

# 海洋平台主机烟气排放对直升机影响数值分析

高铭志

(海洋石油工程股份有限公司设计公司, 天津 300451)

**摘要:**目的 确保南海 A 钻采平台直升机安全起降, 直升机全年不可用概率控制在 10% 以内。**方法** 通过 Fluent 软件数值模拟多工况、多风向风速下高温烟气在直升机甲板上方及周围空间的流动、温升及湍流分布规律, 以 CAP43-7 标准所推荐直升机起飞和降落的安全原则为判定依据, 分析计算温升和湍流对直升机起飞和降落的全年影响概率。**结果** 综合得出直升机不可用概率理论值, M1 工况为 8%, M2 工况为 9%。**结论** 模拟计算结果为平台主机烟管及直升机甲板布置方案的确定提供理论依据, 为平台直升机起降操作起到指导作用。

**关键词:** 海上平台; 主机烟气; 烟温; 湍流; 直升机甲板; 烟气扩散

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2018.06.020

中图分类号: TJ410.3; X937 文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2018)06-0103-06

## Numerical Analysis on Influences of Exhaust Emissions from Main Engine for Takeoff and Landing of Helicopter on Offshore Platform

GAO Ming-zhi  
(Offshore Oil Engineering Co., Ltd, Tianjin 300451, China)

**ABSTRACT:** Objective To make the helicopter of 7-2 drilling and production platform take off safely and control the probability of the helicopter's annual unavailability at lower than 10%. Methods The flow, temperature rise and turbulence distribution of the high temperature smoke over the helicopter deck were simulated under multi wind direction and wind speed based on fluent software. According to the safety principle of helicopter take-off and landing recommended by CAP43-7 standard, the annual impact probability of temperature rise and turbulence on takeoff and landing of helicopter was calculated. Results The probability value of the unavailability of the helicopter was obtained. It was 8% under working condition M1 and 9% under working condition M2. Conclusion The results provide a theoretical basis for the determination of the layout of the smoke pipe and the helicopter deck on the platform, and take a guiding role for the landing operation of the platform helicopter.

**KEY WORDS:** offshore platform; exhaust gas from main engine; temperature; turbulence; helicopter deck; exhaust gas diffusion

为保证海上油气田生产的电力需求, 中心处理平台会配备大功率发电机, 由透平或往复式主机驱动, 特点是排烟量大、废气温度高, 最高可达 500 °C<sup>[1-2]</sup>。因平台空间紧凑气体流通性差, 烟管与直升机甲板距离近, 大量高温烟气在海洋季风作用下可能会对直升飞机起降产生如下影响<sup>[3-4]</sup>: 直升机甲板上方及周围环境温度升高, 空气相对密度减小, 作用于直升机转

轴的升力减小; 直升机甲板上方及周围形成湍流区, 直升机飞入会形成类似高速飞行时产生的激波, 影响正常推力, 造成动力下降。

关于直升机甲板上方温升和湍流变化, 英国民航局标准 CAP 437 提出的安全判定原则<sup>[5-6]</sup>如下: 在直升机甲板上方直升机起飞和降落的区域, 大气温度升高的最大值要小于大气环境温度 2 °C, 气体速度在竖

直方向上分量的标准差要小于 1.75 m/s。

为了平台直升机的安全起降,有必要评估主机烟管排烟对直升机起降的全年影响概率,从而优化主机烟管和直升机甲板的位置,降低直升机全年不可用概率。文中利用数值分析 CFD 的方法<sup>[7-9]</sup>,分析模拟了 A 钻采平台主机高温烟气在直升机甲板上方及周围空间的流动、温升及湍流分布规律,计算得出烟管所排放高温烟气对直升机起降影响概率,为评定烟管及直升机甲板布置的可行性提供理论支撑,为平台实际安全操作提供理论依据。

## 1 数值计算模型

海上平台高温烟气扩散属于典型无化学组分传输过程,同时包括大气运动非定常湍流运动。根据该特点建立气体多组分热传输及湍流模型。在模型求解过程中,其控制方程包括连续性方程、动量方程、能量守恒方程及组分守恒方程<sup>[5,11]</sup>。标准  $k-\epsilon$  湍流模型用于研究烟气扩散对直升操作影响,该模型为工业流场主要应用模型适合高大空间内的扩散问题。其表达式为  $k-\epsilon$  模型问题<sup>[5,10,17]</sup>:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \eta + \frac{\eta_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \eta_t \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \epsilon \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \rho u_k \frac{\partial \epsilon}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \left( \eta + \frac{\eta_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_k} \right] + \frac{c_1 \epsilon}{k} \eta_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - c_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (2)$$

式中:  $\eta_t = c_\mu \rho k^2 / \epsilon$ ,  $c_\mu = c'_\mu c_D$ 。

方程引入了三个系数  $c_1, c_2, c_\mu$  和三个常数  $\sigma_k, \sigma_\epsilon, \sigma_t$ , 这 6 个经验常数一般分别取为 1.44, 1.92, 0.09 和 1.0, 1.3, 0.9~1.0。

## 2 模拟分析参数设定

### 2.1 几何模型

基于南海 A 平台构建几何模型,如图 1 所示。上层甲板布置了四台原油发电主机,主机烟管位于上层甲板东南侧,生活楼顶部设置直升机甲板。上层甲板大型特征物,如结构、吊机、烟管及其他设备等以实体对象明确表示。烟管排烟口到直升机甲板之间区域为重点关注区,细化几何模型<sup>[4,8-9]</sup>。上层甲板计算网格将比下层区细化,重点区域细化加密,下层甲板特征物(如管道、楼梯及容器等)划分为次级网格,以多孔渗透介质表示<sup>[2-4]</sup>。

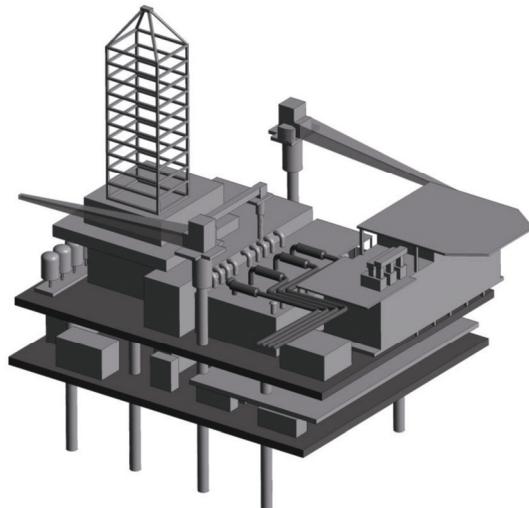


图 1 A 平台几何结构模型

### 2.2 烟气参数

A 平台主机烟管排放口布置位置如图 2 所示,从左至右依次 A, B, C, D 与机组编号对应,其中机组 A 和 B 为双燃料机组, C 和 D 为三燃料机组。机组排放烟气流速和温度见表 1,因机型差异,排放参数有所不同,C 和 D 机组烟气流速大于 A 和 B 机组,C 和 D 机组烟气温度小于 A 和 B 机组。烟气组分以气体体积占比形式给出,  $N_2$  为主,占 76.3%,其次为氧气,占 15.8%,见表 2。在模拟计算中遵循了如下假设:海上的大气风速和大气环境温度均匀分布;烟气和大气按照理想状态方程考虑。

表 1 烟气流速与烟气温度

	烟气流速/(kg·s <sup>-1</sup> )	烟气温度/°C
烟管 A&B	8.1	380
烟管 C&D	8.34	340

表 2 烟气组分

烟气组分	体积比/%
$CO_2$	2.8
$H_2O$	4.2
$N_2$	76.3
$O_2$	15.8
Ar	0.9

### 2.3 平台风向图

A 平台风向分布如图 3 所示,图中 0° 方向为平台真北方向,即平台正北方向正西方向旋转 45°。图中 5%, 10%, ... 代表概率。粗实线为各风向概率,形成 360° 闭合区域。从图 3 可知,45°~67.5° 风向概率较大,为主方向。

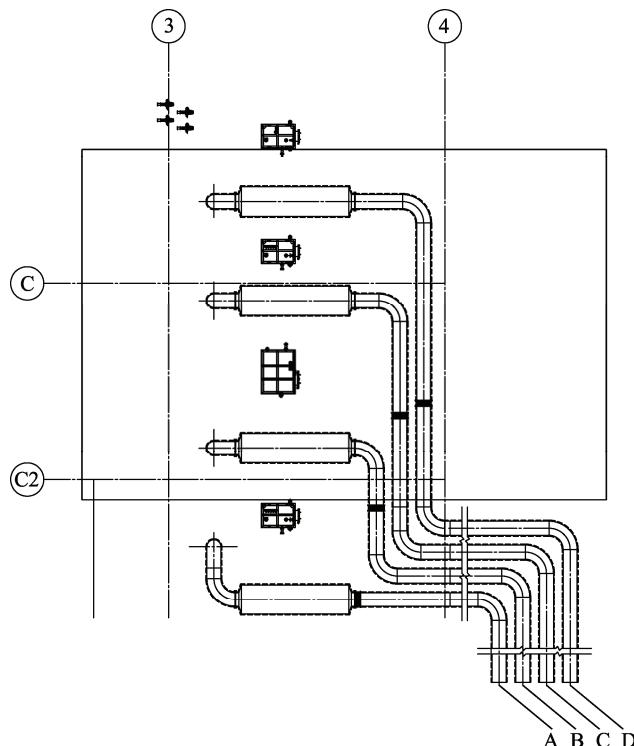


图 2 主机烟管布置示意

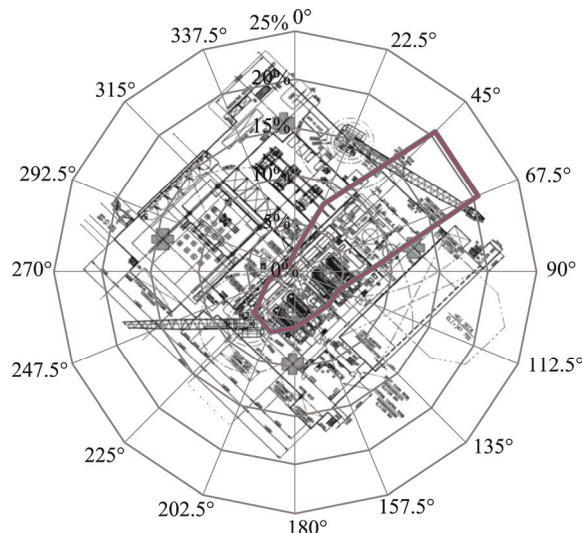


图 3 平台风向分布

风速概率统计表见图 4, 横向为风向, 纵向为风速, 从表 3 可得到不同风向下各风速概率, 还可知各风速年概率及风向年概率。从表 3 读取 45°风向年概率为 20.58%, 67.5°风向年概率为 20.54%, 45°~67.5°风向年概率为 41.12%。

Wind Speed		Wind Directions (Degrees from true North)															Total	
Lower	Upper	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5	
0	2	0.40%	0.48%	0.43%	0.60%	0.68%	0.66%	0.78%	0.60%	0.54%	0.47%	0.38%	0.31%	0.33%	0.34%	0.36%	0.35%	
2	4	0.67%	1.11%	1.92%	2.33%	2.21%	2.38%	1.85%	1.93%	1.95%	1.57%	0.87%	0.51%	0.46%	0.40%	0.33%	0.38%	
4	6	0.40%	1.52%	2.62%	3.27%	2.12%	1.27%	1.33%	1.51%	1.91%	1.76%	1.30%	0.77%	0.35%	0.17%	0.15%	0.15%	
6	8	0.19%	1.13%	2.90%	3.84%	1.43%	0.37%	0.34%	0.46%	0.85%	1.93%	1.41%	0.58%	0.32%	0.15%	0.16%	0.14%	
8	10	0.12%	1.18%	3.75%	3.78%	0.69%	0.11%	0.30%	0.19%	0.34%	0.65%	0.85%	0.31%	0.18%	0.11%	0.03%	0.08%	
10	12	0.06%	1.15%	4.27%	3.96%	0.22%	0.04%	0.17%	0.11%	0.11%	0.19%	0.67%	0.52%	0.13%	0.04%	0.02%	0.05%	
12	14	0.09%	0.71%	3.25%	2.07%	0.08%	0.02%	0.02%	0.08%	0.08%	0.13%	0.36%	0.14%	0.08%	0.01%	0.00%	0.03%	
14	16	0.06%	0.23%	1.19%	0.59%	0.05%	0.01%	0.04%	0.00%	0.05%	0.03%	0.14%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	
16	18	0.07%	0.07%	0.20%	0.07%	0.03%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.0049	
18	20	0.01%	0.02%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.0008	
20	22	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.0004	
22	24	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.0001	
24	26	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	
26	28	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	
28	30	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0	
Total		0.0207	0.076	0.2058	0.2054	0.0751	0.0486	0.0486	0.0488	0.0583	0.0673	0.06	0.0318	0.0186	0.0122	0.0105	0.012	0.9997

图 4 风速概率统计表

## 2.4 发电机操作模式

发电机有两种操作模式:

1) 操作模式 1 (M1)。启动两台双燃料机组, A 和 B 机组运行, C 和 D 备用;

2) 操作模式 2 (M2)。启动三台机组, A、B 和 C 机组运行, D 机组备用。

## 2.5 数值分析边界条件

数值分析边界条件包括: 壁面边界条件设置为无滑移光滑壁面<sup>[3,9]</sup>; 海平面粗糙度取值为 0.02, 无滑移边界<sup>[5,9]</sup>; 大气入口边界条件, 采用速度入口边界条件, 设定大气环境温度为 36 °C (夏季最高环境温度), 同时入口处设定湍流计算参数速度<sup>[6-7]</sup>; 烟气入

口边界参数，按照2.2节烟气参数设置烟气流速、温度和组分。

### 3 模拟计算分析

#### 3.1 湍流分析

平台上方大气湍流模拟按照纳维-斯托克斯方程进行<sup>[4, 6]</sup>，模拟过程选取了2个典型风速和16个等距风向( $0^\circ, 22.5^\circ, \dots$ )，设定了6个高度区间。计算得到各高度区间不同风速、不同风向下的气流垂直方向标准偏差，并依据线性计算推算出湍流影响概率。

1) 高度区间设定。依CAP 437标准推荐，直升机甲板上方从0~30 m高度范围内按照5 m间隔设定5, 10, 15, 20, 25, 30 m区间。

2) 典型风速选取。典型风速主要参照超越概率图选取，该分析选取超越概率50%和5%的风速值。

风速超越概率曲线根据图4风速概率值插值计算并绘制，如图5所示。从图5可知，6.1 m/s风速超越概率为50%，即大于等于6.1 m/s风速出现的概率为50%。13.5 m/s风速超越概率5%，即大于等于13.5 m/s风速出现的概率为5%。

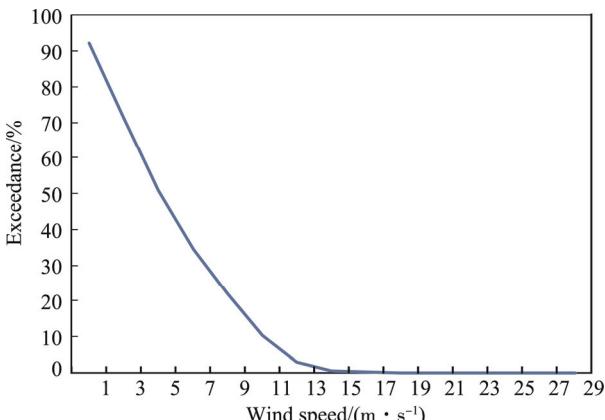


图5 风速超越概率

湍流模拟计算结果如图6所示，图中横坐标为风向，纵坐标为气流垂直方向标准偏差，虚线为CAP 437评判标准偏差值(1.75 m/s)，其他曲线分别代表5, 10, 15, 20, 25, 30 m高度区间。从图6a可以看出，当风速为13.5 m/s、距离甲板高度为5 m、风向为135°时，气流垂直方向标准偏差最大，为3.0 m/s，大于评判值。从图6b可以看出，当风速为6.1 m/s、距离甲板高度为5 m、风向为135°时，气流垂直方向标准偏差最大，为1.4 m/s，小于评判值。从分析可知，距离直升机甲板越低，气流垂直方向标准偏差越大。综合图6对比分析可知，风速越大，气流垂直方向标准偏差越大，135°风向为最不利风向。

从图6综合比较还可以看出，相同高度不同风速

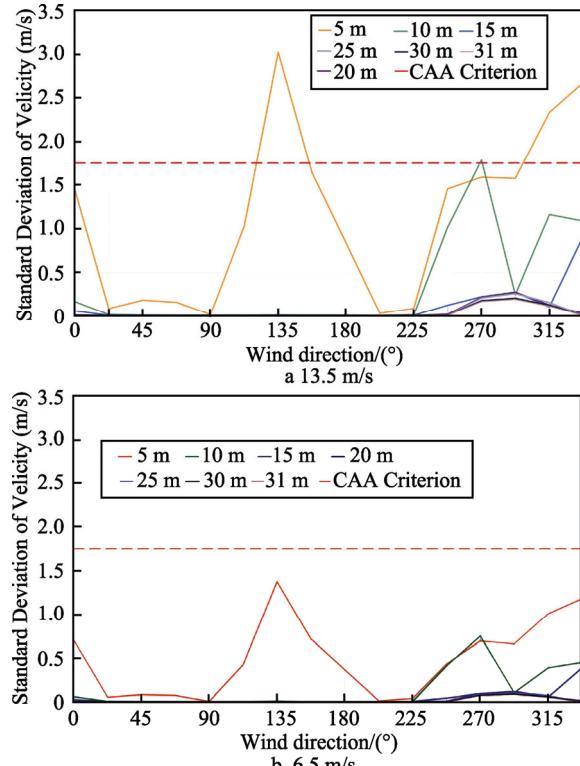


图6 不同风速下湍流趋势

下标准偏差值曲线具有相似性，因此其他不同风速工况下，气流垂直方向标准偏差值可采用线性插值近似计算得出。选取所有超出评判值1.75 m/s的数据，按照风向和风速绘制湍流影响分布图，如图7所示。图7中0, 5, 10, 15, 20代表风速，周向代表风向，所得阴影部分区域代表湍流影响分布区，根据风向概率表可以计算发生概率。

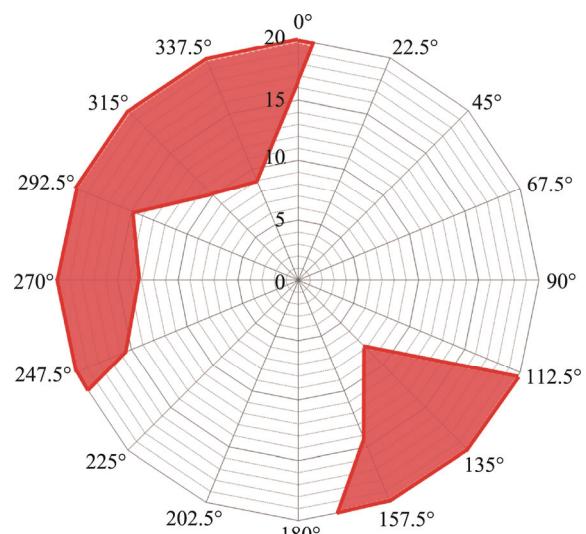


图7 湍流影响分布

#### 3.2 烟气温升分析

温升模拟针对两种操作模式M1和M2进行计

算, 大气风速选取值为: 1, 2, 3, 7, 13 m/s, 大气风向选择覆盖直升机甲板角度内风向, 直升机飞入区按照 CAP 437 标注界定为直升机甲板直径 22.2 m、高度 33.4 m 范围。

1) 风速影响确定。风速影响分析首先假设烟气温度大于环境温度 2 ℃ 区域水平投影覆盖直升机甲板, 然后根据假设选取温升影响最大的风向 230° 进行不同风速模拟计算。图 8a, b 分别为 M1 工况条件下 1 m/s 和 2 m/s 风速时直升机甲板上方的温升情况, 图

8c, d 为 M2 工况条件下 1 m/s 和 2 m/s 风速时直升机甲板上方温升情况。图中深色区域表示烟气温度大于环境温度 2 ℃ 区域, 两实线为直升机飞入区上下边界。当风速为 1 m/s 时, 烟气温升影响区域未进入直升机起降区, 对直升机起降无影响; 当风速为 2 m/s 时, 烟气温升影响区域进入直升机起降区, 对直升机产生影响。综合对比分析, 当风速增大, 烟气温升影响区下降。分析结果说明在风向影响覆盖区当风速大于 2 m/s 时烟气温升对直升机起降产生影响。

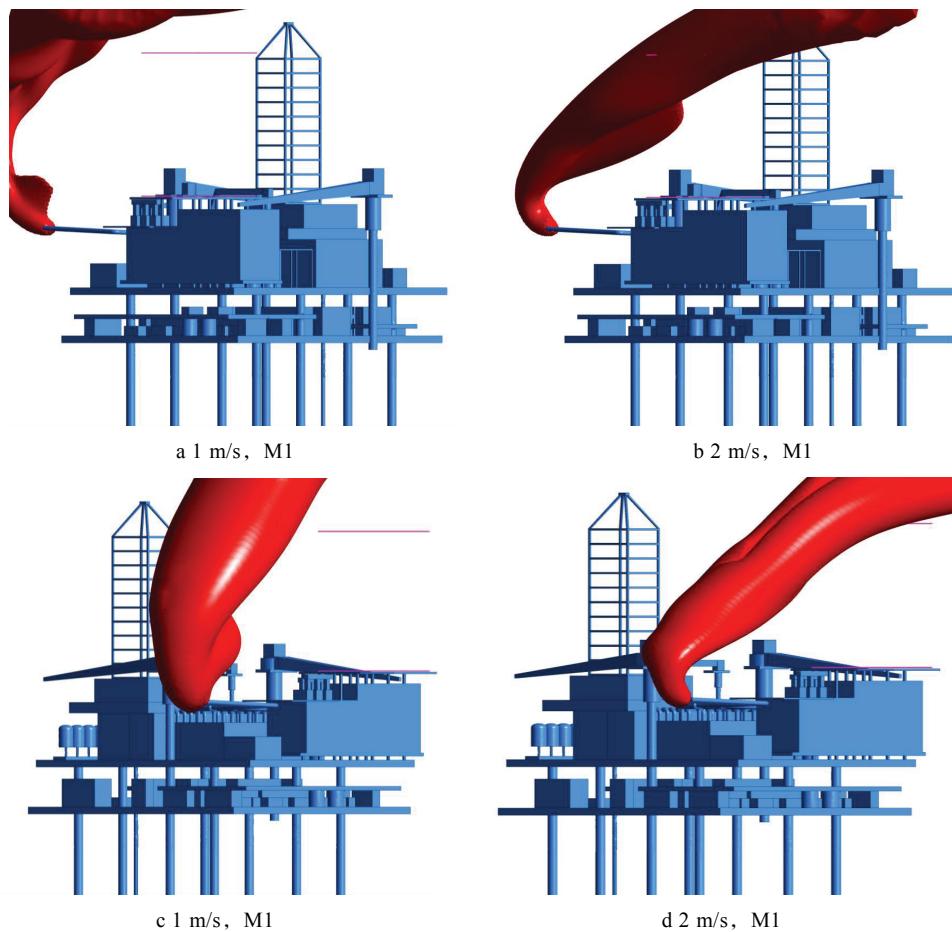


图 8 不同风速和操作模式下的温升情况

2) 风向影响区域确定。以排烟口为中心, 直升机甲板按直径 22 m 画圆所得区域为界, 绘制烟气辐射区。初步判断当风向在 200°~250° 范围内烟气有可能扩散到直升机甲板区域, 因此选风向 200° 和 250° 进行边界模拟计算, 模拟结果如图 9 所示。图 9a 为 200° 风向时烟气温升图, 图中深色区域(烟气温升超过环境温度 2 ℃)刚好超出直升机甲板起降操作边界区域约 6°, 经角度差值计算, 影响直升机甲板温升的上界线为 >206°。图 9b 为 246° 风向时烟气温升扩散图, 正好超出直升机甲板起降操作边界区域约 10°, 因此影响直升机甲板温升的下界线为 <240°。

3) 温升影响区域。根据上述模拟计算分析可知,

在 206°~240° 风向范围内, 风速大于等于 2 m/s 时, 烟气温升将会对直升机起降产生影响。据计算结果绘制 M1 和 M2 工况烟气温升对直升机起降影响区域分布图, 如图 10 所示。图中 0, 5, 10, 15 代表不同的风速, 阴影部分区域为烟气温升对直升机升降影响区, 对应风速风向下将不满足直升机正常操作要求, 需要采取相应规避措施, 结合风速概率表可计算出烟气温升影响概率。

### 3.3 计算结果及建议

计算得出 M1 和 M2 两种工况下直升机因温升和湍流影响不可操作时间比例和相对应不可操作天数。

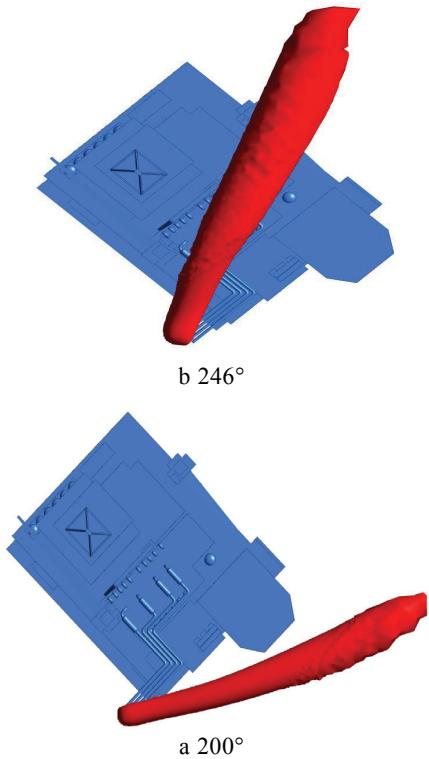


图 9 不同风向模拟

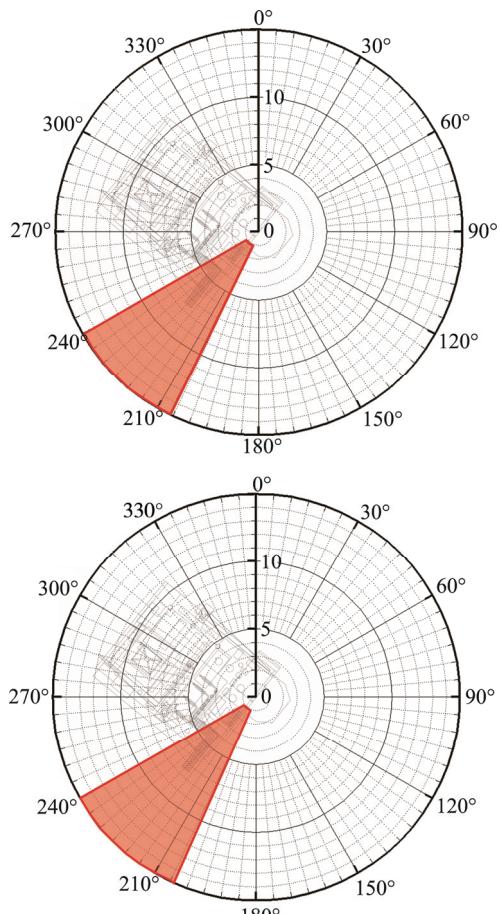


图 10 不同工况温升影响分布

1) 超出湍流评判值的不可操作天数占比仅大约

1%，即每年 3 天。

2) 超出温升评判值的不可操作天数占比：操作模式 1 是 7%，即每年 26 天；操作模式 2 是 8%，即每年 29 天。

3) 总不可操作天数占比：操作模式 1 是 8% (29 天)；操作模式 2 是 9% (33 天)。

鉴于湍流和温升对直升机操作影响天数占比可接受，同时考虑通过在一定范围内提升烟管高度、调整排烟口与直升机相对位置等措施不会显著减小直升机不可操作概率，建议维持现布置方案。同时建议根据分析结果编制直升机可行性操作指导手册，加强对平台海域风向的监测，并及时告知直升机运营方，遇到危险风向风速时采取应急解决措施。

## 4 结论

1) 模拟分析计算结果已经在实际应用中验证，表明采用文中模拟计算方法所得数据具有一定的正确性和可靠性。

2) 为海上平台主机烟管和直升机甲板相对位置布置优化设计提供理论计算依据。

3) 对海上平台直升机安全起降操作具有一定的指导意义。

## 参考文献：

- [1] 王魁涛. 海上平台高温烟气扩散数值模拟分析[J]. 海航工程, 2015, 44(3): 95-99.
- [2] 陈欣, 孙旭, 李东芳, 等. 海上平台直升机甲板受环境影响的安全分析评估[J]. 中国海上油气, 2012, 24(1): 60-64.
- [3] 沈志恒. 烟气扩散对海上直升飞机操作影响的安全分析及评估的理论[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(16): 60-64.
- [4] 沈志恒. 环境因素对海洋平台上烟气流动及传热特性影响的研究[J]. 中国海洋平台, 2012, 27(6): 46-50.
- [5] 李东芳, 许中, 陈颖, 等. 发动机排烟对海洋平台及周围环境影响的数值模拟[J]. 中国造船, 2010, 51(191): 39-45.
- [6] CAP 437, Offshore Helicopter Landing Areas-Guidance on Standards[S].
- [7] 金颖, 周伟国, 阮应君. 烟气扩散的 CFD 数值模拟[J]. 安全与环境学报, 2002, 2(1): 21-23.
- [8] 张彩先, 汪东林, 蒋晓彦, 等. 环境温度对直升机的影响及测试数据处理方法研究[J]. 装备环境工程, 2006, 3(4): 45-48.
- [9] Fluent Inc. FLUENT 6.3 Users Guide[S].
- [10] JORG F, ANTTI H, HEINKE S, et al. Cost Action 732 Quality Assurance and Improvement of Microscale Meteorological Models[R]. Best Practice Guideline for the CFD Simulation of Flows in the Urban Environment, 2007.
- [11] 文铨. 数值传热学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988: 260-269.