



橡胶粉改性沥青混凝土的性能评价 和施工工艺措施研究

黄文元¹, 孙立军¹, 王旭东²

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室¹ 交通部公路科学研究所²)

摘要:首先分析了回收轮胎橡胶粉在公路路面工程的应用意义与前景,随后,从橡胶粉的成分和物理特性上和改性沥青机理上初步揭示了橡胶改善路面性能的潜力。研究了橡胶粉干法改性沥青混凝土高温性能、抗水害性能和低温抗裂性能,最后,总结了橡胶粉改性沥青混凝土试验路工程实施中遇到的独特技术问题和解决方案。

关键词:橡胶粉; 改性沥青; 路面工程

1 橡胶粉工程应用意义和前景

我国高等级公路骨架网络迅速发展。截止到 2001 年底的通车高速公路里程达到 19437km, 其中, 绝大部分是沥青路面。与此同时, 在超载、气候变暖和车速提高的综合影响下, 路面行车作用呈现高温、高荷载和高动水压力的三高趋势。各种新形式的水损坏和高温永久变形等路面早期损坏(初期损坏)较大面积的出现在近年建成通车的高等级公路上。改性沥青和纤维类材料的添加在一些特殊工程中取得了比较明显的效果, 但其高昂的成本严重限制了推广使用。

另一方面, 我国汽车保有量高速增长, 废弃汽车轮胎的大量堆积, 占用越来越多的土地资源, 用燃烧等一般垃圾处理办法将带来严重的环境恶果。对废旧轮胎的处置和利用, 世界各国普遍倾向于低污染的冷处理法^[1], 即对废轮胎仅进行机械加工或完全不处理就应用于工程或复合材料。比如作为高填方、堤坝加劲和防水措施、防水卷材、填缝材料改性、粗胶粒水泥混凝土减震地基等。由于材料间的天然亲和性, 橡胶改性沥青和沥青混合料一直是废旧橡胶应用研究的关注焦点。随着技术的进步, 常温法超精细橡胶粉的加工已经实现了工业化, 以往橡胶粉因为过粗在应用

于沥青面层时难以压实的技术难题已经解决, 无论是干法改性沥青混凝土还是湿法改性沥青从工艺上都已经完全可行。如果能通过研究全面论证橡胶粉改性沥青及改性沥青混凝土的路用性能, 解决橡胶加入的工艺和质量控制环节的技术问题, 扫清橡胶粉应用于沥青混合料的各类技术和经济障碍, 使得回收轮胎橡胶能大量应用于路面工程中, 将形成环境保护、废物利用和提高道路投资总收益的三赢局面, 社会和经济效益巨大。

橡胶粉在路面工程中的使用, 主要有干法和湿法两条技术路线, 两条路线同时起步于 1960 年代^[1]。湿法指橡胶粉粒与沥青及一定数量的表面活性剂在高温搅拌状态下混炼, 混炼得到的橡胶改性沥青作为粘结剂再与矿料拌合的工艺。干法则是指橡胶粉与集料先行拌和共混后再喷入沥青拌制混合料的工艺。湿法的最终产品是橡胶沥青混凝土 (Asphalt-Rubber Concrete), 干法的产品是橡胶改性沥青混凝土 (Rubber-Modified Asphalt Concrete)。

本文研究对象主要是橡胶改性沥青混凝土 (U-TAC10 和 OGFC10 两种级配), 橡胶粉的添加剂量为沥青用量的 20% (重量比), 橡胶粉采用了三种细度类

参考文献

- [1] Tim Smith, "Review of Concrete Pavement Design Methods", PWGSC National Airport Engineering Workshop, February 2002.
- [2] Delaware DOT, "Design Guidance Memorandum", January 2003.
- [3] Galal, K. A., "Structural Adequacy of Rubblized PCC Pavement", Indiana DOT, 1998.
- [4] Department of the Air Force, "Procedures to Retard Reflective

Cracking", July 2001.

- [5] Guide Specifications for Rubblization, Asphalt Institute, 2004
- [6] Wolters, R. O., "Best Management Practice for Rubblizing Concrete Pavement", Minnesota Asphalt Pavement Association, July 2003.
- [7] 姚祖康, "铺面工程", 同济大学出版社, 2001.



型(40目、80目、120目)。为了能对比橡胶粉添加的效果,采用同一种沥青(茂名石化70#-I型,专用于高等级道路)和石料(反击破碎花岗岩),同时选取骨架密实型SAC20和悬浮密实型AC20等级配用同种材料制备混合料对比测试性能。为了研究橡胶粉加入剂量对混合料性能的影响,针对SAC13级配,沥青采用壳牌改性沥青Caribit,石料为反击破碎玄武岩,采用100目橡胶粉,进行了一系列沥青和混合料性能试验。各种级配范围中值见表1:

表1 试验级配列表

粒径 级配名	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC25-1	100	95	75	62	53	43	32	25	18	13	8	5	3
		100	90	80	73	63	52	42	32	25	18	13	7
SAC25	100	90	73	65	58	47	30	30	22	16	11	8	6
		100	84	76	69	58	40	40	30	23	18	14	10
AC20-1		100	95	75	62	52	38	28	20	15	10	6	4
			100	90	80	72	58	46	34	27	20	14	8
SAC20		100	90	79	67	52	30	30	22	16	11	8	6
			100	89	79	63	40	40	30	23	18	14	10
SAC13				100	95	60	30	23	17	14	10	8	6
					100	80	40	31	25	20	16	13	10
UTAC10					100	90	30	23	17	13	10	8	6
						100	40	32	25	20	16	13	10
OGFC10					100	90	15	11	9	7	5	4	3
						100	25	20	16	13	11	9	7

橡胶粉成分、物理特性和改性机理

轮胎橡胶的组成成分一般有丙酮抽出物、灰粉、碳黑填充物和橡胶聚合物几类。其中,有效成分橡胶聚合物约占比例50%左右。除了橡胶聚合物含量外,可能会对改性效果有较大影响的还有天然橡胶含量和人工橡胶的类型。由于含有纯度98%以上的顺式-1,4-聚异戊二烯,受力状态下结晶率高,天然橡胶的综合物理机械性能优于其它任何橡胶,决定了天然橡胶含量的橡胶粉对沥青混合料的改性效果更好。但是,橡胶的成分尤其是天然/人工判定测定较为复杂。通常而言,货车轮胎的天然橡胶含量大大高于小汽车轮胎。

橡胶粉在与沥青接触时,两者之间会发生明显的物质交换。橡胶粉部分裂解,交联剂硫、丙酮抽出物和油性填充剂、抗老化剂、锌化合物等外加剂和部分碳黑等活性成分通过界面交换进入沥青,这些物质基本上对沥青性能是有益的,可以起到改善沥青的高温性能、抗老化性能和改善沥青与矿料的界面粘接条件的作用。另一方面,沥青中的蜡和轻质组份被橡胶粉吸

收,橡胶粉的力学性能有所降低,但仍然高于沥青。因此,沥青的高低温性能都会有较大的提高,沥青和橡胶粉的界面逐渐模糊,形成整体性能明显优于基质沥青的复合胶结材料。

橡胶粉改性沥青混合料的效果,除了取决于内在的化学特性外,橡胶粉本身的力学和物理特性也有重要影响。橡胶粉的细度和颗粒表面状况直接影响橡胶粉和沥青混熔反应的速度和程度。橡胶粉越细,和沥青的反应越充分,对混合料压实也越有利,但另一方面,橡胶粉的加工成本也大,工程应用上必须在性能和价格上做出权衡。细度可以通过简单的筛分析获得。橡胶粉的表面形状取决于其加工工艺。橡胶粉的加工工艺主要有常温法和冷冻法两大类型。冷冻法是将橡胶在液氮浴中脆化后再用机械破碎到指定颗粒尺寸的加工工艺,制作出来的橡胶粉形状比较规格、破碎面光滑。常温破碎法的种类比较多,生产的橡胶粉显微形态有较大的差别。Randy^[2]等人研究了橡胶粉形态对改性沥青的影响,从表2可以看出,橡胶沥青的性能和比表面积有很大的关系,是橡胶粉的重要指标。而松密度基本能反映比表面积的区别,因其易于测量,可以用作橡胶粉几何形态特征的判断依据。

表2 橡胶表面形态影响改性效果

检测项目	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4
比表面积 m ² /g	0.25167	0.13814	0.11861	0.15626
松密度 g/cm ³	0.3472	0.4250	0.4649	0.4146
改性沥青粘度 pa.s/135℃	2.64	1.98	1.61	1.72
析漏率	0.04	0.05	0.11	0.09

橡胶粉改性沥青混凝土的性能改善

国际上在橡胶粉沥青混合料体积参数计算时,一般惯常于湿法改性将胶粉计入胶结料、干法时计入矿料。但橡胶粉即使以干法加入,其所起到的作用也远非一般矿质填料所能比拟的。表3显示了橡胶粉对高温稳定性优良的改善效果。加入橡胶粉后动稳定度相比于只用普通沥青有了很大的提高,达到了改性沥青的技术要求,永久变形和相对变形也都非常小。对比AC20和SAC20,在矿料组成中间档经断级配化调整,形成骨架密实结构后,动稳定度提高约50%,而掺加橡胶粉后动稳定度增加高达1倍。如果将橡胶粉视作矿料,加入橡胶粉相当于集料中细料增加,而单纯增加细料显然是对高温稳定性是不利的。橡胶粉在沥青



混合料中的作用,远较一般填料要复杂得多。对于干法而言,橡胶粉的作用实际上是介于纤维稳定剂和沥青改性剂之间。对于湿法,橡胶粉的综合作用则完全可以做到和各类沥青改性剂不相上下,在某些单项指标(如抗老化和低温抗裂)还会有所突破。

表3 永久形变对比

项目 类别	动稳定度 (次/mm)	永久变形 mm	相对变形 %
SAC20	1773	3.00	5.99
AC20	1118	3.27	6.54
U10-40目	2667	2.36	4.72
U10-80目	3572	1.85	3.70
U10-120目	3448	1.97	3.95
U10-普通	1782	2.85	5.70

传统的沥青混合料设计和施工控制中,马歇尔稳定度和劈裂强度被用作高温和抗拉强度指标。但这两项指标被很多研究者认为和路面实际使用性能相关性不好,难以建立起和路面性能指标的相关关系,而且随着材料和级配的变化极大。表4可以看出,对于骨架密实型的SAC25和SAC20,稳定度通常在10kN以上,规范值7.5kN完全起不到约束作用。而橡胶粉加入后,由于材料柔性增加,各类强度均有明显下降,从表2的情况来看,加入橡胶粉比不加橡胶粉,混合料的马歇尔稳定度和劈裂强度都降低了很多,SAC20、SAC25等粗级配的马歇尔稳定度和劈裂强度比细级配要大得多,表3体现的规律性正好与表2相反,比如UTAC10+40目橡胶粉,稳定度只有6.6kN,按混合料设计规范被判定为不合格,但实际上它的抗永久形变能力达到了改性沥青的技术指标。用马歇尔稳定度和劈裂强度来设计橡胶粉改性沥青混合料是不合理的。要继续使用这些指标,也必须根据材料的不同将控制值进行相应的调整。另外,值得指出的是,不同目数的橡胶粉对强度的影响很小。

表4 强度指标

类别	稳定度 kN	劈裂强度 MPa	流值 0.1mm
UTAC10+70#	10.3	0.69	31.7
UTAC10+40目	7.6	0.60	30.3
UTAC10+80目	8.7	0.51	31.9
UTAC10+120目	8.6	0.60	35.6
SAC25	12.2	0.95	38.9
SAC20	11.6	0.97	35.8

马歇尔稳定度的绝对值不适合用来设计,但残留稳定度作为相对意义的无量纲值,在评价混合料的水稳定性上还是有意义的。除此以外,由于劈裂强度结果相对于马歇尔稳定度变异性小,冻融强度比(TSR)也常被用来评价沥青混合料的抗水侵害能力。由试验结果可以看出,随着橡胶粉含量的增加(从0%到30%),混合料的稳定度和劈裂强度都有所降低,但劈裂强度的比值TSR和残留稳定度却明显提高。TSR从没掺橡胶粉时的89.64%提高到掺30%橡胶粉时的95.03%,残留稳定度从92.26%提高到99.12%,说明添加橡胶粉后,混合料的抗水害能力得到了增强。

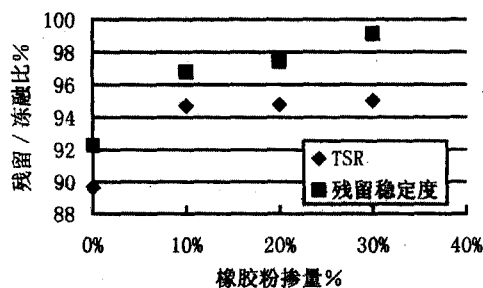


图1 水稳定性

对于开级配沥青混合料,肯塔基飞散是一项主要指标,和体积空隙率指标一起成为最佳油量的平衡因子。表5是OGFC10(开级配磨耗层)在掺入不同细度橡胶粉后的飞散试验结果和无橡胶粉时的对比。掺入橡胶粉后,无论是飞散还是浸水飞散情况来看,加入橡胶粉的抗冲击能力均要比没有橡胶粉要高得多。但由于飞散试验本身的变异性大,一般不宜将浸水和不浸水的飞散之比值作为水稳性指标。和其它指标的情况类似,40目、80目和120目的结果没有明显的区别。

表5 肯塔基飞散%

类型	3.4		3.7		4		4.3	
	浸水	不浸水	浸水	不浸水	浸水	不浸水	浸水	不浸水
OGFC10+普通70#	17.3	13.5	14.0	10.6	12.2	9.4	11.3	7.9
OGFC10+40目	11.8	9.6	10.3	7.7	10.0	5.0	9.6	7.1
OGFC10+80目	18.0	12.8	11.4	8.6	10.1	7.0	4.9	3.9
OGFC10+120目	15.3	8	13.6	11.3	8.5	8.1	12.9	4.8

寒冷地区的低温抗裂性问题,也是混合料设计必须考虑的因素。沥青混合料是否产生低温裂缝,除了



气候外因,主要取决于沥青混合料本身的温缩系数、低温劲度模量、容许拉伸长度。表6为不同橡胶粉含量下混合料低温小梁弯曲试验结果(试验温度 -10°C ,加载速率 50mm/min)。从表中看出随着橡胶粉含量的增加,混合料破坏应变明显增加,破坏劲度明显减少,与此同时,破坏应力基本没有变化。说明掺加橡胶粉后,沥青混合料低温性质显著改善。

表6 低温抗裂

橡胶粉含量	破坏应力(MPa)	破坏应变	破坏劲度(MPa)
0%	20.43	$2.95\text{E}-03$	7016
10%	21.76	$3.16\text{E}-03$	6933
20%	23.73	$5.21\text{E}-03$	4655
30%	19.09	$1.12\text{E}-02$	1873

2 橡胶粉改性沥青混合料工程性质和施工工艺

橡胶粉改性沥青混凝土获得了很好的室内试验结果,但其能否应用于道路路面工程还必须经过实体工程的考验。考验分为两个部分:一是探索合理的橡胶粉改性沥青混凝土施工工艺,完善质量控制体系,二是实体工程经受气候和交通的考验。2001年上半年在广东肇庆马房钢桥,2002年下半年在105国道(中山段)旧路改建工程中,铺设了橡胶改性沥青混凝土试验路,试验路的实施过程中,得到了宝贵的工程实施经验。

拌和

从程序上来讲,干法施工橡胶改性沥青混合料的拌合仅仅增加了橡胶粉加入的环节。由于橡胶粉细度大、重量轻,不能通过除尘系统,所以不可以用冷喂料。在试验路实施过程中,主要采用热料仓口人工定量投放和利用现有粉料投放装置两种方案。由于当前橡胶粉的包装以袋装为主,开包和热仓喂料都是依靠人工,劳动强度大,拌合产生的粉尘和橡胶粉、沥青高温挥发的气体都严重危害人体健康。另一方面,人工加料的生产率低下,严重制约拌和楼的混合料产量。橡胶粉的通用自动装卸和热料仓添加设备缺乏的问题不解决,必然会制约橡胶粉工业化应用于路面工程的步伐。解决这个问题至少有两个思路。如果橡胶粉的细度允许从利用粉料加入装置而且橡胶粉的结团问题得到了很好的控制,该种橡胶粉的运装模式就可以模仿甚利用水泥的运装模式;否则,需要外加添加和称量系统(效仿湿法改性的橡胶粉喂入系统),该系

统在喂料的同时能粉碎团块。

橡胶粉加入拌合过以后,首先要和矿料干拌,通过矿料揉挤达到分离橡胶粉颗粒和均匀分布橡胶的效果。由于橡胶粉的存在,沥青马蹄脂的粘度增加很多,拌和温度要求适当提高,拌和时间也适当延长。一般要求矿料温度 190°C ,混合料的出厂温度要求达到 185°C 。拌和时间的延长和拌和温度的提高,同样也有利于橡胶和沥青的混炼反应。

储存运输

橡胶粉改性沥青混合料运输过程温度和保温条件的要求,不会高于一般改性沥青混合料。实际上,由于橡胶粉的存在,混合料的降温速度有所下降。另外,值得一提的是,橡胶粉改性沥青混合料的存储、运输和摊铺过程中的稳定性要明显比普通沥青或改性沥青混合料要好。表6是OGFC10析漏试验的结果,可以看出加入橡胶粉后粘附量大大降低,而且当油量增长时,析漏率的增加速度也相对低。因此,混合料在存储运输过程中发生粘车斗和离析的可能性都大大降低。

由于橡胶颗粒在高温时接触石油馏出物时粘性会增加,不能用传统的柴油乳剂对料车车斗进行防粘处理,而应该改用石灰水和肥皂水等。

表7 析漏率%

油石比%	OGFC+70#	OGFC+40目	OGFC+80目	OGFC+120目
4	0.024	0.022	0.012	0.012
4.3	0.075	0.024	0.022	0.022

摊铺碾压

摊铺温度可以稍低于改性沥青,同样,初压、复压和终压温度也要求接近改性沥青混凝土施工要求。由于干法工艺橡胶粉的作用相对于沥青有相对的独立性,橡胶粉的加入相当于混合料中细料(特别是对体积而言)增加。实际施工经验表明,只要碾压及时到位,密级配混合料压实度达到97%以上,现场空隙率控制在7%以下,开级配混合料达到100%压实度应该不会有问题。

碾压机械的组合要有一定的调整。橡胶粉改性沥青混凝土在高温状态下对轮胎的粘性要大大高于普通沥青混合料,也要高于改性沥青混合料,所以碾压过程应该主要依靠双钢轮压路机来完成。同样也是粘轮的原因。在碾压完成以后,在路面未冷却之前,施工人员必须采取比其他沥青混凝土更严格的隔离交通



措施。

质量检测

日常施工质量控制需要定期抽检混合料的油量和级配,但由于没有足够细度,三氯乙烯抽提时,大部分橡胶粉并没有象沥青一样被离心出去,而是和细料一起附集在滤纸边缘(橡胶粉相对轻)。三氯乙烯挥发掉以后,膨胀的橡胶粉复又干缩胶接,和细矿料混杂成团,必须想办法将橡胶粉与矿粉分离开来,橡胶粉含量和进一步的筛分析就无法进行。分离的方法有悬浮法和燃烧法。悬浮法是采用密度介于矿料和橡胶粉之间的溶液(比如 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 盐溶液),将橡胶粉悬浮出来,这种方法可能会在橡胶团中夹带出细矿料,准确性差一些,但方便快捷一些。燃烧法步骤为:所有抽提残留物烘干称重,过 4.75mm 筛,筛通过物称重;将筛通过物放入燃烧围炉(600°C)中 4h;称取燃烧残留物。必要时(含较多石头灰质矿料时),用 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 重新碳化后称重。燃烧法的精度相对较高,但是操作较为繁复。

不管是悬浮法还是燃烧法,都要在抽提检验前进行方法标定。标定程序如下:

(1) 指定级配和用油量、橡胶粉掺量准备 5 个样品,按正常方式拌合备样;

(2) 离心式抽提,将抽提液沉淀并称取沉淀物重,抽出物称重后过 4.75mm 筛,确定测出的沥青用量,对比设定用量给出油量修正系数;

(3) 筛通过物称重,悬浮法/燃烧法确定测出的橡胶粉含量,计算橡胶粉含量修正系数。值得特别一提的是肇庆马房大桥钢桥面铺装工程。该桥所处地区年降雨量 1800mm,夏季正午桥面温度常超过 70°C ,2001

年日单向交通量 11216 辆,且以过境长途货运特征明显。2001 年 8 月通车,到 2003 年 1 月时,桥面仍然没有明显的车辙,构造深度保持在 0.5-0.6mm,发生了两个很小的坑洞(考虑到铺装厚度只有 8cm,基本可以归因于施工局部缺陷)。

3 结论

(1) 橡胶粉无论采用干法还是湿法加入沥青混凝土,能全面提高路用性能,能很好迎合道路路面工程对高性能沥青混凝土不断增长的需求,同时实现低污染回收利用废旧轮胎,应用前景远大。

(2) 室内的初步试验,表明橡胶粉能同时显著改善沥青混合料的高温稳定性、抗水损坏性能和低温性能,试验路近两年严酷交通考验也表明了橡胶粉的对沥青混合料综合性能的提高;

(3) 橡胶粉的施工工作性很好,施工温度的要求不超过其他改性沥青,运卸铺离析减少,施工工艺只须在现有机械设备基础上稍作调整,技术指标和手段需要少量的补充。

参考文献:

- [1]Feddy L. Roberts, Prithvi S. Kandhal, E. Ray Brown, Robert L. Dunning, Investigation and Evaluation of Ground Tire Rubber in Hot Mix Asphalt. NCAT Report No. 89-3. august 1989.
- [2]Randy C. West, Gale C. Page. Effect of fire Rubber Grinding Method on Asphalt-Rubber Binder Characteristics. 1998 TRB Annual Meeting, 1998.
- [3]Prithvi S. Kandhal. Waste Materials in Hot Mix Asphalt- An Overview. Use of waste materials in Hot-Mix Asphalt. ASTM STP 1993.1993.

新技术 新产品

一种由美国引进的沥青路面保护剂 悄然进入我国高速公路

“水”是造成沥青路面损坏的“元凶”,为有效遏制水、油对沥青路面的侵蚀,上海敬诚机械设备有限公司去年从美国 STAR-SEAL 公司引进一种沥青路面保护剂,专门用于保护沥青路面,以提高沥青道路质量,延长路面使用的寿命。

STAR-SEAL SUPREME 沥青路面保护剂含有高温精炼的煤焦油沥青、精选的矿物填料和表面活化剂具有无比的坚韧性,对汽油及其它化学物质的抵抗性

和抗水性,同时能保护沥青不受有害紫外线风化和剥蚀。经鉴定该产品符合或优于美国空军、联邦航空部及美国材料试验学会的有关技术规格,并广泛运用于机场、重交通高速公路、停车场。该产品从去年 6 月开始先后在我国沪宁、宁靖盐、京沪及北京六环等高速公路路段、高架桥面、收费站上铺设了近 20 万 m^2 ,收到较好的反响,并通过同济大学道路与交通工程实验室及江苏省交通科研院的实地检测。(陈造奇)

SHANGHAI HIGHWAYS

No.2.2004 (serial No.92)

CONTENTS

Rubblization in situ of Cement Concrete Pavement

..... *George Wang* (2)

Abstract: Rubblization in situ, as one of the cement concrete pavement rehabilitation methods, has been developed and used in North America for 10–15 years. However, this technology, is still being reviewed, modified, and improved. There are large quantities of cement concrete pavements in China which could be rehabilitated by using correct methods, including rubblization in situ and proper overlay. Pre-engineering evaluation to determine the suitability of the candidate pavements is critical before selection of the rehabilitation methods.

Keywords: Cement Concrete Pavement, Rubblization in situ, Overlay

Performance Evaluation and Construction Techniques of Crumb Rubber Modified Asphalt Concrete

..... *HUANG Wen-yuan, SUN Li-jun, WANG Xu-dong* (6)

Abstract: The significance and prospects of application of crumb rubber in pavements are analyzed at first. Then, the mechanism of how rubber can improve pavement performance is explained from the point of view of the components of rubber, the physical characteristics of rubber and the mechanism of the rubber modification of asphalt. Many laboratorial experiments at high temperature, low temperature and in water condition are conducted, the results of which tell the performance improvement with rubber. The problems met in construction process of demonstration projects and the ideas dealing with them are discussed in the end.

Key words: crumb rubber, modified asphalt, pavement engineering, traffic classification

The Mechanics Response Analysis of Perpetual Pavements with 3D Finite Element Method

..... *LI Feng, ZHANG Hong-chao, SUN Li-jun* (11)

Abstract: The perpetual pavement was an advanced technology represented in engineering field. The stress states of four pavement structures were calculated by three-dimension finite element method to analyze the influence of different structural combinations on the tensile strain at the bottom. This is also developed as the theoretical foundation for the design of perpetual pavements.

Key words: perpetual pavements; mechanics response; 3D finite element method; the tensile strain at the bottom

Application of PCC pile in soil improvement of Shanghai Beihuan express way

..... *GU Bin, XU Guo-zhan, DAI Yuan-zhi* (13)

Abstract: Thin-wall Pipe Pile Using Cast-in-situ Concrete (named PCC) technology and the application in soil improvement of Shanghai Beihuan express way are introduced. A series of field detection and in-situ test have been performed. The results show that the bearing capacity satisfies the design capacity and the use of this style pile is successful. The new pile can increase the ground bearing capacity and reduce the ground settlement remarkably. It is expected to be widely used in soil improvement of expressways.

Key words: PCC pile; express way; soil improvement

Study on Noise Reduction Properties and Mechanism of Porous Elastic Road Surface

..... *Cao Wei-dong, Zhou Hai-sheng, Lu Wei-min* (17)

Abstract: Based on experimental research of porous elastic road surface (PERS) in Japan, the noise reduction properties and mechanism are analyzed from porous absorption and damping vibration. The results of experiments reveal that the noise characteristics of