

文章编号:1673-9469(2014)02-0001-03

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2014.02.001

大跨度小间距偏压隧道施工模拟

魏翠玲,樊高臣

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:为了解决大跨度小间距偏压隧道施工工序和两隧道开挖时相互影响的问题,采用有限差分数值模拟方法对大跨度小间距偏压隧道进行了施工工序和空间效应的计算分析,结果表明不论采用哪种开挖方式,隧道受力均具有不对称性,中间夹岩和埋深较大一侧拱腰是应力集中区域,先开挖埋深较浅一侧更有利于围岩的稳定性。两隧道同时开挖时掌子面只要保持在一定的范围外,即可保证两隧道的相互影响较小。

关键词:大跨小间距;施工工序;数值模拟;偏压;开挖掌子面

中图分类号:U45

文献标识码:A

Construction simulation of bias tunnel with large - span small spacing

WEI Cui - ling, FAN Gao - chen

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: In order to solve the problem of large - span bias tunnel construction process, and tunnels excavation influence with each other, the finite difference method was used to calculation and analyze the large - span bias small spacing tunnels construction process and space effect. The results show that whichever kind of excavation method, the tunnel stress have asymmetry, shared rock and the hence of large buried depth on one side is the stress concentration area, excavation shallow side first is more conducive to the stability of surrounding rock. When two tunnels were excavated at the same time, the tunnel face was beyond a certain range, that the mutual influence of two tunnels was small.

Key words: large span small spacing; construction process; numerical modeling; bias; excavation face

大跨度小间距隧道是公路隧道中的一个发展方向,可以解决特殊地形条件下的场地限制等诸多问题,但同时由于其结构特点,在施工时安全风险大、质量不容易控制^[1]。大跨度小间距偏压隧道不同于分离式隧道,中间夹岩在施工中受到左右两洞的双重干扰,在上部偏压荷载下,受力特性更是复杂,在设计、施工中对这类隧道要慎重选用合理的施工工序和合理的支护结构,是隧道安全施工的重要保障^[2],对于大跨度小间距偏压隧道的施工工序和施工方法研究具有重要的意义。

大跨度小间距偏压隧道的施工工序模拟中,对开挖方法的模拟已经很多,参考现有的文献知道,在隧道开挖时全断面法、台阶法、CRD法、双侧

壁导管法对围岩的稳定性依次增强^[3-4],小净距对向开挖的方案优于同向滞后开挖^[5]。而对于开挖工序的研究结果并不统一,根据传统的观点埋深大的一侧所受主应力较大,先开挖埋深浅的一侧比较合理^[6],根据塑性屈服接近度和位移,先开挖埋深浅的一侧塑性区域较小^[7]。本文采用有限差分原理,以 Mohr - Coulomb 为屈服准则,选取 CRD 法来对隧道的施工工序和空间效应进行计算分析。

1 工程概况

以双向六车道的隧道为例,选取具有偏压埋深较浅段,坡度大概为 30°,围岩等级为 V 级,隧道

净宽 16 m,最大开挖宽度 17.5 m,净高 8 m,两隧道之间的间距 18 m,隧道埋深高处 60 m,低处 25 m,属于大跨度小间距偏压隧道。

2 开挖顺序的模拟

2.1 计算模型

计算模型根据平面应变和圣维南原理建立,为了方便计算取纵向一个开挖步 3 m,左右分别选隧道总跨度的 3 倍,下边界为跨度的 2 倍,上边界根据地形实际情况进行简化,左洞偏压相对标高为 60 m,右洞相对标高为 25 m。左右边界和下边界受到法向位移约束,上边界为自由面。计算模型见图 1。

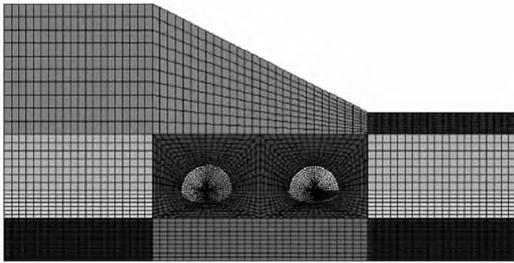


图1 计算模型及网格划分

Fig.1 Calculation model and mesh

2.2 模型参数及基本假定

为了简化计算,做出以下假定:

(1) 采用平面应变和圣维南原理,不考虑空间效应。

(2) 隧道围岩和支护为各向均质、同性、连续。

(3) 采用摩尔-库伦模型,材料处于弹塑性。

(4) 初始应力场只有岩体本身重力。

(5) 本文研究隧道开挖对岩体的扰动情况对比,不考虑二次衬砌的作用。

(6) 开挖顺序的模型不考虑空间效应的影响,开挖瞬间释放 40% 地应力,在初期支护完成后释放剩余地应力^[8-9]。

物理参数根据围岩等级确定,钢拱架弹性模量按照刚度相等原则折算为喷射混凝土的弹性模量,参数取值如表 1 所示。

2.3 开挖步骤模拟

采用 crd 隧道开挖方式,将开挖模型分为两种,开挖工况为先进性左洞的开挖,顺序为左上、左下、右上和右下的开挖与支护,然后对右洞以右上、右下、左上及左下的开挖。先开挖右洞时步骤与先开挖左洞类似。

2.4 计算结果分析

通过数值计算得到不同开挖工况下围岩的位移变形及初期支护的变形和受力情况,具体数值见表 2、表 3。

表 1 物理参数

Tab. 1 Physical parameters

名称	密度 /kg·m ³	体积模量 /Pa	剪切模量 /Pa	泊松比 μ	内摩擦角 /°	粘聚力 /Pa
围岩	2 000	1.5e9	5.6e8	0.35	26	0.1e6
初期支护	2 400	15.0e9		0.25	35	

表 2 围岩位移表/cm

Tab. 2 Displacement of surrounding rock (unit: cm)

	左洞拱顶	右洞拱顶	左洞拱腰相对 水平收敛	右洞拱腰相对 水平收敛	中间夹岩相对 水平位移
先开挖左洞	3.79	2.76	2.88	1.73	2.57
先开挖右洞	3.23	2.70	0.908	2.62	1.64

表 3 初期支护变形和受力情况

Tab. 3 Primary support deformation and stress distribution

	左洞初支最大 位移/cm	右洞初支最大 位移/cm	左洞初支最大 竖向应力/Pa	右洞初支最大 竖向应力/Pa
先开挖左洞	2.93	1.92	2.20e6	1.61e6
先开挖右洞	2.42	2.04	1.89e6	1.72e6

1)通过对隧道左右洞分别开挖,分析两隧洞拱顶位移可知,先开挖左洞时拱顶位移为左洞3.79 cm,右洞2.76 cm,先开挖右洞时,拱顶位移左洞为3.23 cm,右洞2.70 cm,两者相差不大,中间夹岩相对位移先开挖左洞时为2.567 cm,先开挖右洞时相对位移为1.64 cm。先开挖左洞时,左洞两拱腰相对水平收敛为2.88 cm,右洞收敛仅为1.73 cm;先开挖右洞时,左洞两拱腰相对水平收敛为0.908 cm,右洞收敛为2.62 cm。从表2中数据可以看出不同开挖顺序,同一位置上的位移变化相差很大,这是因为先开挖隧道对后开挖隧道的稳定性有很大影响。

从表3中可以看出初期支护上的位移相对于围岩较小,这是因为隧道开挖后没喷射混凝土时围岩已经有了一部分变形,其位移变化和围岩趋势相同,先开挖浅埋一侧隧道时初期支护受到竖向应力较小,更加有利于结构的稳定性。

2)不论采用哪种开挖方式,在中间夹岩和埋深较大一侧拱腰处会出现应力集中现象,最大主应力在拱腰处比拱顶、仰拱、拱脚处要大很多,隧道受力具有明显的不对称性,仰拱处具有较大的张拉应力,正应力竖直向上。先开挖左洞时最大主应力为1.874 MPa,先开挖右洞时最大主应力为1.856 MPa,先开挖右洞的应力集中区域比先开挖左洞稍小。

3)塑性区域,不论采用哪种开挖方式,在埋深大的一侧塑性区域较大,在中间岩上没有出现贯通现象。但先开挖埋深小的一侧时,在拱腰处剪切破坏大面积发生,并一直持续,在地表处连接在一起,先开挖埋深较深的右洞时,塑性区域则不再扩大。

3 隧道开挖空间效应分析

为了加快施工进度,可以使两个隧道的开挖面保持在一定的距离,使两隧道的拱顶竖向位移、中间夹岩水平收敛、主应力受到的相互影响控制到一个可以接受的范围内,目前关于开挖掌子面距离的研究很多,本文针对大跨度小净距偏压隧道这种特殊地形条件小的隧道空间效应进行分析。

3.1 计算模型和参数

取2.1中计算模型,将其沿隧道中线延长100 m,围岩和支护参数参考上例。计算模型见图2。

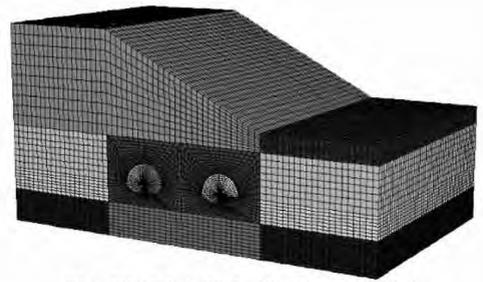


图2 隧道空间计算模型及网格划分

Fig.2 Space calculation model and mesh

3.2 开挖步骤

模型取自隧道中间一部分,为了模拟隧道开挖掘进面对隧道空间效应影响,先开挖左洞深埋隧道3 m,然后对右洞浅埋隧道进行每步5 m的开挖支护,直到完成100 m的隧道全部开挖结束。

3.3 计算结果分析

左洞埋深大隧道在初始开挖计算平衡后位移为2.42 cm,中间夹岩水平收敛为1.23 cm,此时进行右洞第一次开挖支护,计算平衡后左洞位移为3.76 cm,右洞位移为2.78 cm,中间夹岩水平位移为2.56 cm,这和上述计算结果相同。然后依次进行左洞的开挖,得到左右拱顶和中间夹岩随开挖面的位移变化和水平收敛。最终在最初开挖面左拱顶位移为9.96 cm,右洞拱顶位移为12.63 cm,水平夹岩位移为5.72 cm。左洞由于埋深大,刚开始时拱顶位移大于右洞,但随着右洞的不断开挖,在第二和第三个开挖步之间,15 m左右时右洞拱顶位移超过左洞。

通过对结果进行分析可知,右洞浅埋隧道拱顶位移在离右洞开挖面距离为30 m左右时基本上已经稳定,达到了总位移的90%;左洞拱顶位移在距离开挖面20 m时,基本不再受开挖效应的影响,达到了稳定位移的93%;中间夹岩距离开挖面30 m时收敛基本停止,达到总收敛的95%左右。

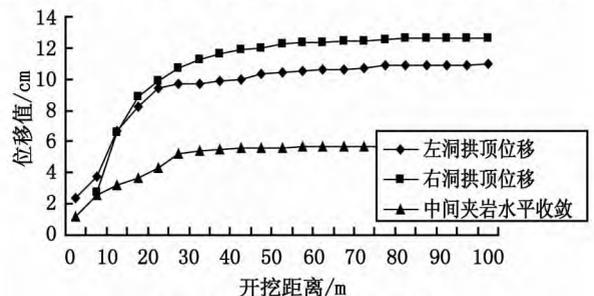


图3 位移及水平收敛曲线

Fig.3 Displacement and horizontal convergence curve

(下转第14页)

- [2] 宁建国,王成,马天宝. 爆炸与冲击动力学[M]. 北京:国防工业出版社, 2010.
- [3] 李国豪. 工程结构抗爆动力学[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1989.
- [4] HENRYCH J. The dynamics of explosion and its use [M]. Amsterdam: Elsevier, 1979.
- [5] 王仲琦,宁建国,赵衡阳,等. 挡墙对远场爆炸效应影响的数值模拟研究[J]. 爆炸与冲击, 2000, 20(1): 87-91.
- [6] 穆朝民,任辉启,李永池,等. 爆炸冲击波作用于墙体及对墙体绕射的实验研究[J]. 实验力学, 2008, 23(2): 169-174.
- [7] 杨鑫,石少卿,程鹏飞. 空气中 TNT 爆炸冲击波超压

峰值的预测及数值模拟[J]. 爆破, 2008(1): 16-18.

- [8] 白金泽. Ls - dyna 3D 理论基础与实例分析[M]. 北京:科学出版社, 2005.
- [9] Ls - dyna keyword user's manual [M]. California: Livermore Software Technology Corporation, 2009.
- [10] CHENG Q, WU H. Modeling of simultaneous ground shock and air blast pressure on nearby structures from surface explosions[J]. Elsevier International Journal of Impact Engineer, 2005(31): 699-717.
- [11] 郝莉,马天宝,王成,等. 爆炸冲击波绕流的三维数值模拟研究[J]. 力学学报, 2010, 42(6): 1042-1048.

(责任编辑 王利君)

(上接第3页)

4 结论

1) 在开挖顺序上,不论采用哪种开挖方式,两者拱顶位移都大致相同,并在两隧道之间的夹岩和埋深较大的一侧拱腰处都会产生应力集中现象,在仰拱处产生张拉应力,隧道开挖过程应力重分布相互影响较为复杂,产生夹岩处明显的受力不对称性。施工时要重点对拱腰处,特别是埋深较大的拱腰和夹岩处做好加强措施。

2) 先开挖埋深较小的右洞,相比较先开挖埋深大的左洞,应力集中部分较少,最大主应力和隧道水平收敛较小,围岩受到扰动轻,初期支护上的位移和受力也较为合理,更有利于围岩的稳定性。

3) 埋深较小一侧隧道开挖时,开挖掌子面对埋深较大隧道的拱顶位移影响较小,在一倍开挖宽度时,就已稳定,而对自身某断面拱顶位移和隧道的水平收敛影响较大,为了两隧道同时施工的安全性,要保持两隧道开挖掌子面最少 30 m 的距离,即 2 倍的开挖宽度。

参考文献:

- [1] 刘伟. 小净距公路隧道净距优化研究[D]. 上海:同济大学, 2004.
- [2] 杨小礼,睦志荣. 浅埋小净距偏压隧道施工工序数值分析[J]. 中南大学学报, 2007, 38(4): 765-769.
- [3] 傅鹤林,张聚文. 软弱围岩中大跨度浅埋偏压小间距隧道开挖数值模拟[J]. 采矿技术, 2009, 9(5): 17-21.
- [4] 张利民. 山岭复杂条件下一级公路建设技术标准的选定方法研究[J]. 四川理工学院学报:自然科学版, 2011, 24(4): 373-375.
- [5] 李荣伟. 小净距隧道施工顺序 FLAC3D 模拟分析[J]. 水科学与工程技术, 2011(1): 82-84.
- [6] 孔亮,徐林生. 观音庙隧道进口小净距段动态施工的数值模拟研究[J]. 西部探矿工程, 2006(8): 159-161.
- [7] 靳晓光,刘伟. 小净距偏压公路隧道开挖顺序优化[J]. 公路交通科技, 2005, 22(8): 61-64.
- [8] 张小旺. 浅埋隧道施工过程仿真分析[D]. 郑州:郑州大学, 2007.
- [9] 董淑惠,冯德成,江宁恒,等. 早期受冻温度对负温混凝土微观结构强度的影响[J]. 黑龙江科技学院学报, 2013, 23(1): 64-66.

(责任编辑 刘存英)

(上接第8页)

structural steels due to ultra low cycle fatigue[J]. Journal of Engineering Mechanics, 2007, 133(6): 701-712.

- [8] FEMA. Recommended seismic design criteria for new moment - resisting steel frame structures [R]. Report No. FEMA 350, FEMA, Washington, DC, 2000.
- [9] AISC. Seismic provisions for structural steel buildings [S]. AISC, Chicago, IL, 2002.
- [10] FEMA. State of art report on connection performance

[R], Report No. FEMA355D, FEMA, Washington, DC, 2000.

- [11] ROEDER. General issues influencing connection performance [J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 2002, 128(4): 420-428.
- [12] CHANGSHI MAO, JAMES RICLES, LE WU LU, et al. Effect of local details on ductility of welded moment connections [J]. Journal of Structural Engineering, 2001, 127(9): 1036-1044.

(责任编辑 刘存英)