

军民合用机场混凝土道面表面特性一致性分析

杨 慧¹, 刘佳玮¹, 张忠陵²

(1.空军工程大学机场建筑工程系,西安,710038;2.济南军区第七空防工程处,江苏徐州,221005)

摘要 军航规范与民航规范的差异造成军民合用机场在设计和施工过程中存在分歧。针对水泥混凝土道面表面的设计和施工控制指标展开研究。从道面宏观和微观构造特征入手,结合现行规范分别讨论道面摩擦系数、纹理深度及平整度;从道面-胎摩擦系统出发,结合现场实测数据的回归公式对道面拉毛机理展开了分析;结合现场实测数据的对比、积水宣泄能力和耐久性探讨道面刻槽机理;利用实际数据建立了刻槽前后平均纹理深度 h_1 和 h_2 与道面摩擦系数 f 之间的回归公式。研究发现:平均纹理深度相较于摆式摩擦仪更适合用于水泥混凝土道面的现场施工控制,并提出了军民合用机场水泥混凝土道面表面的设计思路及施工控制指标。

关键词 军民合用机场;水泥混凝土道面;表面特性;摩擦性能;刻槽;平均纹理深度

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.05.010

中图分类号 V35;U416.216 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)05-0039-04

Analysis of Military-Civilian Airport Concrete Pavement Surface Characteristics of Consistency

YANG Hui¹, LIU Jiawei¹, ZHANG Zhongling²

(1.Airport Construction Engineering Department, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;
2. Jinan Military Region Seventh Air Defense Project Office, Xuzhou 211005, Jiangsu, China)

Abstract: Aimed at the differences of code for military aviation and civil aviation in design and construction of the dual-use airport, this paper proposes the several aspects as follows: Firstly, from the perspective of the structure characteristics of the pavement micro and macro, combined with the current specification, this paper respectively discusses the road surface friction coefficient, texture depth and flatness; Secondly, from the pavement-tire friction system, combined with the regression formula of field data the paper analyzes road surface roughening mechanism, and combined with the field data contrast, water venting capacity and durability, the paper analyzes pavement groove mechanism. The regression formula is established between the fore groove and rear groove with pavement average texture depth and the friction coefficient. The conclusion is that the average texture depth compared with friction pendulum instrument is more suitable for the cement concrete road surface construction control. The paper proposes some design ideas and construction control index on the surface of the dual-use airport cement concrete pavement.

Key words: military-civilian airport; cement concrete road surface; surface characteristics; friction perform-

收稿日期:2015-03-04

作者简介:杨 慧(1964—),男,湖北天门人,副教授,主要从事机场道面研究.E-mail:afeu_yang@163.com.

引用格式:杨慧,刘佳玮,张忠陵.军民合用机场混凝土道面表面特性一致性分析[J].空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(5):39-42. YANG Hui, LIU Jiawei, ZHANG Zhongling. Analysis of Military-Civilian Airport Concrete Pavement Surface Characteristics of Consistency [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(5): 39-42.

ance; groove; mean texture depth

近年来,国家大力发展军民合用机场的建设,然而军航标准与民航标准的不同使得机场水泥混凝土场道工程的设计施工出现了较多分歧,特别在道面表面特性方面,造成军民合用机场跑道建设水平的参差不齐。道面表面性能指标由摩擦系数、道面粗糙度、平整度组成。由于军航和民航在安全性、舒适性和飞机类型等方面的差异造成两者对机场道面表面性能的要求不尽相同^[1-2],对摩擦系数和粗糙度的规定差别明显,对平整度的规定差别较小。文献[3~5]主要对水泥混凝土道面表面进行了研究,但国内外关于军民合用机场道面表面研究的公开资料较少,造成跑道设计和施工标准参差不齐。本文针对军民合用机场道面面层的设计及施工控制指标进行研究。

1 道面摩擦性能、拉毛和刻槽机理分析

1.1 道面表面构造对摩擦性能的影响分析

摩擦学行为具有系统依赖性^[6],因此对道面摩擦性能的分析要考虑道面-轮胎摩擦系统,既考虑道面表面性能的影响,也考虑轮胎表面的特性,还要考虑系统所处的环境等其他因素。首先对飞机轮胎表面特性进行分析:①飞机轮胎一般只有纵向花纹沟,不需要考虑横向花纹沟与槽壁的犁沟作用;②军用和民用飞机轮胎基本相同,分析时可不考虑两者的差异。世界道路协会(PIARC)在1987年根据纹理的波长及振幅对道面纹理进行分类^[7]:波长<0.5 mm的微观构造;波长为0.5~50 mm的宏观构造;波长为50~500 mm的大构造;波长为0.5~50 m的不平整度。对表面构造与摩擦性能关系的研究^[8]可归纳为:宏观构造影响摩擦性能随行驶速度的变化幅度,微观构造提供了道面的基本摩擦性能。

1.2 道面拉毛机理分析

拉毛通过增加微观纹理来提高道面摩擦性能。准确的道面摩擦系数在施工过程中不易测量,更有效的方法是采用道面纹理深度进行间接控制。因此为了便于施工现场实时控制,结合某军民合用机场道面纹理深度和摩擦系数的现场同点测试数据,以及部分国内机场的测试结果,对拉毛后(未刻槽)的平均纹理深度 h_i 与摩擦系数 u_i (摆式摩擦仪)的关系进行3种多项式拟合 $\hat{u}_i = f(h)$,并计算其通用相关系数 R ^[9],见图1和表1。

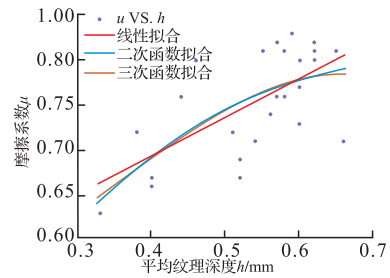


图1 刻槽前平均纹理深度与摩擦系数的关系

Fig.1 The relationship between the mean texture depth and friction coefficient before the notch groove

表1 刻槽前平均纹理深度 h 与摩擦系数 u 回归公式

Tab.1 h of Groove before mean texture depth and u of friction coefficient regression equation

回归形式	回归公式	R
一次函数	$\hat{u}_1 = 0.425h + 0.5234$	0.615
二次函数	$\hat{u}_2 = -0.9859h^2 + 1.415h + 0.284$	0.658
三次函数	$\hat{u}_3 = -2.453h^3 + 2.719h^2 - 0.4097h + 0.5757$	0.659

首先,3种拟合关系均能较好地反映平均纹理深度与摩擦系数的关系,其中后2个拟合曲线的相关系数更高。从曲线的形态可知随着纹理深度的增加,摩擦系数的增加逐渐放缓,结合摆式摩擦仪的特点可知:拉毛对微观纹理的增加是有限度的,随着拉毛程度的增大,微观纹理的增加越来越慢,而宏观纹理的增加越来越快。其次三者的相关系数没有显著差别,说明摆式摩擦仪测定结果的离散性较大,不适合用于施工质量控制。

1.3 道面刻槽机理分析

1.3.1 刻槽与道面摩擦性能

刻槽的主要作用在于当飞机高速滑跑时提供积水宣泄通道,阻碍水膜的形成,避免飘滑^[10]。同时槽体边角部分使轮胎形成局部高压增加轮胎与道面的接触面积,增大了滞阻摩擦分量^[11]。但刻槽也会使道面微观纹理数量减少。通过摆式摩擦仪对现场道面的测定见表2。

刻槽前后摩擦系数平均值均为0.7,平均纹理深度分别为0.56和1.04。刻槽前后摩擦系数的变化不确定,其原因为:①摆式摩擦仪的摩擦块与槽壁碰撞的不确定性:当不发生碰撞时,摩擦系数减小;当碰撞轻微且次数较少时,摩擦系数基本不变;当碰撞严重或碰撞次数过多时,摩擦系数增大;②当槽深很浅时,槽深与摩擦系数有明显的相关性,而在多数情况下两者的相关性很低^[8]。对朱洪涛^[2]基于数值模

拟结果的分析可知,在只考虑轮胎纵向花纹沟时:①槽间距越小,摩擦系数越大,并且犁沟效应得到加强;②槽宽越大,路面的附着系数越大;③槽深对路面摩擦影响较小,当刻槽满足宏观构造要求时决定合理槽深的控制因素是耐久性施工可行性。

表 2 刻槽前后摩擦系数对照

Tab.2 Friction coefficient contrast of before and after grooving

测定点	状态	纹理深度/mm	摩擦系数平均值
1	刻槽前	0.70	0.69
	刻槽后	1.20	0.69
2	刻槽前	0.52	0.69
	刻槽后	0.90	0.70
3	刻槽前	0.60	0.73
	刻槽后	1.00	0.72
4	刻槽前	0.54	0.71
	刻槽后	1.20	0.74
5	刻槽前	0.44	0.76
	刻槽后	0.85	0.72
6	刻槽前	0.40	0.66
	刻槽后	0.95	0.68
7	刻槽前	0.40	0.67
	刻槽后	0.74	0.70
8	刻槽前	0.64	0.69
	刻槽后	1.30	0.71
9	刻槽前	0.66	0.71
	刻槽后	1.00	0.69
10	刻槽前	0.66	0.68
	刻槽后	1.30	0.68

1.3.2 槽体积水宣泄能力分析

一般来讲刻槽间距越小,槽宽和槽深越大越有助于提高道面排水能力,见图 2。

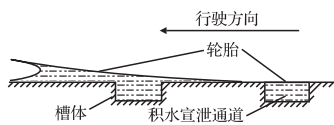


图 2 槽体积水宣泄示意图

Fig.2 The sketch of water groove catharsis effect

引入道面横截面单位长度及时间槽体积水宣泄流量 Q (mm^3),以此来评价道面的积水宣泄能力:

$$Q = \frac{1\ 000\ \text{mm}}{\text{槽间距}} q \tag{1}$$

单个积水宣泄通道单位时间流量 $q = AC\sqrt{RJ}$ 。其中 A 为单个槽体截面面积,其它参数同曼宁公式。影响有压水力坡度 J 的主要因素有积水宣泄通道内外水头差(与轮胎作用压强和速度成正比)及长度(与轮胎宽度和花纹沟间距成正比)。在对比积水宣泄能力时认为 J 和糙率 n 为定值。

1.3.3 槽体耐久性分析

影响因素主要有槽深、槽壁坡角和槽中距。槽深越大槽边角越容易破坏,特别是当飞机尾焰作用在道面上时,这不仅使道面耐久性降低,碎块还会严重威胁到航空发动机。槽壁坡角 θ 越大耐久性越低(如图 3),有关研究^[11]表明梯形截面槽的受力优于矩形截面槽,矩形截面槽有明显应力集中。槽中距过小时会增大槽齿剪应力。

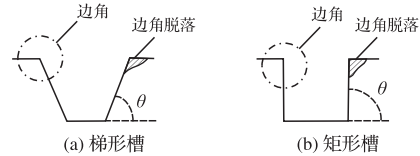


图 3 梯形和矩形截面槽

Fig.3 Trapezoidal and rectangular groove

2 道面摩擦性能评价及现场施工控制指标

在跑道施工阶段使用连续摩阻测试仪(摩擦系数 f)极为不便。需要建立在施工阶段易测数据与 f 的关系。对道面摩擦性能进行控制。通过对几个机场数据的研究,现选取刻槽前和后平均纹理深度 h_1 和 h_2 作为控制项。

表 3 h_1, h_2 与 f 的回归函数

Tab.3 The regression function of $h_1 - f$ and $h_2 - f$

项目	回归公式	R
$h_1 - f$	$\hat{f} = 0.728\ 8h_1 + 0.292\ 7$	0.962\ 9
$h_2 - f$	$\hat{f} = 0.435\ 3h_2 + 0.134\ 3$	0.986\ 9

由表 3 可知, $h_1 - f$ 和 $h_2 - f$ (车速 100 km/h 左右)公式的相关性均较好且相关系数十分相近,表明连续摩阻测试仪能较好地反映道面的宏微观纹理;有关研究^[5]表明对于相同条件的水泥混凝土板面,刻槽参数的变化会导致抗滑性能的不同,这也是 $h_2 - f$ 公式相关系数更高的原因。

选取 h_1 和 h_2 共同作为道面施工阶段控制指标。选用 h_1 可确定刻槽前道面的摩擦性能,检验拉毛效果;选用 h_2 可确定道面刻槽后的摩擦性能。

3 军民合用机场道面表面特性优化

3.1 摩擦系数及平均纹理深度

民航规范对道面摩擦系数的规定更为科学。故军民合用机场跑道摩擦系数的设计和竣工验收均采用民航规范,在施工阶段采用 h_1 和 h_2 控制道面摩擦性能。建议如下:施工阶段 h_1 应不小于 0.5 mm, h_2 宜不小于 1.00 mm。

3.2 刻槽参数要求

军航规范:槽深 2.5~3 mm、槽距 40~50 mm、槽宽:上部 5~6 mm,下部 3~4 mm;民航规范^[12]:槽深 $6 \in [5, 8]$ mm、槽距 $32 \in [31, 35]$ mm、槽宽 $6 \in [5, 8]$ mm。两者刻槽要求差别较大,需要提出一个适中的方案。

对现行规范刻槽性能进行对比: $Q_{\text{军}} = (164.7 \sim 354.5) \sqrt{J}/n$; $Q_{\text{民}} = (160.4 \sim 4063.6) \sqrt{J}/n$, 差别显著。在道面设计时必须同时考虑耐久性和积水宣泄能力。刻槽时应在军航规范的基础上加大截面尺寸,缩小槽间距,并遵循以下原则:①尽量减少槽体尺寸增加;②槽间距不宜过小;③槽壁坡角 θ 不比军航规范的大;④积水宣泄指标 Q 要尽量大。经分析,槽深 3~3.5 mm、槽距 $32 \in [31, 35]$ mm、槽宽:上部 6~7 mm 下部 4~5 mm, $Q = (465 \sim 718) \sqrt{J}/n$ 。槽宽和槽深比军航规范略有增加,槽中距采用民航规范,积水宣泄指标 Q 未达到民航标准水平,但比军航标准已有大幅度增加。

3.3 平整度

平整度差会使飞机滑跑时产生颠簸对飞机安全和道面的耐久性均有影响;单板平整度直接影响道面拉毛效果和刻槽深度的均匀性,影响道面摩擦性能。由于军机一般比民机滑跑速度快,应选取更为严格的标准。军航与民航规范的要求基本相同,但军航要求更严格和细致,建议选用军航规范。

4 结语

军民共用跑道是军民合用机场的特点,本文通过对道面表面特性的分析,结合现行规范与设计施工的实际,从军民航使用的特点和要求出发,为军民合用机场跑道工程建设提供了依据。

参考文献(References):

- [1] MH 5001-2013.民用机场飞行区技术标准[S].2013. MH 5001-2013. Aerodrome Technical Standards[S]. 2013.(in Chinese)
- [2] MH 5007-2000.民用机场飞行区工程竣工验收质量评定标准[S].2000. MH 5007-2000. Quality Inspection and Evaluation Standards for Acceptance of Airfield Area Engineering of Civil Airports.[S].2000.(in Chinese)
- [3] 李波. 刻槽混凝土路面表面功能研究[D]. 西安:长

安大学,2011.

- LI Bo. Study on the Surface Functions for Grooved Concrete Pavement [D].Xi'an: Chang'an University, 2011.(in Chinese)
- [4] 朱洪涛. 水泥混凝土路面抗滑机理及测试技术研究[D]. 西安:长安大学,2009. ZHU Hongtao. Research on the Cement Concrete Pavement Friction Mechanism and Test Technology [D].Xi'an: Chang'an University, 2009.(in Chinese)
- [5] 刘洪辉. 水泥混凝土路面抗滑性能评价指标与研究方法[D]. 西安:长安大学,2009. LIU Honghui. Study on the Index and Methods for the Skid Resistance Performance of Cement Concrete Pavement [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.(in Chinese)
- [6] 谢友柏. 摩擦学的三个公理[J]. 摩擦学学报, 2001, 21(3): 161-166. XIE Youbai. Three Axioms in Tribology[J]. Tribology, 2001, 21(3): 161-166.(in Chinese)
- [7] Henry J J. Evaluation of Pavement Friction Characteristics [R]. Washington, DC: National Research Council,2000.
- [8] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面[M]. 北京:人民交通出版社,1999. SHA Qinglin. Semi Rigid Base Asphalt Pavement of High Grade Highway [M]. Beijing: China Communications Press, 1999.(in Chinese)
- [9] 张世强,吕杰能,蒋峰,等. 关于相关系数的探讨[J]. 数学的实践与认识, 2009, 39(19): 103-107. ZHANG Shiqiang, Lü Jieneng, JIANG Feng, et al. Study of the Correlation Coefficients in Mathematical Statistics [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2009, 39(19): 103-107.(in Chinese)
- [10] 翁兴中,蔡良才. 机场道面设计[M]. 北京:人民交通出版社,1999. WENG Xingzhong, CAI Liangcai. Design of Airport pavement[M].Beijing: China Communications Press, 2007.(in Chinese)
- [11] Jan Olek, W. Jason Weiss, Rolando Garcia-Villarreal. Relating Surface Texture of Rigid Pavements with Noise and Skid Resistance[M].SQDH, 2004-1.
- [12] MH 5006-2002.民用机场飞行区水泥混凝土道面面层施工技术规范[S].2002. MH 5006-2002. Technical Specifications for Construction of Cement Concrete Pavement for Airfield Area of Civil Airports[S].2002.(in Chinese)

(编辑:徐敏)