

侧压力系数对节理岩体隧洞位移响应模拟研究

王振, 韩春, 王伦祥, 李路华

(山东大学 土建与水利学院, 山东 济南 250061)

摘要: 侧压力系数对隧洞围岩稳定性的影响较为显著,并且与隧洞的断面形式也有一定的关系。隧洞围岩位移变化量在一定程度上又反映了隧洞围岩的稳定性情况。本文建立了三种断面形式的节理岩体隧洞模型,分别对它们处于不同埋深、不同侧压力系数下的位移响应进行模拟分析,归纳出三种断面形式的隧洞在侧压力系数变化下的响应规律。通过算例总结可知,在同一侧压力系数下,埋深越大,隧洞关键点位移都会增大,在侧压力系数较大时,位移受埋深增加影响较显著;在同一埋深下,侧压力系数较小时,隧洞围岩位移受侧压力系数影响也较小,当侧压力系数较大时,隧洞围岩位移变化较明显;当埋深和侧压力系数均取最大值时,不同断面隧洞的最大位移关键点所处的位置不同。本文的模拟可以为不同埋深、不同侧压力系数下的隧洞选择断面形式提供参考,也可以为节理岩体隧洞开挖支护提供指导。

关键词: 节理岩体隧洞; 侧压力系数; 断面形式; 位移响应

中图分类号: TV314; TU311 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2013)03-0026-04

Simulation research on response of joint rock tunnel displacement under role of lateral pressure coefficient

WANG Zhen, HAN Chun, WANG Lunxiang, LI Luhua

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: The lateral pressure coefficient has greater influence on the stability of tunnel surround rock and also has certain relation with the section form of tunnel. While the stability of tunnel surround rock is reflected by its displacement to a certain extent. The paper established the joint rock tunnel model of three section forms, and simulated and analyzed the displacement response in different buried depth and lateral pressure coefficient respectively. The response rule of three section forms was obtained for these tunnels in the change of lateral pressure coefficient. Through example summary, the conclusions are that when the lateral pressure coefficient is identical, the bigger the depth of tunnel, the bigger the displacement of tunnel key point, and the displacement is strong impacted by the buried depth when the lateral pressure coefficient is big; In the same buried depth of tunnel, the tunnel rock's displacement is slightly influenced by the lateral pressure coefficient when it is small, but the change of displacement is significant as the lateral pressure coefficient is larger; The critical points of the tunnel biggest displacement is located at different positions when the depth and lateral pressure coefficient are the biggest. The simulation in the context can provide reference for the choice of tunnel section form and guide for joint rock tunnel excavation and supporting.

Key words: joint rock tunnel; lateral pressure coefficient; section form; displacement response

0 引言

为了使车、水、天然气等能够穿越山体,通常需要开挖一些穿山隧洞。穿山隧洞所处的地质环境条件一般都较为复杂,尤其是含有许多结构面和软弱夹

层^[1]的隧洞,开挖设计和开挖施工都需要考虑较多因素。为了满足设计需求同时方便施工,在开挖前需要对隧洞开挖后的稳定性进行理论计算,理论计算的精度的确较为准确,但是计算速度非常慢。应用数值模拟方法^[2-3]对开挖隧洞模型进行模拟可以大大的提

收稿日期:2013-01-31; 修回日期:2013-04-01

基金项目:国家自然科学基金项目(41272325);山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(BS2011NJ012)

作者简介:王振(1987-),男,河北衡水人,硕士研究生,主要从事节理岩体可靠度分析方面的研究。

通讯作者:韩春(1987-),女,吉林长春人,硕士研究生,主要从事地下水渗流分析研究。

高运算速率,且误差一般在允许的范围之内,并且可以根据实际需求增减某些因素。当隧洞所处的地理环境不同时,隧洞模型的侧压力系数就会不同,不同的侧压力系数下,隧洞围岩的位移响应该也会有区别。为了弄清侧压力系数对节理岩体隧洞围岩位移的影响,本文将对不同埋深、不同侧应力系数对不同断面形式的节理岩体隧洞的位移响应进行模拟研究,希望可以探索出一个符合节理岩体隧洞的新的规律。李海波^[3]对地震荷载作用下地下岩体洞室位移影响因素进行了探索,考虑了埋深、侧压力系数对洞室围岩位移的影响,但未对含结构面的隧洞进行分析。本文采用离散元方法^[4]对节理岩体隧洞进行分析,算例中节理岩体隧洞断面形式考虑了矩形、圆形以及马蹄形等三种较为常用的断面形式,考虑埋深不同、侧压力系数不同对节理岩体隧洞的位移响应规律^[5]。本文的模拟成果和模拟方法,也可能为处于不同埋深、不同侧压力系数下隧洞断面选择、隧洞设计^[6-7]、隧洞围岩支护提供参考。

1 计算模型及主要考虑的变量

1.1 计算模型

本文将对马蹄形、圆形、矩形三种断面形式的隧洞进行模拟。各断面隧洞尺寸如图1所示。计算模型的尺寸为60 m × 60 m,计算模型含两组交错节理,角度分别为45°、-70°,节理间距为10 m。马蹄形隧洞计算模型及网格划分如图2所示。岩体参数和结构面参数分别如表1、2所示。本文采用弹塑性模型对隧洞岩体和结构面进行分析^[8],屈服准则采用Mohr-Coulomb强度准则,屈服函数^[9]为:

$$f_s = \sigma_1 - \sigma_3 N_\varphi + 2c \sqrt{N_\varphi} \quad (1)$$

$$f_t = \sigma_3 - \sigma_t \quad (2)$$

式中: $N_\varphi = (1 + \sin\varphi)/(1 - \sin\varphi)$; 其中, φ 为内摩擦角; σ_1 、 σ_3 分别为最大和最小主应力; c 为粘聚力; σ_t 为抗拉强度。

当岩体内部某一点应力满足 $f_s < 0$, 就发生剪切屈服; 当岩体内部某一点应力满足 $f_t > 0$, 发生张拉屈服。

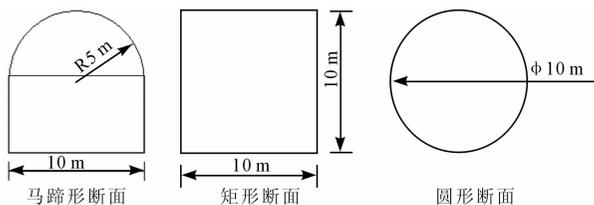


图1 各断面隧洞尺寸

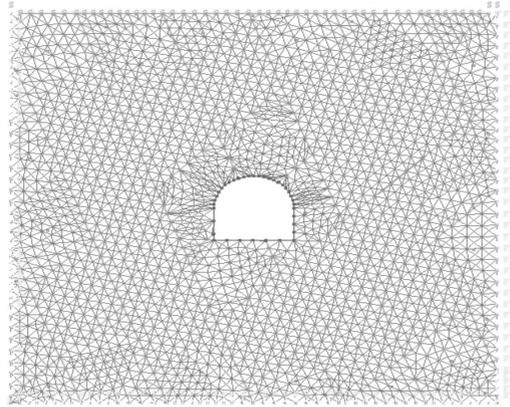


图2 马蹄形隧洞计算模型

表1 岩块变形和强度参数 g/cm^3 , GPa, ($^\circ$), MPa

密度	弹性模量	泊松比	内摩擦角	抗拉强度	粘聚力
2750	48	0.21	35	0.4	1.0

表2 节理变形和强度参数 GPa/m, ($^\circ$), MPa

节理组	法向刚度	剪切刚度	内摩擦角	抗拉强度	粘聚力
1	12	6	30	0.3	0.8
2	12	6	30	0.3	0.8

1.2 考虑的变量

本文将对处于不同埋深、不同侧压力系数下的三种断面形式的隧洞进行模拟研究。本文的算例分析中,考虑隧洞埋深分别为200、400、600、800 m;侧压力系数分别为0.5、1.0、2.0、3.0。

2 各断面隧洞位移响应

对马蹄形隧洞、圆形隧洞以及矩形隧洞在不同埋深 h 、不同侧压力系数 λ 下的位移响应进行模拟研究,对得出的3种断面形式隧洞位移进行对比,期待可以归结出一些较好的结论。根据经验发现,不同断面形式的隧洞洞顶、洞底、围岩侧壁最大位移点不一定在同一点处,所以在本文模拟中将洞顶部位最大位移处定为关键点1,洞底部位最大位移处定为关键点2,隧洞侧壁围岩最大位移处定为关键点3。下面分别对各断面隧洞关键点位移进行统计。

2.1 马蹄形隧洞关键点位移响应

马蹄形隧洞洞顶关键点1位移随埋深、侧压力系数变化关系如表3所示,马蹄形隧洞底关键点2位移随埋深、侧压力系数变化关系如表4所示,马蹄形隧洞侧壁关键点3位移随埋深、侧压力系数变化关系如表5所示。

表3 马蹄形隧洞关键点1位移值 mm

λ	200 m	400 m	600 m	800 m
0.5	-1.5	-4	-7.8	-14
1	-1.6	-4	-8	-15
2	-2.0	-10	-20	-40
3	-4.0	-20	-40	-60

由表3、4、5 横向可以看出,在同一测压力系数下,随着隧洞埋深,马蹄形关键点位移随埋深增加呈增大趋势。同一埋深下,侧压力系数越大,隧洞关键点位移一般也会越大,但是在测压系数为0.5、1.0时,变化甚微,可以忽略测压系数的影响,当测压系数为2、3时,影响较大;埋深最大且侧压力系数最大时,隧洞会存在最大位移关键点,马蹄形隧洞最大位移关键点在洞底部位。

2.2 矩形隧洞关键点位移响应

矩形隧洞洞顶关键点1位移随埋深、侧压力系数变化关系如表6所示,矩形隧洞底关键点2位移随埋深、侧压力系数变化关系如表7,矩形隧洞侧壁关键点3位移随埋深、侧压力系数变化关系如表8。

表4 马蹄形隧洞关键点2位移值 mm

λ	200 m	400 m	600 m	800 m
0.5	2	4	8	10
1	1.5	4	8	15
2	4	10	20	40
3	8	30	40	80

表5 隧洞侧壁围岩关键点3位移值 mm

λ	200 m	400 m	600 m	800 m
0.5	0.6	3	8	15
1	1.5	4	12	20
2	4	10	25	40
3	8	20	40	60

表6 矩形隧洞关键点1位移值 mm

λ	200 m	400 m	600 m	800 m
0.5	-3.0	-8	-15	-30
1	-2.5	-8	-20	-30
2	-6.0	-20	-40	-60
3	-12.0	-30	-60	-80

由表6、7、8可以看出,在同一侧压力系数下,矩形隧洞关键点位移随埋深增加逐渐增大,在埋深相同时,侧压力系数较大为2、3时,隧洞围岩位移响应较为显著。在侧压力系数最大、埋深最深时,矩形隧洞关键点位移最大值发生在隧洞侧壁围岩处。

表7 矩形隧洞关键点2位移值 mm

λ	200 m	400 m	600 m	800 m
0.5	1.5	4	5	10
1	1.5	6	10	20
2	4	15	30	40
3	8	30	60	80

表8 矩形隧洞侧壁围岩关键点3位移值 mm

λ	200 m	400 m	600 m	800 m
0.5	1.5	6	15	30
1	2	8	15	30
2	6	20	40	60
3	12	40	60	120

2.3 圆形隧洞关键点位移响应

圆形隧洞洞顶关键点1位移随埋深、侧压力系数变化关系如表9所示,圆形隧洞底关键点2位移随埋深、侧压力系数变化关系如表10,圆形隧洞侧壁关键点3位移随埋深、侧压力系数变化关系如表11。

表9 圆形隧洞关键点1位移变化值 mm

λ	200 m	400 m	600 m	800 m
0.5	-1.5	-4	-8	-12
1	-1.2	-4	-8	-15
2	-2.0	-10	-20	-30
3	-4.0	-20	-40	-60

表10 圆形隧洞关键点2位移值 mm

λ	200 m	400 m	600 m	800 m
0.5	1	2	4	8
1	0.8	3	6	10
2	2	8	15	30
3	4	15	30	40

表11 圆形隧洞侧壁围岩关键点3位移值 mm

λ	200 m	400 m	600 m	800 m
0.5	0.4	2	4	8
1	0.8	3	6	10
2	3.0	10	15	20
3	6.0	20	30	40

由表9、10、11可以看出,在同一侧压力系数下,圆形隧洞关键点位移随埋深增加逐渐增大,在埋深相同时,侧压力系数较大为2、3时,隧洞围岩位移响应较为显著。在侧压力系数最大、埋深最深时,圆形隧洞关键点位移最大值发生在隧洞洞顶。

对三种断面形式的隧洞位移响应进行分析可

知,在同一侧压力系数下,隧洞埋深越大,隧洞各部位关键点位移都会增加;在侧压力系数为2、3时,侧压力系数对隧洞的影响较为显著;在埋深最大、侧压力系数最大时,隧洞发生最大位移的关键点所在的位置不同。

3 结 语

本文采用离散元法对节理岩体隧洞在不同埋深不同侧压力系数下的位移响应进行了模拟研究,总结出以下几点规律:

(1)无论隧洞选择何种断面形式,在同一侧压力系数下,随着埋深的增加,隧洞各关键点位移都会随之增加。

(2)对于同一断面形式的隧洞,在相同的埋深下,侧压力系数为0.5和1时,隧洞关键点位移相差不大;当侧压力系数为2和3时,隧洞关键点位移变化较大。

(3)不同的断面隧洞在侧压力系数为3,埋深为800 m时,隧洞关键点最大位移发生的部位不同。马蹄形隧洞关键点最大位移发生在洞底,矩形隧洞关键点最大位移发生在围岩侧壁,圆形隧洞关键点最大位移发生在顶部。

(4)在同一埋深、同一侧压力系数下,马蹄形隧洞和圆形隧洞洞顶关键点位移基本一致,但对于洞底和侧壁围岩,圆形隧洞关键点位移比马蹄形要小一些。

(5)在同一埋深同一侧压力系数下,马蹄形隧洞洞底最大位移和矩形隧洞洞底最大位移基本一致,矩形隧洞洞顶和侧壁围岩最大位移要比马蹄形隧洞大很多,尤其是在侧压力系数较大时,更加明显。

参考文献:

- [1] 张志强,李 宁,陈方方,等.不同围岩中软弱夹层对洞室围岩稳定性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(7):193-200.
- [2] 于德海,彭建兵.大型地下洞室不同开挖效应的动态仿真分析[J].地质与勘探,2005,41(2):93-96.
- [3] 李海波,马行东,李俊如.地震荷载作用下岩体洞室位移特征的影响因素分析[J].岩土工程学报,2006,28(3):358-362.
- [4] 王泳嘉,邢纪波.离散元法及其在岩土力学中的应用[M].辽宁:东北工学院出版社,1991.
- [5] 张大松.不同围岩和埋深条件下隧道围岩位移和应力变化规律分析[J].现代交通技术,2012,9(2):53-58.
- [6] 马永锋,余胜祥,陈超敏.陡坡导流隧洞结构设计实践[J].人民长江,2011,42(16):18-20.
- [7] 霍香丽,张世强,李宗坤.引黄入洛隧洞工程设计浅析[J].人民黄河,2011,33(1):108-109.
- [8] 刘进宝.地下洞室施工开挖的三维弹塑性数值模拟分析[J].水力发电,2007,33(10):34-37.
- [9] 陶 帅,王学滨,潘一山,等.线性及非线性屈服函数交界处临界应力对隧洞围岩力学行为的影响[J].水资源与水工程学报,2011,22(2):31-36.

(上接第25页)

的各生理指标进行了田间试验,通过对气孔导度、冠气温差及光合速率的日变化趋势图分析表明,不同土壤水分影响各生理指标峰值均出现在中午10:00左右,且其各水分处理下各指标日变化趋势基本一致。这为进一步研究冬小麦在各生长期的生理指标奠定了基础。

(2)本文通过对冬小麦抽穗期气孔导度与冠层温差、光合速率的相关分析表明:气孔导度与冠气温差、光合速率均为正相关,气孔导度的大小直接影响了冬小麦的光合速率、冠气温差。本文仅是针对水分的变化对冬小麦的影响,其他因素对冬小麦的影响还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 单长卷,田雪亮.冬小麦水分生理特性对水分胁迫的响应[J].吉林农业科学技术,2007,32(6):16-21.

- [2] 刘合芹.不同年代推出的冬小麦(*Triticum aestivum* L.)农艺性状以及光合生理生态特性[D].北京:中国科学院研究生院,2002:13-18.
- [3] 房全孝,陈雨海,李全起,等.土壤水分对冬小麦生长期光能利用及水分利用效率的影响[J].作物学报,2006,32(6):861-866.
- [4] 李 凯,俞双恩,丁继辉,等.抽穗开花期涝渍胁迫对冬小麦生理指标的影响[J].中国农村水利水电,2012(5):72-74.
- [5] 丛建鸣,李 宁,许映军,等.干旱胁迫下冬小麦产量结构与生长、生理、光谱指标的关系[J].中国生态农业学报,2010,18(1):67-71.
- [6] 张金恩.UV-B辐射增强与O₃胁迫单因子及其复合作用下冬小麦光合能力变化研究[D].江苏:南京信息工程大学,2011:9-85.
- [7] 李馨园.播种方式和追肥时期对黑龙江省冬小麦旗叶光合特性及产质量的影响[D].黑龙江:东北农业大学,2011.