

## 低等级公路改扩建中涵洞地基变形数值分析\*

罗克文<sup>1</sup>, 廖浩成<sup>2</sup>, 张宇辉<sup>3</sup>, 王中恩<sup>3</sup>, 谢继登<sup>3</sup>

(1.广西壮族自治区玉林公路发展中心, 广西 玉林 537000; 2.湖南省莲株高速公路建设开发有限公司, 湖南 株洲 412000; 3.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:** 为研究旧涵洞不同处治方法下地基沉降变形, 通过 ABAQUS 有限元软件建立旧涵洞单侧拼接与挖除重建处治两种工况模型进行分析, 根据数值分析结果中的竖向位移图, 得到路基与涵洞结构物整体下方地基沉降分布情况。结果表明, 旧涵洞单侧加宽时, 地基整体沉降主要发生在新填路基一侧, 且在涵洞拼接处地基沉降最大; 旧涵洞挖除重建时, 地基整体沉降趋势略有增大, 涵洞下方地基沉降明显大于周边一般路基, 但较均匀。

**关键词:** 涵洞; 低等级公路; 改扩建; 地基沉降; 数值分析

中图分类号: U449.31

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)06-0145-04

为提高已建成公路的通行能力, 公路改扩建工程陆续开展, 涵洞加宽技术得到广泛应用。Sun L. 等对公路路基加宽产生的新涵洞荷载增加问题展开研究, 通过布设 EPS 板并使用 FLAC 对涵洞荷载进行分析, 发现布设 EPS 板可以减荷。吴萍结合洛三(洛阳—三门峡)高速公路改扩建工程, 对桥梁、涵洞及通道的拼接方案选择、设计要点等进行了论述。罗火生以佛开(佛山—开平)高速公路改扩建工程为背景, 对桥涵、路基拼接技术进行了研究。余常俊依托沪杭甬(上海—杭州—宁波)、沪宁(上海—南京)高速公路改扩建工程, 对中小型新旧结构物的拼接机理、地基处理方式进行了总结。杨亮以某高速公路拓宽工程为例, 对涵洞搭接部位的关键技术进行分析, 研究了动载对涵洞搭接部位不均匀沉降的影响。王超对不同加宽跨径、涵顶填土高度和加宽方式下新旧涵拼接处的受力情况和变形特征进行了分析。姚红伟以金温铁路涵洞改造施工为例, 对处于正常运营状态下的铁路涵洞的施工技术措施进行研究, 探讨了不同条件下涵洞的加宽改造方案。成超以郑漯(郑州—漯河)高速公路改扩建工程为背景, 对上埋式涵洞加宽地基处治技术进行研究, 分析了预应力管桩处理地基和不同填土高度下新旧涵洞差异性沉降, 总结了涵洞加宽方法。目前, 中国对于涵洞加宽的研究主要集中于高速公路改扩建工程, 而对低等级公路改扩建的相关研究较少。该文针对某三级公路改二级公路工程, 利用 ABAQUS 有限元

软件建立不同处治技术下改扩建路基和涵洞模型, 分析新旧涵洞地基变形情况。

## 1 模型的构建

### 1.1 涵洞拓宽方式

公路改扩建工程中常用涵洞加宽方式有单侧扩建加宽、两侧扩建加宽及旧涵洞挖除重建。

#### 1.1.1 旧涵洞单侧加宽

当施工受到地形、地质、气候等因素限制时, 通常采用单侧扩建加宽技术, 即在旧涵洞的一侧进行拼接施工(见图 1)。其优点是新涵洞接长施工较简单, 只需对新旧涵洞连接处进行处治, 施工时对旧涵洞稳定性的影响较小。缺点是加宽后涵洞中线与旧涵洞中线不重合, 道路改扩建工程完成后, 在荷载作用下, 与两侧加宽时相比, 涵洞顶部易发生破坏。

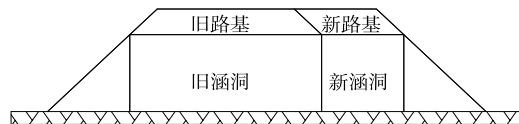


图 1 涵洞单侧扩建加宽示意图

#### 1.1.2 旧涵洞两侧加宽

当旧涵洞位于地势平坦的区域, 且涵洞两侧起伏不大时, 可采用两侧扩建加宽方式, 即在旧涵洞两侧都进行拼接施工。其优点是改扩建后涵洞的中线与旧涵洞的中线基本重合, 车辆荷载不会单一分布在新涵洞或旧涵洞上, 新旧涵洞的工后沉降分布较

\* 基金项目: 玉林市科学研究与技术开发项目(玉市科 201925001); 湖南省交通运输厅科技项目(201707)

均匀。缺点是需在两侧进行加宽,与单侧加宽相比新旧涵洞拼接面增大,施工时对旧涵洞稳定性的影响较大。

### 1.1.3 旧涵洞挖除重建

当涵洞整体状况评价为差、过水断面或涵底高程不满足规范要求,但其又起到排洪或灌溉等功能时,应拆除重建。新涵洞的孔径大小、结构形式等应不低于旧涵洞。

## 1.2 几何模型的确定

使用 ABAQUS 进行数值模拟,分析旧涵洞不同处治方法下地基沉降变形。依托某三级公路改二级公路项目,结合现场实际情况,考虑到材料性质的差异和结构功能的不同,将模型划分为新旧路基、新旧涵洞、地基等部分。模型中地基土计算厚度为 17 m,其中粉质黏土层 2 m,强风化花岗岩层 15 m;模型计算宽度取 44 m,旧路路基顶部宽 7.5 m,加宽后路基顶面总宽度 12 m;路基高 4 m;涵洞宽 3 m,高 3 m;路基加宽后涵洞总长 15 m(见图 2)。

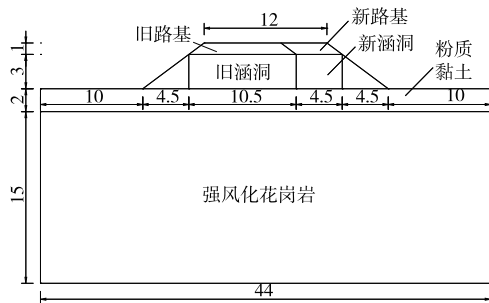


图 2 整体结构示意图(单位:m)

### 1.3 边界条件

模型底面为固定端约束(水平位移和垂直位移为零),顶面为自由面,其余部分施加水平约束,只考虑上部填土引起的应力、位移变化。

### 1.4 材料参数选取

结合涵洞加宽工程实际情况选取各部分材料力学特性参数(见表 1)。

表 1 涵洞、旧路基与地基物理力学参数

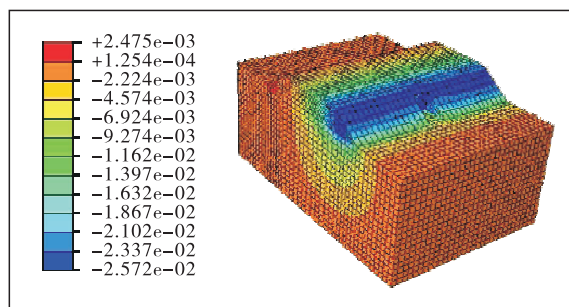
位置	黏聚力/ kPa	内摩擦 角/(°)	回弹模 量/MPa	重度/ (kN·m <sup>-3</sup> )	泊松 比
旧路基(三级)	33.6	11.4	45.0	19.0	0.31
新路基 93 区	44.1	21.7	76.0	18.0	0.30
新路基 94 区	44.4	21.8	83.0	18.5	0.30
新路基 96 区	45.1	22.4	98.0	19.0	0.30
粉质黏土层	14.0	19.2	10.4	17.6	0.28
强风化花 岗岩层	38.0	20.0	30.0	18.8	0.29

## 2 数值结果分析

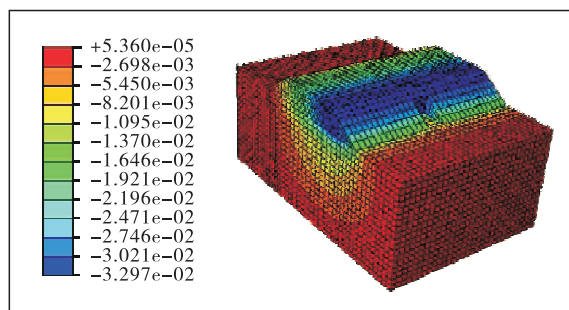
重点研究在旧涵洞单侧加宽和旧涵洞挖除重建两种工况下地基的差异沉降,分别取距涵洞中线 0、0.5、3 m 处地基整体沉降位移数据进行分析。其中 X 向为路基横断面方向,Y 向为路基深度方向,Z 向为行车方向。

### 2.1 涵洞单侧加宽时地基沉降特性分析

采用单侧加宽拼接时,新路基填筑完成时和通车运营 1 年后地基竖向位移见图 3~5。



(a) 新路基填筑完成



(b) 通车运营后

图 3 涵洞单侧加宽时地基整体竖向位移云图(单位:m)

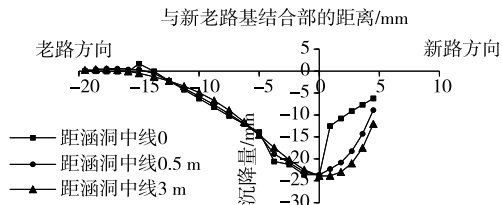


图 4 涵洞单侧加宽时路基填筑完成时地基沉降

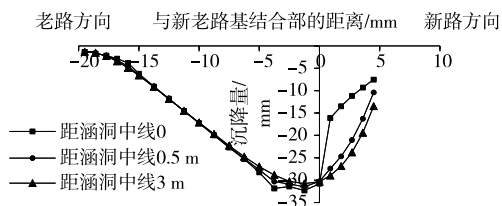


图 5 涵洞单侧加宽时通车运营后地基沉降

由图 3 可知:随时间增加,道路整体竖向位移增

大,且道路在通车运营期间产生的沉降量小于路基填筑期间产生的沉降量。表明涵洞与路基的自重应力对道路整体沉降的影响大于行车荷载的影响。

由图 4、图 5 可知:路基填筑完成时,距涵洞中线不同距离的地基沉降趋势大致相同,沉降最大值

出现在新旧路基结合部,约为 25 mm。沉降最大区域偏向于加宽路基一侧,说明新填筑路基的自重对地基沉降有一定影响。通车运营 1 年后,最大沉降量约为 35 mm。表 2 为通车运营 1 年后地基沉降量,由模型中地基表面沉降相减得到。

表 2 涵洞单侧加宽时通车运营 1 年后地基沉降量

与涵洞中线的距离/m	老涵洞至新涵洞方向的沉降量/mm										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0	1.7	2.8	7.9	9.6	11.0	12.5	14.4	10.1	7.0	2.7	1.6
0.5	2.1	3.8	6.9	9.6	11.5	12.8	13.1	10.0	6.6	3.8	2.0
3.0	1.9	3.7	6.1	9.6	12.2	13.4	12.5	10.1	6.4	3.9	1.9

由表 2 可知:通车 1 年后,地基最大沉降量为 14.4 mm,路基两侧坡脚处最小沉降量为 1.6 mm,地基沉降主要发生于新旧路基结合部附近,路基两侧坡脚处沉降增长很小,路基结合部与坡脚处沉降差异明显。

2.2 旧涵洞挖除重建后地基沉降特性分析

旧涵洞挖除重建处治方式下,新路基填筑完成时和通车运营 1 年后地基竖向位移见图 6~8。

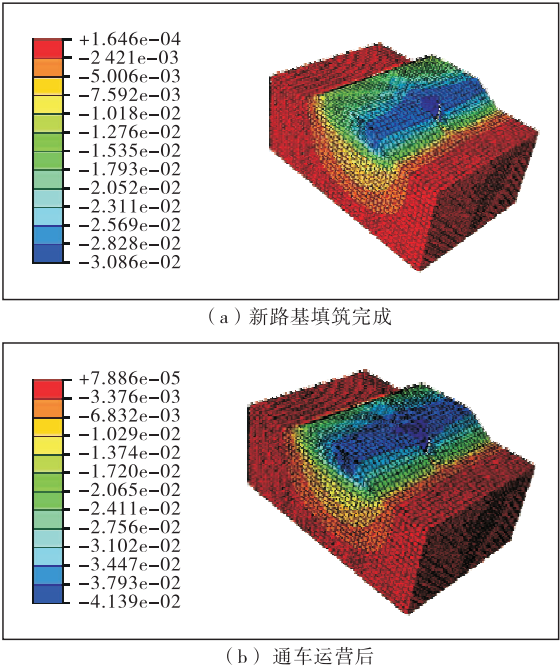


图 6 旧涵洞挖除重建时地基整体竖向位移云图(单位:m)

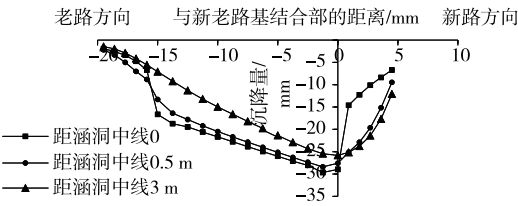


图 7 旧涵洞挖除重建时路基填筑完成时地基沉降

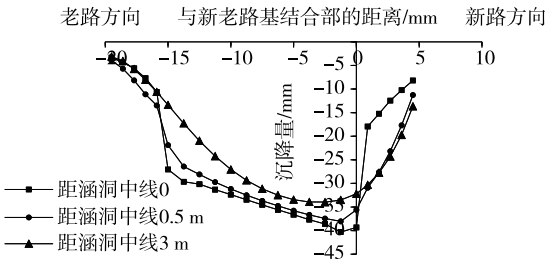


图 8 旧涵洞挖除重建时通车运营后地基沉降

由图 6 可知:与旧涵洞接长处治一样,从路基填筑完成到通车运营后,道路的整体竖向位移随时间不断增大,通车运营期间产生的沉降量小于路基填筑期间产生的沉降量。

由图 7、图 8 可知:涵洞挖除重建后,涵洞正下方地基的沉降略大于附近地基,沿路基横断面地基表面沉降整体大致呈 U 形分布,最大沉降量约 30 mm,且两侧地基沉降量很小。通车运营后,重建涵洞下方地基整体下沉较均匀,最大沉降量约 40 mm。涵洞挖除重建后老涵洞方向的地基沉降量大于旧涵洞接长处治时老涵洞方向的地基沉降量。表 3 为通车运营 1 年后地基的沉降量。

由表 3 可知:通车 1 年后,地基最大沉降量为 12.9 mm,涵洞中线下方地基沉降量较均匀,为 10~12 mm,但相对于路基两侧坡脚处下方地基沉降量有较大差异,路基两侧坡脚处最小沉降量为 1.8 mm,最大差异沉降达 11.1 mm。表明涵洞重建后,涵洞的自重是地基产生沉降的主要原因。

根据数值模拟结果比较两种旧涵洞处治方式,涵洞接长处治时地基整体沉降小于涵洞挖除重建;涵洞接长后,下方地基沉降整体偏向于接长涵洞一侧;涵洞挖除重建后,下方地基沉降整体相对偏大但较均匀。

表3 旧涵洞挖除重建时通车运营1年后地基沉降量

与涵洞中线的距离/m	老涵洞至新涵洞方向的沉降量/mm										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0	1.8	2.9	10.4	10.7	10.7	10.7	10.6	10.5	10.4	3.0	1.9
0.5	2.4	4.1	8.6	10.3	10.7	10.8	10.6	10.1	8.0	4.7	2.5
3.0	2.1	3.9	6.3	9.7	12.1	12.9	12.1	9.7	6.4	4.0	2.1

### 3 结论

(1) 涵洞单侧加宽时,地基整体沉降量主要发生在新填路基一侧,涵洞底部地基在新路基填筑完成和通车运营1年后的最大沉降量分别约为25、35 mm,最大值出现在涵洞拼接处,且沉降由洞口至拼接处逐渐增大。

(2) 涵洞挖除重建时,涵洞底部地基在新路基填筑完成和通车运营1年后的最大沉降分别约30、40 mm,最大值出现在新老路基结合部左侧附近。

(3) 与单侧加宽相比,涵洞挖除重建时路基整体沉降出现小幅度增加,新旧路基差异沉降减小。

(4) 采用旧涵洞单侧加宽时,填筑期沉降量为25 mm,通车期沉降量为10 mm;采用旧涵挖除重建时,填筑期沉降量为30 mm,通车期沉降量为10 mm。表明涵洞与路基的自重应力对道路沉降的影响远大于行车荷载对道路沉降的影响。受涵洞自身重力与新填筑路基的影响,地基沉降最大区域出现在路基中线偏新路基方向一侧。

### 参考文献:

- [1] SUN L, HOPKINS T C, BECKHAM T. Load reduction by geofoam for culvert extension: Numerical analysis[C]//American Society of Civil Engineers. Geo-Congress 2006. American Society of Civil Engineers, 2006:1-5.
- [2] 吴萍.洛三高速公路改扩建桥涵设计要点[J].中外公路,2011,31(5):164-167.
- [3] 罗火生.佛开高速公路改扩建工程总体扩建方案研究[J].公路,2012(2):4-9.
- [4] 余常俊.高速公路扩建工程小型结构物拼接技术[J].中外公路,2007,27(1):17-20.
- [5] 杨亮.高速公路大跨度拓宽涵洞搭接部差异沉降研究[J].四川建材,2018,44(2):165-166.
- [6] 王超.高速公路改扩建项目新旧涵拼接处受力和变形研究[J].北方交通,2018(3):61-64.
- [7] 姚红伟.运营条件下既有铁路涵洞改造施工技术[J].工程建设与设计,2018(7):224-227+230.

收稿日期:2020-03-16

\*\*\*\*\*

(上接第121页)

(2) 几何控制法从索长和应力两个角度并采用二分运算法对误差进行调整,可最大程度消除误差的影响,同时减少施工现场索长过大或过小的现象。

(3) 从误差调控速度和调控精度来讲,几何控制法均具有一定优势,建议在大跨度斜拉桥施工控制误差调整中推广运用。

### 参考文献:

- [1] 叶雨山,母涛,郑文通,等.斜塔斜拉城市景观桥梁施工监控应变测试误差分析及修正方法研究[J].施工技术,2015,44(11):56-59.
- [2] 陈泉.桥梁施工控制误差调整分析方法[J].江西建材,2018(4):144-145.
- [3] 李辉.公路桥梁施工状态误差及其标准分析[J].交通世界,2016(27):72-73.
- [4] 敬莉蓉.大跨度连续桥梁施工控制关键问题解析[J].四

川水泥,2016(8):36.

- [5] 范燕来,杨才宝.大跨度预应力混凝土桥梁施工控制技术的应用[J].交通世界,2016(1):74-75.
- [6] 王志诚,许春荣.大跨度钢连续梁线形几何控制法[J].公路工程,2012,37(5):156-160.
- [7] 王学伟,祝兵,卜一之,等.基于几何控制法的斜拉桥主梁制造夹角误差变化及传播规律研究[J].四川建筑科学研究,2016,42(3):124-129.
- [8] 黄灿,卜一之,翁方文.多塔斜拉桥几何控制法的参数敏感性分析[J].中外公路,2013,33(5):81-84.
- [9] 谢明志,卜一之,张克跃,等.特大跨度混合梁斜拉桥几何控制法参数敏感性[J].长安大学学报(自然科学版),2014,34(3):66-73.
- [10] 张慧,王文科,陈楚龙,等.考虑施工误差的大跨度混合梁斜拉桥全过程施工可靠性分析[J].青海交通科技,2019(6):101-108.

收稿日期:2020-04-07