

# 不间断运营的地下通道改扩建技术研究

高扬

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市200092]

**摘要:**以浦东机场进场路地道改建工程为例,重点对为满足地下道路不间断运营工况的地道结构进行受力分析及施工工序研究。解决了传统地下通道改扩建工程需要封闭地下道路交通的难题,即整个施工期间地下交通仍能不间断运营。方案在国内尚属首例,具有标志性意义。

**关键词:**地下通道;不间断运营;施工工序;改扩建;钢支撑转换

**中图分类号:**U412.37+31

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-7716(2023)07-0179-04

## 0 引言

浦东机场作为构建上海国际航空枢纽的主要载体,需要进一步提升国际竞争力,助力上海迈向全球卓越城市。2025年、2030年上海地区航空客运需求将超出目前虹桥机场和浦东机场的最大保障能力之和,需要依托区域内多个机场体系的系统发展来满足。为适应浦东机场快速发展的业务要求,落实城市总体规划,浦东机场近期将启动包含T3航站楼及其配套设施等多项工程在内的四期扩建工程建设。

对机场进行扩建,需要保证现状道路的正常运营以满足机场的交通需求。机场的进场路地道作为机场路网交通的重要组成部分,对现状运营地道进行接驳改道,在保证进场路地道不间断运营的前提下进行地下通道系统改造,是机场扩建增容方案的关键节点。现状浦东机场建设有贯穿场区的既有南北进场路地道,是车辆进出及穿行场区的双向8车道主干道路。随着新增T3航站楼的建设影响,为确保T3航站楼及后续工程的顺利实施以及进场路地道的不间断运营需求,机场进场路地道需临时改线避让新建航站楼工程实施范围,临时道路需向场区东侧绕行。由于现状用地条件及道路线形受到限制,临时道路改建接驳点只能位于现状进场路地道暗埋段内,故需对现状地道进行改建。一些学者对此类地下通道改扩建工程已进行了研究总结。文献[1]以上海市打浦路隧道改建工程为例,分析了隧道横断面改建、隧道耐久性处理,内部结构改建、路面改建的具体思路和方法。文献[4]以南京临江路隧道改扩建

工程为例,提出了新的防水构造以及隔水措施。文献[5]以地铁苏州乐园8号口与连通道改造为例,论述了地下结构改建时应加强结构连接处防水加强、结构回顶等结构及防水措施。以上实际工程案例都具有一定的参考及借鉴意义,但是也有一定的局限性,世纪大道下立交改建需封闭地下交通,工程实施期间整个地道运营中断,对地面交通造成不小的压力。本文在以上文献基础上,为避免地下道路完全封闭,提出了整个施工期间不间断运营的结构设计方案,对原地道进行改扩建研究。综合比选了地下通道改扩建结构受力分析,详细进行了不间断交通运营工况下施工工序研究及结构受力分析,以期类似工程参考。

## 1 进场路地道临时迁建工程概况

新建航站楼工程实施范围与既有进场路地道冲突。为确保该工程顺利实施,并且满足机场场区地下交通不封闭,既有道路需向东侧绕行。故该临时地道工程为新建航站区前期工程。临时地道在既有进场路地道东线K2+260及西线K2+265里程处接驳改线,深埋顺接原进场路地道(见图1)。临时地道规划设计时速40 km/h,单线布置3车道。暗埋段结构为单层单孔箱涵,敞开段结构为U型坞式结构。东线临时地道暗埋段长度约67 m,敞开段长度约133 m;西线临时地道暗埋段长度约52 m,敞开段长度约213 m。采用明挖顺作法施工深基坑及地道结构。

地道采用明挖法开挖施工,最大开挖深度约12 m,设计采用SMW工法围护结构。拟建基坑开挖深度范围内分布有②<sub>3</sub>、③<sub>2</sub>层粉性土层,易产生坍塌、流砂等不良地质现象,以及③<sub>1</sub>、④层淤泥质黏性土,含水量高,承载力低,容易产生较大变形。场地条件较差,对

收稿日期:2022-08-23

作者简介:高扬(1991—),男,硕士,工程师,从事地下结构设计工作。

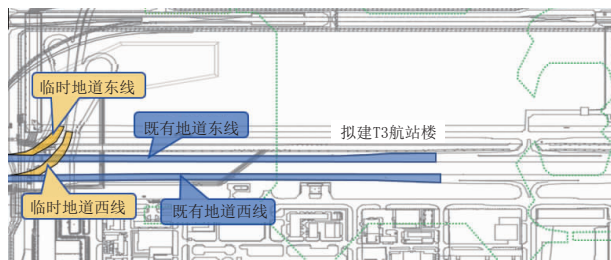


图 1 临时地道总平面布置图

地道改扩建带来一定影响。

## 2 既有地道结构改扩建研究

由于道路线形及场地条件限制,临时地道须从现状地道暗埋段接驳改道,临时道路接出段的圆曲线半径为 130 m,临时地道设计为双向 6 车道规模,设计车速为 40 km/h。该项目关键点在于不中断交通工况下的临时地道与既有机场路地道连接。临时地道与既有机场路地道连接时,需要在保证既有地道通行的条件下凿除既有侧墙。通过在既有地道内设置永久竖向钢支撑,逐步替换靠近侧墙处的临时钢支撑,使地道内车道逐条不中断改道贯通。

根据该功能需求,既有地道暗埋段侧墙需开洞长度为 54 m,开洞跨越两处变形缝,实施难度极大,属国内首创。为解决侧墙大开洞结构受力问题,经过多方案比选,最终得出利用既有顶底板结构沿变形缝方向向外延伸,形成新的单向板结构受力体系。并且为解决新的单向板受力跨度过大问题,设计沿临时地道建筑限界外设置一排永久钢支撑,如此减小了跨度,合理地形成两跨结构受力体系(见图 2)。

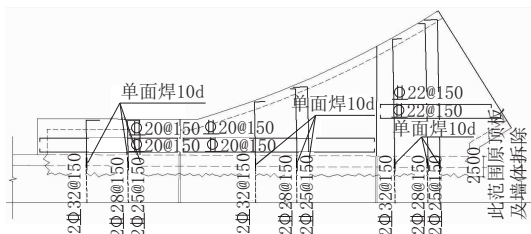


图 2 老地道顶底板结构改扩建平面图

既有地道结构顶板厚度为 1 200 mm, 板底配置双排 HRB400 钢筋 28@150+25@150, 板顶配置双排 HRB400 钢筋 32@150; 底板厚度为 1 400 mm, 板顶配置双排 HRB400 钢筋 28@150+25@150, 板底配置双排 HRB400 钢筋 32@150(见图 3)。经计算, 原结构受力满足要求, 侧墙大开洞工况下结构受力安全。

新建地道结构与既有地道连接范围较大,涉及受力钢筋根数较多,若采用植筋的方法连接新老结构,植筋工程量较大,并且受力区钢筋过密,植筋间距不能满足加固规范,故不可行。经过比选,采用凿

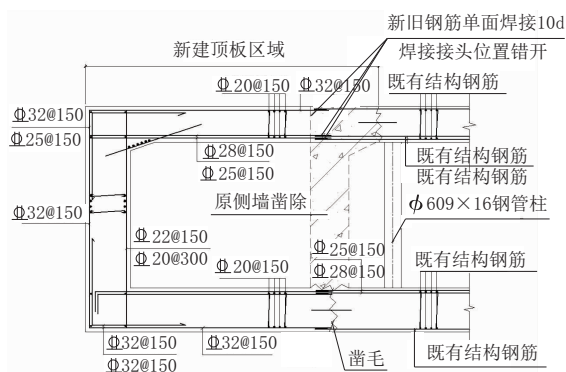


图3 老地道顶底板结构改扩建剖面图

除部分顶底板结构,使原有结构钢筋露出一部分,再进行现场焊接将新老钢筋连接,使得新老地道结构连成一体(见图4)。

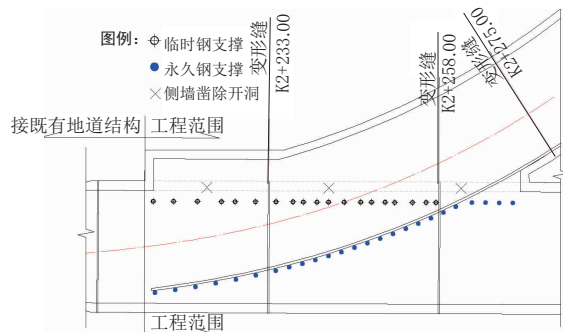


图 4 临时钢支撑与永久钢支撑平面布置图

首先凿除地道结构顶板及底板部分混凝土,使原有结构钢筋外露,新建结构主筋与既有钢筋焊接相连,采用单面焊,焊接长度不小于  $10d$  ( $d$  为焊接钢筋直径),焊接接头位置错开。

本工程难度在于第一阶段需在既有侧墙边设置临时钢支撑代替侧墙受力以解决既有地道结构侧墙大跨度开口凿除问题。但临时钢支撑和临时地道交通冲突。故如何在不影响地下交通的情况下,从第一阶段临时钢支撑工况转换至第二阶段永久钢支撑工况,是本工程的重点和难点。

### 3 临时地道交通方案切换说明

以临时迁建工程东线绕行地道为例，详细说明通过合理设置钢支撑以及结构计算，地下交通如何在不断运营的情况下，从既有地道转换至临时绕行地道。

图 5 为东线地道既有施工区域概况。

(1) 封闭 4# 车道, 设置临时钢支撑(支撑间距 1.2~1.8 m)。

(2)待临时绕行地道顶板及底板结构实施完毕后,拆除既有地道侧墙结构。既有地下通道仍维持三车道运行功能。

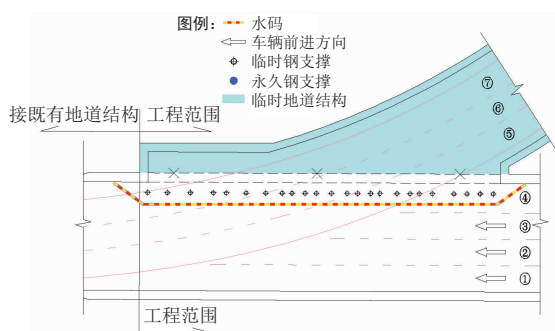


图5 东线地道既有施工区域现状图

图6为东线地道钢支撑转换工况一。

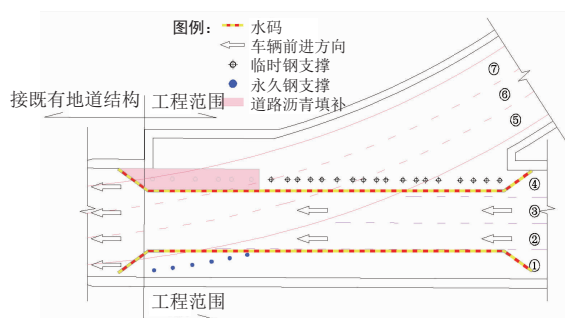


图6 东线地道钢支撑转换工况一

(1)第一天晚 20:00至 22:00点封闭 1# 车道,设置如图 6 所示。(当晚可通行 2#、3# 车道)

(2)22 至 22:30 铣刨 1# 车道新增钢支撑所在位置道路沥青,铣刨 20 m<sup>2</sup>。

(3)22:30 至 06:00, 依次安装 1# 车道范围钢支撑(支撑间距 1.2~1.5 m),待安装完毕后,拆除 7# 车道钢支撑。7# 车道钢支撑拆除完毕后,实施该范围道路面层沥青摊铺及标志划线,并且与既有 3# 车道道路面层顺接。

(4)第二天 06:00 至 20:00, 保证 2#、3# 车道通行。

图7为东线地道钢支撑转换工况二。

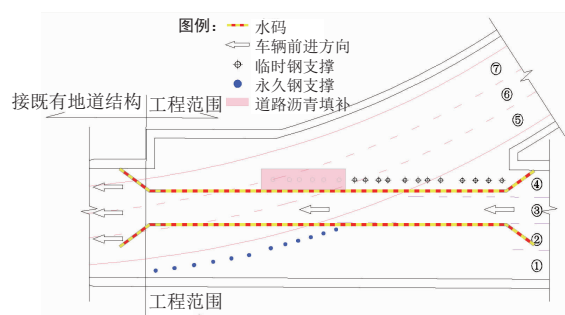


图7 东线地道钢支撑转换工况二

(1)第二天晚 20:00至 22:00点封闭 1#、2# 车道,设置如图 7 所示。(当晚可通行 3# 车道)

(2)22:030 至 22:30 铣刨 2# 车道新增钢支撑所在位置道路沥青,铣刨 20 m<sup>2</sup>。

(3)22:30 至 06:00, 依次安装 2# 车道范围钢支

撑(支撑间距 1.2~1.5 m),待安装完毕后,拆除 6# 车道钢支撑。6# 车道钢支撑拆除完毕后,实施该范围道路面层沥青摊铺及标志划线,并且与既有 3# 车道道路面层顺接。

(4)第二天 06:00 至 20:00, 保证 3# 车道通行。

图8为东线地道钢支撑转换工况三。

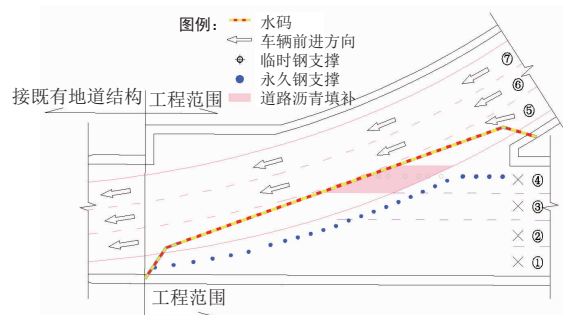


图8 东线地道钢支撑转换工况三

(1)第三天早上 06:00 至 08:00 点封闭东线临时地道 5# 车道,设置如图 8 所示。既有地道全部封闭,东线临时地道启用,保证 6#、7# 车道通行。

(2)08:00 至 13:30 铣刨 3# 车道新增钢支撑所在位置道路沥青,铣刨 20 m<sup>2</sup>。依次安装 3# 车道范围钢支撑(支撑间距 1.2~1.5 m),待安装完毕后,拆除 4# 车道钢支撑。4# 车道钢支撑拆除完毕后,实施该范围道路面层沥青摊铺及标志划线,并且与既有 3# 车道道路面层顺接。

(3)永久钢立柱北侧施工长约 40 m 钢筋混凝土防撞墙,模板采用预制品钢模板。植筋、钢筋绑扎、浇筑需用时 3 d,养护用时 7 d,故东线临时地道保证 6#、7# 车道两车道通行为 10 d 左右。

待防撞墙浇筑实施完毕后,拆除水码,保证临时地道地下交通三车道运行功能(见图 9)。

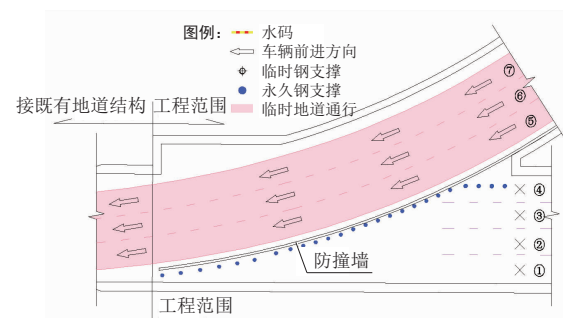


图9 东线临时地道交通运行图

#### 4 钢支撑转换过程结构计算

考虑地道内设置的钢支撑,以弹性支座模拟,弹性支座的压缩弹簧刚度  $K_B$ , 根据支撑体系的布置和支撑构件的材料与轴向刚度等条件按下式计算确定:

$$K_B = 2\alpha EA/L \cdot S$$

式中: $\alpha$ 为松弛系数; $E$ 为支撑材料弹性模量; $A$ 为支撑构件截面积; $L$ 为支撑构件计算长度; $S$ 为支撑构件水平间距。

既有工况为临时钢支撑设置于侧墙边,临时地道范围既有侧墙开孔(见图10)。

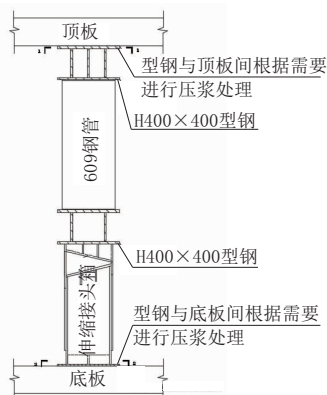


图10 钢支撑与结构连接构造图

荷载情况为板厚1200mm,自重自动计算;覆土2m=36kPa;地面超载20kPa。

如图11所示,既有施工工况下钢支撑最大轴力为4973kN。

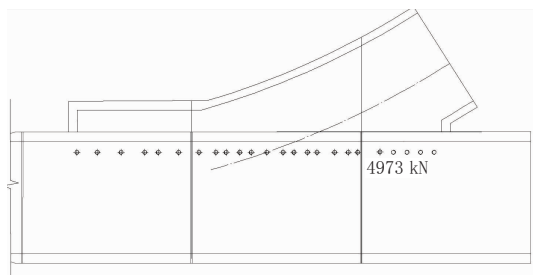


图11 东线地道既有施工工况钢支撑最大轴力图

工况一:根据前述,首先设置1#车道钢支撑,待安装完毕后,拆除7#车道钢支撑。

如图12所示,工况一情况下钢支撑最大轴力为5180kN。

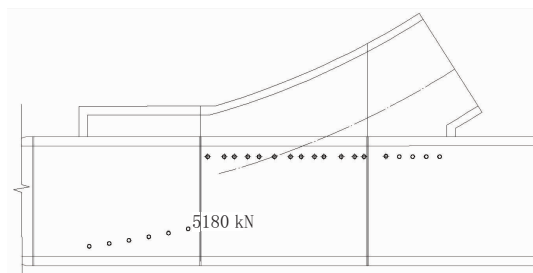


图12 东线地道支撑转换工况一钢支撑最大轴力图

工况二:根据前述,首先设置2#车道钢支撑,待安装完毕后,拆除6#车道钢支撑。工况

如图13所示,工况二情况下钢支撑最大轴力分别为5180kN,4328kN及4973kN。

工况三:根据前述,首先设置3#车道钢支撑,待

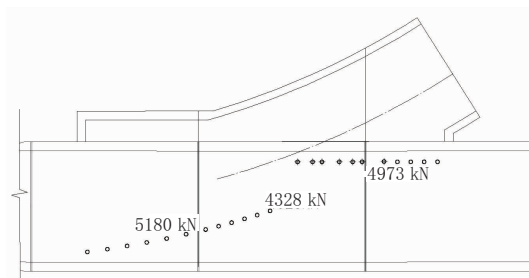


图13 东线地道支撑转换工况二钢支撑最大轴力图

安装完毕后,拆除4#车道钢支撑。

工况三为临时钢支撑转换为永久钢支撑的最后工况。

如图14所示,工况三情况下钢支撑最大轴力分别为5180kN,4434kN及4973kN。经过计算,钢支撑在各个工况下最大包络支撑轴力满足结构安全。整体改扩建地道顶底板及侧墙结构受力合理满足安全要求。

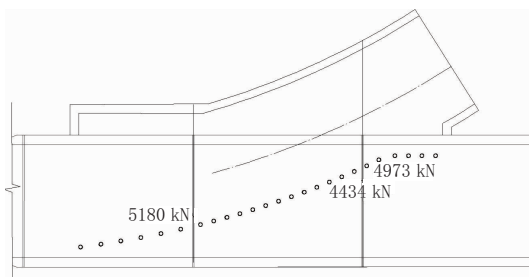


图14 东线地道支撑转换工况三钢支撑最大轴力图

该排永久钢支撑沿临时地道建筑限界外设置,作为改扩建地道结构的永久约束,解决了既有地道顶底板沿变形缝方向向外延伸而产生的结构跨度过大问题。

## 5 总结

本工程为国内罕见的地下交通不间断运营的地道结构改扩建工程。根据道路功能需求,主要提出了:

(1)利用既有地道结构顶底板沿变形缝向外延伸形成新的地道改扩建结构;

(2)在既有地道侧墙边设置一排临时钢支撑,以解决侧墙开洞结构受力的施工工况问题,满足临时地道单向三车道规模;

(3)沿临时道路建筑限界边设置一排永久钢支撑以满足既有顶底板结构延伸产生的跨度过大结构不合理受力问题;

(4)通过合理安排施工工序,在既有地道内部永久钢支撑安装及临时钢支撑拆除互相合理转换,既满足了改扩建地道主体结构受力要求,有效缩短施

(下转第192页)

存有近 1 300 人同步进行施工,是人员实名制管理地较大考验。为克服大体量人员管理的难点,该工程所有施工人员进出场均通过第三代掌脉识别闸机,并将人员进出场数据接入智慧化管理平台(见图 7),实现人员实名制管理的同时,可实时反馈现场各工区、各工种作业人数,同时可避免未经三级教育、超龄人员或未登记临时人员进出现场,降低安全风险。



图 7 人员管理情况实施展示

对建设单位而言,结合 BIM 进度模拟,能清晰对比各工区内进度与施工作业人数的关系,为指导现场工作提供有力依据。在采用智慧工地平台进行人员管理工作后,不仅实现了全员实名制管理,杜绝了人员工资发放等管理顽症,也为建设单位把控现场

各班组进度、考评各参建单位提供有力依据,提升建设单位管理能级。

## 4 结 语

超大基坑群工程的施工过程存在各单位、各专业的大量配合,在建筑施工的过程中应用智慧工地系统,不仅能够有效促进建筑工程施工的顺利进行,而且还能够有效保障工程施工的安全及质量,促使建筑工程取得更好的社会效益和经济效益。为最大程度发挥这一平台的作用,也要求施工管理人员要不断的学习和吸收先进知识、技能以及经验,在运用过程中结合施工现场的实际情况,不断提高智慧工地系统的可行性和先进性,促进我国建筑行业数字化、智慧化转型。

### 参考文献:

- [1] 王焕新,周振兴.智慧工地平台在变电站建设中的应用研究[J].现代信息科技,2023(2):90-94.
- [2] 杜威,方敏杰.基于 BIM+ 智慧工地平台的数字化管理及应用[J].智能城市,2022(11):67-70.
- [2] 焦磊,刘鑫蕊.智慧工地管理平台在工程项目中的应用研究[J].建筑技术开发,2022(17):67-68.

(上接第 182 页)

工工期,节约造价,并且又解决了传统地下通道改扩建工程需要封闭地下道路交通的难题,施工期间整个地下通道交通仍能不间断运营,无需封闭道路,使三车道正常接驳改道,该方案在国内尚属首例,具有很大参考意义。

### 参考文献:

- [1] 彭子晖.上海打浦路隧道大规模综合改建工程总体设计[J].中国市政工程,2010,149(11):4-7.

- [2] 姜炯.既有分离式地道的整体化改造设计[J].城市道桥与防洪,2016,8(8):318-320.
- [3] 刘挺.复杂条件下城市隧道改建设计[J].隧道建设,2012,16(5):523-530.
- [4] 夏东.临地铁市政隧道改扩建关键技术研究[J].现代交通技术,2019,326(4):64-69.
- [5] 夏炜,沈炎,武亚洲,谭海波.既有地铁通道融建及分期改造施工技术[J].建筑结构,2021,51(2):1775-1779.
- [6] 李纯.新建地道与运营地道接驳设计方案研究[J].城市道桥与防洪,2021,268(8):333-336.