

15

58-61

西藏高原水轮机空蚀问题的探讨

管德灵

(西藏农牧学院 西藏 860000)

TK 730.8

摘要 本文在调查西藏主要水电站水轮机空蚀问题的基础上,简要分析了影响其空蚀的主要因素,提出了海拔高程大于3000m的高原地区的水轮机吸出高度 H_s 值的计算方法。

关键词 水轮机,空化,空蚀,吸出高度

西藏
水电站

1 问题的由来

根据对修建在海拔2200~4500m的水电站运行情况调查,水轮机的吸出高度 H_s 值采用正值或负值都有不同程度的空蚀发生,但空蚀较轻。可是在低海拔地区水轮机发生空蚀比较普遍,有的甚至严重到需更换新转轮和部分通流部件的程度。

由吸出高度的计算公式^[1]可知:

$$H_s < 10 - E/900 - K\sigma H \quad (1)$$

式中 E 为水轮机装置处的高程(m); K 为安全系数(1.05~1.2); σ 为水轮机的空蚀系数; H 为水轮机工作水头(m)。

在应用上式进行实际计算时,考虑到海平面平均大气压为 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$,当海拔高程在3000m以下时,每升高900m,大气压下降 $9.81 \times 10^3 \text{Pa}$,在 E 高程时,大气压要下降 $E/900$,此时的大气压应为标准大气压减去 $E/900$ 。一般地区的河流水温度为5~20℃,相应的汽化压力为883~2354Pa。因此,式(1)对海拔高程在3000m以下的地区适用,对海拔高程高于3000m的西藏地区就不适用,因其海拔高程与大气压呈微凹形曲线,如图1所示。表1为西藏部分地区实测海拔高程与汽化压力的关系;另外,水的汽化压力与温度有关,西藏气温低,汽化压力相应较低。

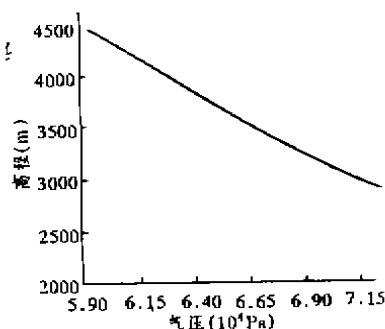


图1 海拔高程与气压的关系

表1 部分地区海拔高程与年平均气压的关系

项 目	那曲	日喀则	拉萨	山南	昌都	林芝
海拔高程(m)	4507	3836	3650	3551	3306	3000
汽化压力(10^4Pa)	5.88	6.39	6.52	6.61	6.82	7.07

按照式(1)计算,没有考虑西藏高海拔与其安装高度的关系,也不能说明所计算的吸出高度 H_s 值是否适用于西藏实际,其结果计算误差较大。因此,有必要对高海拔地区水轮机空蚀特殊性进行探讨。作者对拉萨纳金电厂、林芝八一电厂等许多骨干电厂进行了调查,对解决水轮机吸出高度计算进行了论述,以使计算结果更切合西藏实际,更为经济合理。

2 水轮机空蚀情况调查

2.1 拉萨纳金电厂

2.1.1 水轮机主要参数

拉萨纳金电厂水轮主要参数如下:

型号: ZD510-LH-180;

装机容量: $N_{\text{装}} = 6 \times 1250 \text{ kW}$;

水头: $H = 9.0 \sim 10.5 \text{ m}$;

设计流量: $Q = 16.8 \text{ m}^3/\text{s}$;

额定功率: $N = 1325 \text{ kW}$;

额定转速: $n = 250 \text{ r/min}$;

海拔高程: $E = 3650 \text{ m}$;

空蚀系数: $\sigma = 0.6$;

叶片角度: $\varphi = +10^\circ$;

吸出高度: $H_s = -1.14 \text{ m}$ (设计采用 $H_s = -1.4 \text{ m}$, 实际运行 $H_s = -1.38 \text{ m}$)。

2.1.2 水轮机运行及空蚀情况

该电厂于1960年4月开始分期投入运行,当时拉萨地区负荷较少,机组长期在低负荷下(额定容量的65%)运行,翼型汽蚀较轻。1970年以后,由于负荷增加,电厂为提高机组出力,将叶片转角增大到 4° ,结果不但机组出力没有增加,反而水力损失增加,效率急剧下降,结果发生了翼型空蚀。

5号机大修时的叶片空蚀情况:实测叶片空蚀面积约 0.32 m^2 ,其中1号和3号叶片空蚀较重,其空蚀破坏部位如图2和图3所示。空蚀发生在叶片背面靠近出水边外缘附近,因在前次大修时未做堆焊不锈钢处理,故空蚀较严重;同时在转轮室与座环处也有不同程度的空蚀,主要是偏离设计工况运行造成的。

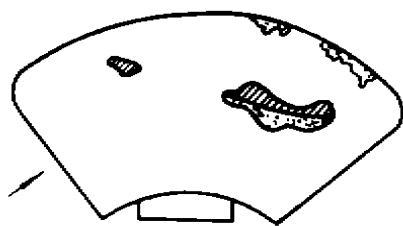


图2 1号叶片背面空蚀

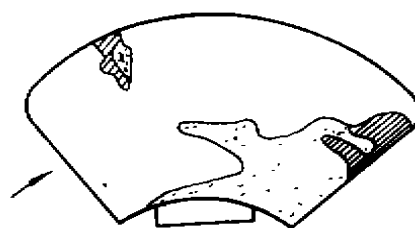


图3 3号叶片背面空蚀

2.2 林芝八一电厂(一级站)

2.2.1 水轮机型号与参数

林芝八一电厂(一级站)水轮机主要参数如下:

型号: HL180-WJ-84;

装机容量: $N_{\text{装}} = 2 \times 1250 \text{ kW}$;

水头: $H = 44 \sim 46 \text{ m}$;

设计流量: $Q = 3.79 \text{ m}^3/\text{s}$;

额定出力: $N = 1370 \text{ kW}$;

额定转速: $n = 600 \text{ r/min}$;

海拔高程: $E = 3000 \text{ m}$;

空蚀系数: $\sigma = 0.085$;

吸出高度: $H_s = 2.1 \text{ m}$ (设计采用 $H_s = 1.0 \text{ m}$)。

2.2.2 水轮机空蚀情况

该电站1970年开始投入运行,经两次大修水轮机过流部件均未发生空蚀,只是水轮机上端盖(即前护盖)和上冠端面处出现了泥沙磨损。第三次大修时,在叶片的背面靠近出水边有轻微的空蚀,见图4。

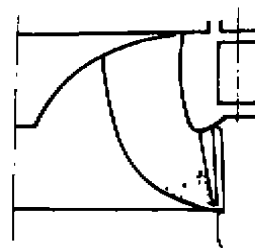


图4 混流式转轮空蚀部位

3 对水轮机空蚀破坏的几点看法

3.1 空蚀产生的因素

根据液体动力学的观点,水流沿水轮机

转轮流道运动时,当水流的流速在方向上或数值上由于导流表面使其发生变化,必然同时存在压力的变化。根据伯努利方程,在该处的压力就要降低,并且可能达到此种液体相应温度的汽化压力,使液体变为汽态。所以,流动液体的空化现象是水轮机空蚀发生的内在原因,两者有密切联系。

3.2 高海拔地区水轮机 H_s 值的计算方法

3.2.1 合理选择水轮机的吸出高度

由不产生空蚀条件可知,要想不产生空蚀,必须满足 $\sigma_p > \sigma$,即

$$\sigma_p = \frac{H_a - H_s - H_v}{H} \quad (2)$$

式中 H_a 为水轮机安装处的大气压力 (mH_2O); H_v 为该处相应于平均水温下的水的饱和汽化压力; σ_p 为装置空蚀系数。(为工程中计算方便,式(2)中压力单位均采用 mH_2O , $1 \text{ mH}_2\text{O} = 9800 \text{ Pa}$)

可知,式(2)各项的数值均视水轮机所在地区环境条件而定,而 σ_p 的大小主要决定于静力真空值, H_s 值的大小又与 σ 有关,而 σ 与转轮翼型和水轮机运行工况等因素有关, σ 反映了水轮机的空蚀性能。式(1)就是常用的确定 H_s 的计算公式,则水轮机的吸出高度必须小于式(1)的计算值,才有可能避免翼型空蚀。值得注意的是,在设计时,可选择若干个水头特征值计算出不同的 H_s 方案,从中选择一个设计值,是经济合理的吸出高度。

3.2.2 水温与吸出高度的关系

西藏是高寒地带,河川径流多为融化的雪水,因而水温较低,由西藏水文资料看出,雅鲁藏布江江孜格沙历年水温表统计,大部分月平均最高水温在 $13 \sim 18^\circ\text{C}$,月平均最低水温为 $0 \sim 0.3^\circ\text{C}$,年平均水温为 $7 \sim 10^\circ\text{C}$ 。由于水温的变化引起饱和汽化压力的变化(见图5),水温越低,水的汽化压力越小,则不易发生空化。在式(2)中,西藏应取多高水温相应的汽化压力值比较合适,分析如下。

若西藏年平均水温按 10°C 计,则相应的汽化压力值 $H_v = 0.12 \text{ mH}_2\text{O}$;水温通常按

20°C 计,则相应的汽化压力值 $H_v = 0.24 \text{ mH}_2\text{O}$,两者汽化压力差值为 $0.24 - 0.12 = 0.12 \text{ mH}_2\text{O}$,故 σ_p 值较大,计算结果 $\sigma_p > \sigma$ 值,即装置空蚀系数大于水轮机的空蚀系数,且 H_s 值大,则水轮机不发生翼型空蚀。

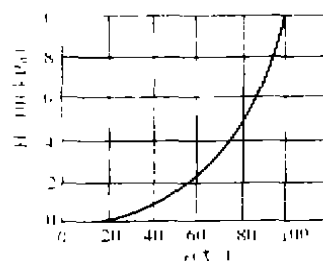


图5 水温与饱和汽化压力关系曲线

国外有关资料中,有关水温对水轮机空蚀的影响也有论述,美国 L. K 范纳德“气穴现象的本质”一文提到“T. M 毛逊用文德里式的仪器所做的试验结果指出,在较高的温度下,材料损失较快。此外,水轮机管理人员普遍观察到,当温度及蒸汽压力均高,而空气含量低的夏天,叶片或其它部件的损坏,比所有条件都相反的冬天来得多些。”

3.2.3 当地海拔高程与吸出高度的关系

式(2)的 H_a 为当地海拔高程的大气压力,按式(1)的计算, $H_a = 10.33 - E/900$,例如,拉萨海拔高程 $E = 3650 \text{ m}$,则 $H_a = 10.33 - 3650/900 = 6.27 \text{ mH}_2\text{O}$;而拉萨当地实测多年平均气压为 $6.65 \text{ mH}_2\text{O}$,两者差值为 $6.65 - 6.27 = 0.38 \text{ mH}_2\text{O}$,即实测与计算的差值,则计算出吸出高度有误差,所以在计算 H_s 值时,应根据西藏实测多年平均气压进行计算。

例题 纳金电厂海拔高程 $E = 3650 \text{ m}$,设计水头 $H = 9.5 \text{ m}$, $\sigma = 0.6$, $K = 1.2$,计算水轮机的吸出高度。

解一

$$\begin{aligned} H_s &= 10 - E/900 - K\sigma H \\ &= 10 - \frac{3650}{900} - 1.2 \times 0.6 \times 9.5 \\ &= -0.9(\text{m}) \end{aligned}$$

解二

$$\begin{aligned} H_s &= H_{a\text{实}} - H_v - K\sigma H \\ &= 6.65 - 0.12 - 1.2 \cdot 0.6 \cdot 9.5 \\ &= -0.31(\text{m}) \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $H_{a\text{实}}$ 为当地实测多年平均气压 (mH_2O)。

两种计算公式得出不同的 H_s 值,后者比前者提高了 0.59 m,减少了开挖量,节约了水电站的投资。

另外,空蚀系数 σ 属于水轮机的外特性,若考虑到水轮机发生空蚀有可能比实际应用的 σ 提前发生,以及 σ 的误差因素,或厂家提供和试验测出的 σ 值与西藏有差异时,根据技术规范,对混流式水轮机的安全系数 K 值可采用 1.15 ~ 1.2,本例中 K 值采用 1.2,这样计算留有安全余量。

单位换算公式,把多年平均气压 (10^2Pa) 换算成 mH_2O 的大气压力来表示:

$$\begin{aligned} H_{a\text{实}} &= \frac{P_{\text{测}}}{P_0} \times P_{\text{海}} \\ &= \frac{P_{\text{测}}}{1013} \cdot 10.33 \\ &= 0.0102 P_{\text{测}} \end{aligned} \quad (4)$$

(上接第 53 页)

将管理任务置于前台,放音、电报接收置于后台,后台中断前台。在信息管理、显示操作的同时,利用异步通讯技术进行水位、雨量信号的实时采集,使整个系统兼备实时数据采集系统功能。

5 结束语

WIDS-I 型水利信息多媒体系统可供水利工程管理人员作为水利工程信息管理自动化工具,以提高工程管理、规划设计、防汛抗旱调度的工作效率与水平。也可供各级领导简要了解本辖区水利工程概况,为兴修水利、经费调配、防汛抗旱提供决策依据。该系

式中 $H_{a\text{实}}$ 为换算成当地实测大气压 (mH_2O); $P_{\text{测}}$ 为实测多年平均大气压力 (10^2Pa); P_0 为以 10^2Pa 为单位的海平面平均大气压力,为 1013.2 (10^2Pa), $P_{\text{海}}$ 为以 mH_2O 为单位的海平面平均大气压力为 10.33 (mH_2O)。计算吸出高度 H_s 值的公式为

$$H_s = 0.0102 P_{\text{测}} - H_v - K\sigma H \quad (5)$$

4 结束语

综上所述,水轮机的空蚀与吸出高度有关,在计算时,应根据西藏特殊的区域和外部自然条件进行综合考虑。若当地有实测气压资料时,可利用式(3)或式(5)计算吸出高度 H_s 值。西藏高原水轮机空蚀不仅与上述因素有关,而且还与材质、检修、运行方式、正确选择水轮机等因素有关。

参考文献

- 1 季盛林,刘国柱.水轮机.第二版.北京:水利电力出版社,1986

(收稿日期:1995-10-30)

统已在张家港市运行两年,反映良好。1995年1月通过省级鉴定,认为该系统在基于声像技术的水利信息显示系统方面达到了国内领先水平。

参考文献

- 1 潘金贵,杜建成.面向对象的系统设计方法及其应用.南京:南京大学出版社,1993
- 2 李振格. Borland C++ & Turbo C++ 程序员手册.北京:北京航空航天大学出版社,1992
- 3 曹锦芳.信息系统分析与设计.北京:北京航空航天大学出版社,1987

(收稿日期:1996-01-17)