

# 民机舱门垂直轴传动机构参数化设计方法

## The Parametric Design Method of Vertical-shafts Mechanism Used for Commercial Aircraft Door

马岩 李忠霖 / MA Yan LI Zhonglin

(中航沈飞民用飞机有限责任公司, 沈阳 110000)

(AVIC SAC Commercial Aircraft Company Ltd., Shenyang 110000, China)

### 摘要:

引入了一种新型垂直轴传动机构,该机构首次被应用于民用飞机舱门设计中,具有一定的先进性。介绍了其基本构型、传动原理及在舱门上的典型应用。深入分析了其机构特性,并依据解析几何的方法推导出该机构输入输出角度计算公式,从而得出了该机构的参数化设计方法。

**关键词:**垂直轴传动;解析法;输入角度;输出角度

**中图分类号:**V223.9

**文献标识码:**A

[Abstract] This paper introduces an advanced and brand-new mechanism for commercial aircraft door, which can transfer the movement between two vertical shafts, and analyses the theory of its movement. Based on that, a formula used to calculate the input angle and output angle of the mechanism is deduced, which can be used for the design of the mechanism.

[Keywords] vertical shafts movement; analytic geometry; input angle; output angle

## 0 引言

对于民用飞机舱门设计,因为结构及机构布置的需要,常常要实现两根互相垂直轴之间的联动(如内外手柄轴)。目前,舱门设计中普遍采用的是空间四杆机构。空间四杆机构仅适用于不在同一平面内的两根轴的联动,而且需要连杆间关节轴承的转动来补偿机构轴向的窜动,在机构设计上有一定的局限性。本文介绍了一种全新的垂直轴传动机构,该机构可以应用于舱门设计,并且实现了在同一平面内的两根垂直轴之间的联动,该机构具有传动准确、构型简单、可调整性高及占用空间小等优点。

## 1 垂直轴传动机构构型

本文介绍的全新的应用于垂直轴之间传动的空间机构示意图如图1所示。

本套机构包括:处于同一平面内互相垂直的主动轴A和从动轴E,主动轴上固定连接的主动轴曲柄B,从动轴上固定连接的从动轴曲柄D,以及两端分别与曲柄B和曲柄D铰接连接的连杆C。主动轴

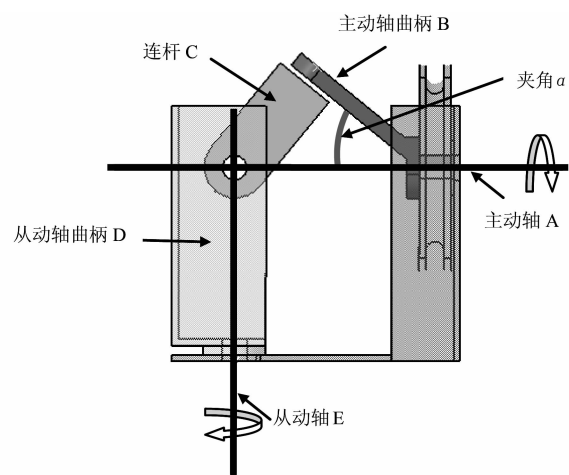


图1 垂直轴传动机构示意图

曲柄B与主动轴A之间存在一个夹角 $\alpha$ 。从动轴曲柄D平行于从动轴E。连杆C垂直于主动轴曲柄B。连杆C与曲柄D的铰接点轴线垂直于纸面。

## 2 垂直轴传动机构在舱门上的典型应用

图2为某机型应急门外手柄机构示意图。该机型选用的是III型机翼上部应急门<sup>[1]</sup>。欧洲航空安

全局(EASA)于2008年提出修正公告NPA2008-4<sup>[2]</sup>,对III型应急门的操作提出新的要求,应急门在打开时要与机身相连,并且要求打开过程中要易于操作。随后这一要求被写进CS 25.813(c)(6)<sup>[3]</sup>,对于大于或等于41座的民用客机机翼上部应急门,必须能够自动打开、且打开后需要与机身相连。为了满足上述设计要求,舱门需设计多套机构,设计难度陡然增大。因III型应急门空间尺寸比较狭小,机构布置难度很高,为了给其他机构留出足够的空间,所以外手柄机构选择了占用空间更小的“蝴蝶”式手柄,如图2所示。

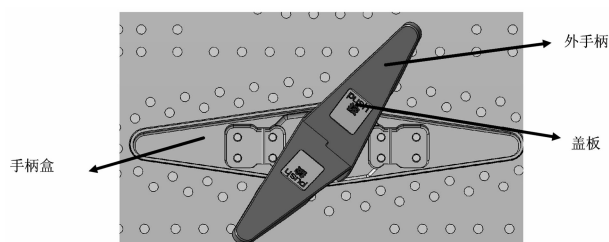


图2 外手柄机构示意图

“蝴蝶”式手柄虽然占用空间小,但这种形式的手柄也存在一定的不利因素。采用这类外手柄,外手柄轴垂直于内手柄轴轴线方向,这就给内外手柄的传动带来了一定的困难。本例中的应急门受设计空间的限制,只能将外手柄轴与联动内手柄轴的锁轴布置在同一水平面内,传统的空间四杆机构无法满足设计要求,所以选择了本文介绍的垂直轴传动机构。

本机构应用于应急门上的形式如图3所示,其主动轴为锁轴,锁轴与传动曲柄2固定连接,传动连杆3一端与传动曲柄2铰接,另一端与传动曲柄4

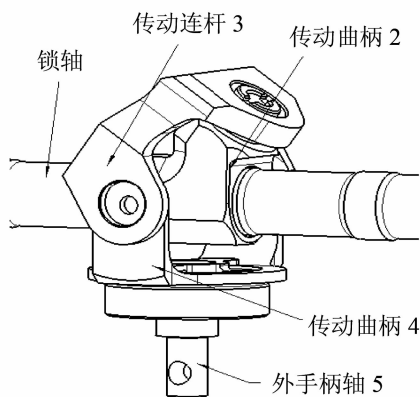


图3 应急门垂直轴传动机构

铰接,传动曲柄4与外手柄轴5固定连接。外手柄轴5连接外手柄机构。

本例中对于图1所示的垂直轴传动机构做了微小更改。垂直轴传动机构各个机构件之间的连接形式不变,将图1中的主动轴曲柄B的构型做了修改,使其处于传动连杆3与传动曲柄4的闭环中。这样机构更加紧凑,可以最大程度地节省空间。

### 3 垂直轴传动机构的参数化设计方法

本套机构的设计难点为机构的调整。作为空间机构,不同于平面机构的调整方法,需要采用立体解析几何的方法对机构进行分析计算,从而找到调整方法。

首先分析机构特性。依据图1分析该机构的构型可以发现,只要主动轴曲柄B的长度和其与主动轴A之间的夹角 $\alpha$ 确定,机构的整体构型就完全确定。曲柄B的长度决定机构的空间大小,曲柄B与主动轴A之间的夹角 $\alpha$ ,则决定了机构的输入输出角度关系。图1所示为本套机构的运动中心位置,机构运动时,以中心位置为界,前后运动形式一致。设计机构时,可以以中心位置为起点,分配输入输出角度。例如要求输入角度为 $110^\circ$ ,输出角度为 $90^\circ$ ,则机构的结束位置相对中心位置,输入轴转动 $55^\circ$ ,输出轴转动 $45^\circ$ 。

为了更好地分析机构,将该机构抽象成图4所示线架结构,可以利用解析法计算出夹角 $\alpha$ 与输入输出角度的关系。图4线架图中实线为机构中心对称位置,虚线为机构转动了一定的输入输出角度之后的结束位置,点画线为计算需要的辅助线。

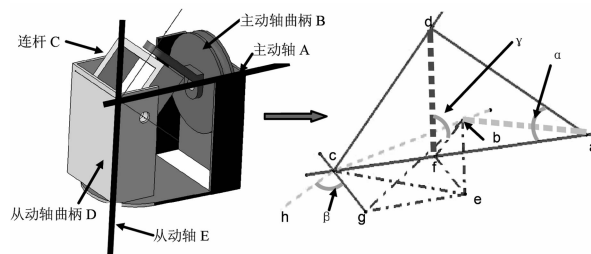


图4 垂直轴传动机构线架图

如图4所示, $ad$ 为抽象后的主动轴曲柄B, $cd$ 为抽象后的连杆C, $ac$ 为抽象后的主动轴A, $cg$ 为连杆C与从动轴曲柄D的铰接轴线方向, $ch$ 为机构转动后的  
(下转第60页)

参考文献:

[1] 高小平,刘一弘. 我国应急管理研究述评(上)[J]. 中国行政管理,2009(08).  
[2] 张海波. 中国应急预案体系:结构与功能[J]. 公共管理学报,2013,10(2):1-13.  
[3] 中国行政管理学会课题组. 政府应急管理机制研究[J]. 中国行政管理,2005(01).  
[4] 聂彤彤,韩作生. 基于贝叶斯网络的应急物流能力成熟度模型及应用研究[J]. 技术与创新管理,2011(04).  
[5] 孙瑞山,张思远. 人的可靠性综合分析模式及应用[J]. 工业工程,2014,17(2).  
[6] 王锐兰. 政府应急管理的绩效评价指标体系研究[J].

安徽大学学报(哲学社会科学版),2009(01).  
[7] 刘传铭,王玲. 政府应急管理组织绩效评测模型研究[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版),2006(01).  
[8] 段志善,崔善强. 模糊层次分析法在机械安全评价中的应用[J]. 机械工业标准化与质量,2007(10).  
[9] George Box, Luceno. A. Discrete Proportional-integral Adjustment and Statistical Process Control[J]. Journal of Quality Technology, 1997, 29(3).  
[10] 周进军,李洪泉,邓云峰,江田汉. 地震灾害综合应急能力评估研究[J]. 中国安全生产科学技术,2009(03).  
[11] 郭金玉,张忠彬,孙庆云. 层次分析法在安全科学研究中的应用[J]. 中国安全生产科学技术,2008(02).

(上接第 37 页)

连杆 C 与从动轴曲柄 D 的铰接轴线方向,  $cb$  为转动后的连杆 C 位置,  $ab$  为转动后的主动轴曲柄 B 位置。

定义输入角度即主动轴转动角度为  $2\gamma$ , 输出角度即从动轴转动角度为  $2\beta$ 。通过交点  $d$  作辅助线  $df$  垂直于  $ac$ , 连接  $bf$ , 图中为中心对称位置, 所以  $\angle dfb$  即为主动轴曲柄转动的角度  $\gamma$ ,  $\angle hcg$  即为从动轴的转动角度  $\beta$ 。通过交点  $b$  作垂直于主动轴和从动轴所在平面的垂线  $be$ , 通过  $e$  点做直线  $eg$  垂直于  $cg$ , 连接  $ef$  和  $ec$ 。

已知  $ch \perp cb, ch \perp eb$ , 则  $ch \perp$  平面  $cbe$ , 所以  $ch \perp ec, \angle \beta = \angle ceg$ ;

已知  $ac \perp be, ac \perp bf$ , 则  $ac \perp$  平面  $bfe$ , 所以  $ac \perp ef$ ;

因为  $ac \perp ef, ac \perp cg, ge \perp cg$ , 所以四边形  $cgef$  为矩形, 可以得出:

$$\begin{aligned} cg &= ef \\ ge &= cf \end{aligned} \quad (1)$$

已知  $cg \perp$  平面  $acd$ , 所以  $ef \perp$  平面  $acd$ , 所以  $ef \perp df$ , 所以  $\angle \gamma = \angle fbe$ ;

已知  $ad \perp cd, df \perp ac$ , 所以  $\angle \alpha = \angle cdf$ ;

因为  $\angle \gamma = \angle fbe, \angle \beta = \angle ceg, \angle \alpha = \angle cdf$ , 所以可得:

$$\begin{aligned} ef &= bf \times \sin(\gamma) \\ cg &= ge \times \tan(\beta) \\ cf &= df \times \tan(\alpha) \end{aligned} \quad (2)$$

已知  $df = bf$ , 通过上述关系式, 可以推导出:

$$\tan(\alpha) = \frac{\sin(\gamma)}{\tan(\beta)} \quad (3)$$

$$\alpha = \arctan\left\{\frac{\sin(\gamma)}{\tan(\beta)}\right\} \quad (4)$$

如果给定设计要求的输入输出角度, 通过上面推导出的公式, 便可以求解出夹角  $\alpha$ , 从而调整出机构的基本构型。在具体应用到舱门上时, 在确定机构基本构型后, 可以依据给定的空间位置, 调整主动轴曲柄的长度, 从而调整整个机构的空间大小, 使之满足设计空间要求。

## 4 结论

本文以某机型应急门手柄机构为例, 介绍了一种新型垂直轴传动机构, 本套机构布局紧凑, 可调整度高, 可广泛应用到舱门机构设计中。本文推导出的公式, 实际应用时, 应与机构的具体构型相结合。本文提出的从解析几何角度对空间机构进行设计的思路及参数化设计方法, 具有一定的通用性, 还可以应用于其他空间机构的设计中。

参考文献:

[1] 中国民用飞机航空局. 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] EASA. Notice of Proposed Amendment (NPA) No 2008-4 Type III Emergency Exit Access and Ease of Operation[S]. EASA, 2008; 23.  
[3] EASA. CS-25\_Amendment 9 Certification Specifications for Large Aeroplanes[S]. EASA, 2010; 1-D-34.