

# 民用飞机定水平设施研究综述

## Research on Leveling Means for Civil Aircraft

金 鼎 赵小辉 / Jin Ding Zhao Xiaohui

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘 要:

中国民航适航规章第 25 部第 871 条款要求必须有确定飞机在地面处于水平位置的设施, 以方便实现飞机姿态的调平。针对民用航空主流机型的定水平设施进行了归纳和分类, 并逐类进行了分析研究, 为国产民用飞机定水平设施的设计提供了重要参考。

**关键词:** 民用飞机; 适航; 定水平设施; 快速调平装置; 调平基准点

**中图分类号:** V222

**文献标识码:** A

**[Abstract]** According to the airworthiness standards of CCAR 25.871, there must be means for determining when the airplane is in a level position on the ground in order to get the leveling of aircraft attitude. In this paper, leveling means of civil aircraft are classified and analyzed. The research method can provide useful reference for the design of leveling means in domestic civil aircraft.

**[Key words]** civil aircraft; airworthiness; leveling means; quick leveling device; leveling datum points

## 0 引言

飞机在总装过程中及维修工作实施前, 常需要将飞机姿态调整到水平, 简称调平。调平的常用方法是将飞机用三个千斤顶顶起, 通过调整不同千斤顶的顶起高度来实现飞机调平。飞机调平可以分为两个方向的调平, 即纵向方向调平和横向调平。

根据中国民航 CCAR25 适航规章第 871 条款要求: 飞机必须有确定飞机在地面处于水平位置的设施<sup>[1]</sup>。因此需要在飞机上安装定水平设施, 以方便实现飞机姿态的调平。

定水平设施是飞机在调平时用来指示和判断飞机是否达到所要求的水平姿态的设施。本文对民用航空主流机型的定水平设施进行了归纳和分类, 并逐类进行了分析研究, 为国产民用飞机定水平设施的设计提供了参考。

## 1 定水平设施分类

根据飞机不同的调平需求, 定水平设施可以分为快速调平装置和调平基准点两大类, 如图 1 所示。

其中, 快速调平装置又可分为铅垂和刻度板装

置、水泡装置等几种, 常用于称重、起落架收放试验及一般性飞机维护等工作前的飞机粗略调平。调平基准点用于全机水平测量工作, 可以实现飞机的精细调平。由于用途不同, 一般要求飞机同时具备快速调平装置和调平基准点, 下面针对各种定水平设施进行详细介绍。

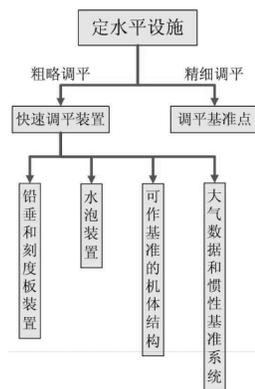


图 1 定水平设施分类

## 2 铅垂和刻度板装置

铅垂和刻度板装置由悬挂的铅垂和水平固定的刻度板组成, 刻度板安装在铅垂的正下方, 当铅

垂尖端指向刻度板某方向刻度的零位时,即认为飞机在该方向实现了调平,如图2所示。

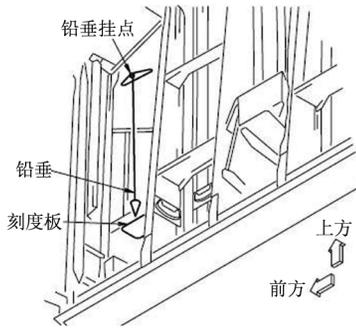
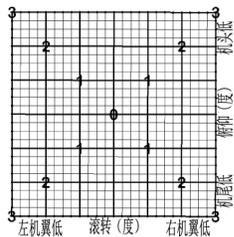
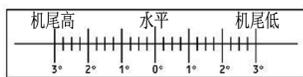


图2 铅垂和刻度板装置

根据功能需求不同,刻度板又可分为双向刻度板和单向刻度板,如图3所示。二者区别是利用双向刻度板可以实现两个方向的调平,而利用单向刻度板只能实现一个方向的调平。因此单向刻度板需要配合使用其他快速调平装置才能完成飞机两个方向的调平。



(a) 双向刻度板



(b) 单向刻度板

图3 刻度板的两种形式

表1列举了一些典型民用飞机的刻度板指示精度和量程,从中可以看出刻度板的指示精度一般选取 $0.25^{\circ} \sim 0.5^{\circ}$ 较为合适,量程一般选 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 较为合适。

表1 刻度板指示精度和量程

机型	最小刻度	量程
波音 737	$0.25^{\circ}$	$4^{\circ}$
波音 747	$0.25^{\circ}$	$3^{\circ}$
波音 767	$0.5^{\circ}$	$3^{\circ}$ (纵向低头 $4^{\circ}$ )
波音 777	$0.5^{\circ}$	$3^{\circ}$ (纵向低头 $4^{\circ}$ )
CRJ700/900	$0.5^{\circ}$	
MD-90	$0.25^{\circ}$	$3^{\circ}$
运-10	$0.5^{\circ}$	$5^{\circ}$

考虑便于操作和易于观察的需求,铅垂和刻度板装置一般安装在主起落架舱或前起落架舱内,该区域内部空间较大,同时该区域结构强度大,飞机的变形对其影响也最小。

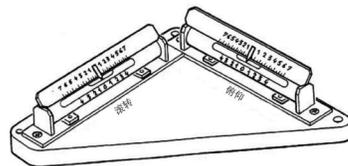
### 3 水泡装置

水泡装置的原理是将气泡或小球封入装满防冻液体的玻璃容器中,并在容器上标示刻度,利用气泡在液体中的浮力或小球在液体中的重力来指示飞机的姿态。将水泡装置水平安装在飞机上,当气泡或小球处于零刻度处,即说明飞机处于水平姿态。

飞机调平常用的水泡装置有:单向倾斜仪(倾角计)、双向一体式倾斜仪(倾角计)、圆形网格刻度姿态指示仪、专用姿态测量仪,如图4所示。



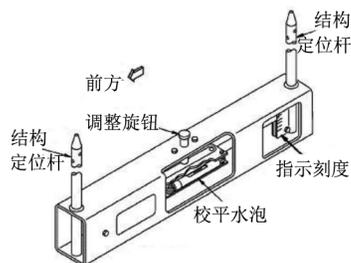
(a) 单向倾斜仪



(b) 双向一体式倾斜仪



(c) 圆形网格刻度姿态指示仪



(d) 专用姿态测量仪

图4 四种水泡装置

图4中,单向倾斜仪是目前民用飞机中最常用的水泡装置,多见于波音系列飞机;圆形网格刻

度姿态指示仪多见于空客系列飞机;双向一体式倾斜仪和专用姿态测量仪为定制产品,多见于较早期的民用飞机,我国于20世纪80年代研制出的运-10飞机就采用了专用姿态测量仪。

表2列举了一些典型民用飞机的水泡装置的指示精度和量程,从中可以看出水泡装置的指示精度一般选取 $0.1^\circ \sim 1^\circ$ 较为合适,量程一般选取 $3^\circ \sim 10^\circ$ 较为合适。

表2 水泡装置的指示精度及量程

机型	分类	最小刻度	量程
波音 737	单向倾斜仪	$1^\circ$	$10^\circ$
	专用姿态测量仪	$0.1^\circ$	$4^\circ$
波音 747	单向倾斜仪	$0.5^\circ$	$10^\circ$
波音 767	单向倾斜仪	$0.5^\circ$	$5^\circ$
波音 777	单向倾斜仪	$0.5^\circ$	$5^\circ$
空客 300	双向一体式倾斜仪	$0.5^\circ$	$4^\circ$
空客 320	圆形网格刻度姿态指示仪	$0.5^\circ$	$3^\circ$
空客 330	圆形网格刻度姿态指示仪	$0.5^\circ$	$3^\circ$
MD-90	单向倾斜仪	$0.5^\circ$	$5^\circ$
运-10	专用姿态测量仪	$0.5^\circ$	$4^\circ$

水泡装置的位置布置原则与铅垂和刻度板装置相同。

## 4 可作基准的机体结构

有时,一些特定的飞机机体结构也可以作为全机调平的基准,前提是这些结构与机身轴线平行,并且是承力构件,具有刚性大、安装精度高的特点。

利用结构基准调平飞机时,由于结构本身没有角度指示功能,还需准备一个水平仪。水平仪可以是简单的水泡式水平仪,也可以是精度更高的数字式水平仪。例如,空客 A320 及后续型号的飞机均可使用客舱座椅安装轨道和货舱轨道作为调平基准。调平飞机时,将水平仪沿轨道方向放置,可以调整飞机纵向姿态;将水平仪横跨在两个轨道上,可以调整飞机横向姿态。

## 5 大气数据和惯性基准系统

大气数据和惯性基准系统 (ADIRS) 为电子飞行仪表 (EFIS)、飞机管理制导计算机 (FMGC) 以及其他系统提供大气数据和惯性信息。ADIRS 包含几

个相同大气数据及关系基准组件 (IDIRU), 每个 IDIRU 都可以提供飞机当前的俯仰和滚转信息。因此,可以利用 ADIRS 中给出的姿态数据信息来调平飞机。

ADIRS 可以给出较精确的飞机姿态信息,其读数精度可以达到  $0.1^\circ$ 。需要注意的是,飞机调平时,ADIRS 的俯仰读数不一定为零,需要根据飞机维修手册中给出的数字来调平飞机俯仰姿态。

## 6 调平基准点

调平基准点是在飞机水平测量时用以调平飞机姿态的一类特殊的测量点。每个调平基准点均用明显的标识标在飞机外表面,如图5所示,并且存在一个全机坐标系下的理论坐标,不同基准点在高度方向上的理论坐标差值可以作为全机调平的依据。

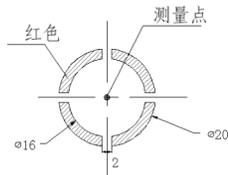


图5 标识形式示意

调平基准点的位置选取有如下原则:选在结构刚度好、变形小的部位,尽量减小结构变形对调平基准点位置的影响;两点间的距离尽量大些,尽量减小测量误差对全机调平的影响。一般情况下,纵向的调平基准点选在前机身和后机身框的位置上,横向的调平基准点选在机翼中段梁的位置上,图6是一架民用飞机调平基准点的典型位置。

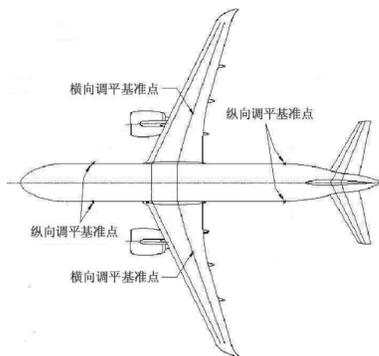


图6 调平基准点典型布置位置

调平基准点的形式可以是精确定义的铆钉冲点,也可以是预装在飞机结构上并与蒙皮平齐的特殊测量接头。

(下转第55页)

转载荷,腐蚀环境恶劣。蒙皮选用 2024-T42(包铝)铝合金,肋选用 2024-T42(包铝)铝合金,悬挂支架选用 7050-T7451 铝合金。

### 3.3 尾翼

尾翼采用“T”形布局,由水平安定面、升降舵、垂直安定面和方向舵组成。尾翼安定面除背鳍和翼尖外,都为金属结构,调整片为金属结构;背鳍、翼尖和舵面均采用复合材料结构。水平安定面采用双梁式结构,包括前缘、盒段、后缘、翼尖。垂直安定面采用三梁结构,主要由前缘、承力盒段、后缘、背鳍(复材)和翼尖(复材)组成。水平安定面和垂直安定面承受分布的气动载荷和在舵面悬挂点处的集中支反力。在这些载荷的作用下,其主要受力构件上产生剪力、弯矩和扭矩。水平安定面和垂直安定面应考虑材料的耐腐蚀性能,水平安定面的上翼面还需考虑材料疲劳、损伤容限性能。综上所述,梁缘条选用 7050-T7451 铝合金,梁腹板选用 2024-T42(包铝),蒙皮选用 2024(包铝)-T3 铝合金,长桁选用 7050-T7451 铝合金,普通肋选用 2024-T42(包铝)铝合金,加强肋缘条选用 7050-T7451 铝合金,肋腹板选用 2024-T42(包铝)铝合金。

### 3.4 浮筒

浮筒是保证飞机在水上起降、滑行和漂浮时的横向稳定性的部件。飞机的浮筒为翼下全金属辅助浮筒。浮筒整体结构腐蚀环境与机身一致,即下部蒙皮、长桁和框的腐蚀环境严苛,上部较轻,但浮筒蒙皮基本不用考虑疲劳性能。浮筒蒙皮选用耐腐蚀性能好的 7475-T761 包铝合金,长桁选用 7050-T7451 铝合金,钣金框选用 2024-T42 铝合金(包铝)<sup>[6]</sup>。

(上接第 28 页)

调平飞机时,利用水准仪或激光跟踪仪测量各个调平基准点的高度差,调整飞机姿态,当基准点之间达到理论高度差,即飞机达到了水平姿态。作为精细调平的手段,使用调平基准点调平飞机的精度比快速调平装置的调平精度高一个数量级以上。

## 7 结论

本文对民用航空主流机型的定水平设施进行了归纳和分类,并逐类进行了分析研究,经分析得出以下几点结论。

(1)定水平设施根据用途及精度的不同,可以分为快速调平装置和调平基准点两大类,其中快速调平

## 4 结论

材料影响飞机的性能,选择合适的材料对飞机有着重要的意义。水陆两栖飞机服役环境比普通民机恶劣,承受载荷与普通民机有较大区别,对材料性能的要求也比较严苛。本文通过对某型水陆两栖飞机结构设计原则和适航规章进行解读,并对服役环境及飞机各部位的载荷工况进行了深入分析,确定了飞机机身、机翼、尾翼和浮筒等部位对材料的性能要求,结合对备选的铝合金材料的机械性能和工艺性能、适航性、成本、供货周期等因素综合考虑,最终提出某型水陆两栖飞机结构各部位选用的铝合金材料,制定了一套切实可行的结构铝合金选材方案。

### 参考文献:

- [1]黄秋阳.金属材料选择探讨[J].航空标准化与质量,2007,5:22-48.
- [2]《飞机设计手册》总编委会.飞机设计手册第10册:结构设计[M].北京:航空工业出版社,2000.
- [3]蓝元沛,孟庆春,李锋,等.基于多属性效用理论的飞机设计选材方法[J].航空材料学报,2010,3:88-94.
- [4]王克然,许广兴.现代战斗机对机体结构金属材料性能的要求[J].飞机设计,2000,3:44-53.
- [5]蹇西昌,杨守杰,张坤,等.铝合金在运输机上的应用与发展[J].轻合金加工技术,2005,33:1-7.
- [6]吴学仁.飞机结构金属材料力学性能手册[M].北京:航空工业出版社,1996.

装置又可分为铅垂和刻度板装置、水泡装置等几种。

(2)对各类定水平设施进行了分析,包括功能、精度、量程及布置安装等,为国产民用飞机定水平设施的设计提供了重要参考。

最后,需要指出的是:为了保证定水平设施所指示的飞机姿态与飞机的实际姿态尽量一致,必须在型架状态下安装定水平设施,并且安装精度须比其本身的指示精度高一个数量级。

### 参考文献:

- [1]中国民用航空局.CCAR25-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.