

围岩应力释放率对双联拱隧道施工影响研究

夏永旭 王文正 胡庆安

(长安大学公路学院, 西安, 710064)

摘要: 在进行隧道施工过程数值模拟计算中, 围岩压力的释放率是一个很准确给定的参数, 但其对隧道围岩的稳定性却有着极其重要的影响。通过对 II 类围岩双联拱隧道不同施工环节围岩压力释放率的研究, 围岩应力释放率对围岩的应力影响不明显, 但位移随应力释放率的增加而增大。初期支护对地应力的瞬间释放率比较敏感, 特别是锚杆应力变化较大。中隔墙对地应力的瞬间释放率敏感程度较小, 且最终应力随应力释放率的增加而略有降低。

关键词: 围岩应力释放 双联拱隧道 施工过程 力学分析

在进行隧道施工过程数值计算时, 实际施工过程的模拟和不同施工步骤时的围岩应力释放程度(围岩应力释放率)的确定是两个非常困难的问题。围岩应力释放率不仅与隧道的结构设计尺寸、开挖方法、支护施作时间、辅助施工措施等因素有关, 而且还与隧道的工程地质条件、隧道埋深等因素密切相关。在具体施工时, 应力释放率可根据监控量测资料加以确定。在缺乏实测资料的情况下亦可按工程类比法加以选定, 并根据试算结果予以修正。而在设计阶段, 通过有限元数值模拟计算来验证支护结构的强度时, 由于无法预测施工的具体情况, 因而很难确定各阶段的应力释放率。本文以双联拱隧道为对象, 选取几种可能的应力释放率, 通过有限元数值计算, 研究不同围岩压力释放率时、隧道围岩和衬砌结构的位移与应力状态。

1. 计算模型

本文计算模型为线弹性平面应变模型, 岩体初始应力场仅考虑其自重应力, 隧道初期支护只考虑锚杆和喷混凝土的作用, 二次衬砌作为安全储备, 不承担围岩荷载。围岩为 II 类, 隧道设计断面如图 1 所示。

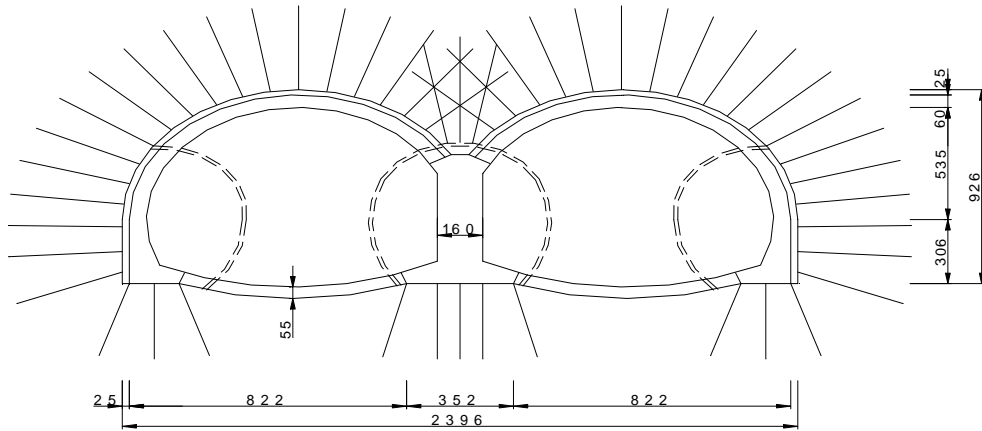


图1 双联拱隧道结构示意图(单位: cm)

Fig.1 Sketch map of Double-arc Tunnel's Structure (unit: cm)

在进行数值模拟计算中, 岩体和混凝土使用二维四节点等参单元模拟, 锚杆用杆单元来模拟, 围岩及混凝土的物理力学参数依据《公路隧道设计规范》^[1]中相关参数确定。不计中墙配筋。

与实际中锚杆对围岩的加固作用相比，按平面应变模型计算时人为加大了锚杆的支护作用。为了解决这一问题，通过三维计算结果比较，将锚杆的弹性模量折减为标准的85%^[2]。各计算参数见表1。

表1 材料物理力学参数

Table 1 Mechanical parameters of material

材料类型	弹性模量E (GPa)	泊松比 μ	容重 γ (KN.m ⁻³)	备注
围岩 (II)	1.20	0.4	20	体荷载G取为10
C20	26.0	0.2	23	
C25	28.5	0.2	24	
锚杆	170	0.3	78	

2. 三导洞法施工的基本工序

计算中采用的三导洞法施工工序为：(1)计算自重应力场；(2)中导洞开挖；(3)中导洞初期支护，中墙浇筑；(4)左、右导洞开挖；(5)左、右导洞支护；(6)中墙顶及左侧回填，右洞拱部开挖；(7)右洞拱部初期支护；(8)右洞核心土开挖；(9)右洞仰拱浇筑；(10)左洞拱部开挖；(11)左洞拱部初期支护；(12)左洞核心土开挖；(13)左洞仰拱浇筑。

3. 不同应力释放率的数值结果比较分析

在有关公路隧道施工数值模拟研究计算中，通常根据不同的围岩类别和开挖方法，假定开挖的瞬间地应力的释放率（简称瞬间释放率）为40%，初期支护完成后释放其余60%的地应力；或者开挖的瞬间释放30%，初期支护完成后释放70%；或者开挖的瞬间释放30%，初期支护完成后释放40%，二次衬砌完成后释放其余30%。但实际上地应力释放率的确定是一个非常复杂的问题，其不仅与隧道的结构设计尺寸、开挖方法、支护施作时间、辅助施工措施等因素有关，而且还与隧道的工程地质条件、隧道埋深等因素密切相关。在进行具体施工时，应力释放率可根据量测资料加以确定，通常近似地将它定为本阶段隧道控制测点的变形值与施工完毕变形稳定以后该测点总变形值的比值。在缺乏实测变形资料的情况下亦可按工程类比法加以选定，并根据试算结果予以修正。在对隧道结构设计及施工过程进行有限元数值模拟计算时，地应力释放率需要结合隧道的工程实际、监控量测结果的分析以及工程师的施工经验综合确定。

本文分别假定地应力的瞬间释放率为20%、30%、40%、50%和60%五种情况进行有限元分析，来考察三导洞法开挖连拱隧道时围岩应力场、位移场以及支护受力的变化与地应力瞬间释放率的关系。

鉴于计算结果数据繁多，限于篇幅，这里只选取每种情况施工过程中出现的应力及位移的最大值进行分析比较。通过有限元数值模拟计算，得到了围岩的应力和位移见表2，支护结构的应力计见表3。

表2 围岩应力和位移计算结果

Table 2 Result of stress and displacement of surrounding rock

应力、位移 释放率 (%)	应力 (MPa)		位移 (mm)			
	σ_{1max}	σ_{3min}	U_{xmax}	U_{xmin}	U_{ymax}	U_{ymin}
20	3.03	-5.78	2.067	-2.262	9.751	-8.950
30	3.28	-5.69	2.038	-2.132	9.955	-9.460

40	4.18	-5.58	2.011	-2.139	10.162	-10.010
50	4.47	-5.69	1.992	-2.147	10.372	-10.531
60	4.77	-5.69	1.972	-2.152	10.583	-11.064

注：释放率指地应力的瞬间释放率。

表3 支护结构应力计算结果

Table 3 Result of stress of support structure

应力 释放率 (%)	喷层应力 (MPa)		中墙应力 (MPa)		锚杆轴应力 (MPa)	
	σ_{1max}	σ_{3min}	σ_{1max}	σ_{3min}	σ_{max}	σ_{min}
20	4.61	-21.1	9.15	-18.7	98.1	-73.7
30	5.21	-19.6	9.04	-18.2	86.2	-81.2
40	5.67	-18.1	8.81	-17.6	74.0	-88.5
50	6.39	-16.6	8.78	-17.4	61.6	-95.5
60	7.04	-15.2	8.64	-17.3	49.5	-102.0

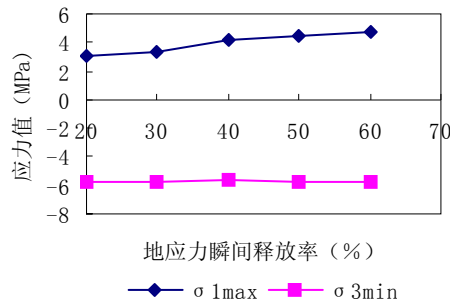


图2 围岩应力变化曲线

Fig.2 Varying curve of stress of surrounding rock

图2是围岩应力随地应力瞬间释放率的变化曲线图。可以看到，隧道围岩的压应力对释放率的敏感程度较低，随着不同的位移应力释放，数值上没有太大变化。但是，围岩拉应力随应力释放率的增大而增大，并且拉应力都现在右洞拱部支护完成时中墙底部右角点附近围岩，应力集中显著，但受力区范围很小^[2]。图3为不同位移应力释放率时围岩的位移变化情况，显然围岩的水平位移对应力释放率的依赖程度小，其变化曲线基本为一水平直线。而底板围岩的隆起随应力释放率的增加成上升趋势，但拱顶沉降则成下降趋势，即随着围岩应力释放率的增加沉降量逐渐增大。

图4所示为初次支护衬砌的应力变化情况。可以看到，随着释放率的增加，喷层压应力下降较快，说明其承受的载荷随地应力释放率的增大而减小。但是，其拉应力却逐渐增大。究其原因，发现喷层拉应力区主要产生在中导拱顶处，因右洞施工时中墙顶部回填良好，故右洞拱部开挖

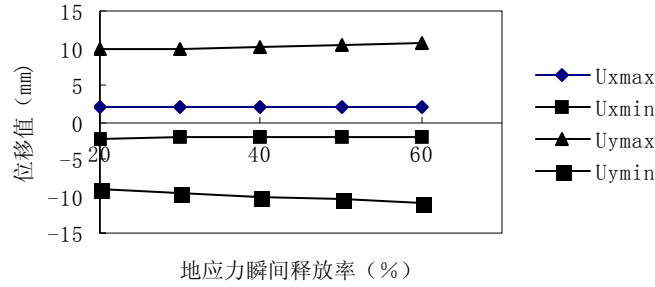


图3 围岩位移变化曲线

Fig.3 Varying curve of displacement of surrounding rock

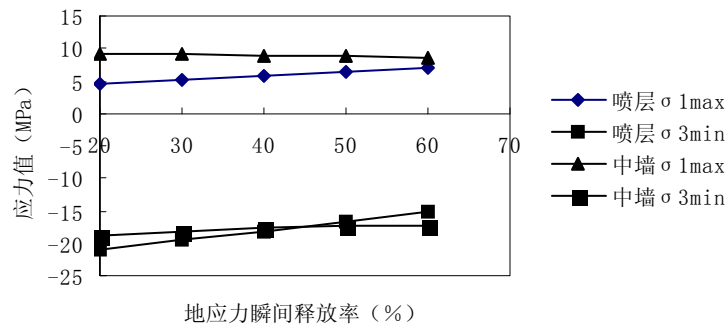


图4 喷层和中墙应力变化曲线

Fig.4 Varying curve of stress of sprayed concrete and mid-partition

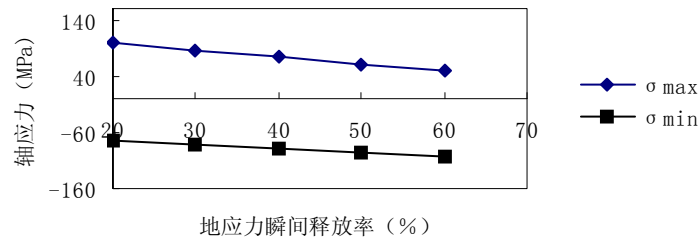


图5 锚杆轴应力变化曲线

Fig.5 Varying curve of axle stress of bolt

时，地应力的瞬间释放率越大，回填及中导拱顶处喷层受力就越大。而中隔墙应力变化较缓，随着围岩应力释放率的增加，拉、压应力都呈现下降趋势，但幅度较小。

图5为锚杆轴应力的变化曲线。可以看到锚杆应力随着围岩应力释放率增加的变化显著，拉、压应力前后相差一半。

4. 结论

通过以上数值模拟分析可知：

- 围岩应力释放率对围岩的压应力影响不明显，但拉应力出现上升的趋势；

- b) 底部围岩的隆起和拱顶围岩的沉降，都随应力释放率的增加而增大；
- c) 初期支护对地应力的瞬间释放率比较敏感，开挖瞬间地应力释放越多，初期支护承受的荷载就越小。这是因为左、右洞开挖之前中墙顶部已回填，中墙在正洞开挖初期便开始受力；
- d) 中隔墙对地应力的瞬间释放率敏感程度较小，且最终应力随应力释放率的增加而略有降低。

参考文献

[1] 中华人民共和国交通部：《公路隧道设计规范》(JTJ 026-90) (S)，北京：人民交通出版社，1990
[2] 王文正，双联拱公路隧道开挖方法及施工过程数值模拟研究(D)，长安大学研究生学位论文，2003.5

Analysis on the Effect of the Relaxation of Surrounding-rock Stress on Double-arc Tunnel's Construction

Xia Yongxu Wang Wenzheng Hu Qing'an
(Highway Institute of Chang'an University, Xi'an, 710064)

Abstract During the numerical simulation of the construction process of double-arc tunnel, the relaxation rate of surrounding-rock pressure is a parameter difficult to ascertain, which has an important effect on the stability of surrounding rock. Through the study of the rate during the construction process of double-arc tunnel in surrounding rock II, it is found that the rate has little effect on surrounding-rock stress, but the displacement of it grows with the increase of the rate. Initial support is sensitive to the rate, especially the stress of bolt changes greatly with the rate. Mid-partition is somewhat sensitive to the rate, and the final stress of it decreases a little with the growth of the rate.

Key Words Relaxation of Surrounding-rock Stress Double-arc Tunnel
Construction Process Mechanical Analysis

作者简介：夏永旭，男，1953年生，长安大学公路学院教授，桥梁与隧道专业博士生导师。
通讯地址：西安市南二环中段长安大学 330 信箱， 邮编：710064
联系电话：029-88498307// 13709258640 Email: yongxuxia@sohu.com// 103217640@qq.com