

# 基于空间形态数据的铁路通信数字工程设计系统<sup>①</sup>



武文斌<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

<sup>2</sup>(轨道交通工程信息化国家重点实验室, 西安 710043)

通信作者: 武文斌, E-mail: 18049210072@163.com

**摘要:** 建筑信息模型 (building information modeling, BIM) 技术作为建筑业实现信息化数字化转型的核心技术, 在铁路建设全生命周期中具有很高的研究价值. 在铁路通信机械室内、站场、区间设计中, 将铁路通信实体的空间位置、形状、大小、关系等空间形态描述数据化, 结合铁路通信设计规范、相关铁路 BIM 标准以及专业实际设计需求, 研究开发出铁路通信数字工程设计系统. 本系统以空间形态数据为支撑, 铁路工程实体结构分解标准为基础, 在三维环境下实现了铁路通信机械室内机柜设备的智能布设, 站场通信沟槽线缆的路径规划, 区间通信信息点位置的准确布置. 系统进一步基于数字工程模型和图论基本原理, 实现了从数字工程模型中获取逻辑关系并生成通信逻辑网图. 经实际工程验证, 系统对铁路通信数字工程设计效率和准确率都有较大提升, 从工程源头实现了铁路通信工程数字化成果交付和应用, 促进了铁路通信工程项目全过程技术升级和数字化模式革新.

**关键词:** 铁路通信数字工程; 空间形态数据; 工程实体结构分解; 空间矩阵变换; 通信逻辑网图

引用格式: 武文斌. 基于空间形态数据的铁路通信数字工程设计系统. 计算机系统应用, 2023, 32(3): 133-141. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/8978.html>

## Digital Engineering Design System for Railway Communication Based on Spatial Morphology Data

WU Wen-Bin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(China Railway First Survey and Design Institute Group Co. Ltd., Xi'an 710043, China)

<sup>2</sup>(State Key Laboratory of Rail Transit Engineering Informatization, Xi'an 710043, China)

**Abstract:** As the core technology to realize the information and digital transformation of the construction industry, BIM (building information modeling) technology has high research value in the whole life cycle of railway construction. In the design of railway communication equipment rooms, station yards, and intrastations, the spatial morphology of railway communication entity, such as spatial position, shape, size, and relationship, is described digitally. According to railway communication design specifications, relevant railway BIM standards, and professional design requirements, the digital engineering design system for railway communication is studied and developed. Supported by spatial morphological data and based on the decomposition standard of railway engineering entity structure, the system realizes the intelligent layout of indoor cabinet of railway communication equipment, the path planning of station communication trench cables, and the accurate layout of intrastation communication information points in a three-dimensional environment. Based on the digital engineering model and the basic principle of graph theory, the system obtains the logical relationship from the digital engineering model and generates the communication logical network diagram. Verified by the actual project, the system has greatly improved the design efficiency and accuracy of railway communication digital engineering, realized the delivery and application of digital achievements of railway communication engineering from the source of the project, and promoted the upgrading of technologies and innovation of digital modes in the whole life cycle of railway communication.

① 基金项目: 中铁第一勘察设计院集团有限公司科研项目 (2021KY43ZD(CYH)-07); 轨道交通工程信息化国家重点实验室科研项目 (19-07)

收稿时间: 2022-07-25; 修改时间: 2022-09-07; 采用时间: 2022-09-19; csa 在线出版时间: 2022-11-18

CNKI 网络首发时间: 2022-11-21

engineering project.

**Key words:** railway communication digital engineering; spatial morphological data; decomposition of engineering entity structure; spatial matrix transformation; communication logic network diagram

近年来, BIM 技术与数字技术融合应用为铁路建设行业带来实现项目全生命周期数字化的解决方案<sup>[1]</sup>, 从设计阶段数字工程数据的产生到施工阶段与运营管理阶段数据的叠加, 提升了各阶段对项目信息管理的掌控力. 铁路通信专业是确保列车运行安全, 及时准确地反馈传输铁路列车的行驶信息数据的重要专业<sup>[2]</sup>, 在设计阶段使用 BIM 技术与数字技术可极大提高设计质量, 进而推动铁路通信工程建设的信息化和数字化进程.

然而, 目前现有的 BIM 设计软件主要侧重于实体工程的几何创建与物理位置的表达, 无法在数字模型中准确表达设备之间的逻辑关系, 从而直接影响了铁路通信数字工程设计成果的完整性和继承性, 也无法有效搭载铁路项目全生命周期的信息与资源. 铁路通信数字工程设计不仅是铁路通信构件的堆砌与布放, 设备模型之间的逻辑关联关系的建立尤为重要, 它是铁路通信设计的核心内容, 是数字工程交付运营后维护管理的基本信息支撑, 也是进行铁路通信数字工程仿真的数据基础.

本系统以 Bentley MicroStation 为数字模型驱动平台, 在底层构建自定义扩展 ECSchemas 数据结构, 将设备模型之间的逻辑关系暂存入自定义数据结构, 并关联到对应的模型实体对象中, 在设计过程中可随时对设备模型和关联关系进行添加和修改, 实现铁路通信设备模型与其相关逻辑关系紧密耦合和高度一致, 避免数据丢失. 通信设计全部完成之后可将关联逻辑数据导入至本地 SQLite 数据库, 也可上传至 SQL server 远程云平台服务器, 确保数据安全.

同时通过归纳铁路通信工程中的形态数据, 融合铁路相关 BIM 标准体系, 如《铁路工程信息模型数据存储标准 (IFC)》和《铁路工程信息模型分类和编码标准 (IFD)》<sup>[3,4]</sup>, IFC 与 IFD 标准是铁路数字工程信息交换的重要支撑, 对评判数字工程模型在施工期和运营期是否可用有着至关重要的作用<sup>[5]</sup>. 本系统将 IFC 和 IFD 标准存入字典数据库, 形成具有开放共享的数据体系架构, 可实现标准化工程数字资产, 为后期铁路

智能化运营奠定了数据和技术支撑.

## 1 系统设计

### 1.1 系统流程

铁路通信专业数字工程设计系统根据设计流程总结归纳为 3 个阶段, 如图 1 所示.

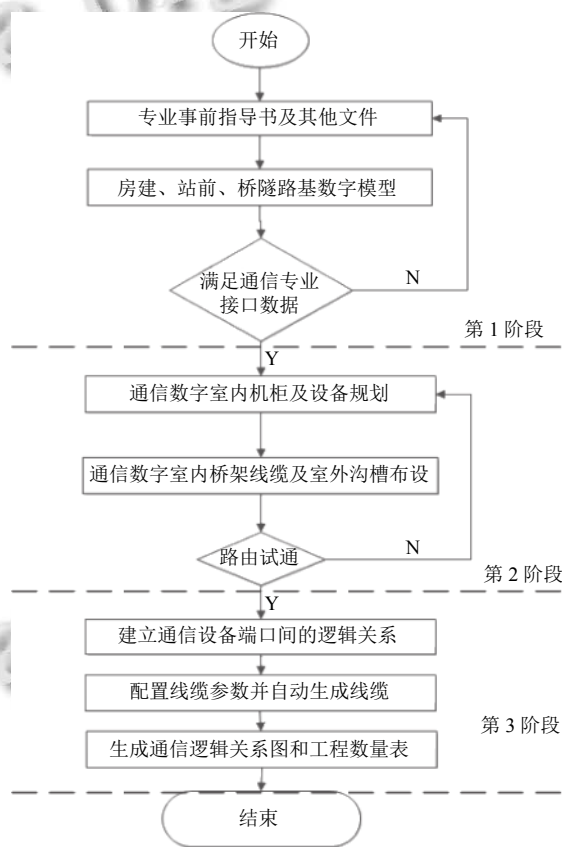


图 1 铁路通信数字工程设计流程图

第 1 阶段根据事前指导书的信息数据和房建、站场、区间 (包括线路、桥、隧、路基) 专业提供的建筑数字模型, 系统将对站前数字模型的信息进行提取, 并归纳出通信专业相关的空间位置和几何形状数据<sup>[6]</sup>, 如表 1 所示.

第 2 阶段需要利用上阶段数据和实际铁路通信专业设计需求, 在站场和房建等站前数字工程模型中布设机柜设备、线缆槽架、室外沟槽管道、室外设备等,

确保有逻辑关系的设备之间有至少有一条沟槽径路连接. 按照设计规范和实际需求整理设备端子间的逻辑关系数据, 如表 2 所示. 数字化三维设计环境提高了线缆路径设计的准确性与合理性, 通信机械室内的传输设备和其他设备的连接关系组成一个逻辑拓扑图, 它们之间的线缆敷设径路在系统缺省中遵循最短路径原则, 从而抽象为在有向图中解决从一个顶点到其余各顶点的最短路径的问题, 其数学模型符合 Dijkstra 最短路径算法的条件<sup>[7]</sup>, 系统使用此算法进行路由计算和连接试通, 并将在此基础进行设备布置和线缆径路敷设.

表 1 铁路区间隧道应急电话空间位置数据

设置里程	电缆长度 (km)	设置地点	数量	接入主机点	方位
DK316+600	0.95	余长电缆腔洞室	1	DK326+125	左侧
DK323+400	0.9	余长电缆腔洞室	1	DK326+125	左侧
DK326+300	0.55	紧急出口	1	DK326+125	左侧
DK330+600	0.57	余长电缆腔洞室	1	DK326+125	左侧
DK333+450	0.65	直放站5G洞室	1	DK326+125	左侧
DK350+400	0.70	直放站5G洞室	1	DK326+125	左侧

第 3 阶段重点描述和表达各个设备之间的逻辑连接关系, 进行配置通信数字工程模型内部参数和逻辑关系. 根据设备及端口的空间位置信息、几何信息、数量和分布进行线缆径路的自动布放, 并计算连接所用的电缆长度, 以此为基础导出逻辑关系图和工

程量.

### 1.2 系统架构

系统架构基于 3 层数据体系框架模式, 主要包含表现层 (UI)、业务逻辑层 (BLL) 和数据访问层 (DAL)<sup>[8]</sup>, 如图 2 所示. 其中各层之间的数据交互采用接口 API 访问机制, 并通过铁路通信实体类 (model) 作为数据传递的载体. 表现层为用户交互层, 主要实现前端的功能和接收用户输入的数据和命令, 如设备沟槽布放的交互功能、电缆参数配置输入、工程量和通信系统图的显示功能等; 业务逻辑层是整个系统的数据处理中台, 实现数字模型与数据的关联、系统图的逻辑处理及布局分析、信息计算和为前端提供数据接口, 本系统基于开放式数据架构, 可为第三方提供部分数据源, 在数据中台通过 WebAPI 服务进行发布<sup>[9]</sup>. 数据层主要负责数据的存储与查询<sup>[10]</sup>, 执行大量数据的更新和检索, 存储的数据包括铁路通信标准数据和专业数据.

表 2 室内通信设备逻辑关系数据

型号	线号	起点端子号	终止端子号	用途
SYV-75-5-2×8	1	DDF-1-1	10G传输设备-1-2-10	2 M同轴电缆
SYV-75-5-2×8	2	DDF-1-2	10G传输设备-1-2-11	2 M同轴电缆
SYV-75-5-2×8	3	DDF-2-3	2.5传输设备-2-2-3	2 M同轴电缆
SYV-75-5-2×8	4	DDF-2-4	2.5传输设备-2-2-4	2 M同轴电缆
SYV-75-5-2×8	5	DDF-3-5	数字调度交换机-1	2 M环路
SYV-75-5-2×8	6	DDF-3-6	数字调度交换机-1	2 M环路

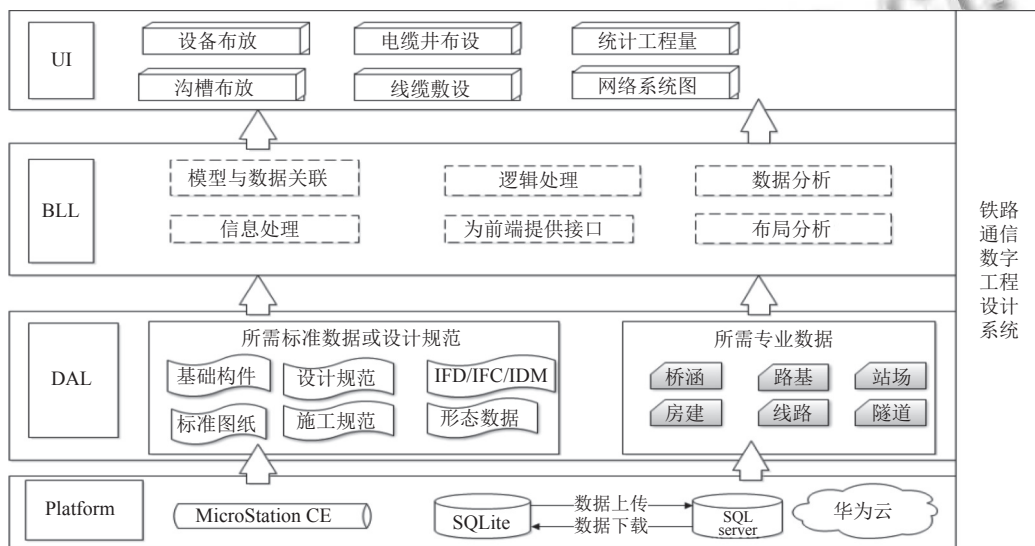


图 2 系统体系框架结构组成

基于数据安全性考虑, 在设计终端设置 SQLite 数据库, 在网络云端设置 SQL server 2008 数据库, 可随

时对数据进行备份. 当系统在线时, 通过定义规范的数据接口, 以 WebAPI 的连接方式进行同步, 数据可随时



更新至网络云平台数据库<sup>[11]</sup>。而当系统离线后通过数据库直连同步方式,调用本地数据库 SQLite 标准数据接口将数据暂存本地。系统再次上线后需要对批量数据进行同步,Flume 是一种高可靠且高效处理不同来源的数据的同步机制,它具有基于流数据的简单灵活体系架构,可以实现关系型数据库与流数据平台之间的数据同步。本系统使用可扩展数据模型为数据载体,同步方式采用 Flume 工具对系统数据进行提取和处理,并添加同步所需的头信息,将较大数据量快速写入云平台关系型数据库中,过程同步技术如图 3 所示。

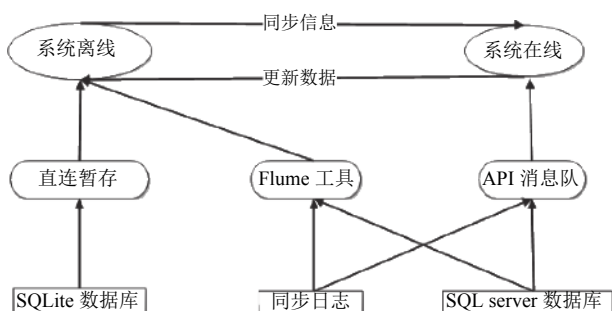


图 3 本地数据与云平台数据同步技术

### 1.3 数据体系

系统的数据体系由不同功能的数据库构成,主要分为站前专业基础数据、通信专业字典数据、项目数据 3 个类型的数据<sup>[12]</sup>,如图 4 所示。站前专业数据为数

据输入的源头数据,开展设计之前,需将站前工点数据、断链数据、桥隧数据和区间线路数据导入站前数据库,其他各专业在此数据框架上开展通信数字工程设计。通信专业字典数据是对铁路通信专业实体对象描述的集合,是通信专业开展数字工程设计的核心数据。在设计过程中,通过字典数据与设备数字模型的关联与集成,完成设备模型的实例化,并且通过字典库获取设备相关基本属性,生成数字工程模型时对属性进行附加与关联,实现数字工程模型与数据的叠加与融合。经过计算的数据结果将会批量存入项目数据库,项目数据是线路的设计成果数据,并使用唯一的标识码与模型空间实体对象进行关联。

系统内的数据流转是单向的,数据流转方向如图 5 所示。根据基础数据和其他专业业务通道需求生成通信网图,再使用通信网图数据与房建专业空间位置等数据,对通信机械室内数字工程进行设计;使用通信网图室外数据与站场专业数据,对室外站场光电缆数字工程进行设计;利用通信网图的区间数据,对区间设备信息点布放。完成全部的通信室内外数字工程模型设计后,系统将对过程数据进行整合和分析,提取数字工程中的全部数据,生成最终通信总网图、配线计划网图、ODF/DDF/VDF/RJ45 端子分配图等。设计过程数据进一步汇集和流转,完成工程数量汇总和材料设备数量汇总。

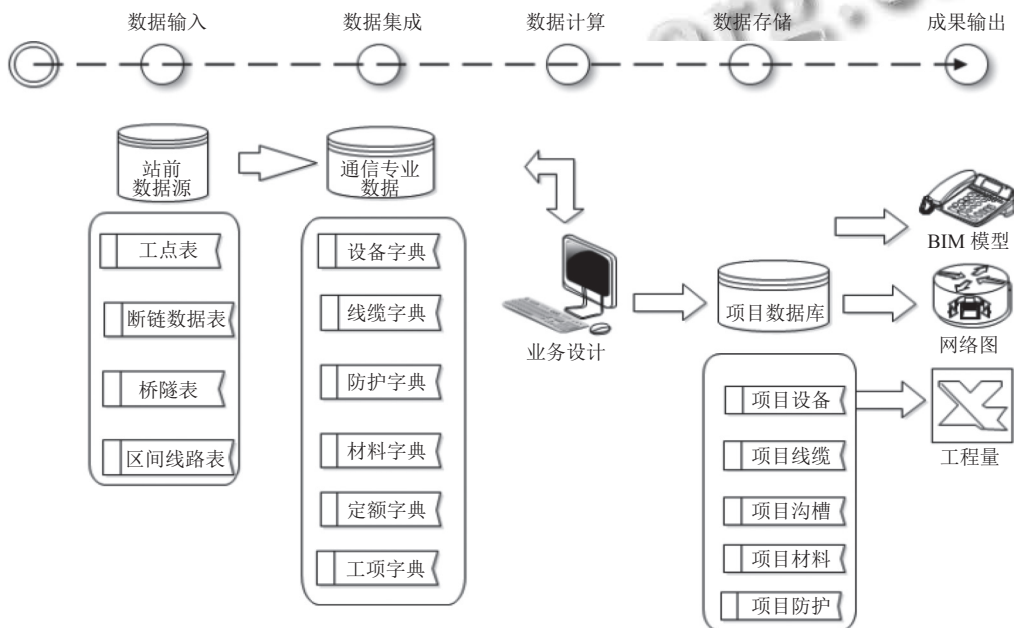


图 4 系统数据库结构

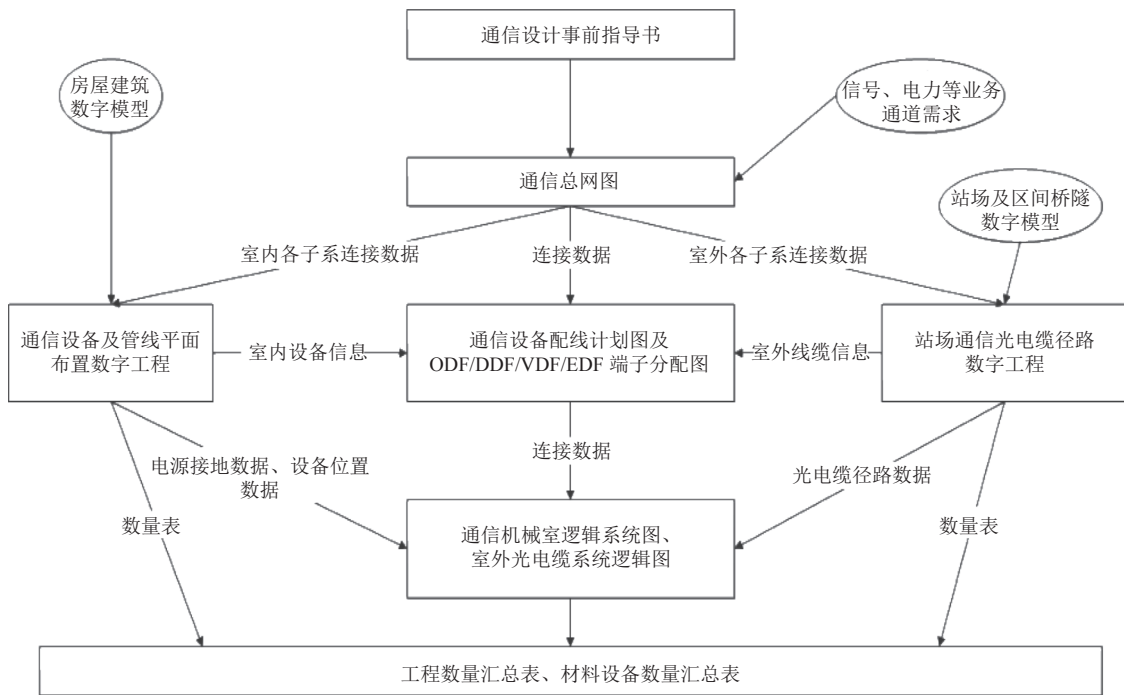


图5 系统内数据流图

## 2 系统创新及实现方法

### 2.1 通信室内数字设备布置

在三维数字工程环境下进行通信机械室内设备布置时,由于房建坐标为相对坐标,后期在全专业模型整合时候存在世界坐标和房相对坐标偏移的问题,需要手动进行将通信专业模型的位置进行一次平移和旋转。本系统创新定义通信专业设备相机坐标  $O-XYZ$  坐标系,并自动获取房建专业数字模型内的世界坐标数据及其偏移数据,然后使用空间矩阵算法将相对坐标转换为通信机械室的绝对世界坐标,如图6所示。

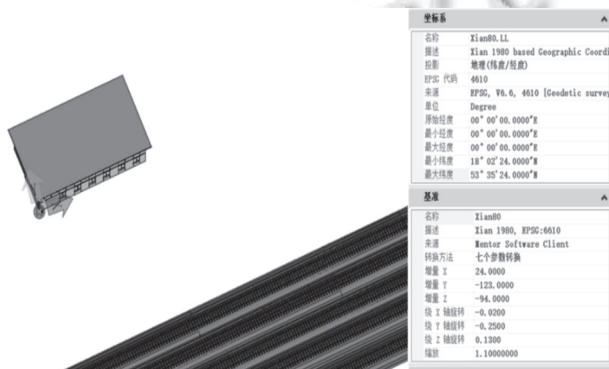


图6 获取房建专业偏移参数

进行通信机械室内布置机柜和设备时,需在参数设计界面 UI 中配置机柜的规格型号、内部设备数

量、设备规格型号、部件数量与规格型号等参数,其中 UI 中的设备结构树将按照 IFD 和 IFC 标准进行分解和存储。然后系统将会根据所配置参数在模型构件库中获取通信数字模型实体,计算模型包围框尺寸,根据几何尺寸进行位置偏移并进行装配式组装,最终在相机  $O-XYZ$  坐标系中生成参数化机柜数字模型,如图7所示。

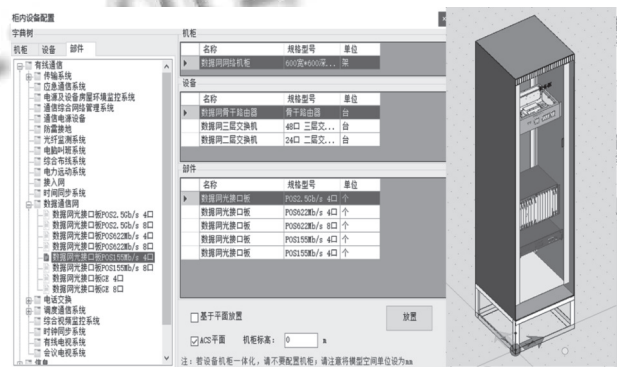


图7 在  $O-XYZ$  坐标系中生成参数化数字模型

其中世界坐标系与相机  $O-XYZ$  坐标系转换使用平移矩阵进行转换,机柜数字模型生成后的世界坐标已经与相机  $O-XYZ$  坐标系同向,转换时要平移的是世界坐标系原点在相机坐标系下的坐标  $Mw^{[13]}$ 。其过程是在世界坐标系依照顺序进行  $X, Y, Z$  的旋转,然后再进行

平移,其中对于  $X, Y, Z$  方向的旋转都是按照右手定则<sup>[14]</sup>. 则世界坐标系下的坐标  $(X_w, Y_w, Z_w)$  转换到相机坐标系  $(X, Y, Z)$  的转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = Mw \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & TX \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & TY \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & TZ \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

在机柜内放置设备时,设备基准坐标和机柜坐标不一致而存在偏差时,则需要计算当前设备坐标与机柜坐标之间的夹角  $\theta$ ,并对设备坐标进行一次矩阵初等变换转换<sup>[15]</sup>,定义设备空间坐标为  $(x', y', z')$ ,则:

$$\cos \theta = \frac{xx' + yy' + zz'}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \times \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \quad (3)$$

通过反三角函数可获得其夹角  $\theta$  的值,再对设备模型进行位置旋转调整.

进行  $x$  轴方向调整,绕  $x$  轴旋转  $x$  坐标是不变化的,调整后的坐标为:

$$[x', y', z'] = [x, y, z] * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

进行  $y$  轴方向调整,绕  $y$  轴旋转  $y$  坐标是不变化的,调整后的坐标为:

$$[x', y', z'] = [x, y, z] * \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

进行  $z$  轴方向调整,绕  $z$  轴旋转  $z$  坐标是不变化的,调整后的坐标为:

$$[x', y', z'] = [x, y, z] * \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

经过坐标系的旋转和平移,将参数化机柜和设备放置准确位置,同时将设备按照 IFD 体系标准分解至端口级,实现室内机柜及设备的准确布放.

## 2.2 通信逻辑系统图生成

铁路通信数字工程模型和逻辑关系数据是最终设计成果的两种表达方式,数字工程模型表达了工程及设备的几何形状、空间位置等信息,而逻辑关系则表达了通信设备之间内部的数据结构,两者之间的信息

相互依存和互补,共同构成了铁路通信数字化工程.系统创新性地数字工程模型的数据存储层定义了一个 EC Schemas 数据结构,将通信设备间逻辑关系数据关联到相应的模型空间实体对象中.代码 1 是定义一个 EC Schemas 数据格式,表达内容为通信传输设备与数字调度设备端口之间的逻辑关系,实现了模型与数据耦合为一体,极大丰富了模型的数据存储内容,为数据继承和逻辑图的生成提供了数据基础.

代码1. EC Schemas表达逻辑关系数据结构

```
<EClass typeName="InstanceCount"
description="通信传输与数字调度设备端口的关系"
displayLabel="Instance count" isDomainClass="True">
<ECPProperty
propertyName="ECSchemaStartName"
typeName="string" description="通信传输(1, 1)端口" />
<ECPProperty
propertyName="ECClassEndName"
typeName="string"
description="数字调度设备(2, 3)端口" />
<ECPProperty
propertyName="Count"
typeName="int"
description="连接数量" />
</EClass>
<ECCustomAttributes>
<NameProperty>Name</NameProperty>
<DisplayLabelProperty>DisplayLabel</DisplayLabelProperty>
<ExtendTypeProperty>ExtendType</ExtendTypeProperty>
</AdhocPropertyContainerDefinition>
</ECCustomAttributes>
```

从通信数字工程模型中生成逻辑关系图以超图论拓扑学和二叉树为理论基础<sup>[16]</sup>,从空间形态位置数据考虑逻辑图的构成,以下为以信号运转楼为中心节点,其他房屋设备节点为旁支节点,形成合理布局的树形逻辑关系图主要步骤.

Step 1. 定义每个通信室内所有设备节点的集合为  $V$ , 房屋内设备之间的线路的支路集合为  $E$ , 那么所组成的图的集合为  $G = \{V, E\}$ <sup>[17]</sup>, 其中  $G$  是一个具有  $n$  个顶点的有向图,  $V$  中的顶点序列  $V_1, V_2, V_3, \dots$  为一个拓扑序列;  $E$  是图  $G$  中顶点之间的逻辑关联关系.

Step 2. 定义铁路通信站场信号运转中心机房设备为图  $G$  的根节点集合  $R$ , 对于  $G$  中的其他任何节点  $V \neq R$ , 即  $R$  在  $G$  中任何节点均有关联关系可到达.

Step 3. 循环从顶点  $V_i$  到  $V_j$  有查找逻辑关联关系  $E_{ij}$ , 若存在, 则该顶点的拓扑序列中存入此条逻辑关系和相关设备的基本信息, 则设  $E_{ij}$  为  $G$  的有序二义位



置树, 以此类推, 循环读取全部逻辑关系, 则  $R=\{E12, E13, E14, \dots, Vij\}$ .

Step 4. 当非根节点之间房屋内通信设备存在逻辑关系时候, 从顶点  $Vn$  到  $Vm$  有一条逻辑关联关系  $Vnm$ , 再定义一个集合  $F$ , 则  $F=\{V21, V22, \dots\}, \{V31, V22, \dots\}, \dots, Vnm\}$ .

Step 5. 获取全部逻辑关系图后, 将全部逻辑图进行合并, 即  $E=R+F$ , 循环布设中心机房设备位置时和其他机房位置设置一定的位置偏移量, 根据相对空间位置设置坐标偏移, 在系统图空间模板中布置设备及绘制关联关系的连接线.

Step 6. 考虑其他影响因素, 若在网络生成中若设备间连接为电缆, 则还需要进一步考虑设备之间的物理距离造成的信号衰减. 网络系统逻辑图中需要对承载的电缆类型和长度进行注明, 随着电缆长度的增加和信号的衰减, 及时调整线缆的规格型号<sup>[18]</sup>. 以上步骤可用代码 2 实现.

代码2. 生成逻辑关系图的伪代码

OLD Diagram ( $V, E$ )

```

{
  V=空集; //初始化空树节点
  U={R}; //在信号运转中心机房添加节点R
  while((V-U)=空集)
  {
    设(u, v)是使u∈U与v∈(V-U), 且权值最小的边;
    T=T∪(u, v); //边纳入树
    U=U∪{v}; //顶点纳入树并循环绘制连接
  }
}

```

### 3 系统在工程中的应用与验证

#### 3.1 系统在设计期的应用

本系统在多个铁路通信设计项目中得到了应用, 在西安至十堰高铁项目中实现了通信机械室内和站场通信的全部数字工程设计工作, 在西安至银川高铁项目施工期使用本系统对数字工程进行深化设计, 实现了线缆最短路径的敷设, 工程量统计等功能. 图 8 为系统在通信机械室内线缆桥架的优化与深化设计. 在室外站场通信设计中, 利用站前专业空间形态数据完成沟槽布设. 图 9 为通信室外站场数字工程设计成果. 系统进一步对数字设备模型间的逻辑关系配置, 使室内外设备建立数据耦合性的逻辑关系, 实现沟槽内光电

缆的继承和复用. 图 10 为存入数据库中的部分逻辑关系数据. 最后使用逻辑关系数据生成通信光电系统图, 图 11 为最后生成的通信光电系统图的成果.



图 8 机械室内数字工程的深化设计

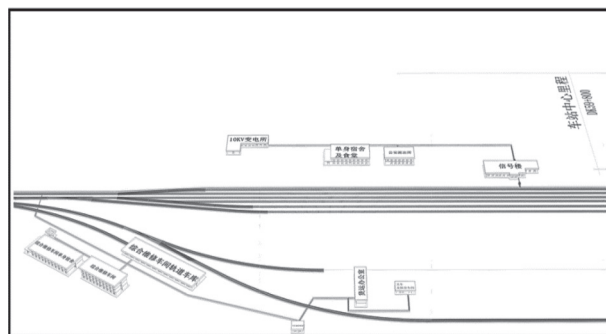


图 9 通信室外站场数字工程设计成果

C_NAME	C_LocationList	BuildingID	BuildingED	ConstructID
75 通信光缆: OPT2A1-531 802 平层	75 [DK_ZP163A.6E.EL.100.21.0.00]DK_ZP163A.71.EL.97.84.0.00DK_ZP1607.81.EL.97.85.0.00DK_ZP1581.19.EL.97.82.0.00DK_ZP1581.19.EL.97.11.0.00	75	(75A3CTD-ECA-476-8786 (82338C7-086-4516 通信专业-D8F4D599920) -AA32-78E8C8E4846)	100010
34 通信光缆: ZK-HYAT1-231 50+2+0.5	34 [DK_ZP163A.6E.EL.100.21.0.00]DK_ZP163A.71.EL.97.84.0.00DK_ZP1607.81.EL.97.85.0.00DK_ZP1581.19.EL.97.82.0.00DK_ZP1581.19.EL.97.11.0.00	34	(75A3CTD-ECA-476-8786 (82338C7-086-4516 通信专业-D8F4D599920) -AA32-78E8C8E4846)	100010
63 通信光缆: OPTA1-531 480 平层	63 [DK_ZP402.17.EL.111.23.0.00]DK_ZP402.17.EL.114.01.0.00DK_ZP408.91.EL.114.01.0.00DK_ZP408.91.EL.97.87.0.00DK_ZP410.29.EL.97.82.0.00DK_ZP418.26.EL.97.82.0.00DK_ZP420.29.EL.97.82.0.00DK_ZP1528.80.EL.97.82.0.00DK_ZP1581.19.EL.97.82.0.00DK_ZP1607.81.EL.97.85.0.00DK_ZP163A.71.EL.97.84.0.00DK_ZP163A.6E.EL.100.21.0.00	63	(8117E78-1E58-4166-970D (75A3CTD-ECA-476-8786-D8F4D599920) 040E4F081C)	100010
35 通信光缆: ZK-HYAT1-231 100+2+0.5	35 [DK_ZP402.17.EL.111.23.0.00]DK_ZP402.17.EL.114.01.0.00DK_ZP408.91.EL.114.01.0.00DK_ZP408.91.EL.97.87.0.00DK_ZP410.29.EL.97.82.0.00DK_ZP418.26.EL.97.82.0.00DK_ZP420.29.EL.97.82.0.00DK_ZP1528.80.EL.97.82.0.00DK_ZP1581.19.EL.97.82.0.00DK_ZP1607.81.EL.97.85.0.00DK_ZP163A.71.EL.97.84.0.00DK_ZP163A.6E.EL.100.21.0.00	35	(8117E78-1E58-4166-970D (75A3CTD-ECA-476-8786-D8F4D599920) 040E4F081C)	100010
75 通信光缆: OPT2A1-531 802 平层	75 [DK_ZP163A.6E.EL.100.21.0.00]DK_ZP163A.71.EL.97.84.0.00DK_ZP1607.81.EL.97.85.0.00DK_ZP1581.19.EL.97.82.0.00	75	(75A3CTD-ECA-476-8786 (81ECC31A-C015-4023 通信专业-D8F4D599920) -8C3A-54E9F8D546A)	100010
34 通信光缆: ZK-HYAT1-231 50+2+0.5	34 [DK_ZP163A.6E.EL.100.21.0.00]DK_ZP163A.71.EL.97.84.0.00DK_ZP1607.81.EL.97.85.0.00DK_ZP1581.19.EL.97.82.0.00	34	(75A3CTD-ECA-476-8786 (81ECC31A-C015-4023 通信专业-D8F4D599920) -8C3A-54E9F8D546A)	100010
31 通信光缆: ZK-HYAT1-231 10+2+0.5	31 [DK_ZP163A.6E.EL.100.21.0.00]DK_ZP163A.71.EL.97.84.0.00DK_ZP1607.81.EL.97.85.0.00DK_ZP1581.19.EL.97.82.0.00DK_ZP1607.81.EL.97.85.0.00DK_ZP163A.6E.EL.100.21.0.00	31	(75A3CTD-ECA-476-8786 (895C301A-9C40-4626 通信专业-D8F4D599920) -A2C7-498401A4A005)	100010

图 10 室内外通信设备部分逻辑关系数据

#### 3.2 系统成果在施工期的验证

数字工程设计完成后, 在实际工程中进行指导施工和准确性验证. 如图 12-图 14 为施工人员依照数字工程进行线缆敷设和柜内配线. 通过类似规模的工程对比表明, 依据本系统设计的数字模型进行线缆敷设可减少物料消耗达 20%, 依据系统内逻辑关系进行配线准确率可达 98%, 整体提高工程施工效率达 30% 以上.

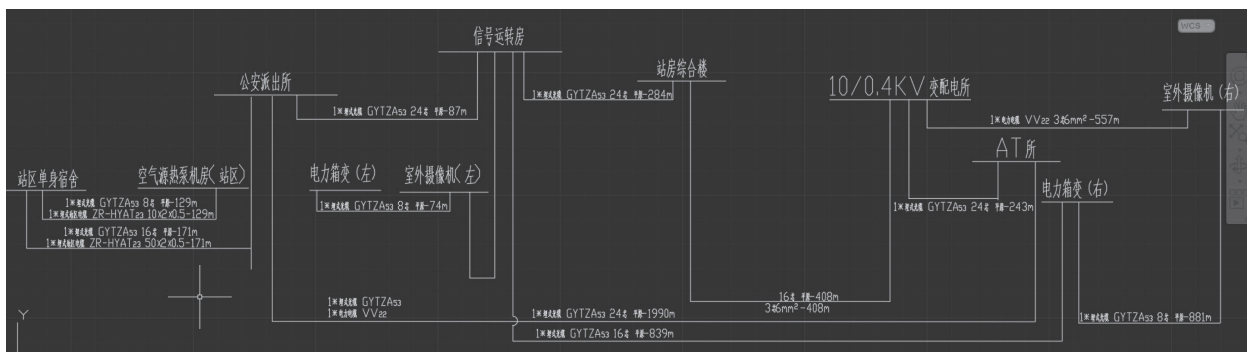


图 11 生成通信光电缆系统图成果

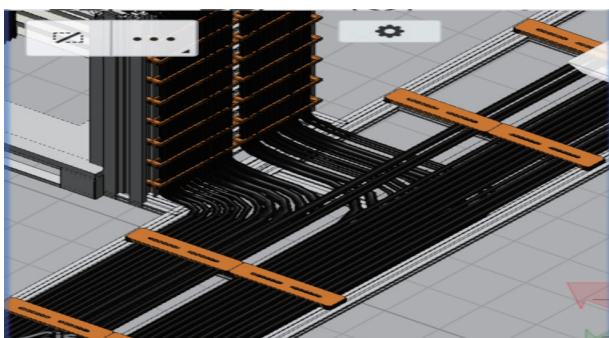


图 12 系统内数字工程模型成果



图 13 施工人员使用 iPad 查看数字工程模型



图 14 施工人员依据数字工程模型敷设线缆

### 3.3 系统成果在运维期的验证

在运维期, 将竣工后的通信数字工程导入运维管

理应用平台中, 如图 15, 实现了模型与数据完全继承, 利用在设计期生成的逻辑关系数据可以实现设备精确定位、线缆物理路径查询、设备属性状态查看等功能。运维期的应用进一步验证了系统设计的数字工程与数据的准确性和可行性。



图 15 运营维护平台数字工程模型

## 4 结束语

铁路通信数字工程设计系统将空间形态数据作为设计深化基础, 以铁路相关 BIM 体系标准为依托, 实现了通信设备数字模型的精细度达备件级及端口级, 并在底层构建了一整套数据架构和逻辑关系结构表达方式, 设计完成后的数字工程模型在施工期可以用于协同建造、施工进度控制、成本控制以及施工模拟, 在运维管路阶段可以实现智能运维<sup>[19]</sup>。系统在多个铁路通信建设项目中得到了应用和验证, 取得了良好的经济与社会效益, 提升了铁路工程建造的数字化水平。系统充分利用铁路建设项目的带动效应, 以铁路工程数字化转型为目的, 精准把握铁路工程数字化源头, 将铁路通信数字工程设计成果融入到铁路工程建设的各个环节中<sup>[20]</sup>, 为铁路通信工程实现数字化交付和数字



化应用打下了坚实的基础。

### 参考文献

- 1 杨雷. 强化标准引领促进铁路 BIM 研发与应用. 中国交通报, 2021-08-19(006). [doi: 10.28099/n.cnki.ncjtb.2021.002236]
- 2 张卫军, 郭桂芳, 刘清涛. 铁路通信网网络安全体系架构研究. 铁道通信信号, 2018, 54(9): 37-42. [doi: 10.13879/j.issn1000-7458.2018-09.18274]
- 3 中国铁路 BIM 联盟. 铁路工程信息模型分类和编码标准 (1.0 版). 铁路技术创新, 2015, (1): 8-111. [doi: 10.19550/j.issn.1672-061x.2015.01.002]
- 4 中国铁路 BIM 联盟. 铁路工程信息模型数据存储标准 (1.0 版). 铁路技术创新, 2016, (1): 5-177. [doi: 10.19550/j.issn.1672-061x.2016.01.002]
- 5 曾强, 张其林, 张金辉. 基于对象型层次型数据库的 IFC 数据存储研究. 土木工程信息学报, 2021, 13(1): 17-23. [doi: 10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2021.01.03]
- 6 李松涛. 高铁客运站站区空间形态研究 [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2010.
- 7 刘瀚泽, 杨柱天, 吴芝路, 等. 6G 大规模无人机网络中基于动态拓扑模型的路由算法研究. 电子与信息学报, 2022, 44(3): 815-824. [doi: 10.11999/JEIT211140]
- 8 王建永, 艾解清. 基于 C/S 模式的网络信息自动检索系统设计. 自动化与仪器仪表, 2018, (9): 86-89, 93. [doi: 10.14016/j.cnki.1001-9227.2018.09.086]
- 9 崔恒志, 王翀, 吴健. 基于数据中台的数据资产管理体系. 计算机系统应用, 2021, 30(3): 33-42. [doi: 10.15888/j.cnki.csa.007836]
- 10 王雷, 王智广. 改进的三层架构的研究与应用. 计算机工程与设计, 2017, 38(7): 1808-1812. [doi: 10.16208/j.issn1000-7024.2017.07.020]
- 11 穆鑫鑫, 蒋同海, 程力, 等. 基于 JSON 的离线数据同步策略及应用. 计算机系统应用, 2017, 26(12): 257-261. [doi: 10.15888/j.cnki.csa.006084]
- 12 鄂海红, 韩鹏昊, 宋美娜. 关系型数据库向图数据库的转换方法. 计算机科学, 2021, 48(10): 140-144. [doi: 10.11896/jsjcx.201100073]
- 13 李柯江, 黄林, 牛新征. 基于相机模型投影的多目标三维人体跟踪算法. 计算机应用与软件, 2022, 39(1): 168-175. [doi: 10.3969/j.issn.1000-386x.2022.01.025]
- 14 王利朋, 刘成龙, 刘胜, 等. 坐标参数化的平面基准转换方法. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(10): 1409-1413. [doi: 10.13203/j.whugis20140416]
- 15 魏二虎, 殷志祥, 李广文, 等. 虚拟观测值法在三维坐标转换中的应用研究. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(2): 152-156. [doi: 10.13203/j.whugis20120648]
- 16 张家波, 吴昌玉, 袁凯. V2V 通信中基于超图理论的资源分配算法. 计算机工程与设计, 2020, 41(9): 2408-2414. [doi: 10.16208/j.issn1000-7024.2020.09.002]
- 17 莫同, 褚伟杰, 李伟平, 等. 采用超图的微博群落感知方法. 西安交通大学学报, 2012, 46(11): 120-126. [doi: 10.7652/xjtub201211022]
- 18 熊伟. 高速铁路 10-35 kV 电力电缆与信号电缆平行间距研究. 铁道标准设计, 2021, 65(8): 139-143, 165. [doi: 10.13238/j.issn.1004-2954.202006030008]
- 19 靳辰琨, 李子龙. 铁路四电 BIM 建维平台设计及关键技术研究. 铁道工程学报, 2021, 38(9): 93-99. [doi: 10.3969/j.issn.1006-2106.2021.09.016]
- 20 王同军. 智能高速铁路基础设施全生命周期管理框架研究. 铁道学报, 2021, 43(11): 1-7.

(校对责编: 孙君艳)