

经典机型的机翼整体油箱布置分析

张明星

(上海飞机设计研究院结构设计研究部,上海 200232)

Wing Integral Fuel Tank Layout Analysis of Typical Aircraft

Zhang Mingxing

(Structures Department of SADRI, Shanghai 200232, China)

摘要:随着飞机设计技术的发展,机翼整体油箱已经成为改善飞机性能、减轻飞机质量的一项重要措施。针对波音 B737、A320 等几个经典机型的机翼整体油箱结构布局、油泵布置和用油顺序进行了分析,以期对整体油箱设计起一定的参考和借鉴作用。

关键词:经典机型;机翼整体油箱;油泵布置;用油顺序

[Abstract] With the development of aircraft design technique, integral fuel tank technique is already employed to improve the aircraft performance and reduce aircraft weight. Integral fuel tank layout, pump layout and using sequence on B737, A320 and other typical aircraft, are discussed in this article with the aim of providing the reference for future wing integral fuel tank design.

[Key words] typical aircraft; wing integral fuel tank; pump layout; using sequence

0 引言

现代高性能飞机普遍利用飞机内部结构空间布置机翼整体油箱,用来增大飞机燃油贮量,延长续航时间,增加飞机航程,改善飞机飞行性能^[1]。因此合理地布置飞机整体油箱结构,不仅成为飞机结构设计中不可缺少的部分,而且便于飞机的使用和维修,从而为运营商带来最大的经济效益^[2]。

为了更加深入地了解经典机型的油箱设计,本文重点对几个国外经典机型的机翼油箱布置进行介绍和总结,以期对未来飞机整体油箱设计起到一定的参考和借鉴作用。

1 经典机型机翼整体油箱的布置形式

在油箱设计上,加拿大庞巴迪公司的 CRJ700、巴西航空工业公司的 ERJ190/195、美国费尔柴尔德·多尼尔(原德国仙童·多尼尔公司)的 D728、波音公司的 B737、空客公司的 A320、原麦道公司的 MD82 等飞机都具有典型的飞机油箱设计形式。现分别从油箱布局、油泵布置和用油顺序等对上述机型的油箱作以叙述。

1.1 庞巴迪 CRJ700 飞机

CRJ700 采用了三油箱的结构形式,中央翼油箱为辅助油箱,内装四台引射泵,两台备用泵,一台 APU 泵和两个集油箱,如图 1 所示。外翼油箱为主油箱,主辅油箱均为整体油箱,而集油箱则是一个桶形复合材料容器,如图 2 所示。它是主油箱的延伸,靠从外翼泵入油,保持其油量和压力。而两台引射泵把中央翼的油分别打入两侧外翼适时补充。两台

主引射泵和两台备用机械泵接入集油箱,飞机发动机靠集油箱供油。APU 泵装在中央翼后梁右侧,如图 3 所示。

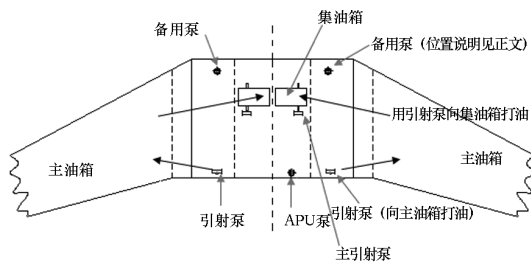


图 1 CRJ-700 油箱布置示意图

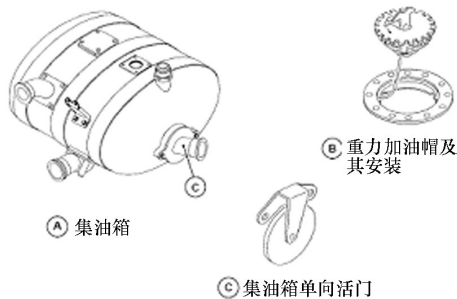
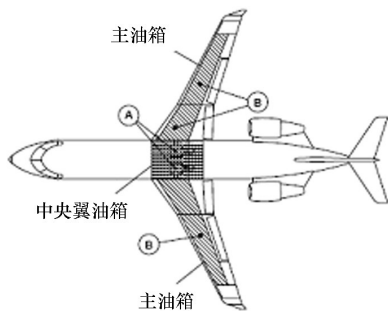


图 2 CRJ-700 集油箱的安装^[3]

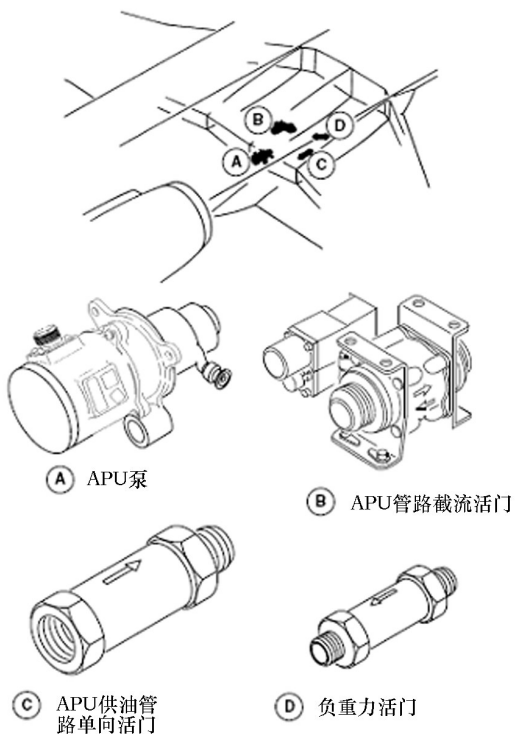


图3 CRJ-700 APU 泵的安装^[3]

中央翼内的两台备用泵在其下蒙皮上打孔安装。由于孔径较小,数量不多,又在靠近前梁的中应力区,结构的损失是可以接受的。中央翼内的四台引射泵中,有两台主泵直接装在集油箱上,如图4(a)所示;另两台用于向外翼供油,架在两长桁之上,如图4(b)所示。这四台引射泵的安装对中央翼结构并无多大影响。

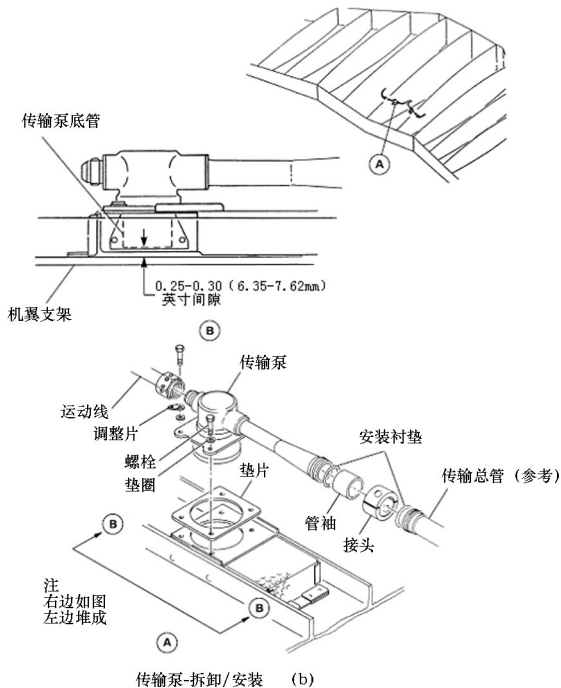


图4 CRJ-700 引射泵的安装^[3]

需要说明的是关于备用泵的安装位置,新版维护手册图示为靠近后梁,在下蒙皮打孔安装,但未见下蒙皮上孔的位置。而旧版结构修理手册所示,泵孔应在靠近前梁和1#肋处,后梁处的下蒙皮并无安装孔,如图5所示。考虑到旧版纸质手册的详细可靠性,以及装在前梁处的优点,还是相信备用泵装在中央翼前部。

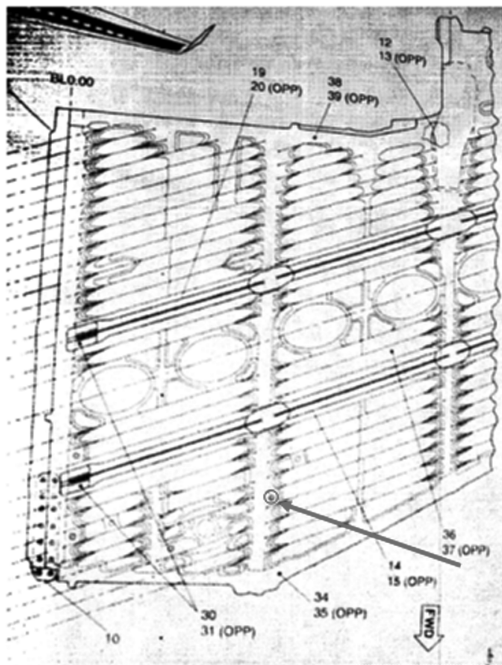
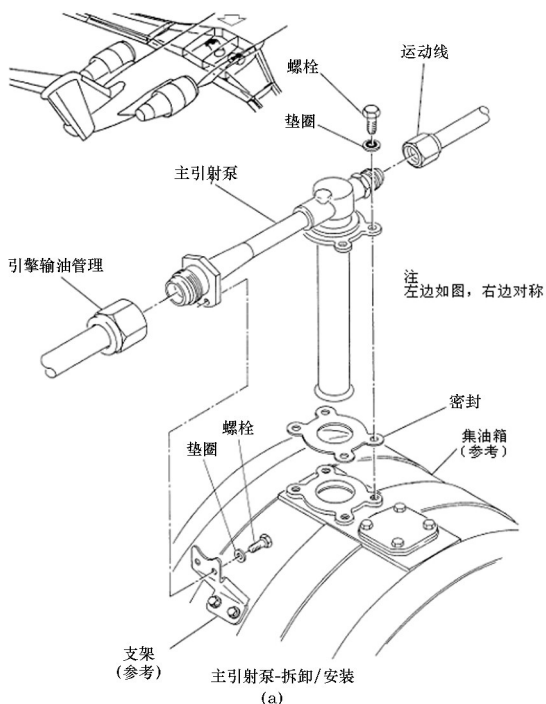


图5 CRJ-700 旧版结构修理手册中中央翼下蒙皮的安装孔位置

1.2 巴西航空工业公司 ERJ190/195 飞机

该系列机型从 ERJ190 开始采用两油箱结构(之前的机型也是三油箱结构),以正中 0#肋为界,分为左、右两主油箱。外端 22#肋至 23#肋间为防溢油箱;0#肋至 0#a 肋间横隔板之后为集油箱。均如图 6 所示。图中 $y=0$ 站位肋,即为 0#肋, $y=445$ 站位肋即为 0#a 肋。

燃油系统方案如图 7 所示,系统中的泵有:交流电动泵(ACM)2 台,直流电动泵(DCM)1 台,引射泵 6 台。除外翼两台引射泵(滤油排水并向集油箱供油)外,其余 7 台均安装于前中央翼结构内,后中央翼位于主起舱上方,无下壁板,故不是油箱。

如图 8 所示,两台主供油泵为引射泵,装于集油箱内下壁板处,引射泵结构简单、无转子、重量轻,无需打孔安装。前中央翼的另两台引射泵装于集油箱之前,用于滤油后向集油箱供油。这 4 台引射泵的安装对中央翼结构均无多大影响。

前中央翼内的两台交流电动泵为备用供油泵,一台直流电动泵为 APU 供油泵,均位于集油箱内,在下蒙皮打孔安装,如图 9 所示。这三台机械泵的安装孔分布如图 10 所示。三泵孔再加两大入孔对

中央翼下壁板疲劳性能的影响是很大的。但比 ARJ21-700 中央翼下壁板的 7 大开口的方案还是改善不少。值得注意的是,ERJ 系列及 ARJ21 飞机的燃油系统及其泵都是由 PARK 公司设计和提供的。C919 采用全复材中央翼,下壁板的开口问题应慎之又慎。

需要说明的是关于 APU 泵孔的位置,维护手册第 28 章(燃油系统)所述和图示均为在 0#肋的左侧,而第 57 章(结构)图示则在 0#肋右侧。两相矛盾。考虑到以往与 PARK 公司接触时所见内容和结构图所示的可信性,初步判断 APU 泵装于 0#左侧。

ERJ 系列的通气系统采用了两根通气管,而没有采用通气长桁,这与 ARJ21-700 是相同的。

在前中央翼后梁(ERJ 称之为 II 梁)上还装有备用泵及 APU 泵供油管路上的压力开关及交叉供油系统的换向器等成品,只需打小孔安装。

ERJ190 采用的发动机为 CF34-10-E(E 表示巴西),与 ARJ21 所用发动机型号相同。发动机上有引气口接引射泵回路。只是 ARJ21 因未用引射泵,而将引气口封堵。

ERJ 燃油系统的用油顺序为从翼尖到翼根。

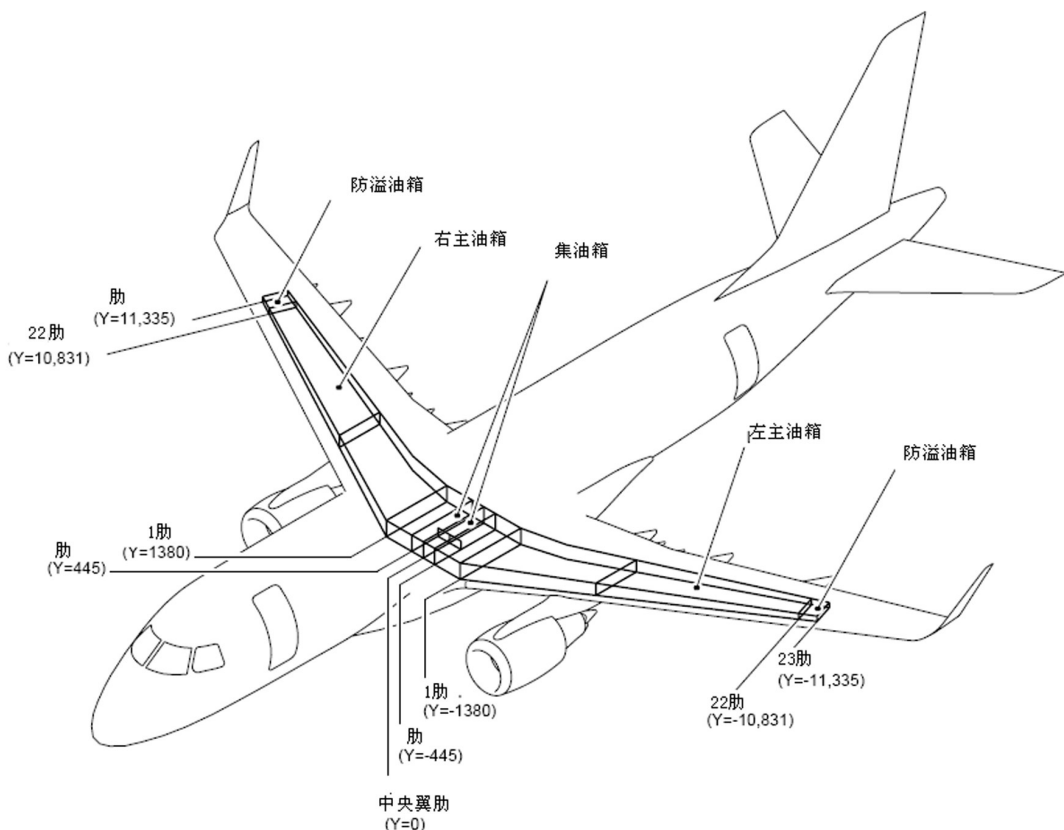


图 6 ERJ190/195 油箱布置^[4]

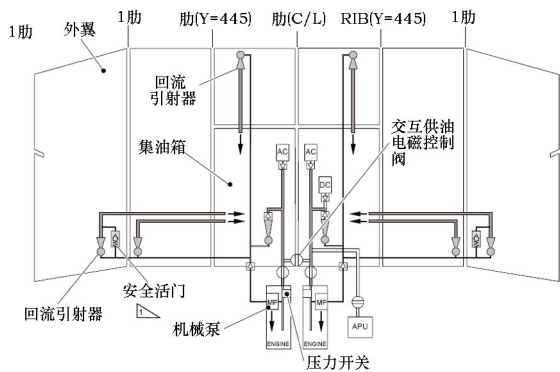


图7 ERJ190/195 燃油系统方案图^[4]

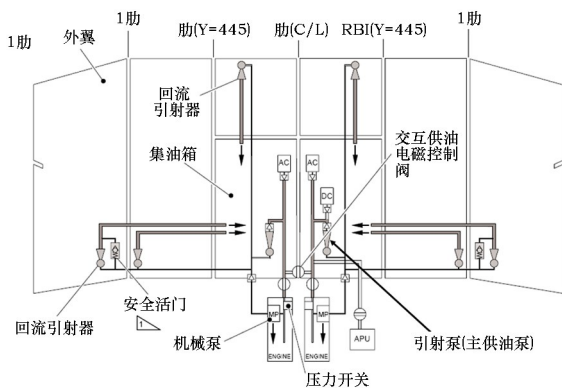


图8 ERJ190/195 油泵分布^[4]

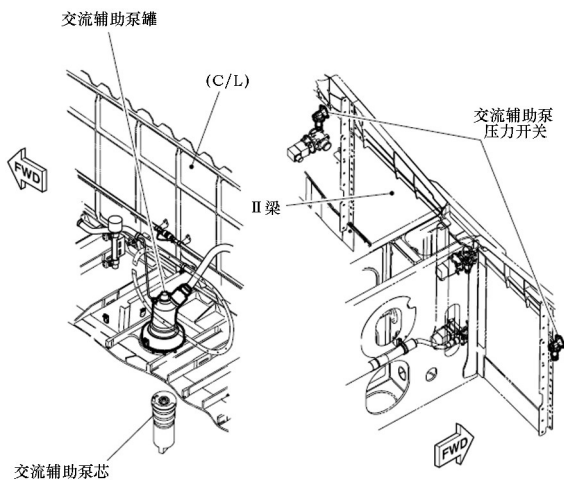


图9 ERJ 190/195 备用供油泵的安装^[4]

1.3 美国费尔柴德·多尼尔 D728 飞机

原德国仙童·多尼尔公司设计的70~85座涡扇飞机D728是现存资料最少的一个机种,仅有从德国现场拍摄的一组照片。

D728采用两油箱结构,从正中0#肋分界。1#肋为双肋,基本无腹板,保证油的畅通。供油系统有5台油泵:两台电动泵,两台引射泵和一台APU泵,其中引射泵为主泵,但安装位置不详,照片上未见中央翼油泵安装孔。通过咨询,初步判断电动泵和APU

泵的安装位置如图14所示。

D728采用分割油箱以改变用油顺序,亦如图11所示。先使用A区的燃油,然后用引射泵把B区的油注入到A区,待A、B两区的剩余燃油至一定量后,再使用C区的燃油。C区的油最后使用主要是为了利用其作配重。这种用油顺序应是诸机种中最好的。

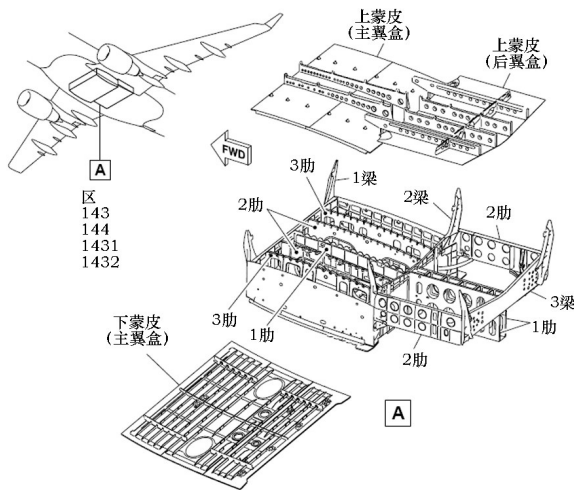


图10 ERJ190/195 前中央翼下壁板上的泵安装孔^[4]

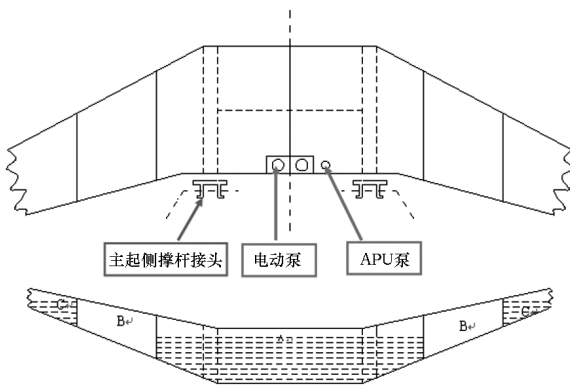


图11 D728 油箱示意图^[4]

1.4 美国波音公司 B737 飞机

波音飞机均采用三油箱布局,前期和近期的飞机其油箱分界有所不同。以B737-300为例,油箱布置如图12所示。主油箱与中央翼油箱以1#肋为界,1#对接肋为油箱端肋。泵(机械泵)在外翼前后梁上,中央翼油用引射泵打入外翼油箱,保证中央翼油箱中的油先用。每侧22#肋到25#肋组成防溢油箱。

B737-600之后的机型均采用如图13所示的油箱布局。中央翼油箱延至左右5#肋之间。两个主油箱分别为左右5#肋到22#肋之间,22#肋到25#肋间为防溢油箱。中央翼结构仍在左右1#肋之间。中央翼内有四台泵,两台增压泵装于后梁,取中央翼

油箱的油供发动机用,两台除水引射泵亦安装于中央翼后梁。外翼5#肋内(实为中央翼油箱内)有前增压泵,后增压泵各两台,分居左右两侧,分别装于外翼前后梁上,见图13和图14,这4台泵均从主油箱中取油,供于发动机。

由于中央翼增压泵的压力高于其他泵,保证中央翼油先用,外翼油箱的油可先做配重。防溢油箱主要用于收集从主油箱内溢出的油。

APU泵初步判断装在中央翼上壁板的上部(APU在机身尾部),见图15。通过管路从1#主油箱取油。APU供油管路上有一个切断阀装于中央翼后梁。

波音系列飞机的油箱均充惰性气体防爆。

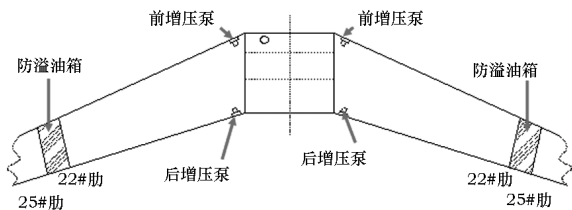


图12 B737-300 油箱布置示意图

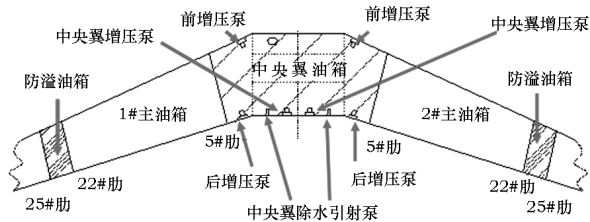


图13 B737-600/-900 油箱布置示意图

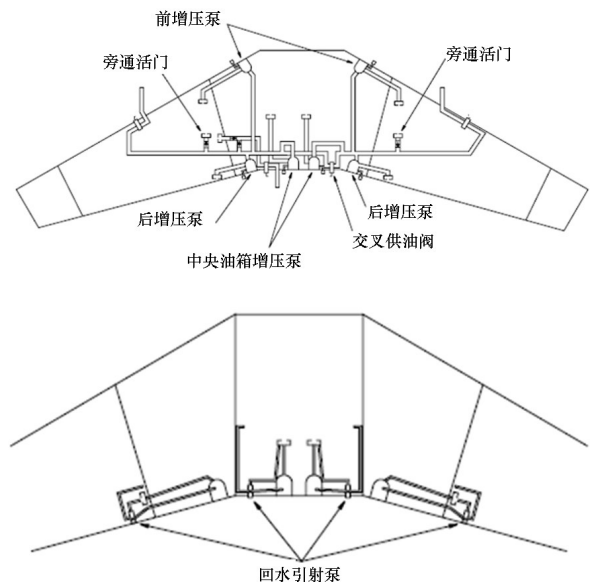


图14 B737-600/-900 中央翼油箱泵的布置^[5]

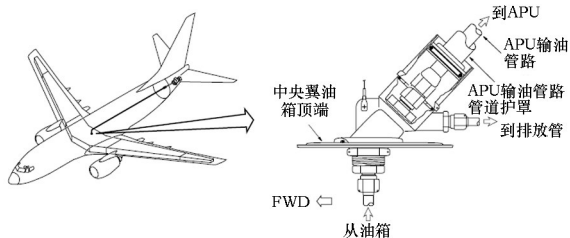


图15 B737-600/-900 中央翼 APU 供油系统的布置^[4]

1.5 空客 A320 飞机

空客 A320 是欧洲空中客车公司研制的双发窄体中短程客机^[6]。A320-100 型的标准燃油容量 15 843L, A320-200 型标准燃油容量 23 859L。其油箱布局为三油箱式结构,中央翼油箱和外翼油箱以 1#肋为界,22#肋和 26#肋围成防溢油箱。

三油箱包括两外翼油箱,和一个中央翼油箱,其中两外翼油箱为主油箱,在外翼的外端有一个防溢油箱,以接收飞机在地面运动和起飞时油箱溢出的油。主油箱有两种布置形式,某些构型以 15#肋将主油箱分成两格,即 1#肋至 15#肋构成内主油箱,15#肋至 22#肋构成外主油箱,而在 15#肋的底部,安装有转移阀,以保证内主油箱的油能够及时地补充到外主油箱,而外主油箱的油不能回流到内主油箱;但是另一些构型的主油箱不分割,由 1#肋和 22#肋构成一个主油箱,中间的 15#肋开孔相通,不设转移阀,上述两种结构分别见图 16(a)和图 16(b)。

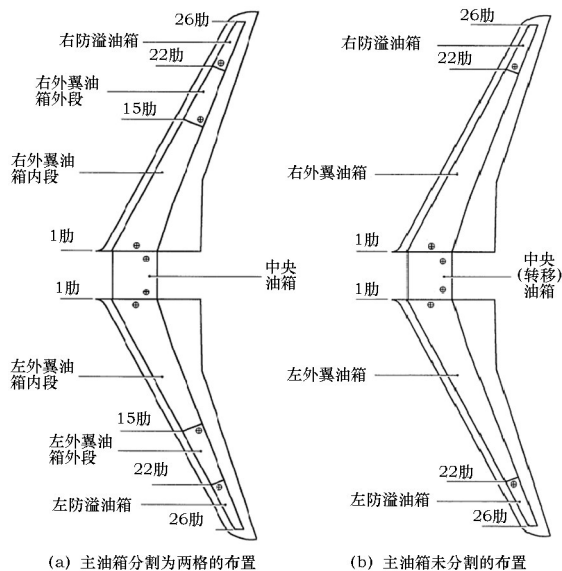


图16 A320 系列飞机油箱布置示意图^[7]

如图 17 所示,在每一个外翼油箱和中央翼油箱中,分别有两个油泵。用油顺序为先中央翼油箱后外翼油箱,它们两两一组向相关的发动机供油,如果交互供油系统开启,油泵也可以实现交互供油给发

动机。APU 的供油泵安装在中央翼的后梁上, APU 的供油泵主要使用左外翼油箱中的油。

另据报道 A320 近期的机型, 为了防止发动机叶片脱落飞出而破坏主油箱, 也将中央翼油箱向外扩大至 4#肋。一旦转子爆破事故发生, 可以牺牲中央翼油箱, 保证主油箱的正常供油。但未找到相关图示。

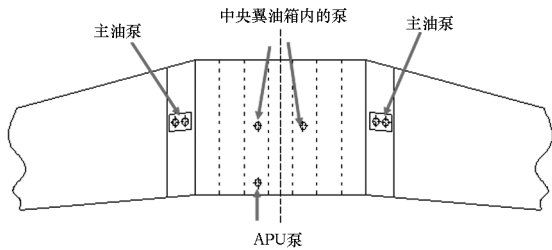


图 17 A320 系列中央翼油箱示意图

1.6 美国原麦道公司 MD-82 飞机

MD-80 系列是美国麦克唐纳·道格拉斯公司基于 DC-9-50 发展起来的双发中程窄体客机。载油量为 17 763kg。MD82 至 MD95 均为其发展型。标准载油量基本不变。它们采用的都是三油箱结构。供油泵均为机械泵, 其中两台泵合并于一个盒子内, 从上翼面孔中装入中央翼, 其余两个泵布置在外翼。

中央翼两台泵串联使用为的是提高压力, 保证中央翼优先供油。但是未说明泵的装卸问题。

MD-80 用油采取先用中央翼油箱的油, 后用外翼油箱的油, 两者自动切换。

2 结论

用密封处理的结构内部空间直接作为燃油容积的机翼整体油箱技术, 已成为改善飞机性能, 减轻结构重量的一项重要措施。用油顺序方面大部分机型均采用的是先用中央翼油箱的油, 然后再用外翼油箱的油, 以有利于飞机承载。油泵的安装要尽量避免在靠近高应力区大开口, 这样不仅因为开口加强而损失重量, 还减少了结构寿命。鉴于此, 可以考虑油泵安装在外翼的前后梁上; 同时引射泵具有结构简单、重量轻和安装方便的优点, 也可以避免大开口的问题。另外可以把外翼的某一肋定义为中央翼油箱的端肋, 以避免转子爆破而产生的碎片同时击破外翼和中央翼油箱, 而造成灾难性的后果。

参考文献:

[1] 曹寿德. 整体油箱防腐蚀-密封保护工艺研究[J]. 北京航空材料研究院, 1999(6): 13-16.
 [2] 吴平. 波音 737-300 飞机整体油箱渗漏排故研究[J]. 航空工程与维修. 2001(3): 42-43.
 [3] CRJ700 Aircraft Maintenance Manual. 2006.
 [4] Embraer 190/195 Aircraft Maintenance Manual. 2008.
 [5] Boeing 737 Structural Repair Manual. 1991.
 [6] 张宏伟, 林左鸣. 世界民用飞机手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 2009.
 [7] A320 Aircraft Maintenance Manual. AIRBUS INDUSTRIE. 1997.

(上接第 10 页)

5 结论

大型客机舱内声学设计方案综述(二)对飞机舱内声学设计方案进行了系统地论述。根据飞机声学设计方案的特点, 对声源、传递路径与接受体声学问题三大方面进行了详细描述。结合数值仿真与试验测量手段, 介绍飞机声学设计过程中使用的方法特点, 并以设计流程框图的形式给出民机噪声工程的基本设计方案。不过, 若要具体实施飞机声学设计方案的各项内容, 不仅需要面对工作量大以及技术复杂的挑战, 还需要飞机各系统的多方面共同努力才能设计出满足舱内噪声设计指标的大型民用飞机。

参考文献:

[1] 扈西枝. 民机舱内噪声源及其特性分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2010(97).
 [2] 扈西枝. 基于统计能量分析进行声学优化设计的技术研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2010(98).
 [3] O. Ozgun and M. Kuzuoglu. Non-Maxwellian locally-conformal PML absorbers for finite element mesh truncation[J]. IEEE Trans Antennas Propagation, 55: 931 - 937, 2007.
 [4] Hu Xizhi. Prediction of Aircraft fuselage insulation based on FEM-PML[C]. The international LMS Engineering Simulation Conference, 2010.
 [5] 李增刚. SYSNOISE Rev5.6 详解[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 202172.
 [6] 姚起航. 飞机噪声工程[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1998.
 [7] 何琳, 朱海潮, 邱小军, 杜功焕. 声学理论与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.