

基于数字孪生技术的变电站二次回路设计数字化研究

李元开¹ 王子怡²

(1 深圳供电局有限公司 广东深圳 518000 2 广铁集团有限公司 广东广州 510000)

摘要：新时期，在以新能源为主体的新型电力系统中，二次系统的重要性更加突出。相关系统在电力系统的安全稳定运行时，扮演着重要角色。但是，随着电网规模的扩大和智能化程度的提高，二次设备的类型和数量急剧增加，这使得运维工作复杂化。与此同时，运维人员的数量却没有相应增长，进一步加大了运维工作的压力和挑战。当前，二次系统的回路设计主要依赖静态图形，该设计方式难以适应电力系统的动态变化，传统分散运维模式面临效率低下和质量难以保障的问题。为了解决这些问题，提高运维质量和效率，数字孪生技术成为了一种重要的解决方案。基于此，文章对数字孪生技术的变电站二次回路设计数字化研究进行了分析，旨在通过分析，能够为相关技术的应用起到一定参考作用，

关键词：数字孪生技术；变电站；二次回路设计；数字化研究

引言

数字孪生技术通过创建电力系统及二次设备的虚拟模型，能够实时监控和分析系统状态。这些虚拟模型可反映实际系统的运行情况，并预测潜在的问题和风险。当前，数字孪生技术在二次运维中的应用具有的优势比较明显。通过积极引入数字孪生技术，能够显著提升电力系统二次运维的智能化水平，优化运维模式，加强电网及二次作业的风险管控，并且能够在新能源为主体的新型电力系统中，实现更高的安全性和稳定性。

1 变电站二次回路数字化设计

变电站二次回路的数字化设计是实现智能化电力系统的基础，其关键在于对现有电气二次设计对象进行全面的数字化建模。电气二次设计对象包括二次屏柜（如继电保护屏柜、开关柜、汇控柜、端子箱等）及其电缆连接关系。屏柜内部包含的设备包括继电保护装置、端子排、空气开关、转换开关等^[1]。

数字化设计的主要步骤和考虑因素如下：首先，应做好二次设备进行数字化建模。二次设备种类繁多，不同厂家所提供的屏柜及配套设备存在一定差异，所以在建模时，应统一标准，具体应重视对屏柜内部的设备进行详细建模，涵盖其功能、端口信息、物料分类等；其次，二次设计图纸是进行设备及连接关系建模的基础。设计图纸中的二次设备端口信息、物料分类、物理连接关系等信息，均需要以通用的文件格式导出。通过使用建模软件导入这些文件，即能够将图纸中的信息转化为

数字模型，实现对二次回路的数字化设计；另外，由于不同厂家提供的屏柜及设备规格不一致，因此进行设计时，需要统一设计标准，具体应统一设计格式、数据接口、文件导出格式等，以保证不同设备和系统之间的数据兼容性和一致性。建模时，软件的使用：使用先进的建模软件，可以将导出的图纸信息加载到软件中，自动生成二次回路的数字模型（图1）。该模型能够直观地展示设备及其连接关系，提高设计的准确性和效率。完成建模后，还应对数字化设计结果进行优化和校验。保证模型中所有设备和连接关系的准确性，以及与实际设备和系统的匹配程度。通过上述步骤，即能够实现二次回路的数字化设计，从而提升变电站设计和运维的效率。该数字化方法不仅能够减少了传统纸质图纸的使用，能够降低了人为错误的风险，还为后续的运维和管理提供了可靠的数据支持。

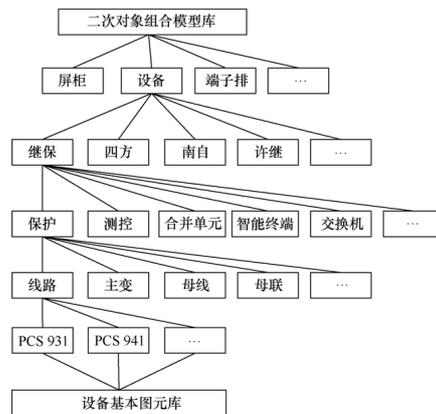


图1 二次回路的数字模型流程

某发明提供了一种变电站二次设备接线管理数字孪生系统，具体包括以下组件和步骤：首先，该装置安装在变电站主控室的二次屏柜或汇控柜的玻璃柜门正前方，负责对主控室二次屏柜或汇控柜中所有二次设备以及它们之间连接的二次电缆进行全方位的图像拍摄。这些图像提供了关于设备及电缆的详细视觉信息。且装置结合实际的主控室二次屏柜或汇控柜结构进行虚拟建模。根据广角摄像头拍摄到的二次设备和电缆的全方位图像，装置即能够仿真出包含所有二次设备及电缆的主控室二次屏柜或汇控柜的数字孪生模型，模型被存储在二次设备台账管理软件中，用于后续的管理和维护^[2]。且本发明有着一定的优势，其优势在于图像收集装置能够从多个角度拍摄设备和电缆，避免了由于收集图片角度不理想而造成的端子编号及端子内部接线无法确认的问题。通过生成的数字孪生模型，可以更为精准地记录和管理设备及接线信息，提高了台账收集的效率。虚拟建模与全方位图像结合，生成的数字孪生模型能够精确地反映实际设备的结构和连接情况，为运维和管理提供了可靠的数据支持。

在实施时，可先安装图像收集装置，使其可以对二次屏柜或汇控柜进行全面拍摄，并应用广角摄像头对图像进行采集，保证覆盖设备和电缆的所有细节。之后将拍摄到的图像输入台账管理装置，进行虚拟建模。生成的数字孪生模型与实际设备进行匹配，并存储在台账管理软件中。后期应定期更新数字孪生模型，保证其与实际设备状态的一致性。总的来说，该数字孪生系统在提高变电站二次设备接线管理的精确度的同时，优化了台账管理流程，减少了传统方法中的人工干预和误差，能够大大提高整体工作效率。

2 数字孪生二次系统建模

2.1 二次设备设计建模

二次设备建模是电力系统自动化中的一个重要方面，涉及到设备的功能和结构的数字表示。根据你的描述，二次设备的设计建模包含几个关键要素：板卡元素、板卡端口元素（图 2）和端口属性元素。通过将板卡及端口属性定义整合到二次设备设计模型文件（IDD）中，即

能够与屏柜进行关联。

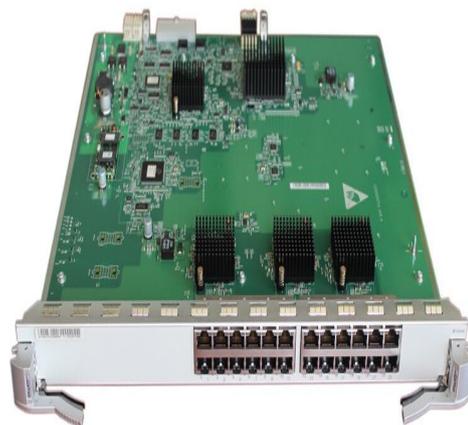


图 2 板卡端口

进行关联时，还应赋予设备名称、设备标识、设备型号和设备制造商等信息，以保证在变电站内的唯一性和识别性。不同厂家的二次设备可以按照这种建模方式形成包含装置属性的 IDD 模型文件。这一标准化的建模方法使得设备之间的兼容性和互操作性得到了保障，并且能够在系统中进行有效的管理和监控。总的来说，二次设备的设计建模通过清晰地定义板卡、端口及其属性，确保了设备的功能、连接和唯一性，即能够实现对电力系统自动化中的高效管理^[3]。

2.2 二次屏柜设计建模

二次屏柜的建模相比于二次设备更为复杂，由于屏柜内包含多种不同类型的元器件、二次设备和物理连接关系。元器件包括端子排、空气开关、转换开关、压板、复归按钮、打印机、继电器、防雷器等。对于二次设备，如果 IDD 模型文件已完成，可以直接调用，无需重复建模。

在进行元器件建模之前，需要对元器件进行功能分类。功能分类的目的是因为不同功能的元器件拥有不同的属性，统一属性定义无法全面描述每个物理元件的功能，从而影响数字孪生的准确性。

以端子排为例，根据二次回路功能，可以将端子排分为直流（DC）、开入（KI）、开出（KO）、电压（AV）、电流（AC）等属性。确定属性后，可以对每个端子进行

端口定义。其他元器件建模类似，不再详细说明。

物理连接关系建模需要体现线缆类型、起始点设备类型及端口、功能描述。通过定义具体属性的二次设备、元器件和物理连接关系，可以描述一个屏柜的完整信息，形成屏柜CDD模型文件。屏柜模型结合全站电缆连接表，可以生成描述全站二次回路物理配置和连接拓扑关系的SDD模型文件。

2.3 二次回路设计可视化

通过利用SDD文件，可以将屏柜内二次设备与元器件之间的物理连接，以及屏柜间的二次电缆物理连接，映射到实际的二次回路中。通过查询单一二次设备或屏柜间的二次电缆编号，并结合SDD文件中的逻辑关联关系，可以实现二次回路的全景可视化展示。

二次回路的可视化展示包括以下几个方面：

首先是屏柜间的连接：展示变电站内各小室的屏柜端子排电缆接线，以及屏柜内部二次设备与元器件的接线原理。信息按照“正向”信息流的方式展示跨设备间的连接信息，并直观地展示二次电缆编号^[4]。

屏柜内部接线能够显示屏柜内二次设备的板卡、端口接线，确保展示效果符合大众认知习惯，使得电气接线图更加易于理解。

光纤回路的可视化其基于SDD文件中的设备端口间光缆连接关系，展示光纤回路的连接情况，并查看端口的收发定义以及光缆连接功能。

相关可视化功能使得二次回路的设计与实际配置之间的关系更加明确和直观，有助于维护和管理。

3 数字化设计文件全生命周期管控

通过二次回路数字化设计移交管控平台，即能够实现数字化设计成果移交文件（SDD）的全生命周期管控。相关平台具体具备以下功能：首先是文件签入签出，其能够管理SDD文件的版本控制，记录每次文件的签入和签出操作，保证文件的完整性和可追溯性；然后是模型校验：对SDD文件中的模型进行验证，确保其准确性和符合设计标准。最后是在线可视化：提供SDD文件的在线可视化功能，使用户可以直观地查看和分析二次回路设计的详细信息^[5]。

结语

综上所述，通过应用数字孪生技术，对变电站的二次回路进行全域信息建模，即能够将逻辑形式的物理连接进行可视化展示。该方法能够有效解决变电站运维过程中对纸质蓝图和厂家白图的依赖，显著减少了手动查图的时间，并进一步提高了运维效率。数字化设计成果的移交文件，整合了全站二次设备及其物理连接的功能分类、端口属性、端子定义等多元化数据。这种整合不仅建立了二次系统模型与物理实体之间的逻辑对应关系，还统一了二次回路设计资料的存档格式。这一过程为数字电网建设提供了重要的支持，使得电网的管理和维护更加高效和智能化。总的来说，数字孪生技术的引入，提升了变电站二次系统的运维效率和质量，为未来数字电网的发展奠定了坚实的基础。通过技术的应用，运维人员能够更加便捷地获取和处理相关信息，从而更好地应对复杂电力系统中的各项挑战。

参考文献：

[1]郭江涛,王涛,贾俊强,等.基于数字孪生技术的变电站巡检路径冲突检测研究[J].电子设计工程,2024,32(09):101-104+109.

[2]谢剑翔,张琦,吴嘉琪,等.基于数字孪生技术的智能变电站巡检方法[J].电气开关,2023,61(06):87-89+113.

[3]张冀,马,张荣华,等.数字孪生变电站框架设计与关键技术研究[J].工程科学与技术,2023,55(06):15-30.

[4]王其文,汤吟露,冯小强.基于数字孪生技术的变电站二次回路设计数字化研究[J].中国信息化,2023(02):56-58.

[5]张哲,尹刚,陈维莉.基于数字孪生的二次回路接线校验技术研究[J].电力大数据,2023,26(09):67-78.

作者简介：

李元开（1995-）硕士，工程师，从事继电保护技术研究工作。

王子怡（1995-），本科，助理工程师，从事数字化建模工作