

文章编号:1006-7329(2003)01-0006-06

隧道侧岩溶分布对围岩 稳定性影响的数值模拟研究^{*}

赵明阶¹, 王学军¹, 刘绪华², 敖建华², 王彪²

(1.重庆交通学院 河海建筑工程系,重庆 400074;2.湖北省恩施州交通规划设计院,湖北恩施 445000)

摘要:以朝东岩隧道为背景,运用二维弹塑性分析研究了隧道侧面45°和正侧面不同大小、不同距离的溶洞分布对隧道围岩稳定性的影响。研究表明:隧道侧面溶洞随距离的增大,围岩稳定性增强,距离与隧道开挖引起的释放位移之间存在明显的相关关系,影响的分界线大约在溶洞尺寸的2~3倍;在拱顶附近的周边释放位移比底部的释放位移大。同时隧道侧面的溶洞容易引起隧道开挖过程中的偏压现象,隧道整体向溶洞一侧发生释放位移。

关键词:岩溶;隧道围岩;数值分析

中图分类号:TU457

文献标识码:A

我国是岩溶分布最广的国家,随着高速公路建设的迅猛发展,在岩溶地区修建公路隧道越来越多。特别是在西部山区高速公路、铁路建设中,常常会遇到石灰岩溶地区的大断面隧道工程建设,根据目前西部已建公路隧道的不完全统计,位于石灰岩溶地区的隧道约50%,由于岩溶这种不良地质现象的存在给隧道开挖和运营安全造成严重的威胁。在已建的高速公路隧道,如中梁山隧道右线、大宝山隧道、石门坳隧道、砭霜坳隧道、朝东岩隧道等工程中均遇到了不同程度的岩溶工程地质问题,并且严重影响了隧道的安全快速施工^[1]。

为了准确评价隧道侧面岩溶分布对围岩稳定性的影响,本文采用有限元数值分析方法对隧道侧面45°和正侧面的各种岩溶分布的隧道开挖进行二维弹塑性有限元数值分析,并根据计算结果对岩溶尺寸、距离与围岩开挖释放位移、塑性区及稳定性进行了分析。

1 计算模型与计算参数

数值分析采用 Drucker - Prager 模型。所有分析均由 ANSYS5.61 软件完成。分析采用的力学参数是以朝东岩隧道为背景^[2],根据IV类围岩岩石力学指标及裂隙、地下水、地应力等因数采用 RMR 分类并结合 Hoek-Brown 准则求得围岩岩体力学参数;二维分析的模型也是取自朝东岩隧道的实际尺寸。所有计算用的物理力学参数列于表1所示。

表1 有限元计算参数

容重(kN/m ³)	抗拉强度(MPa)	抗压强度(MPa)	变形模量(GPa)	泊松比	内聚力(MPa)	内摩擦角(°)
24	1.034	13.47	14.75	0.2	0.245	36.5

为了弄清隧道侧面溶洞的大小和距离对围岩稳定性的影响,分别计算了位于隧道侧面45°和正侧面直径为1~10m、距离为1~10m的多个模型^[3]。计算模型及边界条件如图1所示,计算工况

* 收稿日期:2002-10-10

资助项目:重庆市重点科技攻关项目(2001-25-03);湖北省恩施州318国道朝东岩隧道项目部资助项目

作者简介:赵明阶(1967-),男,博士,副教授,主要从事岩土工程、隧道工程方面的教学与科研工作。

如表2所示。

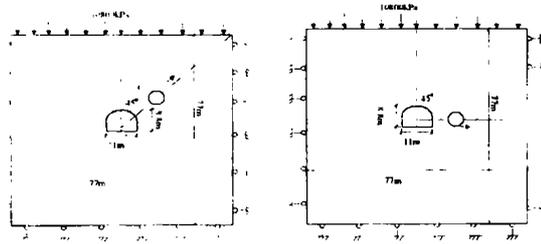


图1 隧道侧面溶洞对围岩稳定性影响的计算模式

表2 隧道侧面溶洞对围岩稳定性影响的计算工况

溶洞直径(m)	溶洞边缘至隧道拱顶距离(m)							
4 m	2	4	6	7	7.5	8	10	14
6 m	2	4	6	8	12	15		
8 m	2	4	6	8	12			

2 45°方向溶洞对围岩稳定性影响的结果分析

2.1 隧道周边的释放位移变化特征

图3、图4、图5、图6为开挖释放位移与不同大小溶洞及分布距离的关系曲线。

隧道拱顶下沉位移和水平位移随溶洞距离的增大而减小,其变化规律仍然可用下式模拟:

$$u = \frac{au_0}{1 - b \exp(-d)} \quad (1)$$

式中: u 为特征点释放位移; d 为溶洞边缘至隧道拱顶的距离(m); u_0 为无溶洞分布时特征点的释放位移(与隧道、围岩、开挖方式等因数有关); a 、 b 为与溶洞直径有关的常数,根据分析该二常数与溶洞直径近似成线性关系。

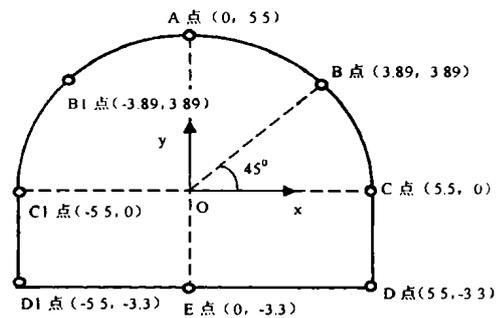


图2 隧道周边关键点及坐标

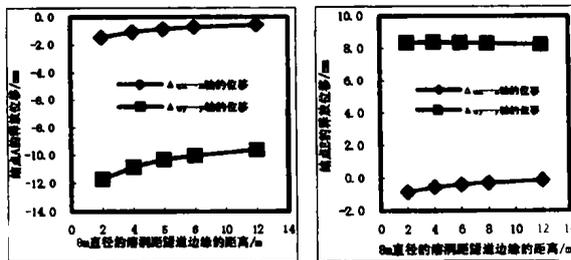
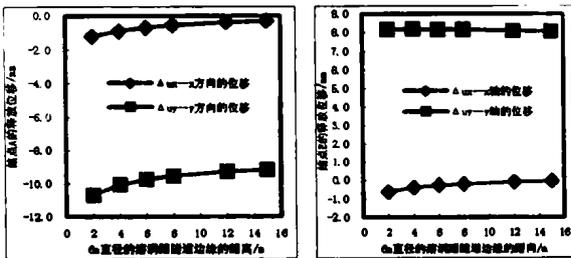


图3 A点和E点的释放位移变化曲线

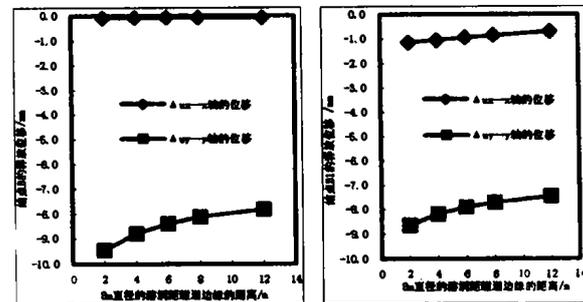
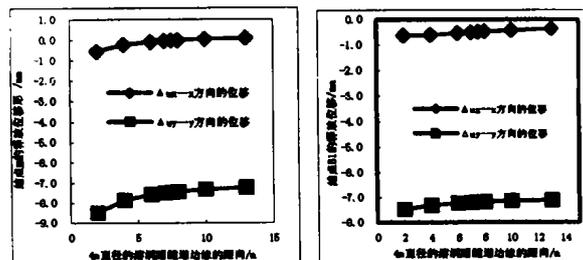


图4 B点和B1点的释放位移变化曲线

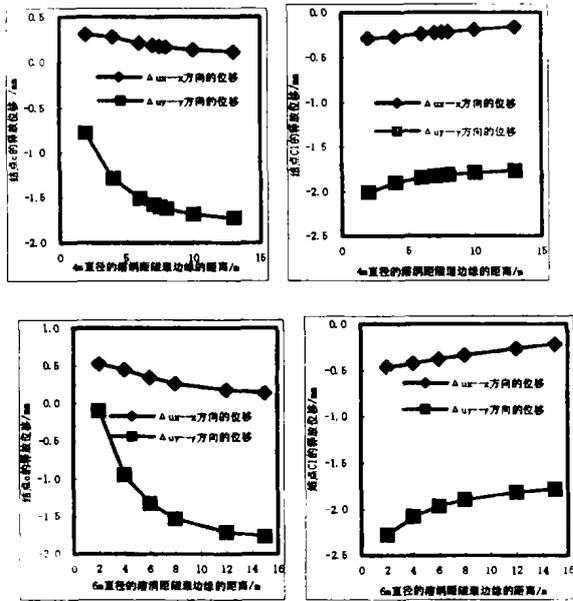


图5 C点和C1点的释放位移变化曲线

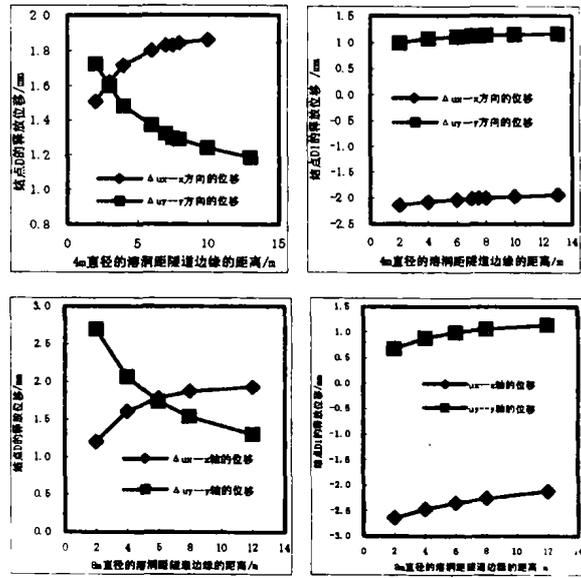


图6 D点和D1点的释放位移变化曲线

在溶洞距离相同的条件下,溶洞越大,拱顶下沉位移和水平位移越大。拱顶水平位移方向正好与溶洞位置相反(为负)。

隧道底部的位移受溶洞的影响较小,但仍然基本符合(1)式的规律。位移随溶洞距离增加而减小,随溶洞的大小增加而增大。水平位移方向与溶洞的位置相反,竖向位移向上。

总体趋势上反映出拱顶释放位移受溶洞的影响比隧道底部位移受溶洞的影响大。

隧道B点和B1点的竖向位移受溶洞的影响与拱顶下沉位移具有相同的规律。两点水平位移方向与溶洞的位置相反,且随溶洞的增大而减小。

隧道C点的竖向位移随溶洞的距离的增加而加大,并趋近于一个恒定值,表明45°方向的溶洞的存在,使C点的竖向位移减小。而水平方向位移随溶洞的距离的增加而减小。竖向位移和水平位移均随溶洞的增大而减小。

与C点相对应的C1点的竖向位移随溶洞的距离的增加而减小,随溶洞尺寸的增大而增大。从两点的水平位移方向相反,表明受溶洞的影响,在隧道的拱脚处围岩有向外变形的趋势。

隧道D点的竖向位移随溶洞的距离的增加而减小,随溶洞尺寸的增大而增大;D1点的竖向位移随溶洞的距离的增加而增大,随溶洞尺寸的增大而减小。

在水平位移方面,D点随溶洞的距离的增加而增大,随溶洞尺寸的增大而减小;D1点随溶洞的距离的增加而减小,随溶洞尺寸的增大而增大。

2.2 塑性区的变化特征

图7为隧道周边的塑性区随直径为4m的溶洞随的距离的增加的变化规律。可以看出,随着溶洞的距离的增加,塑性区逐渐减小并向两侧收缩,当溶洞与隧道之间的距离达到2~3倍溶洞直径时,塑性区不再变化。

图8为隧道周边的塑性区随溶洞直径的增加的变化规律,可以看处随溶洞直径的增大,溶洞与

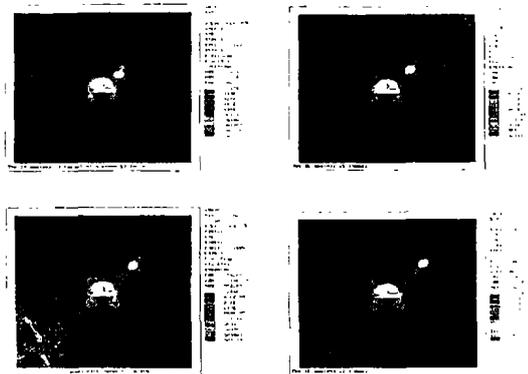


图7 有4m直径的溶洞时塑性区的变化规律

隧道之间的塑性区条带范围加宽。显然对围岩的稳定性产生极其不利的影响。

3 隧道正侧面方向溶洞对围岩稳定性影响的结果分析

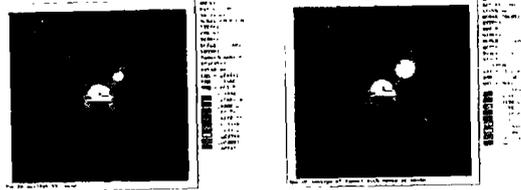


图 8 不同直径溶洞对隧道塑性区的影响

3.1 隧道周边的释放位移变化特征

图 9、图 10、图 11、图 12 为开挖释放位移与不同大小溶洞及分布距离的关系曲线。

正侧面的溶洞对隧道拱顶下沉位移和水平位移的影响与 45°方向的溶洞的影响相同,随溶洞距离的增大而减小,随溶洞尺寸的增大而增大。但正侧面的溶洞由于距离拱顶的距离比 45°方向要

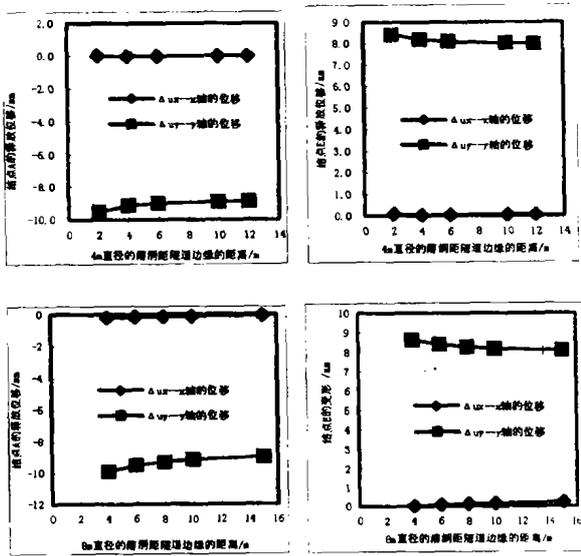


图 9 A 点和 E 点的释放位移变化曲线

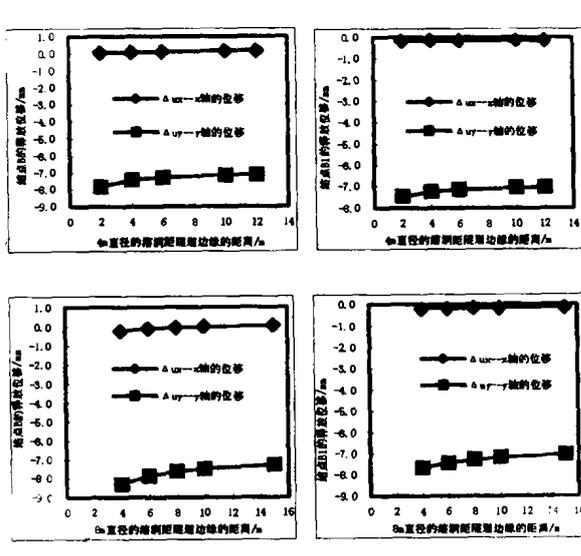


图 10 B 点和 B1 点的释放位移变化曲线

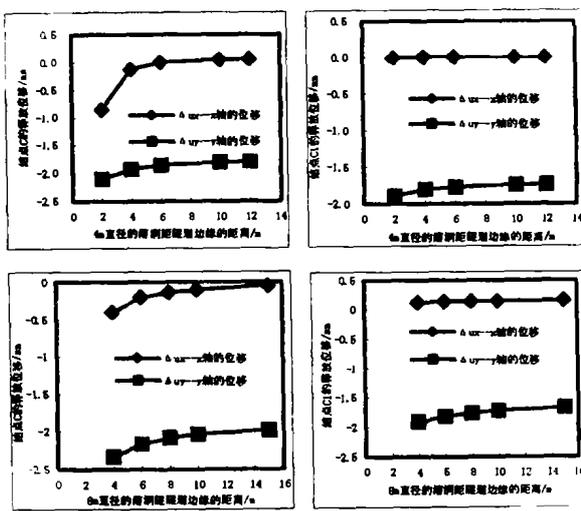


图 11 C 点和 C1 点的释放位移变化曲线

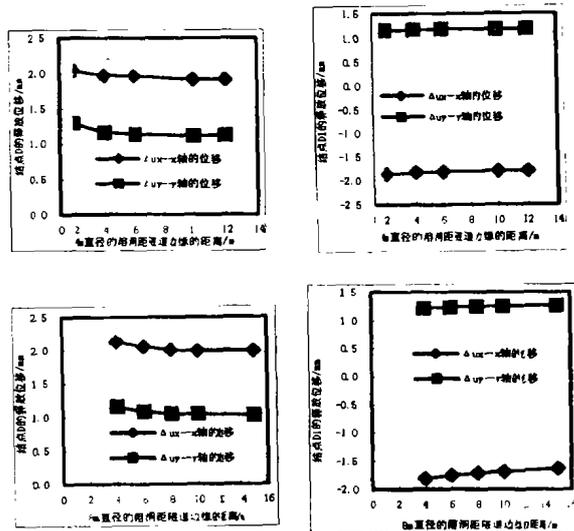


图 12 D 点和 D1 点的释放位移变化曲线

大,故释放位移相应减小。

隧道 B 点和 $B1$ 点的竖向位移受溶洞的影响与拱顶下沉位移具有相同的规律。两点水平位移方向与溶洞的位置相反,且随溶洞的增大而减小。

隧道 C 点的竖向位移随溶洞的距离的增加而加大,并趋近于一个恒定值,表明正侧面方向的溶洞的存在,使 C 点的竖向位移减小。而水平方向位移随溶洞的距离的增加而减小。竖向位移和水平位移均随溶洞的增大而减小。

与 C 点对应的 $C1$ 点的竖向位移随溶洞的距离的增加而减小,随溶洞尺寸的增大而增大。从两点的水平位移方向相反,表明受溶洞的影响,在隧道的拱脚处围岩有向内变形的趋势。

隧道 D 点的竖向位移随溶洞的距离的增加而减小,随溶洞尺寸的增大而增大; $D1$ 点的竖向位移随溶洞的距离的增加而增大,随溶洞尺寸的增大而减小。

在水平位移方面, D 点随溶洞的距离的增加而减小,随溶洞尺寸的增大而减小; $D1$ 点随溶洞的距离的增加而减小,随溶洞尺寸的增大而增大。

3.2 塑性区的变化特征

图 13 为隧道周边的塑性区随直径为 4 m 的溶洞随的距离的增加的变化规律。可以看出,随着溶洞的距离的增加,靠近溶洞一侧的塑性区逐渐减小,当溶洞与隧道之间的距离达到 2~3 倍溶洞直径时,塑性区不再变化。

与 45° 方向的溶洞相比,正侧面溶洞引起的开挖塑性区范围要小得多。

图 14 为隧道周边的塑性区随溶洞尺寸的增加的变化规律。可以看出,随着溶洞的尺寸的增加,靠近溶洞一侧的塑性区逐渐增大,并向隧道顶部扩展。这表明正侧面的溶洞会引起隧道侧上方的围岩稳定性变差,这与溶洞引起的偏压效应有关。

4 结语

综上所述,通过本节对隧道正侧面和 45° 方向的溶洞对隧道围岩稳定性的影响分析,可得出隧道侧面岩溶分布对隧道影响主要表现在以下几个方面:

1) 隧道拱顶下沉位移和水平位移随溶洞距离的增大而减小,其变化规律仍然可用(1)式模拟。在溶洞距离相同的条件下,溶洞越大,拱顶下沉位移和水平位移越大。拱顶水平位移方向正好与溶洞位置相反(为负)。

隧道底部的位移受溶洞的影响较小,位移随溶洞距离增加而减小,随溶洞的大小增加而增大。总体趋势上反映出拱顶释放位移受溶洞的影响比隧道底部位移受溶洞的影响大。

正侧面的溶洞对隧道拱顶下沉位移和水平位移的影响比 45° 方向的溶洞的影响要小,这是由于正侧面的溶洞距离拱顶的距离比 45° 方向要大,故释放位移相应减小。

2) 45° 方位的溶洞使隧道的拱脚处围岩有向外变形的趋势,而正侧面溶洞使隧道的拱脚处围岩有向内变形的趋势。同时隧道侧面的溶洞引起隧道的偏压现象,塑性区向有溶洞一侧发展。

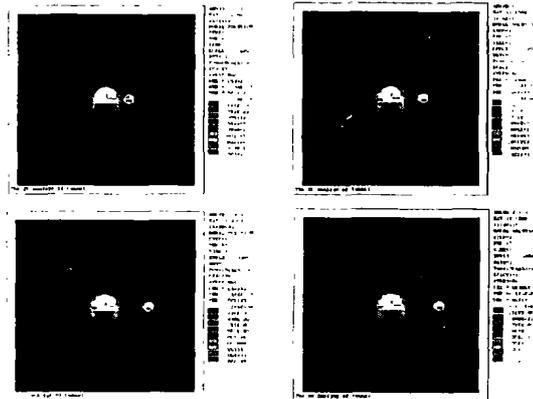


图 13 有 4 m 直径的溶洞时塑性区的变化规律

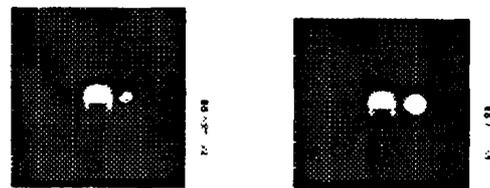


图 14 不同直径溶洞对隧道塑性区的影响

参考文献:

- [1] 李彪. 高速公路隧道施工中的岩溶研究[J]. 工程力学, 2000(增刊): 764 - 768.
- [2] 核工业西南地勘局. 朝东岩隧道工程地质勘察报告[R]. 1999.
- [3] 赵明阶. 石灰岩溶大断面隧道围岩稳定性及控制技术研究(研究报告)[R]. 重庆交通学院, 2002.

Numerical Analysis of Influence of Karst Caves beside the Tunnel on Stability of Its Surrounding Rock Mass

ZHAO Ming - jie¹, WANG Xue - jun¹, LIU Xu - hua², AO Jian - hua², WANG Biao²

(1. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, P. R. China; 2. Hubei Enshi Institute of Design for Communications, Enshi 445000, Hubei Province, P. R. China)

Abstract: Based on the excavation of Chaodongyan Tunnel, a numerical analysis concerning the influence of Karst caves beside the tunnel on stability of its surrounding rock mass is carried out, using the ANSYS software system, the yield initiation is assumed to occur following Druck - Prager failure criterion. The results of numerical modeling show that the deformation of surrounding rock mass of the tunnel reduces with increase of the distance between the Karst cave and the tunnel. There is a good relationship between the deformation of the surrounding rock mass and the distance from the karst cave to the tunnel. The limited distance between the karst cave and the tunnel is about 2 ~ 3 times of the diameter of Karst cave. There is a deviation pressure occurred during excavation because of the karst caves beside the tunnel.

Keywords: Karst cave; the surrounding rock mass of tunnel; numerical analysis

更正启示

由于编者的疏忽,本刊 2002 年第 6 期刊出的《应用统计能量分析计算墙体隔声的初探》一文作者单位标识有误,应更正为:黄险峰^{1,2},吴硕贤¹(1. 华南理工大学,广东广州 510640; 2. 广西大学土木建筑工程学院,广西南宁 530004)。

在此,我刊向作者表示深深的歉意!

重庆建筑大学学报编辑部

2003. 1. 20