

农村公路沥青路面病害分析及典型结构推荐

张敏江,高 双

(沈阳建筑大学交通工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要 目的 分析辽宁省农村公路沥青路面病害特征,研究农村公路沥青路面结构设计指标,提出典型路面结构. 方法 针对农村公路沥青混凝土路面出现的各种病害进行调查分析,总结出对应于不同类型、不同程度病害产生的原因. 结合半刚性基层沥青混凝土路面的力学特性和目前提出的多指标控制沥青路面结构设计思想,提出适应于农村公路沥青路面的结构设计指标. 应用所提出的指标进行分析,结合经济因素,提出不同交通等级下的典型路面结构. 结果 当基层模量衰变至小于 300 MPa,基层材料处于松散状态时,面层层底产生拉应力,路表弯沉增加幅度显著. 当提出的典型路面结构基层模量为 900 MPa 时,通过加大基层厚度很难实现特重交通的承载能力要求. 结论 辽宁地区农村公路沥青路面设计指标采用设计弯沉值和基层层底拉应力. 考虑冬季低温的影响,验算沥青面层低温抗裂这一指标.

关键词 农村公路;病害;设计指标;典型路面结构

中图分类号 TU997;U416

文献标志码 A

The Disease Analysis and Typical Structure Recommendation of Rural Highway Asphalt Pavement

ZHANG Minjiang, GAO Shuang

(School of Transportation Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: The disease characteristics and the design index of rural road asphalt pavement in Liaoning Province were studied to put forward the typical pavement structure. Based on the investigation and analysis of various diseases of asphalt concrete pavement in rural roads, the causes of the diseases with different types and different degrees were summarized. Based on the mechanical characteristics of asphalt pavement with semi rigid base and the design idea of multi index control asphalt pavement, the structural design indexes of asphalt pavement were put forward. Based on the analysis of the proposed indexes and the economic factors, the typical pavement structures are recommended under different traffic levels. When the base modulus decay to less than 300 MPa and base material was in a loose state, the tensile stress was generated in the bottom of surface layer, deflection increased significantly. When the base modulus of typical pavement structure proposed was

收稿日期:2017-04-13

基金项目:国家自然科学基金项目(40673045)

作者简介:张敏江(1960—),男,教授,博士,主要从事路面结构方面研究.

900 MPa, severe traffic capacity requirements is difficult to be achieved by increasing the thickness of base. The design indexes of the rural road asphalt pavement in Liaoning area include the design deflection value and the bottom layer tensile stress. Considering the influence of low temperature in winter, the index of low temperature crack resistance of asphalt surface is checked.

Key words: rural road; disease; design index; typical pavement structure

农村公路通常为三、四级,等级较低,公路路面结构层厚度较薄,使得农村公路路面过早出现各类病害^[1-6].在《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006)中将路表弯沉和结构层层底拉应力作为设计指标,该指标控制了路面结构整体刚度与各结构层疲劳强度.随着交通量的增大,重载车辆增多,给路面结构的各项性能带来严峻考验,新建成的道路往往在通车几年即出现严重破坏.因此,仅仅依靠路表弯沉和结构层层底拉应力的设计指标并不能全面控制路面结构,所以我国在《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)中提出了公路沥青路面结构多指标设计的思想.针对辽宁地区的地理气候因素与交通量影响,辽宁农村公路病害以各类裂缝、结构性车辙、沉陷为主.当农村公路出现以上病害时,往往基层已经出现严重破坏,所以基层的质量对路面结构的整体使用性能有很大影响.因此,笔者对辽宁地区农村公路主要破坏现状进行分析,并探讨与控制各类病害产生相关的结构设计指标,针对不同交通等级推荐相应的典型路面结构.

1 农村公路沥青路面破损特征及分析

辽宁位于我国东北地区,为公路自然区划的Ⅱ区,属于东部湿润季冻区^[7].笔者对辽宁省境内的沈阳、鞍山、葫芦岛等几个市区的近300 km农村公路进行实地调研发现,农村公路沥青路面的主要病害按照类型和严重程度分为8类16项^[8](见表1).

通过对辽宁农村公路沥青路面不同病害的分析可知,龟裂、沉陷和结构性车辙主要由

于基层材料失效,路面结构整体刚度不足引起,与半刚性基层层底拉应力和路表弯沉值有关;纵向疲劳裂缝由于基层强度不足导致,与半刚性基层层底拉应力有关;低温裂缝是沥青面层低温抗裂性不足导致,与沥青面层低温抗裂性有关.其他几类病害所占比例较小或对路面结构的承载能力影响不大.

2 农村公路沥青路面结构受力特征分析及设计指标的确定

为确定沥青路面结构设计指标和典型结构,笔者运用弹性层状体系理论对路面结构进行力学响应计算,并将结果与路面实际状况进行比对,验证设计指标的合理性.

2.1 路面结构受力分析

笔者采用双轮组单轴轴载100 kN为设计轴载,当量圆半径10.65 cm,双圆中心距31.95 cm,轮胎接地压强0.70 MPa;路面结构层组成:3 cm 沥青混凝土面层+20 cm 水泥稳定砂砾基层+20 cm 天然砂砾垫层.取面层模量1 400 MPa、泊松比0.25,基层模量1 500 MPa、泊松比0.25,垫层模量180 MPa、泊松比0.35,土基模量30 MPa、泊松比0.4.

路面结构沥青面层与半刚性基层层底拉应力以及路表弯沉值随基层模量衰变的变化(见图1、图2).从图1、图2可知,随着基层模量衰变,路表弯沉值增大,基层层底拉应力逐渐减小,当基层模量大于300 MPa时,沥青层层底始终受压.同时,当基层模量小于300 MPa时,沥青层逐渐受拉,路表弯沉值显著增大.随着基层模量的衰变,半刚性基层逐渐丧失其板体性,基层材料逐渐松散,容许拉应力逐渐降低,直到基层材料完全松散,不承

表1 农村公路沥青路面病害类型和产生机理

Table 1 The types and mechanism of asphalt pavement diseases in rural road

病害类型		损坏程度		产生机理
编号	名称	编号	程度	
I	龟裂	1	轻	龟裂按照基层是否破坏分为两类;第一类是仅由面层老化引起的,路面结构无明显变形,程度较轻;第二类由于基层破坏引起的龟裂,路面结构变形明显,程度较重.钻取的芯样基层往往已粉碎,丧失板体性,基层材料不承受拉应力,路面结构整体刚度不足,基层层底拉应力和路表弯沉值与龟裂形成有关
		2	中	
		3	重	
II	块裂	4	轻	块裂的损坏程度较龟裂轻,块度较大,路表变形程度较小,严重块裂处的基层芯样碎裂、松散,基层承受拉应力水平降低
		5	重	
III	纵缝	6	轻	纵缝主要分为剪切型纵缝和疲劳型纵缝. 剪切型纵缝主要由于沥青面层抗剪能力不足,重载交通作用下产生剪切破坏. 疲劳型一方面是由于基层材料抗拉强度不足产生裂缝,并发展到路表;另一方面是由于基层材料强度不足,使得拉应力主要由面层承担,沥青面层被拉裂. 疲劳裂缝处的基层芯样沿纵缝断裂为两部分或者整体碎裂,基层层底拉应力影响疲劳裂缝的产生
		7	重	
IV	横缝	8	轻	横缝分为温度裂缝和反射裂缝. 反射裂缝是半刚性基层沥青路面中最为常见的,是由半刚性基层干缩、温缩引起的. 辽宁为季冻区,在冬季低温条件下,沥青面层的温度应力大于其自身的抗拉强度,产生低温裂缝;或由于长时间的温度循环,沥青面层产生温度疲劳开裂
		9	重	
V	坑槽	10	轻	坑槽主要由于雨水进入沥青面层,使得面层材料剥落引起的. 随着破损程度的增大,可一直发展到基层
		11	重	
VI	沉陷	12	轻	沉陷处路表竖向变形严重. 轻度沉陷仅由基层变形引起,此时基层材料碎裂、松散;重度沉陷一般由路基不良引起的,此时路面结构整体刚度严重不足,半刚性基层层底拉应力和路表弯沉值影响沉陷的产生
		13	重	
VII	结构性车辙	14	轻	结构性车辙是由于路面结构的承载能力不足,各结构层的永久变形引起的,半刚性基层层底拉应力和路表弯沉值与结构性车辙形成有关
		15	重	
VIII	推移	16	重	推移是由于沥青面层和基层的层间黏结不足导致的

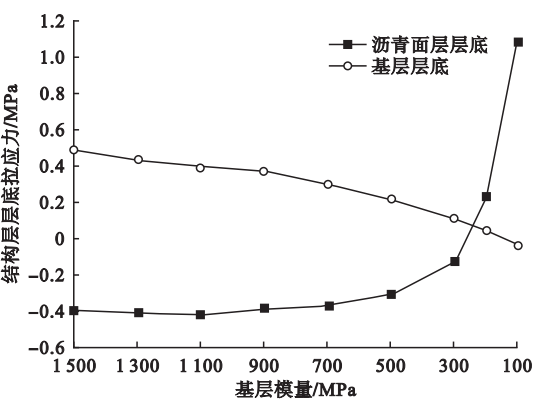


图1 结构层层底拉应力随基层模量衰变的变化

Fig. 1 Variation of the tensile stress at the bottom of the structure with the modulus of the base layer

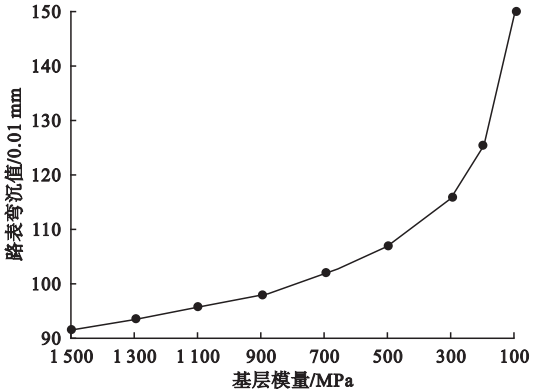


图2 路表弯沉值随基层模量衰变的变化

Fig. 2 Variation of pavement deflection value with the modulus of base layer

受拉应力. 基层模量的衰变不仅严重影响自身的承载力,也会使沥青面层过早产生拉应力,加速路面结构的整体破坏,所以要严格保证半刚性基层的模量.

2.2 设计指标的确定

(1)路表弯沉值. 从路面结构受力分析可得,当基层模量严重不足时,路表弯沉值显著增大. 现场调研发现,严重病害处基层材料大部分失去黏结性,材料松散,路面结构整体刚度严重不足,所以路表弯沉值仍作为农村公路沥青路面结构设计指标.

(2)基层层底拉应力(见图1). 当基层模量衰变至仍大于300 MPa时,沥青面层层底始终保持受压状态,即一般情况下,沥青路面农村公路在正常使用过程中,薄沥青面层层底不受拉,所以薄沥青面层农村公路设计指标暂不考虑沥青面层层底拉应力,只验算半刚性基层层底拉应力.

(3)低温开裂. 根据《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)中提出的验算沥青面层低温抗裂性的模型:

$$CI = 1.95 \times 10^{-3} S_l \lg b - 0.075(t + 0.07 h_a) \lg S_t + 0.15.$$

(1)

式中:CI为沥青面层低温开裂指数;t为路面低温设计温度,℃;S_t为路面低温设计温度加10℃试验温度条件下,表面层沥青弯曲梁流变试验加载180 s的蠕变劲度,MPa;h_a为沥青结合料类材料层厚度,mm;b为路基类型参数,砂 b=5、粉质黏土 b=3、黏土 b=2.

取辽宁地区路面低温设计温度 t 为-30℃,分别验算砂、粉质黏土、黏土路基,路面结构沥青面层为3 cm时,要满足三、四级公路低温开裂指数小于7,表面层沥青-20℃的弯曲流变梁试验加载180 s的蠕变劲度分别不大于742 MPa、633 MPa、548 MPa. 当采用普通石油沥青无法满足这一标准时,考虑采用改性沥青防止低温裂缝产生.

对于《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)中提出的验算沥青层永久变形、路基顶面竖向压应变的结构设计指标. 首先,由于农村公路沥青面层较薄,累积的沥青层永久变形较小,对整个路面结构影响不大,因此,可不考虑沥青层永久变形对薄沥青面层农村公路的影响;其次,考虑到路面建成后,路基顶面竖向压应变不易测得,且路表弯沉值已经将路基顶面竖向压应变包含在内,所以暂且使用路表弯沉值这一指标来控制整个结构.

对于辽宁地区农村公路沥青路面结构,采用路表弯沉与半刚性基层层底拉应力作为设计指标. 根据低温条件,验算沥青面层的抗裂性.

3 辽宁省农村公路沥青路面典型结构推荐

农村公路等级较低,交通量相对高等级公路较少,且小型车以及农用车辆所占比例较大,换算成标准轴载下的累积当量轴次较少,规范中交通等级划分不适用于辽宁农村公路,因此,笔者按照交通调查重新划分交通等级(见表2),表中AADT表示年平均日交通量. 将表2交通量换算为累积当量轴次N_e.(见表3).

表2 辽宁省农村公路交通等级表

Table 2 Traffic grade table of rural road in Liaoning province

交通等级	AADT /辆
轻交通	AADT <600
中等交通	600≤AADT<1 500
重交通	1 500≤AADT<3 000
特重交通	3 000≤AADT

为推荐相应于农村公路不同交通等级条件下的典型路面结构,笔者对路面结构应用Bisar3.0路面结构分析软件进行力学响应分

析^[9-12].为提高路面结构整体刚度,可采取增加基层模量与增加基层厚度的方法,考虑到农村公路建设资金有限,筑路材料与施工质量的限制,很难使基层材料达到更高强度,因此,笔者采用增加基层厚度的方法来进行典型路面结构层组合设计.

表3 辽宁省农村公路交通等级表

Table 3 Traffic grade table of rural road in Liaoning province

交通等级	N_e /次
轻交通	$N_e < 1.0 \times 10^5$
中等交通	$1.0 \times 10^5 \leq N_e < 2.5 \times 10^5$
重交通	$2.5 \times 10^5 \leq N_e < 5.0 \times 10^5$
特重交通	$5.0 \times 10^5 \leq N_e$

根据基层模量衰变的特征^[13-20],基层模量最初衰变速度很快,当剩余疲劳寿命为80%~85%时,基层模量仅为初始模量的60%.因此,以下拟定几种路面结构,保持沥青混凝土面层模量为1 400 MPa不变,对面层厚度为3 cm和3 cm+4 cm两种情况下,基层模量为初始模量的1 500 MPa与衰变为初始模量60%的900 MPa时分别进行分析(见表4,表5).

表4 面层厚度3 cm路表弯沉与基层层底拉应力随基层厚度变化

Table 4 The variation of the pavement deflection and the bottom layer tensile stress with the thickness of the base layer when surface layer is 3 cm

基层厚度/cm	弯沉/0.01 mm		基层层底拉应力/MPa	
	基层模量 =	基层模量 =	基层模量 =	基层模量 =
	1 500 MPa	900 MPa	1500MPa	900MPa
20	91.52	98.00	0.4858	0.3708
22	86.59	93.29	0.441 7	0.338 1
24	82.16	89.02	0.405 9	0.315 0
26	78.16	85.15	0.373 8	0.292 8
28	74.54	81.61	0.345 3	0.273 0
30	71.26	78.39	0.319 6	0.253 6
32	68.26	75.43	0.296 2	0.238 4
34	65.52	72.70	0.275 0	0.223 0

表5 面层厚度3 cm+4 cm路表弯沉与基层层底拉应力随基层厚度变化

Table 5 The variation of the pavement deflection and the bottom layer tensile stress with the thickness of the base layer when surface layer is 3 cm+4 cm

基层厚度/cm	弯沉/0.01 mm		基层层底拉应力/MPa	
	基层模量 =	基层模量 =	基层模量 =	基层模量 =
	1 500 MPa	900 MPa	1500MPa	900MPa
30	65.71	72.29	0.275 7	0.221 7
32	63.18	69.81	0.256 5	0.207 7
34	60.85	67.52	0.239 0	0.194 9
36	58.70	65.39	0.223 2	0.183 0
38	56.70	63.41	0.208 7	0.172 1
40	54.85	61.57	0.199 5	0.162 1
42	53.13	59.85	0.183 5	0.152 8
44	51.51	58.24	0.172 4	0.144 3

根据《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006),计算得出不同交通等级条件下,设计弯沉值与基层底容许拉应力的值(见表6).

表6 不同交通等级分界处对应的设计弯沉值与基层层底容许拉应力

Table 6 The design deflection value and the allowable tensile stress at the bottom layer for the boundary of different traffic grade

交通等级	设计弯沉/ 0.01 mm	基层层底容许 拉应力/MPa
轻交通与中等交通	72.00	0.483 2
中等交通与重交通	59.94	0.436 8
重交通与特重交通	52.18	0.404 8

从表4,表5中筛选出满足设计指标的路面结构作为典型路面结构(见表7).从表7中可知,对于特重交通,基层模量衰变的情况下该路面结构已无法满足要求,该结论与调研结果相一致.另外,对于农村公路大修工程,将基层铣刨作为土基,可将土基模量提高到100 MPa,再加铺20到30 cm的半刚性基层和3 cm面层即可满足要求.

表7 不同交通等级对应的典型路面结构

交通等级划分	典型结构推荐	
	不考虑基层模量衰变	考虑基层模量衰变
轻交通	3 cm 沥青混凝土面层	3 cm 沥青混凝土面层
	20 ~ 28 cm 水泥稳定砂砾基层	20 ~ 34 cm 水泥稳定砂砾基层
	20 cm 天然砂砾垫层	20 cm 天然砂砾垫层
中等交通	3 cm 沥青混凝土面层	3 + 4 cm 沥青混凝土面层
	30 ~ 34 cm 水泥稳定砂砾基层	32 ~ 40 cm 水泥稳定砂砾基层
	20 cm 天然砂砾垫层	20 cm 天然砂砾垫层
重交通	3 + 4 cm 沥青混凝土面层	3 + 4 cm 沥青混凝土面层
	36 ~ 42 cm 水泥稳定砂砾基层	> 42 cm 水泥稳定砂砾基层
	20 cm 天然砂砾垫层	20 cm 天然砂砾垫层
特重交通	3 + 4 cm 沥青混凝土面层	无法满足要求
	> 44 cm 水泥稳定砂砾基层	
	20 cm 天然砂砾垫层	

4 结 论

(1)由于农村公路在运营过程中,基层模量衰变较快,使得路面结构产生过大弯沉,严重影响路面结构整体刚度.当基层模量衰变至小于 300 MPa,基层材料处于松散状态时,面层层底产生拉应力,路表弯沉增加幅度显著.为防止重度病害产生,应严格控制基层模量.

(2)重新划分农村公路交通等级,通过对路面结构不同组合的承载能力计算,提出适用于不同交通等级的典型路面结构.由于当基层模量按照初始模量的 60% 的900 MPa 计算时,通过加大基层厚度很难实现特重交通的承载能力要求,所以,保证基层的模量对特重交通尤为重要.

(3)由于农村公路等级较低、建设资金有限,且病害种类与成因有其特殊性,且大多数重度病害由基层模量严重不足引起.同时由于沥青面层较薄,在基层未严重破坏时面层底部不产生拉应力.因此辽宁地区农村公路沥青路面设计指标采用设计弯沉值和基层层底拉应力.考虑冬季低温的影响,验算沥青

面层低温抗裂这一指标,当普通石油沥青无法满足时,可考虑采用改性沥青.

参考文献

[1] 张庆印. 基于遗传 - 神经网络的农村公路沥青路面使用性能评价方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.
(ZHANG Qingyin. Study on asphalt pavement performance evaluation method of rural highways based on GANN [D]. Xi'an: Chang'an University, 2013.)

[2] 李品. 农村公路路面使用性能评价及预防性养护研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013.
(LI Pin. Rural highway pavement performance evaluation and preventive maintenance research [D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2013.)

[3] CHOI K, KIM Y H, BAE J, LEE H W. Determining future maintenance costs of low-volume highway rehabilitation projects for incorporation into life-cycle cost analysis[J]. Journal of computing in civil engineering, 2015, 30 (4) : 04015055.

[4] 陈柯. 农村公路路面使用性能评价、预测与养护决策研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.
(CHEN Ke. Study on the evaluation prediction and the maintenance decisions of rural road pavement performance [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.)

[5] 张涛, 高彦芝, 杨晓艳. 重庆山区农村公路路

- 面结构技术研究[J]. 福建建材, 2010(2): 46-48.
- (ZHANG Tao, GAO Yanzhi, YANG Xiaoyan. Study on pavement structure of country side in Chongqing mountainous area[J]. Fujian building materials, 2010(2): 46-48.)
- [6] BOGUS S M, SONG J, WAGGERMAN R, LENKE L R. Rank correlation method for evaluating manual pavement distress data variability[J]. Journal of infrastructure systems, 2010, 16(1): 66-72.
- [7] 张敏江, 于玲. 路基路面工程[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2013.
- (ZHANG Minjiang, YU Ling. Subgrade and pavement engineering [M]. Beijing: China Building Material Press, 2013.)
- [8] 董是, 郝培文, 张敏江, 等. 面板数据马尔可夫预测沥青路面性能衰变方法[J]. 北京工业大学学报, 2016, 42(11): 1703-1712.
- (DONG Shi, HAO Peiwen, ZHANG Minjiang, et al. Method for asphalt pavement deterioration forecasting based on Panel-data Markov [J]. Journal of Beijing university of technology, 2016, 42(11): 1703-1712.)
- [9] 张敏江, 景娜. 辽宁地区软土分布区普通公路典型路面结构的研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2009, 25(1): 86-89.
- (ZHANG Minjiang, JING Na. The study on the typical pavement structure for the common grade highway in the soft soil distribution areas in Liaoning province[J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2009, 25(1): 86-89.
- [10] NIE Y H, ZHANG Q S. Mechanical analysis and asphalt layer subdivision of long life asphalt pavement (LLAP) structures[J]. Journal of highway and transportation research development, 2008, 3(2): 39-43.
- [11] NIE Y H, ZHANG Q S. Researches on bending index of full-depth asphalt pavement structure[J]. Journal of highway and transportation research development, 2007, 24(2): 5-12.
- [12] PING S J, JIANG L, SHEN A Q, LIU X G. Research on adaptability of semi-rigid material as base course for long-life asphalt pavement[J]. Journal of highway and transportation research and development (english edition), 2010, 4(2): 11-14.
- [13] LU P, TOLLIVER D. Pavement treatment short-term effectiveness in IRI change using long-term pavement program data[J]. Journal of transportation engineering, 2012, 138(11): 1297-1302.
- [14] 陆剑卿. 半刚性基层材料模量衰变规律[D]. 西安: 长安大学, 2007.
- (LU Jianqing. Deterioration laws of semi-rigid base modulus[D]. Xi'an: Chang'an University, 2007.)
- [15] 崔文博. 基于路面使用性能衰变规律的预防性养护时机研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.
- (CUI Wenbo. Timing of the preventive maintenance based on the pavement deterioration model[D]. Xi'an: Chang'an University, 2011.)
- [16] THOMAS O, SOBANJO J. Comparison of markov chain and semi-markov models for crack deterioration on flexible pavements[J]. Journal of infrastructure systems, 2013, 19(2): 186-195.
- [17] MARTIN T C. Experimental estimation of the relative deterioration of surface maintenance treatments[J]. Journal of transportation engineering, 2010, 136(1): 1-10.
- [18] 赵静. 沥青路面的使用性能评价和预测模型[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- (ZHAO Jing. Asphalt pavement performance evaluation and prediction models[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008.)
- [19] 王丽娟. 基于室内疲劳试验的沥青路面预防性养护时机研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2008.
- (WANG Lijuan. The research of preventive maintenance time based on the laboratory test fatigue failure of the asphalt pavement[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2008.)
- [20] 贾侃, 沙爱民, 陆剑卿. 半刚性基层材料的有效模量值[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2009, 29(1): 15-19.
- (JIA Kan, SHA Aimin, LU Jianqing. Effective modulus value of semi-rigid base course materials[J]. Journal of chang'an university (natural science edition), 2009, 29(1): 15-19.)