

示建筑物可能的倒塌情况、重要交通节点的阻断情况以及人员疏散的瓶颈点，从而直观地评估现有预案的优缺点。在推演过程中，三维模型还可以集成多种动态数据，如人员分布、救援资源位置以及实时气象变化，这些数据的动态变化能够让决策者清晰地了解灾害发展的每一步，从而快速调整决策。尤其是在重大突发事件中，利用三维模型进行多方案对比，能够辅助指挥人员选择最优的应急方案，提高应急响应的科学性与时效性。



图 1 实景三维模型图

### 2.1.3 应急培训教育

传统的应急培训通常依赖文字、图片或视频等方式，参与者缺乏沉浸感，难以真实感受到灾害场景带来的压力与挑战。而三维模型构建的虚拟场景通过沉浸式的体验，为培训提供了前所未有的真实感。比如，在消防培训中，学员可以进入虚拟火灾场景，模拟在浓烟和火焰中寻找逃生通道的过程。这种沉浸式的培训方式，不仅能够增强学员的实战能力，还可以帮助他们熟悉不同灾害场景下的应对流程与要点。

## 2.2 灾中应急响应

### 2.2.1 灾情实时监测

灾害发生后，现场环境往往复杂且变化迅速，传统的平面地图或二维影像难以全面反映灾区的地形、建筑分布和受损情况，而三维模型则可以完整呈现这些信息。通过无人机或其他扫描设备获取的实时数据，三维模型能够快速更新，展现灾害区域的动态变化。例如，在地震中，建筑物倒塌的范围和程度、道路的损毁情况以及可能的次生灾害隐患，都

可以通过三维模型清晰呈现。救援人员不需要亲自进入危险区域，就能全面了解灾情，从而提高决策的准确性和效率<sup>[2]</sup>。

### 2.2.2 救援方案制定

灾害现场的复杂性往往导致救援行动难以全面展开，而三维模型可以帮助指挥人员直观地评估灾区的地形特征、受灾范围以及救援通道的可行性，从而在最短时间内制定出针对性的救援方案。以洪涝灾害为例，三维模型能够精确显示水流的漫延范围和周边地形的高低起伏，指挥中心可以根据模型找到最佳的救援路线、确定安全的疏散路径，并及时调整救援计划。此外，通过叠加人口分布、交通网络、医疗资源等多维信息，模型还可以为人员安置、物资配送以及后续恢复工作提供支持。

### 2.2.3 应急资源调度

在灾害现场，资源分布不均、交通受阻等问题常常制约救援行动的开展，而三维模型可以精准标注关键设施的位置、受灾区域的分布以及可通行道路的情况，从而为资源调度提供准确依据。比如，在台风灾害中，模型可以直观显示被困人员的聚集点、断裂的电力设施或受损的道路桥梁，指挥中心可以据此快速部署救援力量和物资。例如，救援车辆可以根据模型确定最佳行进路线，医疗队伍可以优先赶赴受灾最严重的地区，而救援物资可以通过模型的指导实现精准投放。

## 3 实景三维模型在灾害评估中的快速构建与应用

### 3.1 灾害信息提取

#### 3.1.1 受灾区域识别

在灾害发生后，受灾区域可能涉及大面积的地理空间，实景三维模型能够在飞速收集数据的基础上，快速生成立体影像，帮助准确识别出受灾区域的边界和内部情况。通过无人机、卫星遥感等方式获取高分辨率影像，结合地理信息系统（GIS），技术人员能够在短时间内构建出完整的灾区三维模型，实现对受灾区域的快速识别和精确定位。这一过程中，三维模型不仅展现了地形、建筑、植被等表面数据，还能直观反映出灾害对自然和人类活动的影响（如图 2 所示）。无论是地震、洪水、山体滑坡，还是其他类型的自然灾害，实景三维模型都能在第一时间提供清晰的受灾区域轮廓，为后续的救援部署提供基础依据。

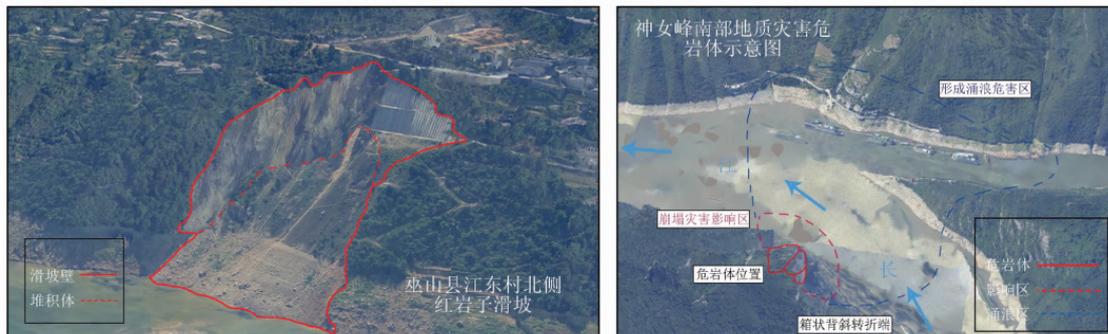


图 2 基于三维模型的地质灾害调查应用

### 3.1.2 受灾程度评估

灾害程度的评估不仅仅依赖于地面目测或单一的二维影像分析,而是需要多维度、多层次的信息整合。通过构建的三维模型,相关人员可以清晰地看到建筑物的损毁情况、地表的变形程度以及植被的破坏范围等信息。这种立体的呈现方式能够更直观地展示灾害带来的影响,使得损失评估更加全面。具体来说,技术人员可以通过分析三维模型中建筑物的结构变化、地表的沉降或隆起等细节,量化灾害造成的破坏程度。这些数据不仅能够帮助政府和保险机构评估损失,还能为后续的灾后重建工作提供科学依据。

### 3.1.3 灾情变化监测

灾情变化的监测是灾害评估中的持续性工作,尤其对于一些灾情可能会进一步扩大的灾害类型,如洪水、泥石流等,实时掌握灾情变化显得尤为重要。实景三维模型能够通过多时相数据的叠加和对比,帮助监测灾情的动态演化情况。技术人员可以定期通过无人机航拍或卫星影像更新三维模型,持续跟踪受灾区域的变化,及时发现灾情的扩大或新的灾害隐患。在此过程中,三维模型的精细化展示和动态分析功能,可以帮助相关部门预测灾害可能的发展趋势,提前部署防范措施,减小二次灾害的影响<sup>[3]</sup>。

## 3.2 灾害损失评估

### 3.2.1 建筑物损毁评估

在建筑物损毁评估方面,实景三维模型能够清晰地呈现每一栋建筑的受损情况。评估团队可以通过这些模型,详细分析建筑物的结构完整性,识别出哪些建筑物受到严重影响,哪些则相对完好。通过对比灾前和灾后的三维模型,评估人员可以准确地判断出建筑物的损毁程度,甚至可以用来评估建筑物的修复成本。这种方法大大提高了评估的效率,也增强了评估的准确性。以往,建筑物的损毁评估往往需要耗费大量的时间和人力,而现在,借助三维模型的技术,评估团队能够迅速作出反应,及时为救助和恢复工作提供科学依据。

### 3.2.2 基础设施损坏评估

在灾后,公路、桥梁、供水和电力等基础设施往往受到严重影响。通过对这些基础设施进行三维建模,评估人员能够快速识别出哪些设施存在安全隐患,哪些需要立即修复。比如,使用三维模型对桥梁进行分析,可以清楚地看到桥体是否出现裂缝、扭曲等异常现象,从而判断其是否仍然安全可用。这种快速而准确的评估方式,不仅帮助决策者及时采取措施,确保公众的安全,也为后续的修复工作提供了重要参考。

### 3.2.3 经济损失估算

通过对建筑物和基础设施的损毁情况进行全面评估,评估人员能够估算出整个灾害对经济造成的影响。比如,在一个城市经历了强烈地震后,首先需要通过三维模型了解各个区域的损毁情况,然后结合当地经济指标、产业结构等数据,进行综合分析。这种方法使得经济损失的评估不再只是简单的数字运算,而是建立在扎实的数据基础之上。这样的评估结果能够为政府和相关部门制定救助政策、分配资源提

供坚实的依据。

## 3.3 灾害风险分析

### 3.3.1 灾害易发性分析

易发性分析需要综合考虑地质、气候、地貌等多方面因素,这些因素往往与空间布局密切相关。通过实景三维模型,可以直观地展现这些地理要素的空间关系,进而分析出特定区域的灾害易发性。比如,在进行山体滑坡易发性分析中,三维模型可以清晰呈现坡度、坡向等关键地形特征,这些信息有助于评估滑坡的潜在发生概率。有了这些精确的三维数据,灾害易发性分析就不再仅仅依赖理论推测,而是有了更加扎实的空间数据支撑。

### 3.3.2 脆弱性评估

脆弱性评估主要关注的是在灾害发生时,受威胁地区的承受能力和应对能力。通过三维模型,可以精确呈现建筑物、基础设施以及人口密集区的分布情况,使评估者能够更清晰地了解这些区域的暴露度和潜在损失。举例来说,某地区的建筑物紧邻河道,通过三维模型能够清晰地看到该建筑物相对河床的高度差,从而判断其在洪水中的脆弱程度。此外,三维模型还能够集成历史灾害数据,通过对比不同时间段的三维实景影像,评估不同灾害情景下的区域变化,进一步加强了对脆弱性的评估精度。

### 3.3.3 风险区划分

风险区划分是灾害管理的重要部分,通过对易发性和脆弱性的综合分析,划定出高风险、中风险和低风险区。在这一过程中,三维模型提供了准确的地形、建筑和自然环境数据,帮助划分风险区的边界和范围。特别是对于地形复杂的地区,二维地图往往难以充分体现地形起伏,而三维模型则能够清晰呈现该地区的地貌特征,使得风险区划分更加合理和精确。比如,在地震高发区,通过三维模型可以详细了解断层带、山脉等自然地貌的分布情况,进而划定出地震高风险区。同时,三维模型还能结合区域的建筑密度和人口分布数据,进一步细化风险区划分,确保灾害管理措施能够精准覆盖到每一个高风险区域。

## 4 结语

总的来说,实景三维模型的快速构建和应用为应急管理领域带来了诸多优势。它不仅提高了信息获取的效率,还显著改善了决策的准确性,使得应急响应和灾后评估更加科学、有效。未来,随着技术的进一步发展,实景三维模型在应急管理中的应用前景将会更加广阔,成为其不可或缺的重要工具。

## 参考文献

- [1] 马建雄,明镜,周成涛,甘泽.基于实景三维与GIM技术的滑坡地质灾害勘查应用[J].测绘通报,2024(11):74-77+161.
- [2] 李能虎.实景三维技术在测绘和地理信息领域中的创新与应用[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(12):188-191.
- [3] 田婉怡,马炎生,罗潇.实景三维模型在村庄规划中的应用探索[J].测绘科学技术,2023,11(3):279-285.

# DQG grid based airport clearance obstacle assessment

Yujiao Zhu<sup>1</sup> Yaoyuan Zhang<sup>2</sup>

1. Shanghai Municipal Institute of Surveying and Mapping, Shanghai, 200063, China

2. Vivo Mobile Communication (Hangzhou) Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311100, China

## Abstract

With the rapid development of China's air transportation industry, efficient obstacle assessment in airport clearance zones has become crucial during airport expansion, construction, and maintenance to prevent emerging high-rise buildings from compromising flight safety. This paper addresses the inefficiency of traditional assessment methods by proposing a 3D DQG grid coding-based approach utilizing a global discrete grid model. By partitioning spatial locations and converting vector calculations into coding queries, this method significantly accelerates obstacle evaluation. Experimental results demonstrate marked efficiency improvements over conventional techniques, offering a robust solution for ensuring aviation safety.

## Keywords

clearance zones management; Discrete Global Grid Systems; 3DDQG; Voxelization

# 基于网格编码的机场净空障碍物评估计算

朱玉娇<sup>1</sup> 张耀元<sup>2</sup>

1. 上海市测绘院, 中国·上海 200063

2. 维沃移动通信(杭州)有限公司, 中国·浙江 杭州 311100

## 摘要

近年来我国航空运输业不断发展,大量的机场扩建、增建和日常维护时都需要进行机场净空区障碍物评定,防止不断涌现的高层建筑影响飞行安全。因此,如何快速判断净空区障碍物是否超限成为保证飞机起降安全的关键问题之一。本文针对传统净空区障碍物评估方法存在的效率问题,引入全球离散网格模型,提出了一种基于三维DQG网格编码的机场净空区障碍物评估方法,对空间位置进行划分将矢量计算转换成编码查询,实验结果证明该方法较传统方法效率提升显著。

## 关键词

净空区管理; 全球离散网格系统; 3DDQG; 体素化

## 1 引言

为保障飞机的起降安全,机场周围区域需要按照净空区范围确定方法<sup>[1]</sup>划定若干个障碍物高度限制面,以约束区域内的建筑物高度。

净空区障碍物超限评估技术经历了从使用数学模型手工计算到使用 ArcGIS 等工具进行空间分析<sup>[2-4]</sup>的演进,但传统矢量算法存在复杂度高、效率低等问题。近期我国大力推进实景三维及低空经济赋能建设,离散网格模型及编码在三维空间数据组织、计算和分析等方面具有结构优势,成为障碍检测、空域划分和分析的研究热点。其中,Zhai 等基于 GeoSOT 网格实现了无人机碰撞检测,速度明显优于传统矢量方法<sup>[5]</sup>; Miao 等通过建立 GeoSOT 空间索引实现了航线冲突检测,将求解概率积分的复杂方程转变为数据库查询<sup>[6]</sup>。但 GeoSOT 以及高度维拓展得到的 GeoSOT-3D<sup>[7]</sup>与

传统经纬网一样,随着剖分层次的增加会在极点附近产生大量的冗余网格。崔马军和赵学胜则提出了 DQG 退化四叉树剖分<sup>[8]</sup>,在极点附近无冗余且剖分计算简单;吴立新、余接情进一步提出并改进了 SDOG 退化八叉树网格<sup>[9-10]</sup>,但径向从球心起算造成高度范围浪费同时径向退化导致剖分编码计算复杂。

本文针对机场净空区障碍物评定存在的问题,选择 DQG 全球离散网格并将其拓展至三维构建了一种 3D-DQG 网格模型,剖分规则和编码计算简单,提高了障碍物评定效率。

## 2 机场净空和 DQG 网格

### 2.1 机场净空区

为保障航空器起降运行安全,《民用机场飞行区技术标准》规定了机场净空区障碍物限制面,由过渡面、进近面、起飞爬升面、内水平面和锥形面构成,如图 1。

【作者简介】朱玉娇(1995-),女,中国山东枣庄人,硕士,助理工程师,从事地理空间数据挖掘研究。

## 2.2 DQG 网格

全球退化四叉树网格 (Degenerate Quadtree Grids, DQG) 是以地球内接正八面体在球面投影得到的八分体为基础按照退化四叉树规则对表面进行划分得到的独立网格单元, 具有层次性、嵌套性和网格编码连续性等特点。

### 2.2.1 3DDQG 剖分

基于 DQG 二维框架, 本文扩展了一种三维 DQG (Three-dimensional DQG, 3DDQG) 模型, 采用非退化二分法沿径向进行层级细分如图 2, 径向高度范围 (径向长度)

可根据研究高度范围灵活调整, 本研究为 0-614.4km, 以水平面所在高度层为基准层 (第 0 层), 向上层号正增加, 随二维 DQG 同步剖分。

### 2.2.2 3DDQG 编码

3DDQG 编码为八进制 Z-order 空间填充曲线, 编码首位为球面八分码 (0 ~ 7), 每次剖分增加一个八进制位, 该八进制位由平面 DQG 剖分得到的行、列和径向剖分得到的层按照层、行和列顺序交叉取位得到, 如图 3。

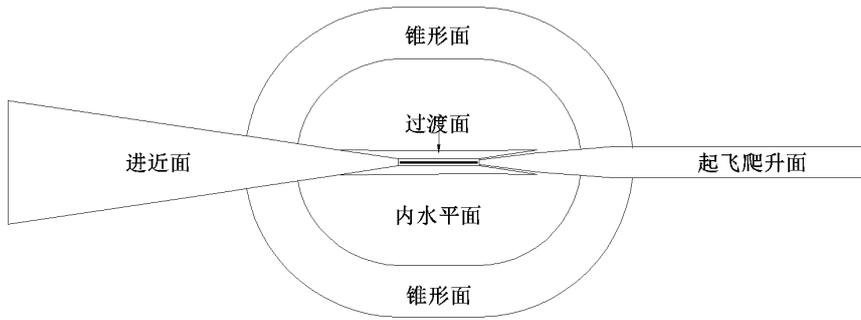


图 1 机场净空区构成

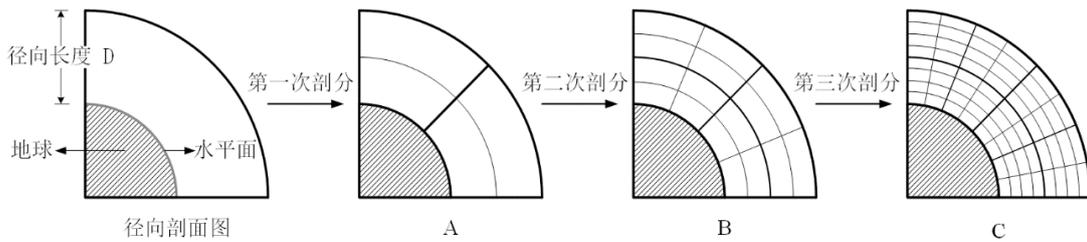


图 2 3DDQG 径向剖分

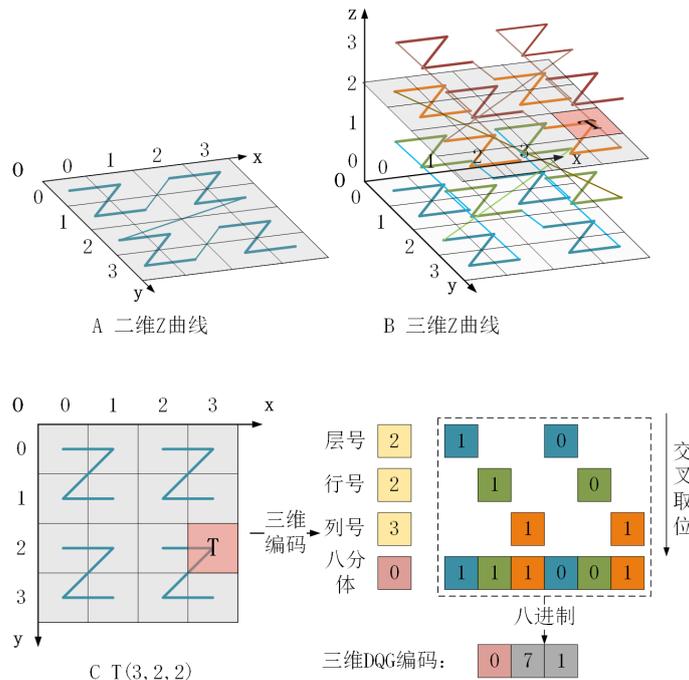


图 3 3DDQG 剖分编码