

城市道路路面结构力学分析与病害防治

张利

(中铁合肥建筑市政工程设计研究院有限公司, 安徽 合肥 230041)

摘要:通过对城市道路路面病害的调查,针对现有城市沥青混凝土路面的病害情况,应用有限元模拟方法,建立市政道路三维结构力学计算模型,分析道路结构层的力学特征、构筑物的形式与影响范围等因素变化下的特征行为,得出市政道路的地下管网存在对路面整体结构的影响。同时,结合现状的病害调查分析,经过数据与现状对比,探索含有地下管网系统的路面病害潜在原因,依据分析结果给出相应的病害防治对策,为后期的设计提供技术参考,为施工提供有效的防治理论。

关键词: 沥青混凝土路面;构筑物;结构力学;病害;有限元

中图分类号: U416.01;U418.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)07-0233-03

0 引言

随着城市建设的品质要求越来越高,精品道路的大力推广,对市政道路的质量要求大大提高。近年来,路面的损坏问题引起了广泛关注,尤其是道路的地下雨污主管的敷设,造成路面平整度与行车舒适度的下降。

相关学者对地下构筑物进行了相关研究,薛连旭^[1]针对尺寸相对差异的构造物上不均匀沉降引起市政道路表面附加应力进行了相关研究,并研究了其结构性能。但是构造物尺寸较城市市政道路的地下敷设的管道尺寸略大,其研究成果对市政道路地下小管径路面结构的影响存在很大的差别。张士乔等对沟槽中回填材料等进行了相关研究^[2],其成果中采用了控制性低强度材料进行沟槽回填。这种材料的特性收缩性较差,应用范围具有一定单一性,对于敷设较浅的城市地下管道具有一定的效用,对于城市正常管道的敷设多种工况研究不足。

当前市政工程中,综合管网错综复杂,地下空间的快速推进与发展阶段,有序协调与完善技术显得尤为紧要。然而对含地下管道路面结构的相关研究成果不多。本文通过路面的层状力学分析、沟槽施工形式的影响变化等问题,利用数值模拟,通过对多种市政路面工况下路面结构进行分析计算,并对数据

继续进行后处理,探究病害形成原因,从而为后期设计与施工提供有效的防治措施指导^[3]。

1 结构计算模型

1.1 有限元简化模型

结合道路选取路段工况、整体路面结构等特点,进行道路结构力学仿真分析。目前我们采用比较成熟的理论体系^[4-5]——多层弹性连续,通过建立实体道路路面结构三维有限元模型。路面结构层层间采用完全连续。建模时采用非线性 $D-P$ 土体模型,各层模量予以逐一定量设置外,还对土体模型材料的黏聚力、泊松比、内摩擦角等参数按照土工试验数据分别进行了定义。

1.2 路面结构及参数

道路结构计算选取的是某城市主干道路面结构形式,结构层的材质与层厚如下:

上面层:AC-13 细粒式改性沥青混凝土,厚为 $h_1=4$ cm,回弹模量 $E_1=2\ 000$ MPa。中面层:AC-20 中粒式沥青混合料, $h_2=6$ cm, $E_2=1\ 800$ MPa。下面层:AC-25 为粗粒式沥青混合料, $h_3=8$ cm, $E_3=1\ 400$ MPa。基层:二灰稳定碎石二层, $h_4=18+18=36$ cm, $E_4=1\ 500$ MPa。底基层:厂拌石灰土, $h_5=20$ cm, $E_5=500$ MPa。沟槽中的管道垫层土质厚度取 $h_0=10$ cm, $E_0=40$ MPa。 E_7 为正常道路的路床回填材料的回弹模量, E_8 为含有地下管道沟槽部分回填材料的模量。

三维实体模型尺寸选取:水平长取 10.0 m,宽取 5.0 m,高的取值依据路面结构层厚度、地下管道的排

收稿日期: 2023-08-29

作者简介: 张利(1982—),男,硕士,高级工程师,从事道路、桥梁设计相关工作。

水管顶覆土、沟槽管道的管径、所在位置的土质情况(本次正常情况)相应覆土而定。

1.3 建立模型

通过有限元软件 AYSYS, 本文在三维路面结构模型中, 土体选取的是 SOLID45, 土工格栅选取在建模时采用薄膜单元 Membrane41 单元来模拟, 进行计算分析, 采用汽车标准轮载作用, 管道回填沟槽坡比 1 : 0.33。为了提高计算效率, 影响范围与受力复杂区域采用疏密节点布置, 模型的 1/4 模型所有的单元数为 38 556 个, 节点数 43 322, 依据选取路段实体在工程中的受力情况、边界约束假设, 选取路段在一定深度底部存在 Y 方向主要约束条件, 左右两侧存在水平 X 方向主要约束, 顺行车方向的面自由变形。

依据《公路沥青路面设计规范》, 荷载标准采用单轴双圆标准轴载 BZZ-100^⑥, 轮胎接地压强 $q=0.7$ MPa, 荷载的半径 $\delta=0.1065$ m, 轮隙间距 $\delta=0.1065$ m, 双轮中心距离为 $3\delta=0.3195$ m。模型如图 1 所示。

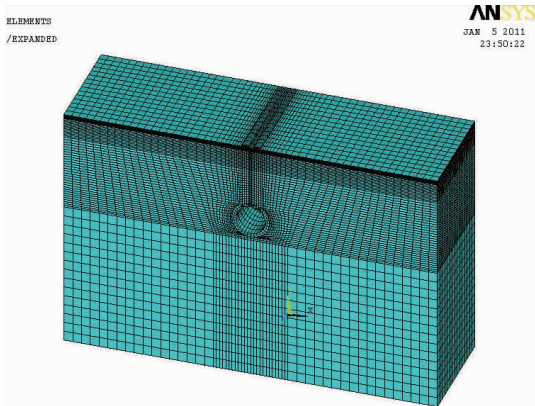


图 1 有限元计算模型划分

2 有限元计算及相关影响分析

通过对实体路面结构建模, 进行沥青混凝土路面含有地下管道的结构加载, 对道路结构层间的受力情况及各层的应力变化情况, 深入探究道路路面的层间力学性能, 为更好地进行完善设计提供很好的计算依据。

2.1 路面结构各层应力随着回弹模量的变化^[1]

路面在施加汽车均布荷载作用下, 路面结构层表面产生累积弯沉变形, 材料层间产生拉压应力变化, 荷载反复作用于路面, 路面的结构层局部材质在拉压应力峰值交替出现, 大于应力允许范围。工况模型是管道覆土埋深 1 m, 管径选取 1 m, 沟槽形式一致的情况下, 调整沟槽回填材料材质, 材料的回弹模量取值对应差异, 分别取 40、200、400、600 MPa, 相应的路面表面的应力变化情况如图 2 所示。

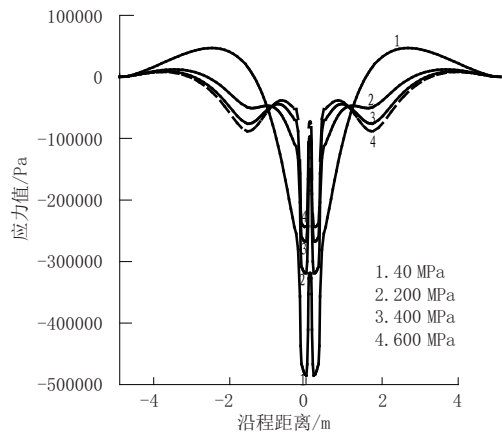


图 2 沟槽模量对应路面应力

图 2 中表明: 路面下沟槽回填材料的回弹模量提高, 相应的拉应力峰值降至压应力趋势明显^[7], 意味着, 随着回填材质模量增大, 降低路表拉应力明显。在道路施工过程中, 结合计算, 回弹模量为 400 MPa 左右对应的回填材料已经处于压应力状态, 较为合适。另外, 汽车荷载轮迹外的 2 ~ 3.5 m 范围内, 应力曲线变化梯度相对明显, 对照路面病害调查, 含有地下管道的路面, 此域病害频率较高。对此, 后期施工过程中, 除了确保回填材料外, 也应密切关注施工过程, 压实度、回填模量、顶部弯沉均需要监测, 若低于规范允许范围, 应及时整改并达到要求, 防止影响后期道路正常通行的区域, 影响交通的正常通行。

2.2 路面结构各层应力的变化

模型参数参见图 3, 工况选取 2.1 节的回填模量, 提取各层的应力数值拟合的曲线, 路面结构层的层间应力幅值特征较为一致, 只有面层与基层之间的变化较为显著, 拉应力达到峰值, 梯度变化范围也符合第 3.1 条的影响范围。其他路面结构层应力数值变化相对稳定, 对路面的影响不大。

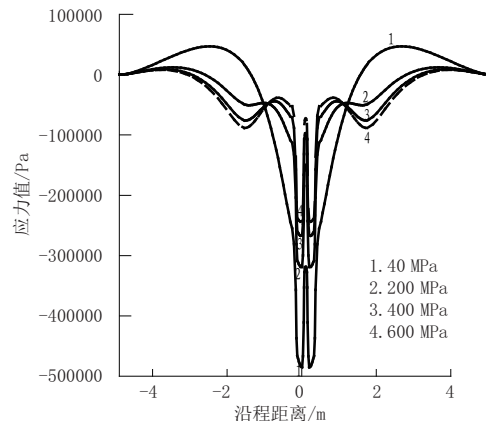


图 3 各结构层应力曲线

2.3 路面结构应力随着沟槽形式变化

模型选取 2.2 节对应的参数计算。选取两种沟槽

形式按照放坡比,依据2.2节,对指标较为显著的表层及基层进行计算数值分析,结果如图4所示。分析得到,同样得到直槽埋设地下管道的道路路表与基层应力值高于进行沟槽放坡情形产生的应力。

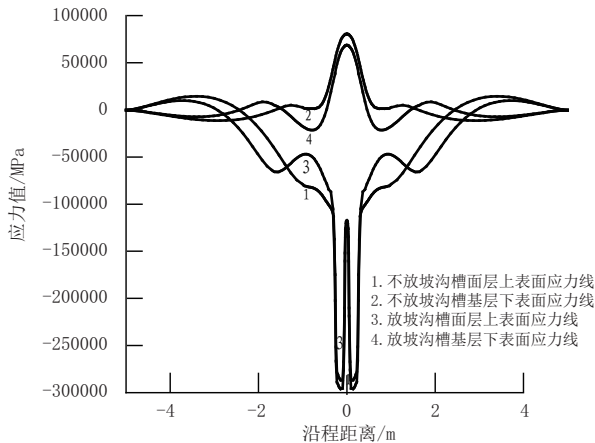


图4 不同沟槽形式下的应力曲线

2.4 路面含地下管道结构层间的剪应力

剪切破坏主要体现路面结构在高温情况运行下稳定性不够,汽车荷载作用道路表面上,反复累积碾压,导致路面结构层局部出现车辙和拥包等现象。如何提高路面的抗剪切变形能力,对含有地下管道的路面结构至关重要,有待于后续进一步讨论。本节立足点是剪切应力过大,影响路面的正常通行,采取一定的防治措施来预防或者延缓道路的差异沉降。相关研究表明^[8],路基材料的回弹模量改变是其中措施之一,下面对此进行讨论分析。

结构层的材料按照确定的模量已确定,但是沟槽回填材料的变化对结构层的剪切变化曲线关系如图5所示。结构层材质模量不变,调整沟槽回填的模量时,剪应力随着模量提高相应正向递增。当模量达到一定的时候,其剪应力的变化较为平缓。通过以上计算,沟槽回填模量控制在一定的范围为佳,模量过大,降低剪应力不明显,还产生成本不经济^[8-9]。

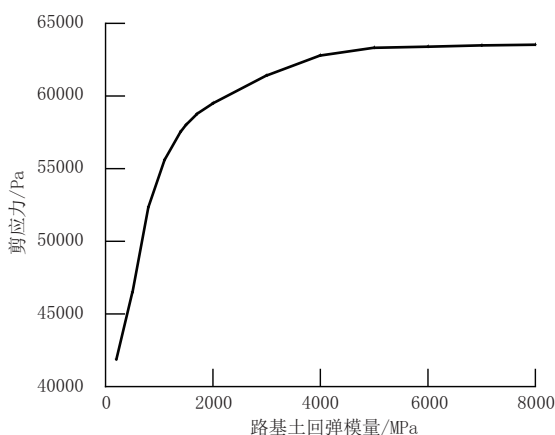


图5 沟槽回填材料对应的最大剪应力

3 结论

通过对城市道路含有地下管道的三维路面结构进行模拟,对不同工况道路结构的力学进行分析,对道路施工回填材料的改变、沟槽形式等变化对城市道路路面结构的影响进行分析,得到如下结论。

(1)采用有限元方法辅助分析高效、便捷,对于多种工况进行模拟,有效互补试验研究的重复,结果与工程进行相互验证,便于对技术的真实有效进行检验。

(2)通过工况的选择,分析结果表明:沥青混凝土路面的层间薄弱点在下面层与基层之间,拉应力的出现也是诱发后期病害的重要原因之一,对于特殊路段及薄弱部位,加筋合理层位之间的处理措施。

(3)选取工况计算表明,选定沟槽形式,荷载作用下,路面应力变化梯度区域分布于地下管道的沟槽坡面至路面面层槽外侧一定范围,此范围后期病害相对密集,建议后续设计、施工过程中,加大回填材料的质量、压实度等分区控制。重要区域,可以采用土工材料予以过渡布设,降低梯度峰值,以提高过渡段的整体稳定性,提高路用性能。

(4)由于正常道路病害出现的复杂性,道路地下管线错综敷设,此次没有考虑多层管位的交互影响,后期予以进一步探讨。

本文重点从路面结构的层间材料弹性模量、地下管道的沟槽形式出发,利用辅助计算,分析了沥青混凝土路面结构力学性能的变化规律,以探讨城市地下管道的存在对城市道路的整体结构的影响,分析了病害存在的部位与影响区域范围,定性与定量予以给出对应措施,以更好地探讨地下构筑物存在对道路结构稳定性的影响与作用机理,也为后期探讨提供一定的参考与借鉴。

参考文献:

- [1] 薛连旭.小型构造物上沥青路面结构力学行为研究[J].中外公路, 2008, 28(5): 74-78.
- [2] 郭兰英.道路水泥稳定碎石基层抗缩裂性能与防裂措施[J].路基工程, 2006, 126(3): 144-145.
- [3] 方诗圣,张利,康小方.含有地下管道的沥青混凝土路面结构力学分析[J].路基工程, 2011(1): 1-6.
- [4] JUSHIN F, LUNDVAL, JOHN P TURNER, Mitigation of road-way settlement above buried culverts and pipes. FHWA-WY-97/01 (Final Report), June 1997.
- [5] 邓学钧.路基路面工程[M].北京:人民交通出版社, 2007: 380-389.
- [6] JTG D50-2017, 公路沥青路面设计规范[S].

(下转第240页)

表 8 待评价路段 A 的评价结果

一级指标	评价等级	排序结果
交通标志	良	7
交通标线	优	4
护栏	良	8
视线诱导标	优	1
隔离栅	优	2
防护网	优	3
防眩板	优	5
防撞垫	优	6
特殊交通安全设施	中	9

而特殊交通安全设施评价等级为中,说明技术性能以及建设、完备水平仍显不足,难以满足目前的安全需求,亟待改造提升。交通标志和护栏的评价等级为良,说明已出现一定程度的缺损。同时,护栏权重最高,为 0.346 2;交通标志次之,为 0.162 2,也能够一定程度反向印证实测值的合理性。因此,应当对交通标志和护栏优先进行养护维修。

4.2 第二阶段

结合上文各项交通安全设施评定值,其对应的权重参考表 6,计算方法参考式(9),可得出待评价路段 A 的交通安全设施系统综合评定值 $A=88.773 4$ 。

以此类推得到另外 4 条待评价路段的交通安全设施系统综合评定值分别为 $B=91.543 2$ 、 $C=83.494 7$ 、 $D=76.115 9$ 、 $E=90.156 1$ 。结合表 6,可得出待评价路段的交通安全设施系统综合评价等级和排序结果,详见表 9。

表 9 待评价路段的综合评价结果

待评价路段	评价等级	排序结果
A	良	3
B	优	1
C	良	4
D	中	5
E	优	2

表 9 准确直观地反映了待评价路段的安全状况,并得出养护优先级为 B、E、A、C、D,对交通安全设施系统养护管理决策提供了参考,实现精细化养护。

综上所述,本文构建的模型通过层次分析法计算出科学合理的指标权重,符合真实情况。同时采用模糊多层次综合评价法,分两个阶段整合评价过程,实现对交通安全设施系统技术状况的整体把握,客观全面地进行综合评价,由细节到整体地提供养护决策建议,为精细化养护提供途径。因此,模型具有有效性和可靠性。

5 结 论

(1)构建高速公路交通安全设施系统评价指标体系,完善了现有体系,并划分了评价标准。

(2)采用层次分析法分配了交通安全设施系统评价指标的权重值,符合真实的状态,弥补了现有规范标准的空白。并采用模糊多层次综合评价法进行了系统综合评价,方法简单实用,易于推广。

(3)以京沪高速(天津段)2023 年交通安全设施系统评价指标实测数据为例进行建模计算,验证了该方法具有较好的准确性和实用性,为未来的高速公路养护运营提供了新的思路。

参考文献:

[1] Koons R E. The new Manual on Uniform Traffic Control Devices[J]. Washington,DC:Institute of Transportation Engineers,2010.
 [2] 陆建,郭延永.基于集对分析的高速公路交通安全设施评价[J].武汉理工大学学报,2014(11):71-76.
 [3] 吴瑶,俞灏.基于属性识别的高速公路交通安全设施系统评价[J].东南大学学报(自然科学版),2013(6):1305-1311.
 [4] 吴瑶,陆建,郭延永.基于集对分析的高速公路交通安全设施评价[J].武汉理工大学学报,2014(11):71-76.
 [5] 余冬翠.城市快速路交通安全设施系统评价研究[D].南京:南京林业大学,2017.
 [6] JTG H10—2009,公路养护技术规范[S].
 [7] GB 5768—2009,道路交通标志标线[S].
 [8] JTG 5210—2018,公路技术状况评定标准[S].

(上接第 235 页)

[7] 刘大鹏,王婧.路基回弹模量对路面结构层受力的影响分析[J].路基工程,2008,136(1):123-124.
 [8] 孙培.基于沥青混合料内部结构参数的路面表面特性研究[D].西安:

长安大学,2018.
 [9] 刘俐.城市新建道路工程既有地下管道保护方案[J].城市道桥与防洪,2021(12):125-128.