

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.04.020

# 沉降及外部荷载作用下益阳管廊防护效果分析

李荣华<sup>1</sup>, 刘伟华<sup>1</sup>, 王鹏宇<sup>2</sup>, 蔡智<sup>2</sup>, 王述红<sup>2</sup>

(1. 中建五局土木工程有限公司, 湖南长沙 410004; 2. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁沈阳 110819)

**摘要:** 地下管廊常因填土沉降和外部荷载等原因造成管廊结构崩溃、接口错位、脱节、管身裂缝、破损等结构损伤。针对填土沉降和外部荷载作用下管廊出现的问题, 结合益阳管廊项目, 利用 FLAC<sup>3D</sup>有限差分方法模拟土工布对填土沉降的防护以及土工格栅的构造因素对外部荷载作用下的管廊防护进行研究, 模拟结果表明: 益阳管廊底部铺设土工布可以有效控制填土沉降; 管廊上部铺设3层, 宽度为12m的土工格栅有效减轻、分散外部荷载对管廊的作用力。

**关键词:** 综合管廊; 土工格栅; FLAC<sup>3D</sup>; 上部荷载; 土工布; 填土沉降

中图分类号: TU990.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)04-0107-05

## Analysis of Protective Effects of Pipe Gallery Under Settlement and External Load in Yiyang City

LI Ronghua<sup>1</sup>, LIU Weihua<sup>1</sup>, WANG Pengyu<sup>2</sup>, CAI Zhi<sup>2</sup>, WANG Shuhong<sup>2</sup>

(1. CCFEB Civil Engineering Co. Ltd, Changsha, Hunan 410004, China;

2. College of Resource and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110819, China)

**Abstract:** Because of the settlement of the embankment and the external load, the structure of the underground pipe gallery may be damaged, such as collapse of the pipe gallery, dislocation of the interface, disconnection, crack and damage of the pipe body. Focusing on the problems of the pipe gallery under the settlement of the fill and the external load, By taking the pipe gallery project in Yiyang city as an example, this paper adopted FLAC<sup>3D</sup> finite difference method simulation of geotextile on the settlement protection and the construction of geogrid, and the protection of pipe gallery under external load are studied. Analysis of simulation results show that the geotextile can be controlled effectively by laying geotextile at the bottom of this pipe gallery and the upper part of the pipe is provided with 3 layers, and the geogrid with a width of 12m can effectively reduce and disperse the force of the external load on the pipe gallery.

**Keywords:** pipe gallery; geogrid; FLAC<sup>3D</sup> upper load; geotextile; fill settlement

地下综合管廊内部敷设重要管线, 是城市安全生产的生命线<sup>[1-2]</sup>, 然而由于外部荷载、地质条件等外因以及管廊主体结构承载能力、脆弱节点等内因都有可能造成管廊结构崩溃、接口错位、脱节、管身裂缝、破损。为避免城市的安全运行遭到影响, 需提出有针对性的防护方案。

针对益阳管廊项目, 本文主要利用有限差分方法研究填土沉降和外部荷载对管廊影响的防护方案。其中, 填土沉降是由于填土受到管廊结构重力以及外部荷载的作用造成, 沉降往往会使得管廊承

受较大拉弯应力从而引发拉弯裂缝破坏<sup>[3-4]</sup>; 外部荷载主要有顶板竖向土压力、侧向土压力、水压力、底板土抗力及地面荷载等<sup>[5-6]</sup>, 且随着管廊埋深的变化, 荷载的作用效果也不同, 外荷载过大将在管廊应力集中的角点、管节接口处产生压裂破坏<sup>[7]</sup>。

## 1 工程概况及地质条件

### 1.1 工程概况

益阳市白马山路综合管廊设计范围西起益沅公路(马良北路)交叉口东南侧 K0+065 处, 东至资阳

收稿日期: 2017-04-22

修稿日期: 2017-05-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(51179031); 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室项目(SKLG2014K011); 辽宁省高等学校优秀人才支持计划项目(LN2014006)

作者简介: 李荣华(1985—), 男, 湖南长沙人, 工程师, 主要从事管廊工作。E-mail: wangpengu6666@126.com

大道交叉口西北侧 K2 + 824 处,总长2 760 m。综合管廊内收纳的市政管线有:电力电缆、电信电缆、给水管道。管廊采用矩形箱涵的结构形式,内部尺寸 3.2 m×3.2 m,外部尺寸 3.9 m×3.9 m。其中管廊内部两侧管线支架宽度 0.7 m×2,检修通道宽度 1.1 m。管廊正常段按照覆土 2.5 m 设计。本工程的综合管廊设计断面示意图如图 1 所示。

### 1.2 地质条件

根据工程勘探结果,本工程的地下土层特性从上到下依次分为:杂填土、粉质黏土、细砂、中粗砂、圆砾土、粗砂夹圆砾土。各土层力学指标如表 1 所示。

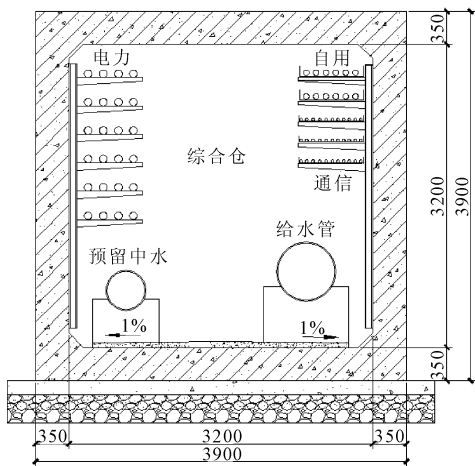


图 1 综合管廊断面示意图

表 1 各土层的物理力学指标

土层名称	埋深/m	密度 / (kg·m <sup>-3</sup> )	弹性模量 / MPa	泊松比 $\mu$	黏聚力 $c$ / kPa	摩擦角 $\phi$ / (°)
②细中砂	0.0~1.0	1850	3.680	0.33	1.0	25.0
③淤泥质土	1.0~4.5	1750	2.206	0.30	14.2	11.9
④中细砂	4.5~7.5	1900	2.550	0.33	1.0	30.0
⑤淤泥质土	7.5~18.0	1740	1.916	0.33	10.0	8.5
⑥粉质黏土	18.0~20.0	1917	4.018	0.30	34.1	16.2
垫层	—	2000	60.000	0.26	1.0	40.0
管背填土	—	1500	8.000	0.33	10.0	15.0
路堤填土	—	2000	18.000	0.30	—	—
综合管廊	—	2500	20000.000	0.30	—	—

## 2 土工布对管廊防护效果影响分析

### 2.1 建立数值模型

根据场地地质概况及工程工序建立计算模型,仅研究土工布对填土沉降的防护效果,其中将宽度为 6 m,厚度为 2.1 mm 的土工布铺设在管廊底部。运用 FLAC<sup>3D</sup> 进行数值模拟时所建计算模型如图 2 所示。对模型底部边界( $z = -20$ )节点约束其  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的速率,即固定约束;对模型四侧边界( $x = -20, 20; y = 0, 12$ )节点约束其  $x$ 、 $y$  方向的速率,即水平约束;模型顶部边界节点自由。

采用 ANSYS 导入 FLAC<sup>3D</sup> 技术划分网格,网格示意图如图 3 所示。管廊主体结构及路堤填土采用 Elastic 本构模型,其余场地土体、碎石垫层及管背填土采用 Mohr - Coulomb 本构模型进行数值模拟。划分网格时,对综合管廊主体结构、管底垫层及管背填土进行加密处理。

综合管廊需考虑上部外荷载作用。为简化道路荷载,如文献[8]所述,将路面荷载等效为 1 m 厚的

路堤填土等效荷载,将车辆荷载等效为 10 kPa 的面荷载作用于路基顶面。

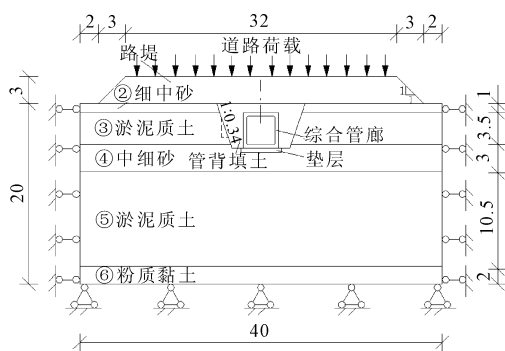


图 2 综合管廊主体结构模型尺寸及边界条件

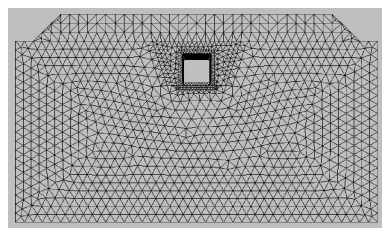


图 3 综合管廊主体结构网格图

## 2.2 模拟结果分析

为表征土工布对填土沉降的防护效果,采用管廊底板位移和管廊底板所受应力作为指标。结合益阳管廊现场地质状况模拟得到管廊沉降云图和管廊应力云图。

(1) 管廊沉降云图。图 4 是没有采取防护措施所得到的管廊沉降云图,图 5 是铺设土工布后所得到的管廊沉降云图。

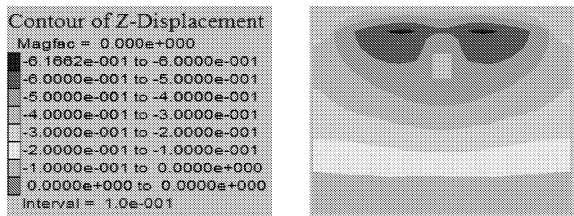


图 4 无防护措施时管廊沉降云图

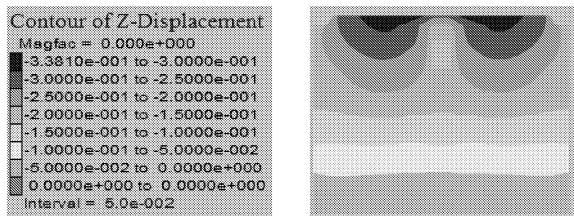


图 5 铺设土工布后管廊沉降云图

由图 4 及图 5 可知,在外荷载作用下,管廊铺设土工布对管廊的沉降具有很好的防护效果,相比管廊底部未铺设土工布的情况,铺设土工布的管廊沉降量可以降低一半左右(由图 4 左侧数据图与图 5 左侧数据图对比得出),符合管廊沉降设计要求。同时可以看出,管廊上部路基沉降呈“W”型,管廊处沉降较小,两侧路基变形较大,最大沉降位于路基中线两侧 6 m ~ 10 m 范围,所以在控制管廊沉降问题的时候,需对该范围内的路基进行加密加厚处理。

(2) 管廊荷载云图。图 6 是没有采取防护措施所得到的管廊应力云图,图 7 是铺设土工布后所得到的管廊应力云图。

由图 6 及图 7 所示,在外荷载作用下,相比管廊底部未铺设土工布的情况,铺设土工布的管廊底部所受应力可以减少 30% 左右(由图 6 左侧数据图与图 7 左侧数据图对比得出),这是因为土工布设于管廊底板下方,对土体沉降的反压起应力扩散作用,所以管廊铺设土工布对减少地基沉降具有很好的效果,同时也符合管廊应力安全设计要求。在进行益阳综合管廊施工时,为防护地基沉降可在管廊底部铺设土工布。

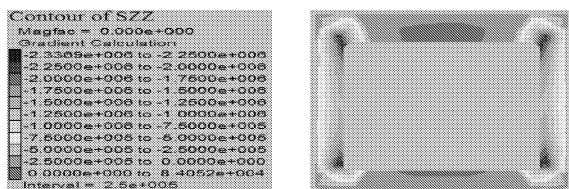


图 6 无防护措施时管廊竖向应力云图

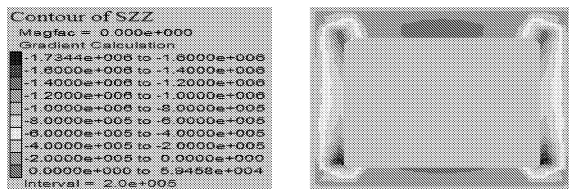


图 7 铺设土工布后管廊竖向应力云图

如图 7 所示,顶板竖向应力呈抛物线型,且在管廊角点处出现应力集中现象,同时在管廊底板内侧中部有上鼓的趋势。管廊主体结构关键位置分为弯矩最大节点及应力集中节点<sup>[9]</sup>,其中管廊壁板跨中节点 a、c、e 为最大弯矩监测点,管廊角点 b、d 为应力集中监测点,管廊关键节点如图 8 所示。

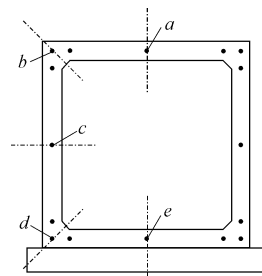


图 8 综合管廊关键节点

## 3 格栅构造因素对管廊防护效果影响分析

### 3.1 建立数值模型

采用上述相同的方法建立管廊模型<sup>[10]</sup>,仅考虑土工格栅的作用<sup>[11-13]</sup>,土工格栅采用 FLAC<sup>3D</sup>中的 geo-gird 单元,参数参考文献<sup>[14]</sup>如表 2 所示,土工格栅管廊防护结构数值模型如图 9 所示。

表 2 土工格栅计算参数

弹性模量 /GPa	泊松比	厚度 /mm	耦合弹簧 横向刚度 /(kPa·m <sup>-1</sup> )	耦合弹簧 内摩擦角 /(°)	耦合弹簧 黏聚力 /kPa
24.0	0.33	2	5.00 × 10 <sup>4</sup>	30.00	2.50

### 3.2 格栅层数对管廊防护效果影响分析

为表征综合管廊的受力特征,采用路基基底变形和埋管竖向土压力系数作为指标,埋管竖向土压

力系数为埋设土工格栅后管廊顶板所受竖向应力与管道上部土体自重应力的比值,后者值为 110 kPa<sup>[15]</sup>。

(1) 路基基底变形。路基基底变形图见图 10。由图 10 可知,土工格栅能够减小路基中线处的不均匀沉降,且能显著减小路基底面水平位移,而土工格栅的层数对减小路基基底位移的影响不大。

(2) 埋管竖向土压力系数。埋管竖向土压力系数见图 11。由图 11 可看出,埋管竖向土压力系数随土工格栅层数的增大而减小。结合图 10 和图 11,在

满足管廊应力安全和经济效益的条件下,应在该管廊上部铺设三层土工格栅对外荷载进行防护。

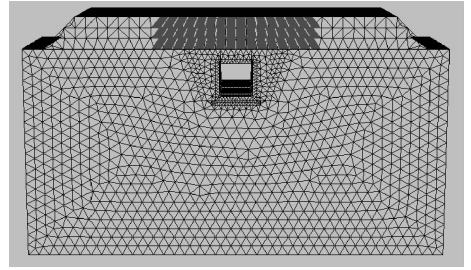
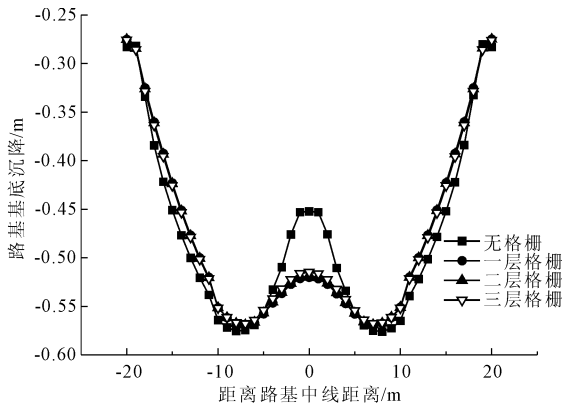
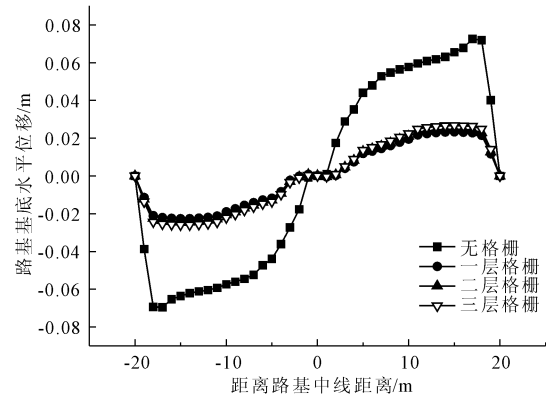


图 9 土工格栅综合管廊防护结构数值模型

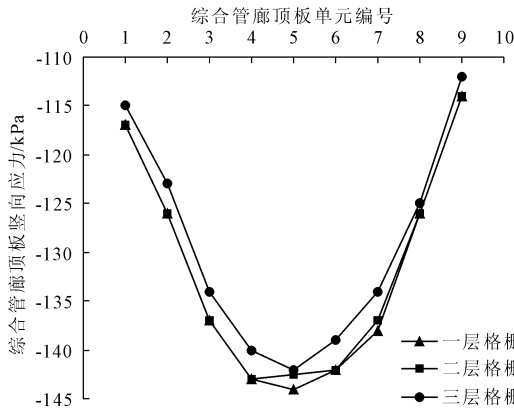


(a) 路基基底沉降

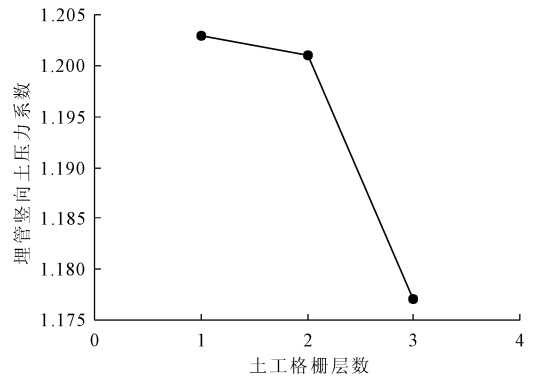


(b) 路基基底水平位移

图 10 格栅层数对路基基底位移影响曲线



(a) 综合管廊顶板竖向应力



(b) 埋管竖向土压力系数

图 11 格栅层数对综合管廊顶板应力影响

### 3.3 格栅宽度对管廊防护效果影响分析

(1) 路基基底变形。格栅宽度对路基基底影响见图 12。由图 12 可看出,取土工格栅宽度为综合管廊管径(管径 4 m)的整数倍,在土工格栅宽度为[4 m, 16 m]的范围内,土工格栅宽度变化对减小路基基底位移并不显著。

(2) 埋管竖向土压力系数。格栅宽度对埋管竖

向土压力系数影响见图 13。由图 13 可看出,在土工格栅宽度为[4 m, 16 m]的范围内,埋管竖向土压力系数随土工格栅宽度的增大而呈先减小后增大的趋势,在宽度为 12 m 处,埋管竖向土压力系数最小。结合图 12 和图 13,得出益阳管廊土工格栅的宽度设置为 12 m 时对管廊防护效果最好。

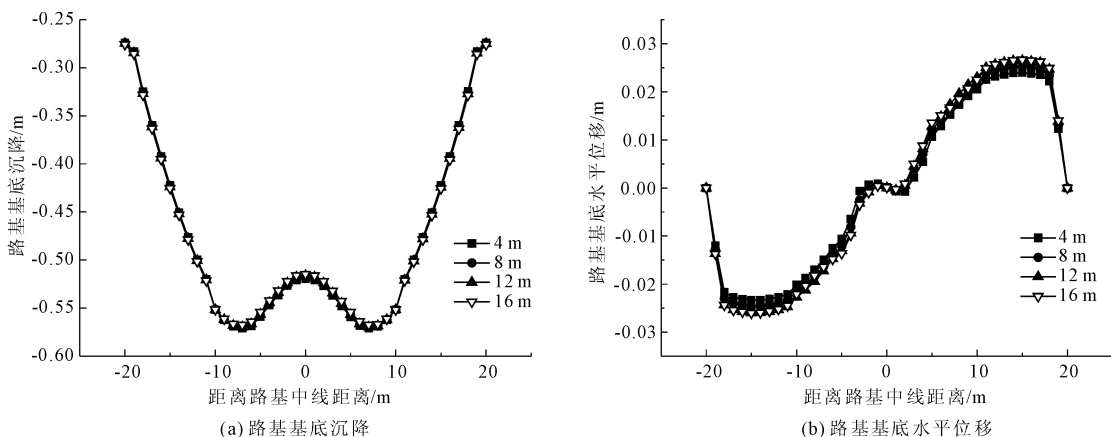


图 12 格栅宽度对路基基底位移影响曲线

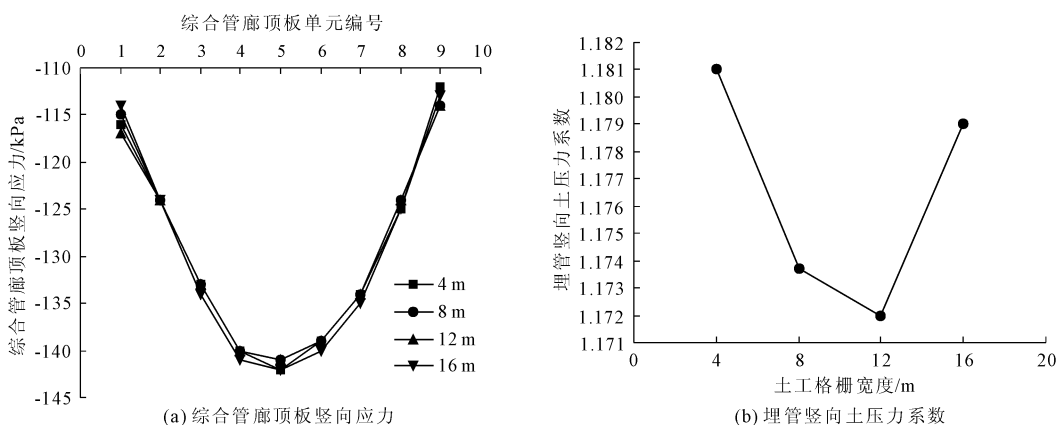


图 13 格栅宽度对综合管廊顶板应力影响

### 4 结 论

本文利用 FLAC<sup>3D</sup>数值模拟方法研究土工布和土工格栅构造因素对管廊的防护效果,将管廊底板位移和应力作为防护填土沉降效果的指标,将路基基底变形和埋管竖向土压力系数作为减载效果的指标均有很好的参考作用并得出了以下结论:

(1) 在上覆荷载作用下,工程场地沉降呈“W”型,特点是管廊处沉降较两侧土体小,最大沉降位于路基中线两侧 6 m ~ 10 m 范围,在进行软基处理时,需对该处加密加厚处理。

(2) 埋管竖向土压力系数随土工格栅层数、宽度的增大呈先减小后增大的趋势,可见土工格栅对减小外部荷载对管廊的作用有很好效果。

(3) 通过综合管廊应力云图反映受力特征发现顶板竖向应力呈抛物线型,且在管廊角点处应力到达峰值,同时,在管廊顶底板内侧中部有上鼓的趋势,其中管廊壁板跨中节点 a、c、e 为最大弯矩节点,管廊角点 b、d 为应力集中节点。

(4) 土工布具有良好的抗拉性能,可以有效改

善回填土体的沉降状况,同时,在益阳管廊上部铺设 3 层,宽度为 12 m 的土工格栅可以有效减轻、分散外部荷载对管廊的作用力。

### 参考文献:

[1] 廖四海,黄立夫,李 雄,等.综合管廊埋深数值分析[J].混凝土与水泥制品,2015(10):32-34.  
 [2] 龚晓南,孙中菊,俞建霖.地面超载引起邻近埋地管道的位移分析[J].岩土力学,2015,36(2):305-310.  
 [3] 朱振国,黄 松,朱永全,等.铁路隧道下穿公路引起的路面沉降规律和控制基准研究[J].岩土力学,2012,33(2):558-576.  
 [4] 龚晓南,孙中菊,俞建霖.地面超载引起邻近埋地管道的位移分析[J].岩土力学,2015,36(2):305-310.  
 [5] 孔令俊.大型钢筋混凝土箱涵结构拟静力试验与数值分析[D].西安:西安建筑科技大学,2014.  
 [6] 姜士磊.路堤涵洞土压力三维数值计算及理论研究[D].太原:太原理工大学,2014.  
 [7] 胡 翔,薛伟辰.预制预应力综合管廊受力性能试验研究[J].土木工程学报,2011,43(5):29-37.

(上接第 111 页)

- [8] 刘 静.高填路堤涵洞土压力理论及减荷技术研究[D].西安:长安大学,2014.
- [9] 蔡 智,王述红,谭 博,等.滨海淤积软土地下综合管廊设计及关键节点的数值分析[C]//第十五届海峡两岸隧道与地下工程学术与技术研讨会,湖南,长沙,2016.
- [10] 于利鹏.基于 FLAC<sup>3D</sup>模拟的土体弹性模量取值分析[J].水利与建筑工程学报,2014,12(2):162-166.
- [11] 徐 超,胡 荣,贾 斌.土工格栅加筋土地基平板载荷试验研究[J].岩土力学,2013,34(9):2515-2520.
- [12] 王 蕾,符文熹,郜进良,等.用竹筋格栅加固公路软基[J].地下空间与工程学报,2014,10(S2):1899-1903.
- [13] 徐 超,沈盼盼,胡 荣.土工格栅加筋土地基载荷试验的数值模拟[J].地下空间与工程学报,2014,10(6):1330-1336.
- [14] 吉立朋.土工格栅用于埋地管道防护及加筋减载性能研究[D].天津:河北工业大学,2015.
- [15] 肖成志,杨亚欣,杨爱克,等.静载作用下土工格栅加筋防埋地管道力学性能实验研究[J].岩石力学与工程学报,2015,34(9):1928-1937.