

③

水轮发电机组

运行状态

监测

传感器

11-14, 35

水轮发电机组运行状态监测

刘万景 曹洪恩

TM312

(水利部
电力工业部 机电研究所)

【摘要】 水电机组运行状态监测是对设计参数所属参量的监测,其目的是便于运行人员了解机组的运行状态,及时发现事故隐患,保证安全经济运行。目前,国外发达国家在水电机组运行状态监测方面较我国领先。国内外新技术和监测装置有振动和摆度监测、位移监测、流量监测、水轮机效率监测、油混水监测、水压脉动监测、绝缘监测、水轮机汽蚀监测等。相应的仪器有气隙监测仪、水轮机效率监测系统、汽蚀监测仪等。提高我国水电机组运行状态监测水平已具备必要性和可行性。今后可从监测系统模式及研究开发两方面着手,研究开发监测系统软件,进而推广应用监测技术。

【关键词】 水电机组 运行状态 监测 传感器 装置配置

1 概述

水电机组的运行状态是表征机组运行状态的设计参数在运行过程中的状况。那么,水电机组运行状态监测便是对设计参数所属参量的监测。

水电机组运行状态是评价机组好坏的一个综合性指标,它是诸多独立参量的集合。目前还没有一个区分水电机组运行状态优良差等级的综合判定标准,所以判定一台机组运行状态的好坏,只能就不同参量分别而论。如机组振动参量,在GB8564-88《水轮发电机组安装技术规范》中,就机组振动状况的优良差等级做出了详细的规定,因此可以依此来判定机组振动状态的好坏。但需指出的是,许多参量还缺少判定的标准,已有的一些标准也有许多不完善的地方,因此加强标准制订工作是搞好水电机组运行状态监测工作的重要方面。

水电机组运行状态的好坏直接影响着机组的寿命、效益和安全,尤其大容量机组更显突

出。通过对表征机组运行状态的参量实行监测,以便运行人员及时了解其机组的运行状态,及时发现事故隐患,采取措施处理,从而减少事故的发生和损失,保证安全经济运行;通过对机组运行状态的监测,为制订大、小修计划和方案提供数据参考;另外,建立和完善我国的水电机组运行状态监测系统,也是开展水电机组诊断技术的重要基础工作。

目前,国内的水电机组运行状态监测的参量,测点的设置,装置的配置几乎是统一的传统模式。近年来,有少数机组在传统的配置基础上,增设一些新的监测装置,扩充了传统的监测参量,如振动、位移、流量和油混水等参量,附表列出了丹江口水电站增置的监测参量和装置。国外发达国家在水电机组运行状态监测方面较我国领先,电站都已在传统的状态监测基础上,设置了更多的监测参量,如机组各部位的摆度与振动、油混水、空气间隙、轴电流和电晕等。

关于水电机组运行状态监测参量,目前还

没有统一的标准或规定，不少专家发表论文涉及这个问题，但涉及到的参量数目有多有少。今天探讨的水电机组运行状态的监测参量，应从两个方面考虑，即必要和可能。所谓必要，就是指选择的监测参量必须有助于了解机组的运行状态，并应借鉴国外经验；所谓可能，是指所选择的监测参量应有相应的监测技术（产品）来支持，在这个前提下，目前水电机组运行状态监测所包括的参量为：（1）功率（有功、无功）；（2）电压（定子电压、转子电压、励磁电压）；（3）电流（定子电流、转子电流、励磁电流）；（4）温度（推力轴承瓦温、导轴承瓦温、定子温度、冷却器温度、热风温度、冷却器冷却水温度）；（5）液位（上、下游水位，油槽油位）；（6）转速（机组转速）；（7）压力（蜗壳水压、顶盖水压、尾水管水压、油槽油压、气罐压力、冷却器水压）；（8）流量（过机流量、技术供水流量）；（9）效率（水轮机效率）；（10）位移（接力器行程或导叶开度、大轴轴向位移、定转子空气间隙、推力轴承油膜厚度）；（11）振动、摆度（上、下、水导摆度，机架，顶盖，定子振动）；（12）噪声（发电机、水轮机）；（13）水压脉动（尾水管进口水压脉动、顶盖水压脉动、蜗壳进口水压脉动）；（14）绝缘（定子线棒）；（15）油混水（导轴承油槽、推力轴承油槽）；（16）力（水推力）；（17）扭矩（大轴扭矩）；（18）轴电流；（19）汽蚀。

2 水电机组运行状态监测技术及系统

2.1 水电机组运行状态监测技术

在水电站应用已久的传统监测技术（如温度、压力、液位、功率、电压、电流等）本文不再详述，只就近几年国内外的新技术和监测装置给以介绍。

2.1.1 振动和摆度监测

多以电涡流位移传感器做为测量传感器，该类型传感器低频响应好，适合于水电机组测振。近两年，低频性能较好的速度型传感器也逐步得到应用，二次仪表和生产厂家很多，并基本上已规范化，多以电子电路测量振动的峰

~峰值，一般为数字显示，有报警指示，可与计算机相连。如 ZJ 型振动监视仪和瑞士的 PLD 系列监视仪等。

2.1.2 位移监测

水轮发电机空气间隙测量，应用电容测量技术，将平板式电容传感器粘贴到定子内壁上，经前置器将传感器的电容变化量转换成电信号输出，由二次仪表进行数据处理，实时显示水轮发电机空气间隙的最小或最大值及对应的磁极号，根据设定进行报警并贮存报警值。如 FQJ 型水轮发电机空气间隙监测仪，加拿大某公司生产的空气间隙监测系统，实践证明该技术是一项成熟的技术。

其它位移量多用电涡流位移传感器或电感式位移传感器检测，由二次仪表实时显示所监测的位移值，这类产品较多，技术也较成熟，产品有 ZWJ 型轴位移监视仪等。

2.1.3 流量监测

水轮机流量的监测主要应用蜗壳差压法实现，该方法实施简单，造价低，精度能满足要求，应用前提是要求出蜗壳流量系数 k ， k 值的获得有多种不同的方法且不困难，因此，水电机组流量监测，蜗壳差压法是一种比较理想的方法，这类装置国内有 LJ 系列流量监测装置等，该装置其基本功能有瞬时过机流量指示，累计流量指示，计算机接口等。

其它流量的监测可选用电磁流量计，靶式流量计，涡轮流量计等来实现，这类仪表品种繁多，选择范围很大。

2.1.4 水轮机效率监测

水轮机的效率监测需要的参量有过机流量、工作水头和水轮机输出功率，其关键是过机流量的测量，水轮机效率监测多与流量监测一起完成，比如上面提到的 LJ 系列流量监测装置，同时可以进行效率监测，美国某公司推出以超声波测流为基础的水轮机效率监测系统，该系统技术先进，但造价高，安装复杂。

2.1.5 油混水监测

应用电容测量技术实现油槽内油混水量的测量，传感器插入油中进行检测，由于油中混

入水后，介电常数发生改变而引起传感器电容值的变化，通过二次仪表，实时显示含水量，仪表可根据设定进行报警。我国许多引进机组都装有该装置。目前，已研制出 YSJ 型油混水监视仪并投入应用。

2.1.6 水压脉动监测

应用压力传感器将水压脉动转换成电信号，经二次仪表处理，实时显示水压脉动的峰值(MPa)或水压脉动的幅值与指定水头比值的百分数，可根据设定进行报警，可与计算机相连。目前正在开发这一产品，预计1994年底可出样机。

2.1.7 绝缘监测

应用局部放电测试理论进行测量，使用高压电容耦合器做为传感元件，测量绝缘破坏时局部放电量，二次仪表显示放电脉冲的幅值及特征，来判定发电机的绝缘破坏类型和严重程度，这类产品国内外均有生产并已获得应用。

2.1.8 水轮机汽蚀监测

水轮机汽蚀发生时可产生水压脉动、振动和噪声，那么汽蚀的监测就是从这些参量入手来实现。最近美国研制出一种汽蚀监测仪，该监测仪应用加速度传感器测量汽蚀声传播信号，采用全波整流频谱分析法进行处理，以叶片通道调制水平(分贝)表征汽蚀的强度，该系统已在美国的多个电站应用。

2.2 水电机组运行状态监测系统

2.2.1 丹江口水电站机组状态监测系统

该系统是在保留电站原配置的基础上进行研制的，由水利部、电力工业部机电研究所完成。该系统所选用的元器件及装置基本上都是国内近两年研制的新产品。该系统由传感器或变送器、二次仪表组成。二次仪表集中地安装在一块机旁盘上，监测参量直接从盘上读出数据，所有二次仪表均可以与计算机接口。该系统所包含的监测参量及布置情况如附表所列。

附表 丹江水电站机组运行状态监测项目

参 量	测点布置及点数
压 力	蜗壳压力 (1)，总冷却水压力 (1)，空冷水压 (1)，水导冷却水压 (1)，推力冷却水压 (1)，顶盖压力 (1)，尾水管压力 (1)，止漏环进口压力 (2)，水导密封水压 (1)
液 位	推力油位 (1)，水导油位 (1)
振动摆度	推力支座垂直振动 (1)，顶盖垂直振动 (1)，上导摆度 (2)，水导摆度 (2)
流 量	水轮机过机流量 (1)
位 置	进水口闸门位置
油 混 水	推力油槽

2.2.2 瑞士某公司的 ZOOM 系统

该系统专为水电机组而设计，是目前较完

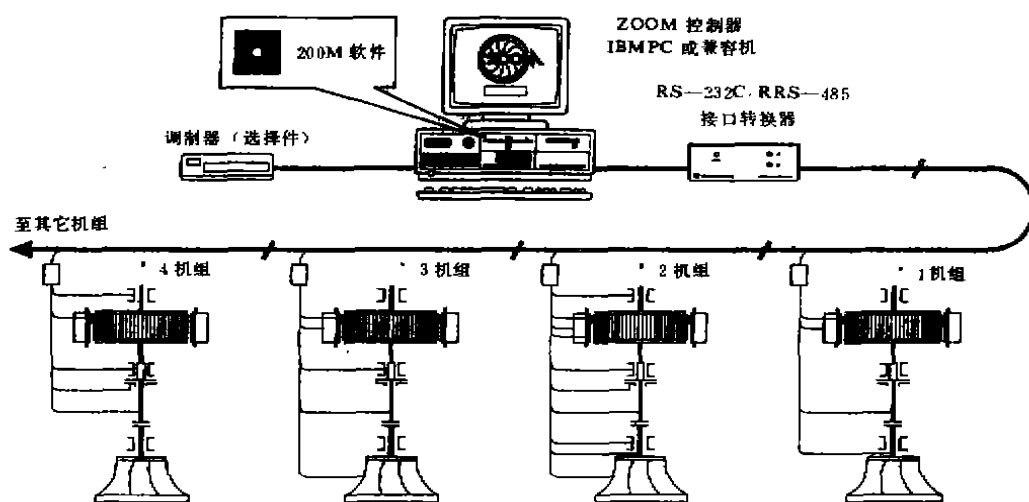


图 1 ZOOM 系统组成

善和先进的水电机组运行状态监测系统。该系统为开放式模块结构，具有很强的灵活性，专用软件可供各工况下的多参量测量、贮存和处理，可打印数据报表和各种曲线，系统的组成见图1。

3 关于国内水电机组运行状态监测的研讨

目前，我国的水电机组运行状态监测参量的系统程度及监测方式的先进程度都有待提高。就其必要性而论，其早被人们所接受，自有机组以来，机组运行状态监测就有专门的表盘实现，并不断得到完善。现在重提必要性，是指在新的监测目的下，有必要将新技术应用到状态监测中，尽量多地对表征机组运行状态的参量如振动、过机流量和空气间隙等进行监测，这些参量与原有监测参量有着同样甚至更大的必要性；就其可行性而论，要完善原有状态监测就必须有更完善的技术，要丰富状态监测的内容，就必须有新的监测技术问世。近年来研制推出一批新的监测装置，所监测的参量和机组运行状态紧密相关，其监测装置的价格合理，有力地促进了水电机组状态监测的发展。

提高我国水电机组运行状态监测水平已具备必要性和可行性，确定什么样的技术方案等问题就是我们目前应抓紧研究的问题，本文从下面几个方面提出一些看法，愿与同仁探讨。

3.1 我国水电机组运行状态监测系统的模式

3.1.1 运行机组

3.1.1.1 第一种模式

保留现有的配置，增设新的监测参量，即在装置配置上已有的继续保留，增设新的参量监测盘，新增设的监测装置为数字显示，系统的记录仍延续运行人员定时抄表制度。这是一种投资少，实施简便的模式。

3.1.1.2 第二种模式

在第一种模式配置的基础上，记录方式改用计算机数据采集，并设计成开放式结构，以便随时增补新的参量，以定时自动打印运行日志代替运行人员定时抄表，另外也便于记录数

据的保存和调用。如果设计出丰富的软件，那么该系统不仅仅起打印报表的功能，而且还可以灵活地进行数据分析、比较等。比如一段时间以来推力轴承瓦温的变化曲线，机组振动随工况的变化规律，空气间隙在启机过程中的变化情况等等。这种模式可能会遇到原参量监测装置不能与计算机接口的问题，需要做些改造工作，现在越来越多的电站配备了计算机系统，这种模式有较好的发展前景。

3.1.2 设计机组

对新设计的机组，运行状态监测系统的建立应根据现有技术以及发展趋势全面、系统地考虑，包括监测哪些参量，如何监测，传感器的选择，现场的安装，系统构成，数据处理要求及方式等。建议新一代水电机组运行状态监测系统，所应监测的参数如图2所示。基本构成为传感器或变送器、数字显示的水电机组运行状态监测盘和计算机系统，其基本功能为：能对机组启动、运行、停机和试验等各种工况进行数据采集、贮存和显示，实行实时监测；机组出现异常时，能记录异常前后的数据，以便进行事故追忆和事故预测；所监测的数据以曲线图显示和做成报表，可对数据随时间、工况的变化进行分析，对数据变化的独立性、相关性和规律性进行研究，以实现水电机组的故障自诊断。

上述配置方案可做为已运行机组进行完善的参考。

3.2 完善机组运行状态监测系统的研究开发工作

调研我国已完善运行状态监测系统的丹江口、白山等水电站，全面了解完善工作的成果和存在的问题；对国外典型机组的运行状态监测系统进行考察，以便借鉴技术和经验；邀请专家进行专题研讨，广泛听取意见；在此基础上制订出目前我国水电机组运行状态监测的技术方案和实施方案。

组织力量对目前还缺乏的监测装置进行开发，诸如水推力监测仪，大轴扭矩监测仪，轴

(下转第35页)

量较改造前增大 $17.5\text{m}^3/\text{s}$ 以上(超过 40%), 相对装置效率提高 37%。

8 泵改的经济效益和社会效益

6 台水泵经过改造后, 泵站总扬水流量从 $43.5\text{m}^3/\text{s}$ 增大至 $61\text{m}^3/\text{s}$, 在近期内缓解孔雀河流域工农业生产和城乡人民生活及塔里木油田开发的急需用水量, 节省建相应流量的新泵站建设资金(约 1800 万元)和运行管理费。

泵站流量增大 $17.5\text{m}^3/\text{s}$ 后, 改善下游灌溉面积 100 万亩, 促进灌渠农业结构调整, 提高农业复种指数, 每年可增加农业产值约 1.5 亿元。

增强铁门关和石灰窑两产电站的调峰能力, 并增加发电量。该两座电站发电用水 80% 来自博湖西泵站, 只用 3m 的扬程即可形成 90m 左右的发电水头, 泵站流量增大后还可利

用铁门关电站现有机坑增装一台机组。

水泵抽水效率提高, 按每年抽水 8 亿 m^3 、电价 0.1 元/kw.h 计算, 可节省抽水电费 40 余万元。

轮叶采用不锈钢、转轮室改用铸钢制造, 并提高其加工质量后, 水泵大修周期可延长一倍, 全站每年可节省大修费 8 万元。

泵站径流能力增强, 在年抽水总量不变的情况下, 仍可在水质处于高矿化度时调剂抽水量。每年从博湖多带出盐量 4.18 万 t, 可加速湖水淡化, 改善生态环境。

总之, 博湖西泵站泵改产生的经济效益和社会效益十分显著, 6 台泵的改造费用不足 150 万元, 不足新建同容量($17.5\text{m}^3/\text{s}$)泵站费用 1/10, 三年节省的电费和大修费用即可全部补偿。

(收稿日期: 1994. 12. 4 责任编辑 郭 勤)

(上接第 14 页)

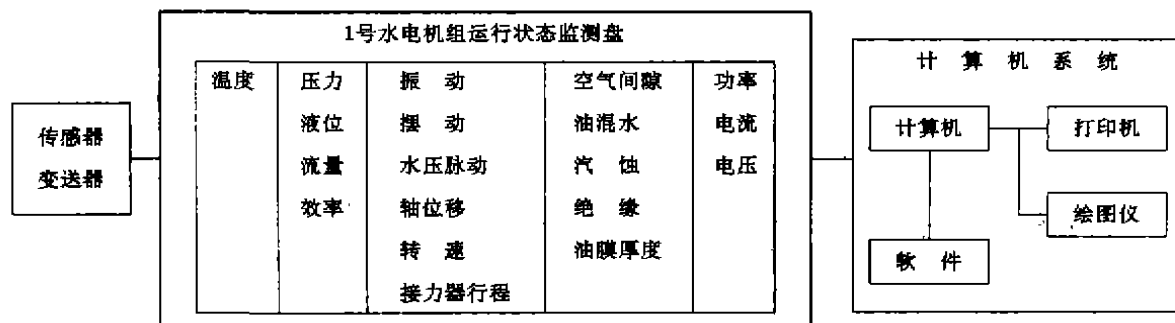


图 2 新一代水电机组状态监测系统

电流监视仪等。

加强国际技术交流, 消化国外先进监测技术, 如水轮机汽蚀监测技术, 发电机定子绝缘监测技术和空气间隙监测技术等, 为国内研制这些产品奠定基础。

研究开发水电机组运行状态监测系统软件, 使这项工作成为目前水电机组运行状态监测系统产生质变的重要一环。由丰富的软件支持的状态监测系统不仅仅是提供一组组数据, 而是可以对获取的数据进行趋势分析、相关分析和频谱分析等, 它可使运行人员了解和掌握

其机组运行状态的过去、现在和将来, 其经济效益和社会效益是十分显著的。

确定一电站进行水电机组运行状态监测系统的革新和研究工作, 以便发现问题, 总结经验, 进而推广应用该项技术。

参 考 文 献

- (1) 刘万景, 水轮机汽蚀监测. 水电站机电技术, 1993 年第 1 期.
- (2) 刘万景, 静态和动态气隙测量系统. 国外大电机, 1989 年第 5 期.

(收稿日期: 1994. 12. 14 责任编辑 郭 勤)