

复杂环境下矩形顶管下穿软土设计探讨

徐树斌

武汉市政工程设计研究院有限责任公司 湖北 武汉 430023

摘要：轨道交通地下车站出入口受制于周边交通、管线等环境因素及地质条件因素，特别在地下水发育地段，采用顶管法施工，同时配合合理的超前支护措施及接收方案，能有效的控制地面、管线沉降；顶管机采用分体接收时，无需设置接收场地，能减小施工对地面道路的占用。

关键词：顶管法；超前支护；分体接收；地面沉降

城市轨道交通是现代大城市交通的发展方向，发展轨道交通是解决大城市病的有效途径，也是建设绿色城市、智能城市的有效途径，城市轨道交通的大发展成为趋势^[1]。轨道交通地下车站是一个功能集合的综合性大型公共建筑设施，既要满足客流进出站疏散要求，又要满足规划、市政、景观等多种设计要求。

地铁车站出入口是联系车站内外，满足乘客集散的重要节点。轨道交通地下车站出入口布置，经常受制于周边交通、管线等环境因素及地质条件因素。下面结合某地铁车站出入口顶管设计，从结构断面拟定、施工辅助措施、端头加固等方面对该类型出入口设计进行探讨。

1 工程概况

1.1 工程概况

车站V出入口横穿珞狮南路快速路，东临丽岛花园小区，北临公交车站。V出入口平面布置呈“Z”字型，出入口净宽5.0m，长度99.13m（暗埋段85.36m）。V出入口采用明挖+顶管施工，顶管段长22.40m，其余为明挖段。顶管段纵坡为1.4%，覆土厚度约5.40~5.75m，顶管下穿BH=6.0m×2.0m雨水箱涵、JS砼Ø800、TR钢Ø529中压、TR钢Ø325中压、电线等构筑物或管线^[2]。如图1图2所示。

1.2 工程地质情况

本工程范围地貌单元为剥蚀堆积平原区及湖泊堆

积区（三级阶地），由上往下依次为杂填土和素填土层（ Q^{ml} ）、软土（ Q^1 ）层、第四系全新统、更新统冲洪积（ Q^{al+pl} ）层，下伏基岩。V号出入口洞身位于软土层（1-3）淤泥质粘土、（1-5）粘土，基底位于（10-1）粉质黏土层。临近V号出入口侧车站主体采用半盖挖法施工。

各岩土层主要物理力学参数如下表1：

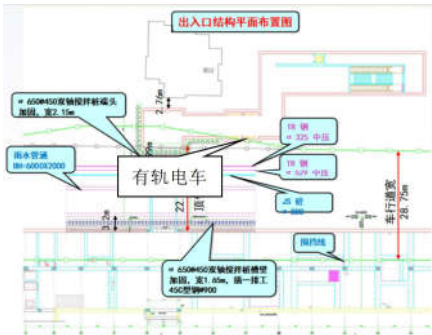


图1 V出入口平面布置及周边环境图

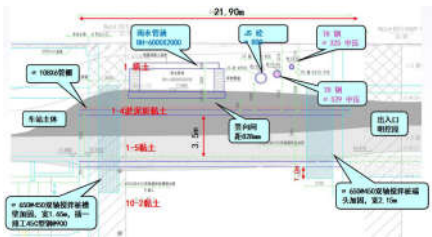


图2 V出入口顶管段纵剖面图

表1 岩土物理力学参数表

序号	岩土名称	天然重度	承载力特征	压缩模量	抗剪强度指标		静止侧压力系数 K_0	基床系数		水平渗透系数K
		γ (kN/m^3)	f_{ak} (kPa)	$E_{s(1-2)}$ MPa	黏聚力C (kPa)	摩擦角 φ ($^\circ$)		垂直 K_v (MPa/m)	水平 K_x (MPa/m)	
1-1	杂填土	19.8	/	/	8	18	0.48	/	/	5.0
1-2	素填土	19.0	90	6.0	12	10	0.47	25	23	0.50
1-4	淤泥质粘土	17.9	60	3.0	12	5	0.62	6	7	0.01
1-5	黏土	18.9	90	5.0	16	8	0.55	22	23	0.02
10-1	粉质黏土	19.8	220	10.0	30	15	0.45	30	32	0.004
10-2	黏土	20.4	480	17.5	42	17	0.40	53	48	0.02

1.3 水文地质情况

根据拟建场地地下水主要为潜水、上层滞水。

车站所处位置原为原南湖水域，因修建道路填湖而成。填土层中赋存潜水，主要接受地表排水与大气降水补给，其次接受南湖水体的侧向补给。

上层滞水主要赋存于场地上部人工填土中。当南湖常水位低于填土层底板时，填土层中可赋存上层滞水。上层滞水主要接受大气降水，生活用水及给排水管涵的渗透入渗补给。

1.4 暗埋段设计难点

第一，暗埋段地层条件差，洞身位于软土层（1-3）淤泥质粘土/（1-5）粘土。

第二，地面须保持双向六车道，且沉降控制要求高。地面为珞狮南路快速路，地面交通量大，施工期间不能中断。

第三，地下管线复杂。主要刚性管线有：砖砌雨水箱涵/燃气管/污水管。

第四，车站主体侧无接收条件，顶管须分体接收。

第五，顶管接收端，车站主体施工期间布置的型钢水泥土墙须拔除。

第六，V号出入口东侧位丽岛小区高层房屋，西侧位车站主体。地面为珞狮南路快速路，施工期间交通不得中断^[3]。

2 暗埋段顶管设计

2.1 工法选择

V号出入口下穿珞狮南路，出入口西侧为正在施工的车站主体，东侧为丽岛花园小区13层的房屋，且地面交通须保持贯通，管线无迁改路径。鉴于周边环境条件/地面交通需求/工期等因素，可采用浅埋暗挖法和顶管法，两种工法比较如表2：

表2 浅埋暗挖法和顶管法比较

项目	浅埋暗挖法	顶管法
结构型式	马蹄形双层复合式结构	预制矩形单层结构
预加固措施	掌子面全断面注浆+“门”字管幕	顶板“一”字超前大管棚
对箱涵影响	与结构竖向间距约0.63m，与管幕竖向间距约0.23m	与结构竖向间距约1.13m，与管棚竖向间距约0.85m
施工风险	管幕施工精度要求高；隧道上半断面位于流塑状淤泥质黏土层，容易发生涌泥、涌水；地面道路沉降过大	顶管进出洞易发生涌水、涌土；端头加固需临时占用部分路面（一个车道）；地表道路隆（沉）
费用可控性	一般	好
施工进度	施工慢，工期不可控	施工快，工期可控
对车站影响	须对车站接口进行改造	顶管分体接收，不影响车站施工。
工程造价	造价高	造价较高

通过施工风险、对既有箱涵影响、工程费用、施工进度等方面进行比较，采用顶管法施工。

2.2 顶管施工工艺设计

V号出入口顶管段管节总长19.50m，从出入口明挖段往车站主体施工，车站主体侧分体接收。车站主体侧主体围护施工已设置 $\varnothing 650@450$ 双轴搅拌桩槽壁加固，内插工45C型钢 $@900$ ；顶管段 $\varnothing 159@300$ 管棚施工前需对顶管范围内的工45C型钢进行拔除，型钢拔除后的孔洞采用1：0.8~1.0水泥浆压灌密实。顶管段施工顺序如下：

- （1）明挖段结构施工（含洞口钢环预埋）；（2）工45C型钢 $@900$ 拔除、[25B $@250$ 隔离槽钢打设；（3）始发端头加固、接收端头利用 $\varnothing 650@450$ 双轴搅拌桩+地表袖阀管注浆封孔加固；（4） $\varnothing 50$ 袖阀管水平注浆加固（车站主体侧施工）；（5） $\varnothing 159@300$ 管棚施工；（6）顶管顶进施工；（7）地连墙破除→顶管机分体接收；（8）洞口环梁及顶管机段混凝土浇筑^[4]。

2.3 预制顶管结构设计

顶管环节顶管采用矩形C50钢筋混凝土管片，管片内尺寸：4000mm $\times$ 6000mm，管片外尺寸：4900mm $\times$ 6900mm，管片厚度：450mm。管片采用“F”型承插式接头。顶管段采用11节标准管节+1节加长管节，标准管节长1500mm，加长管节长1890mm。主结构横断面见图4。



图3 顶管机分体接收图

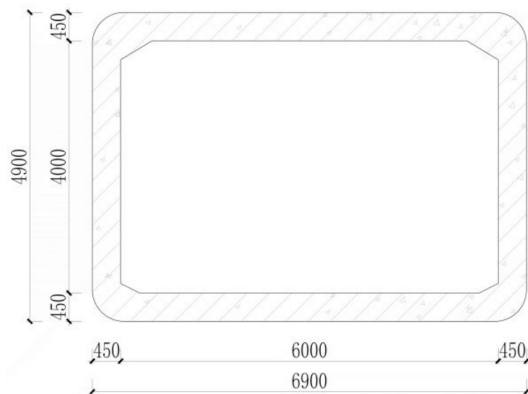


图4 预制段管节断面 (单位: 毫米)

2.4 现浇段管节设计

现浇段管节采用钢壳混凝土结构, C50现浇钢筋混凝土+矩形钢板外壳(钢板外壳厚度20mm), 管片内尺寸: 3880mm×5880mm, 管片外尺寸: 4920mm×6920mm, 管片厚度: 450mm, 管片环宽: 1500mm。外层钢壳/现浇混凝土钢筋与预制管节接头焊接, 刚性连接。

2.5 辅助措施设计

超前大管棚: 采用 $\phi 159 \times 6$ 无缝钢管, 沿着顶管外侧0.30m布置。

端头加固设计: 端头加固采用 $\phi 650 @ 450$ 双轴搅拌桩端头加固, 加固范围为结构外3.0m范围。

2.6 下穿箱涵(6000×2000)的保护处理措施

雨水箱涵(6000×2000)车站段沿洛狮南路敷设, 埋深约4.6m, 顶管下穿雨水箱涵。根据现场查看, 箱涵为钢筋混凝土顶、底板, 砖砌侧墙。箱涵与顶管竖向间距约0.877m, 箱涵基底位于1-4淤泥质黏土。对箱涵底部采取 $\phi 159 \times 6$ 大管棚+ $\phi 50$ 袖阀管水平注浆的预加固措施。顶管结构与箱涵位置关系见图5。

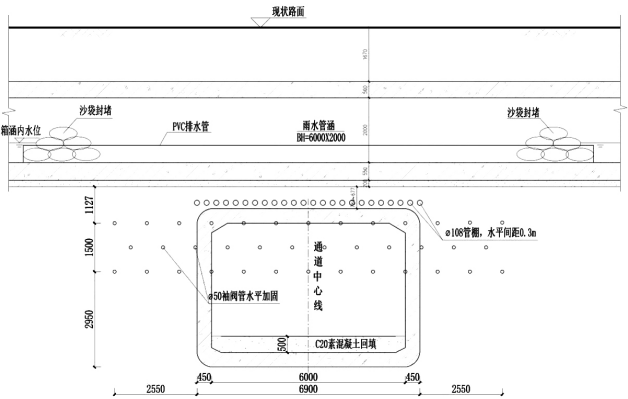


图5 顶管结构与箱涵位置关系横剖面图 (单位: 毫米)

超前大管棚采用 $\phi 159 \times 6$ 无缝钢管, 管棚长度 $L = 19.6\text{m}$, 在顶管外侧打设, 打设坡度同出入口纵坡。在围护桩实施后安设, 设置于桩中心和桩间。超前大管棚施

工采用非开挖水平导向钻进技术, 管棚应深入车站围护结构不小于0.5m。超前大管棚设计参数如下: ①钢管规格: 热轧无缝钢管 $\phi 159\text{mm}$, 壁厚6mm, 节长3m、6m。钢花管与钢管间隔布置, 钢管施工时先打设钢花管并注浆, 然后打设钢管, 以便检查钢花管的注浆质量。②管距: 水平间距中至中300mm。③隧道纵向同一横断面内的接头数不大于50%, 相邻钢管的接头至少错开1m。④管棚前端设长为10cm锥头, 尾部焊 $\phi 10\text{mm}$ 加强箍。⑤超前注浆采用1:0.5~1水泥浆液(0.5~1.0MPa)。注浆结束后用M20水泥砂浆充填钢管, 以增强管棚强度。

雨水箱涵底(1-4)淤泥质黏土层采用 $\phi 50$ 袖阀管水平注浆加固, 加固从车站主体侧施工, 平面加固范围为顶管两侧不小于2.0m范围内。 $\phi 50$ 袖阀管采用梅花型布置, 间距1000×750mm, 加固浆液均采用1:0.5~1水泥、水玻璃双液浆(0.5~1.0MPa)。

箱涵过水断面较大, 雨水季节流量大, 应做好施工工筹, 出入口在枯水季节施工。枯水季节雨水较少, 截断顶管外3m范围内水流, 通过设置排水管导流, 减小雨水下渗风险。

顶管施工中应控制掘进参数, 加强同步注浆及补充注浆, 同时应加强箱涵及箱涵路面的监测, 同时对箱涵段路面进行临时围挡, 保证路面安全。

结论

V号出入口位于软土地层, 下穿箱涵、燃气管竖向间距小, 地面交通对路面沉降要求高。根据地表监测结果显示, 地面沉降均满足要求。现对复杂条件下软弱地层顶管设计总结如下: (1)在软土地层, 顶管施工能有效控制地面沉降, 降低施工风险, 加快施工进度; (2)在复杂环境条件下, 采用超前预支护措施, 配合顶管施工的复合措施, 能有效控制地面沉降; (3)顶管施工无接收条件时, 可采用分体接收, 采用现浇管节, 减小接收对邻接段结构的施工干扰。

顶管法是城市地下空间建设中一种可靠的施工工法, 在软土地层、地下水发育地段同时采用合理的超前支护措施配合顶管, 能有效的控制地面沉降、保护周边建筑物/管线; 顶管施工无接收条件时, 可不设置接收井, 解决与邻接结构施工冲突, 节约施工工期。

参考文献

[1]JTG D70/20-2014.公路隧道设计规范[S]
[2]CJJ69-95.城市人行天桥与人行地道技术规范[S]
[3]湖北省DB42/T137-016.城市人行地下通道技术规范[S]
[4]GB 5007-2011.建筑地基基础设计规范[S]