

研究生教学用书

道面设计原理

Design Principle on Airport Pavement

翁兴中 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

研究生教学用书

道面设计原理

翁兴中 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书全面系统地阐述了机场道面工程结构理论,全书共十一章,主要内容包括道面结构特点,飞机荷载和喷射气流的作用,交通量分析与换算,温度状况和气候分区,土基与基层,沥青与沥青混凝土,水泥与水泥混凝土、水泥混凝土道面板应力分析,沥青道面荷载应力分析和道面可靠度设计理论和方法等。本书重点介绍道面结构的设计理论和方法,体现了国内外在道面结构方面的研究成果,具有内容全面、体系完整的特点。

本书可作为“道路与铁道工程”二级学科硕士研究生的必修学位课程和“交通运输工程”一级学科其他二级学科的选修课程教材,也可供从事机场工程、公路与城市道路的设计、施工、管理人员及高校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

道面设计原理 / 翁兴中编著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2017.8
ISBN 978-7-114-13564-4

I. ①道… II. ①翁… III. ①道路工程—路面设计—高等学校—教材 IV. ①U416.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 000793 号

研究生教学用书

书 名: 道面设计原理

著 作 者: 翁兴中

责任编辑: 李 喆

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.cepress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16.75

字 数: 404 千

版 次: 2017 年 8 月 第 1 版

印 次: 2017 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13564-4

定 价: 45.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

“道面设计原理”是道路与铁道工程二级学科研究生培养计划中的主要学位课程。空军工程大学自 1985 年开始招收研究生以来,“道面设计原理”课程一直是研究生的主要学位课程,其教学内容和教学方法经过近二十年总结提高,目前已形成较为完善的教学内容和教材体系。在此基础上,编著完成了《道面设计原理》,作为道路与铁道工程二级学科研究生教材。

本书全面系统地阐述了机场道面工程结构理论,重点论述了道面工程的土基、基层、面层的结构理论分析和计算方法,综合反映国内外在机场道面方面的研究成果,突出了我国军用和民用机场方面的研究成果。从结构的理论高度深刻阐明道面结构的设计理论和方法,研究生通过本教材的学习,能系统、深刻地理解和掌握道面结构的设计理论,具备道面结构分析和研究的能力。

本书共十一章,第一章介绍了道面结构的特点;第二、三章论述了飞机荷载和喷气流的作用;第四章论述了交通量分析与换算;第五章论述了道面的温度和气候分区;第六章论述了土基与基层;第七章论述了沥青与沥青混凝土;第八章论述了水泥与水泥混凝土;第九、十章论述了水泥混凝土和沥青混凝土道面的应力计算方法;第十一章论述了道面结构的可靠度设计理论和方法。

全书由翁兴中编著并负责统稿。鉴于编著者的水平有限,错漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

2017 年 5 月

目 录

第一章 道面结构特点	1
第一节 道面结构的特性	1
第二节 道面结构的分类	1
第三节 道面结构要求	2
第四节 道面结构的设计方法	4
思考题	7
第二章 道面上作用飞机荷载分析	8
第一节 起落架构型和轮印	8
第二节 飞机竖向静荷载	13
第三节 飞机直线滑行时荷载	14
第四节 飞机起飞时荷载	17
第五节 飞机转弯滑行时荷载	20
第六节 飞机着陆时荷载	25
第七节 当量单轮荷载	30
第八节 推导单轮荷载	39
思考题	42
第三章 飞机喷气流对道面的作用	43
第一节 飞机喷气流的特点	43
第二节 飞机尾喷气流温度场分布规律和温度应力	44
第三节 飞机尾喷气流对道面的作用	49
思考题	51
第四章 飞机荷载交通量分析与换算	52
第一节 飞机荷载在道面上的分布	52
第二节 运行次数与重复作用次数	53
第三节 飞机起落架构型的表示方式	57
第四节 交通量的预测	59
第五节 交通量的换算	61
思考题	70
第五章 道面体系的温度状况和气候分区	71
第一节 道面的温度状况及计算	71
第二节 沥青路面温度场随各因素变化的规律分析	78
第三节 气候分区	86

思考题	91
第六章 土基与基层	92
第一节 土基的强度	92
第二节 土基的干湿类型	97
第三节 土基的压实原理和作用	99
第四节 对基层的技术要求	101
第五节 基层材料的力学特性与要求	107
思考题	112
第七章 沥青与沥青混凝土	113
第一节 沥青组成与结构	113
第二节 道路石油沥青的技术性能	117
第三节 沥青混凝土	126
第四节 沥青混合料组成设计	139
第五节 改性沥青	149
思考题	156
第八章 水泥与水泥混凝土	157
第一节 水泥的种类与组成	157
第二节 水泥的特性	161
第三节 水泥石的性质	164
第四节 水泥混凝土	169
第五节 水泥混凝土道面的疲劳特性	183
思考题	186
第九章 机场水泥混凝土道面板应力计算方法	187
第一节 弹性地基上无限大板理论	187
第二节 威斯德卡德算法	197
第三节 弹性地基板的有限元分析	200
第四节 水泥混凝土道面板温度应力分析	210
第五节 考虑夹层作用的双层道面板的计算方法	221
思考题	225
第十章 沥青道面的荷载应力计算理论	226
第一节 弹性层状体系理论	226
第二节 流变材料的黏弹性特性	235
思考题	239
第十一章 道面结构可靠度设计理论和方法	240
第一节 可靠度理论的基本概念	240
第二节 可靠度的计算方法	248
第三节 机场水泥混凝土道面可靠度设计方法	254
思考题	260
参考文献	261

第一章 道面结构特点

第一节 道面结构的特性

机场道面是供飞机起飞、着陆、滑行、停放和维护之用。与公路上行驶的车辆相比,它具有其特殊性。作用在道面上的荷载主要是飞机荷载,飞机荷载的特点是荷载范围大(表 1-1),大型飞机的一个主起落架荷载可达 800kN 以上(如 B747-200B 飞机的一个主起落架的荷载达 833kN,而汽车的后轴载在 30 ~ 130kN 之间);大部分飞机的胎压在 1.0MPa 以上,高的可达 1.5MPa,一般汽车的胎压在 0.5 ~ 0.7MPa 之间。机场道面在其使用寿命内承受飞机荷载的重复作用次数在几万至几十万次之间,而高速公路在其使用寿命内承受汽车荷载的重复作用次数在几百万次以上。因此,作用在机场道面上的飞机荷载具有质量大、胎压高、重复作用次数较少的特点。在这样的荷载作用下,道面结构具有其相应的特点,表现为道面结构具有更高的承载能力,要求面层材料有更高的强度,以抵抗飞机高胎压的作用。由于现代飞机采用的是喷气式发动机,飞机的起飞、着陆速度很大,因而还要求道面表面有更好的平整度、抗滑性能。同时,还要保持道面的洁净,防止道面上的杂物被吸入发动机内造成发动机的损坏,引起飞行事故。由于不同类型飞机的荷载变化范围大,对于供不同飞机使用的机场道面,不可能采用某一标准的荷载进行道面结构设计,只能采用所使用的飞机中某一种飞机作为设计飞机进行道面结构设计。

飞机起落架荷载情况

表 1-1

机 型	最大起飞质量(kg)	一个主起落架上质量(kg)	胎压(MPa)
J7	8 824	3 909	0.98
J8	16 538	7 004	1.27
H6	75 800	35 095	0.88
B747-200B	352 893	83 276	1.37
B737-200	52 616	23 940	1.10
MD-82	68 266	32 495	1.27
Airbus A 300	157 000	73 001	1.41

第二节 道面结构的分类

道面结构的力学特性决定了道面结构在设计时采用哪一种力学计算模型。按照道面结构的力学特性,道面结构可分为刚性道面、柔性道面和复合式道面。

一、刚性道面

刚性道面的特点是面层的刚度大,在荷载作用下,其产生的变形小。道面结构的强度主要是靠面层来承担,道面结构可以用弹性地基上的板的力学模型来表示。道面板的抗弯拉强度往往作为道面结构设计的依据,其代表性的道面结构是水泥混凝土道面。

二、柔性道面

柔性道面的特点是面层刚度较小,在荷载作用下道面结构产生的变形大;道面结构的本身抗拉强度较低,它通过各结构层将飞机荷载传递给土基,使土基承受较大的单位压力;道面结构的强度表现为整体的强度。道面结构的力学特性常用弹性层状体系力学模型来表示,其代表性的道面结构是沥青混凝土道面。

三、复合式道面

复合式道面是指面层由水泥混凝土复合板或水泥混凝土板(CC)及板上沥青混凝土层(AC)所组成的道面结构。水泥混凝土包括:普通水泥混凝土(PCC)、碾压水泥混凝土(RCC)、钢筋混凝土(JRC)和连续配筋混凝土(CRC)。这里复合式道面主要是指在水泥混凝土道面上加铺沥青混凝土面层,分为PCC-AC和RCC-AC复合式道面结构。PCC-AC复合式道面结构主要是由在旧水泥混凝土道面进行沥青混凝土加铺形成的,采用沥青混凝土在旧水泥混凝土道面上加铺可在飞机不停航条件下,利用飞行间隙进行施工,因此,广泛应用在军用和民用机场的水泥混凝土道面翻建中。RCC-AC复合式道面结构中,沥青混凝土面层在一定的厚度范围内可以改善飞机滑行的舒适性。因此,随着沥青混凝土厚度的增加,下层的RCC板的平整度可适当放宽,这样便于不同类型RCC道面的施工。这种道面结构对下层的RCC材料要求也可适当放宽,如掺加适量粉煤灰或利用强度等级低的水泥、当地非规格集料等材料,并可不考虑抗滑、耐磨性能,使造价得以降低。同时,由于面层采用了沥青混凝土,复合式道面结构的表面性能(如抗滑、耐磨、平整度等)较容易恢复。

复合式道面结构,由于混凝土板的刚度远大于沥青混凝土的刚度(两者的弹性模量值可相差一个数量级以上)。复合式道面结构中底层的水泥混凝土存在着接(裂)缝,这些接(裂)缝会在沥青混凝土中形成反射裂缝,造成沥青混凝土面层的损坏,最后造成整个复合式道面的破坏。因此,反射裂缝是RCC-AC和PCC-AC复合式道面的主要破坏形式,必须采取有效措施防止和延缓反射裂缝的产生。

第三节 道面结构要求

由于不同类型的道面结构在飞机荷载作用下表现出的力学特性不同,所要求的结构层次和各层次所起的作用也不同。

对于水泥混凝土道面结构,由于水泥混凝土板的刚度远大于基(垫)层和土基刚度,在荷载作用下,它具有良好的整体性和扩散荷载能力,所产生的弯曲变形很小,使得基层和土基所承受的压力较小。又由于水泥混凝土道面板的刚度很大,属于脆性材料,导致板断裂时所产生的

的挠度较小,要求道面板下的基础产生的变形要小。否则,过大的基础变形会引起道面板的断裂。对于水泥混凝土道面板要求基础有较高的变形稳定性。

机场沥青混凝土道面结构,一般由面层、基层、底基层、垫层和压实土基组成。沥青道面抵抗弯曲变形的能力弱,各层材料的抗拉强度均较小,在机轮荷载的作用下表现出相当大的变形性。因此,从上部传递上来的轮载压力只能传布到较小的面积上。为了保证土基承受合理的压力,需要有较厚的结构层次。由于机场道面所承受的飞机具有荷载大、胎压高,重复作用次数少的特点,要求沥青混凝土道面的结构具有足够的强度。机场沥青混凝土道面结构,必须要有足够的强度,保证飞机大荷载的作用。飞机的高胎压又要求沥青混凝土的面层具有较高的高温稳定性,避免沥青面层出现车辙和沉陷。

除荷载作用外,道面结构还承受冷热变化、干湿变化、冻融和地表水及地下水等自然因素的作用。为了保证道面结构的各种功能,道面结构必须满足以下要求。

1. 强度和刚度

飞机在道面上滑行或停放,不仅把竖向压力传给道面,还会把水平荷载传给道面。此外,道面内的温度变化也会引起温度应力。如果道面结构整体或某一组成部分的强度或抗变形能力不足以抵抗这些应力时,道面就会出现断裂、沉陷、波浪或车辙,使道面使用性能下降。

刚度是指道面结构抵抗变形的能力。若道面的整体或某组成部分的刚度不足,即便是强度够,也会在机轮荷载作用下产生过大的变形,造成道面的破坏。因此要求道面结构整体及其组成部分都要具有与设计飞机荷载相适应的承载能力。

2. 稳定性

道面结构暴露在自然环境中,受各种自然因素(如温度、湿度等)的影响道面结构的性能会发生变化。沥青道面结构的稳定性,包括高温稳定性、低温稳定性和水稳定性。

在炎热的夏季,由于气温高,会造成沥青道面温度过高,沥青道面会软化,在机轮荷载作用下产生永久变形,在道面上形成车辙。在冬季,由于气温低,沥青道面和半刚性基层会因低温产生大量的收缩裂缝,使沥青道面出现开裂。

大气降水和地下水的影响,会使道面结构层内部的湿度状态和水压状态发生变化。由于水分的侵蚀,会引起道面结构的强度降低。对于水泥混凝土道面会引起唧泥、板边和板角等损坏;对于沥青混凝土道面则会引起沥青面层的松散、剥落等,以及道面结构强度的降低,产生沉陷。

3. 耐久性

道面结构受机轮荷载和自然因素长期、反复的作用,其各项性能随着使用时间的延长而逐渐下降,最后出现损坏。要提高道面结构的耐久性,保证道面结构的各项性能指标在设计使用年限内满足使用要求。

4. 表面平整度

道面表面的平整度会影响飞机滑行的舒适性和安全性。不平整的道面会增加飞机的颠簸,影响飞机的驾驶;增加飞机的附加振动力,对道面结构产生冲击力,从而加剧道面结构的损坏和飞机机件的损坏以及机轮轮胎的磨损。因此,道面表面的平整度应符合一定要求,以减少对道面的冲击和对飞机产生振动,保证飞机的安全性和舒适性。

5. 表面抗滑性

光滑的道面会使机轮与道面之间的摩擦力减小,导致飞机着陆时制动距离过长而冲出跑道,引起飞行事故。因此要求道面表面具有合适的抗滑性能,通常用摩擦系数来表示道面的抗滑性能。若摩擦系数小,则抗滑性能低,容易引起滑溜。若摩擦系数过大,则会加速机轮的磨损,增大飞机的起飞距离。沥青道面的抗滑性能主要是通过采用坚硬、耐磨、表面粗糙的粒料和合理的级配来实现的。道面表面的干湿状态、积雪和污染等都会影响道面表面的抗滑性能。如在湿跑道上滑行时,飞机容易产生水上漂滑而失去控制,引起飞行事故。

6. 表面洁净

道面表面,应洁净,无砂、石和碎块,以免打坏飞机发动机,或引起机轮的爆裂,危及飞行安全。这要求加强对道面表面的清扫和养护。

第四节 道面结构的设计方法

目前,机场道面常用的结构为水泥混凝土道面和沥青混凝土道面。由于这两种道面结构在荷载作用下表现出的力学及组成材料的特性的不同,所建立的结构设计方法也不尽相同,形成了水泥混凝土道面和沥青混凝土道面的设计方法。

一、水泥混凝土道面结构设计方法

水泥混凝土道面属于刚性道面,其特点是水泥混凝土面层具有较高的弹性模量和较高的力学强度。水泥混凝土道面可分为素(不配筋)混凝土道面、配筋混凝土道面、钢筋混凝土道面、预应力混凝土道面和纤维混凝土道面。在水泥混凝土道面中加入钢筋主要有两种作用:一是保持道面结构不变,增大板的尺寸,如配筋混凝土道面;二是加强道面板的强度,即提高道面板的抗拉强度,如钢筋混凝土道面、预应力混凝土道面。为了提高混凝土的耐久性和混凝土的抗磨损性,在水泥混凝土中加入纤维,形成纤维混凝土,并把它作为道面结构的面层,成为纤维混凝土道面。目前,在混凝土加入的纤维分为两大类:一是钢纤维;二是高分子聚合物纤维(如聚丙烯纤维)。由于现代飞机采用高胎压机轮,在道面混凝土中加入钢纤维可能会危及高速滑行的飞机机轮,而采用高分子聚合物纤维则可以避免混凝土中的纤维可能对飞机机轮产生的危害。这些道面有一个共同的特点,即道面板的强度作为水泥混凝土道面结构设计的控制指标。因此,水泥混凝土道面结构设计方法的发展主要表现在两个方面:一是道面板的强度表示方法;二是荷载作用下道面板的应力计算方法。道面板的强度最初采用允许应力来表示,即混凝土的设计强度除以安全系数。为了反映交通量对道面结构设计的影响,道面板的强度采用疲劳强度。道面混凝土的疲劳方程,从考虑荷载单应力疲劳方程发展到了考虑荷载和温度共同作用的双(低、高)应力疲劳方程。

最早的道面结构的应力计算理论是根据材料力学理论建立起来的,它把道面板看作是板角脱空的悬臂梁。1926年威斯特卡德(H. M. Westergaard)在室内道面板的试验结果的基础上,建立了以文克勒(Winkler)地基上薄板为力学模型的应力计算公式,并给出荷载作用在板中、板边中点和板角三个位置上的应力计算公式。该计算公式至今还被广泛应用。霍格(A. H. A. Hogg)于1938年最先提出了以弹性半空间地基上薄板为力学模型的应力分析方法。

1939年,舍赫捷尔(О. Я. Шехтер)提出了以弹性地基上有限尺寸圆板为力学模型的分析方法。此外,1943年波米斯特(D. M. Burmister)和1953年柯岗(Б. И. Koran)等人,在水泥混凝土道面荷载应力研究方面都做出了重要贡献,他们的研究成果为水泥混凝土道面荷载应力分析和建立道面结构设计方法奠定了基础。由于道面应力的解析分析仅能求解一些特殊情况下的应力解(如无限大板,有限尺寸圆板等),20世纪60年代发展起来的数值分析方法被广泛应用到道面结构的应力分析中。这些数值分析方法包括有限元法、半解析法、边界元法等,其中应用最广泛的是有限元法。由于数值分析法能分析各种条件下不同板形和板的边界条件等道面结构,以及在不同荷载和温度作用下的应力,因此,被广泛应用到机场水泥混凝土设计方法中的应力求解。数值分析法的采用使得水泥混凝土道面的应力分析达到一个新的阶段。目前,国内机场和公路水泥混凝土道面设计方法中均采用有限元法分析荷载应力。

由于水泥混凝土是一种温度敏感材料,在周围环境温度的变化下,道面板会产生温度应力。因此,需要对道面板的温度应力状况进行分析。1927年,Westergaard采用Winkler地基板,提出了混凝土路面翘曲温度应力的分析方法,后来,Bradbury根据Westergaard温度应力计算公式绘制了温度应力系数曲线。目前被广泛采用的仍然是Westergaard于1927年提出,后经Bradbury发展的这一计算理论。1940年,Thomlinson假设路顶面温度随时间呈正弦变化,导出了温度沿板厚呈非线性变化时的温度应力计算公式。而后,Ghosh在1960年提出了一种新的计算方法,考虑Winkler地基上的矩形板在正温度梯度(顶面温度高于底面)作用下中部拱起时,由于板的自重约束所引起的翘曲应力。Hanna也于1971年提出了类似的方法,采用刚性地基上圆板的假设,导出了正温度梯度作用下因自重约束而产生的翘曲应力计算公式。1993年,Fwa利用经典薄板理论,得出了Pasternak地基上水泥混凝土板的温度应力解,研究表明Winkler地基上的解只是Pasternak地基上的解的特例,且后者的假定比前者更符合实际情况。20世纪60年代中期以来,有限单元法被用于公路水泥混凝土路面的温度翘曲应力的计算。有限单元法分析了Winkler地基和弹性半空间体地基上混凝土板的温度翘曲应力,分析时考虑了自重约束和板同地基部分脱空的影响。有限元的应用解决了弹性半空间体地基上板的翘曲应力计算,并采用Westergaard用于Winkler地基板的翘曲应力的公式形式。

目前,国外机场水泥混凝土道面结构代表性的设计方法有波特兰水泥协会(PCA)的机场水泥混凝土道面设计方法,美国联邦航空局(FAA)设计方法,美国陆军工程兵法,日本机场水泥混凝土道面设计方法等。绝大部分的设计方法只考虑荷载应力,对于温度应力忽略不计。其荷载应力的计算是以Westergaard理论公式为基础,采用允许应力法进行道面板厚度计算。

二、沥青混凝土道面设计方法

沥青道面设计方法的发展随着沥青道面技术的发展而发展。目前在世界范围内,沥青混凝土道面的设计方法很多,可以归结为以下几种。

1. 经验法

经验法以美国陆军工程兵CBR设计方法为代表。CBR的概念是在1929年最初由美国加利福尼亚州公路局提出,其主要特征是路面的厚度是由土基的CBR值所决定的,建立了路基CBR值与路面厚度的关系。第二次世界大战期间,美军为修建机场的需要,对各种柔性路面设计方法进行了广泛调查,最后决定采用CBR设计方法作为机场沥青道面的设计方法,并对

公路路面的 CBR 法进行了修正。其修正的依据是认为飞机质量大于汽车,所需的道面厚度要大一些。美军工程兵首先将 CBR 设计法引用到机场道面设计中, CBR 设计法对后来机场沥青道面方法的发展影响很大, 美国联邦航空局 (FAA) 法、日本民航机场沥青道面设计法等都是在 CBR 设计法的基础上发展起来的, 国内的民航沥青混凝土道面也是基于 CBR 的设计方法。CBR 设计法是目前国外广泛应用且具影响的一种沥青混凝土道面设计方法。

CBR 设计法的优点是能够在实验室用简单的方法确定设计所需的土和各种材料的计算参数, 即 CBR 值, 同时由于长期、广泛被采用, 积累了丰富的工程实践经验。值得指出的是, CBR 作为一个强度指标, 在本质上同弯沉是一样的, 它们都是表征道面抵抗垂直变形的能力, 不同点只是表达方式有差别: 前者以产生一定变形的荷载来表示路面的抗垂直变形能力, 后者则以一定荷载下的变形来表示路面的抗垂直变形能力。这两种指标中的任何一个都不比另一个更完善。除此以外, CBR 法的经验性重些, 而弯沉则可与理论相联系, 所以 CBR 法同以弯沉为指标的方法是相一致的, 能在大多数场合保证道面的质量。然而, 这个方法存在一个重要缺点, 即无法对结构组合的合理性进行比较, 对道面各结构层特别是上层传布荷载的能力没有充分反映出来。用 CBR 法设计对于防止沉陷、变形是有效的, 对于防止开裂则是不可靠的。有些道面按 CBR 法设计, 强度即使达到了高标准, 却仍较早地出现开裂损坏。

2. 标准结构图法

采用标准结构图法的有英国、法国、德国和加拿大等国家。这种方法是大量的现场试验、长期的实践经验与层状体系理论分析相结合的产物。它最大的优点是能将设计计算工作量减小到最低限度, 因而使用极其方便。但是, 对复杂多变的交通和环境条件做出了标准化的归并以后, 在设计中要充分体现因地制宜、就地取材的原则就有困难, 设计方案也不容易达到经济合理。因此, 这种方法在幅员广大的国家采用不一定合适。

3. 解析法

路面力学和计算技术的发展, 为沥青混凝土道面设计创造了很好的条件。国外的机场沥青道面和国内公路沥青路面出现了以弹性层状体系理论为基础的设计方法, 称为解析法或理论法。国外的代表性方法是壳牌石油公司 (SHELL) 提出的方法。该方法将道面结构当作多层线弹性体, 各层材料特性用弹性模量和泊松比表征。假设轮载为圆形均布荷载, 编制了弹性多层体系位移和应力的计算程序。设计标准为沥青混凝土层的水平拉应变和路基表面的压应变, 其他标准包括任何结合料基层中的允许拉应变以及各层变形导致的路表累积永久变形。针对温度对沥青混凝土性能的影响, 提出了劲度模量的概念。劲度模量反映了沥青混合料的黏弹性性质, 它由集料体积、沥青含量和沥青的劲度来确定; 其中沥青的劲度可根据荷载作用时间、温度和针入度指数来确定。SHELL 的研究成果对沥青路面的研究产生了很大的影响, SHELL 设计法也成为一种国际设计方法在世界许多国家应用。我国交通运输部《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006) 也是将路面看作一双圆垂直荷载作用下的多层线弹性连续体系, 设计标准为路表的回弹弯沉, 对高速公路及一、二级公路还要验算面层和半刚性基层、底基层底部的拉应力。路表回弹弯沉实际反映了路面结构的综合强度。

解析法克服了前两类设计法的局限性, 能对任何交通及环境条件做出切合实际的设计, 同时关于材料性质方面的最新研究成果能够予以考虑。解析法的关键在于要精确地确定各结构层的应力、应变和位移的容许值, 要有确定土和材料弹性参数的可靠方法, 要有高精度的多层

体系计算方法。目前,国内军用机场沥青混凝土道面的设计方法就是采用解析法,它是以弹性层状体系理论为基础建立起来的设计方法。FAA 和我国民用机场沥青混凝土道面也开始采用解析法建立道面结构设计方法。

三、基于可靠性理论的设计方法

解析法或经验法等都是采用定值设计法。所谓定值设计法是指设计参数的取值都是不变的定值,或者只在某些参数上(如材料强度、设计荷载等)部分考虑了其变异特性,采用统计的结果。由于机场道面结构的各参数和荷载受各种偶然因素的影响,都是时间和空间上的随机函数。而定值设计法中取的参数定值不能反映这些参数的随机分布,也就不能反映出道面结构可靠度的本质。以可靠性理论为基础的设计方法,承认和揭示了道面结构参数中存在着不确定性,并在结构设计中充分考虑了施工技术和管理水平的影响,使设计、施工和管理形成一个有机的整体,是机场道面设计方法的发展方向。

思 考 题

1. 简述机场道面结构的特点。
2. 简述刚性道面和柔性道面所具有的力学特性。
3. 机场道面结构的要求包括哪些方面?
4. 综合分析水泥混凝土道面结构设计方法的发展历史和特点。
5. 综合分析沥青混凝土道面结构设计方法的发展历史和特点。

第二章 道面上作用飞机荷载分析

飞机在机场道面上停放、滑行、着陆、转弯和制动等,会对道面产生各种作用。停放时会对道面产生竖向压力;滑行时会对道面产生竖向压力、水平力和冲击力;制动和转弯时会产生竖向力和侧向力。在进行道面结构分析时,首先要了解这些作用力的特性和掌握荷载的计算方法。

第一节 起落架构型和轮印

飞机主起落架的构型与飞机的质量和用途直接相关。现代飞机的胎压有逐渐增大的趋势。歼(强)机、歼击轰炸机由于要求飞机机动性好,往往采用单轮起落架,并且为了减少起落架的尺寸,采用高胎压机轮;民用客机为了提高其效能,也采用高胎压机轮,如表 2-1 所示。

飞 机 胎 压 表 2-1

机 型	J-6	B737-200	B737-300	B737-500	B-737-600	B-737-900
胎压(MPa)	1.08	1.26	1.40	1.28	1.34	1.47
机 型	B767-200	B767-300	B777-200	B777-300	A340-200	A330-500
胎压(MPa)	1.24	1.38	1.28	1.48	1.42	1.42

运输机为了适应各种类型道面的起降,如为保证在土跑道起降,往往采用多轮多轴起落架,且为低胎压机轮,如表 2-2 所示。

军用运输机的胎压 表 2-2

机 型	Y-7	Y-8	IL-76	C-5
胎压(MPa)	0.59	0.78	0.52	0.765

大型、特大型运输机、客机和重型轰炸机由于飞机质量大,为了满足飞机荷载的需要或适应不同道面条件的起降,其起落架构型多变且形式复杂。

飞机的主起落架的形式可以分为单轮、双轮、三轮、四轮、单轮双轴、双轮双轴、三轮双轴、四轮双轴、单轮三轴、双轮三轴、三轮三轴、四轮三轴等,如图 2-1 所示。



图 2-1

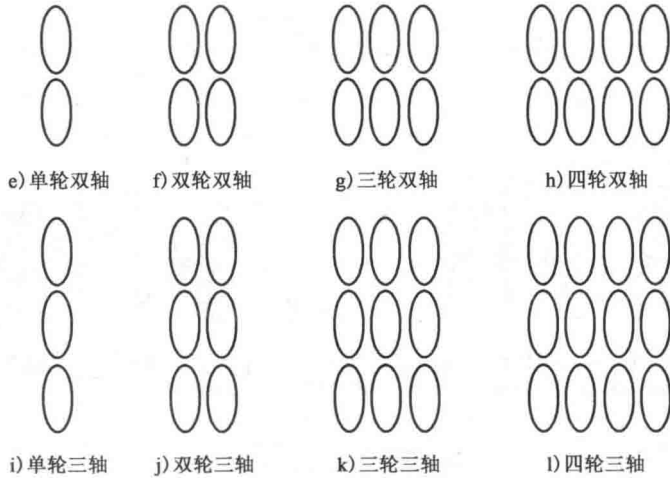


图 2-1 通常起落架形式

现有飞机的起落架典型形式如图 2-2 所示。

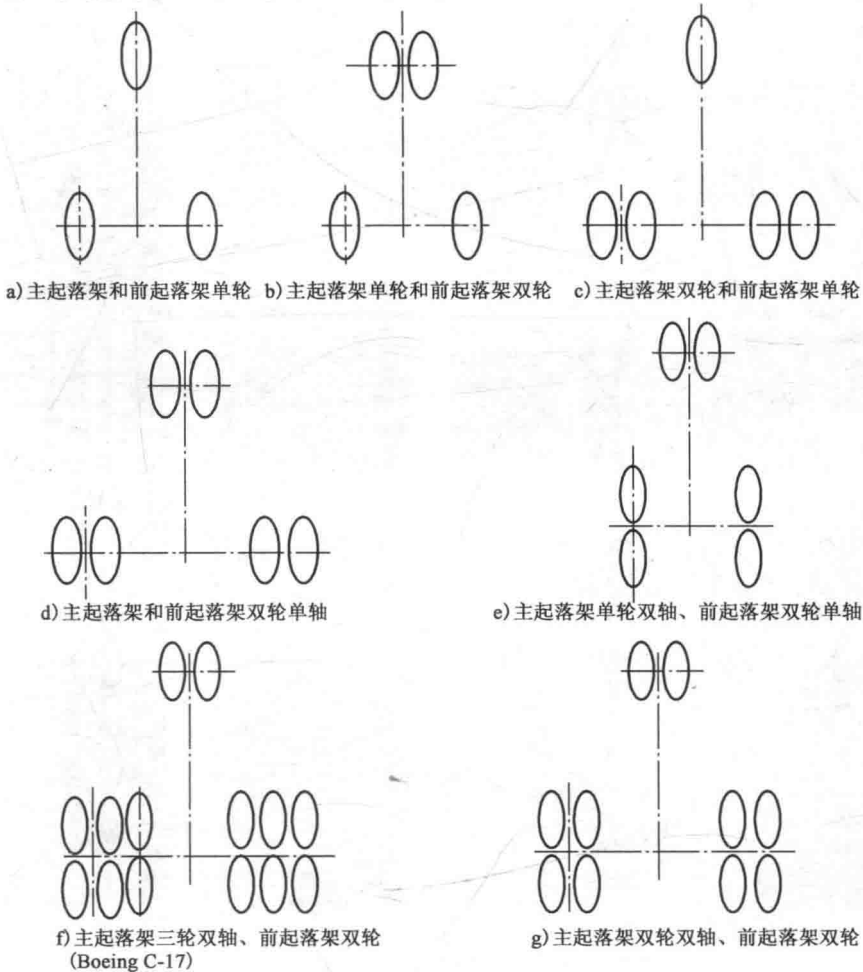


图 2-2

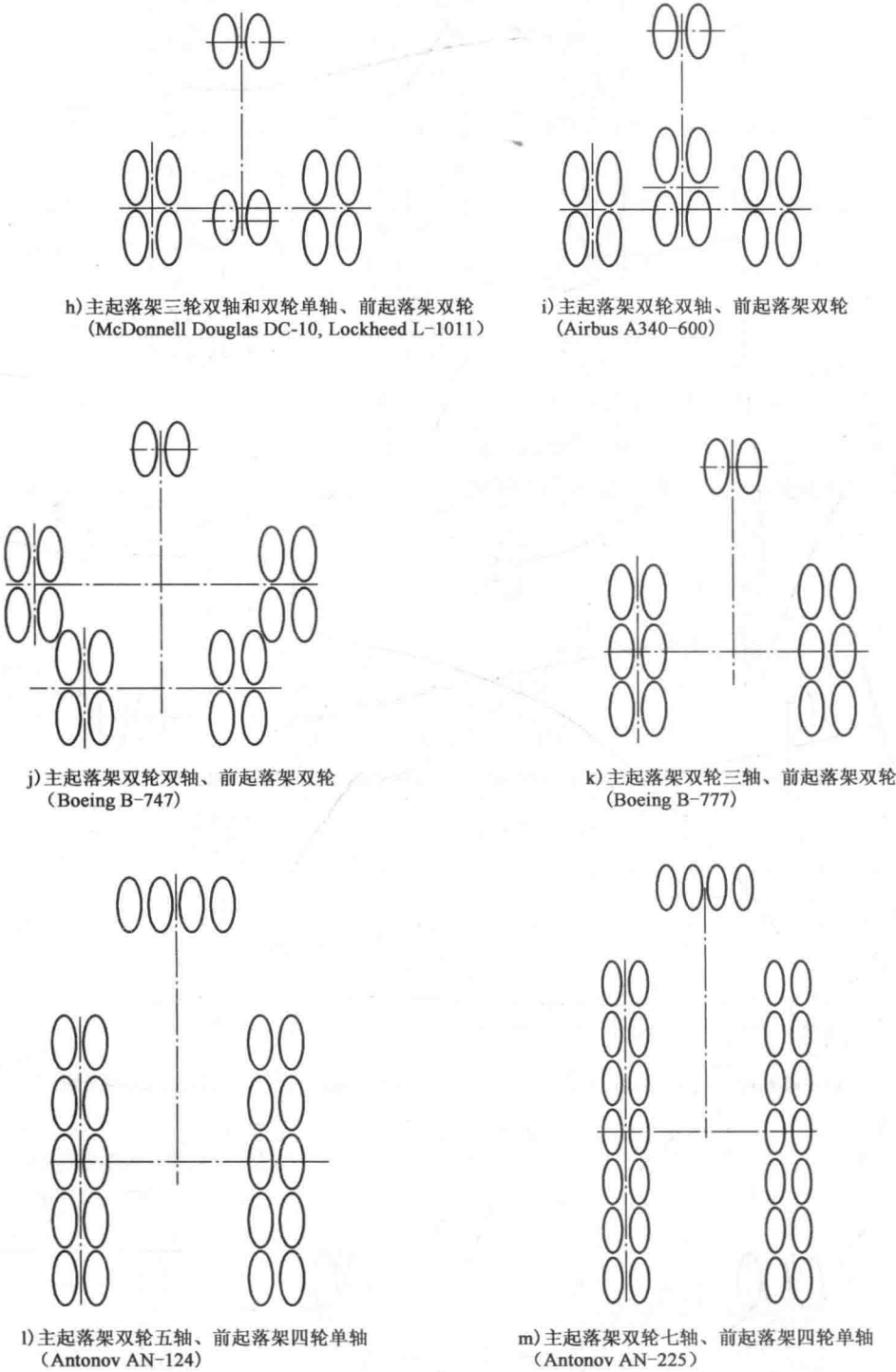


图 2-2

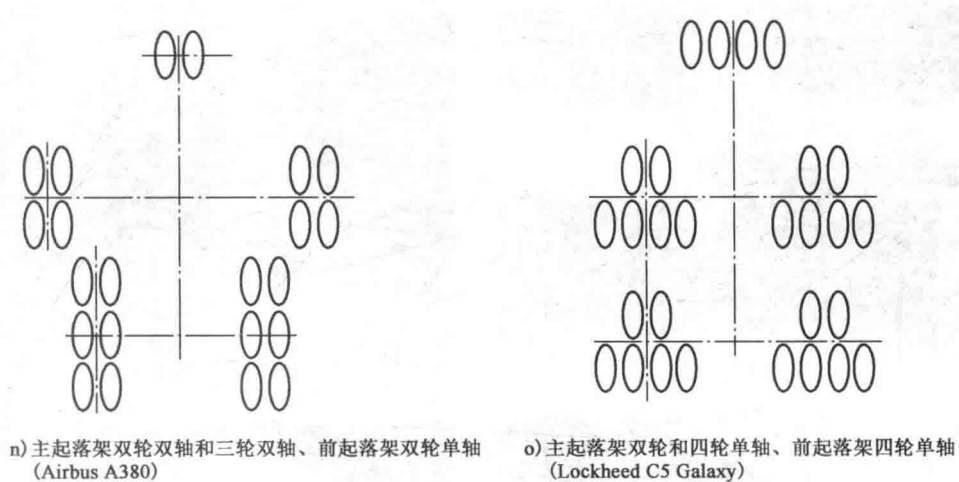
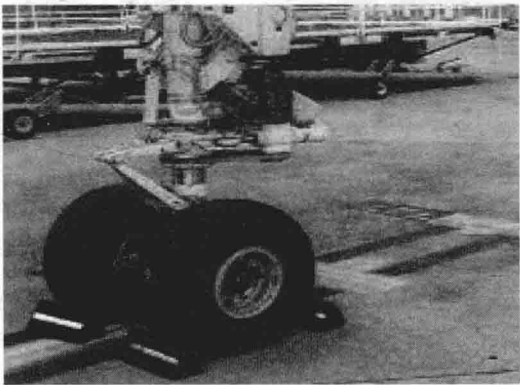


图 2-2 现有飞机起落架典型形式

飞机主起落架的实际结构如图 2-3 所示。



a) 单轮单轴起落架



b) 双轮单轴起落架



c) 双轮双轴起落架1



d) 双轮双轴起落架2

图 2-3