

中国民用航空总局飞标司推荐

民用航空器维修基础系列教材

涡轮发动机飞机结构与系统

WOLUNFADONGJIFEIJIJIEGOUYUXITONG

(ME-TA)

上册

任仁良 张铁纯 主编



兵器工业出版社

中国民用航空总局飞标司推荐
民用航空器维修基础系列教材

涡轮发动机飞机结构与系统

(ME-TA)

上册

任仁良 张铁纯 主编

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书为民用航空器维修基础系列教材。全书分上、下两篇,上篇为飞机结构与机械系统,共7章。主要介绍了:飞机结构,液压系统,燃油系统,起落架系统,飞行操纵系统,空调系统,设备/设施与水系统;下篇为飞机电气与电子系统,共9章。主要介绍了:航空器电源,灯光和氧气系统,防火系统,防冰和排雨系统,仪表系统,自动飞行控制系统,通信系统,导航系统和机载维护系统等内容。是民用航空器维修人员必备的知识读本。

图书在版编目(CIP)数据

涡轮发动机飞机结构与系统. ME-TA/任仁良,张铁纯主编. —北京:兵器工业出版社,2006.11

(民用航空器维修基础系列教材)

ISBN 7-80172-767-3

I. 涡... II. ①任... ②张... III. ①涡轮喷气发动机-民用飞机-构造-教材②涡轮喷气发动机-民用飞机-飞机系统-教材 IV. V271

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第120901号

出版发行:兵器工业出版社

发行电话:010-68962596, 68962591

邮 编:100089

社 址:北京市海淀区车道沟10号

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市登峰印刷厂

版 次:2006年11月第1版第1次印刷

印 数:1-3000

责任编辑:朱丽均

封面设计:李 晖

责任校对:全 静

责任印制:赵春云

开 本:787×1092 1/16

印 张:41.25

字 数:1000千字

定 价:100.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

《民用航空器维修基础系列教材》 编写委员会

主任委员：徐超群

副主任委员：任仁良

编委：徐超群 任仁良 郑连兴 许春生
李幼兰 王会来 朱丽君 刘建英
张铁纯 刘建新 郝劲松

出版说明

2005年8月,中国民航规章CCAR-66R1《民用航空器维修人员执照管理规则》考试大纲正式发布执行,该大纲规定了民用航空器维修持照人员必须掌握的基本知识。随着中国民用航空业的飞速发展,迫切需要大批高素质的民用航空器维修人员。为适应民航的发展,提高机务维修人员的素质和航空器维修水平,满足广大机务维修人员学习业务的需求,中国民航总局飞标司组织成立了《民用航空器维修基础系列教材》编写委员会,其任务是编写一套适用于中国民航维修要求,实用性强、高质量的培训和自学教材。

为方便机务维修人员通过培训或自学,参加维修执照基础部分考试,本系列教材根据CCAR-66R1民用航空器维修人员执照基础部分考试大纲编写。这套系列教材共11本,内容覆盖了考试大纲的所有模块,具体每一本教材的适用专业和对应的考试大纲模块见下表:

序号	书名	适用专业	覆盖CCAR-66R1考试大纲模块
1	电工基础	ME、AV	M3
2	电子技术基础	AV	M4、M5
3	电子技术基础	ME	M4、M5
4	空气动力学和维护技术基础	ME、AV	M6、M8
5	人为因素和航空法规	ME、AV	M9、M10
6	涡轮发动机飞机结构与系统	ME-TA	M11
7	涡轮发动机飞机结构与系统	AV	M11、M14
8	直升机结构与系统	ME-TH、PH	M12
9	活塞发动机飞机结构与系统	ME-PA	M13
10	燃气涡轮发动机	ME-TA、TH	M14、M16
11	活塞发动机	ME-PA、PH	M15、M16

该系列教材力求通俗易懂,紧密联系民航实际,针对性强,适合于民航机务维修人员或有志进入民航维修业的人员培训或自学用教材,也可作为CCAR-147维修培训机构的基础培训教材或参考教材。

在这套教材的编写过程中，我们得到了中国民航总局飞标司、中国民用航空学院、广州民航职业技术学院、中国民用航空飞行学院、民航管理干部学院、民航上海中等专业学校、北京飞机维修工程有限公司（Ameco）、广州飞机维修工程有限公司（Gameco）、中信海洋直升机公司等单位以及航空器维修领域的 40 多位专家的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编写时间仓促和我们的水平有限，书中还存在着许多错误和不足，请各位专家和读者指出，以便再版时加以纠正。

《民用航空器维修基础系列教材》编委会
2006 年 2 月 10 日

前 言

《涡轮发动机飞机结构与系统》(ME-TA)分上、下两篇。上篇为飞机结构和机械系统;下篇为飞机电气电子系统。本教材是按照中国民航规章 CCAR-66R1《民用航空器维修人员执照管理规则》航空机电专业(ME)考试大纲 M11 编写的,本书编写的内容是飞机维修人员必须要掌握的基础知识。在编写过程中,力求做到通俗易懂,注重知识的实用性,贯彻了理论与实际密切结合的思想,基本上不涉及复杂的数学公式和推导,强调定性描述大纲中要求掌握的基本知识。本书可以作为 CCAR-147 维修基础培训机构的培训教材或参考教材,也适用于具有一定基础的航空机电专业人员自学。

上篇由张铁纯老师主编和统稿。其内容包括飞机结构、液压系统、燃油系统、起落架系统、飞行操纵系统、空调系统和设备/设施与水系统。其中第1章的1.1节由李幼兰编写,1.2节由虞浩清编写;第2章、第3章、第6章由张铁纯编写;第4章由钱若力编写;第5章由张宏伟编写;第7章的7.1节由邢忠庆编写,7.2节由庞大海编写。

下篇由任仁良教授主编和统稿。其内容包括电源系统、灯光和氧气系统、防火系统、防冰和排雨系统、航空仪表、自动飞行系统、通信系统、导航系统和机载维护系统。其中第1章、第3章由任仁良编写;第2章、第4章由杨惠敬编写;第5章5.1、5.3、5.4、5.5、5.6、5.7、第6章、第7章、第8章由王会来编写;第5章5.9、5.10、第9章由杨国余编写;第5章5.2、5.8由步广英编写。

宋静波、杨晓东、杨国余、庞大海等对全书进行了审校,并提出了许多修改意见,在此谨表深深的感谢。

我国民航所使用的飞机大都是欧美制造,为了便于学生对照机型资料学习,书中的部分电路符号采用了欧美国家的符号,学习时应予注意。

由于编写时间仓促和我们的水平有限,教材中难免还存在着许多错误和不足,敬请各位专家和读者指出,以便再版时加以纠正。

编 者
2006年8月8日

目 录

上篇 飞机结构与机械系统

第1章 飞机结构	(3)
1.1 飞机结构的基本概念	(3)
1.2 飞机结构	(40)
第2章 液压系统	(84)
2.1 概述	(84)
2.2 液压油	(86)
2.3 液压泵	(90)
2.4 液压控制元件	(97)
2.5 液压执行元件	(108)
2.6 液压辅助元件	(112)
2.7 飞机液压源系统	(123)
第3章 燃油系统	(131)
3.1 燃油系统概述	(131)
3.2 油箱及通气系统	(132)
3.3 加油/抽油系统	(136)
3.4 供油系统	(142)
3.5 燃油指示/警告系统	(152)
3.6 燃油系统维护	(155)
第4章 起落架系统	(162)
4.1 概述	(162)
4.2 减震系统	(168)
4.3 收放系统	(178)

4.4	转弯系统	(187)
4.5	机轮和刹车	(196)
第5章	飞行操纵系统	(217)
5.1	操纵系统概述	(217)
5.2	中央操纵机构	(219)
5.3	传动系统	(222)
5.4	舵面驱动装置	(233)
5.5	典型飞机操纵系统	(242)
5.6	飞行操纵警告系统	(253)
5.7	飞行操纵系统的维护	(255)
第6章	空调系统	(261)
6.1	空调系统概述	(261)
6.2	空调气源系统	(266)
6.3	温度控制系统	(275)
6.4	空气分配系统	(289)
6.5	座舱压力控制系统	(292)
6.6	货舱加温及设备冷却	(303)
第7章	设备/设施与水系统	(306)
7.1	机舱设备/设施	(306)
7.2	水/污水系统	(316)
参考文献		(321)

上篇 飞机结构与机械系统

第 1 章 飞机结构

1.1 飞机结构的基本概念

1.1.1 飞机外载荷及飞机结构承载能力

在飞行中或在起飞、着陆、地面运动时，其他物体对飞机的作用力称为飞机外载荷。如飞机重力、气动载荷、发动机推力、地面作用力等。飞机外载荷是对飞机结构进行受力分析的重要依据，而对使用中飞机所承受的外载荷的种种限制，又表示了飞机结构具有一定的承载能力。

1. 飞机外载荷

(1) 飞机外载荷分类

飞机外载荷按其作用形式可分为：

① 集中载荷：载荷集中作用在结构上的某一部位。比如，通过接头作用在机翼结构上的发动机载荷、起落架载荷等；

② 分布载荷：载荷分布作用在结构的某一范围内。比如，作用在机体表面的气动载荷等。

飞机外载荷按其作用性质可分为：

① 静载荷：载荷逐渐加到飞机结构上，或者载荷加到结构上以后，它的大小和方向不变或变化很小，这种载荷叫静载荷。比如，飞机停放时起落架承受的载荷；用千斤顶逐渐将飞机顶起，飞机结构承受的载荷都是静载荷；

② 动载荷：载荷突然加到飞机结构上，或者载荷加到结构上以后，它的大小或方向有着明显变化，这种载荷叫动载荷。比如，飞机着陆时起落架受到的地面撞击力；飞机在不平地面上滑跑时，产生颠簸，结构承受地面的作用力都是动载荷。

飞机外载荷按飞机所处状态又可分为：

① 飞行时，作用在飞机上的外载荷；

② 起飞、着陆、地面运动时，作用在飞机上的外载荷。

(2) 飞行中飞机的外载荷及过载

1) 飞行中飞机的外载荷

飞行中，作用在飞机上的外载荷有飞机重力、空气动力和发动机推力。当外载荷形成平衡力系时，飞机进行匀速直线运动，也就是定常飞行；当外载荷不能形成平衡力系时，飞机进行变速运动，也就是非定常飞行。

图 1.1-1 所示为飞机在某一高度上做水平匀速的巡航飞行, 作用在飞机上的外载荷有飞机重力 W 、气动升力 L_0 、气动阻力 D_0 和发动机推力 P_0 。我们选取机体坐标系 ($OX_t Y_t Z_t$), 并将外载荷向坐标系原点——全机重心 O 简化, 得到作用在重心处的共点力系和抬头力矩 M_A , 低头力矩 M_B 。

因为飞机在匀速直线飞行, 这些外载荷必须满足下列平衡方程:

$$\begin{aligned}\sum X &= 0 & P_0 &= D_0; \\ \sum Y &= 0 & L_0 &= W; \\ \sum M_Z &= 0 & M_A &= M_B.\end{aligned}\quad (1.1-1)$$

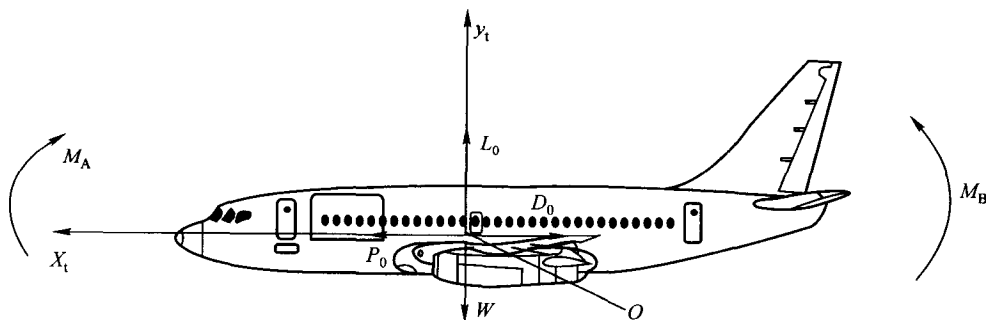


图 1.1-1 水平匀速飞行时, 作用在飞机上的外载荷

如果外载荷不满足平衡方程 (1.1-1), 飞机就会做变速运动, 速度的大小或方向会发生变化, 改变原来的飞行状态。比如: $P > D_0$, 飞机会加速飞行; $L > W$, 飞机会产生向上的曲线飞行; $M_A \neq M_B$, 飞机会抬头或低头, 产生绕机体横轴 Z_t 转动的角加速度等。

2) 过载 (载荷系数)

① 过载的定义和物理意义

飞行中, 作用在飞机上的外载荷的大小和方向可以用过载 n 来表示。过载分为沿纵轴过载 n_x 、沿立轴过载 n_y 和沿横轴过载 n_z 。在飞行中变化比较大, 对飞机结构强度影响比较大的过载是 n_y 。所以一般说“飞机过载”就是指 n_y 。

飞行过载 n_y 的定义是: 作用在飞机上的升力 L 和飞机飞行重量 W 之比。即

$$n_y = L/W \quad (1.1-2)$$

飞机过载是代数值, 不但有大小而且有正负。过载的大小表示升力是飞机重量的几倍; 正负表示升力的方向。比如, $n_y = 3$, 表示飞机升力是飞机重量的 3 倍, 正号表示升力指向 Y 轴的正方向。 $n_y = -0.5$, 表示飞机升力是飞机重量的 0.5 倍, 负号表示升力指向 Y 轴的负方向。

飞机过载按其产生的原因可分为机动过载和突风过载。随着飞机机动飞行而产生的过载, 称为机动过载; 由于突风作用, 飞机气动力大小变化而产生的过载, 称为突风过载。

② 机动过载

当飞机水平飞行时, 因为 $L_0 = W$, 所以 $n_y = L_0/W = 1$; 但当飞机机动飞行时, n_y 会发生较大的变化。例如: 当飞机以滚转角 γ 水平盘旋时, 升力在水平方向的分力为飞机转弯提供向心力, 而在垂直方向的分力与飞机重量平衡, $L \times \cos\gamma = W$, 如图 1.1-2 所示。所以 $n_y = L/W = 1/\cos\gamma$ 。滚转角越大, 过载值越大。当 $\gamma = 30^\circ$ 时, $n_y = 1.15$; $\gamma = 60^\circ$ 时, $n_y = 2$ 。

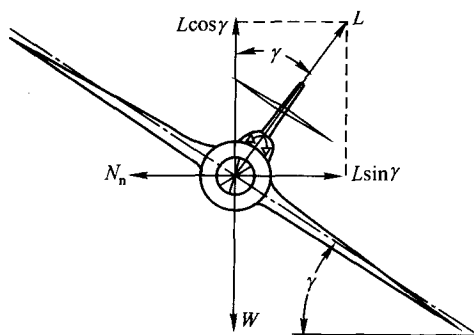


图 1.1-2 机动过载

当驾驶员猛推杆使飞机以较大速度、较小的半径进入俯冲时, n_y 可能为较大的负值; 当将飞机从俯冲中拉起时, n_y 为较大的正值。随着飞机机动飞行而产生的过载 n_y , 称为机动过载。

③ 突风过载

大气中, 空气对流造成的不稳定气流称为突风。从飞机前方或后方吹来, 与飞机飞行方向平行的突风叫水平突风; 从飞机上方或下方吹来, 与飞机飞行方向垂直的突风叫垂直突风。突风会改变气流相对飞机运动速度的大小和方向, 从而改变飞机升力的大小。由于突风作用, 飞机升力大小的变化用突风过载来表示。

对飞机结构受力影响比较大的是垂直突风。垂直突风主要是改变气流相对飞机运动速度的方向 (见图 1.1-3), 从而产生较大的突风过载 n_y 。飞行中, 遇到较强烈的垂直向上的突风, 会产生较大的正过载, 遇到较强烈的垂直向下的突风, 会产生较大的负过载。

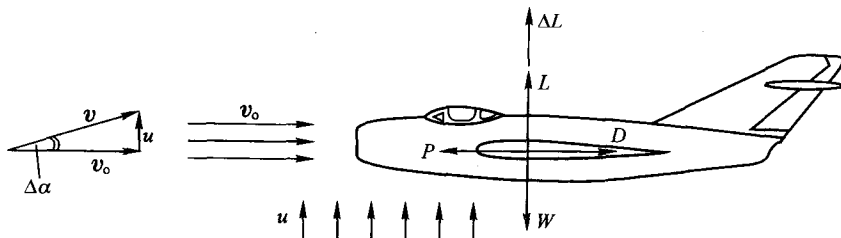


图 1.1-3 垂直突风造成突风过载

④ 部件过载

前面在研究飞机过载时, 根据作用在飞机重心处升力 L 和飞机飞行重量 W 之比得出过载 n_y 值, 这个过载被称为飞机重心过载, 也就是全机过载。知道全机过载 n_y , 就可以知道全机升力的大小和方向。为了研究飞机结构的受力, 单单知道全机的过载是不够的, 还应该了解部件过载。

部件过载是研究飞机不同部位的过载值, 它等于全机过载和附加过载的代数和。 $n_{y\text{部件}} = n_y \pm \Delta n_y$ 。

当飞机进行水平飞行或直线上升、下滑时, 飞机各部位运动的加速度与飞机重心处运动的加速度相同, 此时附加过载 $\Delta n_y = 0$, 部件过载就等于全机过载。当飞机运动有绕重心转

动的角加速度时, 飞机各部位运动的加速度与飞机重心处运动的加速度不同, 此时附加过载 $\Delta n_y \neq 0$, 部件过载也就和全机过载不相同了。

图 1.1-4 示出了当飞机以角加速度抬头转动时, 沿机体纵轴部件过载的分布图。由于有抬头角加速度 ε_z , 飞机重心外各部件相对重心有附加的加速度 $\varepsilon_z \times X_{\text{部件}}$, 产生附加过载 $\Delta n_y = (1/g) \times \varepsilon_z \times X_{\text{部件}}$, 这时部件的过载就等于:

$$n_{y\text{部件}} = n_y + \Delta n_y = n_y + (1/g) \times \varepsilon_z \times X_{\text{部件}}$$

式中: ε_z ——飞机绕机体横轴转动的角加速度;

$X_{\text{部件}}$ ——沿机体纵轴部件到飞机重心的距离;

g ——重力加速度。

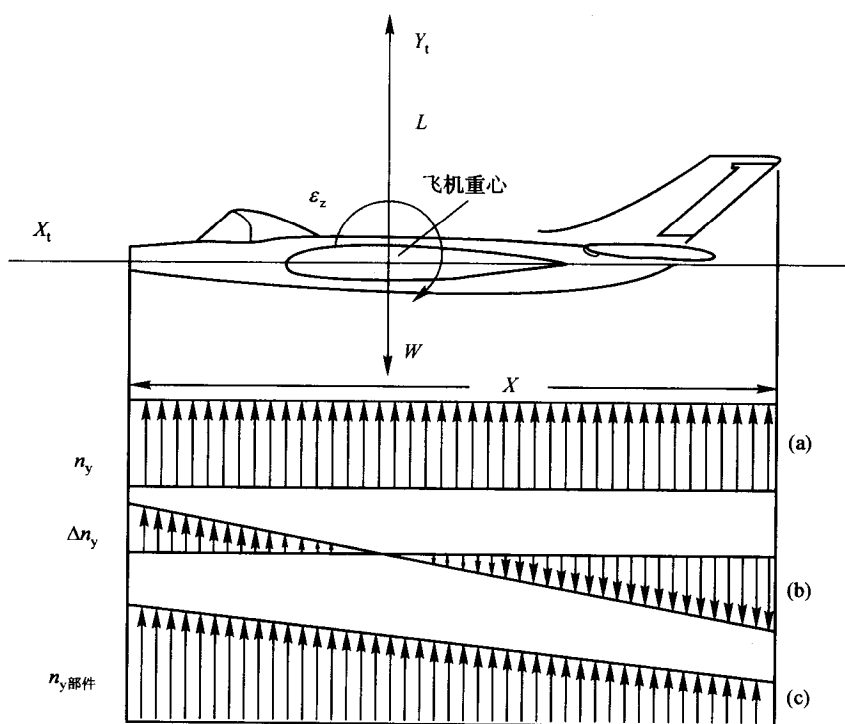


图 1.1-4 部件过载沿飞机纵轴的变化规律

(a) 全机过载; (b) 附加过载; (c) 部件过载

部件的附加过载和飞机转动角加速度及部件沿纵向到飞机重心的距离成正比。对同一架飞机来说, 飞机各部位转动角加速度是相同的, 所以, 距离飞机重心越远, 附加过载就越大, 附加过载沿机体纵轴呈直线分布 (见图 1.1-4 (b))。当飞机抬头转动时, 重心前, 部件的附加加速度向上, 产生的附加过载 Δn_y 为正值, 重心后, 部件的附加加速度向下, 产生的附加过载 Δn_y 为负值, 最后, 部件过载等于全机过载和附加过载的代数和, 得出结果如图 1.1-4 (c) 所示。

当飞机以角加速度 ε_x 绕机体纵轴向右转动时, 得出飞机部件过载分布如图 1.1-5 所示。

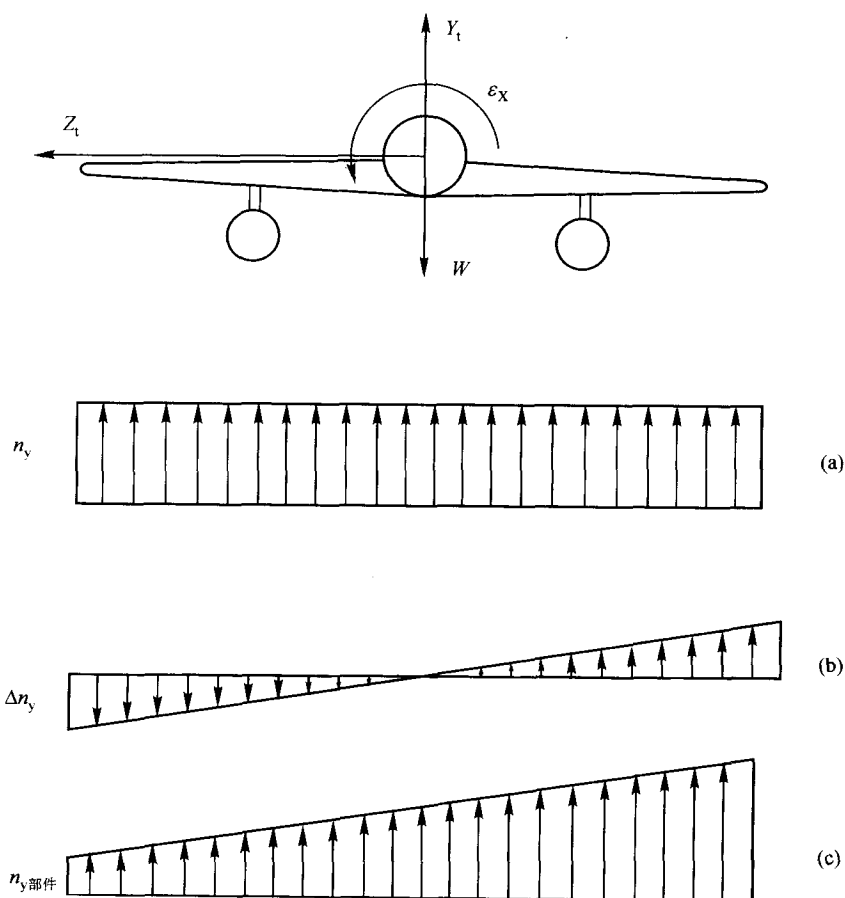


图 1.1-5 部件过载沿横轴变化规律
(a) 全机过载; (b) 附加过载; (c) 部件过载

知道了飞机的部件过载就可以得出整个飞机上质量力的分布情况和飞机上各部件（起落架，发动机等）的安装吊架、接头、紧固件承受的载荷，以便对它们进行受力分析。当飞机转动角加速度过大时，距离飞机重心比较远的部件承受的过载要比全机过载大很多，往往会造成这些部件安装接头、紧固件的局部损坏。

(3) 起飞、着陆、地面运动时，作用在飞机上的外载荷和起落架载荷系数

1) 起飞、着陆、地面运动时，作用在飞机上的外载荷

起飞、着陆、地面运动时，作用在飞机上的外载荷除了空气动力、飞机重力、发动机推力外，还有地面对飞机的作用力。

地面对飞机的作用力通过地面与起落架机轮接触点作用在起落架上，然后通过起落架构件和起落架与机体结构连接接头的受力传递到机体结构上。这个载荷是飞机在地面上时承受的主要载荷，是对起落架承力构件、起落架与机体结构连接件以及机体结构件进行结构设计和受力分析的重要依据。为了便于研究，将地面作用在起落架上的外载荷分为垂直载荷 P_y 、水平载荷 P_x 和侧向载荷 P_z ，如图 1.1-6 所示。

2) 起落架载荷系数

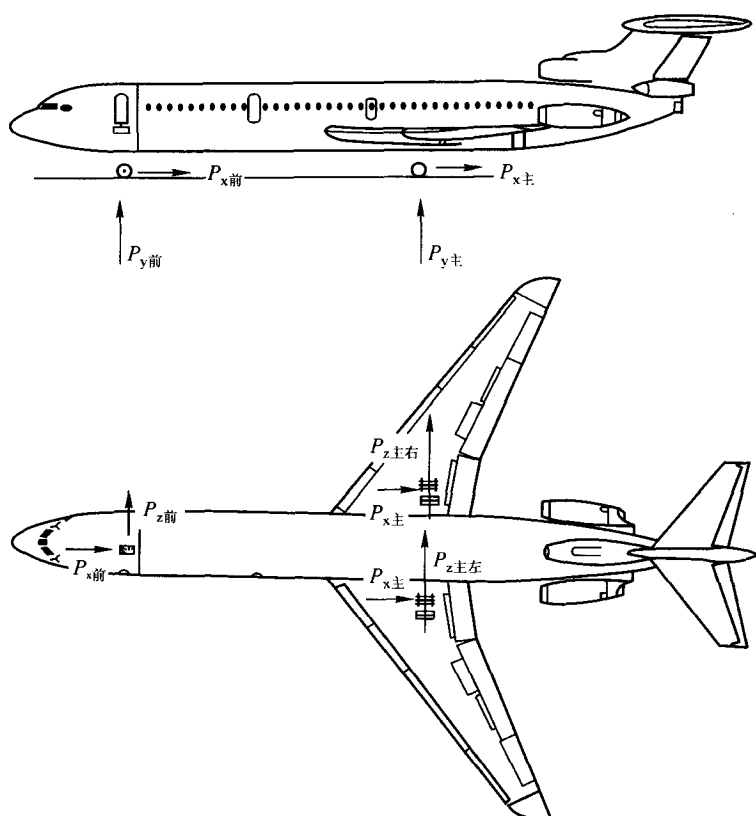


图 1.1-6 作用在飞机上的地面载荷

 P_y —垂直地面的载荷； P_x —平行地面并垂直轮轴的载荷； P_z —平行地面并垂直机轮平面的载荷

以上三种载荷的大小和方向用起落架载荷系数来表示，它们分别等于：

$$n_x = \frac{P_x}{P_0}; n_y = \frac{P_y}{P_0}; n_z = \frac{P_z}{P_0} \quad (1.1-3)$$

式中： n_x 、 n_y 、 n_z ——起落架的水平、垂直、侧向载荷系数；

P_x 、 P_y 、 P_z ——起落架承受的水平、垂直和侧向载荷；

P_0 ——起落架的停机载荷。

3) 垂直载荷、水平载荷和侧向载荷

① 垂直载荷

飞机着陆时，由于向下的运动速度被地面制止，起落架将承受较大的垂直载荷的作用，是垂直载荷较严重的受力情况。

飞机着陆时，垂直地面的运动速度 $V_{\text{下沉}}$ 受到地面制止，而使飞机承受的垂直载荷 $P_{y\text{前}}$ 、 $P_{y\text{主}}$ 的大小取决于飞机着陆重量，接地时垂直地面分速度 $V_{\text{下沉}}$ 和起落架减震器对地面撞击能的吸收特性。而 $V_{\text{下沉}}$ 又和飞机着陆时的飞行速度及飞机下滑轨迹与地面的夹角（接地角）有关。