

[二次系统]

水电站电气二次系统的构造及应用控制措施

文/赵家丞
贵州蒙江流域开发有限公司

分析水电站电气二次系统的各个组成部分，包括计算机监控系统、励磁系统、继电保护系统、直流系统、火灾自动保护系统和辅助及公用设备控制系统。重点探讨水电站电气二次系统的应用控制措施，包括火灾自动保护、直流系统控制、辅助及公用设备控制，以及消防设备控制等方面的具体措施，有效提升水电站的安全性和运行效率。

水电站作为清洁能源的重要组成部分，在我国能源结构中占据重要地位。电气二次系统作为水电站运行中的核心环节，其设计、构造和控制措施直接影响到水电站的安全性和运行效率。因此，深入研究水电站电气二次系统的构造及应用控制措施，对于提升水电站的整体性能具有重要意义。随着科技的不断发展，水电站电气二次系统的技术水平和控制方式也在不断进步。本文旨在通过对水电站电气二次系统的详细分析，探讨其应用控制措施，期为水电站的安全、稳定运行提供理论支持和实践指导。

电气二次系统概述

电气二次系统是指为了实现电气主设备的监视、保护、控制、调节及信号传递等功能而配置的辅助设备和系统的总称，在水电站日常运营中，电气二次系统主要负责信息采集、处理、传输及执行等任务，对水电站安全运行起到关键的保障作用，电气二次系统的主要组成部分涵盖计算机监控模块、励磁及继电保护装置、直流系统与火灾自动保护设备辅助控制及相关配套设施。子系统间的智能协作，实现了水电站实时运作状况的全面监控、快速故障诊断与高效问题解决以及设备的智能化自动

化操控，电气二次系统的性能直接影响到水电站的安全性和运行效率，采用优化设计和调整措施，提升水电站自动化程度和运行稳定性，确保水电站的经济盈利与高效运作^[1]。

水电站电气二次系统的构造

1. 计算机监控系统

采用分层分布式监控架构，系统由上级监控层和现场操作层两大部分构成两大核心组成部分形成系统。电站管理团队承担全面监控职责，包含数据收集环节、数据处理、展示及存储的完整流程。主要关键设备涵盖了主控计算机、数据处理服务器、操作终端和技术支援站，设备间通过高速网络实现信息的实时交互与数据的高效处理。现地控制层设备监控关键设备有PLC、RTU、现场仪表及执行单元，现场控制层级与电站管理层面通过专用通信网络实现数据与控制信号的传输工作，确保系统的协同高效运行实时监控运行状态，如图1所示。

2. 励磁系统

采用自激式三相晶闸管桥式整流装置进行励磁控制，调节器与功率单元是其核心结构的重要组成部分。调节器主要控制发电机励磁电流，保证发电机适应各种运行条件实现持续稳定的电压输出，调

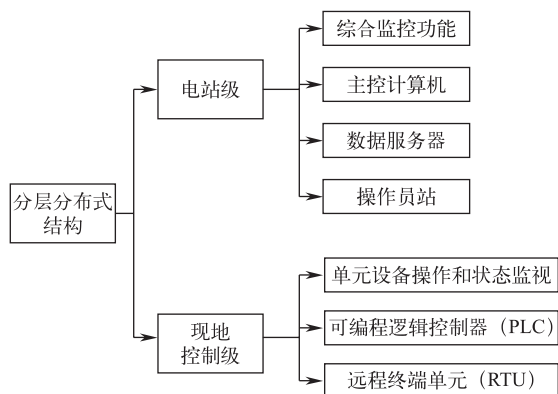


图1 计算机监控系统

节器主要部件有电压、励磁电流调节器及电流限制器，这些部件共同作用实现对励磁电流的精确调控。利用整流装置实现交流电到直流电的转换，确保发电机获取稳定且可靠的励磁直流电源。由晶闸管整流器、滤波器和保护设备组成的功率单元，整流器运用三相全控桥式设计，通过晶闸管导通角度的调节来控制输出电压与电流，滤波器旨在消除整流造成的谐波干扰，保护装置旨在预防过电压与过电流，维护系统安全稳定，保障系统运行的安全与稳定。

3. 继电保护系统

继电保护系统是水电站电气二次系统的重要组成部分，主要负责监控与实施电力系统的保护措施，阻止故障进一步扩展确保电力系统的稳定与安全运行。系统集成保护继电器、测量仪器和信号处理单元，包含电流、电压及差动与距离保护继电器，对这些关键参数执行实时监控以判断电力系统故障是否存在。侦测异常时继保系统迅速下达停电命令，断开问题区域的电力供应，旨在避免故障扩散及设备受损，继电保护系统集成智能自检与自愈机制，在故障得到及时排除之后系统将自主恢复至正常运作，增强系统稳定性和防护能力。

4. 直流系统

直流系统是水电站电气二次系统中的关键组成部分，其主要职能是确保提供稳定的直流供电，确保控制与保护设备正常运行至关重要。系统初始电压设定为220 V，配备了220 V直流电源系统同时安装了两套蓄电池组，直流系统设备囊括整流装置、储能电池单元、充电设施及直流供电分配箱等。整流器实现交流转直流，充电器主要负责蓄电池组

的充电，目的是维持蓄电池组的高效性能。操作控制、保护与应急照明应用双组蓄电池混合供电技术，确保电源持续不间断供电稳定且可靠性强，直流配电柜负责电能分配至众多用电设备，保障电力系统运行的安全性与可靠性^[2]。

5. 火灾自动保护系统

火灾自动保护系统对水电站安全至关重要，主要功能包括火灾监测与应急响应，确保水电站运行的安全性与连续性。火灾探测模块、报警控制器、灭火装置及其联动系统，安装于关键区域的火灾探测器，实时检测烟雾、温度等关键环境参数。一旦检测到异常情况，火灾报警控制器将迅速发出警报，并执行相应的自动控制指令。应用七氟丙烷灭火系统实现迅速扑灭火源且具备无害环保特性，火灾报警设备实现联动功能及时切断潜在危险的电源，激活排烟及灭火设备，保障火灾应对的效率与效果降低火灾对水电站设备及人员的风险。

6. 辅助及公用设备控制系统

设备管理系统对水电站辅助及公用设备实施全面管控，确保设备稳定高效运行。该体系涵盖了供水技术模块、调速器油压控制装置和进水口闸门操作系统等，采用PLC实施自动控制策略，PLC承担传感器信息采集职责，按照既定逻辑进行数据处理向执行机构下达控制命令。此外，系统实现了自动与手动的灵活控制结合，操作者能够依据实际需要选用恰当的控制方案，确保设备的运行安全与稳定性作为根本目标。公用设备控制系统的技术优化，能够有效提升提高水电站的运作效率及系统稳定性发挥显著的积极效果。

水电站电气二次系统应用控制措施

1. 火灾自动保护系统

例如电力系统关键保护区域，如继电保护室、电缆廊道和大坝监测室，部署七氟丙烷气体灭火系统作为高效的自动消防系统。七氟丙烷无色低毒灭火气体，具有卓越的高效灭火能力，不会损害设备结构，其非导电性特点使得其成为电气环境理想之选。一旦探测到火灾，火灾报警联动控制装置迅速下达指令，激活灭火机制。在火灾发生初期阶段，安装烟雾与温度传感器实施即时监控，若监测数据超出既定安全限值（如烟雾浓度超过0.1%或温度上

升速率超过 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ），报警系统会立刻激活并发出警示音，同时启动相关的联动控制流程。

七氟丙烷灭火浓度一般在 $5\% \sim 8\%$ 之间，迅速扑灭火源通常仅需 10 s ，有利于掌控火势发展避免火势蔓延。设有手动操作与应急制动机制，专门应对自动控制系统故障实施快速应急处理以实现人工干预，此外，执行分区火灾报警管理，保障分区监测控制独立运行，火灾发生时实现区域有效隔离，保障其他区域安全稳定不受影响。例如，电缆通道内部空间，每隔 10 min 均匀布局烟雾与温度传感监测装置，实现全面监控覆盖确保高效应急响应^[3]。详情见表1。

表1 火灾自动保护系统应用相关参数

参数	数值
烟雾浓度阈值（%）	0.1
温度上升速率阈值/ $(^{\circ}\text{C}/\text{min})$	10
灭火浓度（%）	$5\% \sim 8\%$
灭火时间/s	10
烟雾探测器间距/m	10

2. 直流系统控制

水电站通常使用 220 V 直流供电，配备 220 V 直流系统及其配套设备，两套蓄电池组与系统协同运作，每组蓄电池由 100 个 2 V 特单体电池串联组成，总存储容量达到 $200\text{ A}\cdot\text{h}$ 。即使在电力供应中断情况下也能保持连续供电，为动力系统、应急照明及控制负载提供至少 8 h 的电力保障。直流系统的基础组成部分涵盖整流装置、充电设施、直流电能分配单元与蓄电池管理系统。整流器完成交流至直流的转换，为蓄电池组及直流设备提供电力，整流器达成 95% 的高效转换率，确保能量转换的高效率。智能充电设备的操作方式，依据蓄电池实时使用状况实现精准浮充与均衡充电控制，保证电池组的高性能运作。浮充电电压设置为 2.23 V ，确保每块电池在浮充阶段维持最佳电压状态，而均衡充电电压则设置为 2.33 V ，旨在解决电池组内电压不平衡的难题。

直流配电柜承担电能分配任务向各类用电设备进行电能输送，涵盖继电保护、自动控制等以及应急照明等众多用电设备类别，目标为保证直流系统的可靠运行与稳定性维护。装配了高级蓄电池性能监控装置，实施电池电压、电流与温度的持续监测，实行每 5 s 的高频次数据刷新，及时侦测并解决

电池潜在问题，有效预防电池故障导致的供电中断情况。蓄电池监控与管理包括多个方面涵盖电压等多个关键性能指标、温度与电流等核心监控参数。例如，监控系统会在电池电压低于 2.0 V 或高于 2.5 V 时发出报警，其目的是预防电池因超出既定放电或充电范围而可能发生的损害，实时监测并追踪环境温度变化保持电池工作温度在 $15^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 的最佳范围，避免温度偏差对电池性能产生负面影响。旨在提升系统可靠性，直流电源系统实现了快速响应特性，持续跟踪电池健康状况，及时侦测到电池问题即刻触发应急机制，保证在 100 ms 内做出反应，执行电池组切换或启用备用电源流程，保证直流电源实现不间断供电。详情见表2。

表2 直流系统控制组件及规格

组件	规格
电压/V	220
每组电池单体数量	100
总电池容量/ $\text{A}\cdot\text{h}$	200
备用时间/h	8
整流器效率/（%）	95
浮充电压（V）	2.23
均衡充电电压/V	2.33
监控频率/s	5
温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	$15 \sim 25$
故障响应时间/ms	100

3. 辅助及公用设备控制系统

水电站采用自动化设备控制，确保设备稳定高效运作，利用PLC完成自动化管理整合多传感器信号数据。如压力、温度和液位等传感数据，实时跟踪设备运作状况，按照既定逻辑执行控制指令。例如，技术供水系统的操作程序，PLC监控系统实时追踪供水管道压力与流量情况，自动控制水泵启停，保障供水稳定可靠^[4]。

调速器油压控制设备采用PLC技术控制油泵、油压调节与缓冲装置，保障调速器油压系统的稳定运作，保持机组调速性能不受影响，进水口闸门自控系统采用PLC技术实现智能化管理自动化控制启闭机电动机与限位开关，精确调节闸门开闭幅度及速度，避免水流冲击造成的损害及设备故障。系统具备自动与手动双重控制模式，操作者可按需灵活选择控制方式，确保设备在各种运行状态下安全可靠运作。

4. 消防设备控制

消防自动化调控系统依赖消防报警主机的配合对排水、送风及排风系统执行智能化程序控制，增强火灾发生时的应急反应速度和效率，火灾发生及报警时刻，自动控制系统依据既定程序迅速切断送风供给，有效遏制火势蔓延，并激活排烟机制清除火灾有害气体。排烟系统可在短短3 s内启动，确保烟雾及有害气体迅速排出，以维护环境健康保障空气品质处于优良状态。面对紧急事件时控制器执行防火阀远程/手动操控，旨在优化通风系统路径阻断热源传播。防火阀设备5 s内快速激活，旨在火灾时快速定位火源并隔离，有效遏制火势蔓延。另外，通过硬接线手段实施送排风机的手动控制，在自动控制失灵时作为手动操作的应急策略使用。

消防设备网络调控的多层防护布局，保障火灾发生时的迅速反应能力触发设备自动启动应急程序，例如，火警报警控制器立刻发出送排风机操控指令，响应时间被缩短至不超过1 s，保障火灾发生初期通风系统的有效适应性，送风机风量达到5 000 m³/h，排风机运行风量为4 500 m³/h，迅速且高效地清除火场烟雾及有害气体^[5]。详情见表3。

表3 消防设备控制相关参数

参数	数值
响应时间/s	1
排烟系统启动时间/s	3
送风机最大风量/(m ³ /h)	5 000
排风机最大风量/(m ³ /h)	4 500
防火阀关闭时间/s	5
冗余控制回路数量	2
定期维护频率/月	6

结束语

水电站电气二次系统的构造及应用控制措施是确保水电站安全高效运行的关键环节，本文通过对电气二次系统的详细分析和控制措施的研究，为水电站的安全运行提供了理论支持和实践指导。然而，随着科技的不断发展和水电站运行需求的不断变化仍需不断探索和创新，进一步完善和优化电气二次系统的设计和控制措施。未来，期待通过更加先进的技术手段和管理理念，提升水电站电气二次系统的性能水平，为我国水电事业的发展贡献更多力量。EA

(收稿日期：2024-06-26)

参考文献

[1] 陈丽娜. 潭岭水电站电气一次系统设计分析研究[J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(11): 49-51+137.

[2] 黄志明. 恰木萨水电站监控系统结构设计[J]. 水电站机电技术, 2021, 44(8): 23-26.

[3] 马愿军. 水电站电气二次系统的构造及应用控制措施研究[J]. 中国高新科技, 2021, (14): 19-20.

[4] 鲜喜敏, 马涛. 水电站电气二次系统构造与应用控制方式分析[J]. 科技视界, 2018, (10): 95-96.

[5] 冯裕创. 水电站电气二次系统的构造及应用控制[J]. 中国高新技术企业, 2014, (22): 137-138.

