

城市隧道与地下空间协同建设模式及技术研究

孙立¹,赵光²,黄俊²,李奥²,杨奎²,董飞²

(1.苏州恒泰商用置业有限公司,江苏 苏州 215123; 2.苏交科集团股份有限公司,江苏 南京 210019)

摘要:随着城市的规模化发展,多种地下空间的开发、改建方兴未艾。当前城市隧道与地下空间协同建设已成为发展的基本趋势,但同时必须解决协同建设中的安全及效率问题。基于隧道与地下空间开发过程的多种问题,揭示了城市隧道与地下空间协同建设的内涵,提出了城市隧道与地下空间协同建设模式,分别为共建式协同、预留式协同、保护性协同,揭示了各种协同模式的过程及协同目标,开展城市隧道与地下空间协同建设技术研究,为隧道与地下空间协同开发集约化利用和安全控制提供技术保障。

关键词:隧道与地下空间;协同建设;协同目标;协同模式;协同技术

中图分类号: TU92

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)07-0274-05

0 引言

随着城市隧道规模、形式的不断增加,隧道建设要求不断提高,从投资、节能、节地等角度考虑,建设一座城市隧道不仅要考虑城市交通的需求,也要同步考虑轨道交通、综合管廊、地下停车场等其他兼顾功能的需求,协同建设的理念不断深入城市隧道领域^[1]。近年来也逐渐出现了较多的与轨道交通合建、与综合管廊合建、与地下停车场合建等城市隧道,其建设方式和模式也日趋成熟^[2]。

当前在满足城市隧道与地下空间复合功能和集约利用的要求下,隧道与地下空间典型共建类型及工程主要有:隧道+地铁(武汉三阳路长江隧道)、隧道+停车场(连云港人民路隧道)、隧道+管廊(南京惠民大道隧道)、隧道+地铁+管廊(苏州阳澄湖第三通道)、隧道+人行地道+地铁车站(苏州星湖街隧道)、隧道+停车场+地下环路+管廊(南京中央商务区隧道)等^[3-6]。同时隧道与地下空间利用过程中已经出现从拆高架桥建设隧道到拆隧道建设隧道的案例。南京的快速路发展中陆续建设了多条城市隧道,起初将内环西线的桥梁改为隧道,后续又将原集庆门隧道的双向四车道拓宽至双向六车道,开辟了拆隧建隧的先河。这也成为了地下空间发

展过程中,由于空间需求增大,而不得不选择的一种建设模式。显然这样的建设模式代价太大,建设期间长期封路导致交通拥堵,资源极大浪费,环境污染等问题较为突出。因此,这样的案例也提醒规划及建设部门要充分重视地下空间的远期和近期的综合开发,在建设隧道、综合管廊等地下工程时要充分考虑新建地下工程与既有地下建(构)筑物之间的协同规划、建设及利用等问题。

城市地下空间规划原则要求开发与保护相结合、地上与地下相协调、远期与近期相呼应、平时与战时相结合等^[7],因此当前以城市道路隧道为主导的地下空间开发涉及规划、设计施工、运维和管理等多个阶段。每个阶段都有相应的难题,其中首先要解决的是城市隧道与地下空间建设中较为突出的安全和效率问题。本文提出了城市隧道与地下空间协同建设方法,对于隧道与地下空间协同建设中明确协同哪些对象,如何实现对象之间的协同,如何保护既有地下空间,如何推进协同的效率等问题进行研究。

1 城市隧道与地下空间协同建设内涵

地下空间开发具有不可逆性,开发强度应尽量一步到位,同时对地下空间资源要有长远的考虑,做好远近开发、分层开发规划,为远期开发项目留有余地,尽可能将能开发的地下空间一次性开发^[8]。地下空间开发过程中应注意以下问题:

(1)避免由于地下空间的无序空间布局造成地下空间的浪费(无序布局浪费),引发后期地下空间建设难度大(续建难度大),建设安全风险高,工程造价高

收稿日期:2022-08-05

基金项目:道路下方地下空间集约利用与安全保障技术(2019-K-110)

作者简介:孙立(1983—),男,硕士,高级工程师,从事地下空间综合开发领域的规划咨询、项目策划开发及相关科技工作。

(风险及成本高)等。

(2)强化对既有地下空间的保护,避免因地下空间的施工安全性问题而造成现有地下空间的破坏等。

为了解决城市地下空间建设中存在的安全和效率问题,必须利用协同建设方法进行城市隧道与地下空间开发利用,主要内容包含城市隧道与地下空间合理优化布局与利用、共同建设与预留、既有地下空间的保护、协同建设的机制保障等内容,进而解决协同哪些对象,如何实现对象之间的协同,如何保护既有地下空间,如何推进协同的效率等问题。

基于高效开发与安全保护相结合、远期与近期相呼应的原则,城市隧道与地下空间协同的内涵如下:

(1)在合理分层的基础上,对同一层位上的地下建(构)筑物之间展开共同建设或者预留等协同建设(协同对象)。

(2)因地制宜地选择协同建设主要和次要对象(协同主体)。

(3)针对不同工程采用合适可行的建设技术(协同技术)。

(4)强化对既有地下工程的保护(协同保护)。

(5)建立协同建设与管理机制(协同机制)。

2 城市隧道与地下空间协同建设模式及目标

以城市隧道为中心,隧道与地下空间协同建设的目标是:在安全的前提下实现隧道与地下空间的集约利用。在不同建设时序条件下,城市隧道与其他地下工程的三维空间关系的基本模式及建设思路如下:

(1)与城市隧道同期建设。确立隧道与周边地下空间共建或分建的选取条件,对共建时是否共基坑提出明确要求(共建式协同)。

(2)城市隧道先期建设。城市隧道规划、设计及施工中应充分考虑对周边其他后续可能建设的地下工程的影响,必要时应做好空间预留(预留式协同)。

(3)城市隧道后期建设。研究城市隧道后期穿越其他地下空间时,应分析施工对周边既有工程的影响程度,并采取相应的保护措施(顶管法、管幕法、冻结法等),以减小对既有地下空间的不良影响(保护性协同)。

2.1 共建式协同

针对 2 个地下空间的共建式协同,将独立建设

和共同建设模式下地下空间的利用进行对比,定量分析采取协同建设后地下空间占用的减小量,揭示地下空间集约化协同目标的实现过程,突出共建式协同在地下空间集约化利用方面的显著优势。

共建式协同的协同目标分析(见图 1)如下:

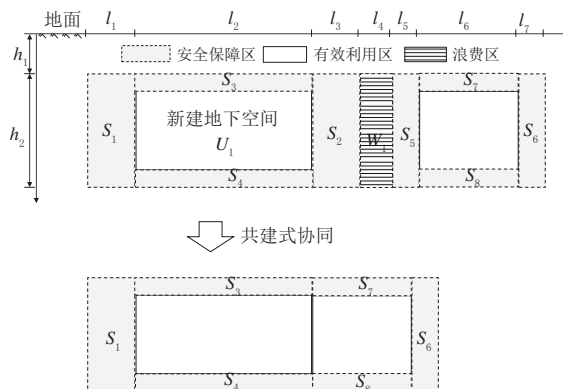


图 1 共建式协同的协同目标分析

在道路下方的同一层中存在 2 个地下空间建设新需求,有效利用空间分别为 U_1, U_2 。道路下方地下空间建设完成后,为了确保地下空间的结构安全,应对地下空间周围的一定范围内的岩土体进行保护,即地下空间周围存在安全保障区,安全保障区应适用于禁建区的要求,因此 2 个地下空间的安全保障区分别 $S_1+S_2+S_3+S_4$ 与 $S_5+S_6+S_7+S_8$ 。同时由于安全保障区的存在,2 个地下空间之间存在较小的区域,显然此区域无法得到利用,因此此区域为浪费区 W_1 。道路下方 2 个地下空间独立建设后的实际利用区面积应是有效利用区、安全保障区、浪费区域面积的和,表达式如下:

$$U_{1+2} = U_1 + U_2 + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + W_1 \quad (1)$$

当道路下方的 2 个地下空间进行共建,即采取共基坑的方式一次性完成建设时,不存在地下空间浪费区,则 2 个地下空间共同建设后的实际利用区面积应是有效利用区、安全保障区面积的和,表达式如下:

$$U_{1+2} = U_1 + U_2 + S_1 + S_3 + S_4 + S_6 + S_7 + S_8 \quad (2)$$

此时采取共建式方法,在满足有效使用区和安全保障区的前提下,实现了地下空间集约利用的协同目标,表现为实际利用面积显著降低,减小量表达式如下:

$$\Delta U = U_{1+2} - U_{12} = S_2 + S_5 \quad (3)$$

2.2 预留式协同

在城市道路下方同一层中既有地下空间 U_1 ,存在新建地下空间的需求 U_2 ,因此应该对新建地下空间 U_2 的布局位置进行研究。如果与地下空间 U_1 靠

的太近但仍有一定距离时,将会产生一定的浪费区 W_1 ,此区域内后期将无法进行其他地下空间的建设。但在城市密集区城市地下空间需求较大、既有地下空间较多时,应充分研究地区的规划文件,对后期可能存在规划的地下空间的位置和规模进行研究,避免对后期规划地下空间产生不良的影响。

预留式协同强调对地下空间进行预留,分为周边预留和间隙预留两种模式(见图2)。周边预留,即将能紧凑布局的地下空间进行集中布局,预留地下空间集中区以外的区域用于后期地下空间开发。间隙预留,即按照规划或可能存在的规划地下空间的要求,在多个地下空间之间预留出后期地下空间需求。采取预留式方法,在满足有效使用区和安全保障区的前提下,实现了地下空间集约利用的协同目标,表现为地下空间浪费区的显著降低,减小量表达式如下:

$$\Delta U = W_1 \quad (4)$$

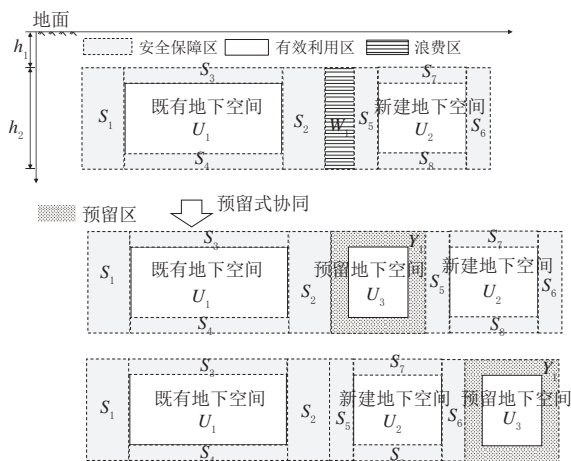


图2 预留式协同的协同目标分析

2.3 保护性协同

城市核心区内往往存在多种地下空间密集多层分布,使得多个地下空间之间存在一定的受限区,此区域内地下空间有限,当进行地下空间开发时,将会同时扰动到多个现有的地下空间。如果控制不当,将会产生安全事故。

保护性协同的协同目标分析(见图3)如下:

在道路下方同一层中存在3个既有地下空间 U_1 、 U_2 、 U_3 ,且新建地下空间为 U_4 ,其形成的受限区面积为 L_1 。当采取常规的手段时,新建地下空间为 U_4 所需的安全保障区为 $S_1+S_2+S_3+S_4$ 。此时存在受限区无法满足新建地下空间的实际利用区要求,表现为:

$$U_1+S_1+S_2+S_3+S_4 > L_1 \quad (5)$$

如果仅采取常规的建设手段,将对既有的地下

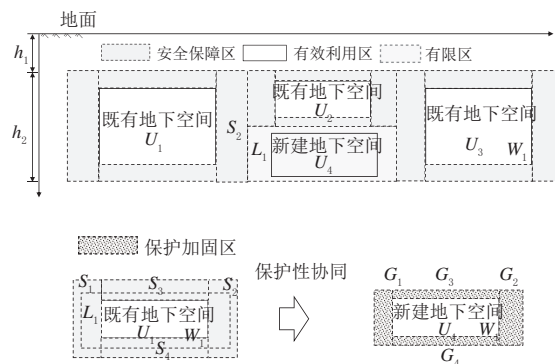


图3 保护性协同的协同目标分析

空间造成不良的影响,此时受限区无法进行安全开发。因此,必须采取适当的保护性手段,即缩小新建地下空间所需的安全保障区范围,确保加固后的新建地下空间的实际利用区范围小于受限区范围,表现为:

$$U_1+G_1+G_2+G_3+G_4 \leq L_1 \quad (6)$$

保护性协同强调利用保护性的技术和方法等对既有的地下空间进行保护,当受限区无法进行安全开发时,就必须采取相应的保护措施。采取保护性协同措施,在满足有效使用区和安全保障区的前提下,实现了受限空间安全开发及地下空间集约利用的协同目标,表现为受限空间的有效利用。相比于常规方法对受限区无法安全开发,采取保护措施避免了地下空间的浪费。协同目标表达式如下:

$$\Delta U = L_1 \quad (7)$$

3 城市隧道与地下空间协同建设技术

3.1 隧道与地下空间共建技术

为满足城市道路隧道逐渐复杂的功能需求,城市隧道建设越来越频繁地遇到城市隧道与综合管廊、管线等分建和共建的问题。城市明挖隧道与综合管廊作为2种不同类型和用途的地下结构,如果将隧道与综合管廊进行一体化建设,既可以充分利用地下空间资源,也可以大幅度节约工程投资(见图4)^[9]。

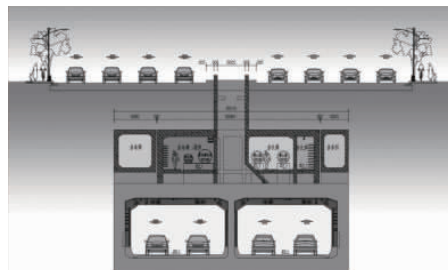


图4 隧道与综合管廊共建示意图

综合管廊随明挖隧道协同建设方法(见图5)主要有如下两种形式^[10-12]:

(1)共结构形式。当隧道结构顶板与综合管廊底

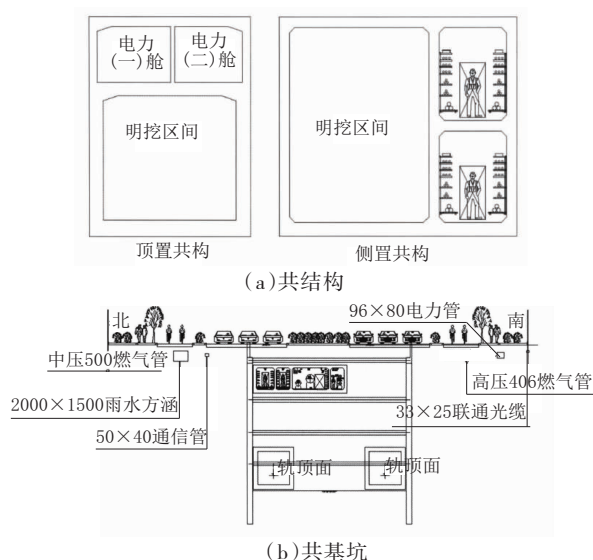


图5 隧道与综合管廊共建类型示意图

板标高一致时,可以将综合管廊置于隧道顶部,隧道顶板与综合管廊底板共用结构。当两者标高差异较大时,隧道底板位置不变,可考虑采取共用侧墙的形式。

(2)共基坑形式。当隧道与综合管廊走向一致且距离较近但埋深差异较大时,可充分利用两者在平面上间距近的优势,采用共基坑的方式进行建设。

南京市扬子江大道快速化改造工程采用节点下穿的方案,设置了4座节点隧道。为集约利用地下空间,降低工程费用,综合管廊与节点隧道共线段,综合管廊布置于地下道路一侧,二者按同一基坑设计(见图6)^[13]。

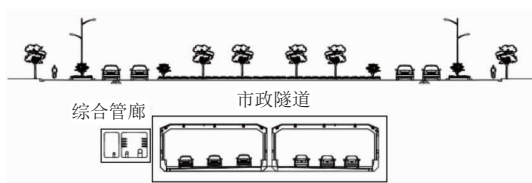


图6 管廊侧穿市政下穿隧道

南京市横江大道(西江互通)建设工程中,行知路隧道与道路沿线管廊、雨污水管距离较近,且基底埋深相当,考虑将隧道、管廊、雨污水管进行共坑设计。共基坑设计要求如下:

(1)当隧道紧邻管廊,且二者平面间距不大于6 m时,隧道与管廊共基坑(见图7)。

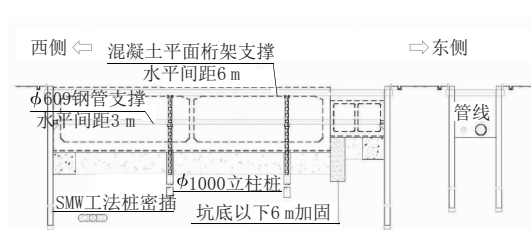


图7 隧道与管廊共基坑设计

(2)当隧道紧邻管廊、雨污水管,且两两平面间距不大于6 m时,隧道与管廊、雨污水管共基坑(见图8)。

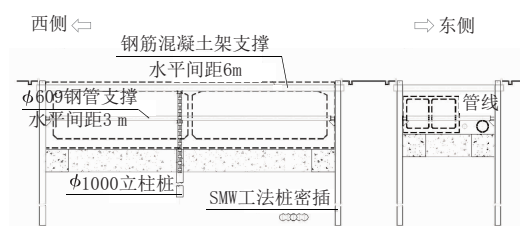


图8 隧道与管廊、雨污水管共基坑设计

(3)当隧道距离管廊、雨污水管较远(平面间距大于6 m)时,隧道按独立基坑,管廊与雨污水管共基坑(见图9)。

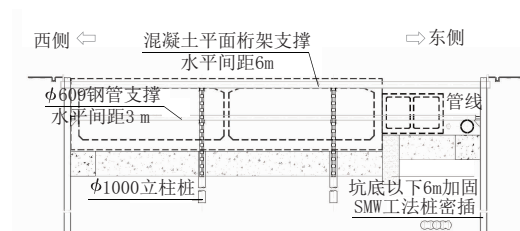


图9 管廊与雨污水管共基坑

3.2 隧道与地下空间综合开发保护技术

管幕法是世界上常见的大断面隧道与地下空间施工方法,其优势在于能够利用小型化设备建造复杂断面的隧道与地下空间。管幕法作为典型的隧道与地下空间综合开发保护技术,是以单管顶进为基础,各单管间依靠锁口在钢管侧面相接形成管排,进一步通过注浆形成密封的止水管幕,然后对管幕内的土体进行加固处理,随后边内部开挖边支撑,直到管幕段贯通再浇筑结构体^[14]。其主要优点包括:施工噪声和振动较小,无需降水作业,对地面沉降影响较小,且不影响地面道路交通,无需加固周边建筑物基础。管幕法在上海中环北路地道、港珠澳大桥拱北隧道等工程中得到了较好的应用(见图10、图11)^[15]。

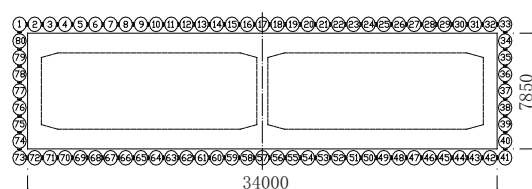


图10 上海市中环线A3.5标管幕法地道结构断面示意图

管幕结构法^[16]是在管幕法基础上发展而来的施工方法,是利用大直径顶管施工,施做全部或部分永久钢筋混凝土结构后,进行暗挖结构土方大开挖,进而完成全部地下结构(见图12)。管幕结构法适合在特殊地层中的暗挖法施工,且变形控制效果优于管幕法。南京建宁西路过江通道江南连接线—主线隧

针对雨组对位的问题,优化过程中对每个雨淋阀组分区进行二次对位。对每个摄像机监控区域覆盖的雨淋阀组以由远及近的顺序,利用视频监控软件,进行分区划线,并标号对位。将“带鱼屏”图控按钮编号与现场分区一一对应。当发生火灾时,监控人员通过摄像机查询到现场编号,按下相应的雨组按钮即可准确定位灭火发生位置,不再依靠人的经验判断分区,以免因误判而错过最佳灭火时机。

针对操作准确率低、对位难度大的通风排烟专业设备,及设备数量大且操作复杂、误操作率高交通监控设备、逃生诱导设备,只需一键启动不同火灾联动工况的“预案备份”,即可实现火灾点位置的火灾联动功能。

5 结 语

通过对上海越江隧道火灾报警系统历史案例的分析和梳理,结合隧道日常运维中发现的潜在问题,从运营安全的角度提出进一步优化系统可靠性的建议。

(1)现行设计规范《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)中未明确小规模火灾或火灾

初期阶段,在未达到火灾报警探测器报警阈值或者环境因素造成火灾漏报的情况下的判定条件。介入后备应急系统,人工确认喷水操作的执行条件。

(2)随着新能源汽车的普及,纯电车及装备高密度电池的乘用车数量激增,隧道按照老规范设计的泡沫雨淋阀灭火系统适用于燃油汽车的灭火条件,是否适用于新能源汽车自燃情况还有待进一步讨论研究。

(3)根据各隧道的工况特点,结合各区段不同的环境因素,通过实地环境探测,确定火灾报警阈值的合理区间,以“一隧一方案”的办法来设定报警阈值。

参考文献:

- [1] 李新星,孟静.隧道火灾报警试验及其技术比较分析[J].地下工程与隧道,2010(4):20-23.
- [2] GB 50116—2013,火灾自动报警系统设计规范[S].
- [3] 陈旻.火灾探测器对城市隧道消防运维管理的影响[J].上海船舶运输科学研究所学报,2019,42(1):6.
- [4] GB 50084—2017,自动喷水灭火系统设计规范[S].
- [5] 辛奇峰.基于深度学习的目标检测技术在隧道运维中的应用研究[J].中国市政工程,2021(3):7.
- [6] 陆剑峰,张浩,赵荣泳.数字孪生技术与工程实践[M].北京:机械工业出版社,2022.
- [7] 同济大学,2008.
- [9] 吴晓庚.大型隧道与综合管廊一体化建设应用实例[J].中国市政工程,2015(4):88-90.
- [10] 邱婧,吕亮,康晓乐,等.城市综合管廊与地铁隧道协同建造方法综述[J].市政技术,2021,39(9):128-135.
- [11] 张忠宇,徐建,黄俊,等.综合管廊与地下工程协同建设的关键问题与对策[J].地下空间与工程学报,2018,14(S2):493-499.
- [12] 张凌翔.城市地下道路、物流廊道与综合管廊一体化研究[J].地下空间与工程学报,2020,16(S1):7-11.
- [13] 张忠宇,李奥,龚丹丹,等.基于虚拟映射技术的城市地下空间保护开发的应用[J].城市道桥与防洪,2022(4):198-203.
- [14] 沈桂平,曹文宏,杨俊龙,等.管幕法综述[J].岩土工程界,2006(2):27-29.
- [15] 上海中环线北虹路地道工程[J].土木工程学报,2009,42(3):1.
- [16] 李积栋,油新华,肖龙鸽.地下工程支护-结构一体管幕预筑法技术及发展[J].隧道建设(中英文),2018,38(3):456-460.
- [17] 侯立勋,黄俊,俞蔡城,等.管幕结构法隧道下穿南京城墙设计方案研究[J].现代交通技术,2020,17(6):35-42.
- [18] 杨奎,邢冬冬,黄俊,等.地下交通隧道建设中的协同设计及工程实践[J].工程建设与设计,2018(15):97-102.

(上接第278页)