

灯泡贯流式机组水电站的几个问题

刘芬先

(重庆水电设计院)

摘要 通过近几年对灯泡贯流式机组的设计和安装调试等实际工作,探讨了参数计算、噪声防治及振动分析等有关问题。

关键词 灯泡贯流式机组 参数计算 噪声防治 振动分析

一、几个参数的确定

(一)水轮机额定水头

由于安装灯泡贯流式水轮发电机组的水电站多属低水头径流式水电站,径流式水电站水库一般无调节性能,给合理确定额定水头(H_r)和选择相应规模的水轮机带来困难。 H_r 的大小直接影响到机组和厂房尺寸、开挖方量及造价,最终影响年发电量。因此,在装机容量确定以后选择水轮机,只有在作多方案综合比较下才能得出最优方案,包括与立轴轴流转桨式机型的比较。

对每一型号的水轮机取不同的 H_r 值,均可作出如图1所示的几条曲线:

1—1 曲线:水轮机额定出力时水轮机水头与流量的关系曲线,从 $N_r = 9.81\eta QH$ 得出;

2—2 曲线:水轮机导叶最大开度限制线,不同的 H_r 对应不同的曲线;

3—3 曲线:建站后净水头与天然河道流量的关系曲线;

C点为临界弃水点,对应的水头 H_c 、流量 Q_c ;R点为额定工况点,对应的水头 H_r 、流量 Q_r ;图中阴影区为有效发电区。令: $\Delta H = H_c - H_r$,一般以 $\Delta H \leq 20\% H_c$ 为宜,而且应使 $H_r < H_p$ (H_p 为加权平均水头, $H_p = \sum N_{r,i} / \sum (N_{r,i} / H_{r,i})$)。

国产灯泡贯流式水轮机转轮型号及其代表电站列于表1(η_{\max} 为电站真机最高效率),供选型参考。

(二)水轮机安装高程

径流式水电站水轮机的吸出高度和安装高程应按水电站运行工况全面计算求得(在规划阶段可按两种代表性运行方式进行,取最低值:(1)机组在

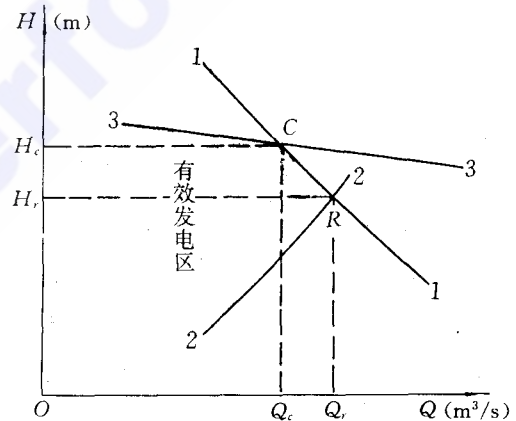


图1

转轮型号	代表电站	D_1 (m)	η_{\max} (%)	H_r (m)	N_r (kW)	生产厂	备注
GZ103	四川南阳滩	2.75	90.5	6.7	2800	重水	1983年运行
GZ003	广东白坭	5.50	92	6.2	10000	天发	1980年运行
SK111B	四川安居	5.50	93	8.0	16500	重水	正在安装
F02	广西麻柳滩	5.50	93	7.5	15000	富春江	正在安装
TF09	四川紫兰坝	5.35	93.5	>15	34000	天发	推荐采用

水轮机和发电机的出力限制线上运行;(2)水轮机在高效率工况区运行)。由下式计算吸出高度 H_s , 以确定主轴中心线高程(如图2)。

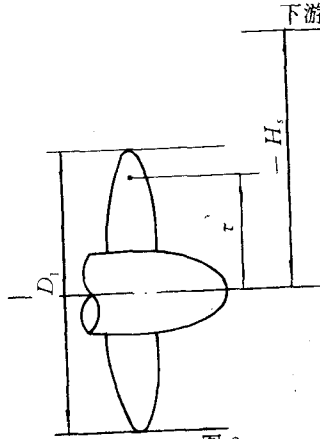


图2

$$H_s = H_a - H_v - \sigma H - \tau$$

式中 H_a —— 大气压力水头;

H_v —— 汽化压力水头;

H —— 计算工况水头;

σ —— 装置汽蚀系数, $\sigma = K_s \cdot \sigma_m$, 其中, $K_s \leq 1.05 \sim 1.2$, 不锈钢转轮: $K_s \leq 1.05$; 普通碳钢转轮 $K_s \leq 1.2$;

τ —— 由转轮叶片 ϕD_1 圆周断面高程差引起的修正值。

修正值 τ 既与 $D_1, D_1/H$ 的大小密切相关, 也取决于制造厂的叶片加工水平及汽蚀保证值。对于四叶片贯流式水轮机, 理论上应取 $\tau = D_1/4$, 但我们在对安居电站国产机组安装高

程的计算中, 与厂方协商后取 $\tau = 3D_1/8$, 留有 $D_1/8$ 的安全裕量。几个电站的 τ 值列于表2。

总之, 安装高程的确定需要作多方案综合技术经济比较, 以求在满足汽蚀指标的前提下减少工程投资。估算灯泡式水轮机的开挖深度, 一般为从流道中心以下 $(1.5 \sim 1.7) D_1$, 而立式轴流式水轮机从转轮中心线到肘形尾水管的最低点为 $2D_1$ 左右。

(三) 调节保证计算

1. 关于计算标准 手册中按水头段规定, $H < 40\text{m}$ 时, 导叶前允许最大压力上升值: $[\zeta] = 50 \sim 70\%$; 最大转速上升值: $[\beta] = 55\%$ 。这仅是对常规电站作出的一般规定, 相对于 ZZ 型水轮机, GZ 型水轮机 GD^2 小, 安装高程低(下游尾水位相对较高), 因此 $[\zeta]$ 和 $[\beta]$ 可以视具体电站灵活确定, 受制约因素, 除反水锤、过速限制外, 还要看是否发生导叶后真空及剧烈压力脉动。表3为某电站作用负荷实验的几组数据(实验时 $H = 4.0\text{m}$)。

电站主要参数:

单机容量: $N = 1250\text{kW}$

水头: $H_r = 4.1\text{m}$, $H_{max} = 6.1\text{m}$,

$$H_{min} = 2.1\text{m};$$

水轮机: GZ003-WP-275;

调速器: DST-80-40(电脑双通道);

$$GD^2: 85\text{t}\cdot\text{m}^2;$$

$$\Sigma LV: 96.3\text{m}^2/\text{s}$$

有组实验, 取 $T_p < 2\text{s}$ 时, 导叶后出现真空, 测量指针剧烈摆动, 主轴摆动成倍增加, $\xi > 40\%$, 于是紧急停机检查。对于灯泡贯流式水轮机调保计算标准建议为: $[\xi] = 40\%$ $[\beta] = 55 \sim 60\%$

2. 计算方法 通常采用两段关闭规律^[3], 如图3所示, 一般取空载开度 $\tau_p \approx \tau_A$ (或略大于

表2

电站	水轮机型号	H(m)	τ	生产厂
马迹塘	K89/4 I.-WP-630	6.55	$D_1/4$	奥地利
白坭	GZ003-WP-550	6.2	$D_1/2$	天发
安居	SK111B-WP-550	8.0	$3D_1/8$	重水
南阳滩	GZ103-WP-275	6.7	$D_1/2$	重水

表3

$N(\%)$	$T_p(\text{s})$	n	$\alpha(\%)$	φ°	$\beta(\%)$	$\xi(\%)$	说明
50	3	1	71	10	35.1	15	微机调速器
75	3.17	1	84	16.8	37	24	
100	2.8	1	100	28.5	41	35	
50	2.37	2.5	68	7.2	27	17.9	常规电调
75	3	5	83	16	37.3	25	
100	3.5	8	94	24.8	44.6	28.1	
100	3.28	7	94	25	45	25.5	

表中 T_p —— 至空载的调节时间;

n —— 调节次数;

α —— 导叶开度;

φ —— 桨叶开度。

τ_A)。其计算公式如下:最大压力上升:

$$\xi_n^A = A - B \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i$$

式中 $A = \frac{4\rho L n \tau_0}{\rho(C T_s - 2Ln)\tau_0 + CT_s}$

$$B = \frac{CT_s}{\rho(C T_s - 2Ln)\tau_0 + CT_s}$$

$$\rho = CV_0 / 2gH_0$$

式中 C —— 平均波速; V_0 —— 初始平均流速; H_0 —— 初始静水头; L —— 电站进水口至导叶流道长度; n —— 水击相序; τ_0 —— 导叶起始相对开度; T_s —— 快速全关闭时间。

最大速率上升: $\beta = c_1 \cdot f \cdot \beta_0$

式中 $\beta_0 = \frac{182N_0}{GD^2 \cdot n_0^2} T_d$

$$T_d = 2(T_A + 2T_c + 2[T - \frac{\tau_n}{\tau_A}(T - T_A)] \frac{\tau_A}{\tau_c})$$

式中 C_1 —— 飞逸修正系数; f —— 水锤修正系数; T_c —— 调节迟滞时间; N_0 —— 甩负荷前水轮机出力; n_0 —— 甩负荷前机组转速; τ_A —— 拐点导叶相对开度; τ_n —— 第 n 相末导叶相对开度; T —— 导叶两段全关闭时间。

对上述实验电站的初设计算结果如下:

关闭规律: $T = 30 \text{ s}$, $T_s = 15 \text{ s}$, $T_A = 5 \text{ s}$;

计算结果: $\beta_{\max} = 53.7\%$, $\xi_{\max} = 33.4\%$ 。

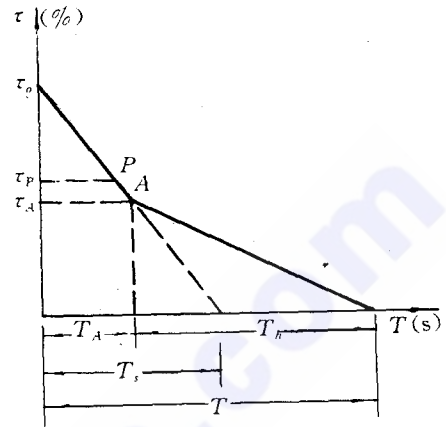


图3

二、厂房布置与噪声防治

(一)噪声来源

灯泡机组厂房内噪声主要来自三个方面:

1. 灯泡头内发电机冷却系统(循环水泵、风机等)及电磁噪声;
2. 水轮机过流部件的水力噪声;
3. 附属设备发出的噪声:主要包括油压装置、空压机、厂房通风机、供水泵等。

(二)厂房布置对噪声的防治

噪声防治的目的是为了减小运行值班人员及生产管理人员经常工作区的噪声等级,达到国家卫生标准。吸取已建贯流式机组水电站噪声等级普遍偏高的经验教训,在新建电站中,我们采取了以下措施,达到了比较满意的效果。

1. 主厂房设置夹层(运行层——辅助运行层),它不仅极有利于设备的布置,而且对整个运行层的环境产生相当有利的效果。各层吊物孔均用盖板盖严,大大减小了运行人员工作区的噪声小于75dB(A)。

2. 主要生产用副厂房尽量避免直接设置在

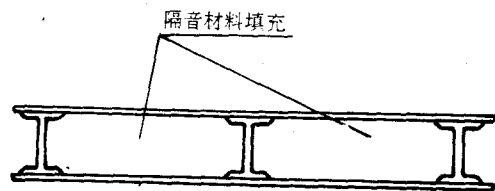


图4

主机段的尾水平台上,如受条件限制不能移至厂外,也只能在靠近安装间侧布置(如中控室、载波通讯室、资料室、生产管理办公室等);而通风机、供水泵等连续运行的噪声源以及空压机、油泵等高噪声源应尽量在下层设置。

3. 发电机进人孔及各吊物孔盖采用隔音盖板(如图4所示)

三、机组振动与厂房结构设计

灯泡贯流式水轮发电机组的力传递如下:

扭矩:水轮机转轮→主轴→转^{磁力}子→定子→管形座→厂房基础。

轴、径向力: A、转动部件→推力、径向轴承→轴承座→管形座→厂房基础。B、静止部件(前:灯泡头、冷却套、定子;后:转轮室、外配水环、内配水环)→管形座→厂房基础。

为此,水轮机管形座是整个机组的基础,在厂房设计中,应重点考虑管形座周围的配筋和结构尺寸,不仅要满足强度的要求,还应精确计算其刚度,以满足振动要求。我们在安居水电站设计中,通过振动分析计算,在原初步设计的基础上增加了管形座上部的混凝土结构尺寸0.8m,以增加自振频率,避开共振区。对下列外扰频率进行了重点计算:

(一)水轮机转轮叶片上的压力脉动

$$f_1 = n_f \cdot Z_1 / 60 \quad n_f \text{—— 飞逸转速}; Z_1 \text{—— 叶片数。}$$

(二)导叶造成的水流压力脉动

$$f_2 = n_f \cdot Z_2 / 60; Z_2 \text{—— 导叶数。}$$

(三)转轮叶片和导叶组合的压力脉动(高频)

$$f_3 = n_f \cdot Z_1 \cdot Z_2 / 60$$

(四)旋转部件动不平衡或水力、磁力不平衡引起的振动(低频)

$$f_4 = n_r / 60; n_r \text{—— 额定转速}$$

四、大型薄壳件的施工(管形座和尾水管里衬)

(一)防止运输和焊接变形

厂家在对带法兰面的大型薄壳件生产中,应设有足够的钢支撑;安装者在工地组焊时,应采取加钢码、间隔焊等方法,甚至要对局部进行退火处理,如在组焊管形座上、下梯形支柱(厚钢板结构)时,为防止应力集中,可采用电加热(或气焊设备加热)的方法对焊缝进行退火处理。力保法兰面的不圆度和不平度在允许范围内。

(二)防止浇注变位(形),保证安装精度

为了保证其安装精度,防止回填浇注变位、变形、除应有足够的拉杆、锚筋固定外,二期混凝土浇注还应采取分层逐渐升高、平行上升的方法,同时用仪器监测重要部位(主要指前后法兰面)的位置,发现问题及时处理。

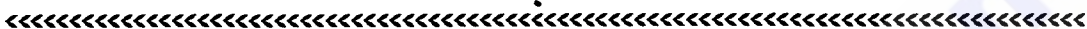
(三)浇注不实,回填灌浆

由于薄壳件的纵横向筋板与钢筋网的干扰,其下部混凝土不易震荡浇实,产生空腔,必要时须在钢件上开孔,用膨胀水泥砂浆加压浇实,以免影响安全运行。(下转81页)

情况下进行。需要机组停机方能进行的调试工作,在电液转换器完好(指多年未正常使用)无故障情况下,数小时内即可完成,基本不影响电站正常发电。

经过一年半时间运行表明,改造了电气调节器后的 DT-1800 型电液调速器,能在机组空载、并网负载和孤网负载等各种工况下自动稳定运行,能在机组由于跳闸等各种原因甩负荷的情况下,迅速使机组以额定转速自动空载运行。调速器调节性能良好,安全可靠,满足了羊子口水电站的要求。

(东方电机厂 康信实 汪驰)



(上接 62 页)

Abstract Tongjiesi Hydropower Station is one of the key project of "7th five-year plan program of our country. The concrete mix proportion was optimized by orthogonal tests and statistical analysis method. "Double-admix" techniques and RCC were adopted. With fine sand, water content of concrete is reduced to about 90 kg/m³ and cement content is reduced to 65kg/m³. The sampling inspection to the quality of 20 million m³ poured concrete shows that guaranteed efficiency of concrete with various strengths achieved to over 90%; dispersion coefficient for strength ranges from normal to good; the qualification ratio of durability index is up to 90%, which meets the quality requirement of "Concrete Construction Specification of Hydraulic Structures", and obtains notable technical and economical results.

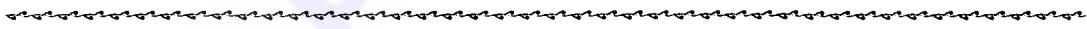
Key Words mix proportion, orthogonal test, RCC (Roller-Compacted Concrete), conventional concrete, raw material



(上接 78 页)

参 考 文 献

- 1 刘芬先,径流式电站水轮机设计水头及其选型的探讨,《四川水利》,1986 年第 2 期
- 2 日本,超低水头大型灯泡贯流式水轮机的汽蚀特性,王建华等译,《水力机械技术》,1990 年 6 月
- 3 佟文敏,水轮发电机组的振动,《四川水力发电》,1987 年第 1 期



本刊 1992 年第 4 期更正

页	行	误	正
9	例 1~2	中国水力发电工程学会顾问、原水电部水电总局副局长张铁铮	中国水力发电工程学会一二届理事会副理事长、第三届理事会顾问、原电力工业部水力发电建设总局局长、原电力工业部顾问张铁铮
51	23	年平均霜期 300d	年平均无霜期 300d
58	例 19	两县水田大多公布在大渡河…	两县水田大多分布在大渡河…
61	9	年发量为 900~1100mm	年蒸发量为 900~1100mm
66	21	年工业生产总值…	年工农业生产总值…
85	16	Lagout	Layout

特此更正,并向作者致歉。

(本刊编辑部)