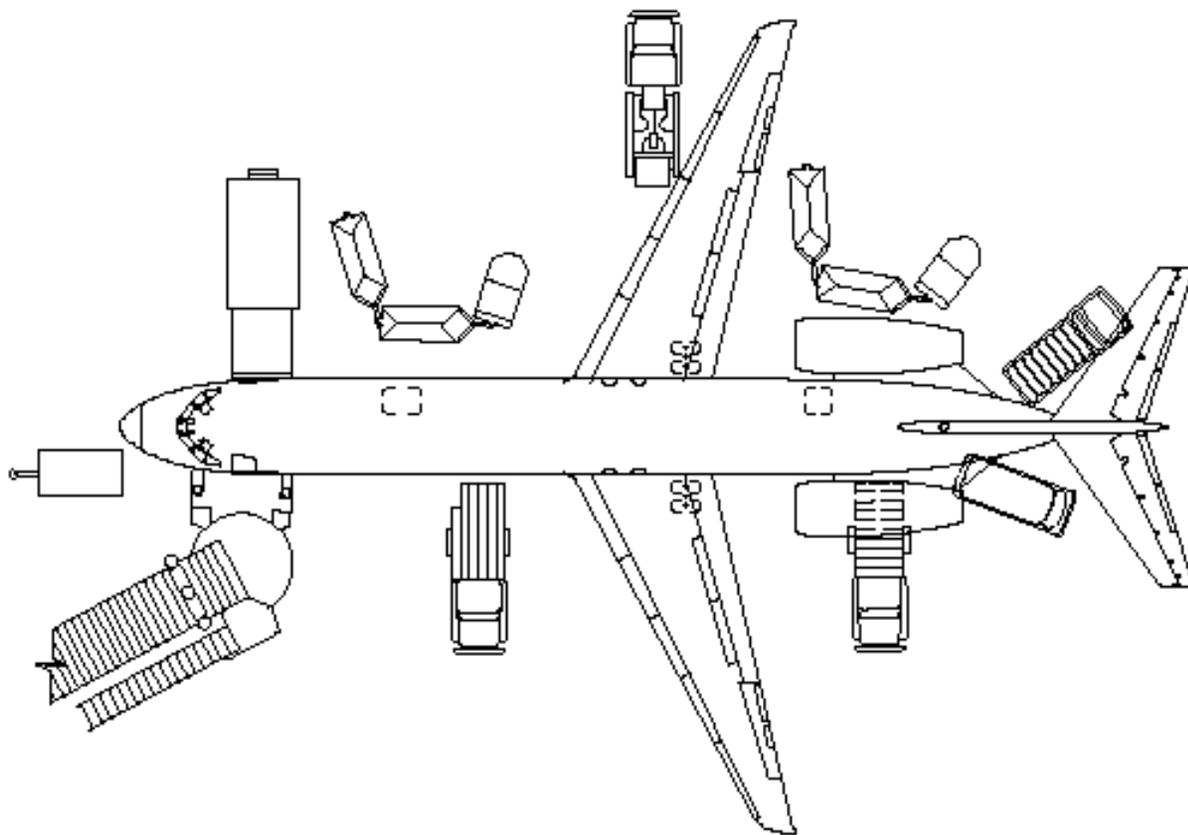
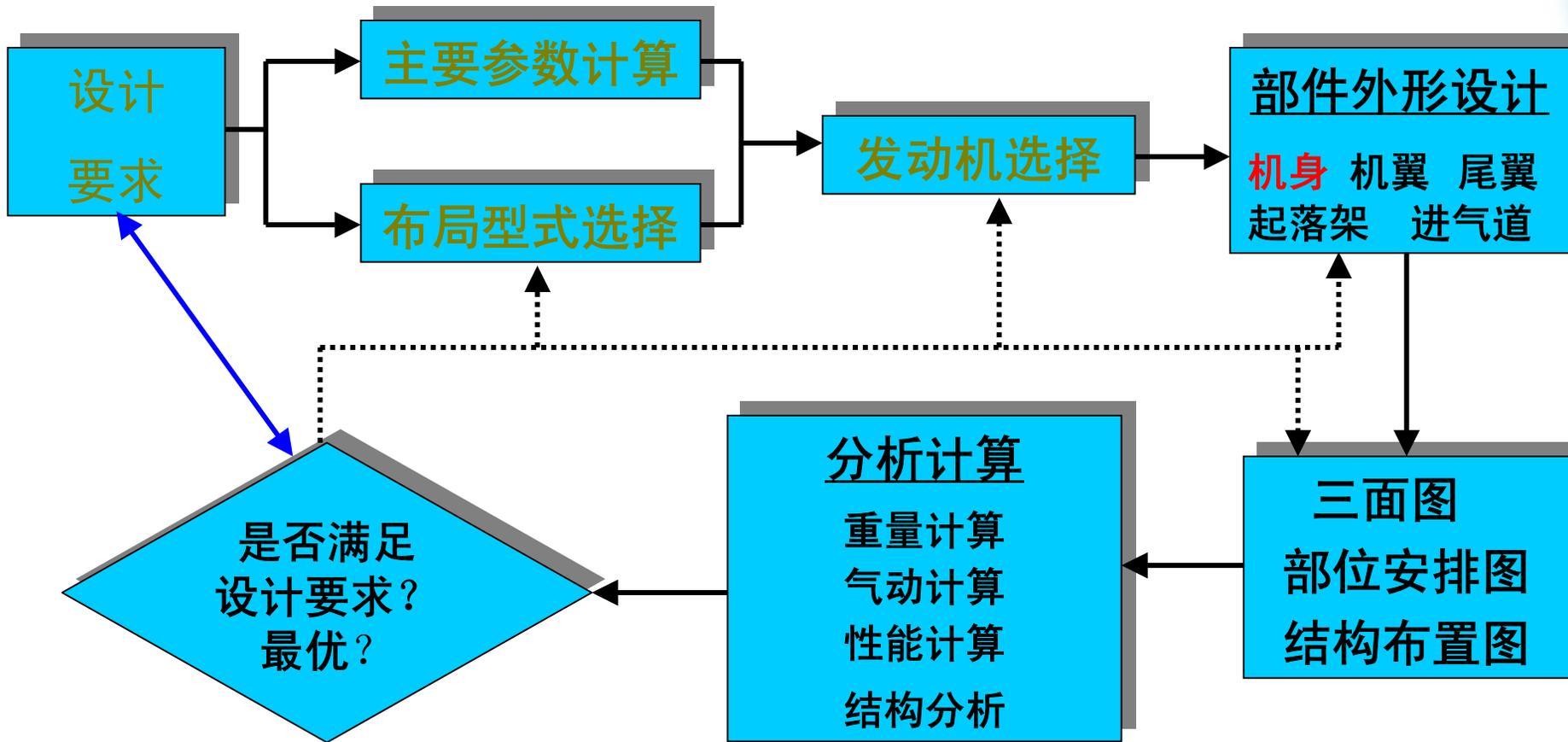


机身外形的初步设计



飞机总体设计框架





内容提要

- 设计机身所考虑的主要因素
- 机身外形的主要参数
- 机身参数对气动和结构的影响
- 机身外形主要参数的初步确定
- 机身外形的初步设计要点
- 面积律
- 机身外形初步设计的步骤
- 举例



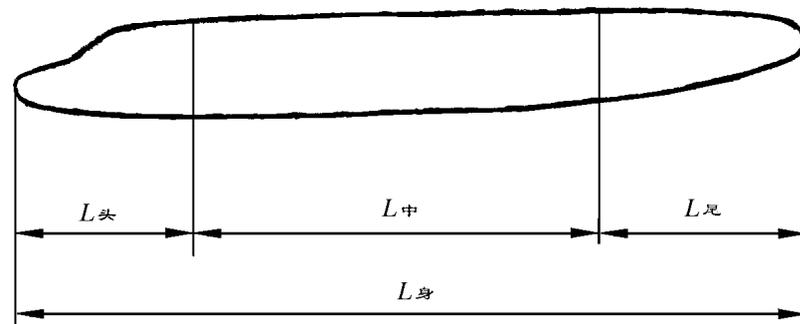
设计机身所考虑的主要因素

- 装载要求：有足够大的内部容积
- 气动要求：气动阻力小
- 结构要求：有利于结构布置

机身外形的主要参数

• 描述方法之一:

- 总长度: $L_{\text{身}}$
- 最大横截面积 $S_{\text{身}}$



- 机身長径比: $\lambda_{\text{身}} = L_{\text{身}} / d_{\text{身}}$

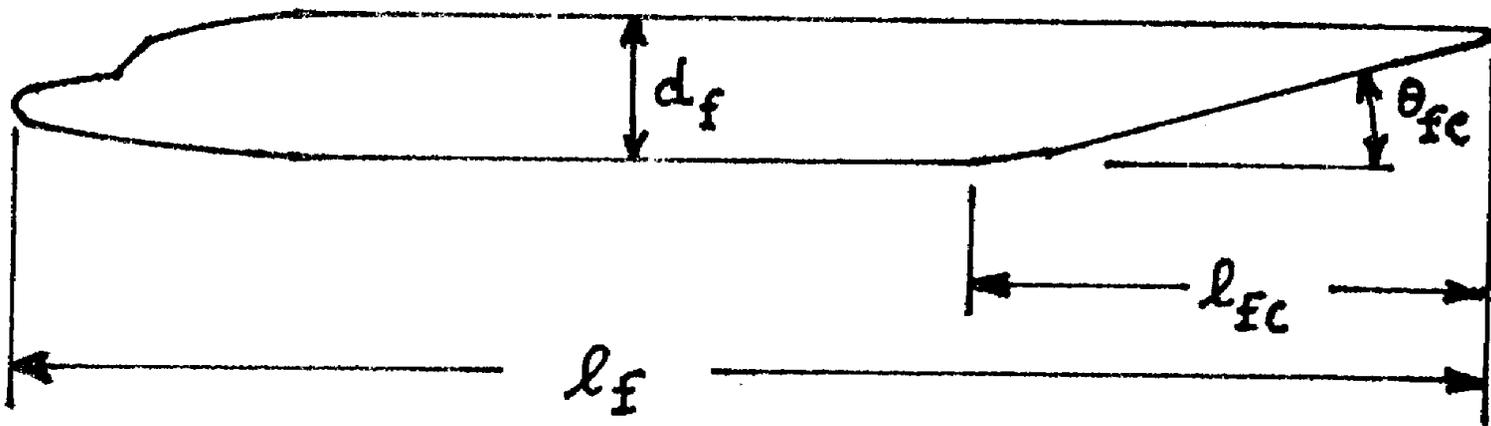
$d_{\text{身}}$ 是 $S_{\text{身}}$ 的当量直径:
$$d_{\text{身}} = \sqrt{\frac{4S_{\text{身},\text{max}}}{\pi}}$$

- 头部长径比: $\lambda_{\text{头}} = L_{\text{头}} / d_{\text{头}}$

- 尾部长径比: $\lambda_{\text{尾}} = L_{\text{尾}} / d_{\text{尾}}$

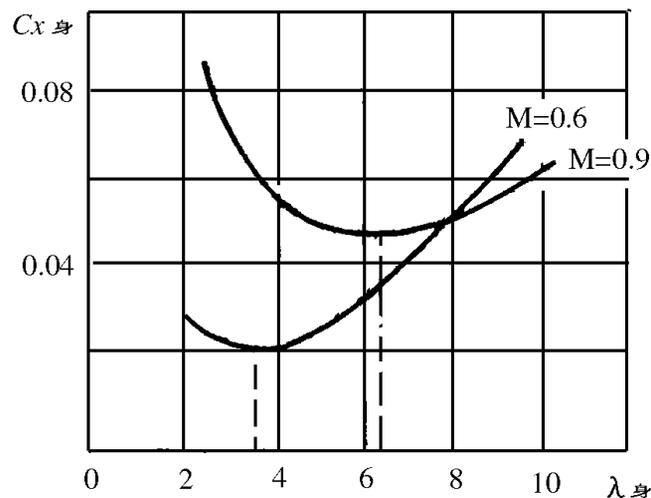
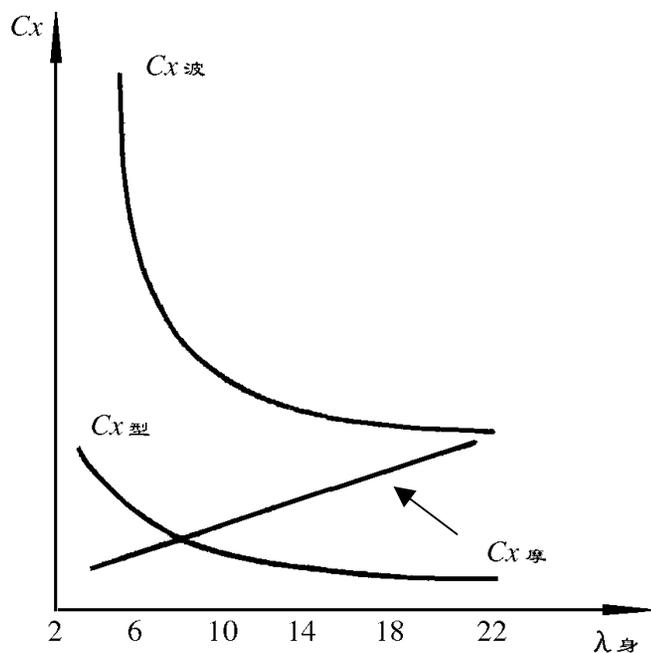
描述方法之二:

- 最大直径: d_f
- 总长度 l_f
- l_{fc} , θ_{fc}



机身参数对气动和结构特性的影响

• 机身长径比 λ 对阻力的影响



- 1) 机身的压差阻力和波阻，随 λ 增大而降低。
- 2) 摩擦阻力随 λ 有可能增加。

整个机身的阻力系数与M数有关:

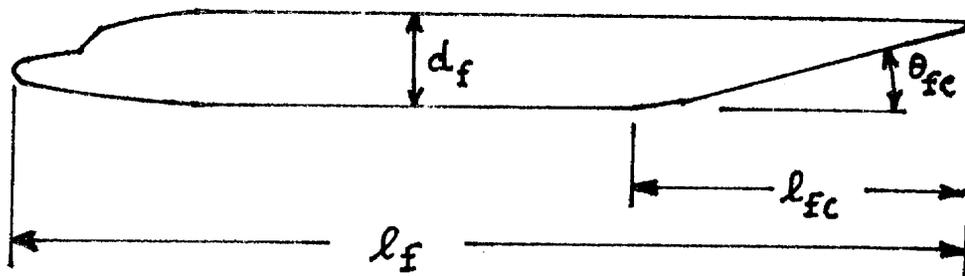
$M=0.6$ 时, $\lambda = 3.5$ 最有利

$M=0.9$ 时, $\lambda = 6.5$ 最有利

对应一定M数, 存在一个最有利的长径比

- θ_{fc} 的影响

- 1) θ_{fc} 变大: 摩擦阻力小, 型阻增大, 尾翼面积会增加;
- 2) θ_{fc} 变小: 摩擦阻力增大, 型阻小, 尾翼面积减小;
- 3) θ_{fc} 的大小与着陆时着地角有关





机身外形参数的初步确定

- 机身长径比 λ 的选择（参考统计数据）

长径比	低速 $M < 0.7$	高亚音速 $M < (0.8 - 0.9)$	超音速
$\lambda_{\text{身}}$	6 - 9	8 - 13	10 - 20
$\lambda_{\text{头}}$	1.2 - 2.0	1.7 - 2.5	4 - 6
$\lambda_{\text{尾}}$	2 - 3	3 - 4	5 - 7



• d_f / l_f , l_{fc} , θ_{fc} 的选择

机型	l_f / d_f	l_{fc} / d_f	θ_{fc} (deg)
单发螺旋桨	5 - 8	3 - 4	3 - 9
双发螺旋桨	3.6 - 8	2.6 - 4	6 - 13
战斗机	7 - 11	3 - 5	0 - 8
喷气旅客机	6.8 - 11.5	1.8 - 4	11 - 16
喷气公务机	7 - 9.5	2.5 - 5	6 - 11

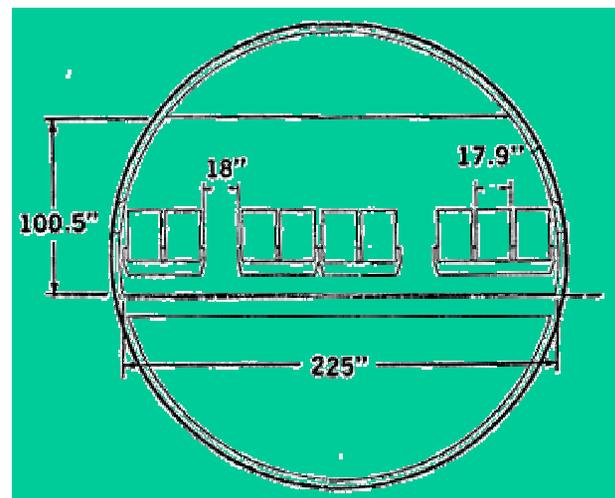
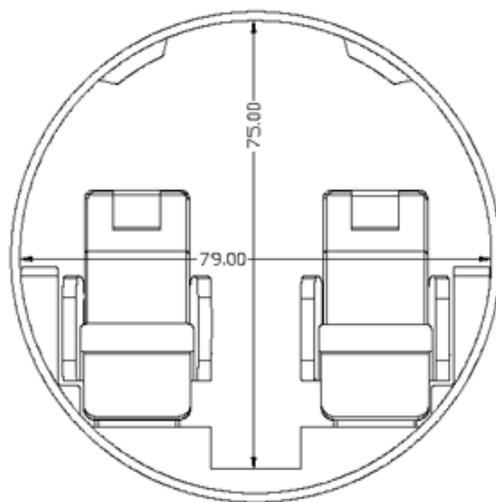
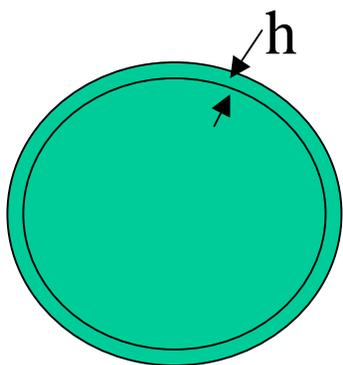
• 最大横截面积 $S_{\text{身}}$ 的确定

原则：按照机身内部装载要求，由里向外方式确定 $S_{\text{身}}$

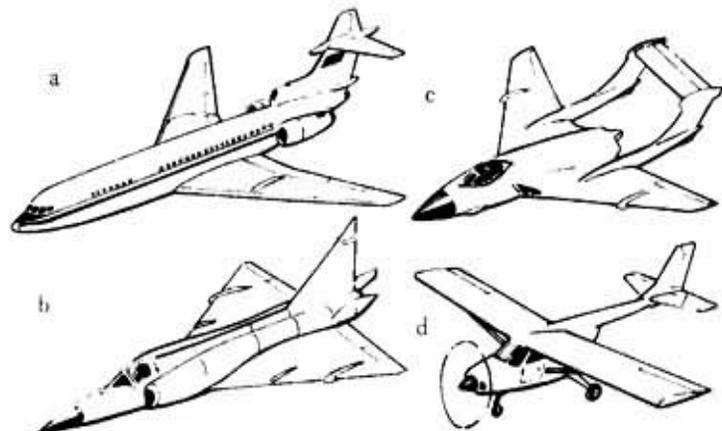
对于战斗机： $h \approx 5 \text{ cm}$

小型民用机： $h \approx 3.8 \text{ cm}$

喷气旅客机： $h \approx 0.02d_f + 2.54 \text{ (cm)}$



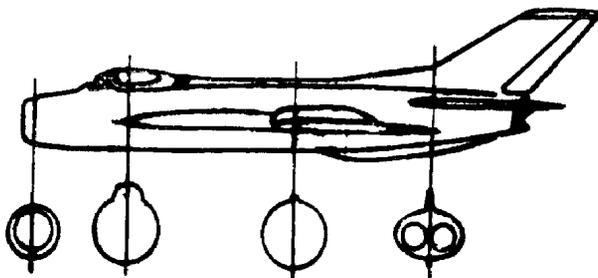
机身外形的初步设计



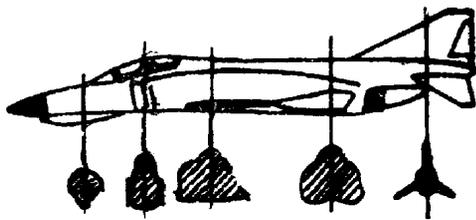
• 控制截面的确定

- 按内部装载的要求定出各个横截面
- 截面形状尽量设计成圆形
 - 表面面积小，有利于减少摩擦阻力；
 - 对于气密舱，有利于承受内压；
- 不能采用圆形时，由圆弧组成
- 低速轻型飞机，主要考虑装载要求，常采用非圆形截面。

战斗机

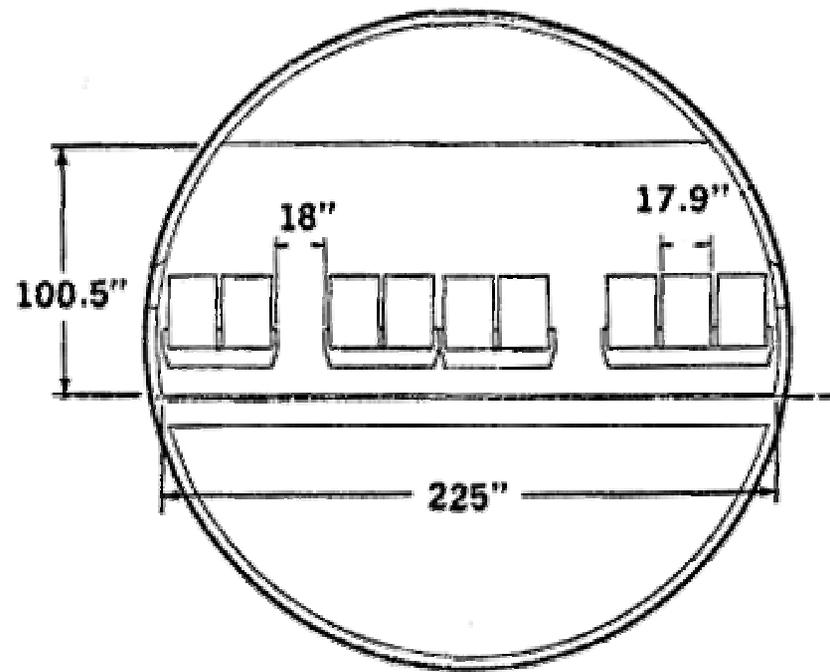


(a)



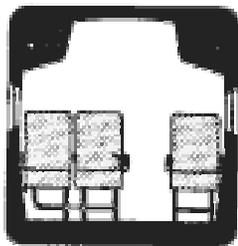
(b)

大型客机

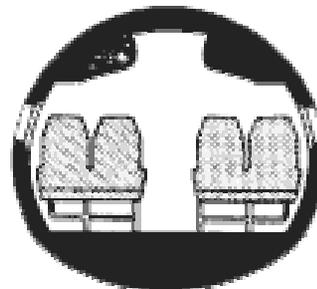


- 客舱的高度应该不小于1.9米，但也不能大于2.5米。

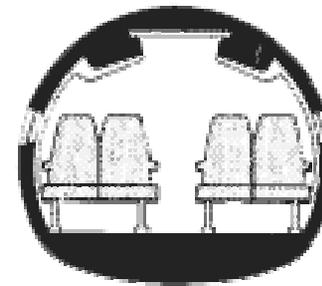
各种非圆形机身截面形状



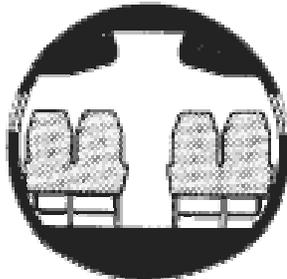
Shorts 360
Aisle Height 6' 4"
Max Width 6' 4"



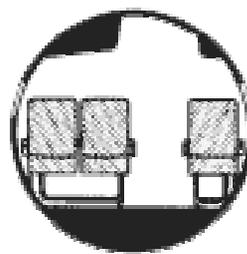
ATR-42
Aisle Height 6' 3"
Max Width 8' 5"



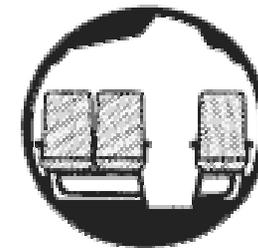
CN-235
Aisle Height 6' 2"
Max Width 8' 9"



DHC-8
Aisle Height 6' 0"
Max Width 8' 2"

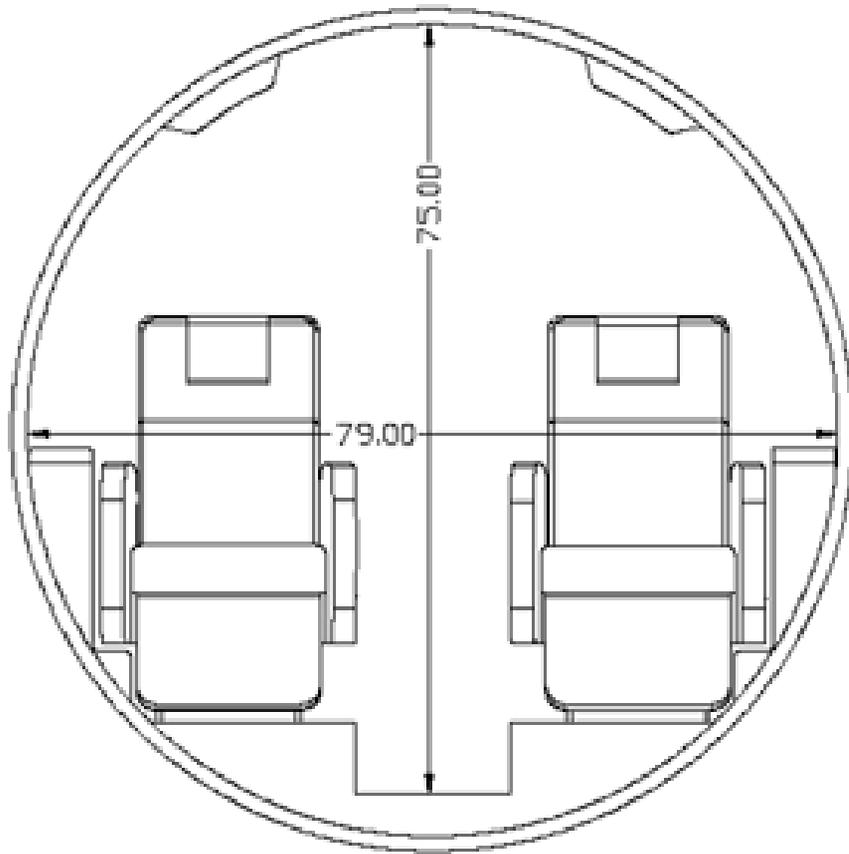


EMB-120
Aisle Height 5' 10"
Max Width 7' 1"

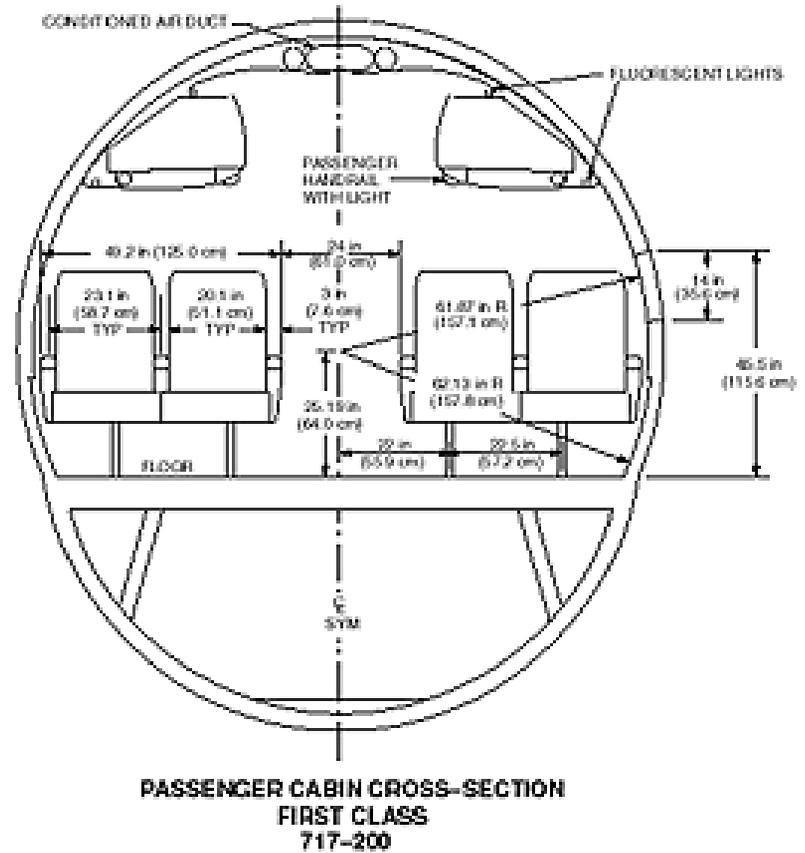


SF-340
Aisle Height 6' 0"
Max Width 7' 1"

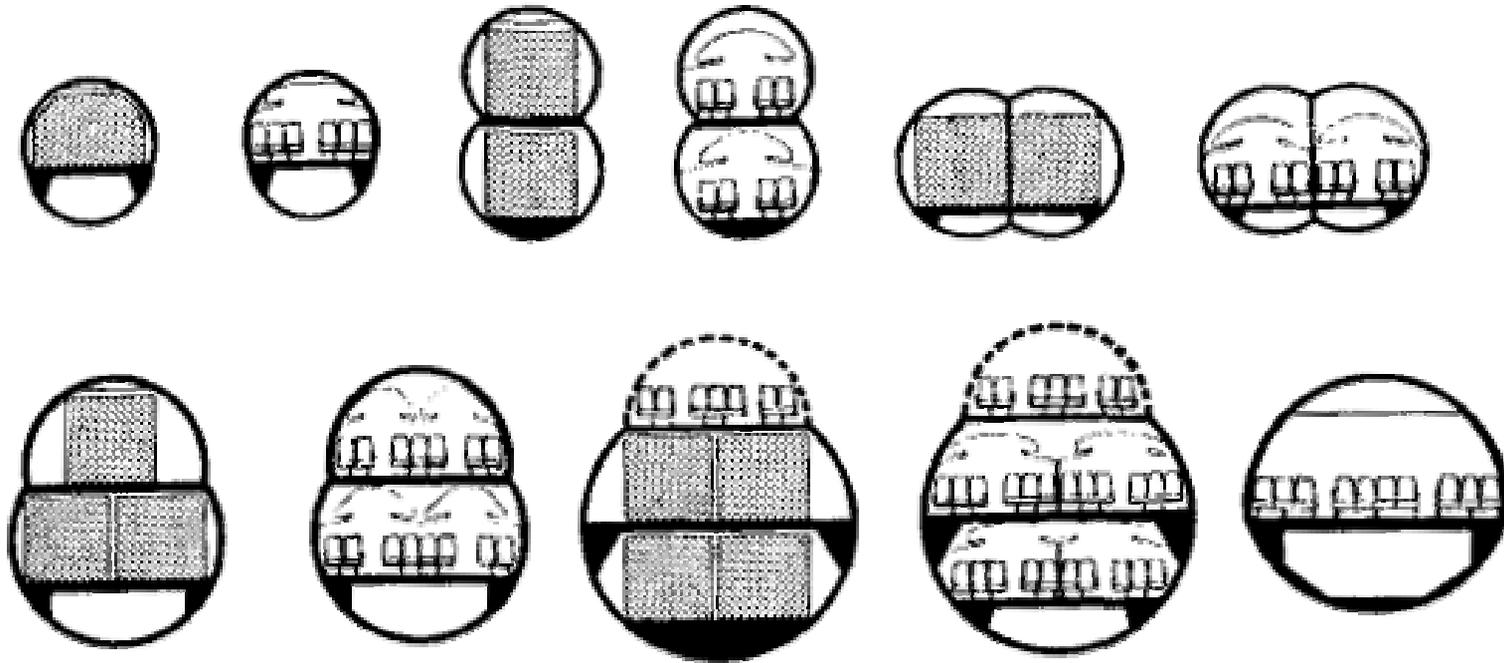
公务机



由多段圆弧构成的截面

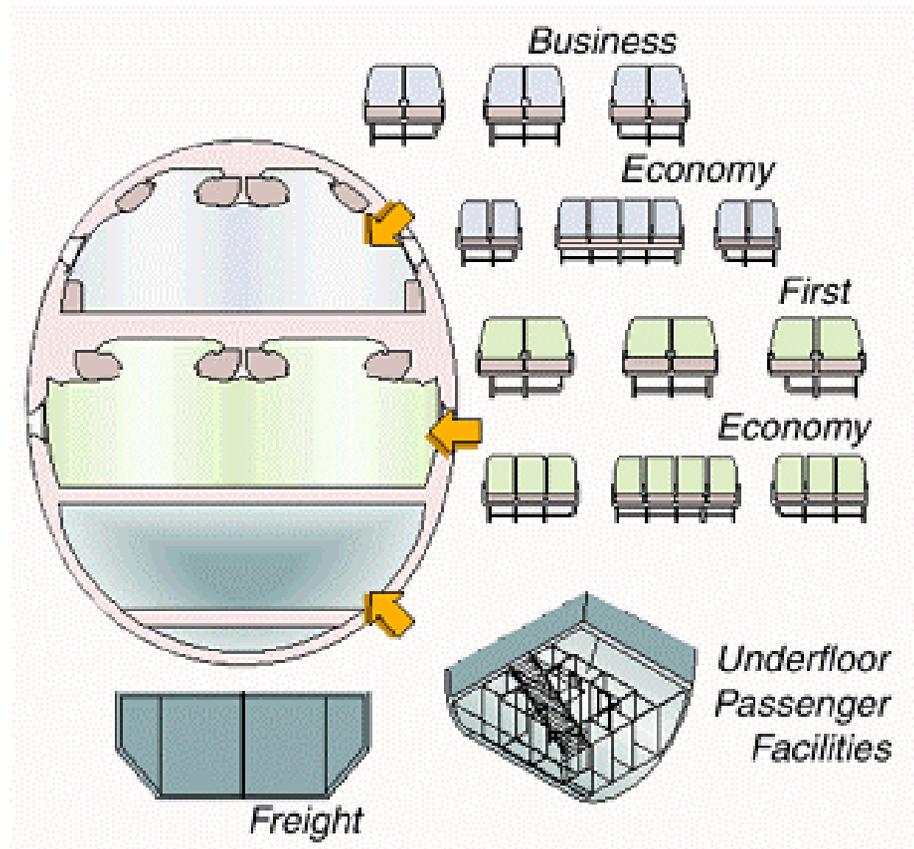
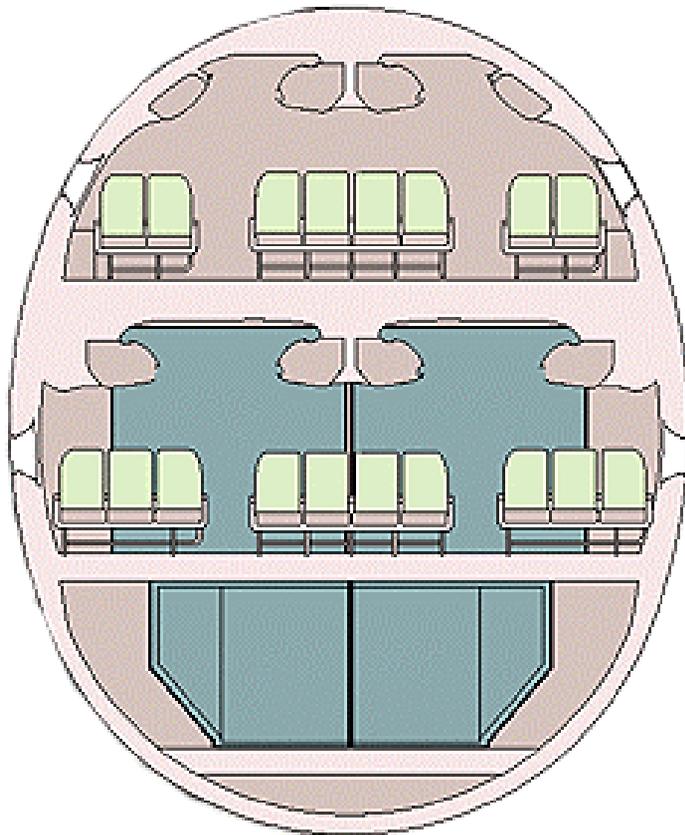


超大型客机的截面形状

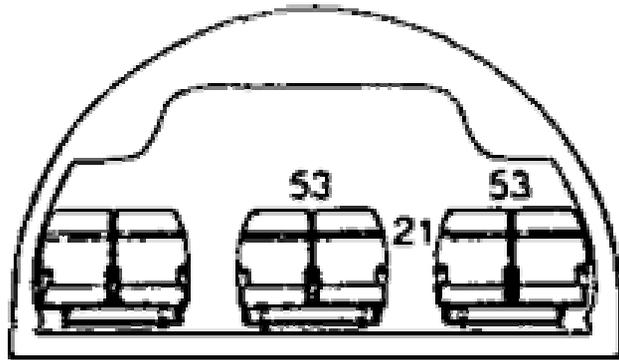


Some of the cross-sections that Douglas considered for a very large aircraft project, with a conventional cross-section to provide scale. A prime requirement was efficient accommodation of an 8'x8' container.

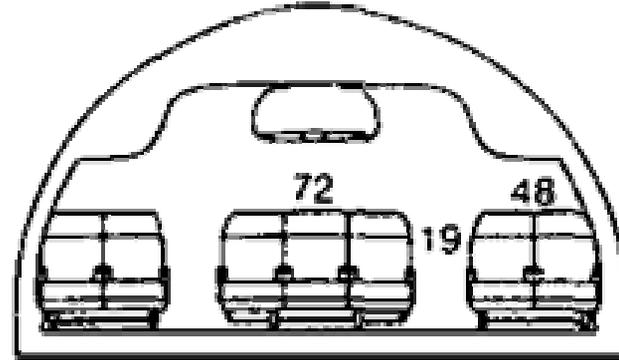
A380 的机身截面形状



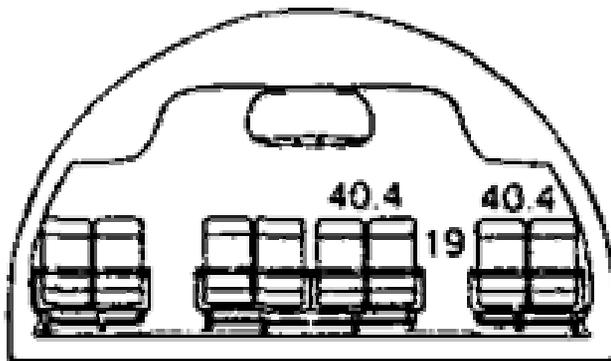
客舱的等级



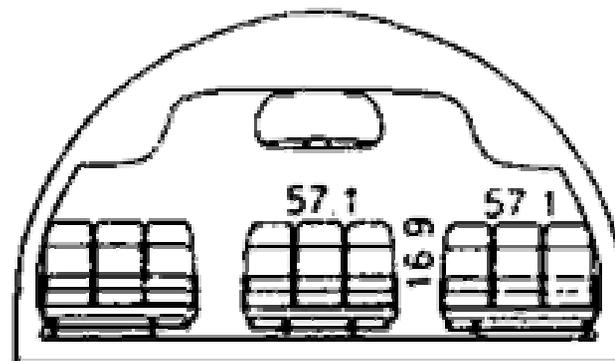
First class



Business class

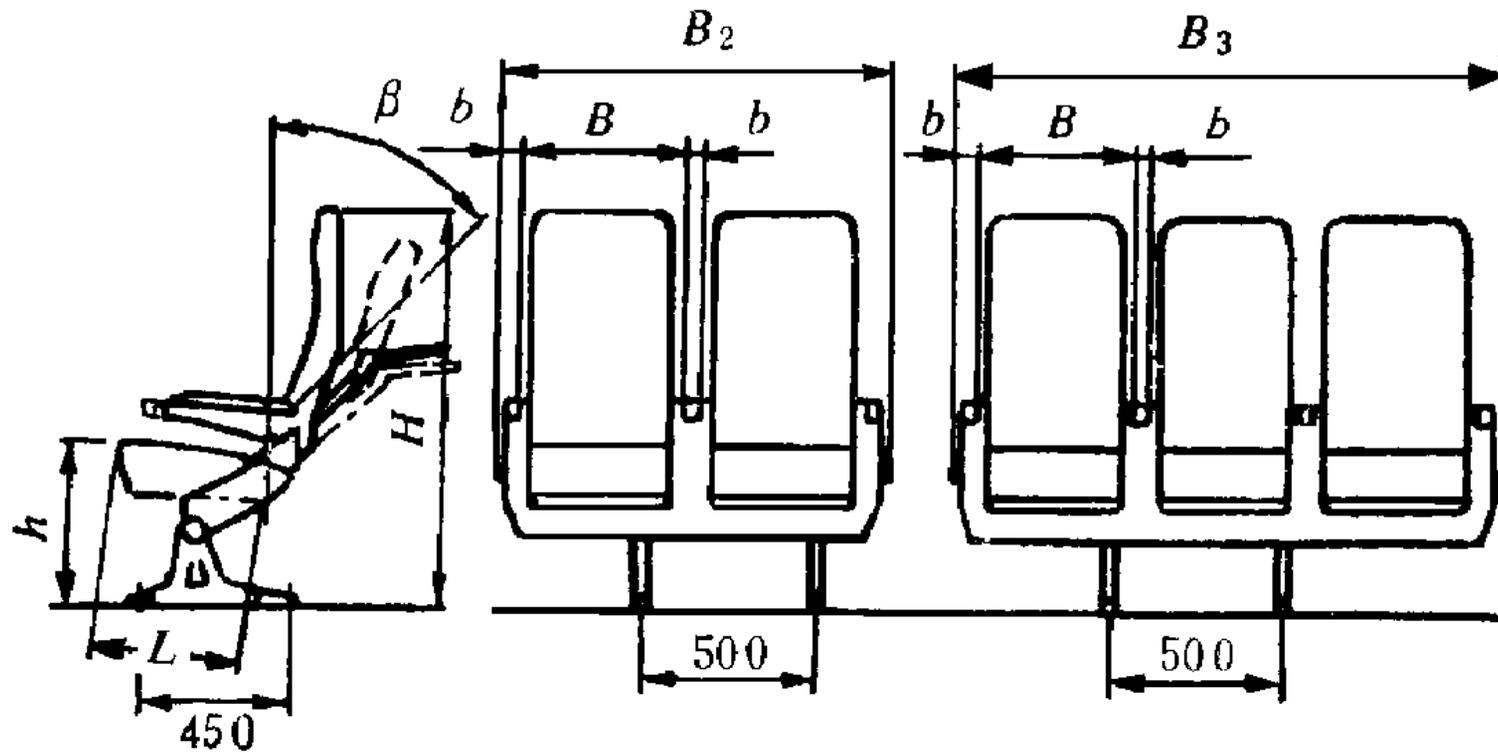


Economy class



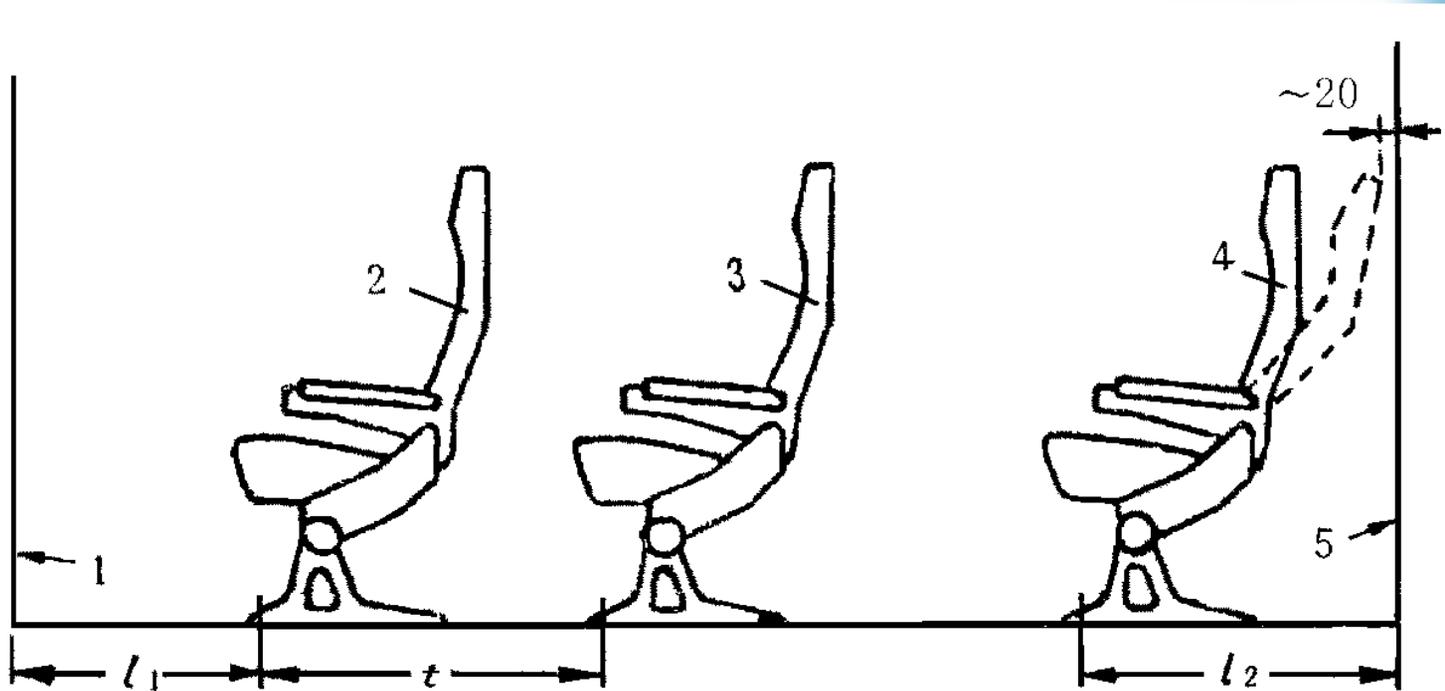
High density

座椅的尺寸



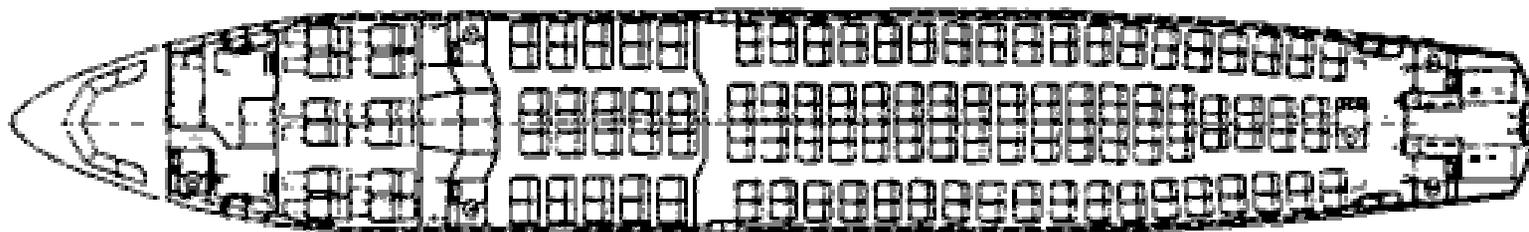
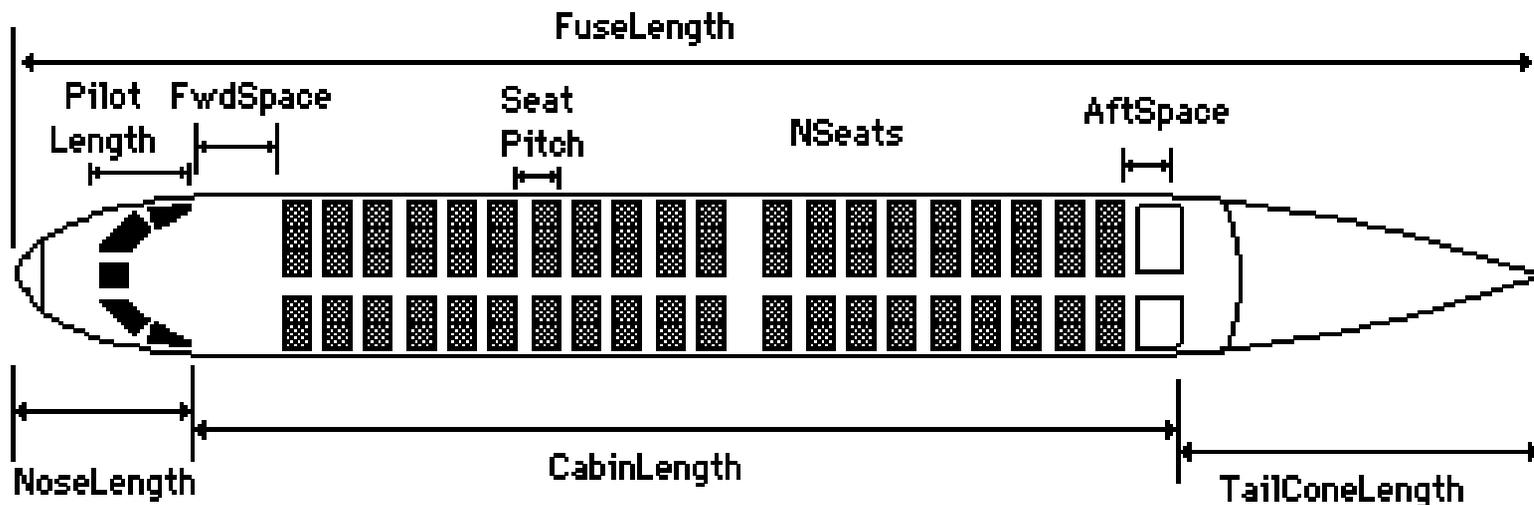
参见第9章

座椅的纵向布置



参见第9章

- 客舱的座位安排：与长径比协调



187 passengers (12 first class, 35 business class, 140 economy class)

- 侧视图外形的设计

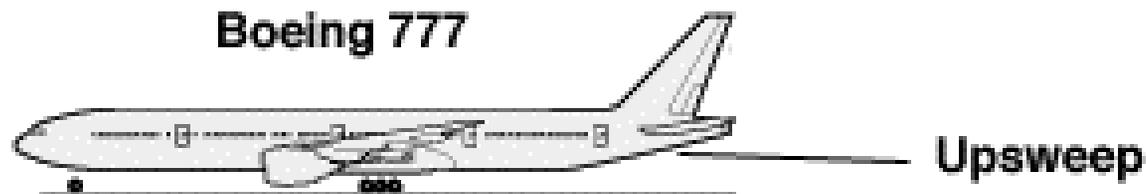
亚音速： 流线型，最大横截面在1/3处

高亚音速： 层流机身，最大横截面在45%处

超音速： 指数曲线系列或抛物线系列

- 机尾外形的设计

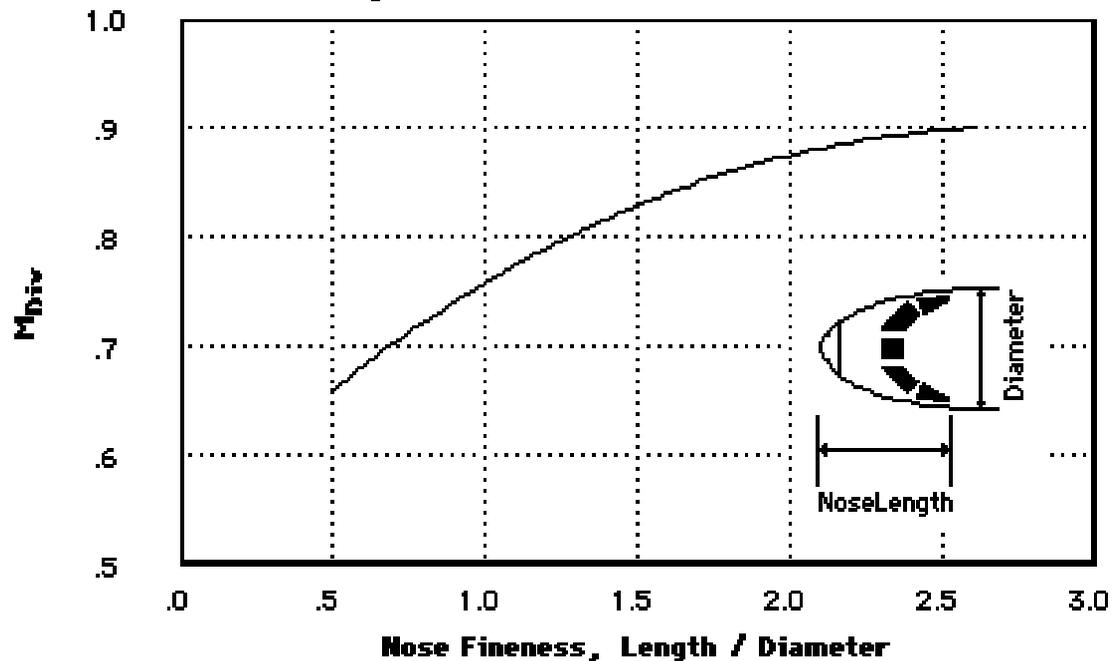
θ_{fc} 通常 $11\sim 16^\circ$ 左右（喷气客机）

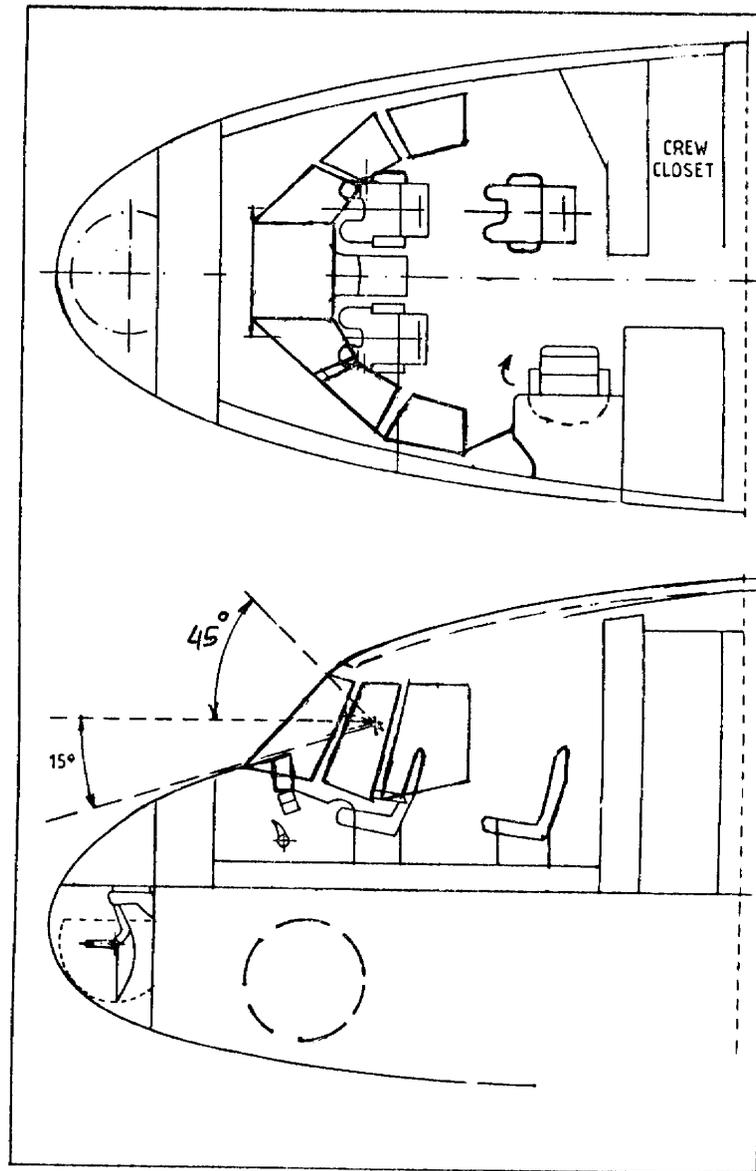


l_{fc} / d_f 通常为 $1.8 \sim 4$

- 机头外形的设计
 - 驾驶员视角大于15度。
 - 考虑临界M的要求

Effect of Nose Fineness on Drag Divergence Mach Number
Typical Transport Aircraft Shapes

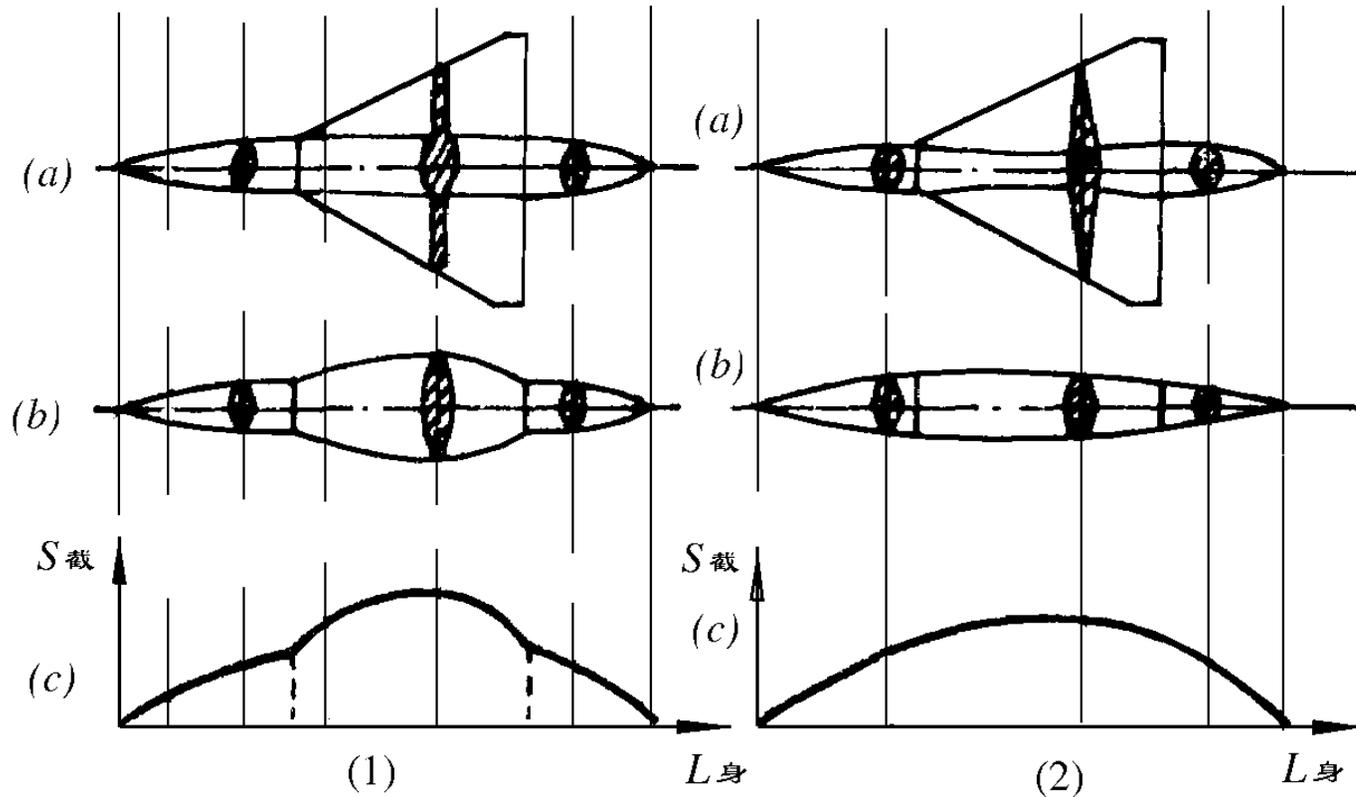






面积律

- 面积律是研究飞机机体横截面积的分布规律与波阻之间相互关系的理论
- 为使飞机在跨音速范围内的阻力最小，飞机各个部件组合在一起的横截面积的分布图形，应该相当于一个最小阻力的当量旋成体图形。



(1) 不考虑面积律要求

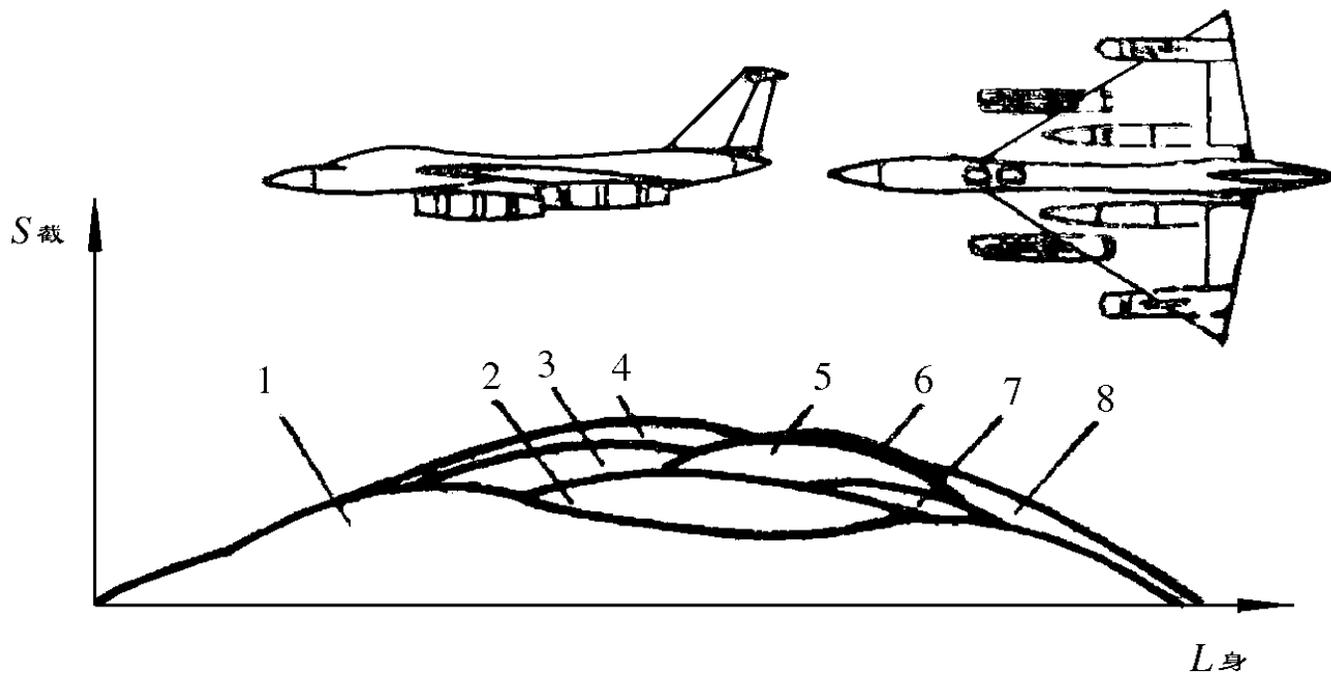
(2) 考虑面积律要求

(a) 机翼-机身组合体 (b) 当量旋成体 (c) 横截面积分布

- 按面积律的要求对飞机进行修形：
 - 将机身中段收缩成蜂腰形
 - 将平尾、垂尾及发动机短舱等部件的纵向位置错开
- 应用例子
 - 美国F102和B-58
 - 我国Q-5型强击机和J-12歼击机

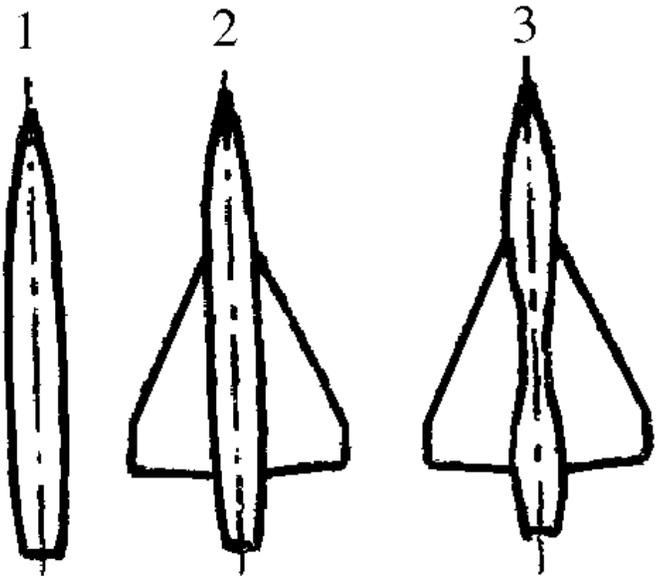
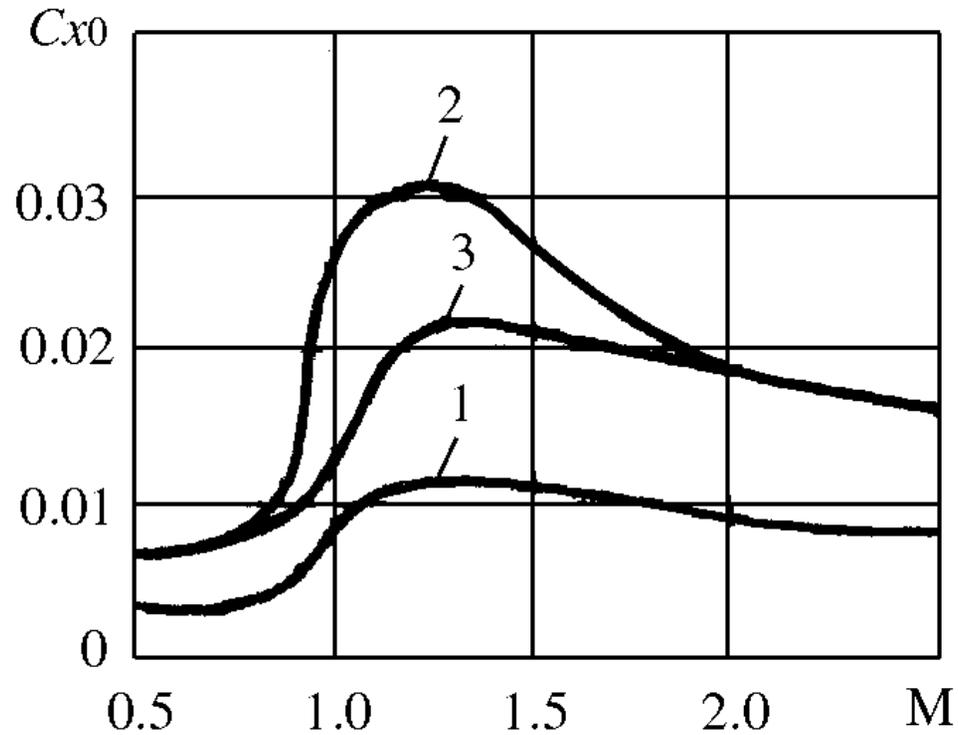


美国B-58飞机横截面积分布图



1—机身；2—机翼；3—内侧发动机短舱；4—挂架；
5—外侧发动机短舱；6—挂架；7—整流包皮；8—尾翼。

按面积律要求修形的效果



注：当 >1.5 以后，效果就不显著



机身外形初步设计的步骤

- 回顾设计要求的有效载荷，列出有效载荷项目（如旅客人数等）；
- 根据所选的内部座位和装载要求，确定最大当量直径 d_f 和横截面形状，以及控制截面形状；
- 考虑结构高度要求，将 d_f 和横截面形状适当放大。
- 参考同类飞机，选定长径比 $\lambda_{\text{身}}$ ， $\lambda_{\text{头}}$ ， $\lambda_{\text{尾}}$ 或 l_f / d_f ， l_{fc} / d_f ， θ_{fc} ；
- 根据 $\lambda_{\text{身}}$ 和 d_f 确定机身长度或根据装载要求根据机身长度；
- 画出机身外形草图。