



DT212团队飞机总体设计

“云雀”的诞生

混合电动力通用航空飞机



飞机系
航空科学与工程学院
组号：DT212



“云雀”飞机总体设计



| | |
|---------------------|--------------------------|
| 设计要求及市场定位..... | 李博, 朱坤宇, 高小天, 何瑞辰, 霍德 |
| 参数迭代权衡..... | 王卓, 许珂, 郭楚凡, 王金瀚, 李博, 霍德 |
| 重量迭代分析..... | 王卓, 许珂 |
| 方案迭代及最终方案..... | 所有成员 |
| 最终方案气动设计及结构设计..... | 郭楚凡, 何瑞辰, 朱坤宇, 张晓岳 |
| 最终方案总体布置..... | 张晓岳, 王卓, 何瑞辰 |
| 动力系统设计及先进技术设计..... | 许珂, 王卓, 张晓岳, 霍德 |
| 稳定性、气动及飞行性能分析..... | 王金瀚, 李博, 霍德 |
| 经济性及环保性分析..... | 高小天, 张晓岳 |
| 设计参数与要求对比及优势总结..... | 高小天, 李博 |
| 团队协作..... | 所有成员 |





市场定位



科研环境: NASA X-57, 空客E-Thrust和Efan, ZunumAero, SUGAR Volt
混动飞机有望在2030年研制成功 (中国商飞)

政策环境: 各国对碳排放减排要求提高, 氮氧化物要求提高, 降噪要求提高
欧盟: CO₂减排60%, 氮氧化物减排90%, 降噪75% (以2012年为基准, 至2050年)

市场环境:



通用航空飞机市场利润成上升趋势

目标市场: 中国, 美国, 欧洲, 澳大利亚,
日本, 韩国等



市场定位: 空中游览, 航空摄影, 空中巡查, 海洋监测, 科学实验, 渔业飞行, 航空探矿



最终的设计要求



| 性能要求 | | |
|-------------|---|---|
| | 四座型 | 六座型 |
| 最大过载 | +3.5/-0.4 | +3.5/-0.4 |
| 转场航程 | 2200km | 1900km |
| 爬升率 | 1500fpm | 1300fpm |
| 起飞/着陆距离 | 水泥地: 340m/390m 草地:420m/420m | 水泥地: 430m/480m 草地:550m/550m |
| 有效载荷 | 乘客: 86.2kg 有效载荷: 13.6kg,0.17m ³ | 乘客: 86.2kg 有效载荷: 13.6kg,0.17m ³ |
| 最大起飞总重 | 1500kg | 1800kg |
| 最大失速速度 | 80km/h | |
| 最大速度 (水平飞行) | >=370km/h | |
| 飞行品质 | 类似于其它四六座小型飞机 | |
| 配置约束 | | |
| 螺旋桨 | 可调变距 | |
| 客舱驾驶舱 | 增压舱 | |
| 起落架 | 固定 | |
| 设计目标 | | |
| 结构 | 4座和6座型之间通用的机体结构重量达到4座型空重的75% | |
| 动力 | 任何一类动力系统失效都必须满足14 CFR 23.67单发失效的爬升要求 | |
| 系统 | 满足LSA ASTM的标准 | |
| 可维护性/可靠性 | 类似于可比的飞机 | |
| 款式 | 使飞机外观在市场上具有吸引力 | |



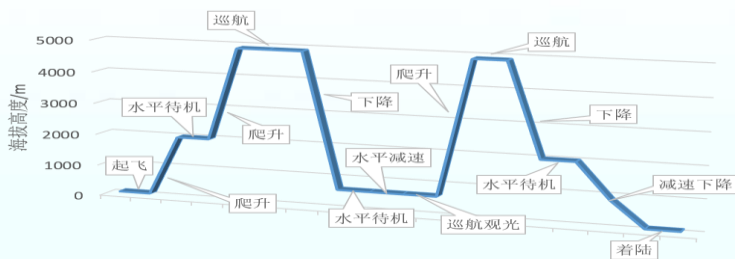
任务剖面



I. 四座型

| 序号 | 任务段名称 | 任务段性能数据 |
|----|--------|--|
| 1 | 起飞 | 起飞滑跑距离=340m, 机场海拔高度=100m 跑道摩擦系数=0.05 |
| 2 | 爬升 | 起始高度=100m, 终止高度=2000m, 起始速度=0.09Ma, 终止速度=0.25Ma |
| 3 | 水平待机 | 所在高度=2000m, 待机时间=0.2h |
| 4 | 爬升 | 起始高度=2000m, 终止高度=4900m, 起始速度=0.25Ma, 终止速度=0.32Ma |
| 5 | 巡航 | 巡航高度=4900m, 巡航速度=0.32Ma, 巡航距离=300km |
| 6 | 下降 | 起始高度=4900m, 终止高度=650m |
| 7 | 水平待机 | 所在高度=650m, 待机时间=0.1h |
| 8 | 水平减速 | 所在高度=650m, 起始速度=0.32Ma, 终止速度=0.27Ma |
| 9 | 巡航(观光) | 巡航高度=650m, 巡航速度=0.27Ma, 巡航距离=140km |
| 10 | 爬升 | 起始高度=650m, 终止高度=4900m, 起始速度=0.27Ma, 终止速度=0.32Ma |
| 11 | 巡航 | 巡航高度=4900m, 巡航速度=0.32Ma, 巡航距离=300km |
| 12 | 下降 | 起始高度=4900m, 终止高度=2000m |
| 13 | 水平待机 | 所在高度=2000m, 待机时间=0.25h |
| 14 | 减速下降 | 起始高度=2000m, 终止高度=900m |
| 15 | 着陆 | 进场高度=900m, 着陆接地速度=27.78m/s, 着陆滑跑距离=390m, 机场海拔高度=100m, 跑道摩擦系数=0.4 |

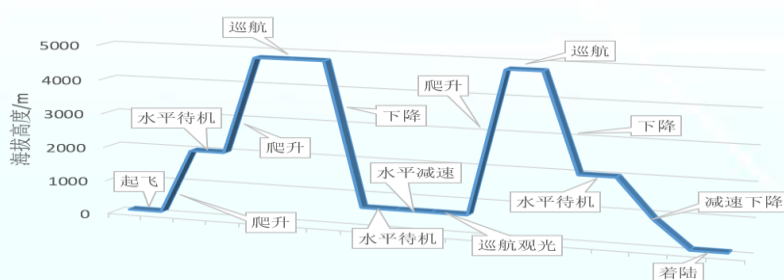
混合动力通用飞机(四座型)任务剖面



II. 六座型

| 序号 | 任务段名称 | 任务段性能数据 |
|----|-------|--|
| 1 | 起飞 | 起飞滑跑距离=430m, 机场海拔高度=100m 跑道摩擦系数=0.05 |
| 2 | 爬升 | 起始高度=100m, 终止高度=2000m, 起始速度=0.10Ma, 终止速度=0.25Ma |
| 3 | 水平待机 | 所在高度=2000m, 待机时间=0.2h |
| 4 | 爬升 | 起始高度=2000m, 终止高度=4800m, 起始速度=0.25Ma, 终止速度=0.32Ma |
| 5 | 巡航 | 巡航高度=4800m, 巡航速度=0.32Ma, 巡航距离=300km |
| 6 | 下降 | 起始高度=4800m, 终止高度=650m |
| 7 | 水平待机 | 所在高度=650m, 待机时间=0.1h |
| 8 | 水平减速 | 所在高度=650m, 起始速度=0.32Ma, 终止速度=0.27Ma |
| 10 | 爬升 | 起始高度=650m, 终止高度=4800m, 起始速度=0.27Ma, 终止速度=0.32Ma |
| 11 | 巡航 | 巡航高度=4800m, 巡航速度=0.32Ma, 巡航距离=300km |
| 12 | 下降 | 起始高度=4800m, 终止高度=2000m |
| 13 | 水平待机 | 所在高度=2000m, 待机时间=0.25h |
| 14 | 减速下降 | 起始高度=2000m, 终止高度=900m |
| 15 | 着陆 | 进场高度=900m, 着陆接地速度=30.56m/s, 着陆滑跑距离=480m, 机场海拔高度=100m, 跑道摩擦系数=0.4 |

混合动力通用飞机(六座型)任务剖面



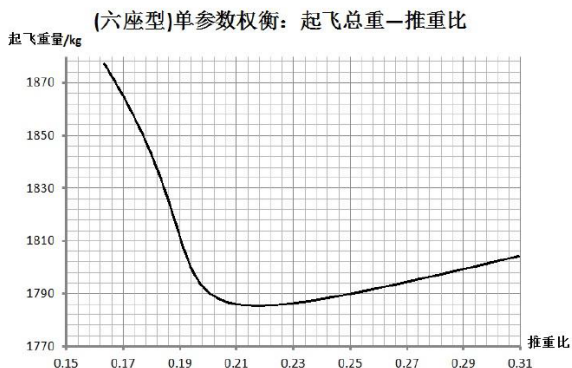
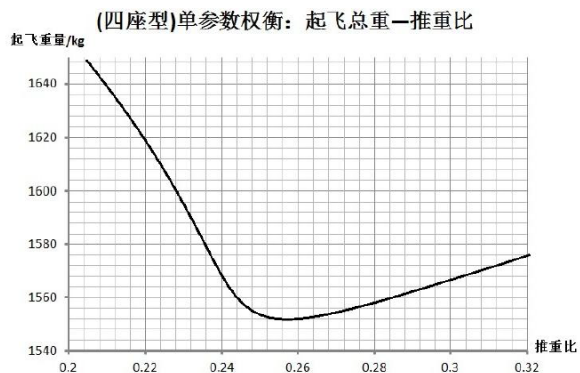


参数迭代权衡

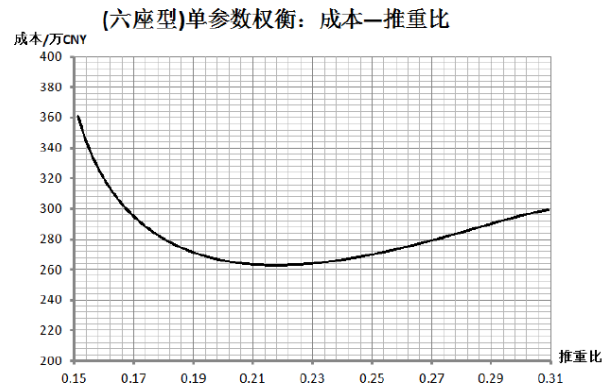
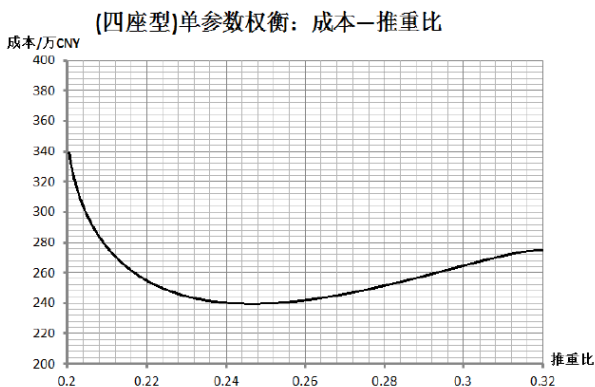


一、推重比&翼载荷权衡

总重与推重比:



成本与推重比:



权衡所得推重比:

四座: 0.248

六座: 0.207



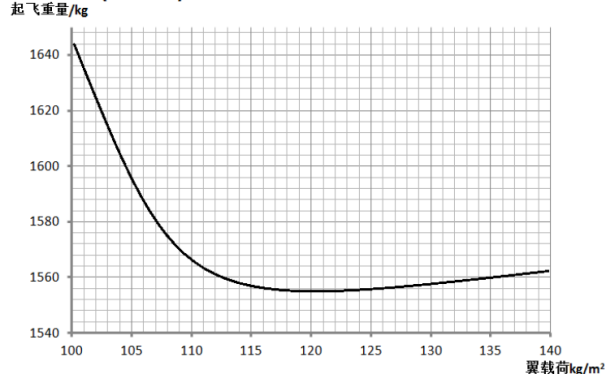
参数迭代权衡



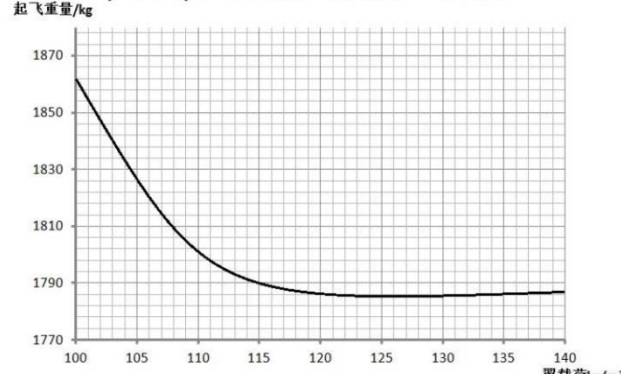
一、推重比&翼载荷权衡

总重与翼载荷：

(四座型)单参数权衡：起飞总重—翼载荷

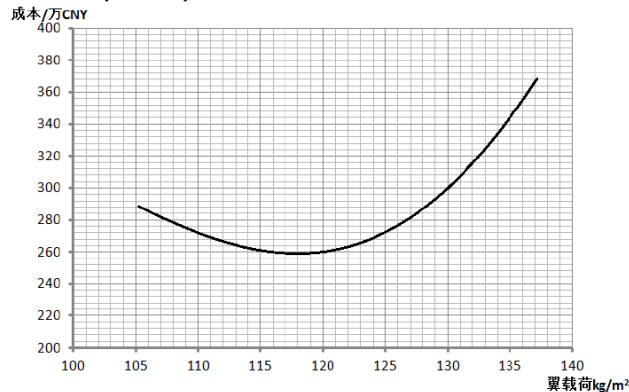


(六座型)单参数权衡：起飞总重—翼载荷

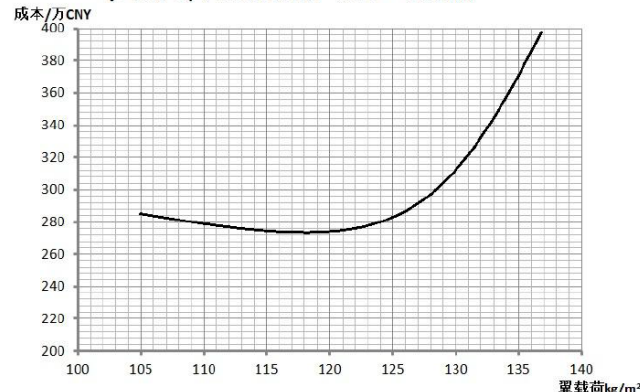


成本与翼载荷：

(四座型)单参数权衡：成本—翼载荷



(六座型)单参数权衡：成本—翼载荷



权衡所得翼载荷： 四座： 114.68 kg/m^2 六座： 119.41 kg/m^2



参数迭代权衡



二、其余典型参数权衡

设计参数权衡:

| 设计参数权衡 | | | | | |
|--------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | 四座 | 六座 | | 四座 | 六座 |
| 推重比T/W | 0.248 | 0.207 | 尾翼形式 | T型尾翼 | T型尾翼 |
| 翼载荷W/S | 114.68kg/m ² | 119.41kg/m ² | 发动机数量 | 1 | 1 |
| 展弦比 | 10.8 | 10.8 | 发动机型式 | 活塞发动机 | 活塞发动机 |
| 前缘后掠角 | 2° | 2° | 乘客安排 | 2+2 | 2+2+2 |
| 尖削比 | 0.5 | 0.5 | 先进技术 | 全景天窗 | |
| 翼型相对厚度 | 11% | 11% | | 整机降落伞 | |

需求权衡:

| 需求权衡 | | | | | |
|----------|-------------|-------------|----------|-------|--------|
| | 四座 | 六座 | | 四座 | 六座 |
| 航程/km | 1900 | 1400 | 最大过载 | 2.8 | 2.8 |
| 有效载荷/kg | 400 | 600 | 跑道长度 | 457.2 | 548.64 |
| 乘客数 | 1+3 | 1+5 | 加速时间/s | 20 | 23 |
| 待机时间/min | 30 | 30 | 爬升时间/min | 8.5 | 9.5 |
| 速度/km/h | 325/380/430 | 325/380/430 | 成本 | 260w | 280w |

增长敏感性权衡:

| 增长敏感性权衡 | | | | | |
|---------|--------|--------|-------|-----------|--------|
| | 四座 | 六座 | | 四座 | 六座 |
| 结构重量/kg | 547.03 | 642.47 | 装机推力 | 388.45 | 388.45 |
| 零升阻力系数 | 0.017 | 0.017 | 单位耗油率 | 0.1437 | 0.1437 |
| 最大升阻比 | 17 | 17 | 燃油价格 | 3.593¥/kg | |
| 最大升力系数 | 1.21 | 1.21 | | | |



参数迭代权衡



三、迭代算法&参数选择矩阵

起飞重量迭代算法:

迭代算法程序

```
REAL ::W0,W1,ER
INTEGER ::N
W0=1000
ER=10000
DO WHILE(ABS(ER)>0.01*W0)
    W1=1-0.394668924-78.0/W0-0.3501*W0**0.0244
    W1=385.554/W1
    ER=W0-W1
    W0=W1
    PRINT *,ER
END DO
PRINT *,'ANS=',W0
END
```

参数选择矩阵:

| 推重比T/W | | | | |
|--------|------|------|------|------|
| 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.27 |

| 翼载荷W/S (kg/m ²) | | | | |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 95 | 105 | 115 | 125 | 135 |

| 翼载荷与推重比关系 | | | | | |
|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | W/S=95kg/m ² | W/S=105kg/m ² | W/S=115kg/m ² | W/S=125kg/m ² | W/S=135kg/m ² |
| T/W=0.19 | 1791.38 | 1636.33 | 1528.78 | 1450.06 | 1387.88 |
| T/W=0.21 | 1803.85 | 1648.89 | 1540.45 | 1467.48 | 1400.01 |
| T/W=0.23 | 1817.58 | 1662.12 | 1554.36 | 1481.56 | 1414.36 |
| T/W=0.25 | 1832.65 | 1677.25 | 1569.64 | 1496.68 | 1429.45 |
| T/W=0.27 | 1850.35 | 1695.68 | 1576.25 | 1512.85 | 1447.98 |



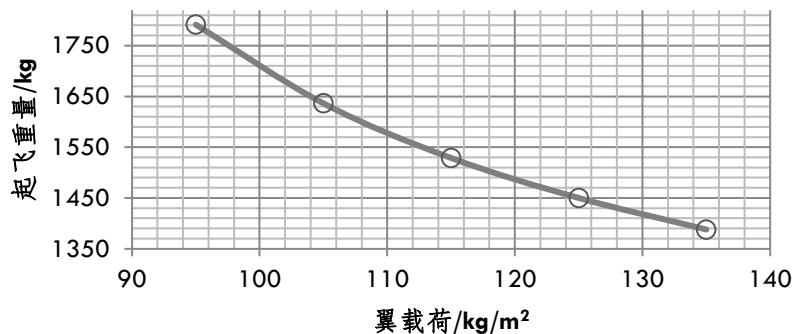
参数迭代权衡



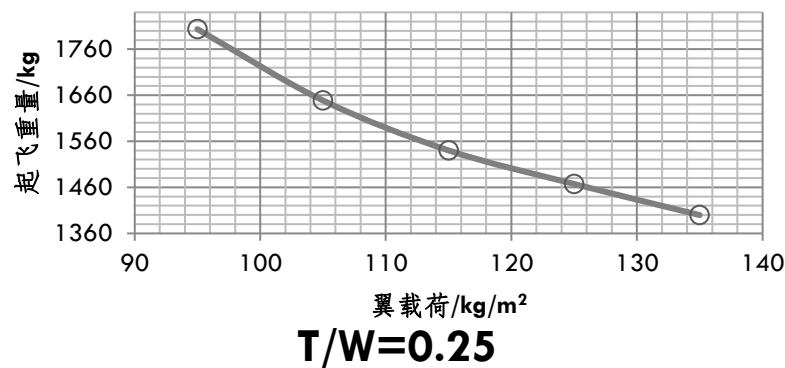
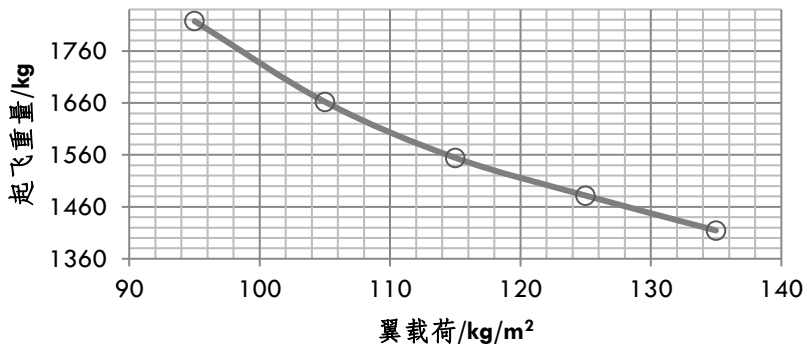
T/W=0.21

三、参数选择曲线&毯式图

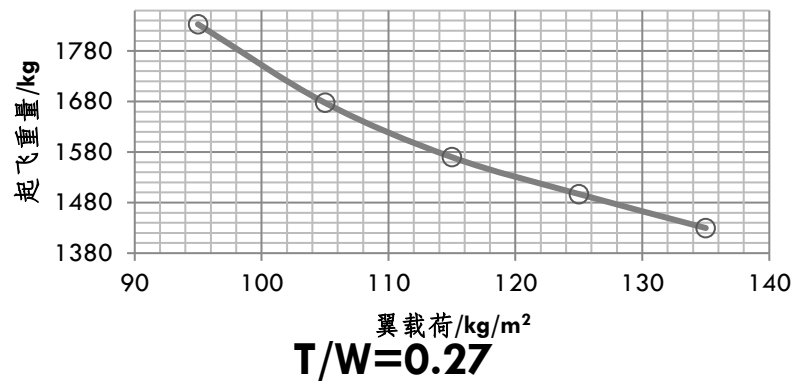
T/W=0.19



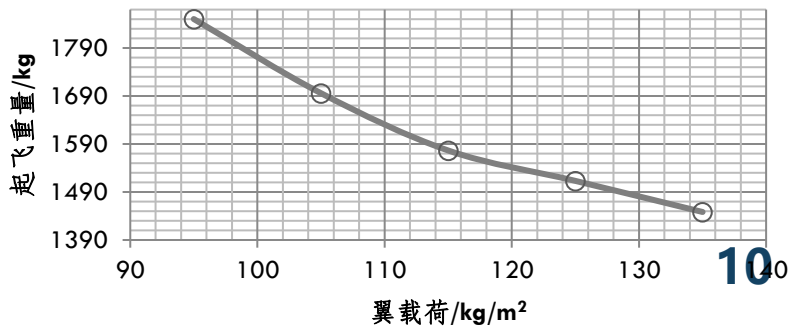
T/W=0.23



T/W=0.25



T/W=0.27



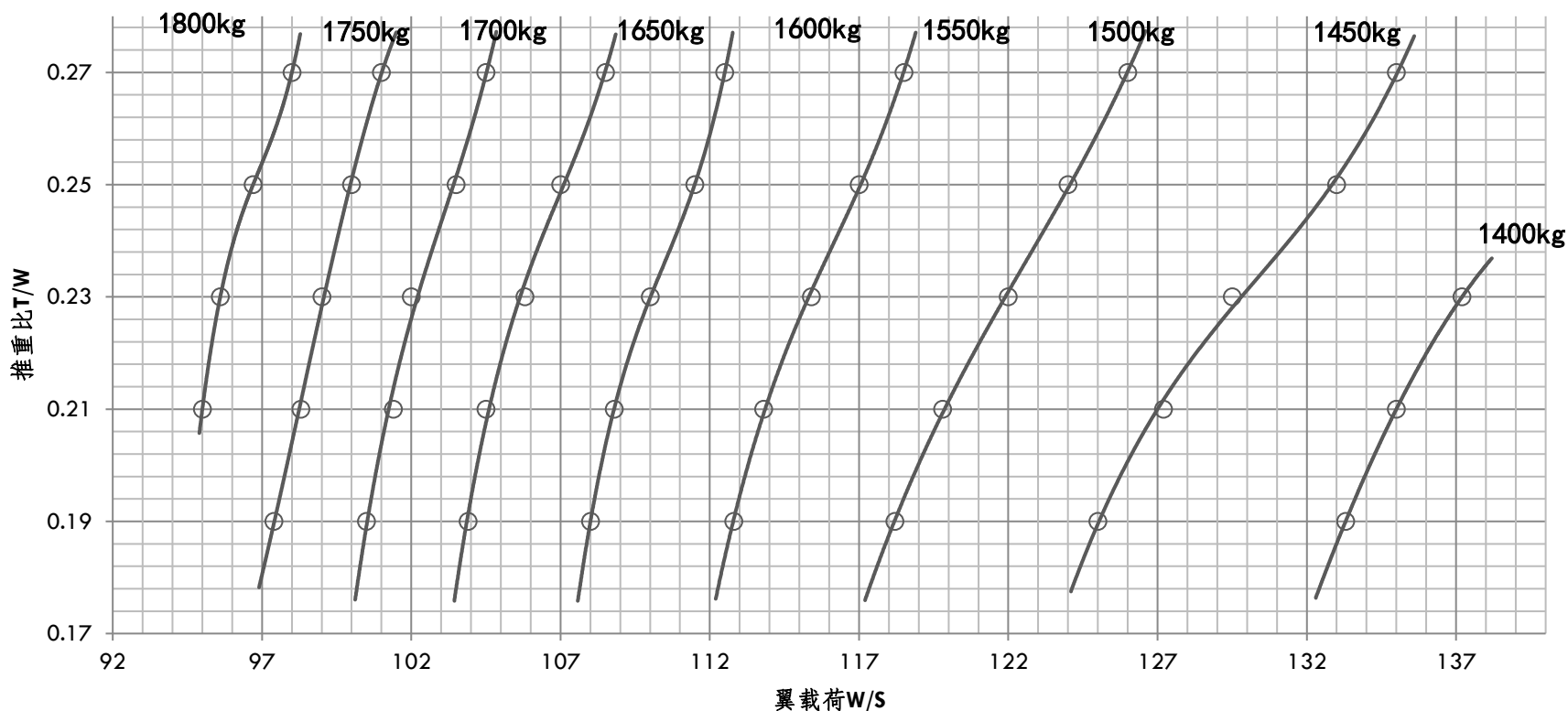


参数迭代权衡



三、参数选择曲线&毯式图

参数选择矩阵曲线

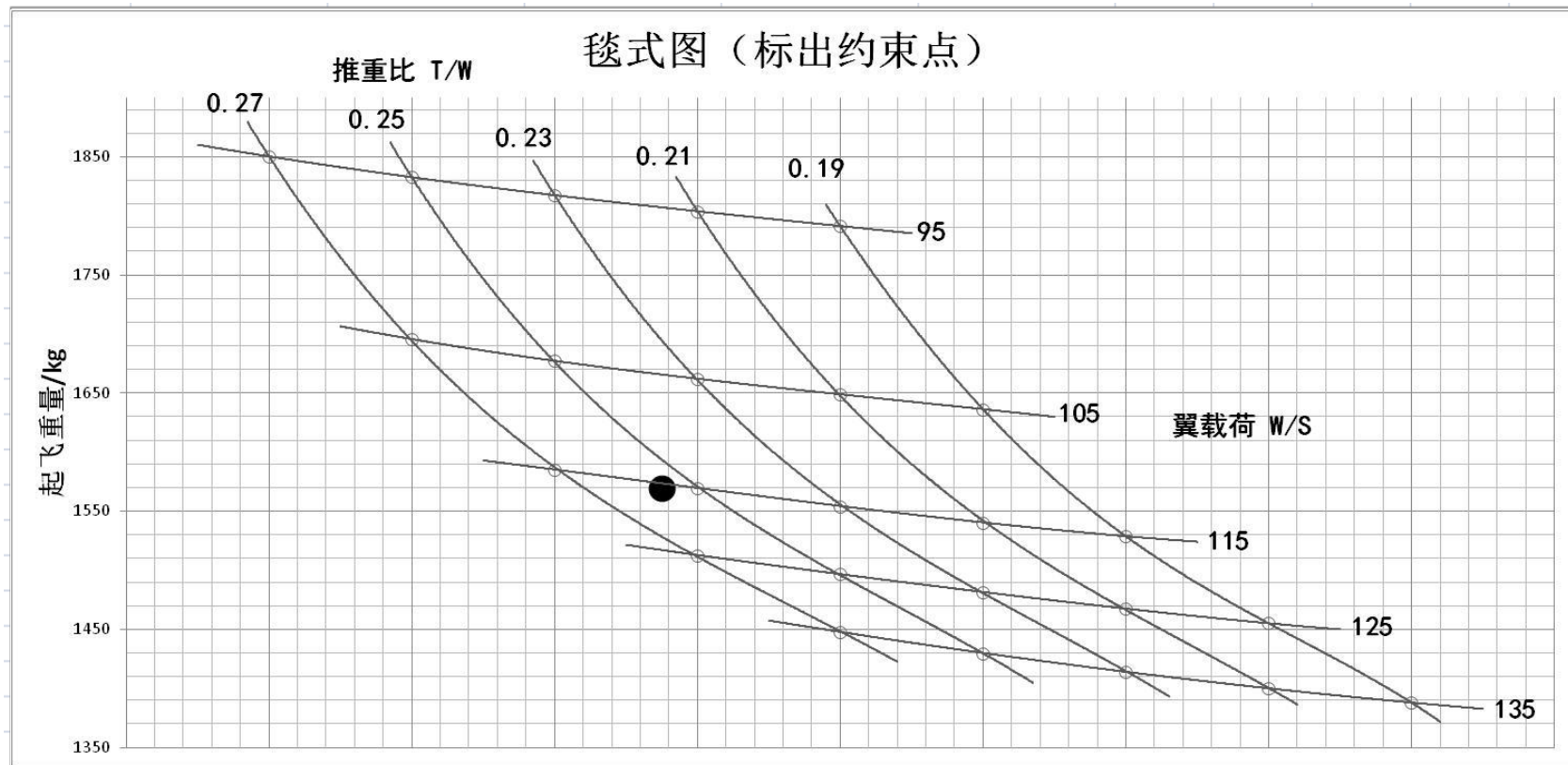




参数迭代权衡



四、添加性能约束的参数选择曲线



四座权衡所得： 推重比 $T/W=0.256$, 翼载荷 $W/S=115.72\text{kg/m}^2$, 起飞总重 $W=1569.64\text{kg}$
同理
六座权衡所得： 推重比 $T/W=0.218$, 翼载荷 $W/S=120.09\text{kg/m}^2$, 起飞总重 $W=1847.03\text{kg}$



参数迭代权衡-汇总对比表

单参数权衡 与 参数选择矩阵&毯式图

| | 单参数权衡 | | 参数选择矩阵毯式图 | |
|------|--------|--------|-----------|---------|
| | 四座 | 六座 | 四座 | 六座 |
| 起飞重量 | -- | -- | 1569.64 | 1847.03 |
| 推重比 | 0.248 | 0.207 | 0.256 | 0.218 |
| 翼载荷 | 114.68 | 119.41 | 115.72 | 120.09 |



重量迭代分析

一、近似分类重量法

| 四座型 | | | | | |
|--------|-------------------|--------------------------|----------|------|-----------|
| 项目 | 混合动力飞机 | 相乘系数/m ² , kg | 近似重心位置/m | 软糖系数 | 重量计算结果/kg |
| | kg/m ² | | | | |
| 机翼 | 12 | 15.38 | 3.28 | 0.78 | 143.96 |
| 平尾 | 10 | 6.098 | 8.6 | 0.75 | 45.74 |
| 垂尾 | 10 | 3.387 | 6.48 | 0.75 | 25.4 |
| 机身 | 7 | 31 | 3.56 | 0.85 | 184.45 |
| 起落架 | 0.057 | 前起: 1569.64*15% | 1.6 | 0.88 | 11.41 |
| | | 主起: 1569.64*85% | 4.365 | 0.88 | 64.7 |
| 发动机装机 | 1.4 | 145 | 0.4 | 1 | 203 |
| 空机其余部分 | 1 | 351.06 | 3.56 | 1 | 351.06 |
| 电动机 | 1 | 25 | 0.5 | 1 | 25 |
| 燃料电池 | 1 | 49 | 0.7 | 1 | 49 |
| | | | 空机重量/kg | | 1103.72 |
| | | | 重心位置/m | | 3.536 |

| 六座型 | | | | | |
|--------|-------------------|--------------------------|----------|------|-----------|
| 项目 | 混合动力飞机 | 相乘系数/m ² , kg | 近似重心位置/m | 软糖系数 | 重量计算结果/kg |
| | kg/m ² | | | | |
| 机翼 | 12 | 15.38 | 3.28 | 0.78 | 143.96 |
| 平尾 | 10 | 6.098 | 9.61 | 0.75 | 45.74 |
| 垂尾 | 10 | 3.387 | 7.49 | 0.75 | 25.4 |
| 机身 | 7 | 35.66 | 4 | 0.85 | 188.41 |
| 起落架 | 0.057 | 前起: 1847.03*15% | 1.6 | 0.88 | 13.9 |
| | | 主起: 1847.03*85% | 4.719 | 0.88 | 78.75 |
| 发动机装机 | 1.4 | 145 | 0.4 | 1 | 203 |
| 空机其余部分 | 1 | 398.57 | 4 | 1 | 398.57 |
| 电动机 | 1 | 25 | 0.5 | 1 | 25 |
| 燃料电池 | 1 | 49 | 0.7 | 1 | 49 |
| | | | 空机重量/kg | | 1171.73 |
| | | | 重心位置/m | | 4.139 |

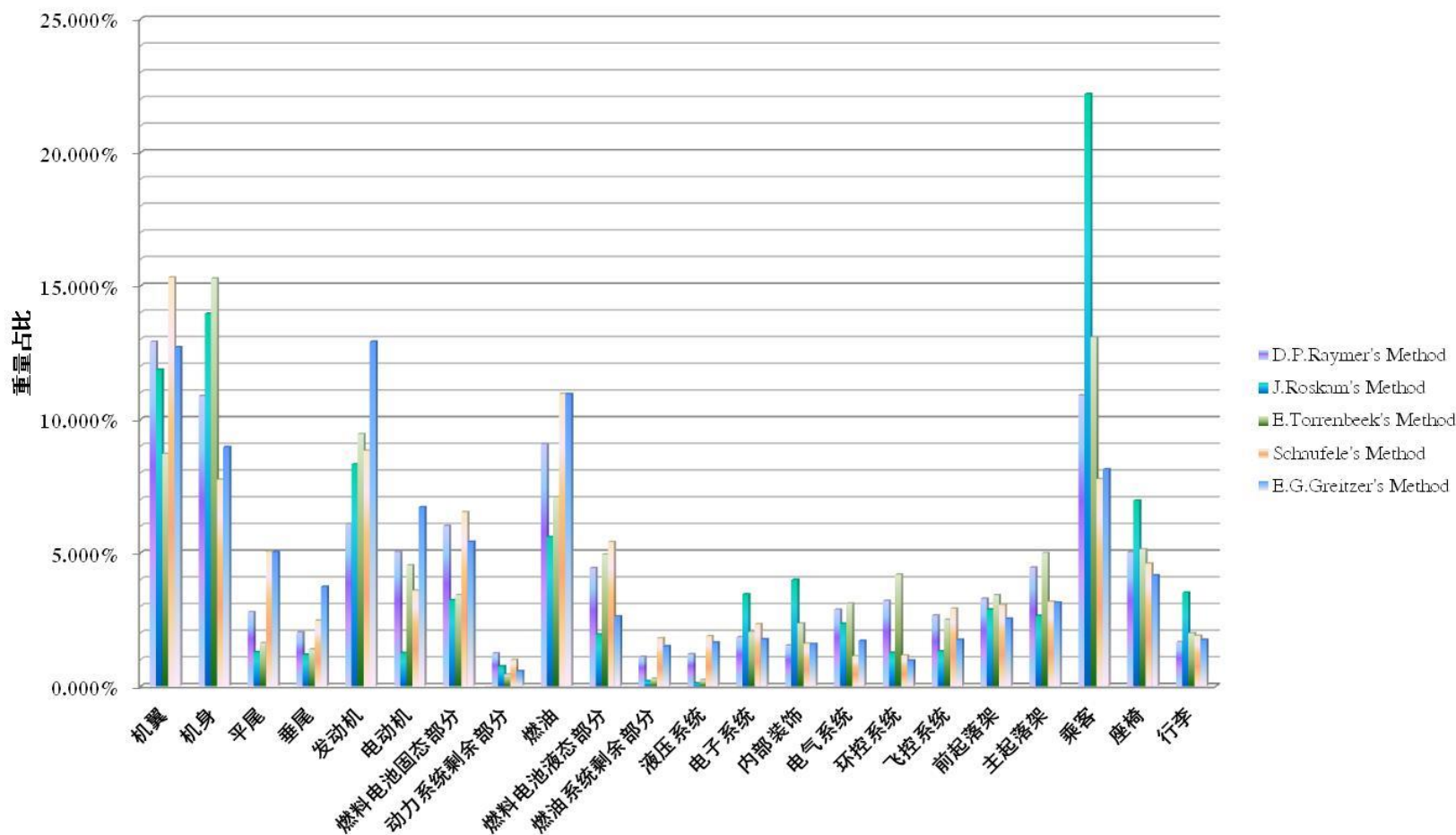


重量迭代分析



二、统计分类重量法

(四座型)不同算法下的各组分重量占比

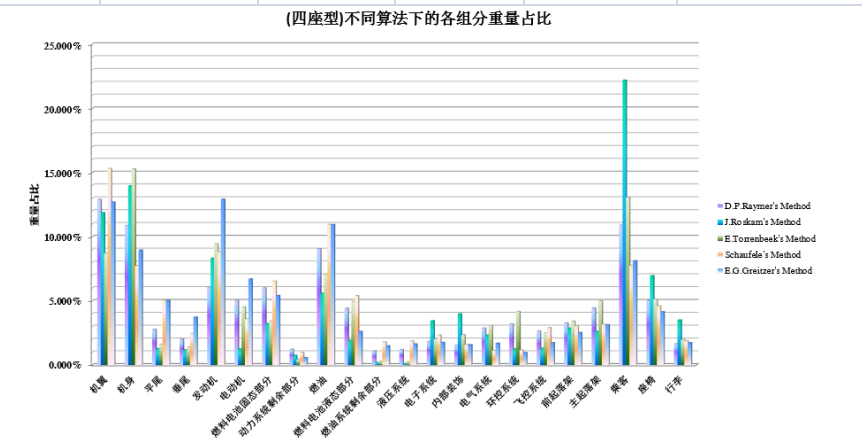
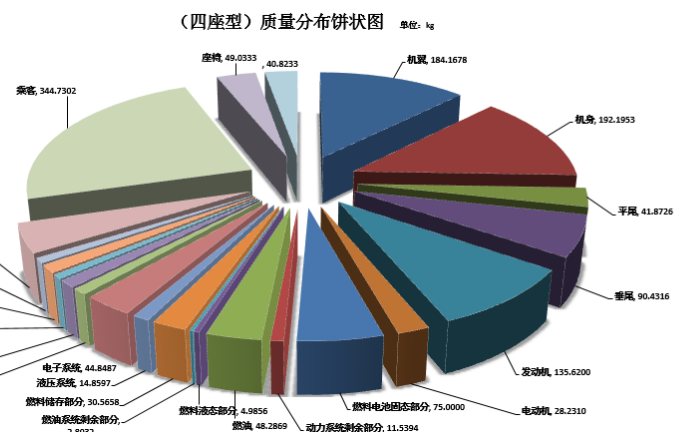
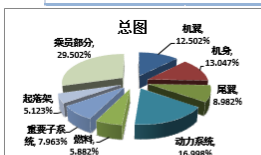




重量迭代分析-四座型



| | | 使用了复合材料 | | | 重心位置 | | 乘积 | 占比 | | | |
|-------|----------|---------|-----------|-----------|--------|----------|-----------|----------|----------|-----------|--------------------|
| | | 软糖系数 | 重量/磅lb | 重量/kg | 距离机头/m | 距离翼根前缘/m | | | | | |
| 机翼 | 机翼 | 0.78 | 406.0206 | 184.1678 | 3.5424 | 0.7424 | 652.3961 | 12.111% | 12.111% | 空机重心/m | 3.6335 |
| 机身 | 机身 | 0.85 | 571.2200 | 259.1010 | 3.7830 | 0.9830 | 980.1791 | 17.039% | 17.039% | | |
| 尾翼 | 平尾 | 0.75 | 92.3133 | 41.8726 | 8.6850 | 5.8850 | 363.6636 | 8.701% | 2.754% | 空机重量/kg | 1034.2314 |
| | 垂尾 | | 199.3676 | 90.4316 | 7.5625 | 4.7625 | 683.8891 | | 5.947% | | |
| 动力系统 | 发动机 | / | 298.9910 | 135.6200 | 1.2375 | -1.5625 | 167.8298 | 16.466% | 8.919% | 满载重心/m | 3.6855 |
| | 电动机 | / | 62.2387 | 28.2310 | | | 34.9359 | | 1.857% | | |
| | 燃料电池固态部分 | / | 165.3467 | 75.0000 | | | 92.8125 | | 4.932% | | |
| | 动力系统剩余部分 | / | 25.4400 | 11.5394 | | | 14.2800 | | 0.759% | | |
| 燃料 | 燃油 | / | 106.4544 | 48.2869 | 3.3514 | 0.5514 | 161.8287 | 6.412% | 3.175% | 满载重量/kg | 1520.6413 |
| | 燃料液态部分 | / | 22.0145 | 9.9856 | | | 33.4657 | | 0.657% | | |
| | 燃油系统剩余部分 | / | 6.1800 | 2.8032 | | | 9.3946 | | 0.184% | | |
| | 燃料储存部分 | / | 67.3861 | 30.5658 | | | 102.4382 | | 2.010% | | |
| | 燃油储存箱 | / | 12.9290 | 5.8645 | | | 3.5424 | | 0.7424 | | |
| 重要子系统 | 液压系统 | / | 32.7600 | 14.8597 | 4.3450 | 1.5450 | 64.5653 | 7.714% | 0.977% | 平飞重心/m | 3.6824 |
| | 电子系统 | / | 98.8744 | 44.8487 | 3.5550 | 0.7550 | 159.4370 | | 2.949% | | |
| | 内部装饰 | / | 29.6190 | 13.4350 | 3.9750 | 1.1750 | 53.4039 | | 0.884% | | |
| | 电气系统 | / | 35.9132 | 16.2900 | 3.9650 | 1.1650 | 64.5897 | | 1.071% | | |
| | 环控系统 | / | 21.8172 | 9.8961 | | | 39.2381 | | 0.651% | | |
| | 飞控系统 | / | 39.6320 | 17.9768 | | | 71.2779 | 1.182% | 平飞重量/kg | 1452.1122 | |
| 起落架 | 前起落架 | 0.88 | 15.0024 | 6.8050 | 1.2000 | -1.6000 | 8.1660 | 2.978% | 0.448% | 气动焦点/m | 3.6809+0.25*1.316= |
| | 主起落架 | | 84.8206 | 38.4740 | 3.9650 | 1.1650 | 152.5493 | | 2.530% | | |
| 乘员部分 | 乘客 | / | 760.0000 | 344.7302 | 3.8500 | 1.0500 | 1327.2111 | 28.579% | 22.670% | 3.853 | |
| | 座椅 | / | 108.1000 | 49.0333 | | | 188.7783 | | 3.225% | | |
| | 行李 | / | 90.0000 | 40.8233 | | | 157.1697 | | 2.685% | | |
| 总计 | | / | 3352.4407 | 1520.6413 | / | / | 5604.2739 | 100.000% | 100.000% | | |



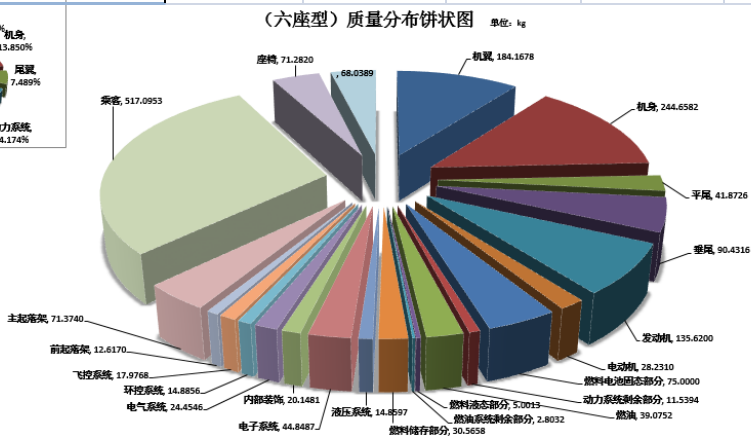
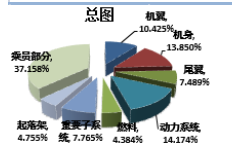


重量迭代分析-六座型

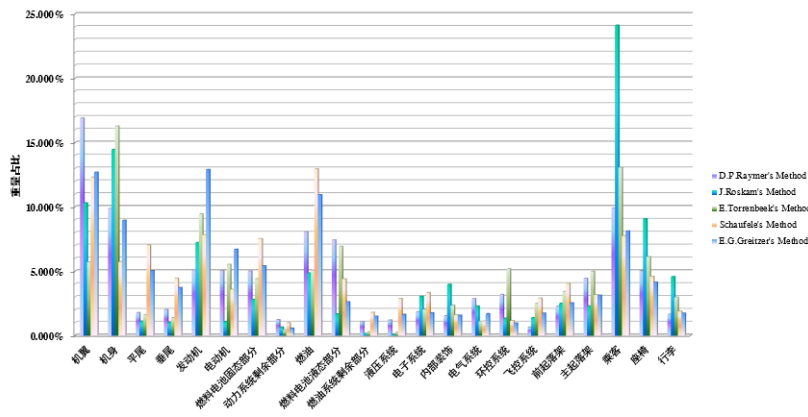


六座型

| | | 使用了复合材料 | | | 重心位置 | | 乘积 | 占比 | | | | |
|-------|----------|---------|-----------|-----------|---------|----------|-----------|----------|----------|---------|-------------------------|-----------|
| | | 软糖系数 | 重量/磅lb | 重量/kg | 距离机头/m | 距离翼根前缘/m | | | | | | |
| 机翼 | 机翼 | 0.78 | 406.0206 | 184.1678 | 4.0494 | 0.8494 | 745.7692 | 10.124% | 10.124% | 空机重心/m | 4.0497 | |
| 机身 | 机身 | 0.85 | 708.3450 | 321.2998 | 4.4830 | 1.2830 | 1440.3872 | 17.663% | 17.663% | | | |
| 尾翼 | 平尾 | 0.75 | 92.3133 | 41.8726 | 10.1950 | 6.9950 | 426.8912 | 7.273% | 2.302% | 空机重量/kg | 1137.3361 | |
| | 垂尾 | | 199.3676 | 90.4316 | 7.5625 | 4.3625 | 683.8891 | | | | | 4.971% |
| 动力系统 | 发动机 | / | 298.9910 | 135.6200 | 1.2375 | -1.9625 | 167.8298 | 13.765% | 7.456% | 满载重心/m | 4.1504 | |
| | 电动机 | / | 62.2387 | 28.2310 | | | 34.9359 | | | | | 1.552% |
| | 燃料电池固态部分 | / | 165.3467 | 75.0000 | | | 92.8125 | | | | | 4.123% |
| | 动力系统剩余部分 | / | 25.4400 | 11.5394 | | | 14.2800 | | | | | 0.634% |
| 燃料 | 燃油 | / | 86.1461 | 39.0752 | 3.7514 | 0.5514 | 146.5867 | 4.778% | 2.148% | 满载重量/kg | 1819.0359 | |
| | 燃料液态部分 | / | 19.8445 | 9.0013 | | | 33.7675 | | | | | 0.495% |
| | 燃油系统剩余部分 | / | 6.1800 | 2.8032 | | | 10.5159 | | | | | 0.154% |
| | 燃料储存部分 | / | 67.3861 | 30.5658 | | | 114.6645 | | | | | 1.680% |
| | 燃油储存箱 | / | 12.0472 | 5.4645 | | | 4.0494 | | | | | 0.300% |
| 重要子系统 | 液压系统 | / | 32.7600 | 14.8597 | 4.7450 | 1.5450 | 70.5092 | 7.541% | 0.817% | 平飞重心/m | 4.1382 | |
| | 电子系统 | / | 98.8744 | 44.8487 | 3.9550 | 0.7550 | 177.3765 | | | | | 2.466% |
| | 内部装饰 | / | 44.4190 | 20.1481 | 4.3750 | 1.1750 | 88.1480 | | | | | 1.108% |
| | 电气系统 | / | 53.9132 | 24.4546 | 4.3650 | 1.1650 | 106.7444 | | | | | 1.344% |
| | 环控系统 | / | 32.8172 | 14.8856 | | | 64.9758 | | | | | 0.818% |
| | 飞控系统 | / | 39.6320 | 17.9768 | 78.4686 | 0.988% | 平飞重量/kg | | | | | 1749.6767 |
| | 起落架 | 前起落架 | 0.88 | 16.6890 | 7.5700 | 1.2000 | | | | | | |
| 主起落架 | | 94.3667 | | 42.8040 | 4.3190 | 1.1190 | 184.8705 | 2.353% | | | | |
| 乘员部分 | 乘客 | / | 1140.0000 | 517.0952 | 4.3190 | 1.1190 | 2233.3343 | 36.086% | 28.427% | 气动焦点/m | 4.1353+0.25*1.316=4.301 | |
| | 座椅 | / | 157.1500 | 71.2820 | | | 307.8671 | | | | | 3.919% |
| | 行李 | / | 150.0000 | 68.0388 | | | 293.8598 | | | | | 3.740% |
| 总计 | | / | 4010.2882 | 1819.0359 | / | / | 7549.6955 | 100.000% | 100.000% | | | |



(六座型)不同算法下的各组分重量占比

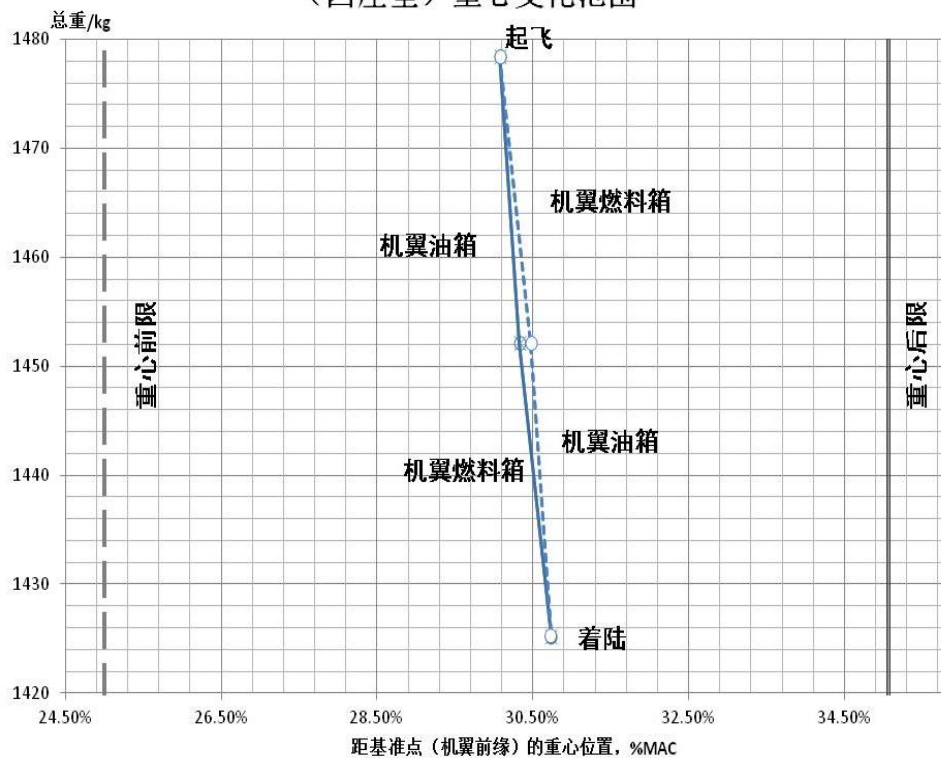




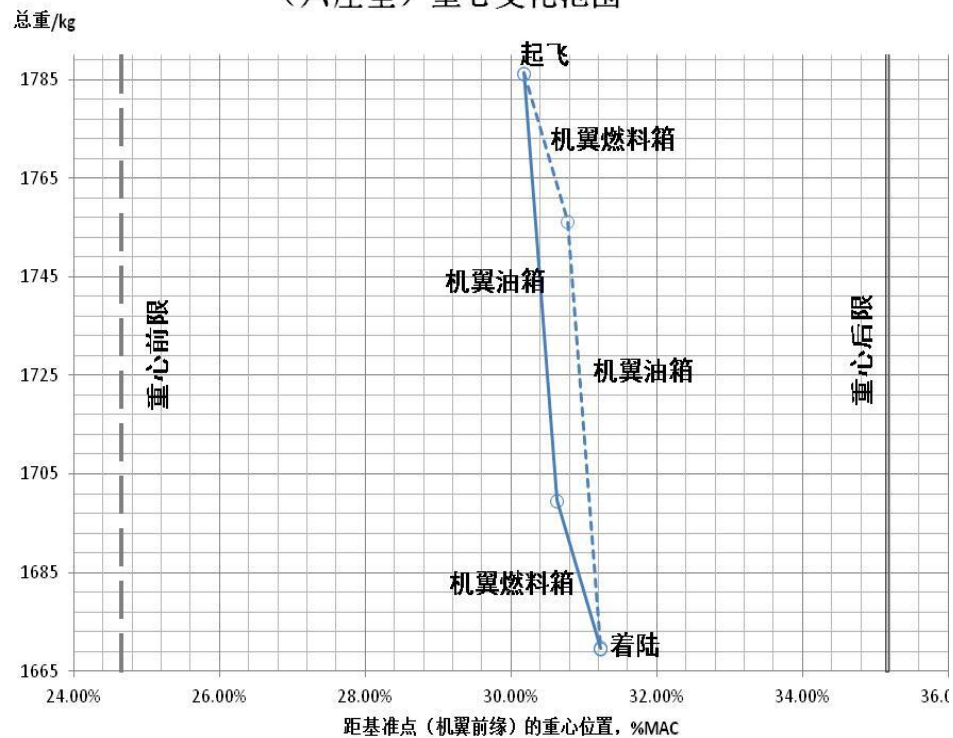
重量迭代分析-重心云图



(四座型) 重心变化范围

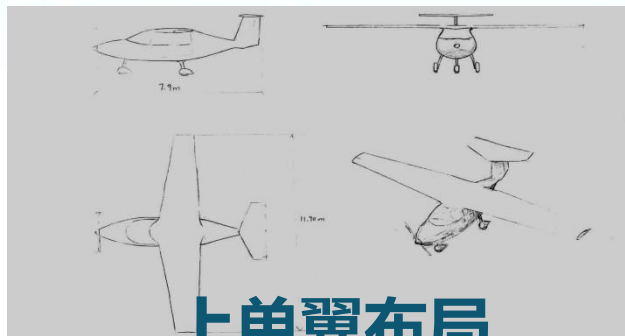


(六座型) 重心变化范围

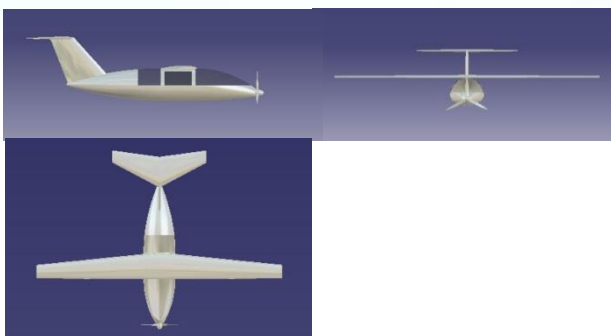




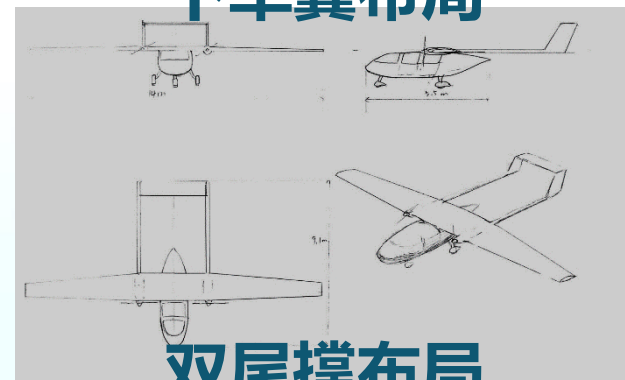
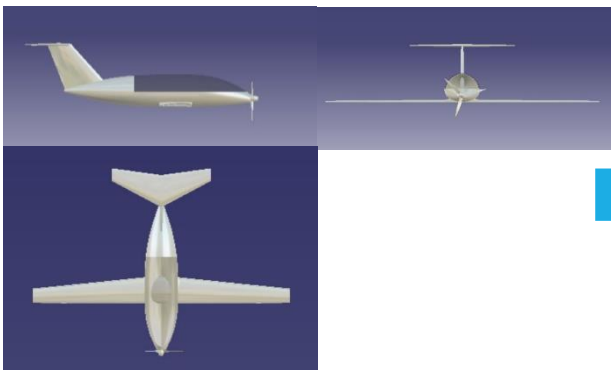
方案迭代及最终方案



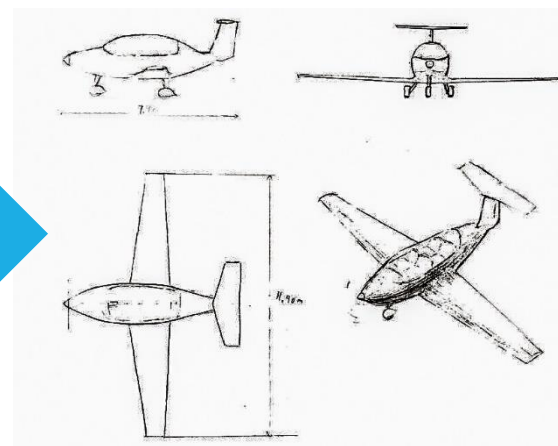
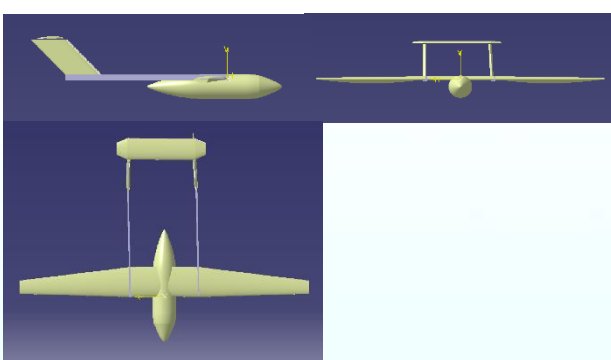
上单翼布局



下单翼布局



双尾撑布局



下单翼布局



方案迭代及最终方案



机翼

| | |
|----------|----------------------|
| 机翼相对面积S | 15.38 m ² |
| 机翼翼展b | 12.89 m |
| 翼根弦长Cr | 1.641 m |
| 翼梢弦长Cl | 0.746 m |
| 平均气动弦长 | 1.250 m |
| 平均气动弦位置 | 2.819m |
| 根梢比 | 2.2 |
| 机翼展弦比A | 10.8 |
| 前缘后掠角 | 2度 |
| 后缘后掠角 | 5.55度 |
| 1/4弦线后掠角 | 0.8度 |
| 上反角 | 6度 |
| 安装角 | 2度 |
| 扭转角 | -2.8度 |
| 重量 | 184.1678kg |

尾翼

| 垂尾参数 | 数值 | 平尾参数 | 数值 |
|----------------------|--------|----------------------|--------|
| 尾容量 | 0.048 | 尾容量 | 0.430 |
| 面积 (m ²) | 1.570 | 面积 (m ²) | 1.350 |
| 展长 (m) | 1.5 | 展长 (m) | 3.00 |
| 尖弦长 (m) | 0.6 | 尖弦长 (m) | 0.300 |
| 根弦长 (m) | 1.5 | 根弦长 (m) | 0.60 |
| 根弦距机身轴线 (m) | 0.30 | 根弦距机身轴线 (m) | 1.35 |
| 前缘后掠角 (°) | 40.9 | 前缘后掠角 (°) | 11.310 |
| 安装角 (°) | 0 | 安装角 (°) | -1.2 |
| 扭转角 (°) | 0 | 扭转角 (°) | 0 |
| 尖削比 | 0.4 | 尖削比 | 0.50 |
| 平均气动弦长 | 1.05 | 平均气动弦长 | 0.450 |
| 尾力臂 (m) | 6.25 | 尾力臂 (m) | 6.042 |
| 重量 (kg) | 68.107 | 重量 (kg) | 25.873 |

副翼

| | |
|------|--------------------------|
| 相对弦长 | 20%=0.2386m |
| 面积 | 12%=1.8456m ² |
| 展长 | 2.45m |

襟翼

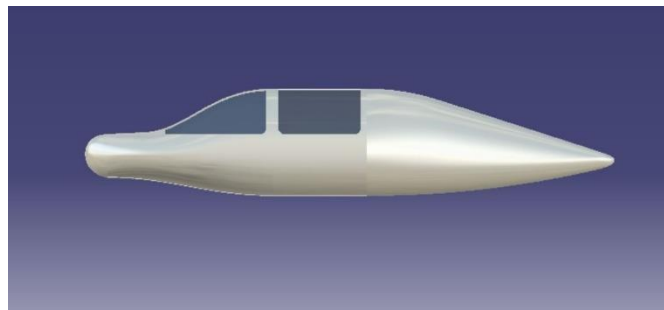
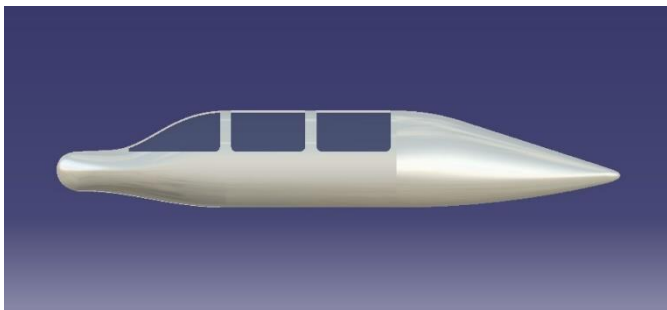
| | |
|------|--------------------------|
| 相对弦长 | 23%=0.27439m |
| 面积 | 12%=1.8456m ² |
| 展长 | 1.9m |



结构设计 – 机身设计

机身具体参数:

| | 四座性 | 六座型 |
|----------------------|-------|-------|
| 全机长 | 7.75m | 9.25m |
| 断面最大当量直径 | 1.71m | 1.71m |
| 机身高度 | 1.7m | 1.7m |
| 机身前段长度 | 2.6m | 2.6m |
| 机身中段长度 | 1.5m | 3m |
| 机身尾部长度 | 3.65m | 3.65m |
| $\lambda_{\text{身}}$ | 4.53 | 5.41 |
| $\lambda_{\text{头}}$ | 1.52 | 1.52 |
| $\lambda_{\text{尾}}$ | 2.13 | 2.13 |



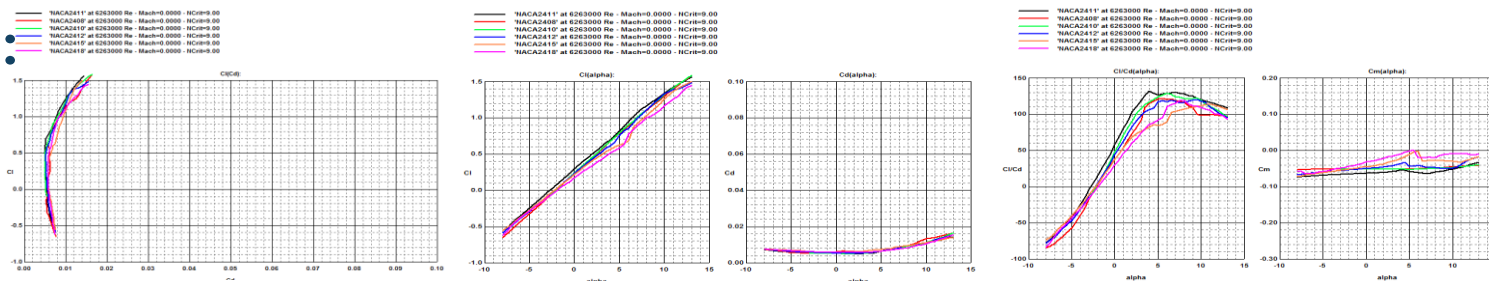


气动设计 - 翼型&尾翼设计



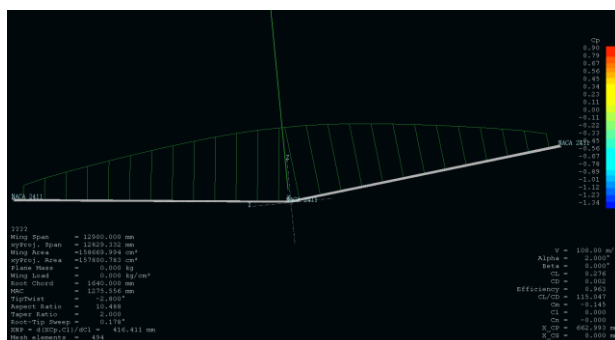
机翼翼型选择:

NACA2411

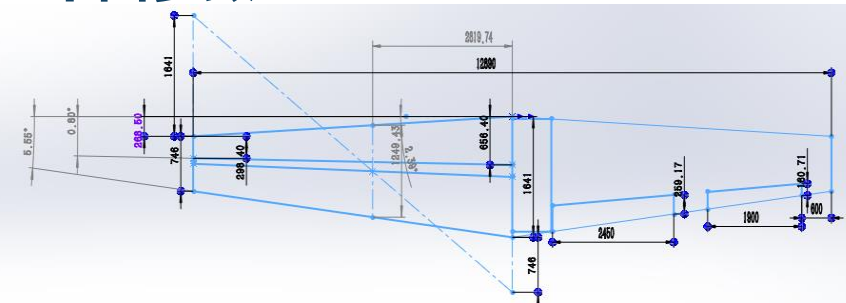


扭转角: -2.8度

根梢比: 2.2

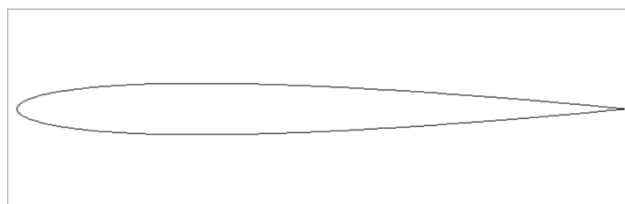


平面参数:

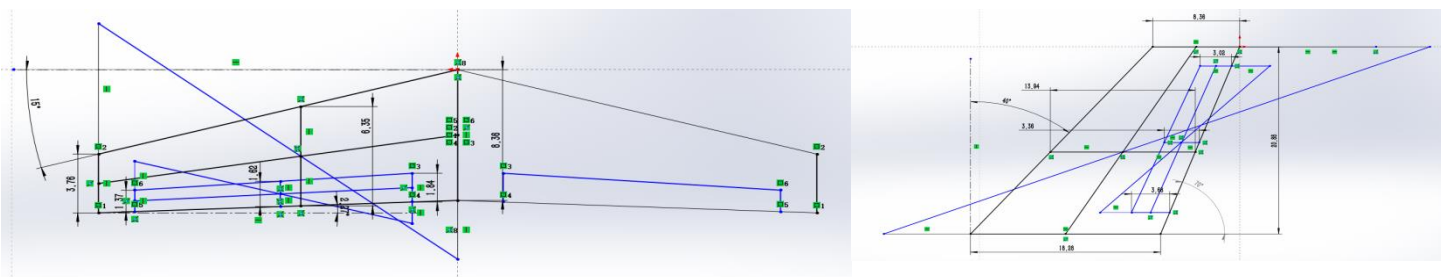


尾翼翼型选择:

NACA0009



平面参数:

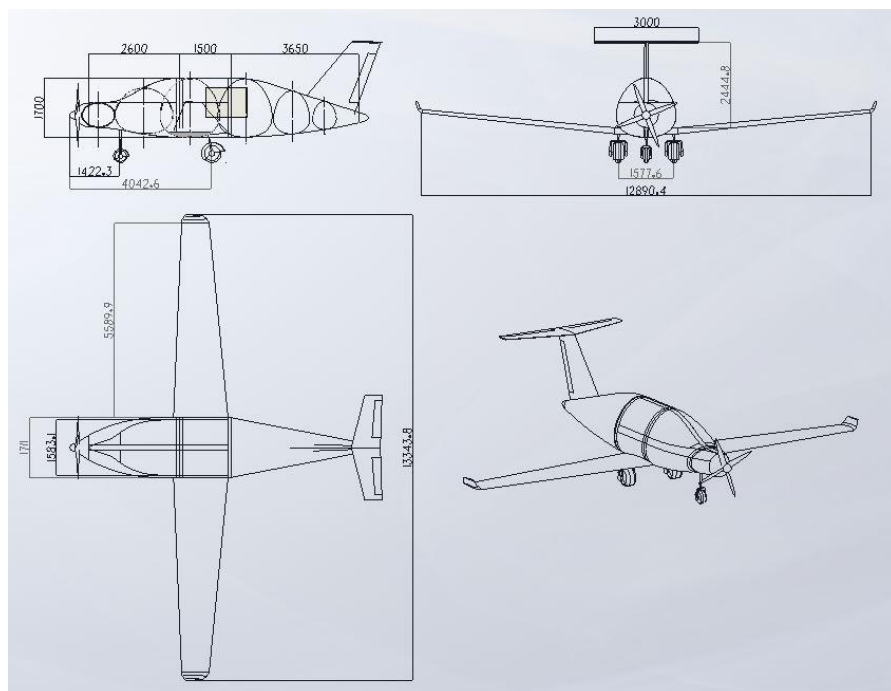




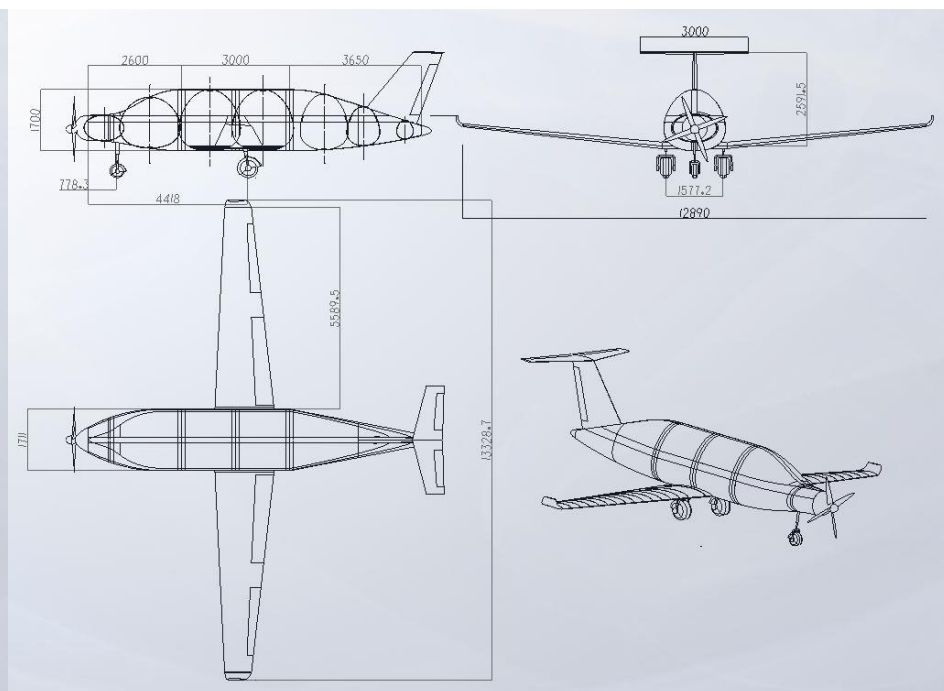
气动设计 - 三面图设计



四座型



六座型





结构设计 - 机翼设计



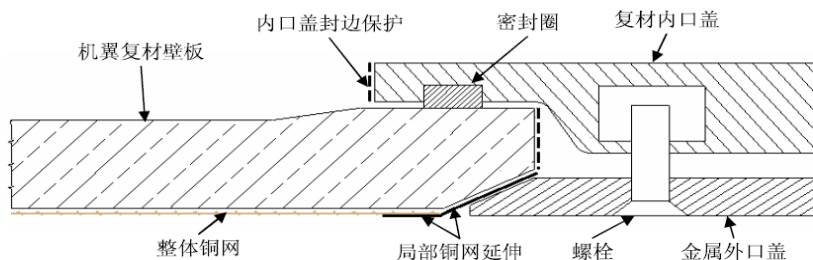
机翼结构



复合材料整体化壁板结构



检修口盖设计



材料选择

| 机翼部件 | 材料型式 | 重量kg |
|------------|---------------|-------|
| 翼梁与机身的接头部分 | 结构钢 | 5.42 |
| 机翼的前缘 | 玻璃钢 | 3.5 |
| 机翼的后缘 | TiGr 层板 | 9.04 |
| 机翼壁板 | 7075 铝合金 | 123.9 |
| 机翼大梁结构 | 7475-T7351铝合金 | 42.3 |

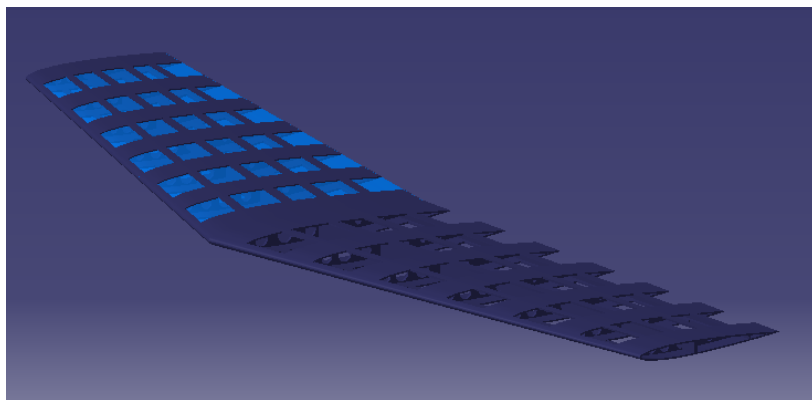
| 翼盒 部件 | 材料牌号 | 重量kg |
|-------|--------------|------|
| 上蒙皮 | BAMS 532-027 | 1.8 |
| 上蒙皮长桁 | BAMS 532-027 | 1.8 |
| 下蒙皮 | BAMS 532-027 | 1.8 |
| 下蒙皮长桁 | BAMS 532-027 | 1.8 |
| 梁 | BAMS 532-027 | 1.8 |
| 肋 | 铝合金7475 | 2.78 |



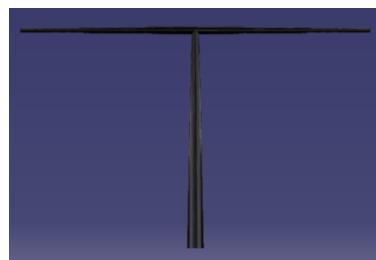
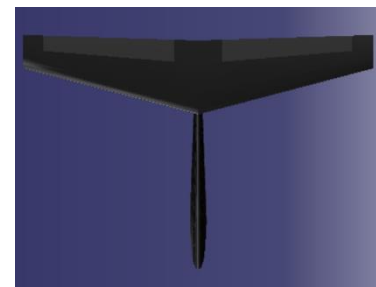
结构设计 - 尾翼&起落架



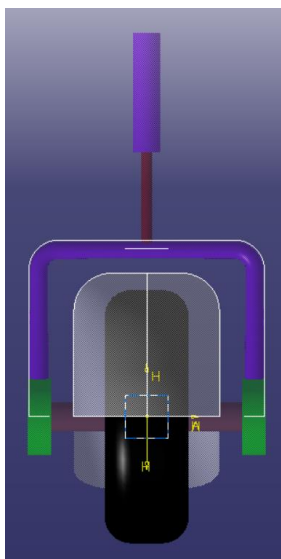
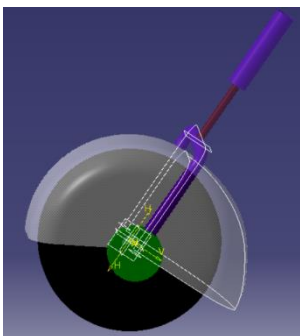
尾翼结构



梁式翼面结构



起落架设计



| 4座 | 型号 | 层级 | 轮胎类型 | 轮胎外径/mm | 断面宽度/mm | 重量/kg |
|----------|--------------|----|------|---------|---------|--------|
| 主起落架 | 20.5*6.75-10 | 12 | TT | 51.979 | 17.408 | 38.474 |
| 前起落架 | 6.00-6 | 4 | TT | 41.584 | 13.927 | 6.805 |
| 起落架总重/kg | | | | | | 45.279 |

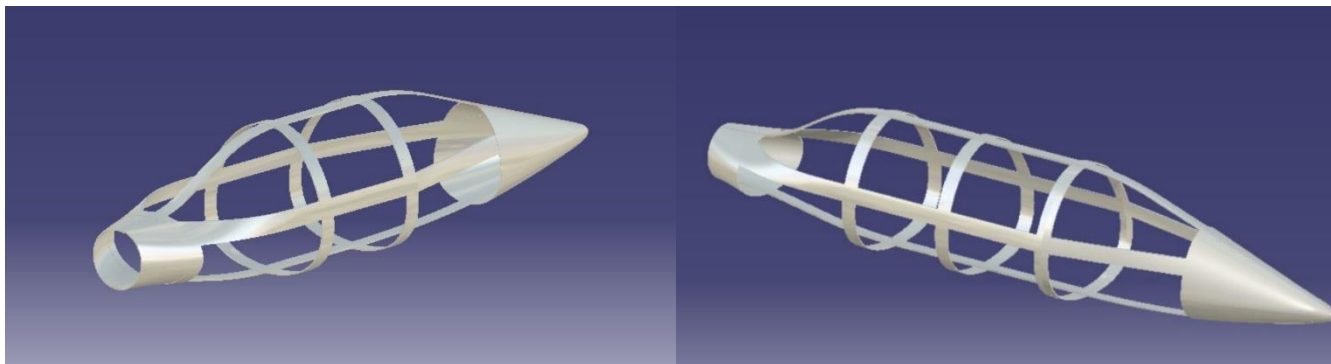
| 6座 | 型号 | 层级 | 轮胎类型 | 轮胎外径/mm | 断面宽度/mm | 重量/kg |
|----------|------------|----|------|---------|---------|--------|
| 主起落架 | 21*7.25-10 | 8 | TT | 54.066 | 18.008 | 4.804 |
| 前起落架 | 6.00-6 | 6 | TT | 43.253 | 14.407 | 7.570 |
| 起落架总重/kg | | | | | | 50.374 |



结构设计 – 机身设计



**机身结构：
桁梁式结构**



机身长度

四座：7.75m

六座：9.25m

机身材料选择

机身蒙皮厚度：2.5mm 机身蒙皮材料：碳纤维

全景天窗厚度：5mm（多层粘合而成）等效密度： $1 \times 10^3 \text{kg/m}^3$

受力层：强硅酸盐玻璃

保护层：半钢化玻璃

电加热层：氧化锡膜

中间层：改性PVB中间膜

包边材料：GS系列包边材料

机身结构材料选择：10%铝合金2024、10%铝锂合金8090、80%碳纤维（BAMS）
等效密度： $1.98 \times 10^3 \text{kg/m}^3$

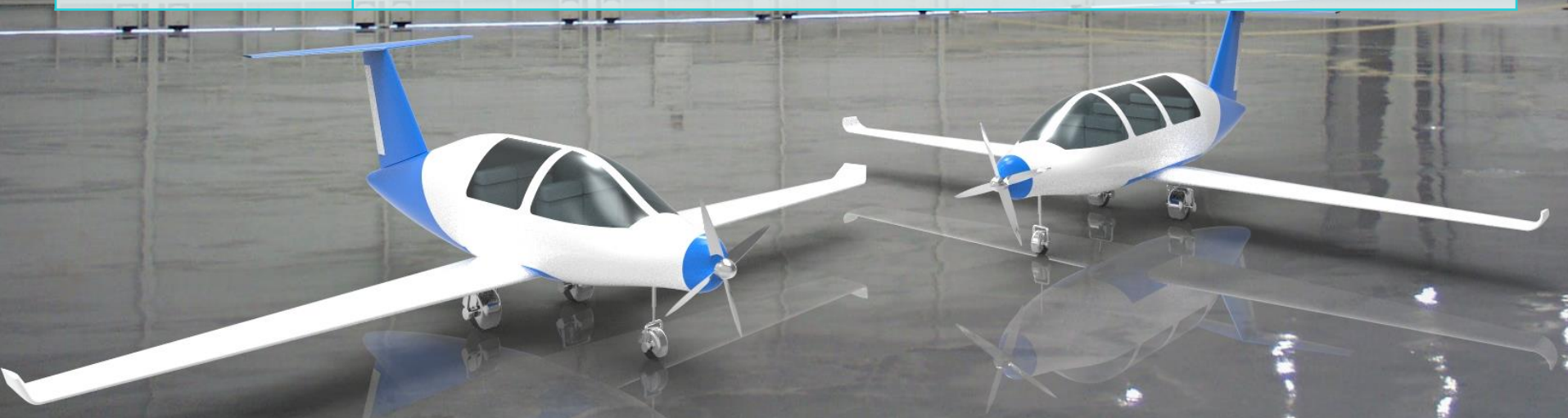
总质量：六座：321.3kg 四座：259.1kg



四六座75%通用性



| | | |
|--------|---|---|
| 通用部分 | 推进系统 (Propulsion System) 全部 (电动机, 发动机, 及其他) 质量: 175.4kg | 机体结构 (Airframe) 机身前段, 机身尾段, 机翼 平尾, 垂尾, 起落架 质量: 505.3kg |
| 非通用部分 | 无 | 机身中段 四座: 70.3kg 六座: 132.5kg |
| 分系统通用性 | 100% | 87.8% |
| 总通用性 | 90.6% | |

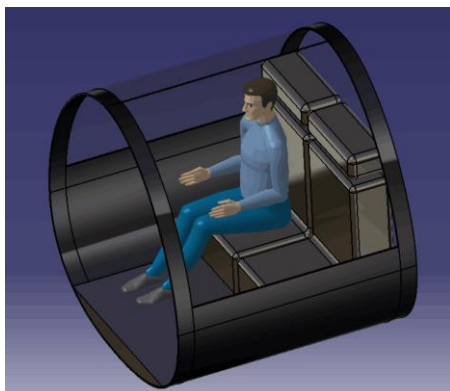




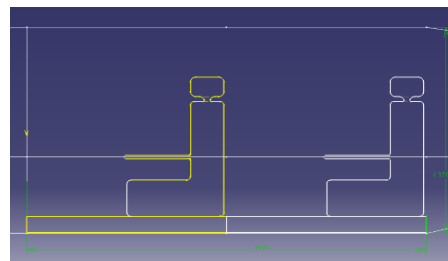
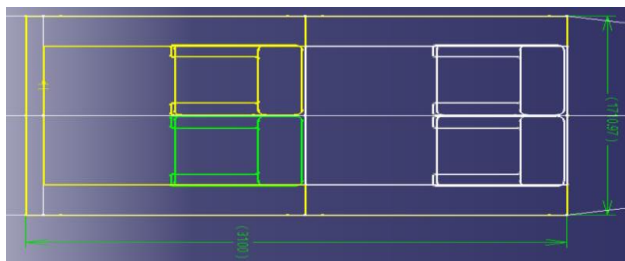
结构设计 - 客舱设计



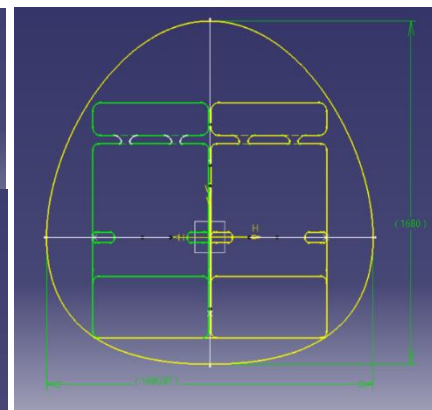
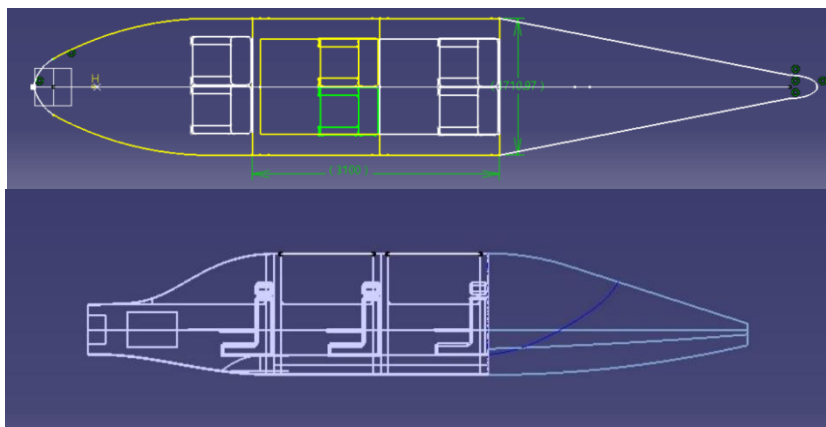
客舱段设计



四座客舱设计

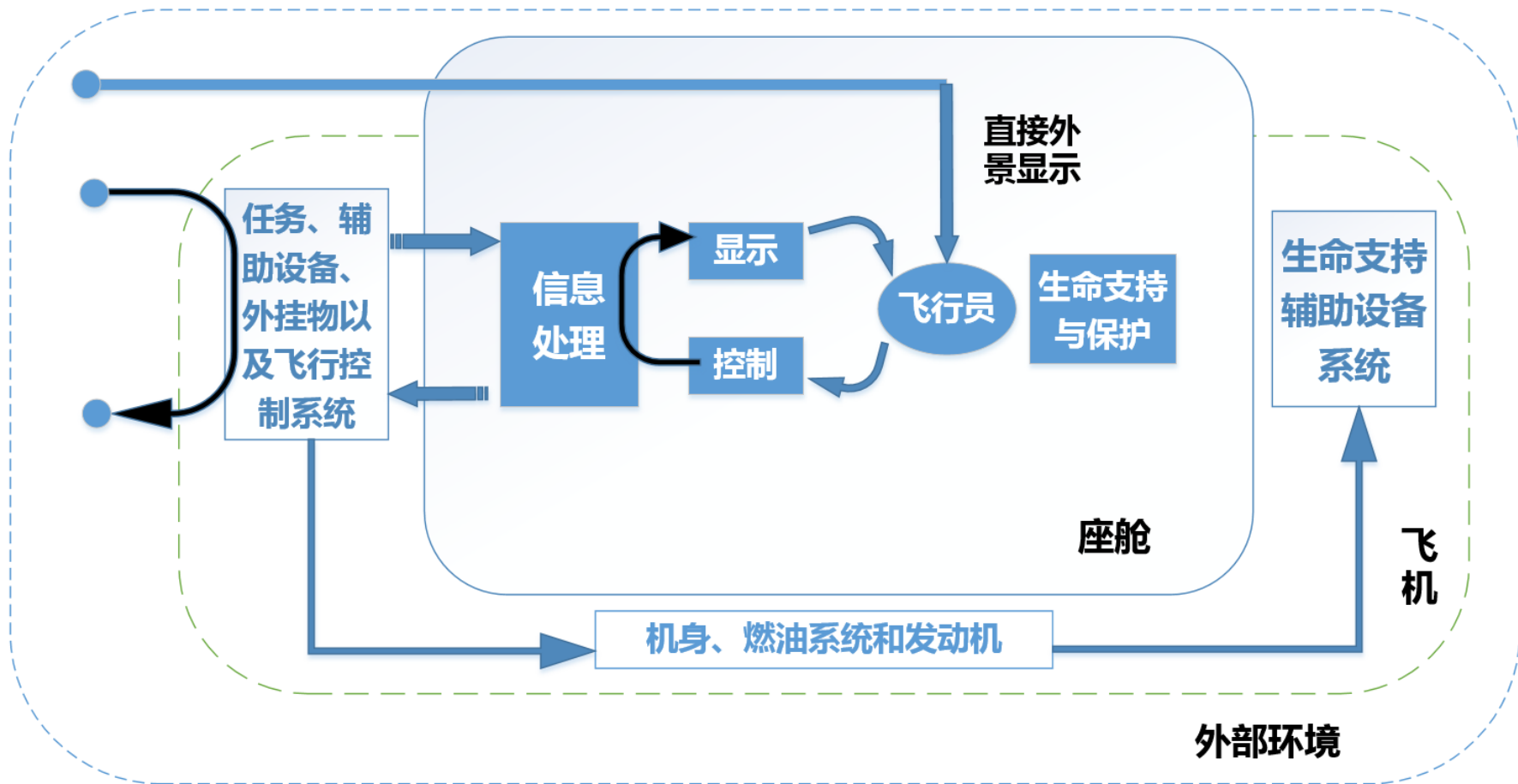


六座客舱设计





飞机系统布置

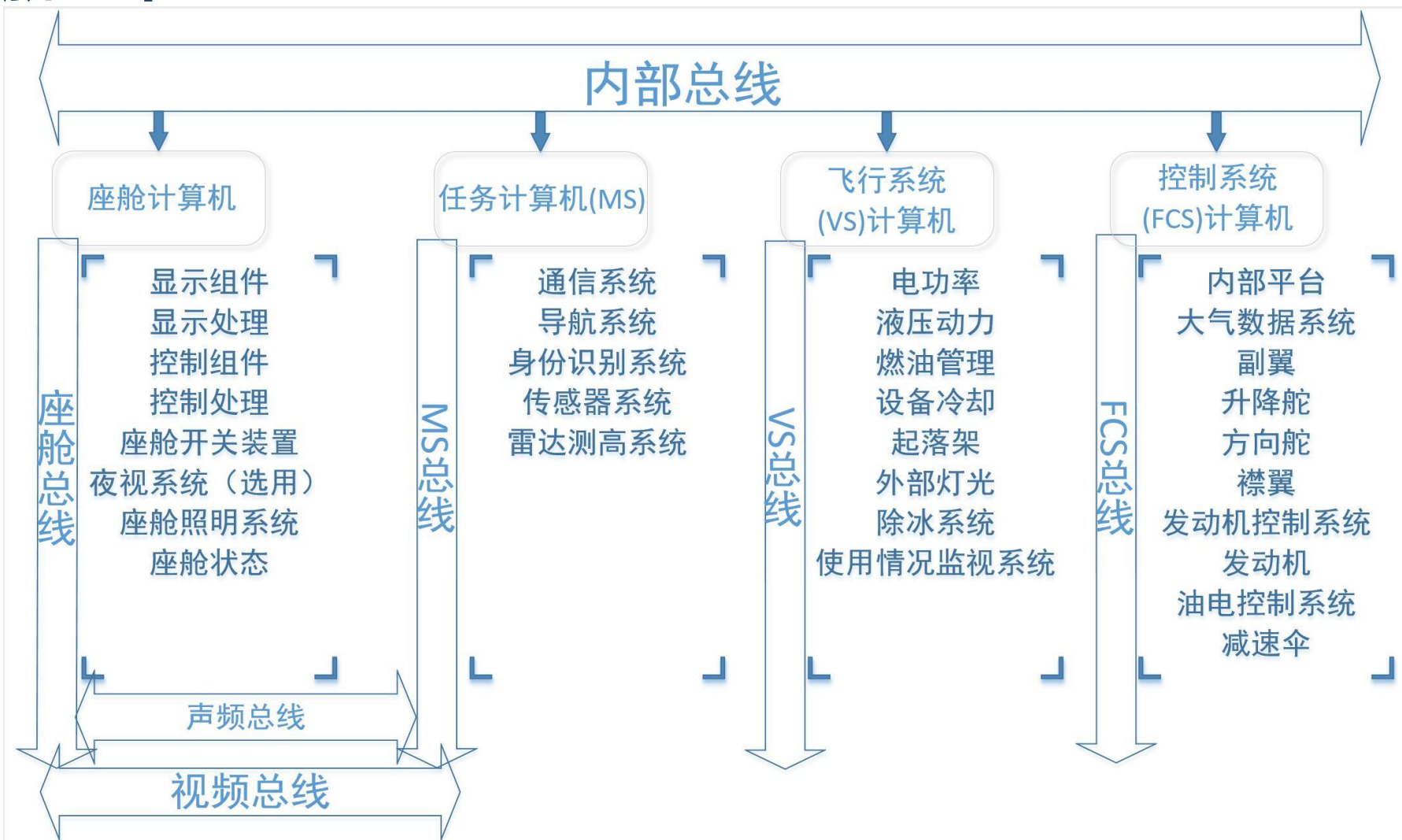




结构设计 - 航电设计



航电布置





航电设计 – 自动驾驶仪选择



查阅市场上的通用飞机

| 飞机型号 | 最大巡航时长 | 有无自动驾驶仪 |
|---------|--------|---------|
| 塞斯纳172 | 5.2h | 有 |
| 塞斯纳182 | 6.37h | 有 |
| 塞斯纳206H | 4.9h | 有 |
| 豪客比奇G58 | 5.28h | 有 |
| 西锐SR22 | 5.74h | 有 |

“云雀”

| | | |
|---------|-------|---|
| “云雀” 四座 | 5.94h | 有 |
| “云雀” 六座 | 5.13h | 有 |



结构设计 – 航电设计



航电子系统

北斗导航定位系统

长风机械仪表系统

柯林斯FCC -4000数字飞行控制计算机

柯林斯FMS -4100飞行管理系统

柯林斯VHF -422A通信收发器w/8.33
kHz间隔

柯林斯VIR -432导航接收机

柯林斯ADF -462自动定向仪

柯林斯DME -442测距设备

柯林斯ADC -850A大气数据计算机

柯林斯ALT - 55雷达高度表

柯林斯TCAS II交通防撞系统

柯林斯GPS -4000S GPS定位系统

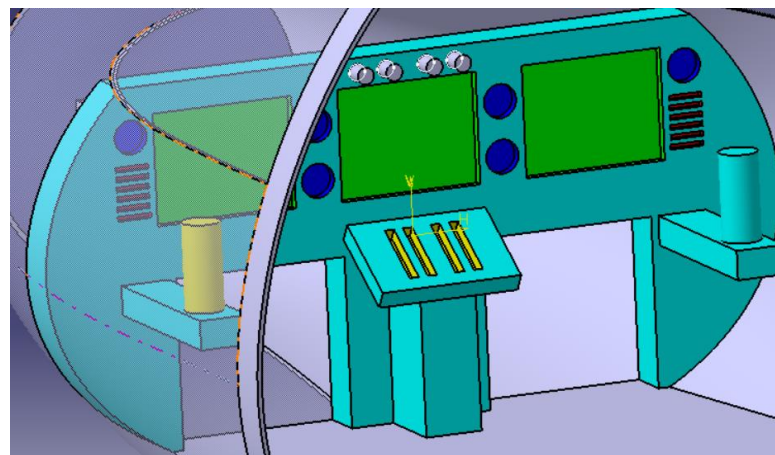
柯林斯RIU -4000数据链

霍尼韦尔L-3通信出租舱语音记录器

霍尼韦尔L-3通信飞行数据记录器

霍尼韦尔DU-1310液晶触摸屏

霍尼韦尔环控增压系统

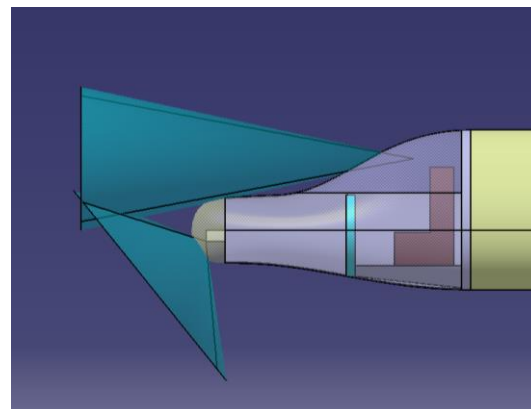
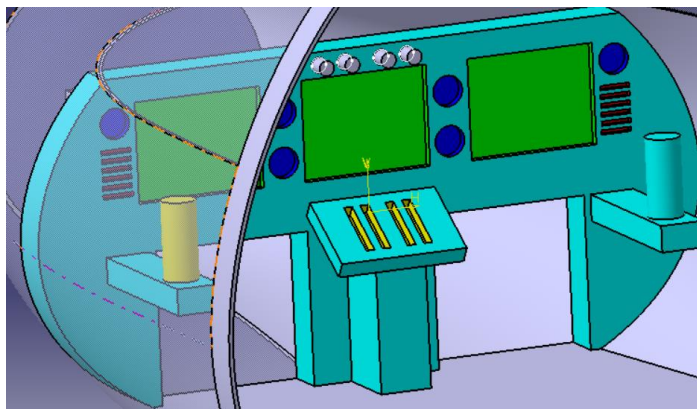




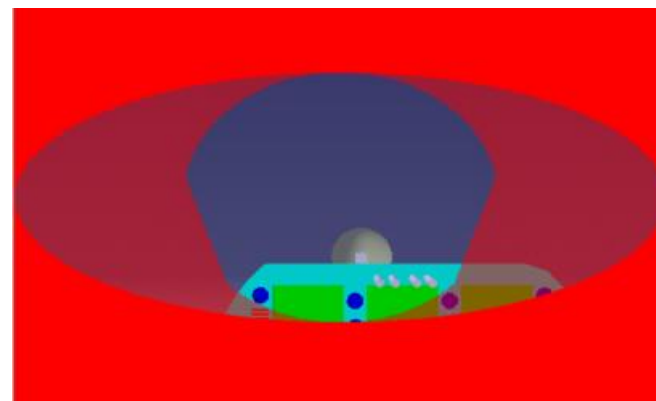
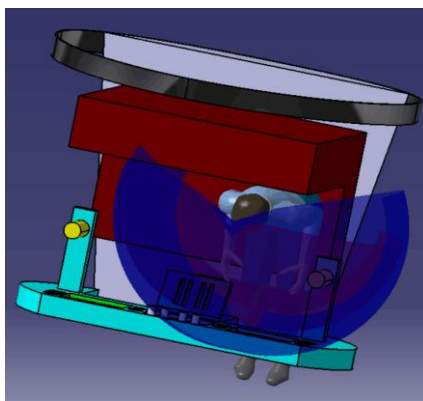
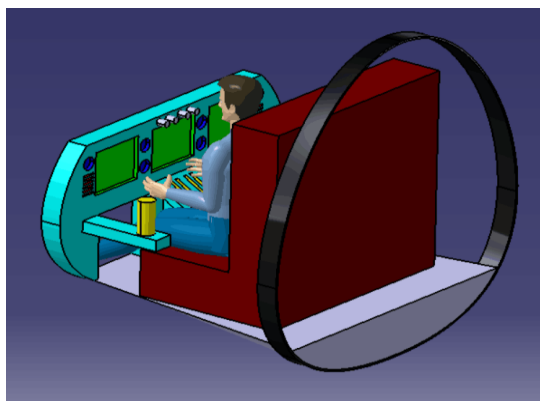
结构设计 – 驾驶舱设计



驾驶舱设计



人机效能分析





最终方案总体布置



四座



六座

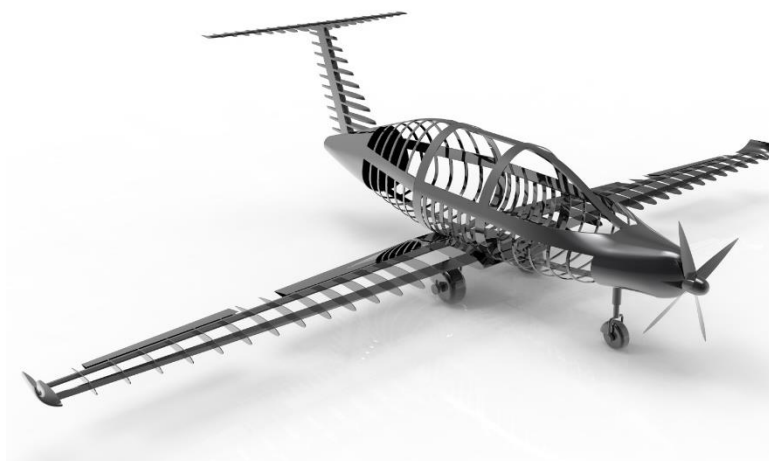




最终方案总体布置



四座



六座





最终方案效果图





最终方案效果图





最终方案效果图



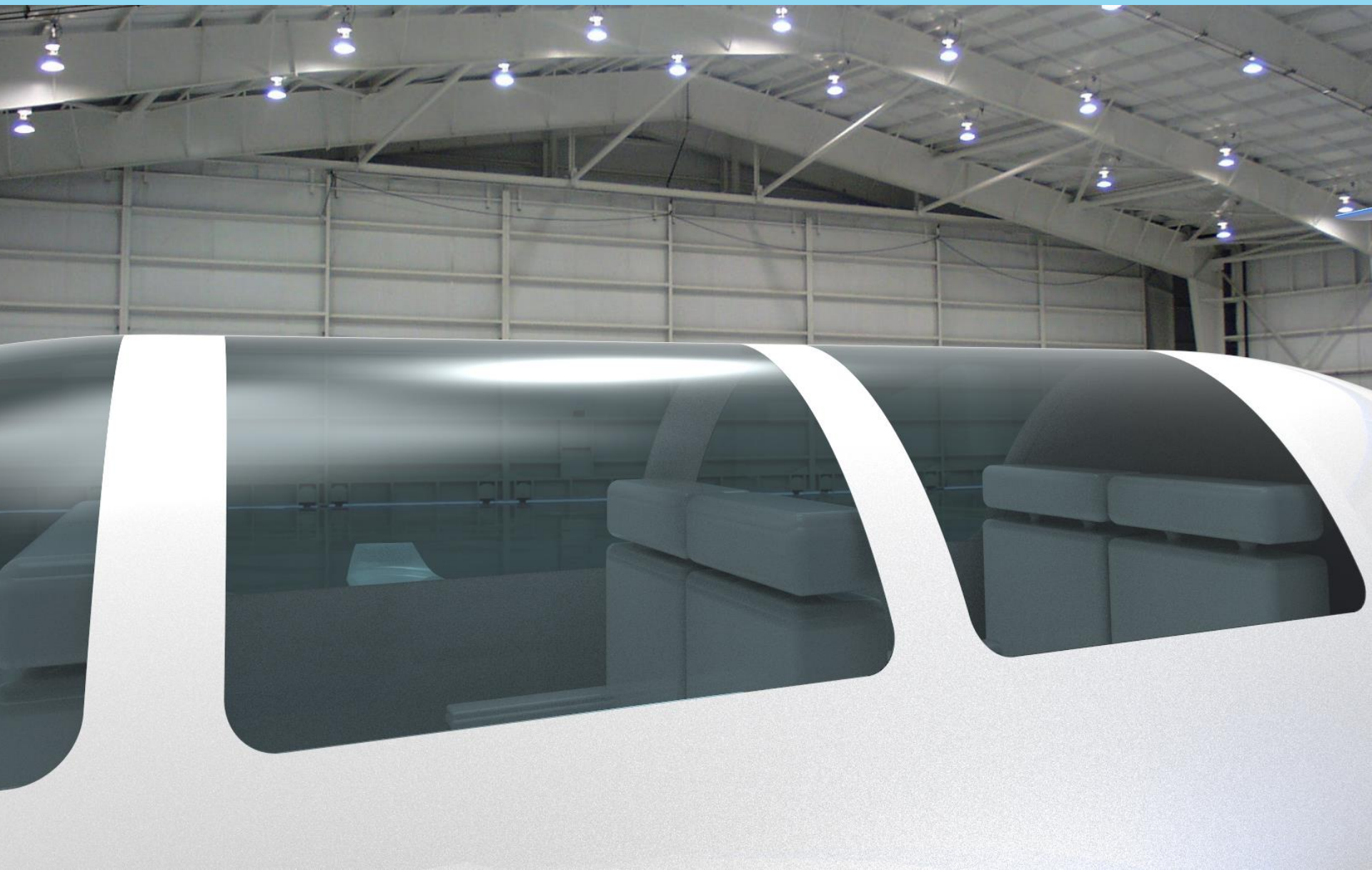


最终方案效果图





最终方案近景图





总体布置 - CATIA质量特性评估



四座型 CATIA质量特性评估

| | | 使用了复合材料 | | | 重心位置 | | 乘积 | 占比 | | | |
|---------|----------|---------|-----------|-----------|---------|----------|-----------|----------|----------|---------------------------------------|--|
| | | 软糖系数 | 重量/磅lb | 重量/kg | 距离机头/m | 距离翼根前缘/m | | | | | |
| 机翼 | 机翼 | / | 384.0206 | 174.1888 | 3.5424 | 0.7424 | 617.0464 | 11.614% | 11.614% | 空机重心/m 3.6335 | |
| 机身 | 机身 | / | 571.2245 | 259.1030 | 3.7830 | 0.9830 | 980.1868 | 17.276% | 17.276% | | |
| 尾翼 | 平尾 | / | 68.3133 | 30.9864 | 8.6850 | 5.8850 | 269.1168 | 7.188% | 2.066% | 空机重量/kg 1034.2314 | |
| | 垂尾 | / | 169.3676 | 76.8238 | 7.5625 | 4.7625 | 580.9803 | | 5.122% | | |
| 动力系统 | 发动机 | / | 298.9910 | 135.6200 | 1.2375 | -1.5625 | 167.8298 | 16.695% | 9.043% | | |
| | 电动机 | / | 62.2387 | 28.2310 | | | 34.9359 | | 1.882% | | |
| | 燃料电池固态部分 | / | 165.3467 | 75.0000 | | | 92.8125 | | 5.001% | | |
| | 动力系统剩余部分 | / | 25.4400 | 11.5394 | | | 14.2800 | | 0.769% | | |
| 燃料 | 燃油 | / | 106.4544 | 48.2869 | 3.3514 | 0.5514 | 161.8287 | 6.501% | 3.220% | 满载重心/m 3.6008 | |
| | 燃料液态部分 | / | 22.0145 | 9.9856 | | | 33.4657 | | 0.666% | | |
| | 燃油系统剩余部分 | / | 6.1800 | 2.8032 | | | 9.3946 | | 0.187% | | |
| | 燃料储存部分 | / | 67.3861 | 30.5658 | | | 102.4382 | | 2.038% | | |
| | 燃油储存箱 | / | 12.9290 | 5.8645 | | | 20.7744 | | 0.391% | | |
| 重要子系统 | 液压系统 | / | 32.7600 | 14.8597 | 4.3450 | 1.5450 | 64.5653 | 7.822% | 0.991% | 平飞重心/m 3.6824 | |
| | 电子系统 | / | 98.8744 | 44.8487 | 3.5550 | 0.7550 | 159.4370 | | 2.990% | | |
| | 内部装饰 | / | 29.6190 | 13.4350 | 3.9750 | 1.1750 | 53.4039 | | 0.896% | | |
| | 电气系统 | / | 35.9132 | 16.2900 | 3.9650 | 1.1650 | 64.5897 | | 1.086% | | |
| | 环控系统 | / | 21.8172 | 9.8961 | | | 39.2381 | | 0.660% | | |
| | 飞控系统 | / | 39.6320 | 17.9768 | | | 71.2779 | | 1.199% | | |
| 起落架 | 前起落架 | / | 35.0024 | 15.8768 | 1.2000 | -1.6000 | 19.0522 | 3.926% | 1.059% | 平飞重量/kg 1452.1122 | |
| | 主起落架 | / | 94.8206 | 43.0099 | 3.9650 | 1.1650 | 170.5342 | | 2.868% | | |
| 乘员部分 | 乘客 | / | 760.0000 | 344.7302 | 3.8500 | 1.0500 | 1327.2111 | 28.977% | 22.985% | 气动焦点/m 3.6809+0.25*1.316= 3.853 | |
| | 座椅 | / | 108.1000 | 49.0333 | | | 188.7783 | | 3.269% | | |
| | 行李 | / | 90.0000 | 40.8233 | | | 157.1697 | | 2.722% | | |
| 总计 | | / | 3306.4452 | 1499.7781 | / | / | 5400.3476 | 100.000% | 100.000% | | |
| 起落架布置参数 | | 主轮距 | 前主轮距 | 前起参考高度 | 主起参考高度 | 停机角 | 擦地角 | 防倒立角 | 防侧翻角 | | |
| | | 1.6m | 3.119m | 0.8526m | 0.7511m | 3° | 15° | 17° | 60° | | |



总体布置 - CATIA质量特性评估



六座型 CATIA质量特性评估

| | | 使用了复合材料 | | | 重心位置 | | 乘积 | 占比 | | | |
|---------|----------|---------|-----------|-----------|---------|----------|-----------|----------|----------|---------|--------------------|
| | | 软糖系数 | 重量/磅lb | 重量/kg | 距离机头/m | 距离翼根前缘/m | | | | | |
| 机翼 | 机翼 | / | 384.0206 | 174.1888 | 4.0494 | 0.8494 | 705.3601 | 9.687% | 9.687% | | |
| 机身 | 机身 | / | 708.3450 | 321.2998 | 4.4830 | 1.2830 | 1440.3872 | 17.868% | 17.868% | 空机重心/m | 4.0497 |
| 尾翼 | 平尾 | / | 68.3133 | 30.9864 | 10.1950 | 6.9950 | 315.9062 | 5.996% | 1.723% | | |
| | 垂尾 | / | 169.3676 | 76.8238 | 7.5625 | 4.3625 | 580.9803 | | 4.272% | | |
| 动力系统 | 发动机 | / | 298.9910 | 135.6200 | 1.2375 | -1.9625 | 167.8298 | 13.925% | 7.542% | 空机重量/kg | 1137.3361 |
| | 电动机 | / | 62.2387 | 28.2310 | | | 34.9359 | | 1.570% | | |
| | 燃料电池固态部分 | / | 165.3467 | 75.0000 | | | 92.8125 | | 4.171% | | |
| | 动力系统剩余部分 | / | 25.4400 | 11.5394 | | | 14.2800 | | 0.642% | | |
| 燃料 | 燃油 | / | 86.1461 | 39.0752 | 3.7514 | 0.5514 | 146.5867 | 4.833% | 2.173% | 满载重心/m | 4.0741 |
| | 燃料液态部分 | / | 19.8445 | 9.0013 | | | 33.7675 | | 0.501% | | |
| | 燃油系统剩余部分 | / | 6.1800 | 2.8032 | | | 10.5159 | | 0.156% | | |
| | 燃料储存部分 | / | 67.3861 | 30.5658 | | | 114.6645 | | 1.700% | | |
| | 燃油储存箱 | / | 12.0472 | 5.4645 | | | 22.1279 | | 0.304% | | |
| 重要子系统 | 液压系统 | / | 32.7600 | 14.8597 | 4.7450 | 1.5450 | 70.5092 | 7.629% | 0.826% | | |
| | 电子系统 | / | 98.8744 | 44.8487 | 3.9550 | 0.7550 | 177.3765 | | 2.494% | 平飞重心/m | 4.1382 |
| | 内部装饰 | / | 44.4190 | 20.1481 | 4.3750 | 1.1750 | 88.1480 | | 1.120% | | |
| | 电气系统 | / | 53.9132 | 24.4546 | 4.3650 | 1.1650 | 106.7444 | | 1.360% | | |
| | 环控系统 | / | 32.8172 | 14.8856 | | | 64.9758 | | 0.828% | | |
| | 飞控系统 | / | 39.6320 | 17.9768 | | | 78.4686 | | 1.000% | | |
| 起落架 | 前起落架 | / | 36.6890 | 16.6418 | | | 1.2000 | -2.0000 | 19.9702 | 3.558% | 0.925% |
| | 主起落架 | / | 104.3667 | 47.3399 | 4.3190 | 1.5190 | 204.4612 | 2.633% | | | |
| 乘员部分 | 乘客 | / | 1140.0000 | 517.0952 | 4.3190 | 1.1190 | 2233.3343 | 36.505% | 28.757% | 气动焦点/m | 4.1353+0.25*1.316= |
| | 座椅 | / | 157.1500 | 71.2820 | | | 307.8671 | | 3.964% | | |
| | 行李 | / | 150.0000 | 68.0388 | | | 293.8598 | | 3.784% | | |
| 总计 | | / | 3964.2882 | 1798.1706 | / | / | 7325.8695 | 100.000% | 100.000% | | |
| 起落架布置参数 | | 主轮距 | 前主轮距 | 前起参考高度 | 主起参考高度 | 停机角 | 擦地角 | 防倒立角 | 防侧翻角 | | |
| | | 1.6m | 2.765m | 0.9522m | 0.8553m | 3° | 15° | 17° | 60° | | |



动力系统设计



一、动力分析

| | 油实际输出/最大输出 | 电实际输出/最大输出 | 四座型时间min | 六座型时间min |
|----|------------|------------|----------|----------|
| 起飞 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 爬升 | 1 | 1 | 4 | 4.5 |
| 待机 | 0.2 | 0.3 | 12 | 12 |
| 爬升 | 1 | 1 | 4.5 | 5 |
| 巡航 | 0.6 | 0.52 | 45 | 30 |
| 下降 | 0 | 0.2 | 12 | 14.5 |
| 观光 | 0 | 0.987 | 170 | 100 |
| 爬升 | 1 | 1 | 8.5 | 9.5 |
| 巡航 | 0.6 | 0.52 | 45 | 30 |
| 下降 | 0 | 0.2 | 12 | 14.5 |
| 待机 | 0.2 | 0.3 | 15 | 15 |
| 下降 | 0 | 0.2 | 5 | 5.5 |
| 着陆 | 0 | 0.2 | 0.5 | 0.5 |

$$P = W_0 g \left(v_y + \frac{3v}{4K} + \frac{(v^2 - v_{qf}^2)}{2gTime} \right)$$

$$P_{oil} + P_{electric} = 300kW$$

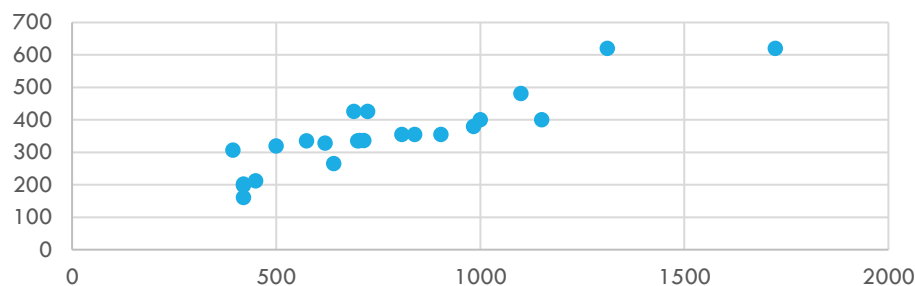
$$P = F_f V_{xh} = \frac{W_0}{K} V_{xh} = 1850 \times 9.8 \div 12 \times 100 \approx 151.083kW$$

$$\begin{cases} x + y = 270kW \\ 0.6x + 0.52y = 151.083kW \end{cases}$$

起飞功率要求206.995kW(175.9KW四座)

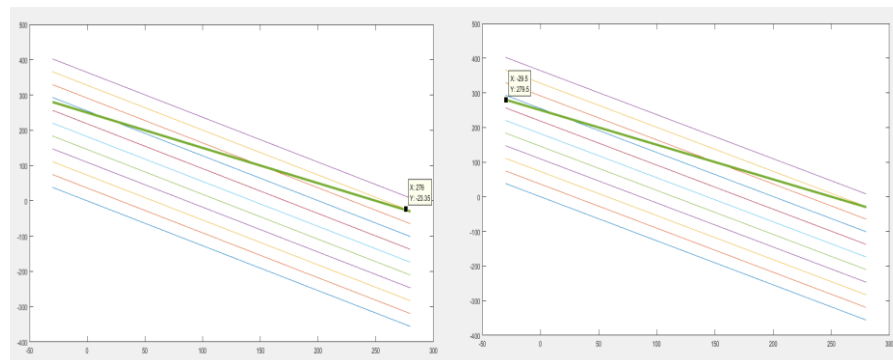
巡航功率要求约148kW(126.5kW四座)

发动机质量lb-功率shp散点图



线性回归斜率0.396lb/shp(0.2445kg/kW)

控制方程: $z = z_0 + 0.244528x + 0.1923y$



估算动力系统质量: 108.83-124.4984kg



动力系统设计



二、发动机与电动机选型

发动机：Lycoming AEIO-360-A四缸活塞式发动机



功率200HP 转速2700r/min 高度19.35inch
宽度34.25 inch 长度29.81inch 干重299LBS (135.62341kg)

电动机：西门子新款电动机（借鉴SP260D）

电动机150kW 质量28.846kg
电动机效率为95%

燃料电池：质子交换膜氢燃料电池

最高的功率密度3.1kW/L,2.0kW/kg
燃料电池的质量为75kg 体积为45L 参考尺寸：3*3*5dm
储氢罐内径0.4m 高度0.211m质量40kg 电池续航大于835km.

锂电池电池：航电系统供电

功率密度0.4kWh/kg
飞行6小时 按工作时间为8h 功率1kW 质量为20kg.



动力系统设计

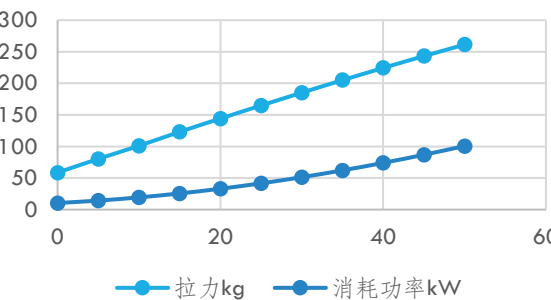


三、螺旋桨配置

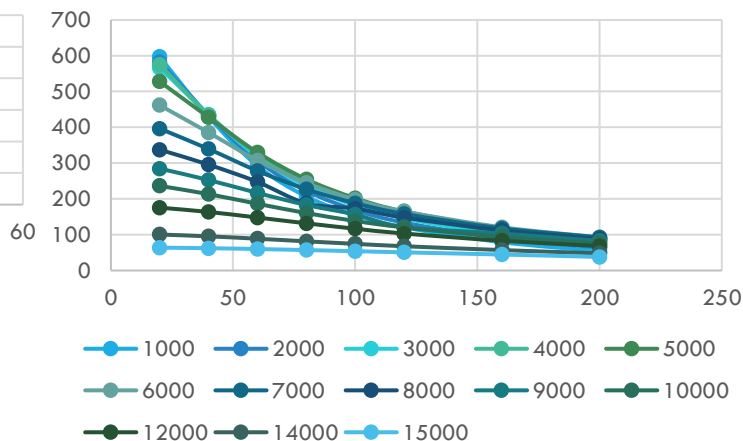
螺旋桨参数：

| 项目 | 空速 km/h | 螺距 Inch | 直径 Inch | 拉力 Kg | 功率 kW | 效率 |
|----|------------|------------|------------|----------|----------|--------|
| 巡航 | 370.4 | 138 | 78 | 125.89 | 137.9 | 90.473 |
| 起飞 | 0 | 6.41 | 78 | 440.07 | 135 | 0 |

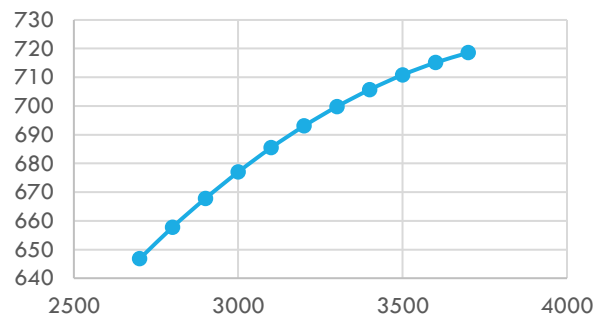
拉力功率-螺距变化曲线



高度，螺旋桨拉力-速度曲线



最大静拉力-转速曲线

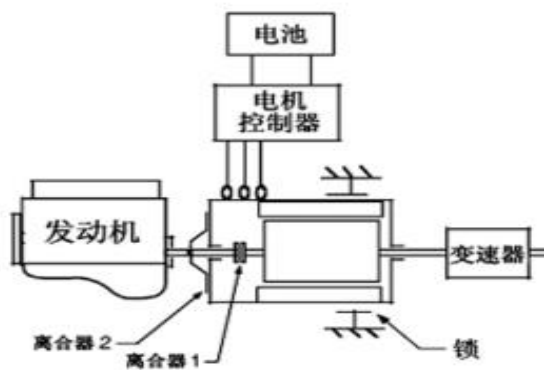




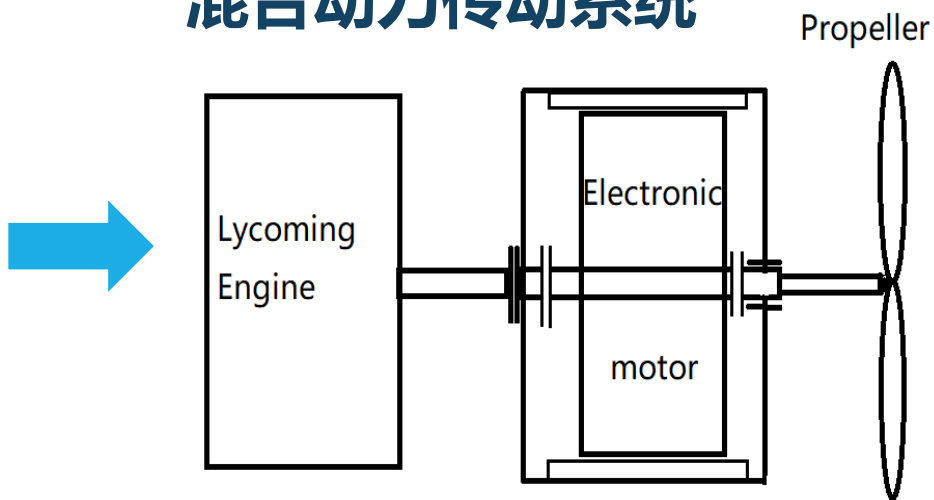
动力系统设计



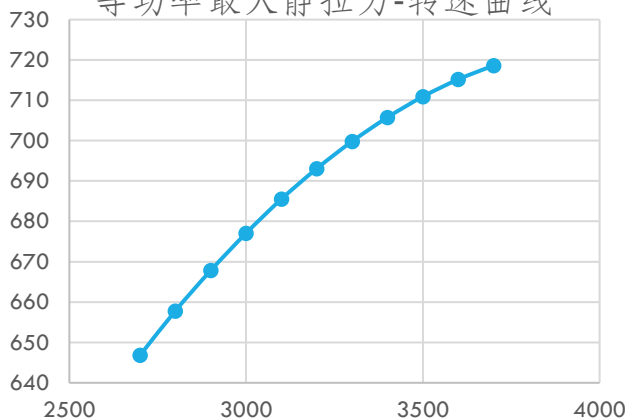
三、传动系统 传动系统：



转矩耦合与速度耦合 混合动力传动系统



等功率最大静拉力-转速曲线



- 1. 节省空间，布置更加合理
- 2. 速度耦合能解决发动机的转速低的问题，提高效率



动力系统设计



四、能源安全性

储氢系统:

氢气蒸发耗散
时间 > 8 hours
(耗散率 0.7%)



飞行时间

$$T = \frac{L}{v} = \frac{1900 \text{ km}}{340 \text{ km/h}} < 7 \text{ h}$$

参考数据时间: 2001

表 5 国外车用液氢贮罐的技术数据

| 车辆名称 | 容积/L | 重量/kg | 蒸发率/(%) |
|-----------|------|-------|---------|
| GM (氢动一号) | 75 | 95 | 1~3 |
| BMW 745i | 130 | 70 | 2 |
| 武藏 2~5 | 82 | 50 | — |
| 武藏 6~7 | 150 | — | — |
| 未来的目标 | 130 | 30 | 0.7 |

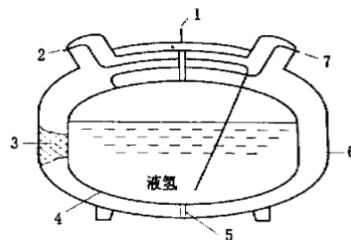
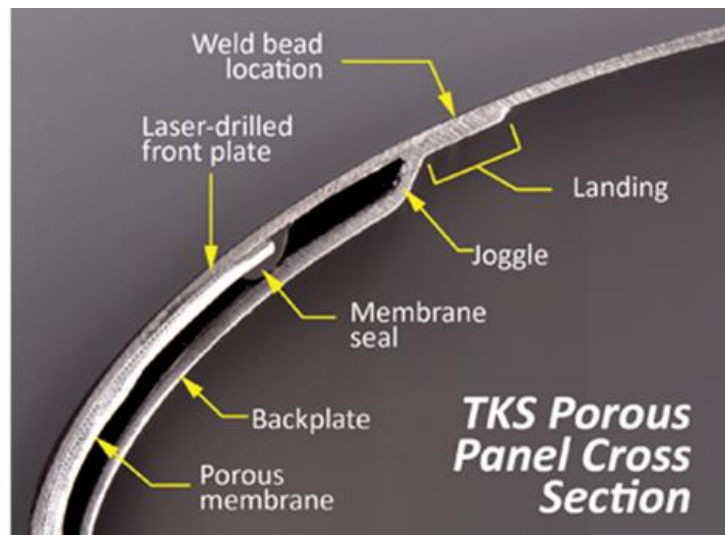
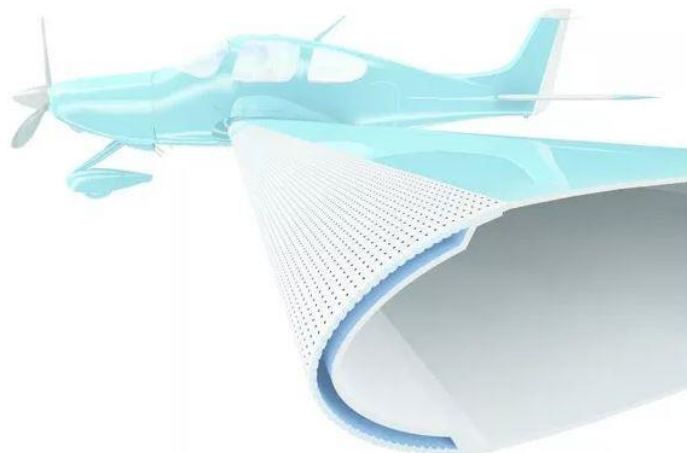


图 1 一种液氢容器的结构示意图
1. 引往发动机的出氢口; 2. 充装液氢用的插口接管; 3. 真空多层绝缘; 4. 铝合金内壳; 5. 用强化环氧树脂做成的内壳支撑; 6. 铝合金外壳; 7. 排放氢气用的接管口。

内径 0.4m
高度 0.211m
质量 40kg



TKS 冰防护系统:



- ◆ 机翼、尾翼：TKS布置于前缘，通过微纳激光孔渗透到表面并扩散到整个翼面
- ◆ 螺旋桨：用传统的抛冰环将TKS流体喷射到螺旋桨上，为螺旋桨提供防冰保护
- ◆ 空速管：电热防冰
- ◆ 发动机进气道前缘：气热防冰



先进技术- 创新点



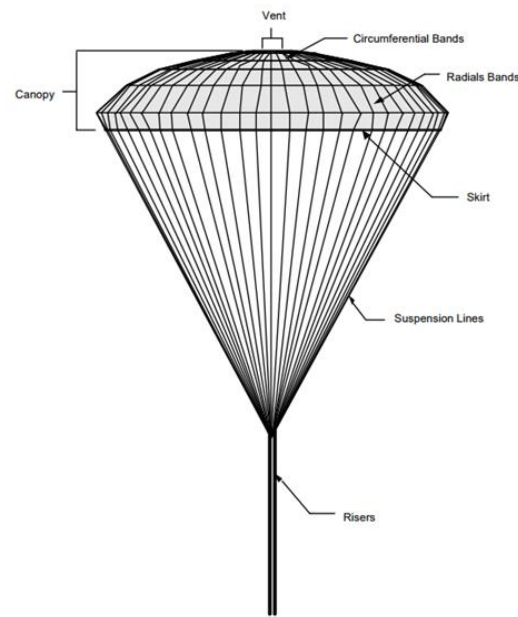
TKS 冰防护系统:



| 机型 | TKS空重 | TKS全重 (含流体) | 储存器体积 |
|-----|-------|-------------|-------|
| 四座型 | 23kg | 50kg | 24L |
| 六座型 | 25kg | 55kg | 27L |



整机降落伞系统：



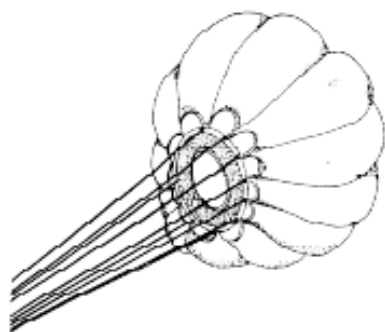
- 火箭将穿透尾撑处的玻璃盖，将两个前部连接吊带剥离飞机侧部蒙皮，并从飞机内部抽出后部吊带
- 系统启动后后部安全带一直处于短状态下，用以减小平飞速度
- 当平飞速度显著下降后，一个机械释放机构使得较长的部分得以释放而转换为长状态，使飞机以大约仰角 10° 的姿态落地，优化乘员保护。



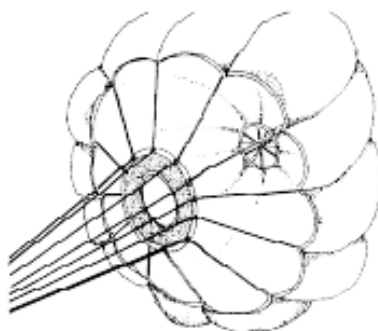
先进技术- 创新点



整机降落伞系统:



Maximum Reefed Condition



Disreefing



Full Canopy Deployment Condition

| 飞机类型 | 最大起飞重量 | APS总重 | 伞降承受过载 | 伞降着陆速度 |
|------|--------|-------------|--------|---------|
| 四座型 | 1517kg | (39.6±5) kg | <4G | <8.4m/s |
| 六座型 | 1780kg | (42.1±5) kg | <4G | <8.4m/s |



气动性能分析 – 干净构型升力特性



一、干净构型（巡航）

（一）机翼升力特性（翼型 NACA2411）

相关参数： $\bar{x}_l = 29.5\%$ $\frac{t}{c} = 11\%$ $\tau = 20.4^\circ$

1. 机翼翼型零升迎角： $\alpha_0 = -2.5^\circ$
2. 机翼翼型升力线斜率： $C_l^\alpha = 6.837/\text{rad}$
3. 机翼翼型最大升力系数和所对应的迎角： $C_{l_{\max}} = 0.82$ $\alpha_{C_{l_{\max}}} = 11.5^\circ$
4. 机翼零升迎角： $\alpha_{0,W} = -1.03^\circ$
5. 机翼升力线斜率： $C_{L,W}^\alpha = 5.570/\text{rad}$
6. 机翼最大升力系数和所对应的迎角： $C_{L_{\max,W}} = 1.503$ $\alpha_{C_{L_{\max,W}}} = 11^\circ$

（二）平尾升力特性（翼型 NACA0009）

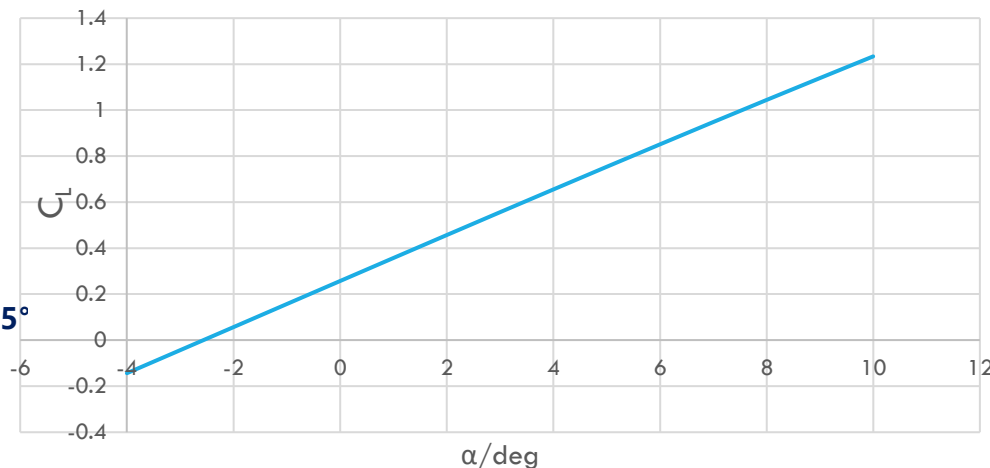
相关参数： $\bar{x}_l = 30\%$ $\frac{t}{c} = 9\%$ $\tau = 14.2^\circ$

1. 尾翼翼型零升迎角： $\alpha_0 = 0^\circ$
2. 尾翼翼型升力线斜率： $C_l^\alpha = 6.306/\text{rad}$
3. 尾翼翼型最大升力系数和所对应的迎角： $C_{l_{\max}} = 0.72$ $\alpha_{C_{l_{\max}}} = 12.5^\circ$
4. 尾翼零升迎角： $\alpha_{0,W} = 0^\circ$
5. 尾翼升力线斜率： $C_{L,W}^\alpha = 4.557/\text{rad}$
6. 尾翼最大升力系数和所对应的迎角： $C_{L_{\max,W}} = 1.017$ $\alpha_{C_{L_{\max,W}}} = 11.5^\circ$

（三）全机升力特性

1. 全机零升迎角： $\alpha_{0,W} = -0.98^\circ$
2. 全机升力线斜率： $C_{L,W}^\alpha = 5.570/\text{rad}$
3. 全机最大升力系数和所对应的迎角： $C_{L_{\max,W}} = 1.583$
 $\alpha_{C_{L_{\max,W}}} = 11^\circ$

干净构型全机升力曲线（线性段）





气动性能分析 – 起降构型升力特性



一、起降构型

(一) 起飞 ($\delta_f = 20^\circ$)

1. 襟翼偏转后的翼型 0° 迎角升力系数增量: $\Delta C_{l_i} = 1.066$
2. 襟翼偏转后的翼型升力线斜率: $C_{l_i, \delta}^\alpha = 7.681/\text{rad}$
3. 襟翼偏转后的翼型最大升力系数增量: $\Delta C_{l_{i, \max}} = 0.730$
4. 襟翼偏转后的机翼 0° 迎角升力系数增量: $\Delta C_{L_{W, 0}} = 0.708$
5. 襟翼偏转后的机翼升力线斜率: $C_{L_{W, \delta}}^\alpha = 6.12/\text{rad}$
6. 襟翼偏转后的机翼最大升力系数增量: $\Delta C_{L_{\max, W}} = 0.336$
7. 襟翼偏转后的全机 0° 迎角升力系数增量: $\Delta C_L = 0.689$
8. 襟翼偏转后的全机升力线斜率: $C_{L, \delta}^\alpha = 7.623/\text{rad}$
9. 襟翼偏转后的全机最大升力系数增量: $\Delta C_{L_{\max}} = 0.945$

注: 起飞迎角设定为 10° , 此时升力系数为 1.834

(二) 降落 ($\delta_f = 40^\circ$)

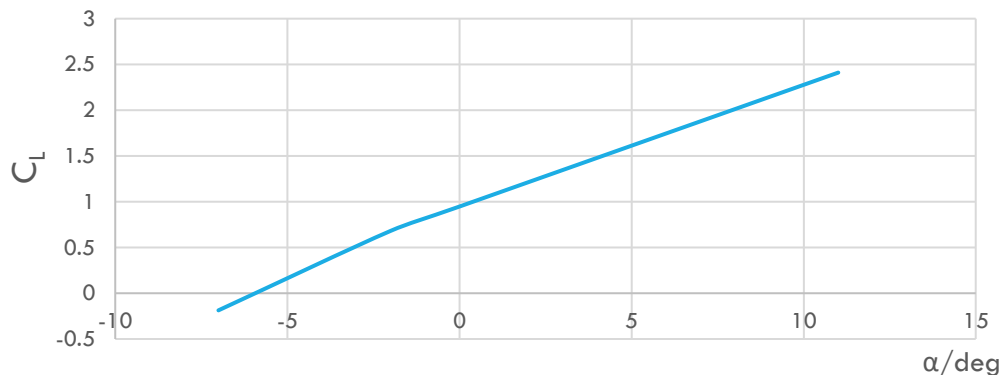
1. 襟翼偏转后的翼型 0° 迎角升力系数增量: $\Delta C_{l_i} = 1.492$
2. 襟翼偏转后的翼型升力线斜率: $C_{l_i, \delta}^\alpha = 7.681/\text{rad}$
3. 襟翼偏转后的翼型最大升力系数增量: $\Delta C_{l_{i, \max}} = 1.102$
4. 襟翼偏转后的机翼 0° 迎角升力系数增量: $\Delta C_{L_{W, 0}} = 0.991$
5. 襟翼偏转后的机翼升力线斜率: $C_{L_{W, \delta}}^\alpha = 6.12/\text{rad}$
6. 襟翼偏转后的机翼最大升力系数增量: $\Delta C_{L_{\max, W}} = 0.507$

7. 襟翼偏转后的全机 0° 迎角升力系数增量: $\Delta C_L = 0.926$

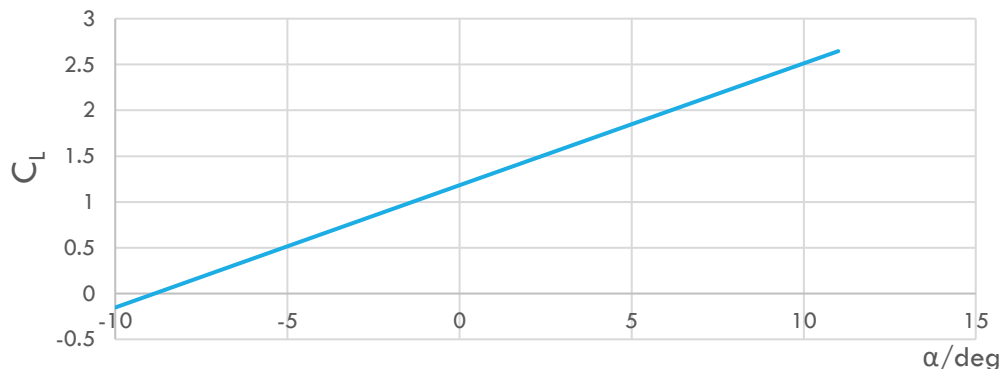
8. 襟翼偏转后的全机升力线斜率: $C_{L, \delta}^\alpha = 7.623/\text{rad}$

9. 襟翼偏转后的全机最大升力系数增量: $\Delta C_{L_{\max}} = 1.324$

起飞构型全机升力曲线 (线性段)



降落构型全机升力曲线 (线性段)





气动特性-阻力特性



雷诺数

| | | 各部件雷诺数 | | | | | | | | | |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|--|
| 垂尾 | v速度 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 160 | 200 | | |
| 1.555 | 1000 | 1966729 | 3933458 | 5900187 | 7866916 | 9833645 | 11800374 | 15733832 | 19667290 | | |
| | 2000 | 1813587 | 3627174 | 5440761 | 7254348 | 9067935 | 10881522 | 14508696 | 18135870 | | |
| | 3000 | 1669325 | 3338650 | 5007975 | 6677300 | 8346625 | 10015950 | 13354600 | 16693250 | | |
| | 4000 | 1533609 | 3067218 | 4600827 | 6134436 | 7668045 | 9201654 | 12268872 | 15336090 | | |
| | 5000 | 1406113 | 2812226 | 4218339 | 5624452 | 7030565 | 8436678 | 11248904 | 14061130 | | |
| | 6000 | 1286515 | 2573030 | 3859545 | 5146060 | 6432575 | 7719090 | 10292120 | 12865150 | | |
| | 8000 | 1069754 | 2139508 | 3209262 | 4279016 | 5348770 | 6418524 | 8558032 | 10697540 | | |
| | 10000 | 880864 | 1761728 | 2642592 | 3523456 | 4404320 | 5285184 | 7046912 | 8808640 | | |
| | 12000 | 679977 | 1359954 | 2039931 | 2719908 | 3399885 | 4079862 | 5439816 | 6799770 | | |
| | 15000 | 423688 | 847376 | 1271064 | 1694752 | 2118440 | 2542128 | 3389504 | 4236880 | | |
| 0 | 2129087 | 4258175 | 6387261 | 8516348 | 10645435 | 12774522 | 17032696 | 21290870 | | | |
| 0.74 | 1000 | 935900 | 1871800 | 2807700 | 3743600 | 4679500 | 5615400 | 7487200 | 9359000 | | |
| | 2000 | 863000 | 1726000 | 2589000 | 3452000 | 4315000 | 5178000 | 6904000 | 8630000 | | |
| | 3000 | 794400 | 1588800 | 2383200 | 3177600 | 3972000 | 4766400 | 6355200 | 7944000 | | |
| | 4000 | 729800 | 1459600 | 2189400 | 2919200 | 3649000 | 4378800 | 5838400 | 7298000 | | |
| | 5000 | 669100 | 1338200 | 2007300 | 2676400 | 3345500 | 4014600 | 5352800 | 6691000 | | |
| | 6000 | 612232 | 1224464 | 1836696 | 2448928 | 3061160 | 3673392 | 4897856 | 6122320 | | |
| | 8000 | 5090792 | 10181584 | 15272376 | 20363168 | 25453960 | 30544752 | 40726336 | 50907920 | | |
| | 10000 | 419189 | 838378 | 1257567 | 1676756 | 2095945 | 2515134 | 3353512 | 4191890 | | |
| | 12000 | 323591 | 647182 | 970773 | 1294364 | 1617955 | 1941546 | 2588728 | 3235910 | | |
| | 15000 | 201626 | 403252 | 604878 | 806504 | 1008130 | 1209756 | 1613008 | 2016260 | | |
| 0 | 1013199 | 2026398 | 3039597 | 4052796 | 5065995 | 6079194 | 8105592 | 10131990 | | | |
| 1.25 | 1000 | 1580971 | 3161942 | 4742913 | 6323884 | 7904855 | 9485826 | 12647768 | 15809710 | | |
| | 2000 | 1457867 | 2915734 | 4373601 | 5831468 | 7289335 | 8747202 | 11662936 | 14578670 | | |
| | 3000 | 1341901 | 2681802 | 4022703 | 5363604 | 6704505 | 8045406 | 10727208 | 13419010 | | |
| | 4000 | 1232804 | 2465608 | 3698412 | 4931216 | 6164020 | 7398824 | 9862432 | 12328040 | | |
| | 5000 | 1130316 | 2260632 | 3390948 | 4521264 | 5651580 | 6781896 | 9042528 | 11303160 | | |
| | 6000 | 1034176 | 2068352 | 3102528 | 4136704 | 5170880 | 6205056 | 8273480 | 10341760 | | |
| | 8000 | 859931 | 1719862 | 2579793 | 3439724 | 4299655 | 5159586 | 6879448 | 8599310 | | |
| | 10000 | 708090 | 1416180 | 2124270 | 2832360 | 3540450 | 4248540 | 5664720 | 7080900 | | |
| | 12000 | 546606 | 1093212 | 1639818 | 2186424 | 2733030 | 3279636 | 4372848 | 5466060 | | |
| | 15000 | 340585 | 681170 | 1021755 | 1362340 | 1702925 | 2043510 | 2724680 | 3405850 | | |
| 0 | 1711485 | 3422970 | 5134455 | 6845940 | 8557425 | 10268910 | 13691880 | 17114850 | | | |
| 四座机身 | 1000 | 1.1E+07 | 22133606 | 33200409 | 44267212 | 55334015 | 66400818 | 88534424 | 1.1E+08 | | |
| | 2000 | 1E+07 | 20410148 | 30615222 | 40820296 | 51025370 | 61230444 | 81640592 | 1.0E+08 | | |
| | 3000 | 9393307 | 18786614 | 28179921 | 37573228 | 46966535 | 56359842 | 75146456 | 93933070 | | |
| | 4000 | 8629634 | 17259268 | 25888902 | 34518536 | 43148170 | 51777804 | 69037072 | 86296340 | | |
| | 5000 | 7912212 | 15824424 | 23736636 | 31648848 | 39561060 | 47473272 | 63297696 | 79122120 | | |
| | 6000 | 7239232 | 14478464 | 21717696 | 28956928 | 36196160 | 43435392 | 57913856 | 72392320 | | |
| | 8000 | 6019518 | 12039036 | 18058554 | 24078072 | 30097590 | 36117108 | 48156144 | 60195180 | | |
| | 10000 | 4956632 | 9913264 | 14869896 | 19826528 | 24783160 | 29739792 | 39653056 | 49566320 | | |
| | 12000 | 3826242 | 7652484 | 11478726 | 15304968 | 19131210 | 22957452 | 30609936 | 38262420 | | |
| | 15000 | 2384099 | 4768198 | 7152297 | 9536396 | 11920495 | 14304594 | 19072792 | 23840990 | | |
| 0 | 1.2E+07 | 23960792 | 35941188 | 47921584 | 59901980 | 71882376 | 95843168 | 1.2E+08 | | | |
| 六座机身 | 1000 | 1.2E+07 | 23398384 | 35097576 | 46796768 | 58495960 | 70195152 | 93593536 | 1.17E+08 | | |
| | 2000 | 1.1E+07 | 21576442 | 32364663 | 43152884 | 53941105 | 64729326 | 86305768 | 1.0E+08 | | |
| | 3000 | 9930068 | 19860136 | 29790204 | 39720272 | 49650340 | 59580408 | 79440544 | 99300680 | | |
| | 4000 | 9122756 | 18245512 | 27368268 | 36491024 | 45613780 | 54736536 | 72982048 | 91227560 | | |
| | 5000 | 8364338 | 16728676 | 25093014 | 33457352 | 41821690 | 50186028 | 66914704 | 83643380 | | |
| | 6000 | 7652903 | 15305806 | 22958709 | 30611612 | 38264515 | 45917418 | 61223224 | 76529030 | | |
| | 8000 | 6363490 | 12726980 | 19090470 | 25453960 | 32634900 | 38180940 | 50907920 | 63634900 | | |
| | 10000 | 5239868 | 10479736 | 15719604 | 20959472 | 27398680 | 33439208 | 41918944 | 52398680 | | |
| | 12000 | 4044885 | 8089770 | 12134655 | 16179540 | 20448850 | 24269310 | 32359080 | 40448850 | | |
| | 15000 | 2520334 | 5040668 | 7561002 | 10081336 | 12601670 | 15122004 | 20162672 | 25203340 | | |
| 0 | 1.3E+07 | 25329980 | 37994970 | 50659960 | 63324950 | 75989940 | 1.01E+08 | 1.27E+08 | | | |

平板摩擦系数

| | | 平板摩擦系数 2Cf | | | | | | | |
|----|-------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 垂尾 | v速度 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 160 | 200 |
| 垂尾 | 1000 | 0.0078 | 0.0068 | 0.0065 | 0.0061 | 0.0058 | 0.0057 | 0.0055 | 0.0052 |
| | 2000 | 0.008 | 0.0071 | 0.0066 | 0.0062 | 0.0059 | 0.0058 | 0.0056 | 0.0053 |
| | 3000 | 0.0081 | 0.0072 | 0.0067 | 0.0063 | 0.006 | 0.0059 | 0.0056 | 0.0054 |
| | 4000 | 0.0084 | 0.0073 | 0.0068 | 0.0064 | 0.0061 | 0.006 | 0.0057 | 0.0055 |
| | 5000 | 0.0085 | 0.0074 | 0.0069 | 0.0065 | 0.0062 | 0.0061 | 0.0057 | 0.0056 |
| | 6000 | 0.0086 | 0.0075 | 0.007 | 0.0066 | 0.0064 | 0.0062 | 0.0058 | 0.0056 |
| | 8000 | 0.0088 | 0.0077 | 0.0072 | 0.0067 | 0.0065 | 0.0064 | 0.0058 | 0.0056 |
| | 10000 | 0.009 | 0.0079 | 0.0074 | 0.0071 | 0.0067 | 0.0066 | 0.0058 | 0.0057 |
| | 12000 | 0.0124 | 0.0085 | 0.0078 | 0.0075 | 0.0072 | 0.007 | 0.0065 | 0.0062 |
| | 0 | 0.0124 | 0.0085 | 0.0078 | 0.0075 | 0.0072 | 0.007 | 0.0065 | 0.0062 |
| 平尾 | 1000 | 0.012 | 0.008 | 0.0074 | 0.007 | 0.0068 | 0.0066 | 0.0061 | 0.0058 |
| | 2000 | 0.0121 | 0.0081 | 0.0075 | 0.0071 | 0.0069 | 0.0067 | 0.0062 | 0.0059 |
| | 3000 | 0.0122 | 0.0082 | 0.0076 | 0.0072 | 0.007 | 0.0068 | 0.0063 | 0.006 |
| | 4000 | 0.0123 | 0.0084 | 0.0077 | 0.0074 | 0.0071 | 0.0069 | 0.0064 | 0.0061 |
| | 5000 | 0.0124 | 0.0085 | 0.0078 | 0.0075 | 0.0072 | 0.007 | 0.0065 | 0.0062 |
| | 6000 | 0.0125 | 0.0086 | 0.008 | 0.0076 | 0.0073 | 0.0071 | 0.0067 | 0.0064 |
| | 8000 | 0.0125 | 0.0088 | 0.0083 | 0.0079 | 0.0075 | 0.0073 | 0.0069 | 0.0065 |
| | 10000 | 0.0126 | 0.0089 | 0.0085 | 0.0082 | 0.0078 | 0.0075 | 0.0072 | 0.0067 |
| | 12000 | 0.0129 | 0.0124 | 0.0089 | 0.0085 | 0.0079 | 0.0078 | 0.0075 | 0.0072 |
| | 0 | 0.0129 | 0.0124 | 0.0089 | 0.0085 | 0.0079 | 0.0078 | 0.0075 | 0.0072 |
| 机翼 | 1000 | 0.0084 | 0.0073 | 0.0067 | 0.0064 | 0.006 | 0.0059 | 0.0057 | 0.0054 |
| | 2000 | 0.0085 | 0.0074 | 0.0068 | 0.0065 | 0.006 | 0.006 | 0.0058 | 0.0055 |
| | 3000 | 0.0086 | 0.0075 | 0.0069 | 0.0066 | 0.006 | 0.0061 | 0.0059 | 0.0056 |
| | 4000 | 0.0088 | 0.0076 | 0.0071 | 0.0067 | 0.0061 | 0.0062 | 0.006 | 0.0057 |
| | 5000 | 0.009 | 0.0077 | 0.0072 | 0.0067 | 0.0061 | 0.0063 | 0.006 | 0.0058 |
| | 6000 | 0.012 | 0.0078 | 0.0073 | 0.0068 | 0.0061 | 0.0064 | 0.006 | 0.0058 |
| | 8000 | 0.0121 | 0.0079 | 0.0074 | 0.0071 | 0.0065 | 0.0066 | 0.0063 | 0.006 |
| | 10000 | 0.0122 | 0.008 | 0.0077 | 0.0074 | 0.007 | 0.0068 | 0.0065 | 0.0063 |
| | 12000 | 0.128 | 0.0088 | 0.0082 | 0.0077 | 0.0075 | 0.0072 | 0.0067 | 0.0065 |
| | 0 | 0.128 | 0.0088 | 0.0082 | 0.0077 | 0.0075 | 0.0072 | 0.0067 | 0.0065 |
| 机身 | 1000 | 0.0058 | 0.0052 | 0.0049 | 0.0048 | 0.0046 | 0.0045 | 0.0043 | 0.0042 |
| | 2000 | 0.0059 | 0.0053 | 0.005 | 0.0048 | 0.0047 | 0.0045 | 0.0044 | 0.0042 |
| | 3000 | 0.006 | 0.0054 | 0.005 | 0.0048 | 0.0048 | 0.0046 | 0.0044 | 0.0042 |
| | 4000 | 0.006 | 0.0054 | 0.0051 | 0.0049 | 0.0048 | 0.0046 | 0.0045 | 0.0043 |
| | 5000 | 0.0061 | 0.0055 | 0.0052 | 0.0049 | 0.0049 | 0.0047 | 0.0045 | 0.0043 |
| | 6000 | 0.0062 | 0.0055 | 0.0053 | 0.005 | 0.0049 | 0.0047 | 0.0046 | 0.0044 |
| | 8000 | 0.0063 | 0.0056 | 0.0054 | 0.0051 | 0.005 | 0.0049 | 0.0047 | 0.0045 |
| | 10000 | 0.0064 | 0.0057 | 0.0055 | 0.0053 | 0.0052 | 0.005 | 0.0048 | 0.0047 |
| | 12000 | 0.007 | 0.0062 | 0.0058 | 0.0055 | 0.0052 | 0.0052 | 0.005 | 0.0048 |
| | 0 | 0.007 | 0.0062 | 0.0058 | 0.0055 | 0.0052 | 0.0052 | 0.005 | |

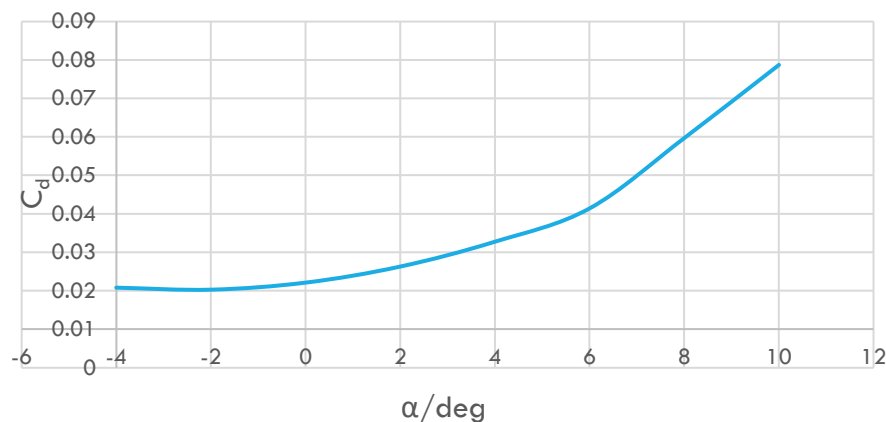


气动特性-阻力特性

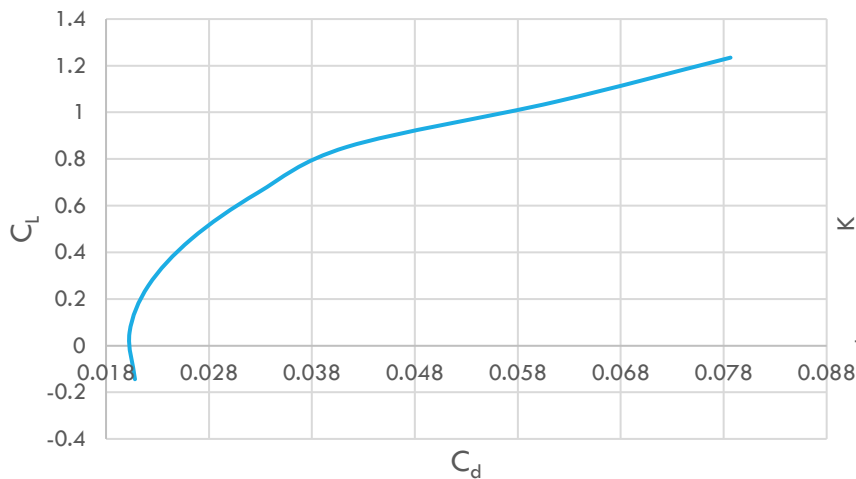


| 巡航状态阻力系数 (四座) | |
|---------------|----------------|
| 机身零升阻力系数 | 0.04091 |
| 机翼零升阻力系数 | 0.00735 |
| 垂尾零升阻力系数 | 0.00736 |
| 平尾零升阻力系数 | 0.00871 |
| 窄支柱无整流起落架 | 0.0029 |
| 总阻力系数 | 0.01908 |

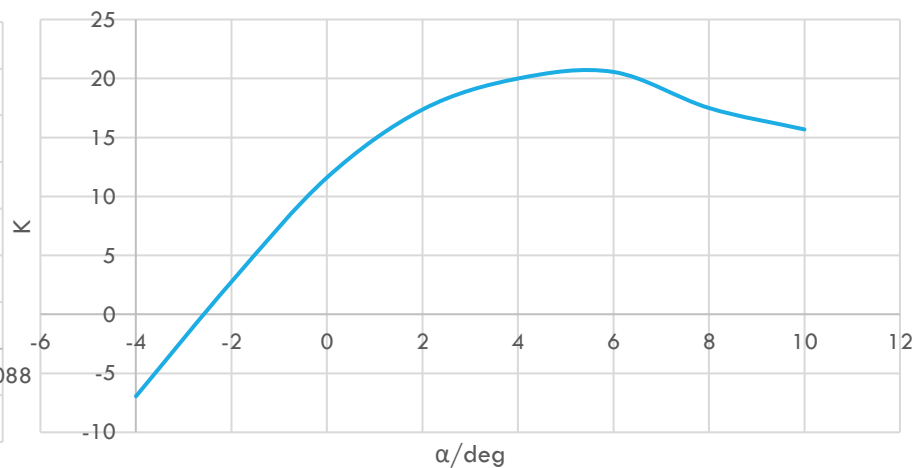
巡航状态阻力系数曲线 (四座型)



巡航状态极曲线 (四座型)



巡航状态升阻比 (四座型)



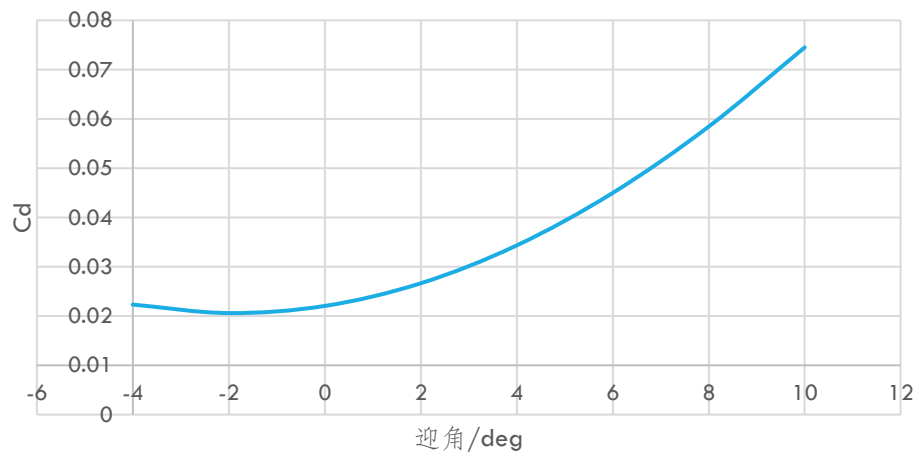


气动特性-阻力特性

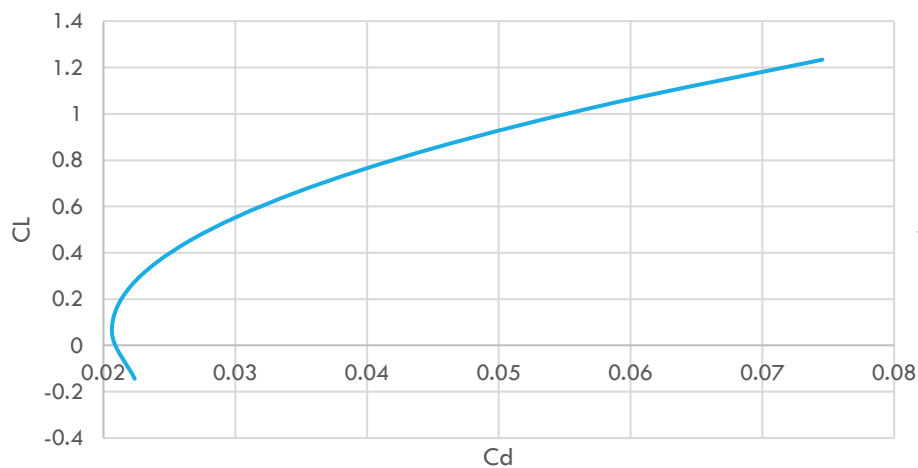


| 巡航状态阻力系数 (六座) | |
|---------------|---------|
| 机身零升阻力系数 | 0.05005 |
| 机翼零升阻力系数 | 0.00735 |
| 垂尾零升阻力系数 | 0.00736 |
| 平尾零升阻力系数 | 0.00871 |
| 窄支柱无整流起落架 | 0.0032 |
| 总阻力系数 | 0.02131 |

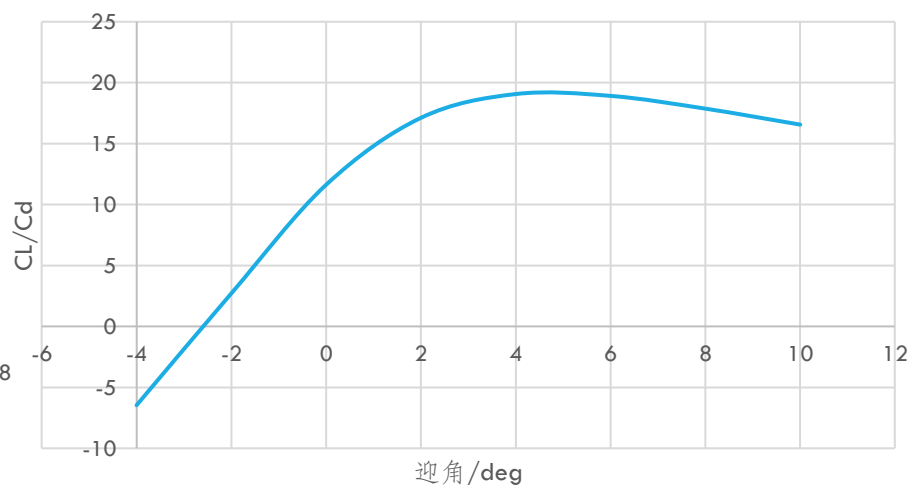
巡航状态阻力系数曲线 (六座型)



巡航状态极曲线 (六座型)



巡航状态升阻比 (六座型)





气动特性-阻力特性



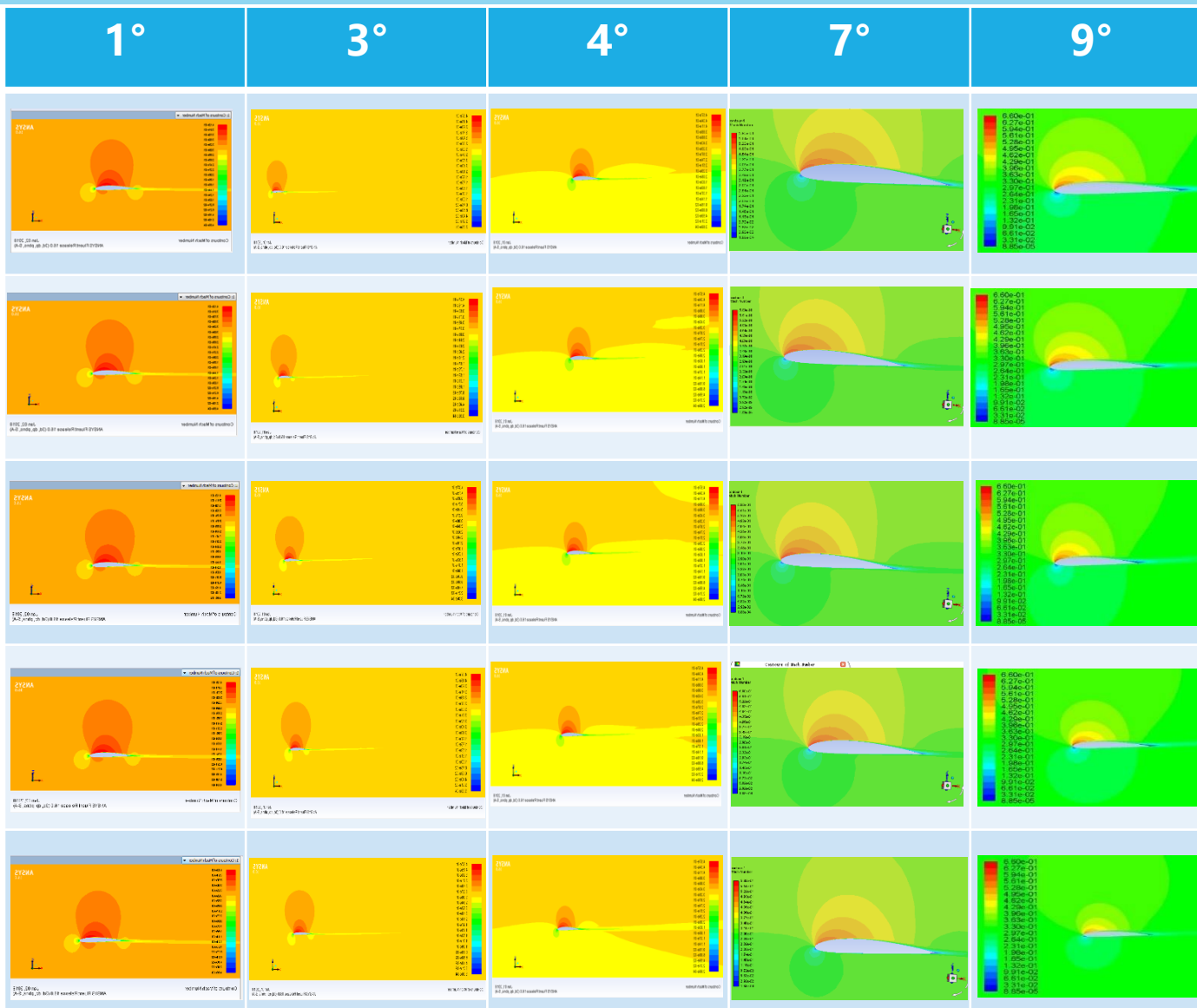
全机阻力系数

| 不同高度、不同速度下的全机阻力系数 (四座型) | | | | | | | | |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 速度 (m/s) 海拔高度 (m) | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 160 | 200 |
| 0 | 0.5818 | 0.0509 | 0.0233 | 0.0187 | 0.0169 | 0.0163 | 0.0156 | 0.0148 |
| 1000 | 0.711 | 0.0589 | 0.025 | 0.0193 | 0.0173 | 0.0167 | 0.0159 | 0.0153 |
| 2000 | 0.8747 | 0.069 | 0.027 | 0.02 | 0.0176 | 0.0169 | 0.0162 | 0.0154 |
| 3000 | 0.9741 | 0.0752 | 0.0283 | 0.0205 | 0.0179 | 0.0172 | 0.0164 | 0.0156 |
| 4000 | 1.3509 | 0.0981 | 0.0329 | 0.022 | 0.0185 | 0.0176 | 0.0167 | 0.0159 |
| 5000 | 1.6931 | 0.1191 | 0.0371 | 0.0232 | 0.0191 | 0.018 | 0.0167 | 0.0161 |
| 6000 | 2.3217 | 0.1572 | 0.0446 | 0.0256 | 0.0199 | 0.0185 | 0.017 | 0.0162 |
| 8000 | 3.4799 | 0.2282 | 0.0583 | 0.0302 | 0.0222 | 0.0198 | 0.0177 | 0.0167 |
| 10000 | 5.6251 | 0.3601 | 0.0841 | 0.0386 | 0.0261 | 0.0216 | 0.0185 | 0.0175 |
| 12000 | 10.048 | 0.6254 | 0.136 | 0.0549 | 0.033 | 0.0253 | 0.0199 | 0.0183 |

| 不同高度、不同速度下的全机阻力系数 (六座型) | | | | | | | | |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 速度 (m/s) 海拔高度 (m) | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 160 | 200 |
| 0 | 0.5834 | 0.0523 | 0.0246 | 0.02 | 0.0181 | 0.0175 | 0.0168 | 0.0159 |
| 1000 | 1.0047 | 0.0778 | 0.0295 | 0.0214 | 0.0189 | 0.0179 | 0.0171 | 0.0164 |
| 2000 | 1.2373 | 0.0921 | 0.0324 | 0.0223 | 0.0193 | 0.0183 | 0.0173 | 0.0166 |
| 3000 | 1.3783 | 0.1008 | 0.0342 | 0.023 | 0.0195 | 0.0185 | 0.0174 | 0.0168 |
| 4000 | 1.9133 | 0.1334 | 0.0407 | 0.0252 | 0.0205 | 0.0191 | 0.018 | 0.0171 |
| 5000 | 2.3991 | 0.1633 | 0.0464 | 0.0269 | 0.0213 | 0.0197 | 0.018 | 0.0173 |
| 6000 | 3.2897 | 0.2176 | 0.0571 | 0.0303 | 0.0225 | 0.0204 | 0.0184 | 0.0175 |
| 8000 | 4.9334 | 0.3185 | 0.0765 | 0.0364 | 0.0255 | 0.022 | 0.0192 | 0.018 |
| 10000 | 7.9772 | 0.5061 | 0.1132 | 0.0483 | 0.0309 | 0.0245 | 0.0202 | 0.0189 |
| 12000 | 14.185 | 0.8824 | 0.1868 | 0.0713 | 0.0401 | 0.0292 | 0.0218 | 0.0196 |

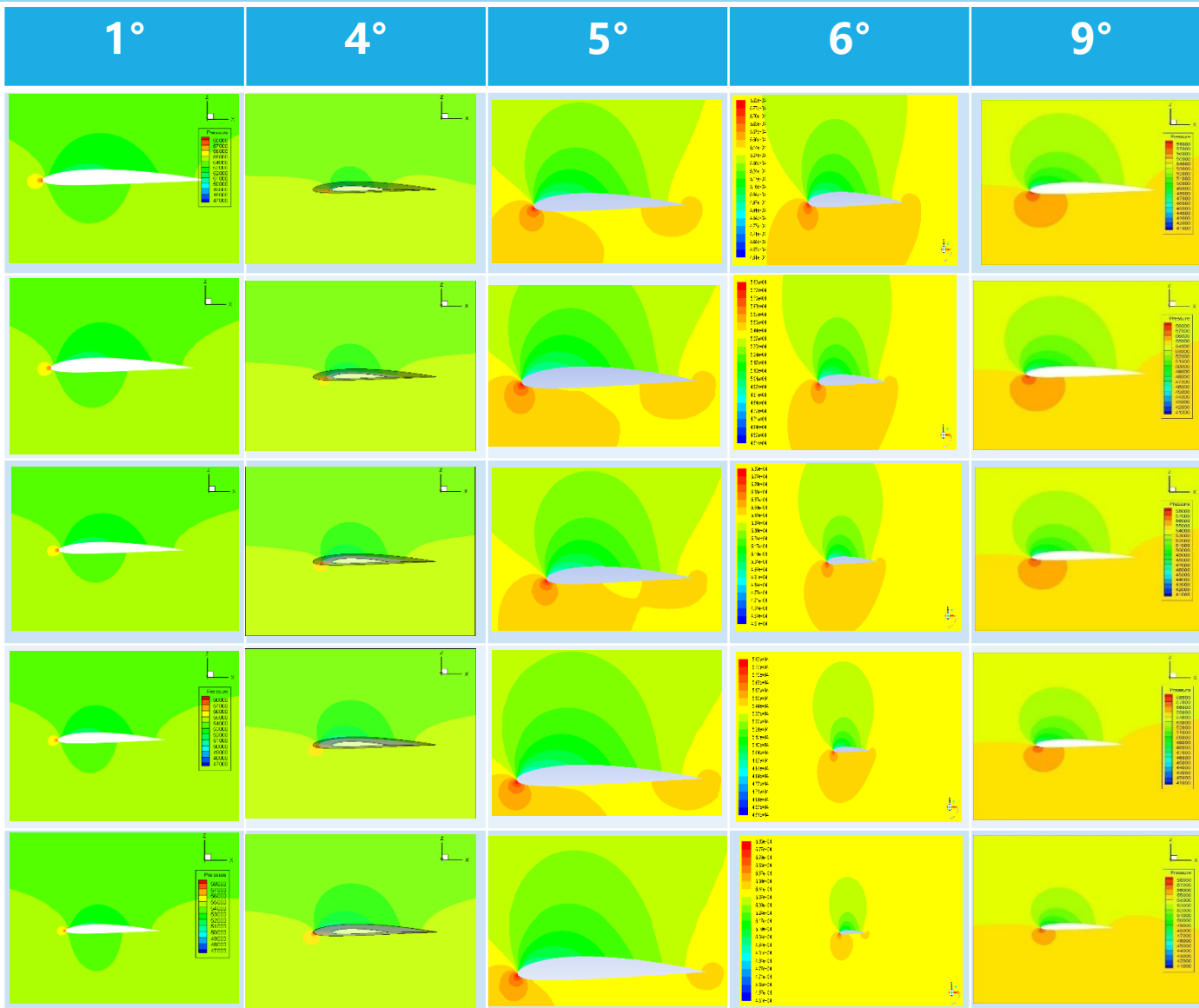


气动性能分析 - 马赫数云图





气动性能分析 - 压强云图

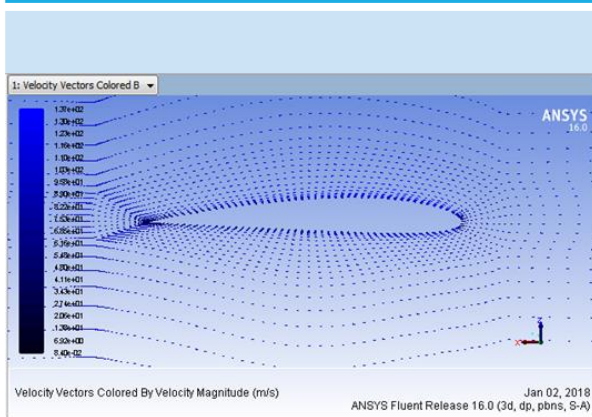




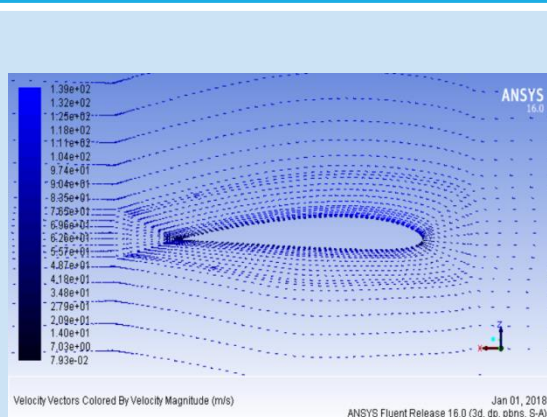
气动性能分析 - 速度矢量图



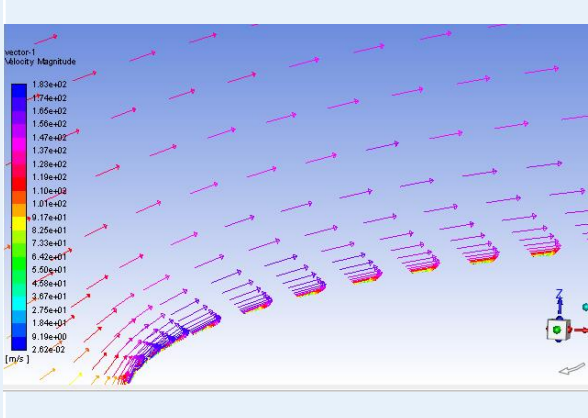
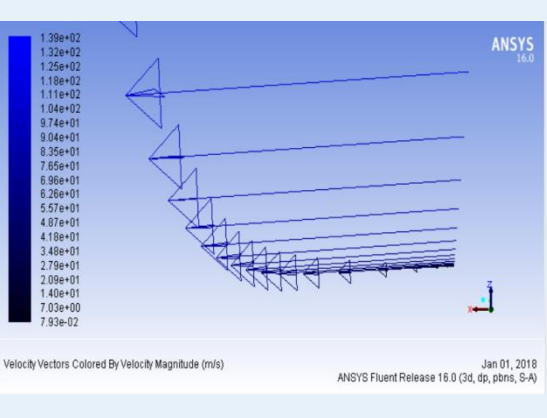
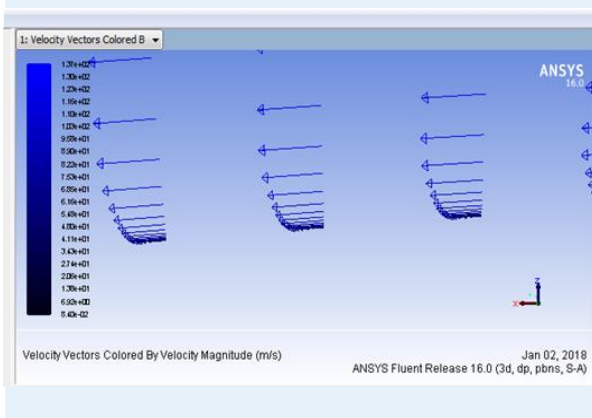
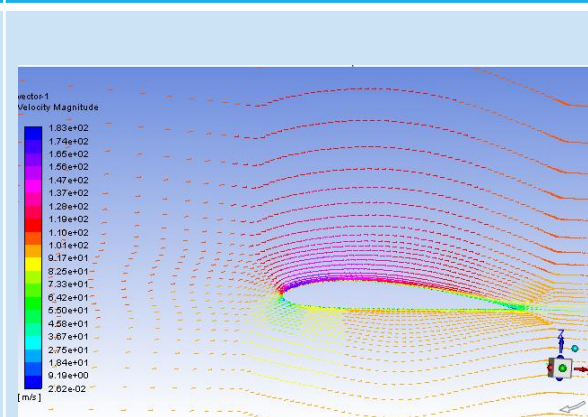
1°



3°



7°

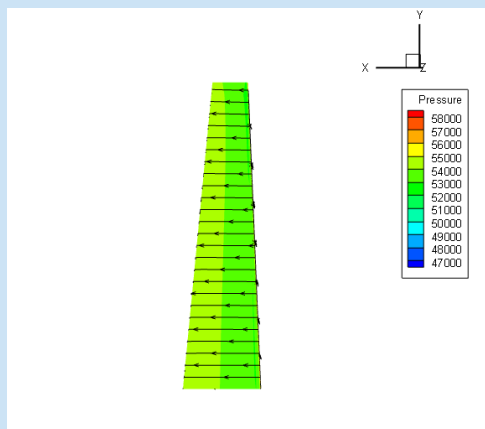




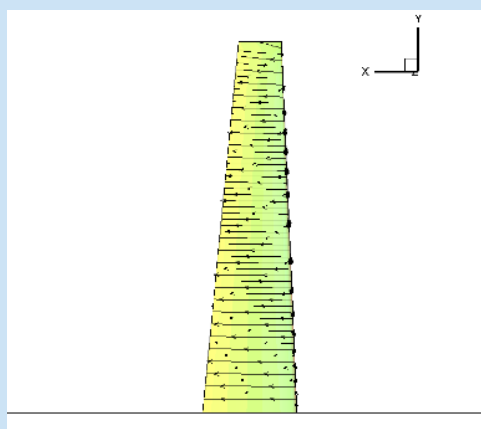
气动性能分析 – 机翼上下表面流线图



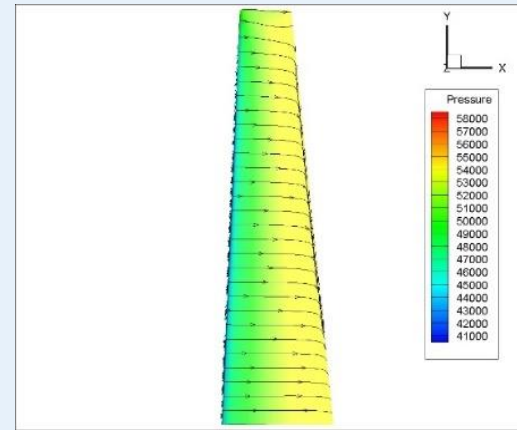
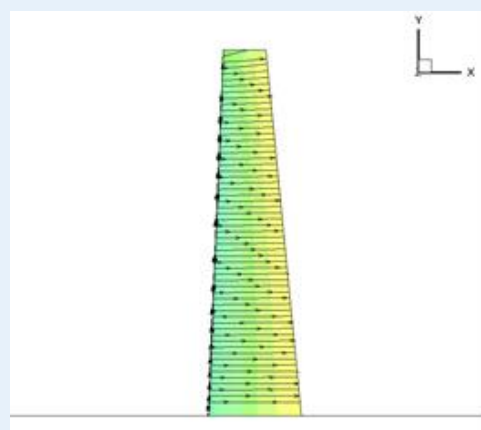
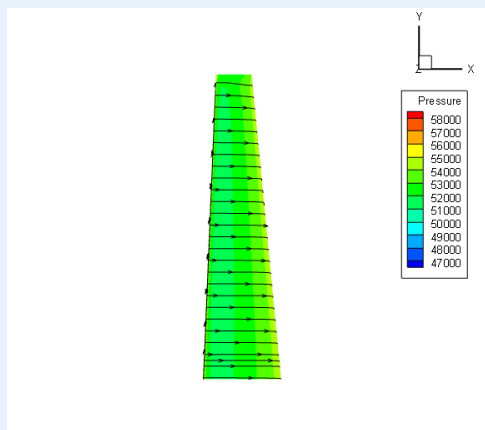
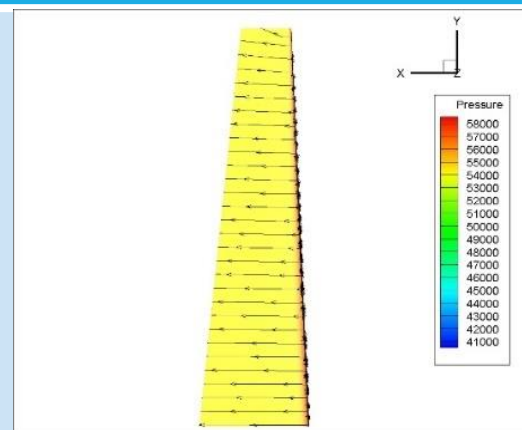
1°



6°



9°

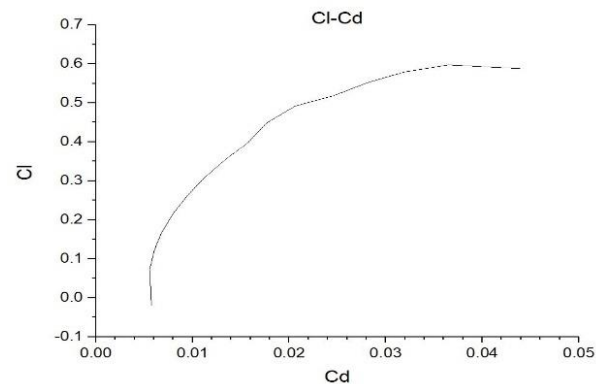
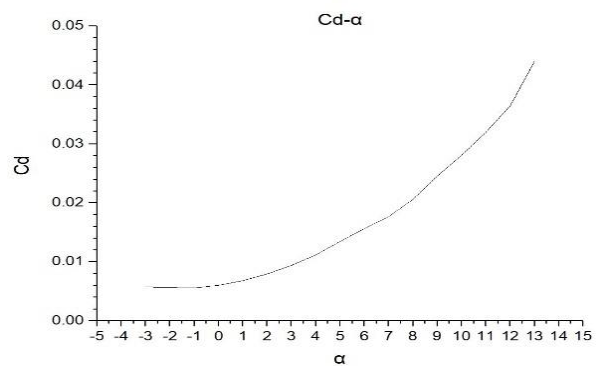
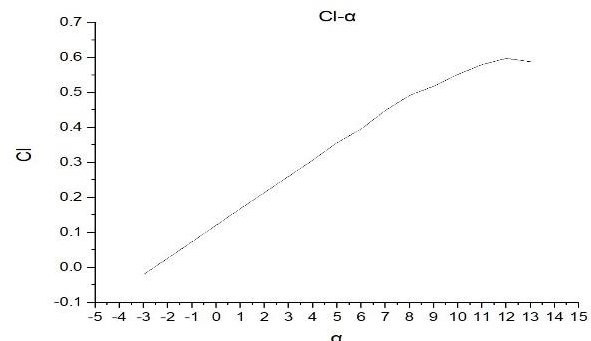




气动性能分析 - 升, 阻系数曲线



| α | Cl | Cd |
|----------|----------|----------|
| -3 | -0.01982 | 0.005748 |
| -1 | 0.073499 | 0.005589 |
| 0 | 0.12061 | 0.006032 |
| 1 | 0.16823 | 0.006819 |
| 2 | 0.21423 | 0.007952 |
| 3 | 0.26039 | 0.009408 |
| 4 | 0.30671 | 0.011176 |
| 5 | 0.35646 | 0.013478 |
| 6 | 0.39589 | 0.015647 |
| 7 | 0.44867 | 0.017679 |
| 8 | 0.49182 | 0.020615 |
| 9 | 0.51791 | 0.024548 |
| 10 | 0.55181 | 0.028104 |
| 11 | 0.57989 | 0.031999 |
| 12 | 0.59751 | 0.036469 |
| 13 | 0.588 | 0.044 |

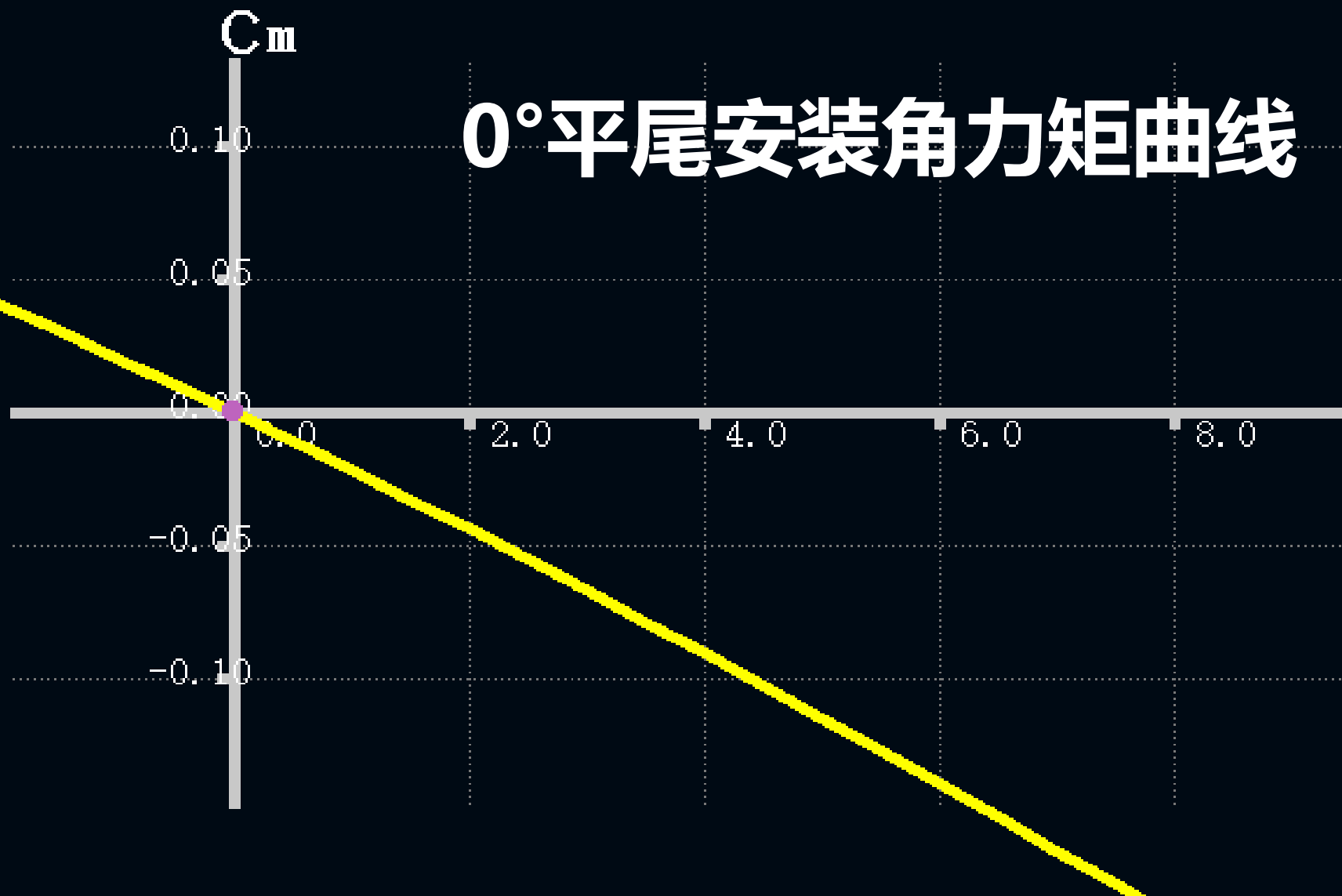




稳定性分析—静稳定性



0°平尾安装角力矩曲线





稳定性分析—静稳定性



Longitudinal derivatives

| | | | |
|---------|----------|------------|-------------|
| $X_u =$ | -3.5405 | $C_{xu} =$ | -0.0045115 |
| $X_w =$ | 145.42 | $C_{xa} =$ | 0.1853 |
| $Z_u =$ | -417.92 | $C_{zu} =$ | -3.1974e-05 |
| $Z_w =$ | -4269.8 | $CL_a =$ | 5.4409 |
| $Z_q =$ | -4093.7 | $CL_q =$ | 8.3553 |
| $M_u =$ | 5.21e-06 | $C_{mu} =$ | 5.3168e-09 |
| $M_w =$ | -1179.6 | $C_{ma} =$ | -1.2038 |
| $M_q =$ | -12373 | $C_{mq} =$ | -20.225 |

Neutral Point position= 774.42955mm

静稳定裕度 0.237



稳定性分析—静稳定性



Lateral derivatives

$$Y_v = -205.81$$

$$Y_p = -840.65$$

$$Y_r = 1183$$

$$L_v = -1097.9$$

$$L_p = -36015$$

$$L_r = 4970.4$$

$$N_v = 843.85$$

$$N_p = -2603.9$$

$$N_r = -5526$$

$$C_{Yb} = -0.27116$$

$$C_{Yp} = -0.17171$$

$$C_{Yr} = 0.24165$$

$$C_{lb} = -0.11213$$

$$C_{lp} = -0.57027$$

$$C_{lr} = 0.078704$$

$$C_{nb} = 0.086184$$

$$C_{np} = -0.041232$$

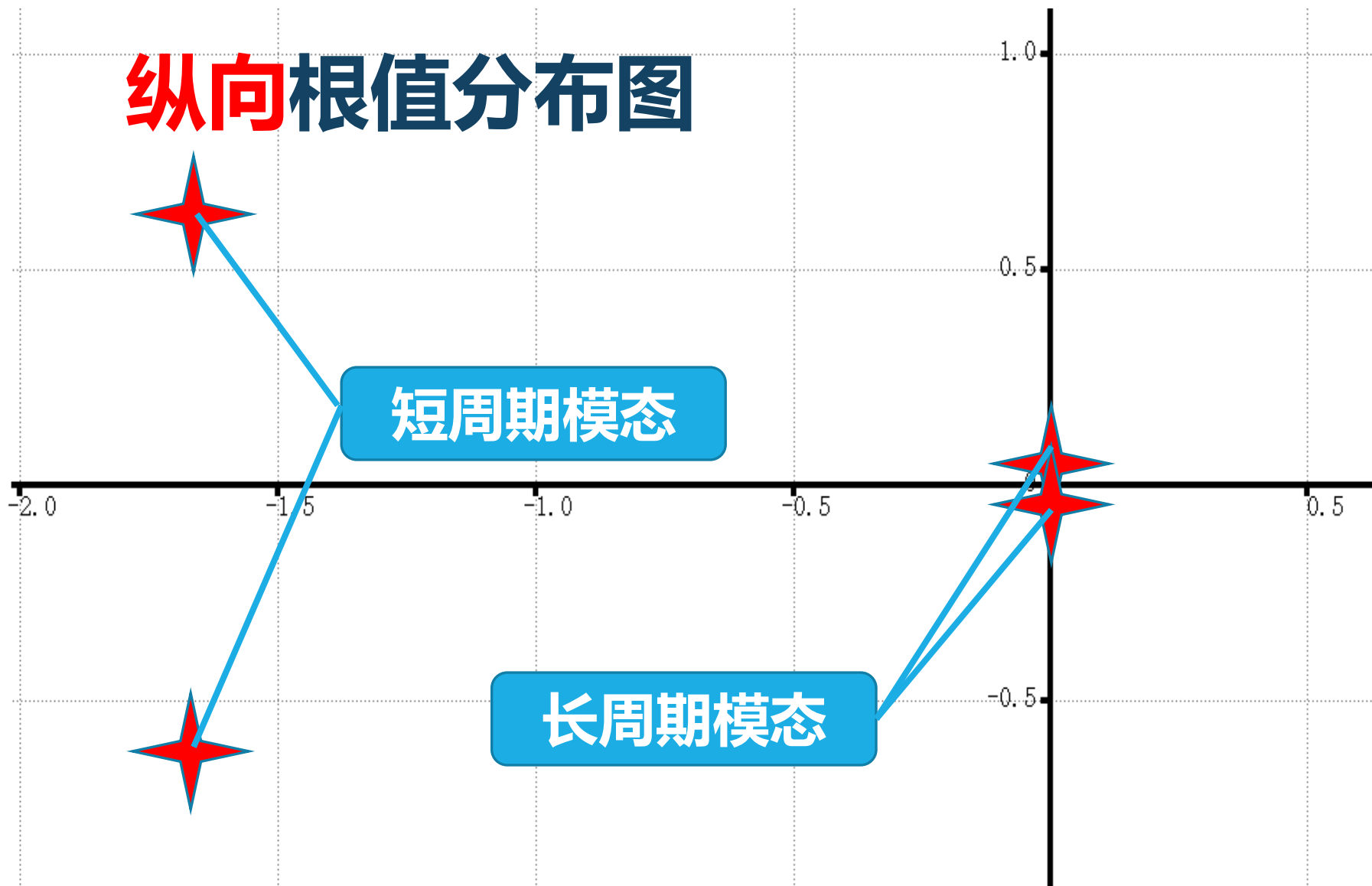
$$C_{nr} = -0.0875$$



稳定性分析—动稳定性

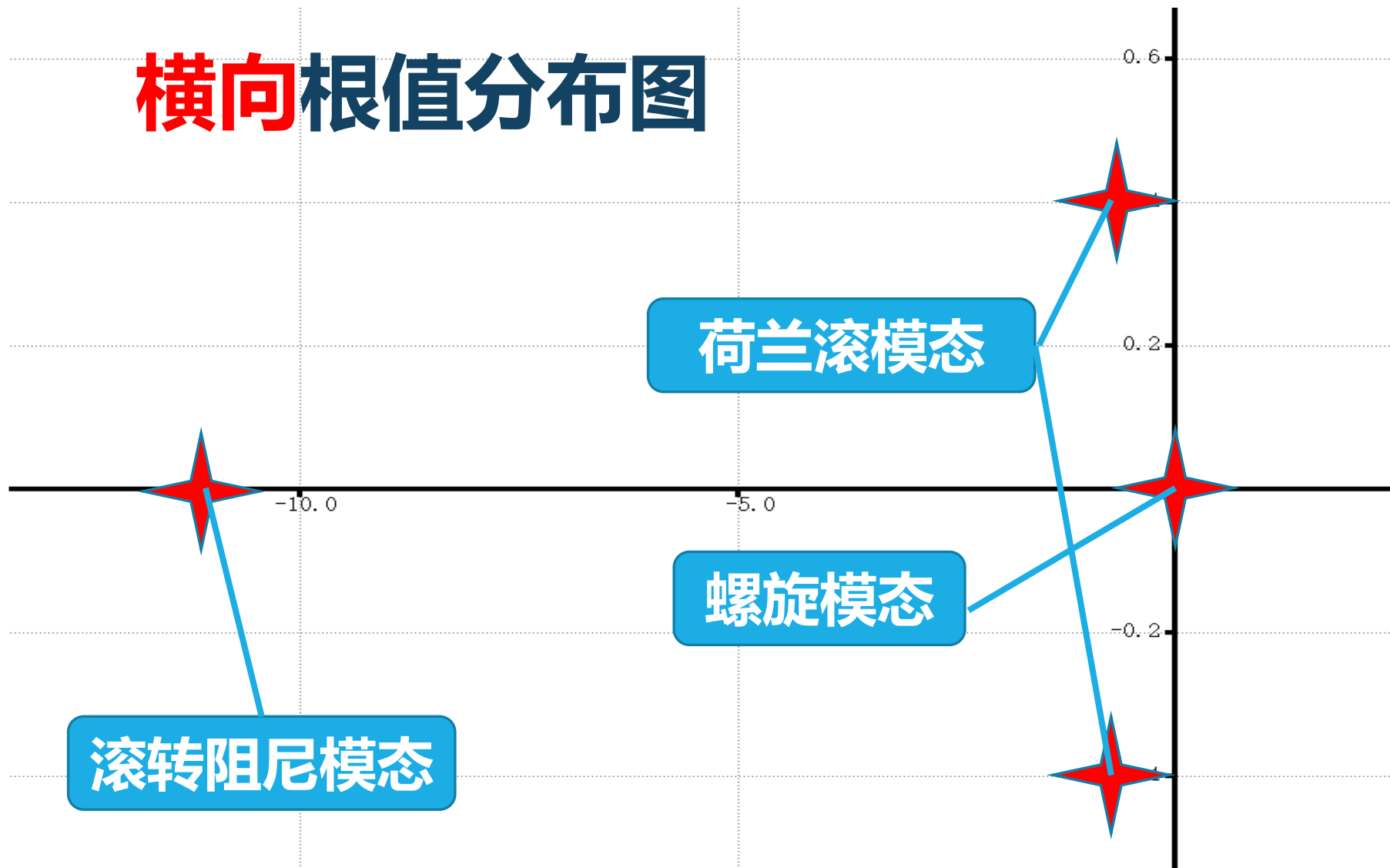


纵向根值分布图

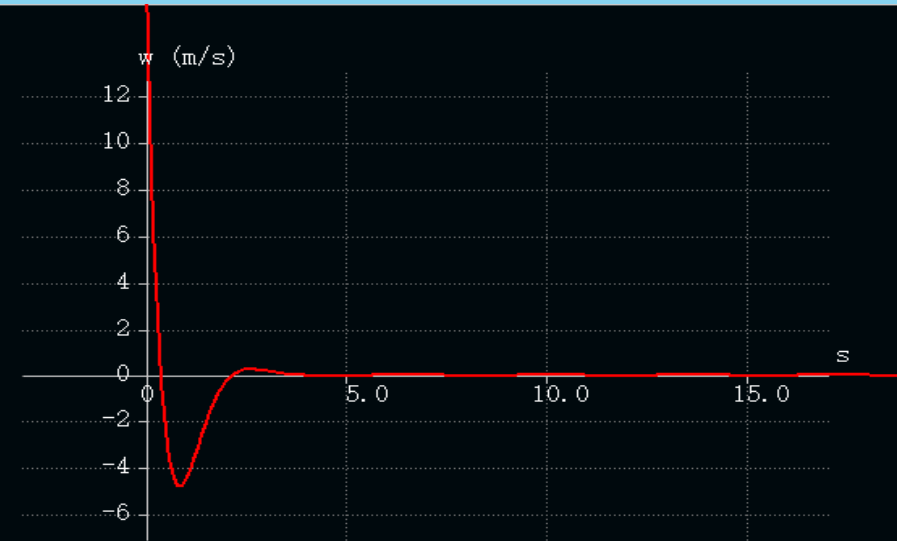
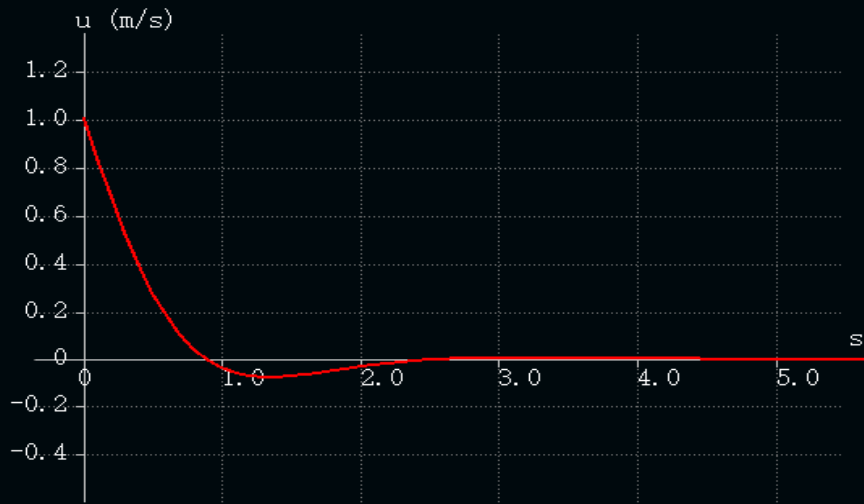




横向根值分布图



稳定性分析—动稳定性



稳定性分析—动稳定性

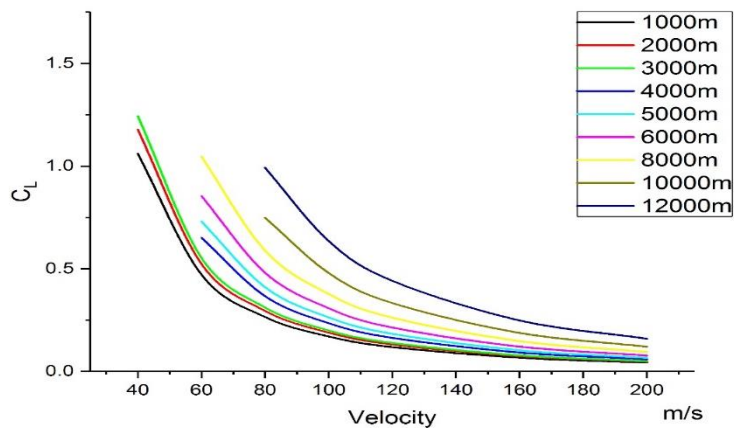




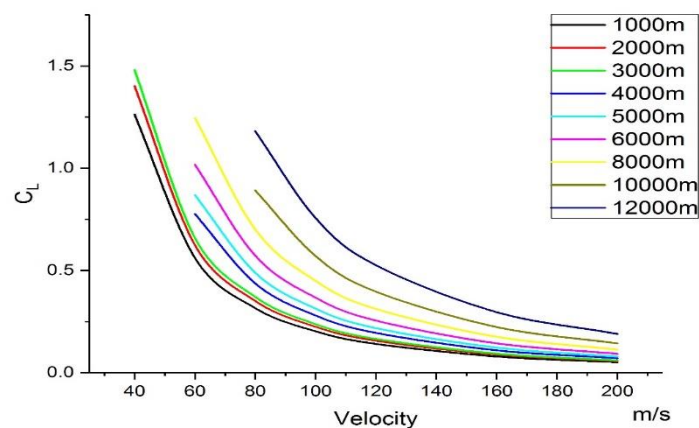
气动性能分析 - 升阻特性



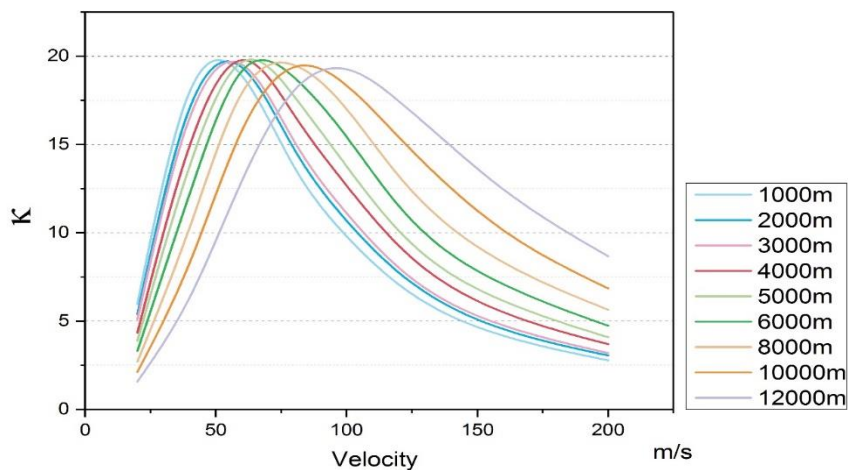
不同高度下需用升力系数随速度的变化（四座型）



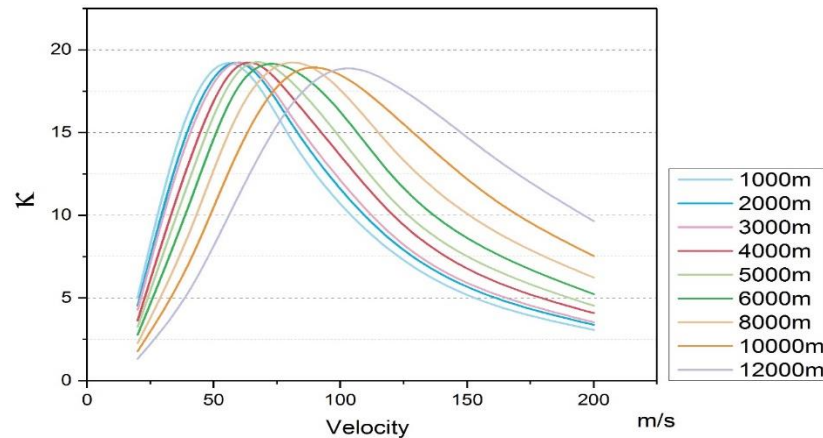
不同高度下需用升力系数随速度的变化（六座型）



不同高度下升阻比随速度的变化（四座型）



不同高度下升阻比随速度的变化（六座型）

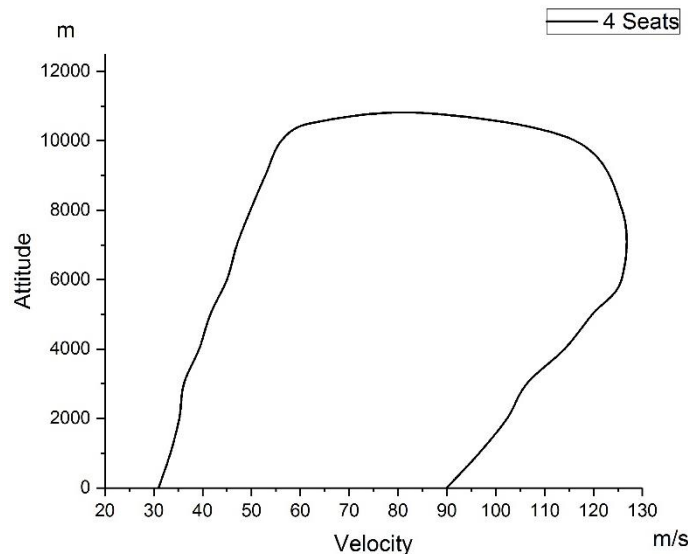
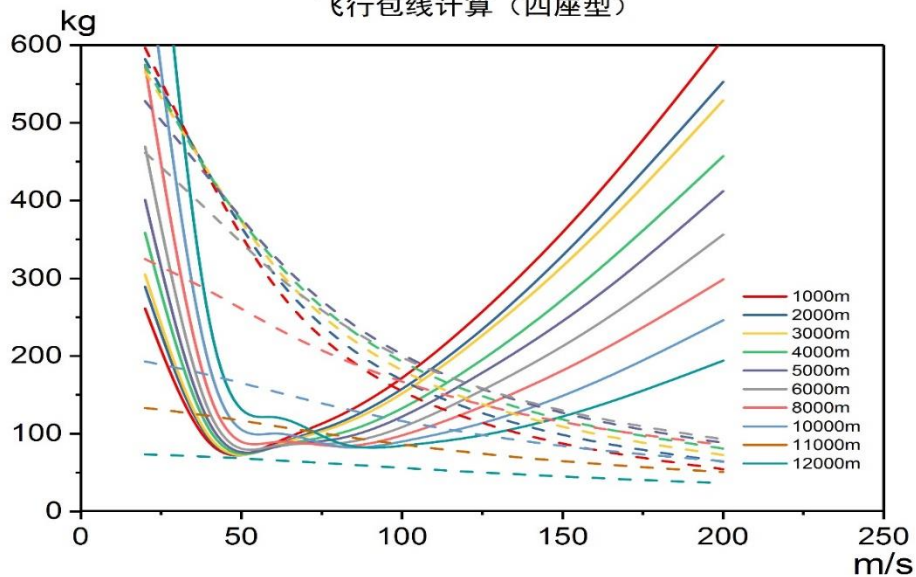




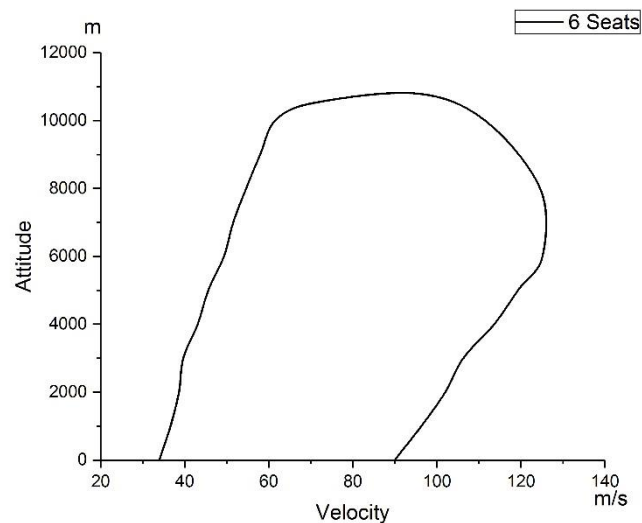
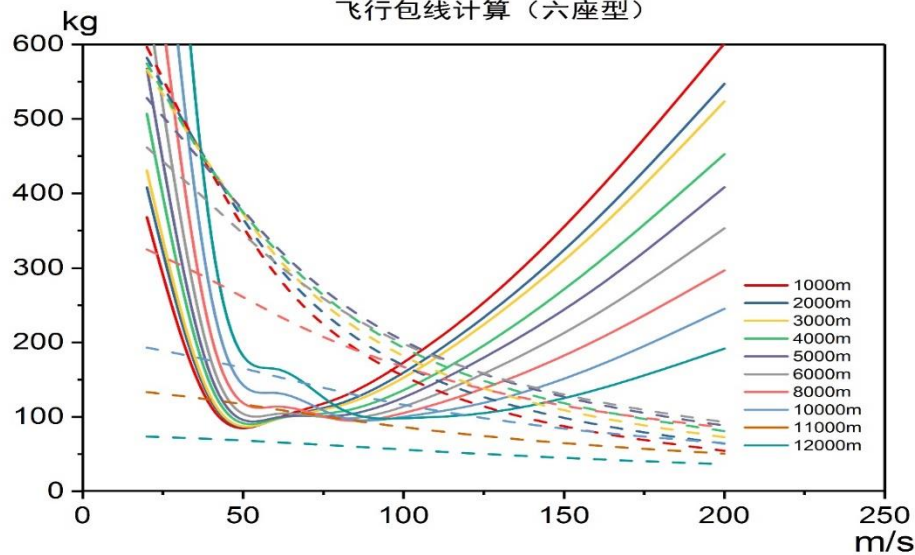
飞行性能 - 飞行包线



飞行包线计算（四座型）



飞行包线计算（六座型）



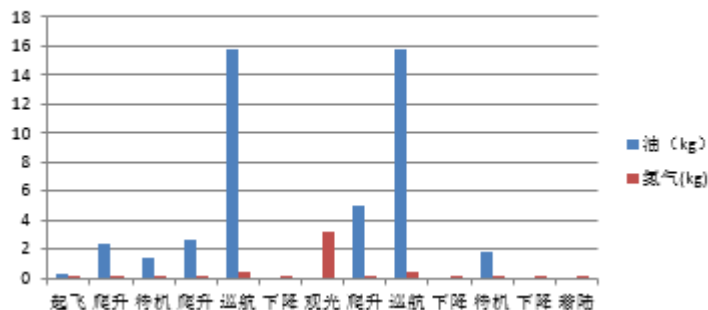


飞行性能 - 飞行剖面油电比

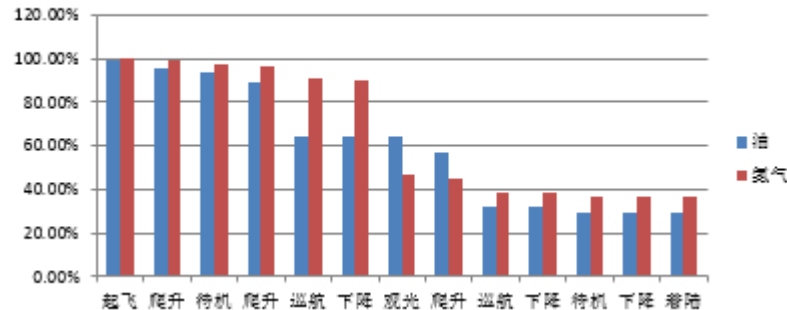


| | 油实际输出/最大输出 | 电实际输出/最大输出 | 四座型时间min | 六座型时间min | 四座消耗 | | 六座消耗 | | 四座剩余 | | 六座剩余 | | 四座剩余百分比 | | 六座剩余百分比 | |
|----|------------|------------|----------|----------|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|----------|---------|--------|---------|--------|
| | | | | | 油 (kg) | 氢气 (kg) | 油 (kg) | 氢气 (kg) | 油 (kg) | 氢气 (kg) | 油 (kg) | 氢气 (kg) | 油 | 氢气 | 油 | 氢气 |
| 起飞 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.2917 | 0.0096 | 0.2917 | 0.0096 | 55.742 | 4.9991 | 55.742 | 4.9991 | 99.54% | 99.98% | 99.54% | 99.98% |
| 爬升 | 1 | 1 | 4 | 4.5 | 2.3333 | 0.0766 | 2.625 | 0.0862 | 53.675 | 4.948036 | 53.417 | 4.941653 | 95.85% | 98.96% | 95.39% | 98.83% |
| 待机 | 0.2 | 0.3 | 12 | 12 | 1.4 | 0.0689 | 1.4 | 0.0689 | 52.435 | 4.88676 | 52.177 | 4.880377 | 93.63% | 97.74% | 93.17% | 97.61% |
| 爬升 | 1 | 1 | 4.5 | 5 | 2.625 | 0.0862 | 2.9167 | 0.0957 | 50.11 | 4.829313 | 49.593 | 4.816547 | 89.48% | 96.59% | 88.56% | 96.33% |
| 巡航 | 0.6 | 0.52 | 45 | 30 | 15.75 | 0.4481 | 10.5 | 0.2987 | 36.16 | 4.536334 | 40.293 | 4.621228 | 64.57% | 90.73% | 71.95% | 92.42% |
| 下降 | 0 | 0.2 | 12 | 14.5 | 0 | 0.046 | 0 | 0.0555 | 36.16 | 4.505696 | 40.293 | 4.584206 | 64.57% | 90.11% | 71.95% | 91.68% |
| 观光 | 0 | 0.987 | 170 | 100 | 0 | 3.213 | 0 | 1.89 | 36.16 | 2.335483 | 40.293 | 3.307611 | 64.57% | 46.71% | 71.95% | 66.15% |
| 爬升 | 1 | 1 | 8.5 | 9.5 | 4.9583 | 0.1628 | 5.5417 | 0.1819 | 31.768 | 2.226972 | 35.385 | 3.186334 | 56.73% | 44.54% | 63.19% | 63.73% |
| 巡航 | 0.6 | 0.52 | 45 | 30 | 15.75 | 0.4481 | 10.5 | 0.2987 | 17.818 | 1.933994 | 26.085 | 2.991015 | 31.82% | 38.68% | 46.58% | 59.82% |
| 下降 | 0 | 0.2 | 12 | 14.5 | 0 | 0.046 | 0 | 0.0555 | 17.818 | 1.903355 | 26.085 | 2.953994 | 31.82% | 38.07% | 46.58% | 59.08% |
| 待机 | 0.2 | 0.3 | 15 | 15 | 1.75 | 0.0862 | 1.75 | 0.0862 | 16.268 | 1.82676 | 24.535 | 2.877398 | 29.05% | 36.54% | 43.81% | 57.55% |
| 下降 | 0 | 0.2 | 5 | 5.5 | 0 | 0.0191 | 0 | 0.0211 | 16.268 | 1.813994 | 24.535 | 2.863355 | 29.05% | 36.28% | 43.81% | 57.27% |
| 着陆 | 0 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0.0019 | 0 | 0.0019 | 16.268 | 1.812717 | 24.535 | 2.862079 | 29.05% | 36.25% | 43.81% | 57.24% |
| 总计 | | | | | 44.858 | 4.7124 | 35.525 | 3.15 | | | | | | | | |

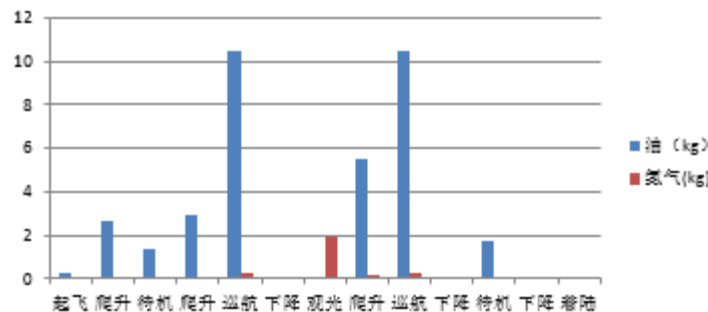
四座型各阶段油电消耗量



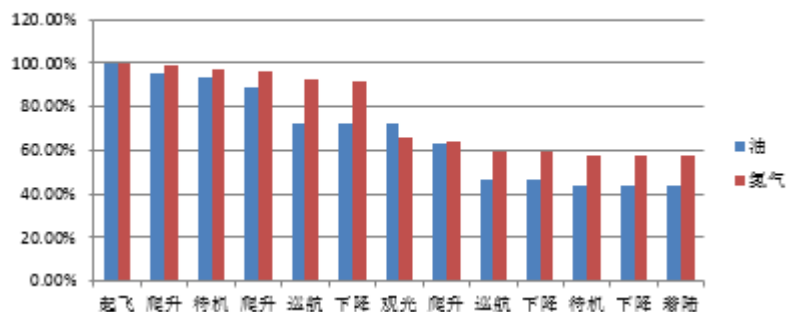
四座型油电消耗



六座型各阶段油电消耗量



六座型油电消耗





飞行性能 - 航程&航时



| | 四座型航时 min | 六座型航时 min | 四座 | | 六座 | | 四座重量变化率 (kg/h) | 六座重量变化率 (kg/h) | 四座计划航程 (km) | 六座计划航程 (km) |
|-----------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| | | | 油 (kg) | 氢气(kg) | 油 (kg) | 氢气(kg) | | | | |
| 起飞 | 0.5 | 0.5 | 0.258333 | 0.006383 | 0.258333 | 0.006383 | 31.76595745 | 31.76595745 | 0.46035 | 0.5115 |
| 爬升 | 4 | 4.5 | 2.066667 | 0.051064 | 2.325 | 0.057447 | 31.76595745 | 31.76595745 | 7.3656 | 9.207 |
| 待机 | 12 | 12 | 1.24 | 0.061277 | 1.24 | 0.061277 | 6.506382979 | 6.506382979 | 41.7384 | 42.966 |
| 爬升 | 8 | 10 | 4.133333 | 0.102128 | 5.166667 | 0.12766 | 31.76595745 | 31.76595745 | 46.6488 | 58.311 |
| 巡航 | 45 | 30 | 13.95 | 0.292979 | 9.3 | 0.195319 | 18.9906383 | 18.9906383 | 294.84 | 196.56 |
| 下降 | 12 | 14.5 | 0 | 0.030638 | 0 | 0.037021 | 0.153191489 | 0.153191489 | 72.4284 | 87.51765 |
| 观光 | 170 | 100 | 0 | 2.170213 | 0 | 1.276596 | 0.765957447 | 0.765957447 | 945.54 | 556.2 |
| 爬升 | 28 | 34 | 14.46667 | 0.357447 | 17.56667 | 0.434043 | 31.76595745 | 31.76595745 | 168.9996 | 205.2138 |
| 巡航 | 45 | 30 | 13.95 | 0.292979 | 9.3 | 0.195319 | 18.9906383 | 18.9906383 | 294.84 | 196.56 |
| 下降 | 12 | 14.5 | 0 | 0.030638 | 0 | 0.037021 | 0.153191489 | 0.153191489 | 69.9732 | 84.55095 |
| 待机 | 15 | 15 | 1.55 | 0.076596 | 1.55 | 0.076596 | 6.506382979 | 6.506382979 | 52.173 | 53.7075 |
| 下降 | 5 | 5.5 | 0 | 0.012766 | 0 | 0.014043 | 0.153191489 | 0.153191489 | 9.207 | 11.253 |
| 着陆 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0.001277 | 0 | 0.001277 | 0.153191489 | 0.153191489 | 0.8334 | 0.9168 |
| 总计 | 357 | 271 | 51.615 | 3.4864 | 46.707 | 2.52 | 90.75521902 | 106.8091513 | 2005.04775 | 1503.4752 |

四座型

计划航程: 2005.05km

总耗油: 51.62kg

总耗氢: 3.49kg

计划航时: 357min

备用航程: 291.41km

转场航程: 2296.46km

总耗油: 86.75kg

总耗氢: 30kg

发动机失效飞行距离: 960km

六座型

计划航程: 1503.48km

总耗油: 46.707kg

总耗氢: 2.52kg

计划航时: 271min

备用航程: 399.96km

转场航程: 1903.44km

总耗油: 86.75kg

总耗氢: 30kg

发动机失效飞行距离: 720km



飞行性能 - 爬升性能



四座型:

1. 加速爬升段:

起始海拔高度 $\approx 100\text{m}$ 终止海拔高度 $=2000\text{m}$

起始速度 $=0.09\text{Ma}$ 终止速度 $=0.25\text{Ma}$

爬升率 $V_{z,i} = 8.58\text{m/s}$

爬升时间 $\Delta t_i = 3.69\text{min}$

速度变化 $\Delta V_i = 54.56\text{m/s}$

2. 等速爬升段一

起始海拔高度 $=2000\text{m}$ 终止海拔高度 $=4900\text{m}$

速度 $=0.25\text{Ma}$

爬升率 $V_{z,i} = 5.83\text{m/s}$

爬升时间 $\Delta t_i = 8.3\text{min}$

爬升角 $\theta_i = 0.068\text{rad}$

爬升水平距离 $\Delta x_i = 705.11\text{m}$

3. 等速爬升段二

起始海拔高度 $=650\text{m}$ 终止海拔高度 $=4900\text{m}$

速度 $=0.27\text{Ma}$

爬升率 $V_{z,i} = 1.705\text{m/s}$

爬升时间 $\Delta t_i = 28.3\text{min}$

爬升角 $\theta_i = 0.019\text{rad}$

爬升水平距离 $\Delta x_i = 2609.55\text{m}$

六座型:

1. 加速爬升段:

起始海拔高度 $\approx 100\text{m}$ 终止海拔高度 $=2000\text{m}$

起始速度 $=0.1\text{Ma}$ 终止速度 $=0.25\text{Ma}$

爬升率 $V_{z,i} = 7.97\text{m/s}$

爬升时间 $\Delta t_i = 3.97\text{min}$

速度变化 $\Delta V_i = 51.15\text{m/s}$

2. 等速爬升段一

起始海拔高度 $=2000\text{m}$ 终止海拔高度 $=4800\text{m}$

速度 $=0.25\text{Ma}$

爬升率 $V_{z,i} = 4.86\text{m/s}$

爬升时间 $\Delta t_i = 9.95\text{min}$

爬升角 $\theta_i = 0.057\text{rad}$

爬升水平距离 $\Delta x_i = 846.45\text{m}$

3. 等速爬升段二

起始海拔高度 $=650\text{m}$ 终止海拔高度 $=4800\text{m}$

速度 $=0.27\text{Ma}$

爬升率 $V_{z,i} = 1.42\text{m/s}$

爬升时间 $\Delta t_i = 34.04\text{min}$

爬升角 $\theta_i = 0.015\text{rad}$

爬升水平距离 $\Delta x_i = 3133.47\text{m}$



飞行性能 - 起降性能



海拔高度：5000ft

1、起飞速度计算

起飞迎角 α : 10° 擦地角: 15° CL, max=2.02

| | | km/h | m/s |
|----------|----|---------|--------|
| 四座 六座 | Vr | 127.636 | 35.454 |
| | | 140.705 | 39.085 |

2、起飞距离计算

| 海平面 | | | | |
|-----|---------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | 常规跑道 (f=0.025) | 混凝土 (f=0.035) | 硬草地 (f=0.085) |
| 四座 | L _{tor} /m | 254.252 | 256.069 | 268.786 |
| | L ₂ /m | 57.499 | 57.499 | 57.499 |
| | L ₃ /m | 33.018 | 33.018 | 33.018 |
| | L _{to} /m | 344.768 | 346.586 | 359.302 |
| 六座 | | 常规跑道 (f=0.025) | 混凝土 (f=0.035) | 硬草地 (f=0.085) |
| | L _{tor} /m | 288.186 | 290.010 | 302.672 |
| | L ₂ /m | 57.499 | 57.499 | 57.499 |
| | L ₃ /m | 41.210 | 41.210 | 41.210 |
| | L _{to} /m | 386.895 | 388.719 | 401.382 |

3、着陆性能计算

| | V _A (m) | L _L (m) |
|----|--------------------|--------------------|
| 四座 | 38.41 | 516.17 |
| 六座 | 42.34 | 627.27 |

海拔为零

1、起飞速度计算

起飞迎角 α : 10° 擦地角: 15° CL, max=2.02

| | | km/h | m/s |
|----------|----|---------|-------|
| 四座 六座 | Vr | 115.457 | 32.07 |
| | | 127.278 | 35.35 |

2、起飞距离计算

| 海拔高度：5000ft | | | | |
|-------------|---------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | 常规跑道 (f=0.025) | 混凝土 (f=0.035) | 硬草地 (f=0.085) |
| 四座 | L _{tor} /m | 254.181 | 257.519 | 278.027 |
| | L ₂ /m | 63.565 | 63.565 | 63.565 |
| | L ₃ /m | 33.018 | 33.018 | 33.018 |
| | L _{to} /m | 350.763 | 354.101 | 374.609 |
| 六座 | | 常规跑道 (f=0.025) | 混凝土 (f=0.035) | 硬草地 (f=0.085) |
| | L _{tor} /m | 288.110 | 291.557 | 312.471 |
| | L ₂ /m | 63.565 | 63.565 | 63.565 |
| | L ₃ /m | 41.210 | 41.210 | 41.210 |
| | L _{to} /m | 392.886 | 396.332 | 417.246 |

3、着陆性能计算

| | V _A (m) | L _L (m) |
|----|--------------------|--------------------|
| 四座 | 34.74 | 422.36 |
| 六座 | 38.30 | 513.27 |



经济性与环保性



一、经济性 – 费用分解分析表

| We飞机空重 (kg) | V最大飞行速度 (节) | Q产量 (架) | FTA试飞飞机数目及地面试验数目 (架) |
|-------------|--------------|--------------|----------------------|
| 1130 | 235.616 | 30 | 3+2=4.5 |
| Re | Rt | Rm | Rq |
| 165 | 80 | 75 | 80 |
| He工程工时 (h) | Ht工艺装备工时 (h) | Hm制造工时 (h) | Hq质量控制工时 (h) |
| 123385.0 | 305862.2 | 494866.1 | 64332.6 |
| 发展支持成本 (元) | Cf试飞成本 (元) | Cm制造材料成本 (元) | 发动机及电动机生产成本 (元) |
| 895658.9 | 258365.25 | 3512166.9 | 2400000 |
| 总成本 (元) | 每架成本 (元) | 电子设备成本 (元) | 直接成本 (元) |
| 96178385 | 3205946.2 | 573127.2 | 3305050.2 |

四座交付价格：360万 元

| We飞机空重 (kg) | V最大飞行速度 (节) | Q产量 (架) | FTA试飞飞机数目及地面试验数目 (架) |
|-------------|--------------|--------------|----------------------|
| 1130 | 235.616 | 30 | 3+2=4.5 |
| Re | Rt | Rm | Rq |
| 165 | 80 | 75 | 80 |
| He工程工时 (h) | Ht工艺装备工时 (h) | Hm制造工时 (h) | Hq质量控制工时 (h) |
| 130393 | 322169.5 | 520415.5 | 67654.0 |
| 发展支持成本 (元) | Cf试飞成本 (元) | Cm制造材料成本 (元) | 发动机及电动机生产成本 (元) |
| 950501.6 | 280071 | 3680704.5 | 2400000 |
| 总成本 (元) | 每架成本 (元) | 电子设备成本 (元) | 直接成本 (元) |
| 101066291.6 | 3368876.4 | 573127.2 | 3467980.6 |

六座交付价格：400万 元



经济性与环保性



一、经济性 – 燃油费用分析表&氢气费用分析表

燃油费用分析表

| 项目 | 质量 (kg) | 花费 (元) |
|---------|---------|--------|
| 燃油总重 | 86.7 | 407 |
| 巡航阶段 | 82.4 | 329 |
| 滑跑 | 0.4 | 1 |
| 下滑性能 | 1.0 | 4 |
| 着陆性能 | 0.02 | 0.08 |
| 第一爬升段 | 0.3 | 1 |
| 水平加速段 | 0.88 | 3 |
| 第二爬升段 | 0.65 | 2.6 |
| 第二水平加速段 | 0.096 | 0.38 |

氢气费用分析表

| 项目 | 体积 (L) | 花费 (元) |
|---------|--------|--------|
| 总体积 | 75 | 450 |
| 巡航阶段 | 48.2 | 289 |
| 滑跑 | 4.64 | 27 |
| 下滑性能 | 3.15 | 18 |
| 着陆性能 | 0.09 | 0.5 |
| 第一爬升段 | 1.5 | 9 |
| 水平加速段 | 2.2 | 13 |
| 第二爬升段 | 1.5 | 9 |
| 第二水平加速段 | 2.7 | 16 |

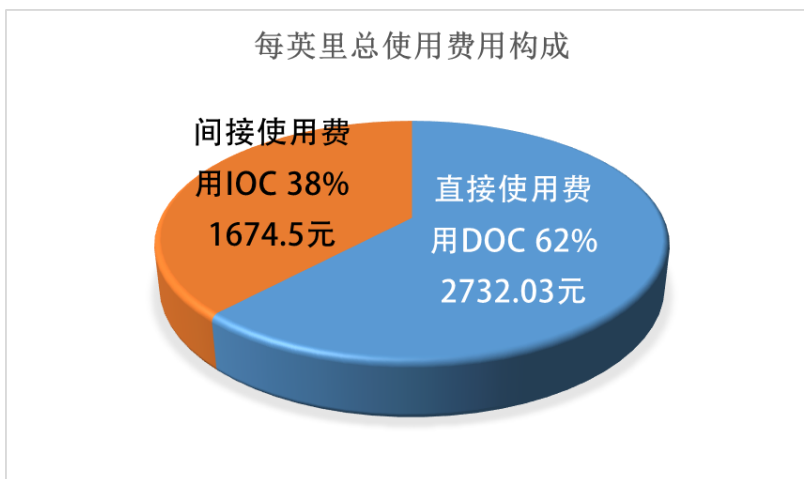
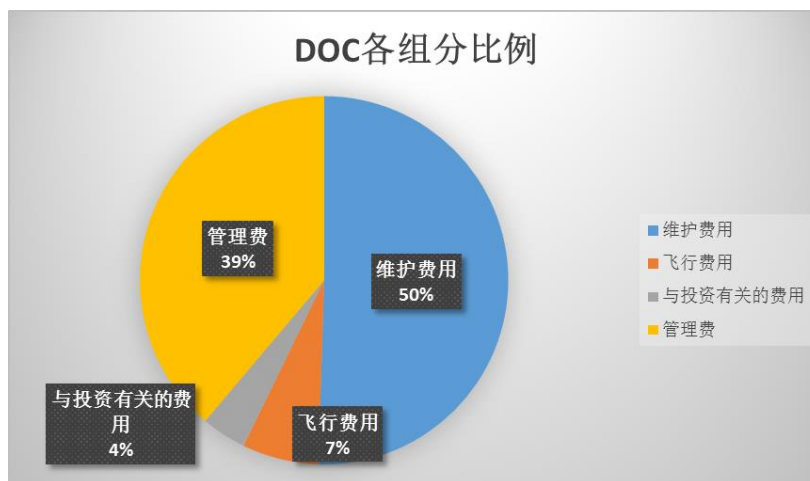


经济性与环保性



一、经济性 - 直接使用费用DOC分析表

| DOC构成 | DOC元素 | 费用值 (元/mile) |
|-----------------|------------|--------------|
| 飞行费用 | 机组费 | 69.79 |
| | 燃油与氢气费 | 64.9 |
| | 乘务员费 | 0 |
| 维护费用 | 机体劳务费 | 205.3 |
| | 发动机劳务费 | 135.9 |
| | 机体材料费 | 196.5 |
| | 发动机材料费 | 227.3 |
| | 发动机直接使用维护费 | 250.6 |
| 与投资有关的费用 | 折旧 | 70 |
| | 利息 | 27.5 |
| | 保险 | 4.9 |
| 管理费 | 着陆费 | 3.3 |
| | 导航费 | 3.6 |
| | 地面管理费 | 1472.7 |
| DOC总值 (每英里使用费用) | | 2732.03 |



总使用费用：每英里4406.5元

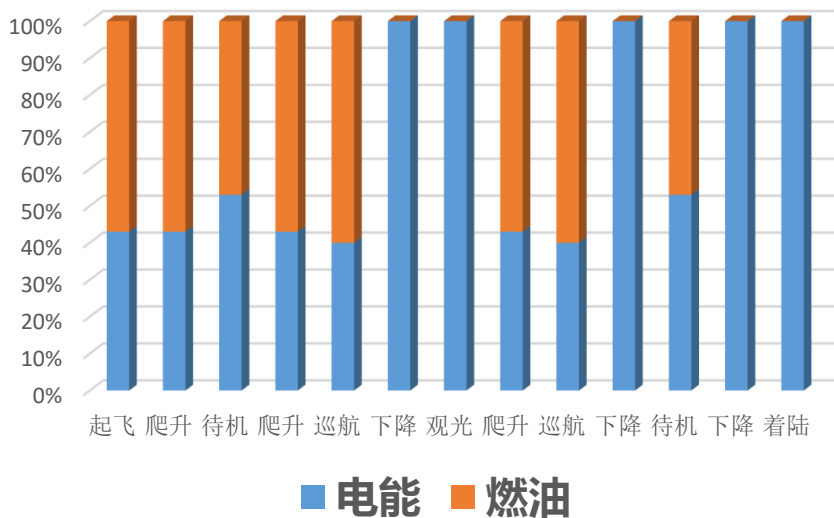


经济性与环保性

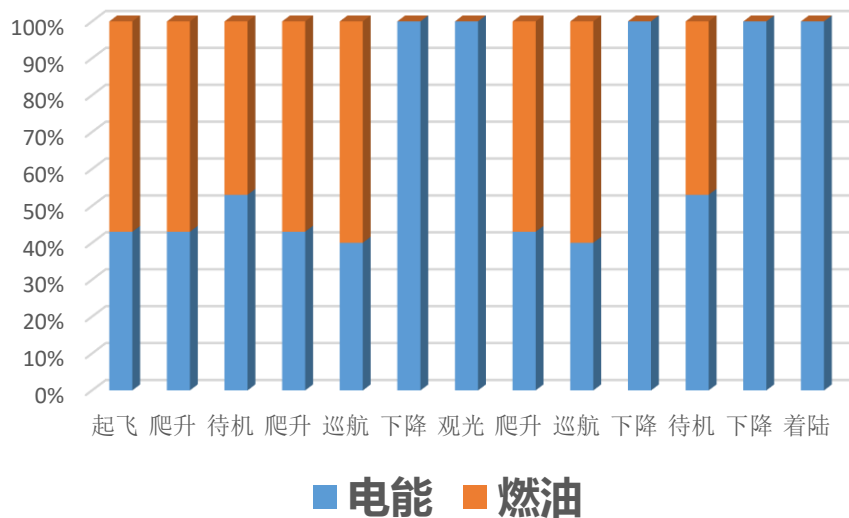


二、环保性 - 碳排放

四座型各阶段油电供能所占比例



六座型各阶段油电供能所占比例



四座型飞机碳排放量**减少70%**，
六座型飞机碳排放量**减少67%**，

节省燃油58%
节省燃油50%



经济性与环保性



二、环保性 - 噪声分析

一般的飞机上，气动噪声主要有如下几个方面的来源：

- 1.航空发动机，尤其是喷气式发动机代来的噪声
- 2.反推力装置的噪声
- 3.APU装置的噪声
- 4.工作系统的噪声
- 5.高速飞行时集体空气动力学的噪声

查找的资料标准主要根据ICAO-16 航空器噪声国家标准和建议，
以及CCAR-36-R1 噪声适航性标准两部



经济性与环保性



二、环保性 - 噪声分析

在该飞机的设计中，拟对噪声采取如下的处理形式：

a. 直接省去APU

b. 将发动机置于飞机的最前方

c. 飞机的飞行速度较低

d. 在考虑飞机的内部装饰时，最终确定了一种超细玻璃纤维棉毡作为内部装饰所使用的主要材料

e. 飞机内主动降噪装置

f. 飞机使用的下单翼布局

g. 观光 / 巡航 / 进近阶段全用电

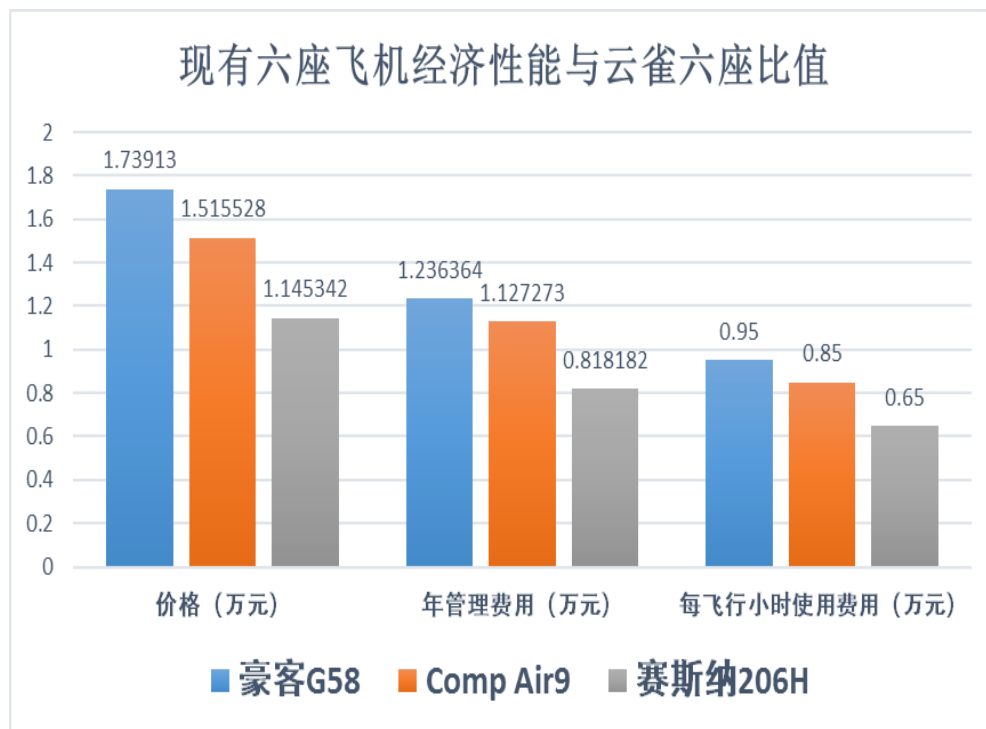


设计优势总结



三、优势对比 - 经济性对比

| | 价格 (万元) | 年管理费用 (万元) | 每飞行小时使用费用 (万元) |
|-----------|---------|------------|----------------|
| 西锐SR22 | 342 | 31 | 0.2 |
| 豪客G58 | 700 | 68 | 0.38 |
| Comp Air9 | 610 | 62 | 0.34 |
| 赛斯纳206H | 461 | 45 | 0.26 |
| DT212四座 | 359 | 55 | 0.4 |
| DT212六座 | 402.5 | 55 | 0.4 |



由图可直观地看出，虽然云雀使用氢气，使用费用稍贵，但其售价远低于同类型六座飞机



设计优势总结



三、优势对比 - 飞行性能对比

与其他同类型飞机相比，云雀各项性能相对均衡且达到中上水平，其中在最大巡航速度高度等方面较为突出。

| 主要参数 | 西锐 SR22 | DA40 | DA42 | Panthe ra | 云雀四 座 |
|-------------------|--------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|
| 机长 /m | 7.9 | 8.06 | 8.5 | 8.07 | 8.05 |
| 翼展 /m | 11.7 | 11.94 | 13.2 | 10.86 | 13.0 |
| 最大起飞 重量/kg | 1542 | 1150 | 1700 | 1200 | 1453 |
| 爬升率 /(m/s) | 7.1 | 4.8 | 8.7 | 6.1 | 7.0 |
| 最大巡航 速度/(km/h) | 405 | 263 | 376 | 374 | 453.6 |
| 最大巡航 高度/m | 5334 | 5000 | 5486 | 6100 | 10500 |
| 最大航程 /km | 1850 | 1056 | 1857 | 1900 | 2005 |
| 起飞距离 /m | 313 | 335 | 290 | --- | 345 |
| 着陆距离 /m | 348 | 288 | 235 | --- | 422 |
| 动力系统 类型 | 活塞 发动机 | 涡轮增 压发动机 | 涡扇发 动机 | 活塞发 动机 | 活塞发 动机 |
| 发动机型 号 | IO-550- N | IO-360- MIA | Centurio n.1 | IO-390 | IO-360-C |
| 载客数 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 运营成本 /万元 | 342 | 290 | 395 | 292 | 358 |

| 主要参数 | 派珀子 午线 | Comp Air9 | 豪客 G58 | 赛斯纳 206H | 云雀六 座 |
|-------------------|---------------|---------------|-----------|------------------|------------|
| 客舱高度（横 截面）/m | 1.2 | 1.29 | 1.27 | 1.08 | 1.30 |
| 客舱宽度（横 截面）/m | 1.37 | 1.32 | 1.07 | 1.26 | 1.40 |
| 翼展/m | 9 | 12.2 | 17.65 | 10.97 | 12.98 |
| 最大起飞重量 /kg | 1689 | 3492 | 2495 | 1632 | 1732 |
| 爬升率/(m/s) | 12.1 | 20.3 | 8.63 | 5 | 7.97 |
| 最大巡航速度 /(km/h) | 475 | 408 | 374 | 280 | 466.5 |
| 最大巡航高度 /m | 9144 | 6000 | 6306 | 4785 | 10500 |
| 最大航程/km | 1673 | 2778 | 1704 | 1278 | 1503 |
| 起飞距离/m | 1100 | 228 | 1000 | 567 | 413 |
| 着陆距离/m | 980 | 228 | 890 | 425 | 523 |
| 动力系统类型 | 涡桨发 动机 | 涡桨 发动机 | 活塞发 动机 | 活塞发 动机 | 活塞、 电动机 |
| 发动机型号 | PT6A - 42A | TPE331 -10 | IO-550-C | IO-540- AC1A5 | IO-360-C |
| 载客数 | 6 | 6 | 5 | 6 | 6 |
| 运营成本/万元 | 1739 | 610 | 700 | 461 | 349 |



设计参数与要求对比



| 性能指标 | 设计要求4座 | 实际方案4座 | 设计要求6座 | 实际方案6座 |
|---------------|--------|-------------|--------|--------|
| 最大飞行速度 (km/h) | 430 | 456.5 | 410 | 453.6 |
| 巡航速度 (km/h) | 392 | 392.8 | 465 | 466.5 |
| 失速速度 (km/h) | 160 | 149.0 | 170 | 162.4 |
| 巡航高度 (m) | 4900 | 4900 | 4800 | 4800 |
| 理论升限 (m) | 6500 | 11000 | 6500 | 11000 |
| 实用升限 (m) | 6000 | 10800 | 6000 | 10500 |
| 航程 (km) | 1800 | 2005.0 5 | 1500 | 1503.5 |
| 最大续航时间 (h) | 5.8 | 5.95 | 4.5 | 4.52 |

| 性能指标 | 设计要求4座 | 实际方案4座 | 设计要求6座 | 实际方案6座 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| 起飞速度 (km/h) | 115 | 120.6 | 130 | 132.8 |
| 起飞距离 (m) | 457.2 | 345.8 | 548.6 | 432.7 |
| 着陆速度 (km/h) | 100 | 113.2 | 135 | 130.1 |
| 着陆距离 (m) | 457.2 | 422.36 | 548.6 | 513.27 |
| 爬升率 (m/s) | 8.0 | 8.58 | 7.0 | 7.97 |
| 有效载荷 (kg) | 400 | 419 | 600 | 602.66 |



设计要求与实际值



| 项目要求 | 最终给出 |
|---------------------------|-------------------------------|
| 能够目视飞行和通过自动驾驶仪飞行 | 人机环境分析表明，目视视角良好，同时安装有自动驾驶系统， |
| 能够在已知结冰条件下飞行 | 使用TKC冰防护系统 |
| 使用将在2028服役的发动机 | Lycoming AEIO-360-A四缸活塞式发动机 |
| 使用将在2028将投入使用的电动机 | 西门子新款电动机，未发售 |
| 电池能量密度 | 350Wh/kg |
| 电池功率密度 | 3.1kW/L, 2.0kW/kg |
| 电机效率 | 95% |
| 螺旋桨效率 | 巡航时90.473, 起飞时0 |
| 电推进系统重量 | 125kg |
| 4座与6座通用机体结构和推重系统重量至少达到75% | 满足条件，四六座推重系统重量完全一致，机体结构重量相差不多 |
| 单发失效时仅靠电池能达到的最远距离 | 四座960km 六座720km |



设计要求与实际值



| 项目要求 | 单位 | 设计值 | | 完成度 |
|-----------------|------|--------|--------|-----|
| | | 四座 | 六座 | |
| 航程1852 / 1389 | km | 2005 | 1503 | √ |
| 巡航速度392 / 465 | km/h | 392.8 | 466.5 | √ |
| 爬升率8.0 / 7.0 | m/s | 8.58 | 7.97 | √ |
| 起飞距离-水泥地457/548 | m | 345.8 | 432.7 | √ |
| 起飞距离-草地420/550 | m | 359 | 401 | √ |
| 着陆距离-水泥地547/548 | m | 422.36 | 513.27 | √ |
| 着陆距离-草地 420/550 | m | 422.36 | 513.27 | √ |
| 最大失速速度80 / 80 | km/h | 149 | 162 | √ |
| 最大平飞速度430/410 | km/h | 456.5 | 453.6 | √ |
| 有效载荷400/600 | kg | 419 | 602 | √ |



飞行器适航认证



ICAO-16 航空器噪声国家标准和建议

CCAR-36-R1 噪声适航性标准

CCAR-25-R4 运输类飞机适航标准

**CCAR-23-R3正常类、实用类、特技类和通勤类
飞机适航规定**

**“云雀”完全符合适航条件，客观上能够投入商业
运营**



团队协作



共211个文件 (已使用2.12GB/10GB)



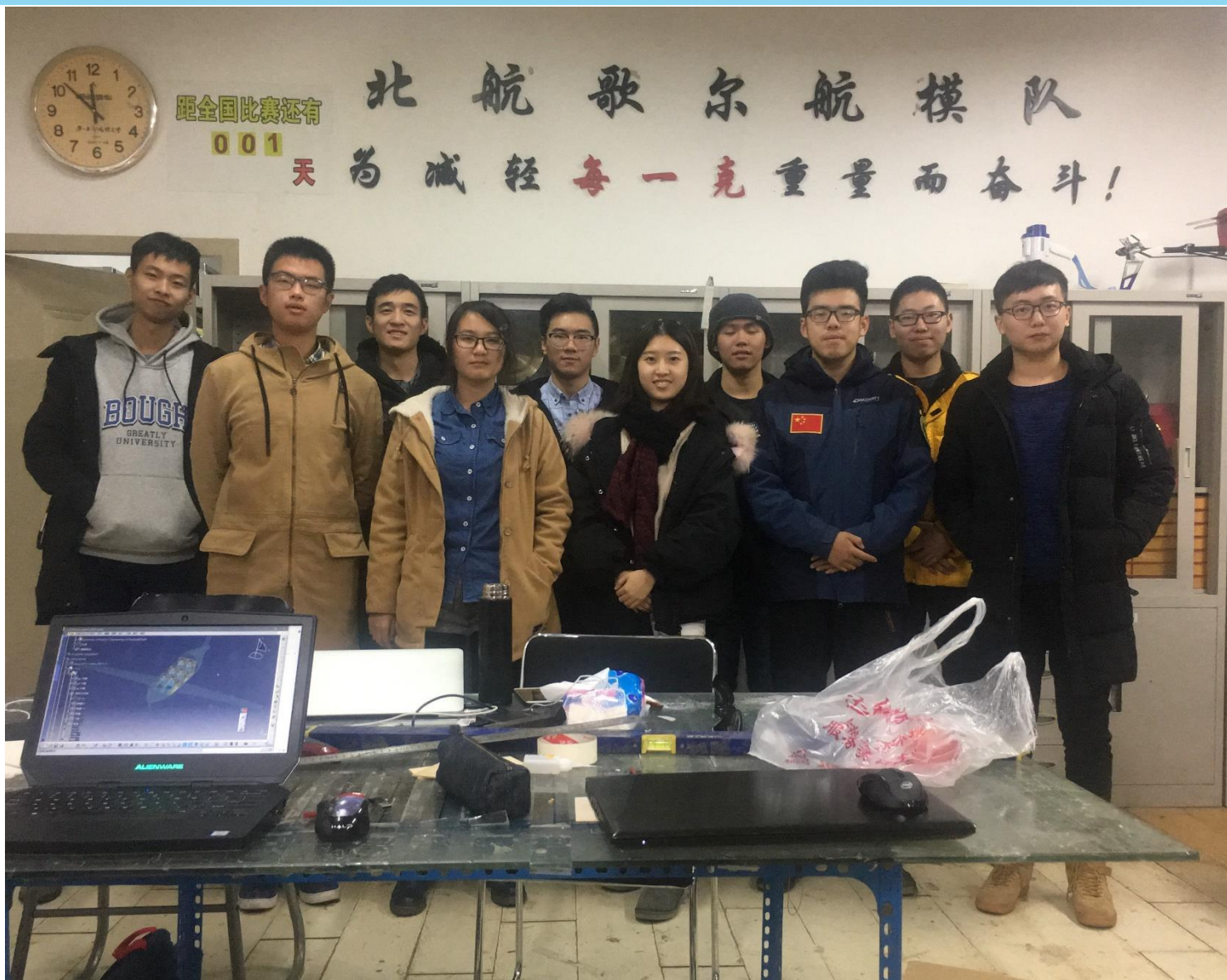
+ 上传

二、正确严谨 - 参考文献

- [1] 孟华, 庄多多. 由法航 AF447 空难引发的对民用客机驾驶舱侧杆技术的探讨[J]. 江苏科技信息, 2014(13):28-29.
- [2] 王欢, 孙永荣, 孙旭东, 等. 飞机主动侧杆系统的杆力控制方法研究[J]. 测控技术, 2016, 35(12):79-82.
- [3] B747-400 FCOM, 中国国际航空公司 B747 FCOM[S]. 美国西雅图:2008.10.
- [4] 陈照峰, 吴捷, 杨勇, 等. 航空级超细玻璃纤维毡的制备及隔音隔热性能研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2016, 48(1):10-15.
- [5] 熊瑞琴, 郭小朝, 陆惠良, 等. 飞机侧杆驾驶装置的优缺点及其改进设计探讨[J]. 人类工效学, 2006, 12(1):36-38.
- [6] 陈璞, 徐亨成. 航空电子系统 BIT 综述[J]. 中国水运-学术版, 2006(2):110-112.
- [7] 周岸斐, 刘艳涛. 民用飞机综合模块化航电系统分区和资源分配的研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2014(3):88-91.
- [8] 袁晓双, 刘强, 王波. 适于多电飞机的新型环境控制系统初探[C]// 大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会 2007 年年会. 2007.
- [9] 霍曼, 邓中卫. 国外军用飞机航空电子系统发展趋势[J]. 航空电子技术, 2004, 35(4):5-10.
- [10] 韩树民. 高容量型混合稀土—镁—镍基储氢合金的研究[J]. 功能材料信息, 2007(5):32.
- [11] 刘路. 国外飞机综合环境控制系统[J]. 航空科学技术, 2004(2):28-31.
- [12] 李雪, 张伊放, 齐卫宏, 等. 纳米储氢合金[J]. 化学进展, 2013, 25(7):1122-1130.
- [13] 曹丹燕. 某飞机座舱压力调节系统高原适应性分析[J]. 科技信息, 2013(24):383-385.
- [14] 袁小军, 马莉. 航空电子系统标准的发展研究[J]. 航空标准化与质量, 2002(6):8-11.
- [15] 张军才, 陈剑. 民用飞机机载信息系统设计分析[J]. 科技创新与应用, 2012(24):5-6.
- [16] 占泽晨, 杜晓梅, 贾辉. 并联式混合动力汽车传动系统结构分析[J]. 轻型汽车技术, 2011(5):17-21.
- [17] 梁焱, 王焱, 郭有仪, 等. 氢动力车用液氢贮罐的发展现状及展望[J]. 低温工程, 2001(5):31-36.
- [18] AIAA. Mitigating operational aircraft noise impact by leveraging on automation capability - 1st AIAA, Aircraft, Technology Integration, and Operations Forum (AIAA)[J]. Appl Environ Microbiol, 1987, 53(5):1042-1045.
- [19] 吴蔚. 电推进飞机离我们还有多远[J]. 大飞机, 2017, (08):30-33.
- [20] 航空知识网. 航空知识, 2007-2017.
- [21] 吴蔚. 电推进飞机离我们还有多远[J]. 大飞机, 2017, (08):30-33.
- [22] 刘文斌. 多动力源固定翼无人飞行器的动力匹配与控制策略研究[D]. 吉林大学, 2017.
- [23] 曹念清. 中国通用航空发展现状、困境及对策探析[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2014, 16(01):110-117.
- [24] 尚志波, 万志强, 梁猛, 杨超. 双尾撑布局飞机飞行载荷分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, (04):456-459.
- [25] 王立波, 杨超, 吴志刚. 双尾撑布局弹性飞机配平诱导阻力分析与优化[J]. 北京航空航天大学学报, 2012, 38(07):867-872.
- [26] 杨轩, 何景武, 夏盛来. V 型尾翼布局弹性飞机操纵性分析[J]. 飞机设计, 2013, 33(02):13-16.
- [27] 汪萍. 浅析公务机市场的发展[J]. 民用飞机设计与研究, 2013, (02):5-7+67.
- [28] 李亮, 孙泰. 基于 Msc.Nastran 的 T 型尾翼优化设计研究[J]. 航空计算技术, 2010, 40(05):63-66.
- [29] 许震宇, 卢强. 燃料电池轻型飞机起飞质量估算方法[J]. 飞机设计, 2011, 31(03):6-8+23.
- [30] 李毅波, 林鹏, 陶晓洋, 郝向东. 空地两用燃料电池轻型飞机总体参数设计与建模[J]. 飞机设计, 2016, 36(05):29-33.
- [41] 李满英, 白天, 朱春玲. 飞机机舱除冰系统的研究综述[J]. 飞机设计, 2015, 35(04):73-77.
- [42] 徐海华. 全球公务机市场的崛起回落和中国市场展望[J]. 中国民用航空, 2009, (12):65-67.
- [43] 郭唯滨, 王学俭, 张滨江. 前掠翼纵向气动特性的实验研究[J]. 航空学报, 1987, 6(6):227-238.
- [44] Dongwook Lim, Georgia Institute of Technology; Cedric Justin, Georgia Institute of Technology; Dimitri N. Mavris. Advanced General Aviation Concept Study for a Roadable Aircraft[J]. 15th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, 2015, 10.2514/6.2015-3001
- [45] Mark D. Moore, NASA Langley Research Center. Misconceptions of Electric Aircraft and their Emerging Aviation Markets[J]. 52nd Aerospace Sciences Meeting, 2014, 10.2514/6.2014-0535



云雀冬日起 十人心血集



在这里
特别感谢
每一位
团队成员
的辛苦
努力

云雀冬日起

十人心血集



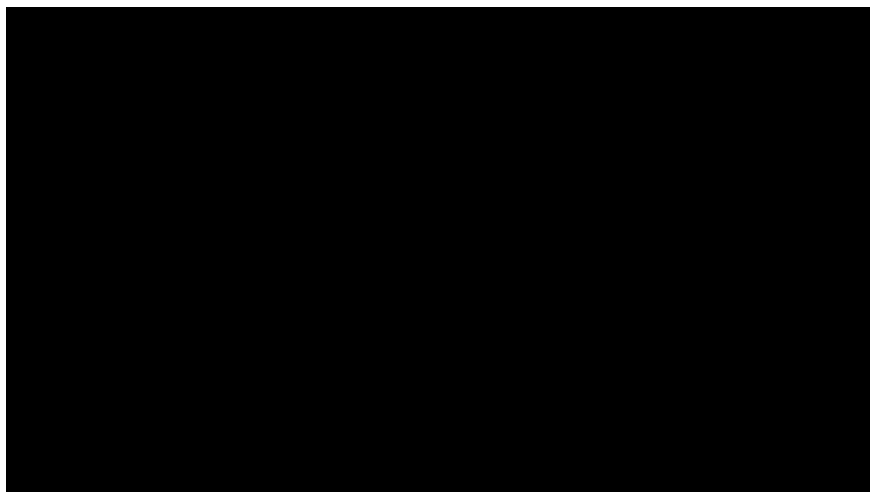


“云雀”飞机总体设计

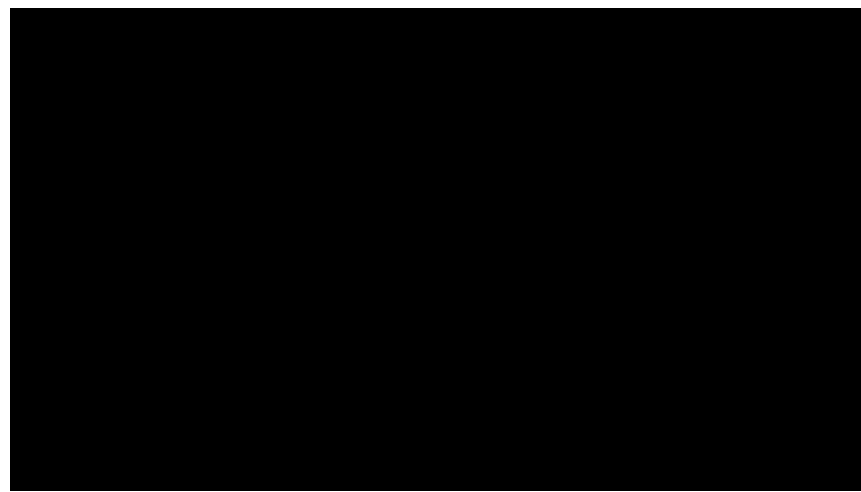


| | |
|----------------|--------------------------|
| 设计要求及市场定位 | 李博, 朱坤宇, 高小天, 何瑞辰, 霍德 |
| 参数迭代权衡 | 王卓, 许珂, 郭楚凡, 王金瀚, 李博, 霍德 |
| 重量迭代分析 | 王卓, 许珂 |
| 方案迭代及最终方案 | 所有成员 |
| 最终方案气动设计及结构设计 | 郭楚凡, 何瑞辰, 朱坤宇, 张晓岳 |
| 最终方案总体布置 | 张晓岳, 王卓, 何瑞辰 |
| 动力系统设计及先进技术设计 | 许珂, 王卓, 张晓岳, 霍德 |
| 稳定性、气动及飞行性能分析 | 王金瀚, 李博, 霍德 |
| 经济性分析及环保性分析 | 高小天, 张晓岳 |
| 设计参数与要求对比及优势总结 | 高小天, 李博 |
| 团队协作 | 所有成员 |

涡量图



$x=3$ 处剖面的涡量图随时间的变化



沿流向各剖面涡量图的变化