

3 障碍物评定

3.1 净空区体素化

本研究以运城张孝机场净空区为例, 根据净空区 3DDQG 网格剖分特点融合 Bresenham 体素化算法构建适用于机场净空区和障碍物评定的 3DDQG 体素化算法。

3.1.1 数据预处理

计算张孝机场净空区平面投影在 3DDQG 网格中的最小外包网格集 (Minimum Bounding DQG, MBDQG)。根据精度要求确定剖分总级 L , 以 MBDQG 所在 L_{MBDQG} 层为基础继续剖分 L_r 层。

$$L_r = L - L_{\text{MBDQG}} \quad (1)$$

对 MBDQG 进行 L_r 次剖分, 得到 2^{L_r} 行、 2^{L_r} 列和 2^{L_r} 层的立体网格集 3DDQGs, 以基准层左上网格为原点构建三维直角坐标系, 将行、列和层映射为 y 、 x 和 z 轴取值范围为 $[0, 2^{L_r} - 1]$ 。网格单元分辨率 R_x 、 R_y 、 R_z 计算公式如下:

$$R_x = (\text{MBDQG.east} - \text{MBDQG.west}) / 2^{L_r} \quad (2)$$

$$R_y = (\text{MBDQG.north} - \text{MBDQG.south}) / 2^{L_r} \quad (3)$$

$$R_z = (\text{MBDQG.top} - \text{MBDQG.bottom}) / 2^{L_r} \quad (4)$$

其中, R_x 、 R_y 单位为 $^\circ$, R_z 单位为 m 。当 MBDQG 跨北半球八分体时, 3DDQGs 以坐标 $(0^\circ, 90^\circ)$ 网格为原点; 3DDQGs 跨南半球八分体时, 以坐标 $(-180^\circ, -90^\circ)$ 网格为原点, y 轴向上 (北), x 轴向左 (西); 同时跨南北半球时, 整个球面作为 MBDQG, 3DDQGs 以坐标 $(0^\circ, 90^\circ)$ 网格为原点, y 轴向上 (北), x 轴向左 (西)。

3.1.2 体素化

先将净空区矢量顶点 $P(\text{lon}, \text{lat}, \text{alt})$ 转换为 MBDQG 中的相对坐标 $(\text{rlon}, \text{rlat}, \text{ralt})$ 再转换为列号、行号和层号 $P_r(x, y, z)$, 计算公式如下:

$$\begin{cases} x = \lfloor (\text{lon} - \text{MBDQG.west}) / R_x \rfloor \\ y = \lfloor (\text{MBDQG.north} - \text{lat}) / R_y \rfloor \\ z = \lfloor \text{ralt} / R_z \rfloor \end{cases} \quad (5)$$

计算净空区在三个轴上的增量值:

$$\begin{cases} \Delta x = x_{\max} - x_{\min} \\ \Delta y = y_{\max} - y_{\min} \\ \Delta z = z_{\max} - z_{\min} \end{cases} \quad (6)$$

将增量值最大的轴作为 Bresenham 算法的初始方向对净空区进行体素化最终得到层级为 L 的净空区网格集 3DDQGs。

若 MBDQG 球面投影跨 DQG 退化网格, 退化网格经差为相邻非退化网格的 2 倍, 故需创建数组 $R_x[2^{L_r}]$ 存储每行网格的经差, 计算方法如下:

$$R_x[y] = 90.0 / 1^{\log_2 d(y+1)} \quad (7)$$

函数 $\log_2 d$ 负责计算每行对应的列数:

$$2^{\lfloor \log_2 x + 1 \rfloor} \quad (8)$$

此时 x 轴体素化公式如下:

$$x = \lfloor \text{rlon} / R_x[y] \rfloor \quad (9)$$

还需创建数组 $D_x[2^{L_r}]$ 存储不同行网格经差相对于最小网格经差的倍数:

$$D_x[y] = R_x[y] / R_x[2^{L_r} - 1] \quad (10)$$

此时 x 轴方向增量为:

$$\Delta x = x_{\text{e}} D_x[y_{\text{e}}] - x_{\text{s}} D_x[y_{\text{s}}] \quad (11)$$

3.2 净空区障碍物评定

本研究提出基于编码哈希映射的三维空间限高评定方法。

① 构建空间数据库, 提取净空区 3DDQGs 基准层的 DQG 编码作为空间标识符 ID, 对应最大层作为属性值 H 表示限制高度建立哈希映射表;

② 障碍物编码映射, 对障碍物最小外包立方体顶面顶体素化处理并得到 DQG_k 集和对应属性 H_k 集;

③ 碰撞检测, 通过哈希映射表快速检索各 DQG_k 对应 H 并执行高度合规判定, 若 $H_k \leq H$ 则障碍物高度符合净空管理要求。

该评定方法通过空间编码转换查询机制, 将空间几何关系的矢量计算转变为时间复杂度 $O(1)$ 的哈希查询, 能极大提升评定速度。

4 实验结果与分析

本研究以张孝机场净空区为实验对象, 基于 Cesium 可视化开源引擎构建体素化展示和净空区评定交互平台, 使用 JavaScript 作为实验的编程语言, 体素化和净空区评定两个方面进行效率测试。

4.1 体素化效率

为验证 3DDQG 体素化效率采用三种方法进行对比, 第一种图形学中的扫描线法; 第二种全球尺度下的 3DDQG 算法体素化, 用 64 位 BigInt 类型编码来满足网格剖分次数多编码值大的情况; 第三种根据 DQG 网格层次性嵌套性特点在 MBDQG 局部网格基础上进行的体素化, 用 32 位 Number 代替 BigInt, 显著减少剖分数据量, 编码更小效率更高。实验结果如图 4。

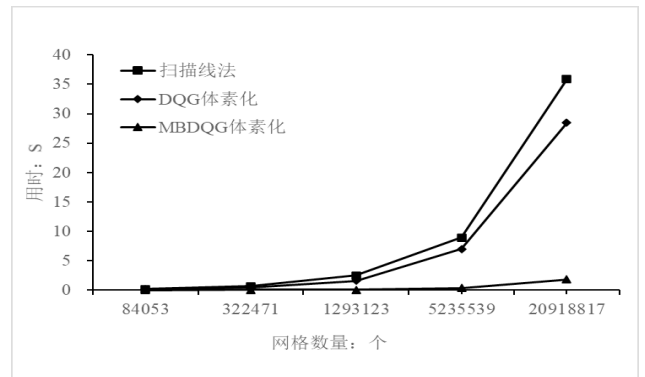


图 4 体素化效率对比

4.2 净空区障碍物评定

本研究设计四种方法进行评定效率对比,分别是 PostgreSQL 数据库查询法; Hash 表查询法; 使用 TIN 模型进行高度计算的 TIN 方法; 使用数学公式表达限制面进行计算的数学模型法。实验结果如图 5。

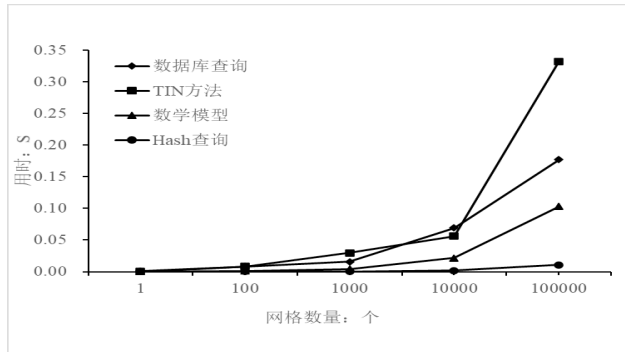


图 5 障碍物评定效率对比

使用数据库同时查询 1 万个障碍物网格耗时不到 0.1 秒,同时查询 10 万个耗时仍小于 0.2 秒,具有大规模障碍物查询处理能力; Hash 查询法效率最高,分别是数据库查询、TIN 方法和数学模型法的 16.1 倍、30.2 倍和 9.4 倍,平均快一个数量级以上。本文使用 Object 数据类型的键值对特性模拟 Hash 结构,当使用 C++ 或 Java 等具有完善 Hash 结构的语言作为服务器,能获得更大的速度提升。

4.3 评定误差分析

进行障碍物评定的高度层 H 本身对应分辨率 z_r 和海拔高度 H_r 如下式,需要进行误差分析。

$$\begin{cases} z_r = 614400/2^L \\ H_r = z_r \times H \end{cases} \quad (12)$$

本研究对净空区分别体素化三次,各剖分了 21、22、23 层,每次随机采样 10 万个点,用 TIN 方法计算高度值 H_t 并作为真值,查询采样点所在 DQG 对应高度值 H 并得到 H_r ,最后计算 H_t 与 H_r 的差值,如表 1 所示。

表 1 Hash 查询与 TIN 方法高度差值

	剖分 21 层	剖分 22 层	剖分 23 层
均值 (m)	-0.1893	0.0826	0.0008
标准差 (m)	0.1659	3.1768	0.0832
高度层分辨率 (m)	0.2930	0.1465	0.0732

由上表可知剖分层级越多,网格高度层分辨率越精细,两种方法结果越接近。因此可以增加剖分层级达到更高的评定精度。

5 结语

本研究针对机场净空区障碍物评定方法中计算效率问题,对 DQG 网格模型进行创新性的三维扩展,构建了一种 3DDQG 模型,并巧妙将其与体素化算法结合,通过编码赋予体素单元地理空间属性,成功地将净空区障碍物评定中复杂几何数学计算,转化为单一的编码查询,实验证明能极大提高机场障碍物评定的效率,为机场安全运行提供有效保障。

参考文献

- [1] 蔡良才,邵斌,郑汝海,等. 机场净空区范围确定方法[J]. 交通运输工程学报, 2004 (04): 40-43.
- [2] 王延亮,苏铁英. 机场净空限制面及障碍物位置图的制作[J]. 测绘工程, 1998 (02): 48-52.
- [3] 种小雷,蔡良才,杨锐. 基于GIS的机场净空评定方法[J]. 测绘通报, 2002 (11): 52-53+63.
- [4] Panayotov A, Georgiev I, Georgiev I. A practical approach for airport spatial modeling[C]. Proceedings of the 13th International Conference on Computer Systems and Technologies, 2012: 321-328.
- [5] Zhai W, Tong X, Miao S, et al. Collision Detection for UAVs Based on GeoSOT-3D Grids[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2019, 8 (7): 299.
- [6] Miao S, Cheng C, Zhai W, et al. A low-altitude flight conflict detection algorithm based on a multilevel grid spatiotemporal index[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2019, 8 (6): 289.
- [7] 金安,程承旗. 基于全球剖分网格的空间数据编码方法[J]. 测绘科学技术学报, 2013, 30 (03): 284-287.
- [8] 崔马军,赵学胜. 球面退化四叉树格网的剖分及变形分析[J]. 地理与地理信息科学, 2007 (06): 23-25.
- [9] 吴立新,余接情. 基于球体退化八叉树的全球三维网格与变形特征[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25 (01): 1-4.
- [10] 余接情,吴立新. 适应性球体退化八叉树格网及其编码方法[J]. 地理与地理信息科学, 2012, 28 (1): 14-18.

Dynamic monitoring and analysis of roof stability by geological survey in mining process

Yazhou Zhang Xiahui He

Henan Shenhua Xinglong Mining Co., Ltd., Xuchang, Henan, 461000, China

Abstract

The stability of the mine roof is an important factor affecting the safe mining. This study uses the geological survey method to dynamically monitor and analyze the roof stability in the mining process, in order to find the possible risk factors in time, and provide scientific basis and decision support for safe mining. Through the dynamic monitoring of the actual mining site, observing and recording the change process of the roof, a set of effective geological survey data processing and analysis methods are proposed. The results show that this method can effectively predict and evaluate the stability of the roof, and has a positive effect on the safety of mining. The results of this study have important application value in mining practice and provide a reliable guarantee for the safe production in mine.

Keywords

geological survey; mining; roof stability

矿山开采过程中地质勘测对顶板稳定性的动态监测与分析

张亚洲 何夏辉

河南神火兴隆矿业有限责任公司, 中国 · 河南 许昌 461000

摘 要

矿山的顶板稳定性是影响矿山安全开采的重要因素。本研究利用地质勘测方法,对矿山开采过程中的顶板稳定性进行动态监测与分析,以便及时发现可能的危险因素,并为矿山的安全开采提供科学依据和决策支持。通过实际采矿场地的动态监测,观察和记录顶板的变化过程,提出了一套有效的地质勘测数据处理和分析方法。研究表明,该方法能够有效地预测和评估顶板的稳定性,并对矿山开采的安全性具有积极的推动作用。本研究的成果在矿业实践中具有重要的应用价值,为矿山的安全生产提供了可靠的保障。

关键词

地质勘测; 矿山开采; 顶板稳定性

1 引言

矿山安全开采中,顶板稳定性问题司空见惯,但其重要性仍然不应被忽视,因为一旦顶板不稳定,可能会导致矿山塌陷,废矿和人员的伤亡。为此,对其稳定性进行全面的动态监测以及深度分析显得非常必要。令人遗憾的是,地质勘测方法在矿山开采过程中并未得到足够的重视和有效的利用。

本研究,就是希望改变这一现状,利用更为先进和全面的地质勘测方法,对矿山开采过程中诸如顶板稳定性这样的问题进行有效的动态监测和分析。通过在具体开采场地进行实地的动态监测,记录下顶板变化的各个环节,进而总结并提出一套实用,有效,简便的地质勘测数据的处理和分析

方式。通过这种方式,我们可以更早地识别可能存在的威胁,预防可能发生的危险。经过本研究,该方法已经成功地预测和评估了顶板的稳定性,并对矿山开采的安全性有了积极的推动作用。这一研究结果对于矿山安全开采具有重要价值,本研究旨在通过改进和完善地质勘测对顶板稳定性的动态监测方法,为矿山的安全生产提供了更为可靠的保障。

2 矿山安全开采与顶板稳定性概述

2.1 矿山的安全开采状态现状

近年来,矿山开采活动日益频繁,安全开采成为矿业领域的核心关注点之一 [1]。在矿山采掘进程中,顶板的稳固决定了作业安全环境和资源高效运用。但在现行开采时常出现顶板坍塌等安全难题,这让工人生命安全受挫,设备设施也备遭破坏。世界范围内,因为矿山顶板不稳而起的安全问题即监测及管理系统的不足之处,复杂的地质条件下尤其问题突出,如不能在第一时间作出反应。尽管现代矿工采用

【作者简介】张亚洲 (1995-), 男, 中国河南驻马店人, 本科, 助理工程师, 从事矿山地质勘测研究。