

水电厂机组在线监测及 状态检修系统配置的探索

尉青连

(白山发电厂 吉林桦甸 132400)

【摘要】 结合白山发电厂计算机监控系统自动化改造,通过对机组在线监测及状态检修的总体规划,来阐述实施机组状态检修的必要性,怎样科学地、比较切合实际地进行配置,使所有的监测元件、监测系统能在计算机监控系统和状态检修系统的故障诊断、分析、处理中发挥巨大作用,能为机组的状态检修提供科学依据。

【关键词】 机组在线监测 状态检修 效率 数据采集 分析

【数据库分类号】 SZ07

1 实施机组在线监测及状态检修的必要性

1999年末白山发电厂完成了1厂3站9台机组部分的计算机远方监控系统自动化改造工程,配合计算机远方监控系统自动化改造,对现场影响机组安全运行和远方控制及操作的基础自动化元件、基础测量元件进行了彻底改造。同时对机组各系统电量和非电量测点加装了一些变送器,基本实现了对机组转数、电气量的电压、电流、功率、频率、功率因数,非电气量的压力、温度、流量、液位等实时值的在线监测。在部分机组实现了部分状态监测功能。

白山电厂白山站机组单机容量大,在系统中担任调峰、调频、事故备用的作用,开停机及调节比较频繁,使机组经常处于非最优工况下运行。白山站水头高,加上机组运行工况不好,使得白山站机组的气蚀破坏非常严重,而又没有任何监测手段,严重影响机组效率,降低了水能利用率;由于水轮机叶片气蚀破坏严重,检修工期不够,往往修复后的叶片达不到原设计的光洁度和翼型要求,造成恶性循环。机组启停频繁,运行工况也比较复杂,提高水能利用率,使机组在高效率区经济运行,是急待解决的问题;由于机组制造安装质量及检修质量等问题,非电量状态监测不全,水轮机泻水锥两次脱落、发电机转子支臂几次裂纹不能及时发现,极易酿成恶性事故,严重威胁着机组的安全、经济、稳定运行。每到夏季由于温差大,发电机结露严重,机组几天不运行,发电机绝缘就不合格,必须进行空载加励断水干燥;由于尾水管的涡带偏心,压力脉动,也经常引发机组出力摆动及机组振动。只有全方位实现水轮发电机组的在线状态监测,才能确保机组安全、经济、稳定运行。

水轮发电机组状态检修是一种现代化的检修管理手段,又称为预测性检修技术,主要是利用现代化的测试和监测技术,结合工程技术人员的生产运行经验,根据机组的振动、轴承的摆度、效率、压力、转数、导叶开度、温度及水轮机的气蚀、水轮机效率、发电机空气隙、发电机绝缘、尾水管真空及压力脉动、变压器绝缘及温度、励磁系统保护及励磁屏温度、调速器、断路器等运行参数及状态量,进行综合分析,由智能或人工方式判断出设备的运行状况,能够为最大限度地延长检修间隔,降低水电厂的运

收稿日期:2001-04-09。

行成本,为保证安全生产提供科学依据。随着计算机技术的飞速发展,要求水轮发电机组应配备一套更加完善的监测、保护、分析及诊断系统。为保证发电机组的安全运行提供一个更为可靠的手段,同时也为实现计划检修向故障预测、状态检修方向过渡奠定基础。现在各水电厂开始实施“无人值班”或(少人值守)减员增效,创一流水电厂自动化改造,尤其在电力企业改革的不断深入,企网分开、竞价上网,降低发电成本,提高机组的竞争力等方面,加强机组状态监测显得尤为重要。

2 白山电厂机组在线监测及状态检修实施情况

1996年白山电厂实现“无人值班”或(少人值守)自动化改造工程开始筹划,1997年机组计算机监控系统改造工程启动,同时也开始进行机组状态检修方面设计规划。

1998年对机组状态检修进行了系统性调研,并进行了研讨,确定了白山发电厂将实施机组振摆监测系统、水轮机气蚀监测系统、发电机气隙监测系统、机组流量测量、发电机局部放电监测,并通过现地控制单元LCU与计算机监控系统通讯。

1998年12月17日由白山发电厂、哈尔滨地震研究所、瑞格大电机技术有限公司三方在白山二期#4、#5机进行了现场测试,测量了厂房振动、机组各种工况下的振动和摆度,标定和校验传感器的低频特性,试验达到了预期效果。

1998年在白山二期#4、#5机各安装一套TRAN-AH型变压器故障监测仪。

1999年《白山发电厂机组状态监测系统总体规划》通过审批,并随着机组计算机监控系统改造逐步开始实施。

1999年上半年在白山二期#4机大修自动化改造中,安装了一套机组振摆监测装置、水轮机气蚀监测装置、发电机气隙监测装置、机组流量测量仪。

1999年下半年在白山二期#5机大修自动化改造中,安装了一套机组振摆监测装置、水轮机气蚀监测装置、并对机组流量测量仪进行了改造,通过机组计算机监控系统自行研制和开发。

1999年下半年在红石站#2机大修自动化改造中,安装了一套机组振摆监测装置,并对机组盘车录波进行了改造。

2000年下半年在白山一期#2机大修自动化改造完善项目中,安装了一套机组振摆监测装置。发电机局部放电监测装置也已经定货,计划在2001年上半年在白山二期#4机实施安装使用。

上述装置或系统的安装和投入使用,为白山发电厂实施机组状态检修打下坚实基础,同时也将发挥巨大作用。

3 白山电厂机组在线监测及状态检修实施情况及各系统的功能

3.1 压力监测

主要实施对技术供水蜗壳取水、廊道减压阀后、主供水、主供水滤水器后、推力轴承、上导轴承供水、水导轴承供水及备用水、密封供水、主变供水及主变水箱后、顶盖射流泵供水、蜗壳(支持盖)、导流锥、转轮上腔、尾水管等测点压力,高压电缆头压力,调速系统接力器开关侧压力,压油槽压力,高低压风源压力,风闸上下腔及空气围带压力,快门液压启闭机系统液压实施模拟量在线监测,超限报警,以及计算机监控系统画面的动态连接,保证这些测点变送器运行可靠,数值准确,就可以保证远方监测到全厂的压力测点,有利于及时判断故障和处理故障。

3.2 温度监测

主要实施对机组推力轴承、上导轴承、水导轴承轴瓦温度、油槽油温度,发电机冷风器温度、变压器上层油温、封闭母线温度、励磁屏温度、隔离开关温度、技术供水排水温度、厂房温度等各测点温度

的在线监测,计算机监控系统能对温度数据进行历史记录、故障存储、异常分析、温度趋势分析。

3.3 液位监测

主要实施对机组推力油槽、上导油槽、水导油槽、压油槽、集油槽、漏油槽油位,水轮机顶盖水位、上下游水位以及辅机公用油槽液位、集水井水位、廊道水位实施模拟量在线监测,越限报警,以及计算机监控系统画面的动态连接,保证这些测点变送器运行可靠,数值准确,就可以保证远方监测到全厂所有液位及水位测点,有利于及时判断故障和解除故障。

3.4 流量监测

主要实施对机组技术供水排水推力、上导、水导、发电机冷风器、主轴密封排水流量,白山一期水导供水、主变冷却器供水流量及主变油流量的在线监测。同时可以实现流量异常越限报警,准确判断冷却器堵塞或管路爆裂及设备故障跑油、跑水等。

3.5 电气量监测

主要实施对机组频率、系统频率、发电机定转子电压、电流,发电机功率、频率功率因数、发电机、线路、厂用电度量等电气量的在线监测。

3.6 转数及开度监测

已实施对白山站和红石站9台机组转数和白山#4、#5机和红石#2机导叶开度的在线监测,均采用的是哈尔滨瑞格公司开发的具有多路开关量输出和一路模拟量输出的高科技产品。

3.7 机组振摆监测

根据水轮发电机组机械试验部颁标准,结合白山电厂计算机自动化监控系统特点和机组的机械特性,根据本厂机组的实际情况,1998年开始白山电厂自动化办公室与哈尔滨瑞格大电机技术有限公司合作,在采用美国恩泰克—爱迪公司的大机组振动摆度监测系统技术的基础上进行了研制开发,对该系统的硬件配置做了很大改进,重新编写了系统软件,使该系统功能更加完备。在录波功能上又做了重新设计,使该系统功能更为强大。1999年分别在白山#4、#5机和红石#2机实施了这套系统。

该系统具有现地数字和棒图显示振动摆度测量值,输出4~20 μ A信号和继电器报警信号。数字频谱分析,轴心轨迹计算,连续采集幅值数据,存入数据缓冲区,记录30分钟的数据长度。串行数据通讯:每一模块具有RS485接口,可以卸载数据到计算机。

系统还具有通讯分析软件功能;连续时域分析显示功能;频谱分析和显示功能;短期趋势分析显示功能;连续的阶比分析显示;网络软件分析功能;时域分析功能,波形显示,波形分析,轴心轨迹,振动棒图和数字显示;频域分析功能,频谱分析显示、波特图、极坐标图、瀑布图、级连图;趋势分析功能;动平衡计算功能;故障诊断功能;报表打印。该系统安装、测试方便,解决了机组低频振动监测数据准确问题。同时实现了机组甩负荷试验模拟量录波及水压上升率和转数上升率的自动计算;实现振摆实时值与计算机监控系统的在线通讯,实现计算机远方在线监测。

3.8 效率监测

白山发电厂1997年开始实施计算机监控系统自动化改造,计算机监控系统上位机、下位机采用北京水科院的H9000系统。操作系统软件为Digital UNIX。下位机现地控制单元LCU采用的是GE9070 PLC,主机为TEXAS TI586工控微机;支持软件为Windows NT。根据我们对机组流量测量装置及仪表的调研,又对白山电厂计算机监控系统上位机、下位机软件功能的详细调查,认为白山电厂计算机监控系统完全可以进行水轮机流量和机组效率计算和在线监测。于是就选用了蜗壳差压法测流量,由下位机计算流量,上位机计算效率。就是在水轮机蜗壳的内外侧安装测压点,在蜗壳外围的测压管安装1台差压变送器,测量蜗壳的内外侧差压。采用蜗壳差压法进行测量,即

用差压变送器测出蜗壳内外侧的差压 ΔP , 并根据差压 ΔP 与流量 Q 的关系式: $Q = K \sqrt{\Delta P}$ 计算出流量, 式中 K 为流量系数, K 值的整定可以通过水锤法或超声波法效率试验来测得。在现地控制单元 LCU 进行编程, 把差压变送器提供的 4~20 mA 模拟量输出信号, 程序块按 $Q = K \sqrt{\Delta P}$ 关系式计算成流量的数字量, 输入到工控机进行工程换算, 换算后的流量便是机组的实时流量, 并送给计算机监控系统上位机, 实现机组流量的在线监测。

同时根据实时流量、功率和水头, 通过程序换算出机组效率, 实现机组效率的在线监测。

这种监测办法, 所用设备少(仅用 1 台差压变送器), 不需要其它任何监测仪表和装置, 节省投资, 维护工作量小。随着水电厂计算机监控系统的发展, 功能的逐渐强大, 这种监测方法将具有很好的发展前景。

2001 年准备在白山 #5 机安装一套超声波水轮机流量测量计, 精确测量水轮机绝对流量, 同时用来标定其他机组采用蜗壳差压法测流量的流量系数 K 。

3.9 水轮机气蚀监测

为了能够准确地监测水轮机的气蚀强度使机组能够在高效率区运行, 减少水轮机叶片的气蚀破坏。同时对气蚀量历史数据的累积测量, 标定水轮机的气蚀破坏程度, 准确决策机组的检修间隔, 为机组由计划检修向状态检修过度奠定基础。为此 1999 年分别在白山 #4、#5 机实施 7915 气蚀监测系统(CMS)。

7915 气蚀监测系统(CMS)检测水轮机转轮叶片表面气蚀情况, 该系统用于:

降低气蚀影响、减少腐蚀损害、标识最佳运行区域、指示累计损害、提高机组性能。

安装以后, 该系统不断地测量气蚀程度, 以使用户优化机组运行、记录相应机组的气蚀数据, 用于预定维护计划。

每个机组的气蚀情况可以用红—黄—绿棒图形式显示。上次检修开始的气蚀累计量也同时显示并记录下来。

当前机组运行状态和气蚀累计量、历史趋势图、各个机组气蚀—负荷特性曲线。

在线气蚀监测系统(CMS)通过水轮机的声波辐射来监测腐蚀情况, 确定转轮上所产生的腐蚀程度。当采用永久(在线)监测模式时, 系统不断测量并累计气蚀的损害程度。如果将 CMS 数据和转轮实际维护的历史数据相互参照, 则该系统可被用来预定维护计划(包括停机检修)。

3.10 发电机气隙监测

白山发电厂是东北电网中最大的水电厂, 单机最大容量 300 MW。由于机组单机容量较大, 在系统中担任调峰、调频、事故备用作用。机组起停频繁等各种因素, 以及由于制造和后期机组增容等多方面的原因, 发电机转子支臂甩开几次而未能及时发现, 这种隐患极易造成恶性事故, 后果不堪设想, 严重威胁着机组的安全、稳定和经济运行。加强对发电机气隙进行实时自动监测并及时分析和预测可能发生的各种故障。及时发现故障, 分析故障原因以及预告故障发生, 了解机组运行历史, 评判机组综合检修水平, 保证水轮发电机组的安全、稳定运行, 具有重要的现实意义和经济效益。

为此, 1999 年我厂引进了加拿大 VibroSystM 公司 AGMS 空气间隙监测系统。该系统主要有 4 只 VM5.0 传感器, 两个固定式两通道数据采集单元, 一套同步探头, 两片模拟量卡, 一套分析软件组成。两只传感器联接一个数据采集单元, 完成水轮发电机定转子空气间隙数据采集; 同步探头的作用是建立采样基准, 确定磁极号; 模拟量卡用来提供标准模拟量 4~20 mA 输出, 提供对应测点的最大和最小气隙, 供用户做远方监测; 一套分析软件用来采集和分析数据, 给出气隙值, 气隙曲线, 定转子圆度等。软件进行了本地升级开发。

该系统测量气隙, 用于起停机分析, 超速测试, 起励和励磁, 变负荷, 定转子圆度和偏心, 机组维

修前后工况比较等。检查气隙的不均匀度;对气隙性能作分析和趋向研究;识别和诊断异常情况;制定优化机组运行和维修的停机计划;作实时和远距离监测,以数据表,极坐标图和直角坐标图表示,储存测量数据。设定空气间隙报警值,可进行报警显示和继电器输出,记录报警前后十转的测量数据。提供实时的4~20 mA标准模拟量输出,实现在线监测。

水轮发电机定、转子空气间隙是一项重要的电磁参数,它对电机的其它参数、运行性能及技术经济指标有着直接的影响。设计选定的气隙值,由于种种原因,在机组安装、试运行以后会发生变化。这些原因包括制造、安装的诸因素和定、转子结构部件受电磁力及离心力的作用,其中尤其与发电机转子结构特征有较大关系。运行中的发电机气隙均匀性直接影响其电气特性和机械性能的稳定,有着不容忽视的作用。

3.11 发电机绝缘监测

白山发电厂机组运行10年以上,一期机组有的已经运行17年,绝缘材料在机械、热力、电力和环境的作用下会逐步老化,绝缘失效的危险也就大大地增加。如果绝缘失效发生,检修的费用是十分昂贵的。

大部分绝缘老化都会造成局部放电(电晕),即高压绝缘层中的小火花,都可以通过局部放电测试来检测。这种方法是通过检测局部放电脉冲的频率、幅值、极性和相位来评估绝缘系统的老化程度。

以往发电机局部放电测试被高强度电子噪声干扰,使得测试结果很难分析,需要高度的专业水平才能做出正确的分析。但是,随着近期高新技术的不断发展,一种可以消除噪声干扰并将局部放电量化的仪器和传感器被开发出来,使得测试过程的进行和结果分析可以由电站的一般非专业工作人员在机组运行的情况下完成,增强了系统的实用性。致力于通过检测局部放电来诊断和测试绝缘质量和老化程度,有利于延长检修周期,降低检修和生产成本,保证设备的良好状态和提高设备的利用率。

绝缘监测技术及原理:绝缘监测的方法很多,如直接观察法,测量绝缘电阻法、测量绝缘泄漏电流法、高电压实验法、测损失角法和局部放电法。上述方法又可分为两大类,即实验法和在线监测法。但结合我厂计算机监控系统改造,认为在线监测法比较适宜。在众多的测量方法中,局部放电法是最为先进的一种。局部放电法是监测电气设备绝缘老化或损坏而被击穿时出现的“火花”,即放电或放电脉冲。

局部放电分析系统主要由高压耦合器,数据采集单元和控制分析系统组成。耦合器安装在定子绕组上用于检测局部放电脉冲,经50 Ω同轴电缆连接到发电机外面的数据采集单元,而后通过通讯电缆与控制分析系统相连。

局部放电监测系统在世界范围内应用广泛,目前,美国、加拿大、德国都有成型的监测系统,技术先进,应用效果很好。

3.12 尾水管真空监测

白山一期尾水管较长,如果尾水管的工况不好,会直接引发机组振动,加剧水轮机的气蚀,同时也不利于尾水能量的回收利用,降低了水轮机的效率。一般中高水头混流式水轮机,导叶开度在40%~70%尾水管将产生不同程度的压力脉动。由于转轮出口产生脱流,在尾水管形成真空,与出口水流的旋转运动,就会导致水轮机的低频振动,严重会使机组出力摆动;监测尾水管的工况一方面监测压力脉动,另一方面就是监测尾水管的真空。尾水管出口脱流产生真空,是形成尾水管压力脉动、卡门涡列的主要原因。所以通过在线监测尾水管十字架真空补气量的大小,直接反映了尾水管真空度的大小,从而帮助我们了解各种工况下尾水管的状态,便于分析机组振动和摆动,找出机组的高效区,避开非优工况下运行,提高机组效率,减轻气蚀及振动对水轮机的破坏。

4 实施机组状态检修专家分析系统

完善机组状态检修目的是及时监测机组状态,预测诊断机组故障,保证机组在最优工况下运行,减轻各种非优工况对机组的破坏,确保机组高效率、稳定、经济运行。同时有了这些机组状态监测资料的积累,结合机组原始资料,历次检修数据,以往的运行经验和数据,还可以进行计算机分析及诊断软件系统的开发,届时可以由计算机监控系统自动分析及诊断机组故障、排除故障,为保证发电机组的安全运行提供一个可靠准确的手段;同时也可以通过开发的计算机软件,正确判断出机组状态,真正实现机组由计划检修向故障预测、状态检修方向过渡。

目前,我厂的计算机监控系统已经实施了所有电量和非电气量实时值的在线监测,2001年又利用现有的计算机监控系统开发了所有事故的追忆功能,记录事故前后20秒有利于事故判断分析的相关量的实时值及趋势,例如:“机组飞逸”,可以记录转数的最大值、相关的电气量、快门前压差、技术供水压力、导叶开度、压油槽压力、压油槽、集油槽、漏油槽液位、轴承及法兰摆度、上机架及定子铁芯振动、发电机气隙值等。便于进行事故的分析判断和事故后的检查处理。

正在实施各监测量历史数据计算机监控系统统一储存和管理功能的开发,为我厂机组实现计算机专家分析诊断系统的实施积累了重要的历史数据。即将有功功率、上下游水位、导叶开度、蜗壳压力、机组转数、尾水管压力脉动、尾水管补气量、水轮机流量、机组效率、发电机绝缘、发电机最大气隙和最小气隙、水轮机气蚀、上导(+X+Y方向)摆度、法兰(+X+Y方向)摆度、水导(+X+Y方向)摆度、上机(垂直水平方向)架振动、定子铁芯(垂直水平方向)振动、水轮机顶盖(垂直方向)振动等实时值按设置的典型工况“空载、50 MW、100 MW、125 MW、150 MW、175 MW、200 MW、225 MW、250 MW、275 MW、300 MW、330 MW”每天记录一次。

2001年准备实施白山二期和红石站关门,实现无人值班,就必须按上所述实施完善机组各状态监测系统,并实现机组各状态监测系统的数据格式及接口改造,然后建立机组状态检修工作站,具体配置说明如下:

现场各机组各状态监测系统数据格式必须改造为开放式,并与以太网互连通讯。这样可将现场各机组各状态监测系统通过屏蔽双绞线连接到路由器上,再通过光纤挂到现场计算机监控系统网络 HUB-90 上,进入计算机监控系统 100MB 光纤网络,送到桦甸机组状态检修工作站。

桦甸机组状态检修工作站设有机组状态检修数据采集工作站和机组状态检修数据处理工作站。机组状态检修数据采集工作站接收白山一期3台机机组振摆监测系统、水轮机气蚀监测系统、机组效率监测系统、发电机绝缘监测系统、发电机气隙监测系统、变压器故障诊断系统;白山二期2台机组振摆监测系统、水轮机气蚀监测系统、机组效率监测系统、发电机绝缘监测系统、发电机气隙监测系统、变压器故障诊断系统;红石站4台机机组振摆监测系统、机组效率监测系统、发电机绝缘监测系统、两台变压器故障诊断系统的状态数据和图形数据(时域波形、频域波形、棒图、色谱图形等),将这些数据按典型工况,故障前后分时段进行自动存储;同时机组状态检修数据采集工作站通过串口和计算机监控系统数据库连接,并采集计算机监控系统部分电气量、温度、压力、液位、位移、转数等模拟量数据,一方面进行各监测量的趋势分析,一方面帮助进行机组状态分析。

机组状态检修数据处理工作站通过对以往历史数据、检修数据录入,和现场各机组各状态监测系统测试数据进行分析,建立相应的数学模型、标准及趋势。通过计算机软件开发,定期进行机组状态总结。机组状态检修数据处理工作站通过串口和企业内部管理网 MIS 系统服务器相连,按权限将重要的机组监测数据,机组状态分析报告等,在网上发布,随时向厂领导和生产技术部门提供,以便准确决定机组的检修项目和检修计划。机组状态检修工作站的配置请见图 1。

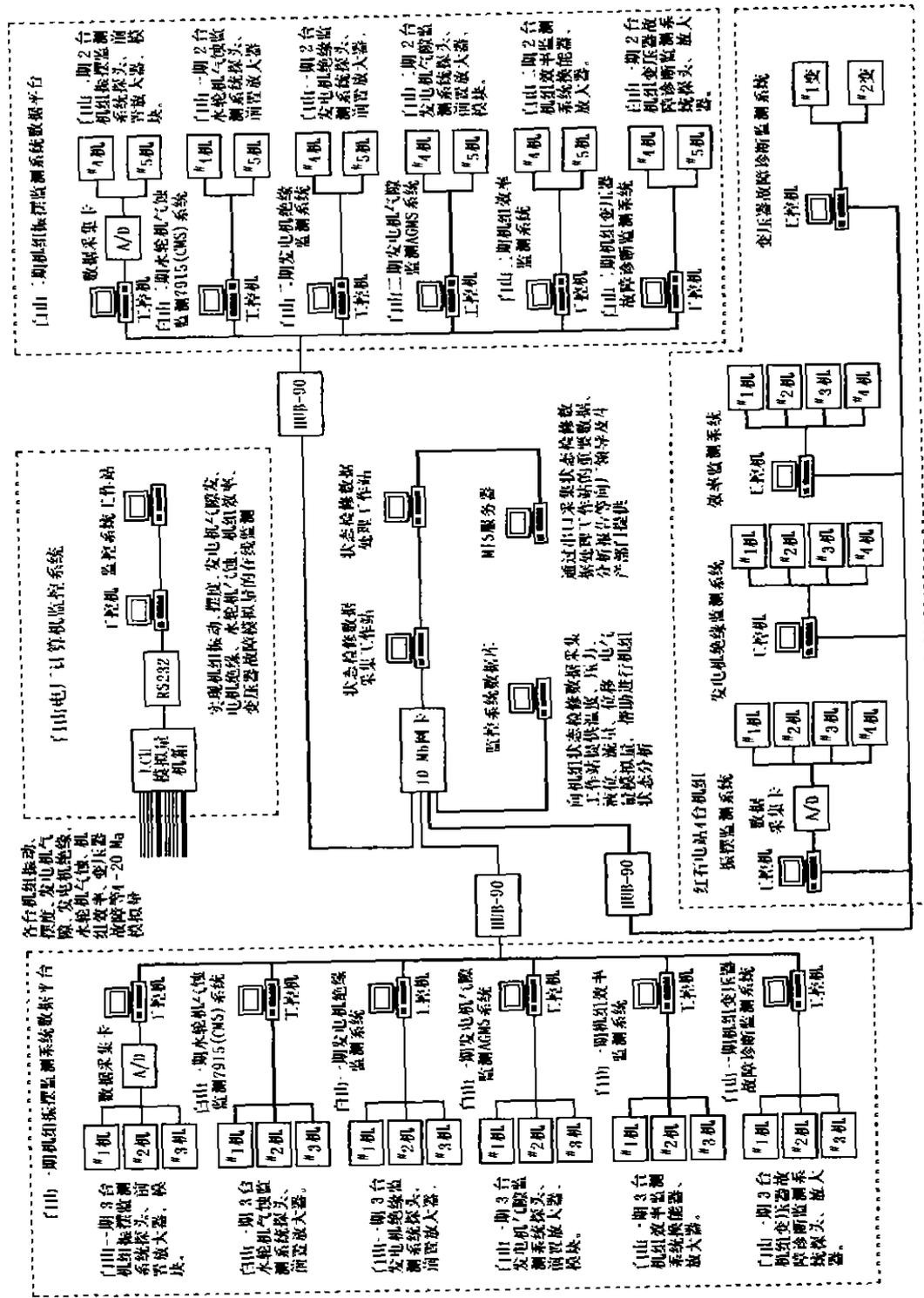


图1 白山发电厂机组状态检修系统工作站配置图

魏青萍 男,工程师,自动化专业,从事水电厂自动化改造及机组状态检修。