

# 机场复合道面 PCN 计算方法分析

赵忠进<sup>1</sup>,袁捷<sup>2</sup>,周正峰<sup>2</sup>

(1.民航青岛流亭机场,山东青岛 266108;2.同济大学,上海市 200092)

**摘 要:**道面等级号(PCN)作为机场道面的主要技术参数,需要机场当局向外公布,随着我国旧机场道面补强工程的实施,如何计算复合道面的 PCN 是机场当局普遍面临的一个技术问题。该文以我国东部某国际机场跑道加铺工程作为实例,对复合道面 PCN 计算方法的选择、计算参数的选取、以及 PCN 的计算过程进行了详细的分析,对于类似工程道面 PCN 的计算具有一定的参考价值。  
**关键词:**复合道面;PCN;计算方法  
**中图分类号:**U416.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)06-0019-03

## 0 前言

为了评价机场道面结构对于飞机荷载的适应性,世界各国曾提出很多道面强度的报告方法<sup>[1]</sup>,例如二战及二战以后的一段时间,英国把机场道面按其适用的机种来分类,如用“战斗机”、“轰炸机”、“重轰炸机”和“超重轰炸机”来划分等级;我国民航及前苏联民航曾采用飞机总质量或一个主起落架上的质量划分道面等级;此外还有采用在现有道面上运行飞机的荷载等级来评价道面适应性的方法,如当量单轮荷载(*ESWL*)法、荷载等级号码(*LCN*)法。这些方法各自有所侧重,但是由于没有从飞机荷载与道面结构之间相互响应的角度进行分析,所以无法准确地反映道面结构对于飞机荷载的适应程度。为了克服上述几种评价方法的缺陷,同时也为了方便国际间的交流,国际民航组织(ICAO)提出了 *ACN-PCN* 评价法<sup>[2]</sup>,并在会员国间推广。我国作为会员国,也采用了该方法作为道面强度的报告。在国际民航组织提出的机场道面强度 *PCN* 的计算方法中,将道面划分为两种类型,即刚性道面和柔性道面,对于民用机场复合式的道面结构,在计算 *PCN* 值时,究竟是将其视为刚性道面还是柔性道面,我国和国际民航组织的相关技术标准目前都没有明确规定。而我国大量使用年代久远的老机场,都面临道面结构补强的

客观需要,在道面实施加铺工程后,如何计算复合道面的 *PCN*,是我国各机场当局在公布道面 *PCN* 时面临的一个技术问题。本文结合我国东部某国际机场跑道沥青混凝土加铺工程的实例,对机场复合道面 *PCN* 的计算方法、参数取值等问题进行了深入的分析,计算结果获得了机场当局的认可,为类似工程中提供了技术参考。

## 1 PCN 的基本概念

*PCN* (*Pavement Classification Number*) 是道面等级号,表示道面承载强度的一个数值,这个数值是道面可以安全承受的当量单轮荷载 (*ESWL* 以吨计) 的 2 倍。对于供最大机坪重大于 5 700 kg 飞机使用的道面,*PCN* 应采用表 1 所示的格式,在道面强度报告中,除了通报 *PCN* 值外,还应给出道面类型、地基的强度、允许的轮胎压力和评价方法的相应代码。

表 1 PCN 代码表									
道面类型		地基强度		轮胎压力		评定方法			
PCN		地基反		CBR(沥					
代码	类型	代码	等级	青混	等级	胎压	代码	方法	
				凝土		MPa			
				道面)					
				MN/m <sup>3</sup>					
数值	A	高	≥120	≥13	W	高	无限制		
	R	刚性	B 中	60~120	8~13	X	中	1.0~1.5	T 技术
	F	柔性	C 低	25~60	4~8	Y	低	0.5~1.0	U 经验
		D	极低	< 25	< 4	Z	极低	< 0.5	

## 2 PCN 的计算方法<sup>[3]</sup>

收稿日期:2006-07-30  
作者简介:赵忠进(1969-),男,山东胶南市人,工程师,从事场道设施管理工作。

### 参考文献

[1]JTG D400-2002 公路水泥混凝土路面设计规范[S].  
[2](美)黄仰贤.余定选,齐诚译.路面分析与设计[M].人民交通出版社,1998.  
[3]JTJ 014-97 公路沥青路面设计规范[S].  
[4]Yahia A. Abdel-Jawad,Waddah Salman Abdullah.Design of

maximum density aggregate grading[J].Construction and Building Materials,2002(16):495-508.  
[5]蒋应军.水泥稳定碎石基层收缩裂缝防治研究[D].长安大学硕士学位论文.18-26.  
[6]李小重.水泥稳定碎石基层的级配优化[J].中外公路,2005,25(4).  
[7]JTJ 058-2000 公路工程集料试验规程[S].



根据国际民航组织的规定,刚性道面的 PCN 按照威斯特卡德板中心受荷情况计算,公式如下:

$$\sigma = \frac{0.275G}{h^2} (1 + \mu) \log \left[ \frac{Eh^3}{Kb^4} \right] \quad (1)$$

式中:  $\sigma$  为混凝土的容许抗弯工作应力 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), 为 90 d 的弯拉强度 (即 28 d 设计强度乘以 1.1 倍) 除以安全系数 1.8;  $G$  为道面能安全承受的推导单轮荷载 ( $\text{kg}$ ), 通过先假定一个初始值后用迭代的方法求得;  $h$  为当量水泥混凝土板厚度 ( $\text{cm}$ );  $E$  为水泥混凝土的弹性模量 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ );  $K$  为基础反应模量 ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ );  $a$  为轮胎接触面积的半径 ( $\text{cm}$ ), 由假定单轮荷载和标准轮胎压力 1.25 MPa 求得;  $b$  为荷载作用面积当量半径 ( $\text{cm}$ ),  $b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h$ ;  $u$  为水泥混凝土泊松比, 取 0.15。

柔性道面的 PCN 按照土基整体抗剪强度极限平衡理论的 CBR 法计算, 公式如下

$$t = \sqrt{\frac{DSWL}{C_1 CBR} - \frac{DSWL}{C_2 P_s}} \quad (2)$$

式中:  $t$  为道面总的当量厚度 ( $\text{cm}$ );  $DSWL$  为道面能安全承受的推导单轮荷载 ( $\text{kg}$ );  $P_s$  为标准轮胎压力 1.25 MPa;  $CBR$  为地基强度的加州承载比; 常数  $C_1$ 、 $C_2$  分别为 0.5695 和 32.035。

求得刚性道面或柔性道面的推导单轮荷载  $G$  或  $DSWL$  后, 利用式(3)计算道面的 PCN。

$$PCN = G \text{ 或 } DSWL (\text{以 } t \text{ 计}) \times 2 \quad (3)$$

### 3 复合道面 PCN 计算方法的选择

在机场复合道面 PCN 计算方法的选择上, 一般有如下考虑:

(1) 美国联邦航空局 (FAA) 规定<sup>[4]</sup>: 刚性道面上加铺柔性面层时, 一般情况下应将道面换算为一种当量厚度后采用刚性道面 PCN 的计算方法。

(2) 加拿大的做法是<sup>[4]</sup>: 对于刚性道面上加铺柔性面层的复合式道面, 当加铺层厚度  $< 25 \text{ cm}$  时, 将混凝土板和沥青层的厚度一起换算为一个当量单层板厚, 采用刚性道面 PCN 的计算方法, 当加铺层厚度  $> 25 \text{ cm}$  时, 则换算成当量厚度后采用柔性道面 PCN 的计算方法。

(3) 国际民航组织 (ICAO) 建议<sup>[4]</sup>: 如果复合道面结构的组成部分中以“刚”为主, 而且没有出现严重的开裂破坏, 则计算时采用刚性道面 PCN 的计算方法, 否则, 则应采用柔性道面的计算方法。

(4) 我国在设计规范中规定<sup>[5]</sup>: 当加铺层厚度大于原有水泥混凝土道面厚度时, 应将设计加铺

层作为沥青混凝土道面补强设计, 原水泥混凝土道面作为高质量的基层材料, 当加铺层厚度等于或小于原有水泥混凝土道面厚度时, 则按水泥混凝土道面补强设计。

综上所述, 计算复合道面的 PCN 时, 应将道面的结构厚度换算成刚性道面或者柔性道面的当量厚度, 然后再按照国际民航组织推荐的刚性道面或者柔性道面 PCN 的计算方法予以分析。当在分类上存在疑问时, 应分别按照刚性道面和柔性道面 PCN 的计算方法予以计算, 取偏于安全的计算结果予以公布。

### 4 实例分析

我国东部某国际机场是我国最为繁忙的机场之一, 目前日均起落架次接近 500 次, 飞行区的技术等级为 4E, 跑道建于上世纪五六十年代, 为块石基础上修建的厚度为 34~45 cm 水泥混凝土结构, 1991 年, 为了提高跑道的结构承载能力, 实施第一次沥青混凝土加铺, 结构为三层沥青混凝土, 加铺厚度 20 cm; 1998 年, 跑道实施第二次沥青混凝土加铺, 在铣刨掉上面层 6 cm 后重新加铺沥青混凝土; 2005 年对跑道进行第三次沥青混凝土加铺, 在原道面厚度基础上再加铺 5 cm 的改性沥青混凝土, 目前该机场跑道的典型道面结构如图 1 所示。

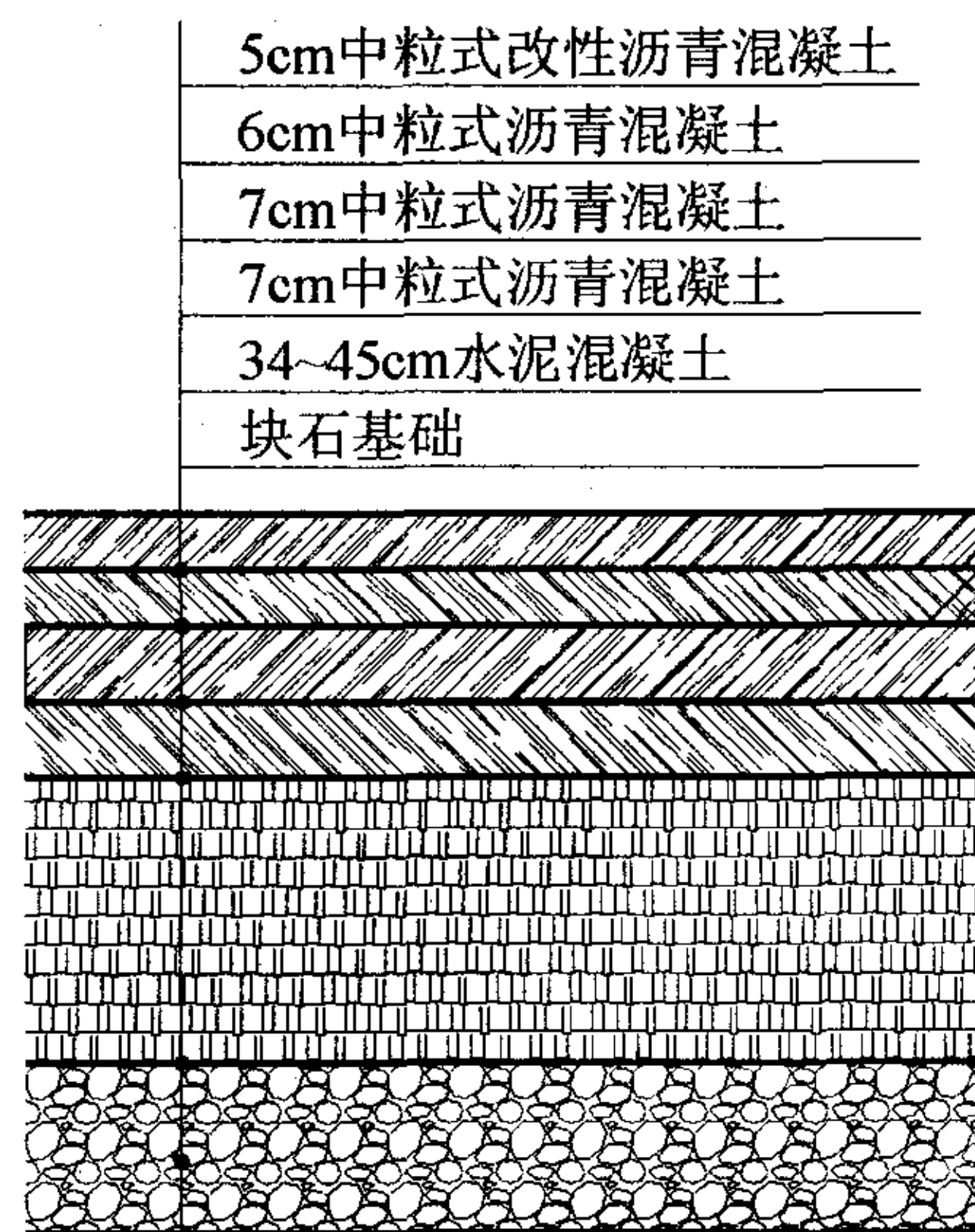


图 1 跑道道路结构

#### 4.1 刚性道面的 PCN 计算参数

##### (1) 基层顶面反应模量 $K$

基层顶面的反应模量  $K$  可以根据道面 FWD 弯沉测试的结果, 利用弹性层状体系理论解反算获得, 本文采用 EVERCALC 计算程序。将道面结构简化为两层, 即: 沥青混凝土加铺层和原水泥混凝



土面层,土基和原块石基础合并作为地基。利用程序反算得到的基础回弹模量  $E_b$ ,将 FWD 测试反算得到的动态模量按照 0.5 系数修正为静态模量后,采用经验公式(4)推算基层顶面的反应模量  $K$ :

$$k=1.036(0.5 \times E_b)^{0.7788} \quad (4)$$

(2)刚性道面当量厚度  $h_d$

根据我国水泥混凝土道面上加铺沥青层设计的逆过程,按式(5)将沥青加铺层和原水泥混凝土板换算成刚性道面的当量厚度:

$$h_d=(0.4t+C_bh) \cdot \frac{1}{F} \quad (5)$$

式中: $h_d$ 为刚性道面当量厚度 (cm); $t$ 为沥青加层厚度(cm); $h$ 为原水泥混凝土板厚(cm); $C_b$ 为原水泥混凝土道面的状况系数,在 0.75 ~ 1.0 范围内选用,道面状况良好时取上限,反之取下限; $F$ 为控制原有道面开裂的系数,是地基反应模量  $K$ 和交通量的函数,通常在 0.7 ~ 1.0 中选取,地基反应模量和交通量大时取上限,反之取下限。根据该机场道面现场调查的结果,系数  $C_b$  取 0.85, $F$  取 0.9。

(3)PCN 计算参数汇总

机场跑道各区域按照刚性道面 PCN 计算的计算参数见表 2。

表 2 刚性道面 PCN 计算参数

分区编号	当量总厚度 $h_d$ (cm)	水泥混凝土弹性模量平均值 $E$ (MPa)	基础回弹模量平均值 $E_b$ (MPa)	基层顶面平均 K 值 (MN/m <sup>3</sup> )
R <sub>2</sub> (P05+20 ~ P10+00)	47	25480	286	49
R <sub>3</sub> (P10+00 ~ P20+00)	54	25480	267	47
R <sub>4</sub> (P20+00 ~ P35+00)	52	25480	254	45
R <sub>5</sub> (P35+00 ~ P47+00)	52	25480	261	46
R <sub>6</sub> (P47+00 ~ P67+20)	52	25480	244	44
R <sub>7</sub> (P67+20 ~ P70+20)	44	25480	218	40
R <sub>8</sub> (P70+20 ~ P85+00)	47	25480	235	42

由表 2 可见,各区域基础强度在“低强度”范围内,代码为 C。刚性道面上的轮胎压力一般不做限制,允许胎压代码为 W。

4.2 柔性道面的 PCN 计算参数

(1)地基 CBR

地基 CBR 可以根据现场 FWD 弯沉测试的结果推算,由于离开作用荷载很远处的道面表面弯沉值仅与地基在荷载作用下的竖向变形有关,因此可由 FWD 弯沉测试远端测点的弯沉值,按式(6)反算地基的回弹模量:

$$E_0 = \frac{0.24P}{rl_r} \quad (6)$$

式中: $E_0$ 为地基回弹模量(MPa); $P$ 为作用荷载 (MN); $r$ 为弯沉测点离荷载作用中心的距离

(m); $l_r$ 为在  $r$  点测得的表面弯沉值(m)。推算出  $E_0$  后,将 FWD 测试反算得到的动态模量按照 0.5 系数修正为静态模量后,地基的 CBR 可以采用经验公式(7)计算:

$$CBR = 0.5 \times E_0 / 11 \quad (7)$$

(2)柔性道面当量厚度  $t$

柔性道面的当量厚度可以换算采用当量系数法计算,即将道面各个结构层的厚度分别乘以各自的当量系数,相加后作为柔性道面的当量厚度  $t$ 。根据该机场道面状况调查结果,水泥混凝土和沥青混凝土的当量系数分别取 1.0 和 1.5。

(3)PCN 计算参数汇总

机场跑道各区域按照柔性道面 PCN 计算的计算参数见表 3。

表 3 柔性道面计算参数

分区编号	当量总厚度 $t$ (cm)	地基回弹模量平均值 $E_0$ (MPa)	地基 CBR 平均值
R <sub>2</sub> (P05+20 ~ P10+00)	94	286	13
R <sub>3</sub> (P10+00 ~ P20+00)	105	267	12
R <sub>4</sub> (P20+00 ~ P35+00)	102	254	12
R <sub>5</sub> (P35+00 ~ P47+00)	102	261	12
R <sub>6</sub> (P47+00 ~ P67+20)	102	244	11
R <sub>7</sub> (P67+20 ~ P70+20)	88	218	10
R <sub>8</sub> (P70+20 ~ P85+00)	94	235	11

由表 3 可见,R<sub>2</sub> 区域基础强度在“高强度”范围内,代码为 A,其它区域基础强度在“中强度”范围内,代码为 B。轮胎压力允许胎压代码取 W。

4.3 计算结果

依据上述参数的计算结果,该机场跑道各区域的道面 PCN 代码如表 4 所示。

表 4 跑道各区域的 PCN 代码

分区编号	按刚性道面的 PCN	按柔性道面的 PCN
R <sub>2</sub> (P05+20 ~ P10+00)	88/R/C/W/T	130/F/A/W/T
R <sub>3</sub> (P10+00 ~ P20+00)	112/R/C/W/T	146/F/B/W/T
R <sub>4</sub> (P20+00 ~ P35+00)	106/R/C/W/T	130/F/B/W/T
R <sub>5</sub> (P35+00 ~ P47+00)	106/R/C/W/T	134/F/B/W/T
R <sub>6</sub> (P47+00 ~ P67+20)	104/R/C/W/T	124/F/B/W/T
R <sub>7</sub> (P67+20 ~ P70+20)	76/R/C/W/T	82/F/B/W/T
R <sub>8</sub> (P70+20 ~ P85+00)	88/R/C/W/T	102/F/B/W/T

从计算结果可以看出,按照柔性道面 PCN 的计算方法所得到的结果普遍较按照刚性道面计算的结果大(平均 PCN 值大 25%),对照计算参数,主要是由于原水泥混凝土板厚度换算成柔性道面时的当量厚度较大,按照取偏于安全的计算结果,该机场跑道道面强度报告为 PCN76/R/B/W/T。

5 结语

(1)复合道面 PCN 的计算应按照国际民航组



# 公交导向发展策略研究及其在中国的应用

赵红坡, 彭西川

(同济大学交通运输学院, 上海市 200092)

**摘 要:** 该文介绍了国外城市用地布局和交通系统特别是公交系统建设的相互影响的研究, 以及在倡导公交导向的土地开发方面的策略及其应用。对我国城市实施 TOD 策略的现状及应用进行分析, 提出适合我国城市发展的土地利用策略和交通体系。

**关键词:** 土地利用; 公交导向; TOD; 资源利用

**中图分类号:** U491.17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)06-0022-03

## 0 引言

在饱尝了城市恶性膨胀所带来的交通、能源和环境危机恶果之后, 目前许多发达国家开始检讨其城市发展方向, 意识到必须限制城市无序蔓延, 降低能源消耗、提升生态环境、有效利用资源。其中一项很重要的战略, 就是通过公交导向开发 TOD (Transit-Oriented Development) 策略进行系统的、协调的土地发展和公共交通建设, 提出都市的土地开发使用应该朝着公交导向方面, 而不是汽车导向 (Auto-Oriented) 方面进行<sup>[1]</sup>。

## 1 国外有关的研究成果

对于城市土地利用与城市交通之间关系的研究可以追溯到 19 世纪 30 年代, 古典经济学派区位理论的研究者们在那个时候就形成了城市土地利用与交通系统之间关系的理论——农业区位理论<sup>[2]</sup>。从这一理论确立起, 到 20 世纪 70 年代土地利用与交通系统之间关系的综合研究的展开, 国外的专家学者们总结出了一些规律性的认识。20 世纪 80 年代美国学者 Peter Calthorp 提出了以公交为导向

的发展策略 (即 TOD 策略)。随着对土地利用与城市交通的深入研究, 人们越来越发现应该以 TOD 为基础和核心, 在规划过程中引入交通与土地利用的互动机制<sup>[3]</sup>, 促进城市的可持续发展。

### 1.1 城市土地利用与城市交通系统的关系

城市土地利用与交通系统的互动关系的研究一直都是城市地理学家、经济学家、城市交通规划师及城市规划师的研究热点。

早期关于二者的研究成果有古典经济学派的区位理论、芝加哥学派城市地域空间结构理论和城市土地价值理论。

现代城市土地利用与城市交通系统关系研究一般可归结为三个方面: 城市土地利用对城市交通系统的影响, 城市交通系统对土地利用的影响, 及二者互动关系的综合协调研究。土地利用对交通系统的影响可归结为: (1) 土地利用特征从不同角度影响交通系统; (2) 城市土地利用密度影响交通系统模式; (3) 土地利用影响交通出行特征。交通系统对土地利用的影响可以归结为: (1) 城市交通系统深刻地影响着城市空间形态; (2) 城市交通系统影响土地利用布局; (3) 城市交通建设对城市土地价格有着重要的影响。城市土地利用与交通系统的互动关系研究, 在早期有不少学者对二者的关系进行初步的理论研究, 但是没有形成专门

收稿日期: 2006-09-13

作者简介: 赵红坡 (1982-), 男, 河南郑州人, 硕士研究生, 从事交通运输规划与管理研究工作。

组织推荐的刚性道面或者柔性道面 PCN 的计算方法予以分析。计算时首先将道面的结构厚度换算成刚性道面或者柔性道面的当量厚度, 当在分类上存在疑问时, 应分别按照刚性道面和柔性道面 PCN 的计算方法计算, 取偏于安全的计算结果予以公布。

(2) 道面的 PCN 计算参数可以通过现场 FWD 弯沉测试, 按照弹性层状体系反算后, 由经验公式获得, 计算时应注意将材料的动态模量修正为静态模量。

### 参考文献

- [1] 冷培义等. 机场道面设计 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1995.
- [2] 国际民航组织. 国际民用航空公约 - 附件 14 [Z]. 北京: 中国基建机场司, 1995.
- [3] 中华人民共和国行业标准. 民用机场飞行区技术标准 (MH5001-2000) [S]. 北京: 中国民用航空总局, 2000.
- [4] 国际民航组织. 机场道面设计手册 III - 道面 [M]. 北京: 空军后勤部机场营房部, 1983.
- [5] 中华人民共和国行业标准. 民用航空运输机场水泥混凝土道面设计规范 (MHJ 5004-95) [S]. 北京: 中国民用航空总局, 1995.