



电力监测与故障诊断技术全书

(五) 发电卷水电篇

国家电网公司武汉高压研究所

二〇〇五年九月

目 录

2005 年:

01. 2 号汽轮机高中压转子振动故障诊断处理.....孙海峰等 (1)
02. KEPKO 抽水蓄能发电 / 电动机在线监测系统的研究与开发.....HEE-DONGKIM 等 (5)
03. 超大型水电机组安全控制的几点措施.....何云 等 (10)
04. 大型水轮发电机局部放电图的识别经验.....CARLOS AZUAJE 等 (15)
05. 改进 BP 网络用于水轮发电机组动载识别的探讨.....沙瑞华 等 (19)
06. 基于互联网的水电机组监测系统研究.....朱建林 等 (22)
07. 基于虚拟仪器的水电机组在线状态监测系统的研究.....朱建林 等 (26)
08. 基于自适应神经模糊推理的水电机组故障诊断.....刘 斌 陈荣洲 贺秀儒 (29)
09. 尼尔基水电站水轮发电机组状态监测系统设计.....潘虹 王丽华 (33)
10. 水轮发电机组及其操作可视化仿真系统.....郭江 等 (36)
11. 水轮发电机组在线监测的现状.....张益宾 曾成碧 (43)
12. 基于虚拟仪器的水电机组在线振动监测系统.....赖旭 等 (46)
13. 集成神经网络在水轮发电机组故障诊断中的应用.....李辉 等 (50)
14. 水电机组在线状态监测和故障诊断网络化系统的设计与实现.....赖旭 等 (53)
15. 水电机组状态检修的现状和发展趋势.....汪军 等 (59)
16. 水轮发电机推力轴承油膜厚度在线监测对位系统的设计.....丁述勇 (63)
17. 水轮发电机状态检修专家诊断系统设计.....汪淑凤 等 (66)
18. 云峰发电厂语音报警系统原理分析及其实现.....孟威 等 (69)

2004 年:

01. GT-1500 调速器的缓冲器检测方法.....肖庆荣 等 (74)
02. 国内外大型水电工程生态环境监测与保护.....黄真理 (75)
03. 基于 LabVIEW 的水电站在线实时监测系统.....瞿 翌 (83)
04. 基于 LabVIEW 和 PXI 技术的水电机组在线振动监测系统.....瞿翌 赖旭 (87)
05. 基于神经网络调速系统故障诊断的数学模型.....王峰 王帆 (91)
06. 基于虚拟仪器技术开发的水电站监测系统的研究.....瞿 翌 (95)
07. 基于遗传算法的地下发电厂房动态识别.....马震岳 等 (98)
08. 离子交换器的故障诊断.....张国辉 (103)
09. 三峡左岸电站 VGS 机组自动化及监测设备简介.....唐林厚等 (106)
10. 设备状态监测技术应用及状态检修管理体制研究.....冯文贵等 (109)
11. 实施运行工况监测 确保机组安全高效.....刘锦碧 等译 (112)
12. 水电机组故障诊断中的数据融合算法.....华斌 周建中 等 (114)
13. 水电机组实时效率监测系统.....李友平等 (118)
14. 水口水电站 4 号机组水轮机转轮室钢衬混凝土脱空的检测与处理.....陈子坎 (120)
15. 水轮发电机状态监测与诊断系统的研究.....汪鑫 等 (123)
16. 水轮发电机组振动监测分析系统的研究.....秦建明等 (129)
17. 一类水力发电机组在线状态监测系统的设计.....刘晓波 孙 康 (133)
18. 应用在线监控加强水电维修和生产.....(巴西)J. C. 博格曼等 (136)
19. 闸门综合自动化故障诊断专家系统的知识表达.....肖志怀 等 (140)
20. 直流系统微机绝缘监测装置的应用与接地故障点检测探讨.....周二保 (144)

21. 大型地下洞室群安全监测设计探讨·····陈娟 颜义忠 (118)
22. 泓格 I-7188 在电厂水坝排洪广播扩音设备监测系统中的应用····· (152)
23. 李家峡水电站拱坝强震监测台阵的布设·····傅朝阳 等 (155)
24. 三峡大坝泄洪建筑物水力学安全监测·····於三人等 (159)
25. 印度巴格利哈尔地下水电站的施工与监测·····(德)达米尔 多莫维克等 (163)

2003 年:

01. 巴西大型水电系统的自动化·····R. G 多索等 (168)
02. PX1 总线技术、虚拟仪器技术在大型水轮发电机组状态监测中的运用·····潘常青 (170)
03. 大化水电站溢流坝温度监测资料分析·····魏德荣 等 (173)
04. 二滩水电站水轮机蜗壳层联合受力监测研究·····李文慧 (177)
05. 分布式振动在线监测系统的设计与实现·····肖若富 等 (181)
06. 广蓄电站 6#机推力瓦烧损诊断及处理·····肖 智 (184)
07. 广州蓄能电站 5 号定子烧损诊断及处理·····肖 智 (187)
08. 机组稳定性在线监测与诊断系统在龙羊峡水电站的应用·····黄艳青 等 (190)
09. 基于 B/S 模式的火焰监测和燃烧诊断系统·····屠 昕 等 (195)
10. 基于多种诊断方法的水电机组故障诊断系统的研究·····陈喜阳 等 (198)
11. 可在线设置过程控制的小水电站监控系统·····王翠霞 等 (202)
12. 克拉斯诺雅尔斯克水电站设备的诊断·····(俄)N. B. 孔德拉克柯 (205)
13. 龙门滩水电站流量水头监测系统·····游维涛 等 (209)
14. 三峡工程左岸电站 4#机组蜗壳水压实验全过程监测分析·····张志诚 等 (212)
15. 设备状态监测技术在水电厂中的应用·····董晓宁 (215)
16. 数据库服务器在水力发电机组振摆状态监测系统中的应用·····黄天成等 (219)
17. 水电机组故障诊断系统信号特征的提取·····梁武科等 (222)
18. 水电机组故障诊断中的推理策略·····韦彩新等 (226)
19. 水电机组故障诊断专家系统中图形征兆的提取·····张双全等 (228)
20. 水电机组故障诊断专家系统中知识库的设计·····邓正鹏 等 (231)
21. 水电机组监测与诊断系统数据库的设计·····韦彩新 等 (234)
22. 水电机组实施在线监测应注意的几个问题·····吴建文 等 (237)
23. 水电机组旋转机械故障诊断专家系统研究·····王宇珩 等 (240)
24. 水电机组状态监测系统的设计及应用探讨·····唐卫平 (243)
25. 水力发电机转子圆度激光检测系统·····罗朝祥 王盈 (247)
26. 水力发电机组振动故障诊断系统中的信号预处理·····梁武科等 (249)
27. 水轮发电机局部放电在线监测·····范春学 等 (256)
28. 水轮发电机振动的在线监测与动态仿真·····桂中华等 (259)
29. 水轮发电机组运行参数在线监测系统开发·····郑 源 等 (263)
30. 天桥水电厂状态检修实践·····张爱林 (266)
31. 万安水电厂机组振动摆度在线监测工程实践·····肖建平 (269)
32. 乌溪江水电厂机组状态检修的思考·····吴建春 (271)
33. 五强溪水电厂机组在线监测分析系统的改造及应用·····首建威 (275)
34. 小水电站计算机监测系统分析与设计·····覃颖等 (279)
35. 岩滩电厂分布式在线振动监测分析系统·····陈光大等 (281)
36. 龙滩工程爆破振动监测及松弛变形检测应用研究·····黄 毅 等 (287)
37. 龙滩水电站右岸航道出口边坡施工期安全监测·····史可军 陈卫红 (290)

38. 锚杆质量无损检测技术在龙滩水电站的应用.....邹钢等(294)
39. 三峡水利枢纽右岸地下电站进水口变形监测.....权录年(297)
40. 天湖水电站压力管道运行安全自动化监测系统的初步设想.....马水云等(301)
41. 西洱河一级电站大坝洞洪闸门检测分析.....杨华舒等(306)
42. 中子法无损检测水力发电站转轮室钢衬混凝土脱空缺陷.....程和森等(311)

2002 年:

01. ADAM 模块在水电厂振动监测系统中的应用.....晋风华 等(316)
02. BP 神经网络在水轮发电机组状态监测与诊断系统中的应用.....符向前 等(319)
03. 三峡水电站 1 号机组承重机架垂直弹性变形量的监测.....裴海林(324)
04. 发电机定子绝缘老化故障的诊断和数值模拟.....李伟力 等(328)
05. 高级控制系统提高巴西水电站性能.....(巴西)S. L. 拉迷等(334)
06. 隔河岩水轮发电机组状态监测与诊断系统.....符向前 等(336)
07. 基于动态模糊 ISODATA 算法的水轮发电机组振动故障诊断系统.....陈铁华 等(339)
08. 基于数据融合与信息共享的水电机组故障诊断.....周建中 陈遗志 (343)
09. 基于小波包分析的轮发电机组振动的故障诊断.....洪治(346)
10. 李家峡水电站变形监测控制网的复测.....李彦平等(350)
11. 鲁布革水轮发电机组状态监测及故障诊断系统的实施.....孙家禄 叶 锋(354)
12. 三峡—葛洲坝梯级电站模型中自动控制及测量系统的应用.....董红燕等(357)
13. 三峡梯级水电站自动发电控制的研究.....邓晓娟等(360)
14. 水电厂中水轮发电机组的效率监测.....李海红 (364)
15. 水电机组振动监测与故障诊断系统研究.....陈遗志 等(367)
16. 水电机组状态监测系统在云峰电厂的应用.....祁德银等(371)
17. 水力机组在线振动监测分析系统研究.....钱瑞霞 等(374)
18. 水轮发电机在线局部放电监测系统.....陆 胜(377)
19. 万家寨水电站水轮发电机真机检测分析.....刘健 等(379)
20. 五强溪水电厂电气设备绝缘在线监测装置的应用分析.....龙浩(382)
21. 小型水电站可控硅励磁常见故障的检测.....陈士有等(386)
22. 小型水电站直流系统接地故障点的确定.....张 强(387)
23. 用 C++Builder 实现水轮发电机组故障诊断专家系统.....钱瑞霞等(388)
24. 电气二次设备状态检修研究.....吴杰余等(392)

2001 年:

01. BP 网络在水电机组振动故障诊断中的应用研究.....蔡天富 等(395)
02. 发电机定子绕组的连续在线局部放电监测.....(加拿大)B. A. 劳埃德 等(399)
03. 发电机转子接地的危害及预防.....陈成林 等(403)
04. 关于水轮发电机组的在线监测及状态诊断.....董鸿魁(406)
05. 河盘桥发电机电轴瓦温升过高的诊断及处理.....陈和峰 周剑雄(409)
06. 陵城水电站机组振动分析及消除.....肖 聪(411)
07. 基于 BP 神经网络的水轮机调速系统故障诊断.....余晓辉等(414)
08. 计算机监测系统在齐溪电站的应用.....傅建平等(418)
09. 进化规划(EP)法在大型水电站自动电压控制(AVC)中的应用研究.....娄信明等(420)
10. 利用振动和间隙信息对水轮发电机组进行监测和保护.....付元初等(424)
11. 浅析万家寨水电站机组的状态监测.....高云峰等(429)

12. 沙河抽水蓄能电站的计算机监控系统	刘 徽 (432)
13. 水电厂设备在线监测、诊断与状态检修	林礼清 (434)
14. 水电厂状态监测和诊断分析决策系统的设计和考虑	杨惠生等 (440)
15. 水电机组状态监测系统在宝珠寺电厂的应用	黄宗碧等 (443)
16. 水轮发电机组故障诊断专家系统知识库的设计	朱鲲鹏等 (446)
17. 水轮发电机组振动摆度的在线监测	毛玉静 (450)
18. 水轮发电机组振动摆度诊断监测系统	费炳生 (453)
19. 水轮发电机组振动在线监测系统选型及维护	吴长利 工辉斌 (456)
20. 水轮发电机组状态监测与诊断系统研究	刘光临等 (460)
21. 天生桥一级水电站监控系统设计	李 婷 (464)
22. 姚庄电站发电机定子温升偏高和啸叫声的综合处理	张亚利 (469)
23. 远程分布式水电机组故障诊断系统的研究	苏锋杰 (471)
24. 正确认识水电机组的状态检修	李成家 等 (475)
25. 监测诊断技术与预测性检修	叶 菁 等 (477)
26. 一种新型的直流绝缘监测及接地点定位综合装置	李 刚 等 (481)

2000 年:

01. 抽水蓄能机组的状态监测和故障诊断	卢文秀 等 (484)
02. 对一台新的水轮发电机运行工况的监测主分析	(加拿大) Randy Wallman 等 (488)
03. 发电机转子回路在线监测的研究	田海林 等 (492)
04. 模糊专家系统在水轮发电机组故障诊断中的应用	高军伟等 (496)
05. 水轮发电机定子绝缘局部放电的在线监测	郭 江 (502)
06. 水轮发电机组振动监测分析系统	蔡维由 等 (505)
07. 提高水轮发电机剩余寿命诊断精度	(日) 佐佐木右介 (508)
08. 一类发电厂故障智能诊断系统模式的研究	吴开贵 等 (512)
09. 状态监测技术在水轮发电机组测量系统中的应用	王忠军 (516)
10. 计算机油泵数据采集监测系统研究	连蕴博 (519)
11. 发电厂警报系统的故障诊断	田磊等 (520)
12. 工控机在电站监测与记录系统中的应用	李阳春等 (524)

2 号汽轮机高中压转子振动故障诊断处理

孙海峰¹, 张文祥¹, 杨生海¹, 樊晓文¹, 刘惠英¹, 杨亚军¹, 徐敏钊¹,
郭平英², 秦晓伟², 李明²

(1. 宝鸡第二发电有限责任公司, 陕西 宝鸡 721405; 2. 西北电力试验研究院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 总结了几年来宝鸡第二发电公司 2 号 300 MW 汽轮机高中压转子振动故障诊断的处理经验, 认为机组振动问题除先天不足外, 主要表现为热态振动问题。热态下振动主要是由高中压转子存在一定的热弯曲和高中压汽缸及前箱存在跑偏引起的, 通过改变轴瓦形式、相对标高及高速动平衡, 使机组振动达到良好水平。

[关键词] 汽轮机; 转子; 振动; 故障诊断

中图分类号: TK263.6 文献标识码: B 文章编号: 1008-4835(2005)03-0011-03

宝二 2 号汽轮机系东方汽轮机厂生产的 N-16.7/537/537-4 型汽轮机, 自 1999 年 9 月 29 日机组第一次试运行以来, 高中压转子的振动问题一直影响着机组的安全稳定运行。虽经几次处理, 机组振动有所改善, 但均未取得满意效果。2005 年 3 月进行了综合处理, 启动后机组振动达到了试运以来的最好水平。

1 机组振动史及特征

2 号汽轮机在安装时就发现高中压转子中压侧对轮晃度为 0.085 mm, 超差, 经协商将 1 号瓦、2 号瓦间隙尽可能取小值。整套启动及 168 h 试运行期间 1 号瓦、2 号瓦轴振在 150~180 μm (主要为工频振动, 另外还存在一定的 26 Hz、27 Hz 的低频振动) 水平维持运行, 经包括低压转子在内的轴系多平面高速动平衡, 振动有所改善, 但存在不能同时降低 1 号瓦、2 号瓦振动问题。2000 年 3 月将 1 号瓦由椭圆瓦改为可倾瓦, 主油泵更换为抗振实心轴, 调节阀序由 I—II—III—IV 改为 I—II—IV—III, 有效地降低了 1 号瓦振动, 但 2 号瓦轴振仍在 140 μm 以上。2000 年 7 月在高中压与低压转子对轮平衡槽加平衡配重 725 g, 将 2 号瓦轴振降到 120 μm 以下。2001 年 9 月发现高压缸机头中分面右侧漏汽现象以后, 1 号瓦的振动问题一直影响着机组的安全稳定运行。2003 年 2 月, 运行中 1 号瓦轴

振 168 μm , 瓦盖振动最大达 350 μm 。解体检查发现上瓦垫铁疲劳损伤, 与外瓦盖接触面胶合成凹凸状, 轴瓦各瓦块完好。2003 年 5 月因 1 号瓦振动大临修, 检查发现前箱与汽缸推拉装置炉侧连接螺丝已松弛, 螺母快退掉, 测量总间隙 1.35 mm, 后加 1.2 mm 垫片, 对螺帽进行点焊处理。2003 年 6 月 23 日, 因 1 号瓦振动大抢修, 热态检查前箱, 发现 1 号瓦紧力消失, 间隙为 0.12 mm, 后加 0.20 mm 垫子, 并在高中压转子轴头加 525 g 平衡配重, 启动带满负荷运行 1 号瓦轴振 138 μm , 随后缓慢上升到 150~160 μm 。2003 年 9~11 月机组大修, 发现高中压缸中间轴封漏汽到高中压缸内外加层汽室的合金管两头焊缝处断裂、脱落。对汽缸中分面进行焊接处理, 消除了汽缸中分面漏汽问题; 前箱底部滑动块加装自润滑材料, 改善滑动性能; 仅保留制造厂原始平衡块。2003 年 11 月大修后启动, 机组振动没有明显改善。2004 年 3 月在高中压转子轴头加 312 g 配重, 1 号瓦轴振维持在 160 μm 稳定运行。2005 年 3 月, 1 号瓦振动上升到 180~190 μm 后进行处理。

2 机组的升、降速特性

几年来, 该机组冷态启动升速通过临界转速下振动尚可, 半热态、热态下启动升速通过临界转速, 高中压

转子两个瓦轴振幅增加。另外机组冷态启动,无法按照制造厂要求在 2 000 r/min 进行暖机,主要因为振动上升较快。2003 年机组大修后因超速试验不合格停机调整,4 次开机实测临界转速 1 650 r/min 下 1、2 号瓦轴见表 1。2004 年 4 月 7~8 日,机组经历一次热、冷态启动,在共振转速 1 650 r/min 左右,热态升速较冷态升速振动增加了 130 μm ,参见图 1、图 2,反映了高中压转子存在较明显的热弯曲。

表 1 冷、热态升速过临界转速高中压转子振动 μm

	1 号瓦 X 向	1 号瓦 Y 向	2 号瓦 X 向	2 号瓦 Y 向
第 1 次	130/123 $\angle$ 191°	54.4/32.1 $\angle$ 305°	81.9/72.8 $\angle$ 212°	62.1/56.5 $\angle$ 340°
第 2 次	183/172 $\angle$ 229°	104/50.3 $\angle$ 282°	125/122 $\angle$ 260°	71.6/65 $\angle$ 13°
第 3 次	231/217 $\angle$ 225°	125/109.3 $\angle$ 300°	153/147 $\angle$ 251°	86.6/83 $\angle$ 6°
第 4 次	375/391 $\angle$ 220°	117/91.1 $\angle$ 332°	212/215 $\angle$ 223°	124/110 $\angle$ 339°

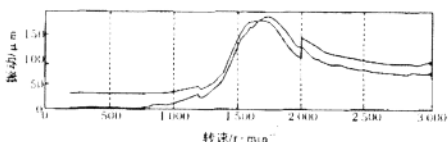


图 1 冷态升速 1X 向轴振特性

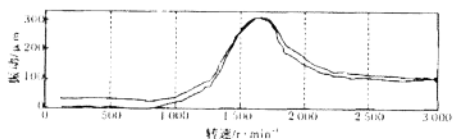


图 2 热态升速 1X 向轴振特性

3 定速后带负荷过程振动变化

定速后随着并网加负荷,1X 轴振逐渐增加,增幅达 50 μm ,振动以工频振动为主。1 号瓦和 2 号瓦振动呈现同相振动特征,且一般表现为伴随 2 号瓦振动下降,1 号瓦振动上升。满负荷稳定运行 5 天左右,1 号瓦振动仍有 10~20 μm 的振动增量。带负荷过程 1 号瓦轴心向炉侧平移 0.15 mm,同时向上浮起 0.15 mm。观察前猫爪左右膨胀刻度变化,汽缸偏向塔侧膨胀多。2004 年 4 月启动后带负荷过程振动参见图 3、图 4。

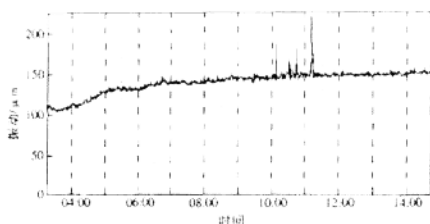


图 3 加负荷过程 1X 轴振变化趋势

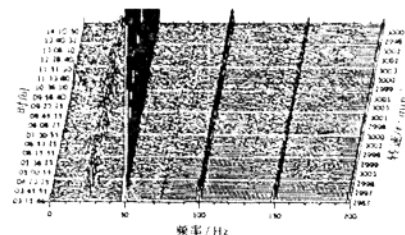


图 4 加负荷过程 1X 轴振频谱

4 振动处理

2005 年 3 月,2 号机组运行中高压导汽管疏水管爆裂后,利用机组临修机会,宝二发电公司联合西北电研院、东方汽轮机厂进行振动处理。检修时意外发现疏水管走向不合理,导汽管疏水标高 5.5 m,在流向疏水扩容器时,管道先向上走到标高 8.5 m 后再通向标高 3.5~4 m 的疏水扩容器,说明其存在疏水不畅问题,有可能影响正常运行下的振动。按照加大 1 号瓦载荷,尽可能降低空载下工频振动,并根据轴瓦接触痕迹对轴瓦进行修理的思路进行消振处理。将 2 号瓦降低 0.1 mm,1 号瓦抬高 0.1 mm,向炉侧平移 0.05 mm,并同时在高压转子与主油泵转子连接短轴的连结螺栓上加平衡配重 445 g,启动后机组振动达到了试运以来的最好水平,参见图 5~13。需要说明的是,在单阀状态从 290 MW 加到 300 MW 时,曾出现振动增加及不稳定,振动不稳定时 1 号瓦振动频谱参见表 2、图 9、图 10,后切换到顺序阀振动恢复稳定,我们认为主要还是动静摩擦引起的。

表 2 振动不稳定时 1 号瓦 X 向振动频率

频率/Hz	26	50	76	100	126	150	200	250	300
振动/ μm	62.7	61.3	12.3	5.74	1.57	3.4	5.2	6.5	1.83

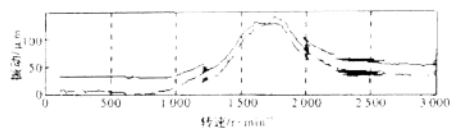


图5 1号瓦X向轴振波谱图

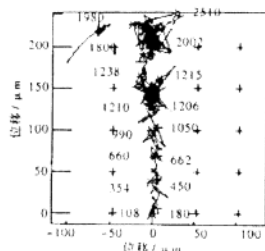


图6 冷态升速1瓦轴心位置变化

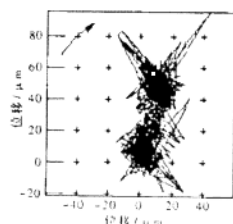


图7 并网加负荷过程1瓦轴心位置变化

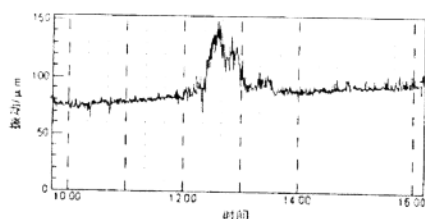


图8 加负荷过程1X轴振变化趋势

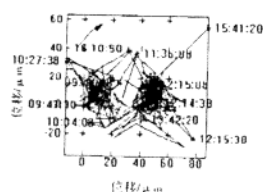
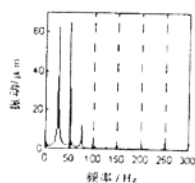


图9 自290 MW至300 MW过程1瓦振动及轴心位置变化

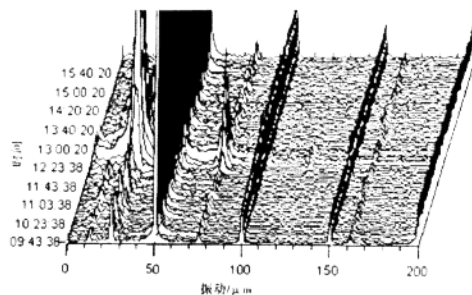


图10 并网加负荷过程1X三维振动频谱图

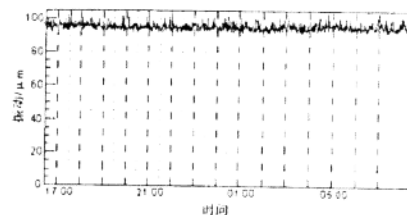


图11 顺序阀稳定运行1X振动趋势图

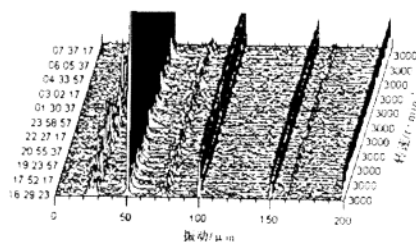


图12 稳定运行三维振动频谱图

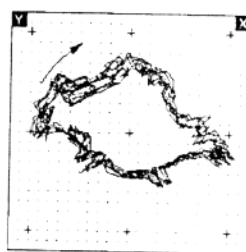


图13 稳定运行1瓦轴心运动轨迹
(下转第17页)

(上接第 13 页)

5 结论

(1)宝二 2 号汽轮机高中压转子的振动特征表现为:冷态下升速过临界转速振动尚可,半热态、热态下升速过临界转速振动增加较多,可达第一次的 3 倍左右;工作转速下冷、热态振动存在明显差异,从定速到满负荷有 $50 \sim 60 \mu\text{m}$ 的振动增量,且 1 号瓦与 2 号瓦振动同相。伴随着 2 号瓦振动减小,1 号瓦振动增加;自满负荷到稳定运行 5 天左右,1 号瓦振动仍有 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 的增量。

(2)结合机组冷、热态启动及加负荷过程振动变化,认为影响 1 号瓦振动的主要原因是:1)高中压转子存在一定的热弯曲;2)高中压汽缸和前箱跑偏,使 1 号瓦承载不合理。

(3)通过将 2 号瓦降低 0.1 mm ,1 号瓦抬高 0.1 mm ,同时向炉侧平移 0.05 mm ,并同时在高压转子与主油泵转子连接短轴的连接螺栓上加平衡配重 445 g ,使机组空载下振动达优,满负荷下振动达到良好水平,取得了自试运以来最好的消振效果。

收稿日期:2005-05-08

(责任编辑 星光)

KEPCO 抽水蓄能发电/电动机 在线监测系统的研究与开发

(韩) HEE-DONG KIM 等

[摘要] 开发和进行了抽水蓄能发电/电动机的在线诊断试验。本研究的目的在于降低诊断费用,减小对第三方制造厂的技术依赖。检验了抽水蓄能发电/电动机在线诊断系统的更进一步设计。如,转子绕组匝间短路、定子绕组局部放电(PD)和定子间的气隙诊断。此外,必须在现场验证所开发的在线连续监测系统的性能,这样才能够确保运行可利用率和可靠性的提高。本文的多数结果来自于 KEPRI 以前的 R&D 报告^[1-2]。

[关键词] 水轮发电/电动机;寿命管理;状态监测与评估;绕组电气绝缘;在线诊断;局部放电

1 前言

1.1 研究目的

为了提高发电系统的运行可靠性和可利用率,对水轮发电/电动机机组的在线诊断进行了研究和试验。本研究范围简述如下。

1.2 研究范围

(A)技术信息的调查研究

- (1)抽水蓄能发电/电动机在线诊断技术的研究。
- (2)在线局部放电、匝间短路和气隙的分析。
- (3)在世界范围内的研究工作和技术信息的调查。

(B)局部放电耦合器、匝间短路和气隙传感器的应用研究

(1)局部放电耦合器、匝间短路和气隙传感器的性能。

(2)局部放电耦合器、匝间短路和气隙传感器的安装方法。

(3)电容性局部放电耦合器、匝间短路和气隙传感器诊断算法的开发以及现场试验。

(C)在线局部放电、匝间短路和气隙监测系统的开发

- (1)在线诊断方法的开发。
- (2)在线局部放电、匝间短路和气隙监测系统的开发。

(3)局部放电、匝间短路和气隙诊断程序的开发。

(D)抽水蓄能发电/电动机的在线测量

(1)KEPCO Samrangjin 抽水蓄能发电机/电动机。

(E)匝间短路监测系统可靠性的现场试验

(1)应用新的监测系统、PDA(局部放电分析)和数字示波器进行试验。

(2)确定两个系统的现场试验结果非常一致。

由于报导相关的工作受有效篇幅的限制,所以本文只介绍和讨论了大量的开发工作中的一部分^[1-2]。

2 在线监测与诊断系统

抽水蓄能发电/电动机的定子通常由 4 个并联的定子铁心绕组组成。在检测局部放电时,安装了每相 2 个耦合器、总共 6 个电缆耦合器(80pF,包括 ADWEL)。应用时间段法(时间间隔之差)传送输出信号,对应的测量系统只能测量去除噪声后的 PD 幅值和 PD 图。

为了在线监测同时为了测试运行时的定子铁心绕组,应用 PDA(局部放电分析仪,IRIS 电力工程有限公司)和所开发的连续在线监测系统来检测 PD 幅值、PD 次数和 PD 图以实现绝缘诊断。

为了测量和检测定子可能存在的匝间短路,安装了一个气隙磁通探测器(Generatortech 有限公司)。另外,为了测量定子和转子之间的气隙,顺时针每隔 90°分别安装了 4 个电容性传感器(VM5.0, Vibrosystm 有限公司)。因此,应用开发的系统,能够连续在线监测和分析转子铁心绕组可能存在的匝间短路和两个部件之间的偏心位移。图 1 示出相应安装的 PD 传感器(a)和磁通探测器(b)以及气隙传感器(c)。

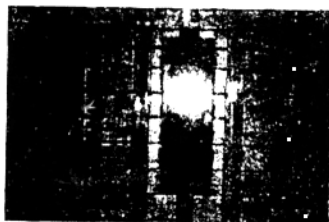
为了测量发电/电动机机组停机时的 $\lg \delta$ 和 PD,应用了耦合电容器、西林电桥和局部放电检测器(PDD, Tettex 仪器 TE571)。带西林电桥的测量系统由一个电源(高压电源,型号为 5283),一个电桥(电桥型号为 2818),一个谐振感应子(谐振感应子型号为 5285)组成。测量和试验的简单电路原理如图 2 所示。



(a)PD传感器的安装



(b)磁通传感器



(c)气隙传感器

图1 传感器的安装

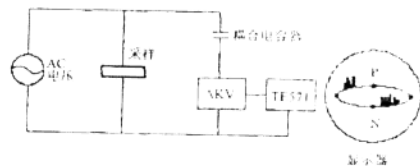


图2 局部放电的测量原理

将发电/电动机铁心绕组与西林电桥的接线端连接并接通交流电源,包含相应信息的输入信号被传送到耦合单元(耦合单元,Tettex 仪器 AKV 572)通过耦合电容器放大信号。应用这种FD信号,分析和评估了PD图,频带宽度为40~400kHz。

3 在线连续监测与监督系统

图3示出抽水蓄能发电/电动机在线监测与监督系统的结构全貌图,图中包括一个数据采集系统、一个网关、一个主服务器系统和两台与局域网系统连接的PCs显示器。如上所述,系统分别由用于检测相应信息的传感器、用于收集必要信息的数据采集系统和管理不同系统层面(较低,较高层面)的工作网关、一台主服务器和PCs显示器构成。

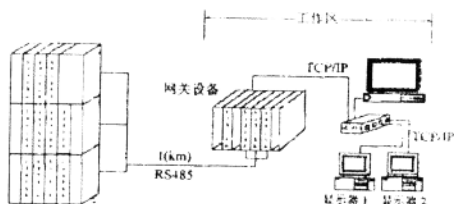


图3 水轮发电/电动机机组的连续监测系统图

4 试验结果

4.1 气隙

图4所示为测量结果,应用所开发的系统通常能够分别识别偏心位移,转子与定子之间的定位信息。检测完相应的发电/电动机机组之后,认为系统已经处于正常、良好状态而无任何异常变化。采用定期检测和在线监测,能够检查出电机正常运行时可能出现的异常变化,即电机的异常性。

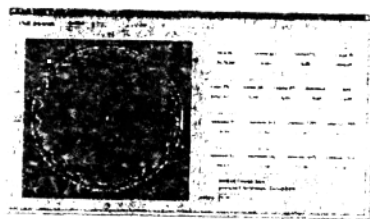


图4 气隙测量结果

4.2 定子绕组局部放电分析

采用PDA和在线状态监测系统,该系统以安装于发电/电动机机组(额定电压18kV,336MVA)的电缆耦合器为基础,测量和分析了电机运行时的PD特性。

此外,从外面将AC试验电压/电源提供给定子铁

心绕组,将运行时的PD试验结果与停机状态下的数值进行比较,研究和证实了可能出现的PD幅值异常变化,个别出现的PD数量及其特有的PD图。同时还综合分析了因 $\Delta t g \delta$ 和PD造成的绝缘劣化程度(速度、范围、状态)。

4.3 运行时的在线PD分析

图5、6和7分别说明了不同运行工况下相A、B和C的一些PD图特征和 NQN (归算后的放电次数),PDA用于这些结果的测量与分析。

分析评估了每一相的PD图特征后,并且鉴于相A和C表明具有正极性的PD幅值比负极性的PD幅值占优势,所以这种图形具有槽放电的特征。对地绝缘与槽之间的局部相对的内部移动会引起磨损,从而导致半导体涂层的绝缘损坏。因此,对地绝缘的局部削弱会造成表面电荷积聚,从而在电机绕组和铁心之间产生局部放电。

因此,定子铁心绕组表面和铁心之间的这种放电会产生比较大的电能。放电产生的臭氧将使定子铁心绕组的绝缘材料和橡胶材料受到强烈氧化和损坏。

另一方面,如果在B相正极性的PD幅值大于负极性的PD幅值,则PD图可以认为是导体表面的放电。

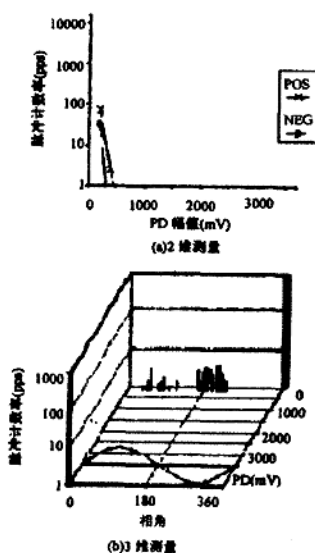


图5 相A应用PDA的局部放电图

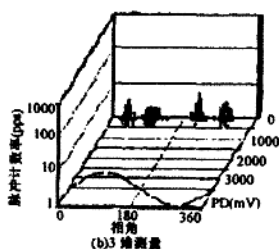
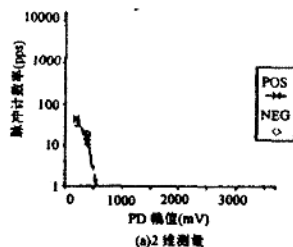


图6 相B应用PDA的局部放电图

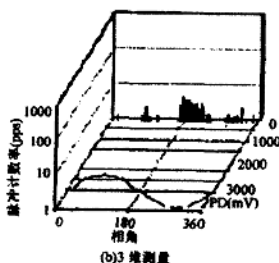
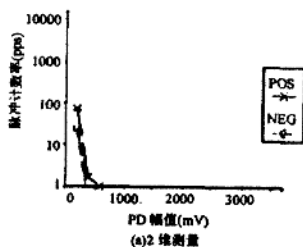


图7 相C应用PDA的局部放电图

表面放电出现在带对地绝缘的铁心绕组和股线之间的很小的气隙中。由于股线间没有被浸渍漆或(合成)树脂完全灌满,所以股线绝缘之间留有空隙或存在气隙,有时伸展的股线绝缘之间交叉点也能有空隙,放

电就在这些地方发生。

电机正常运行时,由于冷热循环也能够产生小气隙,存在于与对地绝缘分离的铜导体中。由小气隙产生的 PD 逐渐发展并形成树枝状放电,这样就会造成对地绝缘、股线绝缘和匝间绝缘分别磨损,最终使股间绝缘和匝间绝缘分别短路。

表 1 在线 PDA 与 CMS 输出的测量

相	$NQN/Q_m(mV)$	PDA	CMS
A	$NQN(+)$	460	586
	$NQN(-)$	306	570
	$Q_m(+)$	380	305
	$Q_m(-)$	341	285
B	$NQN(+)$	548	643
	$NQN(-)$	555	597
	$Q_m(+)$	435	355
	$Q_m(-)$	488	445
C	$NQN(+)$	429	483
	$NQN(-)$	277	425
	$Q_m(+)$	378	220
	$Q_m(-)$	321	240

由表 1 能够看出,运行期间应用 PDA 与相应的开发系统,PD 的 NQN 和幅值(Q_m)的测量结果表明相 B 的幅值最大,按照相 A 和 C 的顺序逐渐减小。因此相 B 的绝缘劣化且多数已经降解,就是说按照相 A 与 C 的顺序劣化进程(速度)逐渐降低和减小。

根据每相 Q_m 测量值的 PDA 分析,结果表明 B 相的情况最恶劣,其 $Q_m(+)$ 435mV 且 $Q_m(-)$ 488V,但是定子铁心绕组的运行工况却被认为还算是满意的。

根据开发的系统和运行时的 PDA,进行了 PD 试验。由于测量仪器的频带特性不同,所以 NQN 的测量值也不同,但是这些 PD 信号的测量值却与用 PDA 分别测量 3 相所得的那些结果一致。

4.4 停机时的 $\Delta tg\delta$ 与 PD 分析

对运行超过 20 年以上的一台抽水蓄能发电/电动机停机并拆除每相的出线端连接以进行 PD 和 $\Delta tg\delta$ 试验与检测。通过测量和分析 $\Delta tg\delta$ 和 PD 特性,分别评估了 PD 出现概率的平均值、PD 的起始电压值和 PD 次数。

图 8 当 A 给出了 C 电压升到 11.1kV 时, $\Delta tg\delta$ 电压试验特性。对应相 A1, B1, C1 的 $\Delta tg\delta$ 值分别为 0.96%, 0.90%, 0.96%, 而相 A2, B2, C2 的 $\Delta tg\delta$ 值分别为 0.99%, 0.93%, 0.87%。由于 $\Delta tg\delta$ 值很小且 $\Delta tg\delta$

的试验性能好,所以认为定子铁心绕组绝缘的内部状况处于良好状态。根据 $\Delta tg\delta$ 电压特性, $\Delta tg\delta$ 值在 7.0kV 点迅速增大。PD 过程起始于该电压值左右,因此从 PD 图上的增长速度缓慢,预计所产生的 PD 数量较小。

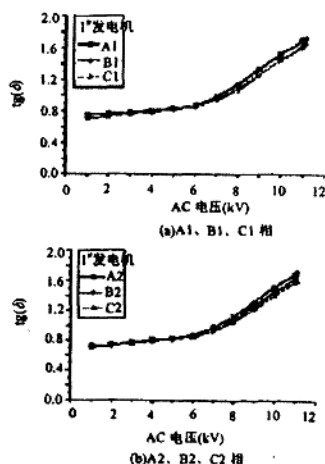


图 8 抽水蓄能发电/电动机的 $\Delta tg\delta$ 电压特性

PD 试验期间,检测了线路噪声,在每相上约为 1.3nC。PD 起始电压每相分别为 8.9kV、8.9kV 和 8.8kV,而相 A2、B2 和 C2 分别为 9.5kV、8.6kV 和 8.5kV。此外,基于相电压的 PD 幅值,对于相 A1、B1 和 C1,分别为 2.7nC、3.1nC 和 2.5nC 而相 A2、B2 和 C2 则分别为 2.3nC、2.5nC 和 2.0nC。

停机时的 PD 幅值, B 相中的最大,而且分析认为按照 A、B 和 C 的顺序逐渐减小,所以认为所测量的发电/电动机停机时的 PD 幅值和 PD 图与正常运行时的那些 PD 幅值和 PD 图完全一致。

5 试验结果的讨论

5.1 定子绕组的在线 PD 分析

电机正常运行期间,在 3 台水轮发电机上应用局部放电分析仪进行了局部放电(PD)试验。6 个电缆耦合器安装于环形母线以及水轮发电机的接线盒内, PDA 表明 1#发电机的归算后的放电次数(NQN)和局部放电幅值都非常小。正负 PD 的比较结果指出可能产生 PD 的故障元件是在绝缘内部还是绝缘表面。在额定转速下的 2#水轮发电机的 B 相中发现了导体表面的放电。在 1#水轮发电机的 A、B 和 C 相中及 2#水轮发电机的

A 和 C 相中出现了内部放电。3[#]水轮发电机的 A、B 和 C 相中则出现了局部放电。PD 图以 2 维和 3 维呈现。这些水轮发电机的定子绕组都处于良好状态。

5.2 抽水蓄能发电/电动机的连续监测系统的开发

为抽水蓄能发电/电动机开发了连续监测系统 (CMS)。应用 CMS 诊断定子绝缘 PD(局部放电)、转子绕组匝间短路及定子和转子之间的气隙变化。CMS 由 DAS(数据采集系统)、主服务器系统、网关和 PC 显示器组成。DAS 用 3 个安装于发电/电动机的传感器测量 PD、匝间短路和气隙。网关处理由 DAS 传送的数据, 实现数据转换。主服务器保存数据、分析数据并进行诊断计算。PC 显示器显示局部放电、匝间短路和气隙诊断结果。应用 PDA(局部放电分析仪)进行了现场试验。CMS 和 PDA 测量归算后的放电次数(NQN)、PD 图和 PD 幅值(Q_m)很吻合。

6 结论

我们已经为 KEPCO 水轮发电/电动机机组开发了一种在线连续诊断系统, 该系统分别由 DAS(数据采集

系统)、计算用的主服务器、网关和 PC 显示器组成, 借助集成的(无线的)LAN(网络), 进一步扩展和开发发电状况监测系统。该系统分别用于抽水蓄能发电机的在线局部放电测量、匝间短路检测和间隙异常的监测。

为检验相应的开发工作, 在 Samrangjin 1[#]水电站进行了不同试验。应用新的监测系统、PDA 和数字示波器进行了试验。我们还研究和评估了一种分析方法, 能够分别识别转子和定子绝缘状况。通过与第三方原始的测量设备进行比较, 获得了该系统的可靠性。此系统将更换那些仪器和设备并用作发电/电动机机组的绝缘状况监测系统。

此外有关新出现的诊断技术的话题, 如, 基于专家系统的 AI 和其对实践与经济以及普通(连续)诊断系统性能的影响, 将在下次即将来临的 CIGRE 会议中得到研究与探讨。

参考文献 3 种(略)

王金华 译自《CIGRE Session 2004 A1-207》
关玉藏 校

超大型水电机组安全控制的几点措施

何云施冲

(南京南瑞自动控制有限公司 江苏省南京市 210003)

【摘要】 现地控制单元 LCU 作为水电厂计算机监控系统中的现地层的控制单元,一般布置在发电机层、水轮机层、辅机设备层、闸门控制室、开关站控制室等距离被控设备较近的地方,是计算机监控系统的底层控制系统部分,是最具面向对象分布的控制设备,LCU 的安全性和可靠性将直接影响整个电站的安全运行及控制。本文将介绍几种提高 LCU 安全性和可靠性的典型配置模式以及在控制输出方面的考虑和措施。

【关键词】 现地控制单元 安全性 可靠性 控制输出

【数据库分类号】 SZ01

0 前言

随着我国水电开发及生产技术的不断进步,大型、超大型水轮发电机组越来越多的在大型骨干电站中投入运行,为促进我国国民经济的飞速发展起到了巨大的作用。由于这些大型的骨干电站在整个电网中起到调频和调峰的作用,因此这些大型电站的安全稳定运行将直接影响到电力系统的安全稳定,而大型电站中的大型、超大型水轮发电机组的安全控制也将直接影响到电力系统的安全稳定。大型电站的安全稳定运行除了靠一次设备的可靠运行外,还需二次设备及控制回路的合理配置及可靠运行。在计算机技术得到广泛应用的今天,无论是微机保护装置、智能自动化仪器仪表,还是作为全厂生产管理及安全运行的计算机监控系统,都为电站的安全稳定运行提供了可靠的保证。而计算机监控系统及现地控制单元 LCU 的配置及其安全方面的考虑,将直接影响整个电站的安全运行及可靠控制,本文在这里做一些这方面的探讨。

1 计算机监控系统安全可靠性的考虑

1.1 上位机方面的安全可靠性的考虑

在水电厂计算机监控系统中,上位机部分通常在安全性、可靠性方面考虑的较多,解决方法也有多种,但主要方法还是以冗余配置为主要手段:服务器(主机)冗余配置、操作员站冗余配置、网络及网络设备冗余配置、与上级调度单位的通信通道的冗余配置等,还有的服务器采用磁盘阵列方式,与外部网络及系统的硬件防火墙隔离等,这些都是提高监控系统安全性、可靠性所采取的必要措施和技术。

计算机方面的安全措施在国内外大型计算机生产厂家及网络公司都各自有成熟的方案和技术,我们通过比较只要选择适合自己的产品及技术就能实现。

图 1 为典型上位机系统配置示意图。

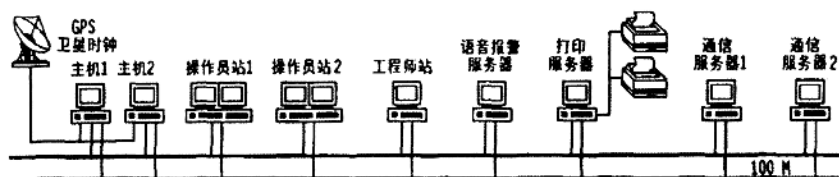


图1 典型上位机系统配置示意图

1.2 现地控制单元 LCU 方面的安全可靠性的考虑

现地控制单元 LCU 作为水电厂计算机监控系统中的现地层的控制单元，一般布置在发电机层、水轮机层、辅机设备层、闸门控制室、开关站控制室等距离被控设备较近的地方，是计算机监控系统的底层控制系统部分，是最具面向对象分布的控制设备，LCU 的安全性和可靠性将直接影响整个电站的安全运行及控制。

提高现地控制单元 LCU 方面的安全可靠性有较多方法和措施，除了选择可靠性高、质量好的主控制器 PLC 产品作为首要条件外，在冗余配置、输入输出回路做特殊处理等都可做大量的文章。在冗余配置方式中，包括 LCU 工作电源的冗余、控制器 PLC 的冗余、输入输出回路的冗余等。

1) LCU 交直流双供电电源方式

现在 LCU 都采取交直流双路供电方式，即厂用 220 V 交流电源和 220 V 直流电源同时提供给 LCU 作为工作电源。当厂用交流电源有电时，LCU 使用该电源；而当厂用交流电源消失时，LCU 应无扰动地切换至直流电源作为工作电源，保证 LCU 能持续可靠地运行。

南瑞自动控制有限公司的所有 LCU 均采用了南瑞公司独特的交直流双供电技术（见图 2 所示），技术成熟可靠，得到了广泛的应用。

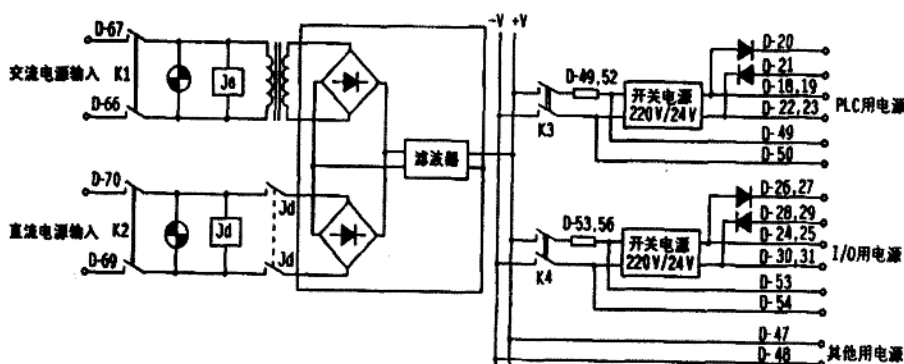


图2 南瑞公司的交直流双供电原理图

2) 并联冗余型 LCU

并联冗余型 LCU 是指 1 套 LCU 中包含了 2 套完整的且相同配置的 PLC 控制器及各自的 I/O 模块，仅在对外输入输出回路上统一考虑，如图 3 所示。

并联冗余型的配置主要应用在重要的大型水电厂中，任一 PLC 出现故障或死机都不影响 LCU 对机组的持续监控，可靠性得到了极大的提高。2 套完整且独立的 PLC 各自实现数据采集和处理，对外控制输出可采取相互协联表决方式输出，或采取主备控制权切换方式输出。并联冗余型

LCU 由于投资成本较大,输入输出回路设计较为复杂,仍有部分设备如对外通信等无法解决冗余通道问题,故应用较少。

3) 主辅冗余型 LCU

主辅冗余型 LCU 是针对并联冗余型 LCU 由于投资成本较大,输入输出回路设计较为复杂,无法推广的情况下改变思路,以实际应用为出发点而产生的配置方式。即在 1 套 LCU 中配置一大一小两套 PLC 控制器,大型 PLC(主用 PLC)作为 LCU 的核心控制器,具有 LCU 所有的且完整的功能,而小型的 PLC(备用 PLC)仅完成当主用 PLC 故障时仍能对机组进行开停机等的顺序控制功能,如图 4 所示。

主辅冗余型 LCU 由于经济灵活,可靠性高,输入输出回路设计较为简单,各控制器生产厂家的主流 PLC 均能实现这种配置模式,因此在许多大中型水电厂的计算机监控系统中得到广泛应用。

4) CPU 热备冗余型 LCU

CPU 热备冗余型 LCU 也是针对并联冗余型 LCU 由于投资成本较大,输入输出回路设计较为复杂的情况下推出的配置模式,采用双 CPU 热备冗余共享 I/O 模块的方式,具有简单可靠,输入输出回路与单控制器模式相同,广泛应用在新建电站及老厂改造当中,如图 5 所示。

CPU 热备冗余型的 PLC 的选择有一定的限制条件,就是要选择具有 CPU 热备冗余功能的 PLC 型号。由于不是每种 PLC 都支持该功能的,因此 PLC 的可选范围也就大大减少了,另外热备冗余方式也分硬件冗余和软件冗余两种方式,可根据需要选择。

从上述三种 PLC 冗余方式中,一般来说并联冗余型和主辅冗余型效果较好,能同时起到控制器 PLC 冗余和输入输出回路冗余的双重作用。而 CPU 热备冗余型方式与通常的单 CPU 型 PLC 在可靠性方面并没有本质上的提高,在现阶段 PLC 都已非常可靠的今天,这种方式的费效比不高。

1.3 LCU 控制输出回路的强化设计

在 PLC 等控制器大量应用在水电厂计算机监控系统中的今天,对于机组、开关设备、辅机设备等控制操作流程都由 PLC 来实现,为了防止误输出和误动作,需要在所有的控制流程中考虑必

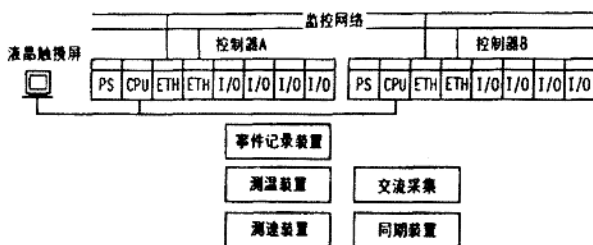


图 3 并联冗余型 LCU 示意图

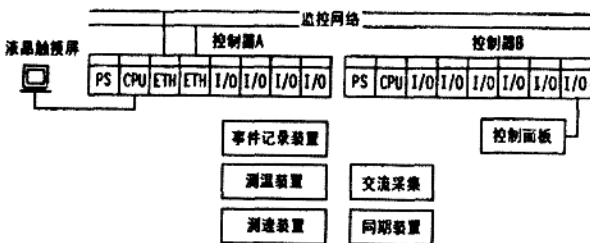


图 4 主辅冗余型 LCU 示意图

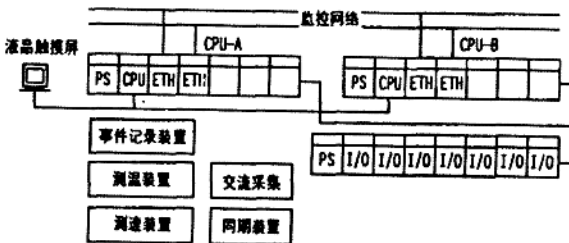


图 5 CPU 热备冗余型 LCU 示意图