

顶管施工对邻近地铁桥梁的扰动影响

马高伟^{1*}, 何旭¹, 王程鹏^{2#}, 陈保国², 贺洁星²

¹中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都

²中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉

Email: 269788981@qq.com, #wangchpeng@foxmail.com

收稿日期: 2020年11月22日; 录用日期: 2020年12月15日; 发布日期: 2020年12月23日

摘要

城市中进行顶管施工时常会出现靠近或侧穿邻近桥梁桩基等情况, 可能会对桥台造成一定程度的扰动影响。本文以深圳固戍水质净化厂二期工程配水管项目为依托, 通过ABAQUS分析了接收井下沉施工和人工顶管的顶进施工对邻近地铁高架桥台的扰动影响规律。分析认为相比于浇筑过程, 接收井的下沉施工对邻近桥台的扰动影响更大, 并随着下沉深度的增加和距桥台距离的减小而逐渐增大。人工顶管顶进过程对邻近桥台的扰动影响较大, 且扰动程度随着距桥台距离的减小而显著增大, 最大可对邻近桥台产生约0.85 mm的沉降影响。

关键词

顶管施工, 接收井下沉, 人工顶进, 邻近桥台, 扰动影响

Influence of Pipe Jacking Construction on Adjacent Metro Bridges

Gaowei Ma^{1*}, Xu He¹, Chengpeng Wang^{2#}, Baoguo Chen², Jiexing He²

¹Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan

²Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan Hubei

Email: 269788981@qq.com, #wangchpeng@foxmail.com

Received: Nov. 22nd, 2020; accepted: Dec. 15th, 2020; published: Dec. 23rd, 2020

Abstract

Pipe Jacking Construction in the city often appears to be close to or side through the adjacent

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 马高伟, 何旭, 王程鹏, 陈保国, 贺洁星. 顶管施工对邻近地铁桥梁的扰动影响[J]. 土木工程, 2020, 9(12): 1304-1311. DOI: 10.12677/hjce.2020.912136

bridge pile foundation, which may cause certain disturbance to the abutment. Based on the water distribution project of Shenzhen Gushu sewage treatment plant phase II project, this paper analyzes the influence of the subsidence construction of the receiving shaft and the jacking construction of the artificial pipe jacking on the adjacent subway viaduct abutment through ABAQUS. The analysis shows that compared with the pouring process, the influence of the sinking construction of the receiving shaft on the adjacent abutment is greater, and it gradually increases with the increase of the sinking depth and the decrease of the distance from the abutment. The disturbance of adjacent abutments is greatly affected by the process of artificial pipe jacking, which increases significantly with the decrease of the distance from the abutment. The maximum settlement impact on adjacent abutment is about 0.85 mm.

Keywords

Pipe Jacking Construction, Receiving Well Sinking, Artificial Jacking, Adjacent Abutment, Disturbance Effect

Copyright © 2020 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. 引言

顶管工程作为新兴非开挖施工技术被广泛运用于市政管道建设中,然而城市高楼林立,高架桥梁密集分布,经常存在顶管在顶进过程中侧穿邻近桥梁桩基的情况,可能会对桥梁造成一定的扰动影响,严重危害公共安全,因此分析顶管施工对桥梁的扰动影响是顶管施工过程中的重要研究课题。

目前很多学者关于顶管对邻近桥梁桩基的影响做了较多的研究工作。张弛[1]在顶管施工前对穿越段磁悬浮高架下方土体进行注浆加固并监测,认为提前注浆加固可有效预防桥梁支墩变形。王颖等[2]认为可在桥桩和顶管之间使用高压旋喷桩设置隔离墙来进一步减小管道顶进对桥梁桩基的影响。李岳[3]依托实际工程建立数值模拟分析了顶管下穿顶进对高架桥梁和上覆相交雨水管线的影响,认为顶管顶进对桥梁影响较小而对浅埋的雨水管线有着较大的扰动作用。郑琳[4]通过实际监测数据认为顶管机头偏大的顶推力和管土摩擦会引起前方土体及邻近的高架桥墩出现少量隆起,顶管顶进对周围土体的扰动程度主要与顶力、顶速及地层分布等因素有关。高骏等[5]采用数值模拟对近接桥梁施工的顶管顶进地层注浆预加固及不同触变泥浆减摩等保护方案的应用结果进行研究,结果表明对桩侧土进行预加固可有效减少桥桩的水平横向变形,采用超灌触变泥浆减阻方案可有效降低对桥桩的纵向变形影响。

本文依托深圳固戍水质净化厂二期工程配水管线顶管项目,采用 ABAQUS 数值模拟软件对顶进施工过程进行数值模拟,分析了接收井下沉施工和近距离人工顶管开挖对周围土体及邻近高架桥梁基础的扰动影响规律,可为类似工程的施工参数优化和防护措施提供参考。

2. 数值模拟

2.1. 工程概况

本项目以深圳固戍水质净化厂二期工程配水管铺设为依托,配水管顶进部分全长 210 m,主要分为前半部分约 180 m 长的顶管机顶进段和后半部分约 30 m 长的人工顶进段,两项进段以新建的接收井进行连接,接收井以沉井法施作。接收井为直径 6 m 的沉井,深度约为 12 m,距离地铁高架桥台 3 最近处约

为 38 m。配水管道内径为 2.6 m，采用 C40 防水混凝土预制，单片管长为 1 m，管片厚度为 0.26 m。覆土厚度为 7.6 m，施工场地各土层物理力学参数自上而下如表 1 所示。

Table 1. Physical and mechanical parameters of soil layers

表 1. 土层物理力学参数

土层名称	层厚/m	重度/(kN/m ³)	黏聚力/(kPa)	内摩擦角/(°)	压缩模量/(MPa)	变形模量/(MPa)
黏性素填土①	4.61	16.7	8	10	3.2	3.5
碎石素填土②	2.3	18.5	5	22	/	5.5
淤泥③	5.81	17.1	6	1.8	2.79	3.0
淤泥质中砂④	1.88	17.5	5	18	3.2	3.4
粉质黏土⑤	2.05	19.8	18	15.0	4.8	6.5
黏土质粗砂⑥	2.13	18.2	22.1	20	5.3	11
粗砂⑦	1.66	19.5	0	29	/	30
残积土⑧	5.19	18.3	21	22.4	4.6	30
风化花岗岩⑨	4.13	19.0	24	22.9	7	60

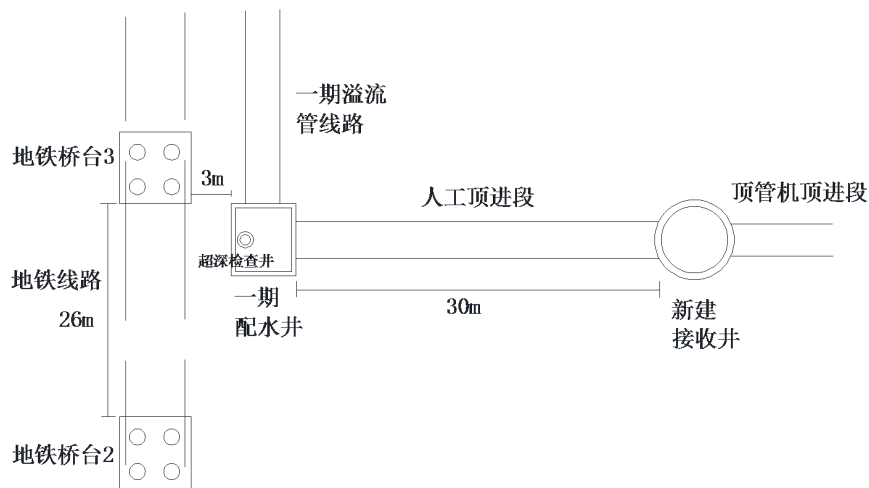


Figure 1. Project location plan

图 1. 工程平面位置图

施工场地边缘与地铁 11 号线高架桥梁线路平行且距离较近，邻近的三个桥台自南向北分别命名为桥台 1，桥台 2 和桥台 3，相邻桥台间距 26 m，工程平面分布如图 1 所示。桥墩高度依次减小，分别为 3.35 m，2.63 m，1.72 m，采用 C50 混凝土，作用在桥墩上的列车荷载采用标准地铁荷载加上满载乘客时的荷载进行考虑。顶管施工过程中，接收井下沉施工以及近距离人工顶进施工均有可能会对后方的地铁高架桥梁产生一定的扰动影响。

2.2. 计算模型

数值模拟采用 ABAQUS 建立模型并进行计算分析。根据现场施工情况，建立了两个不同尺寸的模型分别模拟了接收井下沉以及人工顶进施工对高架桥梁的沉降影响。模型除顶面以外的五个边界全部施加法向位移约束。土体采用摩尔 - 库伦弹塑性本构模型，各土层参数见表 1。顶管管片采用 C40 混凝土，接收井使用 C50 混凝土。

模型采用分步开挖法用来模拟顶管施工时的动态顶进过程，在管片与隧道侧壁之间建立接触面用来模拟顶进过程中管土之间的侧壁摩阻力对周围土体的扰动作用。向掌子面处施加正应力来模拟工具管前端的支护作用，假设支护力均匀作用于掌子面。接收井则根据实际情况采用逐级下沉的方式进行模拟，并在接收井外壁与土体之间建立接触面来模拟下沉过程接收井受到的摩擦阻力对周围土体及高架桥梁的扰动作用。

3. 接收井施工对高架桥台的影响

接收井连接着顶管机顶进段和人工顶进段，既作为接收井也作为人工顶进段的始发井，直径为 6 m，深度约为 12 m，采用沉井下沉方式进行施工。接收井距离地铁高架桥台较近，最近处距离仅为 38 m。接收井首先会在地表进行浇筑，然后进行下沉，在浇筑过程中的集中荷载作用以及后期下沉过程中的摩擦扰动作用均会对沉井周围一定范围内的土体以及后方的地铁桥梁桩基产生一定的扰动影响。

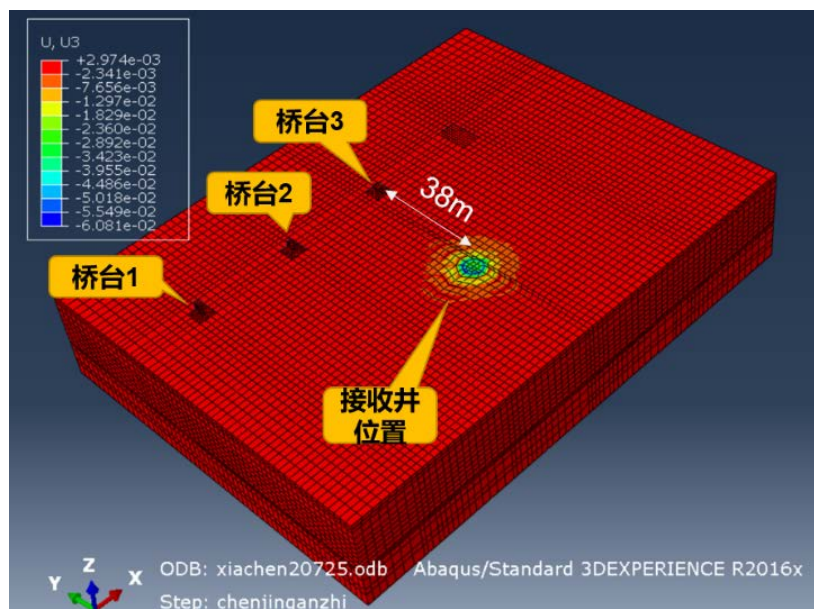


Figure 2. Cloud chart of influence on surrounding surface settlement after receiving well pouring

图 2. 接收井浇筑完成后对周围地表沉降影响云图

接收井在浇筑过程中对周围土体的扰动影响随着浇筑高度即自身重量的增大而不断增加，现考虑极端情况即接收井的 12 m 高度全部在地表一次性浇筑完成。如图 2 所示，当接收井在地表浇筑完成后对地表造成的最大沉降预估为 5 cm，发生于接收井边缘处。接收井自身重量产生的应力集中对周围的影响范围约为 10 m，基本不会影响到地铁高架桥台，随着距接收井距离的增加，地表处产生的沉降值也逐渐减小直至趋于平稳，如图 3。距离接收井 5 m 范围内地表沉降急剧变化，表明接收井的浇筑施工会对 5 m 范围内的土体产生较强烈的扰动作用。

接收井在下沉过程中与侧壁土体间会产生强大的摩擦力，在侧壁摩擦力与自身重力的双重作用下接收井的下沉过程会对周围土体产生强烈的扰动作用。当接收井下沉完成后，地表沉降曲线见图 4，周围土体的最大沉降达到 22 cm，主要位于接收井边缘处，对周围土体的扰动范围也会增大至 15 m，相比于下沉前，沉降范围和沉降值都有显著增大，但对较远处高架桥台的影响仍然有限。距离接收井 10 m 范围内地表沉降急剧变化，表明接收井的下沉过程对周围 10 m 范围内的土体均有着强烈的扰动作用。因此认

为在距接收井 10 m 范围内若存在管线或其他地下设施,需要在接收井施工前进行必要的加固或迁移处理以保障安全。

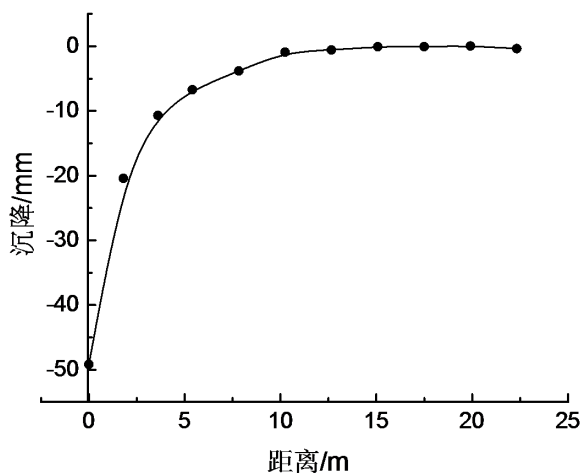


Figure 3. Surface settlement curve around receiving well after pouring

图 3. 接收井浇筑完成后周围地表沉降曲线

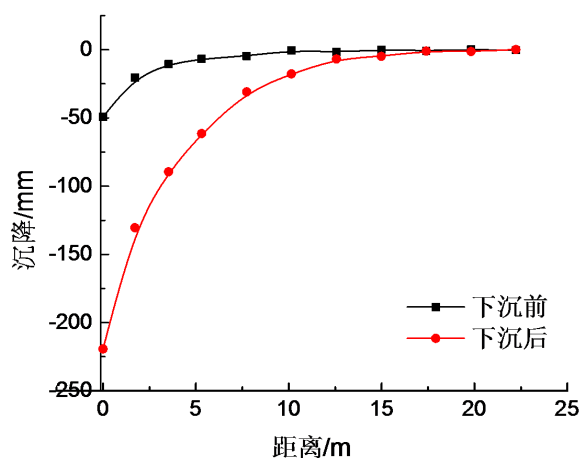


Figure 4. Surface settlement curve around receiving well before and after sinking

图 4. 接收井下沉前后周围地表沉降曲线

由于高架桥台距离接收井较远,因此受接收井下沉施工影响也较小,见图 5。当接收井在地表浇筑完成后对方三个桥台均会产生不到 0.02 mm 沉降的微小扰动,扰动程度较小且对各桥台的影响没有明显差异。随着接收井开始下沉,对桥台的扰动影响也逐渐增大,下沉前期约 4 m 深度范围内扰动作用急剧增大,之后随着下沉深度的增加接收井的扰动影响逐渐趋于平缓增大。随着距接收井距离的减小,下沉施工的扰动作用逐渐增大,因而下沉过程对距离最近的桥台 3 产生了最大的扰动影响,当接收井完全下沉后会对桥台 3 产生约 0.22 mm 的沉降,而桥台 1 和桥台 2 的沉降值分别约为 0.1 mm 和 0.17 mm。总体而言接收井的浇筑过程对地铁桥梁的影响较小,对相邻三个桥台的扰动基本接近,但接收井的下沉过程对桥台影响明显增大,且扰动程度随着距离的减小而逐渐增大。根据模拟结果认为在接收井下沉过程中需要加强对邻近高架桥台的监测,并积极做好防范措施。

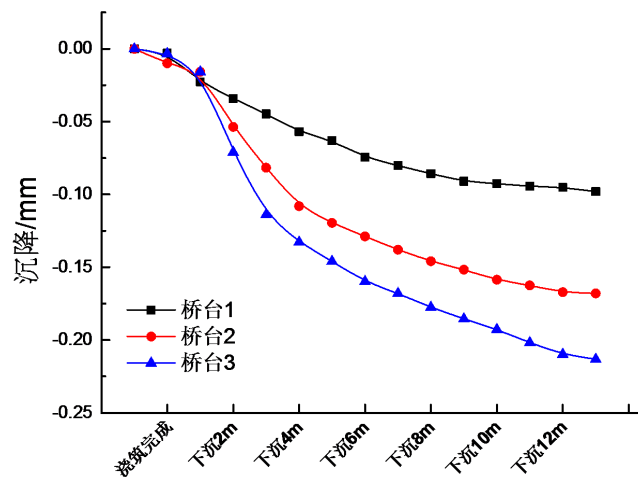


Figure 5. Influence of receiving well sinking process on abutment
图 5. 接收井下沉过程对各桥台影响

4. 人工顶进施工对高架桥台的影响

如图 6 所示, 人工顶进段由于距离地铁线路较近, 且顶进方法为人工掘进, 在顶进过程中一般不会进行注浆减小摩阻力, 同时掌子面上的支护力也相对较小, 因此在顶进过程中会对周围土体造成较大的扰动作用。

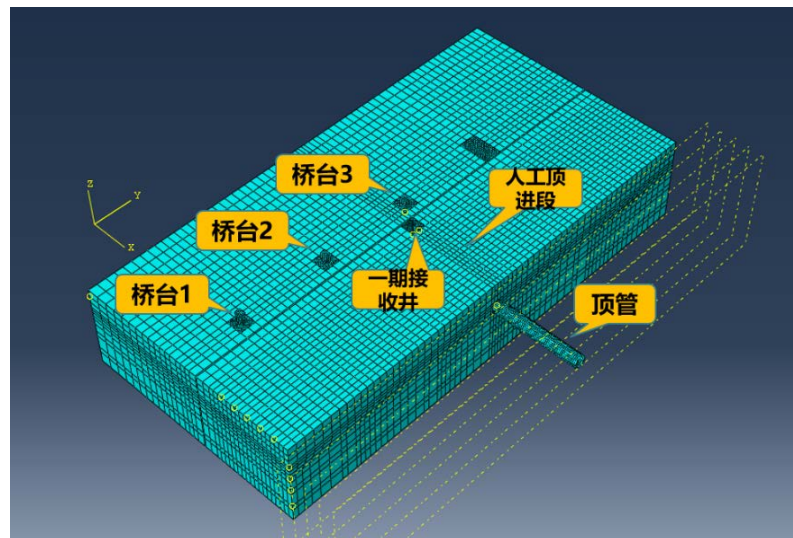


Figure 6. Numerical model of artificial pipe jacking
图 6. 人工顶管顶进数值模型

由于人工顶进段管节直径较大, 且在顶进施工过程中不使用注浆减阻, 掌子面支护力也相对较小, 因此在人工顶进过程中会对周围土体产生更大的扰动影响。人工顶进段在顶进过程中会对地表土体产生的横向沉降曲线如图 7 所示, 最大沉降达到 4.3 cm 位于顶管的正上方, 对顶管两侧土体的扰动范围约为 15 m (约 5D, D 为顶管直径), 对周围土体的扰动程度和扰动范围均大于前半部分顶管机顶进段。顶管两侧工作井端口处均有加固, 所以顶管在出洞和进洞时地表沉降相对较小, 人工顶进段管节可能会存在一定的管节不均匀沉降现象, 因此在顶进过程中需要密切关注管节的轴线偏移准备随时对轴线偏斜进行调整。

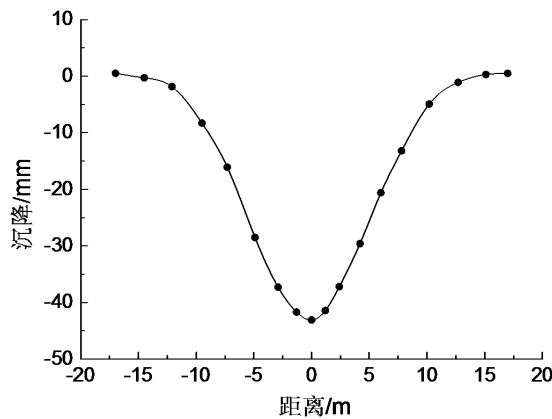


Figure 7. Lateral settlement curve of ground surface during artificial pipe jacking

图 7. 人工顶管顶进时地表横向沉降曲线

人工顶进对桥台的影响由远至近逐渐增大,对桥台 3 的扰动影响最大。如图 8 所示,由于距离较远,人工顶进过程会对桥台 1 产生最大仅 0.007 mm 的沉降,影响很小,而桥台 2 在顶进过程中受扰动会产生微小的沉降,最大沉降值约为 0.04 mm。而距离最近的桥台 3 受顶管施工影响较大,由于顶管顶推力的作用及与周围土体的摩擦作用,桥台 3 会随着顶管的靠近沉降值逐渐增大,且当顶进距离超过 15 m 之后桥台受扰动影响程度也开始迅速加剧,当顶管接近接收井时桥台达到最大沉降 0.85 mm。

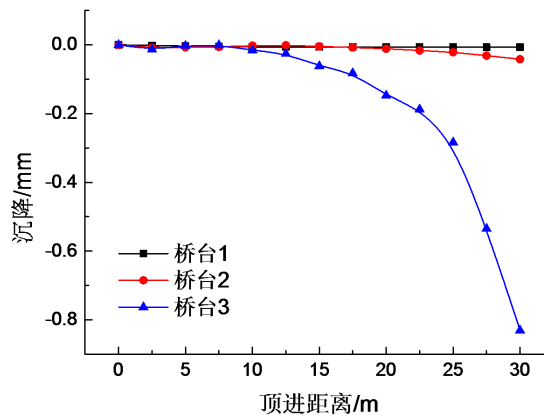


Figure 8. Influence of artificial pipe jacking on abutment

图 8. 人工顶管顶进对各桥台影响

综合以上对顶管施工过程的分析研究,认为在施工过程中接收井下沉与人工顶进施工由于距离后方高架桥梁较近,在施工过程会对周围环境及邻近桥梁产生较大的扰动作用,因此在施工过程中需要对高架桥梁进行持续监测确保高架桥梁的安全。人工顶进过程由于距离桥梁距离不断减少且支护力较小,因此相比较于沉井下沉施工对高架桥梁会产生更大的扰动影响,必要时可考虑在桥台和接收井之间部分区域土体进行加固处理形成一道隔离墙尽量减少顶进施工对后方桥台的扰动作用。

5. 结论

本文通过数值模拟分别分析了接收井下沉和人工顶管顶进施工过程对周围土体及邻近地铁桥梁的扰动影响规律,得出以下结论:

1) 本项目接收井下沉施工对周围土体的扰动范围为 10 m, 接收井浇筑过程对邻近三个桥台扰动影响较小, 下沉过程对桥台扰动影响较大且扰动程度随下沉深度的增加和距桥台距离的减小而逐渐增大。

2) 人工顶管顶进过程对管段中轴线两侧土体的影响范围约为 15 m, 会对邻近桥台产生一定的沉降扰动影响, 且随着距桥台距离的减小而显著增大, 最大可对相邻桥台产生约 0.85 mm 的沉降影响。

3) 人工顶进过程需要加强对邻近桥台的监测, 必要时可考虑在桥台与接收井之间部分区域土体进行加固处理形成隔离墙以减小施工过程对桥台的扰动作用。

基金项目

国家自然科学基金(51108434)。

参考文献

- [1] 张弛. 大直径顶管穿越磁浮线路变形影响实例分析[J]. 土工基础, 2017, 31(1): 4-7+13.
- [2] 王颖, 赵华, 赵业海. 给水管道顶管穿越既有公路桥梁影响研究[J]. 天津建设科技, 2017, 27(2): 54-55.
- [3] 李岳. 大直径顶管穿越高架桥及雨水管影响分析[J]. 施工技术, 2018, 47(S4): 1258-1261.
- [4] 郑琳. 基于大型顶管穿越高速公路的环境影响分析[J]. 上海国土资源, 2018, 39(2): 75-77+83.
- [5] 高骏, 孟小伟, 马龙祥, 张超, 刘锦超. 软土地层顶管法地下通道近接桥梁施工保护方案研究[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(S2): 234-241.