

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.01.015

民用飞机舱门通风口机构的设计与研究

Design and Research on Vent Panel Mechanism in a Door of Civil Aircraft

梁东明 丛家勇 / LIANG Dongming CONG Jiayong

(中航沈飞民用飞机有限责任公司, 沈阳 110013)

(AVIC SAC Commercial Aircraft Company Ltd., Shenyang 110013, China)

摘 要:

通风口机构作为常见的增压预防措施,阻止飞机在舱门未完全关闭、上闩、上锁情况下增压到不安全水平,有效监控了舱门关闭状态,提升了飞机安全性。针对通风口机构常用的凸轮和四杆机构,结合成熟设计实例提出凸轮和四杆机构的设计要点,介绍有效通风面积计算方法,阐述通风口机构的设计原理。

关键词:通风口;增压预防;凸轮;机构

中图分类号:V223⁺.9

文献标识码:A

[Abstract] Vent panel mechanism, as a common provision, prevents the pressurization of the airplane from reaching the unsafe level if any door subject to pressurization is not fully closed, latched, and locked, which monitors the closed state of door system effectively and raises the safe reliability of the airplane. Cam and four-bar linkage are most often applied in vent panel mechanism. Based on successful design case, design cruces and principle for cam, four-bar linkage and vent panel mechanism are given, and calculative method for effective vent area is introduced as well.

[Keywords] vent; pressurization prevention; cam; mechanism

0 引言

民用飞机舱门通常作为人员进出、货物装卸、舱段维护的开口,飞行过程中不仅承受增压载荷(非增压门除外),还要保证机舱的密封。舱门的设计对飞机安全起着举足轻重的作用,尤其是作为应急出口的舱门,其直接影响旅客安全和应急逃生。完全关闭和打开舱门需要一系列有顺序的操作,这些操作中稍有疏漏或者故障产生而未被及时发现,都将导致严重后果,历史上有多起飞行事故均是由于舱门未完全关闭就增压起飞而引起的。

1 增压预防相关适航规定

为防止飞机舱门在未完全关闭状态下增压起飞,我国民用航空规章第 25 部运输类飞机适航标准以及 AC25.783,机身舱门相关规定如下^[1-2]:

必须有措施防止增压舱门在没有完全关闭、闩

住和锁定的情况下把飞机增压到一个不安全的水平。

必须设计成在发生任何单个失效之后,或者在发生未表明是极不可能的失效组合之后仍然具有功能。

对于无危险的门不需要有专门的增压预防措施,如果从该门的每个可能位置它都将保持一定程度的打开避免增压,或者在增压时都安全地关闭和锁闭。

2 通风口机构功能

民用飞机舱门常见的增压预防措施包括自动控制的空调系统和机械控制的通风口机构,由于机械控制的通风口机构可靠性高,如果与舱门闩锁串联设计,还能高效监控舱门关闭状态,因此,通风口机构作为增压预防措施得到了广泛的应用,某型飞机舱门通风口机构如图 1 所示。

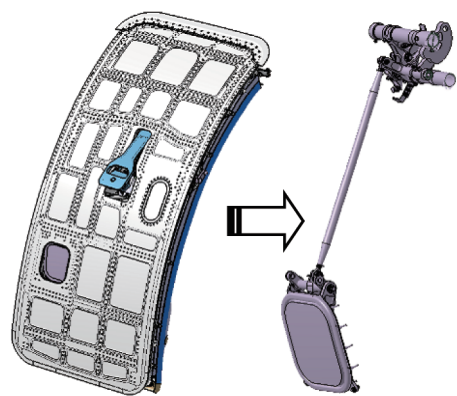


图 1 某型飞机舱门通风口机构

通风口机构通常应具有如下功能：

- 1) 监控舱门状态。关闭舱门时,监控舱门是否完全达到上闭、锁定关闭状态,防止舱门在没有完全上闭或者锁定关闭的情况下,座舱增压到不安全水平。
- 2) 释放残余压力。打开舱门时,操作人员向外开启舱门之前,快速释放座舱内残余压力。防止开门时舱内压力过高导致舱门快速向外打开,造成人员伤亡。

3 机构详细设计

为满足关闭舱门时通风口机构监控舱门关闭状态的要求,可将通风口机构与舱门闭、锁机构串联设计,如果舱门完全关闭前或者关闭过程中闭、锁机构出现故障,则通风口不能关闭。即使舱门操作人员未发现闭、锁未到位,误关闭舱门,由于通风口未关闭,飞机客舱也无法增压,从而实现监控的功能。

为了满足“任何单个失效之后,或者在发生未表明是极不可能的失效组合之后增压预防措施仍然具有功能”的要求,通常将通风口盖设计成始终趋于打开状态,如果关闭舱门时,通风口机构零件出现单一失效,通风口盖不能关闭,最终导致客舱无法增压,从而实现单个失效后机构仍然具有增压预防功能。

3.1 机构组成形式

通风口机构主要有槽凸轮-四杆机构和马耳他凸轮-四杆机构形式,两种形式各有优缺点,如表 1 所示,依据舱门功能要求选择机构形式。

表 1 两种机构优缺点对照表

名称	自锁功能	卡滞风险	传动效率
槽凸轮-四杆	有	有	低
马耳他凸轮-四杆	无	无	高

1) 槽凸轮-四杆机构

槽凸轮-四杆机构形式的通风口机构如图 2 所示,机构运动时,通过槽凸轮驱动四杆机构,从而精确控制通风口盖打开和关闭。设计中可以利用凸轮曲线合理分配机构时序,精确监控舱门闭、锁状态;在凸轮槽起止位置设计自锁曲线,达到防止机构反驱的功能;优化凸轮槽曲线,控制机构操纵力,但机构存在卡滞风险,凸轮的制造成本略高。

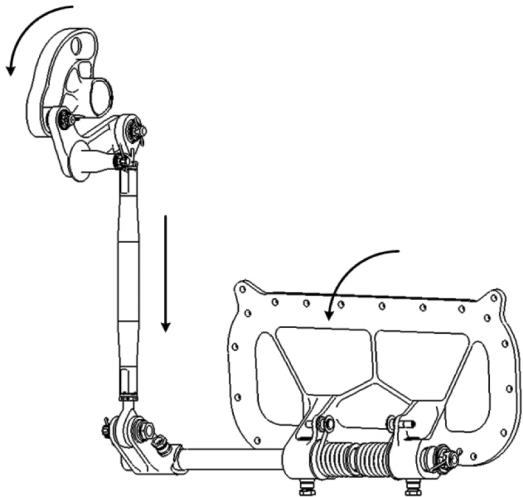


图 2 槽凸轮-四杆通风口机构示意

2) 马耳他凸轮-四杆机构

马耳他凸轮-四杆机构形式的通风口机构如图 3 所示,这种机构通过马耳他凸轮驱动四杆机构,具有组成形式简单、机构摩擦小、传动效率高、可靠性高、加工制造成本低、卡滞风险低等优点。虽然这种机构没有槽凸轮的自锁功能,但通常对四杆机构做过中心设计,防止机构逆转。

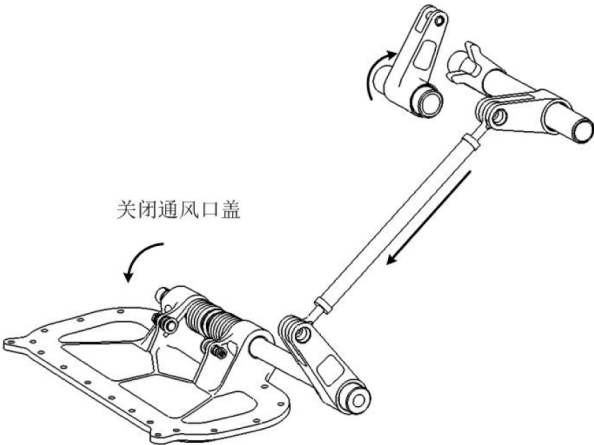


图 3 马耳他凸轮-四杆通风口机构示意

3.2 机构安装位置

依据舱门大小、内部机构、主承力结构的位置,确定通风口机构的安装位置,同时要满足运动空间、载荷工况以及人机工程等要求。

1) 运动空间: 尽量布置在舱门结构开敞区, 避免运动干涉。

2) 载荷工况: 如果口盖处于飞机水线以下, 其除了承受正常增压载荷以外, 设计中还要考虑飞机水上迫降后, 通风口盖承受的水上负压载荷。

3) 人机工程: 充分考虑开门手柄位置, 避免口盖与开门手柄距离太近, 造成开门过程中意外夹手。如图 4 a) 所示, 波音 777 登机门应用蝶形手柄开门, 通风口在手柄上侧, 开关门过程中操作人员双手转动蝶形手柄, 控制通风口盖开关, 不会造成夹手等意外伤害。如图 4 b) 所示, A320 后货舱门开关门过程中, 通常操作人员左手扶住舱门, 右手旋转手柄, 通风口盖在手柄右上方门, 距离相对较远, 不会造成夹手等意外伤害。



a) B777 登机门通风口位置 b) A320 后舱门通风口位置

图 4 通风口机构安装位置

3.3 计算通风口盖打开角度

依据座舱供气量、环境压力、客舱容积、座舱内外压差要求以及座舱温度等设计输入, 确定通风口的最小有效流通面积, 从而确定通风口盖打开角度 α 。

AC25.783-1A 增压预防部分规定, 若门未完全关闭, 座舱压差在 0.5 psi 以下时, 应考虑限制增压。因此, 当通风口完全打开后, 座舱在最大供气流量下的压差不能超过 0.5 psi。

1) 通风口有效流通面积计算

由伯努利方程可知, 理想气体定常流动时, 总压是静压与动压之和^[3]。当通风口打开的时候, 舱内外的压力差体现在通风口的气流运动上, 再依据定常流体连续方程可得到式(1)^[3]:

$$W = CA \sqrt{2\rho\Delta P} \quad (1)$$

式中: W 为座舱供气量, kg/s ; A 为有效流通面积, m^2 ; ρ 为气体密度, kg/m^3 ; ΔP 为外部环境压力, Pa ; C 为流量系数。

考虑到气体的粘性, 以及气体在通风口处的流向变化, 通常取 C 为 0.8。

以某型飞机相关气压、环境参数为例: 座舱供气量 2 240 kg/h , 环境压力 101 325 Pa , 座舱内外压差不超过 0.5 psi, 座舱温度 24 $^{\circ}\text{C}$, 计算通风口有效流通面积如下:

24 $^{\circ}\text{C}$ 下, 干空气密度为 $\rho = 1.188 \text{ kg/m}^3$ ^[4], 将各参数带入到式(1)中, 得到通风口有效流通面积 $A = 0.009 \text{ m}^2$ 。

2) 通风口盖打开角度计算

通风口完全关闭示意图如图 5 所示, 完全打开示意图如图 6 所示。机构运动过程中口盖打开角度 α , 扫略面积分别是 S_A 、 S_B 、 S_C , 即当通风口完全打开后, 实际空气流通面积为 S_A 、 S_B 、 S_C 之和。

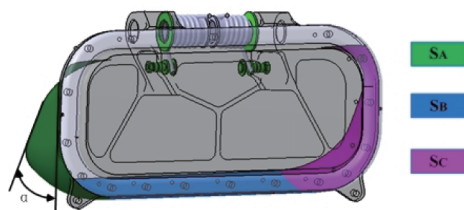


图 5 通风口完全关闭

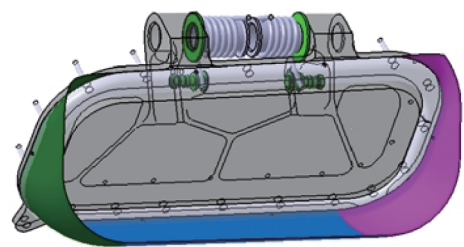


图 6 通风口完全打开

计算过程中, 认为有效流通面积等于实际空气流通面积, 可建立下式:

$$A = S_A + S_B + S_C \quad (2)$$

依据式(2), 应用 CATIA 等 CAD 软件模拟分析, 确定满足上述关系的通风口盖打开角度 α 。

3.4 机构设计原理

通风口盖打开角度 α 确定后, 依据设计及功能要求, 结合凸轮-四杆组合机构以及单独四杆机构的优缺点, 选择机构组成形式, 进行详细设计。

3.4.1 槽凸轮-四杆机构

以某型机舱门通风口机构为例,如图 7 所示,槽凸轮-四杆机构主要由槽凸轮、四杆机构、通风口盖、弹簧组成。槽凸轮和四杆机构分别通过铰接点 A、B、E 安装在舱门结构上,零件绕铰接点所在的轴线能够自由旋转。

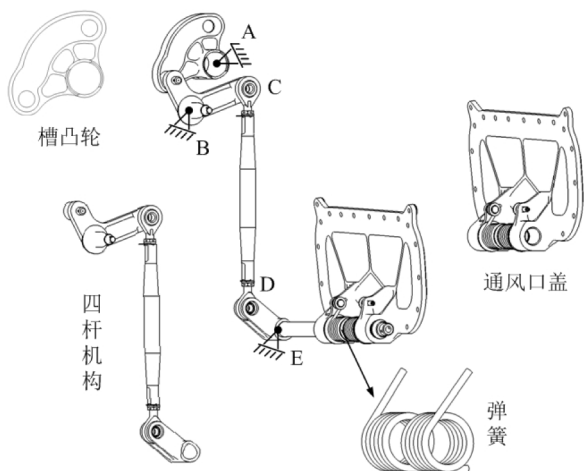


图 7 槽凸轮-四杆通风口机构

如图 8 所示,凸轮驱动安装在 BC 杆上的滚轮,进而驱动四杆机构,控制通风口盖的打开和关闭姿态,在凸轮槽内的滚轮类似滚动轴承,摩擦力非常小。

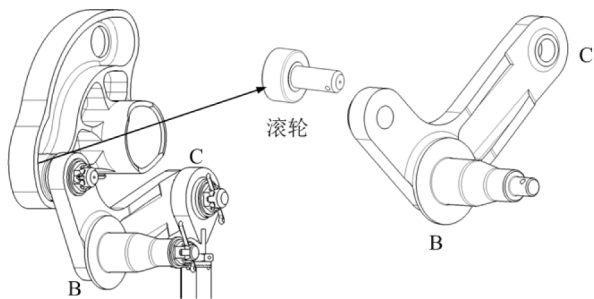


图 8 凸轮-四杆通风口机构

弹簧的作用是迫使通风口盖一直趋于打开状态,如图 9 所示, F 表示弹簧力, ω 表示通风口盖打开方向。如果机构采用扭转弹簧,则弹簧始终处于

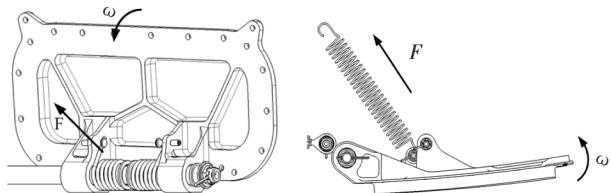


图 9 弹簧工作原理

受扭状态,当口盖完全关闭,弹簧扭转变形最大,弹簧力 F 最大。如果机构采用圆柱螺旋弹簧,则弹簧始终处于受拉状态,当口盖完全关闭,弹簧受拉程度最强,拉力 F 最大。

设计中,通常将槽凸轮与门、锁机构串联设计,如果关门时,门、锁机构存在故障,通风口机构的槽凸轮不能旋转,通风口盖在弹簧的作用下处于打开状态,从而实现监控门、锁机构和增压预防的功能。

槽凸轮的行程可分为 3 段,分别为监视段 AB、过渡段 BC 和驱动段 CD,如图 10 所示。

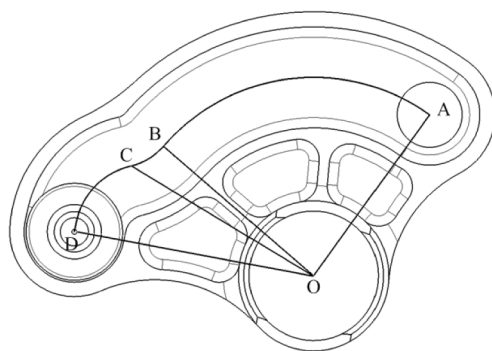


图 10 凸轮工作原理

AB 弧段与凸轮旋转轴心 O 同心,且半径不变。舱门打开后,滚轮处于 A 点,通风口盖完全打开,关闭舱门时,滚轮先由 A 运动到 B,此时四杆机构静止不动,通风口盖完全打开,理论上被监视的门、锁机构运动完毕,如果门、锁机构发生卡滞等故障,则滚轮无法从 A 运动到 B,通风口完全打开,客舱无法顺利增压,因此称 AB 为监视段。

BC 弧段避免滚轮由 B 到 C 过程中出现突变载荷,造成卡滞或者滚轮破碎等故障,因此称 BC 为过渡段。

CD 为变径弧段,关闭舱门时,如果监视段 AB 无故障,凸轮绕轴心 O 继续旋转,使滚轮由 B 点逐渐到 D 点,特别是滚轮由 C 点到 D 点过程中,驱动四杆运动,关闭通风口,因此称 CD 为驱动段。

当飞机落地时,滚轮处于 D 点,通风口盖完全关闭,打开舱门时,通风口最先打开,滚轮以 D 为起点,凸轮绕轴心 O 旋转,通过滚轮驱动四杆机构打开通风口,释放客舱内残余压差,避免残余压差在不安全水平时,打开舱门造成意外伤害。滚轮由 D 点到 B 点后,通风口完全打开,由 B 点到 A 点过程中,四杆机构和通风口盖静止不动,同时舱门完成解锁、解门,舱门打开准备就绪。

凸轮设计过程中,应注意以下几点设计原则:

1)行程曲线首尾段设计成以旋转轴心为圆心的圆弧,实现四杆机构不能反驱凸轮的功能。

2)行程曲线圆滑过渡,避免滚轮在凸轮槽中卡滞和强烈冲击。

3)对于摆动从动件,凸轮许用压力角通常取($40^{\circ} \sim 50^{\circ}$)^[5]。

凸轮设计过程中,同时要考虑被驱动的四杆机构的设计。依据舱门主结构确定凸轮和四杆机构的安装位置后,根据凸轮的设计输入以及机构的输出(即通风口盖打开角度 α),协调凸轮与四杆之间的运动关系,从而确定理论行程曲线和四杆机构的杆长,最终完成凸轮-四杆组合机构的设计。

3.4.2 马耳他凸轮-四杆机构

以某型机舱门通风口机构为例,如图 11 所示。马耳他凸轮-四杆机构主要由马耳他凸轮、四杆机构、通风口盖、弹簧组成。四杆机构分别通过铰接点 A、D 安装在舱门结构上,零件绕铰接点所在的轴线能够自由旋转。

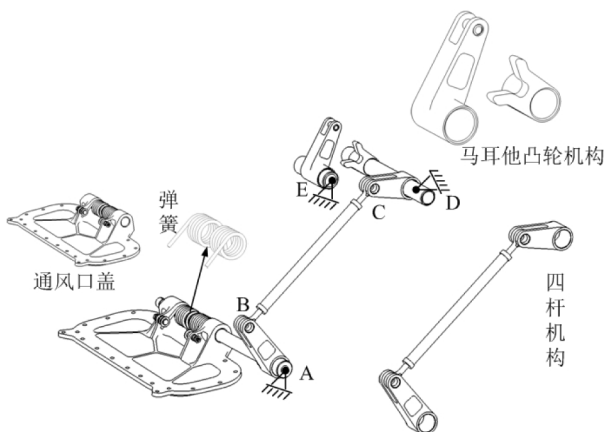


图 11 马耳他凸轮-四杆通风口机构

弹簧的设计原理与槽凸轮-四杆机构中弹簧的设计原理相同。

马耳他凸轮工作原理如图 12 所示。机构运动时,通过摇臂 EF 驱动马耳他凸轮,进而驱动四杆机构,控制通风口盖开关状态。摇臂 EF 的行程分为监视段 γ 和驱动段 δ 。

设计中,通常将马耳他凸轮的驱动摇臂 EF 与门、锁机构串联设计,如果关门时门、锁机构存在故障,则摇臂 EF 不能旋转驱动马耳他凸轮,通风口盖在弹簧的作用下处于打开状态,从而实现监控门、锁机构和增压预防的功能。

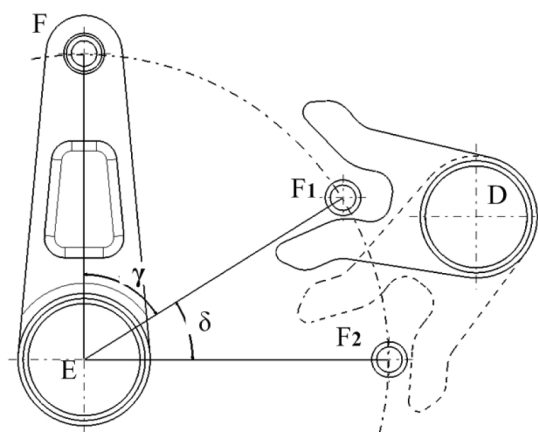


图 12 马耳他凸轮工作原理

设计过程与槽凸轮-四杆组合机构的设计过程类似,根据通风口机构设计输入(γ 和 δ)以及机构的输出(通风口盖打开角度 α),设计机构的安装位置及杆长。

马耳他凸轮-四杆机构虽然没有槽凸轮的自锁功能,但是通常将四杆机构做过中心设计,防止机构逆转。如图 13 所示,AB 杆与通风口盖连接,作为机构输出,CD 杆与马耳他凸轮连接,作为机构输入。四杆处在 A、B、C、D 位置时,通风口完全打开;CD 运动到 C_1 时,AB 运动到 B_1 ,BC 杆和 CD 杆共线,所在直线为机构的中心线;CD 运动到 C_2 时,AB 运动到 B_2 ,通风口完全关闭。如果通风口关闭后有意外打开趋势,将推动 CD 杆由 C_2 处沿 ω 方向继续转动,而此时 CD 杆受到结构限位,不能继续转动,从而有效防止了机构反驱,通常过中心角 $\angle C_1DC_2$ 不宜过大,一般不超过 5° 。

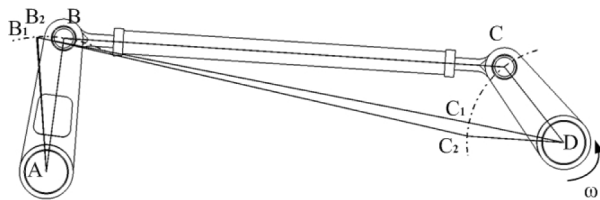


图 13 四杆机构过中心原理

4 结论

1)通风口机构整体布置中,充分考虑机构运动空间、载荷工况以及人机工程等要求。

2)凸轮设计过程中,行程曲线圆滑过渡,尽量避免卡滞和强烈冲击;尽量保证传动角大于 30° ,提高传动效率;行程曲线首尾段设计自锁圆弧,实现

自锁功能。

3) 四杆机构过中心角不宜过大,一般不超过 5° 。

4) 通风口除了机构设计外,还要考虑口盖关闭后的结构密封以及破冰要求等。

参考文献:

- [1] 中国民用航空局. CCAR 25-R4 中国民用航空规章第 25 部:运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局,2011.
- [2] AC25.783-1A Fuselage Doors And Hatches [S]. US:Federal Aviation Administration, 2005.

[3] 刘军营. 液压与气压传动[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2014:266-267.

[4] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 1 册:常用公式、符号、数表[M]. 北京:航空工业出版社,1996.

[5] 郑文纬,吴克坚,郑星河,等. 机械原理[M]. 北京:高等教育出版社,1997:138-139.

作者简介

梁东明 男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机舱门设计;E-mail: dongming186@163.com

丛家勇 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞机舱门设计;E-mail: cong.jiayong@sacc.com.cn