

# BIM 技术标准在青连铁路四电工程中的应用

闫立忠\*

(青连铁路有限责任公司 山东 青岛 266499)

**摘要:** 在青连铁路四电工程中开展 BIM 的应用研究可为 BIM 标准的全面推广奠定基础、拓宽设计思路、提高铁路行业建设水平。文章依托青连铁路四电建筑信息模型 BIM 试点工程,基于达索平台,开展了对《铁路四电工程信息模型数据存储标准》《铁路工程信息模型分类和编码标准》以及《铁路工程信息模型交付精度标准》3 个 BIM 技术标准的应用研究。通过对系统工程信息模型数据存储标准 IFC 属性和实体进行扩展、部署,按照编码体系赋予工程信息模型分类和编码标准 IFD 属性,建立了符合几何精度、信息完善的 BIM 模型并进行交付,完成了铁路四电 IFC 的部署和验证,实现了铁路四电 IFD 标准规定的赋予和查询,结合应用情况对标准提出了修改对策。

**关键词:** BIM 技术标准; IFC; IFD; 应用; 四电工程

**中图分类号:** U227.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-7644(2019)01-0077-07

## Application of BIM technical standard on railway four electric/electronic systems engineering of Qinglian railway

YAN Lizhong\*

(Qinglian Railway Co., Ltd., Qingdao 266499, China)

**Abstract:** Application of BIM in four electric/electronic systems engineering of Qinglian railway project will establish foundation for the promotion of the railway four electric/electronic systems engineering BIM standard, broaden the design ideas and improve the level of railway construction. Based on the Dassault platform, the application research on the railway four electric/electronic systems engineering BIM standards, including Data Storage Standard for Information Model of Railway Four Electricity Projects (IFC), Classification and Coding Standard of Railway Engineering Information Model (IFD), Accuracy Standard for Delivery of Railway Engineering Information Model, is carried out in the Qinglian railway four electric/electronic systems engineering BIM pilot project. By extending and deploying attributes and entities of IFC, and assigning IFD attributes according to the coding system, the BIM model with geometric accuracy and perfect information is established and delivered. The deployment and verification of the railway four-electric IFC standard is completed, and the assignment and inquiry of the railway four-electric IFD standard is realized. In addition, suggestions for modification of the standard are put forward based on the application.

**Key words:** BIM technical standard; IFC; IFD; application; four electric/electronic systems engineering

## 0 引言

铁路四电的项目管理需要信息化技术弥补现有

项目管理的不足,基于建筑信息模型 BIM (Building Information Modeling) 技术的四电信息管理应用平台系统正符合目前的应用潮流<sup>[1]</sup>。铁路建设技术人

员通过运用 BIM 技术,可以改变以往工程建设方案设计的思维方式,提高铁路行业建设水平<sup>[2]</sup>。BIM 技术可为建筑业的发展提供有力的支持,而 BIM 标准则是其实施的基本依据<sup>[3]</sup>。结合实际应用情况对标准提出修改建议,可以为铁路四电工程 BIM 标准的推广奠定基础<sup>[4]</sup>。

铁路总公司共选取 17 个铁路建设项目进行 BIM 技术试点研究应用,青连铁路四电工程作为其中 2 个四电 BIM 试点项目之一。文章基于达索平台,开展了铁路四电工程 BIM 标准的应用研究,通过对系统铁路四电工程信息模型数据存储标准 IFC 属性和实体进行扩展并部署,按照编码体系赋予铁路工程信息模型分类和编码标准 IFD 属性,建立了符合几何精度、信息完善的 BIM 模型并进行交付,就青连铁路四电 BIM 标准应用及现存 BIM 标准的不足展开研究,为中国铁路四电 BIM 技术标准化提供了必要的支持,进一步促进了中国铁路 BIM 行业标准的完善。自愿性行业标准在总结实践经验的基础上,可为铁路工程建设和管理提供可操作的建议<sup>[5]</sup>。

## 1 中国铁路 BIM 技术标准概述

### 1.1 铁路四电工程信息模型数据存储标准

2016 年 7 月,铁路 BIM 联盟发布了铁路四电工程信息模型数据存储标准。铁路 IFC 标准为铁路行业的数据存储标准,是规范铁路信息描述与存储的语言,以结构化的方式定义铁路实体及其属性,是面向互联网领域的技术规则类标准。应用 IFC 标准的意义在于,使成果遵循统一的数据标准格式,保证设计成果能在不同设计阶段、不同设计软件中都能正确识别,信息的交换变得更加容易和高效<sup>[6]</sup>。

### 1.2 铁路工程信息模型分类和编码标准

2015 年 1 月,铁路 BIM 联盟发布了铁路工程信息模型的分类和编码标准。铁路 IFD 标准为铁路行

业的信息语义标准,根据信息内容的属性或特性,将信息按一定的原则和方法进行区分和归类,并建立起一定的分类体系或排列顺序的方法。应用 IFD 标准的目的是以科学的方法对工程概念进行归纳、定义、标识与关系梳理。

### 1.3 铁路工程信息模型交付精度标准

2017 年 9 月,铁路 BIM 联盟发布了铁路工程信息模型交付精度标准。为确保铁路工程建设过程中,工程设计参与各方所交付的铁路工程信息模型几何精度和信息深度科学合理,满足实际工程需求,制定了信息模型交付精度标准,适用于铁路工程设计和建造过程中,基于铁路工程信息模型在具体工作阶段下的数据建立、传递和解析,特别是各专业之间的协同,工程建设参与各方的协作,以及质量管理体系中的管控、交付等过程<sup>[7]</sup>。

模型精度基本等级的划分应参照 TB 10504—2007《铁路建设项目预可行性研究、可行性研究和设计文件编制办法》所定义各个阶段执行,如施工图设计阶段铁路工程信息模型需满足 LOD3.5,竣工、运维阶段需满足 LOD5.0 等。

## 2 青连铁路四电工程 BIM 技术标准应用

### 2.1 IFC 标准应用

由于 IFC4.0 中原有实体和属性集未包含在铁路四电 IFC 标准中,因此铁路四电工程信息模型基础数据体系结构需要在 IFC4.0 和《铁路工程信息模型数据存储标准(1.0 版)》的基础上,结合铁路四电工程的特点及需求进行扩展<sup>[8]</sup>。基于达索系统,对铁路四电 IFC 相关实体和属性集进行补充,同时将原 IFC4.0 中与四电有关的内容部署至达索系统。

电缆槽、过轨管、桥架、走线架采用原 IFC4 标准中的 IfcCableCarrierSegment 类型,此类型既有枚举项见表 1,该类型下对应的属性集见表 2。

表 1 IFC4.0 中 IfcCableCarrierSegment 既有枚举类型表

常数	说明
CABLELADDERSEGMENT	An open camner segment on which cables are carred on a ladder structure
CABLETRAYSEGMENT	A ( typically) open camnier segment onto which cables are laid
CABLETRUNKINGSEGMENT	An enclosed carrier segment with one or more compartments into which cables are placed
CONDUITSEGMENT	An enclosed tubular camer segment through which cables are pulled
USERDEFINED	User-defined type
NOTDEFINED	Undefined type

表 2 IFC4.0 中 IfcCableCarrierSegment 属性集表

预定义类型	名称
CABLELADDERSEGMENT	Pset_CableCarrierSegmentTypeCableLadderSegment
CABLETRAYSEGMENT	Pset_CableCarrierSegmentTypeCableTraySegment
CABLETRUNKINGSEGMENT	Pset_CableCarrierSegmentTypeCableTrunkingSegment
	Pset_CableCarrierSegmentTypeCommon
CONDUITSEGMENT	Pset_CableCarrierSegmentTypeConduitSegment
	Pset_SoundGeneration
	Pset_ElectricalDeviceCommon
	Pset_Condition
	Pset_EnvironmentalImpactIndicators
	Pset_EnvironmentalImpactValues
	Pset_ManufacturerOccurrence
	Pset_ManufacturerTypeInfo
	Pset_PackingInstructions
	Pset_ServiceLife
	Pset_Warranty

表 2 中的 15 个属性集,分别对应相应的预定义枚举项,若无对应预定义枚举,则此属性属于此类实体。

铁路四电 IFC 在现有的基础上进行扩充,新增

枚举项定义 CANTILEVER 腕臂、SUPPORTOR 肩架,新增属性集 Pset\_CableCarrierSegmentTypeCantilever、Pset\_CableCarrierSegmentTypeSupportor。属性集包含属性见表 3、4。

表 3 Pset\_CableCarrierSegmentTypeSupportor 属性列表

名称	数据类型	说明
SupportorType	P_ENUMERATEDVALUE/IfcLabel/PEnum_SupportorType: VERTICAL ,V-TYPE ,TOP	肩架类型,分为垂直、V 型、顶部
IsInsulationInstallation	P_SINGLEVALUE/IfcBoolean	是否绝缘安装
ColumnType	P_SINGLEVALUE/IfcLabel	适用柱型
InstallationType	P_SINGLEVALUE/IfcLabel	安装方式
SupportorCableType	P_ENUMERATEDVALUE/IfcLabel/PEnum_SupportorCable: NF ,GW ,AF ,PW ,F ,LF	悬挂线缆类型,分为回流线、架空地线、正馈线、保护线、供电线、加强线
InstallationHeight	P_SINGLEVALUE/IfcPositiveLengthMeasure	安装高度

表 4 Pset\_CableCarrierSegmentTypeCantilever 属性列表

名称	数据类型	说明
CantileverType	P_ENUMERATEDVALUE/IfcLabel/PEnum_CantileverType: SINGLE ,TRANSITION ,CENTER ,TURNOUT ,REGISTRATION	腕臂类型,分为中间柱安装、转换柱安装、中心柱安装、道岔柱安装、定位柱安装
IsInsulationInstallation	P_SINGLEVALUE/IfcBoolean	是否绝缘安装
NumberOfTracks	P_ENUMERATEDVALUE/IfcLabel/PEnum_NumberOfTracks: SINGLE ,MORE	跨越股道数,分为单线路、多线路
StructureType	P_SINGLEVALUE/IfcLabel	腕臂结构形式
FixedMode	P_ENUMERATEDVALUE/IfcLabel/PEnum_FixedMode: FIXED ,SEMI-FIXED ,ROTATION	腕臂固定方式,分为固定、半固定、旋转
ColumnType	P_SINGLEVALUE/IfcLabel	适用柱型
InstallationType	P_SINGLEVALUE/IfcLabel	安装方式
InstallationMode	P_ENUMERATEDVALUE/IfcLabel/PEnum_OperatingMode: STRAIGHT ,CURVEOUTSIDE ,CURVEINSIDE	安装工况,分为直线、曲外、曲内
RegistrationMode	P_ENUMERATEDVALUE/IfcLabel/PEnum_RegistrationStyle: PULL-OFF ,PUSH-OFF	定位方式,分为正定位、反定位
ContactWireSuspensionHeight	P_SINGLEVALUE/IfcPositiveLengthMeasure	接触线悬挂高度
MessengerWireSuspensionHeight	P_SINGLEVALUE/IfcPositiveLengthMeasure	承力索悬挂高度
StaggerValue	P_SINGLEVALUE/IfcPositiveLengthMeasure	拉出值
BracketDistance	P_SINGLEVALUE/IfcPositiveLengthMeasure	底座间距
IsRunningConductor	P_SINGLEVALUE/IfcBoolean	是否为工作支
IsPositionLimited	P_SINGLEVALUE/IfcBoolean	是否限位

在青连铁路四电 BIM 试点项目中,通过核查四电专业原有的 IFC 类型,对需要的类型及属性集进行补充,并和铁路四电 IFC 统一部署至系统。各专业首先形成了本专业的 IFC 分类和属性表,然后在 Enovia 平台上通过定义扩展类型的方式,完成了 IFC 分类和属性集在达索系统的部署<sup>[9]</sup>,并进行了将 BIM 模型导出成 IFC 格式文件的测试验证,保证创建的 BIM 模型符合 IFC 标准,能被其他支持 IFC 的软件正确识别。

以电力变电专业为例,部分 IFC 分类示例如图 1 所示。



图 1 电力变电专业 IFC 分类示例图(部分)

各专业应用 IFC 分类和属性,创建带有几何和非几何信息的 BIM 模型,以电力专业的配电箱为例,其模型 IFC 属性如图 2 所示。

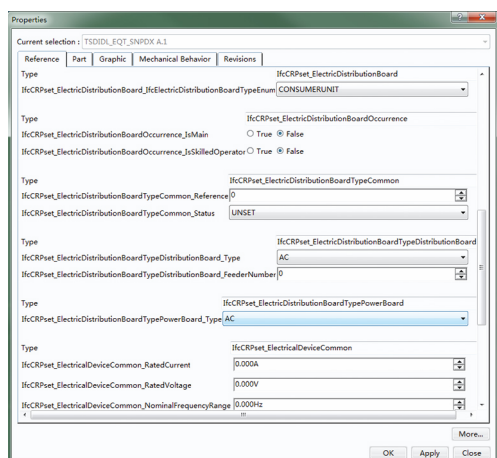


图 2 电力专业配电箱 BIM 模型 IFC 属性图

将配电箱模型以 IFC 格式导出,并导入 Navisworks 软件中,检验 IFC 类型和属性集是否正确和完整,导出结果如图 3 所示。

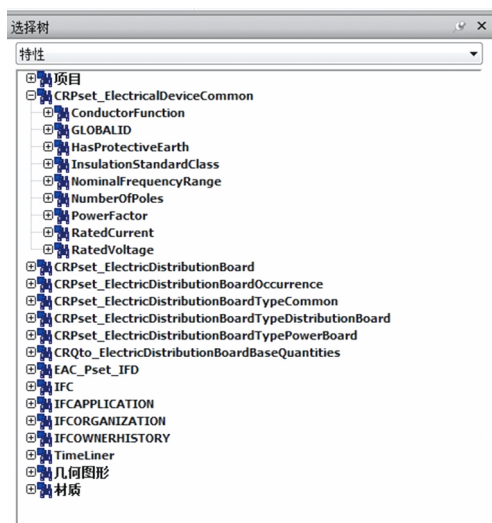


图 3 导出至其他软件的设备属性集图

## 2.2 IFD 标准应用

IFD 标准分类多,覆盖面广,若应用场景不明确,将难以选用 IFD 编码。因此根据四电专业工程实际情况与设计习惯,制定 IFD 编码原则,使项目设备和构建编码规则一致,方便后期查询和搜索。

依据《铁路工程信息模型分类和编码标准(1.0 版)》,青连铁路四电 BIM 试点工程基于以下原则对四电专业 BIM 模型添加 IFD 编码信息:

(1) 根据《铁路工程信息模型分类和编码标准(1.0 版)》中的表 22(专业领域)、表 51(按功能分铁路单项工程)、表 53(铁路工程构件)、表 55(铁路工程项目阶段)、表 58(铁路工程产品) 5 个分类面<sup>[10]</sup>,为四电工程 BIM 模型匹配并赋予对应的符合工程实际、项目阶段的信息模型编码,与专业无关的分类面暂不考虑,如表 56 和表 57 所代表的分类面。

(2) 长串编码中各个分类面对应编码的先后顺序参照分类面列表的先后顺序排列,同一分类面中多个编码的先后顺序参照列表中的顺序排列。

(3) 基于四电专业的工程结构分解,分类编码按照项目级、构件级或产品级进行划分,并赋予不同的对象。项目级的信息模型分类仅赋予能够承载工程总体信息的节点,如电力专业的电力节点,并默认电力节点下的构件节点或产品节点继承其编码,构件不再重复录入项目级信息模型分类,而只录入构件相关的信息模型分类。

(4) 涉及铁路工程项目设计阶段时(表 55)默认当前阶段为项目实施阶段中的施工图阶段,并将分类编码赋予项目节点,专业节点不再录入此编码。



(5) 四电专业 BIM 模型编码主要格式为专业领域+功能+构件+产品,其他特殊构件另行编制。  
青连四电 BIM 试点工程中四电专业构件编码

情况见表 5,应用 IFD 查询与部署工具,将 BIM 模型赋予 IFD 编码,并可自动更新,IFD 查询与部署工具如图 4 所示。

表 5 四电专业构件编码表

专业	设备或构件	IFD 编码
通信	室外视频设备	22-21 91 63 + 51-06 62 00 + 53-15 75 90 10
	视频杆	22-21 91 63 + 51-06 62 00 + 53-15 05 10
	四柱钢管塔	22-21 91 63 + 51-06 42 00 + 53-15 05 20
	天线	22-21 91 63 + 51-06 42 00 + 53-15 75 77 50
信息	风速计	22-21 91 70+51-09 00 00+53-15 85 20 10
	雪深计	22-21 91 70+51-09 00 00+53-15 85 20 50
	地震仪编码	22-21 91 70+51-09 00 00+53-15 85 20 40
	异物侵限装置	22-21 91 70+51-09 00 00+53-15 85 20 30
信号	信号机	22-21 91 67+53-15 90 08+53-15 90 08 19
	轨道电路	22-21 91 67+53-15 90 15+53-15 90 15 40
	道岔转辙机	22-21 91 67+53-15 90 23
	应答器	22-21 91 67+54-20 20 90 60+54-20 20 90 60 10
接触网	腕臂柱装置	22-21 91 80 +51-11 10 00+53-15 05 30 10
	中间柱腕臂	22-21 91 80 +51-11 10 00+53-15 70 10 10 10
	硬横跨	22-21 91 80 +51-11 10 00+53-15 05 30 20
	硬横梁	22-21 91 80 +51-11 10 00+53-15 70 10 30
	全补偿下锚装置	22-21 91 80 +51-11 10 00+53-15 70 20 10 80 10
牵引变	牵引变压器	22-21 91 83+51-12 10 00+53-15 45 05 10
	三极 SF6 断路器	22-21 91 83+51-12 10 00+53-15 45 55 63
	隔离开关	22-21 91 83+51-12 10 00+53-15 45 55 09
	电压互感器	22-21 91 83+51-12 10 00+53-15 45 60 10
	电流互感器	22-21 91 83+51-12 10 00+53-15 45 60 20
	避雷器	22-21 91 83+51-12 10 00+53-15 45 65
	断路器	22-21 91 83+51-12 10 00+53-15 45 55 09
电力	箱式变电所	22-21 91 73+51-10 20 00+53-15 45 05+53-15 45 70
	配电箱	22-21 91 73+51-10 50 00+53-15 45 45+58-04 20 00
	架空电杆	22-21 91 73+51-10 40 00+53-15 05 10
	灯塔	22-21 91 73+53-15 55 30
	室外灯具	22-21 91 73+51-10 60 00+53-15 55 10 20+58-04 04 70 10 10

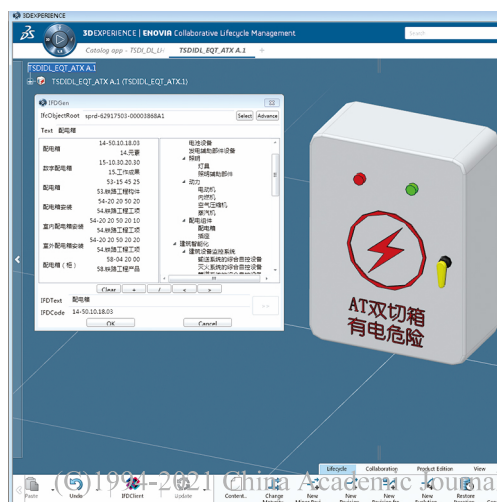


图 4 IFD 查询与部署工具图

## 2.3 交付精度标准应用

根据《铁路工程信息模型交付精度标准(1.0版)》,青连铁路四电 BIM 试点项目将标准中所要求的几何精度和信息深度以三维模型和 IFC、IFD 的形式添加至 BIM 模型中。

### (1) 几何精度

按照工程图纸,建立四电各专业设备、构件及线缆的模型,模型几何精度均可达到 1 mm。接触网专业包括基础及拉线、支柱支持及定位装置等构件模型。电力专业包括照明、变配电等构件模型。通信专业包括通信线路、传输及接入、数据通信等构件模型。信号专业包括行车调度指挥系统、闭塞系统、列车运行控制系统等构件模型。

### (2) 几何信息

根据工程实际需求,建立工程三维模型,包含设备模型的长度、宽度、高度以及定位、里程信息等。

### (3) 非几何信息

通过部署 IFC 属性集、IFD 分类编码以及达索系统自带的模型信息,为模型添加基本信息、身份描述、项目信息、材质、性能、生产厂家及安装方式等信息,使模型的非几何信息满足交付标准。

## 3 BIM 技术标准修改对策

### 3.1 IFC 标准修改对策

#### (1) 通信工程

IfcCommunicationsAppliance 类中包含现有枚举项 ANTENNA 和新增枚举项 WIRELESSCOMMUNICATIONEQUIPMENT,ANTENNA 包含于 WIRELESSCOMMUNICATIONEQUIPMENT,建议修改 IFC 标准。

#### (2) 信息工程

部分防灾设备、缆线、设备柜等采用 IFC4 的既有类型的枚举项表达,对应的属性集不能合理完善地对其进行描述,建议针对铁路行业特点增加属性集。IFC 缺乏对于施工、运维等应用阶段的全部描述,其各类设备、缆线等的属性集不完全适用于模型全生命周期的应用,建议考虑工程全生命周期的应用。

#### (3) 牵引供电工程

四电 IFC 牵引变电部分仅从系统层面进行表述,建议增加空间分解结构表述。四电 IFC 缺少部分铁路特殊设备的类型枚举和属性集,建议增加。

#### (4) 电力工程

四电 IFC 部分直接使用 IFC4 既有属性集,不能全部体现设备的必要参数,或不适用铁路行业特点,建议增加属性集。四电 IFC 属性集应与交付精度标准中信息深度要求中的非几何信息一致。

### 3.2 IFD 标准修改对策

IFD 标准编码方式不唯一,需要在清楚具体使用目标的情况下进行选用。目前四电专业 BIM 模型是基于具体的四电工程建立的,对于 IFD 标准中的铁路人员角色等分类编码不知如何选填应用。建议根据具体应用场景,明确赋码规则。根据铁路人员角色级别进行编码,如执行级、管理级、决策级等;或根据铁路人员角色应用场景进行编码,如通信工程、信息工程、信号工程、电力工程等。

### 3.3 交付精度标准修改对策

#### (1) 通信工程

交付精度标准里需要输入的非几何信息,需要与 IFC 的属性相对应。交付精度标准里需要输入的非几何信息,如厂家信息,无法在设计阶段提供,需要修改交付精度标准。

#### (2) 信息工程

交付精度中关于信息深度中非几何信息的内容,应与 IFC 属性集中的相对应,并符合铁路四电设计习惯。在自然灾害及异物侵限专业中,当模型几何精度为 LOD3.5 时规定“如有生产厂家提供的模型时可直接采用”等内容不符合设计阶段的要求,建议做相应修改。“模型信息精确到 10 mm”这项要求,没有具体参照标准,不易于理解和实际应用,建议做相应修改。

#### (3) 信号工程

交付标准中的信息交付内容,建议将与设计阶段无关内容删除,按照设计、施工、运维 3 个阶段划分信息交付内容和深度。交付标准中的几何交付内容,建议优化部分模型的设计交付精度等级,降低设备内部部分细小零件或细节部分的建模要求,最大程度利用模型的主要作用,避免耗费过多时间在众多细小之处。

#### (4) 牵引供电工程

交付精度标准里需要输入的几何信息、非几何信息,需要与 IFC 的属性相对应并进行补充完善。

#### (5) 电力工程

交付精度标准中,室内设备较多,室外设备较少。交付精度中,关于信息深度中非几何信息的内容,应与 IFC 属性集中的相对应,并符合铁路四电设计习惯。几何精度并没有对电力模型进行描述。交付精度标准里需要输入的非几何信息,如厂家信息等,无法在设计阶段提供。交付标准中的几何精度要求,建议优化部分模型的设计交付精度等级,尤其是产品类内部结构精度要降低。交付精度标准中几何信息均以长、宽、高界定是不适宜的,没有表达出设备结构特点。部分设备或构件的安装细节与产品有关,设计阶段无法提供较为细致的安装细节要求。设备安装要求、现场试验要求已在技术规格书中体现,若赋予模型则会造成模型信息冗余。

## 4 结语

中国铁路总公司将 BIM 技术作为实现铁路工

程建设信息化的主要技术发展方向,依托我国铁路工程项目对铁路工程 BIM 标准进行验证并不断完善。同时,我国铁路 BIM 标准在进一步提升和优化中,从行业标准上升为国家标准甚至纳入到国际标准体系中,为铁路工程项目全生命周期的实施和应用提供基础和依据。通过对《铁路四电工程信息模型数据存储标准》《铁路工程信息模型分类和编码标准》以及《铁路工程信息模型交付精度标准》3 个 BIM 技术标准的应用研究,结合青连铁路四电工程的实际情况,对标准提出相应的修改对策,为铁路四电 BIM 技术标准化提供强有力的支持,促进中国铁路 BIM 标准进一步完善。

#### 参考文献:

- [1] 王朝存,于凤.BIM 技术在铁路四电领域的综合运用探讨[J].铁路技术创新,2014(2):22-25.
- [2] 鲁敏.BIM 技术在铁路四电工程中的应用探讨[J].铁路工程技术与经济,2018,33(3):12-14.
- [3] 李恒,郭红领,黄霆,等.BIM 在建设项目中应用模式研究[J].工程管理学报,2010,24(5):525-529.
- [4] 杨长辉.铁路四电工程设计信息模型分类与编码研究[J].铁道标准设计,2015(8):160-163.
- [5] 冯梅.中国铁路企业“走出去”技术标准应对措施研究[J].铁道工程学报,2017,34(6):88-93.
- [6] 姚峰峰,高歌,李华良,等.铁路 BIM 数据存储标准方案研究[J].铁路技术创新,2015(6):13-17.
- [7] 汤志辉.基于 BIM 的铁路站前工程信息分类编码研究[D].济南:中国铁道科学研究院,2016.
- [8] 铁路 BIM 联盟.铁路四电工程信息模型数据存储标准[J].铁路技术创新,2016(5):11-77.
- [9] 孔国梁,苏林,李顶峰.铁路路基排水 BIM 设计方法研究[J].铁路技术创新,2016(3):42-45.
- [10] 铁路 BIM 联盟.铁路工程信息模型分类和编码标准(1.0 版)[J].铁路技术创新,2015(1):8-111.
- [11] 邱颖新.基于 BIM 技术的高速铁路变形监测信息可视化表达方法[D].成都:西南交通大学,2017.
- [12] 王同军.基于 BIM 的铁路工程管理平台建设与展望[J].铁路技术与创新,2015(3):8-13.
- [13] 李华良,杨绪坤,王长进,等.中国铁路 BIM 标准体系框架研究[J].铁路技术创新,2014(2):16-21.
- [14] 李华良,杨绪坤,沈东升,等.铁路工程信息模型分类和编码标准研究[J].铁路技术创新,2015(3):17-20.
- [15] 肖志强,路长平,郭世勇,等.兰渝线四电 BIM 综合应用平台[J].铁路技术创新,2015(3):100-103.
- [16] 周清华,李纯,黄新文.铁路 BIM 非几何属性研究与应用[J].铁道勘察,2018,44(5):66-69.
- [17] 金光.基于 IFC4 的电气化铁路接触网 BIM 数据存储标准研究[J].铁道标准设计,2018,62(8):132-137.
- [18] 张毅.铁路工程信息模型交付精度标准研究[J].智能城市,2018,4(12):5-7.
- [19] 赵飞飞.铁路工程信息模型数据存储国际标准框架研究[J].铁道工程学报,2018,35(2):90-95.
- [20] 杨绪坤.基于 IFC 的铁路工程信息模型数据存储标准研究[J].铁路技术创新,2015(6):8-12.
- [21] 毛宁,杨绪坤.基于 IFC 的铁路站场数据存储标准研究[J].铁路技术创新,2015(6):18-23.
- [22] 冯山群,杨绪坤,马永昌,等.基于 IFC 扩展的铁路隧道 BIM 数据存储标准研究[J].铁路技术创新,2015(6):24-27,69.

(学科责编:耿斐)