

浅谈基于数字孪生技术的变电站智能巡检方法

王 允 刘锦蕙 张文博 李 超 丁子郡

国网河南省电力公司超高压公司 河南 郑州 450016

【摘 要】：在数字孪生技术支撑下研发变电站智能巡视系统，是促进变电站巡视业务得以有效转型的重要途径。文章立足设计要求归纳设计要点，通过构建数字孪生智能模型、分析智能巡视规范、明确智能巡视优化算法、加强巡视路径优化等方法，为系统设计人员提供技术指引，使变电站运维人员在该系统助力下，减轻巡视工作量，提高变电站电力设备故障早期感知能力与风险管理水平。

【关键词】：数字孪生技术；变电站智能巡视；智能巡视周期；粒子群优化算法

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.024

前言

变电站日常巡视，以往多依靠人工巡视、手持红外测温等方式，虽然也能发现设备故障隐患，但人工负担繁重，若能积极应用数字孪生技术设计变电站智能巡视系统，有利于打造高效、可靠的巡视智能化系统，助力电力企业提高巡视效率，保障现场安全。

1 基于数字孪生技术的变电站智能巡视设计要求

数字孪生技术主要是以数字化手段进行现实映射的镜像技术，能实现数据的有效集成和物理环境的合理预测，故将其应用于变电站智能巡视系统设计环节具有现实意义。

(1)多层次展现场景：设计变电站智能巡视系统时，设计人员要保证该系统运行后，能对变电站内的电力设备进行分层管理，既要对照物理环境的坐标信息标注设备分布位置，又需对巡视作业环节显示的综合数据进行多层次展示，以便运维人员在该系统辅助下，能随时掌握设备时下运行状态及数据特征。

(2)多设备互联管理：该系统运行中，还需对断路器、变压器、配电柜等多种设备实施互联管理，并实现设备性能的数字化模拟。经由数字孪生技术的助力，能使变电站智能巡视作业中涉及的多种设备获得更直观的运行关联性，同时也能对特定设备的控制单元、保护单元等实施连接设计，以提高系统的可用性，保证变电站内运行的设备达到最佳展示状态与实用、易用效果。

(3)真实性显示规律：变电站智能巡视系统引进数字孪生技术后，需确保孪生模型如实显示巡视规律。例如以 1:1 三维建模方式构建变电站模型中，在巡视作业中应用智能机器人时，可以根据巡视任务和变电站布局结构，通过机器人模型回传现实中的对应电力设备的巡视影像、图片、数据等资料，打造自动巡视环境，从而缩减人工巡视和检验巡视数据成本，满足

高效巡视需求^[1]。

2 基于数字孪生技术的变电站智能巡视设计方法

2.1 构建数字孪生智能模型

针对变电站设计数字孪生智能巡视系统时，较为关键的是建立数字孪生电力设备、智能设备的模型，以实现物理环境与模型空间建立对应关系，指引运维人员随时从模型反馈信息中知晓电力设备及运行环境具体情况。通常建模时，应先行确定主要流程，即确立建模对象→建立电力设备组件→输入模型参数→判定冗余数据（有冗余则删除冗余点；无冗余则精简模型界面）→渲染处理→显示巡视影像。而后引入相关组件及软件，最常用的是 Unity3D 软件、SolidWorks 软件、有限元分析软件，保证在该模型中，通过对模型组件的调整，助力运维人员下达正确决策。建模时为防止巡视不到位问题，设计人员还需设置高精度模型，通过配备航拍器、高清专业相机等，对变电站内的巡视作业区域进行全覆盖影像采集，其航线重合度多高于 65%，飞行高度需在 30%变电站最高建筑高度以上，以便模型呈现的影像效果合乎现实。

2.2 分析智能巡视周期参数

待建立对应的模型后，设计人员需对智能巡视周期参数进行合理分析，使数字孪生系统在智能巡视作业中，能达到既定巡视标准。以人工巡视的频率为 2 次/周（正常巡视）、4 次/月（全面巡视）为基准，可保障电力设备运行稳定性，并注重巡视周期的达标率。具体可利用下列公式自动分析可靠度，从中可知：可靠度与巡视时间有负相关关系，故通过增强智能巡视可靠性，可提高巡视效率。特别是在一次设备巡视工作中，经由该系统对巡视周期的优化设置，可降低故障风险，提升巡视有效性。而后对照巡视周期要求设置标准值，优化巡视任务实践效果，便于设备故障出现的第一时间快速响应智能巡视指令，将所有设备故

障置于可控范围内。

$$K=\omega_1A+\omega_2(1-B)+\omega_3(1-C) \quad (1)$$

式(1)中K表示可靠度; ω_1 、 ω_2 、 ω_3 各表示可靠性指标对应权重;A、B、C分别表示变电站智能巡视作业中智能设备可用率、不可用率、失效率。

2.3 明确智能巡视优化算法

为提高变电站巡视智能设备服务水平,设计人员应当积极改进系统算法。此次研究提出以粒子群改进算法优化系统功能。此算法主要以粒子群中粒子变化过程得出最佳值,随即在迭代处理下,为巡视机器人、高清视频摄像头、红外热成像摄像头、无人机等,给予最优巡视路径和策略指导。该算法是以三维空间为主体,以粒子位置的转变为依据进行演变,具体计算方式如下:

$$V_s(e+1)=wV_s(e)+h1l1[p_s-Y_s(e)]+h2l2[pB-Y_s(e)] \quad (2)$$

式(2)中 $V_s(e+1)$ 表示粒子每次迭代后速度; $wV_s(e)$ 表示动量部分; e 表示迭代次数; w 表示惯性权重; $h1$ 、 $h2$ 表示加速因子; $l1$ 、 $l2$ 表示0到1范围内内部服从随机数; $h1l1[p_s-Y_s(e)]$ 、 $h2l2[pB-Y_s(e)]$ 分别表示粒子记忆行为刺激粒子后到达指定位置的认知部分及粒子与传导离子间相互作用的社会部分; pB 表示所有粒子经过最优位置; V_s 表示速度向量; p_s 表示移动过程最优位置。该算法相比传统算法具备简便优势,能对巡视周期等参数进行有效调整,提升智能巡视设备的工作效率,整体缩短巡视时长,而且可为电力设备(变压器、电压互感器、断路器)设置电子标签,继而在系统关联中及时查明巡视问题。即应用此算法运行数字孪生变电站智能巡视系统后,可从温度、缺陷等级、表计数据发展趋势等变化规律的迭代分析中,快速发现散热不佳、局部短路等运行故障,以达到电力设备针对性巡视效果。

2.4 加强巡视路径优化

除了确定最佳巡视路径外,还要尽量减少折返次数,因而应用数字孪生系统设计变电站智能巡视系统期间,要具备巡视路径优化智能检测功能。为避免影响巡视秩序,可选择非运行高峰期作为最佳优化检测时机,以提升巡视路径优化计划的可行性。另外,优

化检测中还需采用多样性模型坐标转换方式,多以比例、位移量、方向作为转换对象,致使模型内显现的虚拟空间,能随时对局部区域进行缩放处理^[2]。

为验证巡视路径的可靠性,可采取模拟仿真分析法开设对比实验,参考(图1)所示巡视任务路径规划标准,得出(表1)所示数据,确认本文提出的新巡视系统具备实用价值。

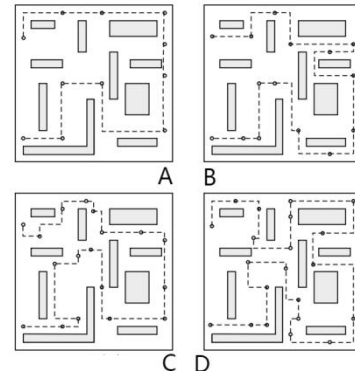


图1 不同巡视任务巡视路径设计结构图

表1 不同巡视方法下巡视作业仿真分析结果对比

巡视方法	巡视对象	A	B	C	D
人工巡视	巡视路径折返次数(次)	13	17	20	31
	路径优化调整次数(次)	2	3	4	6
无人机巡视	巡视路径折返次数(次)	10	16	18	26
	路径优化调整次数(次)	1	2	3	5
数字孪生变电站智能巡视	巡视路径折返次数(次)	6	15	17	22
	路径优化调整次数(次)	0	1	2	4

3 结论

综上所述,基于数字孪生技术优化设计变电站智能巡视系统,需遵循多层次展现场景、多设备互联管理、真实性显示规律等基本要求。对此,设计人员可从数字孪生智能模型、智能巡视周期参数、智能巡视优化算法及巡视路径检测等方面着手,确保运维人员在该系统辅助下,尽可能提高巡视效率,规避设备故障风险,为电力企业实现可持续发展创造有利的技术支持条件,满足转型需求。

参考文献:

- [1] 谢剑翔,张琦,吴嘉琪,等.基于数字孪生技术的智能变电站巡视方法[J].电气开关,2023,61(06):87-89+113.
- [2] 周达明.智能变电站继电保护数字孪生仿真推演与状态预测技术研究[D].华中科技大学,2022.