

机身开口区结构设计研究

吴平军

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

【摘要】：机身作为各类人员出入，各类设备使用维护的平台，机体上必须设置各种大小不一的开口，例如起落架舱门、各类检查维护用舱口等。客机一般有很多小密窗，各种供旅客、空勤人员出入的舱门；货机必须有很大的货舱门，轰炸机上的炸弹舱门等。在一些结构件上，如梁、框的腹板上可能需要开操纵系统或其他专业的管道、电缆的通过孔。以上这些开口处大多安装可以随时打开的舱门或不受力的口盖，或没有口盖（内部结构件上），因此开口部位的结构必须进行补强设计。

【关键词】：补强设计；单闭室；双闭室

Study on Structural Design of Fuselage Opening Area

Pingjun Wu

Avic Xi'an Aircraft Industry Group Co., Ltd. Shaanxi Xi'an 710089

Abstract: As a platform for all kinds of personnel to enter and exit, and for the use and maintenance of all kinds of equipment, the fuselage must be provided with various openings of different sizes, such as landing gear hatch, various inspection and maintenance hatches, etc. The passenger plane generally has many small secret windows and various cabin doors for passengers and aircrew; Cargo planes must have large cargo doors, bomb doors on bombers, etc. On some structural members, such as the webs of beams and frames, it may be necessary to open through holes for the control system or other professional pipes and cables. Most of the above openings are equipped with hatch doors that can be opened at any time or non stressed hatch covers, or there are no hatch covers (on internal structural members). Therefore, the structure of the openings must be reinforced.

Keywords: Reinforcement design; Single chamber; Double chamber

1 研究背景

机身作为各类人员出入，各类设备使用维护的平台，机体上必须设置各种大小不一的开口，例如起落架舱门、各类检查维护用舱口等。客机一般有很多小密窗，各种供旅客、空勤人员出入的舱门；货机必须有很大的货舱门，轰炸机上的炸弹舱门等。在一些结构件上，如梁、框的腹板上可能需要开操纵系统或其他专业的管道、电缆的通过孔。以上这些开口处大多安装可以随时打开的舱门或不受力的口盖，或没有口盖（内部结构件上），因此开口部位的结构必须进行补强设计。本文主要根据开口大小对结构的影响，按小、中、大开口三种情况分别对开口区的结构设计进行研究，给出不同的补强方案。

2 开口的分类

开口通常按开口尺寸大小分为小开口、中开口和大开口。开口大小是指它与开口所在处部件的基准尺寸相比而言。比如机身上开口的某一边的长度尺寸，就应与机身直径相比来判别其大小，也就是相对大小而不是绝对大小。

一般认为，开口未切断垂直加强件（机身框）和水平加强件（长桁）的为小开口，开口切断垂直加强件（机身框）和水平加强件（长桁）的为中开口，大开口一般是指机身上的舱门，比如登机门、货舱门、炸弹舱门、起落架舱门等。

3 小开口结构补强设计

3.1 小开口去掉剪板时的补强设计

主要是在框、梁腹板上开电缆、管道等的通过孔，或在蒙皮上开小检查口等，开口尽量设计为圆形，为了降低开口处应力集中系数。一般的补强设计方法是在开口边用口框加强。比如用加强法兰作为加强环，也可以用环形型材和四周的型材共同形成一个框架。在弯矩最大的四个角上布置斜支撑筋，防止蒙皮受压屈曲。

对于小开口，一般采用口框加强，即在开口周围设置一圈截面具有抗弯能力的加强结构。在开口区，被挖掉处结构的剪流转化成口框截面上的集中剪力，可近似认为口框外的机身结构受力与未开口前相同。对于此类结构，主要承受的是弯矩。

3.2 蒙皮同时受剪和正应力时的小开口补强设计

首先应合理选择开口形状和相对于正应力方向的位置，开口处的应力集中系数 K 以长轴沿正应力方向的椭圆最小（约为 1.5~2.3），其他依次为圆形（2.5~3.0）、矩形（3.6~4.4）。当有很多小开口时，尽可能排在同一轴线上，便于加强。但在工程上，椭圆形开口形状不易操作，且开口后加强件也不易加工，所以优先选择圆形开口形状。

当载荷较大时，除在开口边加强外，还在正应力方向于开口两侧布置加强型材，见图 1。

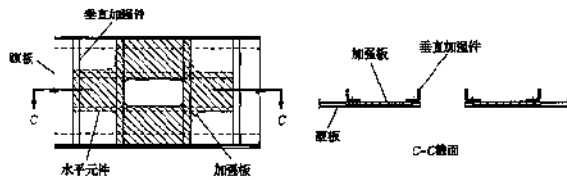


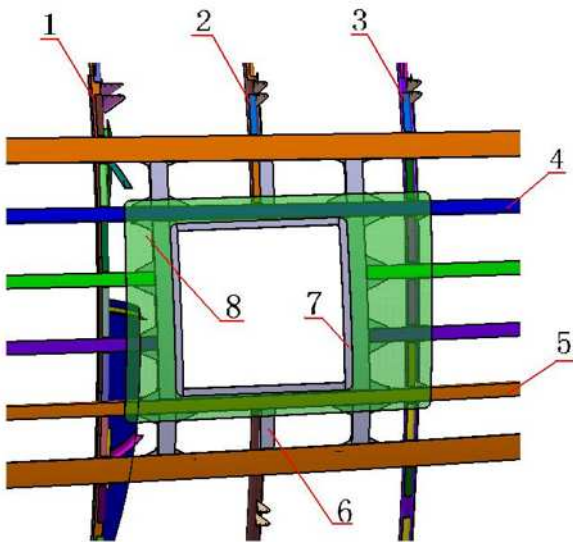
图1 开孔壁板的加强

另外要特别注意，开口周边的加强不要超过原来的蒙皮，以免形成“硬点”（刚度过大）而将周围载荷引向该处。

4 中开口结构加强设计

中开口破坏了机身受力构件的完整性，除蒙皮外，一般还切断机体结构中若干个用以承受正应力的长桁。比如机身安装抛放设备就是一个典型情况。此时开口周围布置井字形排列的纵向和横向型材（包括很强的口框），外侧的纵、横向型材（尽可能利用原机的长桁和框缘条，作适当加强）组成一圈围框，见图2。为使被切断长桁上的轴力在开口右侧集中（或在左侧重新又分散），开口上、下两根型材应当适当外伸出去一段参与段。

其受力原理是把原来口框的梁式截面改成由内、外侧两根受轴力型材和中间蒙皮组成的薄壁梁式受力截面。由于围框的截面高度比口框的大，所以在受到同样大小的弯矩时，围框中的加强型材的应力比较小。



1.56 框；2.57 框；3.58 框；4.左 5 长桁；
5.左 8 长桁；6.角盒；7.安装骨架；8.加强板。

图2 抛放设备安装结构

还有一种加强方案，是在开口周围布置一个加强垫板，与周围的框缘条和长桁共同形成围框，见图3。被切断长桁上的轴力通过蒙皮和加强垫板的受剪参与，集中到开口上、下加强型材上。垫板可同时作为受剪和受轴力的开口部分的补强设计。

计。

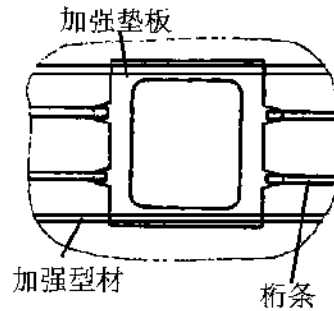


图3 开口周围的加强垫板和加强型材

5 大开口区结构设计

机身结构上常布置一些大开口，其长度较长，宽度相对于机身直径也较大，总而造成机身结构有较大一段不连续区。这种开口区结构周围原机身结构有一对强的受力结构件，比如机身下部的纵向加强梁，则可结合这种结构布置开口区加强，不再采用围框式加强。

5.1 单闭室盒段上有大开口

某飞机为桁条式机身，在受力最严重的中机身下部设置有炸弹舱门。中机身大开口处受扭的加强方案，见图4，在开口前后两端布置加强框，将原来以单闭室盒段受扭时的周边一圈剪流，通过前后端框转换成一对剪力，以左、右侧壁的剩余部分参差弯曲的形式受扭。

开口前端和后端封闭段结构要有足够的刚度，所以加强框应设置为全腹板框，防止开口段机身有过大的翘曲变形。参差弯曲产生的附加正应力作用在左右侧壁上，因此开口段内的长桁和开口两侧的加强桁梁均应加强。加强桁梁必须延伸到整个参与段，并随着附加轴力的逐渐变小将桁梁的截面积逐步减小。

承受垂直面内弯矩时的结构布局，由于机身下部大开口切断很多长桁，较大地削弱了其承弯能力，因此开口区必须布置很强的加强桁梁。加强桁梁的长度需要延伸到参与段内，桁梁尽可能设计成闭剖面薄壁梁，可有效增加机身结构刚度。某飞机中机身下部有大开口，在开口左右两侧布置有加强桁梁，桁梁截面为三角形闭剖面，其长度较开口区长度向航向前后延伸一定距离。

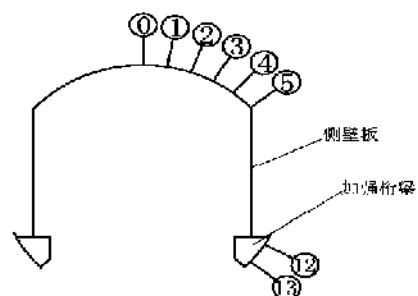


图4 大开口区的典型剖面形状及加强结构

5.2 双闭室盒段机身上有大开口

运输机一般中间有地板会将机身分隔成上、下两个闭室。当下部有中央翼通过和布置主起落架舱时，会使下部结构的完整性受到破坏。

在开口区前后两端布置加强框，以便将双闭室盒段受扭转换成单闭室盒段受扭，使剪流重新分布。只需适当加强上部闭室的蒙皮和地板。这种补强方案较参差弯曲受扭要轻。

为了补偿受弯构件的损失，一般在机身下部布置一根很强的龙骨梁，这根龙骨梁应做成盒形，见图5。不仅可以提高整个机身开口区的I值，也提高了机身下部乃至整个机身的总体刚度，盒式龙骨梁还增加了一定的扭转刚度，若发生紧急情况，机腹迫降时，龙骨梁还可起滑梯的作用，保护机身和机翼结构，提高防坠毁能力。

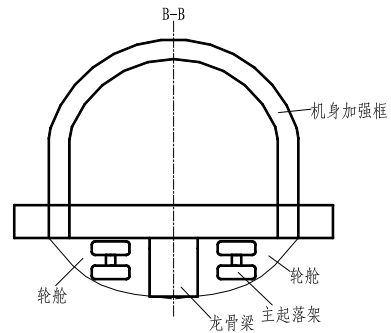
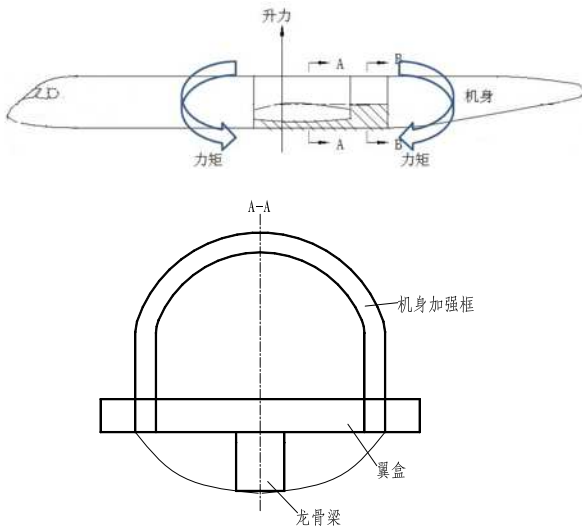


图5 典型运输机龙骨梁示意图

5.3 某飞机前机身大开口加强

某飞机前机身的上、下均为大开口，上部为驾驶舱和设备舱，下部为前起落架舱。由于上、下部均为开口，因此当框的下部受到起落架的侧向力 P_z 时，只能由驾驶舱地板承受。由 P_z 引起的机身扭矩只能由进气道的两个内侧壁以参差弯曲形式受扭。由于此段机身采用了适宜于开口的桁梁式机身，桁梁靠近上、下开口两侧，没有被打断，因此转弯通道未受影响。

6 结论

由以上分析可知，机身上开口区的加强方案要根据开口大小进行合理的设计。总的来说，对于小开口区，仅在开口区布置加强口框，具有一定的抗弯能力；对于中开口区则是将因开口破坏了机身受力结构件的完整性，要通过布置加强结构将应力传递给周围其他结构；而大开口区加强则是要想办法提高整个机身的总体刚度。

参考文献:

- [1] 姚卫星,顾怡.飞机结构设计[M].北京:国防工业出版社,2016.4.
- [2] 酆正能,程小全,贾玉红,张纪奎.飞机部件与系统设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2020.11.
- [3] (美)牛春匀著.实用飞机结构工程设计[M].北京:航空工业出版社,2008.10.