

基于数字孪生的变电站运行数据交互与协同管控研究

雒毅

国网甘肃省电力公司国网陇南供电公司, 甘肃陇南, 742200;

摘要: 变电站属于电力系统的核心枢纽体系, 其运行状态会直接左右电网的安全性, 稳定性以及供电可靠性, 在当下变电站数字化运行过程中, 仍然存在诸如数据交互不畅, 协同管控滞后, 信息孤岛突出之类的常见运行问题, 这些问题极大危及电网的稳定安全, 本文依照变电站数字孪生系统的运行特性, 全面论述数据采集交互, 状态感知研判, 协同智能管控这三类核心环节所持有的常见运行问题, 并且剖析问题产生的原因, 从而明确各个阶段管控优化的重点之处, 进而给提升变电站数字孪生应用水平, 加强运行协同管控供应一些参考。

关键词: 数字孪生; 变电站; 运行数据; 数据交互; 协同管控

DOI: 10.69979/3060-8767.26.05.008

引言

变电站是电力系统的核心节点, 要承担电能转换、传输与分配所有功能, 运行状态好坏关乎民众用电安全以及电网公共安全, 如今电力行业极速发展, 智能变电站和数字化电网变得越发常见, 所以对变电站运行数据交互与协同管控的要求也就越来越高。但是在实际运行的时候, 由于数据标准, 系统接口, 平台集成度以及运维水平等诸多因素的影响, 变电站数字孪生应用仍然存在不少运行隐患, 比如数据延迟失真, 交互链路中断, 协同指令失效之类的问题, 要是不能及时加以控制, 就很有可能引发电网安全事故, 带来很严重的后果, 数据交互与协同管控对于保证变电站数字孪生稳定运行十分关键, 只有准确找出运行问题, 清楚管控重点, 并加强过程控制, 才能够有效地防止运行隐患出现, 使得数字孪生系统运行达到设计和规范所要求的标准。所以, 深入剖析变电站数字孪生运行数据交互与协同管控常见问题及其产生原因, 理清优化管控的重点, 这对改善电力系统的整体数字化水平有着非常重要的实际意义。

1 变电站数字孪生运行的核心特性与管控原则

1.1 数字孪生系统的核心运行特性

变电站数字孪生系统的运行特征会直接左右其管控能力与安全性能, 主要可总结为三个方面, 第一是实时性, 数字孪生作为变电站运行的核心映射载体, 要具有足够的数据采集速度, 传输效率以及响应能力, 可以实时反映设备状态、电网潮流、环境参数等各种运行信息, 在规定的响应周期内不会出现延迟、失真之类的问题, 这便是数字孪生系统最为关键的运行标准。第二是

一致性, 数字孪生系统要在物理实体和虚拟模型长时间的交互之下, 维持数据状态的同步, 抵御数据偏差、模型失配、指令延迟等现象的影响, 达到变电站全生命周期稳定映射的要求, 从而削减后期运维调试的费用。第三是协同性, 数字孪生系统的数据交互、指令传递、状态联动等都要合乎设计规范, 给后面的设备调控、故障处置、智能运维创建良好的根基, 保证电网调度与设备控制功能得以正常发挥, 满足电力运行与使用者的实际需求。

1.2 数字孪生运行管控的核心原则

变电站数字孪生运行管控要按照科学, 严谨, 全面的原则来执行, 这样才能保证管控工作既精准又有效, 从而保障电网的稳定和安全。其一, 实时同步原则表明, 运行管控应覆盖数字孪生全生命周期的整个阶段, 包含数据采集、传输交互直至模型映射等环节, 事先察觉可能存在的数据风险, 并采取相应的防范手段, 把运行隐患扼杀于初始阶段, 免除因后续修正而产生的额外费用及安全隐患。其二, 精准管控原则指出, 由于数字孪生系统各个模块, 各数据环节具有不同的运行特性, 所以要关注关键接口、重点区域以及容易出现问题的地方, 制订出多种管控计划, 精确把握住数据交互的重点之处, 从而加强管控工作的指向性和实际效果。其三, 要形成起“问题识别 - 原因剖析 - 优化执行 - 验证闭环”这样的循环管控体系, 对于找到的运行问题务必紧密跟进其优化情况, 保证彻底完成整改并经由验证确认, 创建起完备的监督控制流程, 防止运行问题存留。

1.3 运行问题的主要成因分析

变电站数字孪生系统出现运行问题, 是由诸多因素

共同影响所致,大致可归结为三个方面。其一为数据因素,即数据采集质量存在瑕疵,这是造成运行问题的底层缘由,比如传感器、采集终端、通信接口等用于数据获取时,其精度未达到标准,又或者数据格式和传输协议与设计需求不符,平台接入标准过低等情况,这些都会致使数字孪生系统数据质量下滑,进而产生各种运行瑕疵。其二为交互因素,数据交互链路缺乏规范性,接口对接失误也是引发运行问题的关键所在,譬如在数据传输过程中若协议不统一、交互机制未得到落实,采集点位偏移、传输时延超标、平台对接时数据校验不理想,交互方式出错等情形发生,就会引发系统性的运行问题。其三为管控因素,协同管控体系存有漏洞,运维监管不力同样是运行问题的主要诱发因素,运维单位若没有形成完备的协同管控体系,数据巡查只是走走过场;调度平台未能切实履行监督责任,不能及时察觉并纠正运行过程中的数据与协同问题。

2 变电站数字孪生运行数据交互与协同管控常见问题分类解析

2.1 数据采集与传输常见问题

数据采集传输属于变电站数字孪生运行的基础环节,它存在的常见问题涵盖精度、实时性及稳定性这三个方面。其一,采集精度与实时性存在短缺状况,即数据采集精度未能达成设计标准,这大多是因为采集点位布设出现错误,信号干扰严重,传输时候链路不稳定或者校验措施不到位所造成的,这种情况会削减系统的感知能力,危及到运行的安全性;其二,数据如果缺少足够的传输稳定性,就极易出现延迟、丢包、中断之类的瑕疵,不但影响实时映射,而且会造成系统研判性能变差,使得协同管控容易遭受干扰而失效。其三,失真与噪声问题:数据失真属于最普遍的运行通病,大致包含采集噪声、传输畸变以及模型偏差,采集噪声往往由于传感器安装不合理,外界干扰迅速增强而引起;传输畸变产生于数据交互之后,其前端与后端数据差异较大,从而产生状态误差。

2.2 数据交互与集成常见问题

数据交互集成属于数字孪生系统的关键衔接环节,其质量状况会直接左右变电站协同管控能力,常见的问题大概包含三个方面。首先,接口对接和协议适配存在问题,比如接口协议、数据格式以及交互规则均未按照设计要求来执行,如果协议版本偏小,适配能力短缺或者兼容性较差,就会减小系统的数据交互、跨平台联动

能力。其次,数据交互出现偏差,共享机制缺失,贯通性不足,这会影响到数据的有效传递,损害到系统的整体性。再次,数据交互的时效性要么不够,要么超出标准范围,交互时延过高时,数据极易失真,而交互频次过低,则会使系统的有效数据量缩减,从而影响到管控精度。数据集成存在质量问题,若数据整合方式违反了相关规范,譬如多源数据未对齐,融合算法精度不够,那么集成结果的准确性就会小于实际运行状态,进而成为系统管控的薄弱之处。交互集成的位置如果布置不合理,往往集中于系统运行最关键的地方,这样就容易造成指令阻塞,使得系统出现管控失效。

2.3 协同管控常见问题

协同管控常被用在数字孪生变电站的整体运行当中,其常见的运行问题大多集中在指令联动和状态一致性这两方面。协同指令存在质量问题:指令执行等级没有达到设计标准,主要是由于管控逻辑不合理以及算法不准造成的,这会影响到协同管控的有效性和响应能力;指令执行率不够,特别是关键指令执行偏差大,会造成系统之间的联动性差,容易产生延迟和失效,从而影响到整体运行的稳定性。协同机制及流程存在问题:协同管控方式有误,存在断链、假动作或者失效等情况,这些都会破坏系统的协同性,使得平台的联动性能和稳定性下降;而且,智能研判、闭环控制之类的协同管控措施并未按照设计要求来实施,比如研判模型不规范,指令下发不够精准,联动机制偏小等等,这样就会减小数字孪生系统的管控能力,在遭受故障扰动的时候极易发生失控现象。

3 基于数字孪生的变电站运行数据交互与协同管控优化要点

3.1 运行前期建设优化要点

运行前期处于数字孪生系统质量控制的关键阶段,优化工作要重视源头把关,给后续稳定运行形成基础。数据终端与设备质量监督方面,要仔细核对采集设备的质量证明文件,合格证,检测报告等等,保证设备规格,性能符合设计要求,对于传感器、采集终端、通信设备、接口模块这些重要设备,实施见证取样送检,检测合格之后才能使用,还要督促建设单位创建设备进场验收台账,执行溯源管理,防止不合格设备进入施工现场。建设方案和技术交底监督方面,要审查建设单位制定的数字孪生系统建设方案,重点关注关键环节、关键部位的建设工艺,质量控制措施是否符合规范和设计要求,也

要监督建设单位开展技术交底工作,让施工人员了解施工工艺,数据标准以及操作要点,特别是数据采集、接口对接、平台部署等关键工序的技术交底要传达给每个操作人员。施工设备及人员的监督方面,要检查施工单位所用的采集调试设备、通信检测设备、平台配置设备是否完好无损,计量设备是否已校准,以确保设备性能符合施工需求,还要查看施工人员的资质证书,特别是像调试工、平台运维工这样的特种作业人员,必须持有相应证件才能上岗,并且要监督施工单位展开质量安全教育培训活动,从而加强施工人员的质量意识及其操作技能。

3.2 运行过程管控优化要点

运行过程对于数字孪生系统质量的形成十分关键,管控工作要着重关注关键工序和关键部位,并加强过程控制。数据采集与传输管控方面,数据交互前,要监督核查采集设备安装是否牢固,点位位置,传输参数等是否符合设计要求;还要核查数据交互协议是否经由测试确定,传输过程是否严格按照标准执行;交互过程中,要监督数据传输是否稳定,指令下发是否规范,防止出现漏传、误传等情况;传输完成后,要监督运维单位按照规范要求开展校验,保证校验时间和校验方式符合标准,以免数据产生失真。数据交互与集成管控方面,在接口对接阶段,要监督核查协议的规格,格式,兼容性是否符合设计要求,集成质量是否达标;在数据交互阶段,重点在于监督数据的时延、丢包率、传输精度、交互稳定性、联动效率等是否符合规范,数据对接是否牢固;在平台集成阶段,要监督核查集成方式,融合逻辑,运行质量是否符合要求,对于多源数据、跨平台集成实施见证取样送检,以保证集成质量合格。

3.3 系统验收管控优化要点

系统验收是数字孪生运行质量控制的最后一道防线,管控工作要严格按照规范标准来执行,保证验收质量。分项工程验收监督:数字孪生系统各个分项工程,比如采集工程、传输工程、集成工程做完以后,要监督施工单位实施自检,自检合格之后再报送监理单位去做验收;还要监督监理单位依照规范标准来进行验收,重点关注分项工程的质量控制资料以及实体质量是否达

标,只有验收合格之后才能够进入到下一道工序的施工当中。隐蔽工程验收监督:对于像采集点位布设、接口安装调试这样的隐蔽工程,要监督施工单位事先告知监理单位来做验收,验收合格之后才能实施隐蔽;而且还要监督验收人员着重检查隐蔽工程的施工质量,譬如采集设备的规格,数量,安装精度,接口的位置,固定方法等等,保证隐蔽工程质量符合设计和规范的要求,并保留好验收记录以及相关影像资料。分部工程验收监督:当数字孪生分部工程完成之后,要督促施工单位整理并完善质量控制资料,其中包含设备检测报告,运行记录以及分项工程验收记录等。还要促使建设单位牵头由设计,施工,监理等单位展开分部工程验收,重点关注数字孪生系统的实体质量,观感质量及其质量控制资料,对于验收过程中出现的质量问题,要监督施工单位在指定时间内予以纠正,纠正完毕后再重新组织验收,从而保障数字孪生系统运行质量达标。

4 结语

变电站的数字孪生运行质量属于电网数字化质量的核心部分,关乎电力系统的安全性能及其稳定运行年限,数据采集、数据交互以及协同管控都是数字孪生系统的主要表现形式,出现运行问题的原因比较繁杂,要从设备、交互、管控等诸多方面实施综合性防范措施。运行管控对于保障数字孪生系统质量十分关键,应当按照“以防为主,精确管控,形成闭合回路运作”的原则。以后,电力技术持续发展,新型数字孪生形式和智能管控工艺会不断出现,运行管控工作要跟上脚步,更新管控方法,改良管控的准确性,保障变电站数字孪生的运行安全,助力电力行业达成高质量发展。

参考文献

- [1]沈超,陈兴东,史清璞,等.数字孪生驱动的变电站智能巡检路径优化与设备健康评估方法[J].信息与电脑,2025,37(07):38-40.
- [2]王骏东,徐国栋,周游,等.基于数字孪生及北斗/UWB定位的变电站安全管控研究[J].电力安全技术,2025,27(02):53-57.
- [3]丁炀,赵敏,衡茜,等.基于数字孪生的变电站智能巡视系统研究[J].电力与能源,2024,45(06):675-678.