

基于 IFC 的桥梁安全信息可视化研究

包龙生¹,安培磊¹,王 鹏²,梁 伟¹,于 玲¹

(1. 沈阳建筑大学交通与测绘工程学院,辽宁 沈阳 110168;2. 中建二局第四建筑工程有限公司,天津 300457)

摘 要 目的 将 BIM 技术与传统桥梁检测技术相结合,建立基于 IFC 的桥梁病害信息模型,提高桥梁安全信息的共享效率,实现病害模型的多平台可视化。方法 基于 IFC 数据文件的语法特征,运用点-线-面-实体分层依次创建的方法,构建桥梁构件三维模型;并提出一种三维网格分散法,对病害相对于构件模型的三维坐标集进行换算,实现三维病害实体模型的构建。结果 完成了模型数据文件的二次重构,并成功导入可视化平台,实现了 T 梁模型中病害的附着并准确表达病害的几何信息和位置信息。结论 通过对桥梁病害模型的数据文件重构,归纳出一种通用的多平台可视化建模方法,大幅度地提高了桥梁安全信息的利用率。

关键词 IFC;三维网格分散法;桥梁病害;可视化

中图分类号 TU997;U445.7

文献标志码 A

Research on Visualization of Bridge Safety Information Based on IFC

BAO Longsheng¹,AN Peilei¹,WANG Peng²,LIANG Wei¹,YU Ling¹

(1. School of Transportation and Geomatics,Shenyang Jianzhu University,Shenyang,China,110168;2. The Fourth Construction Engineering Co. Ltd.,China Construction Second Engineering Bureall,Tianjin,China,300457)

Abstract:In order to improve the sharing efficiency of bridge safety information,realize multi-platform visualization of disease models,this paper was proposed to combine BIM technology with traditional bridge detection technology,and establish an IFC-based bridge disease information model. Based on the grammatical features of the IFC data file,the method of point-line-surface-entity layering is used to construct the three-dimensional model of the bridge component. The three-dimensional grid dispersion method is proposed to carry out the three-dimensional coordinate set of the disease relative to the component model. and realize the construction of three-dimensional disease entity model. The secondary reconstruction of the model data file was completed,and the visualization platform was successfully imported to realize the attachment of the disease in the T beam model and accurately express the geometric information and position information of the disease. By reconstructing the data file of the bridge disease model,a general

收稿日期:2021-07-15

基金项目:“十三五”国家重点研发计划重点专项基金项目(2018YFC0809600,2018YFC0809606);辽宁省重点研发计划指导计划基金项目(2018416028);沈阳市建委城乡系统科研项目(201904)

作者简介:包龙生(1971—),男,教授,博士,主要从事桥梁检测、桥梁监测等方面研究。

multi-platform visualization modeling method was summarized, which greatly improved the utilization rate of bridge safety information.

Key words: IFC; the three-dimensional grid dispersion method; bridge disease; visualization

随着现代桥梁的大规模建成,桥梁设计与建设处于瓶颈期,同时桥梁结构在使用过程中,会随着外界因素的不断腐蚀、结构材料的逐渐老化以及车辆荷载的不断作用,桥梁结构出现多种病害,导致桥梁承载能力降低^[1]。由此可见,桥梁的管理和维护工作就显得尤为重要^[2-3],但传统的桥梁管养技术,有很大的局限性,病害可视化程度低,运营维护人员不能准确快速地找到桥梁病害位置。为了改善这一现状,BIM 技术在桥梁安全管理方面得到了深入应用^[4],但同时越来越多的研究者认为 BIM 应用的技术路线,不应该止步于三维可视化的研究,而应该进一步实现桥梁多维信息的数据共享与交换,以满足病害信息与桥梁模型信息的融合^[5]。B. Mcguire 等^[6]将桥梁 BIM 模型与桥梁检测信息进行了关联分析,并对桥梁技术状况进行评估。慕尼黑工业大学的 Y. Ji^[7]扩展了桥梁模块在 IFC 标准中的定义方式,丰富了桥梁模型的数据格式。

IFC 标准不仅仅是利用数据模型对数据格式的标准进行传递,而是不同数据之间的整合,为病害信息模型与桥梁实体模型相结合提供了路径。IFC 标准运用 Express 语言表达实体构件信息,实现模型信息数据的存储与交换^[8-9]。目前,多种建模软件均可对 IFC 数据文件进行读取和输出,为模型的多平台数据交流搭建了信息渠道^[10]。

基于上述分析,笔者在准确解析 IFC 数据的基础上,着重利用 Express 语言的可描述性,总结一种通用的桥梁安全信息模型的创建方式。研究表明:基于桥梁实体模型的 IFC 数据文件的结构特征,将病害模型数据与原构件模型数据二次重组,可实现桥梁信息模型的多平台可视化和病害信息的准确

表达。

1 IFC 概况与结构特征

1.1 IFC 标准发展概述

IFC(Industry Foundation Class)标准在 1997 年发布 IFC1.0 后,经过数年的发展完善,逐渐成为了一套非常完善的数据交换共享标准^[11-12],目前官方最新的版本是 IFC4.2 版。IFC 标准促进了多方信息模型在统一的数据标准的基础上进行有效的数据交互^[13-14]。IFC4.1 版本用水平和垂直线形的组合作为一种新的几何表示形式,用于描述基础设施的线形。IFC4.2 版本扩展了桥梁模块和基础设施的空间结构,桥梁模块可以对桥梁构件和整体结构有一个准确的定义和描述,促进了 BIM 技术在桥梁建设行业的发展和应用^[15]。

1.2 IFC 标准的框架体系

IFC 标准的框架体系从功能定义上可以分为资源层、核心层、交互层和领域层,每个层次都有其固有的信息定义范围和彼此依存的稳定关系^[16-17]。以桥梁结构为例,就构件本身属于领域层,但构件本身的多种元素和信息需要通过资源层、核心层和交互层来依次定义。

IFC 标准采用的描述性语言 EXPRESS,具有较强的可读性和编译性。EXPRESS 是一种概念性架构语言,为现阶段没有被 IFC 定义的专业信息领域提供了多种预定义类型,如图 1 所示。以桥梁结构和病害模型为例,可以通过预定义的方式,完善 IFC 标准中的桥梁模块。

1.3 IFC 标准的数据结构

IFC 数据文件由头段和数据段两部分构成^[18],头段主要表达了文件的总体信息以及

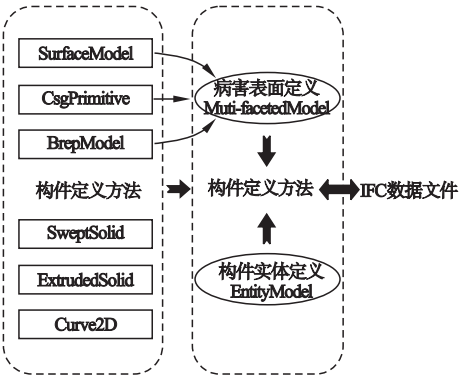


图 1 IFC 体系预定义类型

Fig. 1 The predefined types of IFC system

常规设置信息,数据段主要表达模型的属性信息和几何信息。

(1)头段文件

在每一个 IFC 交换文件都以头段数据作为数据段开头,该段以"HEADER"作为开始代码,并且以"ENDSEC"作为结束代码。文件数据有创建时间、数据版本和标准版本等,并且按这一定顺序依次出现,具体代码如下:

```
ISO-10303-21;  
HEADER;
```

表 1 定义方式及 IFC 数据格式

Table 1 The definition method and IFC data format

信息类别	定义名称	定义内容	对应的 IFC 标准
位置信息	场地坐标系	原点坐标、X 轴和 Z 轴	IfcSite
	参考坐标系	原点坐标、X 轴和 Z 轴	IfcLocalPlacement
	局部坐标系	原点坐标、X 轴和 Z 轴	IfcAxis2Placement3D
	模型点	点坐标	IfcCartesianPoint
几何信息	Brep 定义实体	多面片拟合形成的实体	IfcFacetedBrep
	自定义轮廓	多点轮廓线	IfcPolyLine
	横截面定义	闭合轮廓线	IfcCarbitraryClosedProfileDef
	拉伸定义实体	位置、拉伸方向和拉伸长度	IfcExtrudedAreaSolid

为了确定三维实体模型的具体位置,设立三维坐标系对模型进行定位,坐标系可以分为局部坐标系和参考坐标系。三维坐标系中物体的位置信息由位置坐标,Z 轴方向和 X 轴方向三部分组成确定,其中 Y 轴方向由 Z 轴和 X 轴方向来推导确定。

三维坐标系如图 2 所示,坐标系由 ObjectPlacement 描述,在数据段中坐标系存在分层依次参考的情况,在明确各坐标系层

```
* Creation date: Wed Jun 16 10:38:  
56 2021  
* Database version:5507  
* Schema:IFC2X3  
* Model:DataRepository.ifc  
...  
FILE_SCHEMA(( 'IFC2X3' ));  
ENDSEC;
```

(2)数据段

数据段位于头段之后,是 IFC 文件的主要部分。该段以"DATA"作为开始代码,并且以"ENDSEC"作为结束代码。

2 T 梁的 IFC 数据表达研究

2.1 T 梁的位置定义

基于 Revit2016 平台创建结构项目文件,并导出 IFC 数据文件。在头段文件已建立成功的基础上,通过 EXPRESS 语言定义数据文件,以多种定义方式分别对 T 梁模型的位置信息和几何信息进行表达,相应的 IFC 格式数据内容如表 1 所示。

次关系的前提下,进而确定构件最终所在的坐标系和坐标值。三维 T 梁构件模型的位置由所在的三维参考坐标系定义,参考坐标系则由上一级参考坐标系和局部坐标系共同定义,局部坐标系对参考坐标系的原点位置进行了定义,上级考坐标系则对 Z 轴方向和 X 轴方向进行了定义,从而确定了模型构件的具体位置。

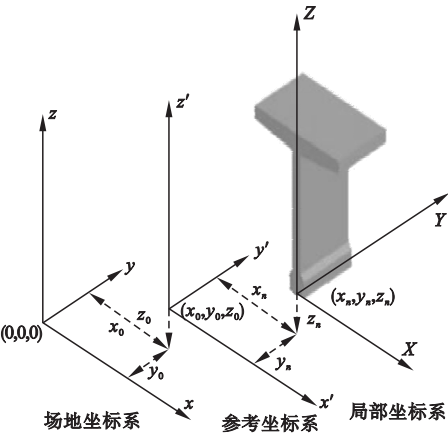


图 2 三维坐标系示意图

Fig. 2 The schematic diagram of three-dimensional coordinate system

在 IFC 中,很多桥梁工程中的特殊构件缺少信息定义和实体定义方式;此处以 IfcBuildingElementProxy 定义 T 构件模型,具体代码如下:

```
# 6 = IFCCARTESIANPOINT ( ( 0. ,  
0. ,0. ) );  
#31 = IFCAXIS2PLACEMENT3D ( #6,  
$ , $ );  
#32 = IFCLOCALPLACEMENT ( #249,  
#31 );
```

```
#104 = IFCBUILDING ( ... , #32 , ... );  
#110 = IFCAXIS2PLACEMENT3D ( #6,  
$ , $ );  
#111 = IFCLOCALPLACEMENT ( #32,  
#110 );  
# 113 = IFCBUILDINGSTOREY ( ... ,  
#111 , ... );  
#174 =  
IFCCARTESIANPOINT ( ( 1032. ,527. ,0. ) );  
#176 =  
IFCAXIS2PLACEMENT3D ( #174 , $ , $ );  
#177 =  
IFCLOCALPLACEMENT ( #111 , #176 );  
#179 =  
IFCBUILDINGELEMENTPROXY ( ... , #177 , ... );  
#248 =  
IFCAXIS2PLACEMENT3D ( #6 , $ , $ );  
#249 = IFCLOCALPLACEMENT ( $ ,  
#248 );  
#250 = IFCSITE ( ... , #249 , ... );  
上述代码对 T 梁实体模型所在坐标系  
分层依次定义,定义关系解析如图 3 所示。
```

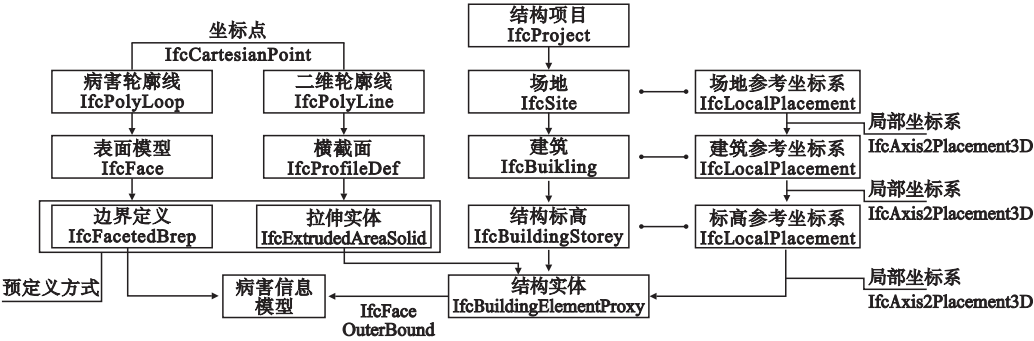


图 3 坐标属性示意图

Fig. 3 The schematic diagram of coordinate properties

2.2 T 梁的二维横截面创建

在已定义的局部坐标系里,进行 T 梁横截面的创建,采用截面定义的方法,即通过连接多个二维坐标点 (IfcCartesianPoint) 形成闭合的平面轮廓线 (IfcPolyLine),进而定义面片模型。具体描述方式代码如下:

```
#123 =  
IFCCARTESIANPOINT ( ( 2000. , - 800. ) );  
#125 =  
IFCCARTESIANPOINT ( ( 1850. , - 800. ) );  
...  
#147 = IFCPOLYLINE ( ( #123 , #125 ,
```

```
#127, #129, #131, #133, #135, #137, #139,
#141, #143, #145, #123));
#149 =
IFCARBITRARYCLOSEDPROFILEDEF
(. AREA. , 't\X2\68814E2D6881\X0\ ', #147);
```

T 梁拉伸实体模型创建信息如图 4 所示。#123 ~ #145 依次对 T 梁横截面的 12 个关键点坐标值进行定义, 并且通过 IFCPOLYLINE 命令形成轮廓线, 进而编辑 #149 代码, 形成 T 梁横截面。

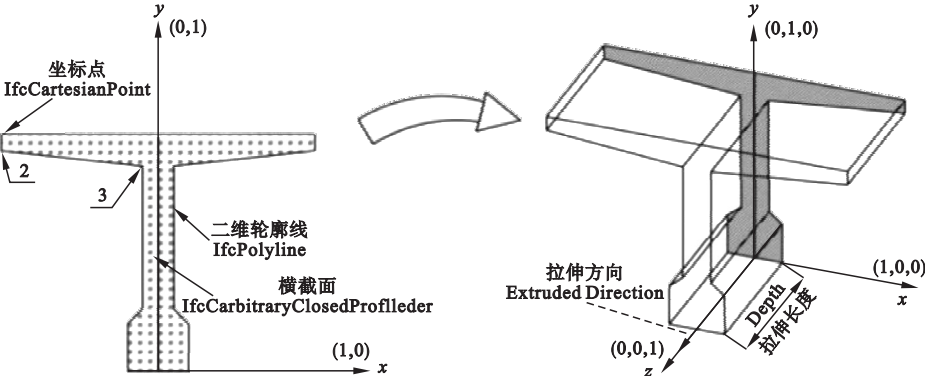


图 4 T 梁拉伸实体模型创建信息详图

Fig. 4 The detailed information of T-beam tensile solid model

2.3 T 梁的三维可视化模型创建

拉伸是多种预定义方式中的一种, 对已创建的 T 梁横截面 (#149) 赋予拉伸命令, 进而形成 T 梁实体 (IfcExtrudedAreaSolid)。拉伸命令中的参数包括拉伸方向和拉伸长度, 创建方式和参数信息如图 4 所示。具体代码如下:

```
#150 =
IFCCARTESIANPOINT(( -500. ,0. ,500. ));
#152 =
IFCAXIS2PLACEMENT3D( #150, #11, #19 );
#153 = IFCEXTRUDEDAREASOLID
( #149, #152, #19, 1000. );
#154 = IFCSHAPE REPRESENTATION
( #88, 'Body', 'SweptSolid', ( #153 ));
```

上述代码, #154 表示 T 梁的预定义类型为拉伸 (SweptSolid)。#153 定义了拉伸实体的具体信息, 其中 #149 表示拉伸横截面, #19 定义了拉伸方向为向量 (0, 0, 1) 的正方向, #152 定义了拉伸的局部坐标系, 同时也定义了拉伸长度为 1 m。数据文件在可视化平台 XbimXplorer, 校核成功, T 梁模型创建完成。

3 桥梁病害信息融合实现机制

3.1 病害信息坐标化

在桥梁安全信息的表达过程中, 采用边界定义 (BrepModel) 的方式对构件实体模型的 IFC 文件进行二次重构, 以准确的表达病害的几何信息和位置信息。笔者以裂缝作为研究对象, 对病害几何特征进行二维坐标化, 并应用 EXPRESS 语言来精确的刻画病害模型的方法来表达裂缝位置、长度和深度等相关信息。

经过对病害图片视觉角度和背景的灰度值调节, 建立 xy 平面的网格图。通过加载原图像; 将原图像在 x、y 两个方向上等间距划分网格, 具体网格尺寸, 由图片所呈现的病害尺寸和病害几何特征共同决定。裂缝二维网格离散图如图 5 所示, 以常见病害裂缝为例, 图片所呈现裂缝最小宽度为 2.3 mm, 因此二维坐标集的间隔精度精确至 1 mm。基于 IFC 的数据结构特征, 以二维网格中某一点为局部坐标原点, 建立局部二维坐标系, 确定裂缝外表面各点二维坐标点值, 进而可引用到相应实体模型的三维参考坐标系中, 从而达到确定裂缝在三维构件模型表面具体位置的目的。

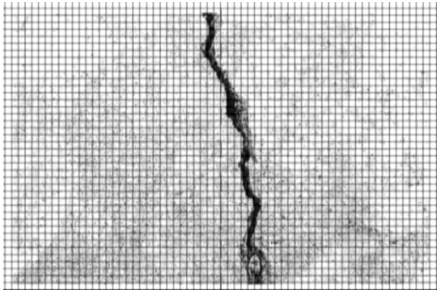


图5 裂缝二维网格离散图

体,从而创建病害实体,实现桥梁安全信息模型的创建。

$$W_s = akw_e. \tag{1}$$

$$K = d/D_x. \tag{2}$$

式中: W_s 为三维坐标点集间隔精度; W_e 为二维坐标点集间隔精度; a 为可视化参数; k 为拍摄修正系数(相机镜头平行于病害所在平面); d 为病害实际宽度值; D_x 为拍摄照片病害测量宽度值。

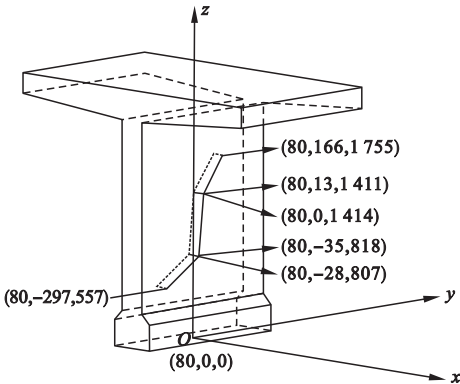


图7 裂缝坐标集分布详情图

Fig. 7 The distribution details map of coordinate set #216 ~ #226 为 T 梁腹板外表面的纵向裂缝的三维坐标点集,坐标集分布详情如图 7 所示。具体模型创建代码如下:

```
#216 =  
IFCCARTESIANPOINT((80. , -297. ,557. ));  
...  
#226 =  
IFCCARTESIANPOINT((80. , -28. ,807. ));
```

3.3 Brep 定义病害信息模型

将三维坐标点集依次连接形成病害轮廓,依据闭合轮廓的代码编号,编写病害模型对应的外表面;最终形成带病害的实体模型。

#228 表示 T 梁腹板外表面的轮廓线, #230则是由#228 形成相应的外表面边界条件;同理, #231 是由裂缝所在腹板外表面的三维坐标集#216 ~ #226 连接而成的外轮廓线, #233 则为裂缝的边界条件,通过边界条件#230 和#233 形成存在裂缝的腹板外表面。具体代码如下:

3.2 桥梁构件模型三维离散化

为了确保病害形状的真实性,笔者提出了三维网格分散法,对构件进行均匀离散化,为三维坐标值的确定提供参考依据。三维网格对混凝土或者其他构件进行离散化和均匀化的同时,为了确保病害精度要求,其间距要满足病害相应规范的尺寸要求。

为了满足规范要求和提高病害可视度,设置病害可视化参数来控制病害几何尺寸的精度和可视化程度,再通过病害实际尺寸和可视化参数计算来获取所要建立的三维坐标点集的间距尺寸,如图 6 所示。

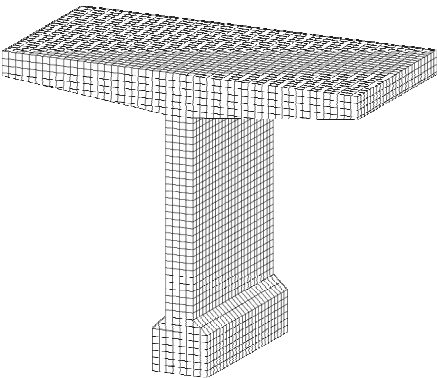


图6 T梁模型的均匀离散图

Fig. 6 The uniform discrete diagram of T-beam model

以建好的三维 T 梁构件模型为例,进行均匀离散化处理,通过二维平面坐标点集间隔距离,由式(1)可计算得到三维空间坐标点集间隔距离,通过将二维局部坐标系转化到三维参考坐标系中和坐标点细化来定位病害关键点的坐标,再由坐标点连接形成面实

#228 =
IFCPOLYLOOP((#139,#137,#162,#160));
#230 =
IFCFACEOUTERBOUND(#228, . T.);
#231 = IFCPOLYLOOP
((#216,#218,#220,#222,#224,#226));
#233 = IFCFACEBOUND(#231, . T.);
#234 = IFCFACE((#230,#233));
#256 ~ #266 为 T 梁腹板内表面的纵向
裂缝的关键三维坐标点集, #268 为裂缝所在
腹板内部的三维坐标集 #256 ~ #266 连接而
成的内轮廓线, 从而通过边界条件 #270 生成
裂缝多边形底面 #271。
#256 =
IFCCARTESIANPOINT((0. ,0. ,1414.));
...
#266 =
IFCCARTESIANPOINT((0. ,166. ,1755.));
#268 = IFCPOLYLOOP
((#256,#258,#260,#262,#264,#266));
#270 =
IFCFACEOUTERBOUND(#268, . T.);
#271 = IFCFACE((#270));
#276, #281, #286, #291, #296 和 #301 为
纵向裂缝的 6 个内侧面, 每个内侧面由 4 个
三维坐标集连接而成。以内侧面 #276 为例,
病害多维表面定义如图 8 所示。

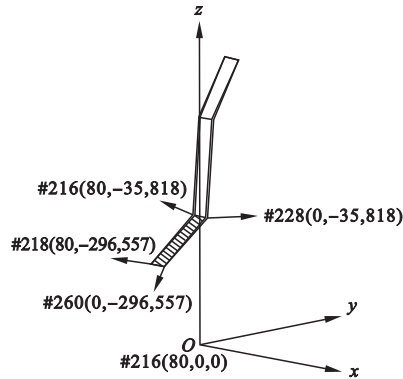


图 8 病害多维表面定义

Fig. 8 The multidimensional surface definition
of disease

#273 和 #275 分别是由四个关键坐标点
形成的轮廓线和边界条件, 进而生成内侧面
#276。具体代码如下:

#273 =
IFCPOLYLOOP((#260,#258,#218,#216));
#275 =
IFCFACEOUTERBOUND(#273, . T.);
#276 = IFCFACE((#275));
...
#298 =
IFCPOLYLOOP((#264,#262,#226,#224));
#300 =
IFCFACEOUTERBOUND(#298, . T.);
#301 = IFCFACE((#300));

通过命令 IFCCLOSEDSHELL 汇集外表
(Shell) 的集合, 包括 6 个裂缝内侧面、裂缝
底面、腹板外表面(带裂缝)以及 T 梁其他外
表面。最终形成由边界定义的实体模型
#305。具体代码如下:

303 = IFCCLOSEDSHELL ((# 150,
#179,#184,#189,#194,#199,#204,#209,
#214,#234,#239,#244,#249,#254,#271,
#276,#281,#286,#291,#296,#301));
#305 = IFCFACETEDBREP(#303);

在结束编译数据之后, 病害实体模型如
图 9 所示。将携有病害信息的 IFC 数据文件
导入到可视化平台 XbimXplorer, 实现了病害
的成功附着, 同时避免了二次重构过程中数
据丢失和数据不可读的问题。

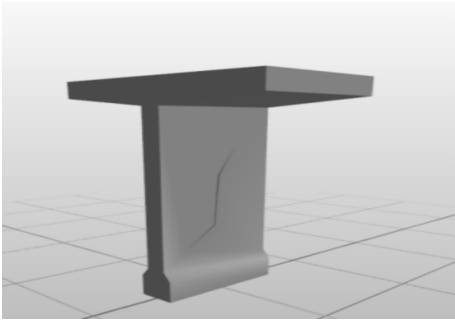


图 9 病害实体模型

Fig. 9 The entity model of disease

4 结 论

(1) 运用边界定义的方法,实现了病害数据与模型数据的二次重组,解决了病害信息无法在三维可视化构件模型中准确表达的问题。

(2) 笔者提出了三维网格分散法,创建实体构件模型的三维网,将平面二维网病害坐标点集转化为三维坐标点集,为病害表面创建提供相对位置信息。

(3) 基于 IFC 标准的通用性,总结出一种高效的建立病害信息模型的方法,提高了桥梁安全信息模型在多平台之间的信息共享效率。

参考文献

- [1] 金平. 基于我国公路桥梁发展趋势与难点的分析[J]. 科技创新与应用, 2016(11): 237.
(JIN Ping. Analysis on the development trend and difficulties of highway bridges in China [J]. Technology innovation and application, 2016(11): 237.)
- [2] 吴焜. 基于 BIM 的桥梁检测信息管理与智能评估系统[D]. 厦门: 厦门大学, 2018.
(WU Kun. Bridge inspection information management and intelligent assessment system based on BIM [D]. Xiamen: Xiamen University, 2018.)
- [3] 郝浩. 基于 BIM 的桥梁检测与安全评估系统研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2016, 4(12): 8-9.
(HAO Hao. Research on bridge detection and safety assessment system based on BIM [J]. Automation and instrumentation, 2016, 4(12): 8-9.)
- [4] CHEN Lijuan, LUO Hanbin. A BIM-based construction quality management model and its applications [J]. Automation in construction, 2014, 46(10): 64-73.
- [5] CHEN K, LU W, PENG Y, et al. Bridging BIM and building: from a literature review to an integrated conceptual framework [J]. International journal of project management, 2015, 33(6): 1405-1416.
- [6] MCGUIRE B, ATADERO R, CLVINGER C, et al. Bridge information modeling for inspection and evaluation [J]. Journal of bridge engineering, 2016, 21(4): 15-26.
- [7] JI Y, BORRMANN A, OBERGRIEBER M. Toward the exchange of parametric bridge models using a neutral data format [C]. ASCE international workshop on computing in civil engineering, 2011.
- [8] 赖华辉, 邓雪原, 刘西拉. 基于 IFC 标准的 BIM 数据共享与交换[J]. 土木工程学报, 2018, 51(4): 121-128.
(LAI Huahui, DENG Xueyuan, LIU Xila. IFC-based BIM data sharing and exchange [J]. China civil engineering journal, 2018, 51(4): 121-128.)
- [9] LAI H H, DENG X Y. Interoperability analysis of IFC-based data exchange between heterogeneous BIM software [J]. Journal of civil engineering and management, 2018, 24(6/7/8): 537.
- [10] 张其林, 舒沈睿, 满延磊. 基于工业基础类标准的参数化实体模型数据交互技术[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2021, 49(2): 195-203.
(ZHANG Qilin, SHU Shenrui, MAN Yanlei. IFC standard-based parametric data-exchange method for solid model [J]. Journal of tongji university (natural science), 2021, 49(2): 195-203.)
- [11] LAI H H, DENG X Y. Interoperability analysis of IFC-based data exchange between heterogeneous BIM software [J]. Journal of civil engineering and management, 2018, 24(7): 537-555.
- [12] MA Z, WEI Z, SONG W, et al. Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China [J]. Automation in construction, 2011, 20(12): 196.
- [13] SIAMI-IRDEMOOSA E, DINDARLOO S R, SHARIFZADEH M. Work breakdown structure (WBS) development of for underground construction [J]. Automation in construction, 2015, 58: 85-94.
- [14] COUNSELL J. Beyond level 2 BIM, web portals and collaboration tools [C]// International conference on information visualization. [S. l.]: IEEE computer society, 2012.
- [15] 李旭梅. 基于 BIM 的桥梁安全评估管理系统研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2019.
(LI Xumei. Study on bridge safety assessment management system based on BIM [D]. Chongqing: Chongqing University, 2019.)
- [16] 孙煜煌. BIM 技术在桥梁工程中的应用研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2019.
(SUN Yuhuang. Research on the application of BIM technology in bridge engineering [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2019.)
- [17] 包龙生, 张子轩, 沈志, 等. 基于北斗系统的提高桥梁变形监测精度方法研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2021, 37(4): 693-701.
(BAO Longsheng, ZHANG Zixuan, SHEN Zhi, et al. Research on improving precision of bridge deformation monitoring based on Beidou system [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2021, 37(4): 693-701.)
- [18] 马继骏, 褚豪, 孔令涛, 等. 基于 IFC 的桥梁病害信息可视化表达[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(4): 66-72.
(MA Jijun, CHU Hao, KONG Lingtao, et al. IFC-based visual expression of bridge disease information [J]. Journal of civil engineering and management, 2020, 37(4): 66-72.)

(责任编辑: 刘春光 英文审校: 范丽婷)