

# 新建隧道施工对邻近既有地铁车站及隧道影响研究

杜明芳<sup>1</sup>, 张 鹏<sup>1</sup>, 易领兵<sup>2</sup>, 李俊昊<sup>3</sup>, 杨晓晨<sup>1</sup>

(1. 河南工业大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 中国交建轨道交通事业部(轨道交通分公司铁道总院), 北京 100088; 3. 中国建筑第七工程局有限公司, 河南 郑州 450000)

**摘要:**为研究新建隧道盾构施工对邻近既有地铁车站及隧道的影响, 本文以郑州市轨道交通6号线穿越既有轨道交通1号线燕庄站及燕庄站~民航路站区间控制保护区为工程背景, 采用有限元软件 Midas GTS 对新建隧道近距离下穿既有隧道及邻近既有地铁车站进行分析, 总结了新建隧道施工对邻近既有地铁车站及隧道的水平位移和沉降的变化特征, 基于数值计算结果和相关规范, 提出工程的施工控制指标, 通过将数值计算结果与收集的实际工程监测数据进行对比分析, 验证了数值模型的可靠性。结果表明: 既有地铁车站和区间隧道受新建隧道施工的影响主要为下方土体开挖引起的竖向沉降, 施工完成后, 既有车站最大沉降量为 1.83 mm, 既有1号线区间隧道最大沉降量为 4.26 mm; 既有车站最大水平位移为 0.65 mm, 既有1号线区间隧道最大水平位移为 1.61 mm。本文结果可为类似工程的设计、施工和监测提供一定的借鉴和参考。

**关键词:**既有车站; 既有隧道; Midas GTS; 沉降; 水平位移

**中图分类号:** U231<sup>+</sup>.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-8993(2024)01-0018-06

**doi:** 10.13402/j.gcjs.2024.01.004

## Research on impact of new tunnel construction on adjacent existing metro stations and tunnels

DU Mingfang<sup>1</sup>, ZHANG Peng<sup>1</sup>, YI Lingbing<sup>2</sup>, LI Junhao<sup>3</sup>, YANG Xiaochen<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, Henan, China; 2. China Communications Construction Railway Transportation Division (Railway Transportation Branch I Railway General Research Institute), Beijing 100088, China; 3. China Construction Seventh Engineering Bureau Ltd., Zhengzhou 450000, Henan, China)

**Abstract:** In order to study the impact of shield construction of the new tunnel construction on the adjacent existing metro stations and tunnels, Zhengzhou Rail Transit Line 6 passing through the existing section control protection area between Rail Transit Line 1 Yanzhuang Station and Yanzhuang Station ~ Minhang Road Station is taken as the engineering background, and the finite element software Midas GTS is used to analyze the new tunnel construction on adjacent existing metro stations and tunnels, and the change characteristics of the horizontal displacement and settlement of the new tunnel construction on the adjacent existing metro stations and tunnels are summarized. Based on the numerical calculation results and related specifications, the construction control index of the engineering is proposed, and the reliability of the numerical model is verified by comparing the numerical calculation results with the actual engineering monitoring data collected. The results show that the vertical settlement caused by the excavation of the lower soil is mainly affected by the new

**收稿日期:** 2023-04-27

**基金项目:** 河南省科技厅自然科学基金资助项目(162102210188); 河南省建筑业协会科研开发项目(YJX-2023-K01、YJX-2023-K02)

**作者简介:** 杜明芳(1964—), 女, 教授, 从事地下工程与复杂地基处理技术的研究。

**通信作者:** 张 鹏(1999—), 男, 硕士研究生, 从事地铁隧道及地下空间工程方面的研究。

construction of the existing metro stations and the interval tunnels, and the maximum settlement of the existing stations is 1.83 mm after the construction is completed, and the maximum settlement of the existing Line 1 tunnel is 4.26 mm. The maximum horizontal displacement of the existing stations is 0.65 mm, and the maximum horizontal displacement of the existing Line 1 tunnel is 1.61 mm. The results can provide a certain reference for the design, construction and monitoring of similar engineering.

**Key words:** existing stations; existing tunnels; Midas GTS; settlement; horizontal displacement

随着城市轨道交通的快速发展,轨道交通网络的逐步加密,新建线路邻近既有车站结构及下穿既有隧道的工况将不可避免地出现。新建区间隧道施工会使周围土体出现不同程度的变形,当周围土体产生的变形过大时,会对相邻的既有结构产生一定的影响,进而影响既有地铁的安全与正常运营。

目前,针对新建工程施工对既有结构的影响研究较多。吕高乐等<sup>[1]</sup>以某软土地区邻近地铁车站及盾构隧道的双侧深基坑工程为背景,运用数值计算软件 ABAQUS 对邻近地铁车站及盾构隧道的双侧深基坑施工进行数值模拟,研究了双侧深基坑施工过程中对基坑坑内土体隆起与坑外土体沉降的影响,分析了双侧深基坑施工过程中地铁车站及盾构隧道变形情况,得出地铁车站及盾构隧道变形规律;王远六等<sup>[2]</sup>以小净距既有暗挖站段新建盾构区间隧道工程为背景,对盾构区间隧道工程施工进行设计,并用计算分析程序 Midas 对砂卵石富水区域盾构小净距穿越单洞双线暗挖站施工过程进行数值计算分析,总结了盾构小净距穿越施工过程中既有暗挖站位移变化规律,研究了既有暗挖站明暗挖分界位置变形缝差异沉降特征,分析了既有暗挖站轨道沉降变化走势;易领兵等<sup>[3]</sup>以临近既有地铁站暗挖段的新建地铁盾构区间工程为背景,对地铁盾构区间工程施工进行设计,并用计算分析程序 Midas 对富水细砂地层盾构斜向超近距下穿既有地铁站施工过程进行数值计算分析,总结了盾构斜向超近距下穿施工过程中既有地铁站位移变化特征;张剑涛<sup>[4]</sup>以北京某邻近地铁盾构区间的基坑工程为例,应用三维动态数值计算的方法研究了在应力场与渗流场作用下的建筑物施工全过程对邻近地铁盾构隧道产生的影响;文海涛等<sup>[5]</sup>以广州某基坑工程为工程背景,通过有限元分析软件 Midas GTS NX 建立该基坑和相邻小净距地铁隧道三维模型,模拟分析基坑开挖

过程对地铁隧道结构的受力和变形产生的不利影响,结果表明基坑开挖对相邻地铁隧道变形和弯矩有一定的不利影响,距离基坑支护结构越近的地铁隧道变形越大,但总体处于可控范围内。上述研究成果多集中于新建工程施工对单一的既有车站或既有地铁隧道的影响,而关于邻近既有地铁车站及近距离下穿既有隧道的盾构区间工程的研究较少。

本文以郑州市轨道交通 6 号线穿越既有轨道交通 1 号线燕庄站及燕庄站~民航路站区间控制保护区为工程背景,采用有限元软件 Midas GTS 对新建隧道近距离下穿既有隧道及邻近既有地铁车站进行分析,总结新建隧道施工对邻近既有地铁车站及隧道的水平位移和沉降的变化特征,以期对相似工程的安全施工提供一定的借鉴和参考。

## 1 工程概述

### 1.1 工程概况

既有地铁 1 号线燕庄站车站为地下三层单柱双跨岛式车站,总长度为 174.8 m,底板埋深约为 23.52 m,车站共设 5 个出入口,两组风亭。既有 1 号线燕庄站~民航路站区间隧道采用盾构法施工,隧道顶埋深为 14.52 m。区间隧道盾构法施工段区间管片内径为 5 400 mm,壁厚为 300 mm,外径为 6 000 mm,环宽为 1500 mm。

新建 6 号线博览中心站~燕庄站区间沿未来路南北向位于道路西侧敷设,北端燕庄站与 1 号线换乘。新建 6 号线区间隧道采用盾构法施工,隧道顶埋深为 22.366 m。区间隧道管片内径为 5 500 mm,壁厚为 350 mm,外径为 6 200 mm,环宽为 1 500 mm。区间在燕庄站接收端先后下穿 1 号线燕庄站 B 号出入口通道、燕庄站~民航路站区间隧道以及邻近 1 号线燕庄站车站主体结构及 2 号风亭。

新建 6 号线区间隧道左线距离燕庄站车站主体结构平面最近距离约为 2.36 m;既有 1 号线区

间隧道与新建 6 号线区间隧道竖向最小间距约为 1.88 m。新建 6 号线区间隧道与既有车站及隧道平面相对位置关系如图 1 所示。

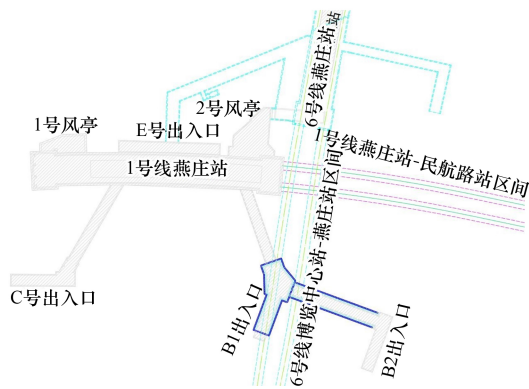


图 1 轨道交通 6 号线博览中心站 ~ 燕庄站  
与 1 号线位置关系平面

1.2 施工保护措施

新建 6 号线区间隧道下穿 1 号线区间时，对盾构机姿态进行控制，减少盾构的超挖和欠挖，以改善盾构前方土体的坍落和挤密现象。对影响范围内管片增设注浆孔，及时同步注浆和二次注浆。在盾构掘进过程中，盾壳与切削后土体间存在空隙，易引发盾体上方土体沉降，因此在常规施工措施的基础上，向盾体外注入克泥效，及时填充开挖直径和盾体之间的空隙。

2 模型建立及计算参数选取

2.1 模型建立及分析步设置

采用有限元数值模拟软件 Midas GTS 建立地层 - 结构模型，重点分析新建 6 号线区间隧道施工对既有 1 号线燕庄站主体结构及燕庄站 ~ 民航路站区间隧道的影响。模型尺寸为 250 m × 180 m × 60 m (长 × 宽 × 高)，采用四面体单元。计算模型采用位移边界条件，四周限制水平位移，底部限制水平和竖向位移，顶部自由，地面超载设置为 20 kPa。整体计算模型和相对位置关系分别如图 2、3 所示，

其中坐标系 X 轴、Y 轴、Z 轴分别为数值模型的宽度、长度和高度方向。

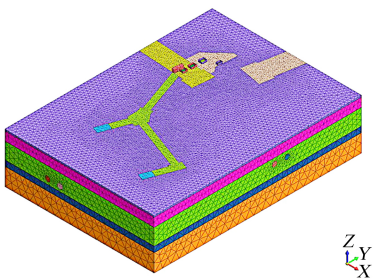


图 2 整体计算模型

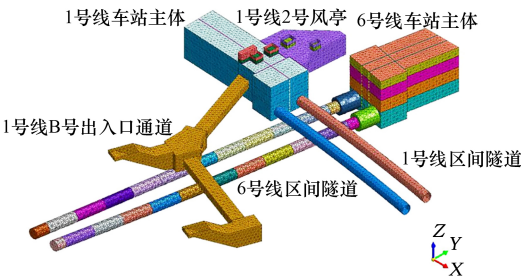


图 3 相对位置关系

根据施工组织计划，结合项目实际情况，在数值模拟分析时细分为 29 个施工步序，划分为 6 个主要工况，具体如下表 1 所示。

表 1 开挖工况

| 工况 | 工况介绍                        |
|----|-----------------------------|
| 1  | 1 号线车站及区间隧道、6 号线车站施工完成，位移清零 |
| 2  | 盾构接收端端头加固                   |
| 3  | 区间隧道左线掘进至邻近既有车站主体范围         |
| 4  | 区间隧道左线完成下穿既有 1 号线区间隧道       |
| 5  | 区间隧道右线掘进至邻近既有车站主体范围         |
| 6  | 区间隧道右线完成下穿既有 1 号线区间隧道       |

2.2 计算参数选取

土体采用实体单元模拟，本构模型采用修正莫尔 - 库伦弹塑性模型。在深度为 60 m 的模型范围内，选取模型土体材料参数如表 2 所示。

表 2 土层材料参数

| 地层   | 厚度/m | 天然重度/(kN·m <sup>-3</sup> ) | 弹性模量/MPa | 黏聚力/kPa | 内摩擦角/(°) |
|------|------|----------------------------|----------|---------|----------|
| 杂填土  | 2.0  | 17.5                       | 9.0      | 5.0     | 5        |
| 黏质粉土 | 18.0 | 19.3                       | 14.7     | 19.0    | 25       |
| 细砂   | 12.0 | 20.0                       | 75.0     | 2.0     | 33       |
| 粉质黏土 | 10.0 | 19.7                       | 24.0     | 36.5    | 20       |
| 粉砂   | 18.0 | 20.0                       | 54.0     | 3.0     | 29       |

在盾构隧道施工阶段以及车站与区间隧道正常使用阶段, 车站结构以及区间隧道衬砌处于弹性变形阶段, 故地铁结构采用板单元模拟, 结构梁柱等采用梁单元模拟。具体参数如表 3 所示。

表 3 结构材料参数

| 材料名称   | 弹性模量/<br>$\times 10^4 \text{ MPa}$ | 重度/<br>$(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$ | 泊松比 |
|--------|------------------------------------|------------------------------------------|-----|
| 车站结构板墙 | 3.15                               | 25                                       | 0.2 |
| 车站结构梁  | 3.15                               | 25                                       | 0.2 |
| 车站结构柱  | 3.45                               | 25                                       | 0.2 |
| 区间隧道管片 | 3.45                               | 25                                       | 0.2 |

3 计算结果分析

3.1 竖向变形

既有车站主体结构和区间隧道的竖向变形云图分别如图 4、5 所示。整个施工过程既有车站主体结构和隧道的竖向位移最大值曲线如图 6 所示。

由图 4~6 可知: 新建区间隧道左线施工完成时, 既有车站主体结构最大沉降量为 1.53 mm; 该工况下 1 号线区间隧道最大沉降量为 2.32 mm。新建区间隧道右线施工完成时, 既有车站主体结

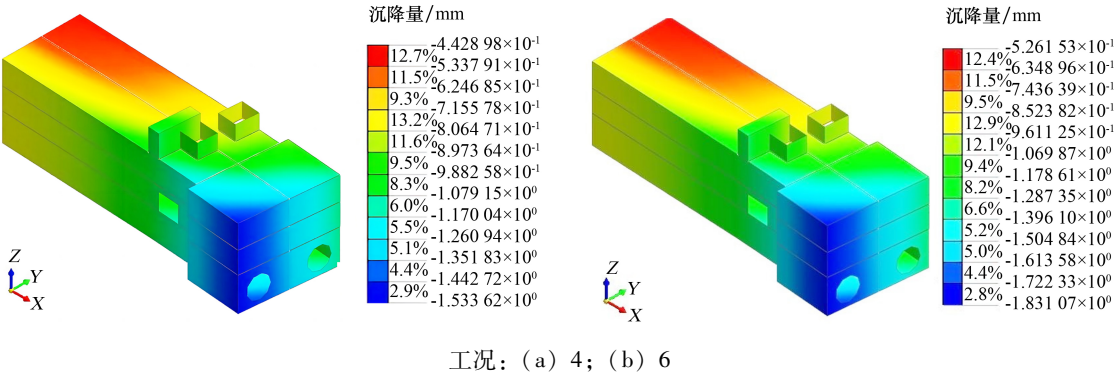


图 4 车站结构竖向变形云图

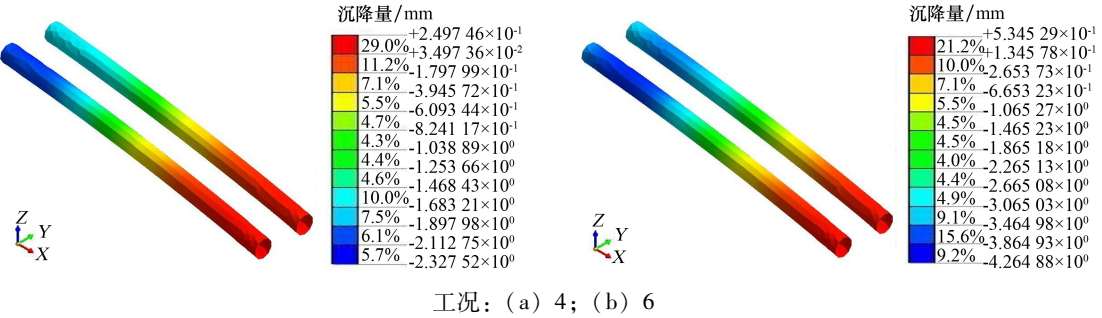
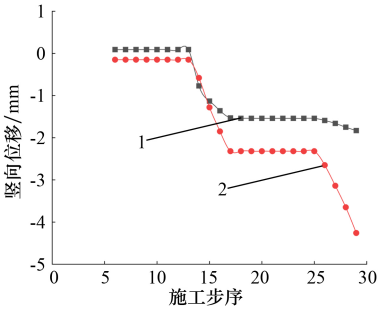


图 5 既有隧道竖向变形云图



1—车站竖向位移值; 2—隧道竖向位移值。

图 6 竖向位移最大值曲线

构最大沉降量增大至 1.83 mm; 该工况下 1 号线区间隧道最大沉降量增大至 4.26 mm。新建区间隧道左线施工完成时, 既有结构最大沉降量超过

总沉降量的 50%。

3.2 水平变形

既有车站主体结构和区间隧道的水平变形云图分别如图 7、8 所示。整个施工过程既有车站主体结构和隧道的水平位移最大值曲线如图 9 所示。

由图 7~9 可知: 新建区间隧道左线施工完成时, 既有车站主体结构最大水平位移为 0.45 mm; 1 号线区间隧道最大水平位移为 0.98 mm。新建区间隧道右线施工完成时, 既有车站主体结构最大水平位移为 0.65 mm; 1 号线区间隧道最大水平位移为 1.61 mm。新建区间隧道左线施工完成后, 既有结构最大水平位移超过总水平位移的 50%。

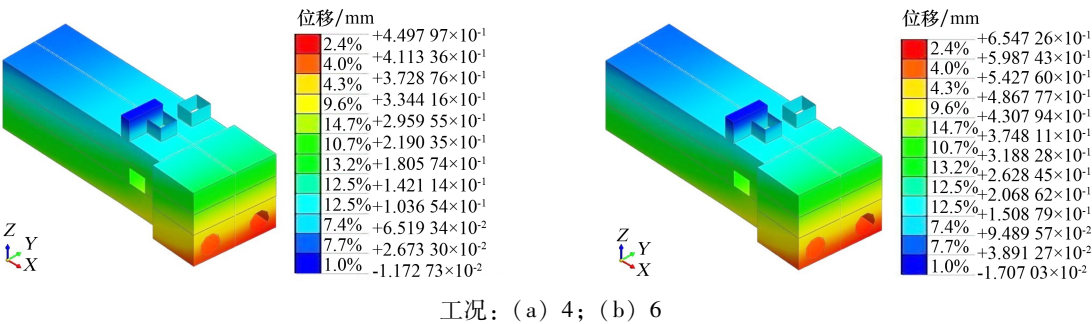


图 7 车站结构水平变形云图

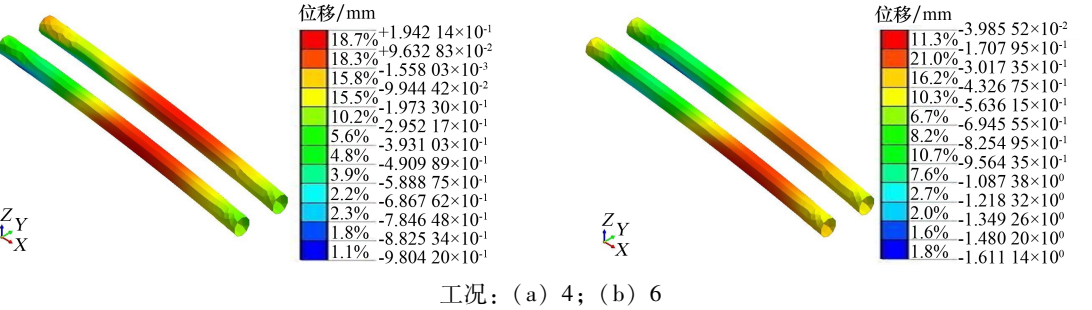
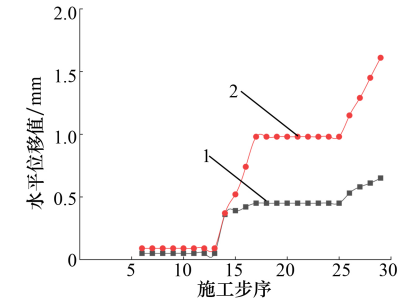


图 8 既有隧道水平变形云图



1—车站水平位移值；2—隧道水平位移值。

图 9 水平位移最大值曲线

4 控制指标及监测数据

4.1 控制指标

根据数值分析和工程实际特点，综合变形预测结果和运营安全的要求，确定盾构施工期间既有 1 号线燕庄站及燕庄站～民航路站区间隧道的变形控制标准，并将控制值的 80% 作为报警值，60% 作为预警值。既有车站和区间隧道的变形控制标准如表 4 所示。

表 4 变形控制标准 mm

| 控制指标         | 预警值 | 报警值 | 控制值 |
|--------------|-----|-----|-----|
| 既有车站主体结构竖向位移 | 6   | 8   | 10  |
| 既有车站主体结构水平位移 | 3   | 4   | 5   |
| 1 号线区间隧道竖向位移 | 6   | 8   | 10  |
| 1 号线区间隧道水平位移 | 3   | 4   | 5   |

4.2 施工监测数据

工程施工监测测点如图 10 所示。通过对沉降监测数据的采集，得知在整个施工过程中，1 号线区间隧道最大沉降量为 3.8 mm，最大水平位移为 1.4 mm；既有 1 号线燕庄站主体结构最大沉降量为 1.5 mm，最大水平位移为 0.5 mm。通过对比监测数据和数值计算结果可知，既有车站和隧道变形监测数据略小于数值计算结果，模型准确性较好。

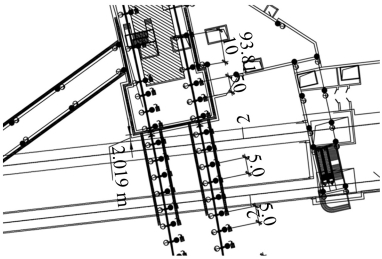


图 10 施工监测点平面 m

5 结 论

本文以郑州市轨道交通 6 号线博览中心站～燕庄站区间盾构隧道穿越既有地铁 1 号线燕庄站及燕庄站～民航路站区间为背景，基于有限元数值模拟软件 Midas GTS，从数值模拟的角度分析了新建 6 号线施工对既有地铁 1 号线燕庄站及燕庄

站~民航路站区间隧道的影响,并与监测数据进行对比分析,得到以下结论。

(1) 既有车站和区间隧道的沉降和水平变形均满足控制标准。

(2) 数值计算结果和监测数据基本一致,验证了数值计算模型的可靠性。

(3) 由于施工的空间效应,新建隧道左线施工完成后,既有车站及区间隧道变形均超过总变形量的 50%,为施工重点控制阶段。

(4) 既有地铁车站和区间隧道受新建隧道施工的影响主要为下方土体开挖引起的沉降,数值计算结果显示,施工完成后,既有车站最大沉降量为 1.83 mm,既有 1 号线区间隧道最大沉降量为 4.26 mm;既有车站最大水平位移为 0.65 mm,既有 1 号线区间隧道最大水平位移为 1.61 mm。

## 参考文献:

- [1] 吕高乐,易领兵,杜明芳,等. 软土地区双侧深基坑施工对邻近地铁车站及盾构隧道变形影响的分析[J]. 地质力学学报,2018,24(5):682-691.
  - [2] 王远六,易领兵,杜明芳,等. 砂卵石富水区域盾构小净距穿越单洞双线暗挖站施工技术[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2023,46(8):1109-1114.
  - [3] 易领兵,陈庆怀,孟旭央,等. 富水细砂地层盾构斜向超近距下穿双洞双线暗挖站施工技术[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2023,46(6):822-827;848.
  - [4] 张剑涛. 建筑物施工全过程对邻近地铁盾构隧道的影响[J]. 工程建设,2022,54(5):36-43;72.
  - [5] 文海涛,黄新晨. 基坑开挖对相邻小净距地铁隧道影响的数值分析[J]. 工程建设,2023,55(2):43-47;65.
- 
- (上接第 17 页)
- [7] 灌溉与排水渠系建筑物设计规范:SL 482—2011[S]. 北京:中国水利水电出版社,2011.
  - [8] 水利水电工程合理使用年限及耐久性设计规范:SL 654—2014[S]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
  - [9] 张建伟,温嘉琦,黄锦林,等. 渡槽仿真参数确定及其非线性接触风振分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2019,40(2):77-83.
  - [10] 丁秀美,刘光士,黄润秋,等. 剪应变增量在堆积体边坡稳定性研究中的应用[J]. 地球科学进展,2004(S1):318-323.