

用三点法检测轴流转浆式水轮机叶片的重心和重量

陈永年

(富春江水工机械厂)

轴流转浆式水轮机,比转速高,运行区广,在现代水轮机制造中占很大比重。

该水轮机转轮体内有一套用来随时改变叶片角度的油压传动机构,因而结构复杂,制造精度要求高。

转轮的制造质量是决定整台水轮机质量的关键,检验转轮质量的标准,除各个另部件加工符合设计技术要求外,转轮整装后,油压和动作试验、转轮静平衡都应达到设计技术要求。特别是后者,其质量对机组运行平稳、振动小、水导轴承瓦温低、磨损小及其寿命起重要作用。

我厂总装车间起重设备,最大起吊重量为100t,当转轮总重小于100t时,采用的工艺流程为:整体静平衡并配重,总装后做油压和动作试验。1986年承担了福建省沙溪口7.5万kW轴流转浆式水轮发电机组的制造任务,该机组设计水头17.5m,转速75r/min,转轮直径8m,由5个叶片组成。转轮设计总重量约110t,超过了厂内设备的起吊容量。为了确保制造质量,改用以下工艺流程。即:先总装(倒置安放)做油压和动作试验→拆下5个叶片、活塞、转轮盖、操作架,将剩余重量约100t的机体,吊至小平衡工具上做部分转轮静平衡→更换平衡工具,置部分转轮于大平衡工具上,用四台50t油压机支持,装上叶片、操作架后,慢慢放松油压机,使转轮水平落于平衡工具上进行整体静平衡→顶起转轮适当对换叶片(叶片由地磅称重,重量差较大)→再次静平衡找出叶片最佳配置方案。叶片配置方案,也可通过计算来完成。进行多方案叶片配置计算,不难找出叶片最佳配置方案,以使配重量达到最小值。

用计算方法代替叶片实际组装进行静平衡是可行的,对大型水轮机是唯一的方法。关键在于能准确地测得每个叶片的重心和重量。以往用二次悬挂的方法检测叶片重心,理论上二次悬挂时二条重力线的交点即为叶片重心。但由于叶片尺寸、重量较大、又是扭曲体,重力线悬挂不准,因此很难准确地投影到叶片上去,致使不易找准重心。另一方面,地磅称重误差大(难以达到公斤级),影响计算精度。

三点法检测叶片的重心和重量,其精度要比前者高。三点法可在检测中直接找到重心,一次测得重量,并具有复校手段,所以数据可靠。

三点法检测叶片的重心和重量的原理是:由静力学原理,空间力可分解成几个平行分力;反之,当分力已知时,也可求得合力值及其作用线。据此把一个未知重量的叶片,静置于三个支撑点上,测出其对三支点的作用力,该三力即为叶片重量的分力,求其合力及作用点,即为叶片的重量和重心。

三点法检测叶片重量和重心的工艺及工具如下:

1. 工具为四个螺旋千斤顶和四台小型油压机(自制或用油压千斤顶改制); 一般钳工工具, 如圆规、直尺、线锤、划针等。

2. 沙溪口机组水轮机叶片主要尺寸见图1。

3. 检测工艺过程见图2。叶片测量应在叶片法兰精加工, 正、背面精磨完成(只待出厂前抛光和油漆)之后, 总装配之前进行。在总装台上, 先按叶片尺寸放1:1叶片大样, 叶片中心线为O—O, II—II截面为半径等于3913mm的弧线, O点为转轮中心。以中心线O—O为基准, 分别以 21° 、 40.5° 角(视叶片类型而定)在AB弧线上定A、B两个点, 使AB弦长等于4000mm(取整数), 在中心线O—O上取点D, 使 $DO=1435$ mm, 以A、B、D三点为中心各画 $\phi 150$ mm的圆(供油压机找中用)。

三台测重油压机置于A、B、D三点并调平, 其上各放一个螺旋千斤顶; 以叶片零开度调好千斤顶头部高程(图2、3), 置叶片于三个千斤顶上(正面向上), 叶片与顶针头保持点或线接触。精调千斤顶, 使叶片处于零开度, 挂垂线检查叶片法兰平面是否与平台垂直, 合格即可从三台油压机的压力表上读数, 并换算出重力分力 P_A 、 P_B 、 P_D 和重力 P (表1)。求出 P_A 、 P_B 的分合力 P_C 及作用点C(应在AB直线上), 设点C距点B为 x , 则 $x = P_A \cdot AB / (P_A + P_B)$, 以直线连接CD两点, 实测CD长等于1960mm, 叶片重心投影应在CD直线上。设重心在CD投影为点G, 则 $GD = P_C \cdot CD / P$, 计算和测量值如表2, 以G为中心画 $\phi 150$ mm圆, 其上置放第四台油压机。慢慢用千斤顶托起叶片, 观察四台油压机压力表的变化, 及A、B、D三点接触情况。如油压表指针均回到零, 接触点能通过0.3mm塞尺, 则 P_G 读数即为叶片重量; 而顶针G与叶片接触点即为叶片重心, A、B、D三点之一不为0, 重心位置则有误差, 调整G点, 重复检测, 直至三点同为0, 读出并记录 P_G 值。标出接触点G, 吊下叶片并量则重心坐标EG和OG, 计算叶片对转轮中心O的偏心矩, 计算 $\alpha = 2 \arcsin GE / (2 \times OE)$ (表3)。进行部分转轮静平衡(部件视起重设备容量和必要性而定)。即转轮体, 转轮中心体、拐臂、连杆、操作架(总重约100t)等。测得其偏心力矩21000kg—mm, 方位在 $-x-y$ 区间, 偏 $-x15.383^\circ$ 。选择不同叶片配置方案, 作出转轮偏心力矩矢量图(图4), 各偏心力矩 L 向转轮中心O平移后的矢量图(图5)。以矢量矩合成法则计算合偏心力矩, 以此算出平衡力矩及所需之平衡重量与方位。

下面是两种叶片配置方案的算例。

方案I。转轮倒置放置, 其偏心力矩矢量图, 如图4、5。

方案II。转轮正置放置, 其偏心力矩矢量图, 如图4、5。

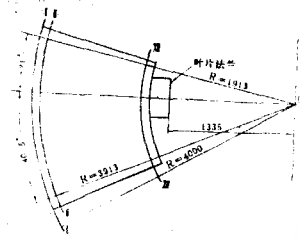


图1 叶片尺寸图

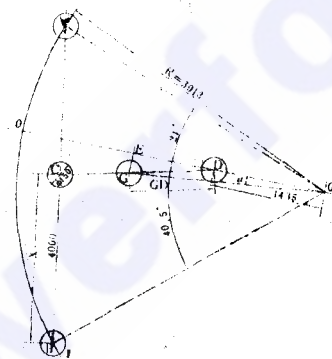


图2 叶片大样图

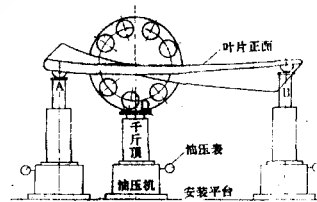


图3 测重心示意图

表 1

叶片号	P _A (kg)	P _B (kg)	P _D (kg)	P(kg)
1#	3506	3108	5543	12157
2#	3395	3201	5604	12200
3#	3487	3159	5406	12052
4#	3465	3197	5387	12049
5#	3384	3223	5528	12135

表 3

叶片号	OG (mm)	OE (mm)	GE (mm)	偏心矩 L (kg·mm)	偏角 α (度)
1#	2500	2500	240	30392500	5.503°
2#	2500	2500	276	30500000	6.329°
3#	2520	2520	270	30371040	6.142°
4#	2520	2520	271	30363480	6.165°
5#	2510	2510	249	30458850	5.686°

表 2

叶片号	P _C (kg)	X(mm)	CD(mm)	GD(mm)
1#	6614	2120.3	1960	1066.3
2#	6602	2057	1970	1066.0
3#	6646	2099	1967	1084.6
4#	6662	2080.4	1968	1038.1
5#	6607	2049	1971	1073.0

计算出各分矢量在 x 轴上投影的代数和。

$$\begin{aligned} \sum L_x = & L_3 \cdot \sin 11.86^\circ + L_5 \cdot \cos 5.71^\circ + L_2 \cdot \sin \\ & 24.32^\circ + L_{\text{体}} \cdot \sin 15.383^\circ + L_4 \cdot \cos 42.16^\circ \\ & + L_1 \cdot \cos 30.5^\circ = -6241886.73 - 30307719.9 \\ & - 12560890.44 + 55696.11 + 22507639.0 \\ & + 26187064.26 = -360097.7 \text{ kg} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

计算出各分矢量在 y 轴上投影代数和。

$$\begin{aligned} \sum L_y = & L_3 \cdot \cos 11.86^\circ + L_5 \cdot \sin 5.71^\circ + L_1 \cdot \sin 30.5^\circ + L_2 \cdot \cos 24.32^\circ \\ & + L_{\text{体}} \cdot \cos 15.383^\circ + L_4 \cdot \sin 42.16^\circ = 29722700.43 + 3030455.1 + 15425359.7 \\ & - 202479.49 - 27793417.05 - 20380066.35 = -197447.66 \text{ kg} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

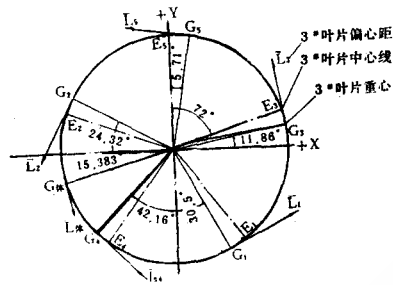


图 4 偏心力矩 \bar{L} 分布图

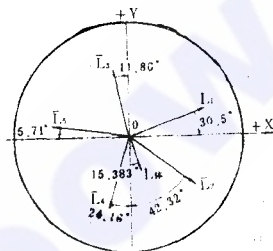


图 5 偏心力矩 \bar{L} 向中心简化图

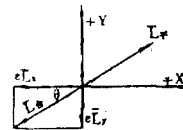


图 6

计算出合矢量值。

$$L_{\text{合}} = \sqrt{\sum L_x^2 + \sum L_y^2} = 410677.40 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

则合偏心力矩 $\bar{L}_{\text{合}}$ 与平衡力矩 $\bar{L}_{\text{平}}$ 的方位应为：

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sum L_x / L_{\text{合}} = 0.876838 \\ \theta &= 28.736^\circ \end{aligned}$$

若平衡重加在 $\phi 2800 \text{ mm}$ 圆周上，则平衡重 $g = 293.34 \text{ kg}$ 。其实际方位（顺时针转 90° ）为 $-y + x$ 区间，偏 $-Y 28.736^\circ$ 。即在 $\phi 2800 \text{ mm}$ 圆周上的弦长为 694.8 mm （图 7）。

方案 II，偏心力矩向中心简化后矢量图（图 8）。

计算出各矢量在 x 轴上投影代数和。

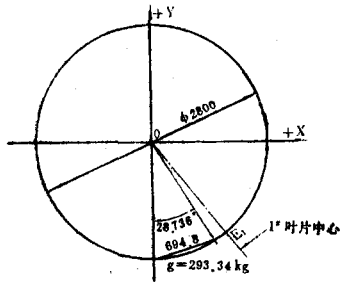


图7 配重块位置(I)

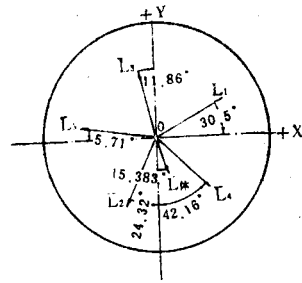


图8 偏心力矩L向中心转化

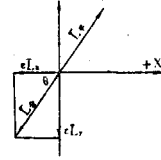


图9

$$\begin{aligned}\Sigma L_x &= L_3 \cdot \sin 11.86^\circ + L_5 \cdot \cos 5.71^\circ + L_4 \cdot \sin 24.16^\circ + L_{\text{体}} \cdot \sin 15.38^\circ \\ &\quad + L_2 \cdot \cos 42.32^\circ + L_1 \cdot \cos 30.5^\circ \\ &= -6241886.73 - 30307719.9 - 12427351.95 + 55696.11 + 22551581.79 \\ &\quad + 26187064.26 = -182616.42 \text{ kg} \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

计算出各矢量在 y 轴上投影代数数和:

$$\begin{aligned}\Sigma L_y &= L_3 \cdot \cos 11.86^\circ + L_5 \cdot \sin 5.71^\circ + L_1 \cdot \sin 30.5^\circ + L_4 \cdot \cos 24.16^\circ \\ &\quad + L_{\text{体}} \cdot \cos 15.38^\circ + L_2 \cdot \sin 42.32^\circ \\ &= 29722700.43 + 3030455.10 + 15425359.70 - 202479.49 - 27703823.59 \\ &\quad - 20534754.90 = -262542.75 \text{ kg} \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

计算出合矢量:

$$L_{\text{合}} = \sqrt{\Sigma L_x^2 + \Sigma L_y^2} = 319808.46 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

则合偏心力矩 $L_{\text{合}}$ 与平衡力矩 $L_{\text{平}}$ 的方位为:

$$\begin{aligned}\cos \theta &= \frac{\Sigma L_x}{L_{\text{合}}} = \frac{182616.42}{319808.46} = 0.571018 \\ \theta &= 55.178^\circ\end{aligned}$$

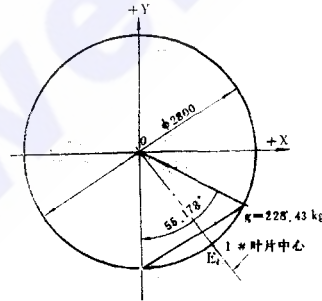


图10

加在 $\phi 2800 \text{ mm}$ 圆周上的平衡重 $g = 228.43 \text{ kg}$, 其实际方位应在 $-y + x$ 方区间偏 $-y$ 为 55.178° , 即在 $\phi 2800 \text{ mm}$ 圆周上的弦长为 1296.75 mm (图 10), 由两种方法较比看出案 II 可少加配重 64.91 kg .