

# 民用机场沥青混凝土道面设计概述

王晨旭 孙一特\* 赵赛男 支艺桦 李天龙 魏源

中国民航大学交通科学与工程学院

DOI:10.12238/etd.v3i3.5038

**[摘要]** 在机场道面设计中,沥青混凝土道面由于具有舒适、减震、抗滑和平整等一系列突出的特征,使得其国际上很多军用和民用机场中获得了广泛的使用。本文通过分析国内外在机场中沥青道面的应用,对比分析优劣,归纳现今机场沥青混凝土道面设计方法,总结当前机场沥青混凝土道面设计影响因素,提出未来在机场道面工作中的畅想。

**[关键词]** 机场道面; 沥青混凝土; 道面设计

**中图分类号:** V431+.5 **文献标识码:** A

## Overview of Asphalt Concrete Pavement Design for Civil Airports

Chenxu Wang Yite Sun\* Sainan Zhao Yihua Zhi Tianlong Li Yuan Wei

School of Transportation Science and Engineering, Civil Aviation University of China

**[Abstract]** In the design of airport pavement, asphalt concrete pavement has been widely used in many international military and civil airports due to a series of outstanding features such as comfort, shock absorption, anti-skid and smoothness. This paper analyzes the application of asphalt pavement in airports at home and abroad, compares the advantages and disadvantages, summarizes the current airport asphalt concrete pavement design methods, summarizes the influencing factors of the current airport asphalt concrete pavement design, and proposes future ideas for airport pavement work.

**[Key words]** airport pavement; asphalt concrete; pavement design

### 引言

现今飞机已成为人们出行的重要的交通方式之一,尤其是我国快速发展的民航业,促使各大机场进行“建、扩、改”。在机场规划中,道面设计是至关重要的部分,它主要供飞机运行和机场摆渡,其建设质量的优劣对日后机场能否可持续发展,减少维护、修缮成本有着重要影响。在道面设计中,沥青混凝土道面由于具有舒适、减震、抗滑和平整等一系列突出的特征,使得其国际上很多军用和民用机场中获得了广泛的使用。纵观我国的沥青混凝土道面机场跑道比例,仅为百分之十几,和国际上的发达国家之间相差甚远,而且多为采用水泥混凝土道面,结构类型单一,因此根据我国国情构建新型道面结构显得尤为重要。

### 1 我国机场沥青道面结构的技术指标与现状分析

随着社会经济的发展,民用航空的迅捷性、安全性得到稳步提高,开始广泛研究新型道面材料,民用机场开始普及沥青混凝土道面。为了确保机场道面的稳健性和可持续性,国内研究者开始对机场道面沥青混合料的设计、外加剂对沥青混凝土温度稳定性及路用性能的影响以及飞机荷载作用下的机场道面力学响应等<sup>[3]</sup>方面开展研究实验,并取得一定学术成果<sup>[1]</sup>。

#### 1.1 我国民用机场沥青道面应用现状

我国民用机场道面主要以水泥混凝土道面为主,沥青混凝土道面占比较小,结构简单。在新建民用机场中,采用沥青混凝土道面的机场有西宁曹家堡机场、甘肃敦煌机场、新疆且末机场、昆明长水机场等少数机场。示例图如下:

#### 1.2 部分地区沥青混凝土跑道结构图例

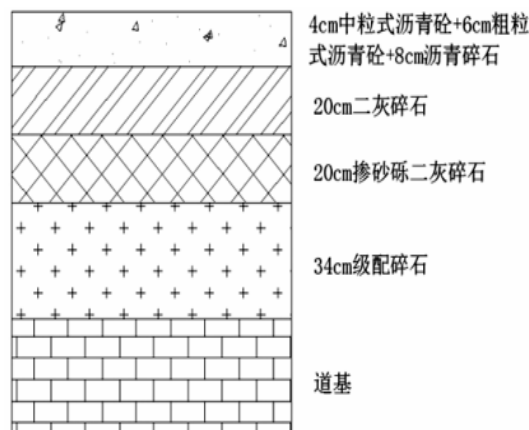


图1 曹家堡机场跑道道面结构

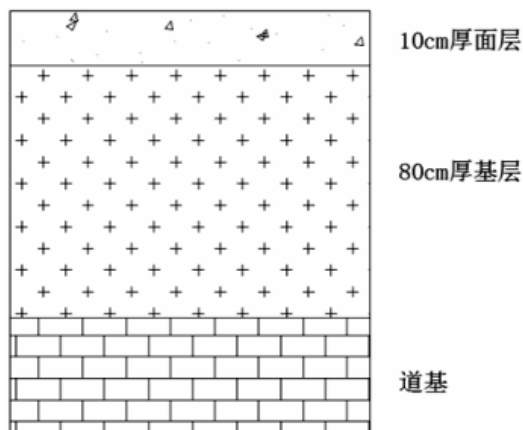


图2 敦煌机场跑道道面结构

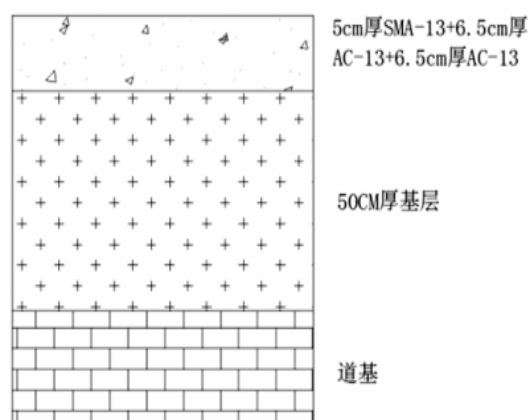


图3 长水机场跑道道面结构

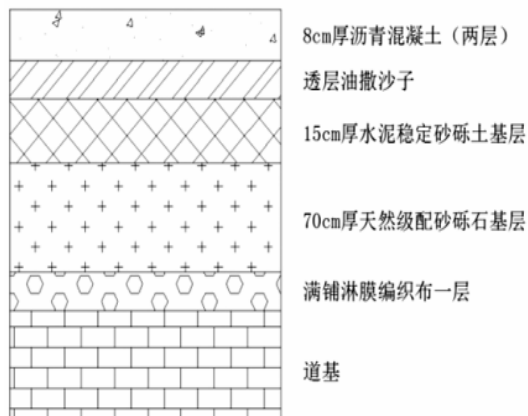


图4 新疆且末机场跑道道面结构

### 1.3 现状分析

我国沥青道面研究龄期短,航班流量大幅提高,大型飞机占比增大,基础水泥混凝土道面不能满足民航发展需求,沥青混凝土道面依照其良好的施工和易性,养护周期短等优势,成为主流解决方案。但是研究和实施机场占比小,基于此,本团队展开沥青混凝土道面的研究、模拟和基础设计,在原有国内外研究应用的基础上,进行沥青道面结构改进和加持。

## 2 设计方法概述

道面设计的主要任务是控制或限制其使用性能在预定使用期内不恶化到低于规定的水平。为了达到这个目标,长期以来国内外的道面建设工作者对沥青道面的设计方法进行了持续的研究<sup>[1]</sup>,目前世界上民用机场沥青混凝土道面的设计办法能分成两种:经验法与力学—经验法。

### 2.1 经验法

经验法是以CBR法为代表,它将CBR值当作路基土与道面材料的参数标准,把土基的抗剪度当作设计标准,把控土基变形和路面轮辙等毁坏形式。利用足尺实验及当前道面的研究,建设了“CBR—轮载运用数量—道面结构层厚度(通过粒料层的总厚度显示)”的关系。通过多种飞机起落结构型的有关曲线,以现量飞机年运用次数及土基的CBR数量制定道面的厚度和建构层厚度。

### 2.2 力学—经验法

以前的力学—经验法通常将弹性层状结构原理当作原理模型,把弹性模量与泊松比当作设计的参量,将沥青底部的水平拉应变与土基顶层的垂直压应变当作设计监控标准,来把控土基的长久变形与沥青混凝土的过劳开裂2种主要的毁坏形式。如今,世界上沥青路面设计办法研究有了新趋势,许多国家纷纷考虑通过有限元研究及室内外实验结合,建成更适合路面构造现实受力情况的研究模型。有限元法的基本理念是把道面结构分散为多个小单元,利用数量模拟计算求出原来弹性层状系统办法不能思考的材料非线性、几何非线性等复杂性质。如今大部分国外大学与研究场所都在研发有限元设计系统<sup>[2]</sup>。

### 2.3 两种设计方法对比分析

CBR经验法的设计理论和技术已经比较成熟,而且设计参数少、简单明了,国内外民用机场沥青道面设计方法中70%以上是采用CBR法,其中包括:美国联邦航空局(FAA)、美国陆军工程兵(COE)、法国、加拿大、日本及中国等。但是,由于CBR只能用来表征土基的抗剪强度,仅与道面的土基破坏这一损坏模式对应,并不能表征道面的疲劳开裂和温度开裂以及结构的其它各种损坏,而且,即使在土基强度表征上,各种研究表明CBR法也存在许多不足之处<sup>[2]</sup>。另外,近年来,随着世界各大机场运行架次的日益增多以及新一代大型民用客机的大量出现,这都对道面结构提出了更高的强度和耐久性要求,因此,稳定类基层材料在道面结构层中开始被大量使用。由于CBR法仅适用于以粒料作为基层和底基层的全厚度柔性道面,无法直接计算稳定类材料层(包括半刚性基层)的厚度,因此,只能用当量折减系数考虑,这缺乏分析理论和试验数据支持,不利于新型机场道面的设计和修建。考虑稳定类材料的道面结构CBR方法存在一些问题,从而迫使各国开始寻求新的设计理论和指标体系来适应新的需求。传统的力学—经验法避免了CBR法中存在的缺点,可表征由于荷载和温度引起的结构层疲劳开裂,并直接计算基层稳定材料的厚度。美国沥青协会AI法、壳牌石油公司法、FAA针对大型飞机B777的LEDFAA1.3法、美国陆军工程兵(COE)弹性层状体系法以及澳大

利亚APSDS法都是以弹性层状体系为力学模型的力学-经验法。然而,机场道面损坏调查表明,与沥青混凝土面层相比半刚性基层的疲劳寿命更短,即半刚性基层先于沥青混凝土面层出现疲劳开裂损坏。目前,国际上机场沥青道面一般都采用柔性基层,建立的设计理论也主要针对柔性基层,对半刚性基层的研究相比甚少,缺乏科学的设计控制指标和参数,因此,力学-经验法中也需考虑各国的气候特性和路面材料特点来进一步研究和完善<sup>[3]</sup>。

### 3 当前机场沥青混凝土道面设计影响因素分析

#### 3.1 混合交通组成

新型飞机的载重不断加大,机轮不断增多,起落架的几何构型变的越来越复杂,每年各机型飞机累计起降架次以及起落架构型不同的飞机对道面产生的力学作用有很大差别,在机场道面设计的过程中这些因素的影响都需要考虑。

当前许多国家对于这方面有着不同的考虑方式,我国通过预测各型飞机的年起降架次以及飞机参数计算出各机型在设计年限内预期载荷重复作用次数,将其他机型运行架次当量化为设计飞机起降架次标准起落架载荷,确定计算出的累计疲劳损伤系数是否符合规范从而确定设计沥青道面的厚度。事实上,道面的结构很复杂,多层次的结构体系决定了其各层表现出不同的力学特性,需要不同的材料。不同机型可能会对各结构产生不同的疲劳效应,在设计的过程中只是采取单一的转换系数无法完全反应道面自身的特性。而在Miner定理基础上建立的累计损伤原理,采用线性叠加不同型号飞机载荷对道面产生的疲劳损伤,以此来判断道面是否达到疲劳损伤状态,采用此种方法进行设计道面不仅能够免除不同飞机与设计飞机之间的换算,并且充分考虑了随时间的变化材料参数会发生相应变化的因素,因此采用这种设计方法会更加安全以及全面合理。

#### 3.2 多轮起落架荷载

正常情况下不同机型的飞机主起落架由多个机轮组成,多轮荷载与单轮荷载相比较对于道面结构层产生的力学效应有明显区别,因此设计的过程中应该考虑将多轮荷载转化为单轮对应力进行计算<sup>[4]</sup>。

在日本法国以及我国制定的沥青道面设计规范中均通过采用土基顶面弯沉等效原则,达到单轮荷载以及多轮荷载之间等效的转换目的。加拿大制定的规范当中采用了最大正应力等效原则基于土基顶面理论,在实际过程中却采取了简化近似计算的方法。

多轮荷载当量单轮化意思是假定当量单轮具有与多轮装置所有机轮相同的接触面积,在一定深度的道面结构处,这两者产生的力学作用等效。很多国家在制定道面设计规范时都会考虑到这方面影响,会在基于土基顶面弯沉效应的原则将多轮荷载等效单轮化,然而,通过对于大量试验结果的分析得出,当离轮子中心线距变大时,土基顶面弯沉衰变速率较土基顶面垂直应变、垂直应力以及剪应变变慢,所以计算过程中会夸大由于轮子之间的相互影响而对于道面结构形成的破坏。除此之外,道面结

构车辙以及开裂等损坏主要是由于应变以及应力所造成,仅通过弯沉无法表现。

#### 3.3 气候环境因素

正常情况下,机场道面是直接暴露在大气环境当中的,很大程度上会受到周围冻融、干湿、冷热等自然环境因素的影响。气候环境的变化与机场跑道的使用性能有着十分密切的关系,因此在设计道面的过程中需要考虑到周围环境因素的影响。目前许多国家采用的道面设计方法都考虑到冻深因素的影响,明确指出了道面建设时最小的防冻厚度,但是没有全面考虑到温度、湿度以及大气降水对道面的影响。每年以及每天由于温度的变化会对道面结构层产生无法忽视的反复拉应力,在未来的设计过程中这些都需要不断建设完善。

### 4 道面结构设计

20世纪30年代,国外开始着手进行机场沥青道面的设计研究,并以此提出了三个重要的设计理论方法,分别为经验公式法、弹性层状体系理论以及三维有限元理论,ABAQUS, ANSYS 等也得到了广泛的应用。本文基于上述总结与分析,应用ABAQUS建立累积疲劳损伤下的机场沥青道面结构设计。

### 5 未来工作展望

纵观全国及道面现状,应用沥青道面的机场少,技术不完善。由于机场沥青道面的损伤、老化等过程较为复杂,需要大量机场道面工程的试验和验证,现今示例少、龄期短等因素不能较为全面地观测、模拟机场沥青道面的疲劳损伤。在实地考察,工程分析、实验的基础上,建立合理的损伤老化的模拟仿真,使得道面结构设计更满足现状需求,实用性更强。

#### [基金项目]

“该论文为中国民航大学IECAUC2021222大学生创新创业训练项目的研究结论,由中国民航大学大学生创新创业训练计划项目资助”。

#### [参考文献]

[1]刘文,凌建明,赵鸿铎.民用机场沥青混凝土道面设计方法综述[J].中国民航学院学报,2006,24(4):43-47,64.

[2]KasthuriranganGopalakrishnan.PerformanceAnalysisofAirportFlexiblePavementsSubjectedtoNewGenerationAircraft[D].Urbana-champaign:UniversityofIll.

[3]张继昕.高性能沥青混凝土在机场道面中的应用研究[D].武汉理工大学,2018.

[4]罗俊.沥青道面在我国民用机场应用的研究[J].建材与装饰,2018,(19):281-282.

#### 作者简介:

王晨旭(2000--),女,汉族,天津市蓟州区人,本科,交通工程,研究方向:交通运输工程方向。

#### 通讯作者:

孙一特(2001--),男,汉族,安徽省肥西县人,本科,研究方向:交通运输工程方向。