

耐久性 水泥混凝土 路面

*Permanent Cement Concrete
Pavement*

牛开民 田 波◎编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

耐久性水泥混凝土路面

牛开民 田 波 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书主要包括水泥混凝土路面结构分析与设计,精细化水泥混凝土路面施工技术研究,水泥路面使用性能评价和预养护技术研究。

本书可供相关科研人员及在校师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

耐久性水泥混凝土路面 / 牛开民,田波编著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2015. 10
ISBN 978-7-114-12527-0

I. ①耐… II. ①牛… ②田… III. ①耐用性—水泥混凝土路面 IV. ①U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 233004 号

书 名: 耐久性水泥混凝土路面

著 作 者: 牛开民 田 波

责任编辑: 韩亚楠 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11.25

字 数: 279 千

版 次: 2015 年 10 月 第 1 版

印 次: 2015 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12527-0

定 价: 38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

截至2013年底,全国公路铺装路面总里程达295万公里,其中水泥混凝土路面177万公里,沥青路面118万公里,水泥混凝土路面占60%。目前国省道干线公路中,水泥混凝土路面仍占有较大份额,并且几乎所有农村公路(60万公里)都是水泥混凝土路面。但是,其在11万公里高速公路中的比例逐渐减少,目前总里程大约在5000公里的规模。

改性沥青的平均价格是水泥的10倍左右,因此沥青混凝土单方单价大约是水泥混凝土单方单价的3倍。考虑到沥青层厚度一般为15~24cm,而水泥混凝土板厚度为26~32cm,所以水泥混凝土路面建设投资相对于沥青路面而言,一般会低1/3左右。

与此同时,水泥混凝土路面养护费用比沥青路面(年平均20万)要低一半以上。据广西高速公路养护数据,在通车前5年每公里每年的养护费用为5万,5~10年期间每公里每年的养护费用在8万左右,10~15年期间每公里每年的费用在15万以内。如果按照水泥混凝土路面使用寿命为15年计算,其效益明显高于沥青路面8年的使用寿命。此外,旧水泥混凝土路面进行加铺沥青混凝土后,仍旧可以再使用8年左右,其总使用寿命达到20年以上,远高于沥青路面。

此外,水泥混凝土路面在长大纵坡、隧道、收费广场和服务区具有明显优势。2013年极端高温天气频繁出现,致使很多沥青路面出现车辙和推移现象。而水泥混凝土路面具有良好的温度稳定性,尤其在长大纵坡段可以提高路网的安全水平和服务水平。

与此形成鲜明对比的是欧美国家,其水泥混凝土路面总里程和份额不是很高,限制发展的主要原因是水泥混凝土路面先期投资要比沥青路面高1/3。但欧美发达国家水泥混凝土路面一般的使用寿命均在30年以上,且在我们国家让人诟病的水泥混凝土路面行驶不舒适的缺点,在这些国家基本不存在,其行车舒适程度不亚于沥青路面。

目前,我国水泥混凝土路面存在的主要问题如下:

(1)设计理念落后。目前水泥混凝土路面结构设计和沥青路面结构设计思路接近,在板厚确定后,降低板底应力主要靠调节基层厚度来解决。正确的思路是以混凝土板为主要承载层,半刚性基层仅为支持平台,重视土基顶面不均匀变形

控制。

(2)平整度难控制,行车舒适性差。水泥混凝土路面本身行车舒适度不存在问题,欧美国家水泥混凝土路面的国际平整度指数也可以达到沥青路面 1.2m/km 的水平。但我国水泥混凝土路面的国际平整度指数多为 $2.5\sim 4.5\text{m/km}$ 。技术方面的原因是为了提高施工过程混凝土的工作性,就需要提高水泥混凝土的坍落度,但是大坍落度又会导致混凝土硬化阶段不均匀变形。

我国沥青路面施工,其机械化程度、精细化程度以及设备更新方面已经居世界先进行列。而水泥混凝土路面施工方面,由于近些年高等级公路水泥混凝土路面建设数量较少,这种市场容量不足以支撑专业施工企业的自我更新和提升,因此施工方式上仍旧保留廉价的三辊轴方式(即使三辊轴也不使用改型)和机龄高达15年以上的滑模摊铺机。目前施工市场上在用的摊铺机大部分工况较差,缺少定期维护保养。此外,专业施工技术人员流失严重,一线施工队伍缺乏经验和培训。这种机械和人员状况也极大影响了水泥混凝土路面的建设质量。

(3)养护费用少,养护技术低效。水泥混凝土路面养护维修费用低,部分原因是以牺牲使用性能为代价换来的,如裂缝、错台和抗滑不足不及时处理,积累等待大中修时处理。此外,水泥混凝土路面有效的养护维修技术还很少,机械化程度很低。

2008—2013年组织国内相关单位共同完成了西部交通建设科技项目“西部地区耐久性水泥混凝土路面关键技术研究”的研究工作,该项目在对路基路面各结构层次工作特性充分研究的基础上,通过对水泥混凝土路面结构设计技术及施工变异控制技术的研究,解决提高水泥混凝土路面耐久性的关键技术,提高水泥混凝土路面使用寿命,适应我国重交通发展需求并显著降低全寿命成本,为促进水泥混凝土路面在高等级公路中的应用提供技术支持。

本书由该项目成果编著而成,其中第1篇第1章由凌建明和关盛飞执笔;第1篇第2章由张擎和侯荣国执笔;第1篇第5章由付智和罗翥执笔。第2篇第3章、第4章和第5章由梁军林执笔。第3篇的第1章和第3章由谈至明和周玉民执笔。第3篇第2章由韩森和徐欧明执笔。其余部分由牛开民和田波执笔。此外,参加项目研究的还有毛雪松、李志勇、黄晓明、谭华、侯仲杰、张超、董诚、王浩、权磊、李思李、刘英等。

编者

2015年8月

目 录

第1篇 水泥混凝土路面结构分析与设计

第1章 土基回弹模量和不均匀变形	3
1.1 路基回弹模量设计参考值	3
1.2 路基永久变形及其预估	7
1.3 路基水稳定性能评价指标和预估	11
第2章 环境当量应力分析	19
2.1 水泥混凝土路面的全国气候分区	19
2.2 水泥混凝土路面翘曲温度应力	20
2.3 湿度梯度引起混凝土板翘曲效应分析	28
第3章 路面结构长期性能演变规律研究	31
3.1 行车荷载作用下路面板底冲刷变化规律分析	31
3.2 荷载与环境作用下水泥混凝土路面板边结合变化规律研究	33
3.3 接缝传荷衰变规律	35
第4章 素水泥混凝土路面结构分析	36
4.1 素水泥混凝土路面破坏模式研究	36
4.2 考虑施工条件的混凝土板等效内嵌温度梯度	38
4.3 基层开裂状态下的模量取值	40
4.4 水泥混凝土路面设计方法	42
第5章 端部非锚式连续配筋混凝土路面结构分析	51
5.1 结构整体开裂规律	51
5.2 断裂点和连续点	53
5.3 裂缝宽度分析	53
5.4 端部非锚式连续配筋混凝土路面设计	56

第2篇 精细化水泥混凝土路面施工技术研究

第1章 水泥与路面混凝土	63
1.1 水泥组成、结构与路用性能的关系	63
1.2 路面水泥混凝土早期收缩特性对开裂性能的影响研究	66
1.3 水泥特性对塑性开裂的影响研究	67
1.4 硬化后混凝土的耐候性研究	71

第2章	原材料性能变异性及控制技术研究	77
2.1	集料种类、性质与路用性能的关系	77
2.2	外加剂与混凝土性能的关系	79
第3章	路面混凝土搅拌均匀性控制技术	81
第4章	三辊轴施工控制技术	85
4.1	施工机械选择与配套	85
4.2	作业单元划分	86
4.3	布料控制	86
4.4	振动与整平遍数控制	87
第5章	水泥混凝土路面滑模摊铺施工变异性控制技术研究	92
5.1	滑模摊铺施工工艺原理	92
5.2	滑模摊铺混凝土结构形成	96
5.3	滑模摊铺施工工艺参数	98
5.4	铺筑作业控制	101
第6章	水泥混凝土路面养生	104
6.1	养生相关理论模型	104
6.2	不同养生方式对内部温度梯度的影响	109

第3篇 水泥路面使用性能评价和预养护技术研究

第1章	水泥路面工作状态评价方法与使用性能预估模型	115
1.1	工作状况评价方法	115
1.2	路面性能预测模型的重新标定、修正和建立	122
1.3	预养护条件下水泥混凝土路面衰变规律分析	133
第2章	水泥混凝土路面抗滑性衰减评价方法研究	137
2.1	水泥混凝土路面抗滑性暂时衰减规律研究	137
2.2	油污条件下路面的抗滑性暂时衰减规律	139
2.3	轮胎屑堵塞沟槽情况下的路面抗滑衰减规律	141
2.4	土体污染情况下的路面抗滑衰减规律	141
2.5	刻槽水泥混凝土路面抗滑构造衰减试验结果分析	143
2.6	刻槽水泥混凝土路面摆值变化规律试验结果分析	148
第3章	水泥混凝土路面预养护技术	155
3.1	预防性养护	155
3.2	水泥混凝土路面预养护措施与预养护时机	155
3.3	水泥混凝土路面预养护效益分析	160
参考文献		163

第1篇

水泥混凝土路面结构 分析与设计

第1章 土基回弹模量和不均匀变形

1.1 路基回弹模量设计参考值

路基当量回弹模量计算可按土组类型和典型路面结构形式的不同,分别计算相应的路基当量回弹模量值,以此作为该路基设计指标的参考值。其主要计算步骤如下:

①根据交通等级确定相应的典型路面结构。由于在设计中所确定的交通等级为一个范围 $[I, II]$,因此,以每级交通的分界轴次作为设计交通量,即得到该级交通状况下典型路面结构 A 的组合范围 $[A_I, A_{II}]$ 。

②按土组划分物性指标的范围,结合模型参数 k_i 的预估公式,通过计算获得不同土组模型参数 k_i 的范围 $[k_{i1}, k_{i2}]$ ($i=1, 2, 3$)。

③将不同交通等级下典型路面结构与土组类型进行组合,每一组合可分别确定4组组合参数,即 (A_I, k_{i1}) 、 (A_I, k_{i2}) 、 (A_{II}, k_{i1}) 和 (A_{II}, k_{i2}) ($i=1, 2, 3$)。

④对每一组合条件,分别按照相应的计算方法,确定相应路面结构和土组类型条件下路基的当量回弹模量 E 。对于同一路面结构和土组类型组合,可以确定路基当量回弹模量的范围为 $[E_1, E_2]$ 。而对于某一交通等级和土组类型组合,则可获得2个当量回弹模量范围: $[E_1, E_2]A_I$ 和 $[E_3, E_4]A_{II}$,那么该土组在交通水平 $[I, II]$ 下,路基的当量回弹模量范围为 $[\min(E_1, E_3), \max(E_2, E_4)]$,并以4个模量界限值的均值作为相应的代表值。

路基回弹模量设计参考值的计算流程如图1-1-1所示。

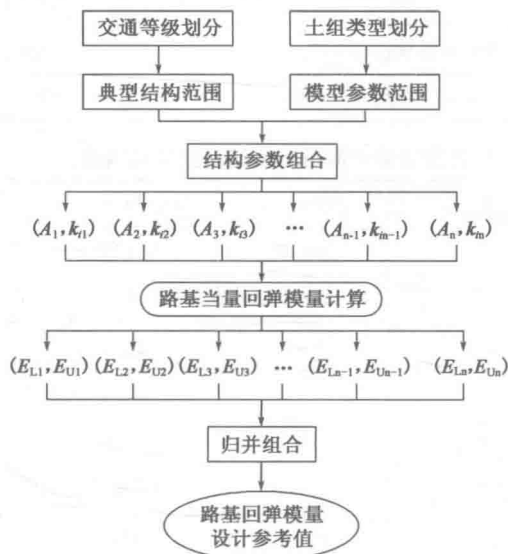


图 1-1-1 路基回弹模量设计参考值计算流程

1.1.1 交通等级划分

根据《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2011)的规定,按设计基准期内设计车道所承受的标准轴载累计作用次数分为4级,分级标准如表 1-1-1 所示。

交 通 分 级 标 准				表 1-1-1
交通等级	特重	重	中等	轻
设计车道标准轴载累计作用次数 $N_e(10^4)$	>2 000	100 ~ 2 000	3 ~ 100	<3

在计算各交通等级下路基的当量应力水平时,以每级交通的分界轴次作为设计交通量。其中,将特重交通的上限设定为 5 500 万轴次,而轻交通的下限则设为 1 万轴次。

1.1.2 典型路面结构

在参考相关研究成果的基础上,结合《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2011)的相关要求和实际工程应用情况,对各交通等级分别拟订相应的典型路面结构组合,如表 1-1-2 ~ 表 1-1-6 所示。由于在非线性分析中,路基回弹模量的初始取值对计算结果并无影响,因此在典型路面结构组合设计时,统一将路基回弹模量取为 30MPa。

水泥混凝土路面结构参考组合			表 1-1-2
交 通 等 级	基 层 类 型	基层厚度 (mm)	面层厚度 (mm)
特重交通	贫混凝土或碾压混凝土	120 ~ 200	≥240
	沥青混凝土	40 ~ 60	
重交通	水泥稳定碎石	150 ~ 250	280 ~ 240
	沥青稳定碎石	80 ~ 100	
中等交通	水泥或石灰粉煤灰稳定碎石	150 ~ 250	260 ~ 220
	级配碎石	150 ~ 200	
轻交通	水泥或石灰粉煤灰稳定碎石	150 ~ 250	≤240
	级配碎石	150 ~ 200	

特重交通水泥混凝土路面典型结构组合					表 1-1-3
结 构 编 号	材 料 类 型	层厚 h (cm)	模量 E (MPa)	泊松比 μ	密度 (kg/m^3)
EH-1	水泥混凝土	26 ~ 32	31 000	0.15	2 400
	水泥稳定碎石	20 ~ 25	1 500	0.20	2 100
	级配碎石	15 ~ 25	300	0.25	1 900
	路基	—	30	0.30	1 800
EH-2	水泥混凝土	26 ~ 30	31 000	0.15	2 400
	贫混凝土	15 ~ 20	15 000	0.15	2 300
	级配碎石	20 ~ 25	300	0.25	1 900
	路基	—	30	0.30	1 800

重交通水泥混凝土路面典型结构组合

表 1-1-4

结构编号	材料类型	层厚 h (cm)	模量 E (MPa)	泊松比 μ	密度 (kg/m^3)
H-1	水泥混凝土	24 ~ 28	31 000	0.15	2 400
	水泥稳定碎石	18 ~ 20	1 500	0.20	2 100
	级配碎石/石灰土	20 ~ 25	200	0.25	1 900
	路基	—	30	0.30	1 800
H-2	水泥混凝土	24 ~ 26	31 000	0.15	2 400
	贫混凝土	15 ~ 20	15 000	0.15	2 300
	级配碎石/石灰土	15 ~ 20	200	0.25	1 900
	路基	—	30	0.30	1 800

中等交通水泥混凝土路面典型结构组合

表 1-1-5

结构编号	材料类型	层厚 h (cm)	模量 E (MPa)	泊松比 μ	密度 (kg/m^3)
M-1	水泥混凝土	22 ~ 26	31 000	0.15	2 400
	水泥稳定碎石	18 ~ 20	1 500	0.20	2 100
	级配碎石	15 ~ 20	200	0.25	1 900
	路基	—	30	0.30	1 800
M-2	水泥混凝土	22 ~ 26	31 000	0.15	2 400
	级配碎石	18 ~ 20	300	0.25	1 900
	天然砂砾/石灰土	20 ~ 25	200	0.25	1 900
	路基	—	30	0.30	1 800

轻交通水泥混凝土路面典型结构组合

表 1-1-6

结构编号	材料类型	层厚 h (cm)	模量 E (MPa)	泊松比 μ	密度 (kg/m^3)
L-1	水泥混凝土	20 ~ 24	31 000	0.15	2 400
	水泥稳定碎石	15 ~ 20	1 500	0.20	2 100
	未筛分碎石/天然砂砾	15 ~ 20	200	0.25	1 900
	路基	—	30	0.30	1 800
L-2	水泥混凝土	20 ~ 24	31 000	0.15	2 400
	级配碎石	18 ~ 20	300	0.25	1 900
	天然砂粒/石灰土	15 ~ 20	200	0.25	1 900
	路基	—	30	0.30	1 800

注:上述表格中,结构厚度的上下限分别对应交通等级的上下限。

1.1.3 土组模型参数范围

根据相关文献和 LTPP 研究中的相关试验数据,由土组物理性质指标来确定其回弹模量预估模型参数的取值范围,所得结果如表 1-1-7 所示。需要指出的是,对于含少量细料的粗粒土,表 1-1-7 中参数下限对应于级配下限(偏粗),参数上限对应级配上限(偏细);而对于细粒土和含较多细料的粗粒土,其参数下限对应塑性下限(塑性指数 I_p 小),参数上限对应塑性上限。

典型土组回弹模量预估模型参数 k_i 范围

表 1-1-7

材料分类		参数下限			参数上限		
		k_1	k_2	k_3	k_1	k_2	k_3
砾类土	级配良好/不良砾	1.621 0	0.413 3	-0.783 5	1.509 9	0.374 7	-0.797 3
	含细粒土砾	1.578 7	0.422 0	-0.955 1	1.392 7	0.377 4	-0.915 1
	粉土质砾	1.415 7	0.334 4	-0.510 4	1.389 3	0.317 6	-1.204 5
	黏土质砾	1.377 0	0.283 3	-0.706 5	1.295 9	0.264 4	-1.298 8
砂类土	级配良好/不良砂	1.545 8	0.572 7	-0.839 3	1.414 2	0.499 8	-0.817 7
	含细粒土砂	1.465 9	0.507 0	-0.973 4	1.305 8	0.439 5	-0.774 4
	粉土质砂	1.183 5	0.835 8	-0.963 0	1.294 7	0.745 4	-0.839 4
	黏土质砂	0.989 0	0.592 8	-1.160 1	1.107 0	0.435 0	-0.784 0
细粒土	高液限粉土砾	0.921 0	0.772 9	-1.445 0	1.112 7	0.644 1	-1.591 4
	含砂/砾低液限粉土	0.992 7	0.729 1	-1.238 4	1.297 7	0.854 5	-1.445 0
	低液限黏土粒	0.769 0	0.517 5	-1.471 0	1.0515	0.527 3	-1.792 1
	含砂/砾低液限黏土	0.851 0	0.390 6	-1.316 0	1.105 0	0.445 7	-1.293 0

注:表中参数 k_i 对应最佳含水率状态。

1.1.4 设计参考值

根据上述方法,对典型路面结构和土组模型参数进行组合,根据建立的路基当量回弹模量计算方法,确定不同组合条件下的当量回弹模量。

由计算结果可以看出,交通等级和土组类型对路基当量回弹模量取值影响较为显著,而路面结构形式不同造成的当量回弹模量差异较小。因此,可以考虑将上述不同路面结构所获的结果进行归并,形成如表 1-1-8 所示的路基当量回弹模量参考取值表。

路基当量回弹模量参考取值(MPa)

表 1-1-8

土组类型	特重交通		重交通		中等交通		轻交通	
	取值范围	推荐值	取值范围	推荐值	取值范围	推荐值	取值范围	推荐值
级配良好/不良砾	58.5 ~ 74.0	65	64.0 ~ 76.5	70	70.0 ~ 82.0	76	73.0 ~ 85.0	80
含细粒土砾	55.5 ~ 71.5	62	60.5 ~ 73.5	67	66.0 ~ 78.5	72	68.5 ~ 81.5	76
粉土质砾	56.0 ~ 71.5	63	61.0 ~ 73.5	67	66.5 ~ 78.5	72	69.0 ~ 82.0	76
黏土质砾	54.5 ~ 71.0	61	59.5 ~ 73.0	66	64.5 ~ 78.0	71	67.0 ~ 81.5	75
级配良好/不良砂	54.0 ~ 65.0	59	58.0 ~ 67.5	62	63.0 ~ 71.5	67	65.0 ~ 73.0	70
含细粒土砂	53.0 ~ 64.5	58	57.0 ~ 66.5	61	61.5 ~ 70.5	66	63.5 ~ 72.0	69
粉土质砂	43.5 ~ 52.5	48	45.0 ~ 53.5	49	47.0 ~ 56.0	51	47.5 ~ 56.0	52
黏土质砂	43.0 ~ 56.0	48	44.5 ~ 57.0	50	46.0 ~ 60.0	53	47.0 ~ 61.0	54
高液限粉土砾	38.5 ~ 47.5	43	39.0 ~ 48.5	44	40.0 ~ 50.0	45	40.0 ~ 50.5	45
含砂/砾低液限粉土	41.0 ~ 48.0	44	42.0 ~ 48.5	45	42.5 ~ 50.5	47	43.5 ~ 50.0	47
低液限黏土粒	38.0 ~ 48.0	43	39.0 ~ 49.0	44	40.0 ~ 50.5	45	40.0 ~ 51.0	46
含砂/砾低液限黏土	42.0 ~ 53.5	47	44.0 ~ 54.5	49	45.5 ~ 57.5	51	46.5 ~ 58.5	53

注:表中取值范围及推荐值是材料在最佳含水率条件下的计算结果。

从表 1-1-8 中可以看到,对于同一土质类型,随着交通荷载等级的降低,其路基当量回弹模量的设计参考值略有增大。

进一步分析还可以发现,随着土粒径的不断增大,不同交通等级下路基当量回弹模量之间的差异逐渐扩大。这主要是由于不同土组回弹模量影响因素的差异而造成的。对于粗粒土,其回弹模量主要取决于体应力的大小;而细粒土则不同,其回弹模量同时受偏应力和体应力的影响,与体应力呈正相关关系,而与偏应力则呈负相关关系。随着交通等级的逐步提高,路基分担的荷载应力不断下降,而偏应力则略有上升。因此,粗粒土当量回弹模量呈下降趋势,而细粒土则由于体应力与偏应力的共同影响,其当量回弹模量下降幅度很小。

1.2 路基永久变形及其预估

由于车辆荷载等概率分布假设与实际路面所受车辆荷载作用频率存在差异,进而导致计算结果难以客观地评价既有路基永久变形状况,甚至与基本的工程经验不符,因此必须采取适当的方法将车辆荷载作用进行校正。基于此,还以车轮荷载横向分布频率曲线为依托,考虑道路交通渠化的影响,针对典型水泥路面结构进行路基永久变形的计算分析。计算结果为客观地评价水泥路面路基永久变形状况提供了依据,进而为确定水泥路面路基永久变形的空间分布形式提供了前提保障。

1.2.1 路基最大永久变形

(1) 车辆荷载等概率分布于面层板

车辆荷载采用轴载为单轴双轮 100kN,轴载作用次数 9.885×10^6 次,荷载作用位置取板角、板中和板边中部。根据路基永久变形的预估方法,以黏土路基的永久变形计算为例,当面层板角处受荷时,板角处路基总的永久变形量为 1.47mm。板下各点路基的永久变形预估值绘于图 1-1-2 ~ 图 1-1-4。

计算结果表明:路基永久变形在空间分布的不均匀,造成了路基顶面的不平整。如果定义任两点永久变形量的差值与该两点间距离的比值为比降,则可以从图 1-1-2 ~ 图 1-1-4 中明显看出,板角受荷时比降最大,而板中受荷时比降很小,即板中受荷时路基永久变形在空间分布较为均匀。因此,无论从变形量的绝对值还是永久变形引起的比降来讲,板角受荷造成的路基永久变形对水泥路面的受力状况是最为不利的。

(2) 车辆荷载按照横向分布频率作用于面层板

根据路基永久变形改进预估方法对典型路面结构计算路基永久变形值。车辆荷载采用轴载为单轴双轮 100kN,轴载作用次数 1.0×10^6 次,荷载作用位置沿板横向分布。以黏土路基的永久变形计算为例,当荷载根据轮载横向分布系数分布在面层板上时,由此得到板角处路基总的永久变形量为 8.28mm。当标准轴载作用于板上其他位置时,板下各点路基的永久变形预估值表明:路基永久变形的空间分布不均匀,因而造成了路基顶面的不平整。无论荷载沿板中还是沿板边进行横向分布,各关键点的永久变形值都与荷载作用的次数成正比例关系,因此,叠加后各关键点总的永久变形值也符合这一规律。即路基永久变形量的最大值发生在受荷载作用次数最多的部位处。

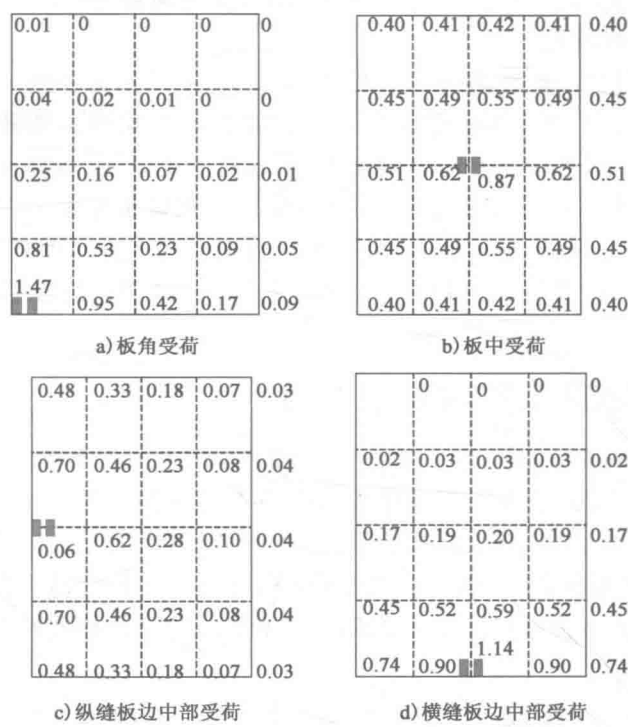


图 1-1-2 路基永久变形量(尺寸单位:mm)(回弹模量:30MPa)

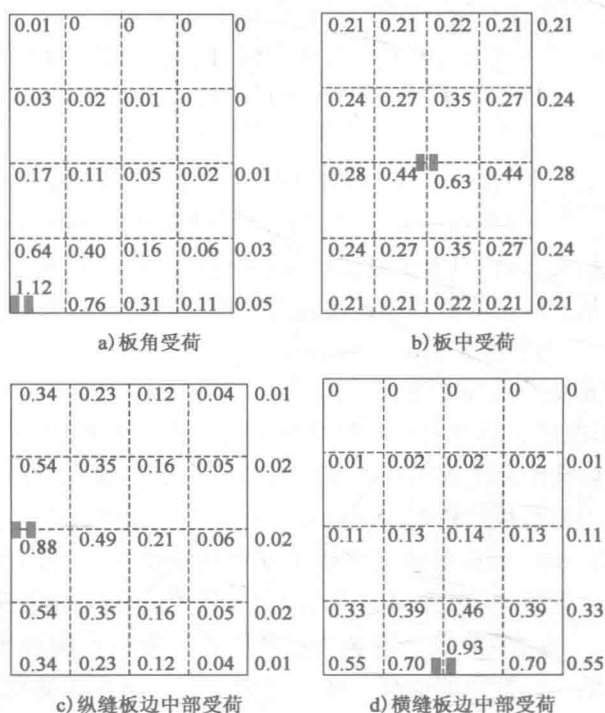


图 1-1-3 路基永久变形量(尺寸单位:mm)(回弹模量:40MPa)

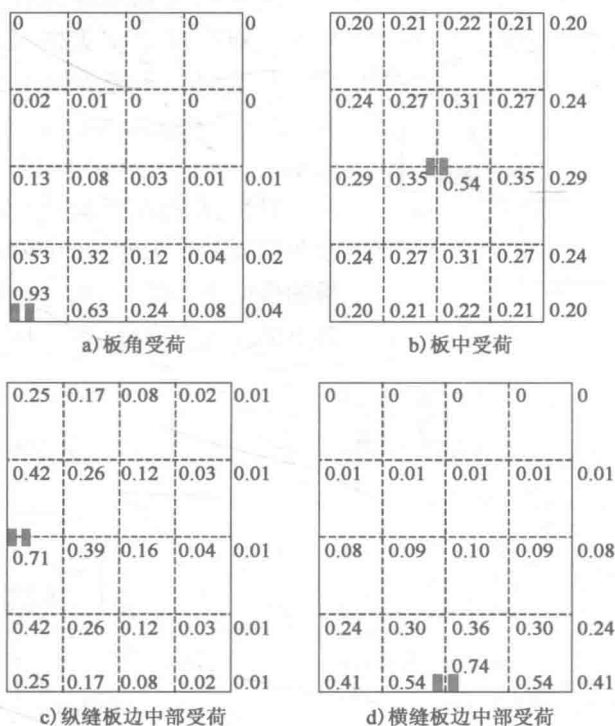


图 1-1-4 路基永久变形量(尺寸单位:mm)(回弹模量:50MPa)

1.2.2 水泥路面路基永久变形的空间分布

针对典型水泥路面结构路基永久变形的计算结果,分析该工况条件下路基永久变形的空间分布形式,并以此为基础说明水泥路面路基永久变形的空间分布特征。为进一步研究分析路基永久变形对路面结构的影响提供依据。

(1) 等概率分布

假设轮载在关键荷位出现的概率相同(4个板角,2个纵缝板边中部,2个横缝板边中部和1个板中荷位),取各种荷位重复加载后路基永久变形的最大值作为路基可能出现永久变形空间分布的最不利情况,如图 1-1-5 所示。

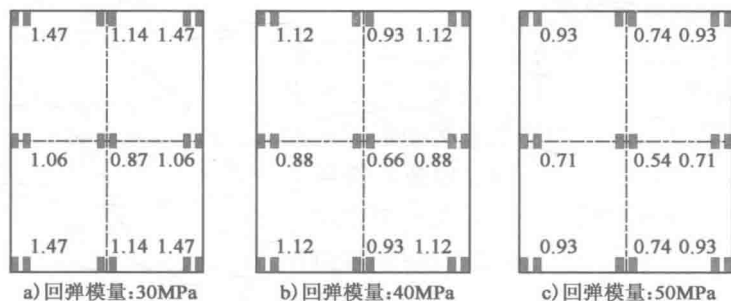


图 1-1-5 路基永久变形空间分布的最不利情况(尺寸单位:mm)

图 1-1-5 中为仅考虑了上述有限个荷位的计算结果,假设板下路基各点的永久变形均

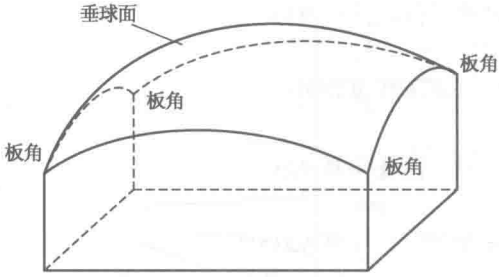


图 1-1-6 水泥板下路基永久变形形态

按轮载作用在相对应的荷位情况计算,且轮载作用在板中各个位置的概率相同,则路基永久变形的空间分布应为向上的“垂球面”,任意两点之间的连线均为向上凸的弧线,如图 1-1-6 所示。

显然,在行车荷载均匀分布的前提下,路基的永久变形关于水泥板的两条中心线左右对称。取板的横向中心线,以 0.5m 为间隔,计算路基对应各点的永久变形量,如图 1-1-7 所示。

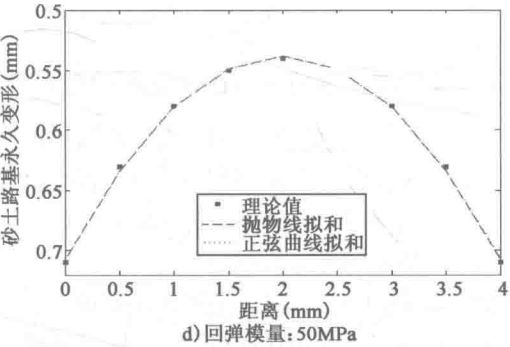
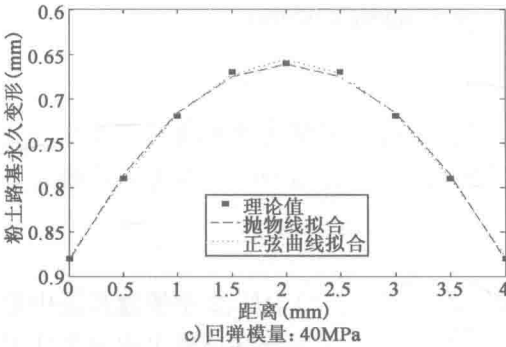
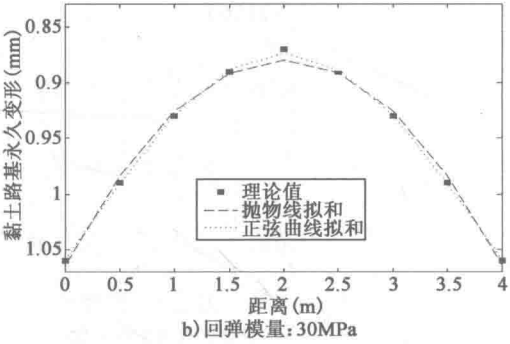
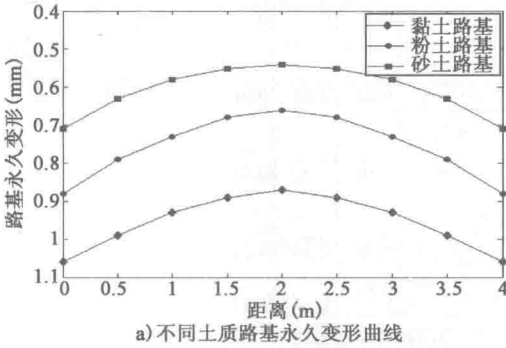


图 1-1-7 路基永久变形沿水泥板的横向分布

(2) 考虑轮载横向分布频率

一方面,路基永久变形量的最大值发生在受荷载作用次数最多的部位处;另一方面,从路基永久变形引起的比降来讲,板边受荷造成的路基永久变形对水泥路面的受力状况是最为不利的。因此,取荷位沿板边横向分布时的路基永久变形值来分析永久变形空间分布。根据路基永久变形预估方法,将荷载分别作用在各个条带上时的路基永久变形值进行叠加,可得到荷载沿板边横向分布时的路基的永久变形值,如图 1-1-8 所示。从图 1-1-8 可以看出,路基永久变形沿水泥板横

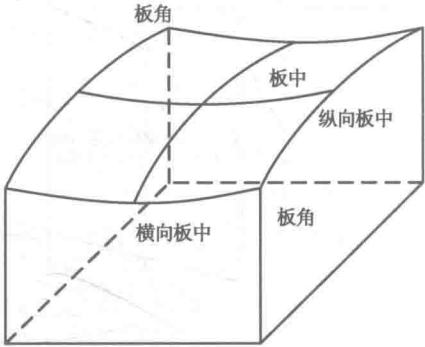


图 1-1-8 水泥板下路基永久变形形态