

JICHANG SHUINI HUNNINGTU DAOMIAN
WEIXIULILUN HE FANGFA

机场水泥混凝土道面 维修理论和方法

翁兴中



陕西新华出版传媒集团



陕西科学技术出版社
Shaanxi Science and Technology Press

西安

机场水泥混凝土道面维修 理论和方法

Theories and Methods for Maintenance of
Airport Cement Concrete Pavement

翁兴中 著

陕西新华出版传媒集团



陕西科学技术出版社

Shaanxi Science and Technology Press

— 西 安 —

图书在版编目(CIP)数据

机场水泥混凝土道面维修理论和方法 / 翁兴中著.
- 西安 : 陕西科学技术出版社, 2019. 10
ISBN 978 - 7 - 5369 - 7594 - 1

I. ①机… II. ①翁… III. ①机场 - 飞机跑道 - 水泥
混凝土路面 - 维修 - 研究 IV. ①V351.11
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 146402 号

机场水泥混凝土道面维修理论和方法

翁兴中 著

出版者 陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社
西安市曲江新区登高路 1388 号陕西新华出版传媒产业大厦 B 座
电话(029) 81205187 传真(029) 81205155 邮编 710061
<http://www.snstp.com>

发行者 陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社
电话(029) 81205180 81206809

印刷 陕西天地印刷有限公司

规格 787mm × 1092mm 16 开本

印张 13.75

字数 270 千字

版次 2019 年 10 月第 1 版
2019 年 10 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978 - 7 - 5369 - 7594 - 1

定价 50.00 元

版权所有 翻印必究

(如有印装质量问题,请与我社发行部联系调换)

前言

水泥混凝土道面是机场道面的主要型式之一,被广泛应用到军、民用机场。在水泥混凝土道面的使用过程中,受到飞机荷载的作用和环境因素的影响,道面会出现各种各样的损坏现象。这些损坏现象若不能及时地进行维护和修复,道面的使用性能会下降,使用寿命会缩短,严重者会造成机毁人亡。因此,水泥混凝土道面的维修是道面管理中的一项很重要的工作,维修技术水平的高低决定着道面的维修质量。为了促进机场道面维修水平的提升,保证道面的运行质量,有必要将道面的维修技术进行全面地、系统地研究,提供一整套道面的维修技术。

全书共 11 章,主要内容有:道面维修的特性;维修材料;水泥混凝土道面损坏现象;维理论、方法和技术;道面表面摩擦管理和维修技术;戈壁滩和干旱盐渍土地地区水泥混凝土道面损坏的维修方法等。全书具有内容全面、技术先进、方法可靠、实用性强等特点,弥补了我国在水泥混凝土道面维修方面的不足,对推动我国道面维修技术的发展具有推动作用。

全书由翁兴中负责撰写。

本书可作为从事机场工程管理、维修、设计和施工人员使用,亦可作为机场工程专业的教学用书。

鉴于作者水平有限,错、漏、欠妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者

2019 年 3 月

目录

第1章 机场道面维护特性

1.1 机场道面使用要求	1
1.2 机场道面各区域的特点	4
1.3 与道面有关的飞机特性	5
1.4 道面外来物损坏(FOD)	6

第2章 机场道面维护管理

2.1 前言	10
2.2 道面的损害	11
2.3 道面维护的类型	11

第3章 道面维修材料

3.1 水泥混凝土	13
3.2 专用修补砂浆(水泥砂浆)	17
3.3 环氧树脂混凝土	17
3.4 快凝快硬水泥混凝土	18
3.5 填缝材料	19
3.6 橡胶清除化学剂	20
3.7 即时沥青修补材料	21
3.8 热拌沥青混合料	21

第4章 水泥混凝土道面损坏类型

4.1 概述	23
4.2 裂缝	23

4.3	接缝和板边损坏	31
4.4	填缝料损坏	37
4.5	表面损坏	42

第5章 水泥混凝土道面修补方法

5.1	前言	50
5.2	裂缝	50
5.3	填缝料	53
5.4	碎块	56
5.5	板底灌浆	65
5.6	表面损坏	66
5.7	道面板破除和更换	66
5.8	水泥混凝土板间错台修补方法	69

第6章 水泥混凝土道面表面强化处理

6.1	水泥混凝土道面表面损坏特征	71
6.2	表面强化材料的类型	72
6.3	机场水泥混凝土道面表层强化试验方案	74
6.4	道面表面强化处理的表面摩擦性能	79
6.5	道面表层强化后的抗冻性	81
6.6	道面表层强化后的磨耗性	86
6.7	火焰喷蚀后道面表层强化后的特性	88
6.8	紫外线作用后道面表层强化特性	91
6.9	冻融-磨耗循环复合作用下混凝土强化表层特性	94

第7章 道面板翘曲变形

7.1	单块板自由翘曲变形	98
7.2	考虑自重作用的翘曲变形	99
7.3	考虑相邻板作用的翘曲变形	101
7.4	道面板的翘曲变形	104
7.5	参数敏感性分析	104

第8章 修补道面结构性能分析

8.1	修补道面结构受力特性	109
8.2	修补道面结构加载试验和疲劳特性	109
8.3	修补道面的病害分析	132

8.4	修补结合面黏结强度的试验方法	135
第9章 道面摩擦管理与维护		
9.1	道面摩擦特性	144
9.2	水泥混凝土摩擦表面处理	151
9.3	道面表面摩擦的评定	155
9.4	道面表面摩擦的维修	161
第10章 戈壁滩地区道面冻胀损坏维修技术		
10.1	道面结构的冻胀的机理	167
10.2	道面结构的冻胀引起的损坏现象	171
10.3	道面结构冻胀损坏的处理	173
10.4	道面结构的冻胀损坏维修的工程实例	175
第11章 干旱盐渍土地地区道面损坏修补技术		
11.1	盐渍土的分类	181
11.2	盐渍土工程性质	182
11.3	硫酸盐膨胀特性	186
11.4	水泥稳定砂砾石盐胀特性	188
11.5	道面结构设计	191
11.6	新疆某机场盐渍土道面损坏维修	201
参考文献		209

机场道面维护特性

机场道面修建完成投入使用后,道面的维护是一项基本的和连续性的工作。道面的维护在道面管理中是一项主要的工作。通过对道面的维护,可以保证道面达到下面的要求:

- (1)道面的状况对飞机运行产生最小的危害;
- (2)保证道面的使用寿命达到最大化。

为了使道面达到上述的要求,机场道面管理人员需要对道面的维修技术进行深入了解和掌握,以便采用最实用和可靠的方法对道面进行维护,同时对道面的维护费用进行优化。机场道面及时和适当的维护不仅用最小的代价取得道面使用的最大效益,而且使道面的使用寿命达到最可能长的时间,使道面的重铺和重建的时间尽可能延长。道面使用寿命期间的维护可减少道面的重新加铺和重新修建的工程量,并能节省经费和时间。

为了提高道面维修的效能,必须对目前道面的维修技术和标准充分掌握和理解,同时对道面维护的理论和技术的发展 and 动态有深入的了解。结合机场道面的实际情况,努力改进道面维修方法、材料和设备,提高道面的维护技术,实现道面高效、快速、优质的维护。

为了更好地进行道面的维护工作,在进行道面的维修之前,需要对道面的情况进行检查,分析道面损坏的原因,提出维修对策,为此,需要掌握以下内容:

- (1)机场位置;
- (2)损坏的类型和大小;
- (3)可供选择的方法;
- (4)安全和运行考虑;
- (5)维修允许的时间;
- (6)维修费用的数额和来源及采取的工作程序。

1.1 机场道面使用要求

为了保证机场道面的使用性能,必须建立道面的使用要求。维护能使道面连续满足使用要求。机场道面要求的功能如下。

1.1.1 保护土基抵抗超载

作用在道面上的荷载以及道面自身的重量都是由道面下的土基承担的。道面结构的设计是让飞机荷载以某种方式分配并限制土基表面任何一点所承受的压力。土基能承受的压力随着土的类型不同而不同,并与密度和湿度相关。在大多数情况下,土基的湿度状况是至关重要的。例如,为什么承受特定飞机在软弱的黏土上道面结构设计的厚度比压实的砂土要厚。

由于厚度不足、道面材料差、过湿、不充分压实或其他原因,道面结构就不能充分分配机轮荷载,土基可能承受较大的荷载而损坏。土的类型决定土基损坏的特性。无黏性的砂(如干净砂)会因剪切发生破坏,有黏性的黏土破坏是道面(塑性)变形。土基的任何损坏反映到道面表面将出现一种或多种损坏现象,导致道面无能力满足其他功能要求。

道面结构不能保护土基承受的超载原因:

- (1) 道面结构厚度不能与作用荷载相适应,主要表现在道面板厚度偏薄;
- (2) 道面组成材料强度因为使用过程中的退化或最初的低质量材料没有达到设计要求(如原材料质量差);
- (3) 道面结构任意层压实不够;
- (4) 道面结构任意层湿度过大;
- (5) 道面中的整体性基层由于破碎(如裂缝)、结合材料性能下降(如脱落)、石灰或水泥被冲刷。

1.1.2 保护土基抵抗环境作用

当土的湿度越大时,土强度越弱(承载能力越低)。相反,土基干燥或相对它碾压时的干燥可能超过土基设计强度。如果道面设计时假定土基将保持相对干燥,道面必须对下面的结构层提供好的防水(特别是表面),尤其是要防止道面结构最下层的土基的湿度增大(这点很重要)。

1.1.3 表面松散颗粒的脱落

飞机发动机易受到从道面的空隙中脱落的松散颗粒(如集料、混凝土碎块、沥青碎块或其他松散颗粒)的损坏。外来物损坏(Foreign Object Damage, FOD)由高速滑行的飞机对道面的作用(对道面表面的喷出或吸入作用)产生或被吸入发动机造成潜在的危害,这样的破坏会造成飞机维修费用增大,或者是引起严重的飞行事故。许多军用飞机的胎压很高,易受到脱落的锋利的碎块破坏。对单个机轮的起落架,爆胎是非常危险的。因此,机场维护高效率(费用)与减少松散颗粒和锋利的碎块密切相关。

1.1.4 舒适度

许多军用战斗机具有高胎压和在跑道上高速滑行的特点,道面的不平整会对飞

机及设备引起冲击和振动,减少了机身的寿命,甚至会造成仪器判读,或使飞行员(或乘客)感到不舒服。

修建初期,道面表面超过允许误差,常常引起舒适性差,由于沉降、压实不够、混凝土板的损坏、填缝料的挤出、沉陷、轮辙等会使道面表面的形状恶化。测量舒适度的方法主要有3m直尺、连续式平整仪和颠簸累计仪等,采用的评价指标有:最大间隙 Δh (单位:mm)、标准差 σ (单位:mm)以及国际平整度指数 IRI (单位:m/km)等。

1.1.5 表面排水

当道面潮湿时,道面表面提供的阻力会减少。当道面表面被连续一层水膜(达到近似1mm厚度以上)覆盖时,道面上的飞机可能滑移或失去控制。在冷冻天气,会形成危险的冰块。另外,飞机通过水坑飞溅出的水雾会引起发动机熄火。

因此,道面表面必须有好的排水特性。主要是通过合适的平坦表面快速地将水排到道面边缘或排水格栅或排水槽或其他排水管道。然而,飞机要求道面表面相对平坦(如小于2%),因而它们易受到结构损坏、轮辙、沉降(或沉陷)的影响。在机场道面损坏部位上的重铺、补丁、部分修补、板的替换等要求比路面要高,要求更高压实,防止飞机或服务车辆引起道面结构性沉降(或沉陷)。

1.1.6 表面纹理和抗滑力

道面提供的抗滑力取决于道面表面的粗纹理(表面纹理深度)和细纹理,即表面材料中外露表面集料特性和处理方式。细纹理是由集料组成的岩石表面尺寸和特性决定的,它是由集料颗粒表面的摩擦决定的。粗纹理是表面粗糙程度,它是由在表面材料颗粒间的形状、尺寸和间距决定的,它的大小是由在水平面的突出大小决定的。粗纹理也包括任何增加表面粗糙的措施,如水泥混凝土道面拉毛、刻槽等。

跑道要求用填砂法测定粗纹理深度,其要求在有关规范中有明确规定。机场道面表面材料使用的集料通常不要求是光滑的。跑道表面的摩擦要求在下面规范中有规定:

- (1)《民用机场水泥混凝土道面设计规范》(MH/T5004-2010);
- (2)《民用机场飞行区技术标准》(MH 5001-2013);
- (3)《军用机场水泥混凝土道面设计规范》(GJB1278A-2009)。

除了与跑道摩擦要求一致的快速出口滑行道外,滑行道和停机坪的表面摩擦要求可以降低。主要考虑滑行道和停机坪上飞机滑行速度较低,道面表面摩擦性能对低速滑行的影响没有在跑道上高速滑行时危害大。当道面上存在燃油薄膜并处于潮湿状态时,机轮在其上滑行易产生滑动。

由于众多原因,跑道的抗滑性能会随时间衰退。主要原因是飞机机轮刹车引起磨损和磨光,以及橡胶污染物在道面上堆积。这两方面的效果直接取决于飞机交通量和类型。其他影响摩擦衰退的速率与当地的天气条件、道面类型(沥青或水泥混凝土)

土)、结构中使用的材料、任何病害处理和维护条件。

结构的损坏如沉陷、松散、裂缝、接缝破坏、沉积或其他道面损坏影响跑道的摩擦损失。这些问题可采取适当的措施及时维修。污染物如橡胶沉积、灰尘、发动机燃油、油料溢出、水、雪、冰和泥都可引起跑道表面的摩擦损失。橡胶沉积主要在跑道的起降带(Touch Down Zone, TDZ), 面积相当广。严重的则完全覆盖道面表面纹理, 特别是在跑道潮湿时导致飞机刹车能力的丧失、方向失控。

1.1.7 机场道面的耐久性和可靠性

由于维修而关闭机场道面则会造成巨大的经济损失和军事意义的丧失, 不仅是材料和工时花费, 也造成道面不能提供飞机运行。道面的维修材料、结构和方法必须是耐久和能抵抗诸如飞机运行的磨损和破坏、飞机喷气流、燃油和油料溢出、日常维护和各种天气条件的作用。

1.1.8 机场道面标准

机场道面标准是道面设计、施工和维护的依据, 对保证机场的运行起着重要作用。在机场道面维护过程中, 所执行的技术指标要达到相应标准的技术要求。

1.2 机场道面各区域的特点

掌握机场道面各区域的使用要求, 对决定什么时候进行维修和采取的维修方法具有重要意义, 具体要求如下。

1.2.1 跑道和滑行道

跑道和滑行道的使用要求包括:

- ▶ 相关的平整度要求, 特别是在高速地带;
- ▶ 良好的摩擦特性, 特别是在高速地带;
- ▶ 高效的排水;
- ▶ 没有松散颗粒或潜在松散颗粒。

1.2.2 停机坪和维修坪

停机坪和维修坪的使用要求:

- ▶ 没有积水;
- ▶ 没有损坏的板, 对飞机维修人员产生危险的边缘错台和坑洞;
- ▶ 没有松散颗粒;
- ▶ 使用燃油阻隔膜(Fuel Resistant Membrane, FRM)或专门沥青混合料防止沥青道面表面被溢出燃油损坏;

- ▶ 溢出燃油和机油不能聚积,应立即从道面表面清理;
- ▶ 道面的类型满足特殊使用如紧急转弯,长期静荷载作用;
- ▶ 填缝料类型(对刚性道面);
- ▶ 由于道面的沉陷增加了飞机起动离开的难度,因此在柔性道面停放飞机机轮的位置的沉陷大小必须做出明确要求,不能有过大的沉陷。

1.2.3 特殊服务坪

特殊服务坪(Special Purpose Aprons, SPAs)由起飞准备坪(Operational Readiness Platforms, ORPs)和武器装填坪组成(Ordnance Loading Aprons, OLAs)。停机坪和维修坪的要求可以用于 SPAs。ORPs 通常靠近跑道,在这个位置上发动机在运行时要求没有松散颗粒。

1.2.4 飞机清洗坪

这类道面通常采用水泥混凝土构筑,以保证排水顺畅。需要适合的排水设施,从坪中流出表面水通过机油/燃油拦截沟或池,防止污水流入天然水系和地下水。如果进入土基的水能够使土基恶化,清洗坪应具有防水条件(如所有板接缝和裂缝封闭)。所有的水必须从排水系统中流走,不允许自流出道面并在天然表面聚积,这样会浸泡和破坏道面。

1.2.5 校罗坪和飞机掩体道面

校罗坪和飞机掩体道面要求与停机坪相同。另外一个要求是道面中所有的材料必须是低磁性的。铁装置(如排水栅)不能使用,集料的磁性在使用前必须检查。

1.2.6 道肩

道肩的目的是减少飞机喷气流对道面侵蚀和外来物损坏(Foreign Object Damage, FOD)的产生。道肩的设计应满足防止飞机喷气流侵蚀,并有能力保证飞机偶然偏离跑道时的安全,突发事件的处理和维修车辆的通行。道肩应保证飞机偶然通过时的安全,并对飞机不造成损坏。在每次飞机通过道肩后,应对道肩进行检查或维修。

1.3 与道面有关的飞机特性

1.3.1 军用战斗机

军用战斗机的特性对道面有最多和最高的要求。这是由于它们的起飞和着陆速度快,通常采用尺寸小的单轮,具有高胎压,发动机喷气流的高温和高速对道面表面会产生危害等。这些因素对道面的使用提出了更高的要求。有关军用战斗机的胎压

见表 1-1。

表 1-1 军用战斗机的胎压

机 型	F5F	F15C/D	F16D	B52	B1B	A10A	Su27	Su30
胎压(MPa)	2.19	2.34	1.97	1.83	1.52	1.28	1.23	1.53

1.3.2 运输飞机

这类飞机以最大的荷载作用在道面上,但多采用多机轮的主起落架并且较低的胎压。有关军用运输机的胎压见表 1-2。

表 1-2 军用运输机的胎压

机 型	C130E	C130H	C141B	C17A	C5A	C5B	IL76
胎压(MPa)	0.72	0.80	1.31	0.95	0.73	0.77	0.52

1.3.3 民用客机

随着民用客机重量的增大,多采用高胎压多机轮的起落架,但民用客机起飞和着陆速度比军用战斗机小,机轮的胎压已经与军用战斗机相当。有关民用客机的胎压见表 1-3。

表 1-3 民用客机的胎压

机 型	A380-800	B737-800	B737-900	B757-200	A320	A321
胎压(MPa)	1.57	1.47	1.47	1.21	1.14	1.36
机 型	B767-200	B767-300	B777-200	B777-300	A340-500	A330-200
胎压(MPa)	1.24	1.38	1.28	1.48	1.42	1.42

1.3.4 螺旋桨飞机

这类飞机有单个发动机的轻型飞机、双发动机的通勤飞机等。此类飞机质量小,滑行速度慢,胎压低,对道面表面几乎没有什么要求。

外来物损坏(Foreign Object Damage, FOD)对螺旋桨飞机来说是危险的,因为可能破坏螺旋桨叶和外壳。对于螺旋桨飞机道面表面必须进行维护,使松散颗粒数量最小。

1.3.5 旋转机翼飞机(直升机)

直升机的旋转机翼可使道面上的松散颗粒影响附近的飞机、地面设备、行人或其下部结构。直升机运行的下面道面必须特别干净。

应该注意到某些直升机起落架上有刹车,它能引起道面损坏,如表面磨损。应特

别注意的是,直升机刹车道面区域的维修材料和技术保障,如橡胶沥青密封带等维修产品不能使用。因为它们可能松散造成外来物损坏(FOD)问题。

直升机经常在停机坪上维护和补充燃料,道面表面会受到机油和溢出燃油的污染。通常采用水泥混凝土,填缝料不包括橡胶和聚合物改性沥青(Polymer Modified Bitumen, PMB)。如果使用了橡胶和聚合物改性沥青,应采用燃油阻隔膜(Fuel Resistant Membrane, FRM)保护沥青和填缝料不受到影响,但可以采用专门能抵抗油料腐蚀的沥青混合料。

1.4 道面外来物损坏(FOD)

1.4.1 道面外来物的定义

广义上来说,道面外来物可以分为两大类:一是外来物碎片(Foreign Object Debris, FOD),见图 1-1;二是外来物损坏(Foreign Object Damage, FOD),见图 1-2。道面的损坏就有可能产生碎片或碎块,这些碎片或碎块对飞机的运行产生影响,严重者会造成机毁人亡。本书的道面外来物是指外来物损坏(Foreign Object Damage, FOD)。

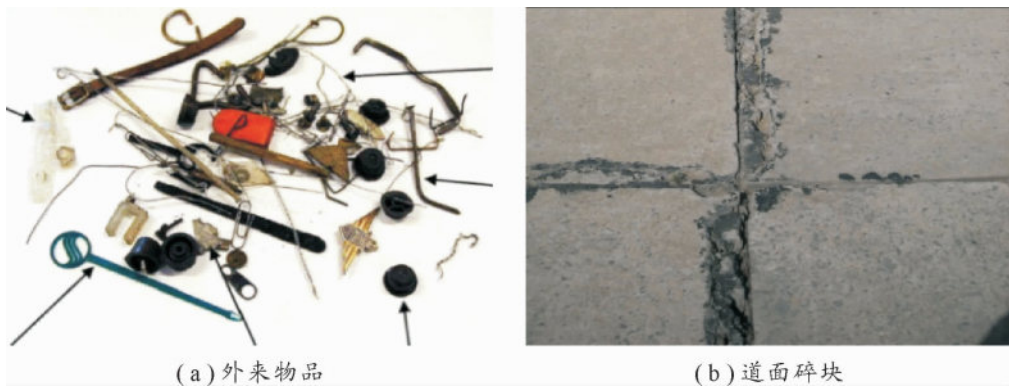


图 1-1 外来物碎片

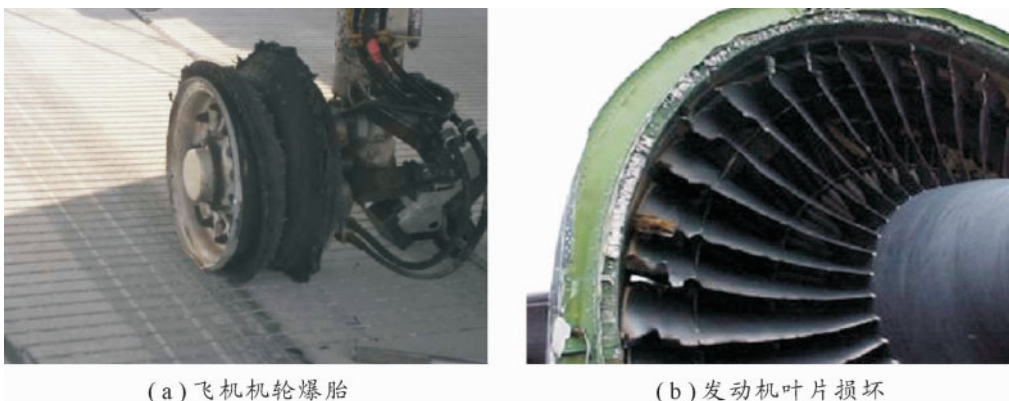


图 1-2 外来物损坏

1.4.2 外来物分类

按照对飞机的危害程度来分,外来物可分为高危外来物、中危外来物和低危外来物。

高危外来物包括金属零件和重量较重的外来物。对航空器极度危险,容易引起发动机和轮胎严重损伤(见图 1-3)。



图 1-3 高危外来物

中危外来物包括碎石块、报纸、包装箱等对飞行安全有一定影响的外来物(见图 1-4)。



图 1-4 中危外来物

低危外来物包括非金属零碎垃圾、纸屑、树叶等对飞行安全威胁较小的外来物(见图 1-5)。



图 1-5 低危外来物

1.4.3 外来物损坏 (FOD)

道面存在外来物就有可能对飞机的运行带来损坏。对飞机造成的损坏主要体现在飞机机轮和发动机两个部位的损坏,也会对飞机的机身造成破坏。

飞机机轮损坏的过程基本是这样的:飞机在道面上扎上外来物,其后果或者是轮胎被扎伤,或者是夹在轮胎缝隙间,带到滑行道或者跑道甩出形成外来物。这些外来物(可能加上跑道上的原有的外来物)被后续飞机压过造成轮胎扎坏或者夹在轮胎缝间带到其他机场,飞机落地后要么扎坏自身飞机要么扎坏其他起降飞机的机轮。

外来物对飞机发动机的损坏是道面上的外来物被发动机吸入到发动机内部,与发动机的部件碰撞后引起发动机的损坏,严重者造成发动机停止工作,飞机失去动力,影响飞行安全,会造成机毁人亡,机场关闭。

外来物撞击到飞机的机身,会产生强大的冲击力。当冲击力超过机身的强度时,机身就会损坏。

根据飞机在道面上的运行状况,可按外来物的危害程度对道面进行分区(见图 1-6)。在跑道上由于飞机起飞和着陆的速度很大,外来物对飞机造成的损坏是最大的,其他区域外来物的影响相对较小。

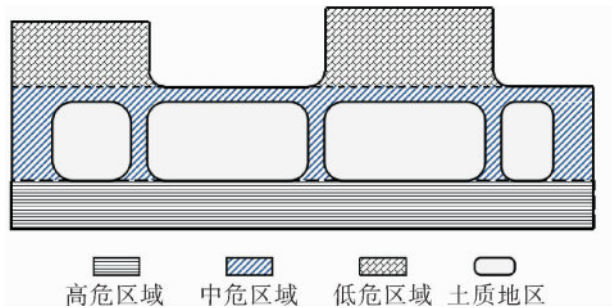


图 1-6 外来物危害区域划分

《《 第 2 章

机场道面维护管理

2.1 前言

道面的寿命不仅取决于设计水平和施工质量,而且与道面维护水平有关。道面要能经受天气、气候的恶劣因素的影响和飞机、车辆荷载的反复作用。为了保证道面的正常使用,道面开始出现下面的情况时,应考虑进行维修。

- (1) 较小的沉降发生;
- (2) 形成的裂缝只限于表面;
- (3) 在交通荷载和环境长期作用下只发生表面磨损和侵蚀;
- (4) 道面标志只是褪色;
- (5) 沿道面边缘或相邻部分的水坑由于荷载的变形或沉降只是形状发生变化;
- (6) 杂草生长被忽视的地方。

如果最初阶段不进行维修,这些问题会发展成需要大修并且影响飞机运行安全。日常维护能确保道面全寿命范围内对飞机安全运行形成安全条件。花费在道面维护上的经费不是浪费,而是延长了道面的使用寿命。维修可使损坏的区域恢复到相邻道面的标准而避免比原道面劣化或弱化。维护和维修需要进行经费效益对比分析。当某一个区域道面损坏影响飞机运行,无法寻找出另外一个可替代的道面满足飞机运行要求时,需要及时维修。一般来说,不可能出现在两个完全使用的区域同时达到同样的恶化。图 2-1 提供了在整个道面使用期间道面理论寿命与综合观察资料在费用方面的对比。

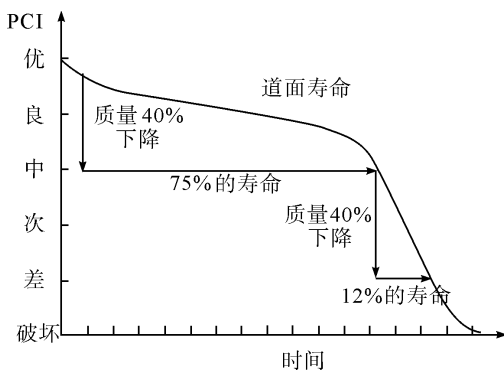


图 2-1 道面寿命循环