

# 回填土作用下管廊结构变形机理分析

王华桥, 罗 涛, 高连琳, 马晓羊

中国电建市政建设集团有限公司, 天津

收稿日期: 2023年5月19日; 录用日期: 2023年6月9日; 发布日期: 2023年6月21日

## 摘 要

为了揭示地下综合管廊回填的沉降规律,以雄安新区某综合管廊项目为实例,利用有限元软件ABAQUS,基于混凝土CDO模型,建立了地下综合管廊结构数值模型,以分析管廊结构在上方填土荷载作用下的变形特征,结论提出了“多舱室,小舱室”的设计理念,管廊结构中上下板剪应力较大,因此加强该部分的抗剪强度能有效减小管廊结构变形破坏,研究成果可为类似综合管廊项目提供一定的理论指导。

## 关键词

管廊隧道, 结构变形, CDP模型, 数值计算

# Deformation Mechanism Analysis of Pipe Gallery Structure under Backfill Soil

Huaqiao Wang, Tao Luo, Lianlin Gao, Xiaoyang Ma

STECOL CORPORATION, Tianjin

Received: May 19<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jun. 9<sup>th</sup>, 2023; published: Jun. 21<sup>st</sup>, 2023

## Abstract

In order to reveal the settlement law of underground comprehensive pipe gallery backfilling, a numerical model of underground comprehensive pipe gallery structure was established using finite element software ABAQUS and concrete CDO model, taking a comprehensive pipe gallery project in Xiong'an New Area as an example. The deformation characteristics of the pipe gallery structure under the loading of the upper filling soil were analyzed. The design concept of "multiple compartments, small compartments" was proposed, and the shear stress of the upper and lower plates in the pipe gallery structure was relatively high. Therefore, strengthening the shear strength of this part can effectively reduce the deformation and damage of the pipe gallery structure, and the research results can provide certain theoretical guidance for similar comprehensive

pipe gallery projects.

## Keywords

Pipe Gallery Tunnel, Structural Deformation, CDP Model, Numerical Calculation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 研究背景

随着城市建设的发展,地下综合管廊工程的应用越来越广泛。综合管廊集规划、设计、建设和管理于一体,被用于容纳电力、燃气、给排水等城市工程管线,能够有效控制后期路面的塌陷、地裂缝等危害。但由于管廊结构常埋设于地下较深位置,在管廊回填沟槽后,上部荷载或回填工序会导致地表产生不均匀沉降,引发路面损坏及安全隐患。

基于上述问题,国内外众多学者依据工程实例进行了大量的研究,吕荔炫[1]以福州市万新路综合管廊工程为背景,建立了土-管廊结构的整体系统精细化数值模型,研究了不同埋深情况下地下综合管廊的受力性能。顾卫兵[2]根据管廊所受荷载的实际情况进行静力加载试验,探讨实现轻量化后管廊的力学性能的变化,结果表明:开孔后的管廊极限承载力、开裂荷载以及刚度有所下降。邸海燕[3]采用有限元方法进行了综合管廊复杂交叉节点应力分析和位移计算,揭示了地下一层不落地管廊壁板的深梁力学性能。王灵仙[4]针对郑州市某地下与下沉道路一体化构建且含梁柱结构的综合管廊实际工程,考虑各种工况的荷载组合,采用有限元软件 ABAQUS 对所设计的综合管廊主体结构整体及相关构件进行受力性能分析。得出了增大顶板和框架柱节点处腋板的尺寸,以保证管廊的安全性的结论。徐强[5]采用 ABAQUS 软件建立三维有限元模型,设置了弯曲变形,扭转变形和弯扭变形三种不同的湿陷形式,并将湿陷范围和湿陷等级作为变量建立不同工况。结果表明:管廊最大纵向拉应力与最大竖向位移有随湿陷等级增加而逐渐增加的趋势。王柱[6]采用 FLAC3D 数值模型模拟地层不同条件下的湿陷变形,对地基湿陷引起的管廊结构沉降量及内力变化规律进行了分析。得出穿透湿陷性土层的桩基础可保证任何湿陷条件下的结构安全的结论。

为保证回填后管廊结构的稳定,探究管廊变形规律是管廊建设中一个不可缺少的环节,较大的变形易使混凝土产生裂缝,造成管廊破坏,进而影响管线安全,直接关系到其工后运营安全,必须给予足够重视。

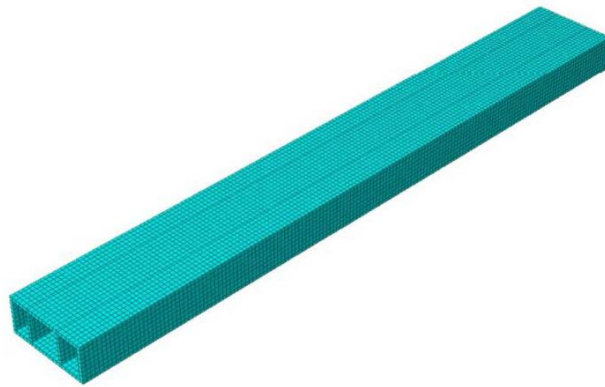
## 2. 数值计算模型与分析方法

### 2.1. 数值模型

对雄安新区启动区回填段取一代表工程段落,通过 ABAQUS 有限元模拟软件建立土体与管廊模型,模型由自然土体,综合管廊,回填土体三部分组成。

#### 一、管廊模型

管廊结构为本次模拟的主要计算部件,该段落管廊结构有三个舱室,模型长(Z轴) 80 m,宽(X轴) 10.4 m,高(Y轴) 4.5 m,管廊模型示意图如下图 1 所示:

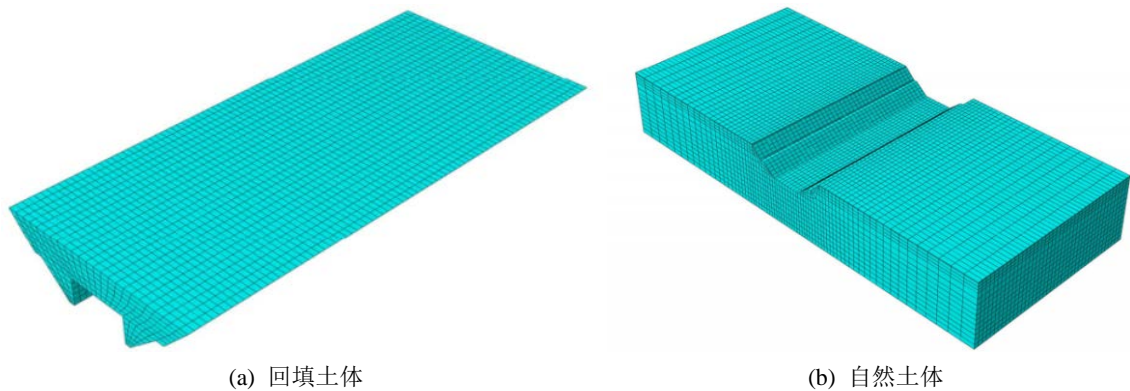


**Figure 1.** Schematic diagram of pipe gallery model  
**图 1.** 管廊模型示意图

为更好地模拟管廊在回填土作用下的变形机理，管廊材料采用 c40 强度的 CDP 模型，在 ABAQUS 的材料模块中，将 CDP 模型的各项参数输入，该模型能更好地模拟混凝土在复杂荷载作用下的受力作用，从而实现混凝土的损伤模型的建立。

## 二、土体模型

回填土其按照现场施工工序分为高中低三层，自然土体模型长(Z 轴) 80 m，宽(X 轴) 180.5 m，高(Y 轴) 28.5 m，土体示意图如下图 2 所示。



**Figure 2.** Schematic diagram of soil model  
**图 2.** 土体模型示意图

该模型忽略地下水影响，土体采用 Mohr-Coulomb 模型，其主要参数参考《启动区 EA1 段地质勘察报告》，具体如下表 1 所示：

**Table 1.** Calculation parameters of model  
**表 1.** 模型计算参数

项目名称	厚度/m	密度/(kg/m <sup>3</sup> )	弹性模量/mPa	泊松比 $\mu$	粘聚力/c (kPa)	内摩擦角/( $^{\circ}$ ) $\varphi$
杂填土	0.4	1,850	4.5	0.33	8.0	10
素填土	4.0	1,850	4.5	0.35	8.0	12
粉质黏土	5.1	1,910	12.8	0.30	31.3	18.1
粉细砂	13.0	1,950	33.0	0.33	2.0	32

## 2.2. 分析方法

回填土不考虑地下水对模型的影响,并通过导入 ODB 文件方式对自然土体进行地应力平衡,为模拟现场回填工序,将回填土分三层从下往上从上往下依次进行阶梯式回填,回填步骤共 7 步,具体回填工序图如下图 3 所示:

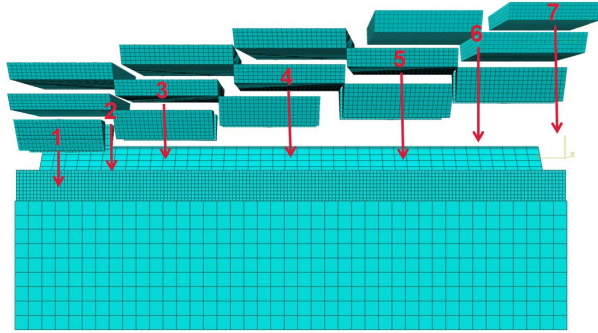


Figure 3. Schematic diagram of backfilling steps  
图 3. 回填步骤示意图

## 3. 数值计算结果分析

### 3.1. 横向管廊结构受力特征

#### 一、压应力分布

取第一施工段管廊的横截面 Mises 应力云图进行分析,由下图 4 可知:1) 在该工程段的覆土厚度及围护条件下,管廊不同结构所受的应力大小差距较大,最小值为 193.1 kPa,最大值为 989.3 kPa,根据云图可知,应力主要集中于管廊内墙下部区域,其数值远小于 c40 混凝土抗压强度 40 mPa。2) 管廊应力集中分布于内墙,且左侧内墙与右侧相比应力较小。其次分布于管廊侧墙中部,该区域承受填土的侧向土压力,产生应力集中。管廊边缘四角与两内墙间的上板承担压应力最小。管廊横截面剪应力云图如下图 4 所示:

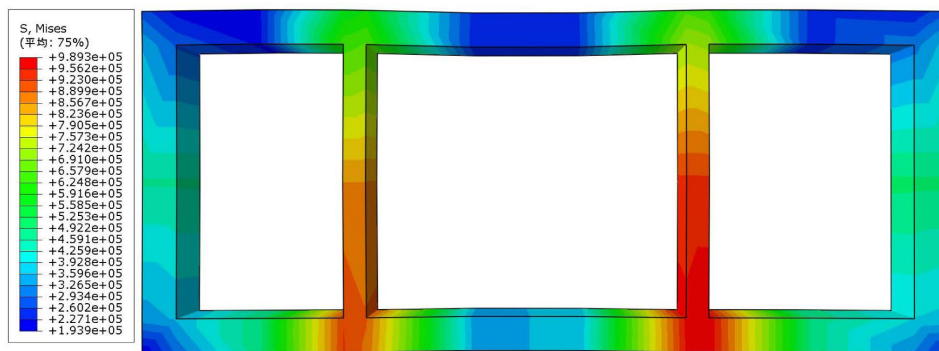


Figure 4. Cloud diagram of compressive stress of pipe gallery cross section  
图 4. 管廊横截面压应力云图

#### 二、剪应力分布

对管廊横截面剪应力进行分析,由下图可知:1) 管廊结构剪应力主要分布于内墙与上板连接处,在上板上方土压力与内墙的支撑作用下产生剪切作用,该区域剪应力最大达到 403.0 kPa,在结构的上板与下板也产生了较大的剪应力,大小约在 150~200 kPa 之间。2) 从云图可以看出,在土压力作用下,各管

廊结构的剪应力分布不同，管廊支撑墙的剪应力与上板下板相比较小，其中外墙拉应力大于内墙，而内墙上端小于下端。管廊横截面剪应力云图如下图 5 所示：

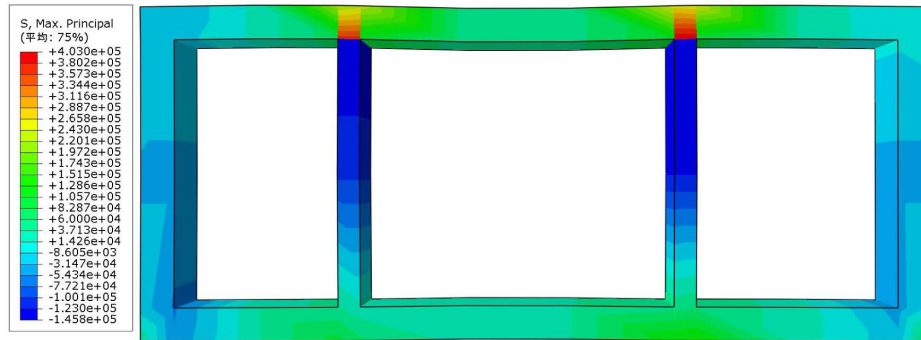
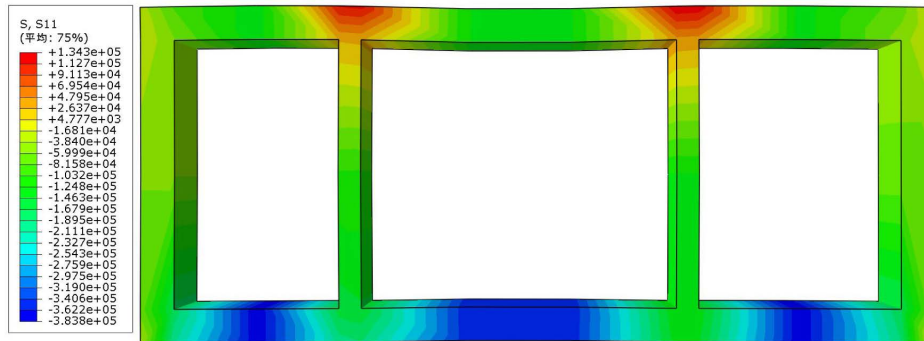


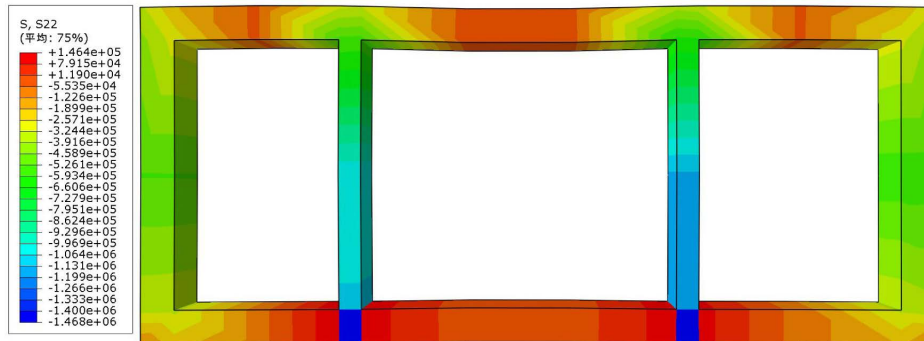
Figure 5. Shear stress nephogram of pipe gallery cross section  
图 5. 管廊横截面剪应力云图

### 三、X, Y 方向应力分布

对管廊 X, Y 两个不同方向的应力进行分析，可知其不同方向上的应力分布情况：1) X 方向应力主要分布于上板与内墙的连接处，该方向应力主要受侧向土压力影响，可见该区域承受了管廊的大部分水平应力。各舱室下板中间区域与基础接触，且不传导侧向土压力，因此应力较小。2) Y 方向作用分布于管廊各舱室上板下板区域，其方向应力受上方土压力与地基的影响，可知土压力造成的竖直应力主要由上板下板承担。管廊各方向应力分布云图如下图 6 所示：



(a) X 方向



(b) Y 方向

Figure 6. Cloud diagram of stress distribution in all directions of pipe gallery  
图 6. 管廊各方向应力分布云图



### 3.2. 纵向管廊结构受力特征

为了更好的研究纵向管廊侧墙的受力特征，现取模型中的 MP-1 与 BP-1 量截面，该截面取自管廊数据模型的第一回填段，鉴于该模型较为对称，因此取右侧内墙和外墙，截取两截面的应力云图进行分析。管廊截面示意图如下图 7 所示：

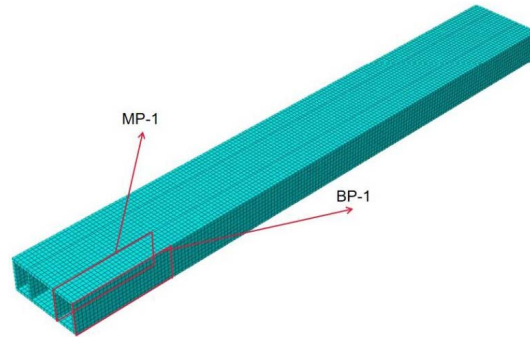
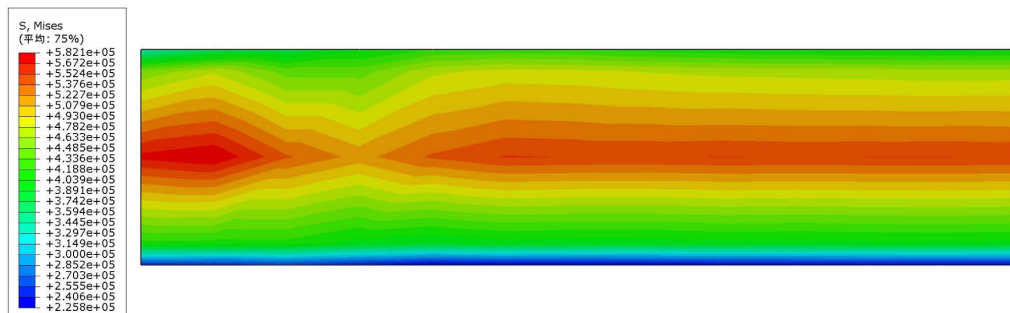


Figure 7. Schematic cross-sectional view of longitudinal pipe gallery

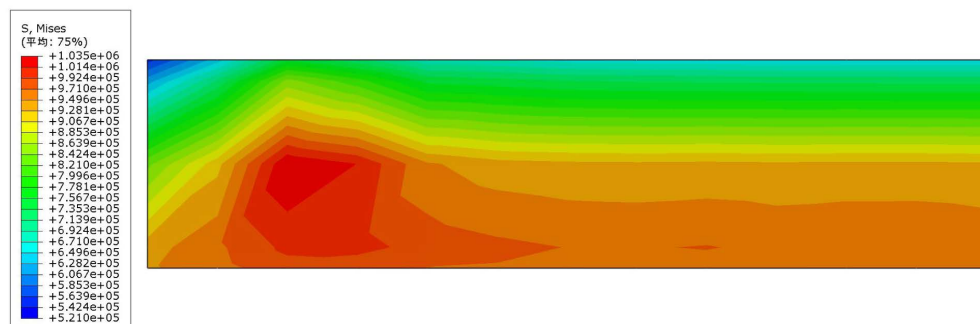
图 7. 纵向管廊截面示意图

#### 一、压应力分布

对管廊外墙与内墙的纵向截面的应力云图进行分析，可知：1) 管廊结构外墙中部的应力较为集中，最大为 582.3 kPa，其墙底与底板接触的区域应力较小，仅 225.8 kPa，在回填段前部出现应力减小的现象。2) 内墙应力主要分布于墙的下端，且内墙前端与已回填土层接触区域应力较小，相较于外墙受回填工序的影响更大。侧墙压应力云图如下图 8 所示：



(a) BP-1 截面



(b) MP-1 截面

Figure 8. nephogram of compressive stress of side wall

图 8. 侧墙压应力云图

## 二、剪应力分布

对管廊外墙与内墙的纵向截面的剪应力云图进行分析, 可见: 1) 外墙的剪应力在墙体中部较小, 顶部与底部剪应力较大, 最大为 144.7 kPa, 且在墙体前端上部出现应力集中现象, 其分布与压应力相似, 同样受回填工序的影响。2) 内墙剪应力前后分布完全均匀, 从底部向上逐渐减小, 其应力主要集中于内墙与顶板的连接处, 最大为 428.5 kPa, 远大于侧墙。管廊外墙与内墙的纵向截面的剪应力云图如下图 9 所示:

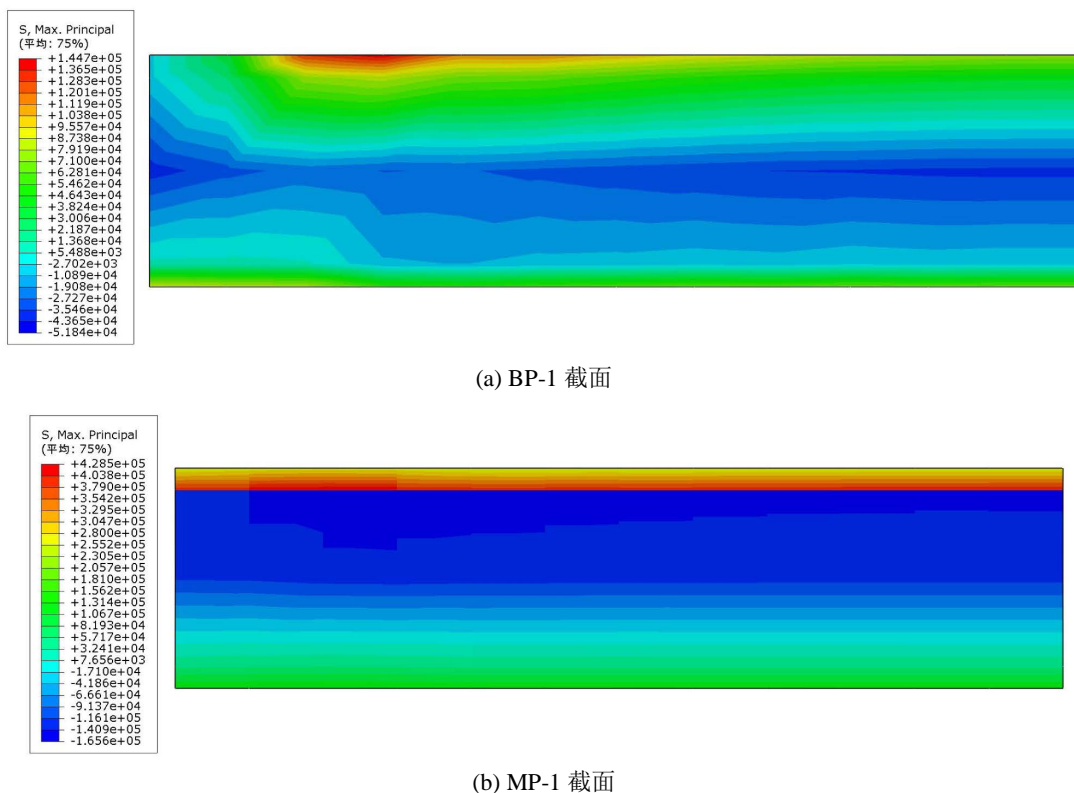


Figure 9. nephogram of shear stress of side wall  
图 9. 侧墙剪应力云图

## 4. 结论

- 1) 舱室大小对管廊结构的应力分布具有影响, 舱室越大, 其侧墙承受的应力越大, 中墙承受了管廊上部大部分土压力, 因此在设计阶段应避免出现过大的舱室空间, 推荐“多舱室, 小舱室”的设计风格。
- 2) 管廊结构的上板下板承受剪应力较大, 且主要分布于内墙与上板的连接处, 因此在设计施工时应着重考虑管廊上板下板的强度, 增加混凝土抗剪强度或增加配筋率以避免剪切破坏。
- 3) 阶梯回填工序对管廊侧墙的应力分布具有一定的影响, 上一回填段土体对下一回填段土体具有一定的支撑作用, 主要表现为侧墙前端的应力较小, 可知该分段式回填能在一定程度上减少管廊的应力破坏。

## 参考文献

- [1] 吕荔炫. 地下综合管廊结构受力性能的精细化数值模拟[J]. 公路, 2020, 65(11): 289-293.
- [2] 顾卫兵, 殷礼君, 黄翔, 等. 预制轻量化管廊受力性能的试验研究[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2019,

36(3): 265-272.

- [3] 邸海燕. 城市综合管廊交叉节点受力性能研究[J]. 山东工业技术, 2019(4): 112-113.
- [4] 王灵仙, 崔锡虎, 王新玲. 基于 ABAQUS 的某地下综合管廊主体结构受力性能分析[J]. 结构工程师, 2017, 33(5): 28-35.
- [5] 徐强, 陈浩然, 李良成, 等. 黄土地层湿陷对整体管廊破坏作用研究[J]. 灾害学, 2022, 37(4): 23-29.
- [6] 王柱, 郑万坤, 靳昊炆. 基于结构破坏综合管廊湿陷性黄土地基处治[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(S2): 972-977.