

文章编号: 0451—0712(2005)01—0079—05

中图分类号: U416. 223

文献标识码: B

# 面—基层间接触条件对半刚性 沥青混凝土路面极限轴载的影响

曾梦澜, 马正军, 龚 平, 李 洁

(湖南大学土木工程学院 长沙市 410082)

**摘 要:** 通过对典型结构的理论分析, 探讨沥青混凝土面层与半刚性基层之间的接触条件对半刚性沥青混凝土路面极限轴载的影响。计算与分析显示: 对于给定的路面结构, 存在一个极限轴载; 面—基层间接触条件对极限轴载有重要影响, 层间条件从连续到滑动的变化可以导致极限轴载降低大约 40%; 路面极限轴载与现实超载车辆轴载处于同一量级, 所讨论结构在不同的接触条件下的极限轴载在 183~399 kN 之间变化; 虽然在某种意义上有破坏, 半刚性沥青混凝土路面在极限轴载作用后不一定丧失承载能力。

**关键词:** 半刚性沥青混凝土路面; 极限轴载; 层间接触条件

沥青混凝土路面施工期短、表面平整、养护维修方便, 是路面的主要形式之一。沥青混凝土路面在环境与交通的共同作用下逐渐损坏, 一般短则 5、6 年, 长则 10 来年, 即需要不同形式的罩面维修一次。然而由于种种原因, 我国的沥青混凝土路面早期损坏的现象普遍存在, 其中包括各种表现形式的水损坏、车辙、泛油及不同种类的开裂等等<sup>[1]</sup>。诸多调查表明, 虽然高等级沥青混凝土路面的设计年限通常为 15 年, 但有些公路通车 2、3 年, 其沥青混凝土路面已大面积损坏, 有的甚至通车仅几个月就出现损坏, 严重影响公路通行能力、行车安全和投资效益, 直接和间接经济损失巨大, 同时也造成了不良的社会影响。

造成沥青混凝土路面早期损坏的原因多种多样, 货车超载无疑是最主要的原因之一<sup>[2,3,4]</sup>。现行《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97) 的标准轴载是 100 kN, 轴载换算适用单轴轴载小于 130 kN 的车辆。而实际上, 货运汽车的轴载已经远远超过了汽车和公路的设计值, 以致 400 kN 以上的轴载已不鲜见, 大大减少了道路使用寿命, 引起了各政府部门和公众的广泛关注<sup>[4,5,6]</sup>。在发达国家, 经过多年的实践, 违法违规的超载已基本控制; 对于一些不可避免的超载, 如大型设备的运输等, 采取按个例申请、颁发许可的办法, 相应的研究工作主要是路面结构实际承载能力与许可的协调<sup>[7,8,9]</sup>。我国已建高等级沥

青混凝土路面绝大部分是半刚性路面, 即使用经水泥、石灰等无机结合料稳定的基层(包括底基层)。半刚性沥青混凝土路面在某个极限的轴载作用下, 一次就可以达到破坏, 蜕变为近似的柔性路面, 丧失设计要求的前提。

我国现行沥青混凝土路面设计规范的路面厚度计算是依据多层弹性理论, 其中一个重要假定是层间接触条件为完全连续。但是, 各层间的联结是路面结构中最薄弱的地方; 各种因素, 如面层下部材料孔隙率过大、沥青与集料粘附不良、基层材料塑性过大、施工时基层顶部没有清理干净、基层施工完后没有及时铺设面层, 以及经各种途径进入路面结构的水的化学、物理作用等等, 都可以削弱层间的联结。车辆的超载, 使得这些联结更加薄弱; 久之, 各结构层的联结处, 特别是沥青混凝土面层与半刚性基层之间就趋于滑动。本文探讨沥青混合料面层与半刚性基层之间的层间接触条件对半刚性基层沥青混凝土路面极限轴载的影响。

## 1 背景

本文的研究在现行规范的框架内进行。现行规范的标准轴载为 BZZ—100, 即双轮组, 单轴载  $P=100$  kN, 轮胎接地压强  $p=0.7$  MPa, 单轮传压面当量圆直径  $d=2\delta=21.3$  cm, 2 轮中心距为  $1.5d$ 。不

万方数据

收稿日期: 2004—07—27

同的轴载,根据弯沉等效或拉应力等效的原则换算为标准轴载的当量作用次数。路面弯沉表征路面整体刚度指标,是路面厚度设计的主要依据。路面厚度根据多层弹性理论、层间接触条件为完全连续体系,以及在双圆均布荷载作用下轮隙中心处实测路表弯沉值等于设计弯沉值的原则计算( $l_s=l_d$ ),其力学计算图式如图1(a)所示。对高速公路、一级公路和二级公路的沥青混凝土面层和半刚性基层、底基层还应进行拉应力验算。结构层层底拉应力的力学计算图式如图1(b)所示,要求计算B、D、E、C这4点,最大值作为层底最大拉应力,要求小于或等于容许拉应力,即 $\sigma_m \leq \sigma_R$ 或 $\sigma_R/\sigma_m \geq 1$ 。由于沥青混合料材料性质是温度的函数,当计算弯沉时规定采用20℃时的材料性质,验算拉应力时为15℃。

本研究主要考虑问题的理论方面,计算采用Huang编写的KENLAYER程序<sup>[10]</sup>,计算量包括弯沉和各层层底拉应力。表1所列是参考规范附录A

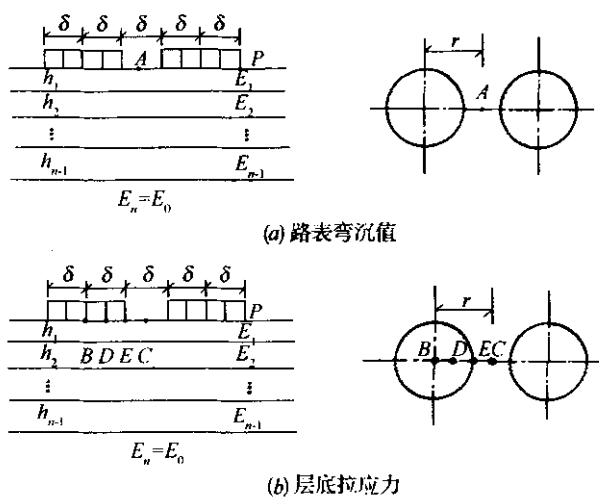


图1 力学计算图式

采用的路面结构及附录D的材料性质,其中的石灰土底基层为设计层,其厚度是计算的主要变量。需要时,公路等级假定为高速公路或一级公路。

表1 路面结构及材料性质

层位	材料	抗压模量/MPa		泊松比		劈裂强度(15℃) MPa
		20℃	15℃	20℃	15℃	
上面层	5 cm 细粒式沥青混凝土	1 400	2 000	0.35	0.3	1.4
中面层	6 cm 中粒式沥青混凝土	1 200	1 800	0.35	0.3	1.0
下面层	7 cm 粗粒式沥青混凝土	1 000	1 400	0.35	0.3	0.8
基层	25 cm 水泥稳定碎石	1 500		0.25		0.5
底基层	石灰土(设计层)	550		0.25		0.225
土基	填土	40		0.35		—

## 2 计算结果及分析

表2所列计算的为路面理论弯沉值,变量底基层厚度取20~34 cm,间隔2 cm,沥青混凝土面层与半刚性基层之间的接触条件包括完全连续和完全滑动2种极端情况。对于连续接触条件,还计算了实测弯沉值及设计年限内一个车道上的累计当量轴次。实测弯沉值由其与理论弯沉的关系式(1)求得:

$$l_s = l_1 \left[ 1.63 \frac{1}{(2\,000\delta)^{0.38}} \left( \frac{E_0}{p} \right)^{0.36} \right]^{\frac{1}{0.62}} \quad (1)$$

式中: $l_s$ 为BZZ-100作用下轮隙中心处实测路表弯沉值,0.01 mm; $l_1$ 为理论弯沉值,0.01 mm; $E_0$ 为土基回弹模量,MPa; $p=0.7$  MPa; $\delta=10.65$  cm。

由理论弯沉和实测弯沉,可求得表2中的综合修正系数,定义为 $F=l_s/l_1$ 。累计当量轴次由其与路面弯沉关系反推的式(2)求得:

$$N_e = \left( \frac{l_s}{600A_c A_s A_b} \right)^{-5} \quad (2)$$

式中: $A_c$ 、 $A_s$ 和 $A_b$ 分别为公路等级系数、面层类型系数和基层类型系数,均取单位值。

对沥青混凝土面层和半刚性基层、底基层拉应力验算结果显示,假定层间接触条件完全连续,当底基层厚度在20~34 cm之间变化时,面层层底始终受压,基层层底 $\sigma_R/\sigma_m$ 在4.08~5.04之间,底基层层底 $\sigma_R/\sigma_m$ 在2.48~3.20之间,均满足要求。

半刚性沥青混凝土路面各层拉应力随着轴载的增大而增大,在达到某个值时,某结构层拉应力等于材料的抗拉强度,使该层破坏,进而整个结构破坏,本文定义这个值为极限轴载。表3所列极限轴载计算结果,层间接触条件包括完全连续、完全滑动,以及连续与滑动平均。极限轴载根据轴载应力等于

表 2 弯沉、累计轴次计算结果

层间条件	参 数	底基层厚度/cm							
		20	22	24	26	28	30	32	34
连续	理论弯沉/0.01 mm	47.93	46.99	46.08	45.20	44.39	43.57	42.81	42.08
	综合修正系数	0.549	0.542	0.536	0.530	0.524	0.518	0.512	0.507
	实测弯沉/0.01 mm	26.32	25.49	24.69	23.94	23.25	22.57	21.93	21.33
	累计轴次/ $\times 10^3$ 次	6 160	7 227	8 468	9 887	11 445	13 285	15 317	17 618
滑动	理论弯沉/0.01 mm	63.21	61.57	60.03	58.60	57.24	55.96	54.75	53.61

表 3 极限轴载计算结果 kN

层间条件	层 位	位置	底基层厚度/cm							
			20	22	24	26	28	30	32	34
连续	面层	B	−261	−261	−260	−260	−260	−259	−259	−259
	基层	C	373	393	413	432	451	468	485	502
	底基层	C	291	305	320	335	350	366	382	399
滑动	面层	B	208	212	216	219	222	224	227	229
	基层	C	322	347	372	396	420	443	464	485
	底基层	C	183	193	204	215	226	238	251	263
连续— 滑动平均	面层	B	−26	−24	−22	−21	−19	−18	−16	−15
	基层	C	347	370	393	414	435	456	475	493
	底基层	C	237	249	262	275	288	302	317	331

材料劈裂抗拉强度推得,如式(3):

$$P_c = \frac{\sigma_{SP}}{\sigma_m} \times 100 \tag{3}$$

式中: $P_c$  为极限轴载,kN; $\sigma_{SP}$  为材料劈裂强度,MPa; $\sigma_m$  为计算点在 BZZ-100 作用下的拉应力,MPa。

计算时,图1(b)所示图式不变,假定荷载的变化完全由轮胎接地压强调节。

图 2 所示是层间接触条件为连续时的极限轴载,可以认为接近设计、施工良好的路面使用早期的情况。由图 2 可见,沥青混凝土(下)面层层底极限轴载始终为负值,表示沥青混凝土面层层底拉应力为负,整个面层受压,压力随底基层厚度的变化大体保持常量。基层极限轴载在 373~502 kN 之间变化,底基层越厚,极限轴载越大。底基层极限轴载在 291~399 kN 之间变化,底基层越厚,极限轴载越大。就整个路面结构而言,极限轴载由石灰土底基层控制,实际在 291~399 kN 之间变化,这个范围可以低于常见超载货车的轴重。

图 3 是层间接触条件为滑动时的极限轴载,是假定的极端不利条件,在某种程度上接近设计、施工不良的路面或路面使用的晚期。与连续层间接触条

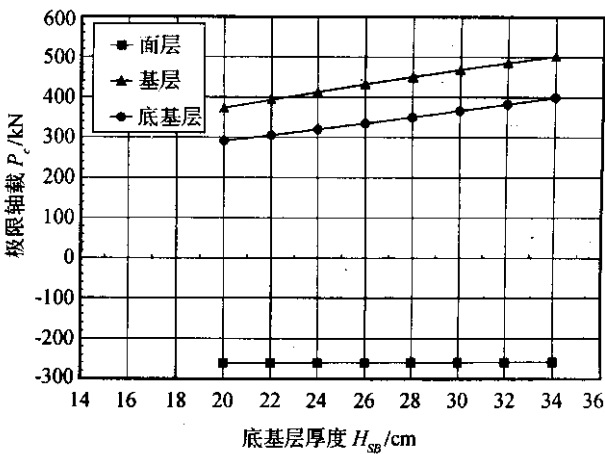


图 2 极限轴载(层间接触条件:连续)

件相比,沥青混凝土面层底由受压转而受拉。整个路面结构极限轴载在底基层厚度小于大约 27 cm 时由石灰土底基层控制,超过 27 cm 以后由沥青混凝土面层控制,在 183~229 kN 之间,相当于层间接触条件为连续时的 63%~57%。

图 4 所示是层间接触条件为连续与滑动平均的极限轴载,相当于路面较长的使用中期。由图 4 可见,沥青混凝土面层全部受压,整个路面结构极限轴

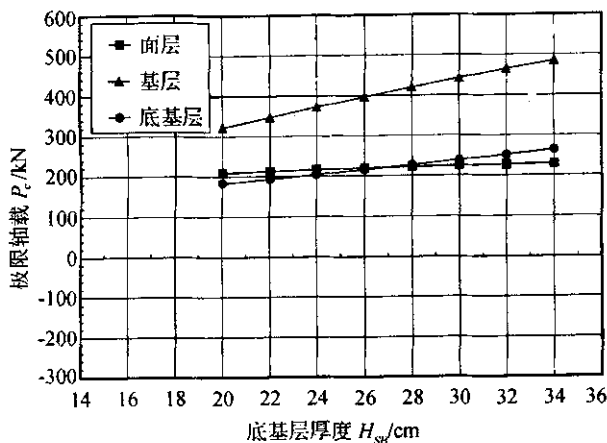


图3 极限轴载(层间接触条件:滑动)

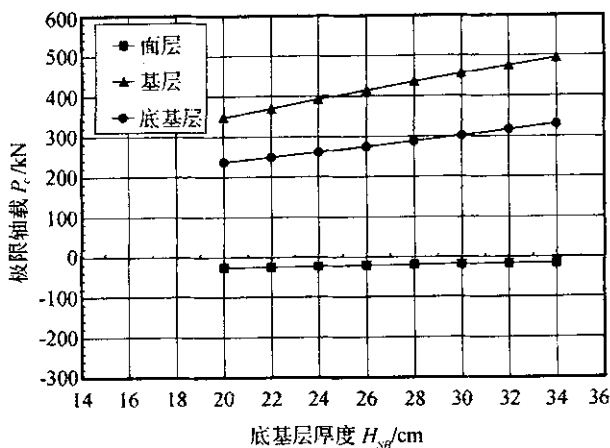


图4 极限轴载(层间接触条件:连续与滑动平均)

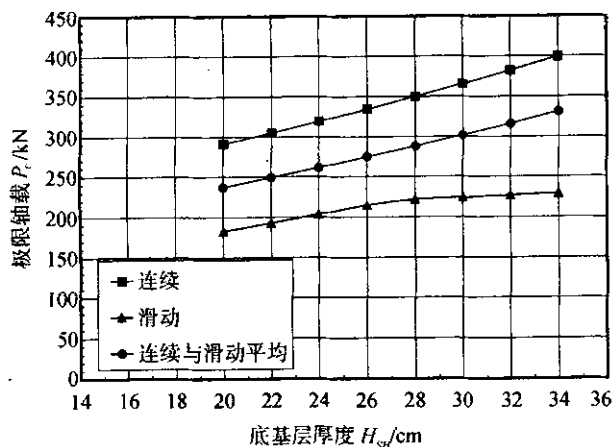


图5 极限轴载(各种层间接触条件)

载由石灰土底基层控制,实际在 237~331 kN 之间。图 5 所示为各种层间条件下的实际极限轴载。

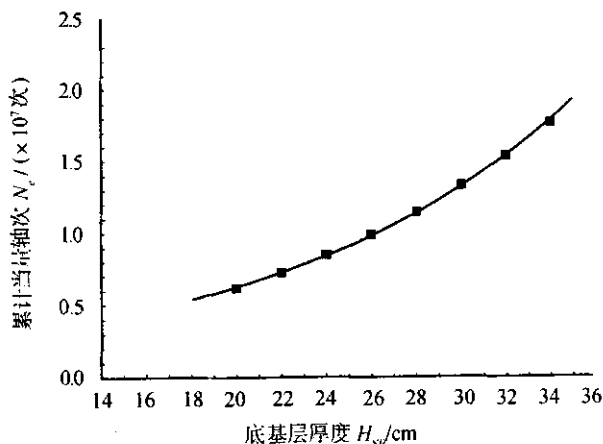
对图 5 的观察可以发现,在各种层间接触条件下,作为设计层的底基层厚度  $H_{SB}$  与极限轴载  $P_c$  呈近似的直线或某种下凹的关系。由于累计当量轴次  $N_e$  也是  $H_{SB}$  的函数,考察  $N_e$  是如何随  $H_{SB}$  变化并与

$P_c$  的变化比较是有意义的。图 6 所示是  $H_{SB}$  与  $N_e$  的关系,可见  $N_e$  随  $H_{SB}$  的增加呈加速的增加趋势,可以用式(4)的指数函数很好地描述:

$$N_e = C_1 e^{C_2 H_{SB}} \quad (4)$$

式中:  $C_1$  为常数,无量纲;  $C_2$  为常数, 1/cm;

$H_{SB}$ , cm。

图6 底基层厚度与累计当量轴次关系  
(层间接触条件:连续)

对所选结构,应用最小平方和原理的回归分析,可得  $C_1 = 1.390$ 、 $C_2 = 0.07505$  (1/cm)、 $R^2 = 0.9994$ 。由于  $H_{SB}$  与  $N_e$  的关系为指数函数,  $P_c$  的增加应当远比  $N_e$  增加得慢。对于  $H_{SB}$  从 20 cm 增加到 34 cm,  $N_e$  增加了 186%, 而  $P_c$  仅增加 37%、25% 和 40%, 分别对应连续、滑动及连续与滑动平均的层间接触条件。图 7 所示为累计当量轴次在各种层间接触条件下与极限轴载的关系。在不同的接触条件下, 极限轴载作为累计轴次的函数, 都是上凸的曲线; 在滑动条件下,  $P_c$  几乎不随  $N_e$  增长。

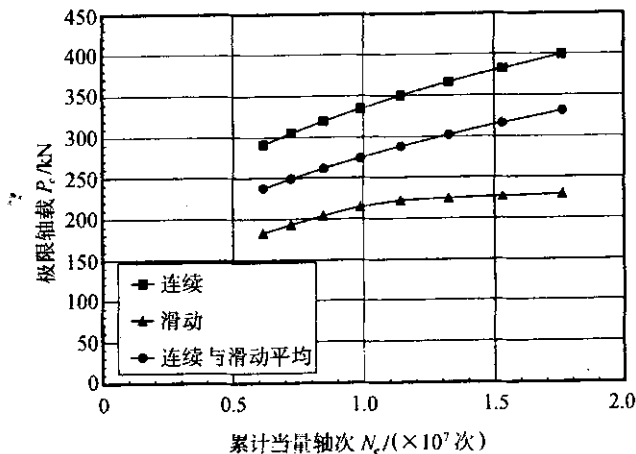


图7 累计当量轴次与极限轴载关系

### 3 讨论

本文极限轴载的计算与分析,都是在现行规范要求的 $15^{\circ}\text{C}$ 条件下进行的,判断路面抗超载能力,这个温度是偏低的。事实是, $15^{\circ}\text{C}$ 甚至低于大部分地区路面温度的平均值,夏季路面实际温度可以达到 $60^{\circ}\text{C}$ 以上。由于沥青是温度敏感性材料,在较高的温度下,沥青混合料的回弹模量和抗拉强度都将降低,使极限轴载进一步降低。除温度外,其他需要进一步研究的影响因素包括:轴数、轮组及轮胎传压面当量圆大小等等。

计算与分析显示,在大多数情况下,极限轴载由石灰土底基层层底拉应力决定,是石灰土底基层率先达到破坏。从充分利用材料强度的角度出发,理想的路面结构应当是各层材料同时达到抗拉强度。达到理想路面结构的途径可以通过调整路面结构组合或调整材料性质实现;对于本文给定的路面结构,可以选用抗拉强度较高的材料作底基层。

如前所述,在各种层间接触条件下,极限轴载与设计年限内一个车道上的累计当量轴次随底基层厚度的变化具有不同的函数形式,极限轴载远比累计当量轴次增加得慢。因此,单纯增加底基层厚度以提高极限轴载,一般不符合成本—效益的原则。正确的方法似应根据交通组成,确定合理路面结构组合与材料性质。

虽然半刚性路面在极限轴载作用后,丧失设计要求的前提,但是路面并不一定因此丧失承载能力。在不否认半刚性路面优点的同时,可以考虑开展、加强半刚性路面达到破坏后的行为,以及柔性路面适用性的试验与研究。

### 4 结语

(1) 对于给定的半刚性沥青混凝土路面,存在一个极限轴载;在极限轴载作用下,路面一次就可以达到破坏,蜕变为近似的柔性路面。

(2) 沥青混凝土面层与半刚性基层之间接触条件对沥青混凝土路面极限轴载有重要的影响;接触条件从连续到滑动的变化,可以导致极限轴载降低

大约40%。

(3) 半刚性沥青混凝土路面极限轴载与现实超载车辆轴载处于同一量级;在不同的接触条件下,所讨论路面结构的极限轴载在 $183\sim 399\text{ kN}$ 之间变化。

(4) 虽然在某种意义上有破坏,但半刚性沥青混凝土路面在极限轴载作用后,不一定丧失承载能力;有必要考虑半刚性路面破坏后的行为,以及柔性路面适用性的试验与研究。

### 参考文献:

- [1] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M]. 人民交通出版社, 2001.
- [2] 唐带金. 公路超载运输的危害及应对措施[J]. 中南公路工程, 2002, 27(3).
- [3] 黄文元, 王旭东, 孙立军. 公路超载特征及重载沥青路面交通量参数[J]. 公路, 2003, (5).
- [4] 王选仓, 等. 重载沥青路面研究[J]. 西安公路交通大学学报, 1998, 18(4).
- [5] 熊野生, 陈燕山, 屈万发. 超载条件下沥青路面结构设计的基本要求[J]. 交通科技, 2001, (1).
- [6] 沈金安. 对我国沥青路面结构与设计的一些思考[J]. 道路科技信息, 2002, (3).
- [7] Jooste F J, Fernando E G. Development of a Procedure for the Structural Evaluation of Superheavy Load Routes[A]. Research Report 1335-3F, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, TX, 1995.
- [8] Park S, Fernando E G. Development of a Methodology for Posting Load Limits on Load-Zoned Pavements [A]. Interim Report, Research Report 1701-1, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, TX, 1997.
- [9] Fernando E, Liu W, Leidy J. An Analysis Procedure for Load-Zoning Pavements [Z]. Presented at the Transportation Research Board 82nd Annual Meeting, January 12-16, 2003, Washington, D.C.
- [10] Huang Y H. Pavement Analysis and Design [Z]. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1993.



文章编号: 0451-0712(2005)01-0084-04

中图分类号: U415.12

文献标识码: B

# 路面基层厂拌生产质量控制

李煜

(山东省潍坊市潍城区公路局 潍坊市 261021)

**摘 要:** 路面基层厂拌机组一般采用连续式机组,按照计量控制方式分为普通的皮带机转速、料口尺寸控制配料的机组和皮带电子称连续式称重进行配料的机组。在实际生产时都必须对单仓或单一原材料单位时间内不同转速、料口尺寸的出料重量进行称重统计,以进行调试计算,生产配合比控制的好坏是保证基层质量的关键。

**关键词:** 路面基层; 质量控制; 厂拌机组; 生产配合比

目前,我国高等级路面广泛采用的是半刚性基层(如二灰稳定碎石、水泥稳定碎石),并普遍采用厂拌进行生产。路面基层作为路面主要的承重层,与其上铺筑的沥青混凝土面层一起直接承受车辆荷载,基层的质量决定了路面的使用性能和寿命,是十分关键的施工质量控制环节。

为了控制基层的质量,除了保证原材料质量、选择恰当的配合比外,还有在施工工艺上确保基层质量的主要3个方面,即拌和料生产质量、摊铺工艺水平和养生充分程度。关于原材料、配合比设计、摊铺和养生方面研究得很多,认识上比较明确。但对于厂

拌生产基层拌和料,不论是在规范或是在实际工作中,研究和重视的程度、深度甚至都不及路拌法施工。

为了保证基层质量,生产出质量优良的基层拌和料是一切工作的起点和根本。但对于基层,则不论施工单位或监理单位,都存在只重视基层目标配合比设计却忽视拌和机调试生产配合比的现象,这是比较严重的疏忽,各种工程资料和审批报表对于拌和机调试基层生产配合比方面,不是只言片语就是根本不去顾及,这种不正常现象存在时间之长令人深思。

收稿日期: 2004-08-13

## Effects of Base-Surface Inter-Layer Contact Conditions of Semi-Rigid Asphalt Pavement on Ultimate Axle Load

ZENG Meng-lan, MA Zheng-jun, GONG Ping, LI Jie

(College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** The effects of surface-base inter-layer contact conditions of asphalt pavement on ultimate axle load are explored, through theoretical analyses on a typical structure. Results of the analysis show that there exists an ultimate axle load for a given pavement structure. The contact conditions between the surface and base have significant effects on the load. A change in contact conditions from continuous to sliding may result in a decrease in ultimate axle load by about 40%. The ultimate axle load of pavement is in similar level of that of common overload vehicles. In different conditions, the loads vary from 183 to 399 kN for the structure in discussion. Although it fails in a sense, the semi-rigid asphalt pavement may not lose its bearing capacity under the application of the ultimate axle load.

**Key words:** semi-rigid asphalt concrete pavement; ultimate axle load; inter-layer contact condition