



煤炭科学技术 COAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

煤炭科学技术

基于GIS的工作面探煤数据管理方法研究与应用

骆云秀 毛善君 张鹏鹏 李振 马远平 王艳彬 滕岩

引用本文:

骆云秀, 毛善君, 张鹏鹏, 等. 基于GIS的工作面探煤数据管理方法研究与应用[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(12): 254-261.
LUO Yunxiu, MAO Shanjun, ZHANG Pengpeng. Research and application of coal exploration data management method in working face based on GIS[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(12): 254-261.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021-0511>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

智能开采透明工作面地质模型梯级优化试验研究

Experimental study on cascade optimization of geological models in intelligent mining transparency working face
煤炭科学技术. 2020, 48(7) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/623337c8-793e-4eeb-acf6-95ef8f50260e>

透明工作面智能化开采大数据分析决策方法及系统研究

Research on big data analysis and decision system of intelligent mining in transparent working face
煤炭科学技术. 2022, 50(2): 252-262 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/62bf9949-9d39-4600-9c2c-da0b68533560>

基于透明地质大数据智能精准开采技术研究

Research on intelligent and precision mining technology based on transparent geological big data
煤炭科学技术. 2021, 49(1): 286-293 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021.01.026>

薄煤层智能开采工作面煤层透明化地质勘查技术

Transparent geological exploration technology of coal seam on the working surface of intelligent mining of thin coal seam
煤炭科学技术. 2022, 50(7): 67-74 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/4115181f-fba2-4a87-84d1-3cc2f05bb6ac>

煤矿智能地质保障系统研究进展与展望

Research progress and prospects of coal mine intelligent geological guarantee systems
煤炭科学技术. 2023, 51(2): 334-348 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2022-2125>

基于数字孪生的智能化工作面三维监测技术研究

Study on digital twin-based smart fully-mechanized coal mining workplace monitoring technology
煤炭科学技术. 2021, 49(10): 153-161 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/b530b9b9-7037-4cdb-8cde-3eebc6693924>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息



移动扫码阅读

骆云秀,毛善君,张鹏鹏,等. 基于 GIS 的工作面探煤数据管理方法研究与应用[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(12): 254-261.

LUO Yunxiu, MAO Shanjun, ZHANG Pengpeng, *et al.* Research and application of coal exploration data management method in working face based on GIS[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(12): 254-261.

基于 GIS 的工作面探煤数据管理方法研究与应用

骆云秀¹, 毛善君², 张鹏鹏¹, 李 振¹, 马远平¹, 王艳彬¹, 滕 岩¹

(1. 北京龙软科技股份有限公司, 北京 100190; 2. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871)

摘 要: 为提高煤矿回采工作面开采过程中煤矿储量动态计算的效率, 丰富回采工作面三维地质模型构建过程中所需的动态更新数据, 通过对回采工作面探煤数据管理的专业需求、业务流程、技术路线以及数据结构的充分分析和深入研究, 提出了一种基于 GIS 的回采工作面探煤数据管理方法。在数据层面, 优化了探煤数据管理的业务流程, 设计了不同类型探煤数据的数据结构和存储方法, 利用 GIS 的空间数据组织和管理方式实现了基于空间关系数据库的回采工作面探煤数据的共享与管理。在表示层面, 基于从底层自主研发的国产地理信息系统平台—LongRuanGIS 实现了探煤数据和图形的交互管理。在业务层面, 提出了一种探煤线的绘制算法, 以实现不同模式探煤线的快速绘制; 设计了探煤点数据结构、绘制样式以及绘制方法和数据管理方法, 以保证探煤数据的成图美观和数据的高效再利用; 提出了一种利用探煤厚数据动态更新回采工作面地质模型的方法, 丰富了煤矿回采工作面高精度三维动态地质模型的动态更新数据源。经过在多个矿井的常态化应用结果表明: 基于 GIS 的工作面探煤数据管理方法实现了不同类型的回采工作面探煤数据的统一管理, 实现了探煤数据的快速自动成图与动态更新, 提高了煤矿地质人员的绘图效率; 同时, 探煤数据的及时更新为回采工作面储量动态计算及高精度三维地质模型的动态更新提供了便捷有效的数据管理措施, 保证了探煤数据的高效利用。

关键词: 探煤数据; GIS; 空间数据管理; 回采工作面; 地质模型

中图分类号: TD171; TP319 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2022)12-0254-08

Research and application of coal exploration data management method in working face based on GIS

LUO Yunxiu¹, MAO Shanjun², ZHANG Pengpeng¹, LI Zhen¹, MA Yuanping¹, WANG Yanbin¹, TENG Yan¹

(1. Beijing LongRuan Technologies Co., Ltd., Beijing 100190, China; 2. School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of dynamic calculation of coal reserves in the mining process of coal working face and enrich the dynamic updated data required in the construction of 3D geological model of working face in intelligent mining, a GIS based coal mining face data management method is proposed through the full analysis and in-depth research on the professional needs, business processes, technical routes and data structure of coal mining face data management. At the data level, the business process of coal exploration data management was optimized, the data structure and storage method of different types of coal exploration data were designed, the coal exploration data sharing and management of mining face based on spatial relational database were realized from using the spatial data organization and management mode. At the presentation level, the interactive management of coal exploration data and graphics was realized based on the domestic geographic information system platform, LongRuanGIS, independently developed from the bottom. At the business level, a drawing algorithm of coal exploration line was proposed to realize the rapid drawing of different coal exploration lines. The data structure, drawing style, drawing method and data management method of coal exploration point were designed to ensure the beautiful mapping of coal exploration data and efficient reuse of data; a method of dynamically updating the geological model of coal mining face by using the data of coal thickness detection was proposed, which enriches the dynamic updating data source of high-precision

收稿日期: 2022-01-15 责任编辑: 周子博 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2021-0511

作者简介: 骆云秀(1986—), 女, 河北衡水人, 工程师, 硕士。E-mail: 738543012@qq.com

three-dimensional dynamic geological model of working face. The results of normalization application in many mines show that the management method of coal exploration data based on GIS realizes the unified management and sharing of different types of coal exploration data, realizes the rapid automatic mapping and dynamic updating of coal exploration data and improves the drawing efficiency of coal mine geologists. At the same time, the timely updating of coal exploration data provides convenient and effective data management measures for dynamic calculation of reserves and dynamic updating of high-precision 3D geological model, ensuring the efficient use of coal exploration data in many aspects.

Key words: coal exploration data; GIS; data management; working face; geological model

0 引言

数字化和信息化是智慧煤矿的基本要求^[1]。运用 GIS 技术实现工作面地质探测数据的动态融合和地质建模对矿井安全高效生产和智能化工作面建设具有重要意义^[2-5]。在煤矿开采过程中,随着工作面的有序推进,每间隔一定距离需要对工作面煤层进行一次探测^[6-7]。传统模式下,生产技术部门会将探测作业后所得数据存储到 Excel 等文件中,再使用 AutoCAD 等辅助制图软件进行展绘形成业务图件。此过程一方面缺乏统一的数据管理与共享机制,易产生数据孤岛,另一方面缺乏自动成图模块,业务图件更新绘制不及时,不便于探煤数据的动态更新和高效利用^[8]。2020 年 3 月 2 日,国家发展改革委、国家能源局、应急部、国家煤矿安监局、工业和信息化部、财政部、科技部及教育部等八部门联合发布了《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》(发改能源〔2020〕283 号)的通知。通知要求,智能化煤矿建设的重点之一是回采工作面的智能开采^[9]。充分利用地质勘探数据、物探数据以及日常探煤等数据,构建回采工作面高精度三维动态地质模型是实现工作面智能开采的必备基础^[10]。

回采工作面探煤过程中,涉及诸多地质相关数据。本文中回采工作面探煤数据泛指探测回采工作面煤厚过程中涉及的各种相关数据^[3]。其中,探煤线指在回采工作面生产过程中,间隔一定回采距离的工作面的回采位置,在平面图上表现为间隔一定回采距离连接回风巷与运输巷的线;探煤点指探煤线上间隔一定距离进行探煤的位置,通过钻探与测量手段获取探煤位置的煤层数据,在平面图上表现为探煤线上间隔一定距离的点。

基于上述背景,依托目前在煤矿企业广泛应用且从底层自主研发的国产地理信息系统平台——LongRuanGIS 平台^[11],通过地理信息开发接口进行二次开发,建立空间关系数据库对工作面探煤数据进行统一管理与数据共享,将工作面探煤数据与煤矿生产涉及的其他数据有机联系在一起,可

以快速完成探煤线和探煤点的绘制,探煤线和探煤点数据自动更新入库,为煤矿储量动态计算^[12]和工作面高精度三维地质模型的动态更新提供基础数据支撑^[13]。

1 回采工作面探煤数据管理方法设计

1.1 系统架构

回采工作面探煤数据管理与应用模块是基于 LongRuanGIS 平台二次应用研发,按照数据层、表示层和业务层三层结构设计并实现。该设计便于系统的开发、部署、扩展以及维护,将用户所需信息完整、准确、快速、图文并茂的展示出来,有利于进一步进行煤矿工作面储量计算和工作面高精度三维地质模型动态更新。该系统的三层结构框架如图 1 所示。

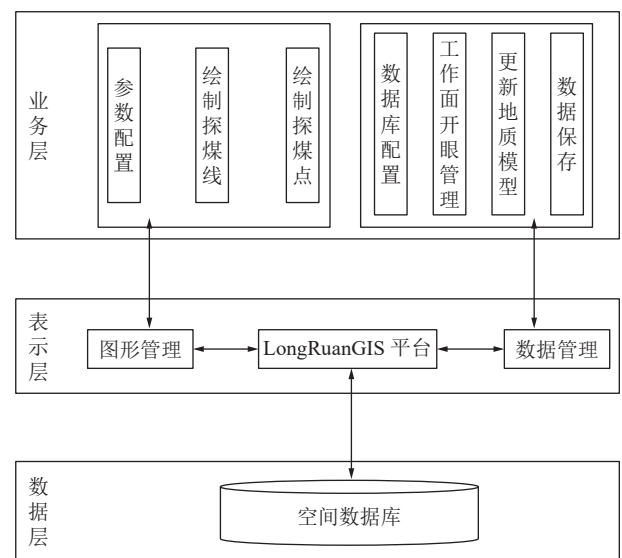


图 1 系统框架
Fig.1 System frame

数据层是采用空间关系数据库和龙软空间数据库引擎技术,实现空间数据和属性数据的统一管理,根据 GIS 数据管理理论实现探煤数据的存储管理和应用分析^[14]。表示层是基于 LongRuanGIS 图形平台实现图形和数据的交互管理。业务层即应用层,是探煤数据管理与应用的具体应用

功能模块,用户通过业务层实现与系统功能的交互操作,在业务层处理回采工作面探煤数据的管理和应用。利用GIS强大的空间数据管理和分析功能处理空间数据库中的探煤数据,实现探煤数据的入库、提取、绘制、编辑和保存以及地质模型的更新等功能^[15]。

1.2 探煤数据结构设计和管理

工作面探煤数据包括矿井基础数据、巷道数据、探煤线数据和探煤点数据。根据煤矿开采的实际工艺流程,通过探煤工程相关数据的关系分析,利用GIS的空间数据组织和管理方式,将探煤工程相关的空间数据与属性数据融为一体,建立探煤数据管理基本表、巷道数据管理表、探煤线数据表和探煤点数据表^[16]。各表结构设计如下:

1)探煤数据管理基本表用于管理回风巷与运输巷的空间数据与属性数据,由矿井名称、矿井代码、工作面名称、基点坐标 X 、基点坐标 Y 、基点坐标 Z 、巷道方位、巷道类型等字段组成。

2)巷道数据表用于管理运输巷和回风巷的巷道空间坐标数据,由巷道索引、巷道起点坐标 X 、巷道起点坐标 Y 、巷道起点坐标 Z 等字段组成,通过巷道索引与探煤数据管理基本表进行对应。

3)探煤线数据表用于管理探煤线属性数据,由回风巷索引、运输巷索引、月份、运输巷点号、回风巷点号、单位长度、距运输巷相对距离、距回风巷相对距离等字段组成,并通过回风巷索引字段和运输巷索引字段与探煤数据管理基本表中两条数据对应。

4)探煤点数据表用于管理探煤点的空间数据和属性数据,由探煤线索引、探煤点坐标 X 、探煤点坐标 Y 、探煤点坐标 Z 、顶煤厚度、底煤厚度、支架高度、浮煤厚度、探煤日期等字段组成。通过探煤线索引字段对应一条探煤线数据。

上述四表与龙软地测空间数据库系统中的其他表共同存储在统一的空间数据库中,进一步丰富了龙软地测空间数据库的煤层地质数据^[14]。

1.3 工作面开切眼数据管理

工作面开切眼是运输巷和回风巷之间顺煤层的一条巷道^[17]。本系统中将工作面开切眼数据存储在探煤数据管理基本表中。在回采工作面探煤数据管理中,工作面开切眼数据是基础数据^[18],用于计算探煤线起始点位置,工作面开切眼数据的获得和管理在探煤数据管理中至关重要。

提供了在平面图上获取工作面开切眼数据并进

行管理的方法,基于LongRuanGIS平台,通过交互式图形操作,指定工作面开切眼起始位置坐标和巷道方位,设置巷道类型等属性数据,将工作面开切眼的空间数据和属性数据统一存储到数据库。一个回采工作面只有一组开切眼点,通过矿井名称、工作面名称和巷道类型3个字段的并运算来进行工作面开切眼的唯一性判断。根据判断条件将工作面开切眼数据存储到探煤管理数据库中,同时提供编辑、删除等功能,使工作面开切眼数据通过可视化的界面直观展示和编辑。

工作面开切眼数据参数设置如图2所示。

序号	巷道类型	巷道坐标X	巷道坐标Y	巷道坐标Z
0	运输巷	37515046.010	4398997.342	779.000
1	运输巷	37518524.487	4398997.342	1004.000

图2 工作面开切眼数据管理

Fig.2 Cutting data management of working face

2 关键技术和算法

2.1 探煤线绘制算法

探煤线的绘制算法如下:

已知数据为当前回采工作面的运输巷和回风巷的工作面开切眼起始位置坐标(后文统称基点)、巷道内测线坐标、巷道方位等数据,根据已知数据计算探煤线起始点位置坐标。

1) 计算基点到运输巷巷道内测线起点的距离 L 。

首先,对基点和运输巷巷道内测线做相交计算;然后,通过基点向运输巷巷道内测线的各直线段做垂线,垂距最短线所对应的点就是点到多线段的投影点,从而获得基点在运输巷巷道内测线上的坐标 $coBase(x, y)$ 和 t 值。最后通过点在线上的距离计算得到距离 L 。

其中, t 值为点与线的空间参数方程参数。例如,

巷道线坐标序列为 (x_0, y_0) 、 (x_1, y_1) 、 \dots 、 (x_n, y_n) ， $t=0$ ，则基点位于 (x_0, y_0) 点； $t=n$ ，则位于 (x_n, y_n) 点； $t=1.5$ ，则位于 (x_1, y_1) 与 (x_2, y_2) 之间的五等分处（默认两点之间十等分）。得到 t 值可以迅速获得点在多线上的具体某一直线段上，有利于进一步计算点到点在线上的距离。

2) 计算运输巷巷道内测线起点到探煤线起点的总偏移距离 H 。

首先，计算设置的偏移距离 h ，根据不同应用需求，本系统提供了 2 种方式计算偏移距离。

方式一：采用“定距等分模式”对巷道开切眼点到探煤线起点进行编号（图 3）。针对这种情况，本系统提供了设置点号 n ，点间距 u ，相对距离 d 的方式进行偏移距离计算，偏移距离 h 的计算如式(1)所示：

$$h = nu - d \quad (1)$$

式中： h 为偏移距离； n 为点号； u 为点间距； d 为相对距离。其中，相对距离 d 为测量点距离当前点号的位置。

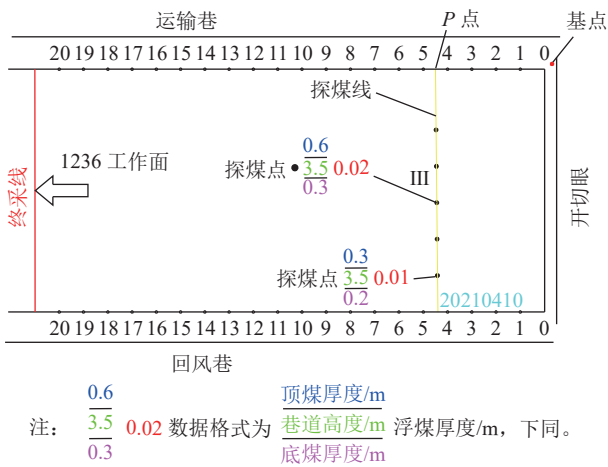


图 3 探煤线示意

Fig.3 Schematic of coal exploration line

方式二：采用直接测量探煤线起始点到工作面两端开切眼方向的距离来确定探煤线（图 4）。针对该情况，本系统提供了通过“屏幕点击指定参考点”来进行参考点与基点的距离 c 的计算，偏移距离 h 计算公式如式(2)所示：

$$h = c - d \quad (2)$$

式中， c 为参考点与基点的距离。

其次，判断步骤 1 中的 $coBase$ 点与探煤线起点连线与运输巷巷道线的方向是否同向，根据线段方位与运输巷巷道线方位进行差计算，结果小于 $\pi/2$ ，则 $coBase$ 点与探煤线起点连线与运输巷巷道线同向。

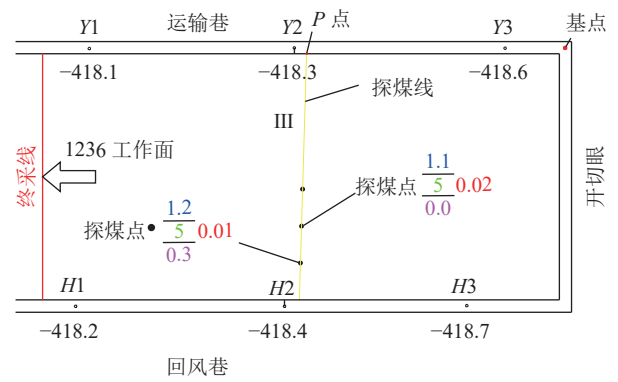


图 4 探煤线示意

Fig.4 Schematic of coal exploration line

总偏移距离 H 计算如式(3)所示：

$$H = L + h \quad (3)$$

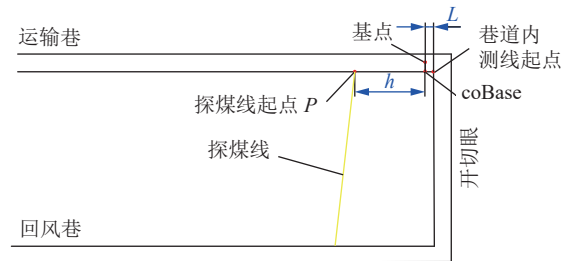
式中： H 为总的偏移距离； L 为基点到运输巷巷道内测线起点的距离； h 为偏移距离。

结果大于 $\pi/2$ ，则 $coBase$ 点与探煤线起点连线与运输巷巷道线反向，总偏移距离 H 计算如式(4)所示：

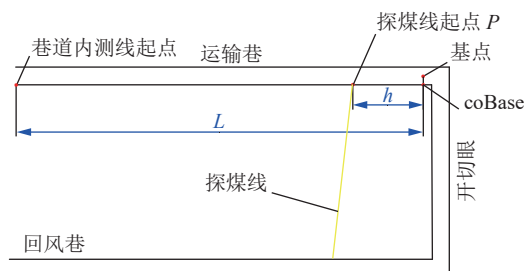
$$H = L - h \quad (4)$$

3) 计算探煤线起点坐标。

将巷道线起点延巷道线偏移 H 距离后的得到一个新的坐标点 P ， P 点即为探煤线起点（图 5）。



(a) 探煤线起点算法示意图 1



(b) 探煤线起点算法示意图 2

图 5 探煤线起点偏移计算示意

Fig.5 Calculation of the starting point offset of coal exploration line

4) 计算探煤线终点坐标。

重复 1)—3) 的算法得到回风巷巷道内测线上探煤线的终点坐标。

5) 连接探煤线起点和终点，完成探煤线的计算。

探煤线绘制算法流程图如图6所示,探煤线计算配置界面如图7所示。

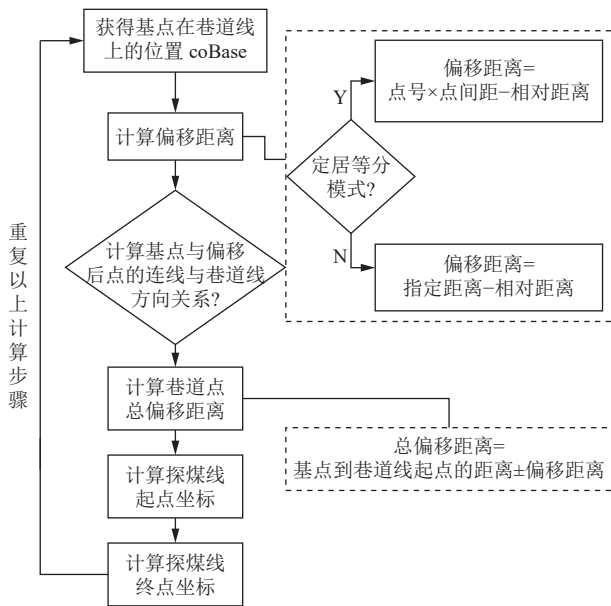


图6 探煤线绘制算法流程

Fig.6 Flow of coal exploration line drawing algorithm

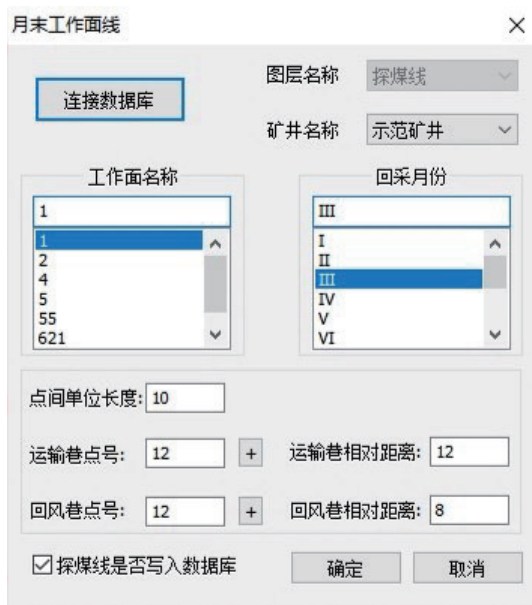


图7 探煤线计算配置界面

Fig.7 Configuration interface of coal exploration line calculation

2.2 探煤点设计及绘制方法

探煤点用来表示探煤线上某点的煤层信息,信息包括顶煤煤厚,底煤煤厚,支架高度,浮煤厚度等信息。在实际工作中,顶煤煤厚数据通过采用锚杆钳子从巷道顶板往上打到煤层顶板来获取,底煤煤厚数据通过设备探测巷道底板到煤层底板的煤厚来获取,支架高度即回采支架高度,浮煤煤厚为工作面

回采过程中遗落在巷道底板上的煤层厚度。探煤点剖面示意图如图8所示。

为了将所探测的探煤点数据井下可视化的表示并有效管理探煤厚数据,对探煤点数据分析和设计,具体分为探煤点数据结构分析,探煤点几何形状设计,探煤点几何图形绘制及数据管理方法。

1)探煤点数据结构分析。探煤点数据结构由空间数据、属性数据及样式数据3部分组成。空间数据即探煤点坐标数据;属性数据由顶煤数据、支架数据、底煤数据、浮煤数据等4部分数据组成;样式数据指探煤点的点符号、颜色及属性数据的字体、颜色等数据。

2)探煤点形状设计。通常一个点、一条线或者一个面即为一个实体,在本文中探煤点设计为一个复合实体,即点,文字,线为一个统一的整体,可以整体进行选择、拖拽,旋转^[19-20]。在坐标点处设置探煤点符号,探煤点右侧设置探煤点图例用以显示顶煤数据、支架数据、底煤数据、浮煤数据等4种数据(图9)。根据巷道实况将顶煤数据、支架数据、底煤数据按顺序从上到下排列,用横杠分开,浮煤数据放在最右边靠下位置。其中,浮煤数据用以计算工作面损失量。

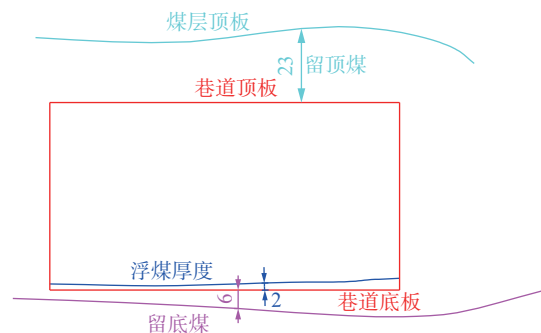


图8 回采工作面探煤点剖面示意

Fig.8 Section diagram of coal exploration point in working face

3)探煤点绘制及数据管理方法。探煤点需要在指定探煤线上进行绘制。通过探煤线起点位置、点号等数据利用偏移算法得到探煤点坐标,再根据探煤点坐标并利用点偏移算法得到探煤点图例中每个数据的左下角坐标,并将探煤点符号和探煤图例保存成统一整体,以保证探煤点成图的美观和便捷。绘制完成时同步将探煤点数据与探煤线进行拓扑关联,再次绘制探煤点时可以提取已存在的探煤点数据,用户可以方便的进行编辑,修改,删除等操作。同时,通过探煤点属性数据计算

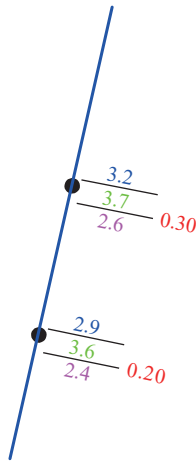


图 9 探煤点设计图

Fig.9 Design drawing of coal exploration point

得到该探煤点的煤层厚度,将计算得到的数据存储到煤层地质数据库,不断更新丰富回采工作面的煤层地质数据,便于提高工作面高精度三维动态地质模型的精度。

2.3 更新高精度地质模型的方法

随着回采工作面的推进,将通过钻探与测量手段获得的探煤厚度数据存储到煤厚数据表中,为回采工作面煤层高精度透明化三维动态地质模型的更新提供基础数据^[21]。利用探煤厚度数据更新高精度地质模型的方法(图 10)如下:

将获得探煤厚度数据存储到煤厚数据表中,结合已有的煤层厚度数据,以当前回采工作面外扩多边形为约束边界,采用矩形网格法或不规则三角网(TIN, Triangulated Irregular Network)模型算法生成煤层厚度等值线图。

通过煤层底板等高线图采集回采工作面的等高线控制点,将等高线控制点与煤厚等值线进行叠加分析,利用插值算法,计算出每个等高线控制点的煤层厚度,并将煤厚作为属性赋值给等高线控制点,得到具有煤厚属性的等高线控制点。

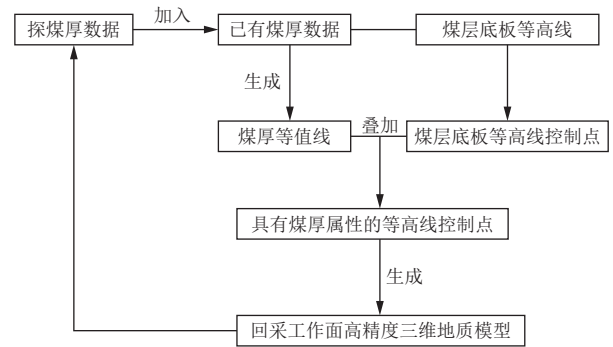


图 10 探煤厚度数据动态更新地质模型流程

Fig.10 Flow of dynamic updating geological model of coal thickness data

以当前回采工作面边界和构造数据为约束边界,结合具有煤厚属性的等高线控制点,生成回采工作面煤层高精度三维地质模型。

随着工作面的推进,将通过钻探与测量手段获取的新增探煤厚度数据合并到原有的已知煤厚数据中,重复步骤 1 至步骤 3,动态更新回采工作面煤层高精度三维地质模型。

3 功能应用

基于 GIS 的工作面探煤数据管理方法是以 LongruanGIS 平台为基础平台,采用 VS2010 编程工具+SQL Server2014 数据库在 Windows 环境下进行开发实现的。该方法将后台的探煤数据管理与前端的图形展示进行了有机结合,不仅实现了工作面探煤数据的统一存储和管理,还可以迅速完成探煤线和探煤点动态绘制,有效辅助矿井安全生产中煤矿储量动态计算和工作面高精度三维动态地质模型构建。目前,探煤数据管理功能(图 11、图 12)在多个煤矿企业得到了良好应用,据兖矿集团兴隆庄煤矿、山东省天安矿业集团有限公司星村煤矿等用户反馈,绘制一张月度回采工作面的储量图用时由过去传统方式的约 60 min 缩短为 20 min 左右。

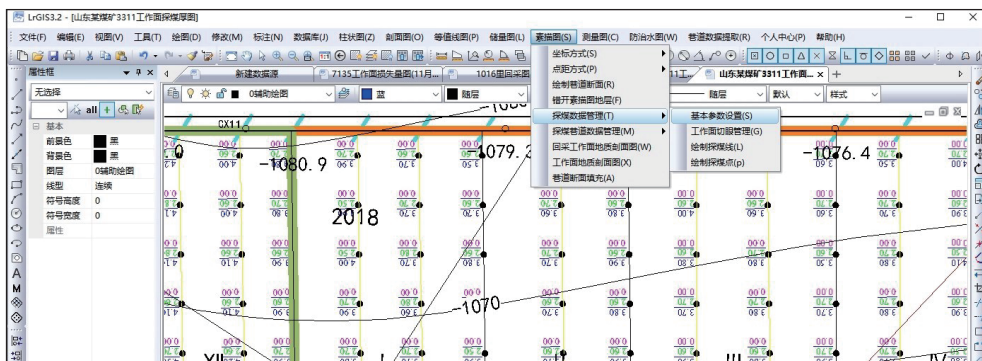


图 11 探煤数据管理功能界面展示

Fig.11 Function interface display of coal exploration data management

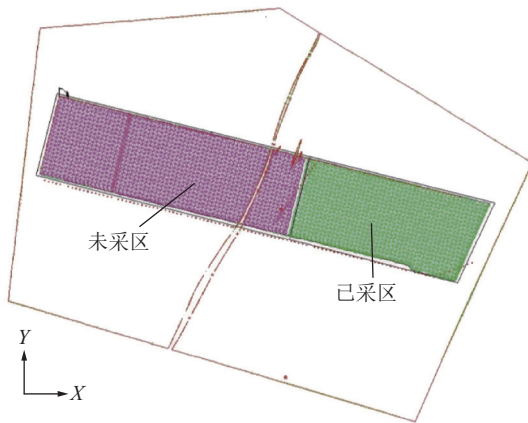


图12 工作面高精度三维动态地质模型

Fig.12 High precision 3D dynamic geological model of working face

4 结 论

1)设计了探煤数据结构和管理方法,利用GIS的空间数据组织和管理方式,将探煤工程相关的空间数据与属性数据统一存储和管理,实现了对探煤数据的高效管理。

2)提出了探煤线的绘制算法,通过点到线的投影算法和点在线上的偏移算法计算得到探煤线在巷道线上的起始点坐标,确保探煤线绘制精度。

3)设计了探煤点数据结构和绘制方法,将探煤点设计成复合实体并通过计算完成探煤点数据和煤厚数据的回写。

4)提出了利用探煤厚数据动态更新回采工作面地质模型的方法,将探煤厚数据加入煤厚数据,生成煤厚等值线,结合煤层底板等高线控制点生成带煤层厚度属性的煤层等高线控制点,从而生成回采工作面高精度地质模型,并通过新增的探煤厚数据不断更新回采工作面高精度三维地质模型,丰富煤矿回采工作面高精度三维动态地质模型的动态更新数据源。

参考文献(References):

- [1] 王国法,赵国瑞,任怀伟.智慧煤矿与智能化开采关键核心技术分析[J].煤炭学报,2019,44(1):34-41.
WANG Guofa, ZHAO Guorui, REN Huaiwei. Analysis on key technologies of intelligent coal mine and intelligent mining[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(1): 34-41.
- [2] 刘再斌,刘程,刘文明,等.透明工作面多属性动态建模技术[J].煤炭学报,2020,45(7):2628-2635.
LIU Zaibin, LIU Cheng, LIU Wenming, et al. Multi-attribute dynamic modeling technique for transparent working face[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(7): 2628-2635.
- [3] 袁亮,张平松.煤炭精准开采地质保障技术的发展现状及展

望[J].煤炭学报,2019,44(8):2277-2284.

YUAN Liang, ZHANG Pingsong. Development status and prospect of geological guarantee technology for precise coal mining[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(8): 2277-2284.

- [4] 潘涛,徐会军.一种基于GIS建模的综采工作面自动化采煤方法[J].煤田地质与勘探,2018,46(S1):89-92.
PAN Tao, XU Huijun. An automatic mining method based on GIS modeling for fully mechanized coal face[J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(S1): 89-92.
- [5] 程建远,朱梦博,王云宏,等.煤炭智能精准开采工作面地质模型梯级构建及其关键技术[J].煤炭学报,2019,44(8):2285-2295.
CHENG Jianyuan, ZHU Mengbo, WANG Yunhong, et al. Cascade construction of geological model of longwall panel for intelligent precision coal mining and its key technology[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(8): 2285-2295.
- [6] 李增学,魏久传,杨子荣,等.矿井地质学[M].北京:煤炭工业出版社,2009.
LI Zengxue, WEI Jiuchuan, YANG Zirong, et al. Mine geology[M]. Bei Jing: China Coal Industry Publishing House, 2009.
- [7] 杨保健.提高煤炭资源采出率重在加强合理开采与监督[J].矿山测量,2000(1):39-41.
YANG Baojian. Higher recovery rate of coal resources hinges on more rational extraction and intensified supervision[J]. Mine Surveying, 2000(1): 39-41.
- [8] 陈汉章.基于GIS的大型煤炭企业储量图形管理系统设计技术[J].煤炭工程,2019,51(6):57-61.
CHEN Hanzhang. Design and key technology research of large coal enterprises reserve graphic management system based on GIS[J]. Coal engineering, 2019, 51(6): 57-61.
- [9] 刘峰,曹文君,张建明,等.我国煤炭工业科技创新进展及“十四五”发展方向[J].煤炭学报,2021,46(1):1-15.
LIU Feng, CAO Wenjun, ZHANG Jianming, et al. Current technological innovation and development direction of the 14th Five-Year Plan period in China coal industry[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(1): 1-15.
- [10] 郭金刚,李化敏,王祖洸,等.综采工作面智能化开采路径及关键技术[J].煤炭科学技术,2021,49(1):128-138.
GUO Jinggang, LI Huamin, WANG Zuguang, et al. Path and key technologies of intelligent mining in fully-mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(1): 128-138.
- [11] 毛善君,杨乃时,高彦清,等.煤矿分布式协同“一张图”系统的设计 and 关键技术[J].煤炭学报,2018,43(1):280-286.
MAO Shanjun, YANG Naishi, GAO Yanqing, et al. Design and key technology research of coal mine distributed cooperative “one map” system[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(1): 280-286.
- [12] 杨兵.煤矿地质勘探和储量研究[J].当代化工研究,2020(13):88-89.
YANG Bing. Research on geological exploration and reserves in coal mines[J]. Modern Chemical Research, 2020(13): 88-89.

- [13] 王新苗, 韩保山, 宋 焘, 等. 智能开采工作面三维地质模型构建及误差分析[J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(2): 93-101, 109.
WANG Xinmiao, HAN Baoshan, SONG Tao, *et al.* 3D geological model construction and error analysis of intelligent mining face[J]. Coal Geology & Exploration, 2021, 49(2): 93-101, 109.
- [14] 吴道政, 毛善君, 李鑫超. 基于龙软GIS3.0的煤矿空间数据库架构设计[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(4): 94-97.
WU Daozheng, MAO Shanjun, LI Xinchao. Design on coal mine space database frame based on dragonsoft GIS 3.0[J]. Coal Science and Technology, 2009, 37(4): 94-97.
- [15] 郭忠胜. 基于GIS数据管理系统研究与实践[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2004.
GUO Zhongsheng. Research and realization of the web basic GIS' data management system[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2004.
- [16] 王艳彬, 黄宝柱, 郭 兵, 等. 基于GIS的沉陷预计分析系统及可视化研究[J]. 矿山测量, 2021, 49(1): 6-10, 25.
WANG Yanbin, HUANG Baozhu, GUO Bing, *et al.* Subsidence prediction analysis system and visualization research based on GIS[J]. Mine Surveying, 2021, 49(1): 6-10, 25.
- [17] 程建远, 朱梦博, 崔伟雄, 等. 回采工作面递进式煤厚动态预测试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 237-244.
CHENG Jianyuan, ZHU Mengbo, CUI Weixiong, *et al.* Experimental study of coal thickness progressive prediction in working face[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(1): 237-244.
- [18] 杨玉亮, 徐祝贺, 韩 浩. 浅埋深薄基岩大采高综采工作面开切眼支护技术[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(12): 51-60.
YANG Yuliang, XU Zhuhe, HAN Hao. Support technology of open-off cut in fully-mechanized mining face of large mining height with shallow buried depth and thin bed rock[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(12): 51-60.
- [19] 陈梦琳. GIS与图形系统地图符号共享的数据模型与方法研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2015.
CHEN Menglin. Research on data model and method of map symbol sharing in GIS and graphic system[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2015.
- [20] 何春秀. 浅谈基于ArcMap的制图符号设计及应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(1): 207-209.
HE Chunxiu. Design and application of cartographic symbols based on ArcMap[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2021, 44(1): 207-209.
- [21] 刘万里, 张学亮, 王世博. 采煤工作面煤层三维模型构建及动态修正技术[J]. 煤炭学报, 2020, 45(6): 1973-1983.
LIU Wanli, ZHANG Xueliang, WANG Shibo. Modeling and dynamic correction technology of 3D coal seam model for coal-mining face[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(6): 1973-1983.