

富水砂卵石地层大型地铁车站基坑变形与支护结构受力分析*

刘季富

(中铁十四局集团隧道工程有限公司, 250002, 济南//高级工程师)

摘要 依托成都5号线青羊宫站富水砂卵石地层深基坑工程,对车站基坑的开挖变形与支护结构受力进行了分析。结果表明,采用截水帷幕可有效阻断基坑内外的水层交流,改变基坑内外水流路径,降低截水帷幕幕墙以外总水头影响,有效保障基坑周围建筑物的稳定性;在距基坑边界0.4~2.4倍基坑宽度区域内,有无截水帷幕在横、纵断面上对基坑降水的敏感度存在显著差异,随着砂卵石地层厚度增大,其差异越明显;砂卵石地层卸荷时,土层原来的平衡状态受到破坏,引起砂卵石块滚动,产生砂卵石块静、动荷载叠加,加剧挤压围护结构侧向变形,钢支撑所受轴力显著增大。

关键词 地铁;车站基坑;基坑变形;支护结构;富水砂卵石地层

中图分类号 TU441⁺.6:U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.06.009

Foundation Pit Deformation and Supporting Structure Stress Analysis of Large Metro Station in Water-rich Sandy Cobble Stratum

LIU Jifu

Abstract Based on the deep foundation pit project in water-rich sandy cobble stratum of Qingyanggong Station of Chengdu Metro Line 5, the excavation deformation of station foundation pit and the stress of supporting structure are analyzed. Results show that the water cut-off curtain can effectively block the exchange of water layers inside and outside the foundation pit, changing the water flow path inside and outside the foundation pit, reducing the influence of the total head outside the water cut-off curtain wall, and effectively ensuring the stability of the buildings around the foundation pit. In the area D (0.4~2.4 times of foundation pit width) away from the boundary of the foundation pit, there is a significant difference in the sensitivity of the water cut-off curtain to the foundation pit precipitation on the transverse and longitudinal sections. The difference becomes more obvious with the increase of the thickness of sandy

cobble stratum. When the sandy cobble stratum removes load, the balanced status of soil layer is disturbed, causing cobbles rolling, adding up the static and dynamic load of sandy cobbles, forcing lateral deformation of enclosure structure, and increasing axial forces on steel support evidently.

Key words metro; station foundation pit; foundation pit deformation; supporting structure; water-rich sandy cobble stratum

Author's address China Railway 14th Bureau Group Tunnel Engineering Co., Ltd., 250002, Jinan, China

在基坑施工过程中,不仅要保证基坑结构自身安全稳定,还要保障基坑周边环境能满足正常使用要求。尤其城市中的深基坑施工,若支护不当,基坑内土体卸载将会威胁周边既有重要建筑物的安全^[1-2]。文献[2-5]分析了基坑施工对临近高架桥桩变形、承载力的影响,通过设定不同工况确定影响分区,以指导实际施工;文献[6-10]基于实际工程,分析了复杂地层基坑开挖对既有地铁车站的力学响应,以判断近接工程控制因素并对其进行风险评估。

综上所述,大型深基坑施工存在风险,同时亦会危及周边重要建筑物,而富水砂卵石地层基坑降水导致的风险更大。本文以成都5号线(以下简为“5号线”)青羊宫站深基坑为工程背景,该深基坑处在成都特殊的富水砂卵石地层,具有强渗透性,且基坑施工产生的复杂性与可变性亟需探明。本工程首次在砂卵石地层中引入止水帷幕,综合考虑基坑变形、基坑施工及支撑体系,分析超厚富水砂卵石地层对基坑变形与支护结构受力的影响。

1 工程概况

青羊宫站为5号线的中间站,车站位于一环路

* 中国铁建昆仑投资集团有限公司科技研究开发计划项目(2019-1);中铁十四局集团有限公司科技研发项目(2017-09)

西二段与青羊上街交叉路口北侧,与远期 13 号线预留通道换乘条件。青羊宫站为 12 m 岛式站台,主体结构沿一环路路中布置,呈南北走向,如图 1 所示。

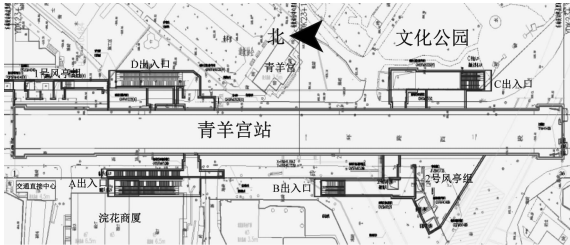


图 1 成都地铁 5 号线青羊宫站总平面图
Fig. 1 General plan of Qingyanggong Station of Chengdu Metro Line 5

青羊宫站采用明挖法施工。为保证一环路交通疏解需求,分别于十字路口及青羊宫门口设永久顶板。车站北端接双线矿山法隧道,南端为双线盾构始发。该车站长 282.7 m、宽 21.5 m、深 21.5 m,为大型深基坑工程。地下连续墙采用 ϕ 1 200 mm @2 000 mm 钻孔桩。施工期间采用管井井点降水。青羊宫门前盖挖范围第 1 道支撑采用截面宽度与高度均为 600 mm 的混凝土支撑,其余内支撑采用 ϕ 609 mm、管壁厚 16 mm 的钢管支撑,共设 4 道支撑。第 1 道支撑水平间距为 6 m,第 2、3、4 道支撑水平间距均为 3 m。另外,在下穿隧道内设置 1 道换撑,采用 ϕ 609 mm、管壁厚 16 mm 的钢管支撑。

2 青羊宫站基坑施工模拟分析

2.1 计算模型的建立

依托 5 号线青羊宫站基坑施工方案和设计资料,基于圣维南原理,充分考虑边界效应的影响,采用 MIDAS 有限元软件,建立青羊宫站三维数值仿真模型,如图 2 所示。

车站基坑总长 282.7 m、宽 21.5 m、深 21.5 m。青羊宫门前和青羊正街道路采用盖挖法施工,这两个区域第 1 道支撑采用混凝土支撑,其余内支撑采用钢管支撑,共设 4 道支撑,并设 4 道腰梁,见图 2 b)。其中,车站基坑支护体系,包括围护桩、内支撑、地连墙、冠梁等结构采用实体单元;基坑开挖土体与地层采用修正摩尔-库伦本构模型。根据青羊宫站详细勘察阶段岩土工程勘察设计参数建议值,车站支护体系和地层土体物理力学参数选取见表 1~2。

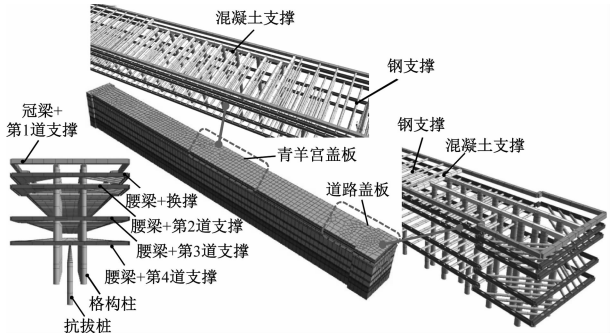


图 2 青羊宫站有限元计算模型
Fig. 2 Finite element calculation model of Qingyanggong Station

表 1 青羊宫站基坑支护体系物理力学参数
Tab. 1 Physical and mechanical parameters of foundation pit supporting system of Qingyanggong Station

结构名称	重度/(kN/m ³)	弹性模量/GPa	泊松比
钢支撑	78.5	200.0	0.3
混凝土支撑	25.0	31.5	0.2
冠梁	25.0	31.5	0.2
腰梁	78.5	200.0	0.3
格构柱	25.0	31.5	0.2
抗拔桩	25.0	31.5	0.2
围护结构	25.0	31.5	0.2

青羊宫站基坑降水深度分别设置为 6.35 m、13.10 m、18.35 m 和 23.05 m。基坑降水总水头云图如图 3 所示。

2.2 基坑施工模拟结果分析

2.2.1 基坑施工变形分析

2.2.1.1 基坑周边地表沉降分析

在青羊宫站基坑中,由于青羊宫盖板和青羊正街盖板(见图 2)的存在,以及所采用混凝土支撑及支撑结构体系的变化,导致基坑周边地表沉降出现等值线分区闭环;地表呈下沉趋势,而基坑底部出现明显隆起现象。如图 4 所示。

2.2.1.2 地连墙水平变形分析

选取基坑中 3 个特征位置的测线(见图 5)对地连墙水平变形进行分析,如图 6 所示。由图 6 可知,随着基坑开挖土卸载,地连墙后土体产生回弹变形挤压围护结构,开挖深度越大,基坑底部基础变形越明显;在青羊宫站所在地层中,上覆土层的施工引起地连墙水平变形较小;当开挖至砂卵石地层时,由于砂卵石地层颗粒之间存在较大空隙且无黏

表 2 青羊宫站土层物理力学参数

土层 编号	岩土名称	体积质量/ (g/cm ³)	孔隙比	黏聚力/ kPa	内摩擦角/(°)		侧压力 系数	压缩模量/ MPa	变形模量/ MPa	渗透系数/ (m/d)	泊松比
					降水前	降水后					
<1-1>	杂填土	1.80	0.690	19	16			3	4.5	0.005	0.30
<2-2>	粉质黏土	2.01	0.771	20	18		0.40	5	8.0	0.050	0.28
<2-4>	细砂	1.85	0.870	0	21	25	0.38	5	8.0	8.000	0.25
<2-5>	中砂	1.90	0.760	0	22	25	0.35	9	15.0	10.000	0.25
<2-9-1>	松散砂卵石	2.00	0.700	0	25	35	0.33	13	20.0	22.000	0.20
<2-9-2>	稍密砂卵石	2.10	0.700	0	30	38	0.30	16	25.0	22.000	0.23
<2-9-3>	中密砂卵石	2.20	0.700	0	35	45	0.25	18	28.0	22.000	0.20
<2-9-4>	密实砂卵石	2.30	0.700	0	42	50	0.20	19	30.0	22.000	0.17
<5-2>	强风化泥岩	2.15	0.300	65	30		0.25	28	45.0	0.400	0.23
<5-3>	中等风化泥岩	2.25	0.300	300	35			31	50.0	0.400	0.23

注:土体的黏聚力、内摩擦角、降水后内摩擦角等参数由直剪快剪试验测出。

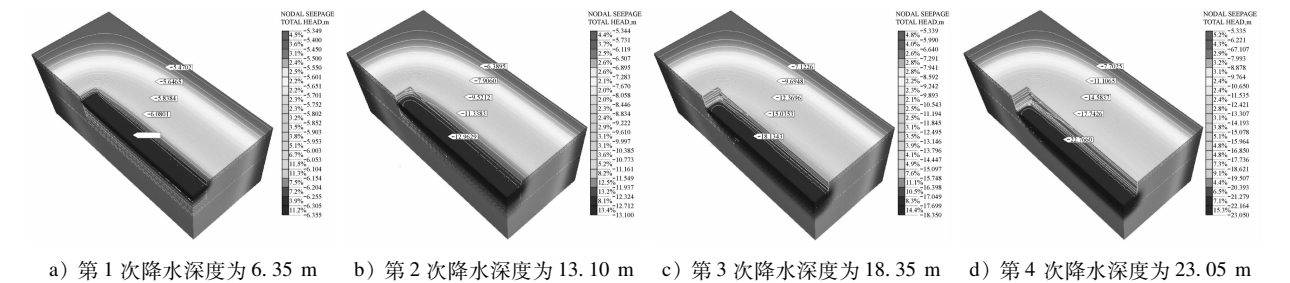


图 3 设置截水帷幕的基坑降水总水头云图

Fig. 3 Nephogram of total head of foundation pit precipitation with water cut-off curtain

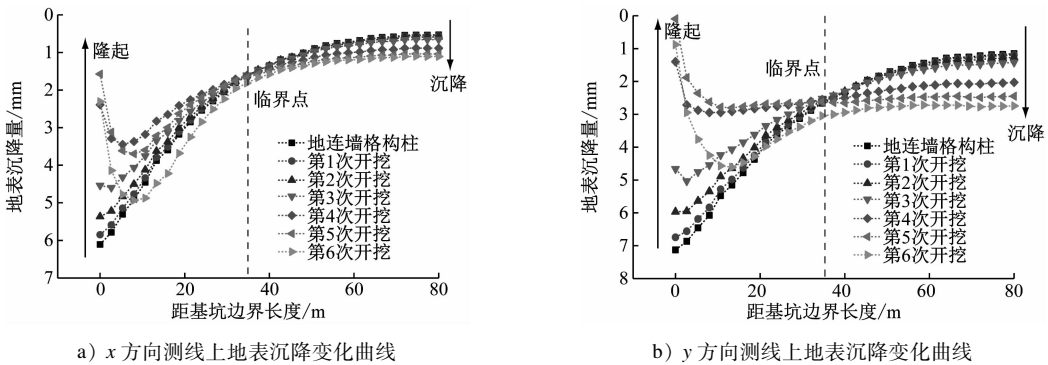


图 4 基坑周边地表沉降变化曲线

Fig. 4 Curve of surface settlement around foundation pit

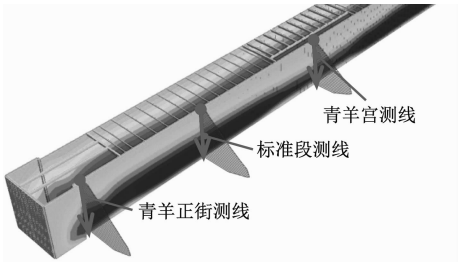


图 5 地连墙水平变形测线位置

Fig. 5 Position of diaphragm wall horizontal deformation measuring line

接力,施工扰动对地层的影响灵敏。随着基坑开挖,原来的岩土体应力平衡状态受到破坏,引起砂卵石块滚动,砂卵石块碰撞加剧挤压围护结构变形。故在基坑深度 10 m 以下需严格控制钢支撑轴力,控制地层变形,减少周边地层扰动。

2.2.2 支护结构内力分析

基于青羊宫站基坑工程,探究砂卵石地层基坑施工时钢支撑的内力变化规律。选取车站基坑端头扩大区域的各层钢支撑,并对其轴力进行分析,

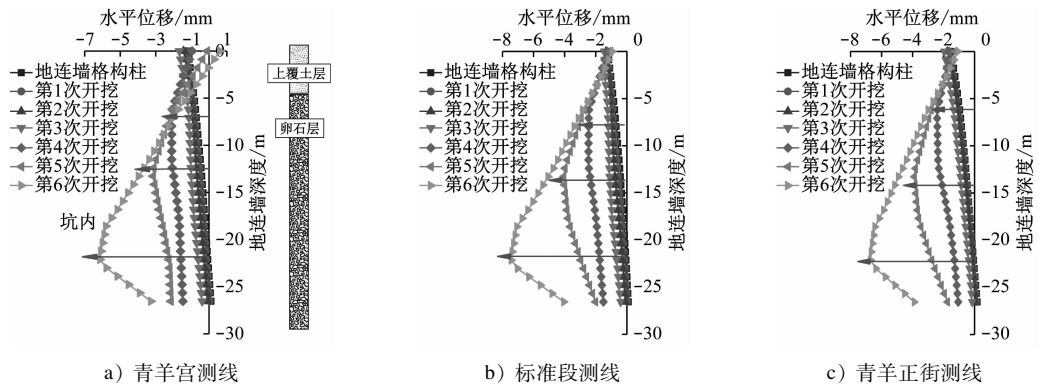


图6 地连墙水平变形随开挖深度变化曲线

Fig.6 Variation curve of horizontal deformation of diaphragm wall with excavation depth

如图7所示。由图7可知,随着上覆土层开挖,钢支撑轴力变化缓慢;随基坑开挖深度增大,特别是开挖至砂卵石层时,钢支撑轴力显著增大;基坑底部变形显著,所需支撑轴力也较大。

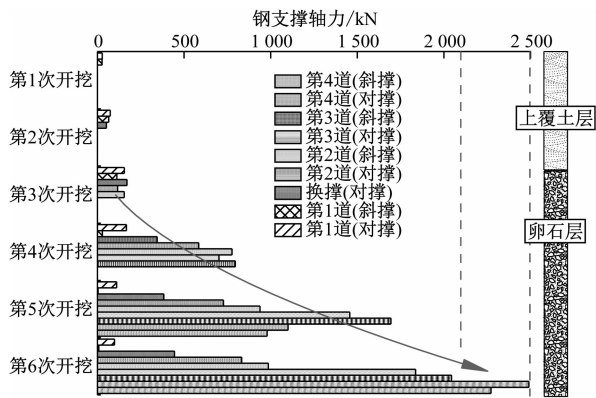


图7 钢支撑轴力变化曲线

Fig.7 Variation curve of axial force of steel support

3 结论

1) 基坑降水施工中,截水帷幕的存在,可有效阻断基坑内外的水层交流,改变基坑内外水流路径,缩小了坑内降水对幕墙以外的地下水位影响,有效保障了周围建筑物的稳定性。

2) 富水砂卵石地层中“长条形”深基坑降水时,在距离基坑边界 $10 \sim 50 \text{ m}$ ($(0.4 \sim 2.4)D$, D 为基坑宽度) 范围内,有无截水帷幕在基坑纵剖面与横断面上对基坑降水的敏感度上存在显著差异,且随砂卵石地层厚度增大,其差异越明显。

3) 富水砂卵石地层基坑土体卸载,距离基坑边界 $0 \sim 35 \text{ m}$ ($(0 \sim 1.5)D$) 范围内地表呈小幅度隆起趋势,距离基坑边界 35 m 之外 ($> 1.5D$) 的地表呈

小幅度沉降趋势,且基坑 X 向断面较 Y 向断面地表沉降变化显著。

4) 青羊宫站所在的砂卵石层是力学不稳定地层,颗粒间空隙较大、无黏聚力,颗粒间点对点传力。卸荷时土层原来的平衡状态受到破坏,引起砂卵石块滚动,砂卵石碰撞加剧挤压围护结构变形。因此,基坑深度 10 m 以下需设钢支撑轴力伺服系统,控制围护结构侧向变形,减少地层扰动。

参考文献

- [1] 吴义明. 盾构下穿沪杭高铁高架桥设置围护桩的效果分析[J]. 城市轨道交通研究, 2016 (6): 122.
WU Yiming. Analysis of the retaining pile construction in shield tunnel crossing the viaduct piers on Shanghai-Hangzhou high-speed railway[J]. Urban Mass Transit, 2016(6): 122.
- [2] 杨国宝, 吴义明, 李强. 盾构下穿沪杭高速铁路高架桥的施工技术[J]. 城市轨道交通研究, 2013 (9): 101.
YANG Guobao, WU Yiming, LI Qiang. Construction technique of shield crossing under Shanghai-Hangzhou high-speed railway [J]. Urban Mass Transit, 2013(9): 101.
- [3] 张骁, 肖军华, 农兴中, 等. 基于 HS-Small 模型的基坑近接桥桩开挖变形影响区研究[J]. 岩土力学, 2018 (增刊 2): 263.
ZHANG Xiao, XIAO Junhua, NONG Xingzhong, et al. Analysis of influenced zone of foundation pit excavation adjacent to bridge pile foundation using HS-small constitutive model[J]. Rock and Soil Mechanics, 2018(S2): 263.
- [4] 李明阳. 深基坑开挖对桥桩基础变形影响及特性分析[D]. 泉州: 华侨大学, 2019.
LI Mingyang. Analysis of deformation effect and characteristics of bridge pile foundation caused by deep foundation pit excavation [D]. Quanzhou: Huaqiao University, 2019.
- [5] 程玉兰, 王毅红. 软土深基坑与邻近地铁车站相互变形影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2019 (9): 14.

(下转第 52 页)