

雷达管制常规运行对于低于 MVA 引导的超障评估方法

刘冰¹ 张琼^{2*}

(1. 上海华东民航飞行程序设计研究院,上海 200335;2. 中国商飞公司民用飞机试飞中心,上海 200231)

摘要:近年来,我国在实施雷达管制的机场相继公布了最低监视引导高度(minimum vectoring altitude,简称MVA)图,在常规运行中,雷达引导实施过程中管制员常常需要引导飞机偏离标准仪表飞行程序。由于我国尚未制定针对MVA以下雷达引导区划设与障碍物评估规范,当飞机在起飞和复飞初始阶段的飞行高度低于MVA时,无法确认飞机的安全超障。因此,本文对低于MVA引导的超障评估方法进行了研究,为解决上述问题提供思路和理论参考,以填补国内相关规章规范的空白。

关键词:最低监视引导;全向离场;超障评估;仪表飞行程序

中图分类号: V243

文献标识码: A

OSID:



0 引言

雷达管制是指雷达管制员用雷达手段向已被识别的航空器提供管制服务,实施雷达管制的机场须根据航空器机动飞行对区域范围的需要、障碍物对飞行的影响、空中交通的分布等因素确定雷达引导区域。在调配间隔、避让恶劣天气、处理突发或紧急情况时,雷达引导往往是大型机场实施管制指挥的有效手段。

通过制作最低雷达引导高度图,可以给管制人员提供雷达管制区域的划设及各引导扇区可以使用的最低安全高度^[1]。管制员须遵守《最低雷达引导高度规程》的相关规定,根据最低雷达引导高度图所划设的雷达引导区域实施雷达引导。但在某些情况下,飞机既不能按照标准仪表飞行程序离场或复飞,又无法达到最低监视引导高度(minimum vectoring altitude,简称MVA)规定的高度,安全超障难以得到保障。通常这些情况出现于:

1) 标准仪表离场程序因空域或净空原因设置

较长的一边,为提高运行效率,管制员引导飞机提前转弯^[2];

2) 标准仪表离场或复飞程序的航迹上存在必须绕飞的雷雨或恶劣天气^[3];

3) 临时空域限制导致无法执行标准仪表离场程序;

4) 尽快满足平行跑道运行离场与复飞航迹分离需要等^[4]。

此外,飞机在运行中有时会脱离飞行程序和导航设施的航迹引导,也需要通过已知净空信息判断是否有距离障碍物过近的风险。

我国目前尚未制定专门针对MVA以下雷达引导区划设与障碍物评估的规范,导致相关规章规范处于空白状态。然而,在实际操作中,确实存在需要处理此类情况的场景,使得管制员与飞行员均面临着无法判断安全超障的困惑^[5]。因此,为确保飞行安全,研究并建立一套评估机场净空条件能否满足飞机安全超障需求的方法和规则显得尤为迫切。

本文结合ICAO(国际民航组织)和FAA(美国联

* 通信作者. E-mail: zhangqiong1@comac.cc

引用格式: 刘冰,张琼. 雷达管制常规运行对于低于 MVA 引导的超障评估方法 [J]. 民用飞机设计与研究, 2024(4):46-51.

LIU B,ZHANG Q.The method of obstacle assessment for radar control during normal operations below MVA guidance[J].

Civil Aircraft Design and Research, 2024(4):46-51 (in Chinese).

邦航空管理局)规章体系的相关规定,研究提出了超障评估的方法。通过雷达引导区划设,用以判断不适用于实施低于MVA引导的区域,避免飞机低高度进入障碍物区域;通过障碍物鉴别评估和爬升梯度计算,用以确定离场和复飞阶段安全超障的飞行方法,从而为制定雷达管制引导策略提供技术支持。

1 全向离场相关规范

1.1 ICAO 规范

与ICAO Doc8168《航空器运行-目视和仪表飞行程序设计》相一致,民航局下发的《航空器运行-目视和仪表飞行程序设计规范》(AC-97-FS-005-R1)规定了全向离场的设计准则。针对由于空管目的,或为避开特定障碍物而不需要离场航线的情况,通过制定全向离场程序保证超障。当要求超障余度达到一个额外的高度时,应该保持直线离场直至达到要求的转弯高度,在直线离场的延长部分允许有小于15°的转弯。达到指定的转弯高度时可以向任意方向转弯以加入航路航段。

ICAO 规范规定了全向离场的保护区分为转弯起始区(1区和2区)和转弯区(3区)。转弯起始区包含按程序设计梯度(procedure design gradient,简称PDG)达到最低转弯高度点之前的部分和过该点后按离场航迹呈30°向外扩张到达规定转弯高度的部分。转弯区为以跑道中线上距离跑道起始段600 m为圆心的圆内其余部分,圆的半径取决于按PDG爬升至下一个巡航高度层或扇区安全高度所需要的距离^[6]。全向离场程序的超障评估方法详见ICAO Doc 8168。保护区范围如图1所示,图中DER(de-

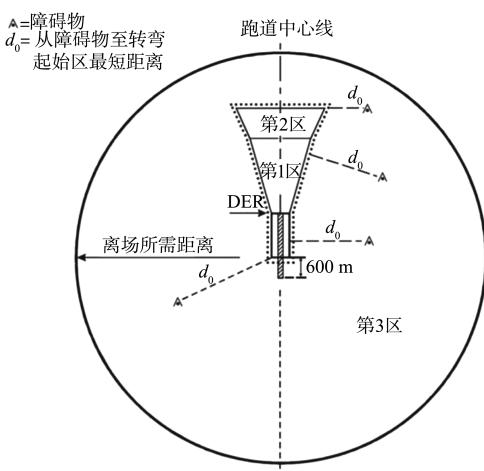


图1 ICAO 规范中的全向离场保护区^[6]

parture end of the runway)即跑道起飞末端。

1.2 FAA 规范

在FAA规范体系中,Order 8260. 3D《United States Standard for Terminal Instrument Procedures (TERPS)》也规定了上述程序的设计准则,并将其定义为多向离场。保护区范围包括初始爬升区(initial climb area,简称ICA)、A侧和B侧。其中,ICA是一个以跑道中心线为中心进行延伸的区域,起始于跑道末端处,垂直中心线宽度±150 m(±500 ft),沿15°外扩,终止长度为3.7 km(2 n mile),终止宽度±1 145 m(±3 759.18 ft)。A侧以跑道入口600 m处离场参考点(departure reference point,简称DRP,即跑道中线上距入口600 m处的点)与跑道的垂线为界,ICA侧的所有区域(ICA除外)。B侧以跑道入口600 m处DRP与跑道的垂线为界,跑道入口侧的所有区域^[7]。保护区范围如图2所示。图2中,DRL(departure reference line)即离场参考线;Diverse A/B即多向离场A/B区。

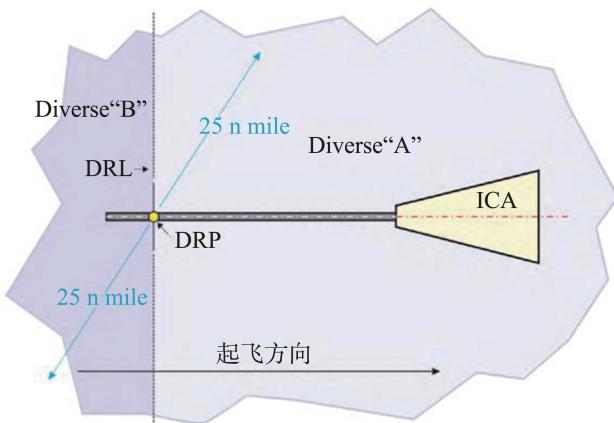


图2 FAA 规范中的多向离场保护区^[7]

在FAA Order 8260. 3D 规范中,规定了多向离场的评估方法。针对ICA,采用2.5%的障碍物超障面(obstacle clearance surface,简称OCS)评估爬升至跑道端以上120 m(400 ft)、最小爬升梯度为3.3%时的超障情况。A侧和B侧的OCS面高计算则采用以下公式(单位为ft):

$$\text{A侧: } h = a + d/40 \quad (1)$$

式中: h 为障碍物处的面高度; a 为ICA终止处高度; d 为障碍物距ICA边界或跑道最近点的距离。

$$\text{B侧: } h = d/40 + b + 400 \quad (2)$$

式中: h 为障碍物处的面高度; b 表示单位机场

标高; d 表示障碍物距 DRP 点的距离。

2 多向引导区相关规范

与 ICAO 所规定的全向离场规范不同, FAA 在提出多向离场的设计和评估规则基础上, 还规定了多向引导区(diverse vector area, 简称 DVA)的避障方式和引导范围。

DVA 引导区包括从 DRP 点的一系列可用航向范围, 即在飞机到达 MVA 之前, 雷达引导不允许超过的可用航向范围。DVA 的区域侧边界需要与穿透障碍物至少保持 20° 的夹角缓冲区和 3 n mile/5 n mile 的缓冲带, 如图 3 所示。图 3 中, DVA (diverse vector area) 即多向引导区, 一旦飞机离开该区域边界, 则 DVA 不适用, 且 DVA 区域内不允许障碍物穿透 OCS 面; Lateral DVA boundary 即多向引导区水平边界; DVA arc boundary 即多向引导区弧的边界; Buffer splay 即缓冲区扩散角; ONM from antenna 即雷达天线 40 n mile 处; OEA buffer(Obstacle Evaluation Area buffer) 即障碍物评价区域的缓冲区, 该缓冲区距雷达天线 40 n mile

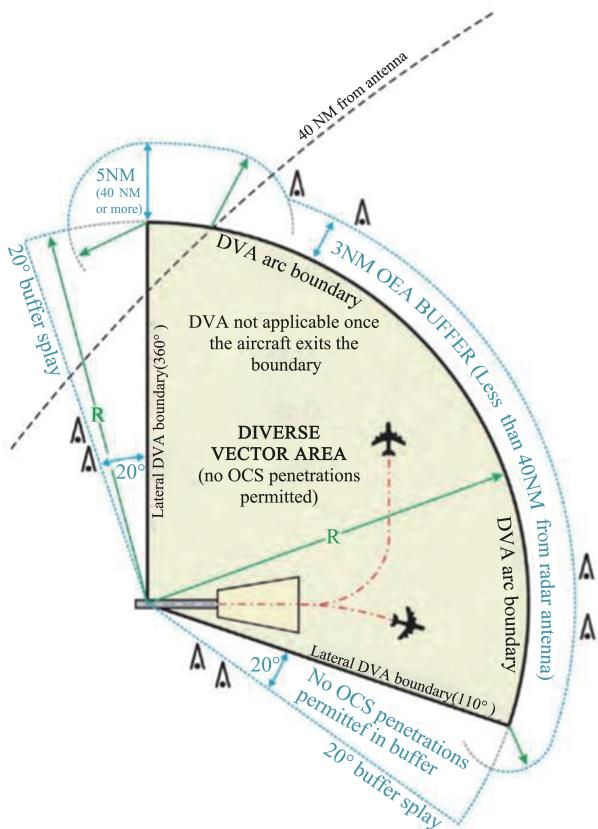


图 3 FAA 规范中的多向引导区(DVA)

以内宽度为 3 n mile; 缓冲区内不允许障碍物穿透 OCS 面。

在评估 DVA 超障时, 需获取雷达天线的位置信息以及区内人工和自然障碍物信息^[8]。根据 MVA 的高度计算初始引导区域 A 侧的半径 R_A 和 B 侧的半径 R_B 。A 侧以 ICA 终止处的最远点为圆心, B 侧以 DRP 点为圆心, R_A 和 R_B 计算方法如下(单位为 ft):

$$R_A = (\text{MVA 高度} - \text{跑道末端标高} - 951 - 304) \times 40 \quad (3)$$

$$R_B = (\text{MVA 高度} - \text{机场标高} - 951 - 400) \times 40 \quad (4)$$

在此基础上, 叠加 MVA 图, 结合 MVA 范围对 DVA 区域进行缩减。在缩减后的区域边界内, 确定所有穿透 2.5% 坡度的 OCS 面的障碍物, 建立 MVA 区域边界和相关缓冲区。当 DVA 区域边界内没有 2.5% 的穿透时, 所有的航向都可用。

3 低于 MVA 引导的超障评估方法

3.1 ICAO 规范与 FAA 规范的对比

虽然两种规范对于不固定离场航迹的离场方式定义不同, 但评估思路和梯度计算大体一致。不同点在于 ICAO 的全向离场规范存在第 2 区作为直线段的延伸段, FAA 规范中则无直线延伸保护的概念, 而以跑道入口 600 m 处区分了两个区域。可以看出, ICAO 规章的方法对于转弯前的直线航段更具有保护性, 但对于引导区的定义和评估则缺少具体的规定。

由于复飞是指机组在进近着陆过程中发现飞机不具备着陆条件时终止进近, 使飞机按规定或指定程序上升到指定高度的飞行程序^[9], 因此与离场程序的爬升过程较相似。低于 MVA 实施引导主要存在于离场和复飞这两种航段, 考虑到 ICAO 规范和国内相关咨询通告尚无这方面的规定, FAA 规范中虽然包含了离场 DVA 引导区的划设和超障评估方法, 但无复飞航段的相关规定。因此融合两种规章体系, 研究提出离场和复飞航段低于 MVA 引导的超障评估方法。

3.2 离场低于 MVA 引导的超障评估

1) 绘制保护区。按照 ICAO 规章的方法, 采用全向离场概念, 将离场保护区分为起始区和转弯区。转弯起始区即 1 区、2 区, 如爬升梯度增加, 则按照选用的爬升梯度计算其长度; 转弯区即 3 区。

2) 叠加MVA扇区。按照FAA规章的方法,叠加MVA扇区图,截取初始MVA扇区(对于低于初始MVA相邻扇区,直接截取;对于高于初始MVA相邻扇区,截取缓冲区),确定评估区域。

3) 超障评估计算。按照ICAO规章针对全向离场的计算方法评价障碍物。

4) 判断影响情况。如无障碍物穿透,则全航向范围内可实施低于MVA引导;如有障碍物穿透,则可以提高整个区域的爬升梯度,或优化定高转弯离场转弯高度^[10],或划设20°缓冲的扇区以避开穿透障碍物。

3.3 复飞低于MVA引导的超障评估

1) 绘制保护区。首先确定复飞的初始爬升处,即SOC(start of climb)线。当复飞点MAPt有一个导航台或定位点确定时,SOC为复飞点容差和给定航空器类型最后进近最大速度加上10 kt顺风影响飞行15 s的距离之和。

2) 确定复飞转弯起始处。复飞转弯起始阶段保护区自SOC线开始,按照2.5%的复飞梯度直线拉升至120 m处,高于120 m时,沿保护区外边界与复飞直线航迹呈30°角向外扩张,直至转弯高度。转弯区参考全向离场3区画法。

3) 叠加MVA扇区。与离场方法一致。

4) 超障评估计算。复飞转弯起始阶段保护区内的评估方法按照ICAO规章针对复飞程序的评估要求评价障碍物。转弯区内允许的最大障碍物标高/高应满足:

$$\text{最大障碍物标高/高} = \text{TNA}/H + do \times \text{PDG} - \text{MOC} \quad (5)$$

式中,TNA/H为转弯高度/高,do为障碍物至转弯起始阶段保护区边界的最短距离,PDG为程序设计的复飞爬升梯度,MOC为超障余度(复飞转弯取50 m,山区可适当增加)。

5) 判断影响情况,与离场方法一致。

上述超障评估方法基于全发运行的飞行程序设计规则,起飞一发失效应急程序的超障余度要求和全发工作的超障余度要求是独立的。飞机在一发失效的情况下超障余度是按照净轨迹超越障碍物35 ft/50 ft,可按照一发失效应急程序的超障余度进行检查。

4 实例分析

以某机场01号跑道离场和精密进近复飞为例,

MVA第1扇区最低引导高度为600 m,第2扇区为900 m。按上述方法绘制低于MVA引导的离场和精密进近复飞保护区如图4和图5所示(规定跑道末端前禁止转弯),超障评估计算过程如表1所示。

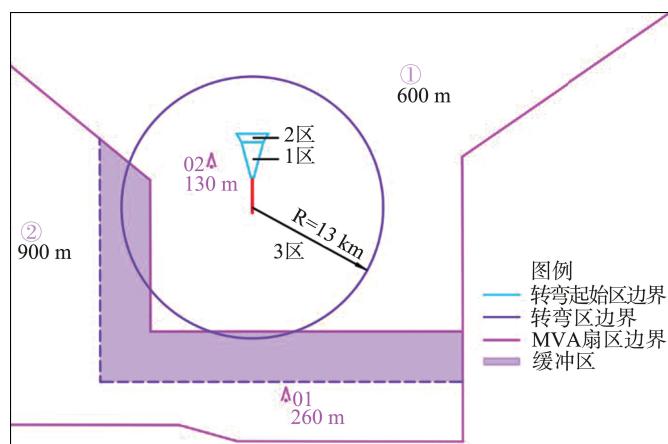


图4 01号跑道低于MVA引导的离场保护区

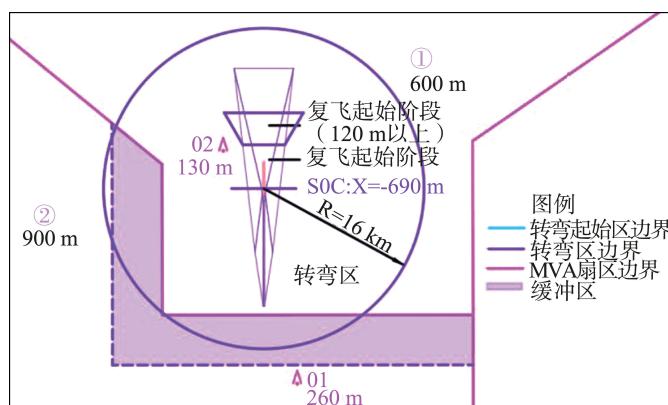


图5 01号跑道低于MVA引导的精密进近复飞保护区

表1 01号跑道低于MVA引导的离场
障碍物评估(转弯高度设计为170 m)

评估项	障碍物O ₁ (自然)	障碍物O ₂ (人工)
高度(含植被)/m	275	130
位置	MVA第2扇区	转弯区
距离转弯初始区	/	3 504
MOC/m	300	75
最低超障高度/m	575	205
飞越程序高度/m	900	285
是否满足超障	满足	满足
爬升梯度	3.3%	3.3%

表 2 01 号跑道低于 MVA 引导的精密进近复飞
障碍物评估(转弯高度设计为 200 m)

评估项	障碍物 O_1 (自然)	障碍物 O_2 (人工)
高度(含植被)/m	275	130
位置	MVA 第 2 扇区	转弯区
距离转弯初始区	/	2 007
MOC/m	300	50
最低超障高度/m	575	180
飞越程序高度/m	900	250
是否满足超障	满足	满足
爬升梯度	2.5%	2.5%

因此,01 号跑道离场和精密进近复飞在满足以下条件时,可实施低于初始 MVA 的全航向引导:

- 1) 离场转弯最低高度要求为 170 m, 精密进近复飞转弯最低高度要求为 200 m;
- 2) 低于 MVA 引导的垂直范围: 转弯高度至 600 m;
- 3) 离场爬升梯度不低于 3.3%, 复飞爬升梯度不低于 2.5%。

5 结论

为评估雷达管制机场在低于 MVA 实施雷达引导时能否安全飞越障碍物,本文结合 ICAO 和 FAA 的规章标准,提出了一种评估计算超障的方法,并以某机场 01 号跑道为例进行了实例分析,得出了该机场可实施低于初始 MVA 的全航向引导条件。

本文所研究的评估方法可用于判断机场实施多向雷达引导爬升的安全转弯高度和爬升梯度,也

可用于低高度雷达引导区的扇区划分,为制定低于 MVA 引导方法提供超障评估技术思路,同时可为国内规章提供理论参考。

参考文献:

- [1] 王雨. 最低雷达引导高度图的制作[J]. 空中交通管理, 2010(6): 14-15, 53.
- [2] 杨海彬. 对空域受限的机场实施进离场分离的探讨[J]. 空中交通, 2013(12): 20-22.
- [3] 向征, 张文奇, 张文军. 雷暴天气下基于多航空器冲突避让的路径规划[J]. 中国安全科学学报, 2019(8): 151-156.
- [4] 梁宇丰. 平行跑道建立航迹扩散角位置及高度分析[J]. 交通科技与管理, 2023(11): 5-7.
- [5] 胡孝本. 指定高度转弯程序设计中存在的风险[J]. 空中交通, 2014(6): 19-21, 46.
- [6] 国际民用航空组织. 航空器运行: DOC8168-OPS/611 [S]. 蒙特利尔: 国际民航组织, 2020.
- [7] 美国联邦航空管理局. United States Standard for Terminal Instrument Procedures: Order 8260. 3D[S]. 华盛顿特区: 美国联邦航空管理局, 2018.
- [8] 熊婷, 杨赛, 翟文鹏. 基于飞行程序的净空限高评估方法[J]. 中国科技信息, 2022(3): 17-18.
- [9] 陈宇. 管制工作中对复飞与终止进近的简要分析[J]. 中国航班, 2020(18): 63.
- [10] 梁宇丰. 仪表飞行程序定高转弯保护区分析[J]. 中国民航飞行学院学报, 2023(4): 21-25.

作者简介

- 刘冰 女, 硕士, 工程师。主要研究方向: 飞行程序设计、空域规划、空中交通管理。E-mail: dxalhmlb@163.com
- 张琼 女, 硕士, 工程师。主要研究方向: 民航运输安全管理、运行控制、飞行程序设计、民用飞机试飞安全管理、试飞安全数据处理、分析和应用。E-mail: zhangqiong1@comac.cc

The method of obstacle assessment for radar control during normal operations below MVA guidance

LIU Bing¹ ZHANG Qiong²*

(1. Shanghai Civil Aviation East China Flight Procedure Design & Research institute, Shanghai 200335, China;
2. Flight Test Center of the COMAC, Shanghai 200231, China)

Abstract: In recent years, airports in our country implementing radar control have successively published minimum vectoring altitude (MVA) charts. During radar guidance, controllers often need to guide aircraft to deviate from standard instrument flight procedures. As there are no specific standards in our country for obstacle assessment below MVA in radar-guided areas, it is impossible to confirm the safety of aircraft over obstacles during initial stages of takeoff and missed approach when flight altitude is below MVA. Therefore, this paper studies the method of obstacle assessment for guidance below MVA, providing ideas and theoretical references to address the aforementioned issues and to fill the gap in domestic regulations and standards.

Keywords: minimum vectoring altitude; omnidirectional departure; obstacle assessment; instrument flight procedure.

* Corresponding author. E-mail: zhangqiong1@comac.cc