

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.05.043

多种抗浮措施在地下道路工程中的综合应用

沈艳峰, 刘英贤

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 随着社会经济的发展,城市地下道路在城市交通中发挥的作用越来越重要。对于全地下构筑物,抗浮设计是至关重要的设计内容之一,尤其如地下道路这样的线形工程,更需综合考虑工程地质、水文地质以及结构自身特点等,分区段有针对性地采取抗浮措施。以日照市海曲路地道为例,着重讨论长距离地下道路工程中常见的抗浮措施以及抗浮措施的综合应用。

关键词: 地下道路;抗浮;锚杆法;锚桩法;压重法
中图分类号: U412.37+3.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2024)05-0180-05

1 项目概况

日照市海曲路地道位于日照市东港区,为东西向地道,西起迎宾路,沿海曲路下穿枣庄路、北京南路、烟台路、威海路后接地。地道平面和纵断面设计分别如图1、图2所示,海曲路地道由主线和5条匝道组成,主线全长2 447 m,双向6车道。地道在烟台路西侧设置一对接地匝道(Z1/Z2);设置一对右进右出匝道(Z3)与日照高铁枢纽站夹层联系;设置一对东进东出匝道(Z4/Z5)与日照高铁枢纽站负二层沟通。在烟台路与海曲路路口处设有地下人行通道。该人行通道从枢纽站北广场接出,向北下穿海曲路,从海曲路地道主线上方正交穿过,然后在烟台路路口分别向东、西两个方向下穿烟台路后接地。

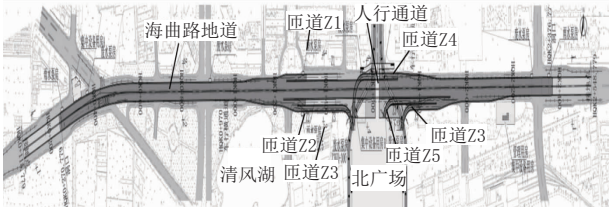


图1 海曲路地道平面示意图

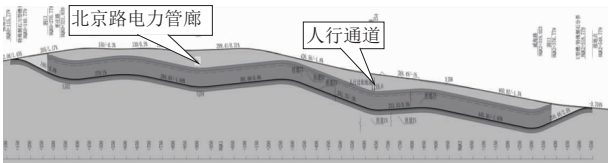


图2 海曲路地道纵断面示意图

收稿日期: 2023-05-17
作者简介: 沈艳峰(1973—),男,硕士,高级工程师,主要从事隧道及地下工程的设计与研究工作。
通信作者: 刘英贤(1979—),男,硕士,高级工程师,从事隧道地下工程设计及研究工作。电子信箱: liuyingxian@smedi.com

海曲路地道主线主体结构西端和东端U形敞开式结构的长度分别为126 m和143 m,主线暗埋箱涵结构长2 119 m。Z1匝道和Z2匝道与地道主线平行,分别位于地道主线北侧和南侧,全线与地道主线共墙合建。Z3匝道西段部分区段与Z2匝道共墙合建,其余为独建段并接入日照高铁枢纽站;Z3匝道东段从枢纽夹层接出段为独建段,其余与Z5匝道共墙合建。Z4匝道分流段与地道主线合建;中段与日照高铁枢纽站北广场地下人行通道东西出入口平行叠层合建;其弧形下穿主线段与主线叠层合建;末段为独建段,接入日照高铁枢纽站。Z5匝道从日照高铁枢纽站接出段为独建段,其余与主线合建。枢纽站北广场地下人行通道下穿海曲路段与地道主线叠层合建,东西向下穿烟台路至接地段与Z4匝道叠层合建。

海曲路地道主线敞开段底板最大埋深约7.73 m,横向宽度27.9 m;暗埋段底板最大埋深约13.79 m,标准暗埋段横向宽度29.1 m,主线与匝道合建段最大横向宽度60.85 m。Z1、Z2和Z3匝道最大埋深均约10 m,横向宽度约10 m;Z4匝道最大埋深约19.8 m,横向宽度约11 m;Z5匝道最大埋深约18.1 m,横向宽度约11 m。

2 工程地质与水文地质概述

2.1 各标准地层分析与评价

根据详勘资料,本工程沿线地面起伏较大,整体呈西高东低、北高南低走势。地层上部土层主要由第四系全新统人工填土和上更新统砂质黏性土组成;下部基岩主要为中生代燕山晚期花岗岩,局部有全风化

和强风化煌斑岩。

第①层填筑土、①₁层素填土和①₂层杂填土,土质不均匀,厚度小,物理力学性质较差,渗透系数为2 m/d。第②层砂质黏性土,土质不均匀,厚度较小,分布不均匀,属中等压缩性土,物理力学性质一般,渗透系数为0.2 m/d。第③层全风化花岗岩,为极破碎的极软岩,分布较均匀,物理力学性质一般,渗透系数为1 m/d。桩的极限侧阻力标准值 q_{si} 为120 kPa。第④层强风化花岗岩,为极破碎的软岩,分布较均匀,压缩模量较高,渗透系数为1 m/d,桩的极限侧阻力标准值 q_{si} 为160 kPa,锚杆极限黏结强度标准值 q_{sk} 为160 kPa,抗拔系数0.5。第⑤层中风化花岗岩,为较破碎的较软岩,分布不均匀,压缩模量较高,渗透系数为0.5 m/d,其 q_{si} 和 q_{sk} 分别为240 kPa和200 kPa,抗拔系数0.7。第⑥层微风化花岗岩,为较完整的坚硬岩,分布较均匀,压缩模量高,渗透系数为0.01 m/d,其 q_{si} 和 q_{sk} 分别为1 200 kPa和900 kPa,抗拔系数0.8。第⑧层全风化煌斑岩,风化较严重,岩芯呈土状,为极破碎的极软岩,其 q_{si} 和 q_{sk} 均为80 kPa,抗拔系数0.4。第⑨层强风化煌斑岩,节理裂隙发育,岩芯呈块状、短柱状,为极破碎的软岩,其 q_{si} 和 q_{sk} 均为140 kPa,抗拔系数0.5。

2.2 地下水分析

场区地下水主要类型为第四系松散土层孔隙水和基岩裂隙水,主要赋存于基岩强风化~中等风化带,具统一水面,地下水位随地形的升高而增大。风化裂隙水与第四系松散土层孔隙水具有一定的水力联系,按统一水位考虑。

抗浮设防水位沿地道主线纵向分段计取,最大埋深位于地道主线西端,约为地坪下2.5 m;最小埋深位于地道主线中东部,约为地坪下0.2 m。

地质纵断面如图3所示。

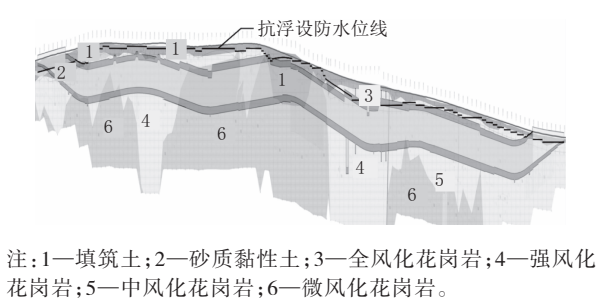


图3 海曲路地下道路地质纵剖面

3 抗浮措施的综合应用

地下道路工程常用的抗浮措施包括锚桩法、锚

杆法和压重法三种。本工程纵向总长2 447 m,横向宽度27.9~60.85 m,是典型的狭长线形工程。结合地质情况和变形缝设置,本地道结构全长分段采用了三种常用抗浮措施。

3.1 锚杆法

对于基底及以下地层为微风化花岗岩层的区段采用锚杆法作为附加抗浮措施,主要应用于地道主线中部长度100 m的暗埋段。横纵断面示意图见图4和图5。

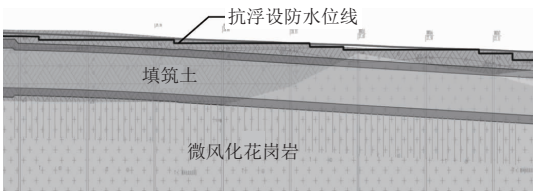


图4 锚杆法区段地质纵断面示意图



图5 锚杆法横断面示意图

该段暗埋段地道主线和Z1、Z2、Z3匝道共墙合建,地道横向宽度56.25 m,且顶板覆土厚度较薄,其中地道主线和Z3匝道顶板覆土厚1.43 m,Z1、Z2匝道顶板覆土厚0.85 m。该段地下水位较高,抗浮设防水位标高与设计地面标高几乎相同。该段承受的浮力为5 096.25 kN/m,而抗浮力仅为4 658.88 kN/m,抗浮稳定性系数 K 为0.91。

因场地受限,且地道横向宽度较大,采用两侧底板外挑压重的方式难以解决抗浮稳定性问题。该段地道基底均为微风化花岗岩,通过加大埋深以增加压重的方式将使得微风化岩的石方开采量大大增加,施工难度大,施工周期长。此外,在微风化花岗岩中成桩极为困难,因此锚桩法也不是最佳选择。根据详勘资料,微风化花岗岩层 q_{sk} 达到900 kPa,渗透性弱,渗透系数仅0.01 m/d,该段采用锚杆法作为附加抗浮措施具有明显优势。

该段锚杆间距按不小于1.5 m控制^[1],锚固段长度不超过8.0 m。抗浮锚杆按永久性锚杆设计。根据《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086—2015),经过迭代计算可得出如下结果(见表1)。

表1 锚杆主要数据

杆体直径 / mm	配筋 (HRB400)	间距 / m	锚固段长度 / m	单根锚杆拉力设计值 / kN	沿地道纵向每延米造价 / 万元
200	3根32	2.3×2.5	3.5	640	约1.06

3.2 锚桩法

对于基底及以下地层为全风化和强风化花岗岩层、煌斑岩层的区段采用锚桩法作为附加抗浮措施,主要应用于地道主线东西两端的U形敞开式结构和顶板覆土较薄的暗埋段,纵断面见图6。

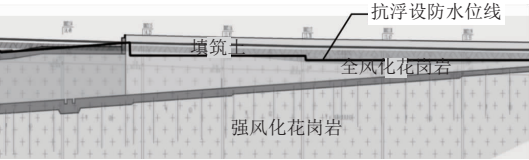


图6 锚桩法区段地质纵断面示意图

锚杆法和锚桩法均适用于强风化花岗岩层,本工程强风化花岗岩层锚杆极限黏结强度标准值较低,透水性强,锚杆法与锚桩法经济性差距较大,耐久性也有一定差距。

以地道东端的U形敞开式结构为例。东敞开段靠近洞口段为抗浮最不利段,地道横向宽度27.9 m,底板底埋深7.476 m,底板和侧墙厚均为1.0 m,出地面防护墙部分墙厚0.4 m,中心线处有0.6 m厚导流墙。该段抗浮设防水位相对于设计地面埋深1.656 m。该段承受的浮力为1 623.78 kN/m,而抗浮力仅为1 091.22 kN/m,抗浮稳定性系数K为0.67。

考虑到场地限制,抗浮措施在锚杆法与锚桩法之间选择。该段基底为强风化花岗岩,桩的极限侧阻力标准值和锚杆极限黏结强度标准值均为160 kPa,抗拔系数为0.5。

3.2.1 方案一:锚杆法

采用抗浮锚杆作为附加抗浮措施,由抗浮锚杆的拉力与主体结构自重共同抵抗水浮力,结构抗浮稳定系数取1.1。横断面如图7所示,锚杆间距按不小于1.5 m控制,锚固段长度不超过8.0 m。抗浮锚杆按永久性锚杆设计。如前所述,根据规范经过迭代计算可得出如下结果(见表2)。

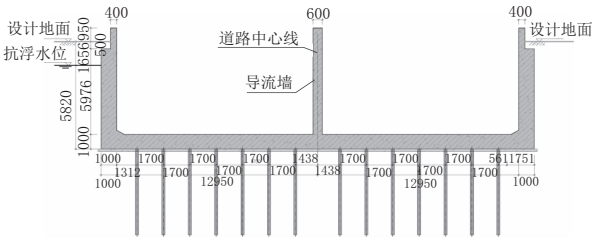


图7 方案一:锚杆法横断面示意图(单位:mm)

表2 锚杆主要数据

杆体直径/mm	配筋 (HRB400)	间距/m	锚固段长度/m	单根锚杆拉力设计值/kN	沿地道纵向每延米造价/万元
200	3根25	1.7×1.7	8	360	约2.17

3.2.2 方案二:锚桩法

采用抗浮桩作为附加抗浮措施,由抗浮桩抗拔承载力与主体结构自重共同抵抗水浮力,结构抗浮稳定系数取1.1,桩身配筋考虑裂缝控制,最大裂缝宽度限值为0.2 mm。横断面如图8所示。

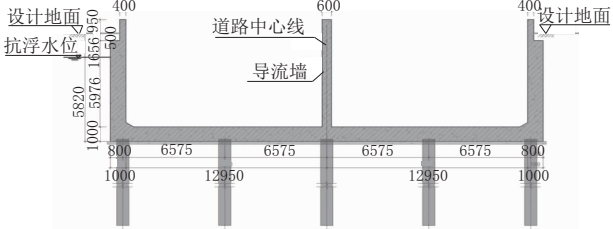


图8 方案二:锚桩法横断面示意图(单位:mm)

根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008),经过迭代计算可得出如下结果(见表3)。

表3 锚桩主要数据^[2]

桩身直径/mm	配筋 (HRB400)	间距/m	桩身长度/m	单桩基桩拔力/kN	沿地道纵向每延米造价/万元
800	21根22	6.575×6.0	9.5	1 000	约1.19

3.2.3 方案比选

强风化花岗岩地层既可采用锚杆法也可采用锚桩法。本工程中强风化花岗岩的锚杆极限黏结强度标准值偏低,与极限侧阻力标准值相同。如采用方案一锚杆法作为附加抗浮措施,虽然单根锚杆的造价较低,但是由于锚杆总量大大超过桩基总量,锚杆法在经济性与锚桩法有约50%的差距。因此本工程基底及以下为强风化花岗岩层的区段均采用锚桩法作为附加抗浮措施。

3.3 压重法和锚杆法混合应用

本工程地道主线与Z1、Z2匝道U形敞开结构共墙合建段,随着匝道逐渐升高接地,匝道中部至接地点区段匝道底板与主线底板竖向存在4.5 m以上的高差。该段基底持力层为微风化花岗岩,抗浮设防水位标高接近设计地面。因施工需要,Z1和Z2匝道基底超挖。为减少超挖回填对施工难度和工期的影响,并考虑经济性,决定在该段混合使用压重法和锚杆法,主线和匝道各自解决自身的抗浮稳定性问题。横断面如图9所示。

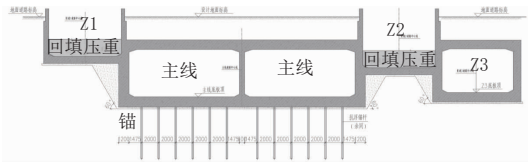


图9 压重法+锚杆法横断面示意图

3.3.1 主线地道抗浮措施

主线地道仍然采用锚杆法解决抗浮稳定性问题。主线地道底板仅承担与自重相当水浮力,剩余水浮力全部有锚杆承担,保证主线地道部分的水浮力不会通过主体结构的刚度传递给匝道。经计算,主线地道锚杆布置见表 4。

表 4 主线地道锚杆主要数据					
杆体直径 / mm	配筋 (HRB400)	间距 / m	锚固段长度 / m	单根锚杆拉力设计值 / kN	沿地道纵向每延米造价 / 万元
200	3 根 32	2.0 × 2.3	4	620	约 0.69

3.3.2 匝道抗浮措施

匝道采用压重法解决抗浮稳定问题。匝道底板适当降低标高,底板上方采用毛石混凝土回填压重。匝道底板标高降低的幅度,以底板上方压重和底板自重足以共同抵抗匝道部分的水浮力为限,保证匝道部分的水浮力不会通过主体结构的刚度传递给主线地道,不给主线抗浮锚杆增加额外负担。匝道底板下方超挖部分采用毛石混凝土回填。经过计算,匝道底板上回填压重的毛石混凝土厚度 1.5 ~ 2.0 m,沿地道纵向每延米造价约 1.78 万元。

3.4 压重法——中板压重

本项目 Z4 匝道与主线地道相对独立建设,匝道与主线地道之间结构净间距为 0.8 m。Z4 匝道由东向西逐渐降低,并最终向南从主线地道下方穿过,与地下空间连通。匝道上方叠层合建人行过街地道,横穿烟台路,并在烟台路东西两侧各设置一处出入口。人行过街地道顶板上覆土厚度 0.7 ~ 1.3 m。该段全线通过变形缝划分为西段、中段和东段共三段。

该段底板最大埋深近 20 m,竖向穿过素填土层、全风化花岗岩层,并座落于强风化花岗岩地层中,基底以下未见其它地层;抗浮设防水位按设计地面下 2.5 m 计。该段仅靠结构自重不能满足抗浮稳定性要求,考虑的比选方案包括锚桩法、锚杆法、底板压重法和中板压重法。

- (1)锚桩法:基底座落于强风化花岗岩层,锚桩法具备适用性;但施工难度大、工期长,且造价偏高。
- (2)锚杆法:基底座落于强风化花岗岩层,锚杆法具备适用性;但锚固段长度较大,锚杆间距较密,施工难度和工期较锚桩法无优势,且造价更高。
- (3)底板压重法:底板压重法具备适用性;但大大增加基坑深度,导致基坑支护难度和造价增加,同时对临近相对埋深较浅的主线地道更加不利。
- (4)中板压重法:匝道和人行地道叠层合建,在

满足功能需求的前提下,竖向空间有较大余量,中板压重法具备适用性;不需要增加机械设备或增大基坑深度,施工难度较小,工期较短。

经过以上方案比对,该段采用中板压重法解决抗浮稳定性问题。设计时将人行地道的底板作为匝道的顶板,即中板共板,并适当降低中板标高,分段上铺 1.0 ~ 1.5 m 的素混凝土作为压重,素混凝土上方为人行地道地面建筑做法,经计算各段抗浮稳定系数均满足要求。

西段为保证人行通道出入口从地面道路人行道范围内出地面,平面布置上人行通道向北偏出匝道近 3.5 m。由于中板上铺较厚的压重混凝土,结构整体重心下移,偏出匝道的结构同时产生了较大的倾覆力矩,须对该段进行抗倾覆验算。验算结果显示抗倾覆满足规范要求。为进一步确保抗倾覆稳定性,人行通道偏出匝道范围下方采用浆砌片石砌筑至板底,对挑出部分起到承托作用。

该段平面、纵断面和横断面图如图 10~ 图 12 所示。



图 10 压重法区段平面示意图



图 11 压重法区段纵断面示意图

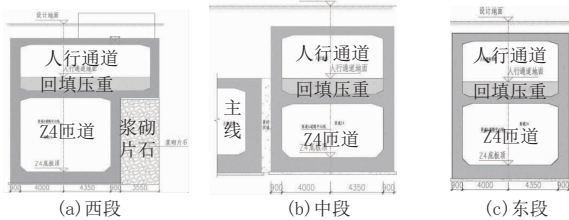


图 12 压重法区段横断面示意图

4 结 语

抗浮设计是地下结构工程的设计重点之一,尤其如地下道路这样的线形工程,更需综合考虑工程地质、水文地质以及结构自身特点等,分区段有针对性的采取抗浮措施。地下道路结构常用抗浮措施包括锚杆法、锚桩法和压重法,不同抗浮措施也可考虑混合采用,并注意以下几点。

- (1)根据地质情况并综合考虑安全、经济和施工便利等因素判断锚杆法的适用性。

即使在岩层中锚杆法也不一定是安全性、经济性、施工便利性的最佳选择,比如本工程强风化花岗岩层,桩的极限侧阻力标准值和锚杆极限黏结强度标准值相同且较低,实际计算分析可知锚桩法经济性较锚杆法更好,且在强风化岩中钻孔桩成桩难度较小,因此选择锚桩法作为附加抗浮措施更为适用。本工程微风化岩段,锚杆极限黏结强度标准值较高,锚杆的间距和锚固段长度均控制在合理区间,而且微风化岩层中抗浮锚杆的施工难度大大小于抗浮桩,适用性更好。

(2)综合应用不同抗浮措施时,应注意这些措施的原理相同,可以相互协调。

本工程压重法和锚杆法混合应用的设计采取了如下原则:匝道和主线各自解决自身承担的水浮力,避免水浮力通过主体结构的刚度传递给相邻的其它区域,不给周边区域抗浮增加负担。因此在设计时,底板仅承担与自重相当的水浮力,其余水浮力全部由附加抗浮措施承担。如此,底板被压重或锚杆紧紧

压住或拉住,不会产生上浮变形,也就不会向周围传递水浮力。

(3)压重法也可以在结构内部中板层应用,但应注意重心升高后带来的其它问题。

压重法常见于底板压重或顶板压重。底板压重使得结构重心更低,对主体抗倾覆有利,但是需增加底板埋深,对基坑围护结构影响较大,增加了施工难度和工期。顶板压重因受到设计地面标高和道路、绿化使用功能的限制,其压重材料和厚度等的选择余地有限。当内部空间余量较大,中板标高在一定范围内可灵活确定时,中板压重也可作为压重法的选项之一。但是,因为中板压重提高了结构的重心,大大增加了中板的负荷,应注意其带来的其它影响,比如抗倾覆稳定性、中板承载能力和抗裂能力等,确保主体结构安全可靠、使用功能不受影响。

参考文献:

- [1] GB 50086—2015, 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范[S].
- [2] JGJ 94—2008, 建筑桩基技术规范[S].

《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@smmedi.com