

【摘要】上海轨道交通 11 号线的盾构施工期间需在真南路站~上海西站站间穿越京沪、沪昆铁路，且铁路沿线两侧管线密布，为保证进出上海站铁路大动脉的安全及正常行车要求，介绍了盾构穿越施工前后采取的相关技术措施。监测结果表明，本次盾构穿越施工方案和技术措施是成功的。

【关键词】软土地基盾构穿越铁路土体加固监测

## 1 工程概况

上海轨道交通 11 号线北段一期工程真南路站~上海西站站区间盾构施工期间需穿越国铁京沪线、沪昆线，穿越区域位于交通路南侧、桃浦河西侧（图 1）。

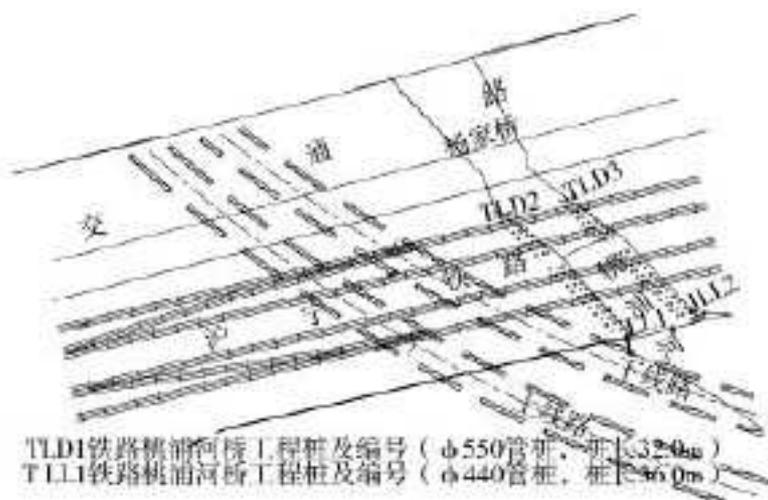


图 1 隧道穿越国铁平面示意

根据本工程施工进度计划及上海铁路局安排，我项目部于 2007 年 12 月 15 日~2008 年 1 月 15 日完成了土体加固施工，于 2008 年 2 月 15 日~4 月 14 日完成了区间隧道上、下行线盾构穿越施工。

本次盾构穿越区域共有 4 条铁路线，线路中心间距由北向南依次为 5.88 m，7.89 m 和 5.64 m。该处客车设计速度 200 km/h，货车设计速度 100 km/h。道床梯形上部宽度 3.1 m，道渣厚度 50 cm，道床坡度 1 : 1.75。铁路沿线两侧管线密布。

本区间上行线隧道与铁路（铁路两侧围墙间范围）交叠投影长度约为 51 m，掘进环数 44 环（每环 1.2 m 宽）；下行线隧道与铁路交叠投影长度约为 58.2 m，掘进环数 51 环。

穿越区域上、下行线隧道水平中心间距 14.0~16.0 m，设计中心标高为-15.054~-14.565m，隧道上部覆土 15.464~15.932 m。隧道竖曲线线型为 6.56‰下坡（上行线）、7.709‰下坡（下行线），平曲线线型为 R=347.155。

## 2 场地地质条件

根据勘探资料土层鉴别、原位测试和土工试验成果综合分析，本区域场地自地表至 40 m 深度范围内所揭露的土层均为第四纪松散沉积物，按其成因可分为 8 层，其中，第②、③、⑤、⑥、⑦层按其土性及土色又可分为若干亚层(图 2)。

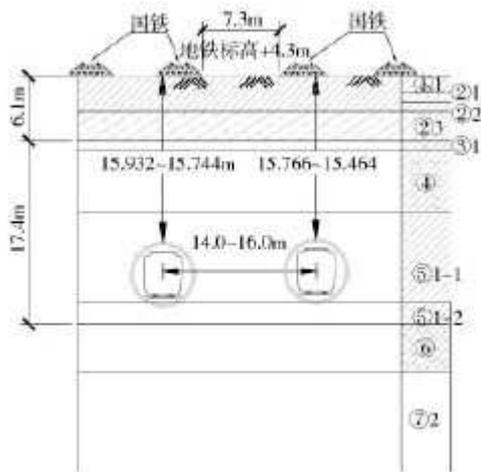


图2 隧道穿越区域地质剖面

本场地属IV类场地，为软弱土基。本场区抗震烈度为7度，设计基本地震加速度0.10g，为建筑抗震不利地段。

本场地浅部地下水属潜水类型，主要补给来源为大气降水，水位随季节而变化，设计、施工地下水水位取0.5m。

### 3 土体加固方案

盾构推进施工将引起隧道上方铁路线路的轨面变形，影响铁路行车安全或速度；铁路行车又使盾构管片承受附加动应力的长期作用，影响隧道结构的安全性及耐久性。因此，本次盾构穿越前，将采取措施对盾构穿越区域铁路线路进行主动加固，以保证盾构推进施工期及运营期的铁路及隧道的结构安全。

#### 3.1 加固措施及范围

铁路两侧采用二重管高压旋喷桩加固，隧道结构周围各1m范围内为低旋喷加固区。旋喷桩之间为主加固区，采用劈裂注浆加固；旋喷桩外侧为次加固区，采用压密注浆加固。旋喷桩加固区自地面至⑤1层内1m，桩长24.5m，其中低旋喷加固区深度为地面以下15.5m~23.7m，共8.2m。主、次加固区加固深度为③1层顶至⑤1层顶，即地面以下6.1m~23.5m。加固区平、剖面图见图3和图4。





主要监测内容为铁轨及路基沉降，监测项目位于铁路围墙内，而京沪、沪昆铁路作为进出铁路上海站的唯一通道，交通极其繁忙，列车通过间隔时间最小达到每 2 min 一趟，常规监测方式根本无法实施，故本次采用静力水准仪对路基沉降进行检测，采用电水平尺对铁轨沉降进行监测。

#### 4.1 测点布置

(1) 沉降模拟监测测点：在铁路南围墙外侧，沿围墙布设一排模拟沉降监测断面（该断面监测采用人工监测），共 7 个测点，平均分布，测点间距 7.5 m。利用该断面监测数据调整后构穿越施工参数。

(2) 路基沉降监测测点（静力水准点）：在京沪、沪昆铁路铁轨两侧及中间土体内，平行于铁轨、斜交盾构施工方向，布设 3 条长约 100 m 的沉降监测断面，每条断面布设 11 个测点，上、下行线隧道中间一个测点，隧道正上方各一个测点，向两侧分别间距 10 m 各布设三个测点，再在外侧间距 12.5 m 布设一个测点。

(3) 铁轨沉降监测测点：以两条隧道平面间距中心为基准，沿铁路线路纵向、前后各 16.5 m 范围内，分别在京沪、沪昆铁路上行线（南侧一根）道床上布设 11 支 3 m 长电水平尺，形成两条各长 33 m 的电水平尺链。

#### 4.2 沉降控制标准

(1) 路基沉降控制标准：① 单日沉降量  $\leq 2$  mm；② 累计沉降量  $\leq 30$  mm。

(2) 铁轨沉降控制标准：① 单次（2 h）沉降量  $\leq 2$  mm；② 24 h 沉降量  $\leq 8$  mm。

### 5 盾构穿越施工方案

本次盾构施工采用的是三菱  $\phi 6340$  铰接式盾构。

#### 5.1 盾构推进施工参数

- (1) 推进速度：10~15 mm/min。
- (2) 螺旋机自动设定土压力：0.25 MPa。
- (3) 螺旋输送机转速：8~12 r/min。
- (4) 千斤顶总推力：1 200~1 300 t。
- (5) 每环出土量：37.1 m<sup>3</sup>（3 理论值的 98%）。
- (6) 同步注浆压力：0.29 MPa。
- (7) 同步注浆量：2.5 m<sup>3</sup>。

#### 5.2 二次补浆

管片脱出盾尾后 40 环左右即开始对隧道进行壁后二次注浆（补注水泥浆及双液浆），以稳定地面沉降量或对已沉降区域进行压浆抬升。因路基及铁轨单次沉降量要求较高，故本次补浆采取“少量多次”的原则进行，单孔单次补浆量控制在 20 L 左右，每环累计注浆量以监测数据为准。

#### 5.3 技术措施

(1) 为保证列车安全，对进出铁路上海站车辆进行限速：京沪线客车限速至 90 km/h，货车限速至 60 km/h；沪昆线客货车统一限速至 60 km/h。

(2) 增设注浆孔：在盾构穿越区域隧道管片上增设壁后注浆孔，每环管片上增设 9 只注浆孔，共设置 15 只注浆孔。待隧道施工完成后，对隧道衬砌外进行注浆加固。

(3) 模拟穿越：在穿越施工前 60 m 范围实行模拟推进，并根据模拟区地面沉降监测数据对拟穿越铁路的各项盾构推进参数进行调校。

(4) 信息化施工：实行信息化施工，通过静力水准仪及电水平尺对路基及铁轨进行实时监测，并根据实时监测数据及时调整盾构掘进施工参数。

(5) 推进速度控制：穿越施工中盾构推进速度控制在 1.0~1.5 cm/min，并在整个推进过程中保持稳定，以保证头部土压力的稳定。

(6) 严控盾构单次纠偏量：对因轴线走偏，须予以纠正时，应以长距离慢修为原则，单次纠偏量不得超过 5 mm。

(7) 改进管片拼装模式：盾构穿越期间，为保持盾构正面土压力的稳定，管片拼装模式采用半环拼装模式：拼装下部三环管片——推进（补偿正面土压力）——拼装上部三环管片。

### 6 结语



(1) 前期的土体加固起到了很好的土体改良效果（其沉降均在允许范围内），有效地降低了盾构掘进施工期间对周边土体的扰动作用。

(2) 即时的监测数据为项目部下达推进任务，及时调整盾构推进及注浆参数起到了重要的作用。

(3) 模拟推进阶段取得的盾构推进参数对正式穿越施工起到了很好的指导作用。平稳、匀速的推进，以及合理的同步注浆量，有效的降低了盾构推进对周边土体的扰动。

(4) 及时、高质的二次注浆对已扰动土体的稳定起到了关键作用。

