

# 软弱地层盾构近距离侧穿高铁桥梁桩基施工技术

牛鹏德 郭婉茹

浙江交工集团股份有限公司地下工程分公司

DOI:10.12238/btr.v5i6.4065

**[摘要]** 近年来,随着我国基础设施建设的飞速发展,各城市之间纷纷开始兴建城际铁路,而在城市内施工,受施工场地狭小和当地地质条件及已建交通线路的影响,需要在施工中减小对既有交通线路的影响及安全顺利完成施工任务。目前暂时无先进的、成熟的软弱地层浅埋盾构小半径始发连续穿高速铁路,此立项的目的就是探索盾构下穿高速铁路施工工艺及施工参数,为施工积累经验,以利于以后的指导施工。

**[关键词]** 软弱地层; 隔离桩; 近距离侧穿高铁桥梁、应用

**中图分类号:** TU997 **文献标识码:** A

## Construction Technology for Pile Foundation of High Speed Railway Bridge with Shield Tunneling in Soft Ground

Pengde Niu Wanru Guo

Underground Engineering Branch, Zhejiang Communications Construction Group Co., Ltd

**[Abstract]** In recent years, with the rapid development of infrastructure construction in China, intercity railways have been constructed among various cities. However, due to the narrow construction site, local geological conditions, and the impact of established traffic lines, it is necessary to reduce the impact on existing traffic lines during construction and safely and smoothly complete the construction task. Currently, there is no advanced and mature shallow buried shield tunneling in weak strata that starts from a small radius and continues to traverse high-speed railway. The purpose of this project is to explore the construction process and parameters of shield tunneling under high-speed railway, accumulate experience for construction, and facilitate future construction guidance.

**[Key words]** soft ground; isolation pile; short distance side crossing high speed railway bridge; application

### 引言

进入二十一世纪后,我国各个行业、各个领域都在不断的改革与创新中得到快速发展,建筑行业也是如此,在建筑项目建设中不断引用新技术、新工艺以及新材料,创造出一个个高品质、高标准的建设项目,实现了城市化建设的快速推进。在当前形势下,城市化建设仍在如火如荼地开展着,大幅度提升了城市建筑的密集程度,也增添了新建项目与既有建(构)筑物之间难度,盾构近距离侧穿既有高铁桥梁桩基,采用 $\varnothing 800 \times 1000$ 钻孔灌注作隔离桩,桩顶设置 $800 \times 800$ 冠梁,隧道两侧冠梁采用混凝土连系梁支撑,两排隔离桩之间对盾构上下各3m范围地层进行注浆加固的形式作为对既有高铁桥梁进行隔离保护,并在盾构施工过程中采用数据化控制,严格控制各施工参数,加大监测与掘进结合力度,提高盾构隧道施工工效,保证隧道施工质量,确保既有线路运营安全,保证了施工的安全顺利。

### 1 概况

项目盾构区间单线长为646m,左线曲线半径为460m,右线曲线半径为475m,区间最大坡度-28%,覆土厚度约5.8~8.4m。盾构隧道外径为6.2m,区间线路右DK12+893~右DK12+944.6下穿沪杭高铁段范围为桐海特大桥,受影响桩基为577号、578号、579号共3根桥桩,577号~579号桥桩承台尺寸为 $10.08\text{m}(\text{长}) \times 5.1\text{m}(\text{宽}) \times 2\text{m}(\text{高})$ 。577号桥桩为8根 $\Phi 1000$ 钻孔桩,桩长85m,578号桥桩为8根 $\Phi 1000$ 钻孔桩,桩长70m,579号桥桩为8根 $\Phi 1000$ 钻孔桩,桩长69m。

### 2 浅埋盾构近距离侧穿高铁桩基施工技术

#### 2.1 施工前隔离保护措施

盾构隧道下穿沪杭高铁桐海特大桥前,在隧道与高铁桥梁桩基之间实施隔离桩防护措施,隔离桩采用 $\varnothing 800 \times 1000$ 钻孔灌注桩,桩顶设置 $800 \times 800$ 冠梁,隧道两侧冠梁采用混凝土连系梁支撑,两排隔离桩之间对盾构上下各3m范围地层进行注浆加固。左右线盾构隧道边缘距离隔离桩距离0.7m。左线隧道距离577号桥

桩最小距离为6.5m,左线隧道距离578号桥桩最小距离为6.2m,右线隧道距离578号桥桩最小距离为6.9m,右线隧道距离579号桥桩最小距离为6.1m。

2.2盾构近距离侧穿高铁桩基理论分析

根据区间隧道于既有沪杭高铁桐海特大桥的相对位置关系,采用有限元计算软件Plaxis 3D建立三维模型进行数值计算分析。模型中土体采用土体硬化(HS)本构模型,土层计算参数结合本工程地质勘察报告和相关的工程经验进行取值。几何模型底部施加完全固定约束,两侧施加竖直滑动约束,模型表面为自由边界。结合土层特点、加固效果及施工经验,在数值计算中保守考虑拟采用0.8%的地层损失率来计算,以考察盾构隧道施工对沪杭高铁桐海特大桥的变形影响。

模型沿X、Y、Z三个方向的尺寸分别为70m、175m、100m,其中X为横桥方向,Y为顺桥方向,Z为竖向。

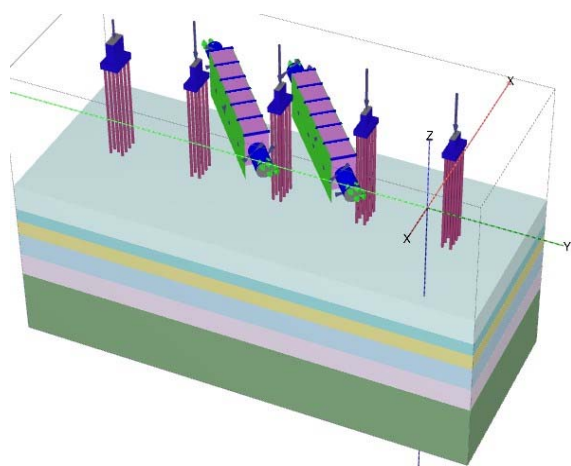


图1 有限元结构模型示意图

在Plaxis3D有限元软件中通过冻结隧道范围内土体单元,激活管片单元,并进行断面收缩来模拟盾构掘进过程。施工过程模拟按照实际施工顺序分步进行,先施工左线隧道,再施工右线隧道。在有限元施工模拟开挖过程中划分具有特征性的9个工况(图中隐藏注浆加固体):

工况一:围护结构施作;

工况二:左线隧道盾构机刀盘到达577-578#承台左边缘位置;

工况三:左线隧道盾构机刀盘到达577-578#承台中心位置;

工况四:左线隧道盾构机刀盘到达577-578#承台右边缘位置;

工况五:左线隧道贯穿;

工况六:右线隧道盾构机刀盘到达578-579#承台左边缘位置;

工况七:右线隧道盾构机刀盘到达578-579#承台中心位置;

工况八:右线隧道盾构机刀盘到达578-579#承台右边缘位置。

工况九:右线隧道贯穿。

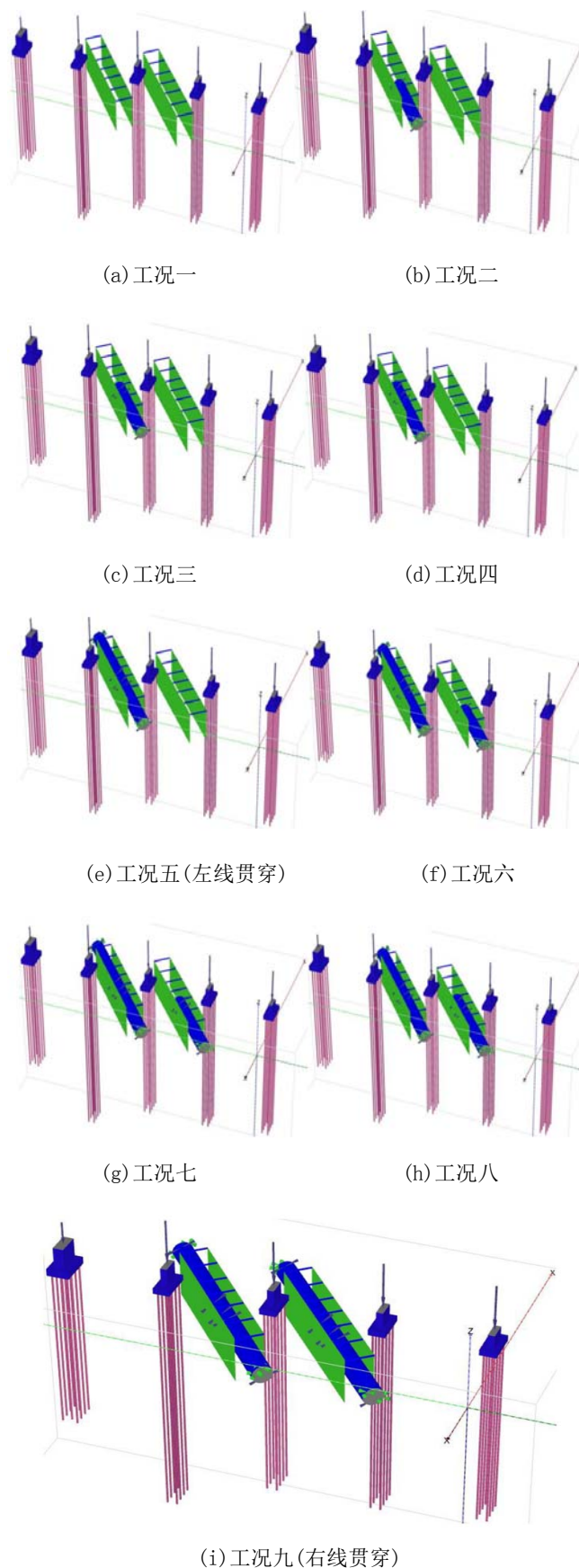


图2 盾构施工有限元模拟图示

表1 铁路承台累加位移汇总

工况	承台号								
	577#			578#			579#		
	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)
工况一	0.096	-0.213	-0.141	0.001	-0.030	-0.256	-0.092	0.242	-0.208
工况二	0.040	-0.299	-0.218	-0.107	-0.010	-0.418	-0.138	0.295	-0.265
工况三	0.033	-0.342	-0.248	-0.109	0.020	-0.449	-0.140	0.302	-0.273
工况四	0.036	-0.389	-0.280	-0.103	0.047	-0.476	-0.142	0.308	-0.280
工况五	0.116	-0.364	-0.428	-0.050	0.115	-0.559	-0.131	0.335	-0.300
工况六	0.111	-0.398	-0.447	-0.103	0.040	-0.644	-0.242	0.361	-0.473
工况七	0.109	-0.408	-0.454	-0.098	0.013	-0.675	-0.246	0.404	-0.505
工况八	0.112	-0.419	-0.462	-0.093	-0.017	-0.708	-0.239	0.440	-0.536
工况九	0.152	-0.476	-0.513	0.014	-0.037	-0.860	-0.184	0.519	-0.626

根据上述施工过程模拟计算, 区间隧道左、右线分别自桐海特大桥577~578号、578~579号之间下穿。该跨桥梁为32m简支梁, 区间隧道与桐海特大桥夹角约50°, 下穿大桥段长约18m。故选取沪杭高铁桐海特大桥577#、578#、579#桥墩和承台作为研究对象, 以桥墩顶中心作为观测点, X轴表示横桥方向, Y轴表示顺桥方向, Z轴表示竖直方向。

针对前述九个施工工况, 对沪杭高铁桐海特大桥577#、578#、579#桥墩和承台阶段位移及累加位移进行汇总, 施工过程中引起的铁路承台顶最大横桥向位移发生在工况9(右线隧道贯穿), 位于579#墩, 最大位移-0.184mm; 铁路承台顶最大顺桥向位移发生在工况9(右线隧道贯穿), 位于579#墩, 最大位移0.519mm; 铁路承台顶最大竖向位移发生在工况9(右线隧道贯穿), 位于578#墩, 最大位移-0.860mm。

### 3 现场施工方案

#### 3.1 施工工艺流程

营业线手续办理→施工准备→隔离桩施工→混凝土冠梁支撑施工→注浆加固施工→盾构掘进施工。

#### 3.2 营业线施工手续办理

##### (1) 设计方案评审

组织专家进行盾构下穿沪昆高铁设计方案安全评估审查, 并依照专家意见以及上海铁路局“相关文件要求, 对图纸进行了完善。

##### (2) 施工方案评审

施工方案为两审制, 即预审和终审。根据施工内容及施工特点, 编制《盾构下穿沪昆高铁安全专项施工方案》, 经终审完成后与车务段签订安全协议。

##### (3) 安全防护人员培训

项目部管理人员经过中国铁路上海局集团公司杭州职工培训基地培训、考试合格并取得营业线施工安全培训合格证。

#### 3.3 桥梁隔离保护施工

盾构隧道左、右线各投入2台钻孔桩机。铁路沪昆线桐海特大桥桥下以及桥外侧2米范围内采用矮机架, 其余采用高机架。合理安排钻孔桩施工顺序, 严格控制跳打间隔, 防止塌孔。钻孔

桩采用左右线分5批次对称钻孔同步灌注施工的方式, 以保证施工连续性。钻孔桩施工时钻机与墩台间设置硬隔离, 以防止施工机械设备碰撞桥墩。

钻孔采用泥浆护臂成孔技术, 钢筋笼根据桩机设备控制的高度确定其长度, 采用桩机自行吊装入孔就位, 孔底得到认可和钢筋笼安放好后, 及时浇筑砼, 水下混凝土采用导管法浇筑。桩孔浇筑的混凝土顶面, 应比设计高度提高1米, 因为顶面有浮泥和浮浆, 在浇筑桩顶系梁之前应于凿除, 使其更好联结, 确保质量。依据《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106-2003) 采用低应变和行声波透射法检测桩的完整性。

#### 3.4 圈梁及连接支撑梁施工

钻孔桩桩顶设置800×800mm的C30混凝土冠梁, 冠梁之间采用600×600mm的C30混凝土支撑梁连接, 间距为5m。施工流程为钢筋绑扎-安装模板-浇筑混凝土。

钢筋在加工场地加工成设计规定形状, 在安装时直接焊接、绑扎、安放。采用钢制模板, 安装模板前, 在模板上涂刷脱模剂, 安装完后检查其几何尺寸是否符合设计要求。混凝土采用商品混凝土, 严格遵守连续、均匀、对称和分层的原则, 混凝土入模时, 其跌落高度不应超过2米, 如果超过2米, 则必须采用导管式串筒。采用插入式振捣, 振捣时间、范围必须符合要求, 防止漏振与过振。以混凝土不冒气泡, 不沉落为到位。

#### 3.5 注浆加固施工

注浆孔间距1.2m×1.2m, 浆液扩散半径0.8m, 注浆压力0.2~0.5Mpa; 注浆孔最外圈注浆采用1:1水泥水玻璃双液浆, 其余采用1:1水泥浆, 采用42.5级普通硅酸盐水泥, 并保证最外圈注浆形成闭合止水帷幕。注浆先注外围, 后注中部。水泥浆液若发生沉淀、离析现象, 应进行二次搅拌。注浆过程密切注意注浆压力的变化。在压密注浆结束后, 采用闷盖将孔口封闭并保护好, 以便重复使用。

#### 3.6 盾构掘进施工

根据实际情况, 将穿越桐海特大桥施工分为四个阶段。即(1)下穿前试验阶段; (2)下穿前阶段; (3)正式穿越阶段; (4)下穿后阶段。

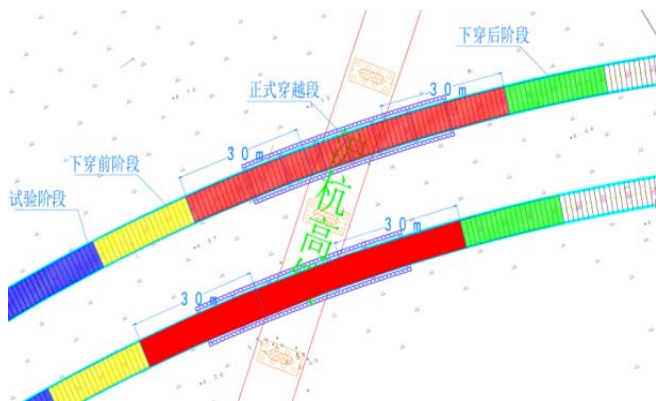


图3 盾构下穿分段划分平面图

#### (1) 第一阶段, 下穿前试验阶段

此阶段在盾构机正式推进, 一直到下穿前阶段左线共69环, 右线共39环, 对下穿施工前各项工作进行前期检查和准备。包括技术准备、现场准备。

#### (2) 第二阶段, 盾构下穿前阶段

此阶段在盾构机刀盘到达正式穿越段前20环, 对下穿施工前各项工作进行前期检查和准备。

#### (3) 第三阶段, 正式穿越阶段

将盾构机刀盘进入正式下穿段(高铁桥前后30m)到刀盘出高铁桥30m后作为“盾构下穿施工阶段”。该控制区段施工时, 主要根据穿越穿越端头加固、试验段和下穿前阶段总结的推进参数和施工数据来指导盾构的推进施工。在这个阶段主要任务是控制盾构的施工参数, 包括控制推进速度、正面土压力、同步注浆流量、同步注浆压力等, 监控地表沉降和环境影响, 确保桐海特大桥及环境安全。

#### (4) 第四阶段, 盾构下穿后阶段

盾构机刀盘切口离开正式穿越段后20环设为穿越后阶段。由于盾构穿越后, 地面存在可能的后期沉降, 会对地面造成影响, 但由于已对桥梁进行了加固, 故概率很小。但仍须在穿越区域的隧道内准备充足的补压浆材料以及设备, 根据沉降监测情况进行后期补压浆。

#### 3.7 监测施工

通常情况下铁路桥墩沉降变形时导致上方线路不平顺的主要原因, 根据铁路局要求, 高速铁路正线桥墩顶沉降量控制在

1mm以内; 道岔区控制在1mm以内。以上沉降量控制值是在高铁隔离保护施工完成后的限制值。

在整个工程施工过程中, 为确保桥墩的安全, 在盾构影响比较大, 需要重点监测的576#、577#、578#三个桥墩水平位移、竖向位移进行动态监测。水平位移采用高精度自动全站仪进行测量。在离施工影响范围外选择一个稳定处建立全站仪工作站, 浇筑强制对中观测墩。观测时全站仪安置于工作站, 后视控制点。竖向位移测点采用L型钢钉, 精密水准仪进行测量。监测时竖向位移测点与高程基准点联测, 组成闭合或附合水准路线, 便于进行校核。

#### 4 结束语

通过上文对解决浅埋盾构近距离侧穿高铁桩基施工过程中的, 隔离保护施工过程中的桥梁运营安全以及盾构施工过程中的既有线路安全, 通过开展理论分析, 得到各施工阶段模拟数据, 并结合实施方案, 对浅埋盾构近距离侧穿高铁桩基施工时, 保证既有桥梁安全, 通过施工灌注桩+注浆加固的形式, 形成了一套有效的施工措施, 确保了施工的安全顺利, 保证了桥梁沉降值控制在要求以内, 确保施工质量和安全, 并为以后类似工程的施工积累了大量的经验。

#### [参考文献]

- [1]于晨昀, 王婷, 王聪. 隧道开挖引起邻近单桩沉降的理论解[J]. 山西建筑, 2009, 35(36): 339-341.
- [2]王占生, 王梦恕. 盾构施工对周围建筑物的安全影响及处理措施[J]. 中国安全科学学报, 2002, 12(2): 45-49.
- [3]黄茂松, 张宏博, 陆荣欣. 浅埋隧道施工对建筑物桩基的影响分析[J]. 岩土力学, 2006, 27(8): 1379-1383.
- [4]李早, 黄茂松. 隧道施工条件下临近群桩水平力学反应分析方法[J]. 工业建筑, 2009, 39(1): 79-84.
- [5]常富贵. 地铁盾构侧穿高速铁路桥梁桩基施工技术与应用[J]. 工程建设和设计, 2018, (24): 204-205.
- [6]宋旭辉. 盾构隧道下穿既有高铁桥梁桩基及普铁路基数值模拟分析[D]. 兰州交通大学, 2018.

#### 作者简介:

牛鹏德(1984--), 男, 汉族, 青海互助人, 大学本科, 技术人员, 研究方向: 土木工程-市政。