

供水管道顶管穿越现状高速公路对接流程与设计要点

郝士云 任启明

交通规划设计研究总院股份有限公司, 安徽 合肥 230088

[摘要]随着我国经济的快速发展和城市化进程的加快, 为了加快自来水用户的发展和优化区内管网, 供水管道往往需要穿越公路、铁路等重要区域。对于高速公路等重要区域, 不允许开挖施工, 而是采用非开挖技术。顶管法是非开挖施工中常用的施工方法, 具有工期短、不影响交通、对周围环境影响小等不可比拟的优点。以合肥市兴业大道给水管道穿越 G40 沪陕高速公路为例, 详细介绍了道路相关工程的对接过程和设计要点, 希望能为类似工程提供一些参考。

[关键词]顶管; 高速公路; 非开挖; 涉路工程

DOI: 10.33142/sca.v6i2.8594

中图分类号: TU992.23

文献标识码: A

Present Situation of Water Supply Pipe Jacking Crossing Expressway Docking Process and Design Points

HAO Shiyun, REN Qiming

Transport Consulting & Design Institute Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230088, China

Abstract: With the rapid development of Chinese economy and the acceleration of urbanization, in order to speed up the development of tap water users and optimize the pipe network in the region, water supply pipelines often need to cross important areas such as roads and railways. For important areas such as expressways, excavation construction is not allowed, but trenchless technology is adopted. Pipe jacking method is a common construction method in trenchless construction, which has incomparable advantages such as short construction period, no influence on traffic and little influence on surrounding environment. Taking the water supply pipeline of Xingye Avenue in Hefei City crossing G40 Shanghai-Shaanxi Expressway as an example, this paper introduces the docking process and design points of road-related projects in detail, hoping to provide some reference for similar projects.

Keywords: pipe jacking; expressway; trenchless; road engineering

1 工程概况

1.1 管道工程概况

本项目管道工程位于空港新区, 属合肥市七水厂供水范围。新建的兴业大道 DN1000 管线为光福路供水加压泵站的出水管, 该段道路为现状道路, 沿线需穿越现状 G40 沪陕高速。该段管线完成后, 可显著改善空港区域的供水条件。该段管道起点为光福路, 与已预留 DN1000 供水管勾连, 终点为红石桥北路(规划)。其中光福路至高速公路段采用 DN1000 供水管, 下穿高速公路顶管段采用 DN800 供水管, 高速公路至红石桥北路段采用 DN600 供水管, 全长约 1.0km。



图1 项目位置图

下穿高速公路段拟采用套管(DN1200 III级钢筋混凝土管, 内径 1.20m、长度 2.0m)+主管(DN800 球管)的顶管施工方式穿越 G40 沪陕高速, 穿越位置为高速桩号 K651+274.87。

1.2 高速公路概况

DN1200 套管顶管穿越位置为 G40 沪陕高速主线路基, 桩号为 K651+274.87, 该段道路纵坡为 1.070%(西高东低)。

道路主线采用填方路基, 两侧为 1:1.5 放坡。车行道横坡为 2%, 土路肩横坡为 4%, 坡向外侧。

目前, 该段高速公路的改扩建工程已经完成, 顶管穿越处路基宽度为 42.0 米, 征地线宽度约 58m。路基横断面组成为: 0.75m 土路肩+3.00m 硬路肩+4×3.75m 行车道+0.75m 左侧路缘带+3.0m 中央分隔带+0.75m 右侧路缘带+4×3.75m 行车道+3.00m 硬路肩+0.75m 土路肩。

1.3 地质条件

1.3.1 地层分布

工程主要下穿河道与高速公路, 地形有一定的起伏, 沿线地貌单元为江淮丘陵地貌单元。

根据本次勘探, 将沿线勘探揭示深度内地层分为 3 个单元土体, 现分述如下:

①层素填土(Q4m1)——灰褐色, 松散, 湿, 以黏性

表 1 地基土工程参数建议值表

土层	容重 kN/m ³	直接剪切试验		渗透系数 cm/s		地基承载力特征 值 kPa	压缩模量 ES ₁₋₂ MPa	顶管摩阻力 (kPa)	沉井外壁与土体的单位摩 阻力标准值 f (kPa)
		C kPa	Φ °	垂直 k _v	水平 k _h				
①	18.0*	8*	5*	/	/	70*	3.5*	18*	/
②	19.5	79	12	1.4E-07	2.0E-07	220	11.74	80	40
③	19.6	32	11	1.5E-06	1.8E-06	150	7.17	67	25

土为主，含少量植物根茎，局部夹杂少量砖块，场地普遍分布。层厚：1.60~4.70m。标杆实测击数 3~5 击。

②层黏土 (Q4al+pl) ——灰黄、褐黄色，硬塑，稍湿，含少量氧化铁、铁锰结核及高岭土等，无摇振反应，切面光滑有光泽，干强度高，韧性高。层厚 5.60~8.50m；层顶埋深：1.60~4.70m。

③层粉质黏土 (Q4al+pl) ——黄褐色、黄灰色，可塑，局部硬塑，含铁锰结核及钙质结核，切面稍光滑稍有光泽，干强度中等，韧性中等。该层未揭穿，最大揭露为 9.70m。层顶埋深：9.90~11.20m。

1.3.2 岩土物理力学性质

根据揭露的地层土体工程地质特征、原位测试统计结果与土样室内试验统计结果，对场地内地基土综合评价如下：

①层素填土为新近人工堆积土，其厚度、性质变化较大，工程性质极差，为软弱土；②层黏土，硬塑、局部可塑，干强度高，韧性强，性质较好，为中硬土，工程性能评价为“较好”；③层粉质黏土，硬塑、局部可塑，干强度中等，韧性中等，性质较好，为中硬土，工程性能评价为“较好”。根据有关规范结合工程经验，提出各层土的有关工程参数建议值或经验值如表 1：

1.3.3 地下水

据野外钻探勘察揭露，勘察场地地下水上部为上层滞水。

上层滞水：赋水介质主要为素填土中，透水性较强，水量变化大。主要受大气降水补给，以向邻区排泄和蒸发为主。本次勘探期间测得上层滞水混合地下水位（静止）埋深为 1.80~2.60m，地下水变化幅度在 1.0~2.0m 之间。

2 设计流程

管道顶管穿越高速公路设计属于涉路工程范围，所谓涉路工程是指公路用地范围内除公路设施以外的建筑物构筑物或者其他公共设施的建设工程，分为重大或较大涉路工程和一般性涉路工程，如下图所示。



图 2 涉路工程分类

根据安徽省交通运输厅文件皖交路[2009]567 号规定，重大或较大涉路工程与一般性涉路工程工作流程有所不同，重大或较大涉路工程工作流程如下图。

不同，重大或较大涉路工程工作流程如下图。

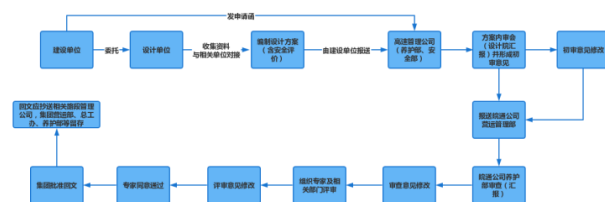


图 3 重大或较大涉路工程流程

一般性涉路工程工作流程如下图所示。

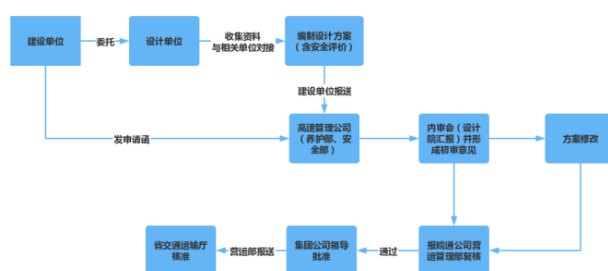


图 4 一般涉路工程流程

供水管道穿越高速公路顶管设计可分为：前期准备、设计主要内容（管道位置、高程布置、顶管井防护方案），设计验算，编写绘制初步设计文件，编写绘制施工图设计文件。

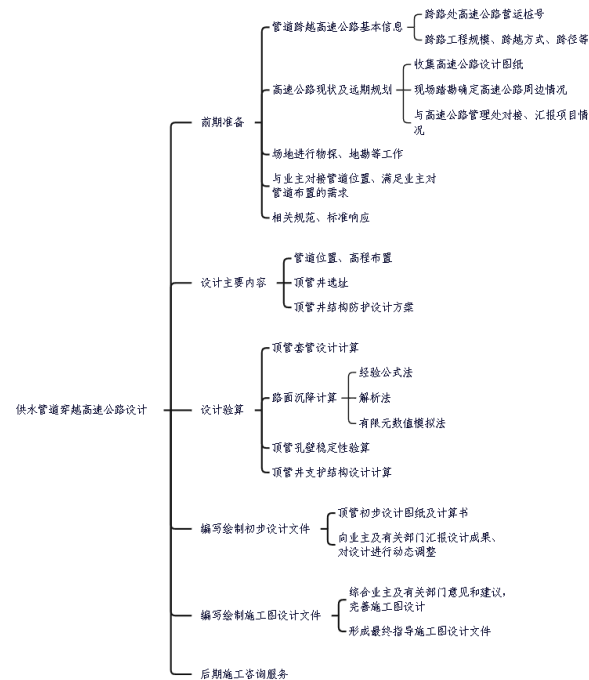


图 5 顶管设计涵盖内容

3.3 顶管设计

3.3.1 套管管径的选取及强度计算

根据《规范》第 5.2.2.1 条规定：管道穿越公路时，应设置地下通道（涵洞）或防护棚。通道或套管应按相应公路等级的车辆荷载等级进行检查。保护套的内径应该很大。当被保护管道直径为 5% 时，套管两端应用耐用材料密封。

（1）管材及管径确定

钢筋混凝土套管应符合《顶进施工法用钢筋混凝土排水管》标准（JC/T640-2010），混凝土强度不低于 C40。接头一般采用钢制承插接头，接头采用 O 型橡胶圈线封，每节标准长度为 2.0m，套管内径根据供水管道外径选择，套管与燃气钢管之间留有一定空间，便于施工和日后维修更换本项目供水管为 DN800 钢管，套管采用 DN1200mm*2000mm III 级钢筋混凝土套管，满足规范要求。

（2）强度计算

顶管施工完成后，钢筋混凝土套管埋设在高速公路路面下，需要承受套管结构的重量、竖向土压力、侧向土压力、地面堆积荷载和地面车辆荷载，以保证高速公路的正常运行。钢筋混凝土套管直径选定后，由壁厚、埋深、公路车辆荷载、堆积荷载等条件计算，按计算根据《给水排水工程管道结构设计规范》（GB50332）和《埋地预制混凝土圆管给水排水管道结构设计规范》（CECS143），套管所承受的开裂荷载和破坏荷载的数值。然后用此值在《顶进施工用钢筋混凝土排水管标准》（JC/T640-2010）中选择该直径的合适级别套管。穿越高速公路的顶管，套管级别一般为 III 级钢筋混凝土套管，既能满足荷载要求，施工完成后能长期稳定安全运行。

本项目基本条件为：管道强度等级：III 级；裂缝荷载 = 107kN/m；破坏荷载 = 161kN/m；管径 $d=1200\text{mm}$ ；壁厚 $t=120\text{mm}$ ；管顶至高速路面埋置深度 $H_s=7.82\text{m}$ ；主动土压力系数 $K_a=0.41$ ；管侧土的重力密度 $\gamma=19.5\text{ kN/m}^3$ ；内摩擦角 $\varphi=12^\circ$ ；主动土压力系数与内摩擦系数乘积 $K_a \cdot u=0.13$ ；土的黏聚力 $C=70\text{ kN/m}^2$ 。

A. 承载力极限状态验算

根据《给水排水工程管道结构设计规范》（GB 50332-2002）第 4.2.2 条，管道结构的强度计算应采用以下极限状态表达式：

$$\gamma_{os} \leq R$$

①管顶竖向计算

管顶竖向土压力标准值：

$$F_{sv,k} = C_j \gamma_{st} B_t D_1 \quad (1)$$

$$= 152.46 \text{ kN/m}$$

其中：管道外径 $D_1=1.44\text{m}$ ；

管顶土压力传递到管顶时的影响宽度 $B_t=2.61\text{m}$ ；无

槽施工土压力系数 $C_j=2.08$ 。

②管侧土压力计算

管侧土压力计算公式根据《给水排水工程管道结构设计规范》（GB 50332-2002）计算公式 3.2.3-1 计算：

$$F_{ep,k} = K_a \lambda_z D_1 \quad (2)$$

管侧土压力： F_{ep} ， $k=109.20\text{ kN/m}$ 。

③管道自重

根据《给水排水工程顶管技术规程》（CECS 246: 2008）

6.2.1 条，管道结构自重标准值计算公式如下：

$$G_{1k} = \gamma \cdot \pi \cdot D_0 \cdot t \quad (3)$$

$$= 12.94\text{ kN/m}$$

④管道内水重

管道中水的重量按管道满水时最不利的情况计算，计算公式如下：

$$F_{wk} = \lambda_w \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad (4)$$

管道内水重度 $w=10\text{ kN/m}^3$ ；

管道中水的重量 F_w ， $k=11.31\text{ kN/m}$ 。

另外，地面堆积荷载为 14.4 kN/m ，地面车辆荷载标准值为 3.63 kN/m ，两者取较大值， $q_{活}=14.4\text{ kN/m}$

根据以上荷载取值计算得：

$$\gamma_{os}=22.26\text{ kN/m} \leq R=37.12\text{ kN/m} \quad (5)$$

B. 正常使用极限状态验算

通过计算，最大裂缝宽度：

$$\omega_{max}=0.120\text{ mm} < 0.2\text{ mm} \quad (6)$$

所以，管道裂缝宽度满足安全要求。

综上，DN1200 套管结构安全满足《规范》要求。

3.3.2 顶管井设计

根据《规范》第 5.2.2.2 条规定：穿越公路的管道接头应设置在公路用地外。若用防水层封闭管道接头，接头应尽可能远离道路，接头与道路用地的距离不应小于管道埋深，并满足未来发展规划要求。

（1）顶管井位置

顶管井位置的设置应考虑到现状高速公路的远期规划，保证其位于远期扩建的征地线之外。同时，建议顶管井与现状高速公路坡脚线之间的距离控制在 3 倍井深之外，以减少顶管井施工对高速公路边坡的影响。

（2）顶管井尺寸

顶管井尺寸应根据《给水排水工程顶管技术规程》（CECS246_2008）确定，不仅要满足顶管施工的空间要求，还应满足内衬管安装及检测的需要。

工作井宽度： $W=D+(2.4 \sim 3.2)$

式中， W 为工作井宽度， m ； D 为顶管外径， m 。

工作井长度： $L=L_1+L_2+L_3+L_4+L_5$

式中， L 为工作井底长， m ； L_1 为顶管顶进管尾端留

置长度, m, 钢筋混凝土管一般留 0.3m; L2 为每节管长度, m, 钢筋混凝土管一般为 2.0m; L3 为出土工作间隙, 一般为 1.0~1.5m; L4 为千斤顶长度, m; L5 为靠背厚度, m。

接收井尺寸要求顶管机出洞吊出及内衬管安装即可, 比工作井尺寸小, 结构相对简单。

(3) 顶管井施工

顶管井施工采用明挖基坑施工, 主要的明挖基坑施工有放坡开挖及土钉墙支护、拉森钢板桩支护、SMW 工法桩、钻孔灌注桩支护、沉井支护、重力式挡墙支护, 应根据现场具体情况进行经济合理的施工方式。本项目采用钢筋混凝土沉井施工, 考虑到施工周期及现场环境保护的需要, 可采用预制沉井, 施工方便快捷。

(4) 相关计算

顶管施工的最大顶力不得超过允许值, 该允许值由顶管总顶力、管道允许顶力及工作井允许顶力综合考虑确定, 允许值若不能满足, 应采取相应措施(可根据施工需要采取注浆减阻或增加中继间等), 确保顶力不超限。

4 结论

总结了给水管道顶进穿越高速公路设计应涵盖的各

个方面, 以及一些常见的流程和设计要点, 基本可以指导类似道路相关工程的设计, 但在实际工作中, 也存在一些问题。身体的例子也要详细分析。总之, 在设计过程中, 要与业主、施工单位、高速公路管理部门充分沟通, 在设计、施工、安全、运营中找到一个平衡点, 以安全为先。同时要考虑施工的难度和费用, 使设计文件满足安全可靠、符合规定、经济合理、施工维护方便的技术要求。

[参考文献]

- [1] 中国工程建设标准化协会. 给水排水工程顶管技术规范(.CECS246-2008)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 王光明, 萧岩. 汽车荷载对管道的作用标准值计算分析[J]. 特种结构, 2007, 24(3): 45-48.
- [3] 魏纲, 黄志义, 徐日庆. 顶管施工引起地面变形的计算方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(2): 5808-5815.

作者简介: 郝士云(1990.12-), 男, 毕业院校: 合肥工业大学, 学历: 硕士研究生, 所学专业: 结构工程, 当前就职单位: 安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司。