

# 含地下管道的刚性基层沥青路面影响因素分析

汪磊<sup>1</sup> 王胜<sup>1</sup> 谷文倩<sup>2</sup>

1. 安徽水安建设集团股份有限公司, 2. 安徽建筑大学

**摘要:** 目前含地下管道的刚性基层沥青路面结构设计缺乏明确指导, 本文结合芜湖市沿江圩区道路改建工程, 采用有限元分析法建立含管道的刚性基层沥青路面结构, 分析管道埋深和回填土模量两个因素对沥青路面路表弯沉和结构层竖向应力的敏感性情况, 并提出相应的防治措施。

**关键词:** 地下管道; 沥青路面

**【DOI】** 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.17.042

## 一、前言

在我国城市化建设进程不断深入背景下, 城市管网覆盖面也在逐年扩大。然而庞大的管网工程不可能完全避开城市道路, 造成路面下方出现刚柔过渡层, 这使得埋管路面较普通路面更容易出现开裂和下沉等病害, 不仅导致行车舒适性和道路使用寿命严重下滑, 同时也留下较大安全隐患。

关于含地下管道的沥青路面工程问题, 大部分学者关注重点都在地下管道本身。施有志<sup>[1]</sup>等将管廊的尺寸、埋设深度、舱室情况、地质条件和交通荷载大小等作为主要参数, 对综合管廊的振动特性进行了参数分析, 并预测了交通荷载下管廊的疲劳寿命。贺乾<sup>[2]</sup>通过理论分析、现场监测和数值模拟结合的方法研究了地下管廊在车速和加载位置影响下的力学性状变化。李明昊<sup>[3]</sup>等在增强现实(AR)技术的基础上, 研究管道健康监测的三维可视化信息集成方法, 实现了埋地管道多源信息与实时监测数据融合的系统架构。王清洲<sup>[4]</sup>等改变循环加载作用次数对玻璃钢夹砂管进行室内试验研究, 证明了其抵抗变形的能力优异。陈兆南<sup>[5]</sup>等进行了现场动载试验, 分析不同埋深和重车行驶作用下管道的力学性能。国内外众多学者还采用了经验法、有限元模拟和实验法多种方式结合的方式进行相关研究<sup>[6-8]</sup>。

本文以芜湖市鸠江区某市政道路为研究背景, 采用

有限元软件ABAQUS建立刚性基层沥青路面模型, 分析了路表弯沉和道路结构层受力与变形规律, 为设计和施工过程中如何保持道路结构的稳定性提供参考依据。

## 二、研究背景

### (一) 工程概况

项目为旧路改建项目, 等级为城市支路, 位于芜湖市沿江软土圩区, 路线呈南北走向, 全长约1.5km, 混行车道宽度15米。旧路路基、路面经年使用破坏程度较高, 计划破除旧路再进行改建; 由于项目位于软土路基段, 且下伏污水管线, 因此采用水泥混凝土刚性基层以减少软土换填深度, 缓和土基的不均匀变形, 消除对路面的不利影响。

### (二) 模型基本假定

(1) 路面各结构层、换填土、地基和埋地管道在其各自的定义区域内是连续、均匀的;

(2) 假定路面结构和混凝土管为线弹性材料, 地基和回填土采用非线性D-P模型;

(3) 假设道路各结构层之间完全连续接触;

(4) 在边界条件问题上, 底部采用完全固定约束, 模型左右两个面限制Y方向(道路横向)位移, 模型前后两个面限制X方向(道路纵向)位移。

### (三) 计算模型参数

路面结构采用三维实体计算模型, 鉴于路面结构对称, 因此以半幅路面作为研究对象进行模型计算。按照如下方式展开几何力学建模: X轴方向为行车方向, 长度18m; Y轴方向为道路横向, 长度7.5m; Z轴方向为重力方向, 高度9m。管道沿道路行车方向放置, 且其横向位置居于本文所研究的半幅路面正中。三维有限元模型如图1所示。

依据实际工程和相关规范, 上面层、下面层、基层、底基层、换填土、回填土、埋地管道和地基(管道埋置在此)的计算参数取值如表1所示, 其中钢筋混凝土管直径1.5-2.0m, 壁厚0.15-0.2m。

表1 埋管沥青路面结构参数表

名称	厚度 (cm)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	弹性模量 (MPa)	泊松比
上面层	4	2300	1400	0.35
下面层	6	2300	1200	0.3
基层	22	2600	30000	0.2
底基层	18	2000	1000	0.25
换填土	50	1900	65	0.2
粉质黏土	450	1800	25	0.31
淤泥质粉质黏土	350	1770	10	0.35

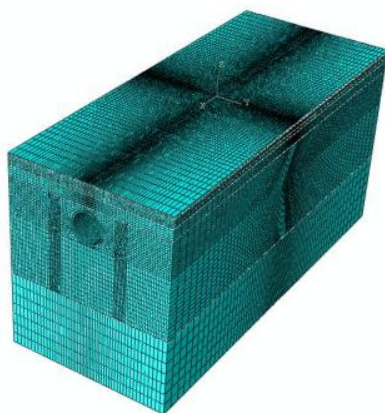


图1 三维模型图

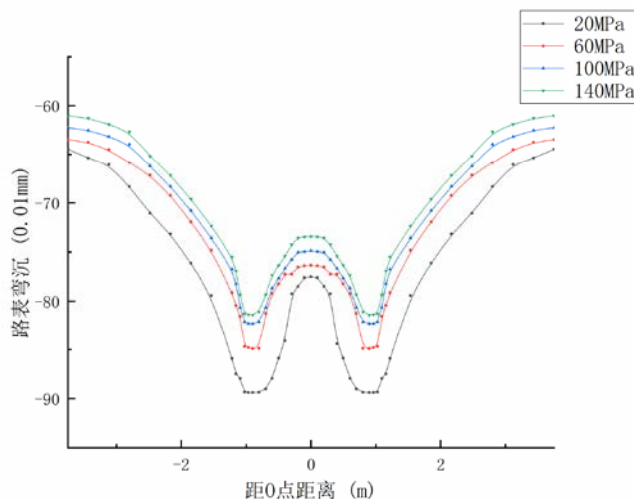


图3 不同回填土模量路表弯沉曲线图

### 三、含地下管道的刚性基层沥青路面模型计算结果分析

#### (一) 路表弯沉分析

路表弯沉的定义指的是在车辆荷载作用下，道路表面发生的竖向位移，是道路结构各个结构层变形的综合反映，可以反映道路的刚度，是评价路面结构设计的一个重要指标。针对不同管道埋设深度和不同回填土弹性模量，路表弯沉情况分别如图2和图3所示：

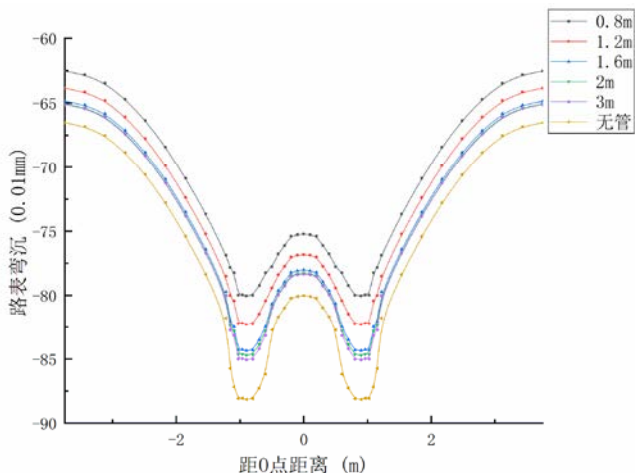


图2 不同埋深路表弯沉曲线图

从图2和图3可以看出，路表弯沉曲线均呈“W”形对称分布，轮印中心的路表弯沉最大，车辆轮印范围内的弯沉比轮隙中心的大。根据图2可知，管道的存在使路表弯沉得到明显降低，且管道埋设越浅，对降低路表弯沉的贡献越大。埋深为0.8m时的路表弯沉最小，相比无管工况降幅达9.2%；埋深3m时的路表弯沉最大，相比无管工况降幅达3.5%。如图3可以看到，车载作用区域路表弯沉值随回填土弹性模量的增加随之减小，当回填土模量取值从20MPa增加至140MPa时，路面结构最大弯沉降幅8.93%。

#### (二) 各结构层竖向应力分析

不同管道埋深下各结构层底的竖向应力情况如表2和表3所示，通过表2可以发现竖向应力数值与管道埋设深度呈明显的负相关规律，竖向应力数值随着管道埋深的增加不断减小，无管道时竖向应力值最小。虽然随着管道埋深增大竖向应力随之降低，但当管道埋深增加到一定的界值，对路面结构竖向应力降低作用有所减弱。

表2 不同管道埋深各结构层底最大竖向应力表

结构层	上面层底		下面层底		基层底		底基层底	
	竖向应力 (MPa)	变化幅度 (%)	竖向应力 (MPa)	变化幅度 (%)	竖向应力 (MPa)	变化幅度 (%)	竖向应力 (MPa)	变化幅度 (%)
埋深 (m)								
0.8	-693.45	3.87	-526.29	9.37	-102.23	10.53	-59.80	11.57
1.2	-679.86	1.83	-501.23	4.17	-96.45	4.28	-55.89	4.27
1.6	-669.66	0.31	-486.19	1.04	-93.36	0.94	-53.93	0.62
2	-668.98	0.20	-483.69	0.52	-92.97	0.52	-53.77	0.32
3	-668.30	0.10	-482.18	0.21	-92.58	0.10	-53.66	0.11
无管	-667.62	—	-481.18	—	-92.49	—	-53.60	—

表3 不同回填土模量各结构层底最大竖向应力表

结构层	上面层底		下面层底		基层底		底基层底	
	竖向应力 (MPa)	变化幅度 (%)	竖向应力 (MPa)	变化幅度 (%)	竖向应力 (MPa)	变化幅度 (%)	竖向应力 (MPa)	变化幅度 (%)
回填土模量 (MPa)								
20	-695.22	—	-511.88	—	-98.70	—	-57.29	—
60	-687.09	1.17	-506.86	0.98	-97.72	0.99	-56.99	0.52
100	-679.86	2.21	-501.23	2.08	-96.45	2.28	-55.89	2.44

从表3可看出，当回填土弹性模量逐渐增大时，结构层底应力有较小的改变。竖向应力随着回填土弹性模量的增加而逐渐减小，当回填土模量为140MPa时各结构层底竖向应力数值最小。

#### 四、结论

本文利用有限元软件ABAQUS分析了在交通荷载作用下，不同埋深和不同回填土模量下道路结构的竖向应力和路表弯沉，得到如下结论：

- (1) 管道的埋设一定程度上影响了路表弯沉值，回填土模量越大、路表弯沉越小。
- (2) 竖向应力数值与管道埋设深度呈明显的负相关规律，竖向应力数值随着管道埋深的增加不断减小，无管道时竖向应力值最小。当管道埋深增加到一定的界值，对路面结构竖向应力降低作用有所减弱。竖向应力随着回填土弹性模量的增加而逐渐减小。
- (3) 管道埋设深度控制在两米以上，并且在工程施工中应该保证回填土压实度。

#### 参考文献

[1]施有志, 阮建凑, 林树枝, 等. 机动车动荷载对地下综合管廊的影响分析[J]. 地震工程与工程振动, 2022, 42 (3): 62-71.

[2]贺乾. 城市综合管廊在车载作用下结构受力影响分析[J]. 建筑技术开发, 2022, 49 (1): 91-95.

[3]李明昊, 冯新, 金兆辉, 等. 基于增强现实的埋地管道结构健康监测方法研究[J]. 市政技术, 2021, 39 (7): 211-214, 221.

[4]王清洲, 汪洋, 魏连雨, 等. 玻璃钢夹砂管在不同疲劳状态下的力学性能分析[J]. 河北工业大学学报, 2018, 47 (2): 73-78.

[5]陈兆南, 裴亚男, 魏连雨, 等. 施工期重车行驶下浅埋FRPM管涵洞安全性研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2019 (11): 81-85.

[6]赵晓隆, 张华, 张平, 等. 车辆荷载下穿越道路直埋供热管段应力分析[J]. 煤气与热力, 2018, 38 (10): 10-16.

[7]鞠斌. 车辆荷载作用下埋地管道的动应力响应研究[D]: [硕士学位论文]. 山东: 青岛大学, 2018.

[8]魏连雨, 张国盘, 张济源, 等. FRPM管涵力学特性试验与数值模拟研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2016 (8): 73-77.

基金项目: 2022年度安徽省住房城乡建设科学技术计划项目(No. 2022-YF149、No. 2022-YF165)资助.

作者简介: 汪磊(1980-), 男, 毕业于安徽大学公路与桥梁专业, 高级工程师, 主要从事道桥设计工作.

王胜(1992-), 男, 毕业于青海大学土木工程专业, 工程师, 主要从事道桥设计工作.