

杭州地区基坑开挖对临近运营隧道的影响分析

周航生

衢州市浙工大生态工业创新研究院

摘要: 杭州某基坑工程临近运营区间隧道, 本文通过基坑监测数据、轨道交通设施监测数据, 分析基坑开挖对运营隧道的影响, 利用有限元软件Midas/GTS软件分析隧道变形后的服役性能。

关键词: 基坑开挖; 运营隧道; 变现分析; 修复

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.06.040

一、引言

随着近几年地铁工程在各个城市飞速建设, 地铁隧道工程与周边工程交集越来越多。地铁公司相继建立地铁保护区间, 对地铁保护影响范围内的建设工程按要求开展工程评价, 在施工过程中持续跟踪监测, 针对变现超过预警值的运营隧道, 要进行一定的服役性能分析, 然后有针对性地开展隧道修复, 以满足长远运营的需求。文献^[1-3]结合相关工程进行了数值分析, 本文结合杭州某工程监测数据分析了基坑开挖对运营隧道的影响。

二、工程简介

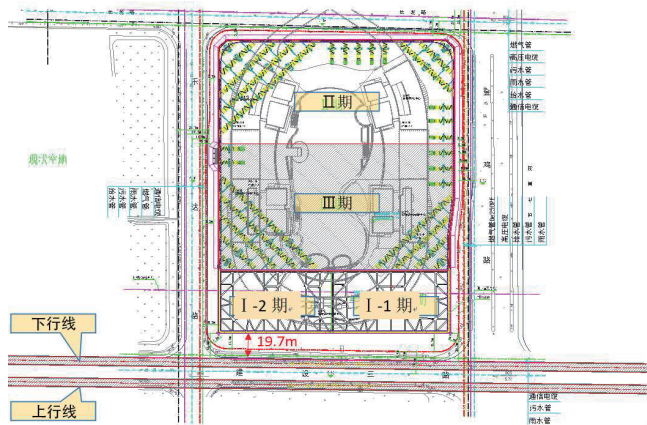


图 2-1 工程位置平面示意图

基坑工程为地下2层框架结构, 基坑总长约162m, 宽约216m, 面积34992m²。根据基坑开挖顺序, 由北向南分为II期、III期与I期, 按I-1、I-2、II、III期顺序开挖。项目基坑一般开挖深度约为9.80m, 局部深承台位置开挖深度为1.00m, 采用桩筏基础, 工程桩采用φ600和φ800钻孔灌注桩, 桩长32~36m, 桩底位于圆砾层。

基坑采用三轴搅拌桩及TRD止水帷幕, 坑内外采用自流深井降水(临近地铁侧坑外深井不降水, 仅做观测兼备用井), 同时配合明沟排水。地铁隧道保护区范围内(I期)坑中坑采用800@600高压旋喷桩作为重力式挡墙及坑底加固, 地铁隧道保护区范围外(II期、III期)坑中坑采用850@600三轴搅拌桩作为重力式挡墙及坑底加固。邻地铁设施侧围护各工艺施工工序为TRD→

围护桩→被动区加固→围护桩与被动区加固之间高压旋喷桩嵌缝、TRD与围护桩之间进行压密注浆。

基坑南侧道路下为在运营地铁隧道区间, 区间位于②-2砂质粉土以及③-1淤泥质黏土层中, 承压水中部主要赋存于第④-1层粉砂, 区间埋深14.5~17.5m, 其中下行线隧道边距基坑外边线最小净距为19.7m, 典型剖面见图2-2。

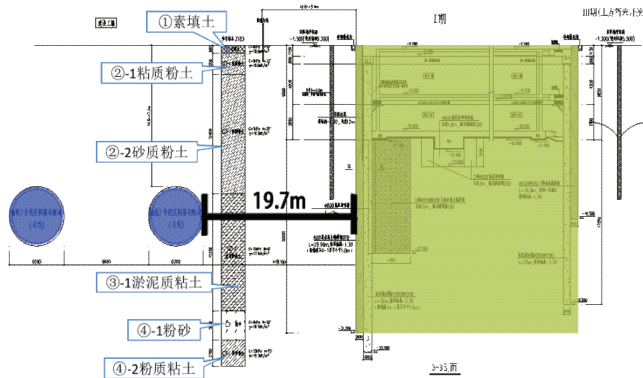


图 2-2 剖面示意图

三、基坑监测数据分析

在基坑南侧重点布设沉降观测点, 根据设计要求临近地铁侧监测项目报警值取值如下:

- 1) 深层土体水平位移: 累计水平位移为25mm, 水平位移速率超过3mm/d;
- 2) 桩身水平位移: 累计位移25mm; 水平位移速率超过3mm/d;

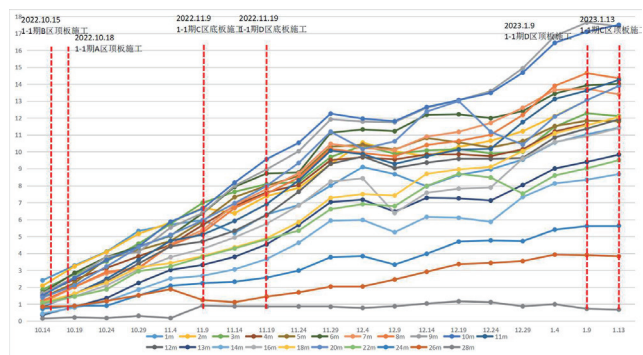


图 3-1 DZCX14 桩体水平位移随时间变化曲线图

项目基坑施工期间, 由于基坑采取了分坑设计与施工, 充分利用了空间效应, 基坑变形控制较为理想, 临地铁侧围护结构侧向变形未超过设计变形报警值, 其中最大桩体水平位移值为17.65mm (DZCX14), 见图3-1、最大深层土体水平位移值为18.31mm (DTCX1), 见图3-2; 地表沉降最大值为-3.6mm (DCJ19-1), 未超过报警值; 水位变化未超过报警值。

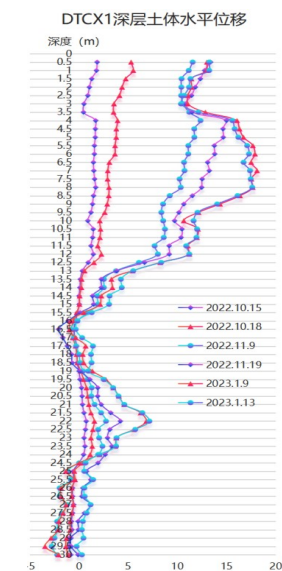


图 3-2 DTCX1 深层墙体水平位移随深度变化曲线图

基坑施工过程中，保护区内隧道总体上以水平位移和水平收敛扩张为主要变形特征，在基坑施工完成后，隧道逐渐趋于稳定。

四、区间监测数据分析

根据最终监测结果，至II期、I期完成地下室结构施工完成，施工引起的下行线水平收敛（最大值5.1mm）及水平位移（最大值5.2mm）均超过了控制值±5mm。

基坑工况如下：I-1土方开挖→I-1期A区底板闭合→I-1期B区底板闭合→I-1期B区顶板闭合→I-1期A区顶板闭合→I-2期C区底板闭合→I-2期D区底板闭合→I-2期D区顶板闭合→I-2期C区顶板闭合。

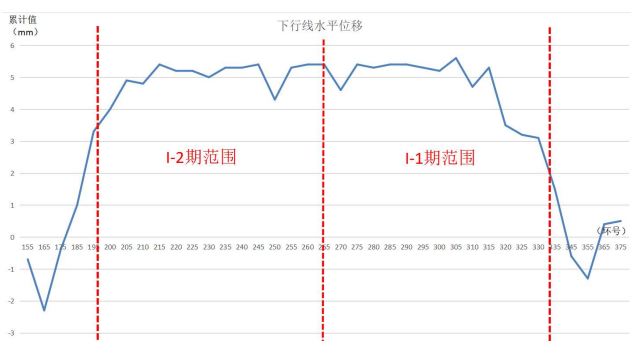


图 4-1 截至 I、II 基坑工程完成下行线水平位移累计变化量分布曲线图，水平位移（最大值 5.2mm）

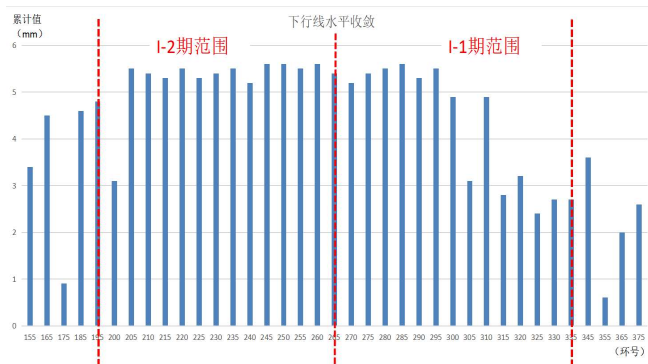


图 4-2 截至 I、II 基坑工程完成下行线水平收敛累计变化量分布曲线图水平收敛（最大值 5.1mm）

针对下行线隧道水平位移及水平收敛超控制值的情况，选取典型测点对各施工阶段的变形量占比进行对比，其中215环、230环及245环对应I-1期基坑，其中290环、305环及315环对应I-2期基坑。

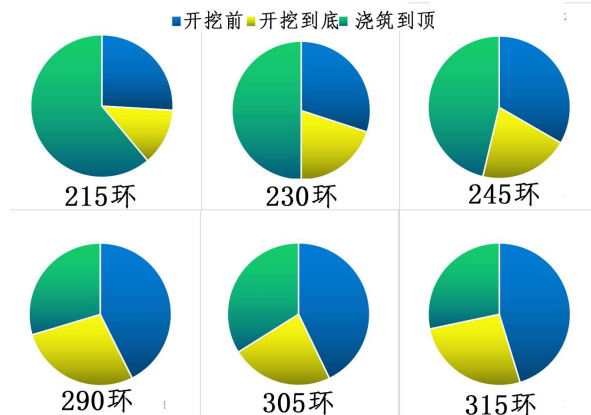


图 4-3 下行线水平位移各施工阶段占比图

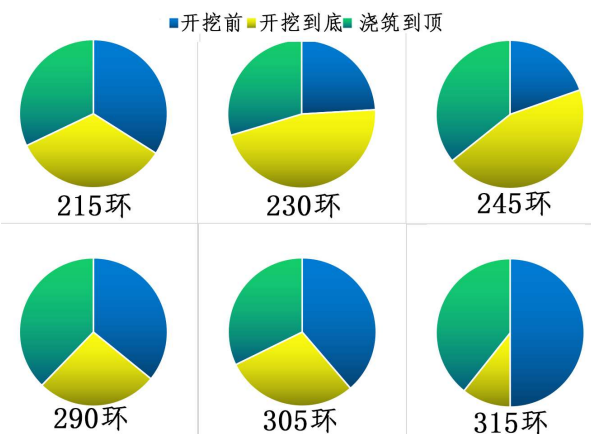


图 4-4 下行线水平收敛各施工阶段占比图

从图中可以看出，I-1期施工期间基坑开挖前围护施工阶段的变形量占比较大；I-2期施工期间基坑开挖前围护施工阶段的变形量占比变小，基坑开挖及回筑阶段的变形量占比变大。结合现场施工情况，变形量较大的主要原因是基坑范围内提前降水导致过早侧向卸载，最终导致隧道水平位移和收敛相对较大，在施工过程中，根据报警分析会专家意见，及时制止了提前降水，因此I-2期所受的影响小于I-1期。下行线区间隧道最终状态调查病害分类统计见表4-1。

表 4-1 下行线区间隧道最终状态调查病害分类统计表

病害类型	分类	下行线	
		基坑施工前	基坑施工后
渗漏水	湿迹（处）	0	1
	渗水（处）	21	9
管片损伤	裂缝（条）	1	26
	缺损（处）	10	10
管片环间错台	最大错台量（mm）	15.7924	18.3122
	发生位置	184～185环之间	360～361环之间
管片裂缝	最大裂缝宽度（mm）	0.49	0.39
断面尺寸	最大水平直径差异量（mm）	49.2	49.3
	发生位置	346环	346环

五、数值分析管片服役性能

利用大型通用有限元软件Midas/GTS建立三维实体模型，模拟下行线变通最大管片从安装至水平收敛值增加至49.3mm后的内力和变形。原则上，施工不能使隧道的应力状态超过弹性极限，即管片承受的拉应力应小于2.64MPa，螺栓承受的拉应力应小于500MPa。

模型中混凝土管片、弯螺栓均用实体单元建模。数值模拟中管片接头接触面为硬接触即面面接触方式，该接触能够比较合理地模拟管片接头的变形。管片间接触面摩擦系数设为0.4，接头摩擦力和螺栓共同提供隧道接头的抗剪能力^[4-5]。通过在管环表面设置土弹簧来模拟土体和盾构管片的相互作用，地层抗力和荷载分布如图5-1所示。隧道顶部作用上覆土体自重应力，底部作用地基反力，两侧作用静止土压力。根据地勘指标，土体侧压力系数为0.6。

表 5-1 模型材料与参数表

螺栓	大小	M30
	数量	12
	材料	钢
	弹性模量 (N/m ²)	2.06×10 ¹¹
	屈服应力 (MPa)	500
	泊松比	0.3
	单元类型	B31
管片	外径 (m)	6.2
	内径 (m)	5.5
	壁厚 (m)	0.35
	宽度 (m)	1.2
	材料	混凝土
	弹性模量 (N/m ²)	3.45×10 ¹⁰
	单元类型	C3D8

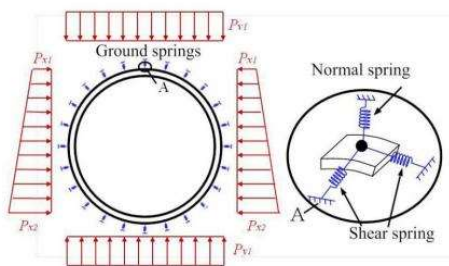


图 5-1 计算模型示意图

根据计算结果，当管环的累计水平收敛49.3mm时，管环混凝土承受的最大拉应力约2.40MPa，螺栓承受的最大拉应力为122.02MPa；管环混凝土应力和螺栓应力均在允许范围之内，满足服役性能要求。

六、结论及建议

本工程基坑开挖期间的对区间的影响控制相对较好，说明通过采用合理分坑分块开挖施工，充分利用基坑空间效应，有利于基坑变形控制。但基坑开挖前、围护结构施工阶段对区间的影响控制不太理想，在涉及深厚淤泥质土层时，应充分重视前期围护结构施工对区间的影响，细化施工场地布置、严格控制施工超载。坑内建议按需进行疏干降水，对于采取硬分隔措施分坑施工的基坑，未开挖的部分禁止降水，避免提前降水对区间隧道的不利影响。

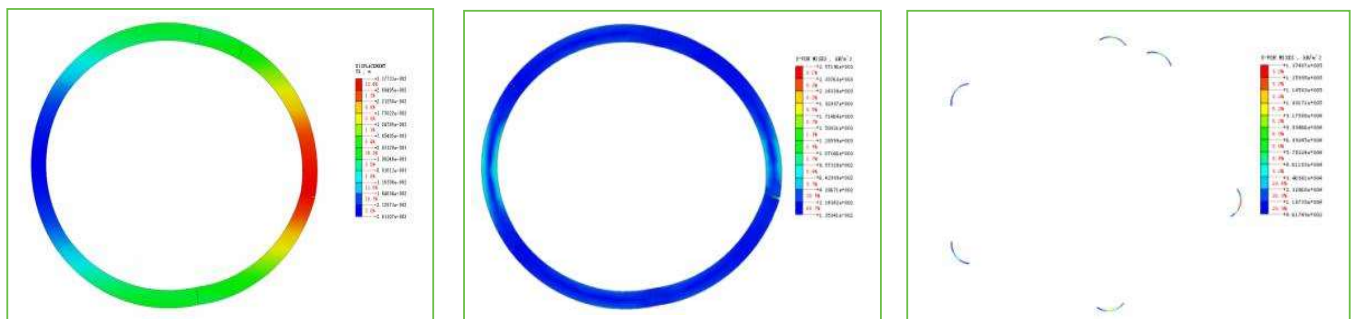
局部坑中坑采用底板浇筑完成达到强度后进行开挖施工的措施，有利于基坑和地铁变形的控制，在变形控制要求较高的项目中值得推广。

临近工程施工前应建立完整的测量和监控量测系统，对既有区间隧道的沉降、变形、接缝张开量等进行监测，监测频率及周期应通过施工模拟段的具体情况确定，确保实时反映盾构施工对既有区间隧道的影响。

对于发生病害的位置建议及时进行修复，对湿迹处嵌填密封止水，对渗水处注浆止水，裂缝宽度 $W < 0.2\text{mm}$ 涂抹水泥基渗透结晶防水材料，裂缝宽度 $0.2\text{mm} \leq W < 0.5\text{mm}$ 进行灌浆法处理。

参考文献

- [1]周航生. 砂质粉土地区基坑开挖对临近既有隧道的影响研究[D]. 浙江工业大学, 2016.
 - [2]马少俊; 王乔坎; 苏凤阳; 徐建章; 郑伟; 陈思源. 邻地铁盾构隧道超长基坑支护技术——以杭州大会展中心基坑工程为例[J]. 建筑科学, 2022 (05)
 - [3]散骞骞, 王长丹, 周瑜亮. 基坑开挖对邻近地铁隧道管片变形的影响规律[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25 (08) .
 - [4]王如路, 张冬梅. 超载作用下软土盾构隧道横向变形机理及控制指标研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35 (06)
 - [5]刘德军, 黄宏伟, 左建平等. 盾构管片横向大变形TRC控制方法及作用机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36 (08)
- 作者简介: 周航生(1990-), 男, 汉, 浙江省衢州市人, 工程师, 硕士学位, 研究方向: 建设工程管理。



(a) 管片变形云图 (设定水平收敛水平收敛 49.3mm) (b) 管片应力/kPa (最大拉应力约 2.40MPa) (c) 螺栓应力/kPa (最大拉应力为 122.02MPa)

图 5-2 三维结构-荷载模型计算结果