

文章编号:1671-6833(2004)03-0070-04

盾构施工对沥青路面影响评估

郭庆海¹, 刘文¹, 胡群芳², 姬中达³

(1. 同济大学交通运输工程学院, 上海 200092; 2. 同济大学土木工程学院, 上海 200092; 3. 河南省公路工程局, 河南 郑州 450008)

摘要: 城市内的地铁隧道, 一般都选择在道路下穿行, 因此, 不可避免地会对城市道路路面造成破坏. 分析了路面由于盾构施工造成的多种破坏类型, 讨论了路面寿命周期内费用组成, 并采用公路沥青路面使用性能评价方法和标准, 建立了由于盾构施工导致沥青路面出现最大沉降量与其使用性能指标和费用损失之间的风险评估模型, 并进行了模型应用研究.

关键词: 盾构; 沥青路面; 破损; 风险评估

中图分类号: U 418.6; U 416.216 **文献标识码:** A

0 引言

城市内的地下工程, 尤其是地铁隧道, 为了避免从建筑物基础下穿过造成建筑物出现开裂等损坏, 一般都选择在道路下穿行, 因此, 不可避免地会对路面造成不同程度的影响. 从大量的工程实例中发现, 盾构施工对路面造成的影响主要有: 一是由于盾构施工产生的地面沉降不均等原因造成沥青路面出现开裂或车辙等现象; 二是由于注浆压力控制不当导致浆液通过土体裂隙喷出地面, 路面缝隙出现“冒浆”现象; 三是由于盾构推进过程中工作面失稳等原因导致路面出现沉陷、坑槽或塌陷等严重破损现象. 近年来各大城市都在大规模开发地下空间, 由于对盾构施工造成路面破坏没有引起充分的重视, 城市道路经常出现工程事故, 影响道路通行能力, 造成大量的社会和经济损失, 其后果不容忽视. 本文采用公路沥青路面使用性能评价方法和标准, 建立了沥青路面沉降破坏与其使用性能和经济损失之间的风险评估模型, 并利用所建的模型进行了实际应用研究.

1 路面损坏类型和经济损失分析

根据现行的《公路沥青路面养护技术规范(JTG 073.2-2001)》^[1] 沥青路面破损可为裂缝类、松散类、变形类及其它类型四大类. 城市地下盾构施工能造成路面出现以下损坏: ①裂缝破坏, 即出现龟裂、不规则裂缝、纵缝和横缝等; ②松散损坏, 包括坑槽、脱皮、啃边和松散等; ③变形损坏, 由于地面出现不均匀沉降而出现车辙、拥包、波浪、沉陷、坑槽、塌陷或坑洞等. 由于各种损坏的综合影响, 进一步加速了路面破损的速度, 降低路面通行能力, 从而直接影响路面使用性能和运营效益.

美国德克萨斯州公路运输部门于 1996 年承担了“刚性柔性路面的寿命周期费用分析”的研究项目, 该项目研究建立了一个综合的、模块化的路面寿命周期经济分析模型, 用于评价现有和未来的路面运营经济效益. Rob Harrison^[2] 等人所建立的寿命周期模型费用分析框架主要包括路面设计费用、管理费用、用户费用和其他费用(见图 1).

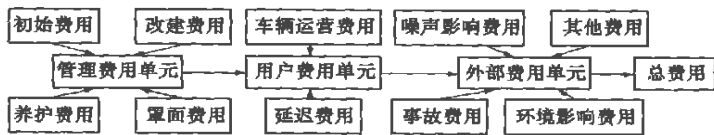


图 1 路面寿命周期费用组成

Fig. 1 Pavement cost in its whole life

收稿日期:2004-03-01; 修订日期:2004-06-19

基金项目:河南省教育厅自然科学基金基础研究计划项目(20015800001)

作者简介:郭庆海(1967-),男,河南省南阳市人,郑州大学讲师,同济大学博士研究生,主要从事道路与铁道工程研究.

通过以上沥青路面破损类型分类和路面寿命周期费用组成分析,考虑到路面的经济损失主要是由于使用性能的差异所带来的费用,因此沥青路面由于隧道盾构施工可能产生的损失应包括以下四类:

(1) 由于路面结构的破坏而产生的修复费用,即路面养护、修复、重建的费用,包括小修保养费,中修费以及大修费.

(2) 由于路面改建或养护活动,使车辆减速或绕道行驶而增加的车辆营运费和行程时间费损失.

(3) 路面状况的变化引发的车辆在道路上行驶过程中各项资源消耗增加所支出的费用,如燃油消耗、轮胎磨损、保修材料和工时的支出油耗以及车辆折旧等损失.

(4) 路面损坏造成的交通事故增加的损失.

在以上四类经济损失中,路面结构破坏是最直接损失,因此,本文主要以此为研究重点,借鉴有关的沥青路面性能评价方法和分级标准,建立了路面沉降破坏值与其使用性能指标和经济损失三者之间的风险评估模型.

2 评估模型的建立

2.1 模型的基本假定

表 1 沥青路面破损分类和换算系数

Tab .1 Damage class and converting coefficient of asphalt road

破损类型	分级	外观描述	分级标准	换算系数 K
沉陷	轻	深度浅,行车无明显不适感	深度小于等于 25 mm	0.4
	重	深度深,行车明显颠簸不适	深度大于 25 mm	1.0
车辙	轻	变形较浅	深度小于等于 25 mm	0.4
	重	变形较深	深度大于 25 mm	1.0
坑增	轻	坑浅,面积小于 1m^2	坑深小于等于 25 mm	0.8
	重	坑深,面积较大,大于 1m^2	坑深大于 25 mm	1.0

沥青路面破损状况采用路面状况指数 PCI (Pavement Condition Index) 进行评价, PCI 由沥青路面破损率 R_d (Damage Rate) 计算得到.路面破损的典型种类及其严重程度描述见表 1,根据路面破损的严重程度和范围确定路面破损换算系数 (K),路面综合破损率 (R_d) 按照下面公式计算^[1]:

$$R_d = \frac{D}{A} \times 100\%$$
$$= \frac{(D_{\text{沉}}K_{\text{沉}} + D_{\text{车}}K_{\text{车}} + D_{\text{坑}}K_{\text{坑}})}{L \times B} \times 100\% \quad (1)$$

式中: R_d 为路面综合破损率,以百分数计算,%;
 D 为调查路段内的折合破损面积, m^2 ; A 为调查

为了便于分析和建立盾构施工对路面影响的数学模型,需要进行以下假定:

(1) 假定地下隧道与道路路面纵向方向相平行,城市道路路面为沥青混凝土路面;

(2) 地下双孔平行隧道盾构施工沿路面纵向推进,不考虑沥青路面各层本身的厚度变形和其它因素的影响变形;

(3) 盾构施工对路基的变形影响采用 Peck^[3] 公式计算,假定盾构施工引起的地表沉降是在不排水情况下发生,沉降槽体积等于地层损失的体积,地层损失沿隧道轴线上方的平均变形量为均匀的,地表沉降的横向分布近似正态曲线分布;

(4) 在计算路面周边的地面变形时,不考虑周边构筑物对沥青路面变形的复合影响.

2.2 沥青路面破损状况评估模型

在软土地区盾构隧道施工中,城市沥青路面可能产生的破坏是在较短时间内发生的,路面容易出现的典型破坏形式主要包括:沉陷、车辙和坑槽等.参照现行规范破损评估的方法,对沥青路面典型破坏型式进行了具体分级处理,具体评判和计算标准见表 1.

路段的路面总面积, m^2 ; L, B 分别为调查路段的长与宽.长度 L 取隧道区间的长度,宽度 B 取盾构隧道影响宽度 B_1 和路面行车道实际宽度 B_0 两者中的小值,即: $B = \min(B_1, B_0)$;

$D_{\text{沉}}, D_{\text{车}}$ 和 $D_{\text{坑}}$ 分别为沉陷、车辙和坑槽等损坏的实际面积, m^2 ; $D_{\text{车}} = \text{长度} \times 0.4\text{m}$;

$K_{\text{沉}}, K_{\text{车}}$ 和 $K_{\text{坑}}$ 分别为沉陷、车辙和坑槽等损坏严重程度的换算系数,参考表 1 取值.

式(1)的难点在于破损面积的确定,由于路面损坏评价属于事后调查,破损面积均以实际量测数据来计算,而盾构施工对路面的影响属于风险

事故预测,因此,为了计算破损面积,需要利用假定通过统计资料分析.

由基本假定可知,路面的损伤破坏主要是由于盾构施工导致路面出现沉降所造成的,因此,采用Peck^[3]公式进行计算路面弯沉的横向宽度:

$$B_1=z_0=2Kz_0 \tag{2}$$

式中: B_1 盾构施工影响路面的弯沉盆横向宽度, m ; z_0 为盾构隧道中心埋深, m ; K 为沉降槽宽度参数,取决于土的类型.对于砂土, K 取值 $0.2\sim 0.3$; 粉质粘土, K 取值 $0.4\sim 0.5$; 淤泥质土, K 取值达到 0.7 .

在地下隧道盾构施工过程中即使不发生事故,正常推进也会产生一定的沉降变形,路面轴线位置沉降量可按式计算:

$$S_0=\frac{0.313V_{L_0}D^2}{i}\times 10^3 \tag{3}$$

式中: S_0 为盾构正常施工在中轴线位置的地面沉降量 mm ; D 为盾构隧道直径, m ; V_{L_0} 为盾构正常施工引起的土体损失率,根据统计资料,粘性土层一般为 $1.3\%\sim 2.5\%$,砂层为 $0.15\%\sim 13\%$,回填土为 $6\%\sim 16\%$.

根据假定可知,风险事故产生的路面纵向沉降槽与盾构正常推进产生的沉降交点范围内即为路面破坏的基本范围,即

$$S_{\max}\exp(-\frac{L_1/2}{z_0}^2)=S_{\max}\exp(-\frac{L_1}{8z_0}^2)=S_0 \tag{4}$$

求解得

$$L_1=i\sqrt{-8\ln(S_0/S_{\max})} \tag{5}$$

式中: S_{\max} 为盾构施工的风险事故所产生的路面最大沉降量,采用专家调查统计结果, mm ;

路面出现沉陷破损的区域面积为

$$D_{\text{沉}}=L_1B_1\cdot 2Kz_0^2\sqrt{-8\ln\left(\frac{0.313V_{L_0}D^2}{Kz_0S_{\max}}\right)} \tag{6}$$

路面出现最大沉陷值为

$$S'=S_{\max}-S_0 \tag{7}$$

假定路面出现车辙的程度与沉陷长度类似,则车辙损坏的面积为

$$D_{\text{车}}=0.4L_1 \tag{8}$$

坑槽破坏面积的计算采用数据统计数据计算

$$D_{\text{坑}}=\eta\cdot L\cdot B \tag{9}$$

式中: η 为盾构隧道两端头井间沥青路面可能出现坑槽破损面积与总路面面积之比, $\%$.

综合以上分析,得到路面综合破损率(D_d)的

计算公式为

$$R_d=\begin{cases} \frac{0.4L(B_1+0.4)}{L\cdot B}\times 100\%+\eta_1\ (S'\leq 25\text{ mm}) \\ \frac{L(B_1+0.4)}{L\cdot B}\times 100\%+\eta_2\ (S'>25\text{ mm}) \end{cases} \tag{10}$$

按照现行照现行的《公路沥青路面养护技术规范(JTJ 073.2-2001)》^[1],沥青路面破损状况指数 PQI 的分级标准(参见规范^[1]和计算公式)

$$PQI=100-15R_d^{0.412} \tag{11}$$

3.3 沥青路面风险损失计算模型

根据路面寿命期内的费用构成分析可知,盾构施工可能造成路面风险损失计算模型为^[4]:

$$MC=0.34+0.000\ 003\ 44\times(100-PQI)\times AADT \tag{12}$$

$$C_R=L\cdot B\cdot MC \tag{13}$$

式中: $AADT$ 为路面平均日交通量,辆/天; MC 为路面养护费用,元/ m^2 ; C_R 为路面破坏损失费用,元.

将式(11)和(12)代入式(13)可得沥青路面在不同地面路面沉降情况影响下的费用损失.

3.4 模型的应用

某城市地下隧道^[3]埋深 $z_0=15\text{ m}$,直径 $D=5.2\text{ m}$,隧道轴线位于道路的中间,地下路基土层为粘土,路面为沥青混凝土宽 $B_0=9.0\text{ m}$ 、厚度取 0.4 m ,道路为双向四车道,设计车道年平均日交通量调查值 $ADTT=2\ 600$ 辆/天,按区间隧道段长度计算取 $L=1\ 000\text{ m}$.

由式(2)得: $B_1=z_0=2Kz_0=2\times 0.5\times 15\text{ m}=15\text{ m}>9\text{ m}$,取 $B_1=9\text{ m}$,因此,取 $B=9.0\text{ m}$.由式(3)得: $S_0=0.313\times 0.025\times 5.2^2\times 10^3/7.5=28.2\text{ mm}$,代入式(5)中计算盾构破坏区长度: $L_1=i\cdot \sqrt{-8\ln(S_0/S_{\max})}$,根据式(10)和(11)分别计算路面的路面综合破损率(DR)和路面破损状况指数(PQI),其中沥青路面出现坑槽破坏的概率很小,对 D_R 数值的影响不到 1% ,计算中取 $\eta=1\%$.

由 $ADTT$ 的调查数值计算: $AADT=10\ 400$ 辆/天,代入式(12)和(13)计算盾构造成沥青路面破坏损失费用,并利用文献[5]中的调查数据计算,最大沉降值 S_{\max} 与路面状况指数 PQI 以及最终损失 C_R 的关系见图2.

4 结束语

城市地下隧道为了避免从建筑物基础下穿过造成建筑物出现开裂等损坏,一般都选择在道路下穿行,隧道的盾构施工对道路会造成不同程度

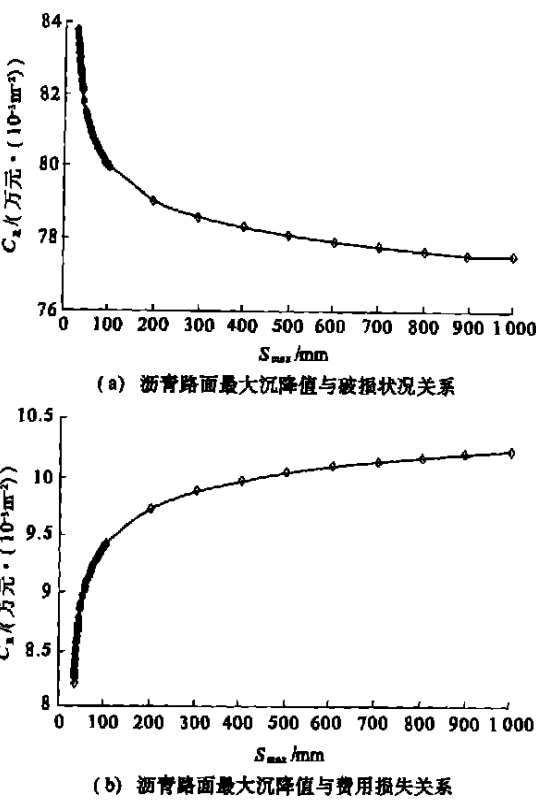


图2 沥青路面风险损失评估关系

Fig.2 Risk evaluation of asphalt pavement due to shield tunnel construction

的破坏,直接影响路面的运输能力和运用效益.本文分析了盾构施工可能造成路面损坏的不同类型,采用公路沥青路面使用性能评价方法和标准,建立了沥青路面使用性能与地面沉降之间的关系,同时,根据不同损失等级所造成的路面损失,计算得到了路面沉降与经济损失之间的关系.本文作为软土地区盾构施工风险风险分析应用于道路工程实际的初步尝试,希望我们的工作能起到抛砖引玉的作用.

参考文献:

[1] JTJ 073.2—2001,公路沥青路面养护技术规范S
[2] ROB Harrison ,STEVE Waalkes ,WILLIAM James ·A Life Cycle Analysis of Rigid Pavements ,Project 0—1739 summary report [C] ·New York ;Department of Transportation Federal Highway Administrator ,1999. 35~47.
[3] PECK P B ·Deep excavations and tunneling in soft ground [C] ·Proc 7th International Conference on Soil Mech and Found Engineering ,State of the Art Volume ·Mexico : Department of Transportation Federal Highway Administrator , 1969. 225~290.
[4] HERNRY H ·RENIZ ·Life Cycle Cost Analysis on Pavement Design (FHWA —SA —98 —079) [C] ·New York : Department of Transportation Federal Highway Administrator , 1998, (1) : 305~317.

The Risk Evaluation of Urban Asphalt Pavement Due to Shield Tunnel Construction

GUO Qing —hai ¹ , LIU Wen ¹ , HU Qun —fang ² , JI Zhong —da ³

(1. School of Transportation , Tongji University , Shanghai 200092 , China ; 2. School of Civil Engineering , Tongji University , Shanghai 200092 , China ; 3. Henan Traffic Highway Engineering Bureau , Zhengzhou 450008 , China)

Abstract : Generally , subway tunnels in soft soil area are built under the pavement . Therefore , it is inevitable that the urban roads are often damaged and broken during the shield tunnel construction . This paper analyzes the different breakage types due to shield tunnel construction , discuss the cost composition of the road in its whole life , and then establishes a risk evaluation model on three parameters such as the maximum settlement , pavement performance and cost loss for urban asphalt roads . In the end , a case study is conducted .

Key words : shield tunnel ; asphalt pavement ; breakage and damage ; risk evaluation