

浅析黄丹水电站机组协联曲线对运行稳定性的影响

曾仕钊

(四川海能黄丹水电有限公司,四川沐川 614505)

摘要:试验研究结果表明:协联曲线的不优是引起水轮发电机组振动的原因之一。通过对对其进行修正,能够改善轴流转桨式水轮发电机组的运行工况,提高机组运行的稳定性和水轮机的效率。黄丹水电站轴流转桨式水轮发电机组异常振动采取的处理措施,可为研究和改善该类型水轮机组运行稳定性提供方法和依据。

关键词:协联曲线;轴流转桨式;运行稳定性;异常振动;黄丹水电站

中图分类号:TV734.4;TV7;TV737;TV734

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)02-0087-06

黄丹水电站位于四川省乐山市沐川县黄丹镇下游约4 km处,是马边河干流水电梯级规划开发中的第6级电站,于1992年9月开工建设,1995年10月第一台机组并网发电。黄丹水电站采用闸坝及坝后式厂房壅水发电,正常蓄水位高程378 m,设计水头23 m,装设三台单机容量为15 MW的轴流转桨式水轮发电机组,总装机容量45 MW。

2012年6月19日,四川省水利厅、四川省财政厅以川水函(2012)1094号文批复了沐川县黄丹水电站增效扩容改造初步设计报告。2013年6月20日,水规计(2013)288号文批复四川省农村水电增效扩容改造实施方案。增效扩容改造后,单机容量增至16 MW,总装机容量为48 MW。设计水头23 m,最大水头26.9 m,最小水头11.8 m。

黄丹水电站三台水轮发电机组改造前后的参数见表1、2。

表1 改造前水轮发电机组参数表

| 水轮机 | | 发电机 | |
|------|--------------|------|--------------|
| 型号 | ZZ500-LH-330 | 型号 | SF15-28/5500 |
| 额定水头 | 23 m | 额定电压 | 10 500 V |
| 额定出力 | 15.47 MW | 额定电流 | 1 031 A |
| 额定转速 | 214.3 rpm | 功率因数 | 0.8 滞后 |
| 飞逸转速 | 465 rpm | 额定频率 | 50 Hz |
| 吸出高程 | -3.1 m | | |

收稿日期:2015-12-12

表2 改造后水轮发电机组参数表

| 水轮机 | 发电机 |
|-------------------|-----------------|
| 型号 ZZA1101-LH-330 | 型号 SF16-28/5500 |
| 额定水头 23 m | 额定电压 10 500 V |
| 额定出力 16.5 MW | 额定电流 1 099 A |
| 额定转速 214.3 rpm | 功率因数 0.8 滞后 |
| 飞逸转速 560 rpm | 额定频率 50 Hz |
| 吸出高程 -4.63 m | |

黄丹水电站增效扩容改造工作从2014年10月开始动工,于2015年11月23日全面完工。

1 黄丹水电站机组振动情况及初步分析

黄丹水电站三台轴流转桨式机组均为哈尔滨电机厂设计制造,调速器装置仍采用旧机组调速器装置,其型号为DFWST-100-4.0-STARS微机型自复中双调式调速器装置。

三台机组自改造完成投入运行以来,先后暴露出一系列问题。根据机组振区界定试验报告, #1、#2 机组在1.6 MW至4.8 MW区域运行时,发现水摆因尾水管涡带压力脉动引起低频水力振动,其波形表现为0.36倍转频。当机组负荷带至4.8 MW时由尾水管涡带压力脉动引起的低频水力振动基本消失,形成良好的转频波形(图1、2、3)。#3 机组负荷升至1.6 MW时,出现了因尾水管涡带压力脉动引起的低频水力振动,水摆受其影响表现为0.55倍频与转频的混频波。当机组负荷带至6.4 MW时,尾水管涡带压力脉动引起的轻微低频水力振动基本消失,机组运行稳定性优良。

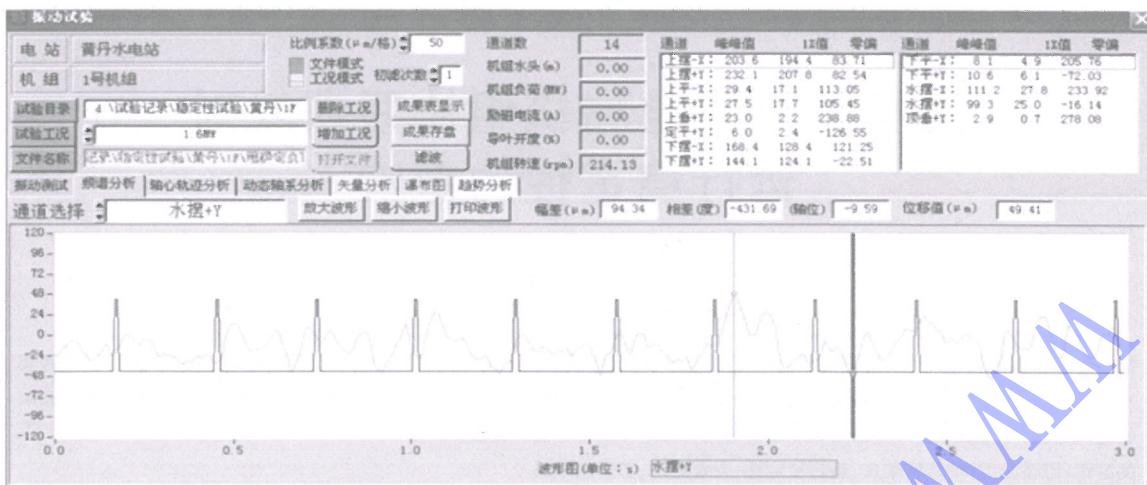


图1 #1 机组 1.6 MW 负荷时水摆 + Y 的杂乱波形及频谱分析图

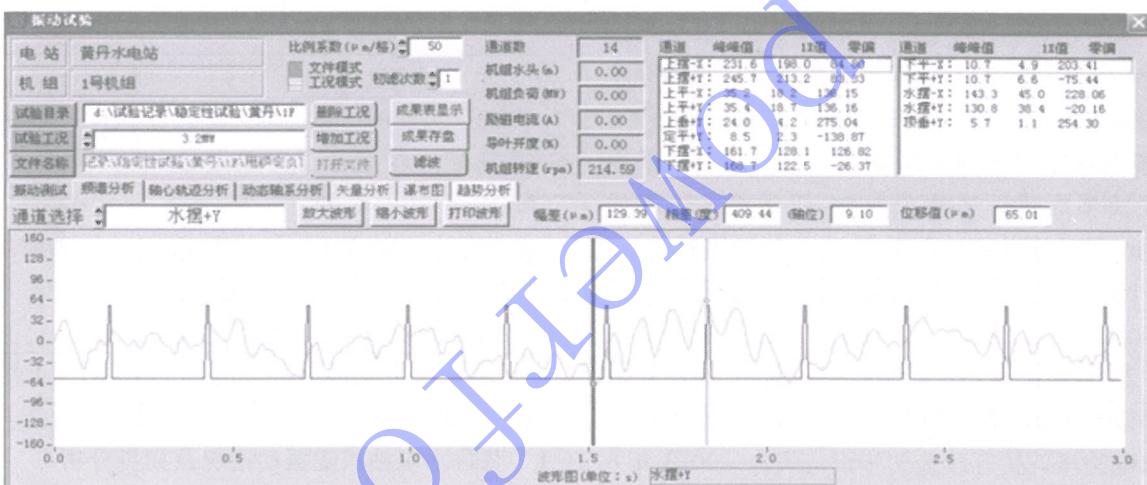


图2 #1 机组 3.2 MW 负荷时水摆 + Y 的混频波形及频谱分析图

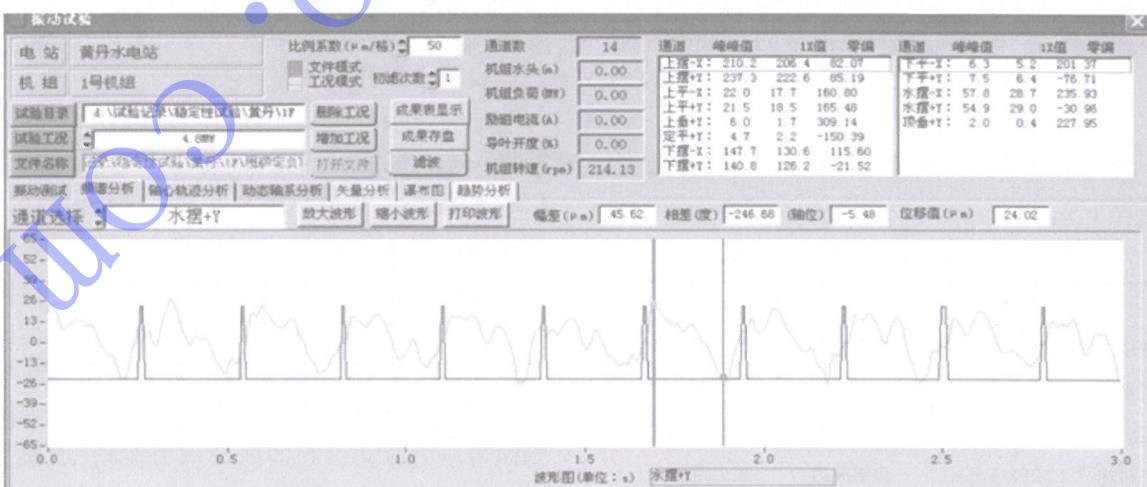


图3 #1 机组 4.8 MW 负荷时水摆 + Y 的转频波形及频谱分析图

同时, #1、#2 及 #3 机组在高水头高负荷区域运行时(如水头 27 m)出现问题。在开机带负荷

过程中, 机组负荷从 15 MW 升至 16 MW 时, 虽然各部导轴承摆度均正常, 但在副厂房主控室会明

显感觉到有间断性的“锤击”振动噪声,持续时间约为10 min。#3 机组在25~26 m水头、带固定负荷15 MW区域运行时,其振动和摆度均比在其

它区域明显,各部摆度同比增大约50 μm左右且噪声明显增大。各部摆度测试结果见表3。

针对三台机组的实际运行情况,我站组织技

表3 #3 机组在25 m水头下各部摆度测试结果表

/μm

| 工况名称 | 转速 /rpm | 上摆 -X | 上摆 +Y | 上平 -X | 上平 +Y | 上垂 +Y | 定平 +Y | 下摆 -X | 下摆 +Y | 下平 -X | 下平 +Y | 水摆 -X | 水摆 +Y |
|---------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 并网 | 214.6 | 219.3 | 244.3 | 28.1 | 30.3 | 23.8 | 6.7 | 178 | 164 | 8.6 | 10.3 | 114 | 100 |
| 1.6 MW | 214.1 | 203.6 | 232.1 | 29.4 | 27.5 | 23 | 6 | 168 | 144 | 8.1 | 10.6 | 111 | 99 |
| 3.2 MW | 214.6 | 231.6 | 245.7 | 35.2 | 35.4 | 24 | 8.5 | 162 | 169 | 10.7 | 10.7 | 143 | 130 |
| 4.8 MW | 214.1 | 210.2 | 237.3 | 22 | 21.5 | 6 | 4.7 | 148 | 140 | 6.3 | 7.5 | 57.8 | 54.9 |
| 6.4 MW | 214.1 | 199.4 | 224.2 | 22.4 | 19.5 | 5.5 | 4.3 | 130 | 129 | 5.9 | 6.8 | 42.2 | 46.2 |
| 8 MW | 214.1 | 197.6 | 223.6 | 22.1 | 20.8 | 6.2 | 4.7 | 133 | 134 | 6.9 | 7 | 48.6 | 56.2 |
| 9.6 MW | 214.1 | 234.4 | 254.6 | 19.8 | 19.6 | 6.3 | 4.1 | 158 | 157 | 7 | 7.6 | 44.5 | 38.8 |
| 11.2 MW | 214.1 | 199.3 | 219.3 | 22.9 | 20.6 | 6.2 | 4.9 | 137 | 132 | 6 | 7.4 | 52.8 | 56.4 |
| 12.8 MW | 214.1 | 195.2 | 216.9 | 20.5 | 20 | 6.1 | 5 | 135 | 131 | 6.2 | 6.8 | 53.7 | 46.9 |
| 14.4 MW | 214.1 | 226.8 | 236.7 | 23.5 | 24.4 | 15.5 | 5 | 152 | 147 | 7.5 | 8.8 | 75 | 81.1 |
| 16 MW | 214.1 | 241.7 | 237.3 | 22.8 | 24.4 | 18 | 4.6 | 154 | 145 | 7.2 | 8.1 | 76.7 | 79.3 |
| 17 MW | 214.1 | 245.8 | 243.9 | 22.3 | 23 | 17.5 | 4.3 | 155 | 147 | 7.4 | 8.9 | 77.9 | 78.6 |

术人员进行了一系列的分析、探讨、试验和研究。轴流转桨式机组发生振动的原因主要分为水力、机械、电气三方面,其它如调速器系统失调、振荡的因素也存在,但不甚严重,亦不常发生。

水力因素系指振动中的干扰力来自水轮机水力部分的动水压力。其特征是带有随机性且当机组处在非设计工况或过渡工况运行时,因水流状况恶化,机组各部件的振动亦明显增大。由于单位体积水流的能量取决于水头,故机组的振动一般随水头的降低而减弱,高水头、低负荷时振动相对来说较为严重。产生振动的水力因素主要有:水力不平衡、尾水管低频水压脉动、空腔汽蚀、卡门涡列、间隙射流等。

机械因素系指振动中的干扰力来自机械部分的惯性力、摩擦力及其它力。其特征是振动频率等于机组的转动频率或整倍数的机组转动频率。引起振动的机械因素主要有:转子质量不平衡、机组轴线不正、导轴承缺陷等。

电气因素系指振动中的干扰力来自发电机电气部分的电磁力。其特征是振动随励磁电流的增大而增大。引起电磁振动的主要因素有转子绕组短路、空气间隙不均匀等。

根据对机组励磁试验数据进行分析得知,各部位振动摆度幅值与励磁电压幅值的关系不明

显,因此,基本可以排除电气因素。同时,根据机组振动界定试验报告分析认为:#1、#2 机组在0~4.8 MW 区域属于振动区,#3 机组在0~6.4 MW 区域属于振动区。针对高水头工况下#1、#2 及#3 机组从15 MW 升至16 MW 过程中出现的机组异常振动现象初步分析认为:其系因尾水位太低不满足机组尾水吸出高程所致。

经调研发现:调速器 PLC 程序采用自动水头,程序中设定10 min 录入一次实时水头。在开机过程中,因尾水位变化导致水头变化较大(约1.5 m),机组所运行的协联曲线未能跟踪实时水头,在低水头情况下仍采用高水头协联曲线运行,其与机组开机带负荷出现异常振动的时间相吻合,约为10 min。

根据上述分析,笔者认为不排除机组存在调速器导叶、桨叶协联曲线不优的情况。从水轮机的原理得知:水轮机在转轮的无撞击进口和最优出流方向的条件下水力损失最小、水力效率最高。为了保证双调机组处于最优工况下运行,要求水轮机桨叶能随水头、流量、出力的变化而随时自动进行调节。也就是说,机组必须具备自动协联运行,以使机组效率最高。机组自动运行的协联曲线是由机组制造厂(哈电)提供的,该曲线是由机组制造厂家通过机组模型试验的方法求得的,这

是一条理想的曲线。由于在机组制造、安装过程中存在一些偏差,使得机组实际运行时与模型试验的结果不相符,甚至出入比较大,因此,笔者认为有必要根据机组的实际运行工况对该曲线进行修正,进而对提高机组运行的稳定性和水轮机效率都具有十分重大的意义。

2 调速器装置 PLC 程序的修改

针对调速器装置 PLC 程序录入实时水头的时间偏长,即运行的协联曲线不能跟踪实时水头的缺陷,我们进行了以下两项工作。

首先,在开机过程中采用人工水头,将人工水

头的设置比实际水头降低 2 m,即人为破坏协联关系,待机组负荷带满后,再切换为自动水头。

其次,对调速器装置 PLC 程序进行了修改。机组并网后,PLC 程序及时采集实时水头并录用,使其运行的协联曲线与实时水头相匹配。

采取以上两项措施后效果较明显,机组运行工况得到了较大的改善,降低了开机升负荷过程中的各部振动和摆动幅度,缩短了机组的振动时间(由 10 min 缩短为 20 s)。各部摆度实测值见表 4。

3 协联曲线的修正

表 4 程序修改后#3 机组在 25 m 水头下各部摆度数据表

| 工况名称 | 转速 /rpm | 上摆 -X | 上摆 +Y | 上平 -X | 上平 +Y | 上垂 +Y | 定平 +Y | 下摆 -X | 下摆 +Y | 下平 -X | 下平 +Y | 水摆 -X | 水摆 +Y | /μm |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 并网 | 214.6 | 209.3 | 234.3 | 27.5 | 29.5 | 23.4 | 5.6 | 168 | 165 | 7.6 | 8.3 | 104 | 88 | |
| 1.6 MW | 214.1 | 193.6 | 222.1 | 28.7 | 28.7 | 22 | 5.8 | 158 | 145 | 7.1 | 8.6 | 101 | 89 | |
| 3.2 MW | 214.6 | 221.6 | 235.7 | 33.5 | 33.2 | 21 | 6.7 | 154 | 159 | 8.5 | 9.7 | 123 | 105 | |
| 4.8 MW | 214.1 | 200.2 | 227.3 | 23 | 21.7 | 6 | 4.4 | 138 | 130 | 6.3 | 7.6 | 67.8 | 44.9 | |
| 6.4 MW | 214.1 | 199.4 | 214.2 | 22.7 | 19.3 | 5.5 | 4.2 | 130 | 125 | 6.4 | 6.8 | 42.2 | 36.2 | |
| 8 MW | 214.1 | 197.6 | 213.6 | 22.9 | 20.8 | 6.2 | 4.3 | 123 | 124 | 6.7 | 7.3 | 46.6 | 36.2 | |
| 9.6 MW | 214.1 | 224.4 | 234.6 | 20.8 | 19.6 | 6.3 | 4.1 | 137 | 137 | 6.8 | 7.2 | 44.5 | 38.8 | |
| 11.2 MW | 214.1 | 199.3 | 219.3 | 21.6 | 20.6 | 6.2 | 4.6 | 135 | 122 | 6.5 | 7.4 | 43.8 | 46.4 | |
| 12.8 MW | 214.1 | 195.2 | 216.9 | 20.5 | 20 | 6.1 | 4.3 | 135 | 121 | 6.2 | 6.8 | 52.7 | 46.9 | |
| 14.4 MW | 214.1 | 196.3 | 211.3 | 20.3 | 20.1 | 6.2 | 4.7 | 122 | 117 | 6.5 | 5.8 | 52 | 49.1 | |
| 16 MW | 214.1 | 198.4 | 210.2 | 19.5 | 20.1 | 6.7 | 4.6 | 114 | 125 | 6.2 | 6.0 | 52.1 | 49.3 | |
| 17 MW | 214.1 | 198.5 | 211.5 | 19.8 | 20.5 | 6.9 | 4.3 | 117 | 127 | 5.4 | 6.1 | 50.2 | 48.6 | |

黄丹水电站机组在采用厂家提供的协联曲线进行运行时,发现机组振动和声音均明显(尤其是#3 机组)。将桨叶切换到手动、适当调整(减小)桨叶开度,发现在同样水头、同样的导叶开度情况下,虽然出力略为降低,但振动及声音有明显的好转。

为此,我们对黄丹水电站三台机组协联曲线进行了修正。首先从大量的运行参数中筛选出较优的参数作为现场调整的参考;其次,在现场调整时对机组参数进行反复的观察、分析和判断,以找到机组振动、声音和出力三者同时存在的最佳点。

协联曲线修正的具体方法为:

(1)确定目前的运行水头。用毛水头适当减去一定的水头损失(这样的水头才更真实)。毛水头是指用上游水位高程减去下游水位高程所得到的水头;净水头亦称为工作水头或运行水头,是

指毛水头减去引水系统中的沿程水头损失和局部水头损失。

笔者采用估算法得到该站水头损失约为 50 cm,即:

$$\text{工作水头} = \text{毛水头} - 50 \text{ cm}$$

(2)根据筛选整理出来的运行范围参数进行调整,先使导叶开度不变,调整桨叶开度 3~4 次,记下各桨叶开度下机组出力值、机组声音和振动摆度情况。

(3)改变导叶开度(导叶开度从 50% ~ 98% 按 10% 增加),再调节桨叶开度 3~4 次,记下各桨叶开度下机组出力值、机组声音和振动摆度情况。

(4)改变机组运行水头,在各特定水头情况下,重复第 2 项和第 3 项工作。

(5)试验数据(以#3 机组为例)。

上游水位:高程378 m;尾水水位:高程352.5 m,毛水头25.5 m,工作水头25 m。#3机

组做定导叶工况试验,机组运行部分参数及试验数据见表5。

表5 #3机组定导叶工况运行机组部分参数及试验数据表

| 导叶开度/% | 浆叶开度/% | 负荷/MW | 上摆X | 上摆Y | 上平X | 上平Y | 定平Y | 下摆X | 下摆Y | 下平X | 下平Y | 水摆X | 水摆Y | /μm |
|--------|--------|-------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|
| | 27 | 7.85 | 198 | 214 | 23 | 21 | 4.4 | 123 | 124 | 6.7 | 7.3 | 46.6 | 36.2 | |
| 50 | 26 | 7.8 | 193 | 208 | 22 | 20 | 4.3 | 120 | 123 | 6.5 | 7.2 | 45.3 | 35.4 | |
| | 25 | 7.8 | 194 | 210 | 24 | 21 | 4.4 | 122 | 123 | 6.6 | 7.3 | 46 | 35.9 | |
| | 39 | 9.6 | 224 | 235 | 21 | 20 | 4.1 | 138 | 137 | 6.8 | 7.2 | 44.6 | 39.2 | |
| 55 | 38 | 9.4 | 223 | 229 | 20.9 | 19.8 | 3.9 | 135 | 133 | 6.4 | 6.8 | 42.2 | 37.2 | |
| | 36 | 9.2 | 213 | 215 | 18.8 | 18.3 | 3.7 | 127 | 126 | 6.3 | 6.9 | 40.6 | 33.2 | |
| | 50 | 10.9 | 199 | 219 | 22 | 20.7 | 4.6 | 135 | 122 | 6.5 | 7.4 | 43.9 | 46.5 | |
| 60 | 48 | 10.8 | 189 | 209 | 19 | 18.3 | 3.8 | 126 | 119 | 6.2 | 6.9 | 42.7 | 41.6 | |
| | 46 | 10.6 | 176 | 195 | 17 | 16.5 | 3.4 | 123 | 116 | 5.9 | 6.3 | 39.2 | 34.5 | |
| | 63 | 12.6 | 195 | 217 | 20.6 | 20 | 4.4 | 135 | 121 | 6.2 | 6.8 | 52.6 | 46.8 | |
| 65 | 61 | 12.4 | 185 | 206 | 18 | 19 | 3.9 | 127 | 119 | 5.7 | 6.3 | 48.9 | 43.2 | |
| | 59 | 12.3 | 179 | 187 | 17.5 | 17.7 | 3.6 | 122 | 117 | 5.2 | 5.8 | 46.6 | 42.5 | |
| | 57 | 12 | 165 | 169 | 16.3 | 15.8 | 3.2 | 114 | 115 | 4.9 | 5.3 | 43.2 | 42.4 | |
| | 76 | 14.4 | 196 | 211 | 20.5 | 20.1 | 6.2 | 122 | 117 | 6.5 | 5.8 | 52 | 49.1 | |
| | 74 | 14.3 | 186 | 194 | 19 | 20 | 5.7 | 121 | 115 | 6.3 | 5.7 | 49.3 | 49.5 | |
| 70 | 72 | 14.3 | 175 | 182 | 18.6 | 19.3 | 4.3 | 119 | 109 | 5.9 | 5.4 | 46.7 | 47.3 | |
| | 70 | 14 | 167 | 168 | 17.7 | 18.7 | 3.8 | 119 | 106 | 5.5 | 4.9 | 42.5 | 43.4 | |
| | 68 | 13.8 | 159 | 162 | 16.2 | 16.5 | 3.3 | 113 | 105 | 4.8 | 4.2 | 38.3 | 36.8 | |
| | 87 | 16 | 198 | 210 | 19.5 | 20.1 | 4.7 | 114 | 125 | 6.2 | 6.0 | 52.1 | 49.3 | |
| 75 | 85 | 15.9 | 165 | 172 | 16.9 | 17.8 | 3.9 | 112 | 118 | 5.7 | 5.5 | 48.7 | 46.8 | |
| | 83 | 15.7 | 139 | 145 | 13.7 | 14.3 | 3.5 | 109 | 113 | 5.3 | 5.5 | 46.3 | 43.2 | |
| | 81 | 15.6 | 107 | 116 | 8.6 | 9.2 | 3.2 | 107 | 109 | 4.8 | 5.4 | 44.9 | 40.6 | |
| | 79 | 15.5 | 70.6 | 76.7 | 5.5 | 6.3 | 2.3 | 104 | 106 | 4.7 | 5.4 | 43.4 | 37 | |
| | 98 | 17.5 | 198 | 211 | 19.6 | 21 | 4.8 | 115 | 127 | 6.3 | 5.9 | 53.3 | 51.2 | |
| 80 | 96 | 17.3 | 165 | 169 | 17.2 | 18.2 | 3.7 | 113 | 121 | 5.9 | 5.6 | 49.2 | 47.1 | |
| | 92 | 17 | 127 | 131 | 9.3 | 10.6 | 3.3 | 108 | 115 | 5.4 | 5.4 | 46.7 | 43.5 | |
| | 90 | 16.8 | 72.4 | 77.2 | 5.7 | 6.2 | 2.5 | 106 | 109 | 4.8 | 5.2 | 44.3 | 39 | |

从试验数据中我们得出黄丹水电站机组协联曲线具有一个特点:就是当机组导叶开度大于75%以后,桨叶开度不应过大;若桨叶开度过大,虽然出力有所增加,但机组振动、声音加大,水轮机效率相对减小。导叶开度大于90%后,桨叶开

度全开并保持不变。

通过以上步骤分析比较后选出各特定水头下导叶开度相对应的最佳桨叶开度并进行整理,得出机组新协联曲线。机组协联曲线修改前后情况见表6、7。

表6 机组原协联曲线参数表

| 导叶开度 | 桨叶开度 | | | | | | | |
|------|--------|------|--------|--------|--------|------|--------|------|
| | 21.5 m | 23 m | 23.8 m | 24.5 m | 25.3 m | 26 m | 26.5 m | 27 m |
| 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 30% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 40% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% | 8% | 10% |
| 50% | 11% | 11% | 18% | 25% | 27% | 30% | 35% | 41% |
| 60% | 35% | 40% | 44% | 47% | 50% | 53% | 56% | 60% |
| 70% | 58% | 65% | 68% | 72% | 76% | 80% | 85% | 90% |
| 80% | 84% | 92% | 95% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% |
| 90% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% |
| 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% |

表7 机组新协联曲线参数表

| 导叶开度 | 桨叶开度 | | | | | | | |
|------|--------|------|--------|--------|--------|------|--------|------|
| | 21.5 m | 23 m | 23.8 m | 24.5 m | 25.3 m | 26 m | 26.5 m | 27 m |
| 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 30% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 40% | 0% | 0% | 1% | 4% | 6% | 8% | 9% | 11% |
| 50% | 16% | 20% | 22% | 24% | 26% | 28% | 29% | 31% |
| 60% | 36% | 40% | 41% | 44% | 46% | 48% | 49% | 50% |
| 70% | 56% | 60% | 64% | 66% | 68% | 70% | 71% | 72% |
| 80% | 76% | 81% | 84% | 88% | 90% | 92% | 94% | 95% |
| 90% | 96% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% |
| 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% | 98% |

通过此次试验,我们将机组原协联曲线进行了普遍修正。对修正后的协联曲线进行观察后得知:在同样的导叶开度条件下,该协联曲线使机组运行工况得到了很好的改善。尤其在高水头高负荷区域运行时,机组间断性“锤击”振动噪声消除,机组各部摆度均明显降低,有利于机组安全稳定运行。所修正的协联曲线与后来请制造厂家重新计算给出的机组协联曲线相吻合。

4 结语

黄丹水电站三台机组轴流转桨式机组通过协联曲线的修正,消除了机组在高负荷区域出现的异常振动,改善了机组运行工况,明显提高了机组的运行稳定性和水轮机效率。由此可见,采取协

(上接第62页)

(1) 黄金坪水电站坝基廊道河床段及左右岸搁置段实测环向、纵向钢筋应力分布规律基本反映了其结构受力特点,与结构计算成果基本一致。

(2) 对河床中部(坝)0+191桩号典型监测断面进行分析取得的成果表明:施工期廊道顶拱环、纵向钢筋应力主要受大坝心墙填筑速率以及廊道沉降影响,随心墙填筑速率及廊道沉降的加快均表现为明显增长。在大坝蓄水初期,随着廊道出现小幅上抬,同时受水平荷载影响,廊道顶拱环外层、内层环向钢筋应力在同时段表现为小幅减小,而纵向钢筋应力在同时段表现为小幅增长。

(3) 笔者根据对黄金坪水电站坝基廊道应力实测监测成果进行的分析提出以下建议:今后在高土石坝坝基廊道设计中应加强对河床段底板部位环向受拉区以及左右岸搁置段纵向受拉区钢筋的配筋及计算分析,以保证廊道结构的安全。

(4) 在今后的运行期监测中,应重点关注实

联曲线修正的手段,是改善轴流转桨式水轮发电机组运行工况的重要措施之一。

应该注意的是:由于机组制造、安装和流道等方面因素的影响,每台机组的自动运行协联曲线都有细微的差别,不能一味按照厂家提供的协联曲线整定。应针对其实际情况,经现场试验验证其是否为机组的最优协联曲线并进行修正,从而使机组的运行工况达到最优。

作者简介:

曾仕钊(1973-),男,四川沐川人,副厂长,工程师,从事水电厂生产运行与技术管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

测环向钢筋拉应力最大测点R36、纵向钢筋拉应力最大测点R6的发展变化情况,如有异常,应及时反馈相关部门进行分析与处理。

参考文献:

- [1] 赵一新,王瑞骏,耿计计.沥青混凝土心墙坝基廊道应力变形分析[J].人民长江,2008,39(19):10-12.
- [2] 郑培溪,赵静,崔会东,解小焦.硗碛大坝坝基廊道结构缝渗漏原因分析及处理效果[J].水电自动化与大坝监测,2012,36(2):72-76.
- [3] 丁树云,毕庆涛.深厚覆盖层上沥青混凝土心墙土石坝的应力变形特征[J].水力发电,2011,37(4):43-45.

作者简介:

龚静(1981-),男,湖北襄阳人,室主任,高级工程师,硕士,从事水电工程安全监测技术及管理工作;
胡建忠(1971-),男,四川郫县人,副所长,教授级高级工程师,硕士,从事水电工程安全监测技术及管理工作;
伍小玉(1965-),女,江西南康人,教授级高级工程师,硕士,从事水工结构设计工作。

(责任编辑:李燕辉)