



面向数字孪生川藏铁路的实体要素分类与编码研究

朱庆^{1,2} 李函侃² 曾浩炜² 刘铭崑² 丁雨淋^{1,2} 任晓春¹
王玮¹ 张利国³ 罗勋³ 朱军^{1,2}

1 轨道交通工程信息化国家重点实验室(中铁一院),陕西 西安,710043

2 西南交通大学地球科学与环境工程学院,四川 成都,611756

3 川藏铁路有限公司,四川 成都,610045

摘要:川藏铁路广域范围内实体要素粒度差异大、语义繁杂,多学科多专业空间信息数据多源异构,时空基准与数据格式不统一,难以高效集成管理与融合分析。为构建川藏铁路时空信息统一表达的认知共享概念体系,提出地理、地质、设施、气象、生态、灾害、人员7大实体要素类型,并对其几何、尺度、拓扑、属性、行为特征及相互作用关系等进行刻画,将要素类型进行实体化分类,制定了川藏铁路实体要素的统一编码规则以及扩充方法,对高位分类(门类、亚门类、大类和中类)以及低位分类(一、二、三级小类)进行扩充与删减,形成共包含2个门类、6个亚门类、27个大类和87个中类的高维分类体系。在此基础上,建立川藏铁路实体要素分类体系,并对每一个实体要素进行编码,赋予其唯一的、无歧义的身份标识,实现川藏铁路多维动态时空信息与实体要素之间的精准映射,为数字孪生川藏铁路建设奠定坚实基础。

关键词:川藏铁路;分类体系;编码规则;空间信息

中图分类号:P208

文献标志码:A

川藏铁路沿线地理地质环境复杂、气候恶劣、灾害频发、生态脆弱、高寒高海拔且人迹罕至难至。信息化是川藏铁路高起点现代化建设与管理的必由之路,数字孪生则是川藏铁路信息化的重要标志,也是建设智能川藏铁路的新途径,更是其高标准高质量可持续建设与安全运营必不可少的先进模式。其中,统一表达的高精度实体要素信息是支撑物理空间与信息空间全生命周期精准映射与融合协同的关键基础^[1-2]。

随着物联网和传感器技术的迅速发展,遥感、地球物理、水文地质等多学科领域多传感器立体综合探测和动态观测技术已广泛应用于铁路信息获取^[3-4],使得跨专业领域空间数据标准的制定与信息共享成为推动空间信息技术及其应用发展的重要需求^[5]。然而,目前铁路工程项目多部门采用不同系统与工作流程来获取、处理和管理相关数据,导致其数据包含多种多样的形式,如计算机辅助设计(computer aided design,

CAD)、建筑信息模型(building information modeling, BIM)、地理信息系统(geographic information system, GIS)、工程模型、表格、数据库、文档、实时和历史性物联网数据流、图像以及点云等;同时,由于这些数据在一定时间周期内不断变化,使得在恰当的时间获得恰当的信息变得尤为困难。

另一方面,现阶段GIS和地质信息系统的研究主要针对基础地理地质要素、轨迹数据和视频流等典型传感器数据的表达。即使真三维的空间信息系统研究,仍缺乏对川藏铁路地上、下多要素耦合作用关系的考虑^[6-8],难以准确刻画川藏铁路广域范围内的深部-地表多要素以及人类活动与自然环境复杂的互馈作用。

因此,一体化表达、管理和查询检索不同来源、结构、格式和特征的空间信息数据,实现异构数据资源的有效集成^[9-11];深入剖析刻画要素之间的时空关联关系,包括行为过程、多要素相互

收稿日期:2020-01-10

项目资助:国家自然科学基金(41941019)。

第一作者:朱庆,博士,教授,博士生导师,研究方向为摄影测量、地理信息系统、虚拟地理环境。zhuq66@263.net

通讯作者:李函侃,博士生。hanz117@163.com

作用关系等,对铁路全生命周期内多粒度时空对象的动态演变/行为过程进行形式化描述,建立川藏铁路空间信息统一表达模型,是全域范围时空信息高效管理与综合处理的基础,也是构建数字孪生川藏铁路的前提条件。

本文深入分析川藏铁路沿线全空间范围内的地理、地质、设施、气象、生态、灾害、人员7大实体要素,并进行系统分类与统一编码,扩展要素的高位分类(门类、亚门类、大类和中类)以及低位分类(一、二、三级小类),建立统一编码规则以及扩充方法。特别地,进一步分析了各要素之间的时空关联关系,尤其是自然灾害多因子之间的相互作用关系,并分类描述和显式表达,为构建与数据库协同的模型库和知识库奠定基础。

1 分类与编码基本原则

为了满足川藏铁路全空间全信息从描述到诊断和预测等多层次的深度分析需求,本文设计了数据、模型和知识一体的川藏铁路实体要素统一表达概念模型,如图1所示,从几何-模型-知识及其多尺度表达和语义描述等进行精细刻画。在此基础上,以《GB/T 25529—2010地理信息分类与编码规则》作为基本框架,同时广泛收集其他相关国家标准,对川藏铁路实体要素进行系统性分类。在要素的分类与编码过程中,有相关国家标准可参考则优先引用国家标准,国家标准未涵盖的部分则依照“地理信息分类与编码规则”规定的科学性原则、系统性原则、一致性原则、可扩展性原则以及适用性原则进行删减与扩充。

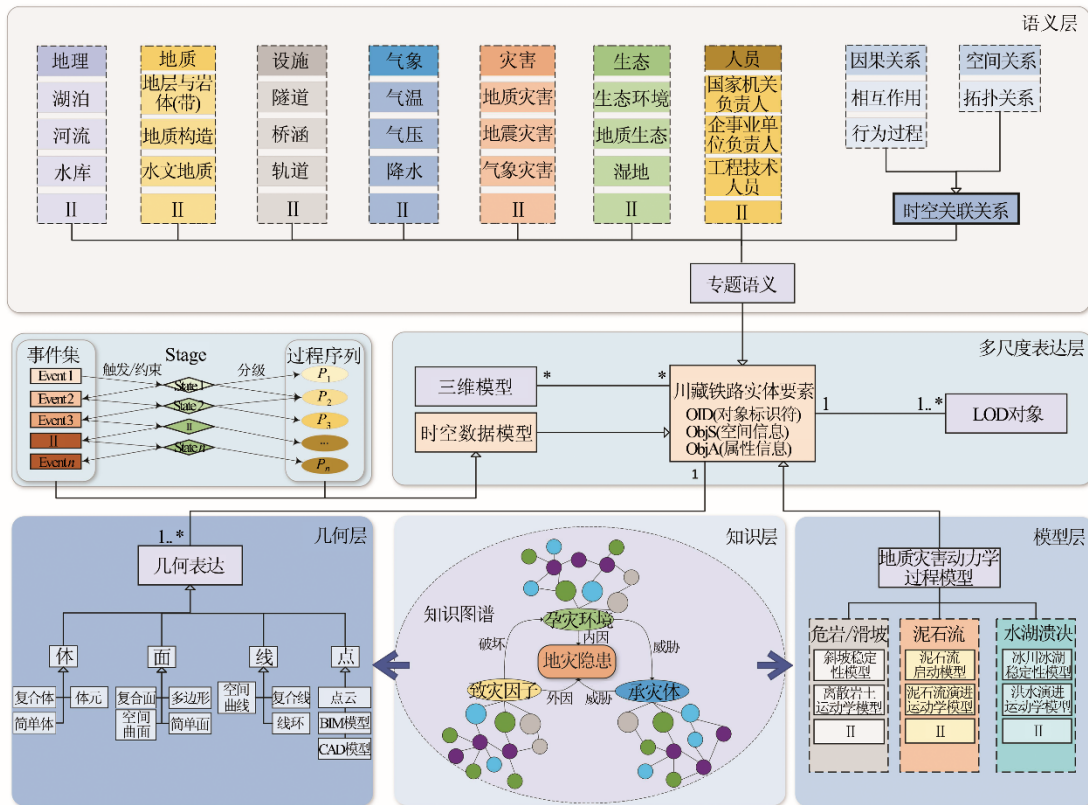


图1 川藏铁路实体要素统一表达的概念模型

Fig.1 Unified Representation Concept Model of Sichuan-Tibet Railway Entity Features

2 分类体系

根据《GB/T 25529—2010地理信息分类与编码规则》的分类体系,川藏铁路实体要素的分类采用线分类法从高位类到低位类构建分类体系,将川藏铁路6大实体要素类型(地理、地质、设施、气象、生态、灾害)分解为门类、亚门类、大类、

中类、一级小类、二级小类和三级小类(预留)7个层级。由于《GB/T 25529—2010地理信息分类与编码规则》未涵盖人员要素,因此该要素类型参考《GB/T 6565—2015职业分类与代码》分解为大类、中类、一级小类3个层级。门类包含基础要素类和专业要素类。门类根据要素类型进一步细分为基础地理要素、基础地质要素、基础设

施要素、自然资源要素、环境与生态要素以及灾害与灾难要素 6 个亚门类,最终形成的高位分类体系共包含 2 个门类、6 个亚门类、27 个大类和 87

个中类。地理、地质、设施、气象、生态、灾害要素的分类体系如图 2 所示。

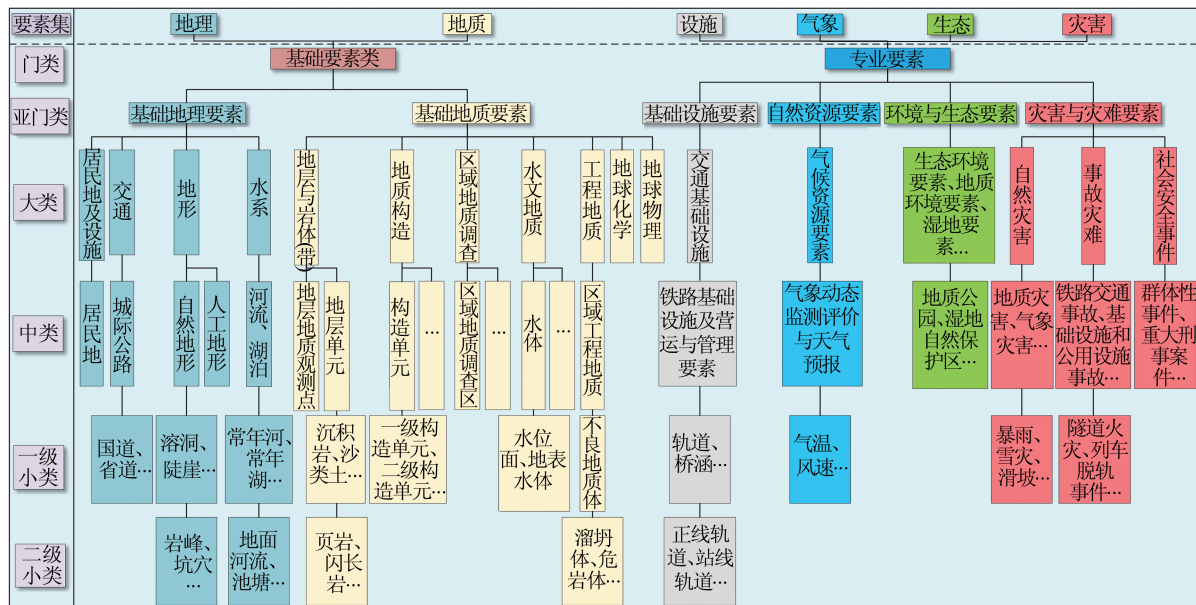


图 2 川藏铁路实体要素分类体系树

Fig.2 The Classification Tree of Sichuan-Tibet Railway Entity Features

3 统一编码规则

川藏铁路实体要素统一编码规则参考《GB/T 25529—2010 地理信息分类与编码规则》。采用 10 位定长数字码,不足 10 位用“0”补齐。代码结构如图 3 所示,门类、亚门类、大类各 1 位码位,中类 2 位,各级小类共 5 位,其中一、二级小类各 2,三级小类 1 位,按各层级的从属关系顺序编码。

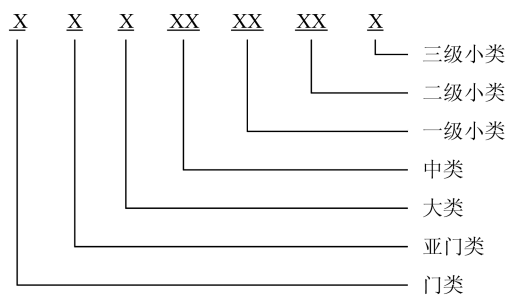


图 3 10 位定长码结构

Fig.3 10 bits Coding Structure

需要说明的是,由于《GB/T 25529—2010 地理信息分类与编码规则》中未涵盖人员要素的相关分类,因此人员要素的编码规则单独引用《GB/T 6565—2015 职业分类与代码》的规则,采用 5 位定长码,如图 4 所示。

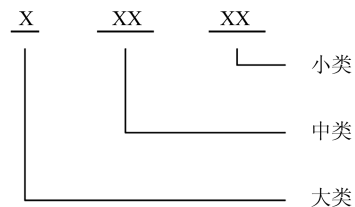


图 4 5 位定长码结构

Fig.4 5 bits Coding Structure

同时,在对川藏铁路实体要素的类别及其细分进行编码后,还需对川藏铁路广域范围内的几何对象进行编码,即对象识别码(object identifier, OID),以便于对要素实体区分幅,提高数据组织管理与索引效率。OID 编码由 4 个节点组成,各节点编码由数字 0~9 组成,共构成 4 个层级,第一层为按川藏铁路沿线车站划分的线路段落编号;第二层为门类代码;第三层为一级小类代码;第四层为对象顺序码(0~9 999 999),如图 5 所示。

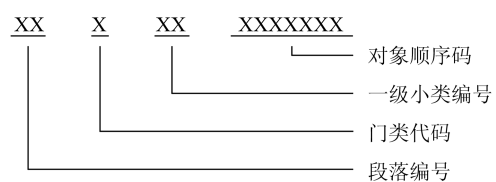


图 5 对象识别码结构

Fig.5 The Coding Structure of Object Identifier

4 实体要素的分类

4.1 地理要素的分类

川藏铁路地理实体要素的分类参考《GB/T 25529—2010 地理信息分类与编码规则》，在“基础地理要素”下展开，着重对地形以及水系要素进行了细分。地理要素，尤其是地形要素，其低位分类的细分程度对川藏铁路所处环境的描绘具有直接影响，细分程度越高，则可与精度越高的地形、工程、建筑等模型进行匹配映射。本研究对自然地形要素进行了基础性分类，如“峰、柱”“沟壑”“沙地”“雪山”等，并预留了扩展码位，可在实际应用中根据实际模型数据的类型与细节层次进行扩展与进一步细分。

对水系要素的分类则需满足对整个水生态系统的刻画，大到河流、湖泊，小到沟渠、池塘，同时将水库等水利设施纳入分类体系中。此外，使用了“居民地及设施”与“交通”两个大类，下设中类“居民地”和“城际公路”。“城际公路”包含各级道路，如国道、省道等，将川藏铁路广域范围内其他交通基础设施及居民地等要素纳入地理要素分类，地理要素整体分类情况如图6所示。

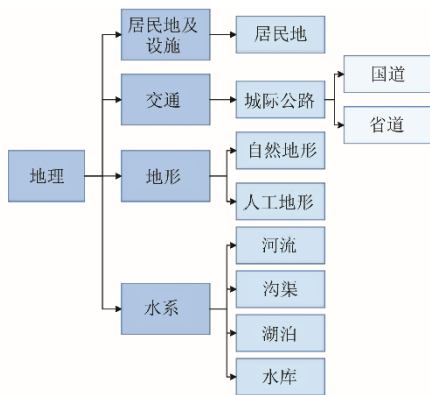


图6 川藏铁路地理要素分类

Fig.6 Classification of Geographical Features

4.2 地质要素的分类

川藏铁路地质实体要素的分类参考《GB/T 25529—2010 地理信息分类与编码规则》。同时考虑川藏铁路全生命周期内从设计施工到运营管理的各阶段应用需求，在该分类的中类“地层单元”下增设岩层、土层两个一级小类，包含沉积岩、变质岩、岩浆岩等岩性要素以及松软土、多年冻土等土层类型。在“区域工程地质要素”下设“不良地质体”，包含不良地质体勘察成果，如溜坍体、危岩体等。地质要素分类情况如图7所示。

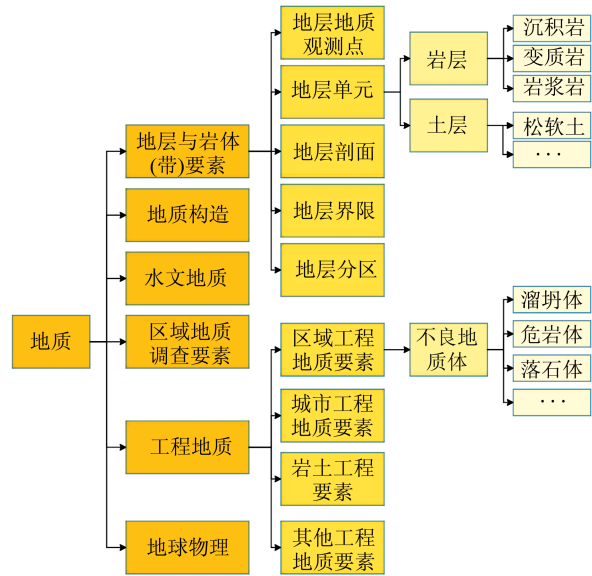


图7 川藏铁路地质要素分类

Fig.7 Classification of Geological Features

4.3 铁路基础设施要素的分类

川藏铁路基础设施实体要素的分类参考《GB/T 37120—2018 轨道交通地理信息数据规范》与《Q/CR 520—2016 铁路地理信息分类与编码》。将设施要素设置于“专业要素类(门类)”-“基础设施要素(亚门类)”下，在该节点下进一步划分出“交通基础设施(大类)”和“铁路基础设施及营运与管理要素(中类)”，由中类细分出一级小类(轨道、路基、桥涵等)和二级小类(正线轨道、站线轨道、人行桥、铁路桥等)。需要注意的是，该规则对设施要素细节层次不进行分类，根据《GB/T 37120—2018 轨道交通地理信息数据规范》对三维模型与细节层次的分类，采用最高精度LOD3的模型细节层次(表1)。如对“桥涵”要素进行细分，仅对其属性类别进行区分(人行桥、铁路桥等)，而不对其组最小组成单元进行细分(支座、墩台等)。

铁路基础设施要素的分类情况如图8所示。

4.4 气象要素的分类

川藏铁路气象实体要素的分类参考《GB/T 25529—2010 地理信息分类与编码规则》，在“专业要素类(门类)”的“自然资源要素(亚门类)”下展开。在“气候资源要素(大类)”下设置“气象动态监测评价与天气预报(中类)”。在中类下扩展了基础气象要素“气温”“气压”“风速”“风向”“降水”“能见度”，气象要素的分类情况见图9。

4.5 生态要素的分类

川藏铁路雅安至林芝段位于青藏高原东南部。青藏高原作为我国湿地最为集中的地区之

一,包括长江源区、黄河源区以及若尔盖地区等典型高寒湿地分布区域^[12],属重要生态系统要素。该地区湿地分布密集,其湿地生态系统较少受到人为干扰且敏感性高^[13],因此,在川藏铁路生态要素分类中,参考《GB/T 25529—2010 地理

信息分类与编码规则》,设置“湿地要素”大类并下设“湿地自然保护区”和“湿地保护工程设施”两个中类,并具有可扩展性。同时还对森林资源、生态环境等要素进行了分类,如图 10 所示。

表 1 模型分类与细节层次

Tab.1 Classification of Models and Level of Details

模型类型	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
地形模型	DEM	DEM+DOM	高精度 DEM+高精度 DOM	精细模型
工程要素模型	线路中心线	概略模型	简化模型	精细模型
建筑模型	体块模型	基础模型	标准模型	精细模型
其他模型	通用符号	基础模型	标准模型	精细模型

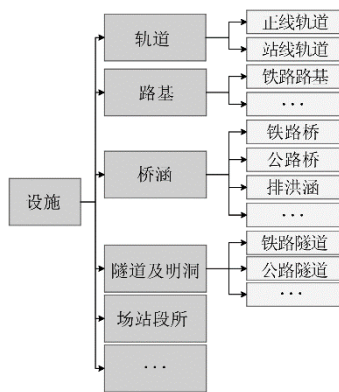


图 8 川藏铁路铁路基础设施要素分类
Fig.8 Classification of Facility Features

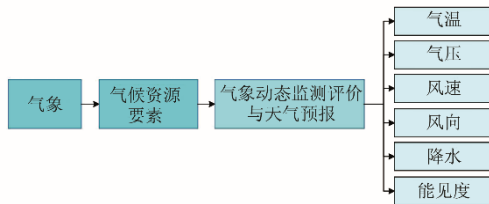


图 9 川藏铁路气象要素分类
Fig.9 Classification of Meteorological Features

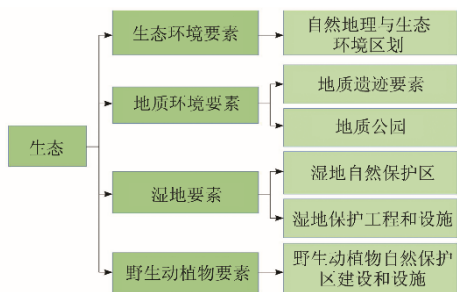


图 10 川藏铁路生态要素分类
Fig.10 Classification of Ecological Features

4.6 灾害要素的分类

川藏铁路灾害实体要素的分类参考《GB/T 25529—2010 地理信息分类与编码规则》和《GB/T

35561—2017 突发事件分类与编码》。灾害要素在“专业要素类(门类)”的“灾害与灾难要素(亚门类)”下展开。大类到一级小类的分类参考“突发事件分类与编码”。在气象灾害分类中纳入了“暴雨”“大风”“霜冻”等气象要素。同时,针对川藏铁路地质灾害频发,地质灾害种类繁多的情况,着重对“地质灾害”要素进行扩充,增加了如“溜坍”“岩爆”“软岩大变形”“涌水、突泥”等灾害要素,如图 11 所示,以应对地质灾害识别和预测预警的迫切需求。

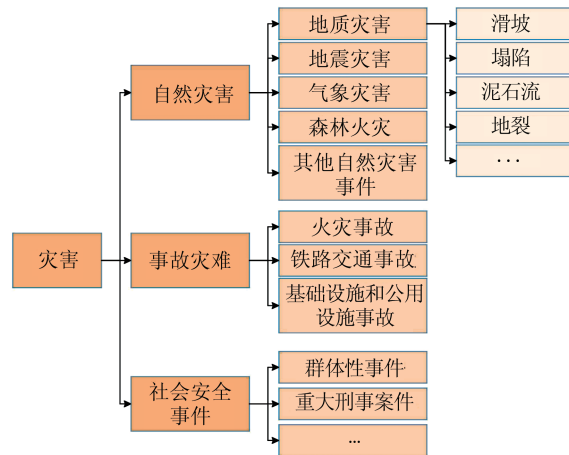


图 11 川藏铁路灾害要素分类
Fig.11 Classification of Disaster Features

4.7 人员要素的分类

川藏铁路人员要素的分类参考《GB/T 6565—2015 职业分类与代码》,将职业划分为 5 个大类,包括:①党的机关、国家机关、群众团体和社会;组织、企事业单位负责人;②专业技术人员;③办事人员和有关人员;④社会生产服务和生活服务辅助人员;⑤生产制造及有关人员。

如图 12 所示,人员的分类以国家机关、企事业单位作为重点,突出各职能部门决策管理人

员。在此基础上,增加了“其他人员”与“人员感知信息”两个大类。“其他人员”下设中类“旅客”。“人员感知信息”下设“时空信息”和“健康”两个中类,分别包括位置、轨迹、体温、血压、心率以及血氧等空间位置与健康信息,用于掌握施工建设/运维人员的位置与健康状况。

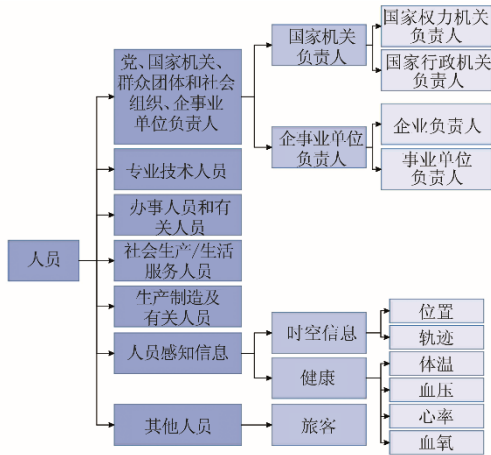


图12 川藏铁路人员要素分类

Fig.12 Classification of Personnel Features

5 要素的时空关联关系

由于川藏铁路灾害场景复杂,面临滑坡、危岩、泥石流、软岩大变形、活动断裂、高烈度地震、冰湖溃决、暴雨以及雪崩等自然灾害的威胁,各类自然灾害内在联系复杂。关联关系能够描述其他6个大类之间时空关联关系,其作用是有序地组织川藏铁路空间信息数据,在各类信息资源之间形成关联关系网络,充分挖掘数据特性及其相互关系,便于信息资源的高效利用与共享。因此,针对川藏铁路灾害风险预测、预警以及快速应急响应、决策等实际需求,该分类着重对孕灾环境(地理、地质环境)、诱发因子(地质时空演变、气象、人类工程活动等)以及承灾体(设施、生态)之间的三元关系进行描述,剖析川藏铁路广域范围各类自然灾害发育全过程并揭示其在不同发展阶段隐含的关联关系^[14]。川藏铁路时空关联关系首先划分为“因果关系”和“空间关系”两个平行关系大类。在因果关系中细分出“相互作用关系”以及“行为过程”两个关系小类,在空间关系中细分出“拓扑关系”,如表2所示。

表2 时空关联关系类型

Tab.2 Classification of Spatiotemporal Relationship

时空关联关系	细分关系	关联对象	关系描述
因果关系	相互作用关系	地理、地质、灾害	关联海量灾害风险信息,揭示相关要素之间的互馈机制与逻辑关系,是灾害预测/预警以及灾害链分析的基础。
	行为过程	地理、地质、设施、气象、生态	描述要素在自然、人为因素的影响下,或在其自身的时空演化过程中发生的性质、形态变化及其可能带来的影响。
空间关系	拓扑关系	地理、地质、设施	描述相关要素之间的空间位置关系,可用于分析各类要素在特定空间位置条件下可能产生的如自然灾害等结果。

5.1 因果关系

川藏铁路实体要素之间的因果关系包含“相互作用关系”和“行为过程”两个子关系。相互作用关系包含地理、地质和灾害要素,为三元互馈机制。地理与灾害要素关系密切,山地地区特定的地形地貌通常有较高概率导致山地灾害的发生,如具有山地沟谷地貌特征的地区由于岩土堆积体饱水、运移和堆积现象易引发泥石流。地质要素,如山体地层土壤类型、岩性脆弱性以及地质构造中是否有断层与破碎带以及山体坡度则与滑坡灾害有强相关性^[15-17]。原生灾害可以作用于地理、地质要素,进而形成次生灾害,如川藏铁路途经的青藏高原地区冰湖分布广泛,在发生强降雨、冰崩雪崩等灾害时易造成冰湖水位面急剧上升、涌浪冲刷等现象,从而导致冰湖溃决的发

生^[18-19];地震灾害则可能影响岩土体结构,产生新的断层、破碎带,形成新的滑坡灾害隐患^[20]。

行为过程用于描述地理、地质、设施、生态要素随着时间推移而产生的性状变化,如地理、地质、生态要素(地形地貌)在外部自然或人为因素下产生的形态、性质变化;设施要素在其生命周期中的自然老化现象(管线等)。这种变化可能与自然灾害的演化存在着较强的关联关系,如山体边坡岩土体在长期物理、化学风化作用下产生的形变现象,是崩塌、滑坡的诱发因素;自然沟谷受河流侵蚀、冲刷后,易导致滑坡^[15]。人类工程活动,尤其是线性基础设施工程(川藏铁路),可对地理、地质环境产生深远影响。如在桥隧、轨道的修建过程中,对山体坡体进行切削而改变坡体原有的受力结构,超载堆积工程废弃物(土方、

石方等)改变原有地形地貌;山区隧道挖掘施工对岩土体造成扰动,改变地层应力状态,导致应力重新分布,造成隧道开口周围的地面变形,还可能重新激活或加速边坡变形^[21-23]。坡体受力结构改变、土方石方过量堆积、地面形变以及边坡变形极易导致地面滑坡落石、地面沉降等灾害的发生。人类工程活动可能影响生态要素,如高原冻土区线性工程的建设对土层性质的改变(冻土退化,土壤含水量失衡等),进而影响植被生长环境,造成景观碎片化等生态问题^[24]。在行为过程中还包括气象要素可能对地理、地质要素产生的影响,川藏铁路途经的青藏高原属气候敏感区,对气象条件的变化极其敏感,如气温的上升会导致高原冰川冻融现象,有引发冰湖溃决、崩塌滑坡的可能性。

5.3 空间关系

川藏铁路实体要素之间的空间关系包含“拓扑关系”,用于描述地理、地质以及设施要素之间的空间位置关系,包含体、面、线、点等几何对象之间的空间关系,如地形地貌、地质体、桥隧/铁路/车站等设施之间的包含性、临接性、连接性等空间联系。特定要素之间的空间位置关系与自然灾害的发生有着较强的关联性,如河流的剥蚀下切(下蚀、侧蚀),导致河谷变宽、河岸退缩,致使坡体失去支撑而向前滑移,形成滑坡;地表冰雪堆积层的冻融现象,其产生的融水可导致斜坡岩土层软化形变,进而诱发滑坡^[25]。因此,山体斜坡与河流、冰雪覆盖层与土层、岩层之间的临接性关系则与滑坡灾害有着较为突出的关联关系。

6 结语

本文针对川藏铁路海量空间信息数据多源异构、缺乏统一规范、共享性差,难以集成分析等问题,结合川藏铁路勘测设计、施工建设和运行管理全生命周期应用的实际情况,研究川藏铁路实体要素分类与编码,建立统一的多粒度实体要素分类编码体系,显式表达了川藏铁路7大实体要素之间的主要时空关联关系,可为优化设计、健康诊断、监测预警、风险定量评估和应急处置等提供智能化的数据-模型-知识服务。在此基础上,进一步可构建数字孪生川藏铁路时空信息平台,实现动态观测数据驱动的实时解释、诊断、预测与处方等空间思维功能。

参 考 文 献

- [1] Zhou Yu, Liu Chuncheng. The Logic and Innovation of the Construction of Digital Twin City in Xiong'an New District [J]. *Urban Development Studies*, 2018, 25(10): 60-67(周瑜,刘春城.雄安新区建设数字孪生城市的逻辑与创新[J].城市发展研究,2018,25(10):60-67)
- [2] Tao F, Sui F, Liu A, et al. Digital Twin-driven Product Design Framework [J]. *International Journal of Production Research*, 2019, 57(12): 3 935-3 953
- [3] Lee J, Kang M. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities [J]. *Big Data Research*, 2015, 2(2):74-81
- [4] Zhu Qing, Li Maosu, Ding Yulin. Multi-level Semantic Retrieval Method for Landslide Disaster Data [J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2020, 55(3): 467-475(朱庆,李茂粟,丁雨淋.滑坡灾情数据多层次语义检索方法[J].西南交通大学学报,2020,55(3):467-475)
- [5] Isikdag U, Zlatanova S. Towards Defining a Framework for Automatic Generation of Buildings in CityGML Using Building Information Models [M]// Lee J, Zlatanova S. 3D Geo-Information Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009:79-96
- [6] Xie Xiao, Zhu Qing, Zhang Yeting, et al. Hierarchical Semantic Model of Geovideo [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2015, 44(5): 555-562(谢潇,朱庆,张叶廷,等.多层次地理视频语义模型[J].测绘学报,2015,44(5):555-562)
- [7] Zhu Qing, Tan Xiao, Xie Linfu, et al. The Unified Modeling of Airport Environmental Threat Situation Information in Semantic Space and Its Application in Navigation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(3): 341-346(朱庆,谭笑,谢林甫,等.机场环境威胁态势信息在语义空间的统一建模及其导航应用[J].武汉大学学报·信息科学版,2015,40(3):341-346)
- [8] Zhu Qing, Cao Zhenyu, Lin Hui, et al. Study on Several Key Issues of Emergency Support System of Mapping and Surveying [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(5): 551-555(朱庆,曹振宇,林珏,等.应急测绘保障体系若干关键问题研究[J].武汉大学学报·信息科学版,2014,39(5):551-555)
- [9] Lenzerini M. Data Intergration: A Theoretical Perspective [C]. The 21st ACM Sigmod-Sigact-Sigart Symposium on Principles of Database Systems,

- Madison, 2002
- [10] Chen Hong, Cao Jian, Liang Min. Data Integration Method and Application Under Distributed Heterogeneous Environment [J]. *Computer Engineering*, 2005, 31(5): 115-117(陈宏, 曹健, 梁旻. 分布异构环境下的数据集成方法及应用[J]. 计算机工程, 2005, 31(5): 115-117)
- [11] Zhu Qing, Zhang Junxiao, Ding Yulin, et al. Semantics-constrained Advantageous Information Selection of Multimodal Spatiotemporal Data for Landslide Disaster Assessment [J]. *International Journal of Geo-Information*, 2019, 8(2): 68-86
- [12] Wang Genxu, Li Yuanshou, Wang Yibo, et al. Dynamic Changes of Typical Alpine Wetland System in the Last 40 Years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(5): 481-491(王根绪, 李元寿, 王一博, 等. 近40年来青藏高原典型高寒湿地系统的动态变化[J]. 地理学报, 2007, 62(5): 481-491)
- [13] Lang Qin, Niu Zhenguo, Hong Xiaoqi, et al. Remote Sensing Monitoring and Change Analysis of Wetlands on Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2019, DOI: 10.13203/j.whugis20180277(郎芹, 牛振国, 洪孝琪, 等. 青藏高原湿地遥感监测与变化分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2019, DOI: 10.13203/j.whugis20180277)
- [14] Zhu Qing, Zeng Haowei, Ding Yulin, et al. A Review of Major Potential Landslide Hazards Analysis [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2019, 48(12): 1 551-1 561(朱庆, 曾浩炜, 丁雨淋, 等. 重大滑坡隐患分析方法综述[J]. 测绘学报, 2019, 48(12): 1 551-1 561)
- [15] Liu Chuazheng. Genetic Types of Landslide and Debris Flow Disaster in China [J]. *Geological Review*, 2014, 60(4): 858-868(刘传正. 中国崩塌滑坡泥石流灾害成因类型[J]. 地质评论, 2014, 60(4): 858-868)
- [16] Liu Chuazheng. Analysis Methods on the Risk Identification of Landslide Disasters [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2019, 27(1): 88-97(刘传正. 崩塌滑坡灾害风险识别方法初步研究[J]. 工程地质学报, 2019, 27(1): 88-97)
- [17] Du Jun, Ding Wenfeng, Fan Zhongjie, et al. The Relationship Between Landslide Disaster and Main Natural Factors in Sichuan-Hubei Fold Mountains—A Case Study of Xiangxi River Basin [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018, 38(6): 47-53(杜俊, 丁文峰, 范仲杰, 等. 川鄂褶皱山地溪洪-滑坡灾害与主要自然因子的关系——以香溪河流域为例[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 47-53)
- [18] Liu Jiankang, Zhou Luxu. Research Progress of Glacial Lake Outburst at Domestic and Abroad [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018, 45(8): 44-50(刘建康, 周路旭. 国内外冰碛湖溃决研究进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(8): 44-50)
- [19] Balmforth N J, Hardenberg J V, Provenzale A, et al. Dam Breaking by Wave-induced Erosional Incision [J]. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2008, 113(F1): 341-356
- [20] Fan Xuanmei, Scaringi G, Korup O, et al. Earthquake-Induced Chains of Geologic Hazards: Patterns, Mechanisms, and Impacts [J]. *Reviews of Geophysics*, 2019, DOI: 10.1029/2018G000626
- [21] Wang Tao, Wu Shuren, Shi Jusong, et al. A Comparative Study of Typical Engineering Landslide Disasters both in China and Abroad [J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(12): 1 881-1 899(王涛, 吴树仁, 石菊松, 等. 国内外典型工程滑坡灾害比较[J]. 地质通报, 2013, 32(12): 1 881-1 899)
- [22] Gattinoni P, Pizzarotti E M, Scesi L. Geological-Problems in Underground Works Design and Construction [M]// *Engineering Geology for Underground Works*. Dordrecht: Springer, 2014: 1-29
- [23] Gattinoni P, Consonni M, Francani V, et al. Tunneling in Landslide Areas Connected to Deep Seated Gravitational Deformations: An Example in Central Alps (Northern Italy) [J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2019, 93: 103 100
- [24] Liu Yali, Wang Junfeng, Wu Qingbai. The Linear Engineering Impact on the Eco-environment in Permafrost Regions: Research Status and Prospect [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2018, 40(4): 728-737(刘亚丽, 王俊峰, 吴青柏. 多年冻土区线性工程的生态环境影响研究现状与展望[J]. 冰川冻土, 2018, 40(4): 728-737)
- [25] Zhang Maosheng, Li Tonglu. Triggering Factors and Forming Mechanism of Loess Landslides [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2011, 19(4): 530-540(张茂省, 李同录. 黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 530-540)

Classification and Coding of Entity Features for Digital Twin Sichuan-Tibet Railway

ZHU Qing^{1,2} LI Hankan² ZENG Haowei² LIU Mingwei² DING Yulin^{1,2}
REN Xiaochun¹ WANG Wei¹ ZHANG Ligu³ LUO Xun³ ZHU Jun^{1,2}

¹ China Railway First Survey and Design Institute Group Co. Ltd., Xi'an 710043, China

² Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China

³ Sichuan-Tibet Railway Co. Ltd., Chengdu 610045, China

Abstract: The heterogeneous multidisciplinary spatial information data with multi-granularity and sophisticated semantics of features in the wide area of Sichuan-Tibet railway, which leads to the inconsistency of data content/format and spatio-temporal datum. Therefore, it is difficult to integrate/analyse relevant data efficiently. In order to establish the concept system of cognitive sharing for the unified expression of spatial information of Sichuan-Tibet railway, firstly, this article has studied and depicted the geometry, scale, topology, attribute, behavior characteristics and interactive relationship of different feature types such as “geography” “geology” “facilities” “meteorology” “ecology” “disaster” and “personnel”; secondly, according to the framework of relevant national standard classification and coding system, the study has regulated the unified coding rules and expanding methods, conducted substantialization classification upon various feature types into the minimum management unit. Based on the rules, the classification in higher level (primary category, subcategory, large class and medium class) and the classification in lower level (level I, II and III subclasses) was expanded and reduced according to the application requirements of Sichuan-Tibet railway respectively, leaving 2 primary categories, 6 subcategories, 27 large classes and 87 medium classes in total. On this basis, each feature entity in the classification system was coded and given a unique and unambiguous identity, so as to implement the precise mapping between three-dimensional spatial information and feature entities and provide support for the construction of Sichuan-Tibet railway.

Key words: Sichuan-Tibet railway; classification system; coding rule; spatial information

First author: ZHU Qing, PhD, professor, research interests are digital photogrammetry, GIS and VGE. E-mail: zhuq66@263.net

Corresponding author: LI Hankan, PhD candidate. E-mail: hanz117@163.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China (41941019).

引文格式: ZHU Qing, LI Hankan, ZENG Haowei, et al. Classification and Coding of Entity Features for Digital Twin Sichuan-Tibet Railway [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(9): 1319-1327. DOI: 10.13203/j.whugis20200010 (朱庆, 李函侃, 曾浩炜, 等. 面向数字孪生川藏铁路的实体要素分类与编码研究 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(9): 1319-1327. DOI: 10.13203/j.whugis20200010)