

浅埋偏压软岩隧道数值模拟及方案比选

程旭东, 秦鹏举

(中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院, 山东 青岛 266555)

摘要:围岩的应力应变是分析隧道开挖中围岩稳定性的重要依据。目前比较成熟的隧道施工力学方法主要是对隧道开挖过程进行数值模拟。通过大型有限元软件 ANSYS, 计算了不同埋深、不同坡度角、不同覆盖层厚度条件下, 马鞍形浅埋偏压软岩隧道围岩的应力应变, 分析其规律并进行方案比选, 确定了此类隧道比较合理的设计方案。分析结果表明: 以 2 倍洞径的埋深作为偏压隧道深埋或浅埋的判断依据是合理的; 在保证围岩稳定不发生片帮冒顶的前提下, 减小埋深和覆盖层厚度是比较合理的; 隧道内壁各点的应力应变规律可以为隧道开挖中支护结构参数的选取提供参考。

关键词:浅埋偏压; 软岩隧道; 数值模拟; 方案比选

中图分类号: U45 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)01-0077-04

Numerical Simulation and Scheme Comparison of Shallow and Unsymmetrical Tunnel in Soft Rock/CHENG Xu-dong, QIN Peng-jun (College of Transport & Storage and Civil Engineering in China University of Petroleum, Qingdao Shandong 266555, China)

Abstract: Stress-strain of surrounding rock is an important foundation for analyzing the stability of tunnel excavation. The mature tunnel mechanics is mainly to numerically simulate the tunnel excavation at the present. In this paper, with large finite element software ANSYS, stress-strain of surrounding rock of the saddle-shaped shallow tunnel excavation in soft rock of different depth, slope angle and covering layer thickness are calculated and analyzed, the laws are deduced, the schemes is compared and the reasonable scheme is confirmed. The results show that: it is reasonable for 2 times of the tunnel depth as the judgment of deep or shallow unsymmetrical tunnel; it is reasonable to reduce the depth and covering layer thickness on the condition that surrounding rock is stable without wall spalling and roof caving. The laws of stress-strain of the surrounding rock internal wall in the tunnel excavation may provide reference to selection of the supporting structure parameter.

Key words: shallow and unsymmetrical; soft rock tunnel; numerical simulation; scheme comparison

0 引言

隧道工程建设中,在隧道洞口或穿越不对称地形,往往出现隧道结构两面埋深发生变化的偏压现象。如果这种偏压现象出现在Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级的软岩中,轻则使拱圈发生不对称变形,重则会导致隧道塌陷,影响着隧道围岩的稳定性。隧道施工过程中的围岩稳定性还与围岩的地质构造、岩性、岩石强度、隧道掘进方向与岩层之间关系、隧道开挖尺寸大小、隧道施工支护等密切相关^[1],其主要分析方法有解析方法和有限元方法。力学解析方法主要是解椭圆形和圆形隧道在弹性体、粘弹性体等比较理想条件下的解析解,应用很有限,并且主要应用于求解深埋隧道中的应力应变,对浅埋隧道分析的较少。由于解析分析方法的局限性,现在很多学者利用有限元方法对隧道的围岩稳定性进行数值模拟。

本文以马鞍形隧道为研究对象,用大型通用有

限元软件 ANSYS 对浅埋偏压软岩单孔隧道的围岩应力应变进行数值模拟与方案比选,为隧道设计和支护结构参数选取提供依据。

1 浅埋偏压软岩隧道的主要特点

由于线路、地形地貌、地质条件等的限制,穿越浅埋偏压软弱岩体修建的隧道工程增多。如深圳大梅沙隧道、浙江昱岭关隧道和广东旦架哨隧道等洞口处均是浅埋偏压软岩地质。以上隧道工程最小覆盖层不足 3 m,而洞径均在 10 m 以上。根据《公路隧道设计规范》(JTG 70-2004)中深、浅埋隧道分界界限采用 2~2.5 倍的荷载等效高度^[2],以及文献[3]中采用 2 倍洞径埋深作为偏压隧道深、浅埋界限的判断标准,隧道明显浅埋,覆土薄;地质条件差,靠近地表部分岩体风化严重,多呈破碎状,节理裂隙发育,多是砂质粘土、碎石粘土等;岩体稳定性差,易

收稿日期:2010-07-16; 修回日期:2010-12-13

作者简介:程旭东(1971-),男(汉族),安徽桐城人,中国石油大学(华东)副教授,水利工程专业,博士研究生,从事土木工程及油田地面工程结构方面的教学及科研工作,山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号,chengxd@hdpu.edu.cn。

受施工方法、地下水影响,稍有不慎极易产生坍塌或出现过大的下沉;偏压影响严重,加大了隧道开挖的难度。根据《公路隧道设计规范》(JTG 70-2004)工程地质特征和完整性等多种因素对隧道围岩进行分级,以上隧道工程围岩主要是IV、V级岩体。开挖前期,通常采用预先加固的措施,如开挖前注浆、锚杆和管棚等,开挖过程中采用“短进尺、弱爆破、早封闭、勤量测”等施工技术措施,保证隧道工程的顺利进行^[4,6]。

2 建立计算模型

本文以图1所示偏压隧道进行数值模拟,分析不同的隧道埋深 H 、边坡的坡度角 α 、覆盖层厚度 t 对隧道开挖中围岩的应力和位移的影响规律。

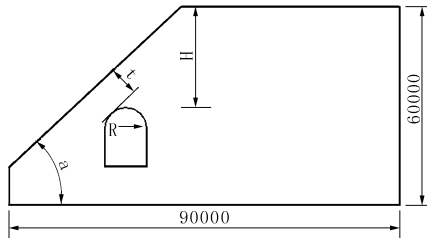


图1 梯形偏压隧道模型

2.1 模型计算条件及网格划分

施工中采用全断面爆破开挖,在程序中采用“生”与“死”单元的功能模拟隧道开挖过程^[7],可以达到模拟瞬时开挖的效果,与工程实际开挖过程较为符合。由于隧道长度较长,围岩模型采用平面应变塑性模型,对应ANSYS软件中平面应变单元Plane42。模型外形尺寸如图1所示,隧道宽为11.1 m、高为9.55 m、直边墙加上圆拱。根据圣维南原理,两侧边的边界及底边界 ≥ 4 倍洞室宽,隧道模型具体尺寸见表1。隧道模型单元的网格划分如图2所示。

2.2 测点布置

在以上隧道模型中,为方便分析隧道开挖中应力变化规律设置观测点,位置如图3所示,拱顶及其

表1 模型尺寸参数

模型代号	H/m	t/m	$\alpha/(\circ)$
H20t10a45	20	10	45
H20t10a60	20	10	60
H20t20a45	20	20	45
H20t20a60	20	20	60
H30t10a45	30	10	45
H30t10a60	30	10	60
H30t20a45	30	20	45
H30t20a60	30	20	60

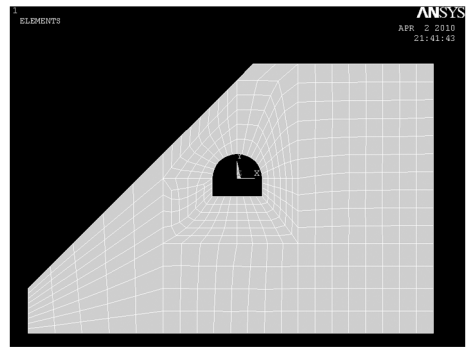


图2 网格划分示意图

周围3个观测点(点1、2、12),圆拱与侧壁连接处2个观测点(点3、11),隧道侧壁中间2个观测点(点4、10)、隧道底部5个观测点(点5、6、7、8、9)。为方便分析隧道开挖中内壁位移变化规律设置观测点,位置如图4所示。

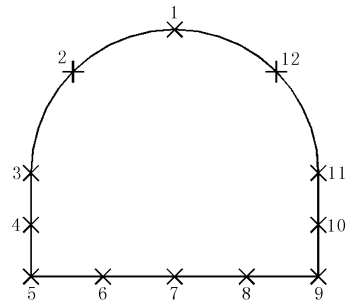


图3 隧道内壁应力观测点布置图

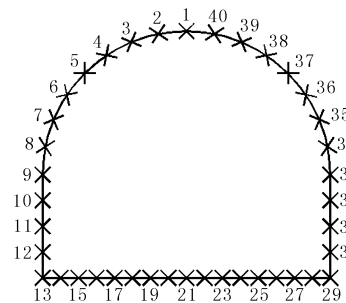


图4 隧道内壁位移观测点布置图

2.3 力学参数确定

隧道地质条件较差,但是经过预先加固,隧道围岩可以按IV级进行模拟,加固围岩参数采用等效的方法确定^[8],围岩力学参数如表2所示。根据地质条件特点,采用Drucker-Prager屈服模型。对模型两侧边界各节点施加水平方向约束,底侧边界各节点施加竖直方向约束,顶面和斜边均为自由边界。

表2 模型力学参数

弹性模量 E/GPa	泊松比 μ	容重 $\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	粘聚力 c/MPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
1.0	0.35	20	0.15	30

3 计算结果分析

3.1 隧道围岩应力分析

3.1.1 埋深 H 对围岩应力的影响

隧道 H20t10a60 和 H30t10a60 的围岩应力云图分别如图 5、图 6 所示。比较 2 个不同埋深隧道开挖围岩的应力云图可以看出:随着埋深增大,拱顶及隧道底部的围岩压力增大,拉应力范围扩大;集中应力范围增大,塑性区范围亦增大;集中应力主要分布于拱顶左侧、右侧壁底部、拱顶和隧道底部处。由两应力云图还可见,隧道边坡一侧围岩应力相当复杂,隧道顶部形成的自然拱在边坡处断开,说明隧道顶部属于深埋,而边坡处则为浅埋。因此,可以通过在隧道顶部及边坡处均形成自然拱时的埋深和覆盖层厚度的较小值来判定偏压隧道的深、浅埋。

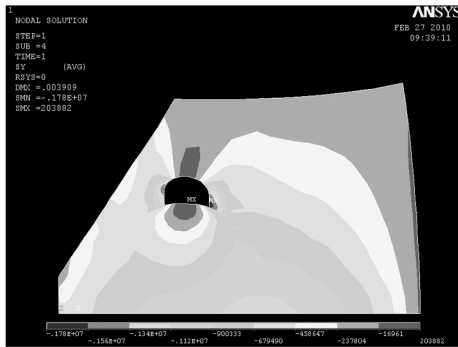


图 5 H20t10a60 模型应力云图

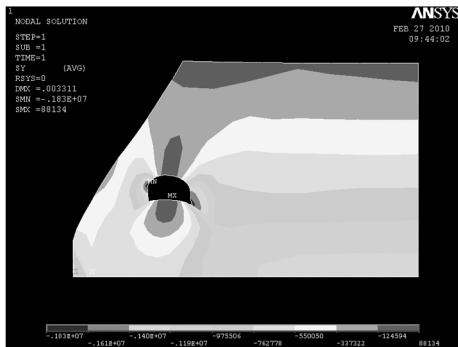


图 6 H30t10a60 模型应力云图

3.1.2 覆盖层厚度 t 对围岩应力的影响

隧道 H20t10a45 和 H20t20a45 围岩的应力云图分别如图 7、图 8 所示。比较 2 个不同覆盖层厚度的隧道开挖围岩的应力云图可以看出:随着覆盖层厚度增大,隧道底部应力变小,拱顶及围岩两侧壁应力急剧增大,右侧塑性区增大,表明顶部围岩对隧道壁的应力影响增大。由图 8 可知,浅埋隧道埋深和覆盖层厚度基本相同时,拱顶以上围岩受到较大的拉应力,表明此情况拱顶更容易破坏。

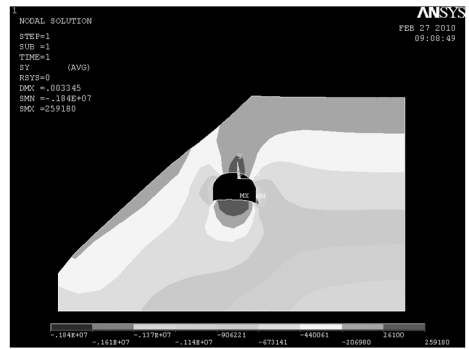


图 7 H20t10a45 模型应力云图

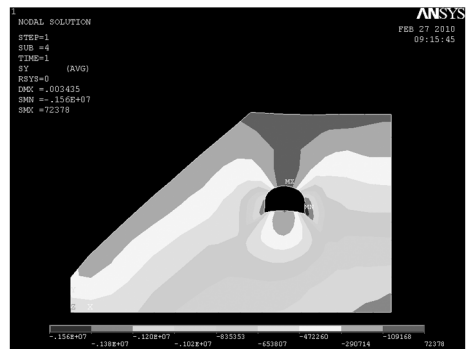


图 8 H20t20a45 模型应力云图

3.1.3 边坡坡度角 α 对围岩应力的影响

隧道 H30t20a45 和 H30t20a60 围岩的应力云图分别如图 9、图 10 所示。比较 2 个不同边坡坡度角隧道围岩的应力云图可以看出:坡度增大,顶部围岩

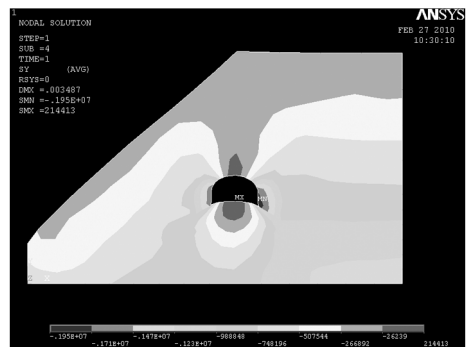


图 9 H30t20a45 模型应力云图

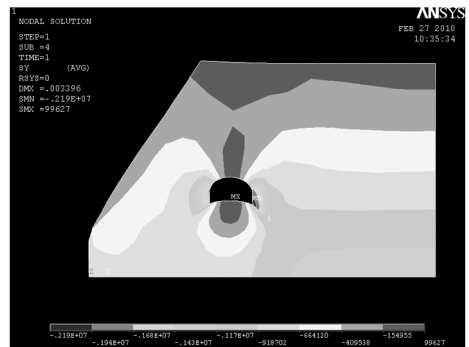


图 10 H30t20a60 模型应力云图

松动应力增大,围岩两侧壁应力减小,隧道顶部容易出现塌方;右侧塑性区减小,表明埋深覆盖层不变坡度增大时,隧道围岩所受偏压影响减小。当埋深和覆盖层厚度较大时隧道围岩形成自然拱;两图围岩均形成压力拱,而覆盖层厚度约为洞径的2倍。

3.1.4 隧道内壁总应力变化规律

以上各模型隧道内壁总应力如图11所示。由图11可知:各模型隧道内壁总应力变化规律基本相同,隧道两侧壁的应力较小,隧道底部和拱顶内壁应力较大,其原因是隧道开挖后拱顶围岩失去支撑、隧道底部围岩回弹并抵抗周围岩体向隧道底部滑移,引起较大拉应力;偏压隧道拱顶右侧总应力大于左侧,偏压影响明显;当覆盖层厚度一定时,隧道埋深减小,拱顶围岩应力减小、隧道底部应力增大,表明浅埋隧道随埋深减小,拱顶坍塌可能性减小,但两侧岩体发生滑移的可能性增大;当隧道埋深和坡度一定时,覆盖层增大,拱顶应力增大、隧道底部应力增大,表明覆盖层厚度对应力起控制作用;比较以上各模型,H20t10a60拱顶应力最小且隧道底部应力相对较小,是比较合理的设计方案。

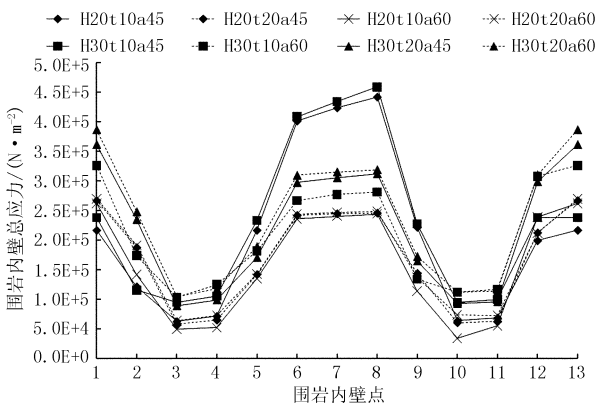


图11 隧道内壁总应力图

3.2 隧道围岩位移分析

以上各模型隧道内壁总位移如图12所示。由图12中可知:各种模型分析的隧道内壁总位移变化规律基本相同,隧道两侧壁的位移较小,隧道底部和拱顶内壁位移较大,其原因是隧道开挖后拱顶围岩失去支撑、隧道底部围岩回弹并抵抗周围岩体向隧道底部滑移,引起较大位移;隧道右侧的位移值大于左侧,表明隧道偏压对围岩位移影响比较大;当埋深坡度一定时,隧道覆盖层厚度越大,隧道底部内壁位移越大,拱顶位移越大;当隧道覆盖层和坡度一定时,埋深减小,隧道内壁位移减小;比较各模型,H20t10a45隧道拱顶位移最小且底部位移较小,是比较合理的设计方案。

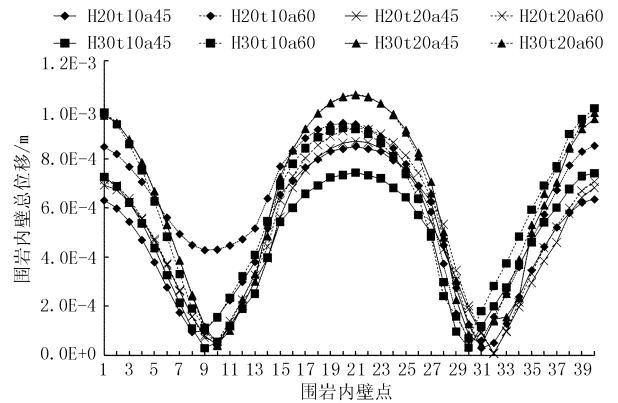


图12 隧道内壁总位移图

4 结论

(1) 偏压隧道开挖后地层中形成自然拱时的埋深和覆盖层较小者作为深、浅埋临界深度。以2倍洞径的埋深作为偏压隧道深埋或浅埋的判断依据是合理的。

(2) 通过总应力、总位移的计算比较,H20t10a60和H20t10a45设计方案是比较可行的,这两种方案模拟表明,在保证隧道围岩稳定的前提下,减小埋深和覆盖层厚度是比较合理的。

(3) 隧道开挖过程中,引起拱顶出现较大位移,要求在开挖结束后尽早施作初期支护以及二次衬砌,并加强其拱顶部分强度。

(4) 围岩受偏压的影响,塑性区除分布在拱顶和隧道底部,还主要分布于拱顶左侧和右侧壁底部,两处连线基本与坡面垂直。这些区域需要进行加强,可以根据具体地质条件,采用注浆、管棚等预先加固措施,保证隧道开挖过程中的稳定性。

参考文献:

- [1] 朱永全,宋玉香.隧道工程[M].北京:中国铁道出版社,2005.
- [2] JTG 70-2004,公路隧道设计规范[S].
- [3] 王立忠,郭东杰.偏压隧道二次应力场分析及应用[J].力学与实践,2000,22(4):25-28.
- [4] 吴焕通,史克臣,刘凤义.大梅沙隧道洞口段施工技术[J].世界隧道,1999,(6):36-39.
- [5] 周朝长.浅埋偏压软弱围岩连拱隧道稳定性研究[D].重庆:重庆大学,2006.
- [6] 池杨敏,李长顺.浅埋偏压软岩大跨隧道进洞施工[J].公路,2002,(6):6-9.
- [7] 陈先国,高波.重叠隧道的施工力学研究[J].岩石力学与工程学报,2003(4):606-610.
- [8] 伍振志,傅志锋,王静,等.浅埋松软地层开挖中管棚注浆法的加固机理及效果分析[J].岩石力学与工程学报,2005,24(6):1025-1029.