

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.04.042

鳊鲤嘴路—华夏西路节点上中路隧道保护方案研究

文志云

(上海浦东工程建设管理有限公司,上海市 201210)

摘要: 鳊鲤嘴路—华夏西路节点是保证鳊鲤嘴路、前滩大道和华夏西路辅路沟通的重要节点,同时也是三条道路转换的交通枢纽。节点工程设计方案导致现状上中路隧道上方覆土厚度降低 2.3 m,为避免上中路隧道上方直接卸土后导致隧道结构上浮量超出监管单位的要求,选取了等载换填和地基加固两种常见的隧道保护方案,从保护措施效果、施工对隧道结构的影响、施工难易、造价等角度分析,认为在该节点上中路隧道保护方案采取水泥搅拌桩加固保护方案更为可行。

关键词: 等载换填;地基加固;隧道保护方案;隧道上方

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)04-0176-04

0 引言

近些年,随着城市道路网络的不断扩展和完善,城市地面道路路线与地下隧道线位相交或重叠的现象越来越常见。隧道上方荷载的变化对隧道结构的安全稳定影响较大。隧道上方因市政道路的建设引起荷载的变化对隧道结构安全的影响也受到隧道维护保养部门的重点关注。为解决相关问题,在道路设计时通过合理的路基设计减少道路建设前后隧道上方永久荷载的变化、进而减弱影响隧道结构安全的因素至关重要。

本文通过对鳊鲤嘴路(华夏西路—耀龙路)华夏西路节点高填土区域设计了等载换填和地基加固两种路基处理方式,模拟分析荷载的变化导致隧道的变形程度,结合施工方案和工程经济性、环保性等多角度综合比选隧道上方保护方案。

1 项目背景

1.1 项目概况

如图 1 所示,鳊鲤嘴路(华夏西路—耀龙路)位于上海市中心城区南部的三林滨江南片地区。工程范围南起耀龙路,北至华夏西路,道路全长约 2.02 km。规划道路等级为城市支路,设计速度 30 km/h,道路红线宽度 24 m。

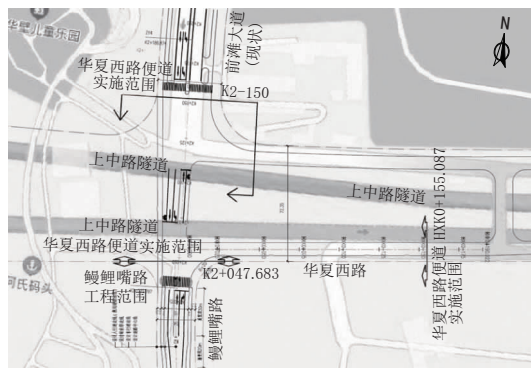


图 1 鳊鲤嘴路—华夏西路节点区位图

上中路隧道是中环线穿越黄浦江上游的越江节点,从浦西上中路向东穿越黄浦江后至浦东华夏西路,是上海第一条双层双向 4 车道隧道,隧道下层为浦东至浦西方向,上层是浦西至浦东方向。隧道于 2004 年 1 月开工,2009 年 1 月南线开始通车,2009 年 4 月实现全线通车。道路等级为城市快速路,设计车速 80 km/h。隧道外径 $\Phi 14.50$ m、内径 $\Phi 13.30$ m。

鳊鲤嘴路—华夏西路节点是保证鳊鲤嘴路、前滩大道和华夏西路辅路沟通的重要节点,三条道路转换的交通枢纽,从交通功能角度出发,该节点非常重要。由于规划鳊鲤嘴路—前滩大道线位与上中路隧道线位“十”字交叉,且上中路隧道上方存在大面积的高填土区域,考虑周边地块的规划标高,并统筹现状道路的设计标高,该节点设计方案需将现状上中路隧道上方覆土厚度降低 2.3 m。

当隧道上方覆土荷载出现较大变化时,隧道结构往往会出现上浮或者沉降,并有可能因附加荷载引起

收稿日期: 2023-04-06

作者简介: 文志云(1972—),女,硕士,高级工程师,从事市政工程技术管理工作。

的剪应力过大导致结构间的连接螺栓产生剪切破坏,发生剪切错台变形。所以,控制隧道上方土层荷载的变化对维护隧道结构安全尤为重要。如图2所示,根据与隧道管理部门沟通,从隧道的稳定角度出发,单次工程允许隧道最大隆起量为10 mm。为避免上中路隧道上方直接卸土后导致隧道结构上浮量超标,拟对上中路隧道采取保护方案。

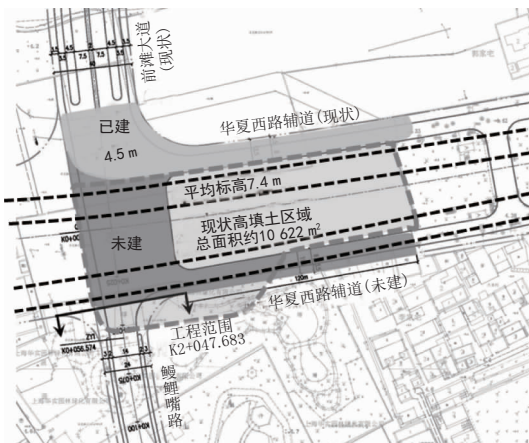


图2 鳊鲤嘴路—华夏西路节点高填土概况图

1.2 节点的工程设计方案

(1) 平面设计

如图3所示,鳊鲤嘴路—华夏西路交叉口新建区域,鳊鲤嘴路与前滩大道衔接,主线中心线为一直线,长度102.317 m,宽度15~33 m,机非混行,考虑到减少高填土区域卸土范围,保证交通功能的前提下,对鳊鲤嘴路—华夏西路节点交叉口进行优化设计。

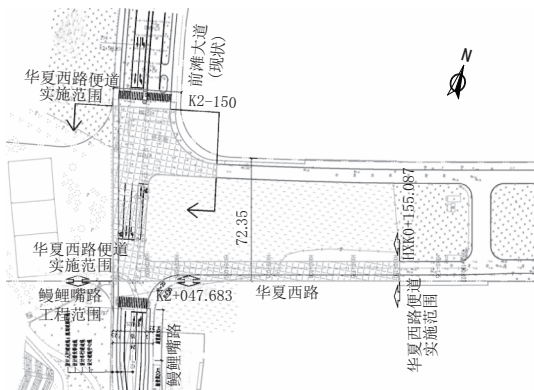


图3 鳊鲤嘴路—华夏西路节点平面设计方案图

华夏西路南侧新建辅道,新建辅道为一直线,长度为155.087 m,宽度为8 m,机非混行,人行道宽度为3.5 m,与已建南侧辅道顺接。

(2) 纵断面设计

鳊鲤嘴路—华夏西路交叉口新建范围内存在高填土,高填土区域位于中环上中路隧道上方。高填土区域平均标高为7.4 m,现状上中路隧道上方覆土约17.4 m。

现状前滩大道和华夏西路北侧辅路已建,现状标高约为4.5 m。如图4所示,为减少对现状隧道的影响,前滩大道及华夏西路北辅道交叉口区域进行适当改造抬升,纵断面采用较大的2%纵坡(《城市道路设计规程》(DGJ08 2106—2012)规定 $\leq 2.5\%$),鳊鲤嘴路—华夏西路交叉口中心线标高控制为5.149 m。与前滩大道接顺处标高控制为4.5 m,范围内车行道设计平均标高为5.1 m。

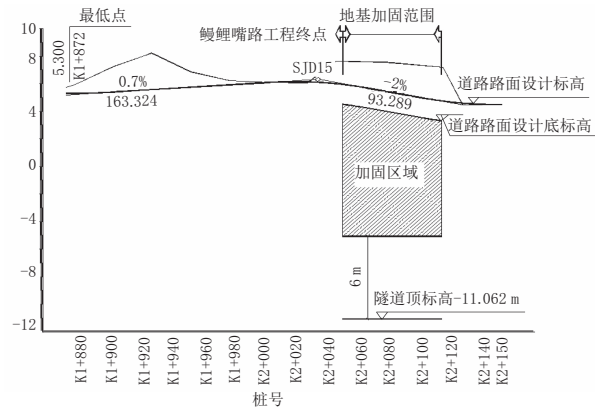


图4 鳊鲤嘴路—华夏西路节点纵断面设计方案图

1.3 上中路隧道沉降分析

根据上海勘察设计院(集团)有限公司《上中路隧道沉降变形观测报告(2022年第三季度)》,由表1数据可知,该工程范围内南线隧道累计表现为上升状态,短期内呈下沉状态,累计沉降变化范围为:-5.42~+5.65 mm,相邻点累计差异沉降最大值为7.35 mm(S44~S45),隧道的差异沉降总体不明显,沉降比较均匀,没有出现异常沉降。

由表2数据可知,该工程范围北线隧道累计表现为基本呈上升状态,短期内呈下沉状态,累计沉降变化范围为-1.06~+3.22 mm,相邻点累计差异沉降最大值为3.58 mm(BX59~BX60),隧道的差异沉降总体不明显,沉降比较均匀,没有出现异常沉降。

综合上表1和表2,节点检测范围800 m内上中路隧道累计沉降变化范围为-5.42~+5.65 mm,累计沉降较少,交叉口卸土施工引起隧道纵向曲率的变化较少,隧道结构情况相对较好。

2 节点上中路隧道保护方案

2.1 不采取保护措施方案

如果华夏西路节点不采取保护措施,按照纵断面设计图,华夏西路便道实施范围内高填土卸载至设计路基标高,采用MIDAS GTS建立三维计算模型,模型大小为(长70 m×宽160 m×深70 m),按实际施工工况模拟新建道路挖土卸荷对已建上中路

表1 本工程范围内上中路南线隧道沉降测量成果表

点号	2011.03	2022.07	2022.08	本次沉降 / mm	累计沉降 / mm	相邻点本次差异沉降 / mm
	起始高程 / m	高程 / m	高程 / m			
S44(NX110)	-15.293 3	-15.262 7	-15.263 7	-1.02	-5.42	0.66
S45(NX109)	-15.737 5	-15.733 9	-15.735 6	-1.68	1.93	0.39
S46(NX108)	-15.806 1	-15.799 2	-15.800 5	-1.29	5.65	1.79
S47(NX107)	-16.530 2	-16.522 5	-16.525 6	-3.08	4.67	0.55
S48(NX106)	-16.585 4	-16.578 1	-16.581 7	-3.62	3.63	0.89
S49(NX105)	-17.028 9	-17.022 0	-17.024 8	-2.74	4.11	0.03
S50(NX104)	-17.069 1	-17.064 9	-17.067 7	-2.77	1.44	0.07
S51(NX103)	-17.495 2	-17.488 3	-17.491 0	-2.70	4.24	0.24
S52(NX102)	-17.556 7	-17.550 1	-17.552 6	-2.45	4.09	0.23

表2 本工程范围内上中路北线隧道沉降测量成果表

点号	2011.03	2022.07	2022.08	本次沉降 / mm	累计沉降 / mm	相邻点本次差异沉降 / mm
	始高程 / m	高程 / m	高程 / m			
BX52	-20.546 08	-20.540 81	-20.542 86	-2.05	3.22	0.60
BX53	-20.602 51	-20.597 11	-20.599 76	-2.65	2.76	0.55
BX54	-21.466 11	-21.461 82	-21.463 92	-2.10	2.19	0.09
BX55	-21.519 35	-21.514 98	-21.517 17	-2.19	2.18	0.13
BX56	-22.717 45	-22.713 15	-22.715 47	-2.32	1.97	0.19
BX57	-22.770 22	-22.765 77	-22.768 28	-2.51	1.94	2.21
BX58	-24.058 35	-24.059 05	-24.059 35	-0.31	-1.00	1.33
BX59	-24.127 82	-24.127 23	-24.128 87	-1.64	-1.06	0.55
BX60	-24.969 90	-24.965 19	-24.967 38	-2.19	2.52	0.14

隧道盾构段影响情况。根据2021年8月的《鳊鲤嘴路(华夏西路—耀龙路)新建工程岩土工程勘察报告》，MIDAS GTS建立的三维计算模型中，原状土体弹性模量 $E=10.4\text{ MPa}$ ，黏聚力 $c=12\text{ kPa}$ ，内摩擦角 $\varphi=11.5^\circ$ ；加固土体弹性模量 $E=15.6\text{ MPa}$ ，黏聚力 $c=16.8\text{ kPa}$ ，内摩擦角 $\varphi=12.5^\circ$ 。

如图5所示，采用实体单元模拟各土层，板单元模拟盾构。不采取加固措施直接进行卸土施工时，根据三维计算模型模拟计算出上中路隧道最大隆起量为 14.9 mm ，超出了隧道监管单位要求的安全阈值 10 mm 。

2.2 水泥搅拌桩加固保护方案

为减小新建道路卸土对盾构隧道影响，首先对地面道路纵断面进行优化，减小盾构隧道上方卸土厚度、卸土范围，大幅减少卸土总量。同时对盾构隧道顶以上 6 m 至现状地面范围内土体进行水泥搅拌桩预加固。水泥搅拌桩采用 $700@500$ 双轴形式，桩径采用 0.7 m ，正三角形布置，搅拌桩间距 1.5 m 。水泥搅拌桩加固后开挖隧道上方土体计算模型如图6所示。

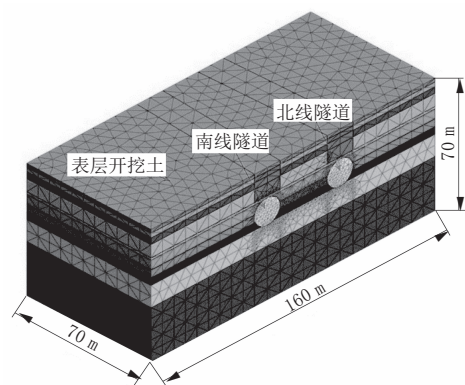


图5 不采取保护措施方案整体计算模型

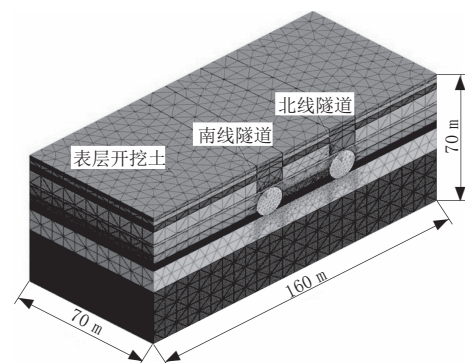


图6 水泥搅拌桩加固后开挖隧道上方土体计算模型

采用 MIDAS GTS 建立三维计算模型,模型大小为(长 70 m×宽 160 m×深 70 m),按实际施工工况模拟新建道路挖土卸荷对已建上中路隧道盾构段影响情况。

采用实体单元模拟各层土层,板单元模拟盾构。为尽可能准确模拟在隧道结构上方卸土对隧道状态的影响,土体采用修正摩尔库伦本构模型。

计算分为两个工况:工况一为盾构上方土体进行搅拌桩加固,工况二为开挖新建道路范围内土体。

将盾构隧道顶以上 6 m 至现状地面范围内进行水泥搅拌桩预加固后再卸土施工时,上中路隧道最大隆起量可减小至 6.9 mm,满足隧道结构安全的变形控制要求。

2.3 钢渣换填保护方案

华夏西路便道实施范围内以不增加恒载附加应力为要求,拟对道路下方 H 范围内采用钢渣换填素土进行处理。

堆土区域的平均标高为 7.4 m,节点区域车行道设计平均标高为 5.1 m。

经计算:鳊鲤嘴路—华夏西路交叉口新建区域:换填厚度 $H=5.6$ m,机动车道钢渣厚度 $=2.7$ m,人行道钢渣厚度 $=3.2$ m。

华夏西路南侧新建辅道:换填厚度 $H=5.3$ m,机动车道钢渣厚度 $=2.5$ m,人行道钢渣厚度 $=3.0$ m。

钢渣工程量:6 980 m^3 ;现状土换填工程量:13 870 m^3 。

同时,根据勘察报告,华夏西路节点地下水埋深较浅,水位标高约 3.75 m,考虑环保需要,钢渣需进行混凝土包裹。为控制施工期间卸荷影响,采用拉森钢板桩进行分块分区施工。

2.4 方案比选

针对上述水泥搅拌桩加固保护方案和钢渣换填保护方案,从保护措施效果、施工对隧道结构的影响、

施工难易、造价等角度出发,统筹考虑,具体见表 3。

表 3 保护方案比选表

方案	保护效果	对隧道结构的影响	施工难易	造价
水泥搅拌桩加固	较好	加固过程无挤土效应,对隧道结构影响较小	施工工艺成熟,类似隧道卸土案例使用较多	299.53 万,较低
钢渣换填	不增加恒载	施工期间需开挖后再加载,且开挖深度大于路基深度,控制隧道变形效果难以保证	分块开挖对施工控制要求极高,保护效果不稳定	903 万,高

对上中路隧道最有效的保护是避免和减少隧道保护区上方荷载的变化。钢渣换填保护方案拟采用 6 980 m^3 钢渣,换填现状土 13 870 m^3 。工程量大,工序相对繁杂,施工扰动大,施工时间长,同时钢渣运入和卸土外运量大,对环境保护不利,投资增加也较大。恒载换填虽然施工后对隧道的保护效果较好,但是钢渣换填方案施工期间需开挖后再加载,且开挖深度大于路基深度,控制隧道变形效果难以保证。因此最终经专家评审,拟推荐相对施工工艺较为成熟的水泥搅拌桩加固保护方案,上中路隧道最大隆起量可减少至 6.9 mm,满足隧道结构安全的变形控制要求。

3 结论

随着城市交通路网的不断建设,隧道周边地块或交通设施不断开发,影响隧道结构变形的因素愈加复杂。隧道上方,市政道路的建设引起的荷载变化对隧道结构安全的影响也在不断放大。通过等载换填和地基加固等地基处理方案,能够有效的减轻对隧道结构变形的影响。本文通过实际的工程案例,多角度研究分析两种隧道保护方案,选择适合的方案,深化相关设计细节,为类似工程提供相应经验。

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com