



ISSN 1671-8879

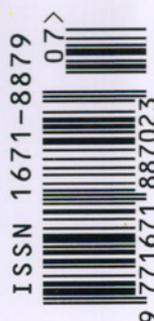
CN 61-1393/N

自然科学版

JOURNAL OF CHANG'AN UNIVERSITY  
Natural Science Edition

**4 2014** 第34卷 第4期  
Vol.34 No.4

CHANG'AN DAXUE XUEBAO  
长安大学学报



中国·西安

## 目次

## · 道路工程 ·

- 垂直振动成型水泥稳定碎石疲劳特性及应用..... 蒋应军, 曹帆, 陈浙江, 方剑(1)
- 冻土融沉对路面结构力学响应的影响..... 张久鹏, 袁卓亚, 汪双杰, 陈建兵, 金龙(7)
- 滨海氯盐渍土溶陷及盐胀特性..... 魏进, 杜秦文, 冯成祥(13)
- 主应力轴旋转下原状软黏土的变形及强度特性..... 柳艳华, 谢永利(20)
- 水泥混凝土路面传力杆布设方式仿真模拟..... 张驰, 王雪, 崔卜心, 王迪(25)
- 新成型水泥混凝土路面板内水分及气体竖向分布..... 郭寅川, 孟祥龙, 申爱琴(31)
- 基于表面自由能理论的温拌再生沥青-集料粘附特性..... 郭鹏, 唐伯明, 冯敏, 杨赞华(38)
- 公路软基过渡段车辆振动特性影响因素..... 高志伟, 雷剑, 王选仓(45)

## · 桥梁与隧道工程 ·

- 基于桥梁健康监测的有限元模型修正研究现状与发展趋势  
..... 梁鹏, 李斌, 王秀兰, 王晓光, 吴向男, 马旭明(52)
- 变截面波形钢腹板组合梁剪力滞效应..... 周勇超, 郝宪武, 李子青(62)
- 埋管水热式融雪系统对桥面铺装结构的影响..... 傅珍, 陆凯谔, 王选仓(70)
- 基于结构解释模式的服役混凝土结构损伤识别..... 袁春燕, 卢俊龙(77)
- 强度折减计算中的可视化分析与失稳标准比较..... 宋焱勋, 李荣建, 刘军定, 高虎艳, 王治军(82)
- 冻结温度对砂质泥岩力学特性的影响..... 奚家米, 杨更社, 董西好(92)
- 西安地铁工程中的地裂缝地质问题..... 李忠生, 宋彦辉, 高虎艳, 杨智国, 程耀, 丛璐(98)
- 探地雷达信号的最小平方反褶积处理效果..... 石刚, 谢永利, 杨晓华, 李晓婷(104)
- 超宽带探地 SAR 原始回波数据仿真二维频域快速算法..... 刘昕, 张林让, 周宇(109)

## · 交通工程 ·

- 车道变换过程中驾驶人操作和注视行为..... 郭应时, 郭艳君, 付锐, 袁伟, 霍克(115)
- 高速公路大型车混入率与交通流稳定性关系分析..... 梁国华, 程国柱, 王春艳, 马荣国, 彭田田(120)
- 城市出租汽车特征价格定价模型..... 张少博, 杨英俊, 赵文义, 张绍阳, 焦红红(127)
- 高速公路交通安全风险评价与敏感性分析..... 吴焱, 钱振邦, 王建军, 邓亚娟, 卢杨(134)
- 基于体能消耗的非机动交通可达性模型与应用..... 李聪颖, 周庆华, 吕麦霞, 朱彤(142)
- 运输通道货运量分担率的目标规划模型..... 白骅, 朱彤(147)
- 一种新的个性化车辆图像搜索算法..... 李晗, 黄莺, 黄鹤(152)
- 基于车联网信息融合多 Agent 方法的交通事件检测..... 梁军, 沈伟国, 蒋焱, 李世浩, 陈龙(159)

## · 汽车与机械工程 ·

- 后喷时刻和 EGR 率对柴油低温燃烧和排放的影响..... 赵伟, 张全长, 张春化(167)
- 二甲醚层流预混火焰试验及数值模拟..... 陈朝阳, 杨璐, 李跟宝, 黄佐华, 李玉阳(172)
- 柴油机燃用混合含氧燃料的燃烧与排放..... 朱一德, 梅德清, 吴焱, 张永涛(179)
- 基于小臂-作业平台联动的自动调平机制..... 曹学鹏, 焦生杰, 程磊, 满军(184)

文章编号:1671-8879(2014)04-0025-06

# 水泥混凝土路面传力杆布设方式仿真模拟

张 驰,王 雪,崔卜心,王 迪

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

**摘 要:**为优化水泥混凝土路面传力杆布设间距设计,以有限元理论为基础,依据中国水泥混凝土路面设计规范设置模型参数,建立了文克勒地基上考虑不利荷载作用时的单层面板 3D 有限元模型。基于模型得到 2 种传力杆布设方式情况下面板的力学响应值,计算出等间距时接缝传荷系数(LTE)对间距的关系式、LTE 和板最大位移,并分析轮迹集中布设传力杆的作用效果。研究结果表明:等间距布设传力杆时,在 LTE 与传力杆间距计算模型下,间距在 450~1 800 mm 之间变化时,LTE 变化小;轮迹集中布设传力杆将 LTE 平均提高 3.015%,且传力杆根数越少提高值越大;LTE 相等时,轮迹集中可将每条接缝处传力杆根数平均减小 1 根,与均布相比,即使减少 1 根传力杆时仍对板位移产生有利影响,且具有良好的经济效益。

**关键词:**道路工程;水泥混凝土面层;接缝;传力杆;传荷效率

中图分类号:U416.216

文献标志码:A

## Simulation study on dowel bar layout mode of cement concrete pavement

ZHANG Chi, WANG Xue, CUI Bu-xin, WANG Di

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** To optimize dowel bar spacing design in cement concrete pavement, a single-layer structure model on Winkler subgrade with consideration of unfavorable load was established based on finite element theory. The model parameters were set according to the pavement design specifications in our country. The panel's mechanical responses under different dowel setting conditions were got based on the model. The relationship of LTE and spacing, LTE and panel maximum displacement were calculated and the effects of wheel track concentrated dowel layout were analyzed. The results show that when dowels are equally displaced, under the calculation model of LTE versus spacing, LTE changes slightly when spacing varies between 450mm to 1800mm; the wheel track concentrated dowel about can improve the LTE value by 3.015% on average, and the improvement value grows with the decrease of dowel bar number; when the LTE values equal, the wheel track concentrated dowel layout can reduce the number of dowels by 1 on average, and compared with the equal dowel layout, even one dowel reduction still has a favorable impact on the panel displacement, and there is good economic benefit. 6 tabs, 3 figs, 15 refs.

**Key words:** road engineering; cement concrete pavement; transverse joint; dowel bar; load transfer efficiency

收稿日期:2013-08-26

基金项目:教育部博士点基金新教师项目(20120205120013);陕西省自然科学基金项目(2012JQ7001);长江学者和创新团队发展计划资助(IRT1050);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013G2211005,CHD2011JC048)

作者简介:张 驰(1981-),男,四川宜宾人,高级工程师,工学博士,E-mail:zhangchi@chd.edu.cn.

## 0 引言

水泥混凝土路面接缝在大量重复荷载的作用下,传荷能力逐渐丧失,加速了病害的产生和路面破损,缩短了路面的正常使用寿命。国内外实践和研究表明,在接缝处设置传力杆是提高接缝性能的一项有效措施<sup>[1-3]</sup>。国外针对水泥混凝土路面接缝的研究较早,Zollinger等建立了接缝传荷能力与路面结构之间的相关关系<sup>[4]</sup>;Michael应用仿真软件,建立了单轮荷载作用下考虑接缝传荷能力的两块道面板的有限元分析模型<sup>[5]</sup>。中国近年也做了一些有益探索,张军等提出重载交通情况下采用缩缝传力杆是非常必要的<sup>[6]</sup>;锁利军等通过建立三维有限元模型得到当接缝设传力杆时,混凝土面层计算点荷载应力和弯沉差明显小于无传力杆时<sup>[7]</sup>;张艳聪等通过建立Winkler地基上考虑层间接触状况的双层结构模型,进行了刚性路面传力杆设置的优化研究<sup>[8]</sup>。

目前的研究对影响接缝传荷能力的多方面因素进行了较为系统的分析,传力杆间距是水泥混凝土接缝设计中的一项重要参数,而各国普遍对其规定较为简单,缺乏对传力杆间距较为深入的研究。为此,本文重点讨论接缝处传力杆的布设方式,利用有限元仿真软件定量分析传力杆间距与接缝传荷系数的关系,且所分析的传力杆间距数值变化范围广,对中国水泥混凝土路面设计规范和实际工程应用具有参考价值。

## 1 模型建立

### 1.1 有限元模型

本文建立三维、线弹性、各向同性面板模型,并用20节点二次固体单元进行离散,地基采用文克勒地基模型,用8节点二次平面单元进行离散。为模拟接缝间的集料嵌锁和传力杆传递剪力的作用,采用以下离散单元<sup>[9]</sup>:①用于模拟接缝集料嵌锁作用面的16节点接触面单元;②用于离散横缝传力杆及纵缝拉杆的3节点嵌入弯曲单元、2节点剪切梁单元。

本文所建立的单层面板模型,主要基于两方面考虑:①在早期的公路工程中,刚性路面板不考虑路基类型和排水情况而直接浇筑在路基上<sup>[10]</sup>;②接缝传荷效率随基层强度的增大而增大,由于重点研究传力杆设计,故对基层厚度、基层模量不予考虑<sup>[11]</sup>。中国高速公路运输快速发展,日益增多的重型车辆引起相邻路面板间的差异沉降不断增大,加速了接

缝结构的深度断裂。因此本文重点研究在车轮荷载作用下,传力杆布设方式对接缝性能的影响,暂不考虑温度应力,且假设传力杆工作状态良好。

### 1.2 基本参数选择

依据《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2011)(简称《规范》)设置模型参数<sup>[2]</sup>,且考虑到中国大部分地区交通量增长迅速,重交通增长趋势明显。选取基于重交通荷载等级下的水泥混凝土路面相关规范要求进行参数设定,板厚根据参考值选取与实际情况较为相符的250 mm。板尺寸依据《规范》5.1节中相关规定,并结合实际工程确定:①纵向接缝的间距(即板宽)宜为3.0~4.5 m;②横向接缝的间距(即板长)对于普通水泥混凝土面层宜为4~6 m,面层板的长宽比不宜超过1.35,平面面积不大于25 m<sup>2</sup>。本文选取板长5 m,板宽4 m。水泥混凝土面板各参数汇总见表1。

表1 水泥混凝土面板建模参数

Tab. 1 Parameters of cement concrete pavement slab modeling

板长/ m	板宽/ m	板厚/ mm	弹性模 量/MPa	泊松比	热膨胀 系数	密度/ (kg·m <sup>-3</sup> )
5	4	250	31 000	0.15	1.10×10 <sup>-5</sup>	2 400

其他参数的确定:地基反应模量参考《规范》附录材料参数的经验参考值,取0.03 MPa/mm,分析接缝传荷能力时,荷载通常作用在板的边缘或角隅处<sup>[12]</sup>,如无特别说明,行车荷载均采用标准轴载BZZ-100,车轮荷载简化为200 mm×150 mm的矩形,矩形边缘与缩缝边缘重合,因此轮轴中心线距离接缝100 mm。

### 1.3 计算方法

接缝传荷能力用接缝传荷系数LTE(load transfer efficiency)来衡量,LTE可以从接缝两侧相邻板的挠度、应力或荷载量3个角度予以定义。直接受荷板是指车轮位于的面层板,间接受荷板是指与直接受荷板相邻,通过集料嵌锁、拉杆、传力杆等传荷装置间接承受轮载作用的面层板。由于挠度可方便无损测定,因此选取黄仰贤最先提出的挠度比值对LTE进行定义<sup>[13]</sup>。

$$P_{LTE} = \frac{W_1}{W_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $P_{LTE}$ 为LTE计算参数; $W_1$ 、 $W_2$ 分别为直接受荷板板边的弯沉和间接受荷板板边的弯沉。

直接受荷板和间接受荷板的最大挠度计算点选取在临近接缝的某一侧双轮作用位置中央处,计算点坐标( $x, y, z$ ),其中 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 分别为板长、板宽和板厚, $z$

沿板厚向下为正,且以板底为0点。为了使计算结果不因计算点与传力杆位置具有特定关系而受到影响,选取的计算点与传力杆的相对位置随机不固定,直接受荷板计算点坐标选取为(4 950 900,-125),间接受荷板计算点坐标选取为(5 050 900,-125)。

## 2 等间距布设传力杆分析

### 2.1 LTE 与间距的关系

参考表2传力杆尺寸规定,直径取32 mm,长度取450 mm,通过EverFE软件计算,得到不同传力杆间距 $L$ (根数)下邻近接缝处的位移,并利用式(1)得到接缝传荷系数。由于横缝宽度为定值,故

表3 不同传力杆间距和LTE

Tab.3 LTE of different dowel spacings

传力杆间距/mm	240	257	277	300	327	360	400
传力杆数/根	16	15	14	13	12	11	10
LTE值/%	81.830	81.037	80.126	79.000	77.792	76.601	75.214
传力杆间距/mm	450	514	600	720	900	1 200	1 800
传力杆数/根	9	8	7	6	5	4	3
LTE值/%	73.309	71.360	69.022	66.396	63.110	58.609	51.582

以传力杆间距 $L$ 为自变量,LTE值( $P_{LTE}$ )为因变量,在SPSS中进行曲线拟合。通过分析发现,三次曲线的拟合优度最高,可达到0.998。LTE值与传力杆间距 $L$ 的关系式见式(2),拟合曲线如图1所示。

$$P_{LTE}(\%) = 94.430 - 0.062L + 3.818 \times 10^{-5} \cdot L^2 - 9.491 \times 10^{-9} L^3 \quad (2)$$

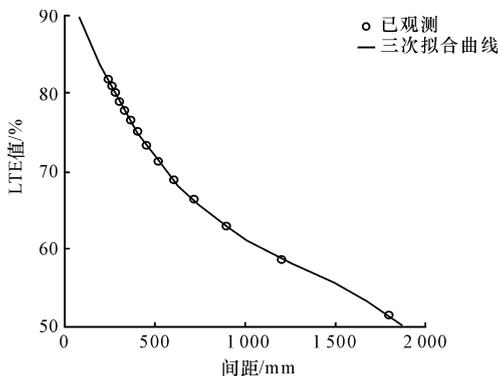


图1 LTE与间距的三次拟合曲线

Fig.1 LTE-spacing three curve fittings

从图1可以得出以下结论。

(1)在拟定的模型前提下,参考《规范》中对接缝传荷能力的分级标准,当传力杆间距小于300 mm时,接缝传荷系数大于80%,接缝传荷能力达到优良等级;传力杆间距在[300 mm,900 mm]范围内变化时,接缝传荷系数在(60%,80%)范围内,接缝传荷能力达到中级;当传力杆间距大于900 mm时,接

缝传荷系数小于60%,接缝传荷能力评为次级。说明《规范》中规定的最大间距值300 mm可以较好地保证接缝传荷能力达到优良。

表2 传力杆尺寸和间距

Tab.2 Sizes and spacings of dowel bars mm

面层厚度	传力杆直径	传力杆最小长度	传力杆最大间距
220	28	400	300
240	30	400	300
260	32	450	300
280	32~34	450	300
≥300	34~36	500	300

缝传荷系数小于60%,接缝传荷能力评为次级。说明《规范》中规定的最大间距值300 mm可以较好地保证接缝传荷能力达到优良。

(2)当传力杆间距在区间[240 mm,450 mm]内变化时,接缝传荷系数LTE随传力杆间距增大呈近似线性的明显下降;在区间[450 mm,1 800 mm]内变化时,LTE值降低趋势渐趋平缓;在区间[1 800 mm,2 000 mm]范围内时,LTE值的下降趋势又逐渐明显。则在实际应用中,当道路需求的接缝传荷系数所对应的传力杆间距落在[450 mm,1 800 mm]范围内时,可以适当增加传力杆间距,这对接缝传荷能力影响较小,而且可以起到减少钢筋用量,降低建设成本的作用。

### 2.2 间距对LTE和板最大位移的影响

从表2《规范》的规定来看,传力杆尺寸是以面层厚度作为参考量而变化的,对于不同面层厚度值,传力杆最大间距都为300 mm,这样的间距常量设计规定存在不足,不能较好地适应实际工程的不同需求。考虑到等间距布设传力杆目前是一种应用广泛且简便的传力杆布设方式,本文将探讨间距取值变化对接缝传荷能力的影响。

当传力杆设置根数逐根减少时,利用式(2)依此计算不同传力杆间距所对应的LTE值。为了定量分析间距变化对LTE和板最大位移的影响规律,掌

握其变化趋势,将 LTE 计算降低值、直接和间接受荷板的最大位移、直接受荷板最大位移和间接受荷

板最大位移随传力杆根数变化而产生的变化量值汇总,如表 4 所示。

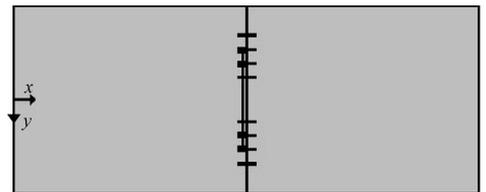
表 4 LTE 降低值和板最大位移变化值

Tab. 4 LTE reduction values and maximum displacement change values

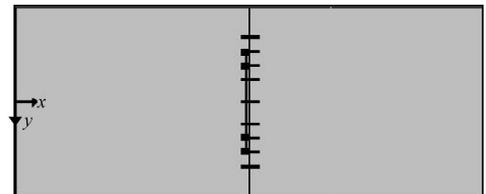
传力杆数量/根	16	15	14	13	12	11	10
传力杆间距/mm	240	257	277	300	327	360	400
LTE 计算降低值/%		0.761	0.873	0.974	1.103	1.291	1.484
直接受荷板最大位移/mm	0.787	0.791	0.795	0.800	0.806	0.812	0.819
直接受荷板最大位移增加值/mm		0.004	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007
间接受荷板最大位移/mm	0.644	0.641	0.637	0.632	0.627	0.622	0.616
间接受荷板最大位移减小值/mm		0.003	0.004	0.005	0.005	0.005	0.006
传力杆数量/根	9	8	7	6	5	4	3
传力杆间距/mm	450	514	600	720	900	1 200	1 800
LTE 计算降低值/%	1.735	2.036	2.435	2.885	3.403	4.028	7.427
直接受荷板最大位移/mm	0.828	0.838	0.849	0.863	0.881	0.906	0.948
直接受荷板最大位移增加值/mm	0.009	0.010	0.011	0.014	0.018	0.025	0.042
间接受荷板最大位移/mm	0.607	0.598	0.586	0.573	0.556	0.531	0.489
间接受荷板最大位移增加值/mm	0.009	0.009	0.012	0.013	0.017	0.025	0.042

从表 4 可以得出以下结论:当传力杆逐根减少时,即传力杆布设间距逐渐增大时,对 LTE 降低值、直接受荷板和间接受荷板最大位移变化量的影响均逐渐增大。传力杆间距达到 1 800 mm 时的变化量为间距 240 mm 变化量的 10 倍左右;传力杆间距较大时,1 根传力杆的减小会对接缝性能产生较大的影响。且随着传力杆间距的变化,直接受荷板的最大位移减小量和间接受荷板的最大位移增加量几乎保持相等。

杆,除轮迹处对称设置外,需在缩缝中心处增加 1 根。图 2 给出了 8 根和 9 根传力杆集中布置在轮迹带的示意图。



(a) 8根传力杆布置



(b) 9根传力杆布置

图 2 传力杆布置示意

Fig. 2 Dowel layout

通过传力杆根数从 12 根变化到 3 根时直接受荷板和间接受荷板的最大位移值,依此计算得到 LTE 及 LTE 提高值,绘制 LTE 随传力杆根数的变化折线图(下页图 3)。

从图 3 中可以得出以下结论。

(1)缩缝轮迹集中布置传力杆时的接缝传荷系数均大于同等传力杆根数时缩缝均布传力杆时的接缝传荷系数,经计算,LTE 平均提高值为 3.015%。

(2)随着传力杆根数的减小,轮迹集中布设传力杆方式的 LTE 降低速率较均布传力杆缓慢,即当传

### 3 不等间距布设传力杆分析

目前,在中国水泥混凝土公路路面设计规范中(如表 2 中所示),对传力杆设置间距的规定只涉及到 2 个方面,一是传力杆最大间距为 300 mm,二是最外侧传力杆距纵向接缝或自由边的距离为 150~250 mm。而国外的研究和实践经验表明,详细的传力杆间距规定是十分必要的,且接缝传力杆集中于轮迹处这种不等间距布设方式对于延长路面使用寿命起到了很好的效果<sup>[14-15]</sup>。与国外的设计现状相比,中国有关传力杆的规定粗略宽泛,适用性差,其统一规定的 30 cm 传力杆间距值存在不合理性。所以本文将进一步探讨传力杆向轮迹处集中这种优化布设方式对接缝性能的影响。

#### 3.1 轮迹集中布设传力杆对 LTE 的影响

与等间距布设传力杆不同,轮迹处集中布设传力杆需要考虑奇数和偶数根传力杆的区别。对于偶数根传力杆,对称设置在轮迹处,对于奇数根传力

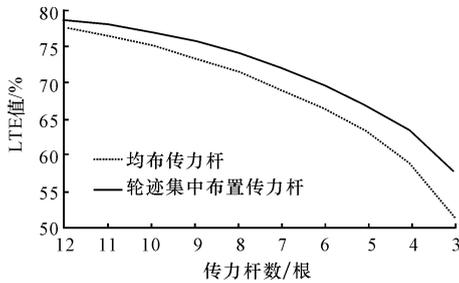


图 3 轮迹集中与均布布设传力杆 LTE 折线

Fig. 3 LTE line charts of wheel track concentration and equal layout

力杆减小相同根数时,轮迹集中布设传力杆的 LTE 减小值较小。

(3)当传力杆根数较少时,缩缝轮迹处集中布置传力杆相对于均布传力杆对 LTE 的提高效果优于传力杆根数较多的情况。例如,当传力杆根数为 12 时,LTE 提高 0.887%,而 4 根传力杆时 LTE 达到 6.504%。

### 3.2 轮迹集中布设传力杆根数

通过表 3 和表 5 可以发现,传力杆均布 8 根时 LTE 达到 71.360%,若传力杆集中于轮迹处,7 根传力杆 LTE 即可达到 72.062%。公路工程为线性工程,对新建水泥混凝土路面来说,每一道缩缝处较少数量传力杆的节约,对于整个工程成本的降低贡献是相当大的。下面比较当达到相同的 LTE 值时,等间距布设传力杆和轮迹集中布设传力杆 2 种方式

表 6 均匀布设和轮迹集中传力杆布设板最大位移的比较

Tab. 6 Maximum displacements of equal and wheel track concentration layouts

传力杆均匀布设/根		13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
传力杆轮迹集中布设/根		12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
直接受荷板/mm	均匀布设	0.800	0.806	0.812	0.819	0.828	0.838	0.849	0.863	0.881	0.906
	轮迹集中布设	0.802	0.806	0.811	0.817	0.825	0.834	0.846	0.861	0.879	0.909
间接受荷板/mm	均匀布设	0.632	0.627	0.622	0.616	0.607	0.598	0.586	0.573	0.556	0.531
	轮迹集中布设	0.631	0.628	0.623	0.618	0.610	0.601	0.590	0.575	0.558	0.528

在施工方面,减少传力杆根数,不论采用支架法或是传力杆插入装置法,由于公路工程的线性特征,都可以达到节约人力、降低建设成本的目的。同时,安装误差的传力杆总量会大大减小,更好地保证了接缝性能,这对于增加中国传力杆应用范围、促进水泥混凝土路面建设发展是非常有利的。

## 4 结 语

(1)经过计算,当均匀布设传力杆时,传力杆间距在小于 300 mm、位于 300~900 mm 区间内和大于 900 mm 时,接缝传荷能力评级分别为优良、中级和次级。通过 LTE 与传力杆间距的变化关系计算

所需的传力杆根数,如表 5 所示。

表 5 相同 LTE 时不同布设方式传力杆所需根数比较

Tab. 5 Needed dowel numbers of different layouts with same LTE

LTE 值/%	77	73	69	65	61
等间距布设传力杆数/根	11	9	7	6	5
轮迹集中布设传力杆数/根	10	8	6	5	4
传力杆根数减小值/根	1	1	1	1	1
根数减小平均值/根	1				

从表 5 中可以得到,采用轮迹集中布设传力杆的方式,在达到相同的接缝传荷系数的前提下,每条缩缝位置上,传力杆所需根数较均布方式平均减小 1 根。

下面比较不同布设方式情况下,传力杆根数减小对直接受荷板和间接受荷板最大位移的影响,根据上述计算结果,若在相同 LTE 水平下比较,需要设定轮迹集中布设传力杆的数量比均匀布设传力杆数量少 1 根。

由表 6 可以得出,相比于均匀布设传力杆,轮迹集中布设传力杆时即使根数减小 1 根,直接受荷板的最大位移较小而间接受荷板的最大位移较大,对于直接受荷板和间接受荷板的均衡受力是有利的。综上,采用轮迹集中布设传力杆的方式,适当减少传力杆数量仍可保证 LTE 值和路面在接缝处良好的工作性能。

表 6 均匀布设和轮迹集中传力杆布设板最大位移的比较

Tab. 6 Maximum displacements of equal and wheel track concentration layouts

传力杆均匀布设/根		13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
传力杆轮迹集中布设/根		12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
直接受荷板/mm	均匀布设	0.800	0.806	0.812	0.819	0.828	0.838	0.849	0.863	0.881	0.906
	轮迹集中布设	0.802	0.806	0.811	0.817	0.825	0.834	0.846	0.861	0.879	0.909
间接受荷板/mm	均匀布设	0.632	0.627	0.622	0.616	0.607	0.598	0.586	0.573	0.556	0.531
	轮迹集中布设	0.631	0.628	0.623	0.618	0.610	0.601	0.590	0.575	0.558	0.528

模型得到,当传力杆间距在 450~1 800 mm 区间内逐渐增加时,对 LTE 值的变化影响较小。因此实际道路设置的传力杆间距落在该区间时,可通过适当增加传力杆间距起到减少钢筋用量,降低建设成本的作用。

(2)根据数值分析和计算结果可知,与接缝均匀布设传力杆相比,轮迹处集中布设传力杆在传力杆根数较少时对接缝传荷能力的提高效果优于传力杆根数较多时,不同传力杆根数条件下 LTE 平均提高值达到 3.015%,且轮迹集中布设传力杆时,LTE 随传力杆根数的减小降低趋势较为缓慢。

(3)进一步研究表明,在达到相等 LTE 值时,轮

迹集中布设比均匀布设传力杆方式每条缩缝处传力杆根数平均减小1根。通过计算分析,在轮迹集中布设的条件下,即使缩缝处传力杆根数减少1根,仍能对直接受荷板和间接受荷板的位移均衡产生有利的影响。

(4)针对《规范》中有关传力杆的设计规定,建议采用轮迹集中的传力杆布设方式进行优化设计,特别是对重载轮迹集中的路面,应分别对轮迹处和非轮迹处做详细的间距值规定。

## 参考文献:

## References:

- [1] 胡迟春,王端宜.水泥混凝土路面传力杆相关问题的研究综述[J].中外公路,2009,29(2):82-86.  
HU Chi-chun, WANG Duan-yi. Summary research of cement concrete pavement dowel-related issues [J]. Journal of China and Foreign Highway, 2009, 29(2): 82-86. (in Chinese)
- [2] JTG D40—2011,公路水泥混凝土路面设计规范[S]. JTG D40—2011, Specifications for design of highway cement concrete pavement[S]. (in Chinese)
- [3] 胡新民,陈浩.水泥混凝土路面缩缝增设传力杆施工技术[J].筑路机械与施工机械化,2008,25(2):37-39.  
HU Xin-ming, CHEN Hao. Adding dowel bar construction in cement concrete pavement contraction joint[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2008, 25(2), 37-39. (in Chinese)
- [4] Zollinger D G, Soares J. Performance of continuously reinforced concrete pavements; volume VII; summary[R]. Virginia: Federal Highway Administration, 1999.
- [5] Michael J H. Advanced pavement design: finite element modeling for rigid pavement joints, report II; model development [R]. Washington DC: Department of Transportation Federal Aviation Administration, 1998.
- [6] 张军,李剑波,边惠英.刚性路面缩缝传力杆的受力分析与设计[J].中南公路工程,2001,26(4):7-8.  
ZHANG Jun, LI Jian-bo, BIAN Hui-ying. Analysis and design of dowel bar in rigid pavement shrinkage joint[J]. Central South Highway Engineering, 2001, 26(4): 7-8. (in Chinese)
- [7] 锁利军,王秉纲,陈拴发,等.接缝设传力杆水泥混凝土面层结构力学分析[J].长安大学学报:自然科学版,2008,28(3):30-35.  
SUO Li-jun, WANG Bing-gang, CHEN Shuan-fa, et al. Numerical analysis of mechanics of concrete overlay in transverse joint with dowel bars[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(3): 30-35. (in Chinese)
- [8] 张艳聪,申俊敏,田波,等.考虑层间接触的刚性路面传力杆设置的力学分析[J].公路交通科技,2013,30(4):22-27.  
ZHANG Yan-cong, SHEN Jun-min, TIAN Bo, et al. Mechanical analysis of dowel bar setting of rigid pavement considering interlayer contact [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30(4): 22-27. (in Chinese)
- [9] 杨晓明.超大型搬运设备走行道路结构及对地基基础影响数值分析[D].成都:西南交通大学,2010.  
YANG Xiao-ming. The numerical analysis of traveling the road structure and impacting on the foundation for larger handling equipment [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010. (in Chinese)
- [10] Yorder E J, Witczak M W. 路面设计原理[M].陈炳麟,译.北京:人民交通出版社,1983.  
Yorder E J, Witczak M W. Principles of pavement design[M]. Translated by CHEN Bing-lin, Beijing: China Communication Press, 1983. (in Chinese)
- [11] 卫东明.对水泥砼路面伸缩缝传力效率的探讨[J].中国市政工程,2001(4):13-16.  
WEI Dong-ming. On load transfer efficiency of contraction joints in cement concrete pavement[J]. China Municipal Engineering, 2001(4): 13-16. (in Chinese)
- [12] 周德云,姚祖康.水泥混凝土路面接缝传荷能力的分析[J].同济大学学报:自然科学版,1993,21(1):57-65.  
ZHOU De-yun, YAO Zu-kang. Analysis of load transfer at joints in concrete pavements [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 1993, 21(1): 57-65. (in Chinese)
- [13] 黄仰贤.路面分析与设计[M].北京:人民交通出版社,1998.  
HUANG Yang-xian. Pavement analysis and design [M]. Beijing: China Communications Press, 1998. (in Chinese)
- [14] 唐伯明,蒙华,刘志军.欧美水泥混凝土路面设计使用现状综述[J].公路,2003(10):37-39.  
TANG Bo-ming, MENG Hua, LIU Zhi-jun. Status review of European and American cement concrete pavement design usage [J]. Highway, 2003(10): 37-39. (in Chinese)
- [15] 唐伯明,邓学钧.刚性路面接缝传荷能力的评定与分析—FWD开发应用研究[J].东南大学学报:自然科学版,1991,21(6):84-91.  
TANG Bo-ming, DENG Xue-jun. Assessment of load transfer across Joints in rigid pavements using the FWD [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 1991, 21(6): 84-91. (in Chinese)

委托单位 (人)	长安大学公路学院 张驰		
地 址			E-mail
联 系 人	电话		委托日期 2014年9月2日
检索单位	教育部科技查新工作站 (G01)		
检索人	张永梅		

### Simulation study on dowel bar layout mode of cement concrete pavement

**Accession number:** 201433002886

**Authors:** Zhang, Chi (1); Wang, Xue (1); Cui, Bu-Xin (1); Wang, Di (1)

**Author affiliation:** (1) Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an; Shaanxi, China

**Corresponding author:** Zhang, Chi

**Source title:** Chang'an Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)

**Abbreviated source title:** Chang'an Daxue Xuebao

**Volume:** 34

**Issue:** 4

**Issue date:** July 1, 2014

**Publication year:** 2014

**Pages:** 25-30

**Language:** Chinese

**ISSN:** 16718879

**Document type:** Journal article (JA)

**Publisher:** Editorial Department of Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)

**Abstract:** To optimize dowel bar spacing design in cement concrete pavement, a single-layer structure model on Winkler subgrade with consideration of unfavorable load was established based on finite element theory. The model parameters were set according to the pavement design specifications in our country. The panel's mechanical responses under different dowel setting conditions were got based on the model. The relationship of LTE and spacing, LTE and panel maximum displacement were calculated and the effects of wheel track concentrated dowel layout were analyzed. The results show that when dowels are equally displaced, under the calculation model of LTE versus spacing, LTE changes slightly when spacing varies between 450mm to 1800mm; the wheel track concentrated dowel about can improve the LTE value by 3.015% on average, and the improvement value grows with the decrease of dowel bar number; when the LTE values equal, the wheel track concentrated dowel layout can reduce the number of dowels by 1 on average, and compared with the equal dowel layout, even one dowel reduction still has a favorable impact on the panel displacement, and there is good economic benefit.

**Number of references:** 15

**Main heading:** Road construction

**Controlled terms:** Concrete pavements - Fasteners - Finite element method - Wheels

**Uncontrolled terms:** Cement concrete pavements - Dowel bar - Load transfer efficiencies - Road engineering - Transverse joints

**Classification code:** 406 Highway Engineering - 412 Concrete - 601.2 Machine Components - 605 Small Tools and Hardware - 921.6 Numerical Methods

**Database:** Compendex

Compilation and indexing terms, Copyright 2014 Elsevier Inc.

**Data Provider:** Engineering Village