

## 城市下穿通道结构健康监测及安全评价

潘红兵<sup>1</sup>, 王燕平<sup>2</sup>, 张忠宇<sup>3</sup>

(1. 南京交通运营管理集团有限公司, 江苏 南京 211800; 2. 扬州市隧道管理处, 江苏 扬州 225002;

3. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210019)

**摘 要:** 城市隧道长时间的运营使用过程中, 由于隧道自身施工缺陷或养护不到位等问题, 容易引发隧道结构变形、病害等, 对隧道结构安全造成隐患。因此必须准确掌握隧道结构安全状态, 进而采取结构安全控制措施, 以确保城市隧道运营安全。城市下穿通道作为城市快速路的重要组成部分, 其重要性不言而喻, 以扬州市润扬北路、泰州路下穿通道为依托, 开展隧道结构变形监测和病害调研, 评价隧道结构安全状态, 并提出相应的养护措施。希望能为类似城市下穿通道的结构安全监测和评价提供一定的借鉴和参考。

**关键词:** 下穿通道; 健康监测; 结构变形; 隧道病害; 安全评价; 养护措施

**中图分类号:** U456

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2021)10-0165-07

### 0 引 言

城市隧道工程的建设极大地缓解了地面交通拥堵问题, 因此近年来大量城市隧道建设并投入运营<sup>[1]</sup>。然而在城市隧道长时间的运营使用过程中, 由于隧道自身的施工缺陷或养护不到位等问题, 容易引发隧道结构变形、病害等, 对隧道结构造成安全隐患<sup>[2-3]</sup>, 将直接影响隧道功能及行车安全, 也会导致隧道使用寿命减少, 造成巨大的社会经济损失。因此必须对隧道结构进行监测, 开展结构健康安全评价, 并采取相应的养护措施, 从而确保城市隧道运营安全。

当前国内针对隧道结构安全监测、隧道病害分类及机理分析, 隧道结构安全评价等进行了大量研究, 也陆续制定了一系列规定和标准, 有效保障了隧道的安全高效运营。相关研究如下:

孟志浩等<sup>[4]</sup>采用光纤传感器, 监测运营期轨道交通盾构隧道环向收敛、纵向沉降以及伸缩缝的变形。杜荣武等<sup>[5]</sup>建立了基于移动三维激光扫描的地铁隧道三维全景监测系统, 得到地铁隧道管片和轨道的三维点云数据。王燕平等<sup>[6]</sup>针对瘦西湖隧道, 开展为期一年的隧道结构监测和病害检查工作, 分析了隧道变形及病害现状, 并提出了隧道养护措施。唐璇等<sup>[7]</sup>以南京某隧道、扬州某隧道结构健康监测系统为研究对象, 采用多种方法详细分析了隧道结构健康监测系统的运营现状。吴世明等<sup>[8]</sup>基于杭州庆春路过江

隧道, 开展隧道长期健康监测, 分析穿越砂性土层大断面隧道在运营期的横断面的受力和变形特性。陈卫忠等<sup>[9]</sup>分析水下盾构隧道结构随外载环境变化的响应规律。

黄艳华<sup>[10]</sup>提出基于局部病害、结构耐久性、渗透水、外部环境和其他五维度等指标的运营地铁隧道结构健康风险评价指标体系。易志伟<sup>[11]</sup>依托鲁家峙水下公路隧道工程, 开展隧道结构健康监测及安全评价系统的研究。段创峰<sup>[12]</sup>以杭州文一路地下通道工程为案例, 介绍了监测断面与监测内容设计、综合智能监测管片、数据通信系统监测预警与评估管理系统等关键技术。谢永利等<sup>[13]</sup>系统介绍了运营隧道健康评价体系、监测设备与技术。

《公路隧道养护技术规范》<sup>[14]</sup>针对山岭公路隧道, 依据公路技术等级、交通流量、隧道规模等因素, 提出了公路隧道养护分级标准, 建立了公路隧道技术状况评价体系和方法。《在役公路隧道长期监测技术指南》<sup>[14]</sup>从长期监测实施条件、监测项目、监测方法、数据分析等方面规范了在役公路隧道结构病害、隐患以及严重不良地质段的监测技术。《公路隧道加固技术规范》<sup>[15]</sup>针对公路隧道, 规范了衬砌加固、注浆加固、换拱加固、隧底加固、渗漏水处治、裂缝处治与表面缺陷修补等设计和施工内容。

当前城市隧道结构健康监测主要以城市交通隧道为主, 而城市道路下穿通道由于长度较短, 规模较小, 因此针对下穿通道的结构健康监测和研究工作较少, 关注度不足, 而城市下穿通道作为城市快速路的重要组成部分<sup>[16]</sup>, 其重要性不言而喻。扬州市润扬北

收稿日期: 2021-02-26

作者简介: 潘红兵(1978—), 男, 本科, 高级工程师, 从事隧道养护相关工作。

路、泰州路下穿通道主要穿越淤泥质粉土和粉土夹粉砂层,局部软弱地基和局部侧限的不均衡将会导致下穿通道的变形和病害。因此开展城市下穿通道结构变形监测和病害调研,评价下穿通道结构安全状态,采取相应的养护措施,对于保障下穿通道的安全运营具有重要的意义。

## 1 工程概况

### 1.1 总体设计

#### (1) 润扬北路下穿通道

润扬北路下穿通道位于扬州市新城西区润扬北路与文昌西路交汇的十字路口,2004年建成通车,全长418.59 m,其中敞开段长348.59 m,暗箱段长70 m。通道结构总宽19.9 m,双向四车道,暗箱段净高4.7 m,路线纵坡5%,车道横坡1%,设计车速60 km/h。润扬北路下穿通道平面见图1。

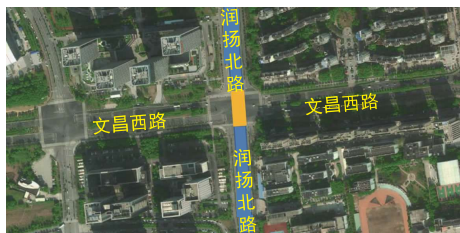


图1 润扬北路下穿通道工程平面位置示意

#### (2) 泰州路下穿通道

泰州路下穿通道位于扬州市泰州路与跃进桥(广陵路)交叉口,该通道由敞开段、暗埋段两大部分组成,2014年建成通车,长约480 m。下穿隧道口设计高度约为3 m,车辆通行高度2.8 m左右,可满足小汽车通行,为单孔双向两车道,下穿通道南北两端U型槽接线两侧设置辅道及人行道。泰州路下穿通道平面见图2。



图2 泰州路下穿通道工程平面位置示意

### 1.2 工程地质

润扬北路、泰州路下穿通道主要穿越淤泥质粉土和粉土夹粉砂层,场地整体稳定性一般,局部软弱地基和局部侧限的不均衡可能会导致下穿通道的差异沉降与结构变形。

### 1.3 下穿通道结构变形、病害观测内容及方法

结合道路下穿通道的结构特点和受力特征,重点监测下穿通道道面沉降、拱顶下沉、断面收敛等三项,每个断面均在南北车道上设置路钉,供水准仪测量道面沉降使用;两侧墙体上设置挂钩,供收敛仪测量断面收敛;在通道拱顶中心线处设置挂钩,用于测量拱顶下沉。

#### (1) 道面沉降

在下穿通道内布设道面沉降监测点,测点位于道路中轴线处,每隔25 m设置一个断面,见图3。观测方法采用水准测量方法,基准和附近水准点联测取得初始高程,首次观测对应点进行连续两次观测,两次高程之差应小于 $\pm 1.0$  mm,取平均值作为初始值。



图3 道面差异沉降测点布置

#### (2) 拱顶下沉

拱顶下沉测点见图4,采用免棱镜全站仪拱顶沉降测试,在拱顶布设固定测点,粘贴反光贴片,每个拱顶下沉监测断面有1个测点,每隔25 m设置一个断面。

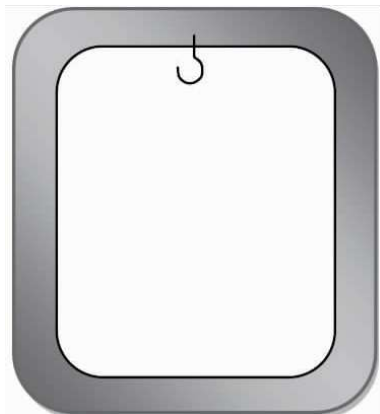


图4 拱顶下沉测点布置

#### (3) 断面收敛

断面收敛测点见图5,暗箱段每个断面收敛监测断面布设2个测点,测点位于道路路面以上1.5 m高处,间距25 m;敞开段每个断面收敛监测断面布设2个测点,测点位于高度方向中点处,若中点高于

1.5 m 的区段,设置在道路路面以上 1.5 m 高处。每隔 50 m 设置一个断面。

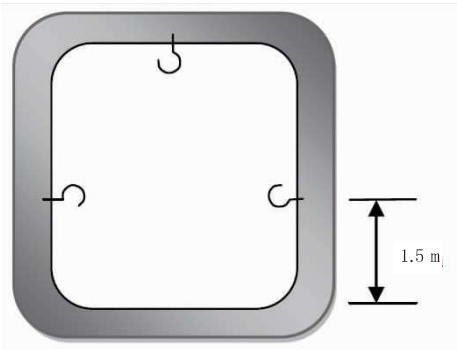


图 5 断面收敛测点布置

(4)病害观测

病害观测主要以裂缝测量为主,主要工具为塞尺和钢卷尺。

2 隧道结构变形及病害分析

以 2018 年 9 月的监测数据为变形监测初始数据,分别于 2018 年 12 月,2019 年 4 月,2019 年 6

月,2019 年 9 月开展四期测量工作。

2.1 道面沉降

道面沉降累计变化量是以 2018 年 9 月监测数据为初始高程,根据四期测量的结果,分别计算各期的沉降值和累计沉降值。

图 6、图 7 分别为润扬北路、泰州路下穿通道不同监测周期内各测点道面沉降量及其对应桩号,分析可得:润扬北路下穿通道第一、二、四期沉降量值及其趋势大致一致,敞开段与暗埋段无明显差异;润扬北路下穿通道第三期的道面沉降大于其他监测周期内,且第三期敞开段和暗埋段的道面沉降值波动较大,暗埋段的沉降值大于敞开段,其原因主要是降雨使隧道周围土体产生一定的松动,进而引起道面的变形增大;泰州路下穿通道与润扬北路下穿通道的道面沉降规律较为一致,表现为第三期道面沉降值较大,且波动幅度较大;润扬北路、泰州路下穿通道道面累计沉降值均在 2 mm 以内,满足《公路路基设计规范》<sup>[18]</sup>的要求。

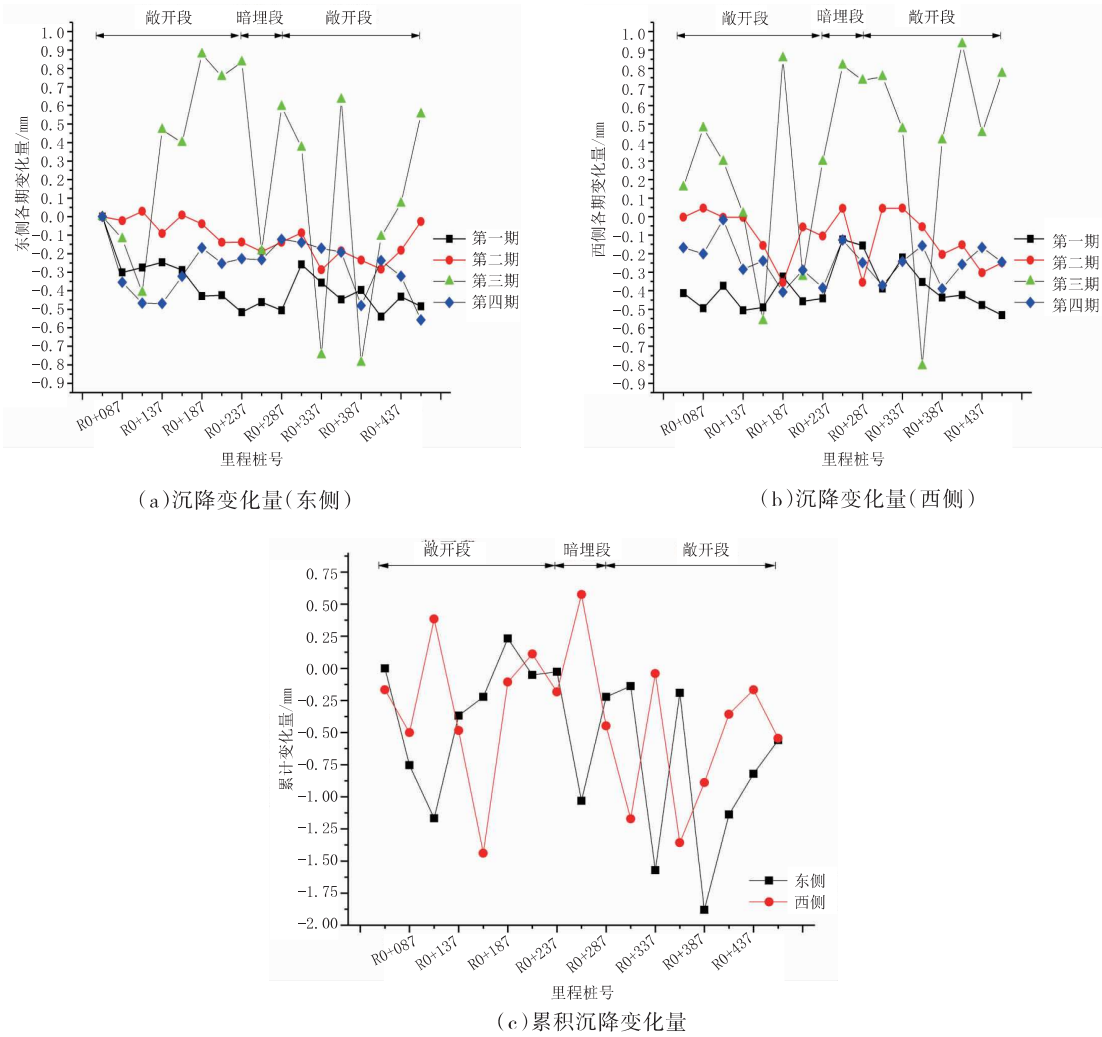


图 6 润扬北路下穿通道各期道面沉降变化量(单位:mm)



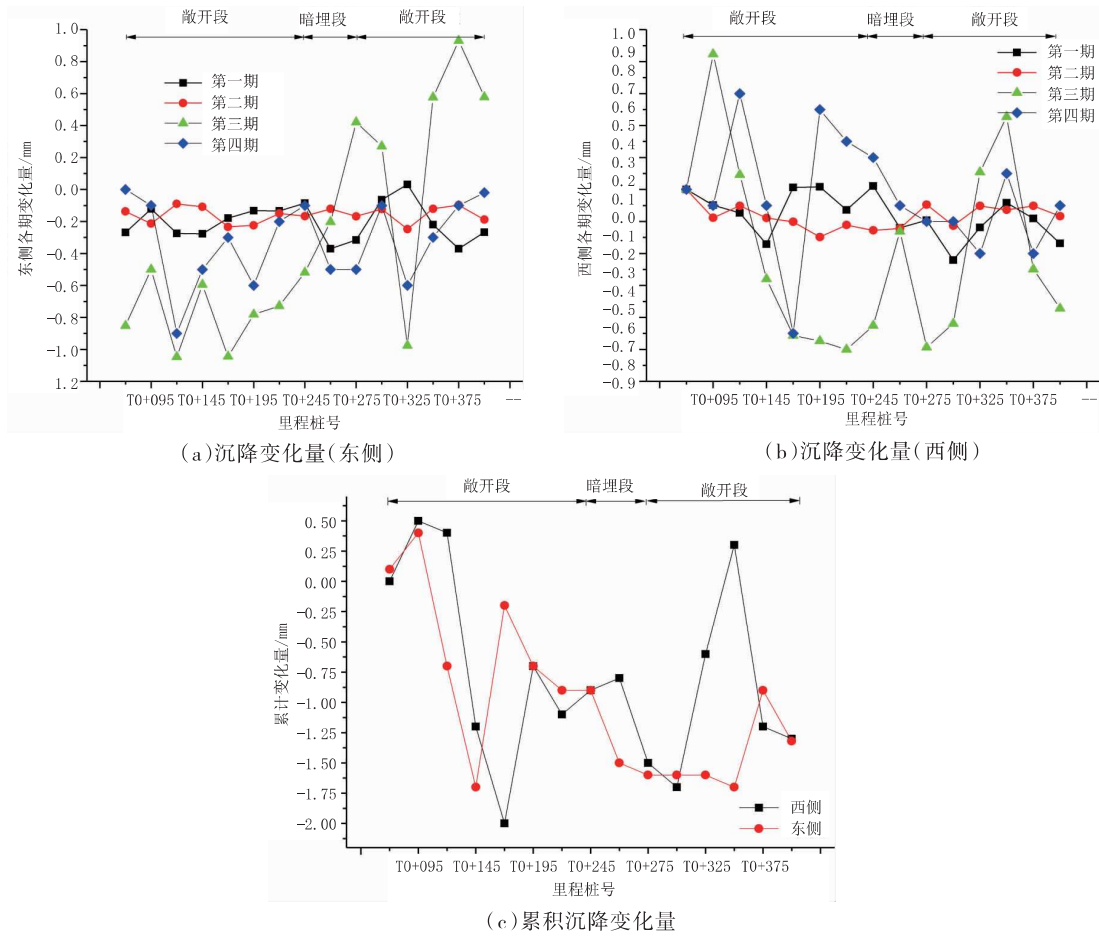


图7 泰州路下穿通道各期路面沉降变化量(单位:mm)

## 2.2 拱顶沉降

图8、图9分别为润扬北路、泰州路下穿通道不同监测周期内各测点拱顶沉降量及其对应桩号,分析可得:润扬北路、泰州路下穿通道暗埋段拱顶沉降趋势一致,表现为中间管节的拱顶沉降明显大于两侧管节,呈现“Λ”型的变化特点;润扬北路下穿通道最大累计沉降值为10.1 mm,泰州路下穿通道最大累计沉降值4.37 mm均在安全范围以内。

## 2.3 周边收敛

图10、图11为润扬北路、泰州路下穿通道收敛变化值,分析可得:润扬北路下穿通道整体向内收敛,累计收敛值变化范围在-5.7~20.06 mm之间;泰州路下穿通道也表现为向内收敛,累计收敛值变化范围为4.26~8.09 mm;润扬北路、泰州路下穿通道敞开段收敛大于暗埋段,收敛值结果表明结构处于安全范围以内。

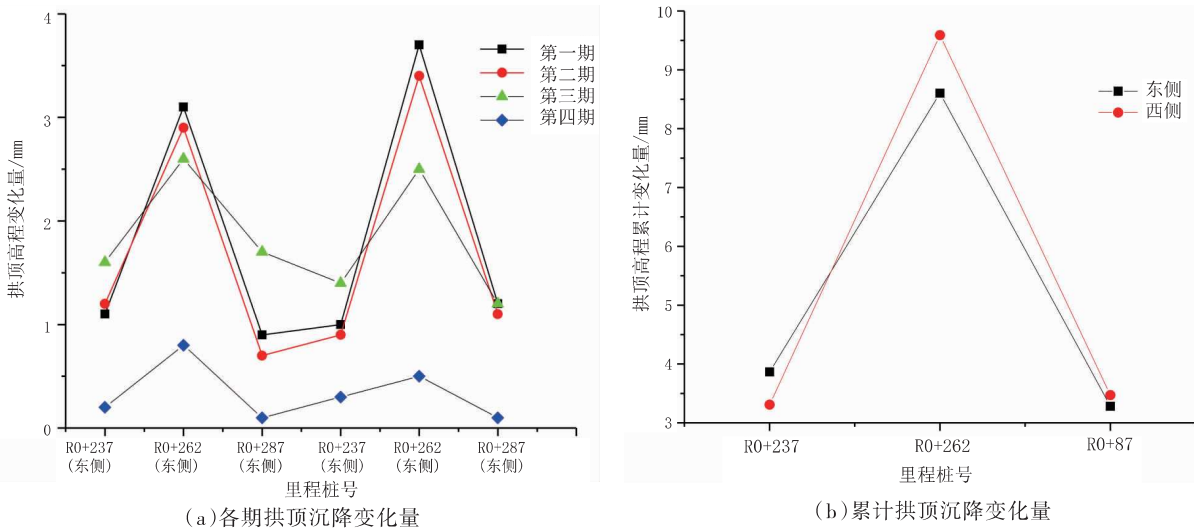


图8 润扬北路下穿通道拱顶沉降变化量(单位:mm)

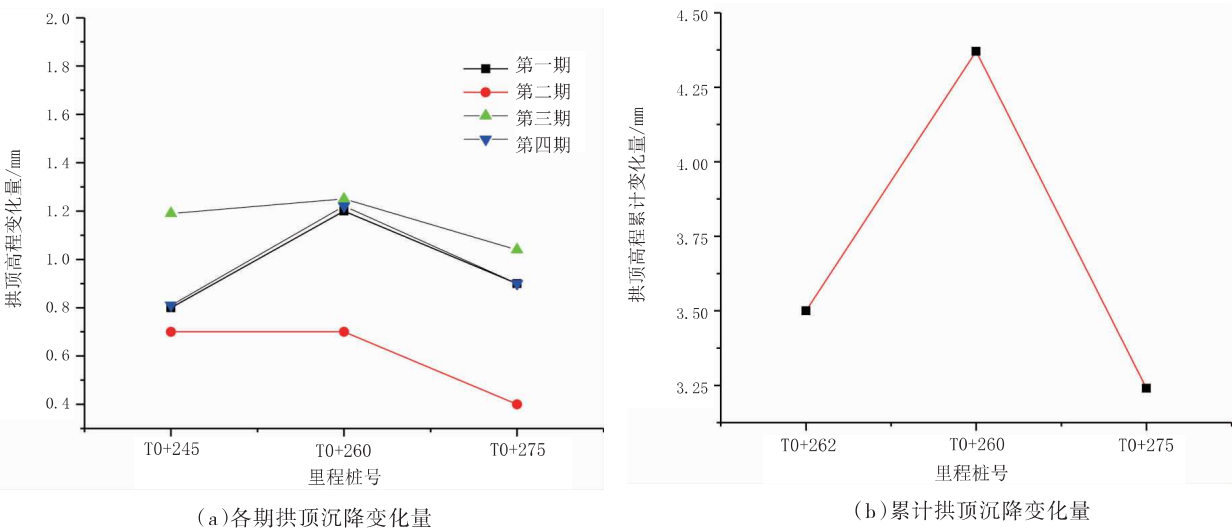


图9 泰州路下穿通道拱顶沉降变化量(单位:mm)

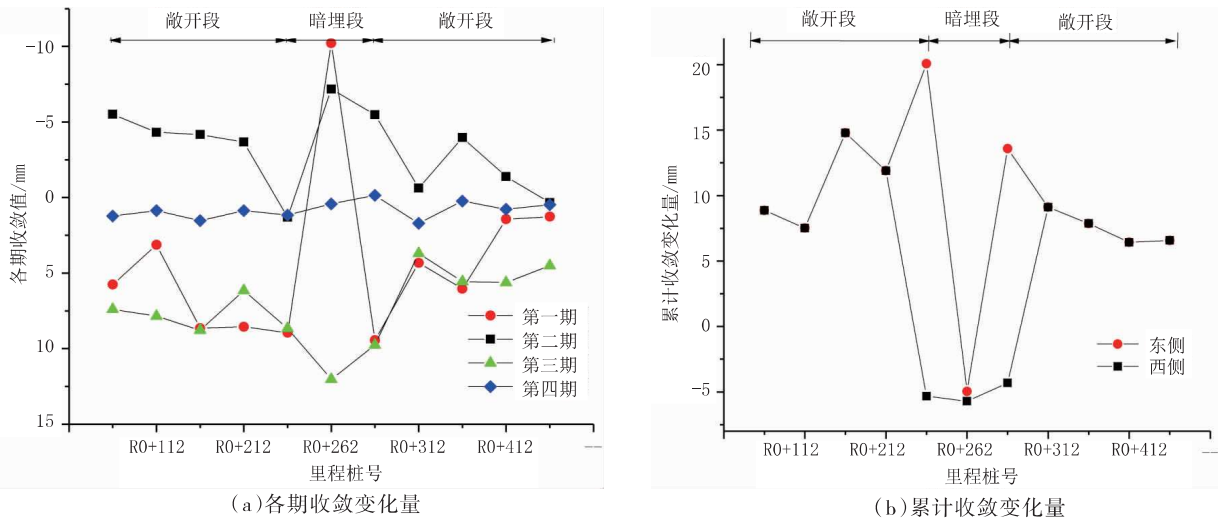


图10 润扬北路下穿通道收敛变化量(单位:mm)

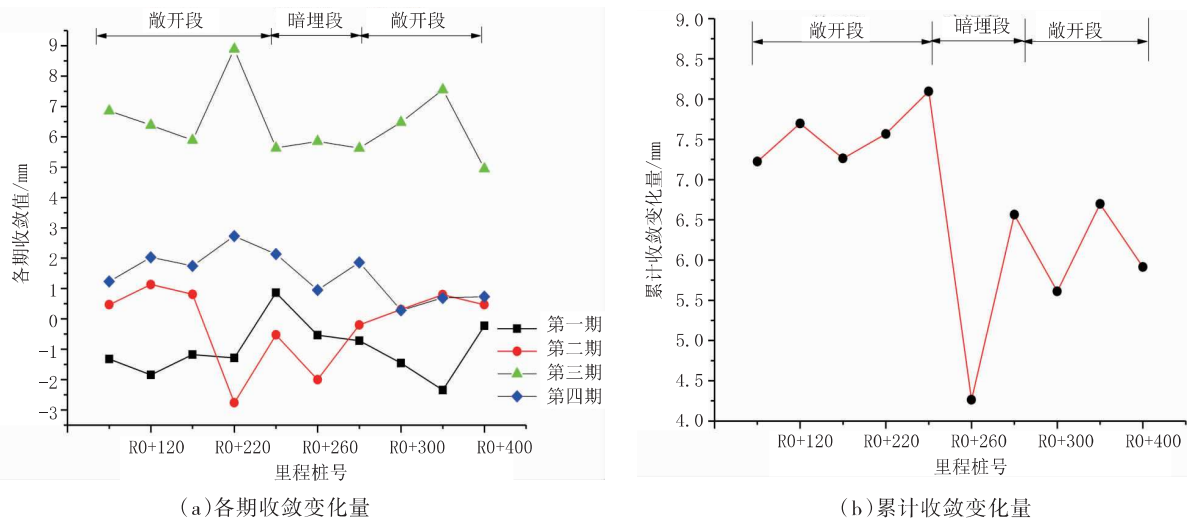


图11 泰州路下穿通道收敛变化量(单位:mm)

2.4 病害分析

润扬北路下穿通道结构无明显裂缝,路缘石上分布大量细微裂缝,下穿通道结构局部位置水泥起皮空鼓破裂,共计5处,见图12、图13。

泰州路下穿通道结构顶部出现明显贯通缝1条;路缘石及其上部混凝土有病害特征,局部位置钢筋裸露;路缘石上分布大量细微裂缝,下穿通道结构局部位置水泥起皮空鼓破裂;变形缝封堵水泥



图 12 润扬北路路缘石病害图



图 13 润扬北路表面空鼓病害图

掉落,附近产生衍生裂缝最大裂缝约 5 mm,见图 14~图 17。



图 14 泰州路下穿通道拱顶贯穿裂缝病害图

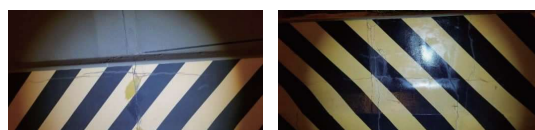


图 15 泰州路下穿通道路缘石病害图



图 16 泰州路下穿通道起皮空鼓破裂病害图



图 17 泰州路下穿通道变形缝处衍生裂缝病害图

### 3 下穿通道结构安全评价及养护建议

《公路隧道养护技术规范》规定:隧道技术状况评定主要包括隧道土建结构、机电设施、其他工程设施分项技术状况评定和总体技术状况评定;隧道技术状况评定采用分层综合评定与隧道单项控制指标相结合的方法,先对隧道各检测项目进行评定,然后

对隧道土建结构、机电设施和其他工程设施分别进行评定,最后进行隧道总体技术状况评定。

根据隧道技术状况、完好程度,其总体技术状况评定结果分为 1 类、2 类、3 类、4 类、5 类,分别对应完好、良好、合格、不合格、危险状态。隧道总体技术状况评定等级采用土建结构和机电设施两者中最差的技术状况类别作为总体技术状况的类别,隧道检查及技术状况评定工作流程见图 18。隧道总体技术状况评定类别及养护对策见表 1。

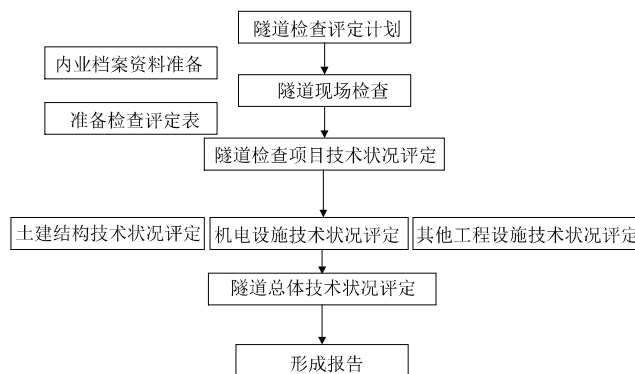


图 18 隧道技术状况评定工作流程

表 1 公路隧道总体技术状况评定类别

| 技术状况<br>评定类别 | 评定类别描述                         |                                  | 养护对策                                            |
|--------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|
|              | 土建结构                           | 机电设施                             |                                                 |
| 1 类          | 完好状态。无异常情况,或异常情况轻微,对交通安全无影响    | 机电设施完好率高,运行正常                    | 正常养护                                            |
| 2 类          | 轻微破损。存在轻微破损,现阶段趋于稳定,对交通安全不会有影响 | 机电设施完好率较高,运行基本正常,部分易耗部件或损坏部件需要更换 | 应对结构破损部位进行监测或检查,必要时实施保养维修;机电设施进行正常养护,应对关键设备及时修复 |
| 3 类          | 中等破损。存在破坏,发展缓慢,可能会影响行人行车安全     | 机电设施尚能运行,部分设备、部件和软件需要更换或改造       | 应对结构破损部位进行重点监测,并对局部实施保养维修;机电设施需进行专项工程           |
| 4 类          | 严重破损。存在较严重破坏,发展较快,已影响行人、行车安全   | 机电设施完好率较低,相关设施需要全面改造             | 应尽快实施结构病害处治措施;对机电设施应进行专项工程,并应及时实施交通管制           |
| 5 类          | 危险状态。存在严重破坏,发展迅速,已危及行人、行车安全    | —                                | 应及时关闭隧道,实施病害处治,特殊情况需进行局部重建或改建                   |

基于《公路隧道养护技术规范》(JTG H12—2015)的相关规定,对润扬北路、泰州路下穿通道技术状况进行评定得到:

(1)润扬北路下穿通道最终评定结果为土建结构为 1 类,机电设施为 2 类,因此,隧道总体技术状况评定级别为 2 类。

(2)泰州路下穿通道最终评定结果为土建结构为 2 类,机电设施为 2 类。因此,隧道总体技术状况评定级别为 2 类。

(3)提出了润扬北路、泰州路下穿通道的养护建议:对局部或关键设备进行监测或检查,必要时实施专项工程。

#### 4 结 论

以扬州市润扬北路、泰州路下穿通道工程为依托,开展隧道结构变形监测和病害调研,评价隧道结构安全状态,编制了《城市下穿通道养护指导手册》,为下穿通道的长期运营安全提供规范性指导建议,主要结论如下:

(1)润扬北路、泰州路下穿通道的道面沉降规律较为一致,表现为第三期道面沉降值较大,且波动幅度较大;润扬北路、泰州路下穿通道道面累计沉降值较小,均在 2 mm 以内。润扬北路、泰州路下穿通道暗埋段拱顶沉降均表现为中间管节的拱顶沉降明显大于两侧管节,呈现“Λ”型特点;润扬北路、泰州路下穿通道最大累计沉降值为 10.1 mm、4.37 mm,均在安全范围以内。

(2)润扬北路、泰州路下穿通道敞开段收敛大于暗埋段,累计收敛值范围分别为 -5.7~20.06 mm、4.26~8.09 mm,处于可控范围内。

(3)润扬北路下穿通道结构无明显裂缝,泰州路下穿通道结构顶部出现明显贯通缝 1 条,局部位置钢筋裸露;润扬北路、泰州路下穿通道均存在路缘石上分布大量细微裂缝、局部位置水泥起皮空鼓破裂等病害。

(4)根据《公路隧道养护技术规范》相关规定,得到润扬北路、泰州路下穿通道的总体技术状况评定级别为 2 类,并相应地提出了润扬北路、泰州路下穿

通道的养护建议。

(5)城市下穿通道的结构病害关注较少,但其病害问题往往较为突出,因此需对城市下穿通道结构病害进行普查工作,明确典型病害的类型及其成因,进而开展病害处置。

#### 参考文献:

- [1] 黄宏伟.城市隧道与地下工程的发展与展望[J].地下空间,2001,21(4):311-317,339-340.
- [2] 陈湘生,徐志豪,包小华,等.隧道病害监测检测技术研究现状概述[J].隧道与地下工程灾害防治,2020,2(3):1-12.
- [3] 马伟斌,柴金飞.运营铁路隧道病害检测、监测、评估及整治技术发展现状[J].隧道建设(中英文),2019,39(10):1553-1562.
- [4] 孟志浩.盾构隧道 BOFDA 监测与稳定性评价[D].江苏南京:南京大学,2017.
- [5] 杜荣武,翁顺,曾铁梅,等.基于移动三维激光扫描的地铁隧道结构监测方法[J].土木工程与管理学报,2020,37(1):139-145.
- [6] 王燕平,张忠宇,张小兵,等.水下大直径盾构隧道结构变形及养护措施[J].现代交通技术,2020,17(4):53-58,69.
- [7] 唐璇,张忠宇,陈喜坤,等.水下盾构隧道结构健康监测系统运营现状及展望[J].现代交通技术,2020,17(4):33-38.
- [8] 吴世明,王湛,王立忠.大断面过江隧道运营期受力变形健康监测分析[J].浙江大学学报(工学版),2013,47(4):595-601,608.
- [9] 陈卫忠,李长俊,曾灿军,等.大型水下盾构隧道结构健康监测系统的构建与应用[J].岩石力学与工程学报,2018,37(1):1-13.
- [10] 黄艳华.运营地铁结构健康风险感知与诊断[D].湖北武汉:华中科技大学,2017.
- [11] 易志伟.水下公路隧道结构健康监测及安全评价系统研究[D].四川成都:西南交通大学,2019.
- [12] 段创峰.盾构法公路隧道全寿命期健康监测及评估体系研究与应用[J].建筑施工,2018,40(8):1462-1464.
- [13] 谢永利,王亚琼.在役隧道结构安全、健康监测与评估[J].中国公路,2017(13):57-60.
- [14] JTG H12—2015,公路隧道养护技术规范[S].
- [15] T/CHTS 10021—2020,在役公路隧道长期监测技术指南[S].
- [16] JTG/T 5440—2018,公路隧道加固技术规范[S].
- [17] 赵国龙.城市道路下穿通道施工风险评价方法研究及其应用[D].河北石家庄:石家庄铁道大学,2018.
- [18] JTG D30—2015,公路路基设计规范[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@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)