



21世纪交通版高等学校教材
机场工程系列教材

机场道面施工与维护

Construction and Maintenance of Airport Pavement

彭余华 廖志高 主 编



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

21世纪交通版高等学校教材
机 场 工 程 系 列 教 材

机场道面施工与维护

彭余华 廖志高 主编



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

内 容 提 要

本书为 21 世纪交通版高等学校教材、机场工程系列教材之一。全书内容共分十章,依次为绪论、道面集料的生产、基层施工、水泥混凝土道面施工、沥青道面施工、道面分区与调查、道面损坏状况评价、道面结构性能测试与评价、道面功能性能测试与评价、道面维护技术等。

本教材可作为机场工程、交通工程、道路与铁道工程等专业本科和硕士研究生的教学用书,也可供机场道面及道路工程设计、施工、管理与研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机场道面施工与维护 / 彭余华, 廖志高主编. —北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2015. 8

21 世纪交通版高等学校教材 机场工程系列教材
ISBN 978-7-114-12452-5

I. ①机… II. ①彭… ②廖… III. ①飞机跑道—路面施工—高等学校—教材②飞机跑道—路面—维修—高等学校—教材 IV. ①V351.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 196982 号

21 世纪交通版高等学校教材
机 场 工 程 系 列 教 材

书 名: 机场道面施工与维护

著 作 者: 彭余华 廖志高

责任编辑: 丁润铎 任雪莲 周 凯

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.ccpress.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: 16.5

字 数: 381 千

版 次: 2015 年 8 月 第 1 版

印 次: 2015 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12452-5

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

机场作为航空运输和城市的重要基础设施,是综合交通运输体系的重要组成部分。经过几十年的建设和发展,我国民用运输机场体系已经初具规模,为保证我国航空运输持续快速健康协调发展,促进社会进步和对外开放,以及完善国家综合交通体系等,发挥了重要作用。21世纪初是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国民用航空从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,民用机场基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务。

当今世界,科学技术发展突飞猛进,我国民用机场、公路等行业发展取得了令人瞩目的成就。随着我国民用机场数量及航空业务量的不断增加,对机场道面施工、维护质量也提出了更高的要求。本书紧密结合现行民用机场技术规范,充分吸收机场、公路行业相关最新技术成果,体现了目前国内外在机场场道施工与维护方面的新理念、新技术、新方法。本书注重在基本原理、分析思路和技术方法等方面的论述,力求内容的理论性与实践性、系统性与先进性及可读性与可操作性并重。

全书共分十章,依次为绪论、道面集料的生产、基层施工、水泥混凝土道面施工、沥青道面施工、道面分区与调查、道面损坏状况评价、道面结构性能测试与评价、道面功能性能测试与评价、道面维护技术。本书可作为机场工程、交通工程、道路与铁道工程等专业本科和硕士研究生的教学用书,也可供机场道面及道路工程设计、施工、管理与研究人员参考。

本书由长安大学机场工程系彭余华教授、中国民用航空局民航专业工程质量监督总站廖志高高级工程师主编。参加编写的有:彭余华、廖志高编写第一~五章,沈照庆、谢晓莉编写第六、九章,张驰编写第七、八、十章。全书由彭余华、廖志高负责统稿。在本书编写过程中,长安大学硕士研究生梁增洁、肖沙沙、庄宝利、胡顺峰等参与了大量的文稿整理工作,并得到了中国民用航空局民航专业工程质量监督总站、中国航空港建设第九工程总队、广东省机场管理集团有限公司、上海华东民航机场建设监理有限公司等单位的大力支持。

本书在编写过程中,参考了有关标准、规范、教材和论著,在此谨向有关编著者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,请读者批评指正。

编 者

2014年12月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 机场道面发展状况	1
第二节 飞行区等级指标与场道组成	3
第三节 机场道面构造与分类	7
第四节 机场道面受力特性与使用要求	10
第五节 课程内容与依据	12
第二章 道面集料的生产	14
第一节 集料破碎设备	14
第二节 集料筛分设备	17
第三节 集料的生产工艺	20
第三章 基层施工	24
第一节 机场道面基层技术要求	24
第二节 水泥稳定类基层	26
第三节 石灰稳定类基层	35
第四节 石灰粉煤灰类基层	40
第五节 级配碎石	46
第六节 基层施工质量控制	53
第四章 水泥混凝土道面施工	56
第一节 水泥混凝土道面的技术要求	56
第二节 水泥混凝土道面分块与接缝	58
第三节 水泥混凝土道面材料组成设计	64
第四节 水泥混凝土道面施工作业	70
第五节 水泥混凝土道面接缝材料与施工	81
第六节 特殊气候条件下水泥混凝土道面施工	83
第七节 水泥混凝土道面质量管理与检查验收	85
第五章 沥青道面施工	88
第一节 沥青道面的技术要求	88
第二节 沥青混合料配合比设计	97
第三节 沥青混合料的生产	106
第四节 沥青道面施工准备	112
第五节 沥青混合料的运输与摊铺	115
第六节 沥青混合料碾压	117
第七节 道面接缝与接坡	121
第八节 沥青道面施工质量控制与检查验收	123

第六章 道面分区与调查	127
第一节 道面分区.....	127
第二节 道面调查.....	130
第七章 道面损坏状况评价	137
第一节 水泥混凝土道面损坏鉴别及计量标准.....	137
第二节 沥青道面损坏鉴别及计量标准.....	150
第三节 道面损坏状况调查方法.....	162
第四节 道面损坏状况评价方法.....	165
第八章 道面结构性能测试与评价	170
第一节 道面结构性能评价参数.....	170
第二节 道面结构性能测试方法.....	174
第三节 道面结构的反演分析.....	178
第四节 机场道面结构性能评价.....	183
第九章 道面功能性能测试与评价	193
第一节 道面抗滑性能测试与评价.....	193
第二节 道面平整度测试与评价.....	198
第三节 道面排水性能测试与评价.....	202
第十章 道面维护技术	205
第一节 道面剩余寿命预估.....	205
第二节 机场道面不停航施工管理.....	208
第三节 水泥道面维护技术.....	210
第四节 沥青道面维护技术.....	220
第五节 道面基层养护维修技术.....	222
附录 A 水泥混凝土道面损坏折减曲线	236
附录 B 沥青道面损坏折减曲线	238
附录 C 各种飞机型号的 ACN	241
参考文献	255

第一章 绪 论

第一节 机场道面发展状况

机场道面是供飞机起飞、着陆滑跑以及进行飞行前准备和维护保养的场地。从 1903 年美国的莱特兄弟实现人类第一次用重于空气的飞行器进行动力飞行以来,人类的航空事业得到了迅猛的发展。世界上出现的第一个机场位于美国的卡罗莱纳州的基蒂·霍克附近的一片海滩上,莱特兄弟发明的飞机就是从这里起飞的。

在飞机出现的初期,并没有专门修筑的机场道面,而是利用平坦的地面、广场或练兵场进行起飞和着陆。我国第一个机场是 1910 年在北京南苑的练兵场内开辟的。当时的飞机在侧风下起降能力差,机场道面多被建成方形或圆形,以保证飞机在任何风向时都能起降。为了提高土质道面的承载能力,并减少扬尘的影响,机场上种植了草皮,这种机场道面直到目前还在一些初级航校和农用机场中使用。

随着飞机质量和胎压的不断增大,以及应对全天候飞行的要求,原有的机场道面已不能满足飞机的使用要求。即使铺种草皮并有完好排水设施的土道面,由于在雨季常常不能使用,而被逐渐淘汰。20 世纪 30 年代初期出现了用石料铺筑的机场道面,也有用结合料处治的道面。20 世纪 40 年代,喷气式飞机投入使用,其发动机喷出的高温、高速气流,扩散到道面上的温度约为 150°C ,速度可达 60m/s 左右,土质、草皮和一般的砂石道面已不适用,于是采用沥青混凝土和水泥混凝土修建的高级道面迅速增加。为适应喷气式飞机发展的需要,美国在第二次世界大战期间,先后修建了 300 多座水泥混凝土道面的机场。

第二次世界大战以后,飞机的总质量和轮胎压力增大更快。军用歼击机的总质量由 20 世纪 50 年代的 $5\sim 6\text{t}$,提高到现代的 20t ,轮胎压力由 $0.7\sim 0.8\text{MPa}$ 增大到 1.5MPa 。大型运输机的总质量更大,美国的 C-5 和 B747 型飞机的总质量在 350t 以上,轮胎压力达到 1.3MPa 以上。这些飞机对道面提出了更高的要求:不仅要求机场道面有足够的承载能力,而且要求道面表面平整度要好,滑行平稳舒适,表面较粗糙,易于飞机制动,以防止雨天飘滑,发生危险。国内外许多大型机场都相继修筑了坚固耐用的机场道面,有的机场还修筑了多条跑道,以适应不断增加的起落架次。如巴黎奥利机场、北京首都国际机场有 3 条跑道,纽约肯尼迪机场有 4 条跑道,芝加哥奥黑尔机场有 7 条跑道。这些机场道面都是以水泥混凝土和沥青混凝土为主。有的跑道两端采用水泥混凝土道面,中间用沥青混凝土,称为混合式道面。大型机场在高级道面一侧要设置土质道面,以备飞机起落架故障时迫降使用。表 1-1 为国际民航组织 (ICAO) 1980 年的统计资料,它包括 147 个成员国的 1 038 个机场,1 718 条跑道的道面分类情况。由表中数据可以看出,水泥混凝土和沥青混凝土道面约占 88%。根据国际民航组织 1999 年的调查数据,使用沥青混凝土跑道的占 62.6%,欧洲沥青路面协会于 2003 年对机场道面状

况进行了统计,涉及的 362 个机场中使用沥青混凝土道面的占 62.4%。

国际民航组织 (ICAO) 机场道面类型统计表 表 1-1

道面类型	水泥 混凝土	沥青 混凝土	沥青及水 泥混凝土	碎石	草皮或土	红土	珊瑚	砂	砖	有孔钢板
数量(条)	433	823	253	21	134	22	9	19	2	2
百分比(%)	25.2	47.9	14.7	1.2	7.8	1.3	0.5	1.1	0.15	0.15

运输机场是国家综合交通基础设施的重要组成部分,是民航最重要的基础设施。“十二五”时期,我国民航发展迎来新的历史机遇期,民航大众化、多样化趋势明显,快速增长仍是阶段性基本特征。根据民用机场布局规划的指导思想、目标和原则,依据已形成的机场布局,结合区域经济社会发展实际和民航区域管理体制现状,我国重点培育国际枢纽、区域中心和门户机场,完善干线机场功能,适度增加支线机场布点,构筑规模适当、结构合理、功能完善的北方(华北、东北)、华东、中南、西南、西北五大区域机场群。上述布局规划实施后,全国省会城市(自治区首府、直辖市)、主要开放城市、重要旅游地区、交通不便地区以及重要军事要地均有机场连接,形成功能完善的枢纽、干线、支线机场网络体系,大、中、小层次清晰的机场结构,航空运输整体发展能力和国际竞争力显著增强;机场与铁路、公路、水运以及相关城市交通等交通方式的衔接更加紧密,与城市发展更加协调,与军航发展相互促进,共同构成现代综合交通运输体系。至 2020 年,我国布局规划民用机场总数将达 244 个。

截至 2014 年,我国(不包括港澳台地区)共有颁证民用航空机场 202 个,其中定期航班通航机场 200 个,定期航班通航城市 198 个。年旅客吞吐量达到 100 万人次以上的通航机场有 64 个,年旅客吞吐量达到 1 000 万人次以上的有 24 个。年货邮吞吐量达到 10 000t 以上的有 50 个。2014 年全国民航完成旅客运输量 83 153.3 万人次,旅客周转量 560.34 亿 t 公里,比上年分别增长 10.2% 和 11.7%。2014 年中国旅客吞吐量排名前十的机场跑道概况如表 1-2 所示。

2014 年中国十大机场旅客吞吐量及跑道概况 表 1-2

机 场 名 称	旅客吞吐量(万人)				现有跑道(条)	跑 道 等 级
	名次	2014 年	2013 年	比上年同期 增减(%)		
北京/首都国际机场	1	8 612.83	8 371.235 5	2.89	3	两条 4E 级,一条 4F 级
广州/白云国际机场	2	5 478.28	5 245.026 2	4.45	3	一条 4E 级,两条 4F 级
上海/浦东国际机场	3	5 166.18	4 718.984 9	9.48	3	一条 4E 级,两条 4F 级
上海/虹桥国际机场	4	3 796.02	3 559.964 3	6.63	2	两条 4E 级
成都/双流国际机场	5	3 750.7609	3 344.461 8	12.15	2	一条 4E 级,一条 4F 级
深圳/宝安国际机场	6	3 627.25	3 226.845 7	12.41	2	一条 4E 级,一条 4F 级
昆明/长水国际机场	7	3 229.8	2 968.829 7	8.79	2	一条 4E 级,一条 4F 级
重庆/江北国际机场	8	2 926.44	2 527.203 9	15.80	2	两条 4E 级
西安/咸阳国际机场	9	2 926.02	2 604.467 3	12.35	2	一条 4E 级,一条 4F 级
杭州/萧山国际机场	10	2 552.6	2 211.410 3	15.43	2	一条 4E 级,一条 4F 级

机场道面施工质量直接影响飞机在道面上运行的安全性,因此全面掌握道面施工技术十分重要。而且,道面在使用过程中,受飞机荷载和自然环境等因素的影响,将逐渐产生各种病害,危及飞行安全,当机场跑道道面功能下降至不能满足正常使用要求时,就需要进行维护。

随着我国民航事业的飞速发展,为了使飞行区适应飞机起降架次的不断增长、机场运行航班密度的增加和运行时间的延长,在机场道面的使用过程中,需要定期对道面进行检查、检测和维护,以延长道面的使用寿命,提高飞行的安全性。

例如,厦门高崎国际机场在使用过程中通过对场道进行定期的维护保证了其使用质量。该机场于1994年二期工程扩建时对原水泥混凝土道面进行了沥青混凝土加铺;2000年进行道面喷洒乳化沥青的封层保护;2004年委托专业机构对跑道道面病害进行了全面的检查、统计、分析与试验,对跑道道面约6 000m长的裂缝进行了开槽灌缝处理;2005年对联络道和快滑道进行了大修处理;2008年实施了二次加铺工程;2011年又委托专业机构对道面病害区进行了检测与分析,从而保证了机场道面良好的使用性能。

我国《民用机场飞行区场地维护手册》(WM-CA—2000—8)和《民用机场飞行区场地维护技术指南》(AC-140-CA—2010—3)对飞行区场地维护材料、工艺、机具等方面进行了详细介绍,提供了各项维护工作的推荐方法和操作细则,规定了与机场维护有关的职责。机场应结合其实际情况合理安排并定期开展机场场道的日常维护工作,应根据道面病害类型选择恰当的有效的处治方法;宜在损坏程度轻微时采取合理措施,防止病害进一步发展。

近年来,我国民用机场积极借鉴了国外机场及国内公路行业成功应用的道面维护新技术。这些技术主要有:沥青道面预防性养护技术、沥青道面现场热再生技术、水泥混凝土道面表层处理技术和水泥混凝土道面应急性抢修技术。机场道面维护新技术的推广应用,对改善跑道的使用性能,延长跑道的使用寿命,降低跑道的养护费用,保证飞行安全等方面均具有重要意义。

第二节 飞行区等级指标与场道组成

飞行区指供飞机起飞、着陆、滑行和停放使用的场地,包括跑道、停止道、净空道升降带、跑道端安全区、滑行道、机坪以及机场周边对障碍物有限制要求的区域。

一、飞行区等级指标

国际民航组织于1982年7月改用两个指标划分飞行区等级。机场飞行区应按指标I和指标II进行分级,机场飞行区指标I和指标II应按拟使用该飞行区的飞机的特性确定。飞行区指标I按拟使用该飞行区跑道的各类飞机中最长的基准飞行场地长度,分为1、2、3、4四个等级;飞行区指标II按拟使用该飞行区跑道的各类飞机中的最大翼展或最大主起落架外轮外侧边的间距,分为A、B、C、D、E、F六个等级,两者中取其较高要求的等级。具体方法如表1-3所示。

飞行区等级指标

表 1-3

飞行区指标 I	飞机基准飞行场地长度(m)	飞行区指标 II	翼展(m)	主起落架外轮外侧边间距(m)
1	<800	A	<15	<4.5
2	800~1 200(不含)	B	15~24(不含)	4.5~6(不含)
3	1 200~1 800(不含)	C	24~36(不含)	6~9(不含)
4	≥1 800	D	36~52(不含)	9~14(不含)
		E	52~65(不含)	9~14(不含)
		F	65~80(不含)	14~16(不含)

我国民航业界过去按航程远近、飞机最大起飞质量和一个起落架上的质量将机场分为四个等级,从 1986 年开始采用国际民航组织的机场等级划分方法。我国军用机场按使用飞机的类型进行机场分级,将机场分为一、二、三、四级,如表 1-4 所示。

军用机场分级 表 1-4

级 别	一级	二级	三级	四级
飞行场地适用机型	初级教练机; 小型运输机	歼(强)击机; 轻型轰炸机; 歼击轰炸机; 中型运输机	中型轰炸机; 大型运输机	重型轰炸机; 特大型运输机

二、场道的组成

1. 跑道体系

(1)跑道

跑道体系包括:跑道(结构道面)、道肩、净空道、停止道、跑道安全带、防吹坪等,见图 1-1。其中,跑道安全带可分为升降带、跑道端安全区两部分。

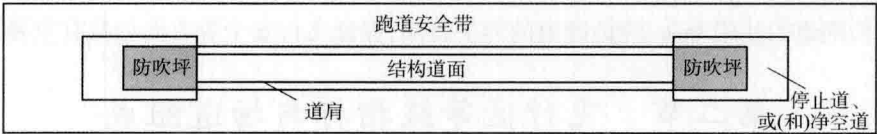


图 1-1 跑道体系各组成部分示意图

广义的跑道概念是指跑道体系,狭义的跑道概念是指全强度跑道或称之为结构道面,是陆地机场内供飞机起飞和着陆使用的特定长方形场地。跑道宽度由飞机主起落架外轮缘之间的距离、飞机起飞和着陆时对跑道中心线的横向偏离度,以及必要的附加安全宽度三部分组成。跑道宽度应不小于表 1-5 中的规定值。跑道的长度应满足使用该跑道的主要设计机型的运行要求,按预测航程计算的起飞质量、高程、天气状况(包括风的状况和机场基准温度等)、跑道特性(如跑道坡度、湿度和表面摩阻特性等)、地形限制条件等因素进行计算,选择最长的跑道长度。跑道强度应能满足使用该跑道的飞机的运行要求。

跑道宽度 (m) 表 1-5

飞行区指标 I	飞行区指标 II					
	A	B	C	D	E	F
1	18	18	23	—	—	—
2	23	23	30	—	—	—
3	30	30	30	45	—	—
4	—	—	45	45	45	60

注:飞行区指标 I 为 1 或 2 的精密进近跑道的宽度应不小于 30m。

(2) 道肩

道肩指与跑道、滑行道、机坪道面相接的经过整备作为道面与邻近土面之间过渡用的场地,其作用为抵御飞机喷气气流的吹蚀,防止松散材料吸入喷气发动机内,减少飞机偶然滑出跑道时受损的危险性,承受偶然通行的车辆荷载以及作为承载维护设备和应急设备的场地和通道。

跑道道面两侧道肩的最小宽度应为 1.5m,对于飞行区等级指标 II 为 D、E 的跑道,其跑道及道肩的总宽度应不小于 60m。对飞行区指标 II 为 F 的跑道应设跑道道肩,其跑道加道肩的总宽度应不小于 75m。跑道道肩与跑道相接处的表面应齐平,道肩横坡应不大于 2.5%。跑道道肩的强度和结构,应确保飞机偶然滑出跑道时不造成飞机的结构损坏,并能承受偶然通行的车辆荷载。跑道道肩表面,应能防止被飞机气流吹蚀。

(3) 停止道、净空道

是否设置停止道,应根据跑道端外地区的物理特性和飞机的运行性能要求等因素确定。设置停止道时,停止道宽度应同与之相接的跑道与道肩总宽度相一致。停止道的强度,应能确保当飞机中断起飞时不致引起飞机结构损坏。停止道的表面摩阻特性,应等于或高于相邻跑道的表面摩阻特性。

净空道指经过修整的、使飞机可以在其上空初始爬升到规定高度的特定长方形场地或水面。净空道的起点应位于可用起飞滑跑距离的末端,其长度应不大于可用起飞滑跑距离的一半,宽度应自跑道中线延长线向两侧延伸不少于 75m,在跑道中心延长线两侧对称分布。净空道中心线两侧各 22.5m 范围内的坡度、变坡应与跑道的相一致,但允许孤立的凹地(如横穿净空道的排水明沟)存在,其他地面不允许超出 1.25% 的升坡。净空道上不应设有对空中的飞机安全有危害的设备或装置。因航行需要在净空道地面上设置的设备或装置应满足易折要求,安装高度应尽可能低。

(4) 升降带

升降带指飞行区中跑道和停止道(如设置)中线及其延长线两侧的特定场地,用以减少飞机冲出跑道时遭受损坏的危险,并保障飞机在起飞或着陆过程中在其上空安全飞行。位于升降带上可能对飞机构成危险的物体,应视为障碍物并尽可能将其移除。跑道及任何与之相连接的停止道应包含在升降带内。与跑道、道肩或停止道相接部分的升降带表面应与跑道、道肩或停止道相齐平,不得高于跑道、道肩或停止道边缘,并且不宜低于跑道、道肩或停止道边缘 30mm 以上。升降带平整范围内的土面应有适当的强度,确保当飞机偶然滑出跑道时对飞机的危害最小。

(5) 跑道端安全区

跑道端安全区指对称于跑道中线延长线、与升降带端相接的特定地区,用以减少飞机在跑道外过早接地或冲出跑道时遭受损坏的危险,同时使冲出跑道的飞机能够减速、提前接地的飞机能够继续进近或着陆。在升降带两端,应提供跑道端安全区,以免着陆飞机冲出跑道或过早接地。

跑道端安全区应自升降带端向外延伸至少 90m。飞行区指标 I 为 3 或 4 的跑道端安全区宜自升降带端向外延伸至少 240m;飞行区指标 I 为 1 或 2 的跑道端安全区宜自升降带端向外延伸至少 120m。跑道端安全区的宽度,应至少等于与其相邻的跑道宽度的 2 倍,条件许可

时应不小于与其相邻的升降带平整部分的宽度。设置跑道端安全区时,应考虑提供足够长度,以保证抑制由于极有可能出现的各种不利运行因素的组合所导致的冲出跑道或着陆时接地过早的飞机。跑道端安全区的坡度,应使该地区的任何部分不突出进近面或起飞爬升面,安全区的纵向变坡应尽可能平缓,避免急剧的变坡或反坡,纵坡降坡应不大于 5%,横坡亦应不大于 5%。位于跑道端安全区内可能对飞机构成危险的物体应被视为障碍物,并尽可能移除。跑道端安全区应进行平整,其强度应确保飞机过早接地或冲出跑道时对飞机的危害最小,并能承受救援和消防车辆在其上通行。

(6) 防吹坪

防吹坪指紧邻跑道端部、用以降低飞机喷气尾流或螺旋桨洗流对地面侵蚀的场地。不设停止道的跑道端应设防吹坪。防吹坪自跑道端至少向外延伸 60m,其宽度等于跑道道面和道肩的总宽度。防吹坪表面应与其相连的跑道表面齐平,结构应能承受飞机气流的吹蚀。防吹坪表面的颜色宜与跑道表面颜色有显著差别。防吹坪的坡度应与升降带坡度相同。

2. 滑行道体系

滑行道是在陆地机场设置供飞机滑行并将机场的一部分与其他部分连接的规定通道,包括:机坪滑行道(机坪上仅供进入机位用的滑行道)、机坪滑行道(位于机坪的滑行道,供飞机穿越机坪使用)、快速出口滑行道(以锐角与跑道连接,供着陆飞机较快脱离跑道使用的滑行道)。为使飞机运行安全、高效,应根据需要设置各种滑行道。为加快飞机进、出跑道,应设置足够的入口和出口滑行道,当交通密度较高时,应考虑设置快速出口滑行道。根据滑行道的作用和位置,滑行道分为入口滑行道、出口滑行道、平行滑行道、快速出口滑行道、联络滑行道、机坪滑行道等。

滑行道直线段的道面宽度依据飞机主起落架外轮缘间距,以及主起落架外轮缘与滑行道面边缘之间的最小净距(即飞机轮迹的最大允许横向偏离)决定。为了防止松散材料(石子或其他东西)被吸入喷气发动机内和防止滑行道两侧地面被蚀,飞行区指标 II 为 C、D、E 和 F 的滑行道两侧应设对称的道肩。为减少飞机偶尔滑出滑行道时受到损坏的危险性,应在滑行道外设置安全区。滑行带内除了必要的助航设备之外,不得有危害飞机滑行的障碍物。滑行带与滑行道道面或道肩相接处,靠近滑行道的区域应整平。

滑行道的强度至少应等于它所服务的跑道的强度,并适当考虑滑行道同其所服务的跑道相比,要承受更大的交通密度和因飞机滑行缓慢及停留而产生更高应力的因素。滑行道道面应具有适当的摩阻特性,除快速出口滑行道外,其他滑行道道面平均纹理深度应不小于 0.4mm。滑行道表面应平整。

滑行道在和跑道端的接口附近有等待区,等待区地面上设有标志线,这个区域是为了飞机在进入跑道前等待许可指令。等待区与跑道端线应保持一定的距离,以防止等待飞机的任何部分进入跑道,成为运行的障碍物或产生无线电干扰。

3. 机坪

机坪是指机场内供飞机上下旅客、装卸货物或邮件、加油、停放或维修使用的特定场地。停(维修)机坪的布置,除应考虑维修设备的不同要求外,还要考虑飞机试车时气流的吹袭影响,它可能对停放、滑行的飞机、地面设备和人员造成威胁。机坪道面表面应平整,其强度应能承受使用该机坪的各种机型的荷载。机坪的坡度应能防止其表面积水,并尽可能平坦。机坪

中机位区的坡度应不大于1%,宜为0.4%~0.8%。机坪宜设置道肩,道肩表面应与其相邻的机坪道面齐平,机坪上停放或滑行的飞机的外侧发动机应位于道肩范围之内。

第三节 机场道面构造与分类

一、机场道面构造

飞机机轮荷载和自然因素对道面结构的影响随着道面深度的增加而逐渐减弱。因此,对道面材料的强度、刚度和稳定性的要求也随道面深度的增加而逐渐降低。为适应这一特点,降低工程造价的方法是,道面采用多层结构,即上层采用高级材料,下层采用低级材料。道面的结构层次如图1-2所示。按使用要求、承受的荷载大小、土基支承条件和自然因素影响程度的不同,在土基顶面采用不同规格和要求的材料分别铺设垫层、基层和面层等结构层次。

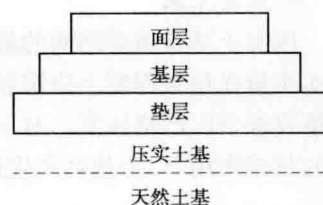


图1-2 水泥混凝土道面结构层次

1. 面层

机场道面的面层是直接同飞机机轮和大气环境相接触的层次,它既要承受机轮荷载的竖向压力、水平力和冲击力的作用,又受到降水的侵蚀作用和温度变化的影响。面层的作用是为飞机起飞、降落和滑行提供良好的表面条件,同时把机轮荷载传递和扩散到基层中去。因此,同基层和垫层相比,面层应具有较高的结构强度、刚度、耐磨、不透水和温度稳定性,并且表面还应具有良好的平整度和粗糙度,以保证飞机起飞、着陆和滑行的舒适性和安全性。

组成道面面层的材料主要有:

(1) 水泥混凝土。这类道面具有较高的强度和刚度,可用于跑道、滑行道、联络道和各种停机坪的面层。

(2) 沥青类材料。这类材料包括沥青混凝土、沥青碎石、沥青贯入式和沥青表面处治等。沥青道面表面平整,滑行平稳舒适,可用于跑道、滑行道、联络道。沥青混合料由于不耐航油的侵蚀,一般不用于停机坪的面层。沥青碎石和沥青贯入式用作面层时,因空隙多、易透水,通常应加封层。沥青表面处治一般不能单独作为面层,主要作为封层的摩擦层,以改善道面表面的性能。

(3) 土类材料,如泥结(砾)碎石道面,各种结合料处治的土道面、草皮道面等。这类道面只能供轻型飞机使用,兼作大型飞机和军用飞机的紧急着陆场,或野战机场道面,使用品质较差。

2. 基层

基层是面层和土基或垫层之间的结构层,是道面结构中的重要层次,主要承受面层传来的机轮荷载垂直压力,并把它扩散分布到下面的层次中去。基层受自然因素的影响不如面层强烈,但必须有足够的水稳性和抗冻性。用作基层的材料主要有:各种结合料(如石灰、水泥或沥青等)处治的稳定土或碎(砾)混合料;各种工业废渣混合料,如高炉熔渣(水淬渣)、煤渣或粉煤灰等与石灰组成的混合料或外掺碎石或土的混合料(二灰土、二灰石)等;各种碎(砾)石混合料或天然砂砾;片石、块石或卵石等;碾压混凝土或贫水泥混凝土等。

3. 垫层

垫层是介于基层和土基之间的层次,其主要作用是改善土基的温度和湿度状况,以保证面层和基层的强度稳定性、水稳定性和温度稳定性;继续扩散由基层传下来的荷载,以减少土基产生的变形。垫层并不是必须设置的结构层次,通常是在土基水、湿状况不良时设置。

对垫层材料的要求是:强度不一定高,但其水稳性和抗冻性要好。常用的垫层材料,一类是由松散的颗粒材料,如砂、砾石、炉渣等组成的透水性垫层;另一类是石灰土、水泥土或炉渣土等稳定土垫层。

4. 压实土基

压实土基是道面结构的最下层,承受全部上层结构的自重和机轮荷载。土基的平整性和压实质量在很大程度上决定着整个道面结构的稳定性,因此,无论是填方还是挖方区域土基均应按要求予以严格压实。对于特殊土质还应采取相应的技术措施,以免在机轮荷载和自然因素的长期作用下,土基会产生过量的变形和各种病害,从而加速道面结构的损坏。

二、机场道面分类

1. 按道面构成材料分类

(1) 水泥混凝土道面

水泥混凝土道面是指由水泥、水、粗集料(石子)、细集料(砂)按预先设计的比例掺配,并在必要时加入适量外加剂、掺加料或其他改性材料等,经拌和均匀铺筑而成的道面。该类道面具有强度高、使用品质好、应用广泛的优点;但完工后需较长时间的养护期,不能立即开放交通,且养护维修难度大,耗时长。对于道面维修作业实施不停航施工时,水泥混凝土道面很少采用(不影响飞机起降、滑行、停放等区域除外)。

(2) 沥青道面

沥青道面是指用沥青材料作结合料,与粗集料、细集料、矿粉以及外加剂,在一定温度下拌和均匀、经摊铺碾压成型后形成的道面。这类道面平整性好,飞机滑行平稳舒适,强度高,能够满足各种飞机的使用要求,铺筑后不需要养护期,可以立即投入使用。由于现代飞机绝大多数采用的是喷气式发动机,飞机在道面上滑行时,会喷出 300℃ 以上的高温高速气流。水泥混凝土材料可以承受 500℃ 的高温而不致发生破坏,因此,飞机的尾喷气流对水泥混凝土道面不会产生影响。但沥青道面由于沥青材料的温度敏感性,在温度超过 60℃ 时,就会发软,影响沥青道面的强度,若飞机的尾喷气流作用时间较长则对沥青道面会产生影响,故跑道端部和机坪很少采用沥青道面。由于飞机发动机停止工作后,油管内一部分油料会散落到道面上,在停机坪上沥青道面也会受到航油的侵蚀,导致沥青被溶解,混合料散碎,进而形成坑洞,使沥青道面破坏。

(3) 砂石道面

砂石道面是指在碾压平整的土基上,铺筑砂石类材料,经过充分压实而成的道面。这种道面因其承载能力低,晴天易扬尘,雨天泥泞致使飞机无法飞行,故目前应用较少。

(4) 土道面

土道面是指以碾压密实的平整土质表面作为道面的面层,供飞机起落滑跑之用。这种道面造价低,施工简便,主要用于轻型飞机起降的机场。军用机场的应急跑道通常为土质道面。大型机场的土跑道是紧急情况下飞机迫降用的。土道面通常种植草皮,以提高其承载能力。

(5) 水上机场

水上机场即供水上飞机使用的机场。飞机利用水面进行起飞、着陆、滑行,以及进行飞行前的准备工作和维护保养。水上机场应具有符合要求的飞行水域、码头和入水坡道,其“道面”由水面构成。

(6) 冰上机场

冰上机场即利用表面平整而坚硬的冰层作为机场道面,供飞机起飞、着陆、滑行和维护保养之用。河湖冰上机场通常建在能结成坚冰而表面平整的浅水区(水深 $2\sim 4\text{m}$);海洋冰上机场应尽量设在利于结成平整冰面的海湾或狭长浅湾内。气温在 -10°C 以下时,淡水冰层厚 50cm 左右可供 2.5t 以下的轻型飞机使用;冰层厚 150cm 时,可供 100t 以下的飞机使用。

2. 按道面力学特性分类

(1) 刚性道面

刚性道面包括水泥混凝土道面和钢筋水泥混凝土道面等。这类道面结构的面层强度高、整体性好、刚度大,能把飞机机轮荷载分布到较大的土基面积上。由于水泥混凝土具有较高的抗压强度,荷载引起的弯压应力比抗压强度低得多。当荷载引起的弯拉应力超过水泥混凝土的抗弯拉强度,板将产生断裂,导致道面结构的破坏。道面板的强度用水泥混凝土的弯拉强度来表示。对于道面板的弯拉应力,广泛采用弹性地基上薄板理论进行计算。进行道面板设计时,刚性道面在飞机机轮荷载作用下引起的弯拉应力应小于或等于水泥混凝土的弯拉强度。

(2) 柔性道面

柔性道面包括沥青道面、砂石道面、土道面等。柔性道面在机轮荷载的作用下表现出相当大的形变性,各层材料弯曲抗拉强度均较小,抵抗弯拉变形的能力弱,因此,只能把机轮压力传布到较小的面积上,各层材料主要在受压状态下工作。轮载作用下柔性道面弯沉值(变形)的大小,反映了柔性道面的整体强度。当荷载作用下产生的弯沉值超过容许弯沉值时,柔性道面就会发生损坏。同时,当荷载引起面层的弯拉应力和基层(当基层为整体性基层时)的弯拉应力超过其抗弯拉强度时,同样也会引起道面的破坏。对于机场沥青道面,飞机荷载引起的弯拉应力往往是引起道面破坏的主要原因。因此,在进行机场沥青道面设计时,基层和面层要有足够的强度来抵抗飞机荷载引起的弯拉应力。

对于柔性道面的弯沉、应力计算采用的是弹性层状体系理论。柔性道面结构是由不同材料组成的弹性体系,上面各层具有一定的厚度,且各层材料的力学性质可以用不同的弹性模量来表示,最下一层的土基可视为弹性半空间体。弹性层状体系可以分为弹性双层体系、弹性三层和弹性多层体系,用于计算不同组成的道面结构。

(3) 半刚性道面

半刚性道面是介于刚性和柔性之间的一种道面。这种道面在使用初期变形较大,表现出柔性道面的特征;而在使用后期其强度和刚度会随着时间的增长而不断地增大,其最终的抗弯拉强度和变形(回弹模量)接近于刚性道面,故称之为半刚性道面。如用石灰或水泥稳定土、石灰或水泥处治碎(砾)石,以及各种含有水硬性结合料的工业废渣做成的道面均属于半刚性道面。

3. 按施工方式分类

(1) 现场铺筑道面

现场铺筑道面是指将拌和均匀的道面材料经现场铺筑而成的道面。水泥混凝土道面、沥

青道面以及各种砂石道面、结合料处治的土道面等都属于现场铺筑道面。

(2) 装配式道面

装配式道面的面层不是在现场施工的,而是在工厂预制,运抵现场后装配而成的。这类道面包括水泥混凝土砌块、预应力钢筋混凝土预制板、钢板和玻璃钢道面等。

第四节 机场道面受力特性与使用要求

一、机场道面受力特性

机场道面的作用是保证飞机在地面的正常活动,包括飞机在机场道面上停放、滑行、起飞、着陆、转弯和制动等。随着飞机在道面上运动状态的变化,作用在道面上的荷载也在不断变化。飞机停放、滑行、着陆时会对道面产生垂直压力;滑行、转弯和制动时飞机机轮与道面之间的摩擦力引起水平荷载;机轮经过道面不平整处因颠簸也会引起水平荷载等。

飞机在道面上的活动会对道面产生不同影响。一方面,随着飞机滑行速度的增加,机翼产生的升力使机轮对道面的压力减小;另一方面,当机轮通过道面不平整处时将产生冲击作用。冲击作用增大了飞机荷载对道面的作用效果。冲击作用的大小与道面的平整状况及飞机运动速度有关,道面越不平整,冲击作用越大。

由于道面各部分的几何形状和尺寸的不同,以及飞机在道面上各地段的运动状态的不同,机场道面各地段承受飞机荷载的状况是不一样的。机场道面结构体系裸露在自然环境中,经受着持续变化的自然环境温度和湿度的影响,使得道面的材料性质和状态发生相应的改变。例如,温度和湿度的变化引起道面材料和土基土的强度和刚度的增加或减小。

1. 滑行道

起飞时,飞机经过滑行道而到达跑道端部;着陆时,飞机经过滑行道到达停机坪。由于滑行道宽度小,机轮几乎沿着同一轨迹滑行,如同水在渠道中流动一样,这种滑行称为渠化交通。渠化交通使滑行道上机轮荷载的重复作用次数大大增加。另外,飞机在滑行道上的滑行速度一般为 $20 \sim 30\text{km/h}$,此时飞机机翼产生的升力很小,而驶过道面不平整处又会对道面产生冲击作用。

2. 跑道

在跑道的纵向上,跑道端部和中部的受载条件是不一样的。在跑道端部,飞机从慢速滑行到停止,对准跑道后提高发动机的转速,以发挥它的全推力并进入起飞状态。此时,跑道不仅承受垂直荷载,而且还承受较大的水平荷载,会在道面结构中产生较大的剪切应力。由于跑道端部飞机滑行速度比滑行道小,冲击作用也小,并且跑道比滑行道宽,一般不会形成渠化交通。因此,跑道端部的受载条件要比滑行道好一些。对于飞机着陆的冲击作用,一般按正常着陆重力考虑。此时飞机的速度很大,机翼产生的升力也很大,它抵消了飞机大部分重力,使其对道面产生的荷载较小,冲击力不大。

在跑道中部,无论是起飞或着陆,飞机都以较高的速度通过。此时,机翼的升力较大,抵消了飞机部分重力,减少了机轮对道面的作用。同时,高速滑行通过的飞机对某一断面的作用是短暂的,道面还来不及产生完全变形,飞机就通过了。

在跑道的横向上,飞机在跑道上起飞、降落时其轮迹的分布是各不相同的。影响机轮痕迹横向分布规律的主要因素有飞机的类型、主起落架的数量、主起落架的间距及机轮数量、轮胎宽度等。当主起落架数量少、间距小,主轮数量少、轮胎宽度小时,则轮迹的横向分布就比较集中(跑道横断面中部出现的概率大)。反之,轮迹的横向分布就很不集中(跑道横断面中部出现的概率偏小)。对轮迹的横向分布实测资料进行统计分析表明,跑道上飞机运行的横向偏离值的概率分布服从正态分布。

3. 停机坪

停机坪是供飞机停放、维护保养、加油、装卸货物的场所。由于飞机长时间的停放和满载起飞的滑进滑出,其受载条件与跑道端部相近。

总之,滑行道受载条件最差,所要求的道面厚度最大;跑道中部受载条件最好,所要求的道面厚度最小;跑道端部和停机坪介于上述两者之间,道面厚度中等。

二、机场道面使用要求

修建机场道面是为规定型号的飞机提供安全、快速、适用、舒适的道面结构。机场道面是机场内的主要工程项目,其质量直接影响飞行安全和使用品质。机场道面承受着飞机机轮荷载、高温高速喷气流,以及冷热、干湿、冻融等自然因素的作用,为了保证飞机在任何气候条件下都能执行任务,满足使用要求,机场道面必须具有良好的使用性能。

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。在这些外力的作用下,道面结构内会产生拉应力、压应力和剪应力。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。因此,道面结构整体及其各组成部分,应具备同机轮荷载和温度荷载相适应的强度。为此,要正确分析机轮荷载和温度荷载作用下道面结构的应力状况,研究道面结构的强度形成的机理,从而设计和修建出经久耐用的机场道面结构。

刚度是指道面结构抵抗变形的能力。道面的整体或某组成部分的刚度不足,即便是强度足够,也会在机轮荷载作用下产生过大的变形,使道面出现波浪、轮辙、沉陷等不平整现象,影响飞行滑行的平稳性,或者促使道面结构出现断裂现象,缩短道面的使用寿命。因此,不仅要研究道面结构的应力和强度之间的关系,还要分析其荷载和变形的关系,使整个道面结构及各部分的变形量控制在允许范围内。

2. 气候稳定性

机场道面暴露在自然环境中,受各种自然因素(温度、湿度等)的影响,道面结构的性能会发生变化。例如,沥青道面在夏季高温季节可能会变软、泛油,出现轮辙和拥包;在冬季低温时又可能因收缩受到约束出现开裂,这将影响道面的使用品质和使用寿命。同样,水泥混凝土道面在水的作用下会出现唧泥或板底脱空,进而造成板的断裂,这些都给其结构设计和材料组成设计带来复杂性。为此,在进行机场道面设计时,要充分调查和分析机场周围的环境条件(温度和湿度)、水文地质条件,研究建筑材料的性能同温度和湿度的关系,在此基础上选取合适的设计参数和结构组合,设计出在当地气候条件下具有足够稳定性的道面结构。