

运动控制技术在电力系统中的应用研究

文 ◆ 重庆潼南航运电力开发有限公司 马 洪

引言

随着电力系统向智能化、自动化和网络化转型，运动控制技术得到了广泛应用。电力系统包括发电厂、变电站、输电线路以及配电网等众多设备，分布范围广且环境条件差异大，传统的人工巡检和现场操作方式效率低下、成本高昂。运动控制技术通过建立先进的通信网络和自动化控制系统，实现对电力设备的实时监测、远程控制和智能管理，弥补了人工操作的不足。有助于提高电力系统的可靠性和运行效率，降低人力和物力成本，优化电网运行，提高供电质量和安全性能。基于此，本文阐述运动控制技术的集成性和可控制性特点，探讨其在电力系统中的应用，并展望其在云管理和智能化远程管理领域的前景。

1 电力系统概述

电力系统起源于20世纪中叶，旨在控制电网运行。当时主要控制目标是实时监测设备运行状态，确保系统的安全稳定运行。随着时代发展，电网规模不断扩大，用电需求与日俱增，人们对供电的可靠性和安全性要求也越来越高。一旦电力系统发生

故障，就会导致大面积停电，给生产生活带来严重影响。因此，电力企业须加强对电网的控制和管理。

现代电力系统不仅需要保证供电质量，还要追求经济效益最大化。通过信息采集与指令控制系统，实时获取电网各环节的运行数据，并对电网设备进行遥控遥测，实现对整个电网的高效集中控制与管理。

2 运动控制技术概述

运动控制技术是指通过先进的通信网络和自动化控制系统，实现对远距离目标设备的监视、操作和管理。其核心是实现到现场设备的实时监测和远程控制，被广泛用于电力系统中。运动控制系统一般由遥控终端、通信网络、主站监控等部分组成^[1]。遥控终端安装在现场，负责采集设备的运行数据并上传至主站，也可接收主站下发的控制指令，对现场设备进行远程操作调节。通信网络负责遥控数据的传输，常用的有专用通信线路、无线通信网络等。主站一般为调度控制中心，集中显示和处理现场数据，发出控制指令。

这种集中监控和统一调度模式，大幅提高了电网的控制精度和运行可靠性。但运动控制系统也面临通信距离、干扰等挑战，需要采用可靠的数据传输机制和抗干扰能力强的设计方案，以确保控制指令及时准确地传递，从而更好地保障电网的安全稳定运行。

3 运动控制技术的特点

3.1 集成性

运动控制技术的集成性是基于信息化技术的发展得以充分体现，目前广泛应用于生产和生活的各个领域。以电气工程为例，工作内容错综复杂，需要应用运动控制技术简化流程，提高生产质量和效率，避免手动操作带来的问题和事故。运动控制的集成性主要体现在通过数据存储和处理，对来自电气设备和通用设备的传输信号进行合理调整、转换和集成，实现对多种设备的综合控制和反馈。这种跨设备、跨系统的集成控制，正是运动控制技术集成性的核心所在。

3.2 可控制性

近些年，伴随中国经济持续腾飞和科技飞速进步，运动控制技术的

【作者简介】马洪（1986—），男，重庆人，本科，电气工程运行管理中级工程师，研究方向：电气运行检修管理。

整体应用水平也不断提升。该技术在电力、石化、冶金、航空航天等诸多领域广泛应用并不断发展，相关行业对其依赖程度日渐加深，对专业技术人才的需求也与日俱增，加强人才队伍和技术管理建设已成当务之急。利用远动控制技术卓越的可控制性优势，可以有力保证电力工程项目的安全可靠运行，从而促进我国电力事业高质量发展。作为人口大国，我国不仅人口众多，工农业生产等产业门类也非常繁杂。采用该技术，可高效处理海量复杂信息，构建具备远程控制功能的智能化系统。

4 远动控制在电力系统中的应用

4.1 通信传输技术

通信传输技术在远动控制系统中担负着实现信息高效传递的重要职责。根据不同的传输途径，信息可以划分为多种类别进行传输。在应用通信传输技术时，由于传输媒体对频率范围存在一定限制，因此需要借助电子调制技术对传输频率实施调制处理，确保信息在规定频率范围内快速高效传输。然而，电子传输的信息容易受噪声、阻抗等多种因素的干扰影响，为此必须运用信道编码技术对待传输信息实施编码与解码处理，从而提高抗干扰能力。

远动控制系统的通信传输设备主要为调制解调器。系统利用自身网络资源和运行模式实现电信号传输。当前，电力自动化系统信息传输主要依赖高频线路和光纤通信两种方式。不同规格线路作为传输数据信号的媒介，技术人员使用调制解调器将线路载波频率信号转换为模拟信号，通过特定电路的电流或电压形式传输。例如，电力线载波通信载波频率 30500KHz，采用 OFDM/CDMA 调制，传输率可达数百 kbps。微波传输使用 240GHz 频段，QPSK/16QAM 调制，16QAM 在 7GHz 下最高 155Mbps。接收端接收器使用调制解调器将模拟信号转换为数字信号，完成数据传输过程。

4.2 信道编码技术

信道编码技术是电力远动控制系统实现高保真信息传递的重中之重。在遥测遥控过程中，现场采集的数据和控制指令需要经由光缆、电线等物理媒体进行传输，易受外界噪声、信号衰减等各种因素的影响，导致信息失真甚至丢失，进而影响系统运行的精确性和可靠性。为此，电力远动控制系统必须合理运用先进的信道编码技术，通过有效的编码和解码手段，提高信息传输的抗干扰能力，规避数据泄漏风险，确保现场采集数据和控制指令在传输过程中保持原真性和完整性，从根本上保障整个远动控制系统的高效运转。

目前，电力自动化系统通常采用线性分组码进行信道编码。线性分组码将 k 个信源码元（比特）映射为 n 个码元（ $n > k$ ），增加了（ $n - k$ ）个校验位，具有良好的随机差错和连片差错检测纠正能力。常用线性分组码有循环冗余码（CRC）、BCH 码和 Reed-Solomon(RS) 码等^[2]。

以 CRC 码为例，对于给定的 k 比特信息码元，产生 r 个校验位的步骤如下。

- (1) 构造待编码序列长度为“ $k+r$ ”比特，高 r 位填充 0。
- (2) 使用模 2 除法，将该“ $k+r$ ”比特除以长度为“ $r+1$ ”的生成多

项式 $G(x)$ 。

(3) 将余数作为 r 个校验位附加在 k 比特信息码元后。

如生成多项式 $G(x)=x^4+x^3+1$ ， $k=8$ ，则 CRC-8 码的校验位可表示为

$$r(x)=x^8+x^5+x^4+1 \bmod G(x)=x^3+x^2+x+1$$

在编码过程中，发送端先生成 CRC 校验码，将其附加在信息数据后发送。接收端根据接收到的编码序列重新计算 CRC 校验码，与接收校验码比对，从而实现差错检测。

4.3 数据采集技术

电力系统的信息采集是远动控制的基础环节，主要依托变送器和 A/D 技术实现。变送器负责将现场的物理量转换为标准的电信号，如 5V 左右的电压，并以 TTL 电平为载体。但由于电力系统功率较大，无法直接接入，需要通过遥控终端（RTU）装置进行信号隔离和处理，将各类模拟量和开关量数据转换为 TTL 格式的数字量信号^[3]。A/D 技术则将模拟量信号数字化，是实现遥测和遥信的关键。常用的 A/D 转换器有逐次逼近型、 $\Sigma-\Delta$ 型和并行式逼近型等类型。例如，对于 12 位逐次逼近 A/D，它将模拟输入量分为 $2^{12}=4096$ 个等级，转换时间为 12 个时钟周期。转换步骤为“初始化寄存器为中值—与模拟输入比较—根据结果修改寄存器值—依次逼近真实值”。

通信信息主要用于监测开关状态等开关量数据，传输过程如下。先通过光电隔离电路获取开关量状态的二进制值，然后经数字量输入模块汇总编码，再通过数字开关量模块分配至不同端口，最终由 CPU 进行整体汇总处

理。遥测主要是监测模拟量如电压、电流等连续量数据，数据流经变送器后，先由 A/D 模块对模拟量进行周期性采样、量化编码，产生数字量数据，然后通过通信模块发送至控制中心。例如，对于 12 位 AD 转换器，采样频率 10KHz，可获得 10000 个点对应的数字量数据，精度为 $\pm 0.025\%FSR$ 。通过精密的变送器、A/D 装置和高效可靠的通信网络，实现电力系统中海量模拟量和开关量数据的实时在线采集，为远动控制奠定坚实的数据基础。

4.4 传递规约与数据封装技术

为确保数据传递的准确性和有效性，必须制定统一的传递规约。通过完善的传递规约，可以使电力系统内的调度机构、变电站和电厂之间实现数据的无缝交互，提高数据传输质量。当前，我国电网监控网络普遍采用循环数据传输规约，并按照帧结构方式进行数据封装和传输。其中，主要的遥测数据封装在 A 帧；次要遥测数据和一般遥测数据则分别封装在 B 帧和 C 帧；遥信的开关状态数据封装在 D1 帧；电能脉冲计数据封装在 D2 帧。通过这种帧格式的数据封装方式，各类状态数据可根据网络传输规约实现高效传输，信道解码、译码等处理也可以顺利进行，实现对电力系统全面状态的实时监测^[4]。

4.5 仿真规划技术

仿真规划技术在远动控制系统中扮演着重要角色，它能模拟主站控制系统与远动终端设备之间的通信联系，为系统集成测试和运维管理提供支撑。通常把主站的 IP 地址设定为 IEC 104 主站软件平台的计算机 IP，如 192.168.1.100；把从站 IP 地址设

定为现场变电所或工厂站的 IP，如 10.1.2.102。

在建立好主从站通信接口后，可获得 TCP 网络连接，主站能收到远端设备上传的报文。以 IEC 104 协议为例，数据传输采用双向平衡传输模式，发送序列为“主站召唤（召唤质量描述字 QCC=20）→从站响应（确认传输原因 CTR=10）→传输用户数据”。每一报文帧均有防止伪帧的校验位，校验位计算公式为

$$CHECK = (START_CHAR \cdot LEN \cdot LEN \cdot \dots \cdot DATA) \& 0x3F$$

其中“START_CHAR”为报头（0x68），“LEN”为用户数据长度，“DATA”为用户数据区。

主站可通过 IEC 104 协议文件发送流程完成与远端的数据交互。首先，发出连接请求帧，建立 TCP 连接。其次，发出总召唤帧，获取远端全部监控点值。再次，通过周期数据传输，更新监控数据。最后，发出测试命令，检测通信可靠性。

在虚拟化主站中，操作员能查看网络报文传递情况，执行链路开闭、对比点值等测试任务，为远动控制系统的部署调试和故障诊断提供辅助手段。例如，测试发现某监控点值异常，快速定位为该点 IEC 地址映射错误等。

5 远动控制技术的扩展应用

随着云计算、大数据、人工智能等技术的发展，远动控制技术正积极向云管理和智能化远程管理拓展。在云管理方面，电力系统采用云平台实现统一监控和协调控制提高电网的资源利用效率。同时，云平台具备良好的扩展性和容错性，能动态分配计算和存储资源，提升系统的可用性。在智能化远程管理方面，远动控制技术正融合人工智能等尖端技术，实现自动化、智能化的高级管控。如预测潜在风险、智能诊断故障等，提高应急响应的及时性和科学性。

结语

远动控制技术通过先进的通信、信息处理等手段，实现了对电力系统的高效监控和精准控制，是确保电网安全经济运行的关键支撑。未来，远动控制技术必将向云管理、智能化方向发展，融合云计算、人工智能等新技术，实现跨区域智能调度和自动化运维，全面提升电网的智能化和现代化水平，为电力事业高质量发展贡献力量。

引用

- [1] 刘国庆. 自适应控制技术在电力系统中的应用研究[J]. 冶金管理, 2023(19): 32-33.
- [2] 陆睿智. 电力自动化系统中的远动控制技术应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40(10): 232-233.
- [3] 刘高吉. 智能控制技术在电力系统中的应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40(8): 416-417.
- [4] 李兵兵. 电力系统自动化中远动控制技术的应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(1): 225-228.