

飞行计划与装载配平

10406
10202

3
10406
10202

2010年1月

V323/1005



NUAA2011013986

V323
1005-1

地面油数 = 空中油数

目

录

1005 Vw

第1章 飞行计划的预备知识和一般飞行计划	(1)
1.1 FAR 和 CCAR 关于油量的规定	(2)
1.2 飞行剖面	(4)
1.3 飞行计划中使用的术语	(6)
1.4 做飞行计划前应知道的数据	(6)
1.5 做飞行计划的方法及有关图表的简介	(8)
1.6 做详细飞行计划的计算步骤	(13)
1.7 飞行计划中若干问题的计算	(16)
1.8 和计划航路有关的几个问题	(21)
1.9 航路当量风和当量气温	(27)
1.10 人工制定飞行计划的方法(以涡轮动力飞机为例)	(29)
1.11 涡桨动力飞机和非涡轮动力装置飞机的飞行计划	(39)
1.12 规定起飞油量的飞行计划和无备降场的飞行计划	(40)
1.13 目标机场不能加油和只能部分加油的飞行计划	(43)
1.14 最小成本飞行计划	(51)
1.15 利用燃油差价的飞行计划	(71)
第2章 利用二次放行的飞行计划	(82)
2.1 二次放行的基本思想	(82)
2.2 初始目的机场及二次放行点的选择	(84)
2.3 程序中计算二次放行计划的方法简述及打印结果的说明	(91)
2.4 利用二次放行的飞行计划实例和算例	(92)
2.5 航路风和温度对选择二次放行点的影响	(118)
2.6 实施二次放行应考虑的问题	(122)
第3章 双发飞机延程飞行(ETOPS)	(123)
3.1 双发飞机延程飞行的历程及相关的名词术语	(123)
3.2 双发飞机延程飞行的基本概念	(125)
3.3 批准延程飞行的条件	(130)
3.4 延程飞行计划的实例	(141)
3.5 本章所用到的术语的英文解释	(147)

第 4 章 装载与配平	(149)
4.1 装载配平单确定重心的力学原理	(150)
4.2 装载配平单上确定飞机重心的图解方法	(151)
4.3 装载配平图上的指数	(152)
4.4 对无油重心的限制	(156)
4.5 装载配平图的使用举例	(157)
第 5 章 民航客机的氧气系统	(188)
5.1 氧气系统简介	(188)
5.2 旅客氧气系统	(189)
5.3 机组氧气系统	(191)
5.4 失压后总飞行时间的确定	(192)
附录一 (A) ACN 与 PCN	(200)
附录一 (B) LCN 等级系统	(210)
附录二 波音飞机使用手册上做飞行计划用的图表	(217)
附录三 BAe146 - 100 做飞行计划用的表格	(238)
附录四 中国民航《飞行签派工作细则》中关于计算油量的规定(摘录)	(239)
附录五 和做 ETOPS 飞行计划有关的图表	(240)
习 题	(252)
缩略语	(259)
参考文献	(263)

第1章 飞行计划的预备知识和一般飞行计划

飞行计划最基本的内容是针对每一航班算出允许的最大业载、轮挡油量、备份油量、起飞总油量、轮挡时间等各项数据，详细的飞行计划还应算出到达各航路点的时间、所消耗的油量（或剩余油量）、在各航路点的速度、航向等。为了安全有效地使用飞机、得到高的经济效益，应该事先做出飞行计划，这样可以避免多加不必要的油量和因此造成的减载。额外多加的油本身要消耗，例如：对于1500~2000km航程的航线，每多加1吨油将消耗其7%~9%即70~90kg，航程越长或顶风越大，多加的这部分油消耗得越多，这会造成资源的浪费，也减少了公司的经济效益。多加油还使起飞重量增加，虽然只要它不超过最大允许的起飞重量，可以保证起飞的安全，但重量增加将使安全余度减小，此外，还将使飞机的高度能力、机动能力减小，使飞机承受过载的能力、调速范围减小。因此，应该避免多加不必要的油量。

在空中交通管制允许的情况下，做飞行计划时可以选择合适的巡航高度，对较长航线可以采用阶梯巡航来充分发挥飞机的性能，减少燃油消耗，提高经济效益。在各地油价不同时，做飞行计划时可以考虑如何最好地利用这种差价来节省燃油费用。在知道成本指数的情况下，可以做最小成本飞行计划，有效地减少航班成本。

现代飞机上有飞行管理系统，可以对飞行性能进行优化、保证安全、提高经济效益，但仍然有必要事先做飞行计划，因为起飞前飞行员要向飞行管理系统输入飞机重量（或无油重量）、总油量和备份油量（总油量可不输入，可以自动测出油箱中的油量，但必须知道应加多少油）。飞行管理系统是根据这些输入的数据进行优化管理的，而这些数据是通过做飞行计划才能得到的。否则，如果事先不做飞行计划，多加了油，再优化也是要多耗油的，如因多加油而减少了业载，飞行中无论如何优化，被减下去的业载也无法再加上。

做飞行计划之前应先做机场分析，即算出在起机场的最大允许起飞重量、目标机场和备降场的最大允许着陆重量。还要知道航线的情况（航程、各航路点的位置、各航段的距离、航向……）和气象情况（航路上的风向、风速及气温）。飞行计划中计算油量的方法应该符合条令中的规定及公司的燃油政策。

1.1 FAR 和 CCAR 关于油量的规定

1.1.1 FAR 关于备降场及加油量的规定

在 FAR 的第 121 部 617、619、621、623、625、639、641、643、645、647 款中讲述了有关备降场和加油量的规定。在这些规定中区分了在美国本土的 48 州及哥伦比亚特区之内的飞行（相当于我国的国内航线）及之外的飞行（相当于我国的国际航线）两种情况，下面分别就国内航线和国际航线综述如下。

1.1.1.1 国内航线

(1) 除下面情况 (2) 之外，必须对每一个目标机场至少指定一个备降场。当目标机场和备降场的天气条件处于标准边缘时，必须至少补充一个备降场。

对于有备降场的情况，所加的油量应保证：

- 飞到预定的目标机场；
- 之后，飞到并着陆在目标机场的最远备降场上；
- 之后，以正常巡航燃油消耗飞行 45min。

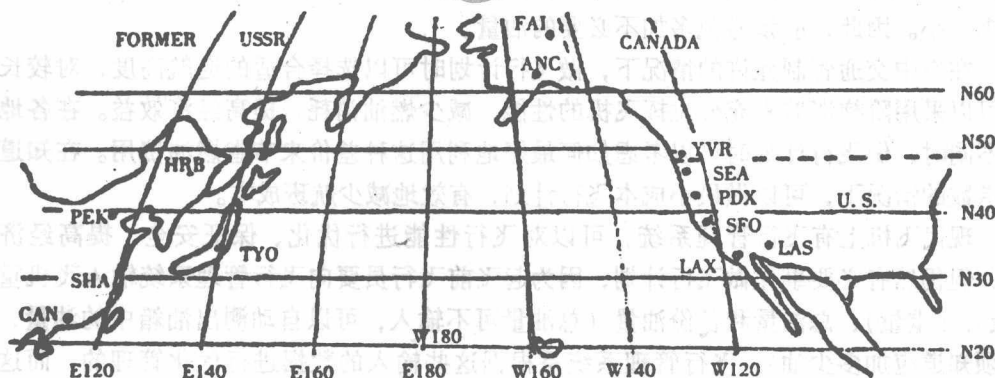


图 1-1 美国本土的 48 州及阿拉斯加州、夏威夷州的地理位置

(2) 在预计到达目标机场的前后至少 1h 的时间内气象报告或预告表明：

- 云层至少高于机场标高 2000ft，并且
- 能见度大于 3mile，

则不需要对目标机场指定备降场，此时的起飞油量应保证：

- 飞到预定的目标机场；
- 以正常巡航燃油消耗再飞行 45min。

1.1.1.2 国际航线

(1) 除下面情况 (2) 和 (3) 外，对每一个目标机场至少指定一个备降场。

对于有备降场的情况：

①对于涡桨飞机或非涡轮动力装置的飞机,要考虑预报的风和其他气象条件来计算油量,所加的油量应保证:

- a) 飞到并着陆在预定的目标机场;
- b) 之后,飞到并着陆在目标机场的最远备降场;
- c) 之后,以正常燃油消耗再飞行: $30\text{min} + (\text{由起飞机场到目标机场的飞行时间} + \text{由目标机场到最远备降场的飞行时间}) \times 15\%$ 。如这个时间超过 90min , 则取 90min 。

②对于涡轮动力装置(不包括涡桨)的飞机,要考虑预报的风和其他气象条件来计算油量,所加的油量应保证:

- a) 飞到并着陆在目标机场;
- b) 之后,继续飞行从起飞到着陆在目标机场这段时间的 10% ;①
- c) 之后,飞到并着陆在最远备降场;
- d) 之后,在备降场上空 1500ft 以等待速度在标准大气条件下飞行 30min 。

(2) 仅对代表国家的航空公司 (FLAG AIR CARRIERS)②: 如航班时间不超过 6h , 且在预计到达目标机场的前后至少 1h 内, 天气报告或预报表明:

①云底至少高于最低盘旋 (Circling) 的最低下降高度 1500ft 以上 (如果机场要求做盘旋进近的话) 或至少高于公布的仪表进近最低高度 1500ft 以上, 或高于机场标高 2000ft 以上 (这两个高度中取高的一个), 并且

②机场能见度大于 3mile 或对于该机场使用的仪表进近程序的最低能见度标准高出 2mile (以能见度大的为准)。

在这种情况下不需要备降场, 对于涡轮动力装置 (不包括涡桨) 的飞机所加油量在预报的风和其他气象条件下应保证:

- a) 飞到并着陆在目标机场;
- b) 之后, 继续飞行从起飞到着陆在目标机场这段时间的 10% ;
- c) 之后, 在目标机场 1500ft 上空以等待速度在标准大气条件下飞行 30min 。

(3) 对某一特定目标机场没有可用的备降场、飞行是在经批准的规定航路上进行时, 必须携带足够的燃油:

①对于涡桨飞机或非涡轮动力装置的飞机, 所加的油量在预报的风和其他气象条件下应保证能飞到预定的目标机场并能以正常消耗再飞行 3h 。

②对涡轮动力装置 (不包括涡桨) 的飞机, 所加的油量应保证在计入预报的风和其他气象条件下, 能飞到预定的目标机场并能以正常燃油消耗再飞行 2h 。

如局方认为, 为了安全起见, 对某一特定航路有必要增加油量, 局方可以修改实施国际运行的合格证持有人的运行规范, 要求其涡轮动力装置 (不包括涡桨) 的飞机携带多于上述规定的油量。

当起飞机场的天气实况低于该机场的最低着陆标准, 但不低于起飞标准时, 必须为

① 国际民航组织 (ICAO) 公约附件 6-4.3.6.3 规定国际航线的航线应急油量是航程油量的一个百分数 (一般为 3% 到 6% , 航程油量的含义见 § 3)。

② FAR 中译本及 CCAR 对国际航线第 (2) 种情况没有限定航空公司。

起飞机场指定一个备降场，否则不能放行。该备降场的条件是：

- (1) 天气稳定可靠；
- (2) 高于机长天气最低标准；
- (3) 距起飞机场的距离为（按静止大气计算）：

双发飞机不超过 1h 航程（按一发失效、正常巡航速度计算）；

三发及三发以上的飞机不超过 2h 航程（按一发失效、正常巡航速度计算）。

1.1.2 CCAR 有关油量的规定（即燃油政策）

CCAR 第 121 部，即 1999 年 5 月 5 日发布的《公共航空运输承运人运行合格审定规则》，在 637、639、641、643、657、659、661 及 663 等款中也讲述了与 FAR 类似的有关备降场和加油量的规定，在某些方面比 FAR 的规定更加严格、明确。例如对于国内航线能无备降场运行时目的机场的天气标准规定得更加严格，对备降场的最低天气标准阐述得更加明确。此外，在国内、国际航线能无备降场运行的条件中增加了一项，即：在每架飞机与签派室之间建立了独立可靠的通信联系，能进行全程监控。另外，对于国内运行的加油规定增加了一条，即 121.657-b 款，原文如下：

经局方批准，合格证持有人可以采用由预定点飞至备降场的方法确定燃油和滑油。签派放行飞机起飞前，该飞机应当装有足够的油量，经预定点飞至备降场，此后以正常巡航消耗率飞行 45min，但所载油量不得少于飞至所签派的目的机场，此后以正常巡航消耗率飞行 2h 所需要的油量。

（说明：此条主要针对荒漠航线、目的地附近很难找到近距离的备降机场的情况，此条中“预定点”是指由起飞机场至目标机场的航路上的一点，备降场一般是指航路备降场。这个预定点一般是考虑山区航路飘降不能越障而选定的改航点。）

除此之外，关于油量的其他规定则是一致的。

在本书的附录四中也给出了中国民航《飞行签派工作细则》中关于计算油量的规定（摘录），其规定与 CCAR-121FS 是一致的。

1.1.3 计算油量时要考虑的因素

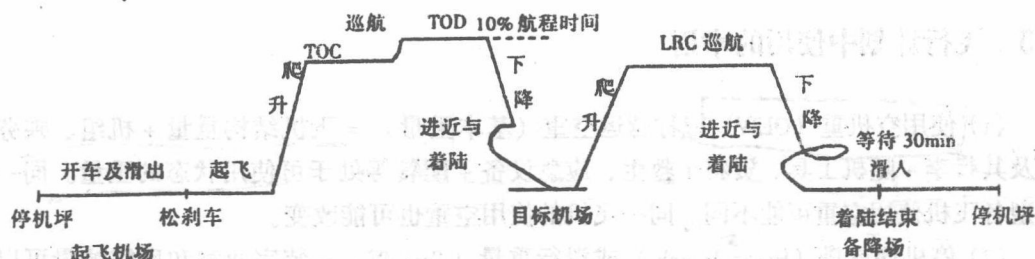
- (1) 风和其他气象条件预报；
- (2) 预计的交通延误；
- (3) 在目标机场一次仪表进近和可能的复飞；
- (4) 任何可能延迟飞机着陆的其他条件。

1.2 飞行剖面

做飞行计划所使用的飞行剖面是为了计算方便所画出的说明计算步骤方法的简明示意图，如图 1-2 和 1-3 所示。

1.2.1 国际航线的飞行剖面（以涡轮动力飞机为例）

涡轮动力飞机和非涡轮动力飞机国际航线飞行剖面与上述基本相同，只是等待时间



注：图中“10%航程时间”是指按 TOD 的燃油流量巡航 10%航程时间的油量，此油量归于备份油中。

图 1-2 国际航线飞行剖面（涡轮动力飞机）

和航线应急油的规定有所不同，做飞行计划的方法也是类似的。



图 1-3 国内航线且在目标机场可以加油的飞行剖面

1.2.2 国内航线飞行剖面

(1) 在目标机场可以加油的飞行剖面

(2) 在目标机场不能加油的飞行剖面

假设从某机场（DEPART）起飞飞往不能加油的机场 DEST1，它的备降机场为 ALT1，由 DEST1 起飞执行飞往 DEST2 的航班，它的备降场为 ALT2，为计算从 DEPART 起飞的总油量等数据应取如图 1-4 所示飞行剖面。

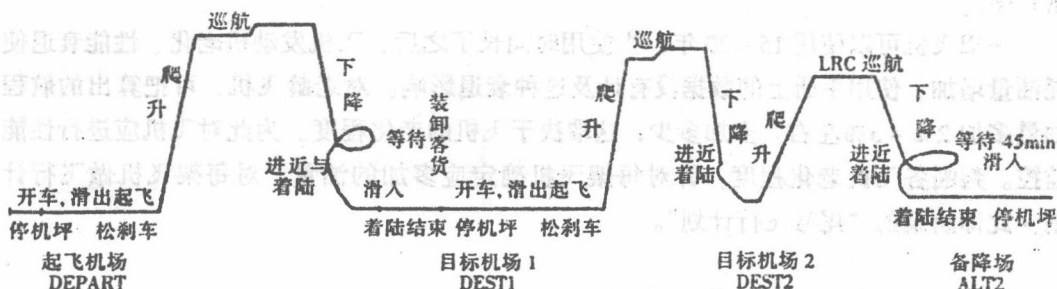


图 1-4 国内航线并且在目标机场 DEST1 不能加油的飞行剖面

注：①如在目标机场 DEST1 上空不用等待，可以不考虑该等待油量。

②国际航线且在目标机场 DEST1 不能加油的飞行剖面同图 1-4，如 DEST1→DEST2 是国际航线，应把在 ALT2 的等待改为 30 min，并加上由 DEST1 到 DEST2 的航程时间的 10% 的航线应急油量。如由 DEPART 到 DEST1 是国际航线，应加上由 DEPART 到 DEST1 的航程时间的 10% 的航线应急油量。

如需要在 DEST1 等待，另外加上在 DEST1 的 30 min 等待油量。

1.3 飞行计划中使用的术语

(1) 使用空机重 (OEW) 或称营运空重 (基本重量) = 飞机结构重量 + 机组、乘务组及其行李 + 随机工具、资料 + 救生、应急设备 + 配餐等处于可使用状态的重量。同一机型各飞机使用空重可能不同。同一飞机的使用空重也可能改变。

(2) 停机坪重量 (Ramp Weight) 或滑行重量 (Taxi W) = 装完业载和所需油量可以开始滑行的重量 = 使用空机重 + 业载 + 全部油量 (起飞总油量)。

(3) 起飞重量 (TOW) 或松刹车重量 (BRW) = 滑出重量 - 开车及滑出油量。

(4) 无油重量 (ZFW) = 使用空机重 + 业载, 应 $\leq$ MZFW。

(5) 航程油量 (Trip Fuel) 和航程时间 (Trip Time) = 从松刹车加速起飞、爬升、巡航、下降、进近直到在目标机场上着陆所用的油量及时间。

(6) 轮挡油量 (Block Fuel) 和轮挡时间 (Block Time) = 航程油量 (时间) + 开车滑出油量 (时间) + 滑入油量 (时间)。

(7) 改航油量 (Diversion Fuel) 和改航时间 (Diversion Time) 即从目标机场复飞、爬升、巡航、下降、进近直到备降场着陆 (不含等待) 所用的油量及时间。

注: 这里的改航油量 (Diversion Fuel) 和改航时间 (Diversion Time) 的含义与延程飞行 (ETOPS) 中的 Diversion Fuel 和 Diversion Time 的含义不同。

(8) 航线应急油——10% 航程时间的巡航油量。

(9) 公司备份油——完成上述飞行剖面后还剩的保底油量, 由各公司自行规定。

(10) 备份油量 = 改航油量 + 等待油量 + 公司备份油 (对国际航线还应加上航线应急油)。

(11) 起飞总油量 (即停机坪油量 Ramp Fuel) = 轮挡油量 + 备份油量。

在备降场滑入停机坪后的飞机重量 = 使用空重 + 业载 + 公司备份油。

进近时间 (油量) 和离场时间 (油量) 即入航时间 (油量) 都算在航程时间 (油量) 中。

一架飞机可以使用 15~20 年, 当使用时间长了之后, 飞机发动机老化、性能衰退使耗油量增加, 使用手册上的数据没有计及这种衰退影响。对老龄飞机, 可把算出的航程油量多加 2%~3% 左右。多加多少, 这取决于飞机的老化程度。为此对飞机应进行性能监控。判断各飞机老化程度, 针对每架飞机确定应多加的油量, 对每架飞机做飞行计划, 此即所谓的“尾号飞行计划”。

1.4 做飞行计划前应知道的数据

(1) 起飞机场的最大允许起飞重量、目标机场及备降场的最大允许着陆重量。

这里所讲的最大允许起降重量是机场分析得出的结果, 是考虑了机场、气象条件、飞机性能、结构限制、道面强度限制后得出的最小值。道面强度限制的起降重量用 ACN

- PCN 方法得出, 在本书附录二中介绍了 ACN - PCN 方法。

(2) 最大无油重量 MZFW。

(3) 使用空机重 OEW (如果需要额外配氧气瓶, 则氧气瓶重量应计入 OEW 内)。

(4) 油箱最大容积与燃油比重 γ , 油箱最大油量 = $\gamma \times$ 油箱最大容积;

燃油比重 γ 与燃油的牌号和温度有关, 例如: 15.6℃ 时 JP4 牌号的燃油比重为 0.775kg/L, JP5 牌号的燃油比重为 0.828kg/L。

(5) 最大结构业载 MPLS = MZFW - OEW。

(6) 地面滑行每分钟耗油量。

(7) APU 地面 (空中) 每小时耗油量。

有些机场无电源车、气源车, 为了进行地面勤务或空调, 需要 APU 运转供气供电。大部分飞机的 APU 在空中一般不使用。

B757 - 200 (RB211 - 535E4) 的 APU 耗油: 地面 235lb/h, 空中 200lb/h。

(8) 进近 (放下 FLAP 的机动飞行) 每分钟耗油, 如 B757 - 200 是 155lb/min。

(9) FAR 第 91 部 70 款规定: 未经批准, 任何飞机在 10000ft 以下不得以大于 250knot 的表速飞行, 如飞机最小安全飞行速度大于 250knot, 则允许以最小安全速度飞行。飞机使用手册中的爬升数据表, 有的没有考虑 10000ft 以下 250knot 表速限制, 如 B757 - 200 爬升数值表上注明爬升规律是 290/0.78M, 即从 1500ft 开始就以表速 290knot 爬升, 没有考虑这个限制。如 ATC 要求 10000ft 以下表速不大于 250knot, 爬升用油将稍多些, 多耗的油与机型有关, 可由使用手册查出。一般在 50 ~ 600lb 之间, 个别机型大一些。如 B737 - 800 多耗 50lb, B737 - 300 多耗 100lb, B757 - 200 多耗 100lb, B767 - 200 和 B767 - 300 多耗 200lb, B777 - 200 多耗 600lb, B747 - 200 多耗 590lb, B747 - 400 多耗 1800lb。

(10) 防冰用油: 巡航中使用发动机或发动机和机翼防冰将额外多耗油, 如 B757 - 200 发动机防冰耗油: 200lb/h, 同时用发动机和机翼防冰耗油: 300lb/h。

(11) 航路上的风及温度 (或实际温度与标准大气温度的偏差)。

(12) 允许飞的高度层。参见表 1-1、表 1-2。

(13) 燃油的低热值 LHV (Lower Heating Value):

热值或称燃烧值是指单位重量的燃料燃烧时放出的热量。航空燃油的燃烧产物中含有水, 如其中的水是汽态的, 则燃烧时放出的热量比水是液态时放出的热量少, 即热值较低。发动机中的燃烧产物是高温燃气, 水是气态的, 应当用低热值。波音公司的手册上给出的燃油流量等都是按 $LHV = 18580 \text{ BTU/lb}$ 算出的, BTU 是英国热量单位, $1 \text{ BTU} = 252.435 \text{ cal}$ 。如所使用的燃油的 $LHV \neq 18580 \text{ BTU/lb}$, 为准确起见, 应把按手册算出的油量乘以修正值 ($18580/LHV$)。

表 1-1 国内高度层现行规定

真航迹角 m	180° ~ 359° ft	真航迹角 m	0° ~ 179° ft
		15000	(49212)
14400	(47244)	13800	(45275)
13200	(43307)	12600	(41338)
12000	(39370)	11400	(37400)
10800	(35433)	10200	(33464)
9600	(31496)	9000	(29527)
8400	(27559)	8100	(26574)
7800	(25590)	7500	(24606)
7200	(23622)	6900	(22637)
6600	(21653)	6300	(20669)
6000	(19685)	5700	(18700)
5400	(17716)	5100	(16732)
4800	(15748)	4500	(14764)
4200	(13779)	3900	(12795)
3600	(11811)	3300	(10827)
3000	(9842)	2700	(8858)
2400	(7874)	2100	(6890)
1800	(5905)	1500	(4921)
1200	(3937)	900	(2952)
600	(1968)		

表 1-2 国际高度层规定 (ft)

磁航迹角 180° ~ 359°	磁航迹角 0° ~ 179°
43000	45000
39000	41000
35000	37000
31000	33000
28000	29000
26000	27000
24000	25000
22000	23000
20000	21000
18000	19000
16000	17000
14000	15000
12000	13000
10000	11000
8000	9000
6000	7000
4000	5000
2000	3000

不同国家高度层规定可能不同

1.5 做飞行计划的方法及有关图表的简介

1.5.1 做飞行计划的两种方法

(1) 由备降场停机坪开始往回推算——

如果知道实际业载重量 PL (旅客和货物重), 则在备降场停机坪 $ZFW = OEW + PL$,
飞机重量 $W = ZFW + \text{公司备份油}$

如果想算一下最大允许业载是多少, 则设在备降场停机坪 $ZFW = MZFW$, 于是:

飞机重 $W = MZFW + \text{公司备份油}$, 最大业载 $MPL = MZFW - OEW$

然后由此 W 开始往回推算, 加上各阶段消耗油量, 一直算到起飞机场停机坪, 在计算中应保证:

$$ZFW \leq MZFW$$

$$LWA \leq MLWA$$

$$LWD \leq MLWD$$

$$TOW \leq MTOW$$

$$\text{总油量} \leq \text{油箱容量}$$

(1-1)

式中 MLWA——备降场最大允许着陆重量; MLWD——目标机场最大允许着陆重量;
MTOW——起飞机场最大允许起飞重量; LWA、LWD、TOW——做飞行计划中计算出的在备降场、目标机场的着陆重量和起飞机场的起飞重量。

如有一个条件不满足, 应减少业载重新计算, 直到满足条件为止, 计算结束就得到

了所允许的业载（有可能实际业载被减少了）及起飞总油量等数据。

附录三的表格是 BAe146-100 做简化飞行计划用的表格，由上至下完成计算就可完成飞行计划（简化形式）。该表反映了上述的计算顺序。

(2) 由最大允许起飞重量往后算

在计算之前应加油量不知道，所以实际起飞重量是未知的，只能由最大允许起飞重量 MTOW 开始计算，向后逐步推算出各阶段的耗油量及到达目标机场及备降场之重量，若它们 $> MLWD$ 或 $MLWA$ 则减少起飞重量重新计算，当全部算完得出总油量之后，如总油量超过了油箱容量，则继续减少起飞重量，直到总油量刚好等于油箱容量。由起飞重量 - 总油量得 ZFW，它应 $\leq MZFW$ ，否则减少 TOW 重新计算，可以从 TOW 减去 $(ZFW - MZFW)$ 再次计算，直到算出的 ZFW 近似等于 MZFW 为止。

对于较短的航线采用第一种方法较好，一般计算出来的起飞重量不会超过最大允许起飞重量，可以避免迭代计算，使用手册上所给出的做简化飞行计划的图表适合于从后向前计算这种做法。对于长航线则采用第二种方法较好，计算出来的着陆重量一般不会超过最大允许着陆重量，可以避免迭代计算，手册上所给出的阶梯巡航的简化飞行计划图表就适合于从前向后这种做法。如果编制计算机飞行计划程序，可以只按一种方法来编制程序，一般说来第一种方法较为方便。下面只按第一种方法做飞行计划。如人工手算做飞行计划，由后向前做时算出的起飞重量超过最大允许起飞重量，可改为由前向后计算；反之，如由前向后做算出的着陆重量超过最大允许着陆重量，可改为由后向前计算，以避免迭代计算。

1.5.2 做飞行计划使用的图表

飞行计划有详简之分，做简单飞行计划只需算出总油量、轮挡油量、备份油量、航程油量、允许业载、轮挡时间、航程时间等主要参数。做详细飞行计划还要给出到达各航路点的时间、消耗油量、各点的速度、航向……等参数。做详细计划需要利用爬升、巡航、下降、等待、高度能力、机动能力、最佳高度等数值表。这种详细计划手算工作量很大，可以编制软件利用计算机算。

为了做飞行计划，在飞机使用手册中都给出了有关的曲线、数表。不同飞机厂家的手册给出的这些曲线、数表的形式是不同的，只要掌握了做飞行计划的方法、会使用一个公司的飞机使用手册，其余的手册也就不难看懂了。在附录一中给出了波音公司 B757-200 飞机使用手册中和做飞行计划有关的曲线、数表，所给的只是其中的一部分，同类图表只给出 1~2 张。

这些图表中，23.10.29~23.10.33（波音飞机使用手册上页号）这几页是用来做简化飞行计划的，23.10.44~23.10.45 页用于做利用燃油差价的飞行计划，23.30.07~23.30.25 页用于做详细飞行计划。23.10.27 页（选择最佳巡航高度用），23.30.11 页（选择巡航高度时检查高度能力、机动能力用）及 23.30.25 页（等待燃油流量）无论做简化飞行计划还是详细飞行计划都要用到。此外，为了做一份完整的飞行计划还需要知道地面滑行、防冰、APU、进近等耗油情况，有关这部分数据可以在使用手册第 3 卷 23.10

$$N/W = NGW \frac{TAS_{std}}{TAS_{FW}} -$$

地面滑行 空中消耗油量

这部分的“FLIGHT PLANNING ALLOWANCES”一节中找到。^①

对 B757-200 (RB211-535E4) 来说:

地面滑行每分钟耗油 39lb (18kg);

APU 在地面正常工作时每小时耗油 235lb (105kg), 在空中正常使用高度上每小时耗油 200lb (90kg);

巡航中使用发动机防冰每小时耗油 200lb (90kg), 使用发动机和机翼防冰每小时耗油 300lb (140kg);

进近、着陆时襟翼放下状态每分钟耗油 155lb (70kg);

爬升油量中没考虑 10000ft 以下表速不得 > 250knot 的限制, 如受到这个限制, 爬升油量应增加 100lb (45kg)。

在有些机场缺少地面电源车、气源车, 飞机在地面上只好使用自己的 APU 发电、供气, 供飞行员起飞前检查设备及为空调包供气。在这种情况下计算油量时应加上 APU 地面耗油量。

做简化飞行计划用的图表上标注有计算、绘制这些图表的条件, 如爬升速度、下降速度、巡航速度等。在 23.10.31 页阶梯巡航图表上没注明巡航高度, 巡航高度是按保持在最佳高度的 $\pm 2000\text{ft}$ 之内巡航来确定的, 参见图 1-5。备降计划那张图上的巡航高度是按最佳高度选择的 (如



图 1-5 阶梯巡航高度的确定

航程长于 250n mile) 或按短距巡航高度图选择的巡航高度 (航程短于 250n mile 时)。

做简化飞行计划用的图表给出的油量 (Trip Fuel) 和时间 (Trip Time) 是航程油量和航程时间, 指从松刹车起飞直到在目标 (或备降) 机场接地所用的油量和时间。有些图表对知道着陆重量求航程油量的情况用起来很方便, 有的图表则对知道起飞重量求航程油量的情况用起来方便, 读图的方法是显而易见的, 在 23.10.29 页上也给出了一个正常使用图表的例子。下面通过几个例子来介绍一些比较特殊的用法。

例 1 设航程 2000n mile, 顶风 50knot, 以 LRC 巡航, 巡航高度 33000ft, 松刹车重量 (即起飞重量) = 200000lb, 航路气温为 ISA + 20, 求航程油量与航程时间。对这个问题应该查 23.10.29 页的图, 该图最右边是按着陆重量修正的, 而现在已知的是起飞重量, 但我们知道:

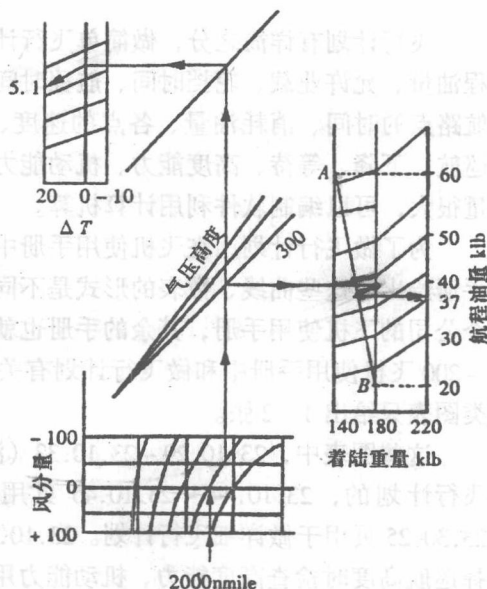


图 1-6 已知起飞重量确定航程油量的方法

① 注: 做飞行计划用的这些图表, 现在被放在“飞行计划与性能手册 (FPPM)”第 2.1、2.2、3.1、3.2 部分。

$$\text{起飞重量} = \text{着陆重量} + \text{航程油量}$$

因此，可在该图上自行做一条辅助线 AB（见图 1-6）。该直线上每一点对应的着陆重量与航程油量之和都 = 200000lb，即每一点对应的起飞重量都是 200000lb。按图 1-6 所示的方法即可求出航程油量 ≈ 37000lb，航行时间 = 5.1h。不难看出这里用的方法，实际上是平面几何中轨迹作图的方法。

例 2 设航程为 3200n mile，航路风为顶风 75knot，ISA-10，采用阶梯爬升巡航，已知着陆重量为 170klb，求航程油量与时间。

解决这个问题要使用飞机手册第 23.10.31 图，示意图如图 1-7。

该图要按起飞重量确定航程油量、时间。因此也要自行做出一条辅助线，使该曲线上每一点代表的着陆重量都是 170000lb，见图 1-7。

注意这条线不是直线。

对本例得出的航程油量 = 64700lb，航程时间 = 8.7h，起飞重量 = 234700lb。

这张图是按图 1-5 所示的方法选择巡航高度的。巡航速度是 LRC 或 MO.80，这两个速度差不多。

例 3 设由目标机场到备降场距离 300n mile，航路顶风 50knot，到达目标机场的着陆重量 205klb，求改航油量、时间。解决这个问题要用飞机手册第 23.10.33 页图，示意图见图 1-8。该图是根据在各备降场的着陆重量来确定改航油量的，而现在知道的是目标机场的着陆重量（即复飞、改航备降场时的重量），此重量等于改航油量加上在各备降场的着陆重量。

严格地说，应按图 1-8 所示的方法画一条代表复飞重量 = 205klb 的曲线，然后再确定改航油量，这样得出的改航油量 = 7700lb。由于这条辅助线几乎与在各备降场着陆重量 = 200klb 的线重合。所以为省事起见，可以不做这条辅助线，把所给的在目标机场着陆重量适当减去几千磅（此数字即由图先粗读得出的油量）作为在各备降场着陆重量来查即可。比如对本例可按 200klb 或 198klb 来查，得到的改航油量 ≈ 7700lb 或 7800lb。本例的改航时间 = 0.93h。

例 4 设在备降场上空 1500ft 等待 45min，设等待高度上为 ISA，机场气压高度为

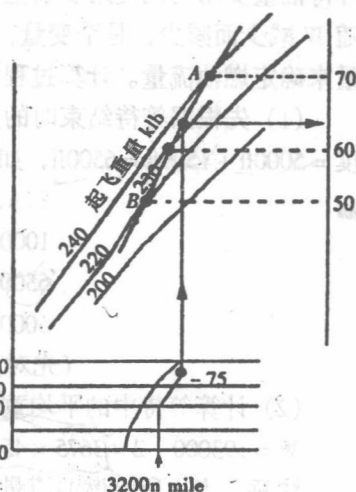


图 1-7 已知着陆重量在阶梯巡航图表中确定航程油量的方法

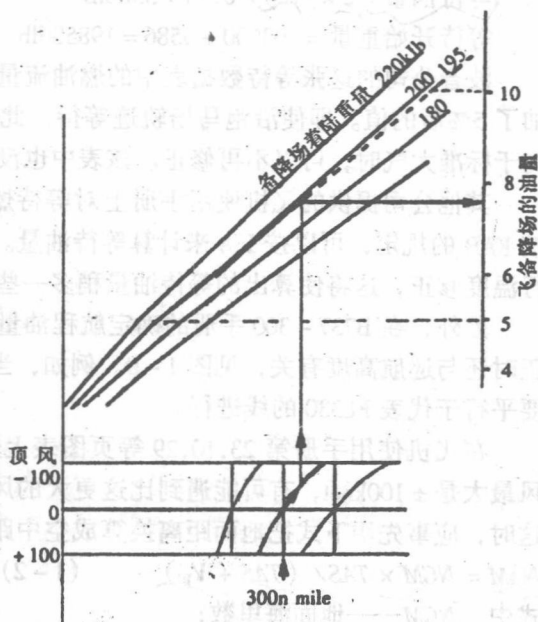


图 1-8 已知目标机场着陆重量确定改航油量的方法

所以为省事起见，可以不做这条辅助线，把所给的在目标机场着陆重量适当减去几千磅（此数字即由图先粗读得出的油量）作为在各备降场着陆重量来查即可。比如对本例可按 200klb 或 198klb 来查，得到的改航油量 ≈ 7700lb 或 7800lb。本例的改航时间 = 0.93h。

5000ft, 已知等待结束时的飞机 $W = 193\text{klb}$, 求等待油量。设沿跑马场型轨迹等待。确定等待油量要用飞机使用手册上第 23.30.25 页的数值表 (见附录二)。等待时的燃油流量随 W 减少而减少, 是个变量, 为了比较准确地计算等待油量, 应该使用等待中的平均重量来确定燃油流量。计算过程如下:

(1) 先根据等待结束时的重量使用线性插值计算对应的燃油流量, 等待时的气压高度 $= 5000\text{ft} + 1500\text{ft} = 6500\text{ft}$, 如给出的是机场标高, 可近似把标高看为气压高度。

P.A. \ W	200	193	190
10000	3540	3370	
6500 →	3799	3675	3622
5000	3910	3730	

(先对高度插值算出 3799 和 3622 较方便)

(2) 计算等待中的平均重量 W

$$W = 193000 + 2 \times 3675 \times 45/60 \div 2 = 193000 + 0.75 \times 3675 = 195756$$

注意: 表中所给燃油流量是一发的, B757-200 有二台发动机。

(3) 计算平均燃油流量 FF 及等待油量:

$$FF = 3622 + (3799 - 3622) \times 0.5756 = 3734$$

$$\text{等待油量} = 2 \times 3734 \times 0.75 = 5586\text{lb}$$

$$\text{等待开始重量} = 193000 + 5586 = 198586\text{lb}$$

波音公司的这张等待数据表中的燃油流量, 是把按平飞直线等待算出的燃油流量多加了 5% 后的值。即使沿跑马场轨迹等待, 此燃油流量也有富裕。当等待高度上的温度高于标准大气时, 可以不再修正。该表中也没给出关于温度的修正值。

其他公司提供的飞机使用手册上对等待燃油流量给出了非标准大气时的温度修正。按 FAR 的规定, 可以按 ISA 来计算等待油量。当温度高于 ISA 时, 也可以对燃油流量进行温度修正, 这将使算出的等待油量稍多一些。

另外, 在 B737-300 手册的确定航程油量的简化飞行计划图表上, 对着陆重量做修正时还与巡航高度有关, 见图 1-9。例如, 当巡航高度为 FL330 时, 做着陆重量修正时要平行于代表 FL330 的线进行。

在飞机使用手册第 23.10.29 等页图表上航路风最大是 $\pm 100\text{knot}$, 有可能遇到比这更大的风速, 这时, 应事先用下式把地面距离换算成空中距离:

$$NAM = NGM \times TAS / (TAS + V_w) \quad (1-2)$$

式中 NGM ——地面海里数;

TAS ——真空速, knot ;

NAM ——空中海里数;

V_w ——风速, knot , 顶风取负值。

然后把 NAM 直接用于查图, 不再使用图上的风修正。 TAS 可按使用的 M 、 LRC 、表速、巡航高度、温度算出或由手册查出。

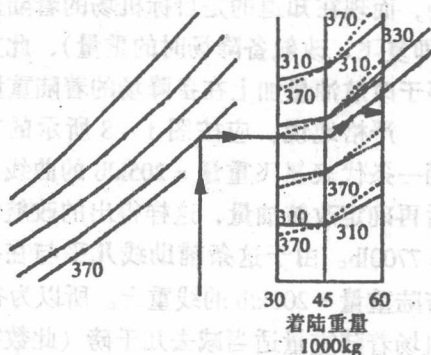


图 1-9 B737-300 确定航程油量示意图

在做飞行计划时比较方便的是, 从备降场停机坪往起飞方向逐步计算, 每算出一段

油量后都要把它加到飞机重量上，然后再向前计算。这样可以把后面一段的油量对前边一段耗油的影响考虑进去。

不同飞机公司给出的这些做飞行计划用的图、表、格式、内容是不同的，主要区别介绍如下：

①有的飞机公司给出的地面滑行每分耗油、进近（襟翼放下）每分耗油量与飞机重量有关。

②大部分飞机公司手册上没有短距巡航选择高度用的曲线（见 23.10.27 页）。

③大部分公司的手册上没有载运燃油分析曲线（23.10.44 页“TANKERANALYSIS”）。

④波音公司的爬升数值表（23.30.07）上有机场标高修正，爬升时间、油量包括起飞阶段的时间、油量，有的公司的爬升数值表中给出的爬升时间、油量不含起飞阶段用的时间、油量，使用这种数表时要注意加上起飞用的时间、油量（手册中单独给出起飞用的时间、油量、距离），大部分公司爬升数表没有给出机场标高对爬升时间、油量的修正值。

波音公司的爬升数值表没考虑 10000ft 以下表速不得大于 250knot 的限制（如 B757-200 的爬升规律是 290/M0.78），有些公司的爬升数值表考虑了这个限制（例如，按照速度 250/290/0.78 爬升），波音公司在手册上给出了受这种限制爬升时油量的增量。

⑤波音手册中的下降数值表（23.30.23）中给出的下降用的时间、油量是从巡航高度下降、直接进近、直到接地的时间、油量，而其他公司给的下降时间、油量是从巡航高度下降到 1500ft 的时间及油量，不包含进近、着陆部分。

波音手册上的直接进近、着陆是指：从指定高度下降，在离接地点 15n mile 处放近襟翼、过远台时放起落架和着陆襟翼，直接对着跑道方向过远台、近台、接地。

⑥巡航燃油流量与温度有关，波音手册上是按总温与标准大气时的总温的偏差来修正的，有的公司是按静温与 ISA 温度的偏差来修正的，还有的公司直接给出 ISA、ISA ± 5、ISA ± 10……等情况下的燃油流量。

至于机场标高对爬升、下降用的时间、油量、距离的一般修正方法，将在后面讨论详细飞行计划时介绍。

1.6 做详细飞行计划的计算步骤

这也是编制计算机软件采用的计算步骤，首先对所用的符号说明如下（参见图 1-10）：

APFD —— 目标机场上的进近油量

APFA —— 备降场上的进近油量

APUF —— APU 耗油量

BKF —— 轮挡油量

BKT —— 轮挡时间

CFPM —— 主航段应急油量占航程油量的百分比（一般可取为 0）。

CFPA —— 备降航段的应急油量占改航

油量的百分比（一般可取为 0）

COF —— 公司备份油

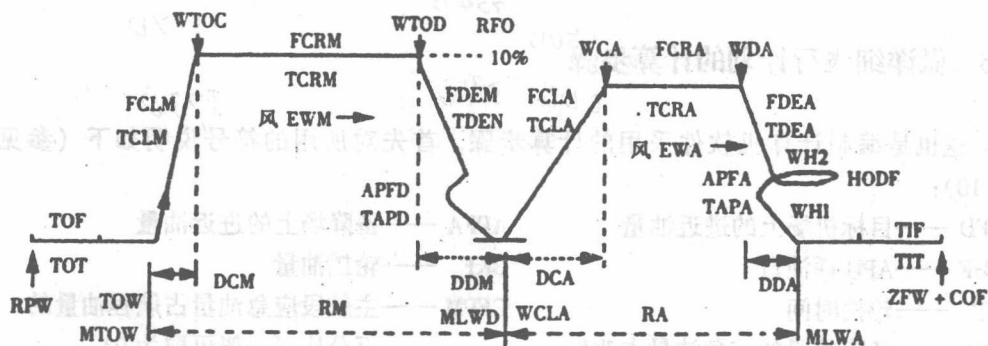
DCA —— 由目标机场爬升到改航高度时飞过的地面距离

DCM —— 由起飞机场爬升到巡航高度时飞过的地面距离

DDA —— 由改航高度下降到备降场上

DDM —— 由巡航高度下降到目标机场上空

空 1500ft 时飞过的地面距离	1500ft 时飞过的地面距离
DIVF —— 改航油量	DIVT —— 改航时间
EWM —— 主航段风分量 (顶风为负)	EWA —— 备降航段风分量 (顶风为负)
FAI —— 防冰用油	FTC —— 油箱最大油量
FCLA —— 改航爬升用油	FCLM —— 主航段爬升用油
FCRA —— 改航时巡航油量	FCRM —— 主航段巡航油量
FDEA —— 改航时下降油量	FDEM —— 主航段下降用油
HODF —— 等待油量	HODT —— 等待时间
MLWA —— 备降场最大允许着陆重量	MLWD —— 目标机场最大允许着陆重量
MTOW —— 目标机场最大允许起飞重量	MZFW —— 飞机的最大无油重量
OEW —— 使用空机重	PL —— 业载
RA —— 由目标机场到备降场的航程	RM —— 由起飞机场到目标机场的航程
RPF —— 停机坪油量 (即起飞总油量)	RPW —— 停机坪重量 (即开始滑出重量)
RFO —— 国际航线 10% 航程时间的耗油量, 此油量归于备份油中	RESF —— 总备份油量
TAPA —— 备降场上的进近时间	TAPD —— 目标机场上的进近时间
TCLA —— 改航时的爬升时间	TCLM —— 主航段爬升到巡航高度的时间
TCRA —— 改航段巡航时间	TCRM —— 主航段巡航时间
TDEA —— 改航段下降时间	TDEM —— 主航段下降时间
TIF —— 滑入油量	TIT —— 滑入时间
TOF —— 滑出油量	TOT —— 滑出时间
TRF —— 航程油量	TRT —— 航程时间
WCA —— 改航段爬升顶点的机重	WCLA —— 在目标机场复飞时机重即着陆重量
WDA —— 改航段开始下降时机重	WH1 —— 等待结束时机重
WH2 —— 等待开始时机重	WTOE —— 主航段爬升顶点时机重
WTOD —— 主航段开始下降点的机重	ZFW —— 飞机无油重量



注: CFPM、CFPA 是考虑绕飞雷雨、飞机老化等因素在主航段和备降航所多加的油量占航程油量和改航油量的百分比。

图 1-10 飞行剖面上各段的油量与时间及飞机重量

F154—对于 TY-154 之类飞机, 要求备份油不少于某一最小值 RF_{min} , 如迭代开始算