?????? R / D / RD

- □□□□□□□□ R/D/FATO/TLOF

????????R/D/FATO/TLOF

02 ????????R / D / FATO / TLOF

创建日期: 2026-05-29

状态: 初稿，已提取中国团标、EASA、FAA EB105A、CASA AC139.V-01 的核心条文。

1. ????

标准	设计机型核心尺寸	**FATO** 最小尺寸	**TLOF** 最小尺寸	第一判断
中国 T/CCAATB 0062-2024	D = eVTOL 全尺寸	可内切 1.5D 圆	可内切 1.0D 圆	简洁工程化，直接给比例，净空复杂时引入 OFV
EASA PTS-VPT-DSN 2022	Design D	AFM 或 1.5D，取大值	AFM 或 0.83D，取大值；高架且位于 FATO 内时至少 1D	最完整，继承 heliport，又显式引入 OFV 和 downwash protection
FAA EB105A 2024	D + RD；参考机型 CD ≤ 50 ft	2RD	1RD	最新变化最大，FATO/TLOF 按 RD，Safety Area 按 2.5D
CASA AC139.V-01 2023	Design D	AFM 或 1.5D，取大值	AFM 或 0.83D，取大值	与 EASA 高度相似，适合作为 EASA 体系对照
MH5013-2023	待提取：直升机 D / 旋翼直径体系	待提取	待提取	中国团标直接引用的 heliport 母体，下一步重点
ICAO Doc 9261	待提取：直升机场母体定义	待提取	待提取	源头文件，后续追溯用

2. ?????T/CCAATB 0062-2024

文件: `电动垂直起降航空器起降场技术要求.md/pdf`

2.1 ??????

条文位置：第 4 章，符号。

> D：电动垂直起降航空器全尺寸，单位为米（ m）。
> L：电动垂直起降航空器全长，单位为米（ m）。
> W：电动垂直起降航空器全宽，单位为米（ m）。
> H：电动垂直起降航空器高度，单位为米（ m）。
> h0：电动垂直起降航空器悬停高度，单位为米（ m）。

判断：

- 团标没有像 EASA/CASA 那样展开 “smallest circle enclosing...” 的完整定义。
- 但工程上 D 被用作最关键的全尺寸控制参数。
- h0 是团标处理复杂净空 /OFV 的关键参数。

2.2 FATO

条文位置： 5.2。

> FATO 指用于电动垂直起降航空器悬停或着陆，以及开始起飞动作的特定区域。
> eVTOL 起降场应至少设置一个 FATO。
> FATO 道面应为硬质实体。
> FATO 尺寸应至少能够内切一个设计机型 1.5D 的圆。
> FATO 内必要物体高度不应超过 FATO 表面以上 5 cm。
> FATO 坡度应不小于 0.5%，各方向的总坡度应不超过 2%。

提取值：

```
FATO ≥ 可内切 1.5D 圆
必要物体 ≤ 5 cm
坡度: 0.5% ≤ slope ≤ 2%
```

2.3 TLOF

条文位置： 5.3。

> TLOF 指供电动垂直起降航空器接地或离地的一块承载区。
> TLOF 位于 FATO 内，其表面应与 FATO 连续顺接。

> TLOF 尺寸应至少能够内切一个设计机型 1.0D 的圆。
> TLOF 内必要物体高度不超过 2.5 cm 且边缘具有倒角，同时不对 eVTOL 运行构成危险，则可不被视为障碍物。
> TLOF 应在坡度设置上与 FATO 保持一致。
> TLOF 表面应有足够的摩阻性能。

提取值：

```
TLOF ≥ 可内切 1.0D 圆
必要物体 ≤ 2.5 cm，且倒角、不构成危险
坡度：同 FATO
```

2.4 ????

团标的物理特性表达非常工程化：

```
FATO = 1.5D
TLOF = 1.0D
Safety Area = FATO 外侧 > 3.0 m
Stand = 1.2D
```

优点是好用。缺点是没有充分展开多构型 eVTOL 的 RD/推进器包络问题。

3. EASA?PTS-VPT-DSN 2022

文件：`EASA-PTS-VPT-DSN-current-official.pdf`

3.1 D ??

来源：SC-VTOL-01 and MOC 引用。

> “‘D’ means the diameter of the smallest circle enclosing the VTOL aircraft projection on a horizontal plane, while the aircraft is in the take-off or landing configuration, with rotor(s) turning, if applicable.

提取：

D = 起飞/着陆构型下，水平投影包络 VTOL aircraft 的最小圆直径，旋翼转动时计入。

3.2 FATO

条文: PTS VPT-DSN.C.210。

> The minimum dimensions of an FATO should be:
> (1) the length of the RTODV for the required take-off procedure prescribed in the AFM, or 1.5 Design D, whichever is greater; and
> (2) the width for the required procedure prescribed in the AFM, or 1.5 Design D, whichever is greater.

提取值:

```
FATO length ≥ max(AFM RTODV, 1.5 Design D)
FATO width  ≥ max(AFM required width, 1.5 Design D)
必要物体 ≤ FATO elevation + 5 cm
solid FATO slope ≤ 2%
```

3.3 TLOF

条文: PTS VPT-DSN.C.260。

> The minimum dimensions of a TLOF should be 0.83 D or the dimensions for the required procedure prescribed in the AFM, whichever is greater.
> For a vertiport that is elevated, the minimum dimensions of a TLOF, when in a FATO, should be of sufficient size to contain a circle of diameter of at least 1 Design D.

提取值:

```
普通 TLOF ≥ max(0.83D, AFM required dimension)
高架 vertiport 且 TLOF 位于 FATO 内: TLOF ≥ 1 Design D
```

3.4 ????

EASA 是“AFM 性能 + 1.5D/0.83D 下限 ”的模式，比中国团标更性能化。

关键差异:

- 中国团标直接取 TLOF 1.0D。
- EASA 普通 TLOF 可为 0.83D, 但高架时提高到 1.0D。
- EASA 对 downwash protection 单独设章节, 这是 eVTOL 工程实操必须关注的增量。

4. FAA?EB105A 2024

文件: `FAA-EB-105A-Vertiport-Design-2024.pdf`

4.1 ??????

FAA EB105A 的 Reference Aircraft:

项	值
Propulsion	Electric battery driven, distributed electric propulsion
Propulsive units	3 or more
Battery systems	2 or more
MTOW	≤ 12,500 lbs / 5,670 kg
Controlling Dimension (CD)	≤ 50 ft / 15.2 m
Flight Control	Highly augmented stability and control
Takeoff / Landing	Vertical / vertical from steady hover

FAA EB105A 的关键变化:

> The geometry of the TLOF and final approach and takeoff area (FATO) are now related to the RD rather than D. The safety area has decreased in size.

判断:

- FAA 引入 RD, 把 TLOF/FATO 从传统 D 控制改为推进器相关尺度控制。
- Safety Area 仍按 D 控制。
- 这是多推进器 eVTOL 对传统 heliport 尺寸体系的实质修正。

4.2 FATO / TLOF / Safety Area

条文: Table 2-1。

Element	Dimension
TLOF	1 RD
FATO	2 RD
Safety Area	2.5 D

□□□

```
TLOF = 1RD
FATO = 2RD
Safety Area = 2.5D
```

4.3 ????

FAA EB105A □□□□□□□□□□□□□□□□ D□

□□□□□□□

```
□□/□□□□□□□□□□□□□□□□□ RD□
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ D□
```

□□□□□□□□□□□□

5. CASA?AC139.V-01 2023

□□□ `CASA-AC139.V-01-Guidance-Vertiport-Design-2023.pdf`

5.1 D ??

> D for VTOL-capable aircraft, means the diameter of the smallest circle enclosing the aircraft projected on a horizontal plane, while the aircraft is in the take-off or landing configuration, with lift/thrust units turning, if applicable.

□□□

```
D = □□/□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□/□□□□□□□□□□
```

5.2 Design aircraft / Design D

> Design D: the D of the design aircraft.
> Design aircraft: virtual aircraft type that has the largest set of dimensions, greatest MTOW, and most critical obstacle avoidance criteria of the aircraft that the vertiport is intended to serve.

判断:

- CASA 明确把设计机型定义为 “最大尺寸 + 最大 MTOW + 最不利障碍物避让要求 ”的虚拟机型。
- 这个定义很适合我们后续建立 “设计机型选取方法 ”。

5.3 FATO

条文: 3.2.1.3。

> The dimensions of a FATO should be the length prescribed in the design aircraft AFM, or 1.5 Design D, whichever is greater; and width prescribed in the design aircraft AFM, or 1.5 Design D, whichever is greater.

提取值:

```
FATO length ≥ max(AFM length, 1.5 Design D)
FATO width  ≥ max(AFM width, 1.5 Design D)
FATO slope ≤ 2%
```

5.4 TLOF

条文: 3.2.2.4。

> The minimum dimensions of a TLOF should be the dimensions prescribed in the design aircraft AFM, or 0.83 Design D, whichever is greater.

提取值:

```
TLOF ≥ max(AFM dimension, 0.83 Design D)
TLOF slope ≤ 2%
```

5.5 ????

CASA AC139.V-01 基本采用 EASA 逻辑:

```
FATO = max(AFM, 1.5D)
TLOF = max(AFM, 0.83D)
```

与中国团标相比, CASA/EASA 更强调 AFM 和性能数据。

6. MH5013-2023???????????

文件: `民用直升机场飞行区技术标准-MH5013-2023.pdf/md`

6.1 ??????

条文位置: 2.1.12、符号表。

```
D = 直升机全尺寸
RD = 直升机最大旋翼直径
```

判断:

- MH5013 同时保留 D 与 RD。
- 但 FATO/TLOF 主尺寸基本按 D、W、UCW、飞行手册程序控制。
- 中国 eVTOL 团标用 D 替代直升机最大旋翼直径处理净空, 这是直接从 MH5013 迁移而来。

6.2 FATO

条文: 4.2.3。

```
性能等级 1:
FATO length ≥ max(直升机飞行手册所需中断起飞距离, 1.5D)
FATO width  ≥ max(直升机飞行手册所需程序宽度, 1.5D)

性能等级 2/3:
FATO ≥ 可包含 1.5D 圆
若存在进近和接地方向限制: 宽度 ≥ 1.5W
```

其他要求:

```
FATO 可不必为实体
实体 FATO 应能抵抗旋翼下洗流并有效排水
```

FATO 内必要物体高度 ≤ 5 cm

实体 FATO 坡度通常 ≤ 2%

6.3 TLOF

条文: 4.6.4。

性能等级 1 且 TLOF 位于 FATO 内: 按直升机飞行手册所需程序确定

性能等级 2/3 或位于机位上，且无接地方向限制: TLOF ≥ 可包含 0.83D 圆

存在接地方向限制: TLOF 应包容起落架，且 ≥ 2UCW

高架直升机场且 TLOF 位于 FATO 内: TLOF ≥ 可包含 1.0D 圆

其他要求:

TLOF 至少一个

TLOF 应位于 FATO 内或机位上

TLOF 内必要物体: ≤ 2.5 cm，倒角，不构成危险

TLOF 坡度通常 ≤ 2%

6.4 ????

MH5013 与 EASA/CASA 的逻辑高度接近:

FATO = AFM/性能程序优先，1.5D 为下限

TLOF = 0.83D，高架时提高到 1.0D

Safety Area = 3m 或 0.25D，取大值

中国 eVTOL 团标把这个体系简化为:

FATO = 1.5D

TLOF = 1.0D

Safety Area = FATO 外 > 3m

这说明团标是 “工程简化版 ”，不是完全从零设计的新体系。

7. FAA AC150/5390-2D?FAA heliport ????

文件: `FAA-AC-150-5390-2D-Heliport-Design.pdf`

7.1 D / RD ??

FAA AC150/5390-2D 的 heliport 体系中:

```
D = controlling dimension, 设计直升机控制尺寸
RD = Rotor Diameter, 旋翼直径
RD = 0.83 OL 这一经验关系被写入定义说明
```

这里的 D 是直升机整体控制尺寸。由于传统单主旋翼直升机的外形关系相对稳定，FAA 可用 0.83D 作为 TLOF 尺寸基准。

7.2 TLOF / FATO

Table 2-1 给出:

Heliport type	TLOF	FATO	Safety Area
General Aviation	0.83D	1.50D	见 Table 2-4
Transport	0.83D, 且不小于 50 ft	1.66D, 且不小于 100 ft	0.42D, 且不小于 30 ft
Hospital	0.83D, 且不小于 40 ft	1.50D	见 Table 2-4

7.3 ????

FAA AC150/5390-2D 是 EB105A 的直接母体，但 EB105A 对 eVTOL 做了关键修正:

```
AC150/5390-2D: TLOF/FATO 按 D
EB105A: TLOF/FATO 改按 RD, Safety Area 按 D
```

这不是小改，是定义体系变化。

8. ICAO Annex 14 Volume II?????

文件: `ICAO-Annex-14-Volume-II-Heliports.pdf`

8.1 FATO / TLOF ??

ICAO 定义:

FATO = 最终进近至悬停或着陆完成、并开始起飞动作的区域

TLOF = 直升机可以接地或离地的区域

Safety Area = 围绕 FATO、用于降低直升机意外偏离 FATO 时损害风险的无障碍区域

8.2 Surface-level heliport

Annex 14 Volume II 第 3.1 节:

FATO 至少一个

FATO 应无障碍

TLOF 至少一个

TLOF ≥ 0.83D

TLOF 可位于 FATO 内，也可不位于 FATO 内

TLOF 位于 FATO 内时应为动载承载

Safety Area 围绕 FATO，可不为实体

FATO 尺寸有按性能等级 /飞行手册确定的要求，同时保留 D 尺寸下限。

8.3 Elevated heliport

Annex 14 Volume II 第 3.2 节:

高架直升机场 FATO 至少一个

高架直升机场 TLOF 与 FATO 重合

TLOF 与 FATO 的尺寸和特性相同

FATO/TLOF 动载承载

8.4 ????

ICAO Annex 14 Volume II 是所有后续标准的骨架来源:

FATO / TLOF / Safety Area / OLS / 标志灯光 / 消防救援

中国 MH5013、FAA AC150/5390-2D、EASA/CASA 的 vertiport 文件都能追溯到这套概念。

9. ICAO Doc 9261 Heliport Manual ???????

文件: `ICAO-DOC9261-HeliportManual-2021-5thed.pdf`

9.1 ??

Doc 9261 不是单纯重复 Annex 14，而是解释为什么这样设计，尤其对以下内容有工程说明：

- D-value 与机型限制
- FATO/TLOF 是否重合
- 1D 与 sub-1D 的风险逻辑
- offshore / shipboard / onshore 场景
- OLS、LOS、标志灯光的实施细节

9.2 ??????????

Doc 9261 对 helideck 明确说明：

> 1D FATO 提供直升机包容
>
> TLOF 可在特定风险评估下低于 1D，但不得低于 0.83D
>
> sub-1D TLOF 只是承载面缩小，FATO 仍保持 1D 的包容逻辑

这正好解释了为什么很多后续标准里会出现：

> TLOF = 0.83D
>
> FATO = 1D 或 1.5D
>
> 高架/复杂场景 TLOF 提高到 1D

9.3 ????

Annex 14 是规范源头， Doc 9261 是工程解释源头。后续写研究报告时，不能只引用 Annex 14，必须用 Doc 9261 解释参数背后的工程逻辑。

10. FAA ?????eVTOL ?????????

你判断得对。 FAA 在 EB105A 里对 eVTOL 的定义体系明显不同于传统直升机。

10.1 ?? FAA heliport?D ????

在 AC150/5390-2D 中，传统直升机外形关系相对稳定：

```
D = controlling dimension
RD = rotor diameter
TLOF = 0.83D
FATO = 1.5D / 1.66D
```

这里 0.83D 本质上来自传统直升机构型经验。

10.2 FAA EB105A?D ? RD ??

EB105A 对 VTOL/eVTOL 定义:

```
D = 包络整个 VTOL aircraft 水平投影的最小圆直径，包括所有可能构型，旋翼/螺旋桨转动时计入
RD = 包络所有产生升力的推进单元的最小圆直径，包括 propellers/rotors/fans，并纳入 landing gear 和 surface touch points
```

EB105A 明确说:

```
TLOF / FATO 几何现在与 RD 相关，而不是 D。
Safety Area 减小，并仍使用 D 控制。
```

对应尺寸:

```
TLOF = 1RD
FATO = 2RD
Safety Area = 2.5D
```

10.3 ??????

eVTOL 可能是:

- 多旋翼
- 倾转旋翼
- 分布式推进
- 机翼展开 /折叠
- 起飞构型和停放构型不同
- 推进器包络和机身 /机翼整体包络不一致

所以传统直升机那套 “D 约等于能控制一切 ”的假设不稳了。 FAA EB105A 的 RD 是在拆分两个风险:

```
RD: 控制推进器/下洗/接离地核心运行区
D: 控制航空器整体偏离和外围安全包络
```

这个定义差异是我们后续研究的重点之一。

11. ??????

这一轮提取已经暴露出一个核心分歧：

> 中国团标：D 直接比例法，FATO 1.5D，TLOF 1.0D。
>
> EASA/CASA：AFM 性能优先，D 是下限，FATO 1.5D，TLOF 0.83D/高架 1.0D。
>
> FAA EB105A：引入 RD，FATO 2RD，TLOF 1RD，Safety Area 2.5D。

后续研究最重要的问题不是“谁对谁错”，而是：

> “对国内 eVTOL 项目，什么时候用简单 D 法足够，什么时候必须引入 RD、AFM、downwash/outwash 和 OFV 的性能化校核？