

严格质量控制,确保生态机组稳定运行

王开柱¹, 周道明², 张志新¹, 丁世川¹, 刁楠¹

(1. 中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610016; 2. 四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 610072)

摘要:在生态机组安装过程中,认真仔细地进行安装前的检查,发现了设备存在的众多缺陷,将所有发现的缺陷全部处理并达到要求。在施工过程中严格把控质量关,使得生态机组总体安装质量和运行均达到参建各方满意的效果。通过合理化建议,实现了生态机组提前发电,达到了效益最大化目的。

关键词:设备缺陷;处理;质量控制;合理化建议;提前发电;效益;安谷水电站

中图分类号:TV7;TV734;TV737

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)01-0048-03

1 工程概况

安谷水电站采用混合式开发,水库正常蓄水位高程398 m,库容6 330万 m^3 ,设计引用流量为2 640.9 m^3/s ,电站装机容量772 MW,装设4台、单机容量为190 MW的轴流转桨式水轮发电机组(分别为1#、2#、3#、4#,也称大机)和1台12 MW轴流转桨式水轮发电机组(为5#,也称生态机组、小机)。电站以220 kV电压等级接入电力系统,按无人值班(少人值守)设计,多年平均发电量33.03亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。根据工程设计总体布置,工程枢纽区主要由非溢流坝、泄洪冲沙闸、左岸副坝、右岸太平副坝、电站主厂房、尾水渠、船闸等建筑物组成。

首台大机组计划发电时间为2014年9月底,随后3台大机组间隔3个月陆续发电。小机组与4#大机组同时于2015年6月底发电。

5#机组单机容量为12 MW,机组额定转速为214.3 r/min ,额定水头为21 m,转轮直径为3 000 mm。

2 发电目标的调整

根据施工计划,生态机组(5#机)应于2015年6月30日发电。我公司技术人员详细分析了5#机组土建进度及施工工位、桥机使用、设备供货等情况后认为:在增加部分资源的情况下可以实现提前发电的目标,随即编制了可行的施工进度计划。在与监理工程师、业主沟通后,均认可我部的计划并同意调整5#机组的发电目标至2014年底。

3 安装过程及缺陷处理

生态机组的主要设备由尾水管、转轮室、座环、

转轮、导水机构、下机架、定子、转子、上机架、导轴承及推力轴承、受油器等组成。

(1)尾水管的安装。

5#机尾水管分为三节,其安装采用门机进行吊装,安装方位用全站仪放点控制,用拉紧器调整,尾水管高程用水准仪控制、采用千斤顶调整,每段尾水管调整好方位、高程后进行加固。

在第一节尾水管吊装就位、调整好方位、高程后进行加固,再安装第二节和第三节,在安装最后一节尾水管时发现肘管上管口X中心线与设计中心线相比偏向下游约28 mm。经检查发现:第二节尾水管制造尺寸存在问题。经过厂家代表现场复核及检查,在召开的专题讨论会上确认问题属实,属制造缺陷,需要现场对第一节和第二节肘管进行配割,进而使肘管上管口中心符合设计要求。

根据会议要求,对肘管第一节和第二节进行了局部配割,将肘管上管口的X中心线调整与设计中心线一致,满足图纸及设计要求;对错牙较大的部位采取长肉方式进行处理并平滑过渡,最后进行打磨。

尾水管安装完成后进行了尾水锥管安装,用门机将锥管吊装就位,利用千斤顶和拉紧器调整锥管上管口中心与设计中心一致,调整上管口高程在设计允许值范围内后加固尾水锥管并进行焊接,验收合格后浇筑混凝土。

(2)转轮室及座环的安装。

转轮室为整体结构,最大外径为3 250 mm,高1 010 mm,重量为2.63 t。转轮室到货后检查发现:

收稿日期:2017-09-25

转轮室存在变形,其内径尺寸与图纸不符,转轮室圆度超出标准要求。

转轮室用门机吊装就位后粗调转轮室方位,调整转轮室高程比设计需求低约 20 mm 以便于座环调整,再吊装座环就位,利用千斤顶、拉紧器调整座环方位、高程与设计一致后加固座环。调整转轮室与座环把合,用千斤顶调整转轮室圆度及中心符合规范要求后,对转轮室进行加固后浇筑混凝土。

5#机组混凝土全部浇筑完成后测量转轮室圆度及其与座环的同心率,对转轮室圆度超标的部位进行了修磨,最终使转轮室安装的各项数据符合规范要求。

(3) 导水机构的安装。

导水机构的安装分为预装和正式安装。预装是对底环、导叶、顶盖、支持盖等的水平、高程、中心、同心度及导叶端面间隙、立面间隙进行调整,满足规范及图纸要求后对各部件钻铰销钉孔定位,以便于导水机构的正式安装及机组维修回装定位。

先安装底环,用水准仪调整底环水平在 0.05 mm/m 以内,再吊入顶盖与座环把合好,测量顶盖与底环的间距,经过局部打磨调整,导叶端面总间隙在 0.4~0.8 mm 之间。底环、顶盖、支持盖与转轮室同心度采用挂钢琴线结合内径千分尺进行调整,同心度最大值为 0.18 mm,满足规范要求。

在发电机定子、下机架、上机架预装完成后,进行导水机构的正式安装。在分配好导叶端面间隙后,通过捆导叶和偏心销调整导叶立面间隙,调整后除 9 号导叶与 10 号导叶之间下端存在 0.05 mm 的间隙,长度为 150 mm,13 号导叶与 14 号导叶、16 号导叶与 17 号导叶下端有 0.05 mm 的间隙,长度为 100 mm,其他导叶之间的局部间隙用 0.05 mm 塞尺不能塞入,满足规范要求。

在导水机构预装过程中,因端面间隙不满足要求,在现场对底环进行了加工处理;对部分导叶端面进行了打磨,最终使导水机构预装质量满足规范要求。

(4) 转轮的安装。

转轮直径为 3 000 mm,由转轮体、枢轴、5 个叶片及叶片轴、转轮叶片操作机构、活塞、活塞及泄水锥组成。设计和制造均由浙江中水有限公司完成。转轮体为整铸结构,整体运输到工地。转轮组装在厂内进行,并完成动作及密封试验后发运至工地,

仅在现场做动作及密封试验检查。

转轮运输到现场进行动作试验时发现转轮放置在支墩上转轮叶片无法全开,经过在现场对支墩进行加高处理后满足了转轮试验条件。在动作试验过程中发现转轮活塞存在串油,遂进行了返厂处理,返厂回来后再次进行动作及密封试验,发现转轮护板处有渗油,将护板刨开,检查发现为把合螺栓处有漏油,再将把合螺栓全部紧固一遍后,漏油问题排除。转轮试验完成后,将水轮机大轴、支持盖一起组装后吊入机坑,检查转轮叶片间隙在 1.9~2.85 mm 范围内,满足图纸要求。

(5) 定子的安装。

发电机定子在场内进行组装、试验及下线、整体耐压工作后发货到现场。定子外径为 5 000 mm,高度 1 900 mm,重量 33.85 t。

定子运输到场验收时发现包装定子的塑料布内积有雨水,通过绝缘检查确认定子受潮,按照厂家处理方案,进行了多次加温干燥处理,最终定子绝缘符合要求。

在定子安装时,发现定子机座与基础板把合后组合面最大有 0.5 mm 的间隙。因机组为悬吊式结构,定子安装质量非常关键,将影响到机组的安全运行,在与厂家、监理、发包人一起商议后,决定采用在定子机座与基础板组合处增加压板的方案,经过处理,消除了定子机座与基础板间存在的间隙,满足规范要求。

(6) 转子组装及安装。

发电机转子外形尺寸为 4 500 mm×5 300 mm,整体重量为 58.758 t。由厂家在厂内完成叠片,现场仅负责进行磁极挂装及试验工作。

转子放置在基础上,用框式水平仪调整大轴垂直度达到 0.02 mm/m。检查磁轭垂直度超出规范要求,经过现场多次修磨处理,垂直度满足规范要求。

磁极挂装前进行绝缘电阻及耐压试验,有一个磁极未通过耐压试验,返厂处理后通过试验。按照图纸挂装磁极,调整磁极中心线高程与转子中心一致,通过加垫调整打紧磁极键,使转子圆度符合图纸及规范要求。安装极间连接、阻尼环、磁极撑块,因图纸设计中极间连接、阻尼环外侧螺母没有锁片,根据业主要求,在连接、阻尼环外侧螺母处增设了锁片。转子所有工作全部完成后,进行了转子整体试验,试验一次性通过。

(7)机组总装。

在机组安装过程中,推力瓦受力及镜板水平至关重要。经过严格把关,推力瓦受力采用锤击抗重螺栓的方法进行调整,调整后,相同锤击力下每块推力瓦受力均匀,镜板水平达到 0.02 mm/m。机组轴线调整后,水导轴承处、下导轴承处、法兰处摆度均符合规范要求值。

机组轴线调整好后,调整转动部分至转轮室中心,抱上导瓦、固定主轴,进行水轮机主轴密封及水导轴承、下导轴承安装,最后进行上导轴承安装,导瓦间隙按照各轴承处的摆度分配,回装完成后对各油槽注油。

4 机组启动试运行情况

在调速器调试过程中发现控制环有抬起现象,经过现场分析及会议讨论,决定在控制环处增加 4 块防抬起压板,由厂家进行设计加工、现场安装,从而解决了控制环抬起的问题。在机组完成无水调试后,5#机组于 2014 年 12 月 27 日开始进入充水调试,机组过速试验时最高转速为 351 r/min,蜗壳水压上升率为 100.3%,尾水管水压上

升率为 101.2%,各项试验数据正常(表 1),试验后检查转动部分无异常。

表 1 试验数据表

序号	项目名称	过速前值	过速时最大值
1	水导 X 摆度/ μm	30.5	102.2
2	水导 Y 摆度/ μm	39.5	115.6
3	下导 X 摆度/ μm	54.9	98.7
4	下导 Y 摆度/ μm	59.9	112.7
5	顶盖水平振动/ μm	2.3	4.8
6	顶盖垂直振动/ μm	3	4.9
7	下机架水平振动/ μm	8.4	29.6
8	上机架垂直振动/ μm	10.6	43.9
9	定子水平振动/ μm	5.9	14.5
10	水导瓦温度/ $^{\circ}\text{C}$	33.5	34.8
11	下导瓦温度/ $^{\circ}\text{C}$	31	31.4
12	推力瓦温度 1/ $^{\circ}\text{C}$	35.9	36.5
13	推力瓦温度 2/ $^{\circ}\text{C}$	36.3	36.8
14	上导瓦温度/ $^{\circ}\text{C}$	41.9	42.4

机组甩负荷按 25% (3 MW)、50% (6 MW)、75% (9 MW)、100% (12 MW) 额定负荷进行,甩负荷试验机组各部振动、摆度值良好(表 2),停机检查各部无异常。

表 2 甩负荷试验数据表

工况名称	转速 / $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	上平 振动 + X	上平 振动 - Y	上垂 振动 - Y	定中平 振动 + X	下平 振动 + X	下平 振动 - Y	下导 摆度 + X	下导 摆度 - Y	水导 摆度 + X	水导 摆度 - Y	顶平 振动 - Y	顶垂 振动 - Y
甩负荷 前空载	214.8	8.8	10.9	4.2	6.5	6.8	8.9	54	55.3	71.8	45.2	2.6	1.2
甩 25% 额定负荷	250.5	16	16.9	9.3	9.1	14.9	19.8	56.5	60.6	51.7	52.2	4.6	2.7
甩 50% 额定负荷	231.4	12.4	13.9	8	9.3	11.3	13.7	56.1	62.7	42.2	47.7	3.5	1.9
甩 75% 额定负荷	247.9	24.3	27.4	12.9	11.7	11.7	15.5	71	85.7	53.1	52.9	3.5	2
甩 100% 额定负荷	246.6	26.2	27.3	14.6	12.9	14.9	20.7	84.7	85.7	73.4	72.6	3.9	1.6
甩负荷 后空载	214.3	9.5	11	3.8	6.1	8.9	8.3	49.4	52.9	36	37.9	1.9	1.1

按照经启委会批准的调试大纲试验要求,经过 4 d 紧张有序的调试,机组于 2014 年 12 月 31 日进入 72 h 试运行,机组各部瓦温、摆度、振动运行正常,控制环处安装压板后运行正常,2015 年 1 月 3 日 5#机组顺利完成 72 h 试运行。试运行期间机组在 7.46~12.72 MW 负荷区间运行(表 3)。

从机组调试及 72 h 试运行情况看,机组振动、摆度情况良好,机组运行过程中噪声很小,机组运行工况良好。

5 结 语

表 3 机组振动摆度数据表

项 目	带最大负荷	带最小负荷
	12.72 MW	7.46 MW
顶盖垂直振动/ μm	11	8
顶盖水平振动/ μm	89	98
下机架水平振动/ μm	4	4
上机架垂直振动/ μm	28	10
上机架水平振动/ μm	12	11
定子水平振动 μ/m	7	7
水导 X 摆度/ μm	52	46
水导 Y 摆度/ μm	55	49
下导 X 摆度/ μm	50	47
下导 Y 摆度/ μm	50	48

(下转第 72 页)

轮闸门,定轮装置数量共计 256 套,设计轮压荷载达 3 700 kN,且各定轮闸门在工作挡水或平常停放位置时大部分数量的定轮装置被浸泡在水下,关系到闸门的闭门可靠性及定轮寿命,因此,定轮装置及轨道的结构布置与材料选取方案就显得尤为重要。

经比选研究,最终采用的定轮及轨道布置满足闸门运行工况下荷载及使用环境,定轮踏面与轨道工作面的线接触应力达到 1 224. 834 N/mm²,轮子采用经调质后的 35CrMo 锻件,机加工后进行表面淬火,表面硬度为 HB290 ~ 330;轮子轴承采用调心滚子轴承,内径为 300 mm,外径为 500 mm。通过对轴承内腔加注适当容量的钙基润滑脂进行润滑,轴承额定静荷载≥6 100 kN。为满足水下密封,轴承密封装置采用氢化丁腈 + PVC 材质的双唇密封圈,与密封圈滑动的轴承内档采用 45#钢经热处理后表面镀铬,其经表面磨削后粗糙度达 1. 6 μm。定轮的工作轨道采用经调质后的 42CrMo 锻件,机加工后进行表面淬火,表面硬度为 HB330 ~ 370。

5 吊具存放槽结构布置特点

厂房 3 000/2 × 250 kN 双向门机设置于坝顶 400. 7 m 高程平台上,主起升机构配置 2 套平衡梁,分别用于启闭大机组和生态机组厂房进口拦



(上接第 50 页)

(1)机电设备安装是一个电站修建中的最后环节,也是电站实现创收、安全稳定运行的最终目的。安谷水电站生态机组(5#机)在安装过程中发现设备缺陷很多,项目部为保证安装质量,把发现的缺陷一一消除,施工时间虽然比计划时间延长,但施工质量得到了保证。机组安装初期,由于设备缺陷多,大家对机组的运行情况心里没底,但经过精心施工及调试,最终机组运行情况非常好,机组运行时的噪声非常小,机组振动、摆度值比规范优良值还有提高。

(2)生态机组的合同计划发电时间为 2015 年 6 月 30 日。我部根据现场情况提出了生态机组可提前发电的合理化建议,虽然因机组设备缺

污栅。另外配置了 3 套液压自动挂脱梁,分别用于启闭大机组厂房进口检修门、大机组厂房进口事故门和生态机组厂房进口事故门。考虑到坝面整齐美观,在坝顶右岸设置了吊具专用存放槽,用于专门存放以上 5 套吊具。

吊具存放槽的深度考虑各吊具放入后能满足各吊具均在坝面以下并在槽底部左右边设置二期混凝土支承墩;支承墩的高度高于各个吊具下端的吊耳高度,支承墩的位置在兼顾各个吊具下端非吊耳位置作为支承点;在二期混凝土支承墩顶部设置汽车减速带,以使各吊具在下落至支承墩顶面时起缓冲作用。

6 结 语

安谷水电站自第一台机组发电至今已安全运行了 1 a 时间,电站的各类金属结构设备运行状况良好,闸门止水效果较好,启闭灵活可靠。笔者阐述的该工程金结方面的几个特点亦经过运行考验,均达到设计要求。

作者简介:
贺开宇(1982-),男,重庆铜梁人,工程师,从事水工金属结构设计工作;
彭 青(1985-),女,四川成都人,工程师,从事水工金属结构设计工作。

(责任编辑:李燕辉)

陷多、处理时间长,但生态机组仍然于 2015 年 1 月 3 日实现了投产发电,较合同发电时间提前了近 6 个月时间。

作者简介:
王开柱(1973-),男,四川江安人,工程师,从事项目技术与管理工
作;
周道明(1978-),男,重庆开州人,副总监理工程师,工程师,从事
水电工程机电工程监理工作;
张志新(1974-),男,河北正定人,工程师,从事项目管理工作;
丁世川(1987-),男,四川广安人,助理工程师,从事项目技术与管
理工作;
刁 楠(1989-),男,四川金堂人,助理工程师,从事项目技术与管
理工作。

(责任编辑:李燕辉)