

# 超深基坑施工及降水对地铁运营区间影响的综合研究

陈辰

上海建工二建集团有限公司

**摘要:**以上海轨道交通14号线云山路站基坑工程为背景,在基坑施工过程中对紧邻运营中轨道交通6号线双圆盾构区间的影响进行研究,分析围护体系及止水帷幕在基坑降水过程理想的保护效果,保证了基坑安全施工及盾构结构的安全。

**关键词:**地下工程;深基坑;支护;TRD工法;地下连续墙;降水;监测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.22.026

近年来,随着地铁工程的不断深入,地铁区间及车站周边深基坑也日益增多,同时盾构区间对基坑变化比较敏感,在施工过程中如何做好优化围护体系及施工流程显得尤为重要。且上海水文地质条件特殊,地下水丰富,⑤层、⑦层、⑨层承压水对深基坑施工及降水施工影响很大,因此对基坑周边地铁区间及车站的保护提出了更高的要求。本文通过对地铁14号线云山路站工程的分析研究,详细阐述了对围护选型,降水井管的设计及现场实际施工的效果情况。

## 一、工程概况

云山路站基坑开挖深度标准段最深24.66,端头井最深26.79m(标高-20.51~-22.64m),主体规模长度204.4m,宽度20.64m。位于张杨路北侧,云山路道路红线范围内,站体呈南北向布置,偏道路东侧布置,为地下三层岛式车站。

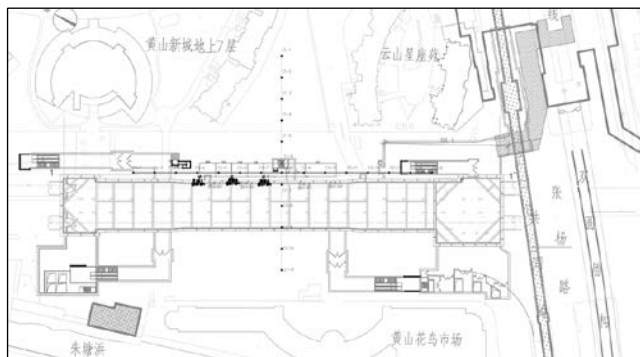


图1 云山路站平面图

## 二、工程周边环境及地质条件

### (一) 工程周边环境

基坑环境保护等级为一级。车站东南侧为已建6号线云山路站和出入口,南侧有张杨路道路下方的共同沟和6号线双圆盾构区间,东侧有黄山新城-上海未来住宅小区、云山星座苑小区,西侧有黄山花鸟市场3层建筑。西侧还有朱塘浜距主体基坑最近约46m。

(1) 6号线云山路车站,地下1层,采用灌注桩围

护,距离车站基坑38m。

(2) 张杨路上共同沟,地下一层,距离车站南端头井最近7.1m,共同沟覆土约2.35m,埋深约6.25m,沟内净宽均为3.2m,净高2.2m。

(3) 6号线盾构区间,采用双圆盾构,距离基坑30.6m,双圆区间覆土6.5m,管片内直径5.5m,外直径6.2m。

### (二) 工程水文地质条件

拟建场地位于古河道沉积区,地层分布及水文条件具有如下特点:

(1) 浅部3~17m为第③、④层淤泥质土,其下分布厚度为7.5m的⑤层灰黏性土。无砂性土微承压水分布;第⑧层缺失,第⑦层与第⑨层承压水层联通。

(2) 本站基坑坑底位于第⑥层粉质黏土,根据设计现提供的方案,围护墙底位于第⑦2层粉砂中,墙深48m(墙底标高-43.85m),厚度为端头井1.2m,标准段1.0m,对承压水起到一定阻水作用。

(3) 本工程范围内揭示的承压水分布于第⑦层、第⑨层含水层中。第⑦层在垂向上分为第⑦11黏质粉土夹粉质黏土、第⑦12砂质粉土以及第⑦2粉砂层等亚层,土性差异大。第⑦层是上海地区第一承压含水层,场区内揭示的顶板埋深为27.6m~28.9m、顶板标高为-23.71~-24.27m。

(4) 岩土工程勘察期间测得⑦层承压水水位埋深为5.46m~5.75m,水位标高相应为-0.83m~-1.82m。

## 三、围护选型及降水井管选型

### (一) 围护选型

根据水文详勘资料,云山路站围护设计分为两部分,南端头井周边围护为48米深,1200厚地下连续墙,距离地墙1m增加700厚60米深TRD止水帷幕;北端头井采用48米深,1200厚地下连续墙;标准段48米深,1000厚地下连续墙

### (二) 降水井管选型

南端头井基坑布置3口降水井(含备用兼观测井1口),井深48m,过滤器长15m。井深度设计主要为44.0m,过滤器底埋深43.0m,比地墙高5.0m,北端头井深度设计主要为46.0m,过滤器底埋深45.0m,比地墙高3.0m。标准段基坑近南端头井段约5.5m宽度的范围,由于60m深度的TRD止水帷幕施工,将其隔断成独立小坑。标准段合计布置11口降水井(含备用兼观测井2口),井深44.0~46.0m,过滤器长10.0~12.0m。其中小坑布置2口(1口为减压降水井,1口为备用兼观测井)。

基坑开挖到底时,坑内水位埋深控制在23~27m左右,坑外水位埋深控制在8.0m以内,地铁6号线云山路

站区域的水位在7.0m以内。

考虑到基坑环境复杂，基坑止水帷幕外侧2.0m左右适当位置布置第⑦层承压含水层水位观测井，井深44.0m，过滤器长10.0m，数量为8口，另TRD转角、南端头井外侧以及南端头井往北35.0m范围的井适当加密，井深加深，井深48.0m，过滤器长15.0m，数量为7口。坑外井采用钢管，井径273mm，孔径650mm。

表1 试验井参数统计表

区域	井号	数量(口)	孔径(mm)	井径(mm)	井深(m)	过滤器长(m)
A区坑内	WA1、WA2、WA3	3	650	273	48	15
坑外承压水观测井	H1、H2、H3、H4、H6、H7	7	650	273	48	15

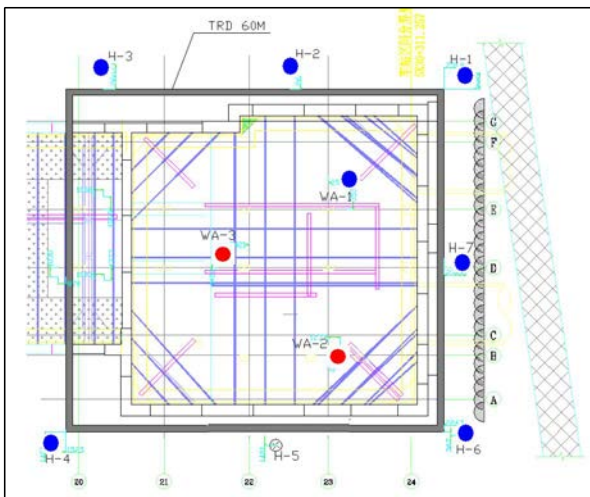


图2 群井抽水试验井平面图(红色抽水井,蓝色观测井)

抽水试验共历时24小时。其中，WA2井平均出水量约7.87m<sup>3</sup>/h；WA3井平均出水量约5.27m<sup>3</sup>/h。2口抽水井出水量均较为稳定。

南端头井围护结构地下连续墙与降水井同深，外围有60m的TRD止水帷幕，群井抽水过程中，地下水水平向补给受到限制，所以整体出水量比较小。

抽水期间，坑内观测井水位有明显下降，水位已稳定，坑内最大水位降深已经降至基底以下，完全满足基坑安全所需。坑外水位下降幅度0.31~0.54m，属于合理范围。北端头井及标准段抽水实验坑外水位下降幅度1.3~1.7m。

(二) 基坑施工

云山路站南端头井基坑距离6号线双圆盾构最短距离35米，基坑底部最大深度26.48米，开挖过程中需注意工序搭接及开挖流程，有序加快基坑开挖速度。加快开挖速度同时也是减少承压水抽取时间，可有效减少降水对6号线双圆盾构的影响。同时南端头井结构先行完成后，标准段及北端头井开挖时与6号线双圆盾构最短距离增加至70米，减少了开挖阶段的风险。

南端头井基坑面积约990平方米，开挖总方量24000立方米，共分为8层土方，单层开挖量约3100立方米。基坑开挖充分运用时空效应理论，深基坑开挖技术严格

四、施工措施

(一) 生产性抽水试验

A基坑南端头井内群井抽水，开启WA2、WA3两口井进行群井抽水，坑内WA1内最终水位降至31.26m，满足安全水位所需。试验开始时间为2016年11月25日10:00，截至时间为2016年11月26日10:00，观测井为坑内WA1，坑外H1、H2、H3、H4、H6、H7等7口井。

按照《上海地铁基坑工程施工规程》(SZ-08-2000)进行施工。土方开挖的顺序、方法必须与设计工况相一致，并遵循“先撑后挖、分层开挖、严禁超挖”的原则。基坑开挖前，按照“时空效应”的理论分层、分段挖土，做好支撑和开挖的紧密配合策划。根据单层开挖方量3100立方米及现场取土设备每日工效，确定了以下施工方案：

1) 第二道钢支撑至第五道砼支撑间，单层挖土2天完成，钢支撑8小时内施工完毕。整体开挖方向为由西向东开挖。具体流程间下图所示，挖土首日完成1-4号土方分块及钢支撑布置，第二日完成5-7号土方分块，依次向下开挖。取土机械采用两台长臂挖机，坑底2台315挖机配合取土。

2) 第五道砼支撑至底板间，单层挖土3天完成，钢支撑10小时内施工完毕。整体开挖方向为由西向东开挖。具体流程间下图所示，挖土首日完成1-3号土方分块及钢支撑布置，第二日完成4-5号土方分块，第三日完成剩余土方，依次向下开挖。取土机械采用两台履带式挖机，坑底2台315挖机配合取土。

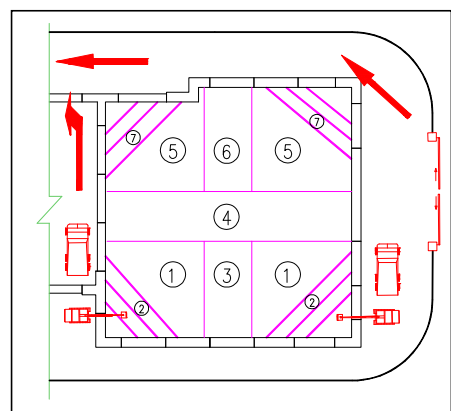


图3 南端头井挖土工况图

(三) 钢支撑预应力自动补偿系统

云山路站南端头井内南北向三根钢支撑对称为保证施工期间预应力不损失，第二、三、四、六、七、八道采用钢支撑预应力自动补偿系统，平面3道、竖向6道，共18根钢管支撑需采用轴力伺服系统，各道撑预加轴力值如下表：

钢支撑层数	第二道钢支撑	第三道钢支撑	第四道钢支撑	第六道钢支撑	第七道钢支撑	第八道钢支撑
设计预应力值 (KN)	502	578	599	861	1535	578

钢支撑与伺服端在地面进行拼装，根据土方开挖进度，在支撑架设之前在拼装场按支撑编号及设计长度进行拼装备用。钢支撑拼装由钢支撑专业施工队伍完成。伺服端头与钢支撑端面法兰使用螺栓紧固件进行连接，钢支撑在拼装时保证支撑接头的承载力符合设计要求。钢支撑拼装需符合以下要求：

(1) 表面处理：在安装支撑之前，需对安装支撑部位的围护体表面进行处理，在以支撑为中心点的800×800 范围内的围护突出部分混凝土凿平，平整度不小于2%，然后安装三角形支撑托架；

(2) 支撑拼装连接：就位前，钢支撑先在地面预拼装到设计长度以检查支撑的平直度，其两端中心连线的偏差控制在20mm以内。拼装连接采用支撑钢管与钢管之间通过法兰盘以及螺栓连接的方法，由50t履带吊整体起吊安装。由于构件较长，采用四点吊，用短钢管在地面拼装时采用吊车配合。

(3) 拼装好后放在坚实的地坪上用线绳两端拉直或用水准仪检查支撑管的平直度，若不平直要进行矫正。用钢尺检查钢支撑的长度，钢支撑拼接后的总长宜比设计长度小50~100mm，并检查支撑连接是否紧密、支撑管有无破损或变形、支撑两个端头是否平整，接头箱的焊缝是否饱满，经检查合格后用红油漆在支撑上编号，标明支撑的长度、安装的具体位置。

(4) 施加轴力应缓慢加压，分为三级进行加压。第一次加压到设计值50%后并持荷5分钟，无异常情况后进行下级加压。第二级加压到设计值80%后持荷五分钟，无异常情况后进行下级加压。第三级加力到设计值后持荷五分钟，人工锁紧机械锁。读取此时的位移值作为初始位移值。

#### (四) 自动化监测

本项目处于轨道交通安全保护区内，通过监护测量活动可以及时获取施工期间轨道交通车站及区间隧道等结构的变形数据，将测量成果数据结合经审批的施工组织设计等进行现场施工操作规范性检查，确保工程施工严格按照要求实施，及时判断既有地铁结构的安全，对可能发生的事故提供及时、准确的预报，避免恶性事故的发生。

考虑到本工程狭长形基坑短边正对轨道交通6号线结构的特点，监护测量范围确定为南端头井正对投影范围（约33m）和两侧各外放4倍基坑挖深（约106m），总长度约245m，对应轨道交通6号线里程范围为K12+576.0~K12+821.0。其中施工（基坑、换乘通道和出入口等）正对里程范围为 K12+616.0~K12+741.0。具体监护测量观测项目设置见下表。

观测项目	人工					自动化		
	结构现状调查	沉降	收敛	水平位移	倾斜	静力水准沉降	激光测距仪收敛	电水平尺沉降
云山路站	√	√	×	√	√	√	×	×
隧道	√	√	√	√	×	√	√	×

注：“√”表示设置该观测项目，“×”表示不设置该观测项目。

### 五、施工阶段性成果

#### 1) 开挖时间缩短

云山路站南端头井基坑开挖开始至底板浇捣完毕总计50天，开挖土方总量24336立方米，由于合理布置机械及开挖方案，开挖效率提高。

#### 2) 围护监测

截至至底板施工完毕，基坑由于合理开挖及时布置钢支撑，同时利用钢支撑伺服系统，有效控制了围护结构侧向变形。面向6号线处地下连续墙最大变形值33mm，同时满足了围护控制变形值及6号线的保护要求。

#### 3) 坑外承压水降深监测

在施工过程中，坑外观测井水头降深数值为1.1~1.3米，TRD止水帷幕增加绕流路径效果明显。

#### 4) 周边环境监测

根据第三方环境监测报告，周边主要建筑物沉降在1mm；主要压力管线（上水及燃气）沉降在21mm~25mm。经分析主要为车辆碾压造成沉降。

#### 5) 地铁6号线双圆盾构监测

根据地铁监测单位提供报告，6号线双圆盾构在施工期间最大沉降值为1.4mm，小于10mm的控制值。

### 六、结语

云山路站南端头井开挖深度26.48米，坑内承压水位降深24m，如采用常规施工工艺及围护形式，可能对周边环境造成较大影响。但在布置完成TRD止水帷幕及钢支撑预应力补偿系统后对周边环境影响大大减少。对比南端头井及北端头井不同形式的止水帷幕布置可以发现，TRD帷幕所起到的增加绕流路径的效果非常明显，有效控制了深基坑施工及降水对6号线双圆盾构的影响，可以作为地铁区间周边基坑施工的有效案例并推广。

### 参考文献

[1] SZ-08-2000, 上海地铁基坑工程施工规程[S]. 上海: 上海市工程管理局, 2000.

[2] DGTJ08-2170-2015 城市轨道交通结构监护测量规范[S]. 上海: 同济大学出版社, 2015.

[3] 温继伟, 陈宝义. 管井降水在北京地铁施工中的引用[J]. 施工技术, 2011, 40(19): 50-53, 85.

[4] 宋博. 上海市轨道交通10号线某列检库工程降水施工技术[J]. 施工技术, 2012, 41(368): 39-42.