

# 小型水电站混流式水轮机的选型设计

郑发平

(西昌学院 工程技术学院, 四川 西昌 615013)

**【摘要】**从小轮机选型设计的主要内容、所必需的资料及主要参数选择等几个方面简述了小型水电站混流式水轮机的选型设计,探讨了混流式水轮机选型设计应注意的问题,为小型水电站混流式水轮机的选型设计及研究提供参考。

**【关键词】**小型水电站;混流式水轮机;选型设计

**【中图分类号】**TK730.2 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2010)04-0069-03

水电站是将水能转换成电能的工厂。根据我国颁布的水利水电枢纽工程等级划分规定,电站装机容量小于25MW的称为小型水电站。水轮机是水力发电的关键设备之一,它是将水流的能量转换为转轮的旋转机械能的机器。水力机械分为水力工作机和水力原动机两大类,水轮机属于水力机械中的水力原动机,它又分为很多类型。现代的水轮机一般按水流能量转换的特征分为两大类,即反击型水轮机和冲击型水轮机。混流式水轮机属于反击式水轮机中应用最广泛的一种水轮机,中小型混流式水轮机适用水头一般为20~450m。与其他型式水轮机相比,当运行条件相同时,混流式水轮机的能量性能比水斗式好,抗气蚀性能比轴流式强,额定负荷时效率高,结构简单,制造、安装方便,运转可靠<sup>[1]</sup>。

自1849年英国人J.B.Francis(弗朗西斯、法兰西斯)发明了世界上第一台混流式水轮机以来,人类利用水能发电已历经150余年。150年来,单机容量从当初几千瓦的小机组到现今800余MW的巨型机组,电站装机容量从数十千瓦的小水电站到现今数百万乃至千万千瓦以上的巨型水电站,发展相当迅速。水轮机特性的优劣是影响水电站经济性的重要因素。水轮机技术特性(包括能量特性、空化特性和运行稳定性)与经济性,以及代表水轮机技术特性的各参数(比转速 $n_s$ 、单位转速 $n'_1$ 、单位流量 $Q'_1$ 、水轮机效率 $\eta$ 、空化系数 $\sigma$ 等)之间,存在着相互制约、相辅相成的辩证关系。水轮机的选型是根据电站的水文、水能等基础资料,结合工程总体布置和水轮机的水力特性、结构、材料及制造工艺等问题,按照技术先进、经济合理的原则,选择和确定水轮机的技术参数。为了经济地开发水电资源,合理选择水轮机技术经济参数并进行优化,是水电资源开发、咨询和设计阶段的主要任务,也是水轮机设备采购招标投标的重要工作<sup>[2]</sup>。

## 1 水轮机选型设计的主要内容及资料

### 1.1 水轮机选型设计的主要内容

- (1)选择水轮发电机组的台数及单机容量。
- (2)选择水轮机的型号及装置方式。
- (3)确定水轮机的轴功率、转轮直径、同步转速、吸出高度、安装高程等主要参数。
- (4)绘制水轮机的运转综合特性曲线。
- (5)确定蜗壳和尾水管的型式及尺寸。
- (6)选择调速器及油压设备。
- (7)估算发电机的尺寸等有关参数。
- (8)提出在特性或结构上的某些特殊要求;进行设备投资总概算。

### 1.2 水轮机选型设计所必需的基本资料

- (1)国家和地方所制定的有关水电建设的方针、政策和设计规范等文件资料。
- (2)水轮机设备的制造水平及技术资料。
- (3)水电站有关技术资料,包括河流开发方案,水库调节性能,枢纽布置,地形、地质资料;河流水质泥沙资料;水电站的流量及水头;水电站上、下游水位及下游水位-流量曲线;水电站总装机容量和机组在电力系统中的地位及运行方案等。
- (4)运输情况及安装技术条件等资料。
- (5)国内外正在设计、施工和已运行的同类型水轮机及其水电站的有关资料。

## 2 机组台数及单机容量的选择

水电站总装机容量等于机组台数和单机容量的乘积。机组容量或台数的选择,应根据水电站枢纽布置、总装机容量及其在电力系统中的比重、梯级联合调度运行的灵活性、运输条件等因素提出不同方案,经技术经济比较来确定。规程规定机组台数一般不少于两台<sup>[3]</sup>。

## 3 混流式水轮机的型号及装置方式选择

### 3.1 型号选择

水轮机型号的选择是在已知机组单机容量和

收稿日期:2010-09-15

作者简介:郑发平(1965-),男,四川西昌人,讲师,主要从事水利水电工程方向的教学和研究工作。

各种特征水头的情况下进行的,一般可采用下列两种方法:

(1)根据水轮机系列型谱选择

根据已知水电站水头可根据水轮机系列型谱参数表选择合适的水轮机型号<sup>[4]</sup>。

(2)套用机组

根据国内正在设计、施工或已运行的同类型水电站的有关资料,在设计水头接近、技术经济指标相当的情况下,优先套用已经生产过的机组。

3.2 装置方式的选择

小型水电站中,对单机容量较大、安装高程较低的水轮发电机组,常用立轴装置方式,即水轮机轴和发动机轴在同一铅垂线上,并通过法兰盘联接。对机组转轮标称直径 $D_1$ 小于1m,吸出高度 $H_s$ 为正值的水轮机,常用卧轴装置方式,以降低厂房高度。

4 混流式水轮机的主要参数选择

水轮机参数选择的方法较多,一般常用模型综合特性曲线选择水轮机的主要参数,即首先根据模型综合特性曲线,利用相似公式计算出原型水轮机的主要参数,然后把已选定的原型水轮机主要参数换算成模型参数,绘在模型综合特性曲线图上,以检验所选的参数是否合适,如果合适,则这些参数即为所选参数。

4.1 转轮标称直径 $D_1$ 的选择

首先,计算转轮标称直径 $D_1$

$$D_1 = \sqrt{\frac{Nr}{9.81Q'_1 H r \sqrt{H r \eta}}} \text{ (m)} \quad (1)$$

式中: $Nr$ 为水轮机的额定出力,KW, $N_r = N_g / \eta_g$ ;  $N_g$ 为发电机的额定出力, $\eta_g$ 为发电机的额定效率,对于中小型发电机, $\eta_g = 96\% \sim 98\%$ ;  $H_r$ 为水轮机的设计水头,单位m; $Q'_1$ 为水轮机的单位流量,单位 $m^3/s$ ;  $\eta$ 为水轮机模型在限制工况时的效率。

然后,根据上述计算的 $D_1$ 查表1,选择合适的转轮标称直径。

表1 反击式水轮机转轮标称直径 单位:cm

25	30	35	(40)	42	50	60
71	(80)	84	100	120	140	160
180	200	225	250	275	300	330
380	410	450	500	550	600	650
700	750	800	850	900	950	1000

4.2 水轮机转速 $n$ 的计算

$$n = \frac{n'_1 \sqrt{H}}{D_1} \text{ (r/min)} \quad (2)$$

式中: $n'_1$ 为选用原型最优单位转速 $n'_{10}$ , $H$ 为选

用加权平均水头 $H_{av}$ 。

先用式(2)计算出转速 $n$ ,再根据表2选择合适的发电机标准同步转速。

表2 磁极对数 $P$ 与同步转速 $n$ 关系表

P	3	4	5	6	7	8
$n$ (r/min)	1000	750	600	500	428.6	375
P	9	10	12	14	16	18
$n$ (r/min)	333.3	300	250	214.3	187.5	166.7
P	20	22	24	26	28	30
$n$ (r/min)	150	136.4	125	115.4	107.1	100
P	32	34	36	38	40	42
$n$ (r/min)	93.8	88.2	83.3	79	75	71.4
P	44	46	48	50		
$n$ (r/min)	68.2	65.2	62.5	60		

4.3 工作范围的检验

按最大水头 $H_{max}$ 、最小水头 $H_{min}$ 和选定的标称直径 $D_1$ 、同步转速 $n$ 分别计算出相应的最小单位转速 $n'_{1min}$ 、最大单位转速 $n'_{1max}$ ;按设计水头 $H_r$ 和选定的 $D_1$ 计算出水轮机以额定出力 $N_r$ 工作时的最大单位流量 $Q'_{1max}$ 。然后在水轮机模型综合特性曲线图绘出 $n'_{1max}$ 、 $n'_{1min}$ 和 $Q'_{1max}$ 为常数的直线。若这些直线之间包含了主要综合特性曲线的高效率区,则所选择的 $D_1$ 和 $n$ 值是合理的,否则需适当调整 $D_1$ 、 $n$ 值,并重新检验其工作范围的合理性。

4.4 吸出高度 $H_s$ 的计算

水轮机在不同工况下的气蚀系数 $\sigma$ 是不同的,在方案比较阶段可初步按设计工况下的 $\sigma$ 值进行计算。待方案选定后再进一步根据水轮机的运行条件、厂房的开挖情况进行不同 $H_s$ 方案的技术经济比较,选定合理的 $H_s$ 值。

5 混流式水轮机选型设计应注意的几个问题

5.1 应用于高水头小型水电站的混流式水轮机,当引用流量较小时,水轮机转轮的流道较窄,常容易被污物堵塞而影响正常发电。若不能采取有效的工程措施加以解决,则选择水斗式水轮机为宜。

5.2 由于混流式机组尺寸小、转速高、机组造价低、能量指标高,故目前国内500m水头段的水电站常选用混流式水轮机<sup>[5]</sup>。

5.3 应用于30m以下水头段的混流式水轮机,机组转速低,主机设备价格比轴流式机组高,起吊设备吨位也高,采用轴流式水轮机为宜。

5.4 多泥沙河流的水电站,在选择水轮机参数时一般可采用合理的低参数转轮。途径之一就是把手头较高一些的转轮在本电站降低水头使用,以降低过机水流速度,减少泥沙磨损。水轮机的核心

是转轮,不锈钢材料强度高,韧性好,并具有抗空蚀、抗磨损、便于铸造和焊接等性能,建议采用全不锈钢转轮,或至少对转轮易空蚀和磨损部位,采用不锈钢材质。

5.5 水轮机选型应重视稳定性问题,将稳定性作为重要的技术经济性能加以研究。应从水轮机的水力设计、结构和部件的设计、机组的安装等方面,并参考已运行的类似电站的经验,对可能出现的影响机组运行稳定性的水力、电气和机械因素进行分析、计算和预测,并选择预防、控制和改善水轮机运行稳定性的措施。如在水力方面选择无涡区较宽、水力脉动较小的转轮模型;选择较高的水轮机设计水头;水头变幅较大的电站设置机组最大出力等。

#### 注释及参考文献:

- [1]刘启钊.水电站(第三版)[M].北京:中国水利水电出版社,1998:1-83.
- [2]梁章堂.中小型水电站水轮机选型与优化的探讨[J].中国农村水利水电,2004,(7):93-95.
- [3]王春暖.湖北几座中小型水电站的水轮机选型问题[J].湖北水力发电,2003,(1):72-76.
- [4]湖北省水利勘测设计院.小型水电站机电设计手册[S].湖北:水利电力出版社,1985.
- [5]沈源国.500m水头段高水头混流式水轮机的选型设计[J].小水电,2005,(4):27-29.

在水轮机过流部件结构和流道方面,如转轮采用奇数叶片数,采用X形叶型及长短叶片,采用较高的尾水管高度,并设置补气装置等。

#### 6 结语

适合于小型水电站的水轮机类型较多。同一座水电站,既可选择混流式水轮机,也可选择轴流式水轮机或水斗式水轮机。如何经济合理地完成水轮机选型设计,一直是水利水电各专业高校师生和同行探讨研究的课题,本文结合多年水电站教学和建设经验,综合有关资料,对小型水电站混流式水轮机的选型设计进行了初步探讨,目的是抛砖引玉,为高校师生的教学和同行的研究设计工作提供参考。

## Model-selection and Design of Francis Turbine for Middle Hydropower Station

ZHENG Fa-ping

(*Engineering School of Xichang College, Xichang, Sichuan 615013*)

**Abstract:** This article expatiates the main contents, essential materials and main parameters of the model selection and design of francis turbine for middle hydropower station. It also probes into the problems that need attention design and offers some reference for the selection, in the design and research of francis turbine.

**Key words:** Middle hydropower station; Francis turbine; Model-selection and design