本上以重心为中点形成对称,各对称端的重力基本相等(即力矩大小相等,方向相反)。这样,只要在转轮一端施加外力,则施加外力端的力矩便大于对称端。因此,理论上施加较小外力即可使转轮翻转,达到省力的目的。

(3)吊具由两部分构成:一是吊具托板,固定于水斗式转轮上,托板采用凸台形,内嵌于水斗式

转轮内部以实现定位功能,将托板采用螺栓夹具固定于转轮螺栓孔;二是“弯月”型吊杆,为实现水斗式转轮的轻松翻转功能,固定连接部分与吊杆部分采用铰链连接。转轮翻转吊具示意图见图2。

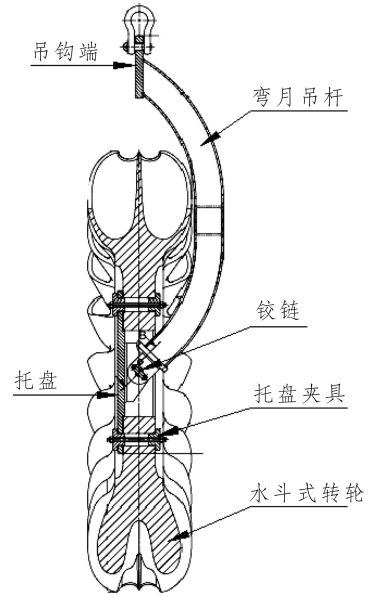


图2 转轮翻转吊具示意图

(4)为实现吊杆的轻巧功能,吊具采用矩形框结构的低合金高强钢材料。

(5)为防止转轮吊装时的翻动,吊装时将吊杆与铰链座用直销锁定。

#### 3.3 转轮翻转吊具主要部件尺寸及核算

##### 3.3.1 吊具的主要尺寸

水斗式转轮重量约 20 T,直径 3 700 mm,联轴法兰内孔直径 750 mm,联轴螺孔直径 105 mm,水斗斗叶宽 874 mm,各层转轮吊物孔宽 1 260 mm。根据上述参数和设计方案,结合水斗式转轮外形结构和尺寸,设计弯月吊杆中部为一段直杆,与水斗叶平行,两端为相同的圆弧型,两端的吊点结构根据功能要求进行设计,吊杆直线长度约 2 560 mm。考虑吊杆在吊装过程中会受到荷载的冲击,为提高吊具的安全系数,选用中空矩形框的低合金高强钢材料 Q345,结构截面尺寸为 250 mm×250 mm,壁厚 16 mm。

##### 3.3.2 吊具受力分析

根据专用吊具设计方案,本吊具主要由托板和弯月吊杆构成,铰链处为约束点,可简化为拉杆进行受力分析<sup>[3]</sup>,即吊杆受到的拉力为桥机吊钩

的拉力,与水斗式转轮和吊具的重力相等,方向相反。由于吊杆为弯月型,起吊过程中,转轮重力及桥机拉力作用于吊杆上,沿吊杆弯月面的中部产生两个相反的力矩,由吊杆内应力克服平衡,故吊杆的应力集中截面为吊杆弯月中部内缘,并向两端减小,使弯月面的垂直面应力较小。

### 3.3.3 吊具有限元计算

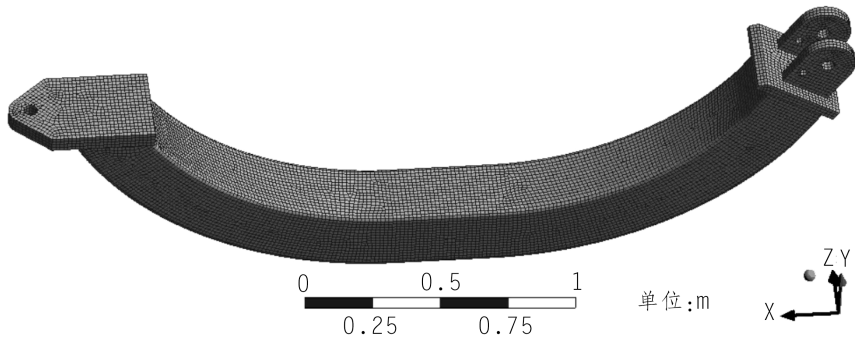


图 3 建模网格划分图

施加 15 t、20 t、25 t 荷载进行吊杆抗扭承载力模拟数值分析,可计算出吊杆的内应力和总位移。吊杆有限元计算分析结果见表 1。

表 1 吊杆有限元计算分析结果

序号	施加荷载 /t	最大总位移 /mm	最大内应力 /MPa
1	15	14.89	139.44
2	20	19.86	185.92
3	25	24.82	232.40

由表 1 可知,吊杆承受最大荷载 25 t 后的最大内应力为 232.4 MPa,远小于低合金高强度材料 Q345 屈服强度 345 MPa 和抗拉强度 310 MPa;卸载后,吊具恢复原状,只发生弹性变形,故转轮翻转专用吊具承吊 20 t 荷载其强度是合格的。

## 4 转轮翻转吊具的应用

### 4.1 设计效果

(1)采用“弯月”型吊杆替代原众多钢丝绳、重型葫芦和吊环螺栓等工器具,实现了吊具的简单化。

(2)“弯月”型吊杆为单吊点平衡吊,达到了水斗式转轮一次性起吊及翻转的目的,简化了转轮翻转时传统吊具多次倒换吊点的繁琐操作。

(3)将转轮重心与吊杆受力点与铰链处重合,达到水斗式转轮各处重力围绕重心的平衡<sup>[5]</sup>,在翻转时使各处重力做功相互抵消或不做功,实现

吊杆选用矩形框的低合金高强度材料 Q345,厚度 16 mm,由钢材牌号可知其屈服强度  $\sigma_b \geq 345$  MPa,查《GB50017—2003 钢结构设计规范》中的表 3.4.1—1 得其抗拉强度  $f \geq 310$  MPa。

将吊杆建立起模型和网格划分,根据金属材料弹性和塑性理论进行有限元<sup>[4]</sup>计算分析,建模网格划分图见图 3。

转轮轻松悬空翻转,在任意位置均可保持平衡。

(4)“弯月”型吊杆采用 Q345 低合金高强度结构钢和空心矩形截面结构制作,强度高,重量轻,承载弯矩大,安全系数高。同时,还可防止吊具与水斗叶的碰擦,避免了水斗叶的损伤。

(5)整个吊具采用吊杆与托盘组合,结构简单,拆装容易,维护量小,经久耐用,并可在流域梯级电站使用。

### 4.2 使用效果

(1)专用吊具与常规吊具吊装时可大幅节约投入资源。两种投入资源对比分析见表 2。

表 2 两种投入资源对比分析表

方式	工器具	工时
常规工 具吊装	1. 10 T×8 m 手拉链条葫芦 2 个	10 人× 24 小时=240
	2. 专用吊环螺栓 4 套	
	3. 12 T 卸扣 4 个	
	4. 10 T×10 m 吊带 2 根	
	5. $\Phi 19.5 \times 8$ m 钢丝绳 2 根	
	6. $\Phi 19.5 \times 6$ m 钢丝绳 2 根	
	7. $\Phi 19.5 \times 3$ m 钢丝绳 2 根	
	8. $\Phi 19.5 \times 2$ m 钢丝绳 2 根	
专用工 具吊装	1. 专用吊具 1 套	4 人× 4 小时=16
	2. 20 T 卸扣 1 个	
	3. $\Phi 19.5 \times 2$ m 钢丝绳 2 根	

(2)吊具在使用中达到了轻松翻转及省力的目的,通过表 2 对两种吊具的投入资源对比,专用吊具投入工器具和工时大幅减少,仅为常规工具

吊装时的1/15,同时也缩短了转轮更换的检修工  
期,减少了发电量的损失。

### 5 结 论

新型转轮翻转吊具是针对水斗式转轮结构特  
点及原常规吊具存在的安全风险大、效率低等问  
题,采用力学和结构理论分析计算进行设计的。  
新型翻转吊具结构紧凑、操作简单、省力高效、安  
全耐用、经济适用,解决了水斗式转轮常规吊具吊  
装时的操作繁琐、投入资源多、费时费事、安全风  
险高等问题,可在大型水斗式转轮翻转吊装中普  
遍应用,并以转轮重量、水斗宽度、转轮直径为基  
本参数,规范水斗式转轮翻转吊装工具,形成系列  
针对性产品,应用前景十分广泛。

#### 参考文献:

[1] 周文桐,周晓泉.水斗式水轮机水电站[J].大电机技术,

2008,(5):35-38.

[2] 周文桐,周晓泉.认识水斗式水轮机[J].大电机技术,2008,  
(2):54-61.

[3] 蔺海荣.材料力学[M].北京:国防工业出版社,2001.

[4] 黄国权.有限元法基础及ANSYS应用[M].北京:机械工业  
出版社,2004.

[5] 贾恒信,李明波,吕江涛.基于力矩平衡原理的物体重量重  
心测量系统的研究及应用[A].第十一届称重技术研讨会  
会议论文集[C].南京:中国称重协会,2012.

#### 作者简介:

杨超龙(1970-),男,四川崇州人,高级政工师,硕士,主要从事水  
电站生产经营管理;

伍超(1970-),男,四川都江堰人,高级工程师,本科,主要从事  
水电站安全生产及技术管理;

何念民(1974-),男,四川武胜人,正高级工程师,本科,主要从事  
水电站安全生产及技术管理.

(责任编辑:卓政昌)

[1] 周文桐,周晓泉.水斗式水轮机水电站[J].大电机技术,

(上接第126页)

再提前。因导流洞进水口淤积影响,使实际泄流  
曲线跟原设计方案有所差别,所以,初期导流洞封  
堵闸门下闸具体时机应同时参考竖井闸室封堵门  
前实测水位低于2 606.10 m进行选择。

#### 参考文献:

[1] 王小波,陶湘明.四川省雅砻江两河口水电站下闸蓄水规划  
专题报告[R].中国电建集团成都勘测设计研究院有限公  
司,2020,169-264.

[2] 杨会刚.大渡河长河坝水电站下闸蓄水研究[J].四川水力  
发电,2017,36(2):79-82.

[3] 罗智锋,杨子俊,黄登水电站水库初期蓄水方案研究[J].云  
南水力发电,2020,36(1):88-91.

[4] 陈强,赵凯,陆高明.杨房沟水电站下闸蓄水规划研究[J].  
四川水利,2021,(4):34-37.

[5] 叶飞武,蒋华波.百色水利枢纽汛末蓄水分析[J].广西水力  
发电,2019,(3):41-43.

#### 作者简介:

伍远朋(1988-),男,四川成都人,工程师,硕士,主要从事水利水  
电工程建设管理;

武晓杰(1982-),女,内蒙古赤峰人,高级工程师,硕士,主要从事  
水利水电工程建设管理与计划经营管理.

(责任编辑:卓政昌)

## 白鹤滩水电站13号机组正式投产发电

2022年9月18日,由中国能建葛洲坝机电公司承建的全球在建规模最大水电站白鹤滩水电站13号机组顺利通过  
72小时试运行,正式投产发电。13号机组的投入运行,标志着白鹤滩水电站右岸电站投入商业运行过半。

白鹤滩水电站位于四川省宁南县和云南省巧家县交界的金沙江河道上,总装机容量1 600万千瓦,是全球在建规模  
最大、技术难度最高的水电工程,共安装16台我国自主研发的全球单机容量最大功率百万千瓦水轮发电机组,13号机  
是白鹤滩水电站投产发电的第11台机组,2020年9月20日开始机组安装工作,2020年9月20日完成转子吊装,2022  
年9月15日进入72小时试运行阶段,试运行结果表明,13号机组运行稳定可靠,各项数据参数优良,符合白鹤滩水电站  
百万千瓦水轮发电机组“精品机组”标准。

(北极星水力发电网)

## 枕头坝二级水电站首仓混凝土浇筑

2022年9月15日,四川省“十四五”重点建设项目——枕头坝二级水电站首仓混凝土浇筑。该电站由国能大渡河流  
域水电开发有限公司投资开发,中国电建水电七局承建。系大渡河干流调整规划的第22级电站,位于乐山市金口河区  
境内,乐山市“挂图作战”重大项目。总装机容量300兆瓦,采用坝式开发,枢纽由左侧泄洪闸、右侧河床式厂房、两岸  
混凝土重力坝和鱼道等建筑物组成,最大坝高54米。电站建成后,每年可节约标煤45万吨,减少二氧化碳排放96万  
吨,为国家“双碳”目标和地方经济提供更有力的绿色能源。

(水电七局 余静、王冠英)