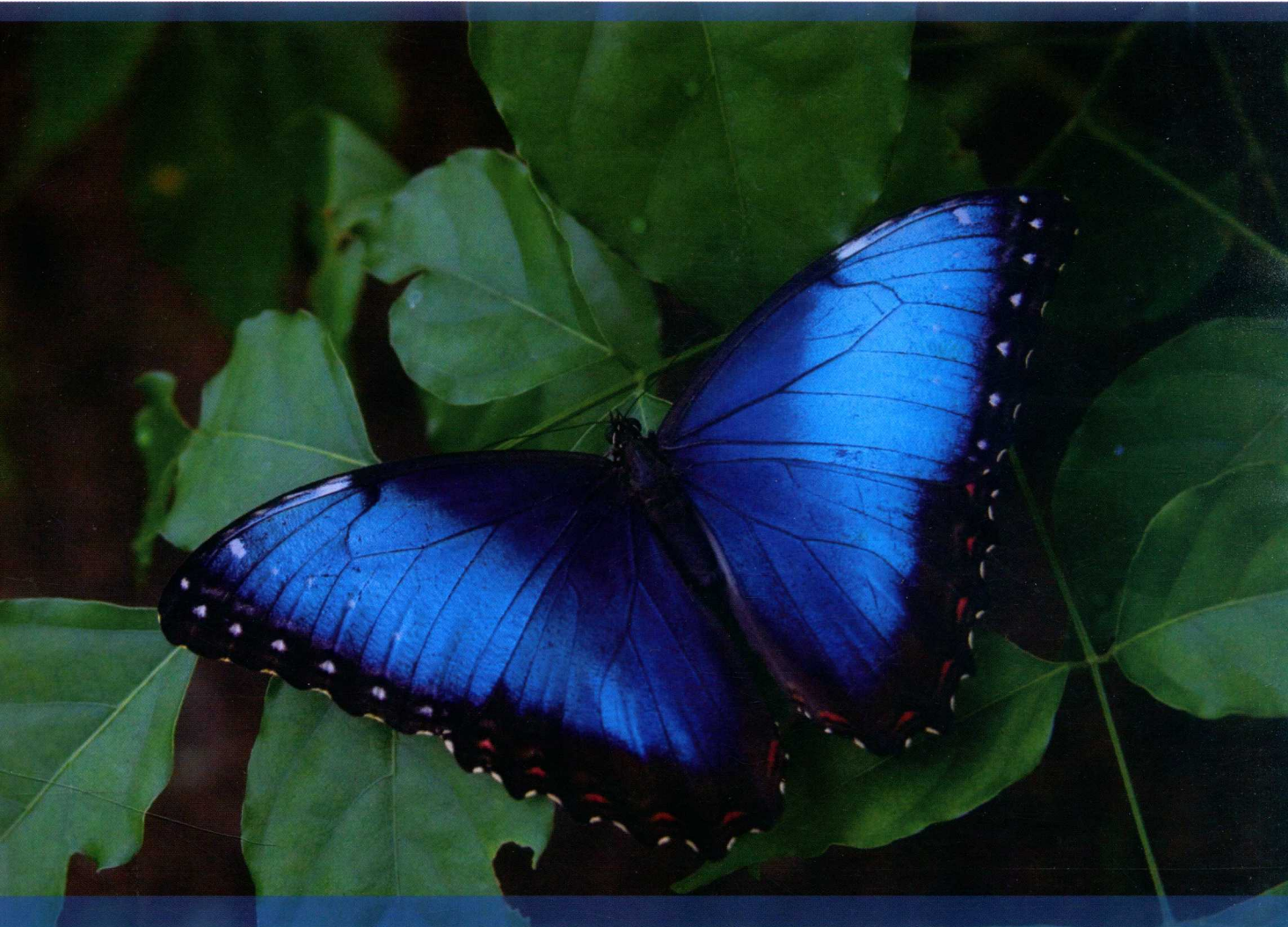


飞机重量与平衡



总主编：沈泽江 孙 慧
本册主编：王 可

大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS

航线运输飞行员理论培训

飞机重量与平衡

总 主 编：沈泽江 孙 慧

本 册 主 编：王 可

本 册 副 主 编：隆 攀

大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS

© 沈泽江 孙 慧 2017

图书在版编目(CIP)数据

飞机重量与平衡 / 王可主编. — 大连 : 大连海事
大学出版社, 2017.6

航线运输飞行员理论培训教材 / 沈泽江, 孙慧总主
编

ISBN 978-7-5632-3501-8

I. ①飞… II. ①王… III. ①飞机—载荷计算—技术
培训—教材 IV. ①V217

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第139186号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路1号 邮编: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连海大印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2017年6月第1版

2017年6月第1次印刷

幅面尺寸: 210 mm × 285 mm

印张: 10.75

字数: 294千

出 版 人: 徐华东

策 划: 徐华东 孟 冀 王尚楠

执行编辑: 董洪英 张 华 王 琴

责任编辑: 董洪英

责任校对: 张 华

封面设计: 解瑶瑶

版式设计: 孟 冀 解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3501-8

定价: 75.00元

编委会

航线运输飞行员理论培训教材

编审委员会

- 主 任 沈泽江
- 副 主 任 万向东 胡振江 孙 慧
- 主任委员 蒋怀宇 关立欣 盛 彪
魏雄志 韩光祖 张 磊

《飞机重量与平衡》

翻译 王 可
编写 王 可 隆 攀 韩志鹏
审校 孙 慧 韩光祖 张 磊

序

中国民航飞行员协会与美国杰普逊公司北京代表处以及大连海事大学出版社合作,编译出版了中国航线运输飞行员理论培训教材,共15本。本系列教材包括飞行原理、航空气象、人的因素、运行程序等与航线飞行有关的各个方面,并配有大量清晰的多为彩色的插图和表格。这是一套针对航线飞行员编写的十分有益的理论学习教材。中国民航飞行员协会盛彪副理事长邀我作序,我欣然接受。

作为一名已经退休的老飞行员,看到中国民航的机队快速发展,一批又一批新飞行员健康、快速地成长,我发自内心地感到十分欣慰。

回顾自己的飞行经历以及近几年国际运输航空几次大的空难事故,我深感理论学习在航线飞行员成长过程中的必要性与重要性。这套教材的面世,可谓是恰逢其时。

我们这一代飞行员,在机型理论学习上的经历可谓“冰火两重天”。20世纪60年代开始学习飞行时,正值“文化大革命”,“火烧蓝皮书”风行一时,我甚至是一天理论都没有学就上飞机开始训练了。“文革”后期已经当了几年飞行教员的我,仅去广汉校部补了三个月的理论课。20世纪70年代末,改装“伊尔14”时我是在广汉校部学的理论,历时三个月。20世纪80年代初改装“三叉戟”时我去北京管理教导队学习理论,又是历时三个多月,经历了五次考试,几乎能够背下来飞机所有的油路、电路等。1985年去波音公司改装波音737,第一次接触幻灯片教学,很新鲜,理论学习的时间也不长,约三周时间,也不考试,就是做了一些选择题而已,当时感觉西方的改装机型理论学习比较实用。后来又有了“柏拉图”(应该是CBT教学的前身),1996年改装波音777时已全部是CBT教学。现在已发展到在网上CBT,自学70余个课时即可。现在回过头来看,两种不同的理论学习方法、考试方法虽然是各有千秋,但西方的理论学习是建立在学员之前有较深厚的基础知识功底,之后又

能认真阅读相关手册、资料之上的。而我们在这之前、之后两个阶段都有不小差距,我们的教育方式基础是学生听老师讲,学生记笔记,不太善于自学。不少飞行员在改装结束之后,尤其是当了机长,仅有的理论书、手册也都“刀枪入库,马放南山”了。选择题形式的考试,使学员的理论知识连不成系统,有点支离破碎。我们这方面的教材也很缺乏,尤其是针对大型喷气运输飞机的。飞行干部、飞行员都飞得十分繁忙,无暇参加理论知识的学习。各类手册不少,真正反复阅读并真正读懂的飞行员并不多。法航447航班的事态调查报告中有这样一段话:“仅凭失速警告和抖动想让飞行员意识到失速是很难的,这就要求飞行员之前有足够的失速经验,仅对情景、飞机知识(飞机的各种保护模式)以及飞行特性有最基本的认识是远远不够的。但航空公司飞行员当前培训情况的检查结果表明,飞行员并没有掌握保持这种技能。”波音的飞行机组训练手册中指出:“基础的空气动力知识是最重要的,以及对飞机各系统的综合认识下的飞机操纵特点,是处理飞机特殊情况的关键。”

1989年7月19日,阿尔·海恩机长处理DC-10飞机故障的成功案例,以及近年发生的OZ214、OZ8501、EK521事故,从正反两方面证明了理论知识学习的重要性。希望飞行员们认真查看上面的事故和事故调查报告。

希望这套书的面世,能为飞行员们提供自学的途径。飞行是飞行员一生的职业,保证航空安全不仅是为自己和家人负责,更是为机上那么多乘客负责。保证航空安全是我们的最高职责。

我翻译的萨利机长的《将飞机迫降在哈德逊河上》一书中的第19章,有这样一段话,我想把它作为序的结尾:

“在过去的42年中,我飞过成千上万个航班,但我在其中一次的表现却决定了人们如何对我整个飞行生涯做出评价。这一点告诉我:我们必须尽力每时、每次、每件事都要做对,还要努力做到最好,因为我们不知道生命中的哪一个瞬间会决定对我们一生的评价。机遇总是留给那些有准备的人。”

杨元元
2017年6月



航空气象

- 大气环境
- 风
- 热力学
- 云和雾
- 降水
- 气团与锋面
- 气压系统
- 气候学
- 危险天气下的飞行
- 气象信息



通用导航

- 导航基础
- 磁场
- 罗盘
- 航图
- 推测导航
- 空中导航
- 惯性导航系统 (INS)



无线电导航

- 无线电设备
- 区域导航系统
- 无线电传播基础理论
- 雷达的基本原理
- 自主导航系统和外部导航系统



飞机结构与系统

- 机身
- 窗户
- 机翼
- 安定面
- 起落架系统
- 飞行操纵系统
- 液压系统
- 气源系统
- 空调系统
- 增压系统
- 除冰/防冰系统
- 燃油系统



动力装置

- 活塞发动机
- 喷气发动机
- 螺旋桨
- 辅助动力装置 (APU)



航空电气

- 直流电
- 交流电
- 蓄电池
- 磁学
- 交流/直流发电机
- 半导体
- 电路



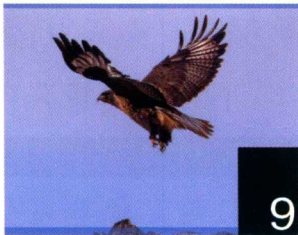
航空仪表

- 飞行仪表
- 自动飞行控制系统
- 警告与记录设备
- 动力装置和系统监控设备



飞行原理

- 定理与定义
- 机翼气流
- 飞机气流
- 升力
- 阻力
- 地面效应
- 失速
- 增升装置
- 大气边界层
- 高速飞行
- 稳定性
- 飞行控制
- 不利气象飞行条件
- 螺旋桨
- 运行限制
- 飞行力学



飞机性能

- 单发飞机——非JAR/FAR 25认证 (B类性能)
- 多发飞机——非JAR/FAR 25认证 (B类性能)
- JAR/FAR 25认证飞机 (A类性能)



飞机重量与平衡

- 重量平衡基本原理
- 重量术语
- 配载包线
- 地板承重
- 舱单使用
- 重量平衡的影响
- 重量限制
- 重心定位
- 舱单识读



飞行计划

- 国际飞行计划
- ICAO ATC飞行计划
- IFR (航线) 飞行计划
- 杰普逊航路手册
- 气象信息
- 等时点
- 返航点



12

航空法规

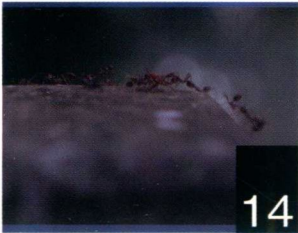
- 国际民航公约和组织
- 飞行人员执照
- 航空器登记和标志
- 航空器适航性
- 搜寻和救援
- 航空安全保卫
- 航空器事故调查
- 简化手续
- 空中规则
- 空中交通服务
- 仪表飞行程序
- 航空情报服务
- 监视服务
- 空中交通服务空域
- 现场及目视助航设施
- 高度表拨正程序



13

人的因素

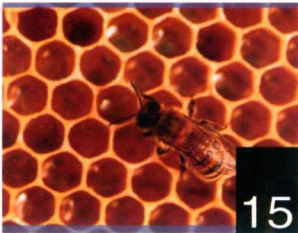
- 人的因素
- 航空生理和健康维护
- 航空心理学
- 机组资源管理



14

运行程序

- 航空承运人和运行合格审定
- 机组管理
- 机场运行最低标准和低能见运行
- 跨洋和极地运行
- 飞机的要求和飞行运作
- 签派和飞行放行
- 危险天气和特殊运行的操作程序



15

通信

- 定义
- 一般操作程序
- 有关气象信息
- 通信失效
- 甚高频 (VHF) 通信
- 遇险与紧急程序
- 机场管制
- 进近管制
- 区域管制
- 通信频率分配

目录

| | |
|----------|---|
| 引言 | 1 |
|----------|---|

第一章

飞机重量与平衡概述

| | |
|--------------------------------|---|
| 概述 | 3 |
| CAP 696——JAR 飞行员执照考试配载手册 | 3 |
| 体积和质量换算 | 5 |
| 中国民航驾驶员执照考试要求 | 6 |
| 练习题答案 | 7 |

第二章

飞机重量与平衡理论

| | |
|----------------------|----|
| 定义 | 8 |
| 重量移动给重心位置带来的影响 | 13 |
| 重量增加给重心位置带来的影响 | 14 |
| 杠杆平衡 | 16 |
| 利用已知重量找出其平衡点 | 17 |
| 练习题答案 | 18 |

第三章

影响飞机重量与平衡的因素

| | |
|------------------|----|
| 概述 | 22 |
| 稳定平飞中的受力 | 23 |
| 平尾 | 27 |
| 稳定性、操纵性和失速 | 28 |

第四章

重量术语和重量限制

| | |
|------------|----|
| 概述 | 40 |
| 燃油定义 | 41 |
| 结构限制 | 42 |

| | |
|-------------------|----|
| 性能限制 | 43 |
| 放行最大起飞重量的计算 | 46 |
| 最大业载的计算 | 47 |
| 最大起飞燃油的计算 | 49 |
| 练习题答案 | 50 |

第五章

飞机称重与地板承重

| | |
|------------------|----|
| 概述 | 51 |
| 称重 | 51 |
| 计算基本空机重心位置 | 52 |
| 地板承重 | 53 |
| 练习题答案 | 58 |

第六章

重量移动和重量增减

| | |
|-------------|----|
| 概述 | 59 |
| 重量移动 | 59 |
| 重量增加 | 60 |
| 重量减少 | 60 |
| 练习 | 60 |
| 练习题答案 | 72 |

第七章

平均空气动力弦

| | |
|---------------------------|----|
| 概述 | 83 |
| 平均空气动力弦 | 84 |
| 将BA形式的重心位置转换为%MAC形式 | 85 |
| 将%MAC形式的重心位置转换为BA形式 | 87 |
| 百分数表示的重心安全范围 | 88 |
| 练习题答案 | 90 |

第八章

JAR-OPS 1的要求

| | |
|----------|----|
| 概述 | 94 |
|----------|----|

| | |
|---------------------|-----|
| 配载、重量与平衡 | 94 |
| 重量与平衡文档 | 94 |
| 最后一分钟变动(LMCs) | 95 |
| 机组成员重量 | 95 |
| 乘客和行李重量 | 95 |
| 飞机重量评估 | 98 |
| 中国民航运行规章相关要求 | 100 |

第九章

单发活塞飞机和多发活塞飞机的舱单

| | |
|------------------|-----|
| 概述 | 105 |
| 单发活塞飞机图表 | 105 |
| 多发活塞飞机图表 | 109 |
| 单发活塞飞机图表问卷 | 110 |
| 多发活塞飞机图表问卷 | 112 |
| 单发活塞飞机问卷答案 | 115 |
| 多发活塞飞机问卷答案 | 119 |

第十章

中程喷气运输机的舱单

| | |
|-------------------------|-----|
| 概述 | 126 |
| 目录 | 126 |
| 机型相关数据 | 126 |
| 重量与平衡限制 | 129 |
| 燃油 | 130 |
| 乘客与机组人员 | 131 |
| 货物(CAP 696 图 4.9) | 133 |
| 重量与平衡的计算 | 134 |
| 针对 MRJT1 图表的练习 | 151 |
| 用于确定飞机重心位置的其余方法 | 155 |
| 练习题答案 | 156 |
| 后记 | 157 |

一架PA31飞机于加勒比海某海岛上起飞不久后坠毁。飞行员丧生。飞机上装载了一整舱明虾。

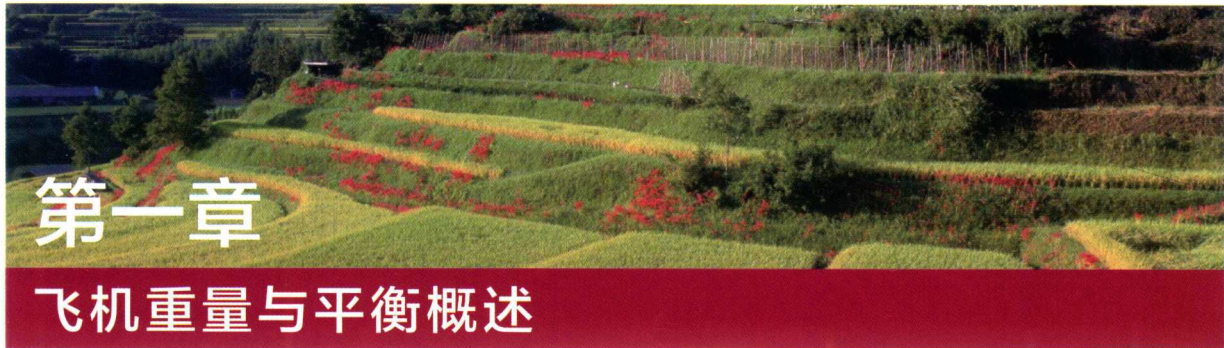
随后的事故调查发现飞行员了解并且监督了货物的装载。货物分为若干箱,且各箱货物重量大小均被标注在箱子上。飞行员虽然在舱单上签了字,但是货舱中并没有使用集装网对货物进行固定。

货物实际重量并没有超过舱单上的货舱装载限重,此次飞机失事看起来并非由于超载所致。由于货舱中没有使用集装网,所以调查人员认为货舱内货物重量分布不均可能是导致此次事故的主要原因。在飞机起飞时,未固定的货物向后移动,使飞机重心过于靠后,导致飞机机头急剧上仰,最终失速坠毁。

随着事故调查组工作的进一步展开,调查人员对比了舱单上的重量和箱子上的标注重量,结果发现为保证明虾在运输途中的新鲜和不出现死亡,需要在箱中添加碎冰用以防止明虾变质。而标注在箱子上的数字只是明虾的实际重量,并没有计入碎冰的重量。

因此,飞行员也忽视了冰的重量。而当调查组勘查坠毁地点时,这些冰早就融化并蒸发,导致调查人员在调查初期并没有发现这一问题所在。

至此,飞机坠毁的原因终于真相大白,起飞时飞机的重量超标才是罪魁祸首。飞机起飞后不久就在重量超载和重心超限的双重作用之下失速坠毁。鉴于这一原因,保险公司合理拒绝了飞机运营人的赔偿要求。



概述

在联合航空条例(JAR, Joint Aviation Rules)的考试内容中,重量与平衡科目主要针对飞机的配载操作。其目的是确保在飞机的实际装载过程中,不会出现超载或装载错误的情况。

在JAR大纲和考试中,重量与平衡科目是从属于飞机飞行性能与计划的一个独立章节。除了重量与平衡的知识以外,飞机飞行性能与计划还涉及飞行原理、飞行性能和飞行计划等相关内容。

该书将着重阐述重量与平衡的基本原理和相关名词定义,为读者提供考前准备。该书在使用过程中,需要结合《英国航空管理局配载平衡手册》(CAP 696, Civil Aviation Publication 696),即JAR考试的配载手册相关内容。该书为熟悉CAP 696的具体内容和结构提供引导与帮助,这样将更加有利于在考试过程中迅速而准确地找到相关数据并计算出答案。

CAP 696——JAR 飞行员执照考试配载手册

该手册分为4部分:

第一章:概述

第二章:单发活塞式螺旋桨飞机重量平衡数据(SEP1)

第三章:多发活塞式螺旋桨飞机重量平衡数据(MEP1)

第四章:多发中程喷气式运输机重量平衡数据(MRJT1)

请注意,该手册中的相关机型数据只供考试使用,不能用于实际飞行计划的制订。

第一章(概述 第1页至第6页)

机型描述

机型描述涉及在JAR考试中所出现的不同级别飞机的一般介绍。

SEP1——单发活塞式螺旋桨飞机

使用单台活塞发动机的飞机均依据CS 23(轻型飞机)进行认证。凡是最大起飞重量不超过5 700 kg,并且采用活塞发动机提供动力的飞机,均被划分到JAR性能级别中的B级。关于这一类飞机的重量与平衡、飞行计划和飞行性能的考核内容,均参照SEP1。

MEP1——多发活塞式螺旋桨飞机

具有多台活塞发动机的飞机均依据CS 23(轻型飞机)进行认证。凡是最大起飞重量不超过5 700 kg

的飞机,均被划分到JAR性能级别中的B级。关于这一类飞机的重量与平衡、飞行计划和飞行性能的考核内容,均参照MEP1。

MRJT1——多发中程喷气式运输机

具有两台涡轮发动机的中等航程运输机均依据CS 25(大型飞机)进行认证,并被划分到JAR性能级别中的A级。关于这一类飞机的重量与平衡、飞行计划和飞行性能的考核内容,均参照MRJT1。

术语

大多数术语在CAP 696中第一章(概述第2页至第3页)给出。这部分内容有助于读者快速解答问题,非常重要。请注意,在CAP 696中术语分为两种形式:

- 如果术语是正常字体,说明它可以在ICAO或JAA的文档中找到。
- 如果术语是斜体,说明它并非ICAO或JAA的内容,但在实际中被普遍使用。

该书中所有的参考引用均会标注出对应CAP 696中的详细页码和所属段落标题。

量纲换算(第一章 概述 第4页)

本书所有的量纲换算和数值计算一律精确到小数点后三位。

在JAA考试中,虽然所有的计算都可以通过CRP-5迅速得到结果,但是在进行重量与平衡相关的计算时还是推荐使用计算器。这样一来,无论是整数计算还是精确到小数点后两位的数值计算,都能够保证计算结果的准确性。在计算中,如果进行数据换算的时候需要精确到小数点后三位,那么在得出最后计算结果的时候可以四舍五入精确到小数点后两位。考试中所有的备选答案均按小数点后两位甚至更少位数的形式给出。

下列物理量纲换算摘自CAP 696附录。

表 1-1 量纲换算

| 量纲换算 CAP 696 (第一章 概述) | |
|-----------------------|---------------------|
| 质量换算 | CAP 换算因子 |
| 磅 到 千克 | 1 lb = 0.454 kg |
| 千克 到 磅 | 1 kg = 2.205 lb |
| 体积(液体) | |
| 英加仑 到 升 | 1 Imp Gal = 4.546 L |
| 美加仑 到 升 | 1 US Gal = 3.785 L |
| 长度 | |
| 英尺 到 米 | 1 ft = 0.305 m |
| 距离 | |
| 海里 到 米 | 1 NM = 1 852.0 m |

注意,表中最后两个量纲的使用可进一步参考CAP 696文档。

部分未直接给出的量纲关系:

$$100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

$$1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$$

$$1 \text{ t} = 1\,000 \text{ kg}$$

● 练习1

参考答案见本章末。

1. 将4 300 kg换算为磅(lb)。
2. 将35 ft换算为米(m)。
3. 将5.76 m换算为英尺(ft)。

体积和质量换算

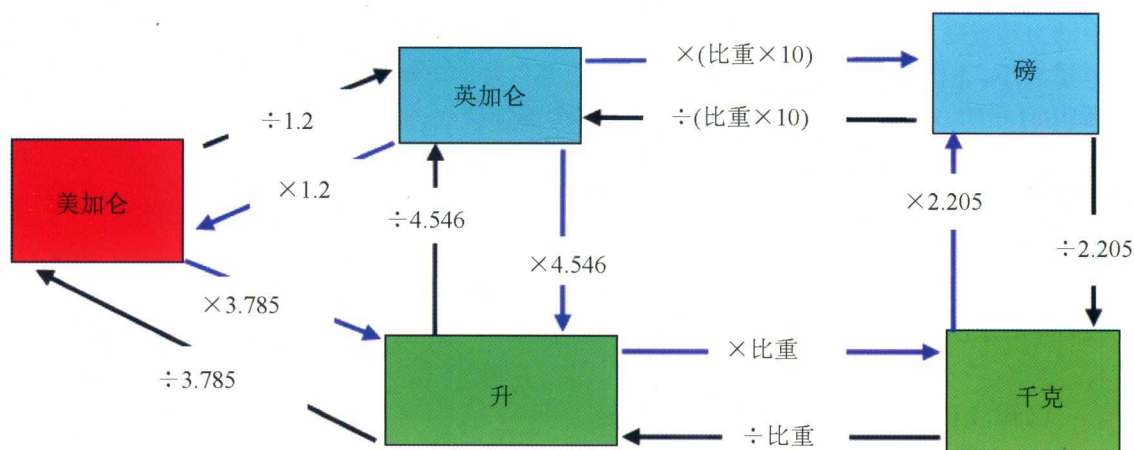


图 1-1 体积与质量单位换算

液体的体积通常有三种表示方法:英加仑(Imp Gal)、美加仑(US Gal)、升(L)。其中,英加仑与美加仑之间的换算关系需要重点掌握。

1 Imp Gal比1 US Gal的体积大,1 Imp Gal等于1.2 US Gal。将英加仑转换为美加仑时,需要乘以1.2;将美加仑转换为英加仑时,需要除以1.2。

例:

$$5 \text{ Imp Gal 等于 } 6 \text{ US Gal} \quad 5 \times 1.2 = 6$$

$$5 \text{ US Gal 等于 } 4.17 \text{ Imp Gal} \quad 5 \div 1.2 = 4.17$$

另一个需要注意的是将体积换算成质量。给定的体积下,液体的质量和液体的密度有关。为了使用方便,人们常常使用相对密度(SG,也称比重)这一物理量来表示不同的液体密度大小,例如:水的相对密度为1;而燃油比水轻,所以燃油的相对密度小于1。

为了得到以千克(kg)表示的液体质量大小,可以用液体的体积——升(L)乘以其相对密度(SG)。