

路基不均匀沉降对沥青路面 Top-Down 开裂影响分析

张茗

(海南路桥工程有限公司, 海南 三亚 572000)

摘要: 为研究路基不均匀沉降对沥青路面 Top-Down 开裂的影响规律, 通过有限元软件建立路基不均匀沉降作用下半刚性基层沥青路面结构三维仿真模型, 结合工程实际简化路基不均匀沉降效果并标定有限元模型的参数值, 分析沉降对 Top-Down 开裂的影响和裂纹位置对 Top-Down 裂纹扩展变化的影响。结果表明, 沉降对 Top-Down 裂纹扩展的影响显著, 沉降越大, 裂纹扩展速率越快且扩展终值越大; 裂纹位置左移、右移及平移距离不同, 对 Top-Down 裂纹的影响也不同, 整体来讲裂纹位于非沉降区时对 Top-Down 裂纹扩展的影响更显著。

关键词: 公路; 路基; 沥青路面; 不均匀沉降; Top-Down 裂缝; 有限元分析

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)01-0070-04

基于“强基薄面”的设计理念, 目前中国二级以上公路大多采用半刚性基层沥青路面。由路基不均匀沉降导致的沥青路面 Top-Down 裂缝(TDC)是导致沥青路面结构破坏的主要原因之一。大量研究表明, TDC 产生初期, 对路面结构承载力的影响很小, 但随着路基不均匀沉降, TDC 裂纹向路基内部扩展, 对半刚性基层沥青路面的结构承载力和结构整体性产生破坏, 严重影响路面的使用性能和寿命。因此, 对路基不均匀沉降导致的沥青路面 Top-Down 开裂行为进行研究, 对提高半刚性基层沥青路面的整体承载力和延长路面使用寿命意义重大。

近年来, 将有限元软件运用于半刚性基层沥青路面开裂行为研究已日趋成熟, 借助有限元软件对半刚性基层沥青路面开裂机理及影响因素进行了大量研究。如 Zhao Y. 等基于多层弹性计算机代码 APRA 对沥青路面的应力状态进行分析, 认为行车荷载与路面接触时产生的横向拉应力是导致 TDC 裂纹的原因之一; Miao Y. 等为避免有限元中网格划分对计算结果的影响, 采用多域混合边界点法和断裂理论分析了水平应力对 TDC 裂纹的影响。但对路基不均匀沉降导致的沥青路面 Top-Down 开裂成因和影响因素尚缺乏充分研究。为此, 该文借助有限元软件, 分析路基沉降和裂纹位置等因素对沥青路面 TDC 开裂的影响。

1 工程概况

依托某二级公路实体工程, 对有限元模型参数进行标定。该公路的路面结构组成为 4 cm AC-13

上面层、6 cm AC-20 下面层、20 cm 5.5%水泥稳定碎石基层、20 cm 4.0%水泥稳定碎石底基层、3 m 压实土基(见图 1)。

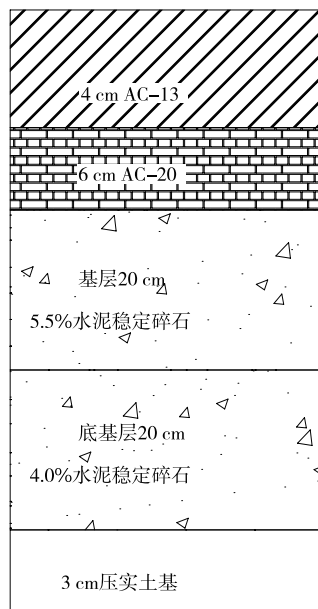


图 1 路面结构示意图

2 有限元建模

2.1 模型基本假定

(1) 考虑到面层材料的黏弹特性, 选择广义 Maxwell 本构模型表征本构关系, 基层、底基层及土基材料特性则为线弹性。

(2) 考虑到路面为多层弹性体系, 设定有限元模型层间位移完全连续。

(3) 模型四周为法向约束、底部为完全约束。

(4) 考虑到路面材料的自重,在 Y 方向为模型添加重力加速度。

(5) 考虑到面层的吸热特性,以 50 ℃ 条件下沥青混合料的工程参数作为模型计算参数。

2.2 模型建立

在有限元软件中设定沥青路面模型尺寸为 $X \times Y \times Z = 6\text{ m} \times 3.5\text{ m} \times 4\text{ m}$ 。为模拟 TDC 裂纹效果,在模型中设置一条纵向表面裂纹,裂纹初始深度 $h_0 = 1\text{ cm}$ 。在有限元计算分析过程中,荷载选取 BZZ-100 单轴双轮标准轴载,垂直压力设定为 0.8 MPa,荷载布设位置见图 2。考虑到路基不均匀沉降的长期性和复杂性,为简化模型,突出主要因素的影响,将有限元模型中的土基分为左右两部分,保持两部分在 X 方向上完全连续,而在 Y 方向上单独对右侧土基施加沉降值,以此简化路基不均匀沉降的作用效果。有限元模型见图 3。

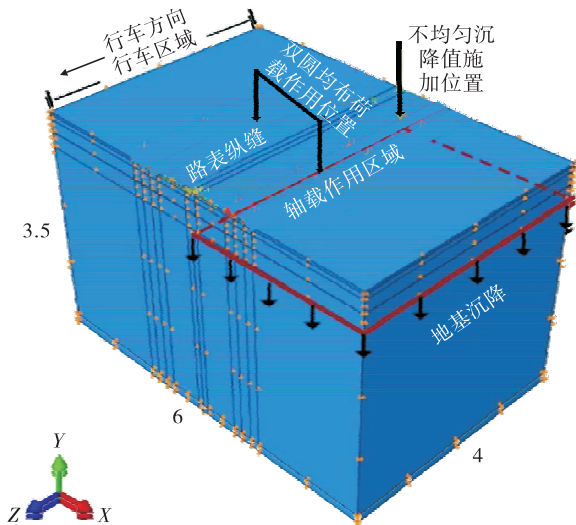


图 2 荷载布设方式示意图(单位:m)

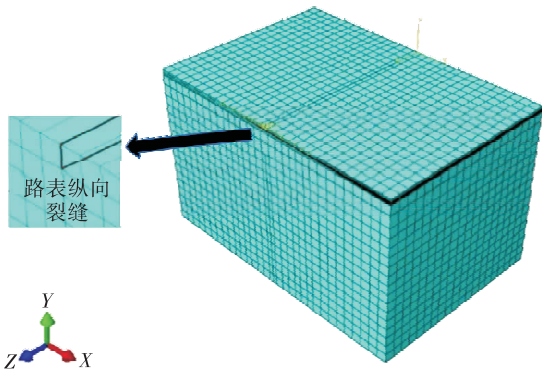


图 3 有限元模型

2.3 模型参数

参考文献[8],设定表 1 所示各层材料参数。

表 1 有限元模型参数

路面结构	结构层厚度/cm	泊松比	模量/MPa	阻尼矩阵 α	阻尼矩阵 β
上面层	4	0.35	1 000	0.30	0.05
下面层	6	0.35	800	0.30	0.05
基层	20	0.20	16 000	0.25	0.05
底基层	20	0.20	16 000	0.25	0.05
土基	300	0.35	100	0.30	0.05

3 计算结果与分析

3.1 沉降对 TDC 裂纹扩展的影响

将沉降值设定为 0、1、2、3、4、5 cm,通过有限元模型分析半刚性基层不均匀沉降对半刚性基层沥青路面 TDC 裂纹扩展的影响。为提高沉降值对 TDC 扩展影响的精度,绘制不同初始沉降值下扩裂时程曲线(见图 4)并提取 6 种不同情况下 TDC 裂纹最终扩展值(见图 5)。

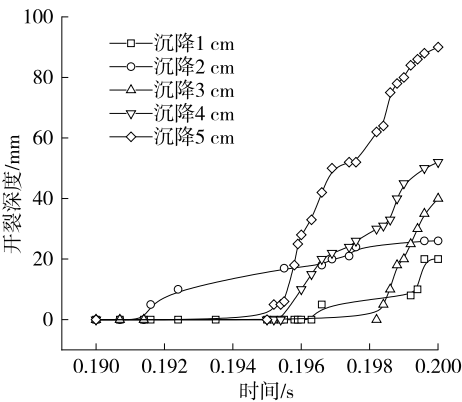


图 4 初始沉降值对 TDC 裂纹扩展的影响

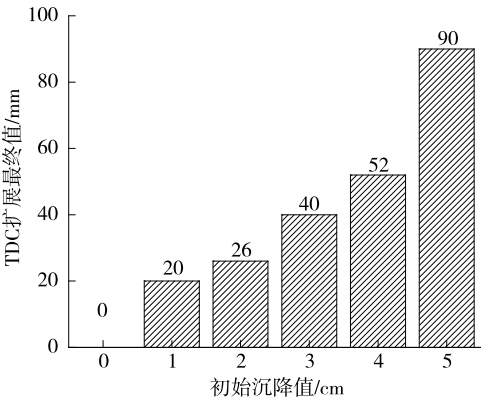


图 5 初始沉降值对 TDC 裂纹扩展终值的影响

由图 4 和图 5 可知:总的来看,初始沉降值越大,TDC 裂纹的最终扩展深度越大。初始沉降值为零时,TDC 没有继续扩展,最终沉降值为零;初始沉

降值为 1 cm 时, TDC 裂纹的最终扩展深度为 20 mm; 初始沉降值为 3 cm 时, TDC 裂纹的最终扩展深度为 40 mm, 是初始沉降值为 1 cm 时 TDC 裂纹扩展终值的 2 倍; 初始沉降值为 5 cm 时, TDC 最终扩展深度为 90 mm, 裂纹深度已达到面层深度的 90%, 几乎贯穿整个面层, 说明沉降值继续增大会加剧 TDC 裂纹的最终扩展深度, 并将裂缝扩展至基层, 增加路面病害产生的概率, 对路面不利。此外, 初始沉降值对裂纹扩展的影响程度随时间的延长先增大后减小, 表现为图 4 中每条曲线的斜率先增大后减小。每条曲线的起裂时刻与扩展速率之间不尽相同, 没有较强的规律性, 初始沉降值较小(1、2 cm)时, 2 cm 初始沉降值更早开始裂纹扩展, 两者的扩展速率之间没有明确的相关关系; 初始沉降值越大(3、4、5 cm), 裂纹起裂时刻越早, 且三者的扩展速率与初始沉降值成正相关关系。

综上, 路基不均匀沉降初始值越大, 裂纹应力集中积累的损伤应力越大, TDC 裂纹扩展速率和扩展程度增大。

3.2 裂纹位置对 TDC 裂纹扩展的影响

在分析沉降值对裂纹扩展的影响规律时, TDC 在模型中的位置固定于路中央, 未考虑裂纹位置对 TDC 裂缝扩展的影响。在实际使用过程中, 路面受行车荷载和路基不均匀沉降的共同作用, 路面结构的应力分布也呈动态变化。如图 6 所示, 将模型中的初始沉降值设为 5 cm, 分析裂纹向左侧非沉降区平移 1、2、3、4、5 cm 和向右侧沉降区平移 1、2、3、4、5 m 时路面结构受力。分析结果见图 7、图 8, 2 种偏移情况下 TDC 裂纹的最终深度见图 9。

由图 7、图 8 可知: 无论裂纹向左侧还是向右侧平移, TDC 裂纹扩展终值都随位移值的增大先增大后减小, 最终在平移 5 cm 后裂纹扩展值为零, 说明裂纹无论是左移或右移, 大于等于 5 cm 时 TDC 裂纹不发生扩展。

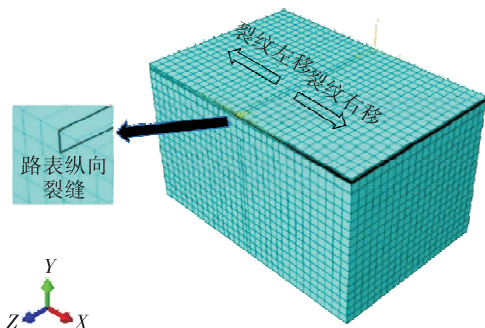


图 6 裂纹布置示意图

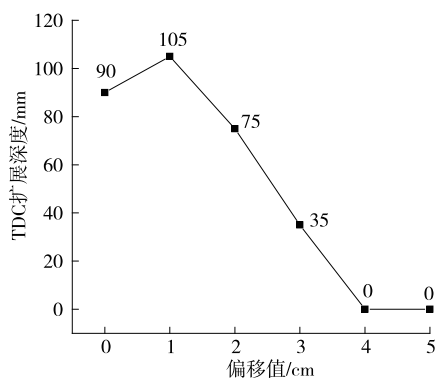


图 7 裂纹左移对 TDC 裂纹扩展的影响

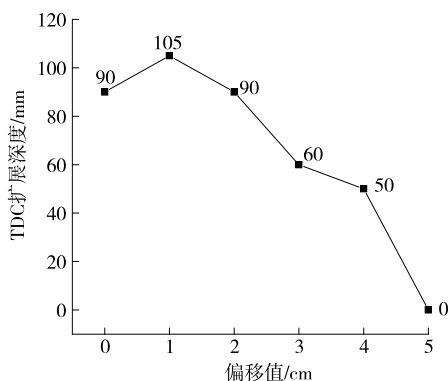


图 8 裂纹右移对 TDC 裂纹扩展的影响

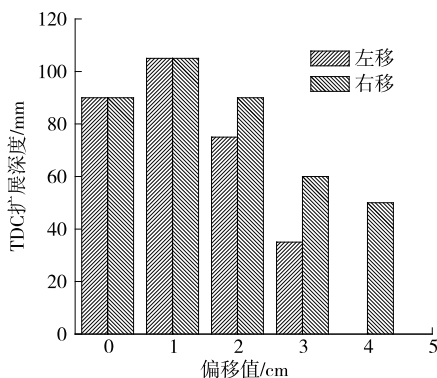


图 9 左移与右移情况下 TDC 裂纹终值对比

由图 9 可知: 裂纹左移比裂纹右移对裂纹扩展的影响大。偏移 1 cm 时, 两者裂纹扩展终值变化趋势相同; 但裂纹位置由 1 cm 偏移至 2 cm 时, 裂纹左移, 扩展终值减少 28.6%, 裂纹右移扩展终值减少 9.5%; 裂纹位置平移 4 cm 时, 裂纹左移扩展终值降为零, 裂纹右移裂纹扩展终值减少 47.6%。TDC 裂纹偏移位置大于 1 cm 时, 裂纹向右偏移所导致的 TDC 裂纹扩展终值始终大于裂纹左移对应的值。以偏移值 3 cm 为例, 裂纹右移时扩展深度为 60 mm, 左移对应的裂纹扩展深度为 35 mm, 右移对 TDC 裂纹扩展的影响比左移小得多。

4 结论

(1) 沉降值和 TDC 裂纹位置对半刚性基层沥青路面 Top-Down 开裂影响较大。初始沉降值越大, TDC 裂纹扩展越严重。初始沉降值为零时, 单一的轴载作用并不会造成裂纹扩展; 初始沉降值为 5 cm 时, 裂纹几乎贯穿整个路面层。

(2) 沉降值越大, 裂纹开裂时刻越早, 裂纹扩展时间变长, 且开裂速率越大, 表现为扩展速率及扩展终值增大。

(3) 裂纹位置对裂纹扩展的影响较复杂, 影响程度随裂纹平移距离和方向而改变, TDC 裂纹往沉降区平移对裂纹扩展的影响小于向非沉降区平移; 裂纹扩展终值随平移距离的增加而下降时, 右移对应的裂纹终值衰减速率比左移慢。

参考文献:

- [1] 李艳明. 某高速公路桥头路基沉降处治设计[J]. 山西交通科技, 2014(4): 32—34.
- [2] 范植昱. 荷载和温度对沥青路面 Top-Down 开裂影响的有限元分析[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011.
- [3] 陈正伟, 张洪亮, 张珊珊. 基于断裂力学的沥青路面 Top-Down 开裂机理[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2017, 38(6): 731—736.
- [4] 张珊珊. 沥青路面 Top-Down 裂缝开裂机理研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [5] 张翔宇. 行车荷载和温度作用下的沥青路面表面开裂研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
- [6] 吕光印. 柔性基层沥青路面 Top-Down 开裂机理研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
- [7] ZHAO Y, MOHSEN A, FU G. Investigation of mechanisms of Top-Down fatigue cracking of asphalt pavement[EB/OL]. [2018—8—1]. <http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2017.1303394>.
- [8] MIAO Y, HE T G, YANG Q, et al. Multi-domain hybrid boundary node method for evaluating Top-Down cracking asphalt pavements[J]. Engineering Analysis with Boundary Elements, 2010, 34(9): 755—760.
- [9] 廖公云, 黄晓明. ABAQUS 有限元软件在道路工程中的应用[M]. 南京: 东南大学出版社, 2008.
- [10] 周游. 公路改扩建中新老路基差异沉降控制技术研究[J]. 公路与汽运, 2021(4): 101—104.
- [11] 张潭, 李友云, 谢继登, 等. 不同拓宽方式下路基不均匀沉降特性研究[J]. 公路与汽运, 2020(2): 86—90.
- [12] 刘东明. 全风化花岗岩粉砂质土改良特性及道路变形研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [13] 张军辉, 吴厚铭, 周平. 拓宽路基差异沉降监测及数值分析[J]. 交通科学与工程, 2020, 36(1): 14—19.

收稿日期: 2021—06—06

长沙理工大学简介

长沙理工大学是一所以工为主, 工、理、管、经、文、法、哲、艺等多学科协调发展, 以本科、研究生教育为主体, 具有博士后科研流动站、博士学位授予权和硕士生推免权的多科性大学。是全国先进基层党组织、国家“中西部高校基础能力建设工程”高校、首批全国“创新创业典型经验高校”50 强、湖南省“国内一流大学建设高校”(A 类)、湖南省文明标兵单位、湖南省依法治校示范学校。

设有 22 个教学学院、1 个独立学院和 1 个继续教育学院, 现有全日制在校学生 41000 余人, 其中博士、硕士研究生 6500 余人。自建校以来, 为交通、电力、水利、轻工等行业和区域经济社会发展培养了 40 余万高级专门人才, 毕业生就业质量和就业率多年连续保持全省高校前列。经过 60 多年的建设和发展, 学校积淀了“博学、力行、守正、拓新”的校训精神和大学文化。

现有专任教师近 2000 人, 其中正高职称 300 余人, 副高职称 600 余人。拥有中国工程院院士、“长江学者奖励计划”特聘教授等国家级人才 20 余人; 享受国务院政府特殊津贴专家、国家有突出贡献中青年专家、国家级教学名师等 40 余人; “全国高校黄大年式教师团队”1 个; 中宣部宣传思想文化青年英才、教育部“新世纪优秀人才支持计划”人选、交通部“交通青年科技英才”和湖南省科技领军人才、“芙蓉学者”等省部级人才 370 余人。

拥有国家科学技术进步一等奖等标志性科研成果。现有国家级科研平台 4 个、省部级创新团队 11 个、自然科学创新平台 46 个、哲学社会科学研究基地 21 个。近五年, 学校主持承担国家重点基础研究发展计划项目、国家哲学社会科学文库作品等国家级项目 430 项; 获国家科技奖励 3 项、省部级科技奖励 98 项、省社会科学优秀成果奖 16 项、职务发明专利 1150 项。