

·设计与研究·

# 水轮发电机组振动处理实践

陆相军

(甘肃省水利水电工程局,甘肃兰州 730000)

**摘要:**水轮发电机组的振动直接影响到机组的使用寿命和经济效益的提高。结合工程实例,分析探讨了机组产生振动的机械原因、水力原因和电气原因,提出了具体的预防处理措施,以确保机组安全可靠运行。

**关键词:**水轮发电机组;振动;原因分析;处理措施

**中图分类号:**TV737 **文献标识码:**B

水轮发电机组振动是一个复杂的综合性问题,同时也是一个普遍存在的问题。振动会对机组造成不同程度的危害,严重时,还会导致机组报废。引起振动的原因主要有:机械原因、水力原因、电气原因等。

## 1 机械振动的预防及处理措施

由于机组机械部分的惯性力、摩擦力及其他力的干扰造成的振动称机械振动。引起机械振动的原因有:设备同心度偏差、机组高程偏差、机组轴线不正、导轴承缺陷、转子叶片质量不平衡等。通过动平衡调整、调整轴线或轴瓦间隙提高精密度和同心度等可以避免机械振动。

武威市西营水电站3#机组(混流式机组,单机容量3 000 kW)在运行8个月时出现了机组振动过大、顶盖排水量增大(排水泵长时间运行)、主轴密封(平板活塞密封)作用降低、满负荷运行导叶开度增大的现象(从80%增至88%)。停机检查发现:转轮上冠及下环间隙由于磨损而变大(上冠间隙由0.50~0.75 mm增至1.10~1.35 mm,下环间隙由0.80~1.50 mm增至1.80~2.35 mm),机组净摆度最大值由安装纪录的0.15 mm增大至0.28 mm。转轮间隙的增加使得转轮与顶盖部位的过水断面增大,单位时间排入集水井的水量增加。

### 1.1 原因分析

经检查分析,转轮与止水环的磨损是由于机组运行过程中机组摆度超出标准且有所增加的前提下,转轮间隙内夹有金属硬物后,在转轮上堆积形成了高点进行长时间的摩擦,从而使得该部位的磨损逐渐加大、机组振动加大、水力损失增加,而磨损过程反过来又进一步促使了机组摆度的增加,从而加剧了对设备的损伤。

盘车检测,设备摆度符合规范值(净摆度小于0.15 mm),但在带负荷运行时超标且逐渐增大。经检查发现是由于推力头与主轴间的配合尺寸出现了微小的偏差(推力头低于配合面0.2 mm,推力头卡环略有松动,运行时摆度数据无规律性),从而引起分块推力瓦的受力不均,因此摆度值在带负荷运行时便超出规范值,加上外界金属杂物因素的影响,从而导致了以上问题的发生。

从机组试运行到检修这一阶段,机组振动和排水量的增大直观地反映出了机组的运行状况变化。

### 1.2 处理措施

(1) 补焊转轮并进行圆度精加工,使其在平衡和结构尺寸上符合实际需要;

(2) 补焊转轮室并进行磨光处理;

(3) 加工符合推力头和主轴配合尺寸的推力头卡环,保证推力头与主轴的紧固配合;

(4) 调整机组轴线和摆度,使其符合规范及设备说明书要求;

(5) 更换已磨损的主轴密封设备。

采用上述方法处理后,机组设备安全运行至今。

## 2 水力原因引起的振动

由于水轮机水力部分动力压力的干扰造成的振动。引起水力振动的原因有:机组在非工况区运行(偏离设计工况下运行,机组一般都存在着一个振动区,为了机组的安全与稳定,工作人员应尽可能地避开这些区域运行)、水力不平衡、流道或尾水管中的水力不稳定、机组吸出高程不符合设计要求等。预防及处理措施:

(1) 气蚀与尾水管涡带引起的机组振动,可用补气的方法减振消振,也可以对尾水管段的缺陷进行补焊和剖光处理等,以消除或减轻水力振动;

(2) 止漏间隙不均匀引起的振动,调整间隙使其匀称,从而减小振动。

(3) 增加尾水及转轮室补气孔面积,以消除水力振动。

## 3 电气原因引起的振动

发电机电磁部分的电磁力干扰造成的机组振动为电磁振动。引起电磁振动的原因有:定子与转子间的空气间隙不均匀导致电磁力不平衡产生振动、发电机三相不对称运行、发电机突然短路(输变电路断路、短路)、发电机转子两点接地、定子铁芯松动等。此外,非同期并列、系统故障、雷击也会使发电机组产生电磁振动。

### 3.1 存在问题

收稿日期:2007-07-18

作者简介:陆相军(1960-),男,山东梁山人,工程师,主要从事水利水电工程机电设备安装及施工管理。

临夏州大河家水电站2<sup>#</sup>机组(转浆灯泡贯流式机组,单机容量3 000 kW),在试运行阶段出现机组振动过大、推力瓦及导瓦瓦温过高的现象(最高温度达到52℃)。另外,水轮机及发电机主轴的径向摆度值均偏大。经长时间运行试验、停机检查及拆除检查发现如下问题:

(1) 发电机空气间隙存在较大偏差。上游侧平均间隙2.90 mm,最大值3.50 mm,最小值2.20 mm;下游侧平均间隙2.95 mm,最大值3.30 mm,最小值2.50 mm;上下游两侧间隙的大小未对应分布,发电机定转子中段最小间隙为2.00 mm。

(2) 主轴的水平度及直线度存在着一定的偏差。通过对各导轴承间隙及主轴各段倾斜程度的测量,发现主轴的直线度不符合自由状态下卧式机组直线度的要求。

(3) 拆除发电机后发现定子设备刚度和内径圆度不符合质量和规范要求(该定子属单点起吊,重约20 t),即在定子自由放置时水平直径大于竖直直径约1.5 mm,在设备起吊时定子竖直直径大于水平直径约2.3 mm。

### 3.2 原因分析

(1) 空气间隙的偏差超出规范要求范围(平均值的±10%)较大,且部分断面偏差较为严重,定子内径圆度及自身强度不符合规范要求及质量标准,由此导致发电机转子所受电磁拉力不平衡,且转子所受磁拉力的大小和方向呈不规则变化状态,从而引起机组的机械振动、电磁噪声和电机温度、环境温度升高。

(2) 主轴的不直度和各导轴承的高程差是引起机组振动和推力瓦、导瓦温升的重要原因。由于主轴直线度存在着一定的偏差(通过对各导轴承瓦间隙的测量而得出),促使机组转动部分的摆度范围较大,从而增加了转轮间隙和空气间隙的不平衡度,因此增大了机组的机械振动和轴瓦的受力。

导瓦的高程偏差使机组的镜板垂直度出现了一定的偏差(卧式机组镜板平面垂直于机组轴线),从而使分块的推力瓦受力不均,机组带负荷运行时,由于惯性的作用,机组转动部分会向高程较低的一端移动,移动所带来的冲量会增加推力瓦的受力。由于受力增加、受力不均和环境温度升高等原因促使了轴承温度的升高。

电磁力不平衡和机械力不平衡所引起的振动、温升和噪声相互作用造成了机组的不良运行状态。

### 3.3 处理方法

(1) 调整定子内径圆度,增加定子外壳强度以确保发电机定子的质量和强度。方法是在定子外壳上增加厚度为200 mm的加强法兰和加强筋板,同时调节内径圆度、检测并焊接,使定子的质量达到合格质量的要求,使圆度的偏差符合规范要求(即实测半径值与平均值之差小于空气间隙的±5%)。保证定子加强后的表面平整度,减小定子外壳对水力流线的影晌作用(经测算,该机组在定子段的过流断面较大,定子直径的增加不会对机组流量产生影响),从而保证空气间隙的均匀性,减小不平衡电磁拉力的影响。

(2) 逐次测量机组机架法兰面、定子法兰面、基础环法兰面的垂直度,对垂直度不符合精度要求(精度要求为0.03 mm/m)的平面进行车削、打磨或加垫处理,使其达到精度要求。

(3) 对机组非固定部分进行拆除,并对过度法兰、定子和机架进行预装,对转轮室、基础环、过度法兰、定子铁芯和机架的同圆心度进行测量并调整,找出影响同心度的因素并加以处理,使其达到规范允许的范围。

(4) 安装并调整转动部分的轴线度和摆度,使其满足规范要求。

大河家水电站机组出现的问题属电磁原因振动和机械原因振动共同作用的结果。经维修、安装和改造,机组的振动、温升和噪声在允许范围内,现机组运行安全可靠。

## 4 安装中振动问题的预防处理措施

岷县清水水电站机组(轴流定浆式机组,单机容量6 000 kW),在施工安装阶段采取事先预测、事先检查和事先处理的原则进行施工。

### 4.1 出现的主要问题

(1) 转轮室圆度不符合设计要求。该电站为低水头大流量机组(设计水头13.37 m,设计流量54.5 m<sup>3</sup>/s),因此转轮外形尺寸较大(设计内径2.960 m,设计高度0.90 m),但转轮室的钢板厚度、法兰强度和筋板数量不足,使得转轮室存在弹性形变,该形变严重影响到了转轮圆度,其圆度偏差与规范允许偏差相差较大。转轮室刚度也无法达到正常使用的性能。另外,转轮室在上、中、下3个断面的实测平均直径值不同,与中段直径均值比较,上段超出0.25 mm,下段减小0.45 mm。转轮室圆度的偏差及同心度的偏差造成水轮机受力不平衡而使机组振动加剧,甚至出现扫膛现象,严重影响设备运行安全。

(2) 经测量,发电机定子铁芯中心断面、定子基础面、定子上发兰平面的平行度也存在较大偏差,当铁芯中心面处于水平时定子上发兰面倾斜,最大水平高差达到2 mm,严重影响机组上机架的水平度。

(3) 安装过程中发现发电机推力头与主轴配合时,其高程偏低,以至于卡环无法卡紧推力头。

### 4.2 解决问题的方法

(1) 转轮室必须先对其圆度进行测量调整,使其达到规范允许范围,然后在内部焊接支撑架,以防止安装及混凝土浇筑时发生变形,焊接加固的方法是在上、中、下3个断面测量、调整并加固同时进行。转轮室与座环同心度的调整也必须同时保证转轮室上、中、下3个断面同心度均符合规范要求。而同心度的调整、控制与混凝土浇筑全过程必须在求心设备监控之下进行。

(2) 定子铁芯安装要求铁芯的垂直度及中心点高程必须满足规范要求,定子基础板和法兰面的水平度调节则需通过车磨处理或加垫处理来实现质量要求,其目的是必须保证上机架的同轴度和推力瓦座的水平度。清水水电站3<sup>#</sup>机组出现的问题通过加垫的方式予以解决。

(3) 机组推力头卡环不紧的处理方法是更换推力头或卡环,如果推力头与主轴在轴向配合出现不紧的问题(非过盈配合),则必须更换或改造推力头。清水水电站3<sup>#</sup>机组推力头问题为高程偏差问题,通过加工符合实际结构尺寸的卡环给予解决。

清水电站在机组安装过程中及时预防并(下转第295页)

(2) 不像氯气那样与水中的有机物反应生成致癌物三氯甲烷。

(3) 易溶于水,在水中稳定不分解,安全、无毒,对人体无副作用。

(4) 能有效地破坏酚、硫化物、氯化物和其他有机物。

(5) 对水中的  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$  和嗅、色具有较好的祛除效果。

(6) 使用安全可靠,无氯气泄漏可能。

(7) 运行成本低,生产 1.00 g 有效氯消耗氯酸钠 0.65 g、盐酸 1.30 g,成本仅为 0.004 元。

### 2.3 DCS 自动化监控系统

DCS 自动化监控系统, 全称为集散型控制系统, DCS 为在模拟量回路控制较多的行业中广泛使用的自动化监控系统, 主要优点是尽量将控制所造成的危险性分散, 而将管理和显示功能集中的一种自动化高技术产品。DCS 一般由 5 部分组成: 控制器、I/O 板、操作站、通信网络、图形及编程软件。其主要部件为系统编程逻辑控制器 (D.PLC), 具有采集、输出、逻辑控制的功能。它主要依赖于计算机技术、网络通信技术和过程控制技术, 通过对现场水位、压力、余氯等信号的搜集和传递, 适时监督执行情况, 获取运行数据, 达到自动化监控的目的。本工程自动化控制系统通过微机、打印机、余氯在线监控系统仪、流量测定仪、压力传感器等一系列设备, 通过自动化程序设计, 实现对 DA863 过滤系统、二氧化氯消毒系统的自动化监控。通过模拟显示、故障报警、数据分析等实现高效自动化处理。具有以下优点:

(1) 以动态方式显示系统运行状态, 使控制界面更友好、更直观, 管理更方便, 设备更具人性化。

(2) 通过在计算机上定义的软按钮, 可通过任意点击鼠标控制现场设备, 提高设备运行的安全性。

(3) 通过计算机强大的运算和记忆功能, 实现实时运行数据的采集处理。输出、存储、历史数据的更新、趋势分析、水池液位在线显示、高低液位控制等, 并以计算机内部时钟为基准, 定时进行过滤器的反洗再生循环。

(4) 良好、可靠的报警功能。

### 3 设备的合理改进与组合应用

(1) 在水厂及设备布置上, 充分利用了自然落差, 在过滤器进口安装了减压稳压阀, 成功地使 DA863 过滤器的进水部分由电泵输水变为自压输水, 将 DA863 过滤器的反冲洗水源由水塔供水变为自压供水, 反冲洗时间由设计的四循环 30 min 改变为五循环 15 min, 在确保供水压力恒定的同时, 最大限度地降低了工程投资, 减小了运行费用。仅此一项, 节约工程投资 20 万元, 年节省电费 7.4 万元 (采用电泵供水时, 电

机功率为 22 kW, 流量 150 m<sup>3</sup>/h, 年耗电量 16.06 万 kW·h)。

(2) 在净水工艺上, 融沉淀、过滤、消毒为一体, 将 DA863 过滤器、二氧化氯发生器及通过 DCS 自动化程序设计将其组装使用, 实现对 DA863 过滤系统、二氧化氯消毒系统的自动化监控。通过微机、打印机、余氯在线监控系统仪、流量测定仪、压力传感器等一系列设备, 将水厂主要运行参数输入微机, 通过电脑监测水厂运行情况, 并对水厂缺水、断电、缺料、进出水水质、余氯等一系列指标进行自动控制与报警, 并能将监控到的数据自动记录和定时输出, 自动化程度较高。净水工艺流程如图 1 所示。

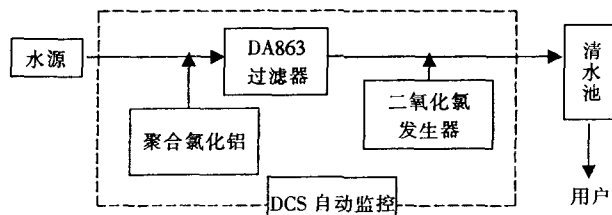


图 1 瓦房城水厂净水工艺流程

### 4 设备运行状况

(1) 水厂选用的 DA863-Y2000(I) 型过滤器, 其设计滤速为 60 m/h, 每小时处理水量 120~200 m<sup>3</sup>, 出水浊度小于 3 mg/L。经自动化监控系统监测的各项数据表明, 进口压力恒定在 0.35 MPa 时, 实际滤速在 60~70 m/h 之间, 每小时处理水量约为 213 m<sup>3</sup>, 日处理水量可达 5 112 m<sup>3</sup>, 满足工程设计最高日水量 4 740 m<sup>3</sup> 的供水要求。历次取水化验结果显示, 原水进水浊度 < 10 NTU 时, 出水浊度 < 1.0 NTU; 原水进水浊度在 10~20 NTU 时, 出水浊度 < 3.0 NTU, 指标均符合设计与有关规范要求。反冲洗系统冲洗平均间隔时间为 15 h, 冲洗时间为 15 min, 运行状态稳定。

(2) 本工程选用的 H2000-500 型二氧化氯发生器有效氯产量为 400 mg/L。观测表明, 发生器能够按照 DCS 监控系统输入的参数要求迅速产生二氧化氯为主、氯气为辅的复合消毒液, 能在设计时间内对水质进行彻底消毒, 运行安全可靠, 无氯气泄漏。历次取水化验表明, 清水池内余氯含量大于 0.4 mg/L, 末梢用水户氯含量大于 0.10 mg/L, 符合国家饮用水 I 级水质标准。

(3) DCS 自动化监控系统能够实现自动化控制, 对计量水泵关停及故障能自动报警, 缺料、缺水、欠压、超液位上下限等能够启动保护系统并自动开停机。正常运行时, 能够执行输入的控制命令, 并能对近期的记录数据、报警记录、适时曲线参数按要求时段定时打印, 运行状况良好。

(上接第 283 页) 发现问题, 提前处理完善了可能存在的质量隐患。机组自 2006 年 7 月 16 日并网发电至今, 运行状况良好。

### 5 结语

水电站机组振动一般都是由机械原因、水力原因和电磁

原因共同作用而产生的。安装及检修中要严格控制质量, 抓住质量控制要点, 在努力提高施工质量的前提下尽最大可能排除设备缺陷和设计缺陷, 将振动及不确定因素消灭在萌芽状态, 以确保机组安全可靠地运行。