

挂线法在官地水电站水轮发电机轴线检查中的应用

黄建, 祁美莲, 吕玉忠

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局, 四川 彭山 620860)

摘要:为减少官地水电站水轮发电机组后期轴线的处理难度, 以及加快施工进度, 采用挂线法对官地水电站2号机组水轮机大轴、发电机大轴连轴后的轴线进行挂线测量检查, 由挂线测量数据分析轴线是否超标, 为轴线的提前处理提供理论依据。结果表明挂线法具有操作简单、分析准确的特点, 通过前期的静态挂线测量, 可为机组整体轴线的调整提供依据, 可以减小后期轴线的处理压力。

关键词:水轮发电机; 轴线检查; 挂线法; 官地水电站

中图分类号:TV547.3 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2013)S2-0042-02

1 工程概况

大型水轮发电机组因轴系复杂, 部件加工尺寸大等因素, 轴线的整体情况存在诸多不确定因素, 为减少后期轴线的处理难度, 同时减轻后期的工期压力, 需提前对轴线进行检查和处理。挂线静态轴线检测法(以下简称挂线法)是机组轴线处于静止情况下, 对轴线实施提前检测的一种简单、实用的方法, 它根据相关测量数据, 对轴线的情况进行量化分析和研判。官地水电站设计装机4台, 单机额定容量为600 MW, 机组呈典型的半伞式多段轴结构。转动部分轴系从下至上分别为水轮机转轮、水轮机大轴、发电机大轴、推力头、转子、上端轴、集电环、补气头, 机组轴线影响因素多, 调整困难, 且二滩企业标准对轴线要求极高。官地电站业主要求各部位摆度允许偏差值如下: 补气头 0.5 mm, 集电环 0.5 mm, 上导轴颈 0.145 mm, 转子 0.06 mm, 推力头 0.06 mm, 下导轴颈 0.085 mm, 法兰 0.155 mm, 水导轴颈 0.2 mm。

2 挂线法轴线测量原理模型的建立

2.1 挂线法轴线测量原理

挂线法采用在大轴法兰面设置结构钢架, 在钢架各方位角对应大轴各测点设置挂线支臂, 在支臂部位悬挂钢琴线及重锤和阻尼油桶, 利用重力的垂直效应, 用内径千分尺测量各测点至钢琴线的距离, 再通过对称相减及上、下相对点相减的方法计算出上、下相对点间的轴线偏差值; 再根据法兰面的水平

数据对轴线产生的影响加以修正, 得出实际轴线偏差值^[1-2], 挂线法轴线测量示意图见图1。

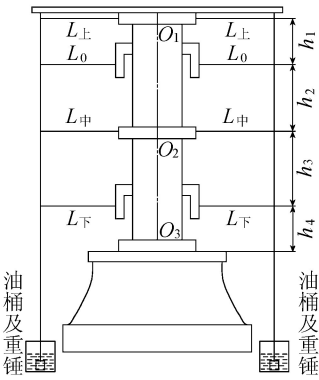


图1 挂线法轴线测量示意图

为保证测量的准确性, 同时减少换算带来的误差, 应尽量将下面基准轴上法兰面调整水平, 一般水平偏差不超过0.02 mm/m。同时还应把结构钢架支架中心尽量与大轴法兰中心保持一致, 使支臂尽量通过圆心。支臂数量一般为对称4个或8个, 为方便测量和计算, 一般取4个支臂。

2.2 挂线法测量数据的计算分析

为便于说明, 仅选取图1中上、中、下3个测量断面和圆周4个测点布置, 记录测量数据。根据测量数据, 按照对称相减的方法, 计算出各测量断面对称测点相对偏差值 ϕ , 再通过上、下相减的方法计算出各测量断面相对基准断面测点在2个方向上的轴线倾斜值 r :

$$\phi_{上(1-3)} = L_{上1} - L_{上3} \quad \phi_{上(2-4)} = L_{上2} - L_{上4} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \varnothing_{\text{中}(1-3)} &= L_{\text{中}1} - L_{\text{中}3} & \varnothing_{\text{中}(2-4)} &= L_{\text{中}2} - L_{\text{中}4} & (2) \\ \varnothing_{\text{下}(1-3)} &= L_{\text{下}1} - L_{\text{下}3} & \varnothing_{\text{下}(2-4)} &= L_{\text{下}2} - L_{\text{下}4} & (3) \end{aligned}$$

$$\begin{cases} r_{\text{上}(1-3)} = (\varnothing_{\text{上}(1-3)} - \varnothing_{\text{上}(2-4)})/2 \\ r_{\text{上}(2-4)} = (\varnothing_{\text{上}(2-4)} - \varnothing_{\text{上}(1-3)})/2 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} r_{\text{中}(1-3)} = (\varnothing_{\text{中}(1-3)} - \varnothing_{\text{上}(1-3)})/2 \\ r_{\text{中}(2-4)} = (\varnothing_{\text{中}(2-4)} - \varnothing_{\text{上}(2-4)})/2 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} r_{\text{下}(1-3)} = (\varnothing_{\text{下}(1-3)} - \varnothing_{\text{上}(1-3)})/2 \\ r_{\text{下}(2-4)} = (\varnothing_{\text{下}(2-4)} - \varnothing_{\text{上}(2-4)})/2 \end{cases} \quad (6)$$

式中:下标 1~4 为各断面测量点编号。

静态挂线法计算过程遵循正偏内、负偏外法则,如计算出下断面的轴线倾斜值为正值,则说明下部测点相对上部测点是向大轴内侧偏折,反之则是向大轴外侧偏折。

2.3 水平数据对轴线偏折方向的修正

理想状态下,大轴完全处于垂直状态,则大轴法兰面也完全处于水平状态。但实际上由于厂家加工精度原因、大轴倾斜等因素导致实测法兰水平一般不会为零,往往存在一定方向的水平偏差。如果是大轴不垂直导致法兰面不水平,则在后期安装过程中,不会对机组轴线产生偏折影响;如果是法兰面本身与轴线不垂直造成法兰面不水平,则在上部转子安装后,会对机组轴线造成直接影响。

通过高精度水平仪准确测量出法兰面的水平偏差*f*,并通过相似三角形原理,将水平数据换算成对大轴产生的倾斜值*R*,与挂线法测量计算出的数据进行修正,得出大轴实际偏折数据公式:*R*=*hf*,但在实际计算过程上,应注意*R*的方向。

将*R*与*r*相加,得出大轴的实际倾斜值,通过对大轴实际的倾斜值进行分析判断,即可得出大轴的轴线是否超标,大轴的法兰面与大轴轴线是否垂直,大轴是否需要进行处理等相关信息。

2.4 实际应用过程中应注意的问题

由于大轴尺寸较大,千分尺在轴面上测量最小值时容易出现偏差,需要对数据的可靠性进行详细分析判断,否则一旦因为数据的不准确导致对大轴错误的处理,将对最终的轴线造成极大影响。在实际应用过程中,采用挂线法轴线测量一般会在每段大轴上至少测 3 个断面,以 2 组数据计算出大轴直线并延伸至第 3 测量断面处的偏折数据,再与该部位实测值进行比较以判断测量数据的准确性。以多组数据相互验证,选取可信度最高的数据作为最终值。

3 挂线法在官地水电站的应用情况

官地水电站为单机容量 600 MW 的特大型水轮发电机组,因此在水轮机大轴与转轮进行连轴后即开始对轴线进行了挂线测量检查,并通过数据对大

轴与转轮的同轴度进行先期的调整。在发电机大轴与水轮机大轴连轴后,再次对轴线进行挂线测量检查。2 号机在测量过程中发现发电机大轴法兰面存在与轴线不垂直的情况,法兰面*Y*方向水平偏差为 0.03 mm/m,−*Y*方向比+*Y*方向高,*X*方向水平偏差为 0.025 mm/m,+*X*方向比−*X*方向高。2 号机组发电机大轴、水轮机大轴连轴后轴线挂线测量数据见表 1。

表 1 2 号机组轴线挂线测量数据

测量部位	千分尺读数/mm				测点至 上法兰 距离/mm
	+ <i>Y</i> 方向	− <i>Y</i> 方向	+ <i>X</i> 方向	− <i>X</i> 方向	
发电机轴上法兰	498.21	503.77	538.91	543.6	0
下导轴颈(上)	238.36	243.72	278.95	283.6	3350
下导轴颈(下)	238.39	243.74	278.93	283.63	3750
发电机轴下法兰	63.64	68.7	104.07	108.79	6000
水机轴上法兰	63.38	68.43	103.75	108.54	6200
水导轴颈	388.66	393.46	428.82	433.79	9000

经计算分析得出:2 号机转轮、水轮机大轴以及发电机大轴直线度较好,满足要求。但考虑水平偏差对轴线的影响因素,如以转轮为中心则发电机大轴上法兰向+*Y*方向存在一定倾斜,倾斜量约为 0.012 mm/m,同时法兰向−*X*方向也存在一定倾斜,倾斜量约为 0.01 mm/m,综合倾斜量约为 0.0154 mm/m,方向在+*Y*偏−*X*约 38°,水导的摆度为 0.278 mm,已经超过企业标准要求。

轴线超标的原因是发电机大轴上法兰面与大轴轴线不垂直,为避免后期机组轴线超标,同时满足业主对轴线调整尽量不加垫的要求,现场对法兰面采取了打磨处理,并用千分表进行打磨量的监控,最终使轴线达到要求。表 2 和表 3 表明,转子、推力头、

表 2 官地水电站 2 号机组转子以下盘车数据 mm

测点部位	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号
转子中心体	0	0.04	0	−0.04	−0.04	0	−0.01	−0.02
推力头	0	0.01	0.02	0	−0.02	−0.02	−0.01	−0.03
下导轴颈	0.01	0.01	0	−0.01	0	−0.01	−0.01	−0.02
发电机轴法兰	−0.03	−0.06	−0.06	−0.02	0	0.01	0.01	0
水轮机轴法兰	−0.08	−0.10	−0.06	−0.02	0	0	−0.01	−0.05
水机轴颈	−0.04	−0.06	0.02	0.09	0.11	0.06	0	−0.08

表 3 官地水电站 2 号机组整体盘车数据 mm

测点部位	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号
补气头	−0.01	−0.02	0.04	−0.15	−0.08	−0.12	0.01	−0.09
上导轴颈	−0.03	0	0.04	0.06	0.04	0	−0.03	−0.04
转子中心体	0	0.04	0.04	0	0.01	0.07	0.05	0.08
推力头	−0.01	0	−0.01	−0.01	−0.01	0.01	0.03	0.03
下导轴颈	0.01	0	0	−0.05	0	0	0	−0.05
发电机轴法兰	0	−0.01	−0.02	0	0.03	0.03	0.03	0.01
水轮机轴法兰	0	0	0.03	0.06	0.07	0.07	0.06	0.02
集电环上	−0.03	0	0.05	0.08	0.08	0.03	0	−0.03
集电环下	−0.05	−0.01	0.05	0.08	0.09	0.03	−0.01	−0.03
水机轴颈	−0.02	−0.02	0.05	0.11	0.14	0.11	0.05	−0.01

(下转第 47 页)

5 施工用电主要设备材料

综上所述,官地水电站施工用电主要设备材料型号及数量见表 3。

表 3 施工用电主要设备材料

序号	设备名称	型号规格	数量	备 注
1	电力变压器	S9-2500 kVA, 10/0.4 kV	1 台	地下厂房施工变压器
2	电力变压器	S9-1000 kVA, 10/0.4 kV	1 台	地下厂房桥机变压器
3	电力变压器	S9-250 kVA, 10/0.4 kV	1 台	地面 GIS 开关站
4	10 kV 高压电缆	YJV22-3×70	1.5 km	
5	10 kV 高压电缆	YC-1×70	0.75 km	定子铁损试验专用
6	10 kV 架空线路	LGJ-95	2.1 km	
7	钢绞线	GJ-35	1.0 km	10 kV 架空线路避雷线
8	10 kV 架空线路	LGJ-35	0.2 km	地面 GIS 开关站
9	户外隔离开关	GW9-10/400	1 组	10 kV 架空线路终端杆
10	氧化锌避雷器	HY5WX-17/50	2 组	10 kV 架空线路终端杆、地面 GIS 开关站
11	跌落式熔断器	RW7-10/100, 20 A	1 组	地面 GIS 开关站
12	10 kV 高压开关柜	10 kV	5 面	进线柜、PT 柜、桥机专用柜、施工用电柜、铁损试验柜
13	低压配电屏	0.4 kV, 1500A	7 面	三相五线制
14	低压补偿装置	0.4 kV, 200 kVar, 300 kVar	各 1 面	接在施工变压器低压侧
15	柴油发电机	50 kW	1 台	施工区应急电源

6 结 语

通过对雅砻江官地水电站机电设备安装工程的施工用电负荷的详细计算,提出了合理的工程施工用电规划方案。3 a 多的施工运行情况表明,该用电方案完全满足施工用电需要,设备配置合理,运行维护方便,为按期实现各项节点目标奠定了坚实的基础。

参考文献:

[1] 卢清泰. 施工现场用电总负荷的确定[J]. 山西建筑, 2009,35(4):218-219.

[2] 柳永香. 大型电厂建设施工用电布置[J]. 电工技术, 2012(12): 52-54.

[3] 杨诚. 大朝山水电站工程施工用电管理[J]. 云南水力发电, 2004,20(2):63-65.

(收稿日期:2013-07-22 编辑:骆超)

(上接第 43 页)

水导轴颈等测点部位的数据均已经满足要求,达到了轴线调整的目的,满足二滩企业标准要求。官地水电站 2 号机组首次开机后,未进行动平衡配重,各部位振摆均满足运行要求,如表 4 所示。

表 4 官地电站 2 号机组运行各部位振摆情况

方向	摆度/μm			振动/μm		
	上导	下导	水导	顶盖	上机架	下机架
X	231	216	284	76	49	21
Y	226	236	365	86	78	103
Z				59	84	4

4 结 语

官地电站各台机组在组装前期,均通过挂线法提前对机组轴线进行了测量研判,对超标的轴线进行了提前处理,并达到了预期处理效果,使机组轴系达到了二滩企业制订的高标准要求,为机组的安全稳定运行奠定了基础,同时也为同类电站大型机组轴线的检查调整提供了借鉴。挂线法在官地水电站立式水轮发电机轴线检查中的应用表明:①挂线法具有操作简单、分析准确的特点。通过前期的静态挂线测量方法,可以提前检查轴线的偏折情况以及大轴法兰面与大轴的垂直情况、大轴之间及轴与转轮之间各连接部位的同轴度情况等,经数据分析可以预见机组后期轴系是否可以达到相关标准的要求。如果无法满足,需提前进行处理。②挂线法操作的重点是数据测量的准确性,需要对数据进行详细的准确性判断。如果需要大轴进行提前处理,应对数据进行复测。③挂线法测量体现了机组轴线的分阶段检查处理过程,为机组整体轴线的调整提供了依据,可以有效减少后期轴线的处理压力,赢得部分工期效益。

参考文献:

[1] 胡香梅. 水电站水轮发电机组轴线检查及调整[J]. 江西电力, 2012(6):96-98.

[2] 王超,张伟,张风华,等. 基于 DSP 的水轮机发电机组振动、摆度监控系统[C]//2008 年全国振动工程及应用学术会议暨第十一届全国设备故障诊断学术会议论文集. 青海:西宁,2008.

(收稿日期:2013-11-23 编辑:骆超)