

# 基于 GIS 的机场净空限制面可视化模型研究

程小慷<sup>1</sup>, 裴城<sup>2</sup>, 黄若倩<sup>2</sup>

(1. 四川省民航机场智慧运营与运维工程研究中心, 四川 广汉 618300;

2. 中国民用航空飞行学院 机场学院, 四川 广汉 618300)

**摘要:** 为了确保机场的飞行安全,以《民用机场飞行区技术标准》规章为依据,结合障碍物限制面的相关定义以及飞行区等级指标 I 为 4 的障碍物限制面尺寸和坡度的要求,运用 Auto CAD 绘画出机场净空平面图形,将文件导入 GIS 系统,计算出各个障碍物限制面的许可高度,构建不同的障碍物限制面,建立民用机场三维净空模型,将障碍物图层与限制面图层进行叠加分析,对障碍物进行信息查询,可获得障碍物位于哪个限制面以及是否超过该限制面的许可范围。

**关键词:** 机场净空; 障碍物限制面; 地理信息系统; 三维建模

**中图分类号:** U8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)04-0071-06

随着航空业务量不断增加,为确保机场正常运行,航空器在进行起降时必须遵循规定的起落航线。机场的运行安全与其所处区域的自然地貌、地形高度以及周边建筑物的造型和位置等因素紧密相关。目前,传统的机场净空等级评价方法存在一些不足之处,主要表现为测绘方法速度缓慢、精度有限、更新困难等问题。然而,地理信息系统(geographic information system, GIS)技术中的三维建模技术和空间分析技术,是应用于机场净空条件评估的有力工具。近年来,GIS 广泛用于机场规划与管理中,张海东<sup>[1]</sup>以 GIS 为平台,使机场净空面以三维坐标的形式显示在城市大比例尺地形图数据库中,运用规划知识科学进行城市规划;葛林<sup>[2]</sup>叙述了机场规划的原则和主要内容,论述了 GIS 系统对机场规划工作的作用;李杰龙<sup>[3]</sup>提出了一种综合利用高度模型、点云数据和正射影像的机场净空区障碍物提取方法,通过韶关市机场扩建项目验证有效,为飞行控制程序设计提供支持,具备良好的社会效益,可供其他机场参考;吴豪和任国正<sup>[4]</sup>在山地丘陵地区建设通用机场需要考虑交通、建设和运行条件。为此,可以通过模糊层次分析法定量评估选址指标,并利用 GIS 建立选址决策模型,以获得可视化的评价结果;Xu 等<sup>[5]</sup>结合 GIS 技术,建立机场净空限制面的三维模型,并对该方法在机场进行评价和应用,为机场提供一种有效的管理方

法;Zhang 等<sup>[6]</sup>通过结合各类公式来获得高斯平面直角坐标,使实现高斯平面坐标、地理坐标与机场坐标的相互转换;白文喆<sup>[7]</sup>利用国际民用航空组织(ICAO)附件十四规定的障碍物限制面设计,结合 3D GIS 技术和数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据分析,为复杂地形下机场选址提供高效解决方案,减轻设计人员工作负担,优化飞行程序设计;李淑君和方学东<sup>[8]</sup>基于机场净空和城市发展的突出矛盾,提出一种新的净空障碍物管理方法;李明捷和石荣<sup>[9]</sup>利用模糊综合评价和层次分析法建立了民用机场净空区内障碍物安全评价模型;张乐和秦险峰<sup>[10]</sup>针对机场周边临时障碍物的净空审核问题,从支持城市发展和确保飞行安全的角度探讨临时障碍物与永久性障碍物有差别的处理的可行性。

综上所述,国内外有不少学者将 GIS 技术应用于民航领域的研究,利用 GIS 技术,可以将各种信息数据通过地理信息展现出来,使数据更加直观、精准。因此,建立基于 GIS 的机场管理系统,将成为未来民航领域的研究热点,为提升机场管理水平,促进民航事业健康快速发展提供有力的支持。

## 1 机场净空分析与限制面计算

### 1.1 净空分析

随着民航业的快速发展,机场建设与扩建不断增加,但是由于少数管理部门对机场净空保护重要

**收稿日期:** 2024-06-21

**基金项目:** 四川省民航机场智慧运营与运维工程研究中心自主课题(CZKY2024049)

**作者简介:** 程小慷(1970—),男,贵州遵义人,硕士,教授,研究方向为机场运行;裴城(1992—),男,四川成都人,博士,研究方向为机场运行;黄若倩(2001—),女,广西玉林人,硕士研究生,研究方向为机场运行管理。

性的认识不足,对机场净空保护的规定没能严格执行,致使机场净空的保护形势变得十分严峻,造成航班延误、取消、备降以及飞行事故征候时有发生。近年来,飞机飞行阶段致命事故与死亡人数的比例,如表 1 所示。

据《全球商用喷气式飞机飞行事故统计报告(1959—2020 年)》指出,根据分析数据显示,全球只有 13% 的致命飞行事故发生在巡航阶段,而 28% 发生在最后进场阶段,26% 发生在着陆阶段。尽管飞机在机场上空的飞行时间相对较短,但大部分的致命事故发生在与机场净空密切相关的这四个阶段。因此,这些数据清楚地表明,保持良好的机场净空对于确保飞行安全具有至关重要的作用。

当跑道需要同时保证飞机能够双向起降时,障碍物的高度必须按照严格的起飞和进近要求进行控制。这包括内水平面、锥形面和进近面的重叠部分,要求障碍物高度控制更为严格。对于在净空限制范围内超过规定高度的现有物体,一般情况下需要拆除或搬迁。除非经过专门研究并得到相关主管部门批准后,确认该物体不会对飞行安全造成威胁,否则仍需视为障碍物,并按规定设置障碍灯和

标志。其中,关于超高障碍物存在遮蔽原则,指的是当某建筑物或物体被现有不可移动的障碍物遮蔽时,新建建筑物或扩建现有建筑物的高度应按相关规定进行严格控制。只有经过航行部门研究确认不会影响飞行安全,并且得到有关部门批准后,才能不将其视为障碍物。

### 1.2 障碍物限制面

附件 14 中未对坐标系提出明确要求,在计算中较常将跑道中心作为坐标原点  $O$ ,在跑道中心轴线上建立  $X$  轴,并将其正方向指向起飞爬升面方向,同时,建立垂直于跑道方向的  $Y$  轴,最后,以原点所在平面法线方向为建立的  $Z$  轴,如图 1 所示。

障碍物限制面以民航规章中的尺寸与坡度向外或向上延伸,其中各个限制面的所能容纳的高度如表 2 所示。

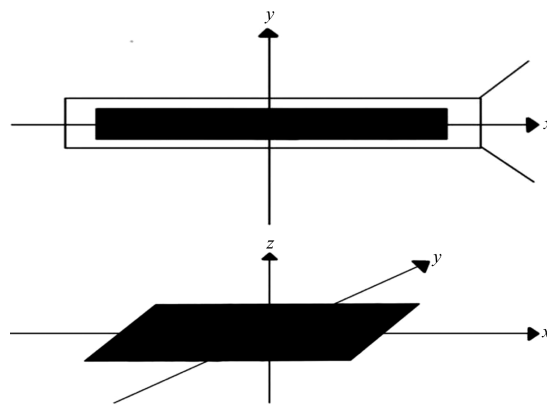


图 1 坐标系建立示意图

表 1 2011—2020 年飞机飞行阶段致命事故与死亡人数

致命情况	滑行	起飞	初始爬升	上升	巡航	下降	初始进近	最后进近	着陆
致命事故占比/%	8	5	8	10	13	3	0	28	26
死亡人数占比/%	0	6	1	20	29	4	0	34	5

表 2 限制面限高公式

限制面名称	限高计算公式 <sup>[11-12]</sup>	含义
内水平面	$H = 45 + (H_1 + H_2)/2$	$H_1$ 为跑道入口标高; $H_2$ 为跑道末端标高
锥形面	投影于直线部分: $H = (H_1 + H_2)/2 + 45 + A(Y - R)$ 投影于圆周部分: $H = (H_1 + H_2)/2 + 45 + A[\sqrt{Y^2 + (X - L/2)^2} - R]$	$H_1$ 为跑道入口标高; $H_2$ 为跑道末端标高 ( $H_1 > H_2$ ); $X$ 为点坐标在 $X$ 轴的距离; $Y$ 为点坐标在 $Y$ 轴的距离; $R$ 为内水平面半径; $L$ 为跑道长度; $A$ 为坡度
进近面	$H = \begin{cases} H_0 + (A - 60) \times 0.02, A \leq 300 \text{ m} \\ H_0 + 3\,000 \times 0.02 + (A - 3\,060) \times 0.025, 3\,000 \text{ m} < A \leq 3\,600 \text{ m} \\ H_0 + 1\,506\,600 \text{ m} < A < 15\,000 \text{ m} \end{cases}$	$A$ 为目标点距离跑道端点; $H_0$ 为目标点一侧跑道端点高度
过渡面	投影于进近面两侧: $H = H_0 + \frac{A - 150}{7}$ 投影于跑道两侧: $H = H_0 + (A - 60) \times 0.02 + \frac{(A - 60) \times 0.15 - 150}{7(A - 150)} \times 7$	$A$ 为目标点距离跑道端点; $H_0$ 为目标点一侧跑道端点高度
起飞爬升面	$H = H_0 + (A - 60) \times 0.012$	$A$ 为目标点距离跑道端点; $H_0$ 为目标点一侧跑道端点高度

## 2 基于 GIS 机场净空可视化管理

借助 GIS 能够更准确地对机场净空管理进行评估和规划,并且改变其传统管理模式。具体来说,可以根据前文中计算得出的障碍物限制面范围,进行分析机场周围任一障碍物位于哪一个面内,代入对应的公式获得对应的高度,并判断高度是否超过限制。

### 2.1 机场净空区的可视化管理

(1)通过建立自定义坐标系以及障碍物限制面的尺寸和要求,计算障碍物限制面顶点的平面坐标,从而通过利用 Auto CAD 绘制出机场净空障碍物限制面平面图(图 2)。

(2)将 CAD 绘制的机场净空障碍物限制面平面图导入 GIS,在 Arcgis 的目录中新建一个 shapefiles 格式的图层,设置图层名称、类型和坐标系,如图 3 所示。

(3)在上一步新建的图层中新建一个 elevation 字段,根据上面提到机场净空障碍物限制面公式,在每个限制面的边线中选取点,并在新建字段手动输入高度,如图 4 所示。

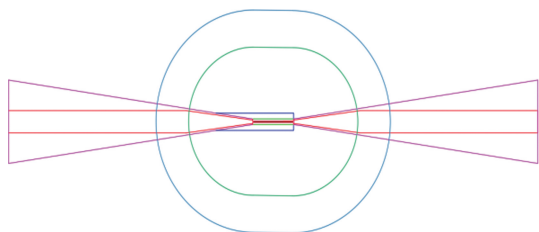


图 2 机场净空障碍物限制面平面图

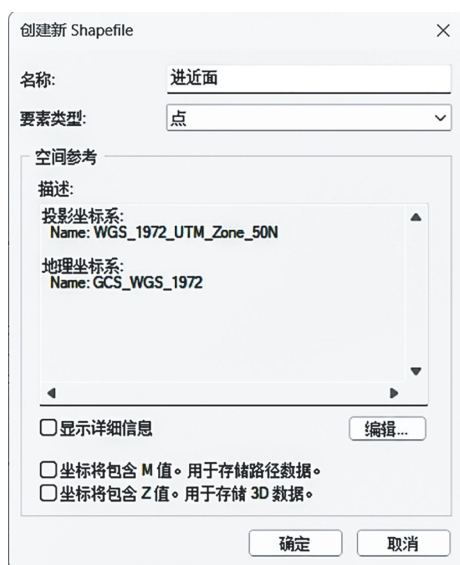


图 3 shapefiles 格式

(4)将图层导入 ArcScene,通过 ArcToolbox 的三维分析创建 TIN 工具,并设置【高度】字段,然后转换成不规则三角网,再将高度分类设置,形成不同的高度区间,从而得到机场净空模型<sup>[13]</sup>,如图 5 所示。

(5)将障碍物图层与限制面图层进行叠加,据此确定障碍物所处限制面位置,进而结合高度信息,采用拉伸显示技术,从而进行障碍物信息查询判断是否超越了限制面允许的高度。如图 6 和图 7 所示。

FID	Shape *	Id	高度
0	点	0	0
1	点	0	0
2	点	0	60
3	点	0	60
4	点	0	150
5	点	0	150
6	点	0	150
7	点	0	150

图 4 属性表

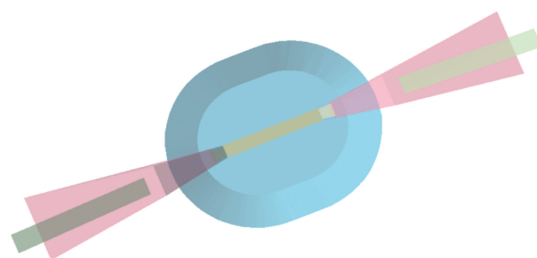


图 5 机场净空模型

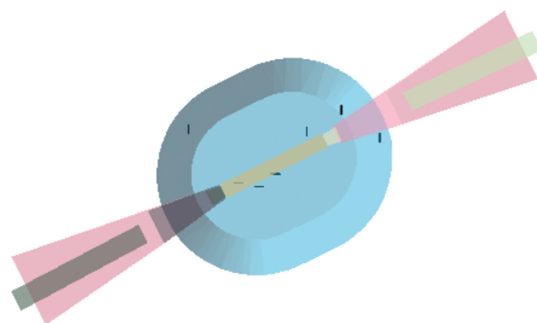


图 6 机场净空模型图及障碍物

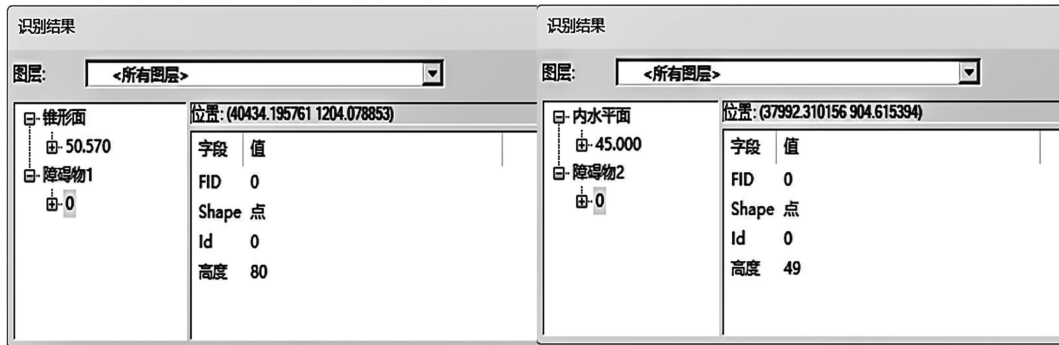


图 7 障碍物查询结果

## 2.2 机场净空区评价

首先,需要将所列出的障碍物数据转换为适合 GIS 的图层格式。每个障碍物都包括其地理位置坐标(经度和纬度)、高度信息以及其他相关数据。在 GIS 软件中,将这些障碍物图层与机场的净空限制面图层进行堆叠,从而得到在 GIS 界面上就能同时显示机场的各种净空限制面以及障碍物的具体位置。通过这种堆叠显示,可以直观地展示每个障碍物与机场各个净空限制面之间的位置关系。这种视觉展示有助于飞行员、航空管理人员和相关设计师深入理解潜在的飞行安全风险,从而能够做出相应的决策和规划。

当障碍物的位置发生变更或者被移除时,必须及时在 GIS 中更新相应的障碍物图层数据。这些修正的数据可以存储和保留,以确保地图数据的准确性和实时性。这种做法不仅可以提高管理效率,还能够减少因为过时数据而导致的潜在风险。综上所述,利用 GIS 进行障碍物的管理和分析,能够显著提升机场的飞行安全管理水平。通过实时更新和精确的空间数据处理,GIS 不仅为机场运营提供了重要的支持工具,还为飞行安全管理带来更高效和更可靠的解决方案。

通常评判障碍物高度是否超过限高的流程包括几个步骤:首先,需要获取障碍物在地图上的位置信息,并根据坐标转换公式将其转换到净空评价几何坐标系上。根据规章规定的障碍物限制面的参数,绘制净空保护区的范围,通过使用不同颜色的图层来区分不同的障碍物限制面,可以直观地判断障碍物位于哪个限制面。接着,根据相应的限制面限高公式进行高度计算,从而得出该位置的限高值,利用不同的符号或图标表示不同类型的障碍物,并通过点击障碍物图标查询其高度信息。例如,在图 6 和图 7 中,可以直接观察障碍物图标,确定其位于哪个障碍物限制面图层,并查询其高度信

息,以判断是否超过许可高度,是否为超限障碍物,并相应采取措施。如果某一障碍物同时位于两个或多个障碍物限制面,按照多面覆盖取其严格的限高值原则,选择其中最低的限高值。若障碍物高于其所在限制面的限高值,则说明其超过限高,可能对航空器的正常运行构成威胁,应尽可能移除或考虑已存在且不能移动的物体来遮蔽。对于新建项目的申请,如果高度超过限制面的限高值,则不予审批或要求降低高度后再进行建设。如果障碍物低于所在限制面的限高值,则符合净空要求。

## 2.3 案例分析

### 2.3.1 基于 GIS 的机场净空可视化管理

遵循前面所规定的技术步骤与方法,借助 GIS 作为技术支撑平台,GIS 允许将地理空间数据与机场结构、高度限制等信息整合在一起。收集某机场及其周边 15 km 范围内的建筑物等数据,如表 3 所示,利用 GIS 的空间分析功能,根据 ICAO 和国家民航局的标准,设计和绘制出进近面、过渡面、内水平面、锥形面和起飞爬升面的具体形状和高度限制。由于某机场地形复杂,中小型航空器不允许进

表 3 部分障碍物

序号	障碍物名称	坐标		海拔高度/m
		X 轴/m	Y 轴/m	
1	发射塔	5 216.8	1 204.4	610.7
2	烟囱	-3 656.2	4 357.3	615.2
3	* 天线	-782.4	1 038.0	469.9
4	烟囱	5 620.9	-1 401.5	517.7
5	烟囱	2 770.4	4 900.2	515.1
6	信号塔	2 127.1	-3 540.1	525.1
7	信号塔	-34.0	-1 950.7	526.8
8	* 水塔	-2337.6	-40.8	524.4
9	天线	2 161.9	-5093.2	546.1
10	国家电网天线	2 855.0	-4153.9	508.6
11	烟囱	2 539.0	-3 249.8	532.7
12	气象塔	14.9	855.9	497.3

注: \* 代表有灯光。

入。某机场的标高为 467.6 m,跑道编号为 09/27,长 2 200 m,宽 45 m,飞行区等级为 4C,符合仪表飞行规则。这些信息表明某机场在地理位置和地形条件上具有一定的限制和特点,特别是复杂地形对飞行安全提出了挑战。

### 2.3.2 机场的净空评价

根据评判障碍物高度超过限高的一般流程,用来判断障碍物的高度是否超过允许的最大飞行高度限制。对其障碍物进行是否超高评价,其结果如表 4 所示。

表 4 机场净空评价结果

序号	障碍物名称	高度/m	所在面	限高值/m	是否超高	超限值/m
1	发射塔	610.7	锥形面	585.3	是	25.4
2	烟囱	615.2	锥形面	611.0	是	4.2
3	* 天线	469.9	内水平面	514.9	否	
4	烟囱	517.7	锥形面	607.3	否	
5	烟囱	515.1	内水平面	512.6	是	2.5
6	信号塔	525.1	锥形面	524.1	是	1.0
7	信号塔	526.8	内水平面	513.5	是	13.3
8	* 水塔	524.4	内水平面	512.8	是	11.6
9	天线	546.1	锥形面	594.3	否	
10	国家电网天线	508.6	锥形面	603.1	否	
11	烟囱	532.7	锥形面	523.8	是	8.9
12	气象塔	497.3	内水平面	497.6	否	

注:\* 代表有灯光。

通过以上数据统计结果,可以发现,在该机场部分的周围障碍物中,共计有 7 个碍物被纳入锥形面内的评估范围,其中有 4 个障碍物的高度超过设定的飞行限制规定,超出的障碍物可能会对飞机的起飞或者着陆过程造成影响或者风险。总计有 5 个碍物被考虑在内水平面内的评估范围之内,3 个的高度超过设定的飞行限制规定,这些障碍物可能会影响到低空飞行路径,需要特别注意以避免与之碰撞。

### 2.3.3 净空管理的措施

据分析,该机场的净空条件处于较高水平。这意味着总体上空障碍物对飞行安全的影响较小。其中,超限障碍物“发射塔”“烟囱”以及“信号塔”等为人工建筑物,且不容易移除,应将障碍物高度下降至许可高度,或需要安装障碍物灯用以提醒飞行员。超限障碍物“天线”都是人工建筑物,建议将这些天线设计为易折易碎的结构,减少飞机撞击时的损害。同时,除此之外的障碍物都处于限制面内,对飞行安全并没有造成任何威胁。总结来看,该机场在管理和处理净空障碍物方面采取了相对有效

的措施,对于那些难以移除的障碍物,通过降低高度、使用易碎结构或者安装障碍物灯等方式,有效地降低了对飞行安全的潜在影响。这样的处理措施使得该机场的净空状况相对优越,有利于保障飞行操作的安全性和顺利性。

## 3 结语

近年来,随着我国城市化进程的加速推进,许多城市的规模和人口数量都达到前所未有的高度。这种快速扩张不仅对城市基础设施提出巨大挑战,同时也对周边的重要设施如机场净空造成日益严重的影响。机场作为连接城市与全球的重要枢纽,在发展和建设过程中,其周边区域的快速扩展和建设速度越来越快,对机场净空造成不同程度的破坏和威胁。

根据《运输机场净空区域内建设项目》的规定,机场净空障碍物限制面中对障碍物的高度有着严格的要求。任何位于限制面内的障碍物高度,都不得超过其所处位置的许可高度,除非采用遮蔽原则。然而,在实际的机场运行和建设中,为了应对城市化带来的发展压力,常常通过调整飞行程序或降低机场运行标准来提高障碍物的限制高度,这可能导致机场净空受到进一步威胁,从而影响到机场航空安全与城市化快速发展的结合。为了解决这些问题,必须评估周围障碍物是否会对机场航空安全构成潜在威胁,并采取控制其高度,确保符合机场净空许可的规定。传统的机场净空评估方式存在效率低、更新困难等问题,因此,结合 GIS 技术的数据编辑与管理功能,可以将机场净空障碍物限制面可视化,为管理者提供更清晰、更直观的信息,从而有效地监控和管理机场周边的发展和建设活动,保障机场航空安全和城市发展的协调进行。

## 参考文献

- [1] 张海东. 利用 GIS 实现机场净空区范围的查询与管理[J]. 矿山测量, 2015(1): 24-25.
- [2] 葛林. GIS 技术功能特点及在机场规划中的应用[J]. 智慧城市, 2020, 6(16): 100-101.
- [3] 李杰龙. 一种多数据结合的机场净空区障碍物提取方法[J]. 科学技术创新, 2022(17): 28-31.
- [4] 吴豪, 任国正. 基于 GIS 的山地丘陵地区通用机场选址研究[J]. 科技和产业, 2024, 24(3): 223-227.
- [5] XU M X, LIANG C C, SHAO B, et al. 3D Model of air-field clearance and a case study[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 38(10): 1744-1747.
- [6] ZHANG X M, LIU Y, LI G, et al. Study and application on airport clearance based on secant method in Gauss pro-

- jection algorithm for inverse solution[J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 135(11): 669-672.
- [7] 白文喆. 基于 3D GIS 的机场辅助选址技术研究[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2022.
- [8] 李淑君, 方学东. 基本 ILS 面在净空障碍物安全评估方法中的应用[J]. *价值工程*, 2024, 43(10): 154-157.
- [9] 李明捷, 石荣. 民用机场净空区内障碍物安全性评价方法研究[J]. *安全与环境学报*, 2011, 11(1): 226-229.
- [10] 张乐, 秦险峰. 机场净空区域内临时障碍物高度规划与控制研究[J]. *中国民航飞行学院学报*, 2023, 34(1): 27-30.
- [11] 曹宁, 杨礼. 机场净空审核的限高核算及实例分析[J]. *中国民航飞行学院学报*, 2020, 31(5): 60-64.
- [12] 周定杰, 李志林, 宗云婷, 等. 基于 GIS 的机场净空管理系统设计与实现[J]. *测绘与空间地理信息*, 2021, 44(11): 147-150.
- [13] 罗成立, 蔡良才, 黄命辉, 等. 基于 GIS 的机场净空障碍物评定研究(英文)[J]. *Transactions of Nan jing University of Aeronautics & Astronautics*, 2011, 28(3): 294-299.

## Visual Model of Airport Clearance Restriction Surface Based on GIS

CHENG Xiaokang<sup>1</sup>, PEI Cheng<sup>2</sup>, HUANG Ruoqian<sup>2</sup>

(1. Sichuan Engineering Research Center For Smart Operation and Maintenance of Civil Aviation Airports, Guanghan 618300, Sichuan, China;  
2. Airport College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618300, Sichuan, China)

**Abstract:** To ensure the flight safety of the airport, on the basis of the Technical Standards for Civil Airport Flight Areas, considering the relevant definition of the obstacle and the requirements for the size and slope of the obstacle limit surface where the flight zone grade index I is 4, Auto CAD was used to draw out the airport clearance plane graphics. The files were imported into the GIS system, the allowable height of each obstacle limit surface was calculated, different obstacle restriction surfaces was constructed, the 3 D clearance model of the civil airport was established. The obstacle layer with the restricted surface layer is superimposed to make information query on the obstacles, and get which limit surface the obstacle is located and whether the limit surface is exceeded.

**Keywords:** airport clearance; obstacle limit surface; geographic information system; 3 D modeling