

严超群, 钱劲松, 杨戈. 路面结构对填砂路基不均匀沉降变形的力学响应[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 16-19. [Yan Cha-qun, Qian Jingsong, Yang Ge. Mechanical Response of Pavement Structure on Uneven Settlement Deformation of Sand-filled Sub-grade [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(2): 16-19.]

路面结构对填砂路基不均匀沉降变形的力学响应^{*}

严超群¹, 钱劲松², 杨戈²

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 同济大学, 上海 201804)

摘要: 针对填砂路基产生不均匀沉降对路面结构产生破坏的情况, 建立起能反映填砂路堤不均匀沉降对沥青路面结构影响的有限元分析模型, 通过计算分析不均匀沉降量对沥青路面结构的影响, 研究不同路面结构层次组合对填砂路堤不均匀沉降的适应性。根据研究成果提出, 实际工程应采取有效措施控制填砂路堤的不均匀沉降, 从而延长路面使用寿命; 在保证路表弯沉、道路承载能力的前提下, 可适当选用模量较低的基层材料; 随着底基层厚度的增加, 基层底面水平向附加拉应力减小, 故在实际施工中可适当增大级配碎石底基层的厚度。

关键词: 填砂路基; 不均匀沉降; 路面结构; 模量; 应力

中图分类号: U416.01; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2014)02-0016-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.02.004

建设在地势较低、水系密集的冲积平原地区的公路工程, 经常会遇到缺乏传统良好路基填料土源的问题。近年来在这些地方以江(河)砂作为路堤填料, 就地取材的工程实例渐多, 如石黄高速公路藁城段、京珠高速公路广珠段、海口市西环线等工程^[1-3]。砂路基不仅料源丰富、取料方便, 而且可以疏浚河道、保护生态、节约耕地, 减少道路修筑对当地资源和环境产生的破坏, 同时砂还具有水稳性好, 施工时受水和不利季节的影响小等特点^[4-6]。越来越多的研究人员开始研究砂路基的各种性能。这些工程实例和相关研究表明, 砂路基作为路基填料是可行的。但应采取各种各样的措施, 来削减砂路基过大的变形, 尤其是产生的不均匀沉陷问题。因为不均匀沉陷将使路面结构产生附加应力, 并且不均匀沉降越大, 结构附加应力越大, 当到达一定值时, 产生的结构附加应力与轮载引起的荷载应力叠加可能超过路面结构强度, 从而导致路面结构破坏, 这些破坏轻者需修复路面而带来经济损失, 重者产生交通事故造成人员伤亡, 这也是公路引起的一种灾害。研究和分析路面结构对填砂路基不均匀沉降变形的力学响应, 明确典型沥青路面结构对填砂路基不均匀沉降的承受能力, 不仅能获得适宜的填砂路基的路面结构层形式, 也可以做为选择填砂路基处治措施的技术依据, 减少灾害的发生。

1 分析计算模型

1.1 路面结构层模型

根据已有填砂路基工程实际情况和经验, 假定采用沥青混凝土路面结构层模型, 上面层采用 AK-13A 级配(使用 SBS 改性沥青 I-D), 中面层采用 AC-20I 级配(SBS 改性沥青 I-D), 下面层采用 AC-25I 级配(AH-70), 面层之间需设置粘层, 下面层与基层之间设置 0.5 cm 下封层和透层(乳化改性沥青), 面层石料与沥青的粘附性小于 5 级需掺入消石灰、水泥等抗剥落剂; 上下基层采用水稳碎石、砂砾, 其比例分别为 60%、40%, 上下基层 7 d 抗压强度不小于 4 MPa, 级配碎石底基层采用满铺路基的方式。表 1 中列出了典型路面结构和材料参数, 所列的材料参数主要参考了《公路设计手册——路面》^[7]。

表 1 典型路面结构和材料参数

参数	沥青混凝土面层	水稳碎石砂砾基层	级配碎石底基层
弹性模量 E_i /MPa	1 800	1 500	300
泊松比 μ_i	0.35	0.20	0.35
厚度 h_i /cm	18	41	20

1.2 计算分析假定

为计算简便, 将上述路面结构简化为沥青混

* 收稿日期: 2013-10-06 修回日期: 2013-12-10

基金项目: 国家高技术研究发展计划课题(2012AA1122505)

作者简介: 严超群(1980-), 女, 陕西咸阳人, 硕士, 讲师, 主要从事道路桥梁工程技术设计、施工、灾害等研究工作。

E-mail: 20596680@qq.com

凝土面层、水稳碎石与砂砾基层、级配碎石底基层共三层, 计算中采用如下假定: ①路面各结构层均为均质、连续、各向同性的线弹性材料, 力学特性的表征用弹性模量 E 和泊松比 μ ; ②路面各结构层在垂直方向均是完全连续的, 不均匀沉降随使用时间缓慢增长, 因而路面各结构层层间不会出现脱空; ③沥青面层与基层、基层与底基层、基层与底基层为连续接触条件, 考虑到底基层材料与路基之间变形的不同步, 假定其层间为光滑接触条件; ④只考虑不均匀沉降引起的附加应力, 因为均匀的路基沉降对路面结构的影响很小; ⑤按平面应变问题分析。

1.3 计算分析模型

分析已知地基沉降下的路面结构应力是主要问题, 采用平面有限元商业软件 SIGMA/W 进行路面结构的力学响应分析。计算分析模型如图 1 所示, 取 1/2 结构进行分析, 坐标原点在模型左下角, 即道路的中心线处。模型边界条件为底基层底面竖直方向直接施加不均匀沉降变形, 左侧为路堤中心对称线, 水平方向约束, 其它各边自由。在实际计算分析时, 因路面厚度相对于路基来说不大, 且路面的宽度远大于厚度, 故不考虑路堤边坡的斜坡面, 而将其视为一竖直自由边坡的坡面, 这样的处理将方便建模, 且对计算结果的影响也不大^[8]。

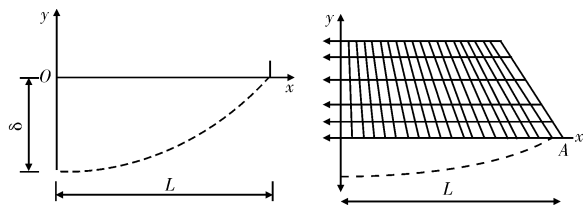


图1 计算分析模型

相关分析已初步表明, 在路基的横断面方向, 路基的不均匀沉降使路基中心沉降量较大, 两侧沉降量较小, 这样不妨将路基顶面的不均匀沉降变形简化为一条余弦曲线, 路基中心线处路基顶面的不均匀沉降最大, 路基边缘处路堤顶面的不均匀沉降为零, 表达式为^[9]:

$$y = -\delta \cos(\pi x/2L) \quad (1)$$

式中: x 为单元格距离道路中心线的距离; y 为不同位置的差异沉降量; L 为半幅路基宽度, 取 16.75 m, 坐标原点位于道路的中心线处。

2 主要计算成果及讨论

2.1 不均匀沉降量对路面结构的影响

经过计算分析, 路面三个结构层附加应力随不均匀沉降量而变化的关系, 绘制在图 2 中。由图 2 中关系可见, 随着不均匀沉降量的增大, 面层、

基层与底基层底面附加拉应力均近线性增大, 面层底面、基层底面附加拉应力受不均匀沉降的影响程度要大于底基层底面。考虑到面层沥青混凝土具有较好的柔性, 可允许较大的变形, 不致于造成路面结构的破坏, 而基层、底基层材料的抗拉强度较低, 所以填砂路堤的不均匀沉降限值应主要由(底)基层材料的强度控制。考虑到车辆荷载作用下, 荷载应力与不均匀沉降引起的附加应力相互叠加, 将可能超过半刚性(底)基层材料的抗拉强度, 因此, 受不均匀沉降作用, 填砂路堤沥青混凝土路面结构将可能首先在(底)基层底面开裂, 先使路面整体强度降低, 裂缝逐渐向面层扩展、传递, 最终形成贯穿整个路面厚度的裂缝, 雨水可由裂缝进入, 裂缝加剧发展, 从而导致路面损坏, 使用寿命缩减。故必须在填砂路堤路面设计中, 采取一定措施控制路堤的差异沉降以保证路面结构正常工作^[10]。

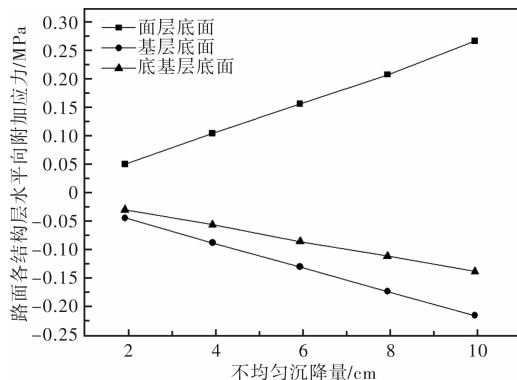


图2 路面结构层附加应力随不均匀沉降量变化

2.2 路面结构对不均匀沉降的适应性分析

图 2 中的分析结果也说明, 在表 1 所列的路面结构层次组合条件下, 基层底面附加拉应力受不均匀沉降的影响要大于底基层, 基层底产生的附加拉应力要大于底基层附加拉应力, 在不均匀沉降值较大的情况下表现得更明显, 故在体现填砂路堤不均匀沉降对沥青路面结构影响分析时, 应以基层底面附加拉应力为控制指标。为进一步说明, 下面将保持最大不均匀沉降量 $\delta = 6$ cm, 然后分别调整路面各结构层的模量、厚度, 以基层底面附加拉应力为关键力学指标, 来进一步观察路面结构层次组合对结构层附加应力的影响。

(1) 基层底面水平向附加应力随结构层模量变化情况。

图 3 所示为基层底面附加应力随面层模量而变化的关系曲线。可见, 随着面层模量的增加, 基层底面附加拉应力增大。

图 4 所示为基层底面附加应力随基层模量而变化的关系曲线。可见, 随着基层模量的增加, 基层底面水平向附加拉应力增大。

图 5 所示为基层底面附加应力随底基层模量而

变化的关系曲线。可见,随着底基层模量的增加,基层底面水平向附加拉应力增大。

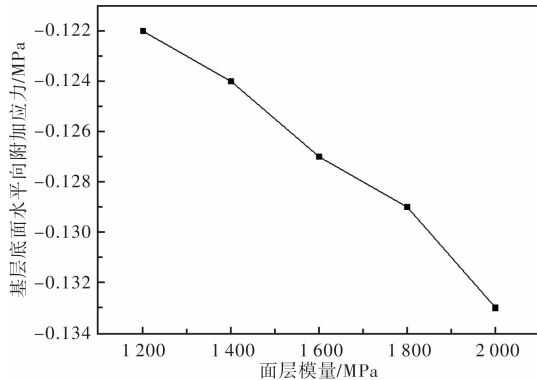


图3 基层底面附加应力随面层模量变化

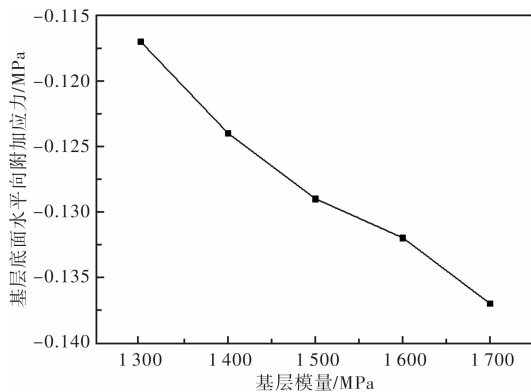


图4 基层底面附加应力随基层模量变化

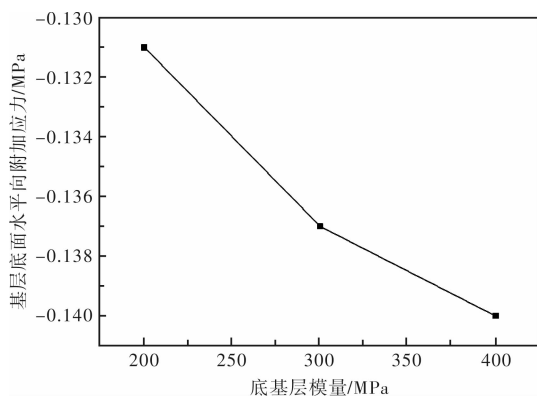


图5 基层底面附加应力随底基层模量变化

将三幅图形绘制在同一坐标轴内,以观察基层底面附加拉应力受何结构层模量的影响更大。具体见图6,可见,基层模量对基层底面附加拉应力的影响最大,其次为底基层模量,面层模量对基层底面附加拉应力的影响最小。

(2)基层底面水平向附加应力随结构层厚度变化的情况

图7所示为基层底面附加应力随面层厚度而变化的关系曲线。可见,随着面层厚度的增加,基层底面水平向附加拉应力近线性增大。

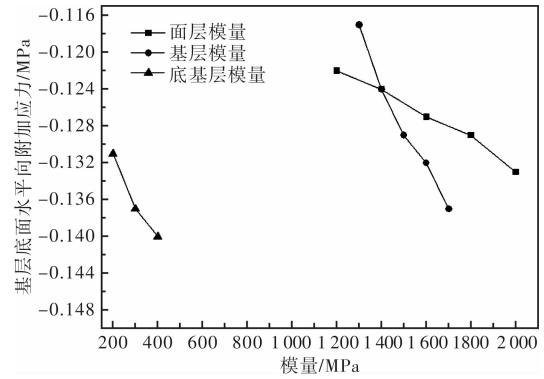


图6 基层底面水平向附加应力随结构层模量变化

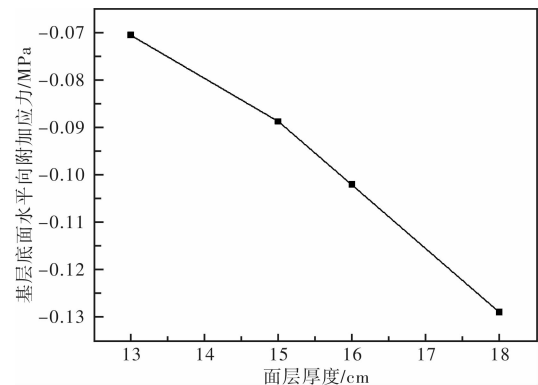


图7 基层底面附加应力随面层厚度变化

图8所示为基层底面附加应力随基层厚度而变化的关系曲线。可见,随着基层厚度的增加,基层底面水平向附加拉应力相应增大,在基层厚度小于40 cm前,增加趋势较明显,大于40 cm后,增加趋势变得相对平缓。

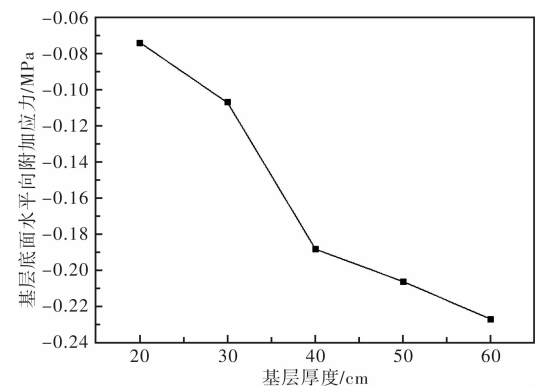


图8 基层底面附加应力随基层厚度变化

图9所示为基层底面附加应力随底基层厚度而变化的关系曲线。可见,随着底基层厚度的增加,基层底面水平向附加拉应力减小,在底基层厚度较小时,减小的趋势显得更为明显。

同样,将三幅图形绘制在同一坐标轴内,以观察基层底面附加拉应力受何结构层厚度的影响更大。具体见图10,底基层厚度对基层底面附加拉应力的影响最大,其次为面层厚度,基层厚度对基层底面附加拉应力的影响最小。

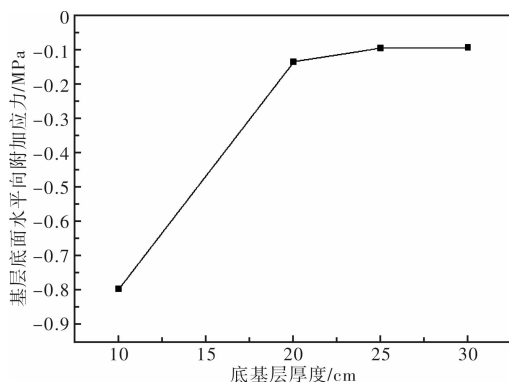


图9 基层底面附加应力随底基层厚度变化

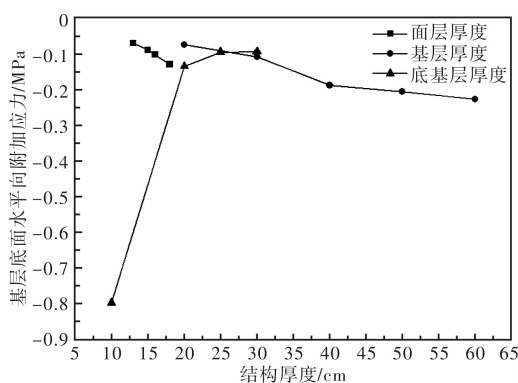


图10 基层底面水平向附加应力随结构层厚度变化

3 结论与建议

通过以上对有限元计算模型的分析, 可获得如下结论:

(1) 填砂路堤的不均匀沉降将使得路面各结构产生附加应力, 随着不均匀沉降量的增大, 面层、基层与底基层底面附加拉应力均呈线性增大, 面层底面、基层底面附加拉应力受影响程度要大于底基层底面附加拉应力。

(2) 应以基层底面附加拉应力作为体现填砂路堤不均匀沉降对沥青路面结构影响分析时的控制

指标。

(3) 基层模量对基层底面附加拉应力的影响最大, 其次为底基层模量, 面层模量对基层底面附加拉应力的影响最小。

(4) 底基层厚度对基层底面附加拉应力的影响最大, 其次为面层厚度, 基层厚度对基层底面附加拉应力的影响最小。

基于以上分析, 建议实际工程应采取有效措施控制填砂路堤的不均匀沉降, 以削减因路堤不均匀沉降而使路面结构产生附加不利力学响应, 从而延长路面使用寿命, 如在砂路基顶面设置顶封层的做法。在保证路面承载能力的前提下, 可适当选用模量较低的基层材料, 即采用柔性基层。因路面各结构层在材料给定的情况下, 其模量一般变化不大, 而随着底基层厚度的增加, 基层底面水平向附加拉应力减小, 故在实际施工中可适当增大底基层的厚度。为了减少公路的病害, 要根据存在问题做相应调整。

参考文献:

- [1] 张大伟. 长江口细砂在高等级道路工程中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2002, 18(4): 33-37.
- [2] 李广森, 裴国辉, 李莉. 河滩料在路基填筑工程中的应用[J]. 中国港湾建设, 2001, 20(5): 54-57.
- [3] 王大群, 吴豪, 王燕, 等. 高速公路填砂路基的设计与应用[J]. 交通科技, 2011, 26(1): 54-57.
- [4] 砂土填筑高速公路路基新技术[J]. 交通标准化, 2008, 31(Sup 1): 223-225.
- [5] 黄琴龙, 凌建明, 钱劲松. 新老路基工后差异变形对路面结构的影响[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2005, 49(6): 4-7.
- [6] 蒋鑫, 邱延峻. 半填半挖式路基差异沉降对沥青路面结构影响分析[J]. 水文地质工程地质, 2006, 49(4): 16-19.
- [7] 姚祖康. 公路设计手册——路面[M]. 3版. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [8] 黄仰贤. 路面分析与设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [9] 中华人民共和国交通部. JTGD30-2004 公路路基设计规范[S]. 北京: 中华人民共和国交通部, 2004.
- [10] 范云, 汪英珍. 细砂填料改良技术的试验研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(6): 965-968.

Mechanical Response of Pavement Structure on Uneven Settlement Deformation of Sand-filled Subgrade

Yan Chaoqun¹, Qian Jingsong² and Yang Ge²

(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, China;

2. Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: According to the destruction of uneven settlement of sand-filled subgrade to pavement structure, a finite element analysis model is set up, which can reflect the influence of uneven settlement of sand-filled subgrade on asphalt pavement structure. Through calculation and analysis on the influence of uneven settlement on asphalt pavement structure, adaptabilities of different pavement structure combinations to uneven settlement of sand-filled subgrade are studied. According to the research results, the actual engineering should take effective measures to control the uneven settlement of sand-filled subgrade to prolong the service life of the pavement. In the guarantee of the road surface deflection and road carrying capacity, a lower modulus base material could be chosen. Along with the increase of base thickness, base layer of additional horizontal tensile stress decreases, the thickness of graded broken stone base can thus be increased in the actual construction.

Key words: sand-filling subgrade; uneven settlement; pavement structure; modulus; stress