

# 水轮机导水机构设计的优化技术

戚孟镇 赵 燕

浙江富春江水电设备有限公司 浙江 杭州 311121

**摘要:** 在中国当前社会主义市场经济的建设步伐越来越加快的情况下,水力发电工程也取得了相当的进展,在水电站中,水轮机作为驱动电能提供所必需的重要装置,其利用效益直接关系到水电站工作的安全稳定性。为水轮机的正常运行,导水机构是其中调整机组工作的最主要元件之一,它可以确保水轮机在工作期间更安全、更平稳、更有效,对保障整个水电站的顺利运转具有重要积极意义。

**关键词:** 水轮机;导水机构;优化设计

## 1 水轮机导水机的结构原理和作用

水轮发电机组导水机构是调节水轮机运行工况的机构,是导叶及导叶的操作、传动、支撑机构组合起的零部件的总称。主要由底环、导叶、顶罩、轴套、拐臂、连杆机构、控制环、推拉杆及接力器等部件组成。当发电机负荷发生变化时,通过开关导叶控制过水流量,从而满足效率调节的生产要求;与此同时当机组正常因故障停止后,则利用它来切断水流,保证机组安全稳定运行。一般情况下,水电站所使用的水轮机导水机构均为圆锥式导水机构<sup>[1]</sup>。而圆锥式导水机构又是由顶盖、支持盖、底环、控制环、连杆机构、接力装置等主要零部件所共同组成的驱动机构。水轮机导水机构在水电站中也可以发挥着不容忽视的功能,其作用的主要表现形式为:水轮机导水机构能够按照水轮机的实际状况及时合理的调节水流的流量;同时能够对水轮机起到一定的制动作用,继而可以有效的防止水轮机组发生飞逸现象,保证了水轮机的正常运营。

## 2 水轮机导水机构导叶漏水的危害及因素

水轮发电机组导水机构的导叶立面间隙调节工作是调试与大修中的重要步骤,此项操作直接关系发电机组工作的安全性和经济效益,如立面间隙调节不正确,就可能出现导叶漏水的现象,不但将导致巨大的水力资源浪费现象,而且还会造成设备蠕动、停车不便等现象,给发电机组的安全运转造成了严重威胁,所以设备安装和检查应当保证立面间距正确。

### 2.1 经济效益的损失

众所周知,水轮机导水机构一旦持续出现漏水现象,最直接的损失便是水力损失,继而造成经济性的破坏,这也往往是最易被工作人员忽视的问题,而且随着漏水现象持续的时间越久,对水轮机甚至是整个发电站所造成的经济损失也就越大。

### 2.2 停机困难

水轮机停止后导水机构泄漏而产生的射流现象将使得发动机速度无法控制,因此无法加闸制动。特别是被现在所普遍使用的弹性塑料推力瓦,其摩擦系数约为普通钨金瓦的五分之一~四分之一,因为无法及时停机,所以造成的后果也无法控制。

### 2.3 可能导致烧瓦

更加要注意的是水轮机内导水机构的大量渗水现象,因其极有可能使机组发生蠕动现象,而且很易发生烧瓦的事件。通常在水电站中,因为水轮机的导水机构漏水,而造成推力瓦和导轴瓦遭到破坏的事件频发,因为发生了此类情况不但会影响人民的正常用电,给社会也造成了巨大的经济损失和能源损失。

## 3 水轮机导水机构设计过程的现状及问题

因为设计人员平时积累的技术信息较少,无法合理的运用现有方法查询、总结,而是反复绘制出与现有的方法大致上相同的结构,导致出图的复杂性,甚至绘制出大同小异的相似图样,使设计工作者的时间和心血浪费在重复性劳动中,致使生产过程工艺的操作中产生不合理的技术规程和技术装备多样性,使生产结构的继承性较差<sup>[2]</sup>。设计中普遍存在的一个现象就是,工程设计中往往随意增加精度和材料。尤其是对于年轻产品设计工作者,往往选用了精度高,刚性强度高的方案加以设计,以至于对某些非重要零部件往往加以了很大的精度等级和过高的加工材料,使零件的精度和刚性要求远高于产品的使用性能要求,由此导致了加工难度、制造周期长和生产成本增加等。产品设计人员常常是力求全面,过多注重于用途、特性等方面,从而忽略了产品设计的成本。比如在做设计工作时,由于片面的相信多采用优良钢材生产就可以提高设计质量,而某些其他的重要零部件却都采用了优良钢材生产,带来了很大的质量

损失。部分产品设计员由于经验不足,所了解的产品信息过少,对标准件、普通零件的制造过程、供货方式等信息掌握甚少,或者原本以为花费了很小的资金就可以购买标准零件,但偏要自己画图加工生产,不仅加大了生产成本,而且还延误了整个生产周期。

### 3.1 设计过程的调查分析和设计基准书的编制

经过对不同设计机构的考察发现,设计者研究的课题重点是:设计方法和结论的研究;产品设计时使用的规范和准则;生产工艺的研究;参考图样的设计;以及关于布置、运输、操作的设计等。目前在我国导水机构的设计领域中,不管经验丰富的还是较年轻的设计人员,都是通过类似的设计方式完成了设计,但二者在工程设计质量和效果上的差异还是很大的。通过对每个阶段设计人员设计步骤的深度剖析与详细对比,可以很清楚的发现设计中的重点与窍门所在,因而获知,提炼和完善经验丰富工程设计队伍的设计标准,就能够大大提高工程设计质量与效益<sup>[3]</sup>。可以着重针对经验丰富的设计人员在每一工程设计环节中,对设计的过程、方式、依据等实际情况加以考察,并逐步梳理为系统而全面的设计书面材料。整个设计流程中可以包括建筑尺寸标准和构件刚度估算等在工程技术上可以确定的内容和方式,并且能够用比较简单的文字表达。

造成设计图的重复性,甚至绘制成大同小异的相似图案,使设计员把时间和精力耗费在重复性劳动中,致使生产过程工艺的操作中产生不必要的技术规程和技术装备多样性使产品结构的继承性很差。设计中普遍存在的一个现象就是,工程设计中往往随意增加精度和材料。尤其是对于年轻产品设计员,总是选用加工精度高,刚性强度较好的方案加以设计,以至于对某些非重要零部件都给了很大的加工精度等级和过多的材料,从而导致了零件的精度和刚度选择都远高于对产品的使用性能要求,进而导致了生产难度、制造周期长和生产成本增加等。产品设计人员常常是要求全面,过多注重于性能、特点等方面,而忽略了产品设计的效益。进而导致了生产难度、制造周期长和和生产成本增加等。产品设计人员常常是要求全面,过多注重于性能、特点等方面,而忽略了产品设计的效益。部分产品设计员由于经验不足,所了解的产品信息过少,对标准件、普通零件的制造过程、供货方式等信息掌握甚少,原本以为花费了很小的资金就可以购买标准零件,但偏要自己画图加工生产,不仅加大了生产成本,而且还延误了整个生产周期。

### 3.2 设计过程的审核

水轮机导水机构设置的好坏,会对产品最终的质量

表现起到很重要的作用。正是由于这样,提高工程设计质量已经成为了一个十分关键的问题,而产品精准化也是提高工程设计质量的关键手段。但由于水轮机的导水机构生产过程并没有全部系列化,因此仅仅通过标准化还无法很好地提高工程设计品质<sup>[4]</sup>。各个时期需要依次提出所有需要考虑的信息,组织工程、生产、品保等各个部门的工作人员一起对有关的生产、布置、储运、操作等各方面信息加以审议与讨论,出现问题后及时在进行中采取措施给以处理,防患于未然。

## 4 水轮机导水结构与功能的优化设计策略

### 4.1 完善设计方案,提升设计水准

良好的设计方案是确保水轮机导水机构稳定性的关键保证,但是为保证水轮机导水机构工作的稳定性,导水机的总设计师在设计中必须具备较好的技术素质和较高端的技术眼光。目前,就中国在水轮机导水机构上的设计来说,与外国在很多的设计思路都不谋而合。设计师在设计的工作流程中,必须以计算流体动力学分析技术和模型试验为基准,同时应该优化水轮机的流管中的前导叶翼形、后转轮叶翼形和泄量锥,以降低水轮机产生卡门涡列速度,减小尾水管中偏心涡带和尾水管压力的气流脉动幅度。

### 4.2 引进国外先进技术的问题

纵观国外较为先进的设计制造方案,其水轮机导水机构制造方法和工艺比较先进,生产效率很高,不过因为语言和工人各自的工作习惯上的差异,在实际应用中,中国对外国产品的工艺了解和使用情况也就相对复杂,而目前,由于中国在这方面的技术水平与外国的产品比较,所以通常情况下,不建议进口国外的产品。当前,国家为提高水电工程的安全可靠性和协调稳定性,已经想尽了许多方法。最后确定了以电力电气智能化的辅助为前提的情况下,实现了水电工程建设的各项能力要求的充分深入的研究和实施使用。例如,就水电站智能化技术在其发电项目内部的推广来说<sup>[1]</sup>。我们要更准确快捷的进行对水轮发电机组、调速器和水轮机等主要装置模块的设计配置工作。在水电站成功运营的基础上,能在一定程度上对其经济价值产生巨大的提高,从而更为广泛的为中国水电站建设提供了性能更优良的发电能源,提供了重要的科技基础。

4.3 导叶立面间隙处理导叶立面密封,多半是直接通过将相邻的导叶头尾之间搭接封水,再通过与刚性的平面接触而形成密封,通常由于这个设计需要导叶本身尤其是尾部需要具备很好的刚度、耐磨性等,其结合的设计精度和光洁度高,且波浪率低,因此可以确保在封闭

后的状态良好达到很好的封水效果。但是实际情况，因为尾部材料单薄容易变形，或是锈蚀原因，光洁度低，波浪度高，导叶与纵向挂入的接触是不一致的，导叶自上而下的受力也不均，从而造成面积上小下大变形量不一致，故而间隙大小也不相同。而为降低热损耗和间隙空蚀，在相邻二导叶接触面的二个立面都要选择抗磨性能好的钢材，如堆焊耐磨不锈钢的焊丝或铺焊不锈钢板材。而在检修中立面间隙处理主要有以下四种方法：

#### 4.3.1 补焊法

个别导叶立面出现的大缝隙，在空腔部位补焊，最后抹平，保证平面的间隙正常。

#### 4.3.2 连杆调整法

只有在个别导叶立面缝隙过大，才能根据其周围导叶立面缝隙的状况，通过调节连杆尺寸，不合格的间隙由周围的导叶随机分布。

#### 4.3.3 捆绑法

当导叶的立面间隙多处不符合要求时，首先应把导叶的传动部分拆开，让各导叶均保持在自由位置，然后再用捆扎绳或导链将导叶的内部加以绑定，在捆绑过程中也需要用铜锤将导叶加以调整。

#### 4.4 导叶端面间隙处理

导叶的端部间隙多少和水电厂工作水头，而导叶高度则与转轮直径大小相关。通常，为避免在运行中导叶因上浮串动而卡紧，上端面间隙约为总间隙的60%~70%，下端面间隙则为总间隙的40%~30%，在水头高度大于200m时，最下端间隙仅为0.05mm，其余均留在上端间隙<sup>[2]</sup>。如果导叶端部间隙普遍偏大，可在底上加垫处理，如果内部间隙普遍偏小，可在顶盖上加垫处理，因上下空间分布失调而导致端部间隙不合格的，采用调整调节螺丝或止推压片等方法重新分配空间。

### 5 减少导叶漏水的新技术发展

#### 5.1 解决导叶漏水的新结构

在我国水电厂运营发展历史中，通常会由于导叶漏水而产生许多的安全事故，而这种事故在高水头多泥沙的水电厂中更是频频发生，因此为了防止甚至是杜绝导叶漏水而触发一些安全事故，则必须在水轮机导水机构

停止运行后立即将进水阀关闭，从而增加了电厂工作人员的工作量。而随着科学技术日新月异的高速发展，在电站的导水机构设计中产生了很多可以减小导叶渗漏的新结构和新技术。在活动导叶与稳定导叶之间，设置了圆筒阀门作为可以减小导叶渗漏的新型结构，其设计可以提高导叶避免渗漏的能力，同时当机组产生飞逸现象时，还可以将其作为事故阀门，以便更高效的解决机组飞逸问题，

#### 5.2 解决立面间隙漏水的新方法

就目前水电厂对立面间隙漏水进行维修的实际情况而言，目前传统修复的方法仅可以暂时缓解立面间隙渗漏现象。因此在水轮机使用过程中，人们就还需要不断地对立面间隙进行修复，就这样提高了水电厂的整体修复价值。为更有效的处理建筑立面空间渗漏现象，建筑行业相关学者研究了采用的纵向和横向造斜工艺<sup>[3]</sup>。所谓纵向造斜工艺，是叶尾部机械力结合的自下而上变薄的造型方式，该种工艺针对活动导叶的止水效果比较显著。

#### 结语

由于当今社会的高速发展，在现代社会中，随着人类对电力的需要量与日俱增因此不得不尽最大努力去提高电站的发电能力和减少电能损失。对水轮机导水机构进行优化设计，不仅能够有效的保证水电站发电的稳定性，并且还减少电能的损失，带动电力行业的发展，而且还可以给予用户以更直接的经济效益，因此对水轮机导水机构进行优化设计任重道远。

#### 参考文献

- [1]邢伟, 蒋国良, XINGWei, 等. 贯流式水轮机座环结构的优化设计[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(4):392-394.
- [2]周二保. 陈村#3水轮发电机组增容技术改造[J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2014, 19(01):66-71. [2017-09-02].
- [3]吕建平, 王桂忠. 长诏水电站水轮机导水机构安装的问题与处理[J]. 小水电, 2012(5): 68-69.
- [4]李士军, 陶红. 桐子林电站水轮机导水机构设计总结[J]. 电站系统工程, 2016(2): 71-72.