

# 苏州大运河隧道总体设计及设计特点介绍

高晶

悉地(苏州)勘察设计顾问有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i6.4815

**[摘要]** 苏州大运河隧道是江苏地区首个顶管工艺下穿大运河的项目,旨在破解两岸跨河交通瓶颈。项目通过因地制宜的线型设计、长距离大断面矩形顶管、空间集成、运维一体化等多项创新优化技术,为类似穿河隧道建设提供了宝贵经验。

**[关键词]** 非开挖; 大断面长距离矩形顶管; 微循环; 空间集成; 运维一体化

**中图分类号:** U459.5 **文献标识码:** A

## General Design and Design Features of the Suzhou Grand Canal Tunnel

Jing Gao

CCDI (Suzhou) Survey and Design Consultants Co., Ltd.

**[Abstract]** The Suzhou Grand Canal Tunnel is the first project in Jiangsu Province to utilize pipe jacking technology to pass under the Grand Canal, aiming to address the cross-river transportation bottleneck on both banks. Through multiple innovative and optimized technologies, such as route design adapted to local conditions, long-distance large-section rectangular pipe jacking, spatial integration, and integrated operation and maintenance, the project provides valuable experience for similar under-river tunnel constructions.

**[Key words]** Trenchless; Large-Section Long-Distance Rectangular Pipe Jacking; Micro-Circulation; Spatial Integration; Integrated Operation and Maintenance

### 引言

隧道是埋置于地层内的工程建筑物,是人类利用地下空间或跨越障碍物的一种形式。和桥梁工程相比,隧道工程具有以下优点:使用情况受自然气候影响较小,行车安全性较高;不影响河(湖)面以上空间的使用和通航;不占用河(湖)面,对其附近用地也占用范围较小,附加价值较高;战备时可作为人防避难场所;噪声小,对居民影响小;对河(湖)及其周边环境的景观影响小。因此,随着我国和经济和技术的发展,隧道工程凭借其自身的优势,在城市道路穿越江河湖海(尤其是具有保护要求的水域地区)的工程中被越来越多的采用。

近些年来,我国建设了大量穿河(湖)的隧道工程,见下表:

隧道名称	所在城市	隧道长度	建设方式	隧道用途	建成时间
珠江隧道	广州	1200米	沉管法	公铁两用	1993年
长江隧道	武汉	3.63公里	盾构法	城市道路	2008年
长江隧道	上海	8.9公里	盾构法	公铁两用	2008年
长江隧道	南京	5.85公里	盾构法	城市道路	2009年
海河隧道	天津	3.32公里	沉管法	城市道路	2015年
凤凰湖隧道	滕州	1.75公里	明挖法	城市道路	2017年
黄河隧道	济南	3.89公里	盾构法	公铁两用	2021年
太湖隧道	无锡	10.79公里	明挖法	高速公路	2021年

### 1 概述

苏州姑苏区与高新区为京杭运河分隔,现状两个片区跨运河的通道较少。随着发展,区域间交通出行需求日渐增多,早晚高峰期间跨越运河通道能力严重不足,降低了姑苏区与高新区的交通出行效率。因此,急需在索山桥与晋源桥之间增加过河通道,完善区域组团道路网络,支撑区域间的经济发展。

大运河隧道西起横山路与鑫苑路交叉口东,沿横山路往东,设隧道下穿京杭运河,分两支分别接胥涛路及枣市街,隧道北线接胥涛路,路线全长895.889米,隧道长度860米;隧道南线接枣市街,路线全长1293.125米,隧道全长940米。其中穿越大运河段落采用顶管施工工艺,北线长度154米,南线长度230米。

### 2 项目的总体设计

#### 2.1 平面设计

隧道平面分为H线、N线及S线三段(图1)。设计中心线根据平面定线的原则,采用城市次干路40km/h的设计标准。其中,H线位直线;N线交点个数为2个,圆曲线最大半径500m,最小圆曲线半径为140m,加宽值为0.35m,按*i*=2%设置超高;S线全线交点个数为3个,圆曲线最大半径350m,最小圆曲线半径为180m;缓和曲线长度为35m,不增设超高,每条车道加宽值为0.35m。

#### 2.2 纵断面设计

隧道H线最大纵坡为5%,最小纵坡为0.3%,最小坡长为

127.226m。竖曲线半径为1132.075m；隧道N线最大纵坡为5%，最小纵坡为1.7%，最小坡长为213m，最小竖曲线半径为895.522m；隧道S线最大纵坡为5%，最小纵坡为1%，最小坡长为271.558m，最小竖曲线半径为1000m。其中顶管段最大纵坡为1.7%，满足顶管施工要求。



图1 隧道总体平面图

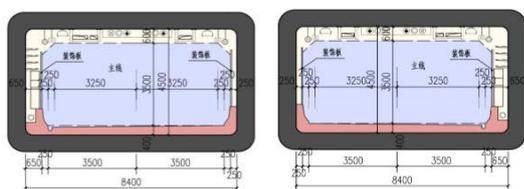


图2 顶管段横断面图

### 2.3 横断面设计

隧道H线为双向四车道，单侧建筑限界总宽度为7.50m，限界高3.50m。行车道宽为 $3.25\text{m} \times 2 = 6.50\text{m}$ ，路缘带宽为0.25m，安全带宽为0.25m。

隧道S线与N线均为单向两车道，建筑限界总宽度为7.50m，限界高3.50m。行车道宽为 $3.25\text{m} \times 2 = 6.50\text{m}$ ，路缘带宽为0.25m，安全带宽为0.25m。其中局部加宽段行车道宽度为 $3.60\text{m} \times 2 = 7.20\text{m}$ 。

隧道顶管段采用双孔单向行车方式，除路面结构厚度和主体结构略有差别外，顶管段横断面基本同明挖矩形断面。单孔结构内净尺寸为 $8.40\text{m} \times 4.5\text{m}$ 。外尺寸为 $9.8\text{m} \times 5.9\text{m}$  (为当时国内最大断面矩形顶管)。如图2显示

## 3 项目特点及创新

### 3.1 两岸接线巧分叉，循环路网畅交通

总体平面因地制宜，隧道接线采用分叉衔接。根据上位规划，运河两岸在项目沿线基本为住宅及商办用地，由于胥涛路在西环路以西段的接线长度偏短，为保证隧道与路网之间的交通转换能力，隧道在运河东岸的接线道路分为胥涛路和枣市街两支，其中胥涛路作为隧道入口，枣市街作为隧道出口，利用区域交通路网的小循环，与主干路进行对接，确保交通功能完备、行车安全舒适。

### 3.2 顶管暗挖护文脉，创新长隧无扰河。

本段京杭大运河为世界文化遗产，隧址处现状河道约100米宽。建设控制地带应当符合世界文化遗产核心区和缓冲区的保护要求。根据世界遗产保护要求，遗产区范围：大运河水岸两侧各外扩5米；缓冲区范围：遗产区范围整体外扩30米。

考虑运河遗产保护与协调，桥梁方案工程施工期间以及建成后对运河环境景观影响很大，故在跨河段采取地下穿越顶管施工这种较为成熟的地下空间暗挖技术。顶管施工法相对传统开挖施工工艺更为安全可靠，经济适用性强，具有不影响地面或水面、不封闭交通、不搬迁管线、低噪音、无扬尘等优点，“金蝉脱壳”，做到隧道方案对京杭运河基本无影响。同时，本项目创新性的应用长距离(单程230米)、大纵坡(1.8%)非开挖大断面顶管技术解决了工程建设对繁忙大运河主航道和胥江古运河的影响、大运河世界文化遗产及周边生态环境的限制。

### 3.3 深挖优化资源，因地制宜集成各类功能

由于项目周边均为已出让或已利用建设用地，隧道监控中心与现场设备用房的选址是项目难点，对此项目组提出以下两大方面优化：

#### 3.3.1 利用现有资源，满足隧道的管养要求

考虑到胥涛路隧道的接收养护单位与苏州北环隧道为同一家单位，经考察，无需土建改造，只需要对北环隧道监控中心的监控系统进行提升，并对机电系统进行小部分改造即可满足接入胥涛路隧道的功能要求。因此最终项目组采用对现有北环隧道监控中心进行扩容改造的方案，满足大运河隧道的日常监控管理要求。

#### 3.3.2 利用地下空间，优化现场设备区位置

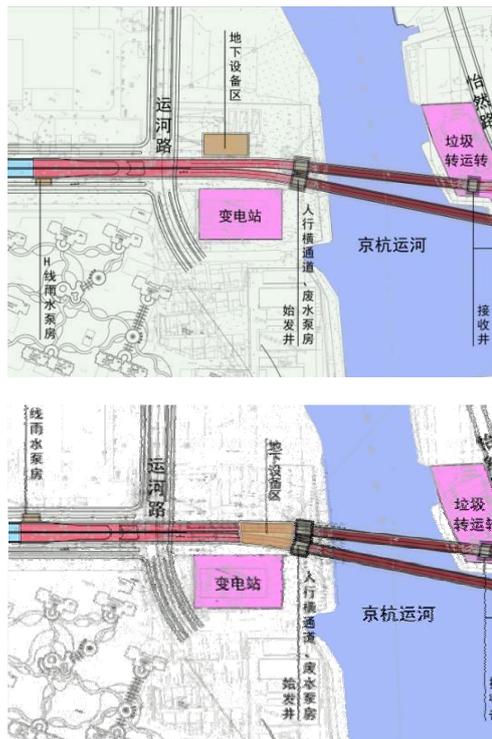


图3 优化前(上)后(下)的地下设备区位置

由于隧道内的设备较多，通常都会在一处集中区域设置设备区。而城市隧道由于市区内寸土寸金，设备区通常设置于地下以节省用地。常规地下设备区的净高一般为5米，考虑结构厚度及覆土要求，则隧道上方需要8-10米左右的覆土才能满足要求。一般隧道的埋深在6米左右，因此常规隧道的地下设备区一般设

置于隧道侧面的位置。而胥涛路隧道由于过河段采用的是顶管方案,为满足过河覆土需要,工作井后侧的覆土高达10-11米左右,因此具备在隧道上方设置地下设备区的要求。同时,设备区移至隧道上方后,减小的隧道开挖的范围,可以有效缩短施工工期。

这两个设计思路和实践既节省了用地,又从源头上为项目节省了约5000万费用,同时确保工程的进度满足工期要求。

### 3.4 提升优化创新,形成知识产权

针对项目地质条件差,软土及砂性土厚度大,过河段航道繁忙无法断流处理等风险和困难,有效解决国内首次采用大断面、长距离矩形顶管在浅覆土、高水压工况下建造的下穿京杭大运河的城市干道施工的各种技术难题,完成了建设过程中一系列重难点的研究。

### 4 矩形顶管机设备选型及功能升级

根据地质土层适应性、可靠性、安全性和经济性原则,顶管机械需同时满足泥水平衡、土压平衡式的要求。且在运河松软河床下施工,易产生背土效应。因此设计顶管机加注触变泥浆的防背土结构,主要包括顶管机顶部及侧面等间距布置9个注浆孔、矩形沉槽、覆板、电动球阀以及一圈向前延伸30cm的护板。

### 5 超浅埋大断面矩形顶管管节优化设计

综合考虑车行道路宽、高等净空及下穿运河的安全覆土厚度要求,管节尺寸设计为9.8m×5.9m,管节厚度最大只能做到70cm。因此适当提高配筋率,以满足受力与耐久性的要求。管节箍筋在不影响管节整体受力的情况下,将传统的闭口箍改为开口箍,便于管节生产。

为确保运营期间车辆动载作用下顶管通道的整体稳定,引进预应力张拉并增加30cmC30混凝土整浇层,因此在管节设计中增加了管节预应力榫孔结构,前一节管节的榫头插入后一节管节榫孔,防止施工时定位插入困难,是预应力钢绞线穿束张拉顺利进行的有力保障。

### 6 大断面矩形顶管始发及接收技术

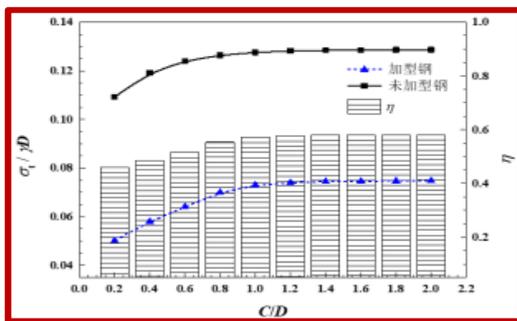


图4 SMW工法桩加固验算

始发洞门位置密插布设型钢规格为700×300×13×24,长度为20m的SMW工法桩,加上型钢后洞门的支护压力显著下降,约为未加型钢条件下的50%~60%,增强了大断面洞门的自稳性和止水性,从而预防涌水涌砂现象的发生。

本工程工作井紧邻老驳岸边仅8米不到,开挖深度达到20米,水土压力极大。因此除了常规的洞口加固外,还参考盾尾刷原理,在洞门内利用止水橡胶帘布、带销套的翻板、厚钢板以及应急注浆防水结构等组成洞门三级防水结构,加强洞门防水效果。

### 7 长距离顶进减阻施工关键技术

矩形顶管顶进施工中,主要使用的减阻措施主要为管节外侧涂蜡和注入触变泥浆两种方式。注浆压力一般维持在0.2Mpa,为保证管节外的触变泥浆不会因为长时间停滞而流失,须保持连续顶进。减阻泥浆配合比为膨润土:烧碱:水=11~13kg:1kg:120kg。

实现顶进过程中理论摩阻力为355.3KN/m,通过减阻措施,实现实际摩阻力为203.3KN/m,减阻效率达到40%。

### 8 结语

城市穿河隧道具有服务对象广泛、功能复合多样等特点,其总体布置往往受到河道、土地、交叉口、管线、沿线地块等诸多因素的制约。本文主要介绍了大运河隧道的总体设计及项目所具备的一些特点,为今后类似隧道的建设提供一些借鉴经验。

随着大运河隧道全线建成通车,苏州市区与新区再添新通道,两区衔接更为紧密。这条隧道的建成有效缓解大运河两岸沟通的交通压力,便捷的交通密切了市区与新区之间的联系,有效支撑区域之间经济互动,助力苏州城市一体化快速发展。

### [参考文献]

- [1]董占宇.《城市干路穿河隧道总体设计要点研究——以嘉兴市庆丰路隧道建设工程为例》,城市道桥与防洪,2023.03.
- [2]周明.《矩形盾构顶管施工技术在城市隧道中的应用》,路桥科技,2014.15.
- [3]杨阳,张建军,李万百.《滕州凤凰湖隧道工程总体设计》,城市道桥与防洪,2020.04.
- [4]魏龙海,王秒,吴树元.《南京建宁西路越江隧道总体设计与关键技术》,现代隧道技术,2022.05.
- [5]熊雪明.《南昌九龙湖隧道总体设计》,城市道桥与防洪,2019.11.