

浅析反击式水轮机吸出高度 H_s 的影响因素

张黎

(绵阳水利电力学校,四川 绵阳 621000)

摘要: 针对确定反击式水轮机吸出高度 H_s 这样一个综合的技术经济指标的影响因素进行了研究分析,提出了改进吸出高度 H_s 计算方法的途径。其研究结果对在实际工程中确定反击式水轮机吸出高度 H_s 和安装高程具有一定的参考价值。

关键词: 反击式水轮机;吸出高度 H_s ;汽蚀系数 σ

中图分类号: TK73;TV737

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2012)03-0099-03

1 概述

反击式水轮机吸出高度 H_s 是指转轮叶片背面压力最低点 K 点至下游水面的垂直高度。它是反击式水轮机选型设计中计算安装高程时必须确定的一项重要参数。

1.1 吸出高度 H_s 的计算公式

从理论上讲,要避免翼型汽蚀,吸出高度 H_s 的计算公式要采用以下两个公式之一:

$$(1) H_s \leq 10 - \frac{\nabla}{900} - (\sigma + \Delta\sigma)H$$

式中 ∇ 为水轮机安装高程(m); H 为水轮机工作水头(m); σ 为水轮机汽蚀系数; $\Delta\sigma$ 为与工作水头有关的汽蚀系数修正值。

$$(2) H_s \leq 10 - \frac{\nabla}{900} - K_\sigma H$$

式中 K_σ 为汽蚀安全系数。

1.2 确定吸出高度 H_s 的意义

翼型汽蚀对水轮机的运行有很大的危害,是影响水轮机效率的主要因素。安装水轮机时,可通过选择适宜的吸出高度 H_s 来提高转轮出口处的压力值,以避免翼型汽蚀的发生。吸出高度 H_s 越小,亦即安装高程 ∇ 越低,水轮机越不易发生汽蚀,但会引发一些问题,比如,电站的挖方量大,土建投资增大,多数情况下经济上未必合理;水轮机尾水管补气困难等。可见,吸出高度 H_s 是一个综合的技术经济指标,其确定涉及诸种影响因素。

2 对吸出高度 H_s 确定的影响因素进行分析

确定吸出高度 H_s 的影响因素分为两类:

(1) 直接与吸出高度 H_s 计算有关的影响因素:

这类影响因素属于技术性质,包括起算点,安装高程 ∇ , 汽蚀系数 σ , 汽蚀系数修正值 $\Delta\sigma$, 汽蚀安全系数 K_σ , 工作水头 H 。

(2) 目前与吸出高度 H_s 计算没有直接关系的影响因素: 这些影响因素有些与经济有关; 有些是因汽蚀理论不完善而还没有找到与吸出高度 H_s 之间规律的; 有些则为两者兼有的。

2.1 对直接与吸出高度 H_s 计算有关的影响因素的分析

2.1.1 起算点对吸出高度 H_s 的影响

吸出高度 H_s 的起算点是反击式水轮机转轮叶片背面接近出口边的压力最低点 K 。但在实践中要确定这一压力最低点是很困难的,而且该点随水轮机运行工况变化而改变。为统一起见,工程实践中,对不同型式和装置的反击式水轮机作了以下规定: 立轴混流式的 H_s 是指下游水面至导水机构底环平面的距离; 立轴轴流式、斜流式的 H_s 是指下游水面至转轮叶片旋转中心线与转轮室内壁交点的距离; 卧轴反击式的 H_s 是指下游水面至叶片最高点的距离。

在实际运行中,转轮叶片背面压力最低点 K 点比起算点的位置低,采用这种起算点计算吸出高度 H_s 很方便,而且偏于安全。

2.1.2 汽蚀系数 σ 对吸出高度 H_s 的影响

水轮机在不同工况下的汽蚀系数 σ 是不同的,所以,应根据不同水头下的轴功率 N 及相应的 n_1 和 Q_1 值在模型综合特性曲线上查找出相应的汽蚀系数 σ 。在查找出汽蚀系数 σ 后将其修整(修整方法如 2.1.3 所述),并与对应的工作水头 H 一起代入吸出高度 H_s 的计算公式中进行计算,

从而得到一系列吸出高度 H_s 值,在计算出的所有吸出高度 H_s 中选择最小值。

2.1.3 汽蚀系数修正值 $\Delta\sigma$ 和汽蚀安全系数 K_σ 对吸出高度 H_s 的影响

吸出高度 H_s 计算公式中的汽蚀系数 σ 采用的是模型汽蚀系数 σ_m 。考虑到模型汽蚀系数 σ_m 是由模型进行外特性试验获得的,故要对模型汽蚀系数 σ_m 作修正,修正的方法有以下两种:

$$(1) \sigma = \sigma_m + \Delta\sigma.$$

在水轮机模型综合特性曲线上查得模型汽蚀系数 σ_m 后,对其加上汽蚀系数修正值 $\Delta\sigma$ 。 $\Delta\sigma$ 可从图 1 中的 $\Delta\sigma$ 与工作水头 H 的经验关系曲线上查得。

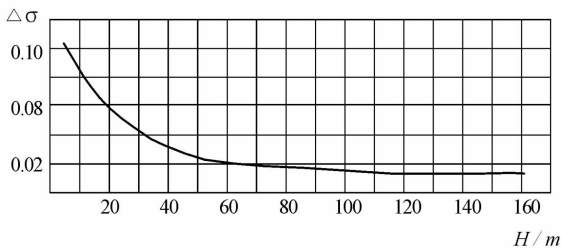


图1 气蚀系数修正值 $\Delta\sigma$ 与水头 H 关系曲线图

$$(2) \sigma = K_\sigma \sigma_m.$$

在水轮机模型综合特性曲线上查得模型汽蚀系数 σ_m 后,对其乘上汽蚀安全系数 K_σ 。一般来说,对于混流式水轮机, $K_\sigma = 1.4 \sim 1.5$; 对于轴流式、贯流式水轮机, $K_\sigma = 1.2$; 对于斜流式水轮机, $K_\sigma = 1.2 \sim 1.4$ 。

通过对汽蚀系数 σ 进行修正,在计算吸出高度 H_s 时就留有一定的安全余量。

2.1.4 尾水位与水轮机过流量的关系对吸出高度 H_s 的影响

吸出高度 H_s 计算公式中出现的安装高程 ∇ 越大,吸出高度 H_s 则越小。通常,安装高程 ∇ 和电站最低尾水位 ∇_w 之间的差值对平均大气压的影响甚微。所以,计算吸出高度 H_s 时,安装高程 ∇ 一般采用水电站的最低尾水位 ∇_w 。最低尾水位 ∇_w 可根据水轮机的过流量从图 2 中的尾水位与水轮机过流量关系曲线中查得。

2.1.5 工作水头 H 对吸出高度 H_s 的影响

根据吸出高度 H_s 的计算公式,工作水头 H 越大, H_s 越小。在水轮机选型设计中确定吸出高度 H_s 时,一般采用设计水头 H_r ,然后用最大水头

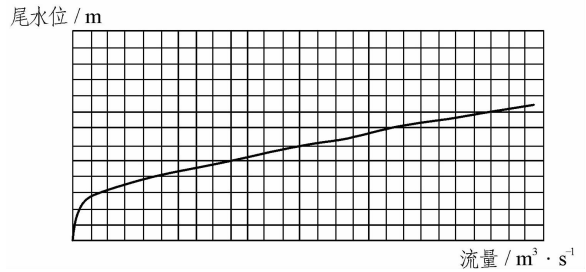


图2 尾水位—水轮机过流量关系曲线图

H_{\max} 和最小水头 H_{\min} 进行校核,从中选择出吸出高度 H_s 的最小值。从理论上讲,采用吸出高度 H_s 的最小值,可以保证水轮机在各种工况下不会发生翼型汽蚀。

2.2 对目前与吸出高度 H_s 计算没有直接关系的影响因素的分析

因为流体力学和汽蚀理论的不完善、试验设备的不足以及试验方法的误差,故对下面将要分析的影响因素与吸出高度 H_s 之间的关系还不能借助一个数学公式进行描述,笔者只能依据现有的理论、实践经验和试验结果的统计来简要的定性分析它们对吸出高度 H_s 的影响。

2.2.1 水轮机能量性能对吸出高度 H_s 的影响

水轮机比转速 n_s 的高低反映了水轮机能量性能的高低,而比转速 n_s 越高,汽蚀系数 σ 越大。为了不产生翼型汽蚀,则要求吸出高度 H_s 越小。

2.2.2 土建投资对吸出高度 H_s 的影响

从理论上讲,吸出高度 H_s 越小,转轮叶片越不易发生翼型汽蚀,但这就意味着电站基础开挖深度的增加与土建投资的增加;相反,适当增大吸出高度 H_s ,可以减少土建投资。

2.2.3 转轮叶片水力设计对吸出高度 H_s 的影响

设计出优良的转轮叶片翼型,可以使水流获得良好的绕流条件,从而改善汽蚀性能,降低汽蚀系数 σ ,故可适当增大吸出高度 H_s 。

2.2.4 转轮结构对吸出高度 H_s 的影响

对于混流式水轮机来讲,转轮叶片采用 X 型叶片;或适当减小转轮出口直径,下环采用零锥角或小锥角;或采用无下环结构。这些结构设计减小了叶片的弯曲度,使水流顺畅,不产生加速突变、回流和漩涡,从而改善了水力性能与汽蚀性能,故可适当增大吸出高度 H_s 。

2.2.5 抗汽蚀材料和材料表面防护对吸出高度 H_s 的影响

转轮应采用抗汽蚀性能优良的材料,比如 ZG0Cr13Ni6 和 ZG0Cr13Ni4 不锈钢。采用高效抗汽蚀的防护材料进行防护,是延长转轮使用寿命的重要手段之一,其主要措施是在通流部件上采用各种防护复合层,其方法有铺焊、堆焊、喷焊、表面涂层、搪瓷等,故可适当增大吸出高度 H_s 。

2.2.6 制造水平对吸出高度 H_s 的影响

提高加工工艺水平,包括转轮材料的冶炼方法、铸造工艺以及结构的焊接、叶型加工、铲磨、检测手段、热处理水平及其质量保证体系等,这些措施都将提高转轮的成品质量,进而提高水轮机抗汽蚀性能,故可适当增大吸出高度 H_s 。

2.2.7 水质对吸出高度 H_s 的影响

如流经转轮的水流中的含沙量、含气量大,水温偏高,则汽蚀系数 σ 偏大,故要适当的减小吸出高度 H_s 。

2.2.8 运行稳定性对吸出高度 H_s 的影响

吸出高度 H_s 的大小与转轮叶片翼型汽蚀和尾水管压力脉动密切相关。运行中吸出高度 H_s 有较大裕量对运行稳定有利的一面,但下游水位过高会影响尾水管或水轮机主轴中心孔的补气效果,将对稳定运行产生负面影响。

2.3 改进吸出高度 H_s 计算方法的途径

水轮机运行实践表明,即使水轮机在严格遵守吸出高度 H_s 的限制条件下,翼型汽蚀也经常发生,表明目前采用的方法是不完善的。另外,保证一定的吸出高度 H_s 也仅仅是防止翼型汽蚀的必要条件。汽蚀的防护应该是一个包括理论设计计算、制造、运行、检修在内的综合防护体系。为此,可通过以下一些途径改进吸出高度 H_s 的计算方法:

(1)采用先进的三维黏性水力 CFD 分析及水力 CAD 设计^[1];

(2)采用基于 CAD/CAM 技术的 pro/E、Ug 软件进行汽蚀性能更好的转轮等水轮机过流部件的结构设计^[2];

(3)采用优质的母材和抗汽蚀材料以及先进的表面防护涂层技术;

(4)采用先进的多轴数控机床、加工制造工艺和测试技术;

(5)采用现代高性能水力模型试验台和先进的观测系统进行模型试验,并探究基于 CFD 的水轮机汽蚀机制;

(6)采用基于 objectARX 或 MATLAB 或 VB 或 VC++ 并结合 Access 或 Foxpro 或 Delphi 或 SQL 甚至 Oracle 等数据库软件开发水轮机选型设计计算机辅助设计系统(CAD)^[3,4];

(7)采用适当的运行条件并探索新的零汽蚀运行检修措施。

3 结语

笔者对确定吸出高度 H_s 这样一个综合的技术经济指标的影响因素(包括直接与吸出高度 H_s 计算有关的影响因素和目前与吸出高度 H_s 计算没有直接关系的影响因素)进行了分析,即在水电站初步设计中要对多个确定吸出高度 H_s 的方案进行技术经济比较和论证,最终选择出合适的吸出高度 H_s 并由此对吸出高度 H_s 的计算方法提出了改进途径。这些研究分析成果对在实际工程中确定吸出高度 H_s 和安装高程 ∇ 具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 石祥钟,于佐东,肖英奎.水力机械 CAD-CFD 系统设计方法[J].农业与技术,2005,25(2):142~144.
- [2] 熊娟,汪俊.CAD/CAM 技术的水轮机叶片三维建模及分析[J].制造业自动化,2010,32(7):39~42.
- [3] 唐列,王晓龙,周普会.基于 objectARX 的水轮机选型软件[J].水利水电科技进展,2005,25(1):53~60.
- [4] 梁雄高,刘长陆,俞建峰,陈乐.基于 VB 与 MATLAB 的水轮机运转特性曲线绘制研究[J].机电与金属结构,2007,33(9):44~46.

作者简介:

张黎(1972-),女,四川中江人,讲师,从事水轮机、水轮机调节及辅助设备和机械制图与 CAD 的教学研究工作。

(责任编辑:李燕辉)

梅家家山风电场升压站主体工程封顶

4月28日,由水电七局有限公司承建的云南梅家家山风电场110千伏升压站的35千伏配电装置室、GIS室和综合控制室等3座主要建筑物主体工程封顶。梅家家山风电场位于云南省楚雄州姚安县境内,装机容量4.95万千瓦,主要由33台1500千瓦风机、33台箱式变压器、35千伏线路、场内道路组成。目前,项目部已完成33台风机中的30台安装平台开挖和17台机基坑开挖,工程重点将转入基础锚栓安装和混凝土施工高峰。