

# 地下隧道盾构工作井建筑设计探讨

## ——以上海市漕宝路快速路项目外环节点为例

苏瑞璞

上海市工程设计研究总院(集团)有限公司

**摘要:**此文以漕宝路快速路项目外环节点为例,初步探讨了盾构施工、消防疏散、设备布置、管理中心、应急救援、结构做法等对建筑设计的影响。具体做法可为地下复杂工作井的建筑设计提供参考。

**关键词:**建筑工作井;建筑限界;盾构施工;管理中心;应急救援

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.06.081

漕宝路快速路项目为上海市重点工程南横通道西段部分主线全长5.0km,西起嘉闵高架,沿漕宝路东西走向,从中春路入地,在外环节点处设置与地面互通得地下立交,在合川路接地后通过高架与中环相接。线路主线三车道,采用15m直径盾构上下层布置,在蒲汇塘、外环、合川路设置三处盾构工作井。盾构由东向西推进,合川路为始发井,2#井为接收井,1#井处设置机架段用于盾构车架进洞。该项目已于2021年4月开工,正处于紧锣密鼓的施工过程中,预计2026年完工。



图1 外环工作井总图

根据上海市《道路隧道设计标准》该隧道为超长隧道一类隧道,道路等级为60km/h的城市快速路。主线采用上下层标准三车道设计,车道宽度3m,路缘带宽度0.25m,侧石宽度0.25m。建筑限界宽度为10m,高度为3.2m。外环工作井处于隧道的中间位置,有进出两条匝道连接外环地面道路。内部功能包含盾构接收井、车架段、管理中心、上下层车行通道、救援物资库等功能。设备用房有消防水泵房、400V高低压柜室、10KV开关站、上下层纵向排风机房、纵向新风机房、通信机房等内容。

### 一、建筑与外部边界条件的关系

前期可行性研究已征询过规划土地部门或各用地权属部门意见,具备可实施性,但仍遗留了不少问题。在初步设计和施工图阶段各专业继续攻坚克难、有序推动设计落实。

工可之后,初设阶段建筑承担起了地道部分对外的主体沟通作用,首先在用地方面,设计应明确哪些用地为市政用地,哪些为待征用地,原则上尽量少占地少征地;风塔设置位置和高度需取得环评的认可,尽量远离敏感区域;其次在管线方面,设计应复核覆土深度是否达到使用要求,明确哪些既有管线需要搬迁、哪些未来规划管线需要预留。

1) 本案选址地面占用外环绿地需报规资局批复,在设计中多轮次优化出地面设施设计方案,提出“融入自然、亲近自然”的竹林、森林、波纹等自然形象,获得了规资局领导认可。

2) 中段占用九星家园安置房变电所用地,需原址还建,20余米的深基坑离开小区围墙不到2m,用地条件有限的情况下设计与施工克服了重重困难使项目得以顺利进行。

3) 2#盾构井东侧有现状高压燃气管一根,需对其搬迁方可施工加固区,在设计过程中我院与燃气部门多次沟通迁改方案及施工保护措施,待地墙和底板施工结构稳定后,在第6节段上搭设管线桥支撑于地墙上,施工方案最终征得燃气管理部门同意。

4) 第8节段上规划有3m直径原水管一根,我院与水务部门沟通后,与原水管设计单位共同商定设计走向和埋地深度。结构专业对上方覆土和水管增加的荷载进行专题研究,经过严谨的结构模型计算采取了局部加强措施加以解决。

### 二、建筑设计与道路设计的关系

建筑与道路虽然各自有不同的设计逻辑、规范条文,但在隧道设计中,建筑空间是道路车行空间的延伸,各司其职、前后承接又有一定交集。建筑专业在内外两个层面的设计过程中,主要需考虑以下问题:

限界空间不允许任何设施侵入,考虑行车安全,转弯处还需要设置道路横坡,演算行车视距等。约200m左右设置车道指示灯提示司机车道信息,匝道进出口位置需设置情报板,这些节点都需要建筑专业在设计中加以完善。建筑设计还应考虑车道顶板尽量做平整,以有利于车行空间完整和顶部管线铺设。侧面有装饰板时,装饰板还应考虑设备箱规律布置,美观得体。考虑低碳环保,本案采用了无装饰设计,在混凝土施工后,结构表面涂清水漆打造清水混凝土效果。

### 三、建筑设计与盾构施工的关系

#### (一) 盾构机进出

整个工作井分为两端的盾构井和中间的明挖段,盾构井需要考虑施工阶段盾构机的进出洞需要。按施工单位提供数据,15m直径的盾构机需要的纵向空间为21m,

中框架下高度要求大于17m。盾构机从外环2#井到1#井共有两种过境方式，一种是盾构机不拆装，在井内整体水平运输至1#井，这种方式对结构净空有很高的要求，通过路径上都要满足宽度16~17m，高度约17m的净空要求，且两井间最好是底部拉平，减少盾构机的垂直运输难度，这也将增加工程费用。另一种方式是拆掉盾构机头，这将增加施工时间，但相对而言对井内的空间要求主要在端头的工作井，对明挖段要求则不高。本方案从实际用地条件、工程造价、工期要求等角度进行论证，采用第二种过境方式，当然此种方式也要考虑设备在地面上的运输路径，这比在地下运输要容易一些。

**(二) 机架段与端部加固**

机架段设计中，车架的施工净空是一个重要的限制因素，经与隧道股份公司沟通，确定施工净空为11.5m，经设计调整后满足了施工需求。此处应注意机架段的车道板是盾构施工完成后施工的，所以此段结构侧墙受力弯矩更大，结构专业通过在地下一层板下增加腋脚和腋板解决了问题。

在工作井内盾构进出洞口处，盾构端部需要做环状加固结构，高度约1.2m，纵向厚度1.8~2m左右，所以此处空间设计应留出来，不应布置其他功能。盾构顶部与中框架的净距也应满足环状加固的净空要求，两个井都预留了1.3m的距离。盾构井底部则应满足电缆通道、风机房、废水收集池的使用需求。

**(三) 开洞布置**

由于此井包含两个匝道，道路线性渠化引起结构跨度加大。结构南北跨度达到18~27m，明挖段深度也有18~20m，端头井处深度更深。建筑布置时应充分考虑结构安全的前提下，开洞做到上下对应，留出结构腋脚位置，并尽力避开结构薄弱部位。

**(四) 施工与使用两种工况**

建筑设计过程，建筑师应充分的了解施工、使用两个阶段结构的区别。施工与使用两种工况先期施工工作井主要施工地连墙、外墙、底板、顶板等主体受力结构，后期再施工使用阶段的结构墙体，主要包含机架段的车道板、设备用房、楼梯、人防等的结构。待结构专业确定施工阶段的主体结构后，建筑细化空间设计，发挥建筑专业灵活、三维思考问题的优势，因地制宜最大化利用内部空间。

本设计中利用机架段增加的空间，布置了上下层车行联通道、应急救援工程车位、消防电梯、物资库房等功能；利用分合流点的三角形空间，布置疏散楼梯、电气管井功能；利用两端盾构井加宽的位置布置废水泵房、疏散楼梯等功能。

**四、隧道管理中心与应急救援空间**

**(一) 管理中心**

管理中心功能包含监控大厅、监控机房以及满足管理养护人员办公、会议、淋浴的空间。该管理中心经过多次修改最终定稿，地面空间由3000m<sup>2</sup>压缩到460m<sup>2</sup>。地上只保留少量管理用房和监控大厅，其余功能都设置在地下一层机架段的上方空间，充分利用了原有的空腔空间，既节约了土地又减少了对地面景观的影响。地上与

地下功能之间设有楼电梯各一部，方便管理养护人员通勤。同时考虑到改善办公环境，在地面设有两处自然通风井，有利于地下空间的空气流通。



图2 地下一层平面图

**(二) 应急救援**

设计部门与道路管养部门经多次沟通，了解到管理养护过程中的使用需求，反馈到设计细节中。另外考虑应急救援需求，车道层分别设计有上下层救援工程车车位、物资救援库房和可到达各层的消防电梯。紧急情况下，消防队员可以从消防电梯直接到达地下各层，进行消防救援。工程车辆可由外环地下车道直接驶出，这与普通隧道将救援车停在隧道口的做法相比，救援到达时间缩短。紧急物资库房的设置对救援活动提供了必要的物质保障，可根据需要存放沙袋、防火器具、反恐器具等物品。

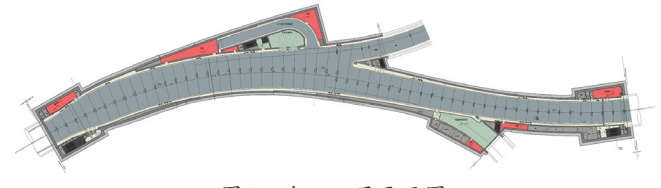


图3 地下二层平面图

**五、建筑消防疏散设计**

地下隧道的上下层车道分别为独立的防火分区，上下层联络车道进出口处，设置3h耐火极限特级防火卷帘。车道层设置5处楼梯联通上下车道层，楼梯间距小于90m，通过专业火灾软件分析，保证火灾工况下人员在烟气蔓延之前逃生到安全区域。

火灾工况下的安全疏散分析，主要根据不同条件下安全逃生所需要的时间，对乘行人员的逃生概率进行分析。比较火灾的种类、火灾规模、应急设备的工作情况等，主要通过影响逃生时间来影响乘行人员的安全逃生概率。

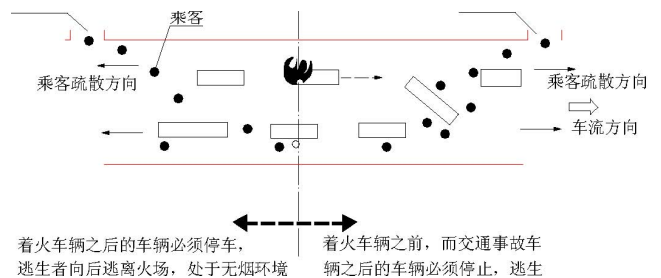


图4 乘行人员逃生示意

在正常运营情况（监控、通风及消防系统运作良好），如图4，在着火车辆之前的车辆因远离受火灾影

响的区域,逃生者并不处于危险中,所以可以继续无障碍地前行,着火车辆后方的车辆虽因被阻断前方去路而被迫停车。此时,当火灾初起时,首先进行扑灭、自救,往往可起到化险为夷的作用;而监控大厅的工作人员,能最快发现事故,及时作出判断,并启动救灾程序:启动排烟系统,开启必要的射流风机,乘行人员在无烟的环境下,迅速撤离现场。同时救援人员可经安全通道、消防电梯快速进入着火点进行专业扑救,保证生命、财产安全。因而,在火灾发现及时、设备运行良好的情况下,火灾的发生通常不会对隧道内的乘行人员造成太大的不良影响。

## 六、设备用房与管线走向布置

### (一) 设备机房

本案设备用房布置主要是考虑几部分内容:①通风专业的纵向排风、新风机房。②水专业的消防水泵房③电气专业的400V高低压柜室、10KV开关室。④铁塔公司通信商的5G基站和通讯机房。建筑专业收到以上几个专业提资后应充分了解其需求,妥善安排位置及路由。

### (二) 管线路由

设备需求还应关注管线的路由,比如电气专业需要留出从高低压柜室到盾构底部电缆路径,电缆最好由电缆井进入底坑,不要穿越车道内部;铁塔公司通讯机房则是需要在地面建筑屋顶上留出天线以接收信号;地道内的基站站点应留出电缆接线和供电线路;在车道同一层内的新排风口部需要考虑满足一定距离间隔,同时洞口应满足面积需求;排风排烟机房还应连接出地面的风塔或者风井,将车道内污浊的烟气及时排出。同时在地面合适的位置还应该留出设备吊装口和风机设备维修进出的路径。在顶板上预留的电气埋管还应考虑人防防护的要求,设置防爆波电缆井等。此类设备需求较为繁琐,需要建筑设计人员结合实际情况,做出合理设计。

## 七、结构做法对建筑设计的影响

隧道结构与民用建筑设计方式差异较大,相应的结构做法也对建筑设计有一定影响。在设计过程中,建筑应积极了解结构细节,做好细节设计和空间排布。这集中体现以下几个方面。

### (一) 结构变形缝

由于变形和施工的需要,约每25~30m设置结构缝,整个外环工作井被分隔成两个井和8个明挖段。结构缝的两侧一般都要有1~2m宽的大梁,这对建筑布置有一定限制。首先楼梯、风井的开洞位置需避开设缝的位置,其次设备用房内风机、配电柜的布置也应避开缝,同时还需要在设缝的两侧预留地漏,及时排出缝处可能渗入的地下水。

### (二) 地连墙与内衬结构

工作井的结构是先施工地连墙后做内衬墙,在地墙内预埋与内衬衔接的接驳器和钢板。地连墙内接驳器的标高对水平结构板的竖向定位起到决定性作用,设计中应引起重视。此外地连墙、内衬结构、水平板的厚度、标高、转折点等信息,建筑专业应及时反馈到平面和剖面中,以作为各专业开展详细设计的依据。

### (三) 腋脚与腋板加固

在顶板下方,地下一层板下方和底板上方,结构为了安全考虑采用腋脚、腋板加固措施。这些措施使得内部空间更复杂,建筑专业需要综合设备管线因素统一考虑内部使用空间。建筑应及时回馈给结构专业复核结果,更有助于其优化设计。

### (四) 预留预埋

由于外环工作井位于道路弯道处,道路横断面设计在此设计了3%的横坡,所以路两侧的实际高度相差较大,在设计中需根据设计情况推算南北两侧路面高度,以确定两侧开洞高度。由于路面高度不断变化,在中隔墙上留洞口和预埋设备管时,建筑专业提供了每个墙体的立面图纸,更清楚的看到埋管的相对关系,供各专业复核数据准确性。

## 八、地面附属物的集约与景观化设计

### (一) 集约化设计

外环地面附属物包含管理用房、出地面楼梯、新排风还有15m高的风塔。该项目不可避免的占用非市政红线内的用地,对此需要从专项规划阶段提出占地需求。由此,按照规划主管部门的要求,建筑设计尽量合并出地面数量,通过风井转换位置、楼梯合并等方式优化设计减少了约一半的构筑物。

### (二) 景观化设计

由于用地位于外环绿地范围,出地面附属物采取了与自然环境相融合的设计方式,管理用房立面采用穿孔铝板排列出竹林效果,楼梯采用弧形铝板装饰成波浪形象,而风井体量较小则穿上了“植物外衣”,成为地面长出来的小树装点着绿地景观。



图5 风井景观化处理

## 结语

建筑工作井设计应满足施工、通风、给排水、电气、监控、通信等专业的实际需求,也要考虑将来维护管理、开展救援的需要,同时还要考虑地下结构因安全采取的各种措施对建筑设计的影响。在各方需求满足的条件下,设计应顺应时代发展特点,充分考虑提高土地的使用效率,避免不必要的浪费,最终达成结构安全、功能齐全、经济实用、美观集约的工作井设计。

## 参考文献

- [1]王新.大型盾构隧道地震动力响应数值模拟方法及应用[D].2011.
- [2]王飞.盾构隧道等效建模方法及地震响应分析[D].2012.