

煤矿采空区岩土工程勘察数据库设计与应用

韦罗沁浩¹, 赵伏军¹, 刘朝跃², 林剑^{3*}

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 500110;

3. 湖南科技大学 计算机科学与工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:采空区岩土勘察信息数字化是矿山勘察工作智能化的重要环节之一,设计一个满足日常勘察工作各环节需求及利于工程勘察评价的数据库对于其信息管理具有重要意义.依据煤矿采空区岩土工程勘察相关的国家规范,分析了数据库设计需求,将煤矿采空区岩土工程勘察涉及的实体划分为勘察目标实体、勘察方法实体和属性实体,建立了勘察目标实体之间的实体-关系(E-R)模型.对勘察方法实体和属性实体进行分类,“勘察”关联实体构建了数据库概念模型.在此基础上,实现了数据库逻辑设计和物理设计,并以此数据库服务于系统功能.

关键词:煤矿采空区;岩土工程勘察;实体-关系模型;数据库设计

中图分类号:TD167

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2020)03-0065-08

Design of Geotechnical Engineering Survey Database in Coal Mine Goaf

Wei Luo Qin hao¹, Zhao Fu jun¹, Liu Chao yue², Lin Jian³

(1. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Guizhou Provincial Transportation Planning, Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Guiyang 500110, China;

3. School of Computer Science and Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Digitization of geotechnical survey information in the coal mine goaf is one of the important links in the intelligentization of mine survey work, designing a database that meets the needs of daily survey work and favorable for engineering investigation and evaluation is of great significance for its information management. According to the relevant national standards of the geotechnical engineering investigation in the goaf of coal mine, the database design requirements are analyzed. The entities involved in the geotechnical engineering investigation in the goaf of coal mine are divided into the investigation target entity, the investigation method entity and the attribute entity. The entity relationship (E-R) model between the investigation target entities is established. The survey method entities and attribute entities are classified, and the database concept model is constructed for the “survey” associated entities. On this basis, the database logical design and physical design are completed, and the database serves the system functions.

Keywords: coal mine goaf; geotechnical engineering survey; entity-relationship model; database design

煤矿采空区岩土工程勘察是岩土工程地质勘察的组成部分,是对煤矿采空区工程建设场地的工程地质勘察工作的细化,其目的是查明采空区特征,分析评价采空区场地的稳定性,得出采空区场地的工程建设适宜性,以预防和避免煤矿采空区对工程建设的影响.工程勘察工作应严格按照《岩土工程勘察规范》^[1]和《煤矿采空区岩土工程勘察规范》^[2]执行.煤矿采空区岩土工程勘察数据库设计与开发是提高煤

矿采空区勘察工作智能化水平的基础性工作。

数据库设计的依据在于数据库应用领域的需求,不同应用领域对于同一客观实体信息表达的数据粒度和数据内容不同,目前尚未有专门针对煤矿采空区岩土工程勘察的数据库,只是有关采空区信息管理系统^[3]以及采空区三维可视化、综合勘探三维信息管理^[4-6]方面涉及采空区数据组织。在采空区信息管理方面有熊立新^[7]通过采空区、围岩、用户、矿山等数据表建立采空区信息网络管理系统;岳康^[8]使用SSH2框架搭建采空区管理系统,其中有矿山、采空区、采空区群等数据表;秦亚光^[9]等建立的采空区可视化集成系统中包含矿山、采空区、围岩等数据表;王海军^[10]利用勘探成果建立煤矿采空区三维地质体模型,实现多级用户信息共享和数据交互的一体化监管。上述管理信息系统是为信息管理服务的,不同的管理部门的侧重面不同,所建立的数据表各不相同,三维可视化系统^[11-13]侧重需要可视化的客观实体的几何属性,以便三维展示。煤矿采空区岩土工程勘察数据库是为工程作业服务的,其服务对象和目标均有较大的差别。在岩土工程地质勘察方面,于妍宁^[14]等设计了岩土工程勘察试验检测数据库;张峰^[15]实现了多源异构勘察数据的工程勘察信息系统设计;房师涛^[16]等实现深基坑勘察、设计、施工监测数据库;马青莲^[17]、杨映红^[18]等基于GIS技术构建了通用岩土工程勘察数据库。上述岩土勘察部分数据组织或完整的勘察数据库只能保存勘察测试的最终结果数据,不能体现数据的获取阶段及数据的获取方法,而《岩土工程勘察规范》和《煤矿采空区岩土工程勘察规范》中对煤矿采空区工程勘察的勘察阶段及所处阶段采用的勘察方法有明确的规定,因此,这类数据库多用于岩土工程勘察数据管理,不能满足煤矿采空区岩土工程勘察各环节的需求。

1 需求分析

《岩土工程勘察规范》制定了工程建设各勘察阶段所需查明工程地质条件、不良地质体和地质灾害的规范,煤矿采空区属于其中的不良地质体。《煤矿采空区岩土工程勘察规范》中的勘察工作对象包括采空区相关对象和工程类型相关对象两种类型。煤矿采空区有关的勘察对象为煤层上覆岩层、井巷、地下水、有害气体、地表盆地、地表裂缝、地表塌陷、地表台阶和边坡;与工程类型相关的对象需满足《岩土工程勘察规范》的要求,如地基土、区域地质构造、其他各类不良地质体等。

勘察目标对象如图1所示。

《煤矿采空区岩土工程勘察规范》对各类勘察对象的勘察目标属性的数据类型及粒度有明确的规定。如对于煤矿开采要求查明采空区开采历史、现状、规划,以及开采方法、范围和深度;查明地表移动盆地变形特征、分布;查明采空区上覆岩层分布、垮落类型、发育规律、岩性组合及其稳定性。对于工程类型相关对象需按《岩土工程勘察规范》的要求,如查明岩石的地质年代、风化程度、岩石质量指标等,如果为沉积岩还包括沉积物的颗粒大小、形状、胶结物成分及胶结程度,如沙土的属性包括颜色、矿物组成、湿度、密度等。

《煤矿采空区岩土工程勘察规范》对各阶段所采用的勘察方法及方法的工作程度有明确的规定,如初勘阶段拟建场地一定范围内,物探勘测线不宜少于2条,应选用2种物探方法且至少选择一种物探方法覆盖全部工地场地,物探勘察点、线距离需由煤矿采厚比、回填率等要素综合确定,解释深度应达到采空区底板以下10~15m;详细勘察阶段以工程钻探为主,辅助以必要的物探、变形观测、野外调绘等工作,钻孔的深度应达到对工程建设有影响的采空区底板3m以下的位置,需查明采空区上覆岩、土体地层结构及其岩性,实验测试地基岩土力学指标,分析计算地基基础设计参数等。

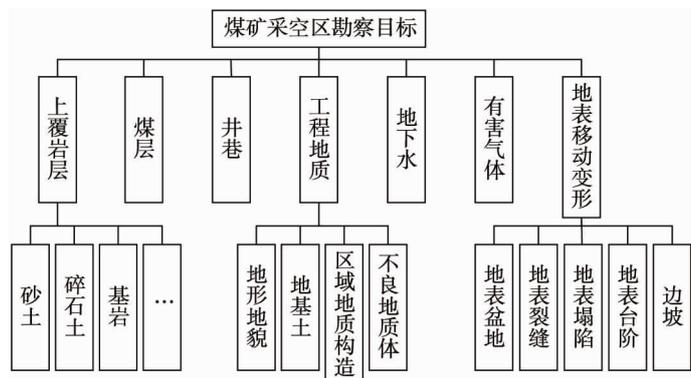


图1 煤矿采空区勘察目标

数据处理需求部分则是以《煤矿采空区岩土工程勘察规范》和《煤矿采空区岩土工程勘察规范》为理论基础,根据采空区岩土工程地质勘察实际野外作业后,工作人员对其勘察信息审核、分析评价进而得到相应的工程地质评价报告的过程,以其中数据为主线绘制的数据流程图如图2所示。

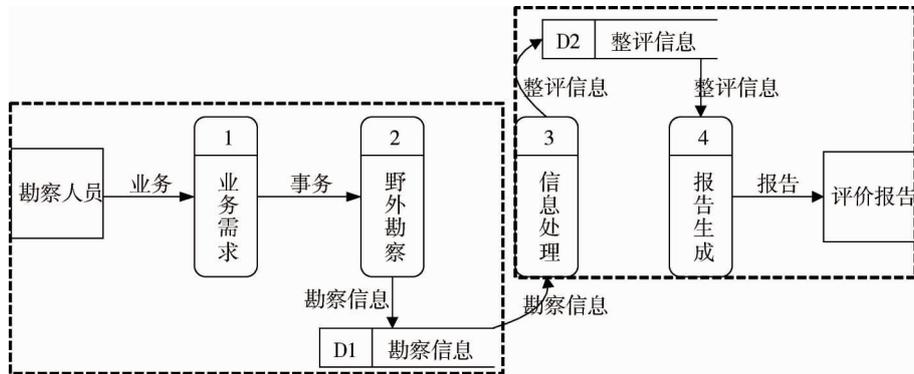


图2 主要业务数据流程

在整个业务流程中,大批量处理数据主要集中于野外勘察的地理坐标属性输入部分、信息整评及报告生成部分,在这2个部分涉及大量的I/O,所以数据库性能需求则是以处理并发为主,提高存储和检索速度是重点部分。

综合规范的需求及高效存取利用数据^[19]的要求,煤矿采空区工程勘察数据库应满足如下几点:

- 1) 能提供煤矿采空区野外勘察数据采集所需的各类数据的存储字段(数据字典),以满足工程勘察记录的需求;
- 2) 能区分不同勘察阶段、不同勘察方法所获取的相同属性数据,能反映勘察的动态过程;
- 3) 数据的粒度有利于计算机自动在工程勘察评价与资料整理方面提取有效数据,即分析评价所需的勘察目标要素在数据库中应为独立字段,无需对字段进行要素提取。

2 数据库设计

2.1 概念设计

实体是表示数据组织所期望维护的数据,是客观存在的可以相互区分的客观事物、概念、抽象事件或联系.属性是实体所具有的一个性质或特性.根据需求分析,煤矿采空区岩土工程勘察实体可分为勘察目标实体、勘察方法实体和目标属性实体。

其中在需求分析阶段已经列举出规范中的勘察目标,在概念设计阶段则是分析目标实体之间的关系,煤矿采空区勘察目标 E-R 模型如图3。

图3反映的煤矿采空区勘察目标之间的关系为

- 1) 采空区矿区至少会受到一种或多种类型的工程地质条件影响,一种类型的工程地质至少会影响一个或多个采空区矿区;

- 2) 采空区矿区可能形成多种类型的地表移动变形或者没有形成,一种类型的地表移动变形也能存在于多个采空区矿区;

- 3) 采空区矿区存在一条或多条井巷,一条井巷只能存在属于当前采空区矿区,采空区矿区可能存在多种地下水和有害气体或没有,一种地下水和一种有害气体可能存在多个采空区矿区或都没存在;

- 4) 采空区矿区可能存在多个煤层或没有,一种煤层只能存在当前采空区矿区或者没有;

- 5) 一个煤层可能存在多种类型的上覆岩层,一种类型的上覆岩层也可能存在于多个煤层。

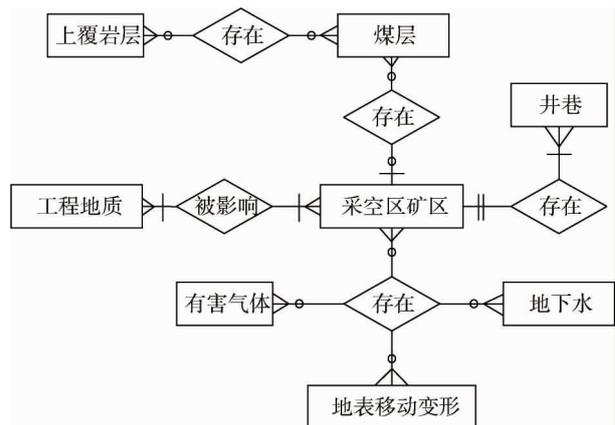


图3 煤矿采空区勘察目标 E-R 模型

勘察方法实体是各类采空区勘察方法的集合,每一种方法是方法实体的一个实例,它们相互独立,因此无需用 E-R 模型表示,勘察方法分类如图 4.

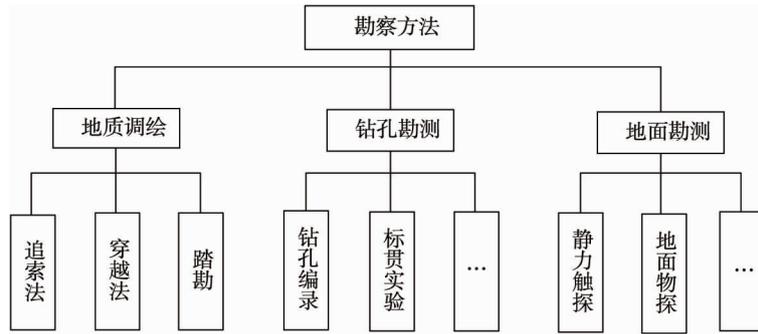


图 4 煤矿采空区勘察方法分类

属性实体是多个具有某种共同特性的属性的抽象,勘察目标属性通常包含地质、力学和几何 3 大类属性类型,即目标属性是多值属性.不同勘察目标实例相同类型的属性各不相同,每一个目标属性类型是属性实体的实例,各属性类型之间相对独立,同时在属性机理上存在一定的关联,此类关联十分复杂,难以用 E-R 模型表示,因此,勘察目标属性可按工程地质分类体系划分如图 5.

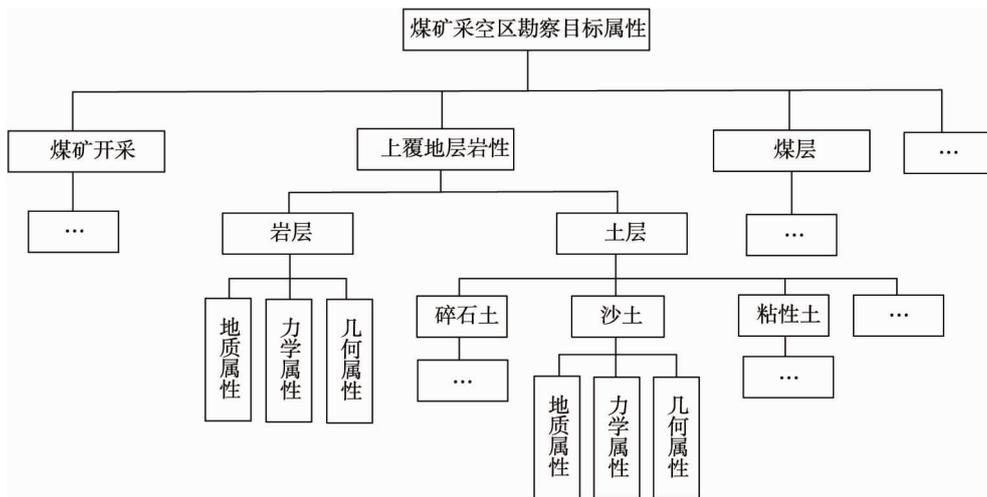


图 5 煤矿采空区勘察目标属性分类

从上述实体分析可见,以上归纳的 3 类实体可涵盖煤矿采空区岩土工程勘察的全过程,煤矿采空区岩土工程勘察可归纳为采用勘察方法对煤矿采空区岩土目标进行勘察,以获取勘察目标岩土工程属性,其概念 E-R 模型如图 6.

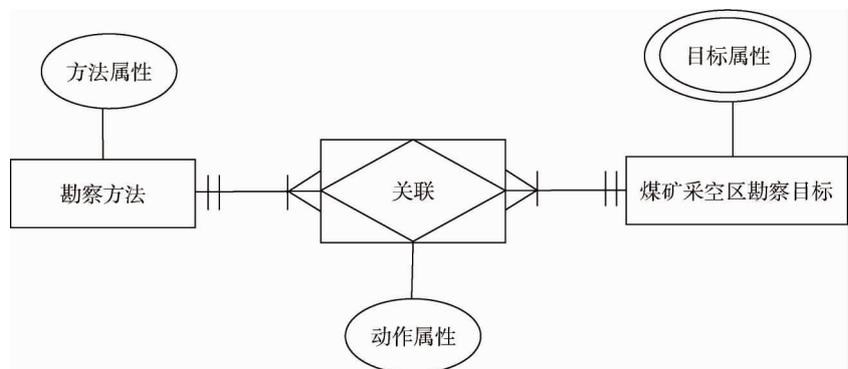


图 6 煤矿采空区岩土工程勘察概念 E-R 模型

图 6 中“勘察”为关联实体,实现勘察目标、方法和属性的联系,图中目标属性为多值属性,标示表示实体之间存在一对多和多对多的关联关系,同时存在约束关系,即多种勘察目标至少选择一种方法进行勘察,一种勘察方法可以用于勘察多个目标,至少有一个目标被勘察,一种方法勘察一个目标可以获得多种目标属性,至少要获取一种目标属性.

2.2 逻辑设计

在概念设计中无法用关联实体表示实体之间的具体逻辑关系,如图 6 中存在多对多和一对多的关系,但无法表示某种目标属性具体是采用何种勘察方法对何种勘察目标进行勘察获取的,逻辑设计就是建立实体实例之间的具体逻辑关系,下面以煤矿采空区上覆沙土地层为例说明煤矿采空区岩土工程勘察逻辑设计方法.其中沙土地层涉及关系如图 7 所示.

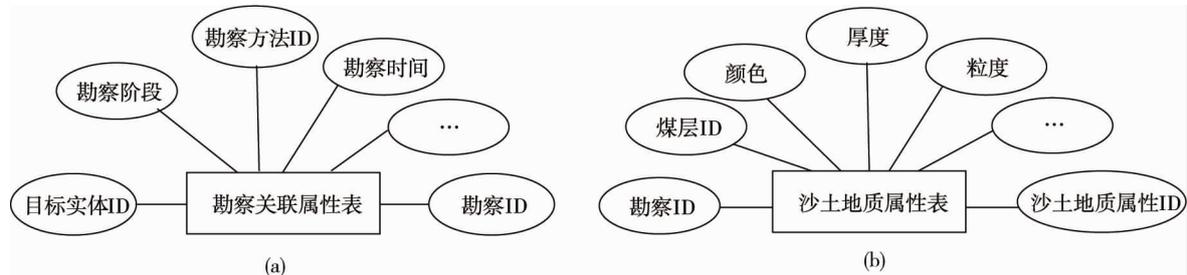


图 7 煤矿采空区岩土勘察数据逻辑设计

从图 7a 可见,勘察关联实体以勘察方法实体和目标实体的主键作为表的外键,同一方法勘察不同的目标实体,或不同的勘察方法对同一勘察目标实体均会产生一条勘察记录,从而实现勘察方法与勘察目标的逻辑对应关系,勘察关联实体可设计勘察阶段、勘察时间、勘察单位等属性,通过这些属性可反映勘察的动态过程;在图 7b 中,以勘察关联实体属性表的主键“勘察 ID”作为沙土地质属性表的外键,在进行勘察区域的沙土勘察时,勘察关联实体属性表中的“目标实体 ID”为“沙土地质属性 ID”,每当“勘察 ID”发生变化时,沙土地质属性表会增加一条记录,从而记录不同的勘察阶段、不同的勘察方法所获取的沙土地质属性,同时又以“煤层 ID”作为外键,同一煤层由不同的勘察方法或不同工作人员可存在多条沙土属性记录,也符合了 E-R 模型中煤层和上覆岩层多对多的关系.

根据规范,以 2.1 节中 E-R 模型及实体分类为基础,逻辑设计所构建的数据库中主要数据如表 1.

表 1 煤矿采空区岩土工程勘察数据库中主要关系

表名	主键	外键	主要属性
煤层	煤层 ID	勘察 ID、煤矿开采 ID	煤层编号、层厚、倾角
沙土地质	沙土地质属性 ID	勘察 ID、煤层 ID	颜色,厚度,粒度
矿区基本信息	煤矿开采 ID	勘察 ID	开采历史、现状、规划,以及开采方法、范围和深度
勘察关联实体	勘察 ID	勘察方法 ID、勘察目标实体 ID	勘察阶段、勘察时间、勘察单位
地表裂缝	地表裂缝 ID	勘察 ID、煤矿开采 ID	最大宽度、方向、最大延伸长度、可见深度
目标实体	目标实体 ID		内容类型、工程 ID,特性类型(项目或工点)
断层	断层 ID	勘察 ID、煤矿开采 ID	断层名称、类型、破碎带成分、破碎带胶结情况、活动性、影响带宽度、破碎带宽度
褶皱	褶皱 ID	勘察 ID、煤矿开采 ID	褶皱名称、类型、照片、轴向

2.3 物理设计

物理设计是逻辑设计表的存储技术规格说明,属性对应物理设计中的表中的字段的存储数据类型、约束关系和查询索引等,解决数据访问的时间效率、数据存储的空间效率、数据维护代价等物理层面的问题,物理设计的结果通常用数据字典表示.根据规范,以及逻辑设计的结果,煤矿采空区岩土工程勘察数据库采空区属性主要字段数据字典内容如表 2 所示.

表中约束部分是指不同的土层类型粒径大小区间不同;岩石按不同的坚硬程度划分其饱和单轴抗压强度大小区间也不同,可在此类字段上设置触发器约束其区间范围,约束区间可在《岩土工程勘察规范》查找相应表格.

依据上述设计,利用 SQLSever 构建的煤矿采空区岩土工程勘察数据库,由于数据库中表较多,难以展示整个数据库表的全部结构关系,图 8 为煤矿采空区勘察目标部分表结构关系图.

表 2 煤矿采空区岩土工程勘察数据库采空区属性主要字段数据字典

字段	数据类型	允许空值	约束	备注
coal_mine_exploitation_id	nvarchar(50)	FALSE	主键,唯一	煤矿开采 ID
survey_id	int	FALSE	外键	勘察 ID
mine_boundary_area	nvarchar(20)	TRUE		矿界面积
origin_date	date	FALSE		起始时间
end_date	date	TRUE	终止时间大于起始时间	终止时间
stop_exploitation_date	date	TRUE	停采时间大于起始时间	停采时间
maximum_exploitation_depth	nvarchar(20)	TRUE		最大开采深度
design_exploitation_elevation	nvarchar(50)	TRUE		设计开采标高
exploitation_mineral_species	nvarchar(10)	FALSE		开采矿种
mine_mountain_property	nvarchar(20)	FALSE		矿山性质
photo_url	nvarchar(Max)	TRUE		照片 URL
coal_layer_code_number	nvarchar(10)	FALSE		煤层编号
layer_thickness	float	TRUE		层厚
dip_angle	nvarchar(50)	TRUE		倾角
rock_name	nvarchar(50)	FALSE		名称
rock_number	int	FALSE		序号
rock_type	nvarchar(20)	FALSE		岩土类型
grain_diameter	float	TRUE	不同土层类型粒径约束不同	粒径
compressive_strength	nvarchar(20)	FALSE	不同坚硬程度岩石抗压强度约束不同	饱和单轴抗压强度

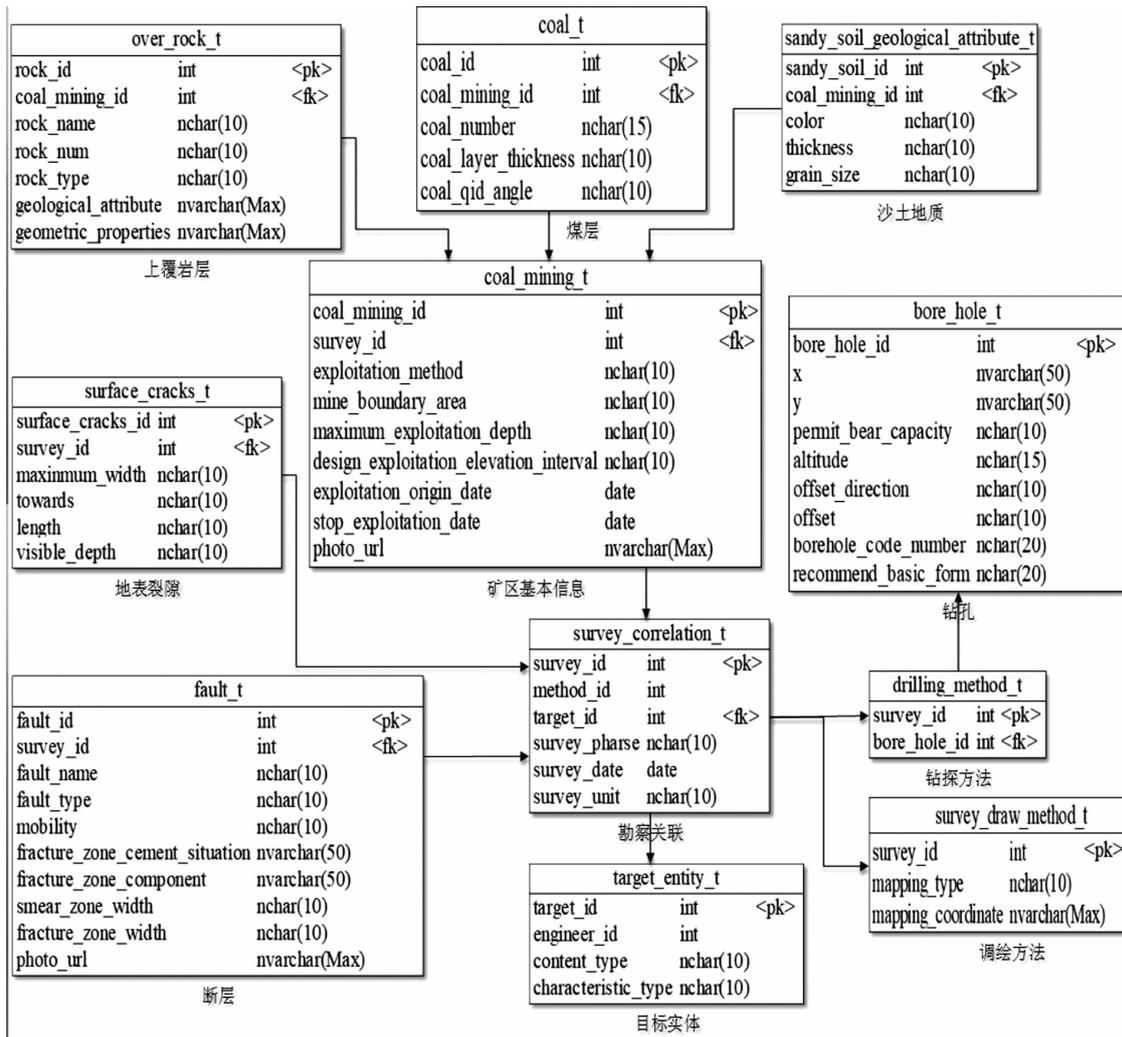


图 8 煤矿采空区部分表属性结构关系

3 数据库应用实现

在工程初期确立场地适宜性对以后的工程实施建设尤其重要,而采空区稳定性分析则是首要任务.本小节以采空区场地稳定性分析为例,阐述上述的数据库设计.

采空区场地稳定性应根据采空区类型、开采方法及顶板管理方式、终采时间、地表移动变形特征、采深、顶板岩性和松散层厚度等因素综合分析其内在机理,使用定性和定量相结合的方法来评价场地稳定等级.所以在项目信息中就应展示采空区的开采时间和类型等基本信息,为场地稳定性评价功能打下基础.其项目简介信息如图9所示.

图9 数据库项目基本信息展示

采空区勘察目标繁多,对于同一种目标可能采取多种勘察方法来获取目标属性,勘察人员采用相同的勘察方法也可能导致数据偏差.项目目标所有的勘查信息记录可按照工作需求选择目标检索相应勘察方法或相应属性获取,方便工作人员对比信息差异.其详细信息查询界面如图10所示.

单元层编号	地层	名称	勘察方法	详细信息
5-1-3	二叠系中统茅口组	灰岩	地质调绘	黄色,构造:薄层状,节理发育程度:不发育,风化程度:微风化,完整程度:较破碎,坚硬程...
5-1-3	二叠系中统茅口组	灰岩	钻孔勘探	相关钻孔: zk13, zk14, yk47; 黄色,构造:薄至厚层状,节理发育程度:不发育,风化程度:...
1-1-1	第四系冲洪积层	块石土	地质调绘	杂色;主要成分:砂岩、泥岩;密实度:中密;粒径:200-400;颗粒含量:50-60;充填物:粘土...
1-1-1	第四系冲洪积层	块石土	钻孔勘探	相关钻孔: zk19, yk37; 杂色;主要成分:砂岩;密实度:中密;粒径:200-400;颗粒含量:50-...
1-6-1	第四系冲洪积层	粘土	地质调绘	褐色;状态:可塑;碎石含量:少量;调查厚度:5-10
1-1-3	第四系冲洪积层	沙土	地质调绘	黄棕色;主要成分:砂岩;密实度:稍密;颗粒含量:50-60;湿度:潮湿;调查厚度:2-5
1-3-2	第四系冲洪积层	块石土	地质调绘	杂色;主要成分:砂岩、泥岩;密实度:中密;粒径:100-200;颗粒含量:50-60;充填物:粘土...

图10 数据库项目详细信息检索展示

同一工程可采用多种规范,每种规范对应的等级划分指标有偏差,在稳定性评价界面中需提供用户选取工程中采用的规范,根据项目信息中的采空区类型选择相应的评价方法,通过对采空区勘察信息的分析,以及对应标准的查询,对项目场地进行合理的等级划分.其评价界面如图11所示.

图 11 数据库项目场地稳定性分析

4 结束语

1) 煤矿采空区工程勘察数据库以《岩土工程勘察规范》和《煤矿采空区岩土工程勘察规范》为基础,分析数据库的总体需求.对需求分析中不同工作环节所涉及的目标实体和勘查手段进行合理细分,在此基础上设计存储结构数据表.

2) 该数据库能区分不同勘察阶段相同或不同勘察方法所获取的数据,能满足煤矿采空区野外勘察测试数据采集、室内资料整理、分析评价等煤矿采空区工程勘察各环节.对于大型矿山信息数字化管理系统的设计与应用具有一定的指导作用.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国建设部.岩土工程勘察规范:GB 50021—2001[S].2009.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.煤矿采空区岩土工程勘察规范:GB 51044—2014[S].2017.
- [3] 宋爽,张天军,李树刚,等.采空区卸压瓦斯抽采评判系统设计与实现[J].矿业安全与环保,2019,46(5):85-89.
- [4] Liu X M, Luo Z Q, Yang B, et al. Visible calculation of mining index based on slope 3D surveying and block modeling [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2012, 22(2): 139-144.
- [5] Qiang W, Hua X. Three-dimensional geological modeling and its application in Digital Mine [J]. Science China Press, 2014, 57(3): 491-502.
- [6] Luo Z Q, Liu X M, Su J H, et al. Deposit 3D modeling and application [J]. Central South University of Technology, 2007, 14(2): 225-229.
- [7] 熊立新.采空区信息网络管理系统研究[D].长沙:中南大学,2010.
- [8] 岳康.基于 SSH2 的采空区信息管理系统的设计与实现[J].中国安全生产科学技术,2014,10(s1):288-292.
- [9] 秦亚光,罗周全,周吉明,等.采空区可视化集成系统信息管理研究与应用[J].黄金科学技术,2015,23(2):57-62.
- [10] 王海军.煤矿采空区综合勘探三维信息管理系统研究[J].能源与环保,2018,40(11):103-108.
- [11] 林培军.煤矿采空区综合勘探信息管理系统的建设及应用[J].内蒙古煤炭经济,2018(1):4-5.
- [12] 徐正国,刘新.基于虚拟现实技术的临汾采空区综合勘探信息管理系统设计与实现[J].现代矿业,2017,33(9):66-70.
- [13] 罗贞焱.基于 CMS 探测的采空区三维可视化系统研究[D].长沙:中南大学,2010.
- [14] 于妍宁,谢贤平,俞雁苹.昆明新机场岩土施工试验工程检测管理信息系统研究[J].现代矿业,2009,25(2):133-135.
- [15] 张峰.基于多源异构勘察数据的工程勘察信息系统的设计与实现[J].测绘通报,2013(1):87-89.
- [16] 房师涛,王骁云,龚昕,等.上海市深基坑基础数据库系统设计[J].岩土工程学报,2008,30(s1):659-662.
- [17] 马青莲,高瑞涛,陈学俊.基于 GIS 的通用岩土工程勘察数据库系统的设计[J].电子设计工程,2016,24(15):119-121.
- [18] 杨映红,李向新,任磊.基于 GIS 的通用岩土工程勘察数据库系统的设计[J].科学技术与工程,2011,11(6):1363-1367.
- [19] Guo D L, Feng C. Study on the Methods of Information Extraction Based on Database Technology [J]. Trans Tech, 2013(10): 2114-2117.