研究报告与成果

正式产出的研究报告：障碍物限制几何构型、OFV理念推广等。

- 障碍物限制几何构型研究报告
  - 报告草稿
  - Vertiport障碍物限制几何构型研究报告（正式版）
  - Vertiport障碍物限制几何构型研究报告
- 无障碍空间（OFV）理念推广报告
  - 无障碍空间（OFV）理念推广报告
  - 推广报告策划文档
- 修订与输出记录
  - 修订记录 (2026-05-29)
  - 输出记录 (2026-05-29)

报告草稿

Vertiport 障碍物限制几何构型研究报告（草稿）

一、研究目的与方法

本报告围绕 eVTOL 起降场（Vertiport）障碍物限制的几何构型开展研究，重点不是简单罗列各标准条文，而是从 heliport 标准源头出发，分析其几何逻辑如何演化为 vertiport 的 OLS 与 OFV，并评估不同标准体系的合理性和适用边界。

本报告采用“源头追溯、几何拆解、体系对比、工程评估”的方法：

1. 从 ICAO Annex 14 Volume II 和 ICAO Doc 9261 追溯 FATO、TLOF、Safety Area、OLS 的源头逻辑。
2. 对比中国 MH5013-2023、FAA AC150/5390-2D 等 heliport 母体标准。
3. 分析 EASA PTS-VPT-DSN、CASA AC139.V-01、中国 T/CCAATB 0062-2024 和 FAA EB105A 在 vertiport 场景下的几何变形。
4. 重点区分 FAA 路径与 ICAO/EASA/CASA/中国路径的不同。
5. 用插图解释几何关系，避免仅用文字描述导致误解。

二、源头：Heliport 标准中的基本几何构型

(一) FATO、TLOF与 Safety Area 是所有后续标准的骨架

ICAO Annex 14 Volume II 对 FATO 与 TLOF 的定义构成了后续标准的底层语言。FATO 是完成最终进近至悬停或着陆、并开始起飞动作的区域；TLOF 是直升机可以接地或离地的区域；Safety Area 是围绕 FATO、用于降低航空器意外偏离 FATO 风险的保护区。

Elevated heliport. A heliport located on a raised structure on land.

Ellipsoid height (Geodetic height). The height related to the reference ellipsoid, measured along the ellipsoidal outer normal through the point in question.

Final approach and take-off area (FATO). A defined area over which the final phase of the approach manoeuvre to hover or landing is completed and from which the take-off manoeuvre is commenced. Where the FATO is to be used by helicopters operated in performance class 1, the defined area includes the rejected take-off area available.

Geodetic datum. A minimum set of parameters required to define location and orientation of the local reference system with respect to the global reference system/frame.

Geoid. The equipotential surface in the gravity field of the Earth which coincides with the undisturbed mean sea level (MSL) extended continuously through the continents.

Note.— The geoid is irregular in shape because of local gravitational disturbances (wind tides, salinity, current, etc.) and the direction of gravity is perpendicular to the geoid at every point.

Geoid undulation. The distance of the geoid above (positive) or below (negative) the mathematical reference ellipsoid.

Note.— In respect to the World Geodetic System — 1984 (WGS-84) defined ellipsoid, the difference between the WGS-84 ellipsoidal height and orthometric height represents WGS-84 geoid undulation.

Gregorian calendar. Calendar in general use; first introduced in 1582 to define a year that more closely approximates the

Heliport. An aerodrome or a defined area on a structure intended to be used wholly or in part for the arrival, departure and surface movement of helicopters.

Integrity (aeronautical data). A degree of assurance that an aeronautical data and its value has not been lost nor altered since the data origination or authorized amendment.

Obstacle. All fixed (whether temporary or permanent) and mobile objects, or parts thereof, that:

a) are located on an area intended for the surface movement of aircraft; or

b) extend above a defined surface intended to protect aircraft in flight; or

这套定义的工程含义是：

1. FATO 控制“空中最后阶段和起飞初始阶段”的包容空间。
2. TLOF 控制“真正接地/离地”的承载空间。
3. Safety Area 不是运行目标区，而是误差缓冲区。
4. 障碍物限制面不是从 TLOF 起算，而是通常围绕 FATO 和 Safety Area 建立。

因此，障碍物限制的几何构型必须先明确：FATO在哪里，Safety Area边界在哪里，进近面/起飞爬升面从哪里起算。

(二) Doc 9261解释了 1D、0.83D与 sub-1D 的工程原因

ICAO Doc 9261 Heliport Manual 对 Annex 14 的条文给出工程解释。尤其重要的是，它解释了 1D FATO 与 0.83D TLOF 的关系：1D FATO 提供直升机整体包容；TLOF 可以在特定场景下小于 1D，但这是承载面缩小，不代表障碍物保护边界也同步缩小。

reduced TLOF (Figure I-3-2 refers). The FATO is bound by the outer circle from which the obstacle sector surfaces derive their origin. The TLOF is bound by the inner circle (represented as a circle within the octagon shape of the helideck load-bearing area). The FATO outside the TLOF perimeter represents a non-load bearing surface for helicopters as it usually extends over the safety device (whether safety net or safety shelf) which is incapable of supporting even the static load of a helicopter. Therefore, a helideck incorporates one FATO and one TLOF; notwithstanding for a fixed or floating offshore facility, to improve operational flexibility, there may be the possibility to provide additional helideck(s) elsewhere on the facility – the advantages of this are raised in Chapter 3, 3.2.1.10.

3.3.3 It should be remembered that the basic size of a 1 D FATO with coincident TLOF is, of necessity, a compromise for offshore operations where space is invariably limited. Nonetheless, it is essential that the TLOF provides sufficient space for the landing gear configuration and sufficient surface area to promote a helpful “ground cushion” effect from rotor downwash. The area provided should also allow adequate room for passengers and crew to alight or embark the helicopter and to transit to and from the operating area safely. In addition, space consideration needs to be given to allow essential on deck operations, such as baggage handling, tying down the helicopter or helicopter refuelling, to occur safely and efficiently, and, in the event of an incident or accident occurring, for rescue and firefighting teams to always have good access to the landing area from an upwind location (see also Chapter 6).

3.3.4 The design should allow for sufficient clearance from the main rotor and tail rotor of the helicopter to essential objects permitted to be around the perimeter of the TLOF, including obstacles that may be present in the limited obstacle sector (LOS). It should be clearly understood that a FATO of 1 D is the minimum dimension sufficient for the containment of the helicopter; in this case, where a precise landing is completed (see also Chapter 5, especially the use of touchdown/positioning marking circle), the main and tail rotors will abut the edge of the 1 D circle. For this reason it is important that the yellow touchdown/positioning marking circle is accurately and clearly marked and is used by aircrew every time for positioning the helicopter during the touchdown manoeuvre.

3.3.5 Sufficient margins to allow for touchdown/positioning inaccuracies as a result of normal variations or handling difficulties, for example due to challenging meteorological conditions, aerodynamic effects and/or dynamic motions due to ocean waves, should be allowed for in the design. The helideck and environs should provide adequate visual cues and references for aircrew to use throughout the approach to touchdown manoeuvre, from initial helideck location and identification (acquisition) through final approach to hover and to landing. In addition, adequate visual references should be available for the lift-off and hover into forward flight.

3.3.6 In consequence of the considerations stated above, except where an aeronautical study/risk assessment is

从几何上理解：

```
1D FATO = 航空器整体包容圆
0.83D TLOF = 起落架/接地点所需的最小承载区域
sub-1D TLOF ≠ sub-1D obstacle protection
```

这解释了为什么很多标准中会出现“FATO较大、TLOF较小”的组合。FATO负责飞行安全包络，TLOF负责承载和接地定位，两者功能不同。

（三）传统 heliport 的 OLS 是一套从 FATO/Safety Area 向外展开的斜面体系

在传统直升机场中，障碍物限制面（Obstacle Limitation Surfaces, OLS）主要包括：

1. 进近面（Approach Surface）
2. 起飞爬升面（Take-off Climb Surface）
3. 过渡面（Transitional Surface）
4. 特殊场景下的无障碍物扇形面、限制障碍物扇形面等

MH5013-2023 对 OLS 的图示清晰反映了这一源头几何：进近面和起飞爬升面的内边设置在 Safety Area 或净空道端部，宽度与 FATO 和 Safety Area 相关，随后沿航迹方向按一定坡度向外向上延伸。

要求应同时考虑，具体见本标准第 8.6.2 条第 5 款。

【条文说明】本条第 4 款中，允许超出障碍物限制面的物体可能会限制直升机场的运行。

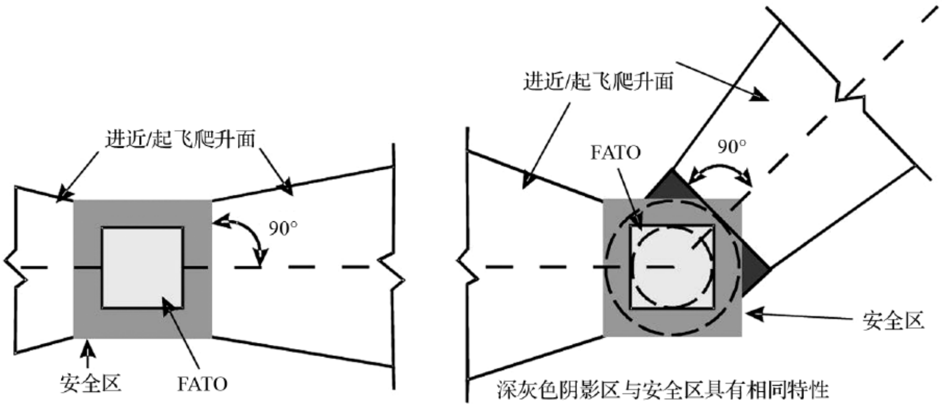


图 6.2.1−1　进近/起飞爬升面起始端形式

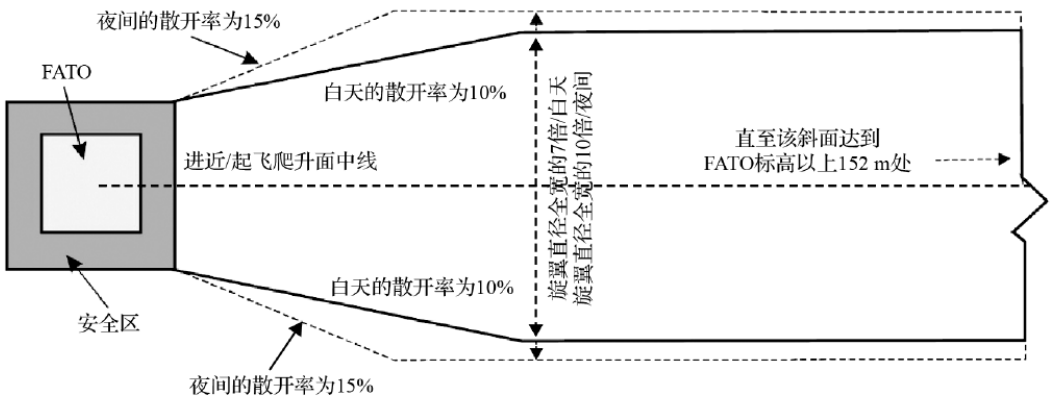
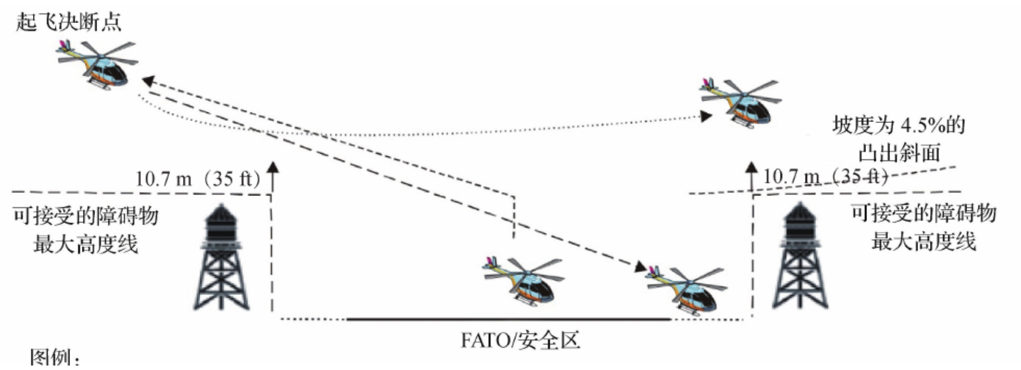
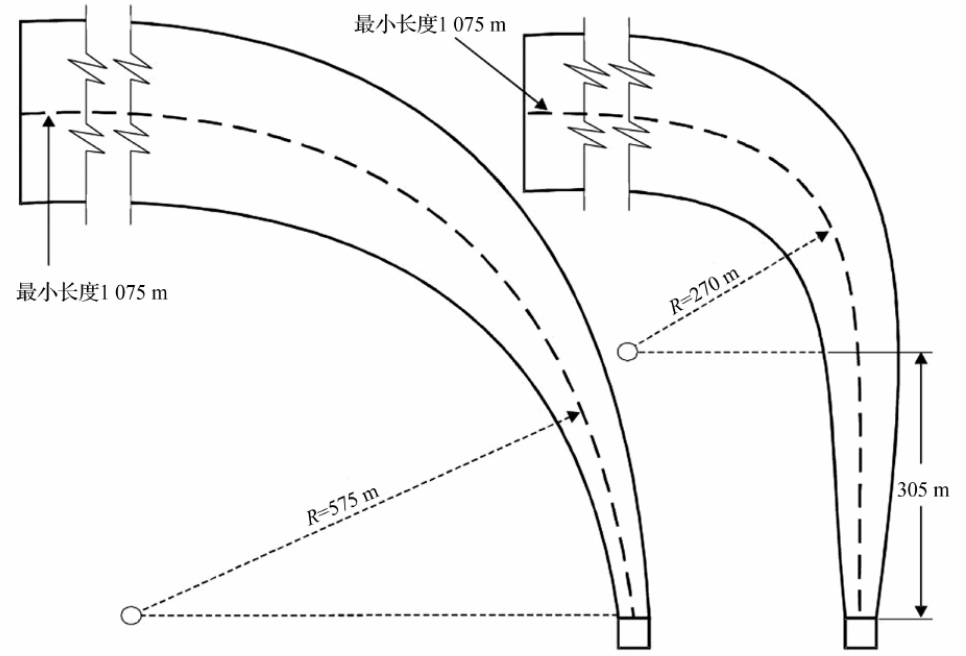


图 6.2.1−2　目视进近/起飞爬升面宽度



曲线进离场时，MH5013 要求曲线段不多于 1 个，且转弯半径与直线段长度之和、转弯半径本身均需满足下限。这种设置不是为了美观，而是为了保证直升机在转弯前有足够加速和稳定空间。

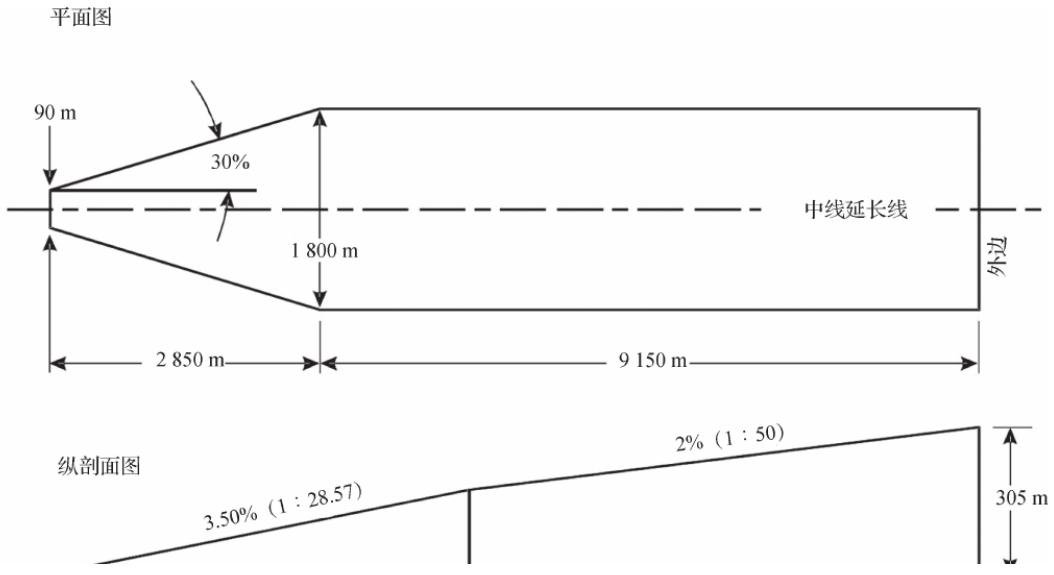


注：1 曲线和直线段的任何组合可以使用如下公式来确定：$S+R \geqslant 575$ m 和 $S=305$ m 时，$R \geqslant 270$ m 。式中 S 为直线段的长度，R 为转弯半径。任何≥575 m 的组合均可行。

2 曲线和直线段中线的最小长度为 1 075 m，但是根据所用的坡度可以更长。更长的长度，见表 6. 2. 1-1。

3 直升机的起飞性能在曲线段会降低，因此应考虑曲线段开始之前沿起飞爬升面的直线段可允许加速。

图 6. 2. 1-4 目视曲线进近/起飞爬升面



□□□ OLS□□□□□□□

（一）传统 OLS的合理性

传统 OLS 的合理性来自三个前提：

1. 航空器沿明确的进离场方向进入或离开。
2. 航空器需要从接近地面逐步爬升或下降。
3. 场址周边可提供足够长度和宽度的无障碍走廊。

这种几何模型适用于机场、郊区、开阔地、河岸、低密度地区等场景。对通用机场和传统直升机场而言，它具有可测量、可审查、可长期保护的优点。

（二）传统 OLS的局限

传统 OLS 的问题在城市 vertiport 场景下会被放大：

1. 长距离斜面要求会穿越大量建筑物。
2. 城市屋顶起降场往往没有完整的低角度进近通道。
3. eVTOL 具备更强的垂直段能力，传统 OLS 未充分利用这一能力。
4. 如果机械套用 OLS，很多城市核心区场址会在净空审查阶段直接失败。

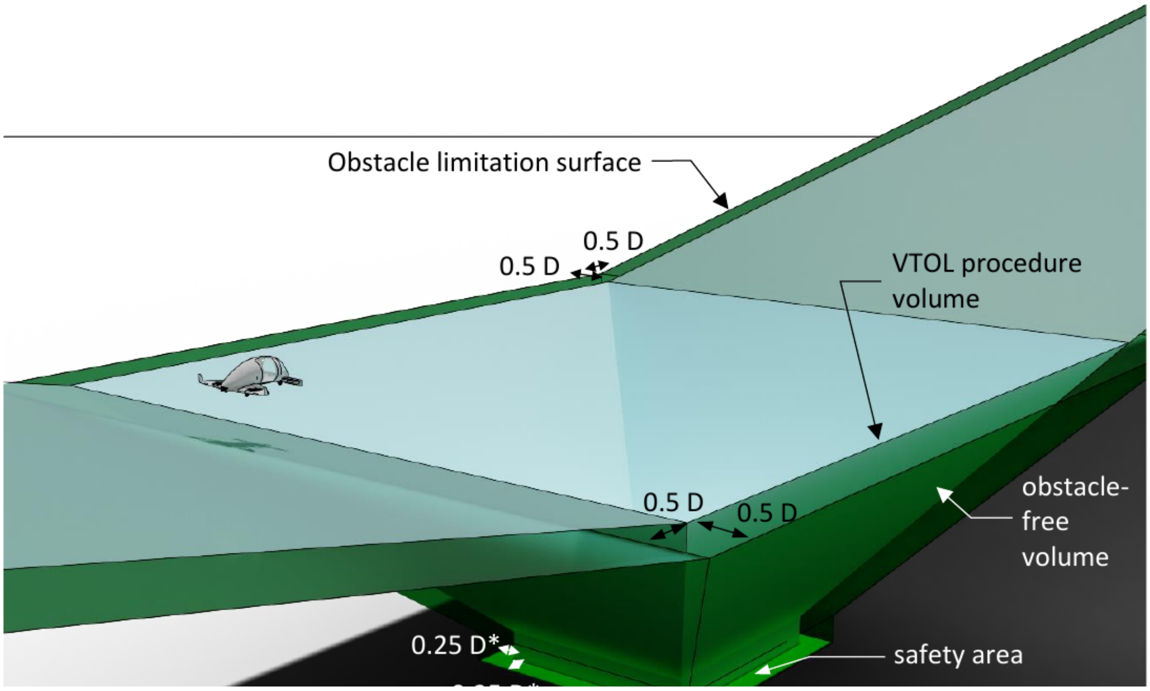
因此，vertiport 标准开始引入 OFV：不是要求城市为航空器让出一条很长的坡面，而是允许航空器在受保护的垂直空间内上升到一定高度，再进入传统进离场保护面。

四、EASA/CASA/中国路线：从 OLS 发展到 OFV

（一）EASA的 OFV：从程序体积推导保护体积

EASA PTS-VPT-DSN 的 Chapter D 分为两部分：Subpart 1 是 OLS，Subpart 2 是 OFV。这说明 EASA 并未否定传统 OLS，而是在其基础上增加城市复杂场景所需的垂直保护体积。

EASA 的 OFV 源于航空器飞行手册（AFM）中的垂直起降程序参数，包括 h1、h2、TOwidth、TOfront、TOback、FATOwidth、FATOfront、FATOback、θapp、θdep 等。



PTS VPT-DSN.D.455 Obstacle-free volume (OFV)

(a) The obstacle-free volume, as depicted in Figure D-15, is created by extending vertically upward the outside edges of the SA up to height h_1. The edges at height h_1 are then extended upwards linearly up to height h_2 to provide a funnel-shaped volume. At height h_2, 0.5 D are added on each side of the VTOL procedure volume so that the dimensions of the obstacle-free volume at height h_2 are:

(1) the length (TO_{back}+0.5 D) behind the aircraft and the length (TO_{front}+0.5 D) in front of the VTOL-capable aircraft, referenced to the aircraft centre of the smallest enclosing circle when positioned on the FATO; and

(2) the width (TO_{width}+1 D).

(b) The obstacle-free volume should not be penetrated by obstacles.

Note: A larger SA may be warranted for specific local conditions, e.g. severe aerology.

其核心几何逻辑为：

```
第一段：从 Safety Area 外边界垂直向上至 h1
第二段：从 h1 至 h2 线性外扩，形成漏斗状空间
第三段：在 h2 高度处接入进近面和起飞爬升面
```

EASA 的合理性在于，它把 OFV 与航空器性能和 AFM 程序绑定，属于性能化方法。它不是简单规定一个固定圆柱或方锥，而是要求垂直起降程序本身给出空间需求。

不足在于，对工程项目前期咨询而言，AFM 参数往往不完整，尤其在机型尚未完全适航取证时，参数不稳定，导致前期选址难以快速判断。

（二） CASA的 FPA/VPS/OFV 表达更适合工程建模

CASA AC139.V-01 大体继承 EASA 思路，但术语组织更工程化。它把保护体系拆成：

```
FPA = FATO Protection Area
VPS = Vertical Procedure Surface
OFV = FPA 与 VPS 之间的截锥体空间
```

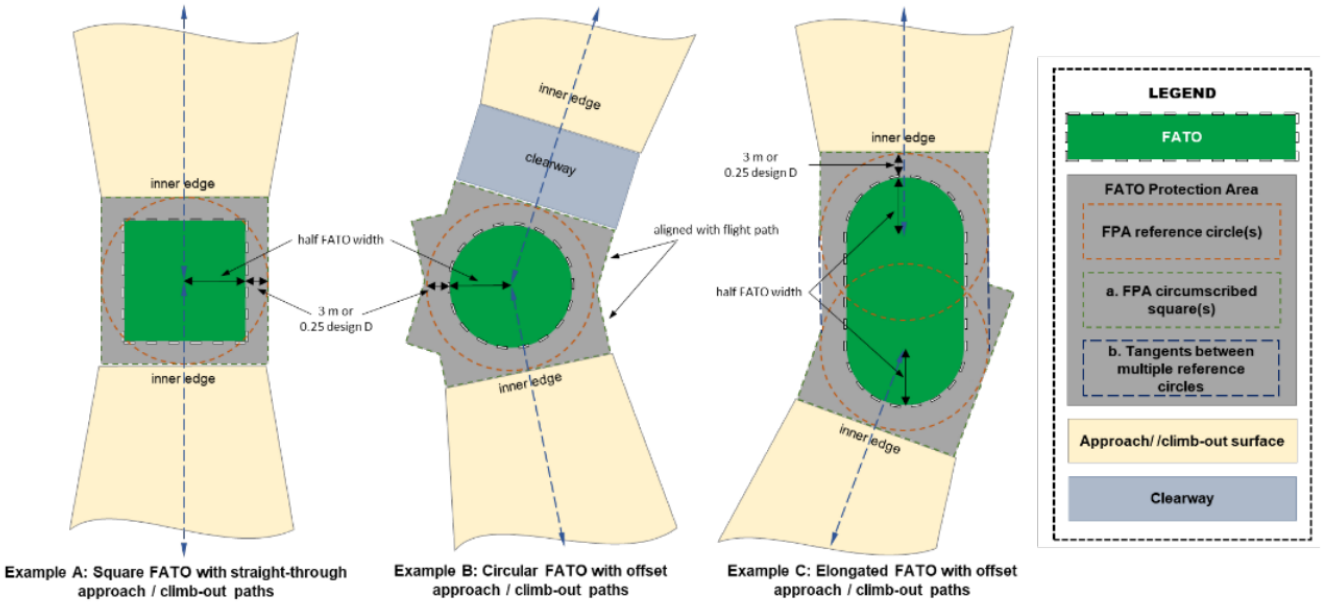


Figure 7 - Protection surfaces for vertiports without vertical procedures

4.2.3 Vertical Procedure Surface

4.2.3.1 A vertical procedure surface (VPS) should be established for where vertical procedures are used for landing or take-off from the vertiport.

4.2.3.2 The VPS is a surface that encompasses the area bordered by a circumscribed square(s) aligned with the intended aircraft flight path(s) centred on the VPS reference circle, as shown in Figures 8, 9 and 11.

4.2.3.3 A VPS should be free of obstacles.

4.2.3.4 A VPS reference circle should be established above and centred on the FATO.

4.2.3.5 The diameter of a VPS reference circle should be the diameter of the associated FPA reference circle, plus 1 Design D per 100 ft increase in height above the FATO.

4.2.3.6 The vertiport operator should determine the elevation of the VPS subject to the performance characteristics of the most demanding VCA intended to use the vertiport or the VCA operator's intended operational requirements.

4.2.4 Obstacle Free Volume (OFV)

4.2.4.1 An OFV should be established between a VPS and the associated FPA.

4.2.4.2 An OFV should be free of obstacles.

4.2.4.3 The OFV is a truncated cone extending between the edge of the FPA reference circle to the edge of the VPS reference circle, as shown in Figure 8, 9 and 11.

CASA □□□□□□□□ FPA □□□ /□□□□□□ VPS □□□□□□□□□□□□□□ OFV □□□□□□□□□□

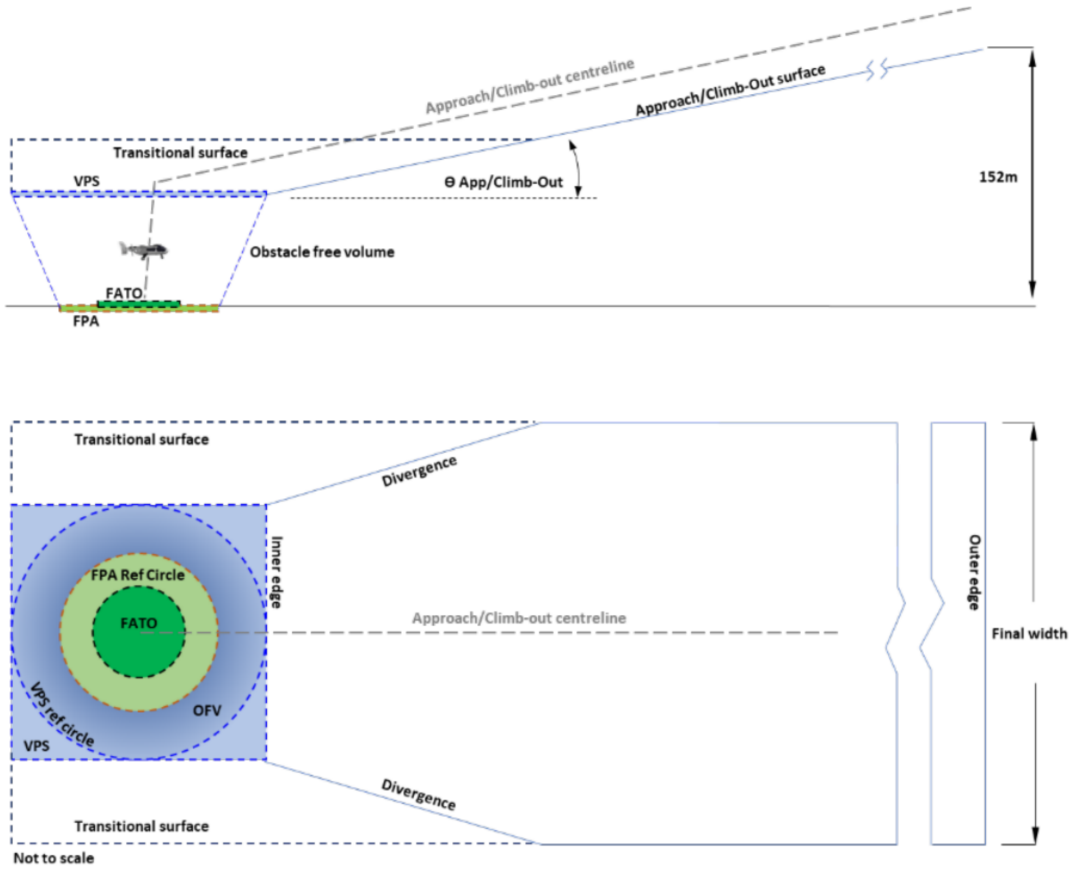
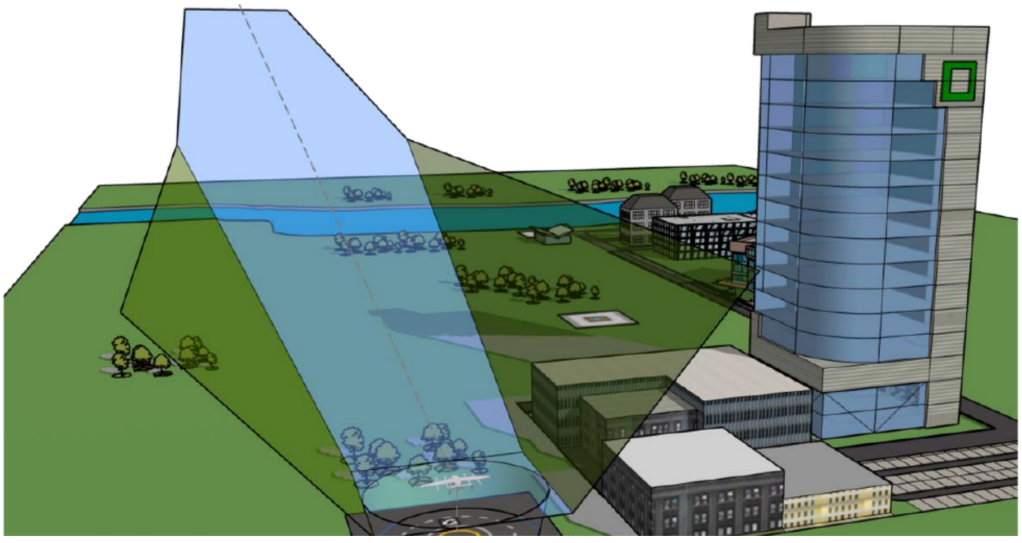


Figure 8 - An example OLS design for a vertiport accommodating vertical procedures



从工程上看，CASA 的表达利于 GIS、三维建模和净空校核。它把“城市复杂净空”转化为一个明确的三维体积问题，而不是只看二维剖面。

（三）中国团标采用简化 OFV，适合前期工程判断

中国团标 T/CCAATB 0062-2024 的障碍物限制分两种情况：

净空条件良好：参照 MH5013，以 eVTOL 最大全尺寸 D 代替直升机最大旋翼直径。

净空条件复杂：设置悬停高度 h0 和 OFV，进近面、起飞爬升面、过渡面起点位于 OFV 顶面。

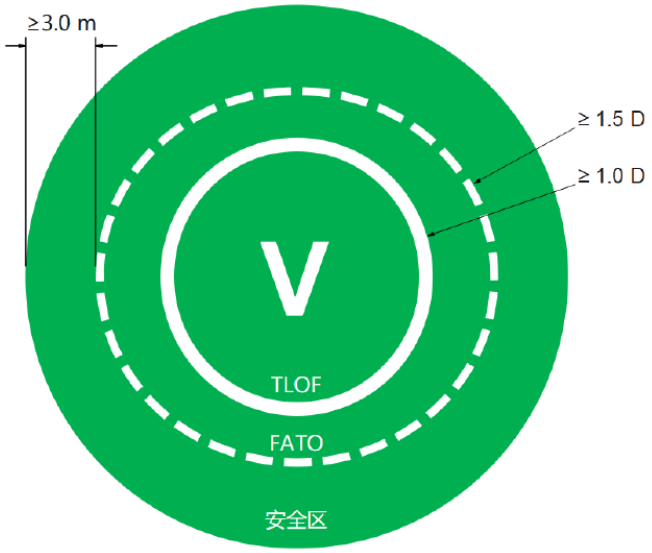


图 5.4-1 FATO、TLOF 和安全区场地物理特性示意图

5.5 机位

5.5.1 机位的尺寸和形状应满足 eVTOL 起降场设计机型在停放时，eVTOL 的垂直投影均包含在机位中。

5.5.2 机位形状为圆形，其尺寸应至少能够内切一个设计机型 1.2D的圆，机位与机位之间的间距应至少为 2.0 m。

5.5.3 机位上宜设置满足 eVTOL 停放所需的系留设施。

5.6 地面滑行道

5.6.1 在机位与机位之间、机位与机库之间应设置地面滑行道。

5.6.2 地面滑行道应能承受 eVTOL 移动时的运行荷载。

5.6.3 地面滑行通道的宽度应不小于 eVTOL 起落架宽度或 eVTOL 转运装置最大轮外侧间距的 2 倍。

6 障碍物限制

6.1 净空条件良好时

6.1.1 在空域环境良好时，eVTOL 起降场障碍物限制面宜参照 MH 5013《民用直升机场飞行场地技术标准》中的规定，并以 eVTOL 最大全尺寸 D代替直升机最大旋翼直径。进近和起飞爬升面内边宽度为 FATO 加安全区的宽度，内边位置为安全区边界。

6.1.2 eVTOL 起降场宜至少设置两个进近/起飞爬升面，中线夹角宜不小于 135° 。

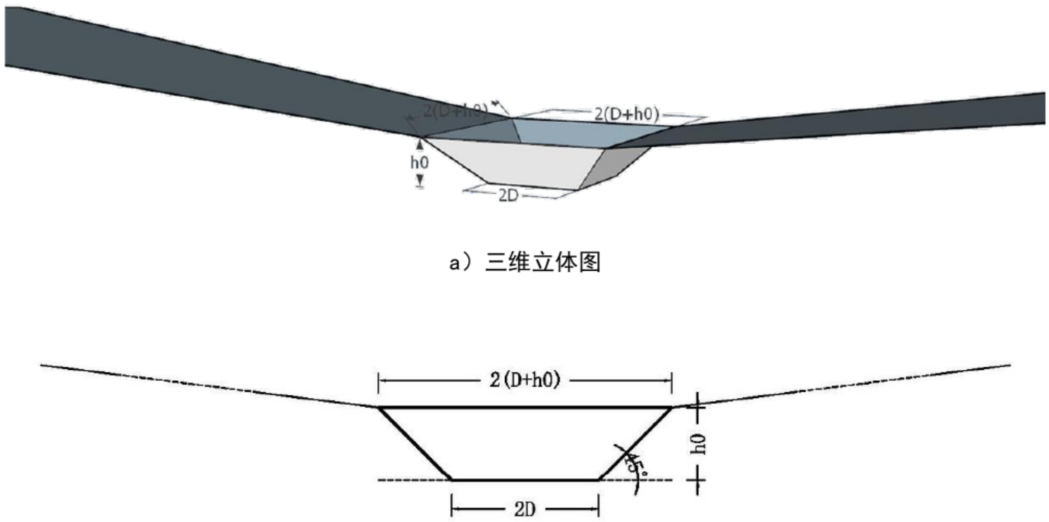
6.2 净空条件复杂时

6.2.1 当场址周边净空条件复杂，或参照 MH 5013《民用直升机场飞行场地技术标准》设置障碍物限制面无法满足净空要求时，宜考虑设置悬停高度（以 h_0表示）及相应的无障碍空间（OFV）。进近和起飞爬升面、过渡面起始端位于无障碍空间顶面，其他参数宜参照 MH 5013《民用直升机场飞行场地技术标准》设置。

6.2.2 悬停高度的设置应根据周边航路上的障碍物及 eVTOL 的飞行性能确定。

示例：以正方形 FATO 为例，悬停高度 h0≤D 时的障碍限制面示意图见图 6.2-1，悬停高度 h0＞D 时的障碍限制面示意图见图 6.2-2。

□□□ OFV □□□□□□□□



1. h0≤D 时，OFV 侧面线性外扩，顶面边长至少为 2×(D+h0)。
2. h0>D 时，D 高度以下按 45° 外扩，D 高度以上为竖直面，顶面边长至少为 4D。

T/CCAATB 0062—2024

a）三维立体图

b）纵剖面图

这套方法的优点是简洁、易算、适合方案阶段快速判断。相比 EASA，它不依赖完整 AFM 参数，只需要 D 和 h0。

但它也有局限：h0 如何取值、不同 eVTOL 构型的垂直程序差异、下洗/外洗范围是否会超过 OFV 和 Safety Area，仍需专项论证。尤其当机型存在倾转过渡、低空横向机动或自动驾驶定位误差时，单纯 D+h0 几何可能不足。

五、FAA路线：不用 OFV，而采用 Part 77空域面 +DCA

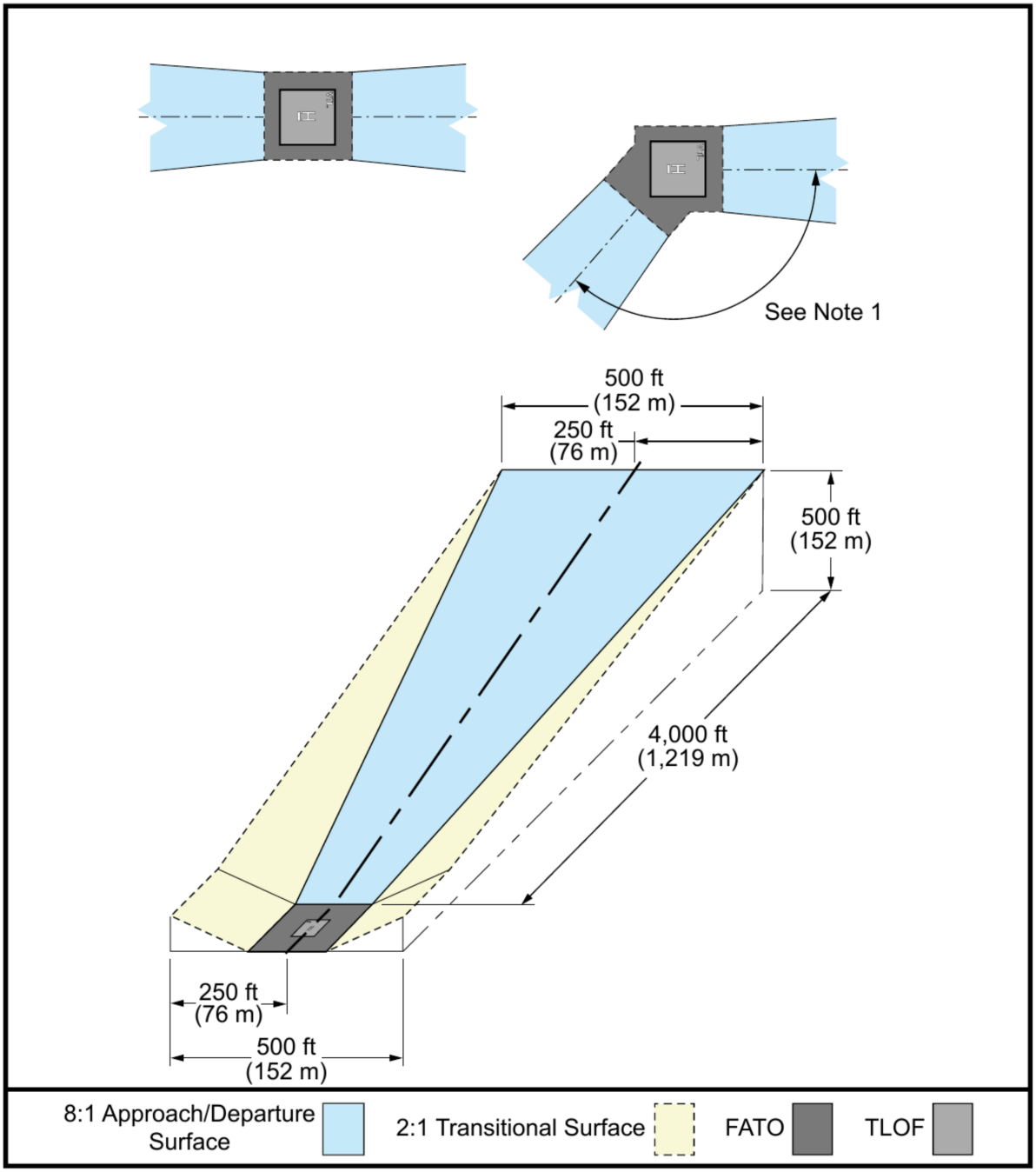
(一) FAA EB105A回到 heliport imaginary surfaces

FAA EB105A 与 EASA/CASA 最大差异在于：它没有采用 OFV 作为核心障碍物保护概念，而是明确将 14 CFR Part 77 中适用于 heliport 的 imaginary surfaces 用于 vertiport。

FAA 的基本 VFR 几何为：

```
Primary Surface = FATO
Approach / Departure Surface = 8:1, 长 4000 ft, 外端宽 500 ft
Transitional Surface = 2:1, 向外 250 ft
```

Figure 2-5: VFR Vertiport Approach/Departure Surfaces

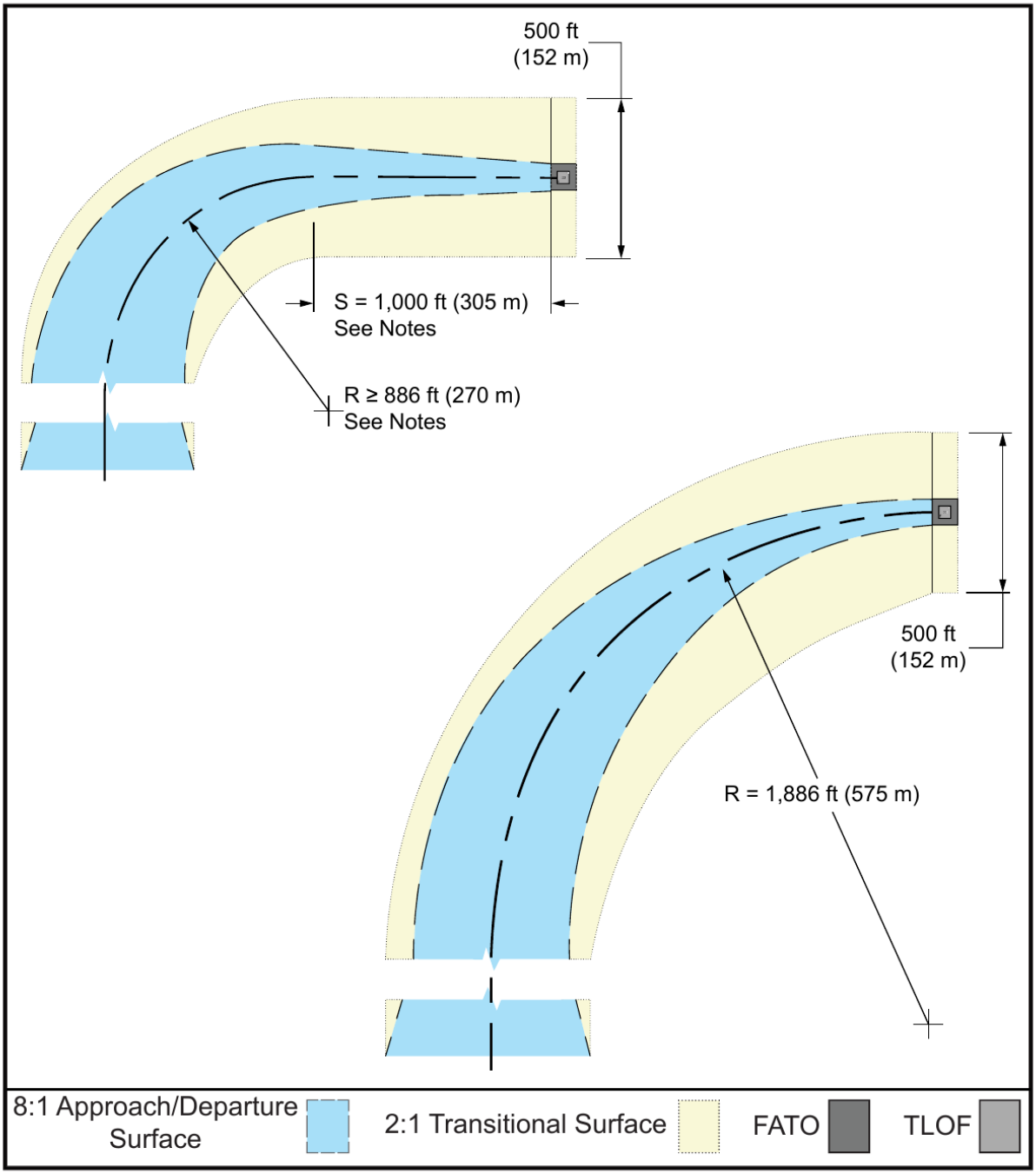


Note 1: The preferred approach/departure surface is based on the predominant wind direction. Where a reciprocal approach/departure surface is not possible in the opposite direction, use a minimum 135-degree angle between the two surfaces.

曲线进离场时，　　FAA 仍给出几何约束：

```
S + R ≥ 1886 ft / 575 m
R ≥ 886 ft / 270 m
□□□□□□□ ≥ 4000 ft / 1219 m
```

Figure 2-6: VFR Vertiport Curved Approach/Departure and Transitional Surfaces



Note 1: Use any combination of straight portions of one curved portion using the following formula: S + R ≥ 1,886 ft (575 m) and R ≥ 886 ft (270 m), where S is the length of the straight portion(s) and R is the radius of the turn. Note that any combination ≥ 1,886 ft (575 m) will work.

Note 2: The minimum total length of the centerline of the straight and curved portion is 4,000 ft (1,219 m).

Note 3: VTOL takeoff performance may be reduced in a curve. Consider a straight portion along the takeoff climb surface prior to the start of the curve to allow for acceleration.

（二）FAA对eVTOL新增风险的处理重点是DCA

FAA不是不知道eVTOL与直升机不同。相反，EB105A对eVTOL的差异处理非常明显，只是它没有采用OFV，而是将新增风险放在Downwash/Outwash Caution Area（DCA）上。

FAA认为，当下洗/外洗风速可能达到或超过34.5 mph（55.5 kph）时，应设置DCA，用于限制人员、设施和财产暴露在危险风场中。更重要的是，FAA 2024年下洗/外洗实测报告显示，部分eVTOL的高风速区域可能超出Safety Area。

这说明FAA的安全逻辑是：

```
空域障碍物：沿用 Part 77 面
地面风场风险：设置 DCA
```

这与EASA/CASA的逻辑不同。EASA/CASA侧重用OFV解决城市障碍物密集问题；FAA侧重保留统一空域评价体系，同时把eVTOL的新型地面风险独立出来处理。

六、FAA与ICAO/EASA/CASA体系的根本差异

（一）差异一：是否承认城市垂直程序需要新的障碍物保护体积

ICAO heliport源头体系和FAA EB105A都更接近传统OLS：从FATO或Safety Area起算，按斜面控制障碍物。

EASA/CASA/中国团标则认为，在城市复杂场景中，必须允许垂直程序先把航空器抬升到一定高度，再接入进离场面，因此需要OFV。

简化为：

```
FAA: FATO → 8:1/2:1 surfaces
EASA/CASA: 中国复杂净空: FATO/SA → OFV → OLS
```

（二）差异二：FAA把eVTOL差异更多放在D/RD和DCA，而不是OFV

FAA EB105A中，eVTOL与直升机的差异主要体现在两个方面：

1. 尺寸定义：FATO/TLOF从D改为RD，Safety Area保留D。
2. 风场风险：新增DCA，应对downwash/outwash。

EASA/CASA则把差异放在：

1. OFV：为垂直程序建立三维保护体积。
2. AFM：从机型程序参数推导OFV。
3. downwash protection：作为物理特性和周边安全的一部分。

（三）差异三：中国团标是“二元判断”而不是单一路线

中国团标既没有完全采用FAA的Part 77路线，也没有完全采用EASA的AFM参数化OFV，而是采用二元判断：

```
净空好：MH5013 OLS
净空复杂：h0 + 简化 OFV
```

这在工程上是合理的，因为国内近期eVTOL起降场项目可能同时包括郊区低空起降点、机场内设施、城市交通枢纽屋顶、高架平台和水上平台。单一路线很难覆盖全部场景。

七、几何构型合理性评估

（一）传统OLS适合“水平进离场占主导”的场景

传统OLS的合理性强，但适用前提明确：需要足够开阔的进离场走廊。对于通用机场、直升机场、低密度地区起降点，它仍是最稳妥、最容易审查的方案。

适用场景：

1. 郊区地面起降场。
2. 机场内 vertiport。
3. 河岸、湖边、海岛等具备开阔进离场方向的场地。
4. 高度不敏感、障碍物较少的产业园或物流场景。

（二） OFV适合“垂直段占主导”的城市场景

OFV 的价值在于承认城市环境不可能为低角度进近面长期清空全部障碍物。它用一个受控垂直空间替代传统低空长坡面的一部分。

适用场景：

1. 城市屋顶起降场。
2. 高架交通枢纽起降点。
3. 建筑密集区内的小型 vertistop。
4. 需要避开既有障碍物、但航空器具备垂直程序能力的场址。

（三）中国团标 OFV合理，但需要补充性能校核

中国团标的 OFV 简洁实用，是前期方案阶段的好工具。但后续工程设计不能只停留在几何构型，还要补充：

1. 机型 AFM 或制造商程序参数。
2. 定位误差和自动驾驶控制精度。
3. 下洗/外洗 DCA 是否超出 Safety Area 或 OFV 投影。
4. 风环境、热羽流、建筑绕流影响。
5. 应急程序，包括中断起飞、失效后着陆或备降策略。

（四） FAA

路线更保守，但对城市核心区不够灵活

FAA EB105A 的 8:1 进离场面和 Part 77 体系适合监管统一和空域评价，但在高密度城市核心区可能过于刚性。它通过 DCA 解决地面风场风险，却没有给出类似 OFV 的城市障碍物替代几何。

因此，若国内项目参考 FAA，应避免直接把 FAA 当成城市屋顶场景的唯一依据。FAA 的价值更适合：

1. 尺寸定义中的 RD 思路。
2. DCA 对下洗/外洗的风险控制。
3. VFR 进离场面 8:1 和 2:1 的保守评价。
4. 与机场、直升机场、Part 77 空域评价衔接的监管思路。

八、对后续工程研究的建议

（一）建立两套净空校核路径

建议在后续项目中建立“双路径校核”：

路径A：传统 `OLS` 校核

适用于净空良好场址，按 `MH5013/ICAO/FAA` 逻辑执行。

路径B：`OFV + OLS` 校核

适用于净空复杂场址，先构造 `OFV`，再从 `OFV` 顶面引出进近/起飞爬升面。

（二）把“h0取值”作为专项研究对象

中国团标将复杂净空问题转化为 h0，但 h0 不是随意取值。它至少应由以下因素决定：

1. 周边障碍物高度。
2. 航路或进离场方向的障碍物分布。
3. eVTOL 机型垂直爬升性能。
4. 失效工况下的安全余度。
5. 定位误差和控制系统性能。
6. 风环境和下洗/外洗影响。

（三）引入 FAA的 RD和 DCA 作为中国团标补充校核

中国团标目前以 D 为主。建议研究中引入 FAA EB105A 的 RD 与 DCA 作为补充：

D：整体包络，用于 `Safety Area`、`OFV`、外围控制

RD：推进器包络，用于 `FATO/TLOF`精细校核

DCA：下洗/外洗风场风险控制区

这可以弥补简单 D 法对多旋翼、倾转旋翼、分布式推进构型识别不足的问题。

（四）报告与图纸表达建议

后续项目成果应至少包含以下几类图：

1. FATO/TLOF/Safety Area 平面关系图。
2. 传统 OLS 平面图和纵剖面图。
3. OFV 三维示意图和纵剖面图。
4. h0≤D 与 h0>D 两种 OFV 构型图。
5. FAA 8:1 / 2:1 进离场面对照图。
6. DCA 与 Safety Area、OFV 投影叠合图。
7. 周边障碍物穿透分析图。

九、阶段性结论

第一，Vertiport 障碍物限制的源头不是 eVTOL 标准，而是 ICAO heliport 标准体系。FATO、TLOF、Safety Area 和 OLS 是所有后续标准的共同骨架。

第二，传统 OLS 的几何逻辑合理，但它假设存在较完整的进离场走廊。城市高密度场景下，传统 OLS 可能过于刚性，因此 EASA/CASA 和中国团标引入 OFV。

第三，EASA 的 OFV 最性能化，依赖 AFM 程序参数；CASA 的 OFV 最便于工程建模；中国团标的 OFV 最简洁，适合前期方案判断；FAA EB105A 则没有采用 OFV，而是沿用 Part 77 imaginary surfaces，并用 DCA 控制 eVTOL 下洗 /外洗风险。

第四，FAA 与 ICAO/EASA/CASA 体系的关键差异不在于是否重视安全，而在于风险分配方式不同：FAA 将空域障碍物交给 Part 77 面，将下洗 /外洗交给 DCA；EASA/CASA/中国则把城市障碍物密集问题转化为 OFV 三维保护体积。

第五，对于国内 eVTOL 起降场工程实践，建议采用 “MH5013 OLS + 团标 OFV + FAA RD/DCA补充校核” 的组合方法。这样既符合国内标准基础，又能吸收国际标准对 eVTOL 新风险的识别。

Vertiport

障碍物限制几何构型研究报告（正式版）

Vertiport障碍物限制几何构型研究报告——基于 ICAO Heliport Manual源头、ICAO体系与 FAA体系差异的工程评估

研究日期：2026年 5月 29日

一、研究目的与总体判断

本报告围绕电动垂直起降航空器起降场（Vertiport）的障碍物限制几何构型开展专题研究。研究重点不是对各国标准进行一般性摘录，而是从直升机场标准源头出发，追溯 FATO、TLOF、Safety Area、OLS等概念的形成逻辑，进而分析其在 eVTOL城市起降场条件下为何发展出 OFV等新型三维保护体积。

总体判断是：Vertiport障碍物限制并非从零开始建立，而是严格延续传统 heliport标准的几何底盘。ICAO Annex 14 Volume II和 ICAO Doc 9261构成源头框架；MH5013等国内直升机场标准属于该框架的本地化实施。中国团标不是另造一套净空体系，而是在延续 Heliport Manual和 MH5013传统 OLS设定的基础上，借鉴 EASA的 OFV概念，用 OFV把 eVTOL的垂直拉起能力与传统 OLS衔接起来。FAA EB105A则明显不同，其核心仍是 14 CFR Part 77 imaginary surfaces，同时以 D/RD和 DCA处理 eVTOL的新风险。

进一步说，团标的大逻辑与 EASA提出 OFV的初衷是一致的：当某一场址从地面安全区边界直接建立传统 OLS存在困难时，不是放弃 OLS，而是利用 eVTOL具备垂直拉升能力的特点，先用 OFV把 OLS起点抬高；当抬高到能够设立传统 OLS并满足越障要求时，就不再继续抬高。也就是说，OFV服务于 OLS，h0服务于越障闭合。

这一路径同时避免了两个极端：一是机械套用传统直升机场 OLS，导致大量城市复杂场址无法进入工程论证；二是把 OFV做成依赖具体机型程序参数的复杂体积，导致场地几何不稳定、厂家数据负担过重、选址审查无法闭合。团标选择的中间路线是：传统 OLS仍然有效，甚至偏保守也可接受；OFV只负责保护 eVTOL从起降场表面/FATO标高垂直拉起到 h0高度的过程；h0由控制障碍物决定，拉到够设立 OLS即可。OFV对垂直拉升过程的保护也应遵循工程可用性原则：第一，应尽量简化，便于选址、制图、测量和审查；第二，应尽量延续 heliport源头逻辑，正好 Heliport Manual和 MH5013已有 45°侧向保护斜面的成熟依据；第三，不应依赖某一个具体机型，而应按拟服务范围内的最不利设计机型确定 D值，并向下包容较小机型。建成后的起降场是稳定基础设施，后续通过标注可用机型和运行限制来管理适用范围，而不是换一个机型就改变场地造型。

因此，研究 vertiport障碍物限制必须从源头讲起。无论 ICAO体系还是 FAA体系，vertiport标准都不是凭空产生的，而是从 heliport标准演化而来。二者的分化在 heliport阶段已经存在：ICAO体系以 Annex 14 Volume II和 Doc 9261为源头，形成 FATO、TLOF、Safety Area和 OLS的国际框架；EASA和中国 CAAC/MH5013/团标均应归入这一 ICAO系，只是 EASA在 vertiport阶段率先提出 OFV这一扩展概念，中国团标则在 ICAO/MH5013主线上吸收 OFV并重构其工程构型。FAA同样从传统 heliport出发，但更多依托美国本土 AC 150/5390-2D、14 CFR Part 77和空域评价制度，发展出 EB105A中以 Part 77 imaginary surfaces、D/RD和 DCA为核心的 vertiport路径。因此，FAA与 ICAO不是无关两支，而是同源不同支；在传统 heliport领域，两套标准长期“相爱相杀”

，行业学者和工程实践不断比较其差异，并在尺寸控制、净空评价、运行安全和风险缓解等方面相互吸收、融合和发展。在 ICAO系内部，EASA PTS-VPT-DSN的开创性在于提出 OFV概念。这里必须明确：EASA不是 FAA旁支，而是与 ICAO/CAAC同属传统 heliport逻辑延伸出来的一条欧洲路径，且 EASA文件自身也明确以 EASA直升机场规范、ICAO Annex 14 Volume II和 ICAO Document 9261 Heliport Manual为基础，同时吸收 VTOL制造商和专家输入。EASA在 Chapter D中还明确说明，Subpart 1的传统 OLS来自 Annex 14 Volume II和 Doc 9261，Subpart 2才是 vertiport的 OFV概念。OFV确实具有突出的创意和实用价值：它敏锐地抓住了 eVTOL区别于传统直升机场应用场景的关键，城市复杂地区往往无法从地面安全区边界直接建立传统 OLS，但 eVTOL具备垂直起降和垂直拉升能力，可以先在受保护的三维体积内拉升到一定高度，再接入传统进离场保护面。理论上，OFV解决了复杂地区无法按传统直升机场方式设立净空面的难题，这是 EASA方案最重要的亮点。

中国团标的价值在于：在 ICAO系内部承认并吸收 EASA提出 OFV的方向性创新，但不简单照搬其构型方法，而是把 OFV重新嵌入 ICAO/Heliport Manual/MH5013的传统 OLS逻辑之中。也就是说，EASA与 CAAC并非两个完全割裂的体系，二者共同基础都是 heliport的 FATO、TLOF、Safety Area和 OLS；差异在于 OFV构型方法。中国路径应以 ICAO系一脉相承的技术路线为主线，在既有直升机场标准基础上，通过 h0和 OFV把 eVTOL能力转化为可审查、可制图、可复制的净空工程方法；同时，应保持对 FAA体系的开放借鉴，吸收其在 D/RD区分、Part 77空域评价、DCA下洗/外洗风险控制等方面的有益成果。

图 1 Vertiport障碍物限制标准源流与分化

二、源头框架：ICAO直升机场标准的几何基础

（一）FATO、TLOF与 Safety Area构成全部障碍物限制的底盘

ICAO Annex 14 Volume II规定，FATO是完成最终进近至悬停或着陆、并开始起飞动作的区域；TLOF是直升机接地或离地的区域；Safety Area是围绕 FATO设置、用于降低航空器意外偏离 FATO风险的保护区。在 ICAO/MH5013主线中，传统进近面和起飞爬升面的内边位置就是 Safety Area外边界；如设置净空道，则起飞爬升面可从净空道端部起算。FATO决定运行核心、中心线和最小规定宽度/直径，Safety Area决定传统 OLS的起算边界。不得把 FAA Part 77中 primary surface=FATO、从 FATO边缘起算的概念混入 ICAO系表述。

图 2 ICAO Annex 14 Volume II关于 FATO的定义摘录

图 3 ICAO Annex 14 Volume II关于 TLOF的定义摘录

从几何上看，FATO不是单纯的硬化承载面，而是航空器完成最终进近、悬停、着陆和起飞初始动作的运行包络；TLOF更偏向接地、离地和承载；Safety Area则是误差缓冲层。因此，在 ICAO/MH5013主线中，OLS不是从 TLOF边缘起算，也不是从 FATO边缘起算，而是从 Safety Area外边界起算；FATO通过确定运行区域和中心线，间接影响 Safety Area外边界的位置和 OLS内边宽度。

（二）Doc 9261解释了 1D、0.83D与 sub-1D的工程含义

ICAO Doc 9261 Heliport Manual对 Annex 14条文作出工程解释，尤其说明了 1D FATO与 0.83D TLOF之间的关系。1D通常对应直升机最大外廓或旋翼相关包络，用于保证运行阶段的空间包容；0.83D可用于特定场景下的接地/离地区域或承载区域，但这并不意味着障碍物保护空间同步缩小。

图 4 ICAO Doc 9261关于 1D与 sub-1D FATO/TLOF关系的说明

该源头逻辑对 eVTOL研究非常关键。eVTOL也存在“整体包络”和“接地点/推进器包络”不一致的问题。如果仅以接地点或起落架范围确定起降场尺寸，容易低估航空器姿态偏差、旋翼/推进器外廓、定位误差和失效工况下的空间需求。

（三）Heliport Manual印证：基础设施按最不利设计机型，而非单一机型

ICAO Annex 14 Volume II在总则中明确提出，设计直升机场时，应考虑该直升机场拟服务的 critical design helicopter，即具有最大尺寸组合和最大起飞质量的关键设计直升机。这说明直升机场从源头上就是面向一组拟服务机型

设计，而不是为某一架具体航空器临时生成几何边界。 ICAO Doc 9261 Heliport Manual进一步给出 “Design
helicopter”
的定义：即具有最大总长和最大审定起飞质量、且直升机场或水上平台按其进行设计的直升机；并特别说明这
两个属性不一定集中在同一机型上。这一点非常重要：最不利设计机型并不只是 “某一架飞机 ”
，而是从拟服务机型集合中提取控制尺寸、控制重量、控制性能等最不利设计属性。 Doc 9261
还在物理特性章节提出，直升机着陆区及停车区应具有足够尺寸和强度，并按需要使用该设施的最重、最大直
升机布置和设计，即 design helicopter。障碍物环境章节也规定， FATO应足以包含以 D为直径的圆， D
等于旋翼转动时直升机最大尺寸；该 D圆用于包容 design helicopter。上述条文共同印证： heliport manual
的基础设施设计思路，是先确定拟服务范围，再找出最不利设计机型或最不利设计属性，并用其控制场地几何
、承载和净空。建成后的场地应稳定服务设计边界内的机型，而不是随每个具体机型重新改变 FATO、 TLOF、
Safety Area或障碍物保护构型。 对应到 eVTOL团标， D应由最大使用机型确定，体现航空器尺度控制； h0
应由场址周边控制障碍物确定，体现环境净空控制。二者合成稳定的场址几何。只要后续使用机型不超过最大
使用机型控制尺度，并满足运行限制，就应纳入同一场地净空框架，而不应换一型航空器就重做 OFV造型。
⑷ 边界辨析：本报告主线采用 ICAO/MH5013，不混用 FAA定义 为避免概念混乱，本报告后续分析以
ICAO/Heliport Manual/MH5013为主线，并将 EASA作为 ICAO系内部的欧洲 vertiport
扩展路径一并讨论。该主线下， FATO、 TLOF和 Safety Area各有不同功能： FATO
是最终进近和起飞运行区域， TLOF是接地 /离地区域， Safety Area是围绕 FATO
的误差缓冲区；传统进近面和起飞爬升面的内边位置通常位于 Safety Area
外边界，或在设置净空道时位于净空道端部。 FAA体系中 “primary surface = FATO”“approach/departure
surface从 FATO边缘起算 ”等表述，属于 FAA Part 77和 EB105A的独立空域面逻辑，只在 FAA
旁支比较中使用。中国团标属于 ICAO系延续，分析时不能把 FAA的 FATO边缘起算逻辑混入中国团标或 MH5013
的 OLS构型。 三、传统 OLS几何构型剖析 ⑴ OLS的基本构成 传统直升机场障碍物限制面（ Obstacle
Limitation Surfaces, OLS）是一套以 FATO为运行核心、从 Safety Area
外边界或净空道端部向外、向上展开的二维 /三维斜面系统。必须注意， ICAO/MH5013主线下的 OLS
组成与运行类型相关：目视 /非仪表 FATO
通常要求进近面和起飞爬升面；精密进近、非精密进近或含目视航段面的 PinS FATO
才要求过渡面，并可进一步涉及内水平面、锥形面等；对于水上平台和船上直升机场，还可涉及无障碍物扇形
面和限制障碍物扇形面。

图 5 传统 OLS几何构型：平面与纵剖面 OLS的核心几何关系是：内边位于 Safety Area
外边界或净空道端部，内边宽度由 FATO最小规定宽度 /直径与 Safety Area
宽度共同决定；两侧边按规定发散率向外展开；中线沿预定进近或起飞方向延伸；坡度在包含中线的铅垂面内
度量。这种几何构型把 “飞行路径安全 ”转换为 “空间斜面不得被障碍物穿透 ”的工程审查问题。 ⑵ ICAO与
MH5013对传统 OLS的关键要求

图 6 MH5013关于进近 /起飞爬升面起始端和宽度的图示

图 7 MH5013关于曲线进近 /起飞爬升面及仪表起飞面的图示 ⑶ 过渡面的必要性： ICAO/MH5013
为按需设置， FAA为 Part 77统一纳入 过渡面不能笼统理解为所有直升机场 OLS的必备组成。 ICAO Annex 14
Volume II中，过渡面被定义为沿 Safety Area
侧边和部分进近面侧边向外、向上倾斜至内水平面或规定高度的复合面，其作用是为进近面 /起飞爬升面及 FATO
侧向提供附加障碍物保护。但在障碍物限制要求中， ICAO对不同运行类型进行了区分：精密进近 FATO
和非精密进近 FATO要求设置过渡面；非仪表 FATO则仅要求起飞爬升面和进近面。 MH5013-2023
延续了这一思路：精密进近、非精密进近、含目视航段面的 PinS FATO
设置起飞爬升面、进近面和过渡面；目视进近 FATO则设置起飞爬升面和进近面。 因此，在 ICAO/MH5013
主线下，过渡面的必要性取决于运行方式和侧向保护需求，而不是无条件并入所有 OLS。对于以目视运行为主的

eVTOL Safety Area OFV
“ OFV ” MH5013
OLS OFV eVTOL
FAA FAA EB105A 14 CFR Part 77 heliport imaginary surfaces
primary surface approach/departure surface transitional surfaces VFR vertiport
2:1 primary surface approach surface
Part 77 ICAO/MH5013
vertiport
eVTOL h0 OFV /
eVTOL
OFV /
/PinS
ICAO/MH5013/EASA
heliport eVTOL
OLS OLS
OLS OLS
OLS
/ eVTOL
OFV
OFV OFV OFV Obstacle-Free
Volume /FATO
eVTOL
OFV OLS ICAO/MH5013 OLS Safety Area
OFV

8 OFV OFV OLS ICAO/MH5013
OLS OLS Safety Area OFV
OLS OFV OFV
EASA OFV EASA PTS-VPT-
DSN Chapter D OLS OFV EASA ICAO OLS
OFV EASA PTS EASA ADR/CS-HPT-DSN
ICAO Annex 14 Volume II ICAO Document 9261 Heliport Manual Chapter D Subpart 1
Annex 14 Doc 9261 OLS Subpart 2 vertiport OFV OFV
AFM
h1 h2 TOwidth TOfront TOback FATOwidth FATOfront FATOback θapp θdep

9 EASA PTS-VPT-DSN Figure D-15 OFV EASA OLS
“visual FATOs” PTS-VPT-DSN VFR vertiports Chapter D

Table D-1标题即为“Dimensions and slopes of OLSs for all visual FATOs”。这意味着EASA并未把仪表直升机场那套完整复杂OLS体系直接搬入vertiport，而是在ICAO/Doc 9261传统OLS基础上，面向VFR vertiport保留进近面和起飞爬升面作为核心，并把过渡面处理为按需项。

图 10 EASA Table D-1：all visual FATOs 的 OLS 尺寸和坡度

其依据主要有三点：第一，EASA PTS本身限定为VFR vertiports，服务载人、增强类别VTOL航空器；第二，城市复杂障碍物环境下，直线低空长坡面常常不可行，因此EASA在D.405中明确提出可通过曲线航迹或抬高进近/起飞爬升面起点解决；第三，EASA在D.410中仍保留ICAO逻辑，进近面内边为FATO最小规定宽度加Safety Area，位置位于Safety Area外边界或参考圆外边界，并且明确进一步指导来自ICAO Doc 9261。

图 11 EASA D.410：进近面内边与Safety Area/参考圆关系

对过渡面，EASA的处理也说明其并非默认全面套用仪表直升机场OLS。D.415明确写明：过渡面的目标是在vertical procedures include lateral transit时提供保护空域；适用性为where appropriate，可在VFR vertiports中为含lateral transit的垂直程序提供。Table D-1脚注亦明确：当VTOL程序包含侧向元素时，transitional surface may be provided。因此，EASA传统OLS部分的真实逻辑是“VFR目视场址＋进近/起飞爬升面为核心＋过渡面按侧向程序需要提供”。

图 12 EASA D.415：过渡面用于含lateral transit 的垂直程序

EASA的开创性贡献在于明确提出OFV概念：在城市复杂净空条件下，仅依靠传统低空长坡面的OLS难以支撑vertiport布点，需要在起降场上方设置无障碍体积，以保护eVTOL垂直起降和垂直拉起阶段。这个概念本身非常有创意，也非常实用，是vertiport标准区别于传统heliport标准的关键突破之一。但OFV如何构型，仍值得商榷。EASA方法将OFV较深地绑定于机型程序参数，能够反映不同eVTOL构型、控制律、垂直程序和爬升能力差异；但其核心问题在于：如果把垂直程序高度或上部程序体积处理成相对固定、预设或通用化的要求，就很难被eVTOL本身所接受。eVTOL确有垂直拉起能力，但垂直拉起不是免费的安全裕度，而是直接消耗电能、影响航程、热管理、周转效率和商业载荷。更重要的是，现阶段多数eVTOL航空器并不具备类似传统航空器那样成熟、统一、可直接用于场址净空设计的飞行手册资料；若在标准逻辑中保留“再看AFM/厂家手册”的活口，容易导致选址阶段无法闭合、审查依据不稳定。也不应要求每个厂家、每个机型都额外生成一套数据去迎合场地标准中的OFV概念。对制造商和运营人而言，真正合理的高度不是固定高度，也不是等待手册确认的高度，而是“必须拉起的高度”。中国团标h0的价值正在于此：h0不是预设高度，也不是随具体机型变化的造型参数，而是由场址周边控制障碍物反算出的、为使传统OLS能够设定并越障所需的垂直拉起高度。建设完成的起降场应服务于最大使用机型及其以下的全部适用机型，不能换一型航空器就重做一套OFV造型，因此h0首先是环境参数和场址参数。

(三) CASA：工程建模友好的FPA/VPS/OFV表达

CASA AC139.V-01大体继承EASA思路，但将几何关系表达为FPA、VPS与OFV：FPA是FATO Protection Area，VPS是Vertical Procedure Surface，OFV是二者之间的无障碍体积。该表达方式对三维建模、GIS净空分析和方案展示更友好。

图 13 CASA AC139.V-01关于 FPA、VPS、OFV的文字定义摘录

图 14 CASA AC139.V-01关于 OFV及相关面的示意图摘录

CASA的价值在于把“城市复杂净空”从二维剖面问题转化为三维体积问题。对于屋顶起降场、高架平台和城市交通枢纽，这种方式比单纯画进近剖面更接近实际审查需求。

(四) 中国团标：严格延续heliport OLS，并以h0+OFV衔接eVTOL垂直拉起能力

中国团体标准T/CCAATB 0062-2024采用“净空良好”和“净空复杂”二元结构，但其底层逻辑始终是传统heliport OLS。净空条件良好时，直接参照MH5013，以eVTOL最大全尺寸D代替直升机最大旋翼直径；净空条件复杂时，并不是放弃OLS，而是先设置悬停高度h0及相应OFV，再把进近面、起飞爬升面，以及按运行类型需要设置的过渡面的起始端抬升到OFV顶面。换言之，OFV是传统OLS的抬升连接件，不是替代OLS的独立体系。

图 15 中国团标关于h0≤D和h0>D两种OFV构型的图示

团标中，h0≤D时，OFV底面为FATO标高处边长至少2D的正方形，顶面为h0高度处边长至少2×(D+h0)的正方形；h0>D时，顶面边长至少4D，D高度以下为45°外扩面，D高度以上为竖直面。这里的h0不是抽象的经验高度，也不是为了追求“越高越安全”的保守值，而是由周边控制障碍物决定的、为使传统OLS能够从OFV顶面顺利建立并满足越障要求所需的垂直拉起高度。45°外扩面并非任意设定，其来源可追溯至直升机场标准中的侧向保护斜面。ICAO Annex 14 Volume II规定，高架直升机场FATO安全区边缘应设置以45°向外上升、水平延伸至10m的protected side slope；MH5013-2023第4.4.1条亦规定，FATO安全区周围侧向保护斜面自安全区边界起向上向外以45°角延伸至距安全区边界10m远，且该斜面上不应有突出障碍物。团标将这一heliport源头中的45°侧向保护逻辑移植到eVTOL垂直拉起空间：h0≤D时，每上升h0即向每侧外扩h0，顶面边长由2D变为2(D+h0)；h0>D时，先按45°外扩至D高度，形成4D顶面尺度。若D以上仍继续按45°外扩，顶面边长将超过4D，OFV会随h0线性膨胀，城市起降场将被过度放大。参考EASA对垂直程序体积设置上限、避免无约束外扩的思路，团标在达到4D后不再继续扩大，而是转为竖直柱体，将D以上空间理解为保持既有侧向保护边界内的垂直拉起段。

图 16 中国团标关于圆形FATO与OFV的补充说明摘录

因此，团标的关键不是“简化OFV”本身，而是把eVTOL可垂直拉起的能力工程化为一个具体、明确、可由障碍物反算的h0。eVTOL能够垂直拉起，但垂直段耗能高，不宜任意抬高；h0应取满足控制障碍物越障和传统OLS设定的必要高度。这里必须强调，h0由场址环境决定，而不是由单一机型决定；最大使用机型确定D和场地基准尺度后，场地应覆盖该最大使用机型以下的全部机型，不能因机型更换而改变OFV基本造型。机型垂直爬升性能、能耗、定位误差、失效工况、风环境及下洗/外洗影响用于校核运行适用性和限制条件。

五、FAA路线：Part 77面、D/RD与DCA

（一）FAA EB105A未采用EASA式OFV

FAA EB105A与EASA/CASA/中国团标的最大区别，是没有把OFV作为核心障碍物保护概念。FAA明确将14 CFR Part 77中适用于heliport的imaginary surfaces用于vertiport，包括primary surface、approach surface和transitional surfaces。

图 14 FAA EB105A Figure 2-5：VFR Vertiport进近/离场面

作为旁支参考，FAA的VFR几何参数非常明确：在FAA EB105A/Part 77语境下，primary surface等同FATO；approach/departure surface从FATO边缘起算，长度4000 ft（1219 m），外端宽500 ft（152 m），坡度8:1；transitional surface从primary surface和approach surface侧边向外向上延伸，坡度2:1，水平距离250 ft（76 m）。该表述仅适用于FAA路径，不应反推到ICAO/MH5013主线。

图 15 FAA EB105A Figure 2-6：曲线进近/离场面

曲线进离场方面，FAA要求S+R≥1886 ft（575 m），R≥886 ft（270 m），中心线总长度不小于4000 ft（1219 m）。这与ICAO/MH5013关于曲线段半径的底层逻辑相通，均体现“转弯前需有足够直线加速和稳定空间”的思想。

（二）FAA把eVTOL差异主要放在D/RD和DCA

FAA并非忽略eVTOL差异，而是将差异分配到另两个概念中：一是D/RD尺寸体系，二是DCA下洗/外洗警戒区。EB105A中，D为航空器整体外廓，RD为产生升力的推进单元及起落架/接地点包络。TLOF按1RD，FATO按2RD，Safety Area按2.5D。

图 16 FAA EB105A关于 D与 RD的定义图示 DCA（ Downwash/Outwash Caution Area ）用于保护人员、设施和财产免受 eVTOL下洗 /外洗影响。当风速可能达到或超过 34.5 mph（ 55.5 kph ）时，应设置 DCA。 FAA路线体现为：空域障碍物仍按 Part 77面评价， eVTOL新增地面风场风险则用 DCA 单独控制。 六、 FAA与 ICAO/EASA/CASA/中国体系的核心差异

图 17 FAA路线与 ICAO/EASA/CASA路线的几何差异 由此可见， FAA与 ICAO/EASA/CASA/中国体系的差异不是 “安全程度 ”的差异，而是 “安全空间如何组织 ”的差异。 FAA保持传统空域面的一致性； EASA/CASA/ 中国则接受城市起降场需要新的三维无障碍体积。 七、几何构型合理性评估 ㈠ 传统 OLS的适用边界 传统 OLS 适用于航空器沿较明确、较低角度进离场路径进入和离开的场址。其优势是规则清晰、审查成熟、长期保护性强；劣势是在城市核心区容易与既有建筑冲突。适用场景包括机场内 vertiport 、郊区地面起降场、低密度园区、具备水面或开阔廊道的场址。 ㈡ OFV的适用边界 OFV 适用于垂直段能力对场址可行性具有决定作用的场景。其优势不是简单 “减少 OLS”，而是把传统 OLS起点从地面 Safety Area外边界对应的低标高抬升到一个由控制障碍物决定的高度，使 eVTOL只垂直拉起到必须高度 h0 ，再按传统 OLS逻辑进出。这样既利用了 eVTOL 可垂直拉起的能力，又避免把垂直段设计成固定的、过度耗能的通用高度。劣势是对机型性能、能耗、控制系统、程序设计和运行批准依赖更强。适用场景包括城市屋顶、高架交通枢纽、建筑密集区起降点和传统 OLS 难以满足的复杂净空场址。 ㈢ 中国团标 OFV的合理性和不足 中国团标以 D和 h0构造 OFV ，但不能把它理解为对 MH5013/Heliport Manual的弱化或替代。其合理性在于：第一，严格保留传统 OLS 作为最终越障审查框架，即便偏保守也保持有效和可审查；第二，承认 eVTOL具有垂直拉起能力；第三，用 OFV把垂直拉起段与传统 OLS衔接；第四， h0 由周边控制障碍物反算确定，是环境决定的场址参数，而不是交给单一机型、尚不成熟的 AFM 或厂家手册决定，使净空复杂场址能够进行具体、明确、闭合的工程计算。 需要补充的是， h0 不宜按固定经验高度套用，也不宜为了净空审查无限抬高。垂直拉起意味着能耗增加和运行效率降低，过高的 h0可能牺牲航程和商业可行性；过低的 h0则无法从 OFV顶面建立合规 OLS 或无法越过控制障碍物。实际工程中应以障碍物穿透分析反算 h0，使其成为 “必须拉起高度 ” 。机型资料、运行程序、失效工况、 DCA和风环境分析可作为校核和运行限制依据，但不应成为确定 h0 和建立净空框架的前置活口。 八、实施难点与标准宣贯重点 ㈠ 叫好不叫座的根本原因 近两年 eVTOL 起降场标准研究较多，但真正落地实施的项目有限，原因复杂，其中一个重要原因是净空逻辑难以被非机场工程背景主体理解。场址方、航空器厂家、运营人、规划部门和审批部门往往关注点不同：场址方关心用地和建设边界，航空器厂家关心垂直起降能力和能耗，运营人关心航程和周转效率，审批部门关心可审查、可追责、可长期管控的空间边界。 传统 OLS本身就不容易被新型航空器厂家接受。厂家容易从 “航空器能飞 ”出发，认为 eVTOL 具备垂直起降、自动控制和精准定位能力，因此不应再受传统进近面、起飞爬升面以及必要的过渡面约束。但从基础设施和监管角度看， OLS 并不是因为航空器不能垂直飞行才存在，而是为了给长期运行中的进离场、越障、偏差、风影响、失效处置和责任边界提供稳定、可测量、可审查的空间框架。 ㈡ 不能把场地标准变成厂家数据负担 如果 OFV 构型高度依赖每个厂家、每个机型提供的垂直程序参数，就会把基础设施净空问题转嫁给航空器厂家。现阶段多数 eVTOL 机型仍处于研发、试飞、适航取证和构型迭代过程中，飞行手册、运行程序、控制律、软件版本、电池与热管理能力都可能变化。要求每个厂家为每个机型额外形成一套数据来迎合 OFV 概念，会导致场地几何不稳定、审批依据不稳定、项目投资风险增加。 起降场是城市基础设施，应先形成稳定的净空几何框架。机型数据可以用于运行适配、可用机型标注和限制条件制定，但不应成为场地几何成立的前置条件。否则，换一个机型或软件版本就可能触发 OFV 重算、净空重审和工程方案调整，这与基础设施批量复制和网络化铺开相冲突。

㈢ 团标逻辑需要被翻译成工程语言 团标逻辑严密，但直接用 OLS、 OFV、 h0、 D

、侧向保护斜面等术语解释，外部主体不易理解。更有效的表达应从问题出发：城市复杂场址并不是没有地方起降，而是很多场址无法从地面Safety Area外边界直接建立传统OLS。eVTOL的价值在于可以垂直拉升，因此可以先把航空器拉升到一个能够建立传统OLS并越障的高度。这个必须拉升的高度就是h0。h0以下的垂直拉升过程同样需要保护空间，这个空间就是OFV。OFV构型不应复杂化，而应延续heliport已有的45°侧向保护斜面逻辑：先按45°外扩至4D，再以4D柱体向上延伸；h0落在D以下时表现为截锥，h0超过D时表现为截锥加柱体。两种图形不是两套规则，而是一套固定生成规则在不同控制障碍物高度下的截断结果。

（四）面向实施的宣贯表述

建议后续宣贯时采用如下表述：eVTOL不是不需要净空，而是可以用垂直拉升把传统净空面的起点抬高。h0就是为越过周边控制障碍物所必须抬高的高度。h0以下用OFV保护垂直拉升过程，h0以上仍按传统OLS控制进离场。这样既不放弃直升机场成熟净空逻辑，也不浪费eVTOL的垂直能力。

这一表述有助于统一各方认识：对监管部门而言，传统OLS仍然有效，审批逻辑没有断裂；对厂家而言，不要求其为每个机型重新生成一套场地几何参数；对业主而言，场地按最大使用机型和控制障碍物形成稳定边界，建成后通过可用机型标注和运行限制管理适用范围；对设计单位而言，净空论证可以转化为控制障碍物识别、h0反算、OFV构型和OLS衔接四个可操作步骤。

九、国内工程应用建议

（一）建立“双路径净空校核”

建议国内eVTOL起降场项目建立双路径校核机制：净空良好场址采用MH5013/ICAO传统OLS路径；净空复杂场址仍采用MH5013/ICAO传统OLS作为最终越障框架，但先按中国团标建立h0+OFV，将OLS起点抬升至OFV顶面。这样既保持heliport manual的源头一致性，又体现eVTOL可垂直拉起的机型特性。

（二）把h0作为专项论证参数

h0不宜作为任意工程假定值，更不应被理解为固定标准高度。其本质是“为使传统OLS能够设定并越过周边控制障碍物，eVTOL应先垂直拉起的必要高度”。计算上应先识别控制障碍物，确定传统OLS方向和坡度，再反算从何高度引出OLS可以满足越障。该高度由净空几何闭合决定，属于场址环境参数。航空器垂直爬升性能、能耗、失效后飞行能力、定位误差、控制精度、风环境和运行程序用于验证该高度是否可运行、是否需附加限制，而不用于替代净空几何判断。对城市屋顶场址，h0往往是决定项目能否成立的核心参数。

从场地供给角度看，起降场不是为某一架航空器临时生成的几何体，而是面向设计最大使用机型建立的基础设施。只要航空器不超过最大使用机型控制尺度，就应在同一场地净空框架下使用。因此，D用于确定最大使用机型下的底面和保护尺度，h0用于反映场址周边控制障碍物所要求的垂直拉起高度；二者共同形成稳定的场址几何，而不是随每个具体机型重新生成。

（三）引入FAA的RD和DCA作补充校核

建议在国内标准框架下吸收FAA EB105A的两个有价值概念：RD用于更准确描述推进器及接地点包络，避免单一D值过粗；DCA用于下洗/外洗风场风险控制，避免仅以Safety Area或OFV投影判断地面安全。

（四）形成标准化图纸成果

后续项目应至少形成七类图纸：FATO/TLOF/Safety Area平面图，传统OLS平面图和纵剖面图，OFV三维图和剖面图，h0≤D与h0>D构型图，FAA 8:1/2:1对照图，DCA与Safety Area/OFV叠合图，周边障碍物穿透分析图。

十、结论

第一，Vertiport障碍物限制的源头是ICAO直升机场标准体系。FATO、TLOF、Safety Area和OLS构成全部后续标准的共同骨架；其中FATO是运行核心，TLOF是接地/离地区，Safety Area是传统进近面和起飞爬升面内边的关键起算边界。

第二，传统OLS几何构型适合开阔进离场场景，但在城市高密度环境中存在明显局限。OFV的出现，是为了让具备垂直程序能力的eVTOL先在受保护空间内上升或下降，再接入进近/起飞爬升面。

第三，EASA的开创性在于提出OFV概念，这一点应充分肯定；但其具体构型方式，特别是对固定或预设高度、机型手册/程序资料的依赖，容易与eVTOL能耗约束、场地基础设施通用性和现阶段资料不完备现实发生冲突，因此值得商榷。CASA的FPA/VPS/OFV最适合工程建模；中国团标的h0+OFV不是简单的固定几何简化，而是把“控制障碍物决定必须垂直拉起高度、OFV衔接传统OLS”这一思路工程化，最适合国内复杂净空场址的具体论证。

第四，FAA EB105A与EASA/CASA/中国路线存在根本差异。FAA不采用OFV作为核心障碍物保护概念，而是沿用Part 77 imaginary surfaces

，并以D/RD和DCA处理eVTOL尺寸与下洗/外洗风险。第五，国内工程实践应以ICAO/Heliport Manual/MH5013一脉相承的传统OLS为主线，以中国团标h0控制障碍物反算OFV为复杂净空补充机制；同时借鉴FAA体系在D/RD区分、Part 77空域评价和DCA下洗/外洗风险控制方面的有益经验。该方法不是排斥FAA，而是明确主线与参考的关系：净空体系以ICAO系为主，FAA成果用于补强eVTOL特殊风险识别和工程校核。其核心不是为每个机型生成不同OFV，而是按最大使用机型确定D、按控制障碍物确定h0，形成稳定场地几何，并向下包容较小机型；建成后通过标注可用机型和运行限制管理适用范围。

附件：核心标准资料ICAO Annex 14 Volume II — Heliports。ICAO Doc 9261 Heliport Manual, Fifth Edition, 2021。FAA Engineering Brief No.105A, Vertiport Design, 2024。FAA AC 150/5390-2D, Heliport Design。EASA PTS-VPT-DSN, Prototype Technical Specifications for Vertiport Design。CASA AC139.V-01, Guidance on Vertiport Design, 2023。T/CCAATB 0062-2024《电动垂直起降航空器起降场技术要求》。MH5013-2023《民用直升机场飞行区技术标准》。

Vertiport

障碍物限制几何构型研究报告

Vertiport

障碍物限制几何构型研究报告

——基于ICAO Heliport Manual源头、ICAO体系与FAA体系差异的工程评估研究日期: 2026年5月29日

一、研究目的与总体判断

本报告围绕电动垂直起降航空器起降场（Vertiport）的障碍物限制几何构型开展专题研究。研究重点不是对各国标准进行一般性摘录，而是从直升机场标准源头出发，追溯FATO、TLOF、Safety Area、OLS等概念的形成逻辑，进而分析其在eVTOL城市起降场条件下为何发展出OFV等新型三维保护体积。

总体判断是: Vertiport障碍物限制并非从零开始建立，而是严格延续传统heliport标准的几何底盘。ICAO Annex 14 Volume II和ICAO Doc 9261构成源头框架; MH5013等国内直升机场标准属于该框架的本地化实施。中国团标不是另造一套净空体系，而是在延续Heliport Manual和MH5013传统OLS设定的基础上，借鉴EASA的OFV概念，用OFV把eVTOL的垂直拉起能力与传统OLS衔接起来。FAA EB105A则明显不同，其核心仍是14 CFRPart 77 imaginary surfaces，同时以D/RD和DCA处理eVTOL的新风险。

进一步说，团标的大逻辑与EASA提出OFV的初衷是一致的: 当某一场址从地面安全区边界直接建立传统OLS存在困难时，不是放弃OLS，而是利用eVTOL具备垂直拉升能力的特点，先用OFV把OLS起点抬高; 当抬高到能够设立传统OLS并满足越障要求时，就不再继续抬高。也就是说，OFV服务于OLS，h0服务于越障闭合。

这一路径同时避免了两个极端: 一是机械套用传统直升机场OLS，导致大量城市复杂场址无法进入工程论证; 二是把OFV做成依赖具体机型程序参数的复杂体积，导致场地几何不稳定、厂家数据负担过重、选址审查无法闭合。团标

选择的中间路线是：传统 OLS 仍然有效，甚至偏保守也可接受；OFV 只负责保护 eVTOL 从起降场表面/FATO 标高垂直拉起到 h0 高度的过程；h0由控制障碍物决定，拉到够设立 OLS 即可。

OFV 对垂直拉升过程的保护也应遵循工程可用性原则：第一，应尽量简化，便于选址、制图、测量和审查；第二，应尽量延续 heliport 源头逻辑，正好 Heliport Manual 和 MH5013 已有 45° 侧向保护斜面的成熟依据；第三，不应依赖某一个具体机型，而应按拟服务范围内的最不利设计机型确定 D 值，并向下包容较小机型。建成后的起降场是稳定基础设施，后续通过标注可用机型和运行限制来管理适用范围，而不是换一个机型就改变场地造型。

因此，研究 vertiport 障碍物限制必须从源头讲起。无论 ICAO体系还是 FAA 体系，vertiport 标准都不是凭空产生的，而是从 heliport 标准演化而来。二者的分化在 heliport 阶段已经存在：ICAO 体系以 Annex 14 Volume II 和 Doc 9261 为源头，形成 FATO、TLOF、Safety Area 和 OLS 的国际框架；EASA 和中国 CAAC/MH5013/团标均应归入这一 ICAO 系，只是 EASA 在 vertiport阶段率先提出 OFV 这一扩展概念，中国团标则在 ICAO/MH5013主线上吸收 OFV并重构其工程构型。FAA同样从传统 heliport 出发，但更多依托美国本土 AC 150/5390-2D、14CFR Part 77 和空域评价制度，发展出 EB105A 中以 Part 77imaginary surfaces、D/RD 和 DCA 为核心的 vertiport 路径。因此，FAA与 ICAO 不是无关两支，而是同源不同支；在传统 heliport 领域，两套标准长期“相爱相杀”，行业学者和工程实践不断比较其差异，并在尺寸控制、净空评价、运行安全和风险缓解等方面相互吸收、融合和发展。

在 ICAO 系内部，EASA PTS-VPT-DSN 的开创性在于提出 OFV概念。这里必须明确：EASA不是 FAA 旁支，而是与 ICAO/CAAC同属传统 heliport逻辑延伸出来的一条欧洲路径，且 EASA 文件自身也明确以 EASA 直升机场规范、ICAO Annex 14Volume II 和 ICAO Document 9261 Heliport Manual 为基础，同时吸收 VTOL制造商和专家输入。EASA在 Chapter D中还明确说明，Subpart 1 的传统 OLS 来自 Annex 14 Volume II 和 Doc9261，Subpart 2 才是 vertiport 的 OFV 概念。OFV 确实具有突出的创意和实用价值：它敏锐地抓住了 eVTOL 区别于传统直升机场应用场景的关键，城市复杂地区往往无法从地面安全区边界直接建立传统 OLS，但 eVTOL 具备垂直起降和垂直拉升能力，可以先在受保护的三维体积内拉升到一定高度，再接入传统进离场保护面。理论上，OFV解决了复杂地区无法按传统直升机场方式设立净空面的难题，这是 EASA 方案最重要的亮点。

中国团标的价值在于：在 ICAO 系内部承认并吸收 EASA 提出 OFV 的方向性创新，但不简单照搬其构型方法，而是把 OFV重新嵌入 ICAO/Heliport Manual/MH5013 的传统 OLS 逻辑之中。也就是说，EASA 与 CAAC 并非两个完全割裂的体系，二者共同基础都是 heliport 的 FATO、TLOF、Safety Area 和 OLS；差异在于 OFV构型方法。中国路径应以 ICAO 系一脉相承的技术路线为主线，在既有直升机场标准基础上，通过 h0和 OFV把 eVTOL 能力转化为可审查、可制图、可复制的净空工程方法；同时，应保持对 FAA体系的开放借鉴，吸收其在 D/RD 区分、Part 77空域评价、DCA下洗/外洗风险控制等方面的有益成果。

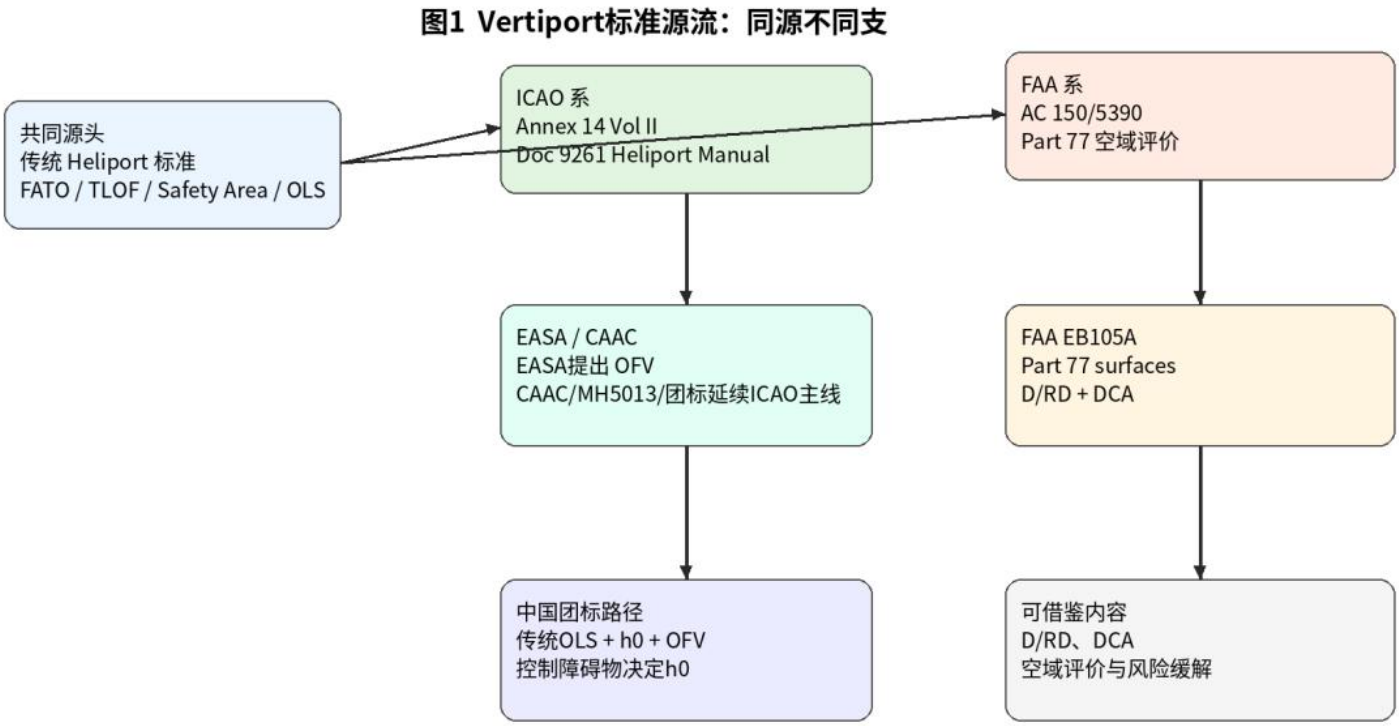


图 1 Vertiport 障碍物限制标准源流与分化

二、源头框架：ICAO 直升机场标准的几何基础

（一）FATO、TLOF 与 Safety Area 构成全部障碍物限制的底盘

ICAO Annex 14 Volume II 规定，FATO 是完成最终进近至悬停或着陆、并开始起飞动作的区域；TLOF 是直升机接地或离地的区域；Safety Area 是围绕 FATO 设置、用于降低航空器意外偏离 FATO 风险的保护区。在 ICAO/MH5013主线中，传统进近面和起飞爬升面的内边位置就是 Safety Area 外边界；如设置净空道，则起飞爬升面可从净空道端部起算。FATO决定运行核心、中心线和最小规定宽度/直径，Safety Area 决定传统 OLS 的起算边界。不得把 FAA Part 77 中 primary surface=FATO、从 FATO 边缘起算的概念混入 ICAO 系表述。

Elevated heliport. A heliport located on a raised structure on land.

Ellipsoid height (Geodetic height). The height related to the reference ellipsoid, measured along the ellipsoidal outer normal through the point in question.

Final approach and take-off area (FATO). A defined area over which the final phase of the approach manoeuvre to hover or landing is completed and from which the take-off manoeuvre is commenced. Where the FATO is to be used by helicopters operated in performance class 1, the defined area includes the rejected take-off area available.

Geodetic datum. A minimum set of parameters required to define location and orientation of the local reference system with respect to the global reference system/frame.

Geoid. The equipotential surface in the gravity field of the Earth which coincides with the undisturbed mean sea level (MSL) extended continuously through the continents.

Note.— The geoid is irregular in shape because of local gravitational disturbances (wind tides, salinity, current, etc.) and the direction of gravity is perpendicular to the geoid at every point.

Geoid undulation. The distance of the geoid above (positive) or below (negative) the mathematical reference ellipsoid.

Note.— In respect to the World Geodetic System — 1984 (WGS-84) defined ellipsoid, the difference between the WGS-84 ellipsoidal height and orthometric height represents WGS-84 geoid undulation.

Gregorian calendar. Calendar in general use; first introduced in 1582 to define a year that more closely approximates the

图 2 ICAO Annex 14 Volume II 关于 FATO 的定义摘录

Chapter 1 ***Annex 14 — Aerodromes***

Heliport. An aerodrome or a defined area on a structure intended to be used wholly or in part for the arrival, departure and surface movement of helicopters.

Integrity (aeronautical data). A degree of assurance that an aeronautical data and its value has not been lost nor altered since the data origination or authorized amendment.

Obstacle. All fixed (whether temporary or permanent) and mobile objects, or parts thereof, that:

a) are located on an area intended for the surface movement of aircraft; or

b) extend above a defined surface intended to protect aircraft in flight; or

图 3 ICAO Annex 14 Volume II 关于 TLOF 的定义摘录

从几何上看，FATO 不是单纯的硬化承载面，而是航空器完成最终进近、悬停、着陆和起飞初始动作的运行包络；TLOF 更偏向接地、离地和承载；Safety Area则是误差缓冲层。因此，在 ICAO/MH5013 主线中，OLS 不是从 TLOF 边缘起算，也不是从 FATO 边缘起算，而是从 Safety Area 外边界起算；FATO 通过确定运行区域和中心线，间接影响 Safety Area 外边界的位置和 OLS内边宽度。

（二） Doc 9261 解释了 1D、0.83D 与 sub-1D 的工程含义

ICAO Doc 9261 Heliport Manual 对 Annex 14 条文作出工程解释，尤其说明了 1D FATO 与 0.83D TLOF 之间的关系。1D 通常对应直升机最大外廓或旋翼相关包络，用于保证运行阶段的空间包容；0.83D 可用于特定场景下的接地/离地区域或承载区域，但这并不意味着障碍物保护空间同步缩小。

reduced TLOF (Figure I-3-2 refers). The FATO is bound by the outer circle from which the obstacle sector surfaces derive their origin. The TLOF is bound by the inner circle (represented as a circle within the octagon shape of the helideck load-bearing area). The FATO outside the TLOF perimeter represents a non-load bearing surface for helicopters as it usually extends over the safety device (whether safety net or safety shelf) which is incapable of supporting even the static load of a helicopter. Therefore, a helideck incorporates one FATO and one TLOF; notwithstanding for a fixed or floating offshore facility, to improve operational flexibility, there may be the possibility to provide additional helideck(s) elsewhere on the facility – the advantages of this are raised in Chapter 3, 3.2.1.10.

3.3.3 It should be remembered that the basic size of a 1 D FATO with coincident TLOF is, of necessity, a compromise for offshore operations where space is invariably limited. Nonetheless, it is essential that the TLOF provides sufficient space for the landing gear configuration and sufficient surface area to promote a helpful “ground cushion” effect from rotor downwash. The area provided should also allow adequate room for passengers and crew to alight or embark the helicopter and to transit to and from the operating area safely. In addition, space consideration needs to be given to allow essential on deck operations, such as baggage handling, tying down the helicopter or helicopter refuelling, to occur safely and efficiently, and, in the event of an incident or accident occurring, for rescue and firefighting teams to always have good access to the landing area from an upwind location (see also Chapter 6).

3.3.4 The design should allow for sufficient clearance from the main rotor and tail rotor of the helicopter to essential objects permitted to be around the perimeter of the TLOF, including obstacles that may be present in the limited obstacle sector (LOS). It should be clearly understood that a FATO of 1 D is the minimum dimension sufficient for the containment of the helicopter; in this case, where a precise landing is completed (see also Chapter 5, especially the use of touchdown/positioning marking circle), the main and tail rotors will abut the edge of the 1 D circle. For this reason it is important that the yellow touchdown/positioning marking circle is accurately and clearly marked and is used by aircrew every time for positioning the helicopter during the touchdown manoeuvre.

3.3.5 Sufficient margins to allow for touchdown/positioning inaccuracies as a result of normal variations or handling difficulties, for example due to challenging meteorological conditions, aerodynamic effects and/or dynamic motions due to ocean waves, should be allowed for in the design. The helideck and environs should provide adequate visual cues and references for aircrew to use throughout the approach to touchdown manoeuvre, from initial helideck location and identification (acquisition) through final approach to hover and to landing. In addition, adequate visual references should be available for the lift-off and hover into forward flight.

3.3.6 In consequence of the considerations stated above, except where an aeronautical study/risk assessment is

图 4 ICAO Doc 9261 关于 1D 与 sub-1D FATO/TLOF 关系的说明

该源头逻辑对 eVTOL研究非常关键。eVTOL也存在“整体包络”和“接地点/推进器包络”不一致的问题。如果仅以接地点或起落架范围确定起降场尺寸，容易低估航空器姿态偏差、旋翼/推进器外廓、定位误差和失效工况下的空间需求。

（三） Heliport Manual 印证：基础设施按最不利设计机型，而非单一机型

ICAO Annex 14 Volume II 在总则中明确提出，设计直升机场时，应考虑该直升机场拟服务的 critical design helicopter，即具有最大尺寸组合和最大起飞质量的关键设计直升机。这说明直升机场从源头上就是面向一组拟服务机型设计，而不是为某一架具体航空器临时生成几何边界。

ICAO Doc 9261 Heliport Manual 进一步给出 “Design helicopter” 的定义：即具有最大总长和最大审定起飞质量、且直升机场或水上平台按其进行设计的直升机；并特别说明这两个属性不一定集中在同一机型上。这一点非常重要：最不利设计机型并不只是“某一架飞机”，而是从拟服务机型集合中提取控制尺寸、控制重量、控制性能等最不利设计属性。

Doc 9261 还在物理特性章节提出，直升机着陆区及停车区应具有足够尺寸和强度，并按需要使用该设施的最重、最大直升机布置和设计，即 design helicopter。障碍物环境章节也规定，FATO应足以包含以 D 为直径的圆，D 等于旋翼转动时直升机最大尺寸；该 D 圆用于包容 design helicopter。

上述条文共同印证：heliport manual 的基础设施设计思路，是先确定拟服务范围，再找出最不利设计机型或最不利设计属性，并用其控制场地几何、承载和净空。建成后的场地应稳定服务设计边界内的机型，而不是随每个具体机型重新改变 FATO、TLOF、Safety Area 或障碍物保护构型。

对应到 eVTOL团标，D应由最大使用机型确定，体现航空器尺度控制；h0 应由场址周边控制障碍物确定，体现环境净空控制。二者合成稳定的场址几何。只要后续使用机型不超过最大使用机型控制尺度，并满足运行限制，就应纳入同一场地净空框架，而不应换一型航空器就重做 OFV 造型。

（四）边界辨析：本报告主线采用 ICAO/MH5013，不混用 FAA 定义

为避免概念混乱，本报告后续分析以ICAO/HeliportManual/MH5013为主线，并将EASA作为ICAO系内部的欧洲vertiport扩展路径一并讨论。该主线下，FATO、TLOF和SafetyArea各有不同功能：FATO是最终进近和起飞运行区域，TLOF是接地/离地区域，Safety Area是围绕FATO的误差缓冲区；传统进近面和起飞爬升面的内边位置通常位于Safety Area外边界，或在设置净空道时位于净空道端部。

FAA体系中“primary surface = FATO”“approach/departuresurface从FATO边缘起算”等表述，属于FAA Part 77和EB105A的独立空域面逻辑，只在FAA旁支比较中使用。中国团标属于ICAO系延续，分析时不能把FAA的FATO边缘起算逻辑混入中国团标或MH5013的OLS构型。

三、传统OLS几何构型剖析

（一）OLS的基本构成

传统直升机场障碍物限制面（Obstacle Limitation Surfaces,OLS）是一套以FATO为运行核心、从Safety Area外边界或净空道端部向外、向上展开的二维/三维斜面系统。必须注意，ICAO/MH5013主线下的OLS组成与运行类型相关：目视/非仪表FATO通常要求进近面和起飞爬升面；精密进近、非精密进近或含目视航段面的PinS FATO才要求过渡面，并可进一步涉及内水平面、锥形面等；对于水上平台和船上直升机场，还可涉及无障碍物扇形面和限制障碍物扇形面。

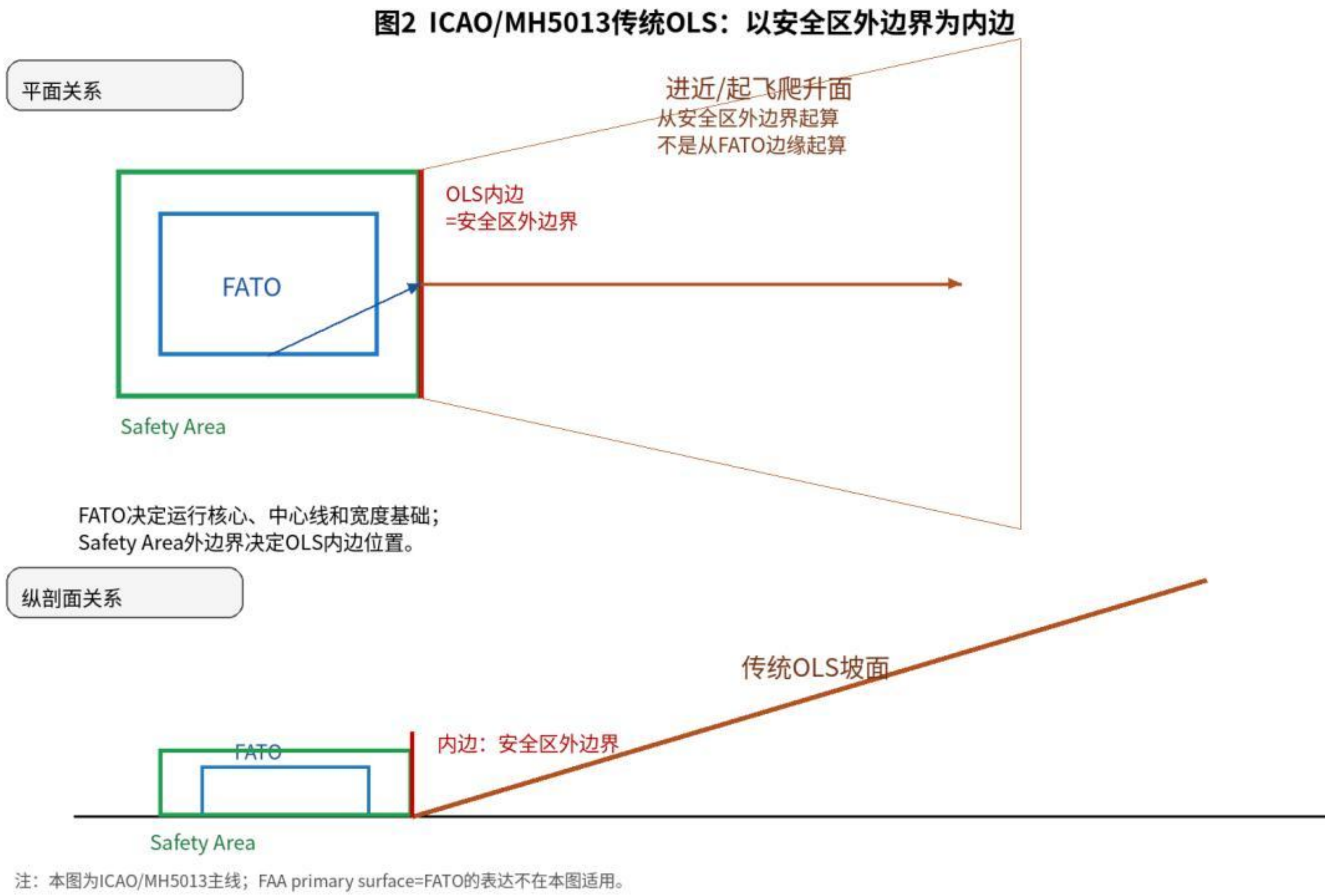


图 5 传统 OLS几何构型：平面与纵剖面

OLS 的核心几何关系是：内边位于 Safety Area 外边界或净空道端部，内边宽度由 FATO 最小规定宽度 / 直径与 Safety Area 宽度共同决定；两侧边按规定发散率向外展开；中线沿预定进近或起飞方向延伸；坡度在包含中线的铅垂面内度量。这种几何构型把“飞行路径安全”转换为“空间斜面不得被障碍物穿透”的工程审查问题。

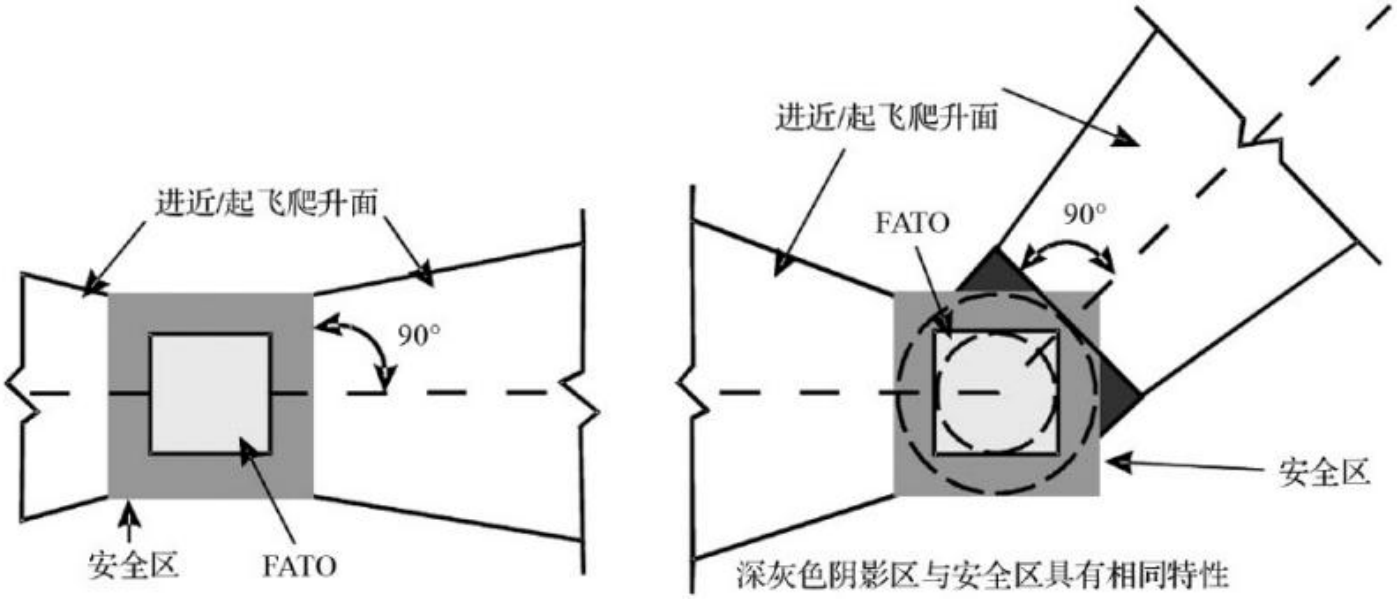
(二) ICAO 与 MH5013 对传统 OLS 的关键要求

项目	ICAO Annex 14 Vol II 源头要求	MH5013-2023本地化表达	几何含义
进近面	由 Safety Area外边界起，沿 FATO中心线	进近面为倾斜平面、平面组合或含转弯的	控制到场阶段下降通道，内边位置为
	延长方向向外、向上展开	复合面	Safety Area外边界
起飞爬升面	由 Safety Area 或净空道端部起，向外向上展开	起飞爬升面可为斜面、平面组合或复合面	控制离场初始爬升通道
曲线面	转弯半径不得小于 270m，30m高度以下通常保持直线段	曲线段不多于 1个，R+S 满足下限，R≥270m	保证转弯前有加速与稳定空间
方向数量	地面和高架直升机场至少两个进近 /起飞爬升面，ICAO 为不小于 150°	陆上直升机场宜至少两个，中线夹角宜不小于 135°	避免顺风，降低侧风，提高可用率

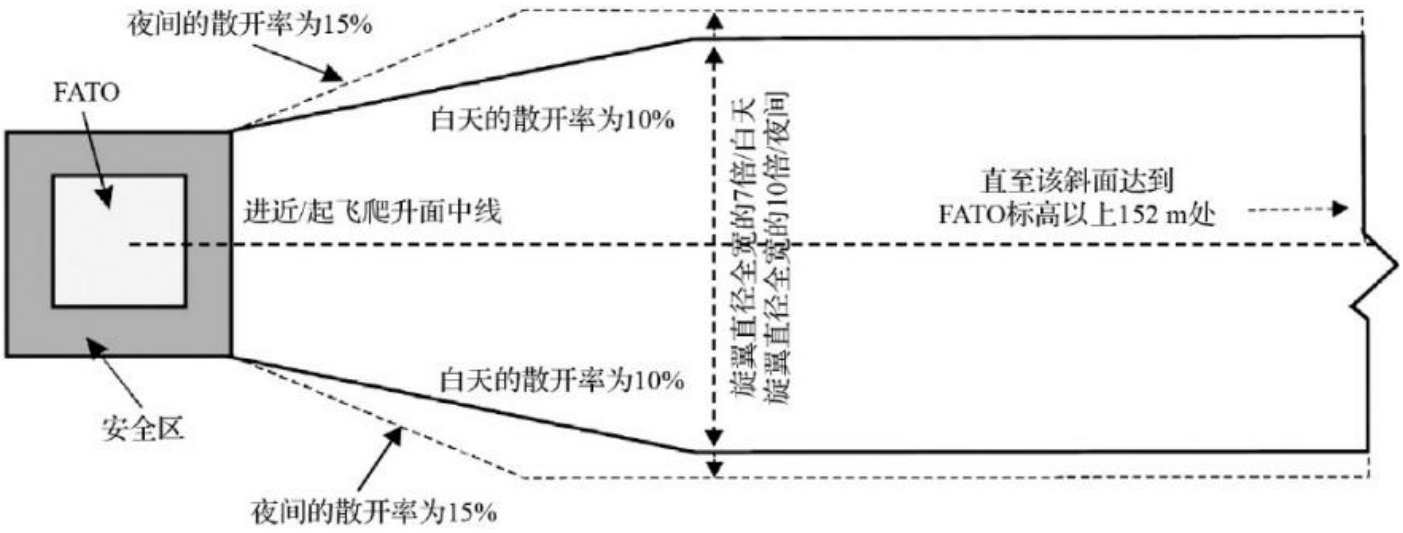
			OLS

8.6.2 5

4



6.2.1-1 /



6.2.1-2 /

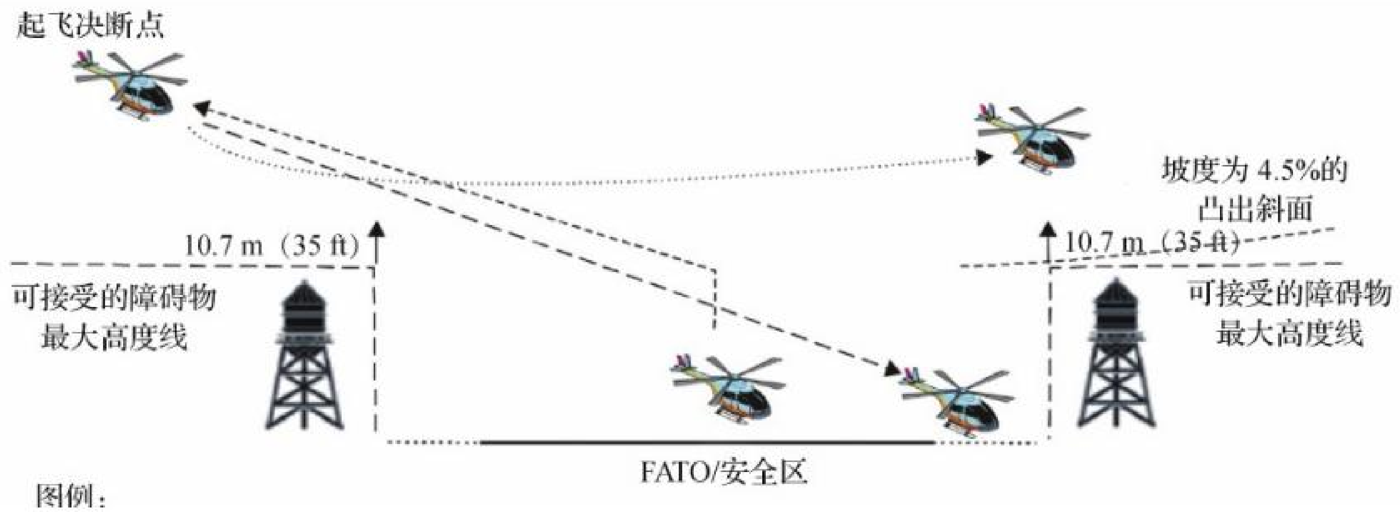
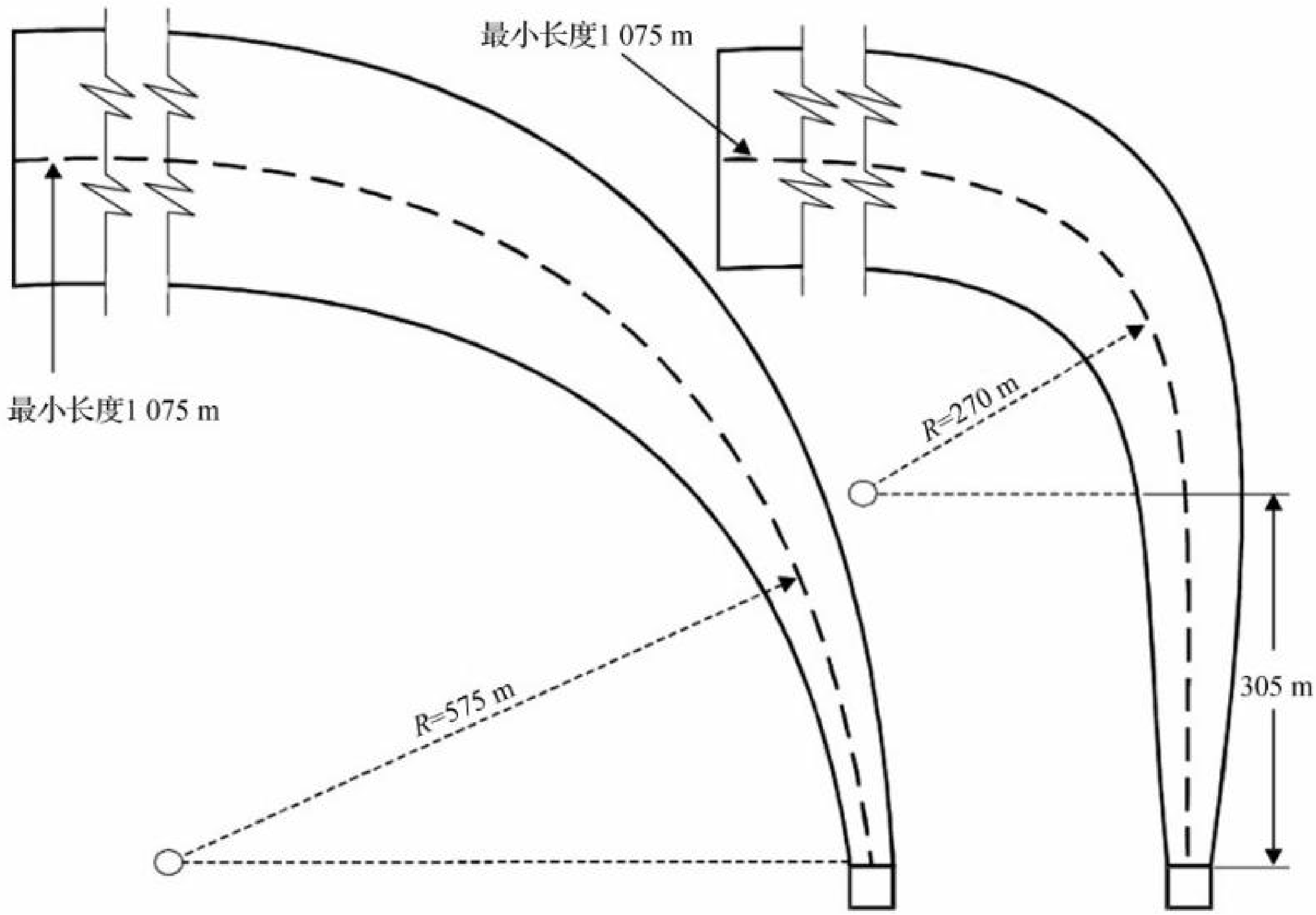


图 6 MH5013关于进近 /起飞爬升面起始端和宽度的图示



注： 1曲线和直线段的任何组合可以使用如下公式来确定：$S+R\geq575$m和 $S=305$m时， $R\geq270$m。式中 S 为直线段的长度， R为转弯半径。任何 ≥575m的组合均可行。

2曲线和直线段中线的最小长度为 1075m，但是根据所用的坡度可以更长。更长的长度，见表 6.2.1-1。

3直升机的起飞性能在曲线段会降低，因此应考虑曲线段开始之前沿起飞爬升面的直线段可允许加速。

图 6.2.1-4视曲线进近 /起飞爬升面

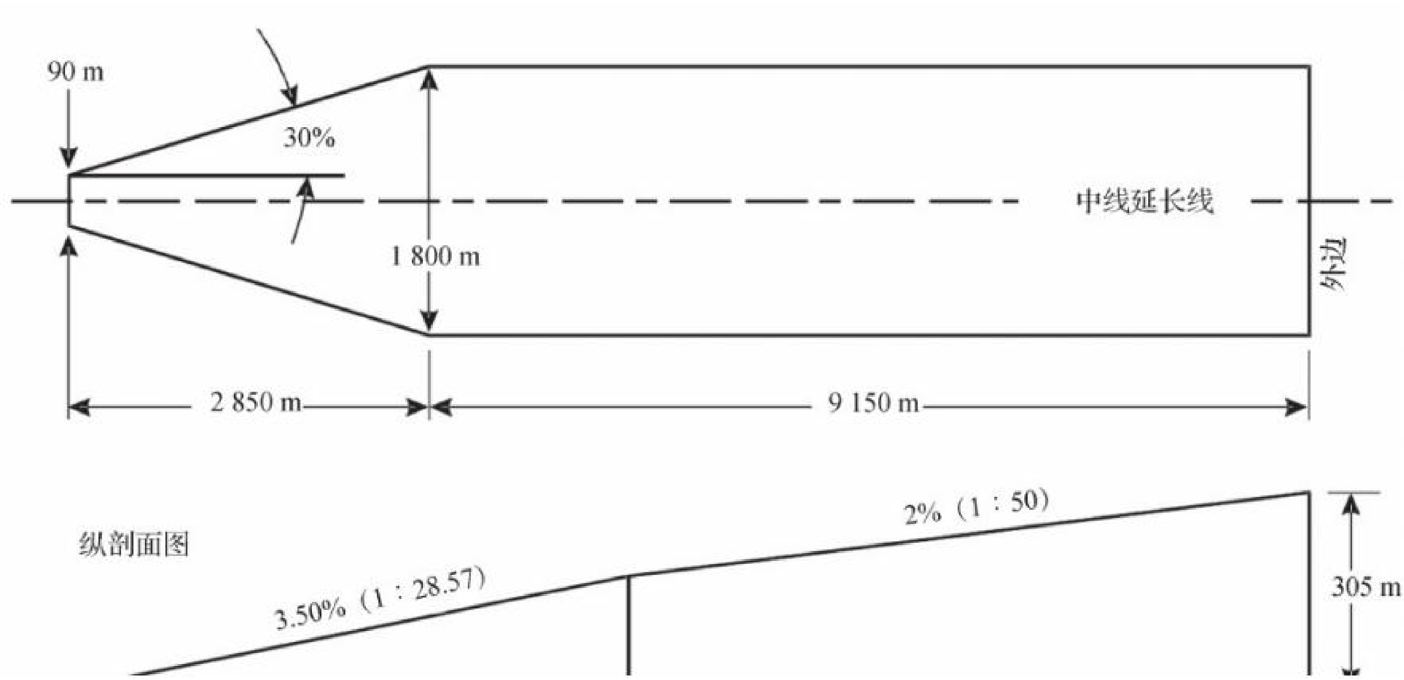


图 7 MH5013关于曲线进近/起飞爬升面及仪表起飞面的图示

（三）过渡面的必要性：ICAO/MH5013为按需设置，FAA为Part 77统一纳入

过渡面不能笼统理解为所有直升机场OLS的必备组成。ICAO Annex 14 Volume II中，过渡面被定义为沿Safety Area侧边和部分进近面侧边向外、向上倾斜至内水平面或规定高度的复合面，其作用是为进近面/起飞爬升面及FATO侧向提供附加障碍物保护。但在障碍物限制要求中，ICAO对不同运行类型进行了区分：精密进近FATO和非精密进近FATO要求设置过渡面；非仪表FATO则仅要求起飞爬升面和进近面。MH5013-2023延续了这一思路：精密进近、非精密进近、含目视航段面的PinS FATO设置起飞爬升面、进近面和过渡面；目视进近FATO则设置起飞爬升面和进近面。

因此，在ICAO/MH5013主线下，过渡面的必要性取决于运行方式和侧向保护需求，而不是无条件并入所有OLS。对于以目视运行为主的eVTOL起降场，核心仍是从Safety Area外边界或OFV顶面建立进近面和起飞爬升面；只有当运行方式、程序设计或安全评估需要侧向附加保护时，才应把过渡面纳入。中国团标提到“进近和起飞爬升面、过渡面起始端位于OFV顶面”，应理解为：当按所参照的MH5013运行类型需要设置过渡面时，其起始高度随OLS一起抬升至OFV顶面，而不是要求所有eVTOL场址一律设置过渡面。

FAA路径不同。FAA EB105A沿用14 CFR Part 77 heliportimaginary surfaces，将primary surface、approach/departure surface和transitional surfaces作为VFR vertiport空域面一并纳入，并规定过渡面以2:1从primary surface和approach surface侧边向外向上延伸。这反映的是美国Part 77空域评价制度的统一筛查逻辑，不应倒推为ICAO/MH5013主线下所有目视vertiport必须设置过渡面。

从工程推广角度看，过渡面应谨慎作为默认要求。对于当前以目视运行、垂直拉升和城市复杂净空为主要对象的eVTOL起降场，场址可行性的主控因素通常是控制障碍物、h0、OFV以及进近面/起飞爬升面的方向和坡度。若默认强制设置过渡面，将扩大净空控制范围，增加三维建模和审查复杂度，提高周边障碍物穿透概率，并可能降低场址通过率；其安全收益未必与增加的工程复杂性相称。

因此，过渡面宜定位为按需设置项，而不是所有 eVTOL 起降场的默认组成。对于目视运行、无明显侧向程序且通过 OFV和进近 / 起飞爬升面已能形成稳定越障保护的场址，可不把过渡面作为主控面；当运行程序包含侧向元素、仪表 /PinS 运行、复杂转弯或安全评估表明侧向保护不足时，再按 ICAO/MH5013/EASA 相应逻辑设置过渡面。这样既尊重传统 heliport标准中关于过渡面的安全意图，又避免在 eVTOL 早期工程化推广阶段过度复杂化净空设计。

（四）传统 OLS的合理性与局限

传统 OLS 的合理性在于其简单、稳定、可测量、可审查。只要场址具备开阔进离场走廊，监管部门和设计单位可以通过平面图、纵剖面图和障碍物测量快速判断是否满足净空要求。对于机场、郊区、低密度区域和具备开阔水面或河道方向的场址，传统 OLS仍是最稳妥的基础方法。

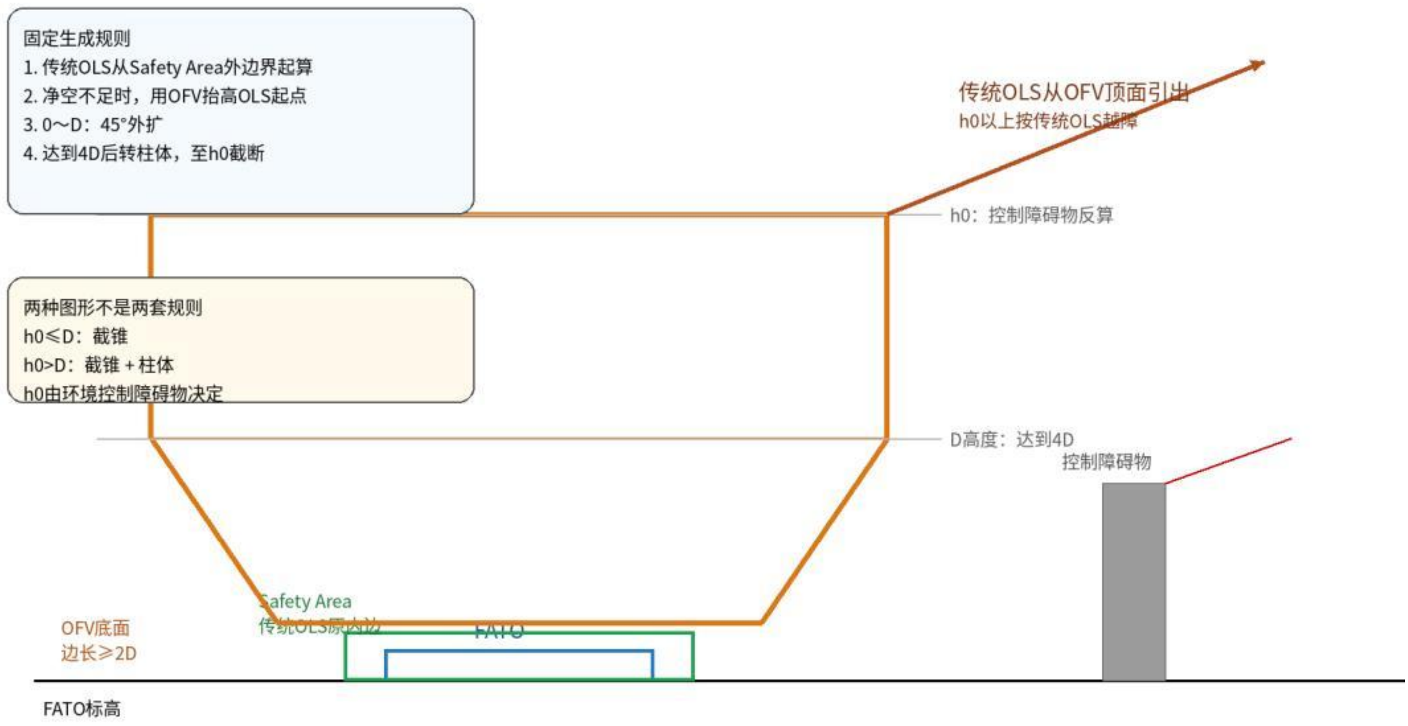
但传统 OLS 的局限也非常明显。城市核心区和高密度建成区往往不存在完整低角度进离场走廊。如果机械套用传统 OLS，许多屋顶起降场或交通枢纽起降点将因周边建筑穿透进近面 /起飞爬升面而无法成立。eVTOL 具备一定垂直起降能力，标准体系因此开始考虑以受控垂直空间替代一部分低空长坡面，这就是 OFV 出现的根本原因。

四、 OFV 几何构型：从二维斜面走向三维体积

（一） OFV的基本逻辑

OFV（ Obstacle-Free Volume，无障碍体积或无障碍空间）的作用，是在起降场表面 /FATO 标高以上建立一个不得被障碍物穿透的三维体积，使 eVTOL 能够在受控空间内完成垂直起降、悬停、初始爬升或最终下降，再在较高位置接入进近面和起飞爬升面。这里应避免把 OFV 底面与传统 OLS 内边混为一谈：ICAO/MH5013 传统 OLS 内边由 Safety Area 外边界控制；团标 OFV 底面是为垂直拉升过程单独构造的保护底面。

图3 团标OFV：抬高传统OLS起点，保护垂直拉升过程



注：OFV底面用于保护垂直拉升过程；传统OLS内边仍遵循ICAO/MH5013的安全区边界逻辑，抬高后位于OFV顶面。

图 8 OFV 几何构型：先垂直保护，再接入进离场面

因此，OFV并不是取消OLS，而是改变ICAO/MH5013主线下OLS的起算高度。传统OLS的内边位置通常位于Safety Area外边界或净空道端部；OFV路线则先建立垂直拉升保护体积，再把传统OLS的起算高度抬升到OFV顶面，从OFV顶面引出进近面、起飞爬升面，并在运行类型需要时引出过渡面。

(二) EASA：性能化 OFV

EASA PTS-VPT-DSN 将 Chapter D 分为 OLS 和 OFV 两个子部分，这本身清楚说明 EASA仍以 ICAO传统 OLS 为基础，只是在复杂城市环境中增加 OFV。EASA文件在总则中明确，其 PTS基于 EASA ADR/CS-HPT-DSN、ICAO Annex 14 Volume II 和 ICAODocument 9261 Heliport Manual，并在 Chapter D 说明 Subpart 1 为 Annex 14 和 Doc 9261 所提供的传统 OLS，Subpart 2 为 vertiport 建立 OFV概念。其 OFV 不是固定尺寸几何体，而是从航空器飞行手册（AFM）或等效机型程序资料中的垂直起降程序参数推导，包括

h1、h2、TOwidth、TOfront、TOback、FATOwidth、FATOfront、FATOback、θapp、θdep 等。该思路在成熟机型和资料完备条件下有价值，但不宜作为我国起降场选址和净空论证的前置依赖。

PTs VPT-DSN.D.455 Obstacle-free volume (OFV)

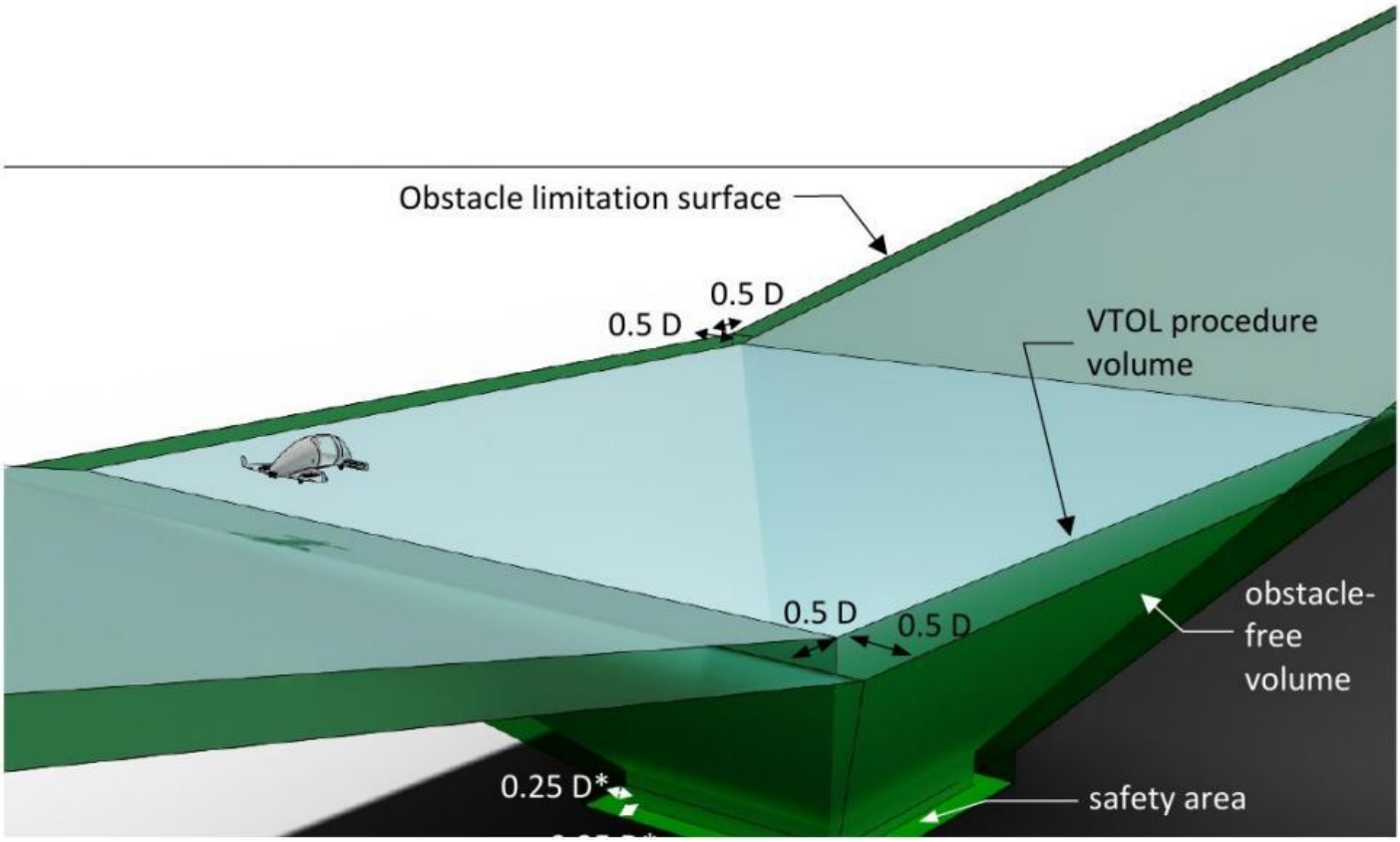
(a) The obstacle-free volume, as depicted in Figure D-15, is created by extending vertically upward the outside edges of the SA up to height h1. The edges at height h1 are then extended upwards linearly up to height h2 to provide a funnel-shaped volume. At height h2, 0.5 D are added on each side of the VTOL procedure volume so that the dimensions of the obstacle-free volume at height h2 are:

(1) the length $(\mathsf { T O } _ { \mathsf { b a c k } ^ { + } } 0 . 5 \mathsf { D })$ behind the aircraft and the length $(\mathsf { T O } _ { \mathsf { f r o n t } } + \mathsf { O } . 5 ~ \mathsf { D })$ in front of the VTOL-capable aircraft, referenced to the aircraft centre of the smallest enclosing circle when positioned on the FATO; and

(2) the width $(\mathsf { T O } _ { \mathsf { w i d t h } } + 1 \mathsf { D })$

(b) The obstacle-free volume should not be penetrated by obstacles.

Note: A larger SA may be warranted for specific local conditions, e.g. severe aerology.



9 EASA PTS-VPT-DSN Figure D-15 OFV

需要特别指出，EASA在传统 OLS部分实际上选择了 “visual$\mathrm { F A T O s ^ { \prime \prime } }$ 的构型路径。PTS-VPT-DSN 的适用范围是 VFRvertiports，Chapter D 的 Table D-1 标题即为 “Dimensions andslopes of OLSs for all visual $\mathrm { F A T O s ^ { \prime \prime } }$ 。这意味着 EASA 并未把仪表直升机场那套完整复杂 OLS 体系直接搬入 vertiport，而是在

ICAO/Doc 9261 传统 OLS 基础上，面向 VFR vertiport 保留进近面和起飞爬升面作为核心，并把过渡面处理为按需项。

(g) The issues involved with such deviations from the basic configurations are:

(1) where the inner edge should be located; and

(2) the shapes and sizes of the shaded areas may vary considerably.

(h) To identify the shaded areas, if any, it is necessary to consider their side edges as extending from the ends of the inner edge to points where they meet the tangent of the reference circle at right angles to the centre line of the surface. The shaded areas willthen be bounded by these side edges, the inner edge and the edges of the SA.

(i) Where the FATO is elongated, there should be two reference circles within the SA, each located at the appropriate approach end of the SA (see Figure D-4).

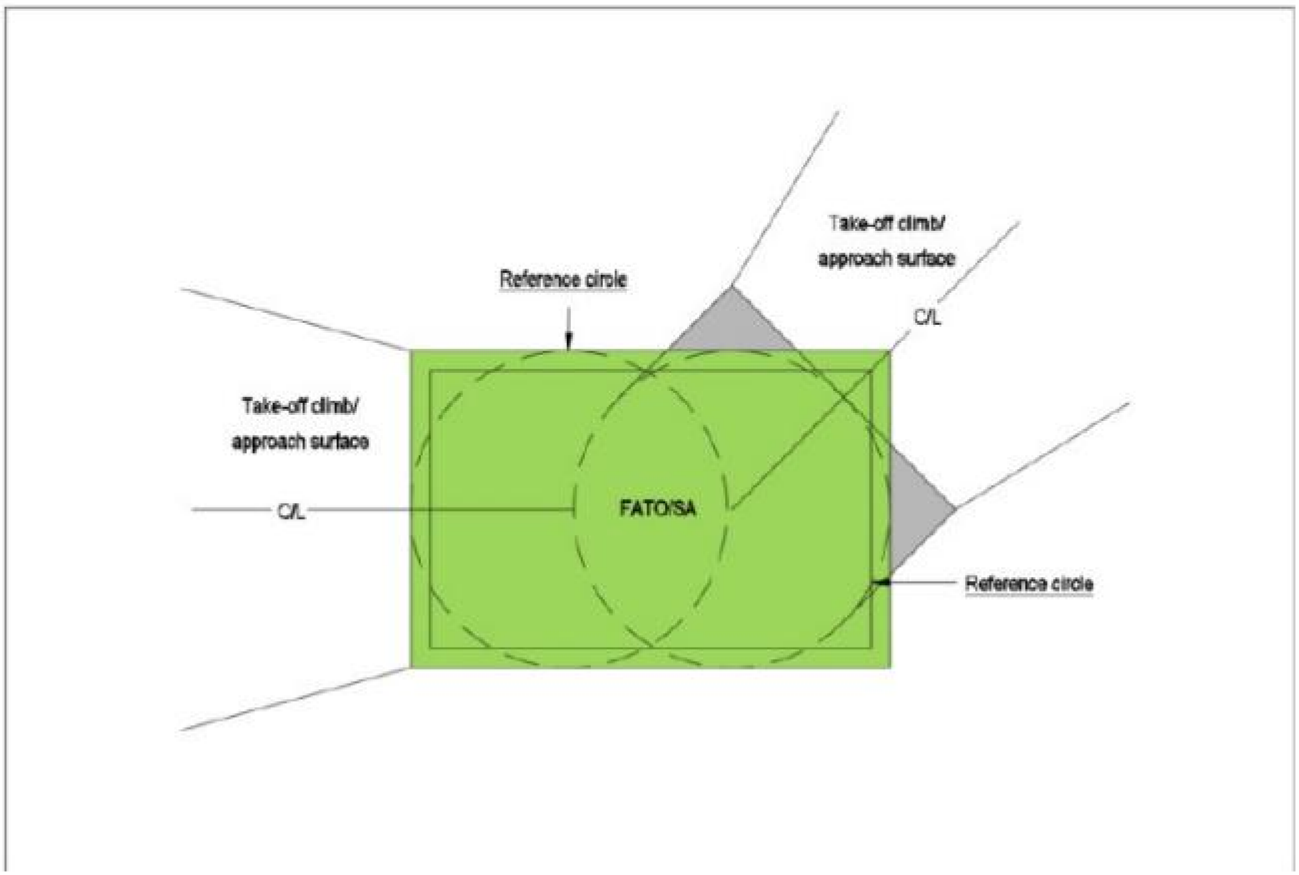


Figure D-4. Rectangular FATO with two reference circles and surfaces separated by 135°

(j) Where a clearway has been established, the shaded area should be between the FATo/SA and clearway (see Figure D-5); the inner edge of the approach or take-off climb surface willabut the

clearway.

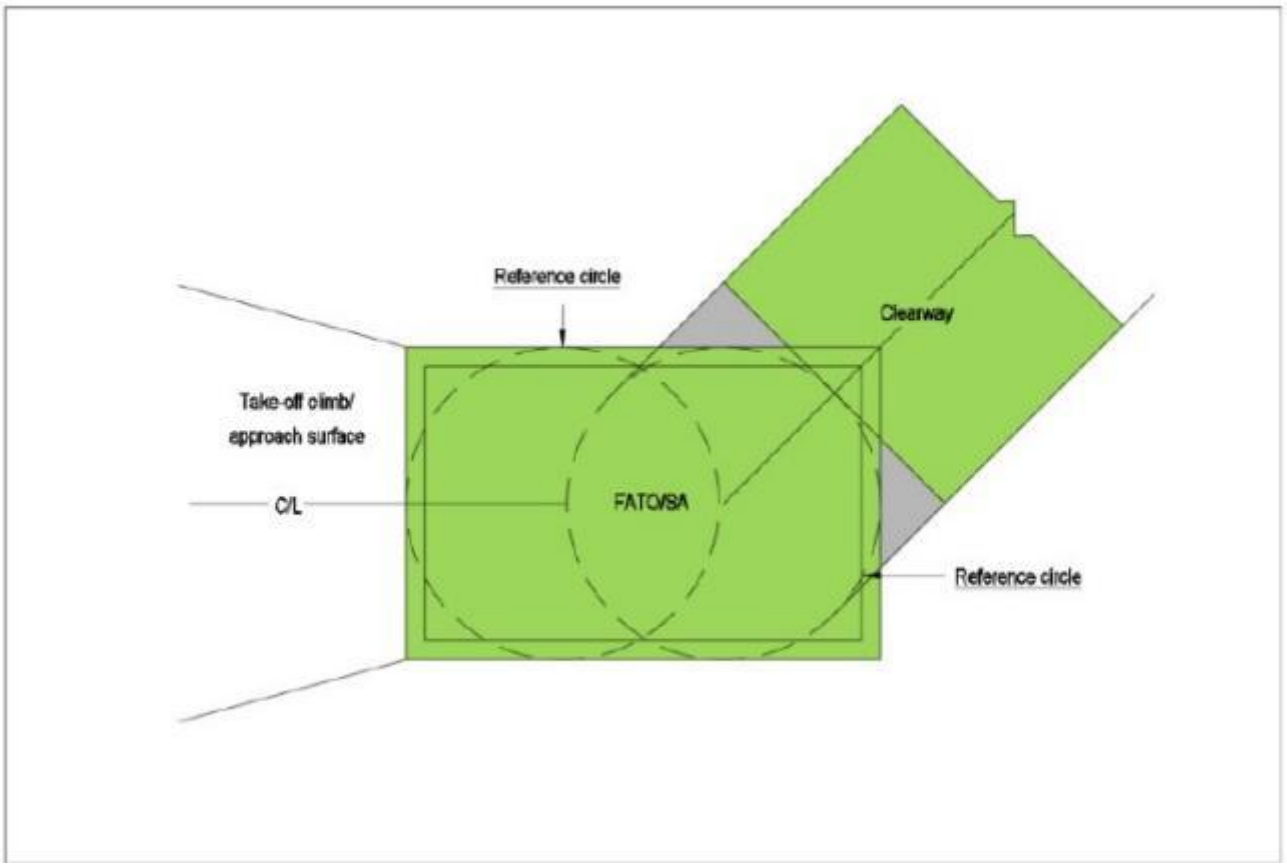


Figure D-5. Rectangular FATO with two reference circles and helicopter clearway

图 10 EASA Table D-1：all visual FATOs 的 OLS 尺寸和坡度

其依据主要有三点：第一，EASA PTS本身限定为 VFRvertiports，服务载人、增强类别 VTOL 航空器；第二，城市复杂障碍物环境下，直线低空长坡面常常不可行，因此 EASA在 D.405 中明确提出可通过曲线航迹或抬高进近/起飞爬升面起点解决；第三，EASA 在 D.410 中仍保留 ICAO 逻辑，进近面内边为 FATO 最小规定宽度加 Safety Area，位置位于 Safety Area 外边界或参考圆外边界，并且明确进一步指导来自 ICAO Doc 9261。

SURFACE AND DIMENSIONS	SLOPE DESIGN CATEGORIES		
	A	B	C
Outer width	N/A	(b)	N/A
Total length from inner edge (a)	3 386mc	1075m^	1220m^
TRANSITIONAL SURFACEd:			
Slope:	50%	50%	50%(1:2)
	(1:2)	(1:2)	
Height:	45m	45m	45m

Table D-1. Dimensions and slopes of OLSs for allvisual FATOs

(a) Applicability

The purpose of the approach surface is to protect a VTOL-capable aircraft during the final approach to the FATo by defining the area that should be kept free from obstacles to protect a VTOL-capable aircraft in the final phase of the approach-to-land manoeuvre.

(b) Description

An incline plane or a combination of planes or, when a turn is or turns are involved, a complex surface sloping upwards from the inner edge and centred on a line passing through the centre of the FATO.

图 11 EASA D.410: 进近面内边与 Safety Area/参考圆关系

对过渡面, EASA的处理也说明其并非默认全面套用仪表直升机场 OLS。D.415明确写明: 过渡面的目标是在 verticalprocedures include lateral transit 时提供保护空域; 适用性为 whereappropriate, 可在 VFR vertiports 中为含 lateral transit 的垂直程序提供。 Table D-1脚注亦明确: 当 VTOL程序包含侧向元素时, transitional surface may be provided。因此, EASA 传统 OLS部分的真实逻辑是 “VFR 目视场址 + 进近 / 起飞爬升面为核心 +过渡面按侧向程序需要提供 ”。

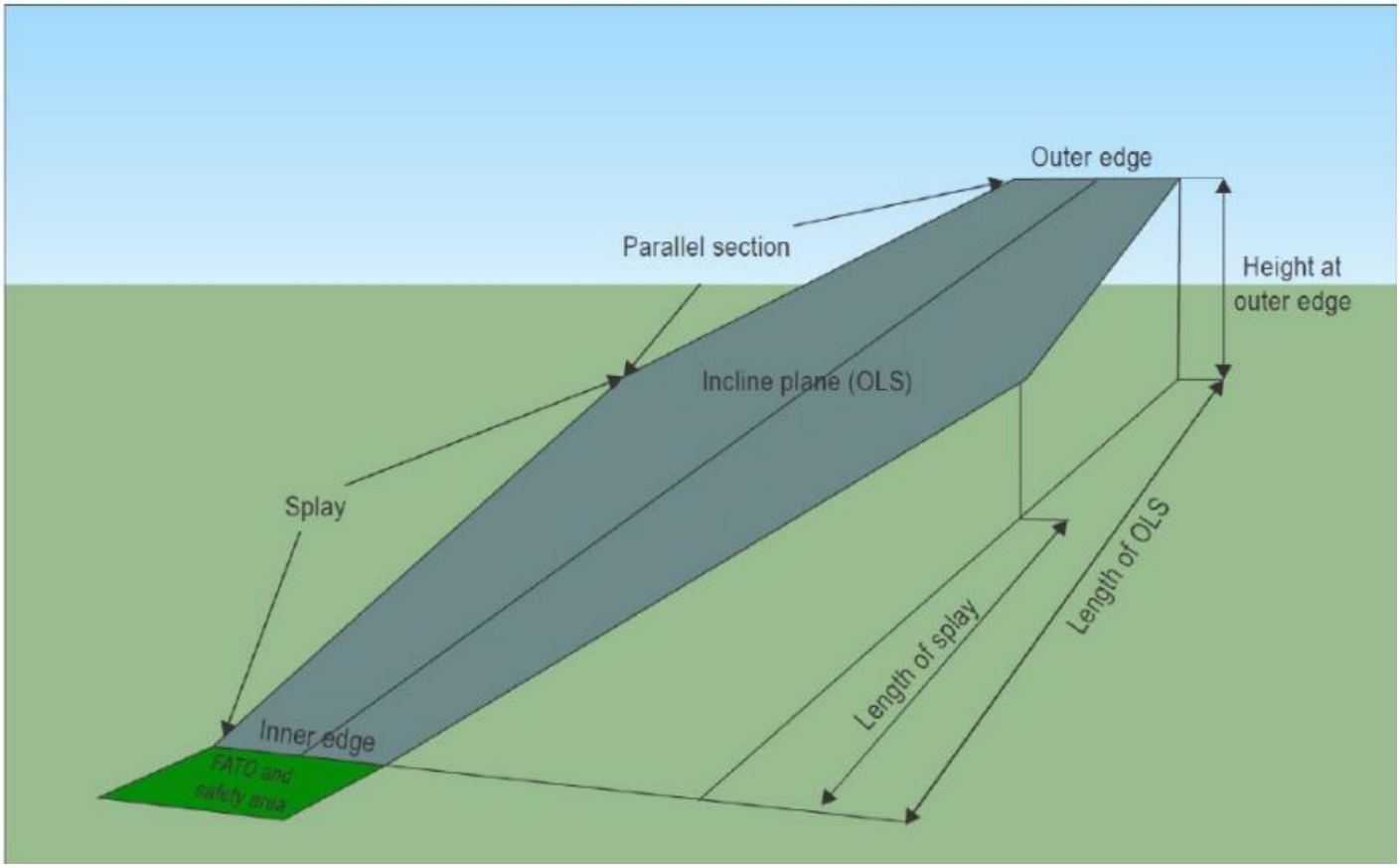


Figure D-6. Generic approach/take-off climb surface

(c) Characteristics

(1) The limits of an approach surface should comprise:

(i) an inner edge, horizontal and equal in length to the minimum specified width of the FATO plus the SA, perpendicular to the centre line of the approach surface and located at:

(A) for a runway-type FATO, the outer edge of the SA; or

(B) for other than a runway-type FATO, the outer edge of the reference circle;

(ii) two side edges originating at the ends of the inner edge and diverging uniformly at a specified rate from the vertical plane, containing the centre line of the FATO to a specified width and continuing thereafter at that width for the remaining length of the approach surface; and

(ii) an outer edge horizontal and perpendicular to the centre line of the approach surface at a specified height above the elevation of the FATO.

(2) The elevation of the inner edge should be the elevation of the SA at the point on the inner edge that is intersected by the centre line of the approach surface. When safety assessment determines that it would not adversely affect the safety or significantly affect the regularity of operations of VTOL-capable aircraft at vertiport, the origin of the inclined plane may be raised directly above the

FATO.

(3) The slope(s) of the approach surface should be measured in the vertical plane containing the centre line of the surface.

(4) In the case of an approach surface involving a turn, the surface should be a complex

图 12 EASA D.415：过渡面用于含 lateral transit 的垂直程序

EASA的开创性贡献在于明确提出OFV概念：在城市复杂净空条件下，仅依靠传统低空长坡面的OLS难以支撑vertiport布点，需要在起降场上方设置无障碍体积，以保护eVTOL垂直起降和垂直拉起阶段。这个概念本身非常有创意，也非常实用，是vertiport标准区别于传统heliport标准的关键突破之一。但OFV如何构型，仍值得商榷。EASA方法将OFV较深地绑定于机型程序参数，能够反映不同eVTOL构型、控制律、垂直程序和爬升能力差异；但其核心问题在于：如果把垂直程序高度或上部程序体积处理成相对固定、预设或通用化的要求，就很难被eVTOL本身所接受。eVTOL确有垂直拉起能力，但垂直拉起不是免费的安全裕度，而是直接消耗电能、影响航程、热管理、周转效率和商业载荷。更重要的是，现阶段多数eVTOL航空器并不具备类似传统航空器那样成熟、统一、可直接用于场址净空设计的飞行手册资料；若在标准逻辑中保留“再看AFM/厂家手册”的活口，容易导致选址阶段无法闭合、审查依据不稳定。也不应要求每个厂家、每个机型都额外生成一套数据去迎合场地标准中的OFV概念。对制造商和运营人而言，真正合理的高度不是固定高度，也不是等待手册确认的高度，而是“必须拉起的高度”。中国团标h0的价值正在于此：h0不是预设高度，也不是随具体机型变化的造型参数，而是由场址周边控制障碍物反算出的、为使传统OLS能够设定并越障所必需的垂直拉起高度。建设完成的起降场应服务于最大使用机型及其以下的全部适用机型，不能换一型航空器就重做一套OFV造型，因此h0首先是环境参数和场址参数。

（三） CASA：工程建模友好的 FPA/VPS/OFV 表达

CASA AC139.V-01 大体继承 EASA 思路，但将几何关系表达为 FPA、VPS 与 OFV：FPA 是 FATO Protection Area，VPS 是 Vertical Procedure Surface，OFV 是二者之间的无障碍体积。该表达方式对三维建模、GIS净空分析和方案展示更友好。

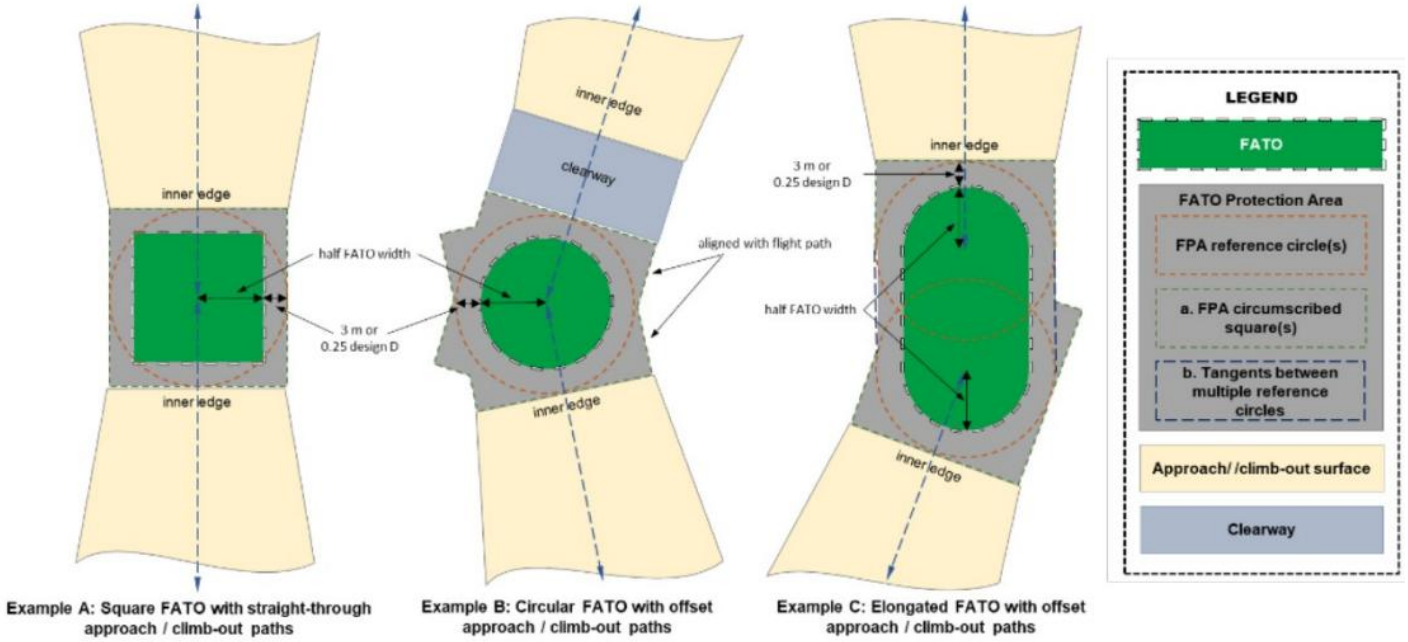


Figure 7 - Protection surfaces for vertiports without vertical procedures

4.2.3 Vertical Procedure Surface

4.2.3.1 A vertical procedure surface (VPS) should be established for where vertical procedures are used for landing or take-off from the vertiport.

4.2.3.2 The VPS is a surface that encompasses the area bordered by a circumscribed square(s) aligned with the intended aircraft flight path(s) centred on the VPS reference circle, as shown in Figures 8, 9 and 11.

4.2.3.3 A VPS should be free of obstacles.

4.2.3.4 A VPS reference circle should be established above and centred on the FATO.

4.2.3.5 The diameter of a VPS reference circle should be the diameter of the associated FPA reference circle, plus 1 Design D per 100 ft increase in height above the FATO.

4.2.3.6 The vertiport operator should determine the elevation of the VPS subject to the performance characteristics of the most demanding VCA intended to use the vertiport or the VCA operator's intended operational requirements.

4.2.4 Obstacle Free Volume (OFV)

4.2.4.1 An OFV should be established between a VPS and the associated FPA.

4.2.4.2 An OFV should be free of obstacles.

4.2.4.3 The OFV is a truncated cone extending between the edge of the FPA reference circle to the edge of the VPS reference circle, as shown in Figure 8, 9 and 11.

□ 13 CASA AC139.V-01 □□ FPA□ VPS□ OFV □□□□□□□

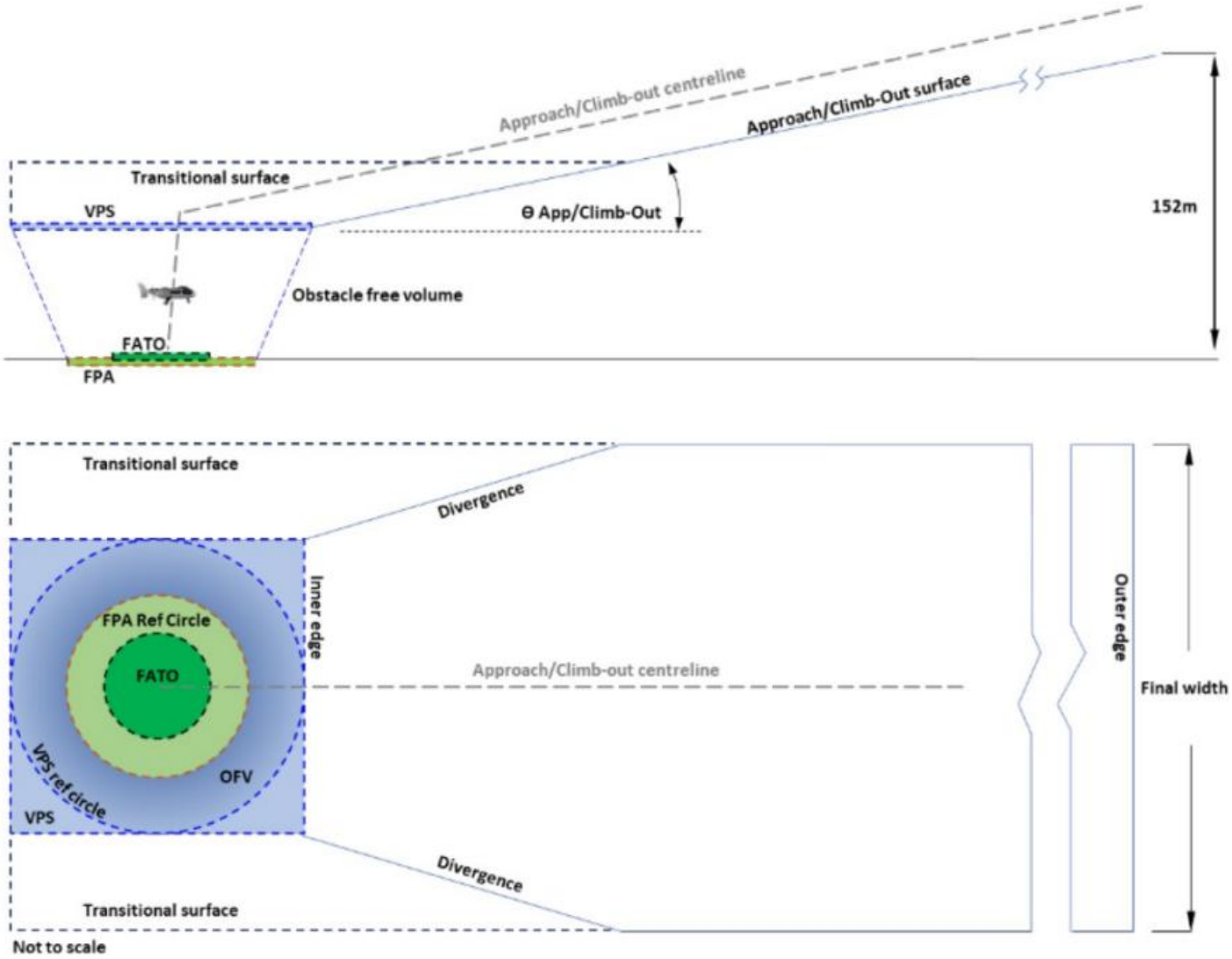


Figure 8 - An example OLS design for a vertiport accommodating vertical procedures

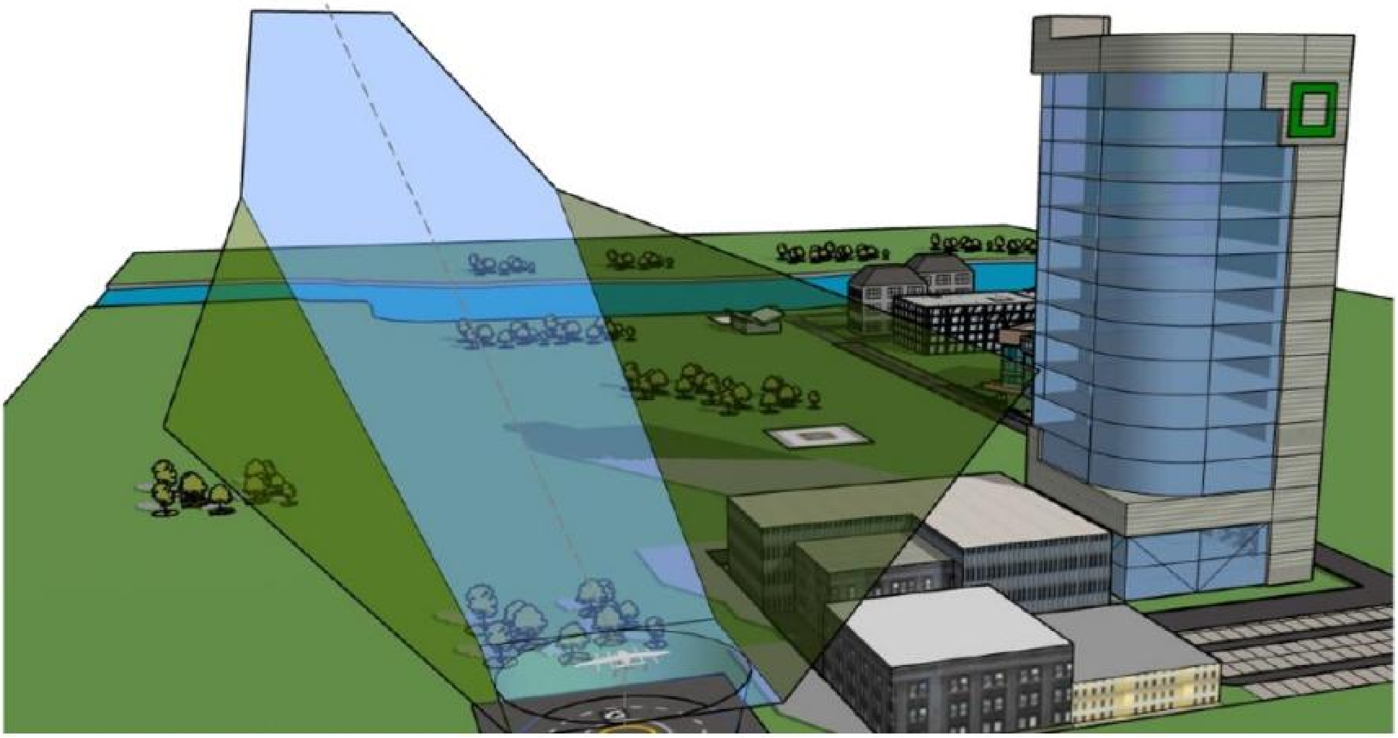


图 14 CASA AC139.V-01 关于 OFV 及相关面的示意图摘录

CASA的价值在于把“城市复杂净空”从二维剖面问题转化为三维体积问题。对于屋顶起降场、高架平台和城市交通枢纽，这种方式比单纯画进近剖面更接近实际审查需求。

（四）中国团标：严格延续 heliport OLS，并以 h0+OFV 衔接 eVTOL 垂直拉起能力

中国团体标准 T/CCAATB 0062-2024 采用“净空良好”和“净空复杂”二元结构，但其底层逻辑始终是传统 heliportOLS。净空条件良好时，直接参照 MH5013，以 eVTOL最大全尺寸 D 代替直升机最大旋翼直径；净空条件复杂时，并不是放弃 OLS，而是先设置悬停高度 h0及相应 OFV，再把进近面、起飞爬升面，以及按运行类型需要设置的过渡面的起始端抬升到 OFV顶面。换言之，OFV 是传统 OLS的抬升连接件，不是替代 OLS的独立体系。

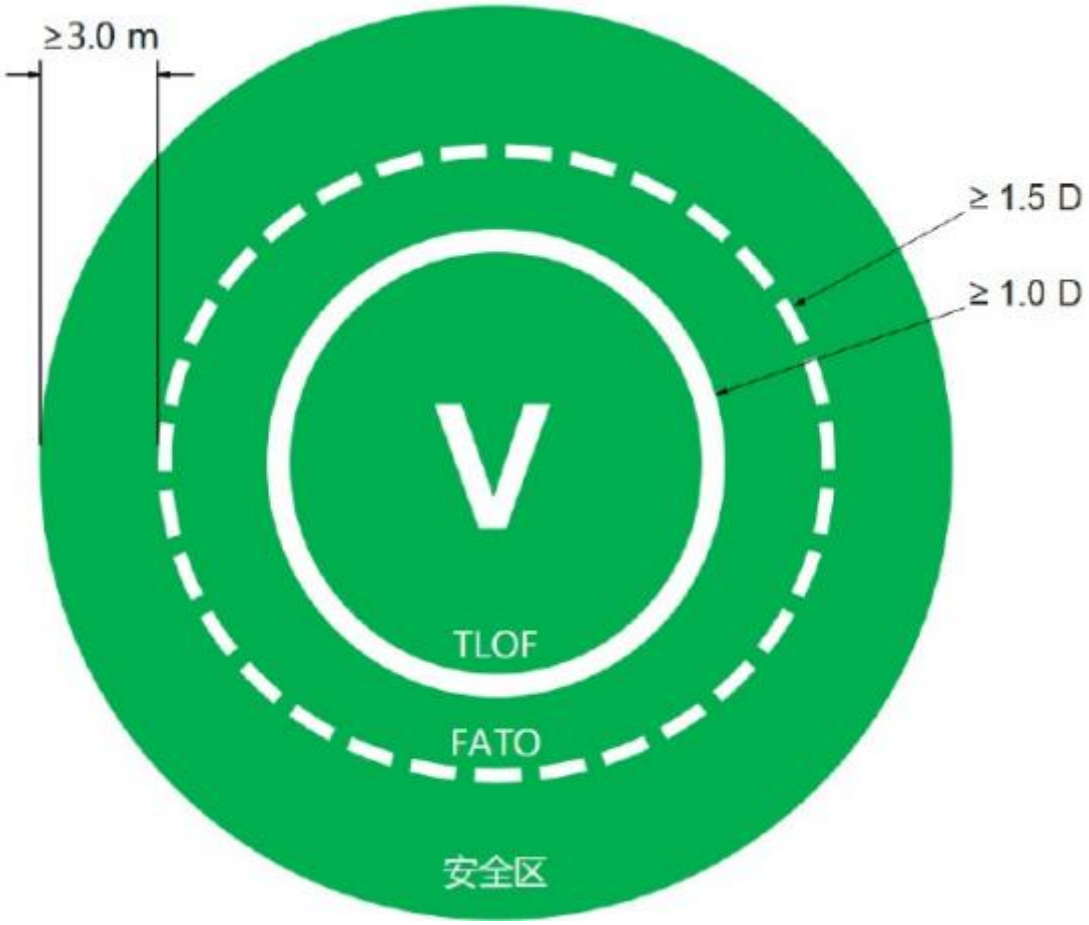


图 5.4-1FAT0、TLOF和安全区场地物理特性示意图

5.5机位

5.5.1机位的尺寸和形状应满足eVTOL起降场设计机型在停放时，eVTOL 的垂直投影均包含在机位中。

5.5.2 机位形状为圆形，其尺寸应少能够内切个设计机型1.2D的圆，机位与机位之间的间距应少为2.0m。

5.5.3机位上宜设置满eVTOL停放所需的系留设施。

5.6地面滑行道

5.6.1 在机位与机位之间、机位与机库之间应设置地滑道。

5.6.2地面滑行道应能承受eVTOL移动时的运行荷载。

5.6.3 地滑通道的宽度应不于eVTOL起落架宽度或eVTOL转运装置最轮外侧间距的2倍。

6 障碍物限制

6.1 净空条件良好时

6.1.1在空域环境良好时，eVTOL起降场障碍物限制面宜参照MH 5013《民用直升机场飞行场地技术标准》中的规定，并以eVTOL最大全尺寸D代替直升机最大旋翼直径。进近和起飞爬升面内边宽度为FATO加安全区的宽度，内边位置为安全区边界。

6.1.2eVTOL起降场宜少设置两个进近/起飞爬升，中线夹宜不于135°。

6.2 净空条件复杂时

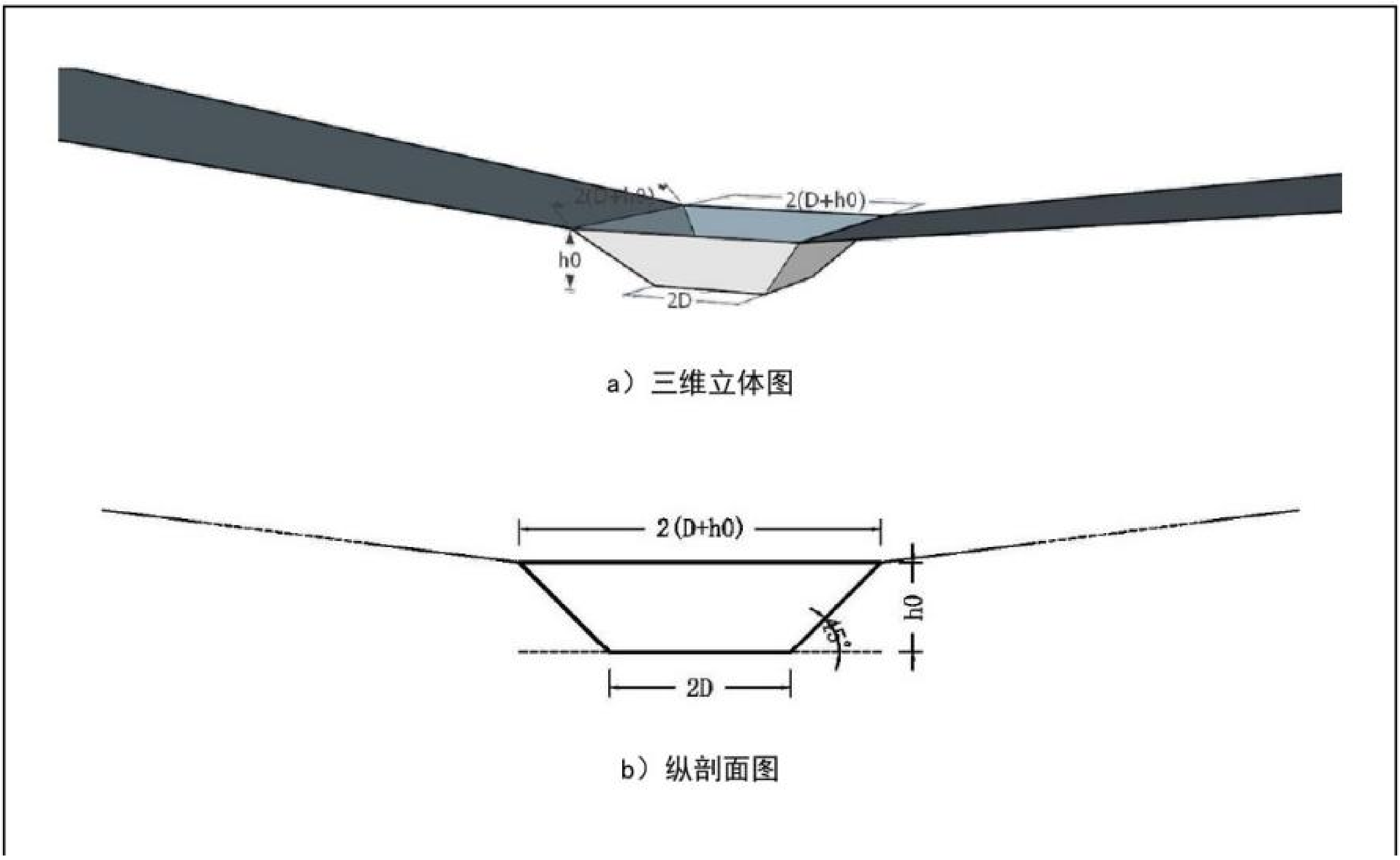
6.2.1当场址周边净空条件复杂，或参照MH5013《民用直升机场飞行场地技术标准》设置障碍物限制面无法满足净空要求时，宜考虑设置悬停高度（以ho表示）及相应的无障碍空间（OFV）。进近和起飞爬升面、过渡面起始端位于无障碍空间顶面，其他参数宜参照MH5013《民用直升机场飞行场地技术标准》设置。

6.2.2悬停高度的设置应根据周边航路上的障碍物及eVTOL 的飞行性能确定。

例：以正形FAT0为例，悬停度h0≤D时的障碍限制意图见图6.2-1，悬停度h0>D时的障碍限制面示意图见图6.2-2。

图 15 中国团标关于 h0≤D 和 h0>D 两种 OFV 构型的图示

团标中，h0≤D 时，OFV 底面为FATO 标高处边长至少2D 的正方形，顶面为h0高度处边长至少2×(D+h0)的正方形；h0>D时，顶面边长至少4D，D高度以下为45°外扩面，D高度以上为竖直面。这里的h0不是抽象的经验高度，也不是为了追求“越高越安全”的保守值，而是由周边控制障碍物决定的、为使传统OLS能够从OFV顶面顺利建立并满足越障要求所需的垂直拉起高度。45°外扩面并非任意设定，其来源可追溯至直升机场标准中的侧向保护斜面。ICAO Annex 14 Volume II规定，高架直升机场FATO 安全区边缘应设置以45°向外上升、水平延伸至10m 的 protected side slope；MH5013-2023 第 4.4.1 条亦规定，FATO 安全区周围侧向保护斜面自安全区边界起向上向外以45°角延伸至距安全区边界10m远，且该斜面上不应有突出障碍物。团标将这一heliport源头中的45°侧向保护逻辑移植到eVTOL 垂直拉起空间：h0≤D时，每上升h0即向每侧外扩$\mathrm{h0}$，顶面边长由2D变为2(D+h0)；h0>D 时，先按45°外扩至D高度，形成4D顶面尺度。若D以上仍继续按45°外扩，顶面边长将超过4D，OFV会随h0线性膨胀，城市起降场将被过度放大。参考EASA对垂直程序体积设置上限、避免无约束外扩的思路，团标在达到4D 后不再继续扩大，而是转为竖直柱体，将D以上空间理解为保持既有侧向保护边界内的垂直拉起段。



a）三维立体图

b）纵剖面图

图 16 中国团标关于圆形 FATO与 OFV的补充说明摘录

因此，团标的关键不是“简化 OFV”本身，而是把 eVTOL 可垂直拉起的能力工程化为一个具体、明确、可由障碍物反算的 h0。eVTOL 能够垂直拉起，但垂直段耗能高，不宜任意抬高；h0应取满足控制障碍物越障和传统 OLS 设定的必要高度。这里必须强调，h0 由场址环境决定，而不是由单一机型决定；最大使用机型确定 D 和场地基准尺度后，场地应覆盖该最大使用机型以下的全部机型，不能因机型更换而改变 OFV 基本造型。机型垂直爬升性能、能耗、定位误差、失效工况、风环境及下洗/外洗影响用于校核运行适用性和限制条件。

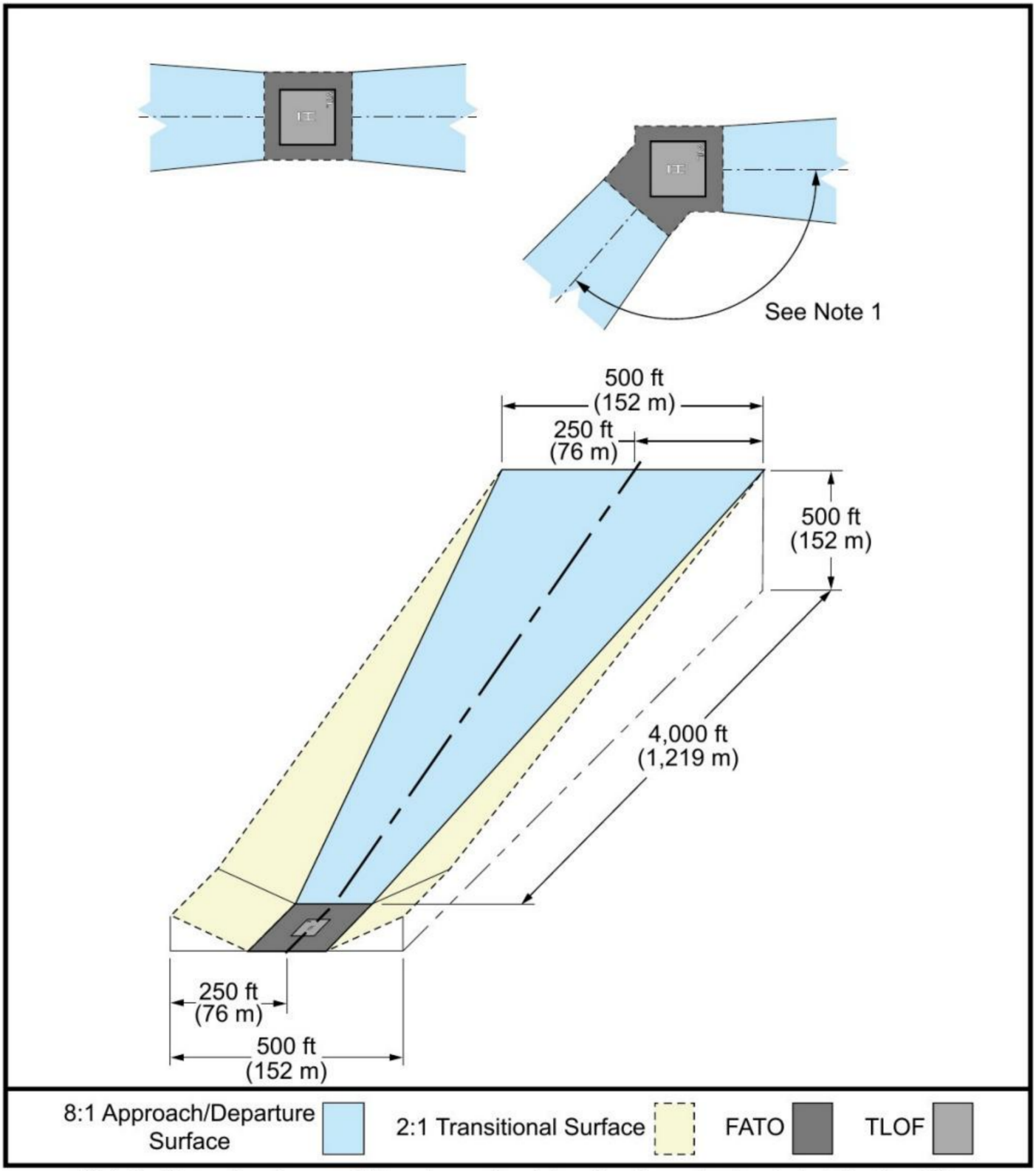
五、FAA 路线: Part 77 面、D/RD 与 DCA

(一) FAA EB105A 未采用 EASA 式 OFV

FAA EB105A 与 EASA/CASA/中国团标的最大区别，是没有把 OFV 作为核心障碍物保护概念。FAA 明确将 14 CFR Part 77 中适用于 heliport 的 imaginary surfaces 用于 vertiport，包括 primarysurface、approach

surface 和 transitional surfaces。

Figure 2-5: VFR Vertiport Approach/Departure Surfaces



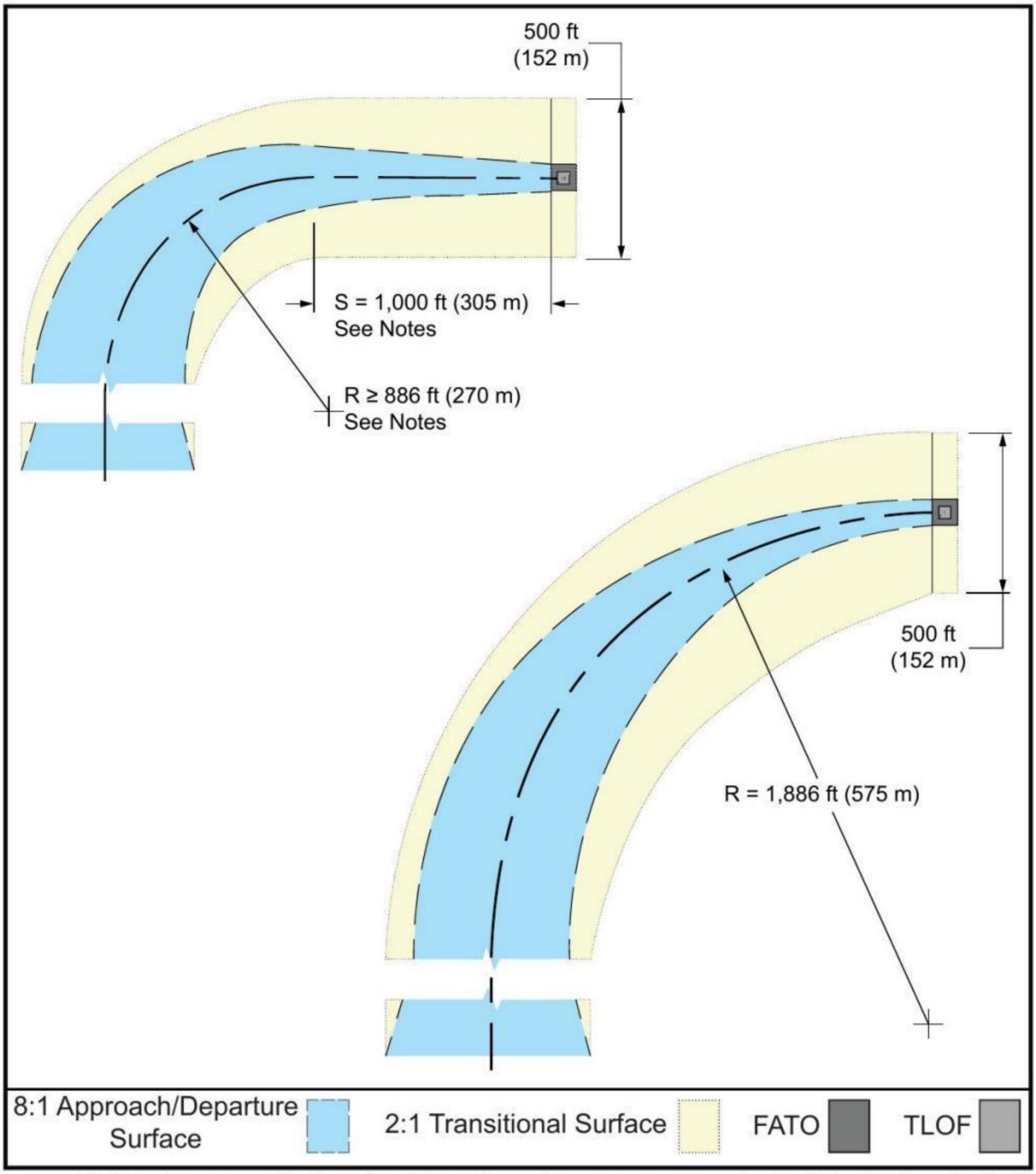
Note 1: The preferred approach/departure surface is based on the predominant wind direction. Where a reciprocal approach/departure surface is not possible in the opposite direction, use a minimum 135-degree angle between the two surfaces.

图 14 FAA EB105A Figure 2-5: VFR Vertiport 进近 /离场面

作为旁支参考， FAA 的 VFR 几何参数非常明确: 在 FAAEB105A/Part 77 语境下， primary surface 等同 FATO； approach/departure surface 从 FATO 边缘起算，长度 4000ft（ 1219 m），外端宽 500 ft（ 152

m），坡度 8:1； transitionalsurface 从 primary surface 和 approach surface 侧边向外向上延伸，坡度 2:1，水平距离 250 ft（ 76 m）。该表述仅适用于 FAA 路径，不应反推到 ICAO/MH5013 主线。

Figure 2-6: VFR Vertiport Curved Approach/Departure and Transitional Surfaces



Note 1: Use any combination of straight portions of one curved portion using the following formula: S + R ≥ 1,886 ft (575 m) and R ≥ 886 ft (270 m), where S is the length of the straight portion(s) and R is the radius of the turn. Note that any combination ≥ 1,886 ft (575 m) will work.

Note 2: The minimum total length of the centerline of the straight and curved portion is 4,000 ft (1,219 m).

Note 3: VTOL takeoff performance may be reduced in a curve. Consider a straight portion along the takeoff climb surface prior to the start of the curve to allow for acceleration.

图 15 FAA EB105A Figure 2-6: 曲线进近/离场面

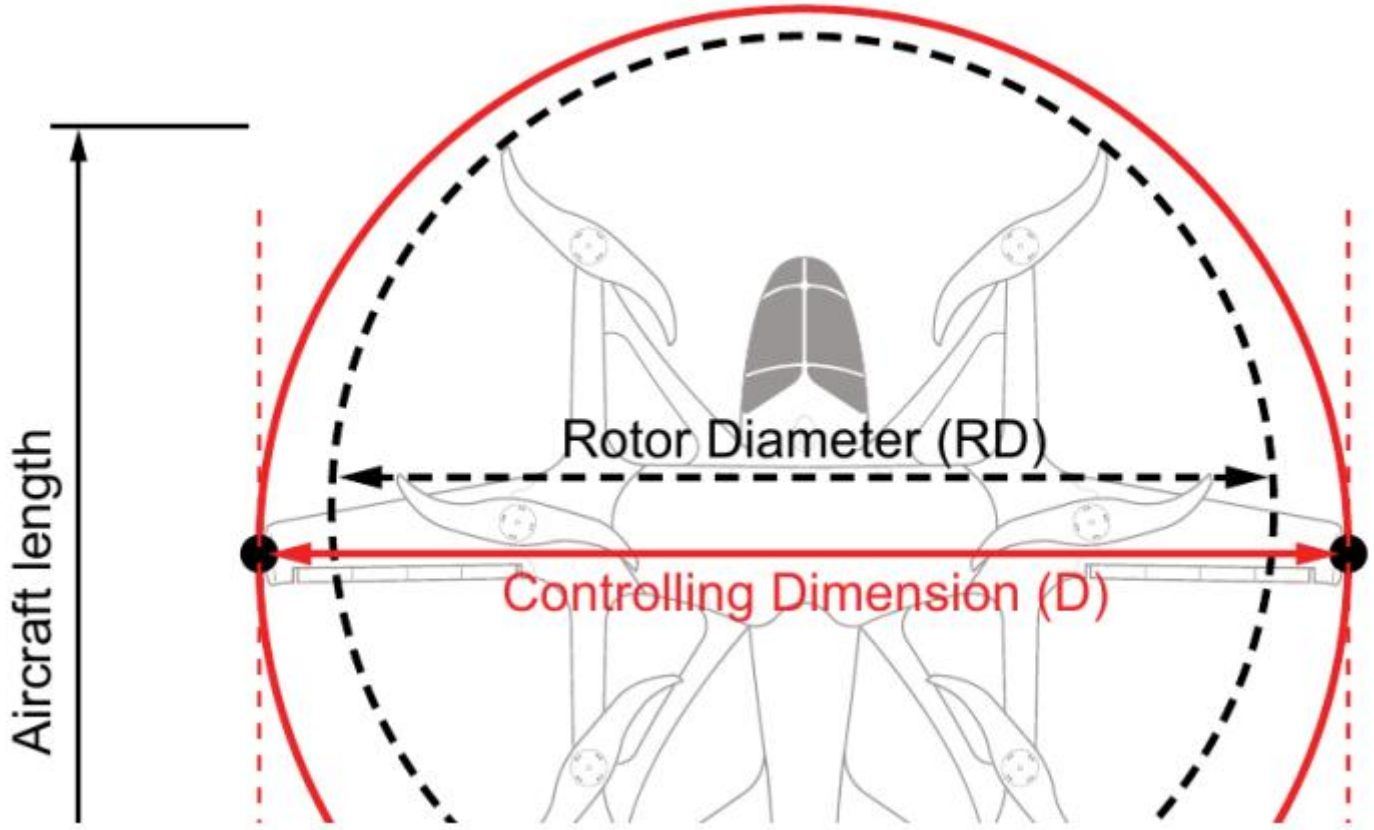
曲线进离场方面，FAA要求S+R≥1886 ft（575 m），R≥886ft（270 m），中心线总长度不小于4000 ft（1219 m）。这与ICAO/MH5013关于曲线段半径的底层逻辑相通，均体现“转弯前需有足够直线加速和稳定空间”的思想。

（二） FAA把eVTOL差异主要放在D/RD和DCA

FAA并非忽略eVTOL差异，而是将差异分配到另两个概念中：一是D/RD尺寸体系，二是DCA下洗/外洗警戒区。EB105A中，D为航空器整体外廓，RD为产生升力的推进单元及起落架/接地点包络。TLOF按1RD，FATO按2RD，Safety Area按2.5D。

4. Battery system: Comprised of the battery, the battery charger, and any protective, monitoring, and alerting circuitry or hardware inside or outside of the battery. It also includes vents (where necessary) and packaging.
5. Controlling dimension (D): The diameter of the smallest circle enclosing the entire VTOL aircraft projection on a horizontal plane, including all possible configurations with rotors/propellers turning, if applicable. See Figure 1-1.

Figure 1-1: Controlling Dimension



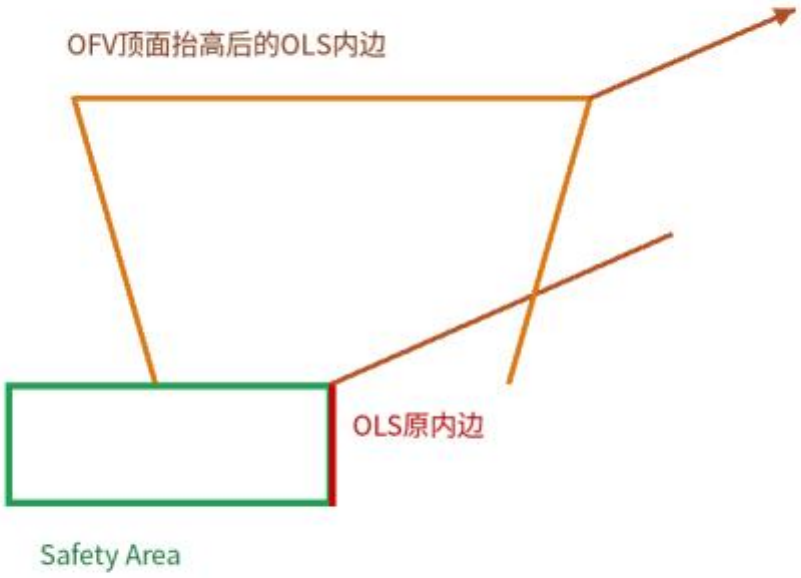


图 16 FAA EB105A 关于 D 与 RD 的定义图示

DCA（Downwash/Outwash Caution Area）用于保护人员、设施和财产免受eVTOL下洗/外洗影响。当风速可能达到或超过34.5 mph（55.5 kph）时，应设置DCA。FAA路线体现为：空域障碍物仍按Part 77面评价，eVTOL新增地面风场风险则用DCA单独控制。

六、FAA 与 ICAO/EASA/CASA/中国体系的核心差异

图 4ICAO/EASA/CAAC主线与 FAA参考路径

ICAO/EASA/CAAC主线：Safety Area → OLS；复杂净空 → OFV抬高OLS

主线：我国净空体系宜采用ICAO/EASA/CAAC方向，OFV服务于传统OLS。

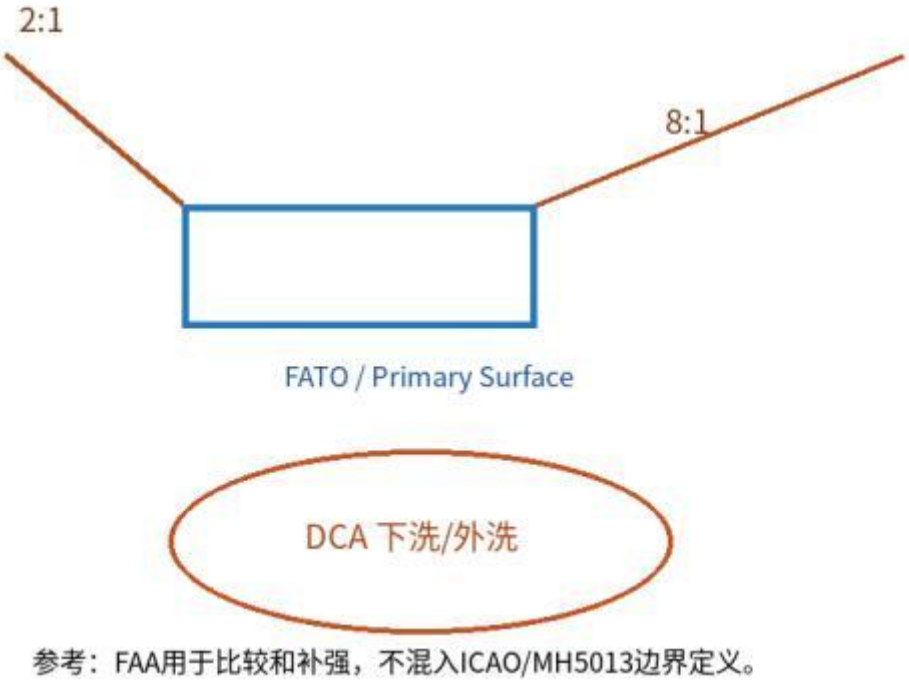


图 17 FAA 路线与 ICAO/EASA/CASA 路线的几何差异

比较维度	FAA EB105A 路线	ICAO/EASA/CASA/中国路线	工程含义
障碍物保护主模型	Part 77 imaginarysurfaces，primary/approach/transitionalsurfaces	传统 OLS 基础上发展 OFV，复杂净空下先建立三维保护体积	FAA更统一、保守；OFV路线更适应城市复杂场景
进离场起点	FAA/Part 77语境下通常从FATO/primarysurface边缘起算	ICAO/MH5013传统 OLS 从Safety Area外边界或净空道端部起算；OFV场景从 OFV顶面起算	两套体系起算边界不同，不能混用
城市高密度适应性	主要依赖 8:1 面和航行研究，缺少 OFV 替代几何	用 OFV 解决垂直段保护，再接入 OLS	OFV更有利于屋顶、高架和CBD场址
eVTOL特殊性处理	D/RD尺寸分离， DCA控制下洗/外洗	EASA为机型资料参数化 OFV；中国团标为控制障碍物反算h0	FAA关注尺寸和风场；中国团标关注净空闭合和工程可审查
		并衔接 OLS	

		EASA	OLS h0

FAA ICAO/EASA/CASA/ “ ” “ ” FAA EASA/CASA/

OLS

OLS

OLS

vertiport

OFV

OFV “ OLS” OLS SafetyArea eVTOL h0 OLS eVTOL

OLS

OFV

D h0 OFV MH5013/Heliport Manual

OLS

eVTOL

OFV OLS h0

AFM

需要补充的是，h0不宜按固定经验高度套用，也不宜为了净空审查无限抬高。垂直拉起意味着能耗增加和运行效率降低，过高的h0可能牺牲航程和商业可行性；过低的h0则无法从OFV顶面建立合规OLS或无法越过控制障碍物。实际工程中应以障碍物穿透分析反算h0，使其成为“必须拉起高度”。机型资料、运行程序、失效工况、DCA和风环境分析可作为校核和运行限制依据，但不应成为确定h0和建立净空框架的前置活口。

八、实施难点与标准宣贯重点

（一）叫好不叫座的根本原因

近两年eVTOL起降场标准研究较多，但真正落地实施的项目有限，原因复杂，其中一个重要原因是净空逻辑难以被非机场工程背景主体理解。场址方、航空器厂家、运营人、规划部门和审批部门往往关注点不同：场址方关心用地和建设边界，航空器厂家关心垂直起降能力和能耗，运营人关心航程和周转效率，审批部门关心可审查、可追责、可长期管控的空间边界。

传统OLS本身就不容易被新型航空器厂家接受。厂家容易从“航空器能飞”出发，认为eVTOL具备垂直起降、自动控制和精准定位能力，因此不应再受传统进近面、起飞爬升面以及必要的过渡面约束。但从基础设施和监管角度看，OLS并不是因为航空器不能垂直飞行才存在，而是为了给长期运行中的进离场、越障、偏差、风影响、失效处置和责任边界提供稳定、可测量、可审查的空间框架。

（二）不能把场地标准变成厂家数据负担

如果OFV构型高度依赖每个厂家、每个机型提供的垂直程序参数，就会把基础设施净空问题转嫁给航空器厂家。现阶段多数eVTOL机型仍处于研发、试飞、适航取证和构型迭代过程中，飞行手册、运行程序、控制律、软件版本、电池与热管理能力都可能变化。要求每个厂家为每个机型额外形成一套数据来迎合OFV概念，会导致场地几何不稳定、审批依据不稳定、项目投资风险增加。

起降场是城市基础设施，应先形成稳定的净空几何框架。机型数据可以用于运行适配、可用机型标注和限制条件制定，但不应成为场地几何成立的前置条件。否则，换一个机型或软件版本就可能触发OFV重算、净空重审和工程方案调整，这与基础设施批量复制和网络化铺开相冲突。

（三）团标逻辑需要被翻译成工程语言

团标逻辑严密，但直接用 OLS、OFV、h0、D、侧向保护斜面等术语解释，外部主体不易理解。更有效的表达应从问题出发：城市复杂场址并不是没有地方起降，而是很多场址无法从地面 Safety Area 外边界直接建立传统 OLS。eVTOL 的价值在于可以垂直拉升，因此可以先把航空器拉升到一个能够建立传统 OLS 并越障的高度。这个必须拉升的高度就是 h0。

h0以下的垂直拉升过程同样需要保护空间，这个空间就是 OFV。OFV构型不应复杂化，而应延续 heliport 已有的 45°侧向保护斜面逻辑：先按 45°外扩至 4D，再以 4D 柱体向上延伸；h0 落在 D以下时表现为截锥，h0 超过 D 时表现为截锥加柱体。两种图形不是两套规则，而是一套固定生成规则在不同控制障碍物高度下的截断结果。

（四）面向实施的宣贯表述

建议后续宣贯时采用如下表述：eVTOL不是不需要净空，而是可以用垂直拉升把传统净空面的起点抬高。h0 就是为越过周边控制障碍物所必须抬高的高度。h0 以下用 OFV 保护垂直拉升过程，h0 以上仍按传统 OLS 控制进离场。这样既不放弃直升机场成熟净空逻辑，也不浪费 eVTOL 的垂直能力。

这一表述有助于统一各方认识：对监管部门而言，传统 OLS 仍然有效，审批逻辑没有断裂；对厂家而言，不要求其为每个机型重新生成一套场地几何参数；对业主而言，场地按最大使用机型和控制障碍物形成稳定边界，建成后通过可用机型标注和运行限制管理适用范围；对设计单位而言，净空论证可以转化为控制障碍物识别、h0反算、OFV构型和 OLS衔接四个可操作步骤。

九、国内工程应用建议

（一）建立“双路径净空校核”

建议国内 eVTOL起降场项目建立双路径校核机制：净空良好场址采用 MH5013/ICAO 传统 OLS 路径；净空复杂场址仍采用 MH5013/ICAO 传统 OLS 作为最终越障框架，但先按中国团标建立 h0+OFV，将 OLS 起点抬升至 OFV 顶面。这样既保持 heliportmanual 的源头一致性，又体现 eVTOL 可垂直拉起的机型特性。

（二）把 h0作为专项论证参数

h0不宜作为任意工程假定值，更不应被理解为固定标准高度。其本质是“为使传统 OLS 能够设定并越过周边控制障碍物，eVTOL 应先垂直拉起的必要高度”。计算上应先识别控制障碍物，确定传统 OLS 方向和坡度，再反算从何高度引出 OLS 可以满足越障。该高度由净空几何闭合决定，属于场址环境参数。航空器垂直爬升性能、能耗、失效后飞行能力、定位误差、控制精度、风环境和运行程序用于验证该高度是否可运行、是否需附加限制，而不用于替代净空几何判断。对城市屋顶场址，h0往往是决定项目能否成立的核心参数。

从场地供给角度看，起降场不是为某一架航空器临时生成的几何体，而是面向设计最大使用机型建立的基础设施。只要航空器不超过最大使用机型控制尺度，就应在同一场地净空框架下使用。因此，D 用于确定最大使用机型下的底面和保护尺度，h0 用于反映场址周边控制障碍物所要求的垂直拉起高度；二者共同形成稳定的场址几何，而不是随每个具体机型重新生成。

（三）引入 FAA 的 RD 和 DCA 作补充校核

建议在国内标准框架下吸收 FAA EB105A的两个有价值概念：RD 用于更准确描述推进器及接地点包络，避免单一 D 值过粗；DCA 用于下洗/外洗风场风险控制，避免仅以 Safety Area 或 OFV投影判断地面安全。

（四）形成标准化图纸成果

后续项目应至少形成七类图纸：FATO/TLOF/Safety Area 平面图，传统 OLS 平面图和纵剖面图，OFV 三维图和剖面图，h0≤D与 h0>D 构型图，FAA 8:1/2:1 对照图，DCA 与 Safety Area/OFV 叠合图，周边障碍物穿透分析图。

十、结论

第一，Vertiport 障碍物限制的源头是 ICAO 直升机场标准体系。FATO、TLOF、Safety Area 和 OLS 构成全部后续标准的共同骨架；其中 FATO 是运行核心，TLOF 是接地/离地区，SafetyArea 是传统进近面和起飞爬升面内边的关键起算边界。

第二，传统 OLS 几何构型适合开阔进离场场景，但在城市高密度环境中存在明显局限。OFV 的出现，是为了让具备垂直程序能力的 eVTOL先在受保护空间内上升或下降，再接入进近/起飞爬升面。

第三，EASA的开创性在于提出 OFV 概念，这一点应充分肯定；但其具体构型方式，特别是对固定或预设高度、机型手册/程序资料的依赖，容易与

eVTOL CASA FPA/VPS/OFV h0+OFV “ OFV OLS”

FAA EB105A EASA/CASA/ FAA OFV Part 77imaginary surfaces D/RD DCA eVTOL /

ICAO/Heliport Manual/MH5013 OLS h0 OFV FAA D/RD Part 77 DCA / FAA ICAO FAA eVTOL OFV D h0

ICAO Annex 14 Volume II — Heliports

ICAO Doc 9261 Heliport Manual, Fifth Edition, 2021

FAA Engineering Brief No.105A, Vertiport Design, 2024

FAA AC 150/5390-2D, Heliport Design

EASA PTS-VPT-DSN, Prototype Technical Specifications for Vertiport Design

CASA AC139.V-01, Guidance on Vertiport Design, 2023

T/CCAATB 0062-2024

MH5013-2023

无障碍空间（OFV）理念推广报告

无障碍空间（OFV）理念推广报告

从直升机场到 Vertiport：无障碍空间如何打开城市低空入口

> eVTOL 起降场团标 T/CCAATB 0062-2024 核心创新解读

一、问题：城市装不下直升机场的净空规则

eVTOL 要在城市里飞起来，首先得有一个能安全起降的场地。但场地不是"画一个圆"就够了——航空器进出场地需要一条受保护的空中通道，确保不会撞上建筑物、塔吊或其他障碍物。

这套空中通道的规则，叫做障碍物限制面（Obstacle Limitation Surfaces, OLS）。

传统直升机场的 OLS 是一套从场地边缘向外、向上延伸的长斜面：

```
                    8:1 坡度（FAA）或类似坡度
                   /
                  /   ← 进近面/起飞爬升面
                 /
```

```
              /
             /←────────── 长达 1200~4000 米
            /

┌────────────┐
│ FATO/SA    │ ← 直升机场场地
└────────────┘
```

这个设计在机场、郊区、开阔地完全合理——周围有的是空地。

但在城市里呢？

```
████                          ████
████  ← 80m 高楼      ████  ← 120m 高楼
████                     ████
████    / OLS 斜面      ████
████   /                   ████   ← 斜面被建筑穿透!
████  /                       ████

┌────────────┐
│ FATO/SA    │ ← 城市屋顶起降场
└────────────┘
```

传统 **OLS** 的长坡面会直接穿过大量既有建筑。如果按直升机场净空标准审查，城市核心区几乎没有地方能建起降场。

这不是夸张。下图是 MH5013-2023 对直升机场进近面的几何要求——内边从安全区起算，按坡度向外延伸：

MH5013 OLS 起点与宽度

FAA EB105A 的 VFR 进离场面同样如此——从 FATO 边缘开始，8:1 坡度延伸 4000 英尺（1219米）：

FAA EB105A VFR 进离场面

一句话：不是城市不需要 **eVTOL**，而是城市的物理空间不允许沿用直升机的净空规则。

二、洞察：eVTOL 的垂直段能力是未被利用的资产

传统 OLS 的设计假设是：航空器沿低角度进入或离开场地。

直升机虽然也能垂直起降，但传统标准主要考虑的是沿进近面逐步下降的飞行方式。eVTOL 不一样:

```
传统直升机进近:                 eVTOL 垂直程序:


   \                                  │
    \  ← 低角度滑进              │  ← 先垂直拉起
     \                                │
      \                               │
       ┌───┐               ┌──────┴──────┐
       │FATO│               │    FATO     │
       └───┘               └─────────────┘
```

eVTOL 的分布式电推进、高冗余度设计使其垂直段能力更强。它可以先"站"起来，垂直爬升到安全高度，再转向飞离。

这意味着 **eVTOL** 不需要一条从地面开始的低角度长坡道——它只需要一个受保护的垂直空间把自己"抬"上去，再从上方接入传统进离场保护面。

这就是"无障碍空间"（OFV）的设计出发点。

三、OFV 是什么——一个简明的几何解释

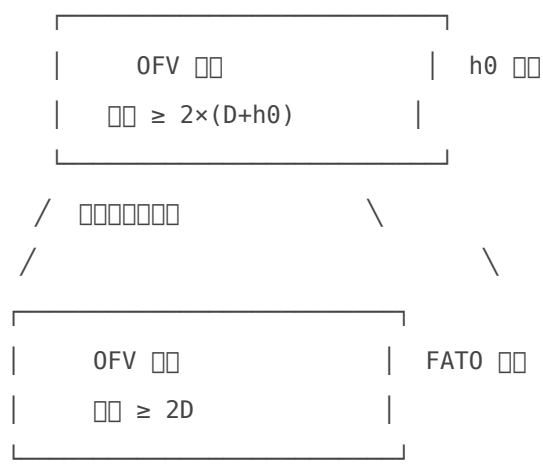
3.1 定义

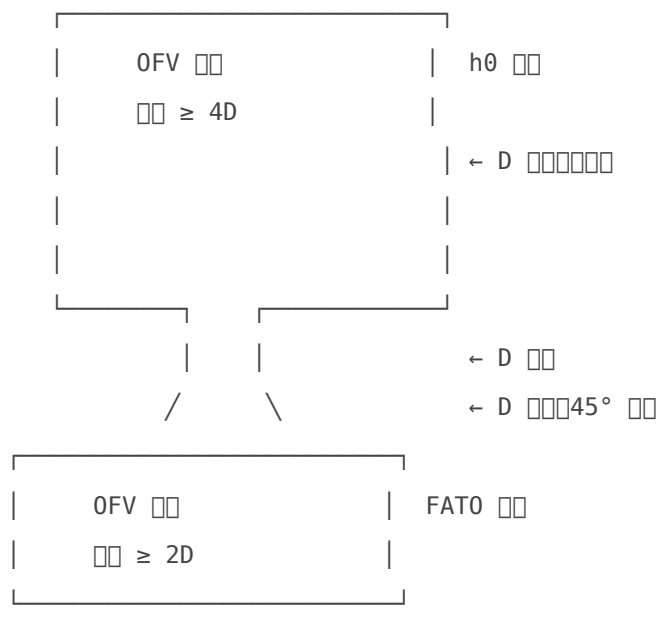
团标 T/CCAATB 0062-2024 对 OFV 的定义:

> 无障碍空间（**OFV**）：通过将安全区的外边缘向上向外延伸至悬停高度，在垂直起降点上方提供保护的空间。

翻译成工程语言: **OFV** 是一个从 **FATO** 上方向上、向外扩展的三维保护体积，内部不允许有任何障碍物穿透。

3.2 团标 OFV 的构造方法





团标用 两个参数 构造 OFV：

参数	含义
D	eVTOL 最大全尺寸（包络 eVTOL 水平投影的最小圆直径）
h0	悬停高度（由周边障碍物和 eVTOL 飞行性能共同决定）

情况一： h0 ≤ D（低悬停高度）

```
    ┌──────────────────────────┐
    │     OFV 顶面             │  h0 高度
    │   边长 ≥ 2×(D+h0)        │
    └──────────────────────────┘
   ╱  侧面：线性斜面          ╲
  ╱                              ╲
 ┌──────────────────────────┐
 │     OFV 底面             │  FATO 高度
 │     边长 ≥ 2D            │
 └──────────────────────────┘
```

底面是 FATO 高度处、边长 2D 的正方形；顶面在 h0 高度处、边长至少 2×(D+h0)；侧面线性连接。

情况二： h0 > D（高悬停高度）

```
    ┌──────────────────────────┐
    │     OFV 顶面             │  h0 高度
    │     边长 ≥ 4D            │
    │                          │  ← D 以上：竖直面
    │                          │
    │                          │
    └────────┐      ┌──────────┘
             │      │              ← D 高度
            ╱        ╲             ← D 以下：45° 斜面
 ┌──────────────────────────┐
 │     OFV 底面             │  FATO 高度
 │     边长 ≥ 2D            │
 └──────────────────────────┘
```

D 高度以下按 45° 向外扩展， D 高度以上为竖直面，顶面边长至少 4D。

团标原文图示

以下是团标原文中的 OFV 三维示意图和纵剖面图：

团标 OFV h0≤D 和 h0>D

3.3 OFV 的核心作用：把传统 OLS "抬"起来

这是 **OFV** 最关键的工程逻辑——它不是替代传统 **OLS**，而是把 **OLS** 的起点抬高到 **OFV** 顶面。

```
     \  进近面（从 OFV 顶面引出）    /  起飞爬升面
      \                              /
       \                            /
  ─────┼────────────────────────────┼───── ← OFV 顶面（h0 高度）
       │                            │
       │     OFV（无障碍空间）      │    ← eVTOL 在此垂直爬升
       │                            │
  ─────┼────────────────────────────┼───── ← OFV 底面（FATO 高度）
       │   FATO    │  SA  │  SA     │
       └────────────────────────────┘
```

没有 OFV 时，进近面从安全区边界起算，长坡面穿建筑。有了 **OFV** 后，**eVTOL** 先在 **OFV** 内垂直爬升到 **h0** 高度，再从 **OFV** 顶面接入传统进近面——此时起算点已经"站在"了城市楼顶之上。

3.4 类比

> 传统 **OLS** = 修一条坡道从地面到天空。**OFV + OLS** = 先坐电梯到楼顶，再从楼顶走坡道。

OFV 就是那个"电梯井"。

四、国际对标：不只中国在这样做

OFV 不是中国团标的独创。EASA（欧洲）和 CASA（澳洲）都采用了 OFV 路线：

4.1 EASA 的 OFV

EASA PTS-VPT-DSN 把障碍物保护明确分为两部分：Subpart 1 是传统 OLS，Subpart 2 是 OFV。

EASA OFV Figure D-15

EASA 的 OFV 从航空器飞行手册（AFM）的垂直起降程序参数推导，包括 h1（低悬停高度）、h2（高悬停高度）、TOwidth（顶部宽度）等，是一种性能化方法——不同机型、不同程序会产生不同形状的 OFV。

4.2 CASA 的 OFV

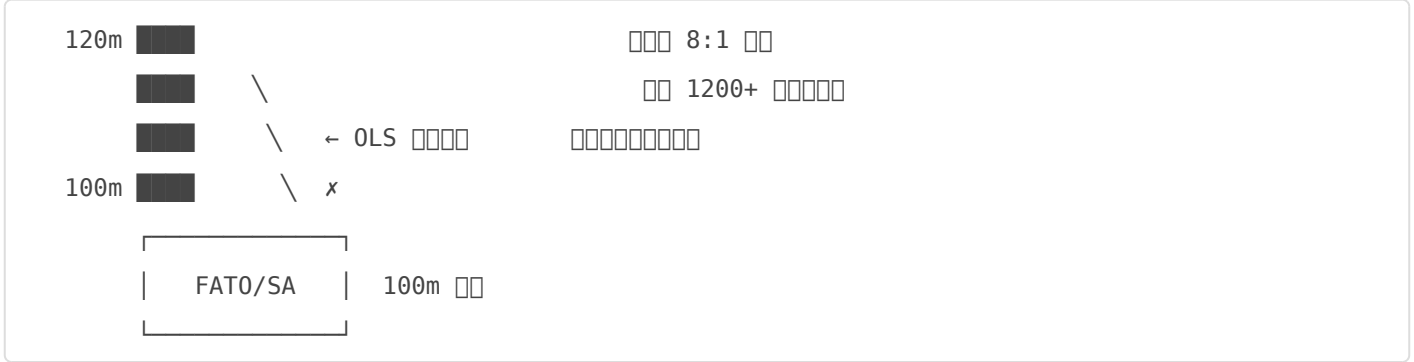
CASA AC139.V-01 基本继承 EASA 思路，但术语组织更适合工程建模。它把保护体系拆成三层：

```
┌─────────────────────┐
│    VPS              │ ← 垂直程序面（航空器到达的高度）
│  （顶部保护面）      │
└─────────────────────┘
 \                   /
  \      OFV        /  ← 截锥体保护空间
   \               /
    ┌──────────────┐
    │     FPA      │ ← FATO 保护区（底部基准）
    └──────────────┘
```

CASA OFV 图示

4.3 四条路线对比

```
┌───────────────────────────────────────────────┐
│                 障碍物保护路线分歧               │
├──────────┬─────────────┬──────────────────────┤
│          │ 空中障碍物    │ eVTOL 新增风险        │
├──────────┼─────────────┼──────────────────────┤
│ FAA      │ Part 77 面   │ DCA（下洗/外洗警戒区）  │
│（美国）   │ 8:1 + 2:1 斜面 │ 不采用 OFV          │
├──────────┼─────────────┼──────────────────────┤
│ EASA     │ OLS + OFV    │ downwash protection  │
│（欧洲）   │ 性能化 OFV   │ AFM 程序参数推导        │
├──────────┼─────────────┼──────────────────────┤
│ CASA     │ OLS + OFV    │ FPA/VPS 建模          │
│（澳洲）   │ 工程化 OFV   │ 便于三维建模            │
├──────────┼─────────────┼──────────────────────┤
│ 中国团标  │ OLS + OFV    │ D+h0 简化 OFV         │
```



```
│                  │ 简化版 OFV          │ 最适合前期工程判断          │
└──────────────────┴────────────────────┴──────────────────────────┘
```

标准源流与分化

4.4 中国团标 OFV 的定位

标准	**OFV** 构造方法	参数数量	适用阶段
EASA	AFM 程序参数推导	~10 个	机型确定后的详细设计
CASA	FPA/VPS 工程建模	~5 个	详细设计
中国团标	**D + h0** 简化构造	**2** 个	前期选址/方案判断
FAA	不采用 OFV	—	不适用城市复杂场景

中国团标的价值在于：把 **EASA** 的性能化方法简化为两个参数就能用的工程工具。在机型尚未完全确定、**AFM** 参数不完整的项目前期，这是唯一可以快速使用的 **OFV** 方法。

五、工程价值：从"不可能"到"可以评估"

5.1 典型场景演示

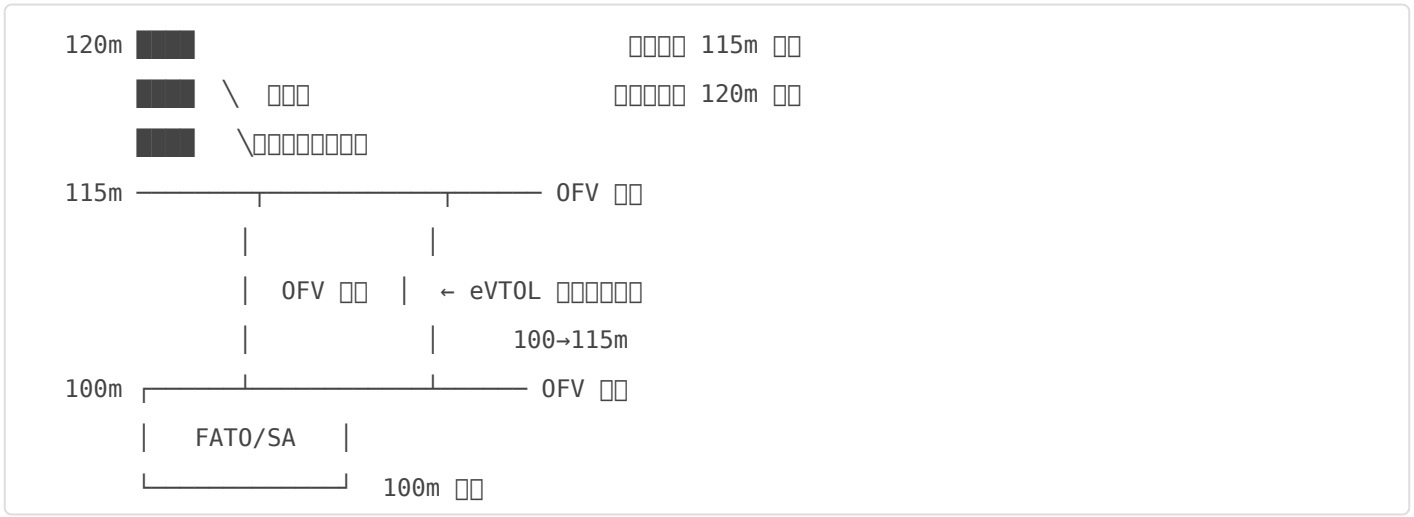
场景： 100m 高楼屋顶，拟建 eVTOL 起降场，周边有 120m 和 80m 建筑。设计机型 D=10m。

方案 A：传统 OLS（无 OFV）

```
120m ████                                     进近面 8:1 坡度
     ████      ╲                               需要 1200+ 米净空走廊
     ████       ╲    ← OLS 穿越建筑        在城市中不可能满足
100m ████        ╲   ✗

      ┌─────────────┐
      │  FATO/SA    │  100m 屋顶
      └─────────────┘
```

结果：**OLS** 被周边建筑穿透 → 选址失败。



方案 B：OFV + OLS

```
120m ████                                进近面从 115m 起算
     ████  \   进近面                    起点已高于 120m 建筑
     ████   \（坡度可能满足）
115m ───────┬────────────┬─────── OFV 顶面
            │            │
            │  OFV 体积  │  ← eVTOL 在此垂直爬升
            │            │      100→115m
100m ┌──────┴────────────┴────── OFV 底面
     │   FATO/SA   │
     └─────────────┘  100m 屋顶
```

结果：**OFV** 底面 **20m×20m**（**2D**），**OFV** 顶面 **30m×30m**（**2×(D+h0)**），**h0=15m**。进近面从 **115m** 高度起算，此时起点已高于大多数周边建筑 → 有可能满足净空要求。

5.2 OFV 做了什么

没有 **OFV**	有 **OFV**
OLS 从安全区边界（100m）起算	OLS 从 OFV 顶面（115m）起算
进近面立即被 120m 建筑穿透	进近面起点已高于 120m 建筑
选址结论：不可行	选址结论：需要进一步评估，但有空间

OFV 不是降低安全标准，而是用更合理的几何模型匹配 **eVTOL** 的实际运行能力。

5.3 工程意义

1. 扩大可选址范围：从"只有开阔地可以"扩展到"城市屋顶、交通枢纽、高密度区可以评估"
2. 为规划提供前置条件：建筑设计和城市规划可以在方案阶段就预留 OFV 空间
3. 给审查提供可操作标准：净空审查不再是"有障碍物就否决"，而是"评估 OFV + OLS 是否可构造"

六、h0 怎么取——OFV 的关键决策

团标将复杂净空问题转化为 h0，但 h0 不是随意取值。它至少由以下因素决定：

```
                    h0 取值决策流程
                    ═══════════════

┌─────────────────────┐
│ 1. 周边障碍物调查   │ ← 最高控制障碍物在哪？多高？
└──────────┬──────────┘
           │
           ▼
┌─────────────────────┐
│ 2. 传统 OLS 试算    │ ← OLS 从哪个高度起算能越障？
└──────────┬──────────┘
           │
           ▼
┌─────────────────────┐
│ 3. 确定 h0 最小值   │ ← h0 = OLS 起算高度 - FATO 高度
└──────────┬──────────┘
           │
           ▼
┌─────────────────────┐
│ 4. eVTOL 性能校核   │ ← 该机型能否垂直爬升到 h0？
│    垂直爬升能力     │   爬升过程能耗是否可接受？
│    爬升能耗         │   失效工况是否安全？
└──────────┬──────────┘
           │
           ▼
┌─────────────────────┐
│ 5. 综合确定 h0      │ ← 取"障碍物要求的最小 h0"
│    与 OFV 几何      │   和"机型性能允许的最大 h0"
│                     │   的交集
└─────────────────────┘
```

h0 的本质是：为确保传统 **OLS** 能够设定并越障，**eVTOL** 应先垂直拉起的必要高度。

七、展望

OFV 是中国 eVTOL 起降场团标面向城市场景最核心的设计创新。但它是一个好的起点，不是终点：

1. **h0** 取值标准化：团标给了定义和几何，但取值流程有待工程实践积累和标准化
2. 下洗/外洗交叉影响：OFV 几何边界内是否有人员暴露在 eVTOL 危险风场中，需要专项研究
3. 多构型适配：多旋翼、倾转旋翼、复合翼在垂直段的横向偏移特性不同，简单 D+h0 可能需要补充
4. 与 **FAA RD/DCA** 的融合：FAA 的推进器相关尺寸（RD）和下洗警戒区（DCA）对中国团标有参考价值

一句话总结：

> OFV 让 eVTOL 的垂直起降能力从"飞机的一项性能参数"变成了"城市规划可以使用的空间设计工具"。它不是让城市为航空器让路，而是让航空器用自身能力适配城市的空间约束。

本报告基于 *T/CCAATB 0062-2024*《电动垂直起降航空器起降场技术要求》及相关国际标准研究编写。
详细技术分析参见 `30_研究专题/05_Vertiport障碍物限制几何构型研究报告_草稿.md`

推广报告策划文档

08 无障碍空间（OFV）理念推广报告策划方案

创建日期: 2026-05-29

一、报告定位

1.1 与现有报告的关系

报告	性质	受众	长度
05号 障碍物限制几何构型研究报告	学术研究，技术深度	内部研究团队、技术评审	长（~8000字）
本报告（拟）	理念推广，行业传播	行业受众、政府、客户	短（**~3000**字）

现有05号报告是"做完了研究"，本报告是"让行业听到这个理念"。

1.2 核心目标

让行业理解一个关键命题：

> “中国**eVTOL**起降场团标中引入的"无障碍空间"（**OFV**），不是照搬直升机场标准的加长版，而是一个为城市场景量身定做的空中几何创新——它让**eVTOL**的垂直起降能力真正转化为城市落地能力。

1.3 目标受众

1. 政府决策者（民航局、地方交通/规划部门）→ 需要理解 OFV 的政策意义和国际认可度
2. 起降场投资/建设单位（城投、交投、地产）→ 需要理解 OFV 对选址的影响和投资价值
3. **eVTOL** 制造商 → 需要理解 OFV 对机型设计参数的反馈
4. 设计院/咨询机构 → 需要理解 OFV 怎么画、怎么审

1.4 报告风格

- 短：不超过 3000 字正文，配 6~8 张图
- 白话：少用标准条文引用，多用类比和场景
- 有立场：明确 OFV 是团标最有价值的创新，不是"也可以不用"
- 有对标：展示 EASA/CASA 也走 OFV 路线，证明这不是中国独有的冒险

二、报告结构

建议标题

方案**A**：城市 eVTOL 起降场的关键创新——无障碍空间（OFV）设计理念解读 方案**B**：为什么城市需要OFV——eVTOL 起降场障碍物限制的新范式 方案**C**：从直升机场到 Vertiport：无障碍空间如何打开城市低空入口

推荐方案**C**，因为它直接点出"直升机场→Vertiport"的演进关系，暗示这是一个新范式。

结构大纲

第一章：问题——城市装不下直升机场的净空规则（~500字）

核心信息：传统直升机场的净空规则是一套从地面出发的长坡面（OLS），在城市里根本放不下。

内容要点：

- 传统 OLS 的设计逻辑：从 FATO/Safety Area 边缘向外、向上按 8:1（FAA）或类似坡度延伸出一条几公里长的保护面
- 在城市中，这条长坡面会穿过大量既有建筑
- 结果：如果按直升机场净空标准审查，城市核心区几乎没有地方能建起降场
- 配图：一张对比图——左边开阔地（OLS 完整展开）vs 右边城市（OLS 被建筑穿透）

关键句：

> 不是城市不需要 eVTOL，而是城市的物理空间不允许沿用直升机的净空规则。

第二章：eVTOL 的能力——垂直起降不仅是"不需要跑道"（~400字）

核心信息：eVTOL 的垂直起降能力不只是省了跑道，而是意味着它可以先垂直爬升到安全高度再转向飞行，这恰好是传统直升机场标准没有充分利用的能力。

内容要点：

- 直升机虽然也能垂直起降，但传统 OLS 假设的是沿低角度进近
- eVTOL 的分布式电推进、高冗余度设计使其垂直段能力更强
- 这意味着 eVTOL 可以先"站起来"再"走出去"，不需要一条从地面开始的低角度通道
- 关键洞察：OFV 本质上就是把 eVTOL 的"先站起来"这一段保护起来

关键句：

> eVTOL 不需要从地面铺一条斜坡通道到天空，它只需要一个受保护的垂直空间把自己"抬"上去。

第三章：OFV 是什么——一个简明的几何解释（~600字）

核心信息：用 D 和 h0 两个参数构造的 OFV，是团标最核心的城市场景创新。

内容要点：

- OFV 的定义：从 FATO 上方向上向外延伸的受保护空间，内部不允许有任何障碍物
- 团标构造方法（简化版）：
  - 底面：以 FATO 为中心，边长 2D 的正方形
  - 顶面：在 h0 高度处，边长扩大
  - 侧面：斜面或竖直面连接底面和顶面
- 进近面和起飞爬升面不再从安全区边界起算，而是从 OFV 顶面起算
- 配图：团标 OFV 三维示意图（已有 `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/3-ofv.png`）

类比解释：

> OFV 就像城市里的一个"电梯井"——eVTOL 在这个垂直通道内安全爬升到楼顶以上的高度，然后从"楼顶"出发沿传统进离场面飞离。传统 OLS 是"修一条坡道从地面到天空"，OFV 是"先坐电梯到楼顶，再走坡道"。

第四章：国际对标——不只中国在这样做（~500字）

核心信息：EASA（欧洲）和 CASA（澳洲）都采用了 OFV，中国的做法是其中最适合前期工程判断的简化版本。

内容要点：

- EASA 的 OFV：最完整的性能化方法，依赖机型飞行手册参数（h1、h2、TOwidth 等）
- CASA 的 FPA/VPS/OFV：与 EASA 类似但更适合工程建模
- 中国团标：与 EASA/CASA 同一路线，但用 D 和 h0 两个参数简化了构造过程
- FAA 是唯一不用 OFV 的主要机构（沿用 Part 77 空域面），但其 2024 年 EB105A 也承认 eVTOL 场景需要特殊处理

对比表：

标准	**OFV 方法**	复杂度	适用阶段
EASA	AFM 程序参数推导	高	机型确定后详细设计
CASA	FPA/VPS 建模	中	详细设计
中国团标	D + h0 简化构造	低	前期选址/方案阶段
FAA	不用 OFV	—	不适用城市场景

关键句：

> “OFV 不是中国团标的独创，而是国际共识。中国团标的价值在于：把 EASA 的性能化方法简化为两个参数就能用的工程工具。

第五章：OFV 的工程价值——从"不可能"到"可以评估"（~500字）

核心信息：OFV 使得城市核心区的 eVTOL 起降场选址从"直接否决"变为"可以量化评估"。

内容要点：

- 典型场景演示（文字描述 + 简图）：
  - 场景：100m 高楼屋顶，拟建 eVTOL 起降场，设计机型 D=10m

    - 传统 OLS：8:1 坡度，4000ft 长度，几乎必然被周边建筑穿透 → 选址失败
    - OFV 方法：先构造底面 20m×20m、h0=15m 的垂直保护空间，eVTOL 爬升到 115m 后从 OFV 顶面引出进离场面 → 可能满足净空要求
- 工程意义：
  1. 扩大了可选址范围
  2. 为城市规划和建筑设计提供了前置条件
  3. 给监管审查提供了可操作的判断标准

关键句：

> OFV 不是降低安全标准，而是用更合理的几何模型匹配 eVTOL 的实际运行能力。

第六章：展望——OFV 的深化方向（~300字）

核心信息：OFV 是一个好的起点，但还需要在工程实践中深化。

内容要点：

1. h0 取值需要建立标准化方法（目前团标只给了定义，没有给取值流程）
2. 下洗/外洗风场与 OFV 的交叉影响需要研究
3. 多构型 eVTOL（多旋翼 vs 倾转旋翼 vs 复合翼）对 OFV 的影响差异
4. FAA 的 RD（推进器相关尺寸）概念对中国团标的参考价值

三、配图清单

序号	图名	用途	来源
图 1	传统 OLS 对比图（开阔地 vs 城市）	第一章配图	新绘
图 2	eVTOL 垂直段能力示意图	第二章配图	新绘
图 3	OFV 三维构型示意（D+h0）	第三章配图	已有 `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/3-ofv.png`
图 4	OFV 类比图（"电梯井"概念图）	第三章配图	新绘
图 5	国际标准路线对比图	第四章配图	已有 `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/4-faaicao-easa-casa.png`
图 6	典型场景 OFV 应用示例	第五章配图	新绘
图 7	OFV 价值定位一句话图	可选封面图	新绘

需要新绘制的图约4~5张。建议用简洁的2D/3D示意图风格，避免过度渲染，保持工程报告的严谨感。

四、传播形式建议

4.1 短报告（推荐先出）

- 格式：PDF，6~8页
- 风格：类似咨询公司的insight briefing
- 字数：~3000字正文
- 用途：会议发放、客户拜访、提交政府参考

4.2 可选扩展形式

1. 长文版：~6000字，增加算例和条文引用，适合期刊投稿或白皮书
2. 演示稿：15~20页PPT，适合会议汇报
3. 一页纸摘要：A4单面，核心信息+一张对比图，适合快速沟通

4.3 传播渠道

1. 行业会议（低空经济论坛、通航大会）
2. 中国民用机场协会渠道（团标发布机构）
3. 项目咨询和方案汇报中作为附件
4. 公众号/行业媒体文章

五、下一步动作

1. 确认报告标题和风格偏好
2. 确认是否需要补充定量算例
3. 确认配图是新绘还是使用已有图
4. 确认传播形式（PDF/PPT/公众号文章）
5. 开始撰写正文

修订记录 (2026-05-29)

障碍物限制几何构型研究修订记录

日期: 2026-05-29

修订原因

根据进一步研判，原报告对中国团标的理解需要强化：团标并不是简单"简化 OFV"或与传统 OLS 并列，而是严格延续 ICAO Heliport Manual / MH5013 的传统 OLS 设定，并借鉴 EASA 的 OFV 概念，用 OFV 把 eVTOL 可垂直拉起的能力与传统 OLS 衔接。

核心修订

1. 明确中国团标的底层逻辑是：
   - 净空良好：直接参照 MH5013 传统 OLS；
   - 净空复杂：先设置 h0 和 OFV，再从 OFV 顶面引出传统 OLS；
   - OFV 是传统 OLS 的抬升连接件，不是替代 OLS 的独立体系。
2. 明确 h0 的工程含义：
   - h0 不是固定高度；
   - h0 不是任意经验值；
   - h0 是由周边控制障碍物反算出的、为确保传统 OLS 能够设定并越障，eVTOL 应先垂直拉起的必要高度；
   - eVTOL 能够垂直拉起，但垂直段耗能，因此 h0 不宜任意抬高。
3. 强化 EASA 与团标的差异：
   - EASA 的 OFV 更偏性能化/程序体积；
   - 对固定或预设垂直程序高度，制造商可能提出能耗和效率方面的质疑；
   - 团标 h0 的价值在于将高度交给具体场址控制障碍物和机型性能共同决定。
4. 更新自绘图：
   - `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/3-ofv.png`

- 图中已明确标注"控制障碍物决定 h0，OFV 衔接传统 OLS"。

已更新成果

1. 正式 Word 报告已覆盖更新：
    - `Vertiport障碍物限制几何构型研究报告.docx`
2. 校验 PDF 已重新生成：
    - `verify_pdf/Vertiport障碍物限制几何构型研究报告.pdf`
3. 生成脚本已同步更新：
    - `生成_障碍物限制研究报告_docx.py`

输出记录(2026-05-29)

障碍物限制几何构型研究输出记录

日期:2026-05-29

1. 已完成成果

1. 形成正式研究报告Word:
    - `Vertiport障碍物限制几何构型研究报告.docx`
2. 生成校验PDF:
    - `verify_pdf/Vertiport障碍物限制几何构型研究报告.pdf`
3. 形成报告生成脚本:
    - `生成_障碍物限制研究报告_docx.py`
4. 形成专题草稿:
    - `05_Vertiport障碍物限制几何构型研究报告_草稿.md`
5. 更新原文图示索引:
    - `03_原文定义示意图摘录.md`

2. 新增自绘解释图

目录:`figures/`

- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/jPu1.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/mec2-ols.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/3-ofv.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/4-faaicao-easa-casa.png`

3. 新增标准原文截图

- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/b9vchina-t-ccaatb-ofv-h0-le-d-and-h0-gt-d.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/Jd0china-t-ccaatb-ofv-notes-circle-fato.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/Z4Ieasa-pts-figure-d15-ofv.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/NTJcasa-ac139v-fpa-vps-ofv-text.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/58Kcasa-ac139v-figures-ofv-ols-examples.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/aE6faa-eb105a-figure2-5-vfr-surfaces.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/rr3faa-eb105a-figure2-6-curved-surfaces.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/mA8mh5013-figures-ols-start-visual-width.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/hp0mh5013-figures-curved-and-instrument-takeoff.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/wRvmh5013-figure-precision-approach-surface.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/Ndxicao-doc9261-pc23-fato-tlof-geometry.png`
- `https://aam-wiki.gksj.cc/uploads/images/gallery/2026-05/0Nyicao-doc9261-fato-containment-text.png`

4. 报告核心判断

1. Vertiport 障碍物限制源头是 ICAO heliport 标准体系，而不是 eVTOL 标准独立创造。
2. 传统 OLS 适合开阔进离场场景；城市高密度场景下需要 OFV。
3. EASA 的 OFV 最性能化， CASA 最适合工程建模，中国团标最适合前期快速判断。
4. FAA EB105A 与 EASA/CASA/中国路线不同: FAA 不采用 OFV，而采用 Part 77 imaginary surfaces，并用 D/RD 与 DCA 处理 eVTOL 差异。
5. 国内工程建议采用: `MH5013传统OLS + 中国团标简化OFV + FAA RD/DCA补充校核`。