



## 基于数字孪生的变电站逻辑模型移交深化应用

陈晨 宋晓帆 董平先 白萍萍 李奇

### Deep Application of Substation Logic Model Handover Based on Digital Twin

CHEN Chen, SONG Xiaofan, DONG Pingxian, BAI Pingping, LI Qi

引用本文:

陈晨, 宋晓帆, 董平先, 等. 基于数字孪生的变电站逻辑模型移交深化应用[J]. 现代电力, 2023, 40(1): 108–116. DOI: 10.19725/j.cnki.1007-2322.2021.0234

CHEN Chen, SONG Xiaofan, DONG Pingxian, et al. Deep Application of Substation Logic Model Handover Based on Digital Twin[J]. *Modern Electric Power*, 2023, 40(1): 108–116. DOI: 10.19725/j.cnki.1007-2322.2021.0234

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007-2322.2021.0234>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 一种基于多元物理场耦合的变压器故障演化评估模型

A Transformer Fault Evolution Evaluation Model Based on Coupling of Polynary Physical Fields  
现代电力. 2022, 39(5): 605–614 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007-2322.2021.0205>

#### 计及控制功能失效的微电网信息物理系统可靠性评估

Reliability Evaluation of Microgrid Cyber Physical System Considering Control Function Failure  
现代电力. 2019, 36(2): 73–80 <http://xddl.ncepujournal.com/article/Y2019/I2/73>

#### 基于物理约束的风电场主动支撑策略研究

A Physical Constraint Based Active Support Strategy for Wind Farm  
现代电力. 2021, 38(5): 554–560 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007-2322.2020.0354>

#### 基于改进云模型和Eclat算法的输电线路极端灾害风险评估

Extreme Disaster Risk Assessment of Transmission Line Based on Improved Cloud Model and Eclat Algorithm  
现代电力. 2021, 38(5): 483–491 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007-2322.2020.0436>

#### 基于SAE-ELM的电动汽车充电站负荷预测模型

Model of Load Forecasting of Electric Vehicle Charging Station Based on SAE-ELM  
现代电力. 2019, 36(6): 9–15 <http://xddl.ncepujournal.com/article/Y2019/I6/9>

#### 基于深度学习的电网短期负荷预测方法研究

Research on Short-term Load Forecasting Method of Power Grid Based on Deep Learning  
现代电力. 2018, 35(2): 43–48 <http://xddl.ncepujournal.com/article/Y2018/I2/43>

# 基于数字孪生的变电站逻辑模型移交深化应用

陈晨<sup>1</sup>, 宋晓帆<sup>1</sup>, 董平先<sup>1</sup>, 白萍萍<sup>1</sup>, 李奇<sup>2</sup>

(1. 国网河南省电力公司经济技术研究院, 河南省郑州市 450000; 2. 重庆大学电气工程学院, 重庆市沙坪坝区 400044)

## Deep Application of Substation Logic Model Handover Based on Digital Twin

CHEN Chen<sup>1</sup>, SONG Xiaofan<sup>1</sup>, DONG Pingxian<sup>1</sup>, BAI Pingping<sup>1</sup>, LI Qi<sup>2</sup>

(1. Economic and Technological Research Institute of State Grid Henan Electric Power Company, Zhengzhou 450000, Henan Province, China; 2. School of Electrical Engineering, Chongqing University, Shapingba District, Chongqing 400044, China)

**摘要:** 为提升电网智能化、数字化水平, 针对变电站逻辑模型的建模、移交及展示 3 个方面提出一套完整的变电站数字化移交应用研究方案。首先研究了变电站逻辑模型建模总构架、数据库文件建模格式和数字化信息交互的方案, 通过将逻辑模型中的抽象概念与实体概念相结合, 设计出合理的数据结构, 实现逻辑模型的全数字化表达; 其次对移交格式、导入导出接口进行了详细的阐述, 开发了数字化全景逻辑模型信息展示平台, 将数字化逻辑模型信息与三维模型相关联, 并用于展示变电站相关数字化信息。所提数字化设计的逻辑模型移交研究是对变电站纯物理模型移交的一个补充, 为数字化电网发展提供基础。

**关键词:** 数字化移交; 逻辑模型; 数字化信息展示; 屏柜物理能力; 物理模型; 数据库建模; 三维

**Abstract:** To improve the intelligent and digital level of power grid, in allusion to the three aspects of modeling, handover and display of the logical model of substation, a complete set of application research scheme of substation digital handover was proposed. Firstly, the general framework of substation logical model modeling, the database file modeling format and the digital information interaction were researched, and by means of combining the abstract conception in the logical model with the entity concept a rational data structure was designed to realize the full digital expression of the logical model. Secondly, the handover format and import/export interface were expounded in detail, and a digital panoramic logic model information display platform was developed to associate the digital logical model information with the 3D model to dis-

**基金项目:** 国家自然科学基金重点项目(51637002); 国网河南省电力公司科技项目(5217L0210008)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China(51637002); Foundation of State Grid Henan Electric Power Company(5217L0210008).

play the digital information related to the substation. The proposed research on the handover of logical model of digital design is a supplement to the pure physical model handover of substation and provides the basis for the development of digital power grid.

**Keywords:** digital handover; logic modeling; digital information presentation; cabinet physical capability; physical model; database modelling; 3D

**DOI:** 10.19725/j.cnki.1007-2322.2021.0234

## 0 引言

目前, 变电站施工图设计, 尤其是涉及到逻辑接线的施工设计具有图纸量大、涉及设备多、接线复杂、虚回路数量大、涉及数据多等特点, 按传统图档移交方式向业主移交纸质图纸及电子版图纸存在查阅困难、易丢失、难查数据等问题, 不利于变电站施工人员作业, 同时无法满足目前变电站运维数字化的管理要求。基于此, 变电站设计正在逐步应用数字化设计软件和三维设计软件来辅助设计, 而数字化移交作为数字化技术应用的纽带和桥梁是必不可少的。

变电站数字化设计模型主要包括物理模型和逻辑模型, 目前变电站数字化移交及应用大多停留在物理模型阶段, 已具备开展物理模型和数字化移交能力<sup>[1-2]</sup>, 而变电站工程数字化设计中包含了大量的逻辑模型, 但受限于数字化设计整体市场不成熟等因素, 逻辑模型建设和移交尚未成型, 针对变电站逻辑模型建设的规定较少, 涉及到逻辑模型的相关软件往往只能针对一个领域完成部分设计功能, 各种数字化设计数据相互独立, 缺乏数字化设计数据共享机制, 不能充分相互利用

各专业数据。三维设计仅限于屏柜布置及简单的电缆敷设，二维设计数据与三维设计数据间并未关联。针对变电站逻辑模型接线的展示并能够指导施工及数字化移交运维的相关软件和系统较少。

数字化移交是国家电网布局电网工程三维数字化管控平台建设的重要组成部分，实现真正意义的工程数字化移交和管理，对于实现变电站的全寿命周期管理具有重要意义。近年来，国网公司对于电网工程三维数字化建设推进力度不断加强，先后多次发文对三维设计、数字化移交等作出要求，相关针对数字化移交方向的研究也有进展<sup>[3-6]</sup>。作为基建全过程综合数字化管理平台的重要组成部分，国网基建部去年组织完成了电网工程三维数字化管控平台建设，并在近期对省级基建全过程综合数字化管理平台建设提出了要求，以期建成总部-省公司业务管理顺畅、项目全过程管理高效、数字化技术应用领先的工作平台。目前国网公司及各省公司已具备物理模型建模和数字化移交能力，但逻辑模型的建设和移交尚未成型，亟需对逻辑模型相关建模、移交及深化应用进行研究和规范，从而支撑全过程变电站数字化设计，助推数字化应用技术领先的省级基建全过程综合数字化管理平台建设<sup>[7-18]</sup>。

本文构建了一套完整的针对变电站逻辑模型的建模、数字化移交、展示平台一系列应用技术，推进了数字化设计成果在工程建设各环节的研究应用。

## 1 变电站物理模型数字化移交

变电站数字化设计模型主要包括物理模型和逻辑模型，物理模型主要包含电气一次设备及材料、二次系统设备及装置（含辅控系统）、建（构）筑物、水工暖通系统及其他设施等；逻辑模型主要包含电气主接线、站用电等系统接线、二次原理接线等。目前，变电站物理模型数字化移交已经相对成熟，而且国网公司一级部署了电网工程三维数字化管控平台，主要移交的物理模型是以电网信息模型（grid information model, GIM）为标准格式的三维设计模型，如图 1 所示为变电站物理模型移交国网三维数字化管控平台的全景展示效果图。

构成变电站三维设计模型的层级结构按照 5



图 1 变电站物理模型移交国网数字化管控平台全景  
Fig. 1 The panorama of substation physical model handed over to digital control platform of State Grid

级进行层级划分，主要包括第 1 级的全站级、第 2 级的单元级、第 3 级的系统级、第 4 级的设备级以及第 5 级的部件级，由层层物理模型最终构建出定好轴网、统一坐标的变电站全站物理模型。

## 2 变电站逻辑模型数据库建模研究

为满足变电站电气系统整体数字化设计，建立变电站逻辑模型数据库思路是以变电站电气系统为整体对象，规定其数据架构，保证对象及其属性在变电站整体数据架构中的唯一性，以及变电站逻辑对象的完整性、可扩展性等特点，满足数字化设计的整体需要以及后期数据检索、数据管理、数据利用的项目全寿命周期应用需求。

建立变电站数字化逻辑模型，包含一次系统逻辑模型、二次设备接口模型、物理回路模型、虚回路模型等。通过工程编码和设备编码赋予全站设备唯一的模型 ID，同时将设备物理回路和虚回路组合成一个数字化逻辑模型通过模型 ID 进行关联，进而建立全站数字化逻辑模型信息库，此文件库描述了全站的逻辑信息，包括电气主接线、站用电系统、设备、接线、回路、电缆等信息。

### 2.1 变电站逻辑模型建模架构研究

为构建全变电站逻辑模型数据库，需要对变电站中所有逻辑模型进行统一建模、统一编码，统一建模架构。目前关于建模方面的研究也有很多，提出图模一体化的矢量图形法（scalable vector graphics, SVG）以及二次设备及屏柜的属性建模<sup>[19]</sup>、二次光缆和电缆回路的建模方法<sup>[20-21]</sup>，以及二次回路可视化设备模型库等<sup>[22]</sup>。

本次将变电站逻辑模型包含二次系统物理回路模型和虚回路（逻辑回路）模型进行总的架构建立，通过格式文件引用方式建立各层级之间关系，以对所有逻辑模型进行全口径建模，并且基于变电站设计需求，提出屏柜物理能力描述（cabinet

physical capability description, CPCD) 文件新概念。

逻辑模型的定义是指主要设备之间关联关系、功能关系、层级关系的图形符号集合。逻辑模型文件应采用 XML 语言编写, 文件名称应为“\*.sch”, 下面将各个模型描述文件的缩写代指各个模型。

逻辑模型总构架由 2 大部分构成: 物理回路模型和逻辑回路模型。分别由变电站物理配置描述 (substation physical configuration description, SPCD) 文件和变电站系统配置描述 (substation configuration description, SCD) 文件来表达, 以下 SPCD 即代指变电站物理回路模型, SCD 即代指变电站逻辑回路模型。其中 SPCD 由 CPCD 和单装置物理模型构成, 其中单装置物理模型由单装置物理回路描述 (individual physical capability description, IPCD) 文件表达。而 SCD 由一次拓扑模型和单装置能力描述模型构成, 分别由系统规范描述 (substation specification description, SSD) 文件和智能电子设备能力描述 (intelligent electronic device capability description, IEDCD) 文件来表达, 具体的组织结构如图 2 所示。

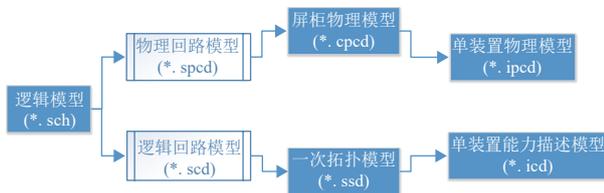


图 2 变电站逻辑模型总构架组织结构

Fig. 2 The overall structure of substation logical model

## 2.2 变电站逻辑模型建模格式研究

### 1) SPCD 文件格式。

从设计角度而言, 物理回路包含电缆回路、光缆回路、以及网线和双绞线等回路, 但是在 GB/T-37755—2019 标准规范中, 并未对电缆接线回路的逻辑建模方法进行阐述, 只是对光缆、网线以及双绞线等回路建模方法进行了详细的介绍。本次对全站物理回路配置文件不再创造新名词, 将继续沿用 SPCD 的术语定义, 并参照其建模方法, 完善和扩充电缆接线回路建模内容, 从而形成变电站真正意义上的全景逻辑模型文件。

SPCD 文件应该涵盖带有外部接线信息的 CPCD 文件里所有内容。除包含 CPCD 文件信息外, 文件还应该能描述: 电缆回路应包含的信息、

光缆回路应包含的信息、网线及屏蔽双绞线回路应包含的信息等, 其具体元素构成如表 1 所示。

表 1 SPCD 元素构成  
Table 1 Configuration of SPCD elements

元素名称	元素说明
Substation	变电站
Bay	间隔信息
Cubicle	屏柜信息
LogicPhysicalInterfaces	逻辑物理接口
Units	装置集合
Cable	线缆
Core	芯线

CPCD 文件一定是看得见、摸得着的东西, CPCD 信息应包含外部接口回路、屏内装置、端子排、光线配线架、空开、压板、按钮、把手等的数字化属性信息。除包含 IPCD 信息, 文件应该描述: 物理层级关系、逻辑物理接口信息、设备信息、智能设备、ODF、交换机、端子排、空开、按钮、转换开关、柜内端子和跳线接线信息等, 其元素构成如表 2 所示。

表 2 CPCD 元素构成  
Table 2 Configuration of CPCD elements

元素名称	元素说明
Substation	变电站
Bay	间隔信息
Cubicle	屏柜信息
LogicPhysicalInterfaces	逻辑物理接口
Units	装置集合
Port	端口信息
Intcore	屏柜内部接线

IPCD 文件主要包含单台装置的板卡、端口等物理能力描述信息。

### 2) SCD 文件格式。

SCD 主要描述基于电气接线图的连接拓扑关系以及一次设备和二次设备的关联关系 [23-25]。包含除了 SSD 文件外的一次设备和二次设备关联中实例化的内容, 并将实例化的逻辑节点关联到一次设备。

SSD 主要描述完整的变电站一次系统拓扑结构、一次设备模型信息、一次设备和二次设备关联信息及变电站各应用系统功能等。

单装置能力描述模型主要是设备厂商提供的单装置的描述文件，主要包含了装置内的回路信息量，如电压电流、测控信号、遥控信息等具体的回路信息。

### 2.3 变电站逻辑模型文件信息交互研究

SPCD 模型文件，包含电缆、光缆等所有物理回路接线信息。SPCD 文件和 SCD 文件中包含能够相互映射索引的装置标识符以及物理端口标识符，通过在 SCD 文件中检索逻辑回路、在 SPCD 文件中检索物理回路，获取逻辑回路与物理回路的虚实回路对应关系。虚实回路信息交互示例如图 3 所示。

## 3 数字化设计逻辑模型移交应用研究

变电站逻辑模型移交应用研究主要是提出变电站逻辑模型数字化移交的规范实施方案，制定数字化移交的接口、数据的构成和格式以及导入导出相关校验。设计单位可以应用数字化手段进行设计工作，在移交常规施工图的同时，一键生成变电站逻辑模型数字化移交文件包，该文件包描述了全站的逻辑模型信息，包括设备、接线、回路、电缆等。

### 3.1 逻辑模型文件导入导出接口研究

主要结合模型建模后的数据库的存储特性，对导入导出接口进行研究，包括导入导出数据库写入方法、文件解析方法、文件一致性检查和动态检验、以及模型文件各节点元素类的创建方法。

### 1) 存储引擎。

对变电站逻辑对象进行分析建模，建立了变电站实体-联系模型，并基于 SQL Server 数据库进行数据存储，将实体-联系模型转换为数据库的关系模型，实现了数据库设计；SQL Server 数据库是一个高速度、高性能、多线程，建立在客户端与服务器架构上的关系型数据库管理系统，同时其稳定性及天然适配开发的特性是作为本系统存储引擎选型的首选。

### 2) 导入数据库写入方法。

读取 CPCD 文件，在 SQLserver 数据库中形成一个 XML 节点信息数据；根据节点名称，循环 XML 节点信息数据，并将结果存储到相应建好的类里；根据 XML 节点属性名称判断，将节点属性的值存储到相应类的属性里；经上述流程后，形成一个完整的包含文件全部信息的 CPCD 类；循环 CPCD 类，根据类的类型判断类的数据应该存储到 SQLserver 数据库中哪个表里，并按照 XML 节点关系按层级关系进行管理绑定；当把 CPCD 文件存储到类里时，会循环 CPCD 的 XML 节点信息，此时可以对读取的节点属性值进行规范化检查和一致性检查；当设计人员使用软件调用 CPCD 文件数据库里存储的信息时，如果进行了修改和删除操作时会进行动态检查。

### 3) 导出数据库写入方法。

首先读取项目全部 CPCD 文件存储到数据库里的数据；再读取软件画好的电缆信息、光缆以及跳纤信息；按 CPCD 数据表和类的关联关系进

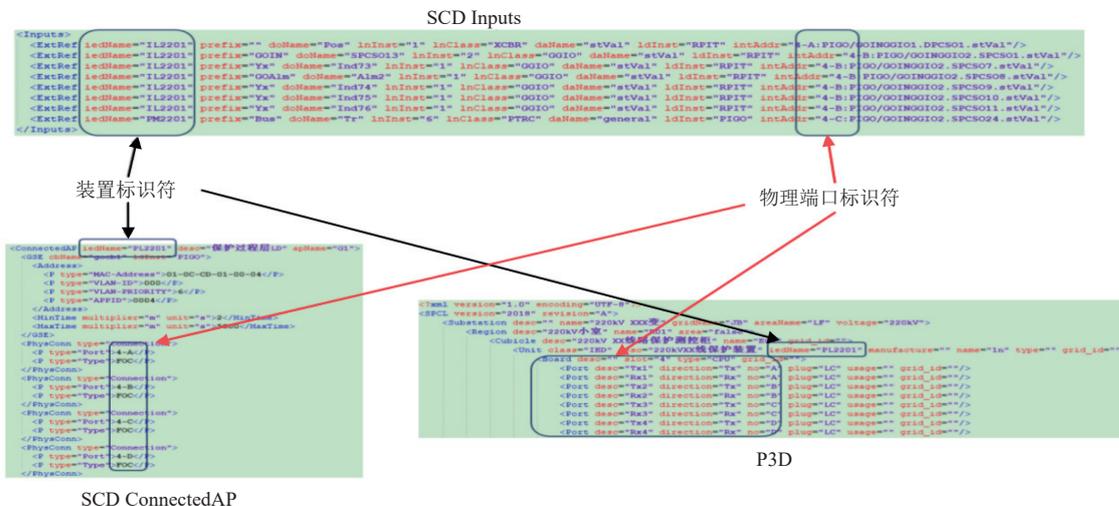


图 3 虚实回路信息交互示意

Fig. 3 Sketch map of virtual and real circuit information interaction

行转换，将数据库信息转换成类；根据数据库设置好的层级关系，把类进行组合形成完成的CPCD类信息；再将整个项目读取的CPCD类组合，形成一个含有整站屏柜厂家信息的SPCD的类；然后读取软件画好的电缆、光缆以及跳纤信息，转换成SPCD类里的外部接线信息类里；和之前做好的整站屏柜厂家信息的SPCD的类进行组合，最后形成一个完整的整站SPCD的类；然后把SPCD类根据层级关系转换成SPCD文件格式结构的XML节点信息；最后将XML节点信息存储为SPCD格式文件。

4) 节点属性数据实体类创建。

在逻辑模型导入导出的接口研究中，不管是导入接口还是导出接口均需要标准化读取XML节点信息数据，因此，逻辑模型数据库中的关键节点非常重要，关键的节点元素构成如表3所示。每个节点都代表其中一个属性，然后将XML语言的节点文件创建实体类，用于存放对应节点属性数据，实体类的表达示例如示例1所示。

示例1: LogicPhysicalInterfaces节点属性数据实体类的创建:

```
[XmlType(TypeName= "LogicPhysicalInterfaces")]
public class LogicPhysicalInterfaces
{
    private List<FunctionArea> _FunctionAreas =
new List<FunctionArea>();
    public List<FunctionArea> FunctionAreas
    {
        get { return _FunctionAreas; }
        set { _FunctionAreas = value; }
    }
}
```

3.2 逻辑模型文件包格式及构成

主要结合模型建模后的数据库的存储格式，逻辑模型文件包主要分为SPCD和SCD2个文件格式。

导出的SPCD模型文件按照表3的关键节点元素组成进行信息分配，其构成从大到小依次进行排列。其中CPCD模型文件应由设备厂家提供相关屏柜的模型文件，但各设备厂家建模深度不一致、标准不统一，需要通过CPCDMange.exe配置工具生成，这样可保证测数据统一性和完整性。

表3 数据库中关键的节点元素构成

Table 3 The constitution of key nodal elements in data base

节点名称	节点说明
Substation	变电站属性节点
Bay	间隔属性节点
Cubicle	屏柜属性节点
LogicPhysicalInterfaces	逻辑物理接口属性节点
FunctionArea	功能区域属性节点
FunctionGroup	功能分组属性节点
Channel	通道属性节点
Point	连接点属性节点
Units	物理设备属性节点
Unit	设备属性节点
Board	板卡属性节点
Port	端口属性节点
Intcore	内部接线属性节点
Cable	线缆属性节点
Core	线缆线芯属性节点

CPCDMange配置工具界面如图4所示。

CPCDMange配置工具支持添加单个屏柜、设备、板卡、端口、内部回路、跳线等信息，也支持通过Excel方式批量导入多个屏柜、设备、板卡、端口、内部回路、跳线等信息。通过CPCDMange配置工具生成屏柜CPCD文件后，即可开展CPCD文件导出SPCD文件的测试工作。

SCD模型文件包由各个设备ICD文件模型构成，通过使用反序列化将各厂家的ICD信息转换成对象储存配置，在配置平台上做逻辑回路连接，再通过序列化的手段将对象信息转存成SCD标准格式信息储存文件包。



图4 CPCDMange配置界面

Fig. 4 Configuration interface of CPCDMange

### 3.3 逻辑模型文件导入导出校验

逻辑模型文件在移交过程中需采用软件自动化方法进行校验，通过软件定义校验规则库的型式，可配置不同规则对模型进行校验，规则可支持扩展。变电站逻辑模型文件校验主要保护 4 个基本面的校验。

#### 1) 模型标准化校验。

主要针对逻辑模型本体部分的参数化校验规则，是基于各个已有标准和模型本身规则的检查，包括语法格式、数据类型模板一致性、数据类型模板重复定义、数据类型模板引用、数据集控制块配置的一致性、模板数据对象实例化配置、通信参数和命名一致性以及虚端子连线配置检查。

#### 2) 工程应用模型规范化校验。

工程应用模型规范化针对工程应用上的逻辑模型，包含应用类装置建模实例标准化检查、数据类型模板一致性检查以及工程配置规范化。主要对不同应用类装置的建模规范化要求对模型文件中的逻辑设备、逻辑节点实例进行标准化校验。不同应用类装置范围主要是线路保护、断路器保护、变压器保护、母线保护等保护类装置；开关在线状态监测、变压器在线状态监测、套管监测、避雷器在线监测等监测类装置；以及稳控装置、小电流接地选线装置、交直流一体化电源等状态类装置。

#### 3) 模型动态校验。

本校验内容主要通过 DL/T860 通信服务接口联机获取运行装置的动态模型和数据，将获取的动态模型和数据与离线的模型和数据进行比对，确保 2 者一致性。

#### 4) 同一工程不同类型模型文件的一致性检查。

本校验内容用于检查同一工程应用中的 ICD、SSD、SCD、CPCD、SPCD 等模型文件的模型配置信息是否满足相互之间的内容一致性要求，保证工程模型配置流程中各个环节模型文件的同源性。

## 4 数字化逻辑模型信息展示平台应用

构建基于全站三维模型的变电站逻辑模型可视化数据展示平台，如图 5 所示。平台具备基本全景数据检索、定位功能，可根据实际需求进行功能扩展。展示平台基本界面包括：数据目录树、基于全景或屏柜的可视化拓扑图、搜索条件输入

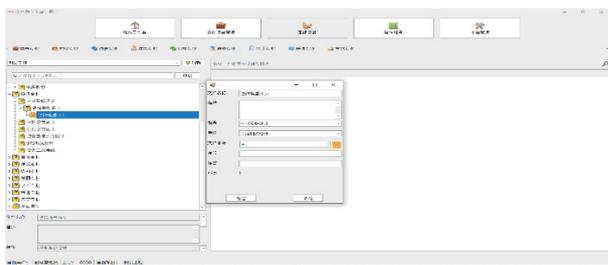


图 5 变电站逻辑模型信息展示平台界面

Fig. 5 The information display platform interface of substation logic model

框、输出搜索成果的按钮等。平台通过解析工程数据库，可同步查询设备信息、回路、原理、电缆信息、虚回路信息等。对于管理方可通过数字化移交形式有效管理电网工程的数字化设计成果资料，更好地服务于工程评审、基建施工、生产管控。

数字化逻辑模型信息展示平台中以三维模型为主体展示，通过读取已经建好的 Revit 三维变电站模型和变电站逻辑模型移交数据库，然后再进行三维模型与二维数字化信息（即变电站逻辑模型文件包）的关联技术，进行数字化逻辑模型的展示。

数字化逻辑模型展示平台主要基于电气二次设计平台，研究二维接线设计与三维数据关联技术，通过关联三维屏柜模型与二次设备库、三维装置模型与装置库、三维电缆线和二次线缆数据库等实现二维设计数据与三维模型数据关联，进而实现二次逻辑接线信息数字化展示。

## 5 工程实践

商丘文明（怡德）220kV 变电站是全施工三维数字化设计的智能变电站，选取该变电站工程数字化移交作为逻辑模型移交应用的试点。

将变电站数字化设计的逻辑模型进行全站建模，将 Autocad 二维数字化图纸以及虚端子回路信息逻辑生成 SPCD 和 SCD 数据库文件包，每个数据信息存储均由各个节点信息来构成，如图 6 所示。

将涉及逻辑模型移交的一次设备、电缆沟道、主控楼建筑以及室内屏柜的三维 Revit 模型导入至数字化逻辑模型信息展示平台中，准备进行逻辑模型全景展示，如图 7 所示。

导入 SPCD 和 SCD 数据文件包，且需要对数

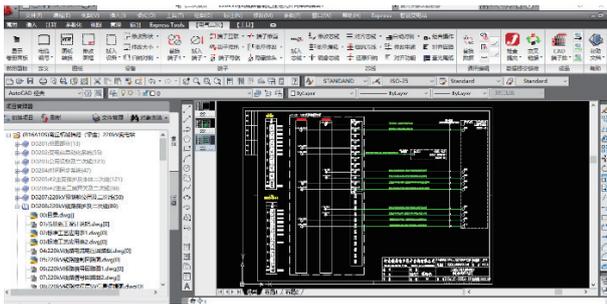


图6 变电站数字化设计图纸

Fig. 6 The digital design drawing of substation

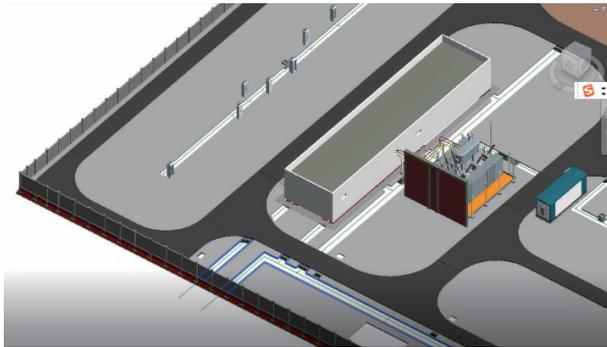


图7 变电站三维模型导入展示

Fig. 7 Display of importing 3D substation model

数据库文件进行一致性、规范性检查和动态校验,包括访问模型解析模块、SPCD和SCD解析模块和一致性校验模块,其中访问模型解析模块解析的是文件中屏柜总数量、各屏柜的回路、装置、内部配线、外部配线等下属各级结构;一致性校验模块根据访问模型解析模块、SPCD解析模块的信息对访问模型与SPCD之间的信号一致性和结构一致性分别进行校验。再进行三维模型与二维数字化逻辑模型的关联,进行数字化逻辑模型的展示,如图8所示。

## 6 结论

本文提出的数字化移交方案可以有效地解决变电站繁琐、复杂的电气逻辑信息混乱无序的问题,实现全站逻辑模型的标准化规范和统一,同时可用作规范设计单位数字化移交变电站逻辑模型的技术参考。

数字化移交是数字化转型中必不可少的一环,下一步,可通过分析这些数字化移交的逻辑模型数据,深入探寻统计信息,对现有数字化设计成果数据进行新的应用,丰富趋势分析、回归、关联等众多高级功能,为数字孪生的应用提

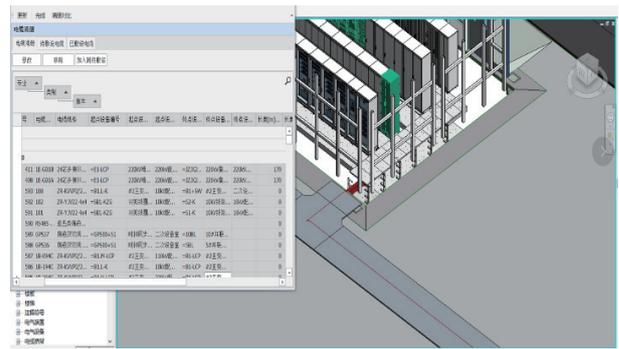


图8 变电站逻辑模型信息数字化展示

Fig. 8 Digital display of substation logic model information

供数据基础。

## 参考文献

- [1] 董跃周,王秀芳,彭玉培,等. 电网工程三维数字化移交数据生产关键技术流程研究[J]. 科学技术创新, 2020(26): 1-4.  
DONG Yuezhou, WANG Xiufang, PENG Yupei, *et al.* Research on key technology process of 3D digital transfer's data production in power grid project[J]. *Scientific and Technological Innovation*, 2020(26): 1-4(in Chinese).
- [2] 文江海,尚福瑞. 基于电网资产统一身份编码的基建数字化移交信息管理平台建设及应用[J]. 电力设备管理, 2021(01): 153-154.  
WEN Jianghai, SHANG Furui. Construction and application of infrastructure digital handover information management platform based on unified identity coding of power grid assets[J]. *Electric Power Equipment Management*, 2021(01): 153-154(in Chinese).
- [3] 黄勇,杨党锋,苏锋,等. 基于BIM的水电工程全生命周期数字化移交应用研究[J]. 中国农村水利水电, 2020(11): 182-187.  
HUANG Yong, YANG Dangfeng, SU Feng, *et al.* The application of digital delivery in hydropower project life cycle management based on BIM[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2020(11): 182-187(in Chinese).
- [4] 杨伟伟. “华龙一号”核电厂工程数据数字化移交研究[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(36): 14935-14943.  
YANG Weiwei. Digital Handover of “Hualong-1” pressurized reactor nuclear power plant engineering data[J]. *Science Technology and Engineering*, 2020, 20(36): 14935-14943(in Chinese).
- [5] 周圣栋,解蕾,宋若晨,等. 基于BIM的变电站数字化建设管控平台构建及应用[J]. 中国电力, 2019, 52(5):

- 142-147.  
ZHOU Shengdong, XIE Lei, SONG Ruochen, *et al.* Building and application of substation digital construction management platform based on BIM[J]. *Electric Power*, 2019, 52(5): 142-147(in Chinese).
- [6] 李颖, 李峰, 李宾皓, 等. 基于变电站数字化移交成果的全景信息监视平台[J]. *电网与清洁能源*, 2015, 31(12): 57-61.  
LI Ying, LI Feng, LI Bin'ai, *et al.* A panoramic information monitoring platform based on the digital substation handover results[J]. *Power System and Clean Energy*, 2015, 31(12): 57-61(in Chinese).
- [7] 王智, 杨茂涛, 杨静, 等. 数字化变电站合并单元自动误差校验技术及应用[J/OL]. *电测与仪表*: 1-6[2021-04-07].  
WANG Zhi, YANG Maotao, YANG Jing, *et al.* Merging unit automatic error verification technology and its application in digital substation[J/OL]. *Electrical Measurement & Instrumentation*: 1-6[2021-04-07].
- [8] 谢景海, 姜宇, 卢诗华, 等. 基于云平台三维数字化输电线路路径规划方法[J/OL]. *电测与仪表*: 1-7[2021-04-07].  
XIE Jinghai, JIANG Yu, LU Shihua, *et al.* Path planning method of 3D digital transmission line based on cloud platform[J/OL]. *Electrical Measurement & Instrumentation*: 1-7[2021-04-07].
- [9] 董飞飞, 李永双, 俞登科, 等. 输电线路工程三维数字化应用研究与展望[J]. *智慧电力*, 2019, 47(9): 86-90,119.  
DONG Feifei, LI Yongshuang, YU Dengke, *et al.* Research and prospect of 3D digital application in transmission line engineering[J]. *Smart Power*, 2019, 47(9): 86-90,119(in Chinese).
- [10] 李喆, 赵学风, 林涛. 电缆网络数字化管理系统建设及其应用[J]. *电网与清洁能源*, 2016, 32(4): 75-78.  
LI Zhe, ZHAO Xuefeng, LIN Tao. Construction and application of cable network digital management system author[J]. *Power System and Clean Energy*, 2016, 32(4): 75-78(in Chinese).
- [11] 王菲, 王球, 任佳依, 等. 变电站电气设备检测与三维建模系统[J]. *电测与仪表*, 2021, 58(3): 160-167.  
WANG Fei, WANG Qiu, REN Jiayi, *et al.* Substation electrical equipment detection and three-dimensional modeling system[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2021, 58(3): 160-167(in Chinese).
- [12] 王菲, 王球, 孙建龙, 等. 真实数据驱动下的变电站三维智能仿真技术研究[J]. *智慧电力*, 2020, 48(7): 112-117.  
WANG Fei, WANG Qiu, SUN Jianlong, *et al.* Real data-driven 3D smart simulation technology for substation[J]. *Smart Power*, 2020, 48(7): 112-117(in Chinese).
- [13] 陈斌, 牛津文, 万红, 等. 变电站辅助设备监控系统三维建模及展示技术研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(13): 180-186.  
CHEN Bin, NIU Jinwen, WANG Hong, *et al.* Research on three-dimensional modeling and display technology of a substation auxiliary equipment monitoring system[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(13): 180-186(in Chinese).
- [14] 黄金魁. 智能变电站三维实景无人值守感知系统的应用研究[J]. *电测与仪表*, 2020, 57(4): 87-92.  
HUANG Jinkui. Research on the application of three-dimensional real-scene unattended sensing system in intelligent substation[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2020, 57(4): 87-92(in Chinese).
- [15] 王益, 陈珉, 王涛, 等. 智能变电站仿真三维可视化组件装配技术研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2018, 46(23): 118-126.  
WANG Yi, CHEN Min, WANG Tao, *et al.* Research on 3D visual component assembly technology of smart substation simulation[J]. *Power System Protection and Control*, 2018, 46(23): 118-126(in Chinese).
- [16] 王会勤, 周育才, 左萃, 等. 变电站三维智能虚拟运检系统[J]. *电力科学与技术学报*, 2017, 32(4): 73-78.  
WANG Huiqin, ZHOU Yucai, ZUO Cui, *et al.* Substation virtual inspection system with 3D intelligent[J]. *Journal of Electric Power Science and Technology*, 2017, 32(4): 73-78(in Chinese).
- [17] 王培林, 宋小丽, 王涵宇, 等. 郑永康. 智能变电站虚端子辅助自动设计系统[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(5): 151-157.  
WANG Peilin, SONG Xiaoli, WANG Hanyu, *et al.* Aided automatic design system of virtual terminals in intelligent substation[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(5): 151-157(in Chinese).
- [18] 苏进国, 李泰, 张爱玲, 等. 基于工程平台的直流控制保护系统全数字仿真建模与应用[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(6): 180-187.  
SU Jinguo, LI Tai, ZHANG Ailing, *et al.* Full-digital simulation modeling and application for control and protection system based on HVDC project platform[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(6): 180-187(in Chinese).
- [19] 刘千宽, 刘宏君, 丁晓兵, 等. 服务于变电站数字化设计的二次设备建模技术研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2021, 49(2): 166-172.  
LIU Qiankuan, LIU Hongjun, DING Xiaobing, *et al.* Research on secondary equipment modeling technology for

- substation digital design[J]. *Power System Protection and Control*, 2021, 49(2): 166–172(in Chinese).
- [20] GB/T 37755—2019, 智能变电站光纤回路建模及编码技术规范[S].
- [21] 郝晓光, 耿少博, 任江波, 等. 智能变电站二次电缆回路建模方法研究与应用[J]. *电力科学与技术学报*, 2020, 35(4): 161–168.  
HAO Xiaoguang, GENG Shaobo, REN Jiangbo, *et al.* Research and application of modeling method of secondary cable loop in intelligent substation[J]. *Journal of Electric Power Science and Technology*, 2020, 35(4): 161–168(in Chinese).
- [22] 赵昂, 王洪涛, 赵军, 等. 智能变电站二次回路三维建模及全景可视化研究[J]. *电气技术*, 2020, 35(4): 161–168.  
ZHAO Ang, WANG Hongtao, ZHAO Jun, *et al.* Research on 3D modeling and panoramic visualization of secondary circuit of intelligent substation[J]. *Electrical Engineering*, 2020, 35(4): 161–168(in Chinese).
- [23] 黄志高, 李妍, 李腾, 等. 智能变电站SCD文件虚回路自动生成技术的设计和实现[J]. *电力系统保护与控制*, 2017, 45(17): 106–111.  
HUANG Zhigao, LI Yan, LI Teng, *et al.* Design and implementation of automatic generation technology of SCD file virtual circuit in smart substation[J]. *Power System Protection and Control*, 2017, 45(17): 106–111(in Chinese).
- [24] 刘宏君, 高旭, 杜丽艳, 等. 智能变电站SCD文件管控系统模块化设计[J]. *电力系统保护与控制*, 2019, 47(03): 154–159.  
LIU Hongjun, GAO Xu, DU Liyan, *et al.* Modular design of intelligent substation SCD file management and control system[J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47(03): 154–159(in Chinese).
- [25] 袁明旭, 余洋, 童晓阳, 等. 智能变电站ICD/CID/SCD模型内容差异检查方法及工具[J]. *电力系统保护与控制*, 2019, 47(11): 118–124.  
YUAN Mingxu, YU Yang, TONG Xiaoyang, *et al.* Difference checking method and software of the ICD/CID and SCD in smart substation[J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47(11): 118–124(in Chinese).

收稿日期: 2021-09-03

作者简介:

陈晨(1985), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统, E-mail: 56990512@qq.com;

宋晓帆(1989), 男, 通信作者, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统及其自动化, E-mail: sxf810118@sina.com;

董平先(1974), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化, E-mail: 13937756633@qq.com;

白萍萍(1989), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化, E-mail: 935769881@qq.com;

李奇(1982), 男, 博士后, 研究员, 博士生导师, 研究方向为电力系统智能化及超高压输电线路, E-mail: qi.li@cqu.edu.cn。