

深埋明挖隧道延伸工程接合点处理研究

刘发前,肖敏,林楠

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 地下空间开发,随着规划进一步明确深化、社会经济发展、人民生活标准的提升,分期实施、改扩建随处可见,所带来的接合点结构延伸及接缝防水是一个无可回避的技术难题。不同类型、规模的地下结构,接缝处理既有一定共性,又各具特点,需要进行针对性研究。以某实际深埋明挖隧道为依托,详细介绍隧道延伸工程中一期已建段围护隔离墙拆除、结构顺接的施工工序及要求,以及接缝的防水处理。通过设置钢筋混凝土支撑、围檩、隔离墙下竖向钢结构柱临时支承,确保隔离墙按序拆除。结构交界面按施工缝处理,先期施工结构素混凝土上部保留、下部破碎植筋并有效连接、新旧结合面上涂抹水泥结晶型防水涂料、遇水膨胀止水条及其间防水砂浆,结合压入高弹性密封条及大宽度接水盒等措施,实现结构安全连续,最大化地降低渗漏概率、高效引流。可见,上述方案不会引起附加工程量,过度拆除量,契合绿色、低碳的总体发展理念,现场实施效果良好,可供类似工程参考。

关键词: 地下空间;改建;扩建;防水;渗漏

中图分类号: U455.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)08-0252-05

Study on Joint Treatment of Deep-buried Excavated Tunnel Extension Project

LIU Faqian, XIAO Min, LIN Nan

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: With the further clarification and deepening of planning, social and economic development, and the improvement of people's living standards, the phased implementation and expansion and reconstruction of underground space development are very common. The structural extension of the joint points and the waterproofing of the seams are an unavoidable technical challenge. For underground structures of different types and scales, the joint treatment has certain commonalities as well as distinct characteristics, and the targeted research is needed. Based on an actual deep-buried excavated tunnel, the construction procedures and requirements for the removal of the retaining isolation wall and the connection of the structure in the first phase of the tunnel extension project, as well as the waterproofing treatment of the joints are introduced in detail. By setting up the reinforced concrete supports, purlins and temporary vertical steel structure columns under the isolation wall, the isolation wall removed in sequence is ensured. The structural interfaces shall be treated as construction joints. In the early stage of construction, the upper part of the structural plain concrete is retained, the lower part is crushed and rebar is planted and effectively connected. On the new and old junction surface, the cement crystalline waterproof coating is applied, and the water-swelling waterstop strips and waterproof mortar are used. By integrating measures such as pressing in high-elasticity sealing strips and large-width water collection boxes, the structure is ensured to be safe and continuous, and the probability of leakage is minimized and the efficient drainage is achieved. It can be seen that the above-mentioned scheme will not cause additional engineering volume or excessive demolition volume, which is in line with the overall development concept of green and low-carbon. The on-site implementation effect is good, which can be used as a reference for similar projects.

Keywords: underground space; reconstruction; extension; waterproof; leakage

0 引言

众所周知,城区内地下空间开发利用是缓解用

地不足、缓解交通压力的有力措施之一^[1-5]。随着城市的发展,人们对生活、出行的便利性提出了更高的需求。轨道交通的站场扩建、新增换乘、不同功能区互联、临近地下空间进一步开发,使得地下通道互联互通趋势日趋显现^[6-10]。此外,亦有很多由于需求或资金问题进行一次(多次)规划、设计、分期实施的案例。

收稿日期: 2024-12-20

作者简介: 刘发前(1981—),男,博士,正高级工程师,从事市政设计与研究工作。

由于地下工程的特点,实施完成后需“埋”在地下承受外部环境的持续约束。为满足自身施工需求、结构安全及功能保持,基坑支护体系、结构型式及防水体系等常需做成一封闭结构。由于后期改扩建工程的不确定性,无法更没有必要预留后期改扩建的全部条件,因此一旦确定对地下工程进行扩建、改建,将面临极大的设计、施工难度^[9-16]。

在深埋富水条件下的地下工程中,高水土压力是结构设计的关键因素之一。在改扩建工程中,已建段结构及相关“环境”多处于稳定状态,对其自身结构改造、辅助措施的处理、环境条件的变化无可避免地打破了整体平衡,使得整个工程更为复杂。如何在施工全过程不对已建结构及环境造成过大影响,又能最大化地提升施工效率、降低经济投入、减少废弃工程量处理是工程人追求的最大目标,更是符合节能减排的社会理念。

根据规范指导及施工经验,对有一定深度且周边无法放坡的基坑工程,需采用竖向支护系统。随着基坑深度的增加,围护墙可采用钢板桩、SMW 工法桩、钻孔桩(含双排桩、咬合桩)+止水帷幕、地下连续墙等单一或联合体(包括但不限于)^[17-23]。当基坑深度较大时,围护墙多采用刚性混凝土桩(墙)的型式,基坑施工完成后留置地下、不再拔除。

在明挖隧道改扩建或分期实施工程中,先期施工完成后常需回填土体,作为后期实施的材料堆放场地或恢复交通。显然,后期实施过程中需最大化减小对现状条件的影响,尤其已建结构上方的回填土。一般而言,若先期基坑深度较小,可在先期临近分期结构缝处结构顶板上设置临时挡土设施,结构顶板上填土分层压实,以期在后期基坑开挖时保持稳定,能自上而下逐段切除、吊离隔离围护墙,实现先后期的顺利连接。然而,分期实施工程中,若先期埋深较大,已建段上方覆土较厚,在先期已建段上方设矮挡墙、边挖边切除隔离墙的方案可实施性较低,需要增加额外措施。在此情况下,可将结构上方地墙保留于地下,仅将结构实施区域隔离墙开洞破除^[14]便是个不错的选择。此外,减少隔离墙的破除范围又可控制钢筋混凝土的废渣量,经济性更高。盾构隧道进出洞的围护墙开孔,亦多采用该类处理方式。

实际上,在一期未考虑扩建、延伸的结构连接、防水措施预留的情况下,其连接点的处理远比上述情况复杂,需从整体及细节上做充分论证,获取最优方案。本文拟对某底深超过 25 m,上方覆土厚度达

15 m 的深埋明挖隧道延伸工程进行介绍,详细论述一期已建段与二期延伸段之间的连接处理措施及施工工序。实践证明,通过有效地拆除隔离墙、巧妙处理连接点处主体框架及多项防水措施,有效地解决了软基高压水条件下隧道结构的延伸所面临的结构受力及接缝防水问题。重要的是,本案例中多项措施,具有很强的普适性,可供将来类似工程参考。

1 工程概况

某快速化道路改造工程中,出于多种原因考虑,原道路建设时在地下 15 m 处已施工一段隧道结构。隧道采用明挖顺做工艺,竖向围护墙采用 1 m 厚地下连续墙,隧道结构浇筑回做时,底板、顶板与横向围护墙(隔离墙)密贴,发挥“换撑”作用。最终,原设计、施工并未考虑预留有关结构顺接、延伸的技术措施。在本次道路快速化改造中,需对该已建隧道延伸,实现全线地下快速化。然而,已建段的围护墙变成了延伸工程的障碍(见图 1)。故这里仅讨论已建段与延伸 1 期之间的连接处理,延伸 1 期与 2 期处理方式完全类似,在此省略。图 1 表示延伸 1 期结构顶板标高以上 4 道混凝土支撑平面布置;图 2 所示为延伸 1 期顶板底标高以下 2 道钢支撑平面布置;图 3 表示了混凝土和钢支撑布置的纵向关系;图 4 给出了支撑的横断面图,其中包含了隔墙墙幅的型钢。

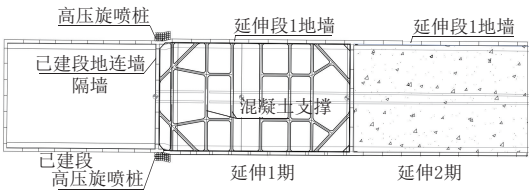


图1 连接点处钢筋混凝土支撑平面图

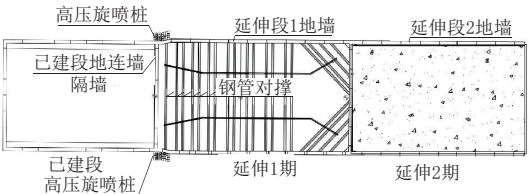


图2 连接点处钢支撑平面图

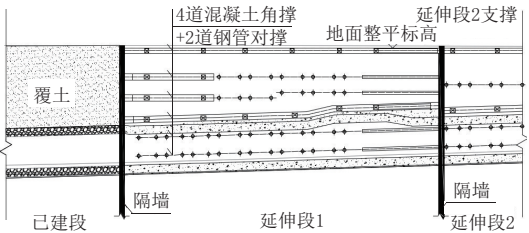


图3 连接点处支撑纵剖面图

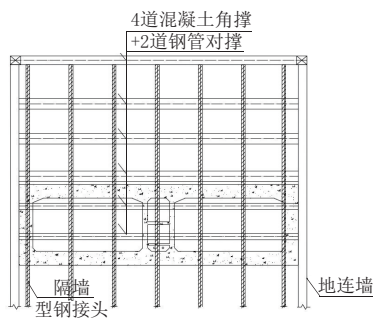


图4 结构横断面图

如前所述,为实现隧道的延伸,需解决既有结构围护墙的拆除、结构的连接及接口的止水等问题。

2 施工方案

2.1 围护墙拆除

已建段隧道施工基坑深度约25 m,采用1 m厚地下连续墙围成一封闭四边形,地墙长度为50 m,幅间采用H型钢连接。隧道延伸段亦采用明挖顺作法,围护墙续用1 m地连墙,墙长与已建段相同。根据该范围地墙的受力特点,隧道纵向地连墙承受全深度范围内水土压力,横向地连墙仅承受结构顶上覆水土压力作用。因此,隧道顶板以上采用4道钢筋混凝土支撑,对撑和角撑共节点布置,形成一稳固框架,在顶板以下,考虑横向隔离墙需过程中拆除,设置2道 $\phi 609$ mm($t=16$ mm)钢管对撑承受横向水土压力,纵断面如图3所示。顶部第一道钢筋混凝土支撑利用原围护墙冠梁,下部三道钢筋混凝土支撑与围檩连接为一整体,围檩通过植筋固定于既有横向地墙(见图5),植筋数量满足支撑的剪力,同时兼顾后期地墙中部截除过程中的抗坠落作用。

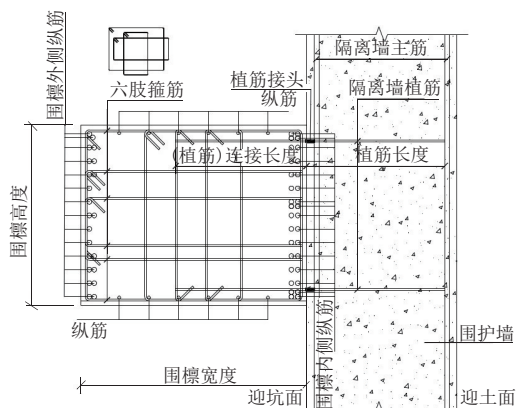


图5 隔离墙上围檩布置

地连墙拆除顺序及注意事项:

一是核实已建段隔离地墙的准确位置,评估顶部冠梁的健康状态,施工已建结构上方高压旋喷桩,防止隔离地墙拆除过程中发生漏水事故;

二是实施延伸段纵向围护墙及延伸段围护墙接缝间高压旋喷桩,以加强“冷缝”止水效果;

三是在上述工作完成后,按需进行降水试验,达到可开挖条件后进行基坑开挖直至第四道支撑底;

四是按照开挖所见隔离地墙分幅,按1~8顺序间隔式凿除地墙,对任一幅地墙,先根据竣工图、结合现场勘查获取已建隧道结构顶板,在结构顶板以上50 cm处采用水钻密集打孔,当形成通缝后,采用人工镐头破碎,待凿至顶板下方,再采用履带式风镐机自上而下破碎,直至结构底板以下50 cm,期间注意不对地墙间型钢接头造成破坏,破碎至底板以下50 cm后,设置型钢支承,型钢支承就地采用格构柱,下部立于下段隔离墙顶,上部顶至上端隔离墙底,埋入结构顶底板处设置止水钢板及遇水膨胀密封胶(见图6至图8),支承型钢拼装到位后,在其上方压灌高强砂浆确保支承有效,现场照片如图6所示,按序完成1~8幅地墙破碎处理后,统一切除型钢,地墙混凝土破碎完成,型钢未切除及型钢切除后的横断面如图7、图8所示。



图6 隔离地墙支承格构柱

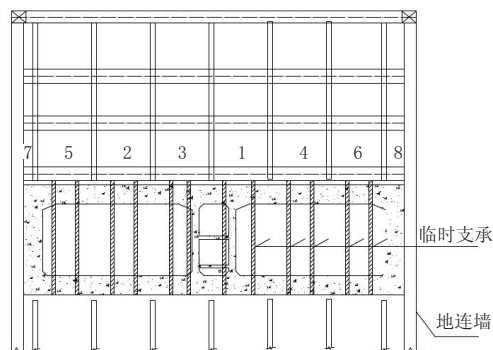


图7 破除地墙后横断面图一

3 隧道结构延伸

为保护结构不受腐蚀等原因考虑,已建结构靠近隔离墙约60 cm深度范围设计为素混凝土,顶板厚度为160 cm,如图9中A+B区块所示。若将A+B区

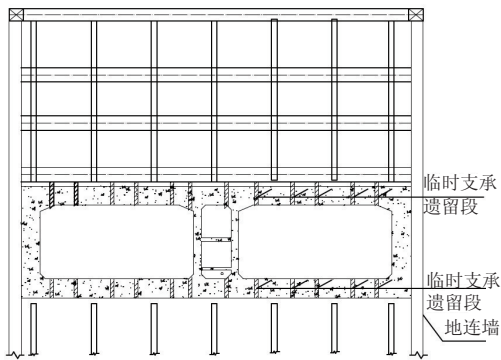


图8 破除地墙后横断面图二

块混凝土全部凿除,将会出现空洞,且人工风镐机施工的激振力会进一步破碎上方土体,具有较大风险。

经研究,预留顶板 30 cm 厚素混凝土(A 区)支托上方土体,下部 130 cm 厚素混凝土(B 区)凿碎至钢筋混凝土处,再行植筋使得钢筋连续解决顶板受力问题,断面大样如图 9 所示。为实现 B 区植筋与新建延伸段纵向筋有效搭接受力连续,在两者间设置箍筋加强连接。

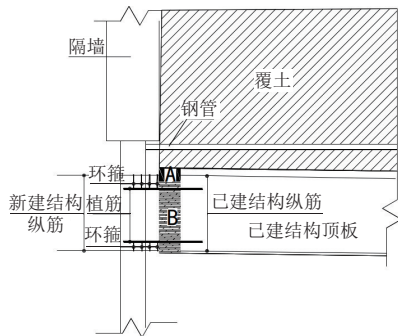


图9 结构顶板分区示意图

另外,结构侧墙按同样方式处理,结构底板部分,凿除全部素混凝土,下层纵向钢筋全部植筋,上层部分焊接、部分植筋,隔一处理。

地下工程的渗漏是决定工程质量的关键因素,在新建工程中,防水措施可结合主体结构从无到有的正常工序布设。然而在装配式结构及改建工程中,先期结构已经存在且达到设计强度,这给防水连接带来很大困难^[24-31]。

为确保接缝不渗漏,浇筑延伸段混凝土前进行界面凿毛,喷涂水泥结晶型防水涂料,并设置 3 道遇水膨胀止水条,其间埋设注浆嘴,待混凝土浇筑完成后注浆填实。为保证抗渗效果,待混凝土达到强度后,在接缝内填塞高弹性密封条。为做好有组织排出渗漏水,设置大宽度接水盒横跨施工缝及 2 处支承立柱遗留型钢区,接水盒接入底板边沟,如图 10 所示。

对于底板和侧墙,界面抗渗做法与顶板类似,在此不再赘述。

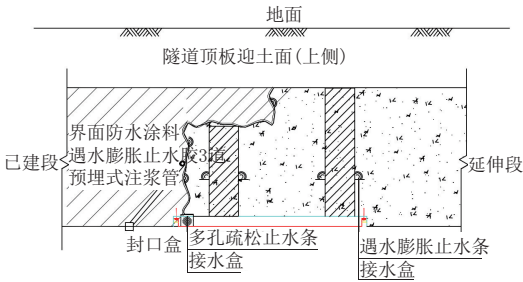


图10 连接点顶板防水详图

4 主要结论

在城市、交通发展背景下,地下结构的改建、扩建是资源融合、功能提升的重要举措之一,对既有部分结构的拆除、接合点防水处理不可避免,更是工程成败的关键。本文通过一典型案例分析,给出了超深埋明挖隧道延伸扩建的隔离地墙拆除及接头防水方案措施,具有一定的普适性及重要的参考价值,主要结论总结如下。

- (1)施工前需准确放样获取隧道结构的位置,围护结构的类型,以及两者的位置关系、作用关系,重点评估二次利用冠梁的有效性。
- (2)施工前做好已建段与延伸段纵向围护墙接缝的防水连接,内侧设置整体围檩跨过接缝确保围护墙支承效果连续有效。
- (3)针对本工程所采用的隔离墙为型钢连接情况,可采用分幅切割地墙,分幅间隔实施,避免地墙间型钢受力过大、不均匀。每幅地墙破碎至设计位置后,随即架设型钢支承,并压灌高强快硬砂浆等材料确保支撑有效。支承型钢穿过顶、底板处需设止水钢板等措施,且后期主体结构混凝土浇筑时保留。
- (4)连接点按照“施工缝”工艺处理,保证钢筋连续,具体为顶板在厚度上分 2 段,其中上段素混凝土保留发挥支挡上覆土体作用,下部破碎素混凝土段,露出原结构钢筋,按设计植入钢筋,其直径及数量根据计算确定,植筋与延伸段钢筋通过环箍连接。
- (5)已建段混凝土破碎后,界面涂刷水泥结晶型防水涂料,设置至少 2~3 道遇水膨胀止水条,止水条间预埋注浆嘴,混凝土达到强度后注浆密实。
- (6)连接点结构实施完成后,填塞强弹性类密封材料,加强防水能力;同时,设置宽接水盒,做好有组织排水。

参考文献:

[1] 贾坚,谢小林,方银钢,等.城市中心地下空间的互通互联整合[J].时代建筑,2019(5):29-33.

[2] 黄斌.轨道交通、市政地道和过街通道的地下空间一体化设计施

- 工[J]. 建筑结构, 2013, 43(增刊2): 84-87.
- [3] 黄鑫. 地铁站点和商业综合体的连接模式及空间研究[D]. 南京: 东南大学, 2020.
- [4] 李泽奇. 商业中心型轨交站点与城市空间的一体化设计策略研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2019.
- [5] 彭帅. 商业综合体与地铁连接空间设计研究——以天津滨海万达广场项目为例[D]. 北京: 北京建筑大学, 2019.
- [6] 戴永兴, 何涛. 既有地铁车站增设连接通道技术研究[J]. 中国建设信息化, 2017(12): 74-75.
- [7] 宋建华, 张杰, 周志健, 等. 国家会展中心(天津)工程地下通道与既有地铁站厅连接设计与施工[J]. 施工技术, 2020, 49(22): 107-110.
- [8] 万飞, 谭忠盛, 陈岩. 新建隧道近距离上跨既有线路施工方案研究[J]. 北京交通大学学报, 2013, 37(1): 40-45.
- [9] 姚燕明, 王毅, 叶蓉. 软土地区既有地下通道加固改造与地铁车站连接技术[J]. 施工技术(中英文), 2022, 51(7): 35-38; 43.
- [10] 张旭. 地铁车站地下过街通道布置形式研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(6): 122-124; 128.
- [11] 邹华, 陈明, 刘建松, 等. 城市地下立交明挖隧道受力特性数值模拟分析——以重庆星光大道延伸段节点改造工程为例[J]. 科技和产业, 2023, 23(8): 226-230.
- [12] 黄松. 地下通道超近距上跨城市轨道交通隧道结构施工影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(9): 100-104; 109.
- [13] 胡学兵, 胡居义. 明挖隧道上跨运营轨道隧道施工安全影响研究[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(1): 178-183; 258.
- [14] 张亚勇, 程建辉, 王飞, 等. 地铁区间钢筋混凝土连墙机械破拆系统试验研究[J]. 江苏建筑, 2022(3): 72-75.
- [15] 付艳斌. 一种新旧地铁车站连通处连续墙及侧墙破: 中国: 201710001110.3[P] 2018-01-19.
- [16] 张君. 浅谈地铁工程的洞门破除及土方开挖施工技术[J]. 太原城市职业技术学院学报, 2020(1): 194-196.
- [17] JGJ 120—2012, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [18] 夏明耀, 曾进伦. 地下工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [19] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [20] GB 50007—2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [21] JGJ 94—2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [22] GB 50010—2010(2015年版), 混凝土结构设计规范[S].
- [23] GB 50108—2008, 地下工程防水技术规范[S].
- [24] 郭少昱, 芦宇亭, 魏新. 带横向拼接缝的预制混凝土箱涵装配式人行地下通道连接设计[J]. 城市道桥与防洪, 2019, 3(3): 191-195.
- [25] 赵广军. 预制装配式混凝土结构发展现状分析[J]. 工程质量, 2016, 34(7): 16-18.
- [26] 张新娜. 装配整体式混凝土结构设计与应用[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2013.
- [27] 李琦, 唐琪舍, 王泽生. 装配式地下通道在昆明地铁建设中的应用[J]. 建设研究, 72-73.
- [28] 沙峰峰. 地下室连通口施工缝施工创新[J]. 建筑工人, 2013, 34(10): 36-37.
- [29] 刘方琨, 丁云, 朱崇钊. 新建建筑物对既有隧道的变形响应分析[J]. 工程建设, 2013, 45(5): 25-28.
- [30] 纪梅, 唐明杰, 周红波. 某地下通道穿越轨道交通施工方案的风险分析[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(2): 420-424.
- [31] 周勇, 杨超. 新旧地下建筑物接头施工缝防水处理措施探讨[J]. 四川建筑, 2018, 38(3): 226-229.

(上接第236页)

- [8] 宋华茂. 预制拼装大悬臂倒T盖梁设计与施工[J]. 城市道桥与防洪, 2024(8): 93-97.
- [9] 田周松. 节段预制拼装盖梁临时预应力设计[J]. 中国市政工程, 2023(6): 10-12.
- [10] 于国伦, 王兵. 大悬臂分段盖梁反拉法施工工艺试验及评估[J]. 城市道桥与防洪, 2024(5): 194-199.
- [11] 陈松. 浅谈预制盖梁分段干拼施工技术[J]. 建筑科技, 2024, 8(3): 95-98.
- [12] 严阅. 干接盖梁施工控制关键技术[J]. 城市道桥与防洪, 2024(3): 160-162.
- [13] 张辉荣, 王兵. 预制拼装盖梁反拉法施工偏差分析和评价[J]. 中国市政工程, 2024(3): 112-115.
- [14] 石茂根. 悬臂式预制盖梁无支架反拉法施工[J]. 建筑施工, 2023, 45(5): 951-953.
- [15] 张娟. 干接盖梁预制拼装技术的施工应用[J]. 城市道桥与防洪, 2022(2): 160-162.
- [16] 赵地芳. 分段预制盖梁干接拼装施工关键技术[J]. 建筑施工, 2023, 45(6): 1192-1195.