

# 基于 CATIA 的飞机座舱视界 直线图绘制方法研究

Research of Aircraft Cockpit Horizon Line Drawing Method Based on CATIA

中航工业信息技术中心 杨金宝



杨金宝

中航工业信息技术中心(中航数码)航空集成研发事业部,主要研究方向为飞行器总体设计、飞行器快速设计开发、航空集成研发、CATIA 建模技术与二次开发。

良好的座舱视界能够提高飞机起飞、着陆的安全性。飞机座舱视界图能够直观地反映飞机座舱有效视界区域的大小,检验座舱视界是否满足标准要求 and 设计要求。传统的座

通过分析座舱视界直线图的绘制方法,对座舱非透明件边界上点的坐标定位的方法进行了研究,提出了等效视界球的概念,利用球面投影及旋转曲面曲线展开原理,可快速、高效地绘制座舱视界图。

舱视界图是在绘图板上对座舱三视图应用几何制图方法绘图后量取角度进行描点绘制,引入计算机辅助设计后,可以在三维设计软件平台中对数字样机进行精确取点。然而对于飞机座舱这种大型且复杂的结构件来说,非透明件不仅指除风挡玻璃、舱盖玻璃以外的飞机结构类部件,还应考虑座舱内部各系统部件的遮挡,如平视显示器、仪表板等部件<sup>[1]</sup>。因此绘制过程工作量大,容易造成人为错误。

本文通过分析座舱视界直线图的绘制方法,对座舱非透明件边界上点的坐标定位的方法进行了研究,提出了等效视界球的概念,利用球面投

影及旋转曲面曲线展开原理,可快速、高效地绘制座舱视界图。

## 视界图绘制方法

首先绘制通过设计眼位与飞机水平垂直,且与飞机对称面呈一定夹角的方位角平面与飞机外形(包括座舱盖骨架及其他非透明件)相交的截面,再由设计眼位作该截面外形的切线,即得到在该方位角时的下视界角<sup>[2]</sup>。

根据上述定义通常采用的绘制方法是,以适当的角度间隔确定一系列方位角(直线图中的水平轴),在飞机数字样机上通过几何作图的方法先作出每个所需方位角截面,由设计

眼位在方位角平面内作出截面外形的边界切线,该切线与过设计眼位的水平面(与飞机水平基准面平行)的夹角即为该方位角的下视界角(直线图中的竖直轴)。按方位角的排列顺序形成一系列数据点,汇总所有的数据点后拟合曲线绘制视界图。

上述方法有明显的缺陷。首先,每个数据点都按上述方法做出方位角和下视界角,需进行大量重复性工作,效率低;其次,在座舱结构复杂、外形变化较大的位置,需减小方位角间隔角度,增加方位角数量才能取得足够精确的数据点,以确保拟合曲线精度,而大量的取点作图很容易造成人为辨别错误。另外,由数据点生成的视界图曲线在非数据点处精度无法保证,所以有必要寻求一种效率高、精度高、工作量少的绘制方法满足飞机设计需要。

### 等效视界球

#### 1 球面和球坐标系定义

参照数学中球坐标系的一般定义,飞机座舱非透明件的边界上某点  $P$  所在的球面及球坐标可按如下方式定义:以眼位点为球心作一个通过点  $P$  的球面,眼位点与点  $P$  之间的径向距离为  $r$ ,眼位点到点  $P$  的连线与其在  $xy$  平面的投影线之间的夹角为俯仰角  $\theta$ ,  $xy$  平面的投影线与正  $x$  轴之间夹角为方位角  $\varphi$ 。取值范围分别为  $r \in [0, +\infty)$ ,  $\varphi \in [-\pi, \pi]$ ,  $\theta \in [-\pi/2, \pi/2]$ 。图 1 为点  $P$  的球坐标定义。

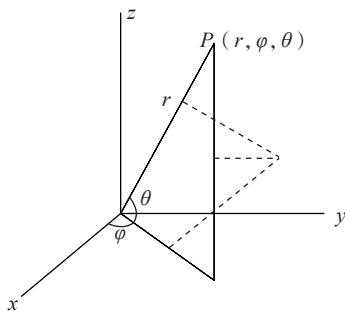


图1 点P的球坐标定义

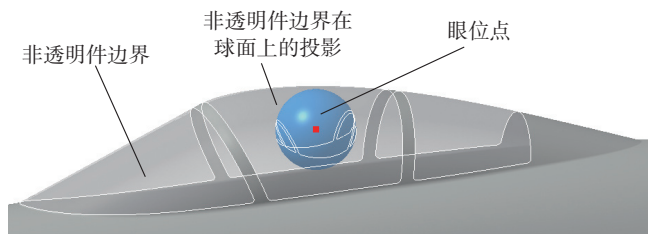


图2 非透明件边界在球面上的投影

按上述方法即可定义一个球面和球坐标系。对于边界上任意一点  $i$ ,同样对应另一个球面,同样可以确定一个球坐标系,可以取得球坐标值  $(r_i, \varphi_i, \theta_i)$ 。

#### 2 球面和球坐标系的统一

座舱视界图只需要角度坐标值  $(\varphi, \theta)$ ,与半径  $r$  无关,因此可将边界上任意一点  $i$ ,按球面的法线方向投影到另一个球面上得到点  $i'$ 。点  $i'$  与点  $i$  具有相同的角度坐标值  $(\varphi, \theta)$ ,仅半径  $r$  值不同,因此可以把边界上的所有点都投影到同一个球面上,即将座舱非透明件边界曲线全部转化到同一个球面上,将所有球坐标系进行统一。图 2 为某型飞机座舱示例。

#### 3 等效视界球定义

将非透明件边界按球面的法线方向投影在同一个球面上,所得到的曲线将球面上透明部分(即飞行员可视区域)分割出去,得到一个被分割的球面,这个球面即为等效视界球,其可视范围和座舱视界可视范围完全相同,如图 3 所示。这样便可以抛开飞机三维模型,将复杂的非透明件边界转化至统一的球面上。

等效视界球的优点是将飞机各

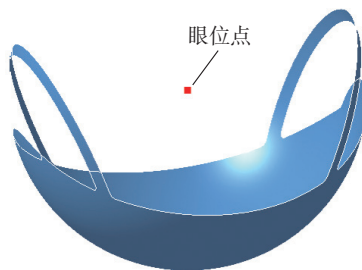


图3 等效视界球

处非透明件的边界,通过几何建模方法得到统一的、分割的球面,分割后的球面等效于整架飞机的视界,而后可以完全抛开复杂的飞机结构部件,只对视界球操作进行视界图的绘制,尤其对于复杂的飞机结构,更是可以大量节省复杂繁琐的求边界点的过程,提高绘制效率。

等效视界球是飞机非透明件的简化结果,由上述方法得到等效视界球,并不能由此得到视界直线图,还需将球坐标系中的边界投影曲线以某种规则展开至平面坐标系后得到视界直线图曲线。

#### 4 平面与旋转曲面上曲线展开

球面是一个特殊的旋转曲面,在旋转曲面上,  $u$  线与  $v$  线互相垂直,平面上的曲线可按某种规则在旋转曲面上展开,反之亦然。平面曲线(黑色实线)上给定点  $P$  在旋转曲面上的展开规则如图 4 所示(原点为  $O$  点):将点  $P$  第一个坐标(直线  $l_1$  的长度)映射为旋转曲面上的曲线横坐标(曲线  $l_1'$  的长度)直到  $P'$  点(沿曲面的旋转方向,由红色虚曲线表示),然后从该  $P'$  点沿旋转曲面(沿垂直于曲面的旋转方向,由绿色虚曲

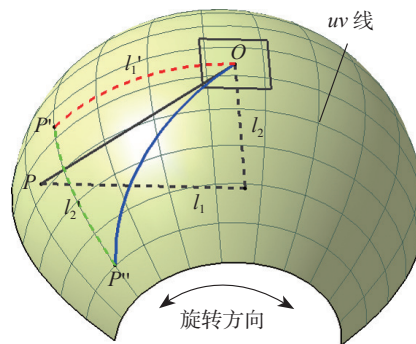


图4 曲线展开

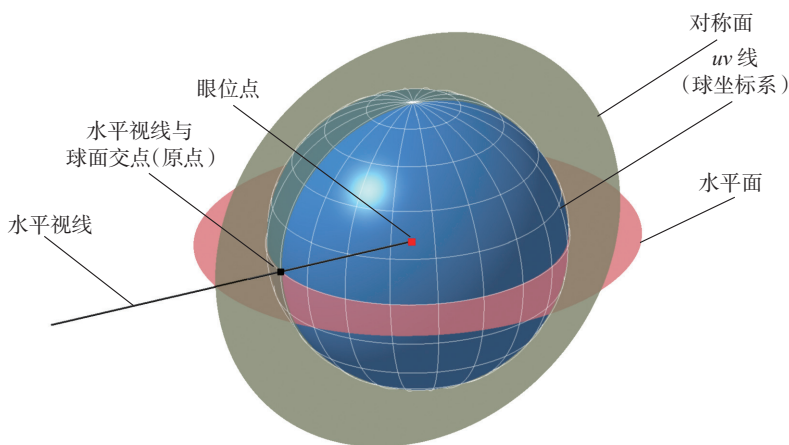


图5 CATIA中球面 $uv$ 线与球坐标系的对应关系

线表示)将 $P$ 点的另一坐标(直线 $l_2$ 的长度)映射为曲线横坐标(曲线 $l_2'$ 的长度)直到 $P''$ 点。 $P''$ 点即为 $P$ 点在旋转曲面上的展开结果。

图4中生成的展开线为深蓝色实曲线。反之,旋转曲面上的蓝实线同样可以展开为平面上的黑实线。从上述展开规则可以看出,球坐标系中的曲线展开后即得到直角坐标系中的曲线。

## 视界直线图的绘制

### 1 非透明件边界提取

将设计眼位点看作点光源,光线透过的区域即为可视区域,更容易直观地找到边界。在飞机各部件上边界线往往可以找到很多条,存在视线上的“相交”,而投影到球面上后才会出现真正的相交。

非透明件上边界有锐利边界和光滑边界两种类型。锐利边界是指曲面在该处存在点连续而一阶不连续;光滑边界是指曲面在该处至少一阶连续。在CATIA软件中,锐利边界使用“Boundary”、“Extract”、“Multiple Extract”等命令进行提取;光滑边界使用“Reflect Lines”命令进行提取,提取时“Type”为“Conical”,与“Normal”的夹角为 $90^\circ$ <sup>[3]</sup>。

### 2 球坐标系与球面 $uv$ 线

理论上,球面绕球心无论怎样旋

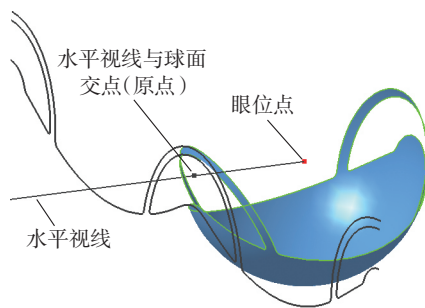


图6 在CATIA软件中生成座舱视界直线图

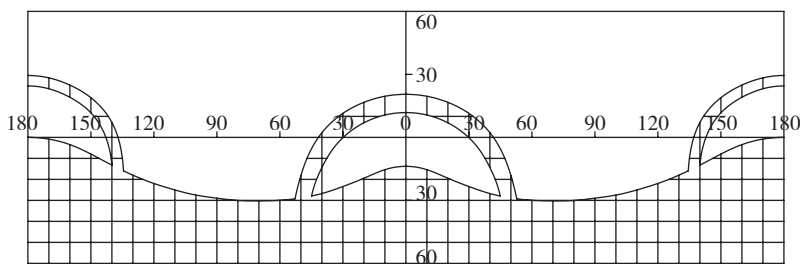


图7 座舱视界图

转球面方程都不会改变。在CATIA软件中,构建的球面与 $uv$ 线方向有直接关系,球面旋转后, $uv$ 线也随之旋转。从前文可以看出, $uv$ 线的方向影响曲线展开结果。实际上在CATIA中球面的 $uv$ 线与球坐标系必须一致,只有这样按展开规则才能够得到正确的结果。图5为CATIA中球面 $uv$ 线与球坐标系的对应关系以及它在数字样机中的位置。

### 3 边界曲线展开

运用前文中曲线展开规则,使用“Develop”命令,可直接将球坐标系

中的非透明件边界曲线展开为直角坐标系中的边界曲线,即生成座舱视界直线图,如图6所示。所得曲线经过处理,即可得到座舱视界直线图,如图7所示。

对于复杂的非透明件边界,在球面上投影后,投影曲线形状变化较大,并且投影曲线存在自相交,应区分透明区域和非透明区域,将投影曲线进行裁剪,形成封闭的轮廓。若非透明件数量较多,可采取多次生成的方法,最后在视界图中对透明区与非透明区进行区分,得到完整的总视界图。

## 结论

本文对传统飞机座舱直线图绘制方法进行了总结,统一球坐标系,提出等效视界球的概念,将手工取得数据点的复杂方法转化为几何建模过程,具有效率高、精度高等优点。通过实践中检取任意离散点进行数值对比验证,结果一致,而绘制效率

提高10倍以上,这是传统方法无法与之相比的,充分证明了该方法的优点和正确性。

## 参考文献

- [1] 顾诵芬. 飞机总体设计. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001: 113-114, 322-336.
- [2] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册(第4册): 军用飞机总体设计. 北京: 航空工业出版社, 2005: 520-526.
- [3] 张萌. CATIA机械结构设计. 北京: 机械工业出版社, 2006.

(责编 深蓝)