

文章编号:1671-6833(2007)02-0039-04

基于不同地表倾角的连拱隧道施工优化分析

安永林, 彭立敏, 赵 丹, 朱向前

(中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075)

摘 要: 基于平面应变问题, 采用 Druck-Prager 屈服准则, 研究不同地表倾角对偏压连拱隧道不同施工方法的施工力学性能的影响. 通过对隧道二次衬砌力学特性及中隔墙受力分析, 确定其较优的施工方法. 模拟结果表明: 地面倾角为 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 时, 宜先开挖埋深较小一侧; 地面倾角为 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 时, 若能确保中隔墙稳定, 则宜先开挖埋深较小一侧; 反之, 宜先开挖埋深较大一侧; 先开挖洞室的墙脚安全系数较小, 在施工中应注意加强.

关键词: 连拱隧道; 地面倾角; 偏压; 施工优化; 施工力学

中图分类号: U 452112

文献标识码: A

0 引言

当前对连拱隧道施工过程的力学行为进行二维或三维数值模拟分析的事例已有不少^[1-6], 其研究结果对指导连拱隧道的设计和施工都起到了积极的作用. 但对于偏压连拱隧道究竟是先开挖埋深较大一侧, 还是先开挖埋深较小一侧的问题研究还很少. 为此, 笔者对偏压连拱隧道考虑不同地表倾角的合理施工工序进行了研究, 其结果具有一定的工程应用价值.

1 连拱隧道的计算模型

1.1 计算范围

为减小有限元模型中边界约束条件对计算结果产生的不利影响, 计算域在水平方向上取 150 m; 竖直方向上, 向下取 50 m, 向上取至地面.

1.2 计算模型的简化

计算中假设原岩应力为大地重力场模型, 模型中不考虑地下水的影响. 初期支护和二次衬砌只考虑轴力和弯矩, 采用梁单元来模拟; 围岩和中隔墙视为各向同性体, 采用三角形单元来模拟; 锚杆则采用轴力杆单元来模拟. 左边界和右边界设为水平方向的位移为零, 上边界设为自由边界, 下边界设为竖向位移为零. 计算时采用弹塑性 Druck-Prager 准则, 此屈服准则是对 Mohr-Coulomb 准则给予近似, 并以此来修正 Von Mises 屈

服准则^[8-9].

1.3 计算力学参数

围岩和支护结构的材料力学参数如表 1 所示.

表 1 围岩及支护结构物理力学参数

Tab. 1 Physical-mechanical parameters of rock and supporting

材料	容重 γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 E/GPa	泊松 比 μ	内聚力 c/kPa	内摩擦 角 $\varphi/^{\circ}$
V 级围岩	20	1	0.45	10	31
中隔墙	22	29.5	0.2	500	85
初次支护	22	21	0.18		
二次衬砌	23	29.5	0.2		
锚杆		210			

1.4 计算工况

各种工况的模型如图 1 所示. 中导洞法先施工埋深小的一侧的工序如图 2 所示.

(1) 图中的数字为施工开挖步骤, 即步骤 1: 中导洞①的开挖与支护; 步骤 2: 中隔墙②的砌筑; 步骤 3: 右洞上台阶③的开挖与初期支护; 步骤 4: 右洞下台阶④的开挖与初期支护; 步骤 5: 右洞二次衬砌与仰拱的施作; 步骤 6: 左洞上台阶⑤的开挖与初期支护; 步骤 7: 左洞下台阶⑥的开挖与初期支护; 步骤 8: 左洞二次衬砌.

(2) 若先开挖埋深较大一侧, 则步骤 3、4、5 和步骤 6、7、8 调换即可.

收稿日期: 2006-01-12; 修订日期: 2006-04-01

基金项目: 铁道部科技司科技攻关项目 (2003G036).

作者简介: 安永林 (1981-), 男, 安徽寿县人, 中南大学博士研究生, 主要从事隧道地下工程结构及防灾研究.

表 2 计算工况

Tab. 2 Statistics of operation conditions

施工工序	5°	10°	15°	20°	25°	30°
	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6
先挖埋深较大	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1
先挖埋深较小	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2	6-2

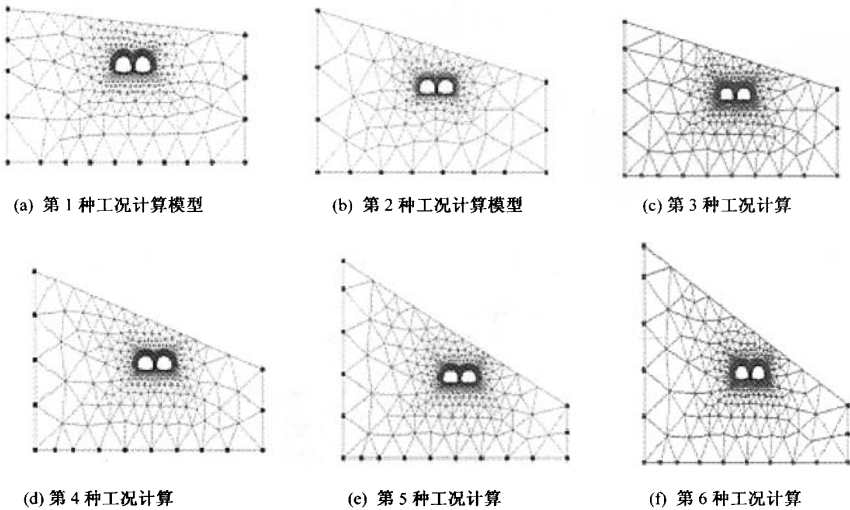


图 1 工况 1~6 计算模型

Fig. 1 Model of different operate conditions

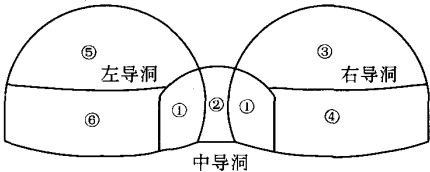


图 2 中导洞法开挖示意图

Fig. 2 Excavation procedures of middle heading

2 计算结果与分析

2.1 二次衬砌的计算结果与分析

作者以二次衬砌的安全系数为研究对象.6

种工况下二次衬砌主要部位的安全系数如表 3 所示.

从表 3 中分析可知:

(1)右洞右拱脚为施工过程中最易遭到破坏的部位,其安全系数在各工况中都很小.但先开挖埋深较小一侧安全系数均大于先开挖埋深较大一侧安全系数.

(2)地面倾角为 5°~20°时,先开挖埋深较大一侧的二次衬砌的安全系数略小于先开挖埋深较小一侧的安全系数,但相差不明显.地面倾角为 25°~30°时,先开挖埋深较大一侧的二次衬砌的

表 3 各工况二次衬砌各部位安全系数

Tab. 3 Safety coefficient of lining under different operate conditions

评估部位	第 1 种工况		第 2 种工况		第 3 种工况		第 4 种工况		第 5 种工况		第 6 种工况	
	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2	6-1	6-2
右洞右墙脚	6.3	4.7	5.1	4.8	6.3	4.1	5.8	4.8	6.2	3.9	6.2	3.8
右洞右拱脚	4.6	36	32	36	24	36	34	35	28	37	28	36
右洞右拱腰	35	36	30	37	22	41	26	35	30	8.1	31	29
右洞拱顶	11	14	28	13	26	1.9	35	10	33	8.1	32	7.0
右洞左拱腰	38	35	31	48	22	26	27	33	22	21	22	12
左洞左拱腰	37.9	25	42	23	67	18	93	52	100	16	103	15
左洞拱顶	27	22	27	24	26	21	39	20	42	22	52	22
左洞右拱腰	82	42	158	96	178	110	126	113	14	20	132	142
左洞右拱脚	108	78	106	95	122	108	133	93	119	86	119	67
左洞右墙脚	26	16	19	14	25	12	29	17	37	13	36	7.9

安全系数明显小于先开挖埋深较小一侧的安全系数。因此从二次衬砌安全系数角度比较,先开挖埋深较小一侧的施工顺序要优于先开挖埋深较大一侧的施工顺序。尤其当偏压明显时,其安全性能更高。

(3) 不论那种开挖,开挖洞室的墙脚部位的安全系数较小,其往往也是施工的薄弱环节,在施工中应注意加强。

2.2 中隔墙的计算结果与分析

由于地质状况、施工工序等因素,中隔墙在洞室开挖过程中承受偏压。为简单起见,假定中隔墙的竖向应力在其厚度方向上呈线性分布。由此分析中隔墙在开挖过程中厚度方向上的竖向压应力差,可反映出中隔墙在施工过程中受偏压的程度。各工况下不同开挖步骤的竖向应力差如图3所示(图中横坐标数字表示开挖步骤)。

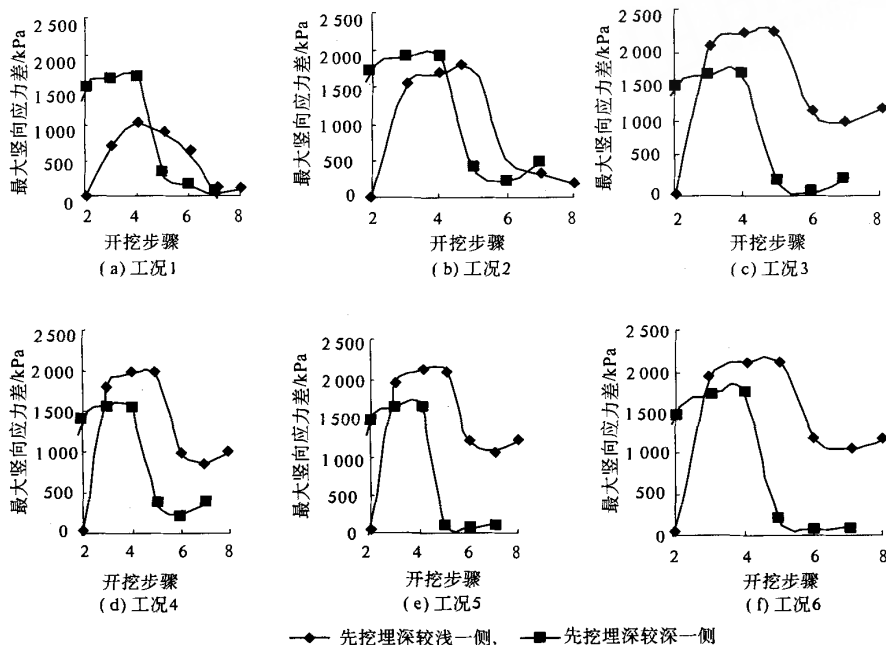


图3 不同工况下的中隔墙竖向应力差

Fig.3 Difference of vertical stress in the middle wall under different operate conditions

从图3中分析可知:

(1) 当地面倾角为 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 时,先开挖埋深较小一侧时,中隔墙偏压比先开挖埋深较大一侧小些;当地面倾角为 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 时,先开挖埋深较大一侧时,中隔墙偏压比先开挖埋深较小一侧小些。

(2) 当地面倾角为 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 范围时,随着地表倾角增大,全断面开挖结束后,先开挖埋深较小一侧时,中隔墙最终偏压也越大,数值约为1 MPa ~ 1.5 MPa。

因此,从中隔墙稳定情况分析,当地面倾角为 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 时,应先开挖埋深较小一侧;当地面倾角为 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 时,先开挖埋深较大一侧要优于先开挖埋深较小一侧。

3 结论

(1) 当地面倾角为 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 时,偏压连拱隧

道宜先开挖埋深较小一侧;

(2) 当地面倾角为 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 时,若能确保中隔墙稳定,则宜先开挖埋深较小一侧,其衬砌结构的力学性能要优于先开挖埋深较大的部位的力学性能;当偏压严重且不能确保中隔墙稳定时,宜先开挖埋深较大一侧,比先开挖埋深较小一侧更有利于中隔墙稳定;

(3) 不论那种开挖,先开挖洞室的墙脚部位始终是施工的薄弱环节,其安全系数较小,也是往往最先遭到破坏的部位,因此,在施工时应适当考虑加厚或配置钢筋。

笔者仅仅基于二维平面应变模型研究了地面倾角对不同施工工序的施工力学性能的影响,而实际连拱隧道的受力状态及其复杂,如何考虑连拱隧道的时空效应即三维分析,是进一步值得研究的问题,并且如果地下水影响较大,如何分析水

作用下的连拱隧道的受力也很值得去研究,另外,中隔墙的防排水始终是薄弱环节,如何从力学分析及施工角度考虑,对其优化也是很值得去研究的。

参考文献:

- [1] 陈秋南,张永兴,刘新荣,等.连拱隧道的设计理论与动态施工力学研究[J].地下空间与工程,2005,(1):156-160.
- [2] 周玉宏,赵燕明,程崇国.偏压连拱隧道施工过程的优化研究[J].岩石力学与工程学报,2002,22(5):679-683.
- [3] 卢耀宗,杨文武.莲花山大跨度连拱隧道施工方法研究[J].中国公路学报,2001,14(2):75-77.
- [4] 夏才初,刘金磊.相思岭连拱隧道中隔墙应力研究[J].岩石力学与工程学报,2000,19(增刊):1115-1119.
- [5] 王晓放,李存德,宋玉香.双跨连拱隧道侧导洞扩挖动力分析[J].石家庄铁道学院学报,2002,15(增刊):5-7.
- [6] 余晓琳,黄小华,彭立敏.软弱围岩条件下连拱隧道施工阶段的受力分析[J].西部探矿工程,2002,77(4):66-68.
- [7] 彭立敏,刘小兵.交通隧道工程[M].长沙:中南大学出版社,2003:216-218.
- [8] 赵玉光,张焕新,林志远,等.双连拱隧道施工力学数值模拟与施工方法比选[J].广西交通科技,2003,28(4):25-30.
- [9] 郭庆海,刘文,胡群芳,等.盾构施工对沥青路面影响评估[J].郑州大学学报(工学版),2004,25(3):70-73.

Optimization of Construction Procedures in a Double-arch Tunnel Based on Different Slope Angles of Surface Ground

AN Yong - lin, PENG Li - min, ZHAO Dan, ZHU Xiang - qian

(College of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: Construction mechanics caused by different construction procedures under different slope angle of surface ground are analyzed based on a plain strain problem using Druck - Prager yield law in a partial pressure double - arch tunnel. Optimization of construction procedures is got by comparing mechanics of secondary lining and middle wall. Results show that it is reasonable to firstly excavate the shallower tunnel when the slope angle is between 5 degree and 15 degree. When it is between 15 degree and 30 degree, it is also reasonable to first excavate the shallower if the middle wall is steady. However, if the middle wall is unsteady due to seriously partial pressure, it is better to excavate the deeper tunnel. Finally, safety coefficient is very small in the feet of the wall, so we'd better reinforce it and pay much attention to it during construction.

Key words: double - arch tunnel; slope angle; partial pressure; construction optimization; construction mechanics