

重庆菜袁路隧道模拟设计*

朱敬民 朱可善 王立维

(重庆建筑工程学院)

顾金才

汪建廷

(中国人民解放军89002部队)

(重庆市建筑勘察设计研究院)

摘要 本文论述应用平面变形条件下的模型试验结果,分析研究重庆菜袁隧道的初步设计,确定喷射混凝土和岩石锚杆的尺寸和二次衬砌的厚度,以及选择适合的施工方法。

关键词 喷射混凝土, 岩石锚杆, 二次衬砌

引言

重庆位于嘉陵江和长江交汇处,是四川东南部一座山城。铁路、航空、公路客货运输迅速增加。由于市中区位于狭窄的半岛,建筑密度高,所以正在进行扩展计划和改善现有交通运输。目前,已建成跨越长江和嘉陵江的五座公路和铁路桥梁。近年来改善交通运输的一个重要措施是修建许多公路隧道。其中有靠近重庆火车站的向阳双线隧道,峨岭公园下的峨岭隧道,位于重庆长江大桥南岸的南坪隧道,靠近重庆机场的歌乐山隧道等等。为了缓解大坪地区的交通紧张状况决定修建联接重庆火车站和袁家岗的菜袁隧道,现正进行初步设计。本文所述的隧道衬砌的设计方法,是根据模型试验所得结果,选择支护尺寸,预测衬砌的最佳收敛时间,然后再按照现场量测结果,进行逆分析,修正原选定的尺寸和时间。

1 工程地质概况

菜袁路NO.2隧道位于长江北岸丘陵地带。地层高程从235m—303m,坡度 10° — 45° ,东部局部陡峭处,高程为276m。西部地层较开阔平缓,高程为289m。隧道穿过龙王洞背斜西

本文1988年9月27日收到。

本文收集在1987年在加拿大召开的第六届国际岩石力学学术会议的论文集中。

南翼部。工程地质钻探表明,地层属侏罗系沙溪庙组,岩层主要包括高—厚层粉砂质泥岩夹中—细粒长石石英砂岩,以及厚—巨厚层细粒泥质砂岩。岩层较完整,未发现断层。东部附近地面可见到岩石露头。其余部份覆土1—3.7m,岩石风化深度1—4m,最大深度达7m。岩层受构造运动影响小,剪裂隙和张裂隙也很少。多数为闭节理。张裂隙宽度为0.2—0.1cm,延伸不大。岩层倾向 255° — 265° ,倾角 5° — 9° 。

2 隧道平面布置和岩体特性

菜袁隧道系双线城市公路隧道。菜袁隧道的平面布置,横剖面和纵剖面,如图1、2、3所示。隧道长度405m,两洞口间的高程差为10.13m。

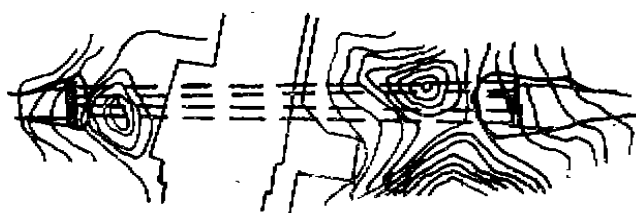


图1 隧道平面图

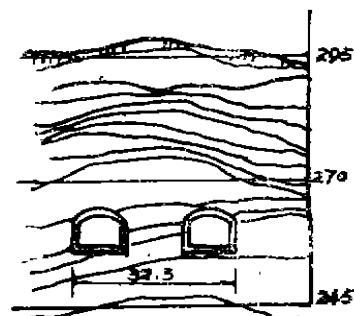


图2 横剖面图

为了进行岩体分类,在三个钻孔中采集了岩石试样用于室内试验。试验内容包括物理性质试验,单轴压缩试验,劈裂试验,三轴试验。试验结果列在表1中。

由图1可见,隧道的轴线几乎与岩层走向平行。图3中列出了铁路隧道的围岩分类,这可用以选择初期支护。



图3 纵剖面图

表1 室内试验结果

岩石	单轴压缩强度	Tan ϕ /C	E	Mu	F _k
	MPa	/MPa	GPa		
	钻孔ZK2				
Ms	6.5/10.1		7.0	0.22	3—4
Ss	67.0/70.4	1.09/8.3	92.0	0.23	3—5
As	13.6/	0.99/2.9	59.8	0.20	3.5—4

续表

钻孔ZK9					
Ms	24.0/33.4	0.94/3.4	52.8	0.27	3—4.5
Ss	48.0/51.8		131.3	0.30	3—6
As					3.5—4.5
钻孔ZK18					
Ms	5.8/8.5	0.89/2.0	9.7	0.22	3—4
As	9.2/13.4		15.5	0.29	3.5—4

注：表中Ms为泥岩，Ss为砂岩，As为泥质砂岩，单轴强度行分子的数目为水饱和试件，分母为干试件。

3 隧道衬砌

由于菜袁隧道与向阳隧道的工程地质条件很相似，可以采用相同的设计方法确定支护的初步尺寸。

采用 $\phi 22$ mm岩石锚杆，间距为 50×100 cm，Ⅲ和Ⅳ类围岩锚杆长度为3m，Ⅴ类为2.5m。

表2 现浇混凝土衬砌厚度

围岩类别	拱 部		侧 墙
	拱顶	拱脚	
Ⅲ	80cm	120cm	115cm
Ⅳ	70cm	110cm	105cm
Ⅴ	60cm	100cm	95cm

钢丝网只用于Ⅲ、Ⅳ类围岩。拱顶喷射混凝土厚度为10cm，侧墙为7cm。初步设计现浇混凝土衬砌，如表2所示。

节理岩石中的水工隧洞成功地应用喷射混凝土作为初期支护^[8]，特别是大瑶山隧道成功地应用喷射混凝土、岩石锚杆和现浇衬砌组成的复合衬砌^[1]。这就促使重新考虑设计方法。因此，采用模型试验方法进一步评价复合衬砌的有效性。

4 模型试验

已经进行了许多模型试验阐明开挖洞室围岩的破坏机理，其中包括时间效应^[5]，以及均质岩石锚杆和喷射混凝土的加固效果^[9]、^[7]。首先，将菜袁隧道工程地质条件简化为泥岩和砂岩互层。然后，采用平面形变模型。假设初始地应力为平均应力场， $\sigma_0 = 0.87\text{MPa}$ ， $\sigma_h = 0.29\text{MPa}$ 采用超载试验方法。

借助于大瑶山隧道的经验，决定减薄衬砌的厚度，拱顶为40cm，侧墙为60cm。岩柱的宽度为12m。为了便于比较，采用三块 $70 \times 50 \times 20$ cm的模型：模型Ⅰ模拟毛洞；模型Ⅱ模拟具有岩石锚杆和喷射混凝土的洞室；模型Ⅲ模拟现浇混凝土衬砌。喷射混凝土，岩石锚杆和现浇衬砌的尺寸都采用长度比例系数1：100。模型材料的强度和变形特性都满足或接近相似条件。参阅表3。

表3 模型材料试验结果

材 料	单轴抗压强度	E	Mu	C	ϕ
	MPa	GPa		MPa度	
泥 岩	1.1	2.9	0.15	0.3	45
砂 岩	3.6	4.9	0.20	0.8	47
喷混凝土	1.8	4.7	0.17		
混 凝 土	2.0		0.21		
铝 丝	-140	28.4			

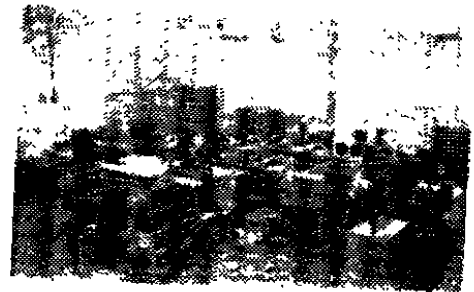


图4 PYD-501地质力学模型试验装置

岩石和混凝土模型是用不同比例的石膏、砂和水组成。喷射混凝土模型材料是砂和粘结材料组成的混合物。用铝丝模拟岩石锚杆。采用每边为10cm的立方体试件进行三轴试验,比较未加锚杆的泥岩模型与加锚杆的泥岩模型(锚杆平行或垂直于最大主应力,间距为 $2 \times 2 \text{cm}$)的强度特性。试验结果,在峰值应力处,粘结力C/非常接近:0.2, 0.19, 0.21MPa, 但内摩擦角则不同: 44° , 54° , 52° 。

试验是在PYD-501地质力学模型试验装置上进行,如图4所示。

每块模型是由两块10cm厚的平板用石膏粘结而成。电阻应变计埋设

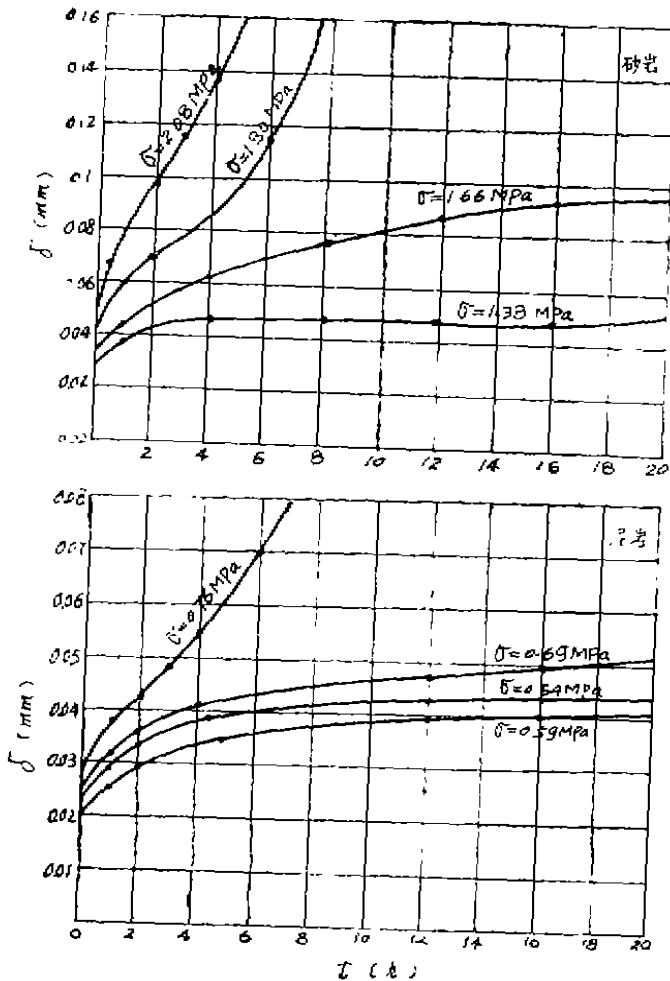


图5 岩石模型材料的位移—时间关系

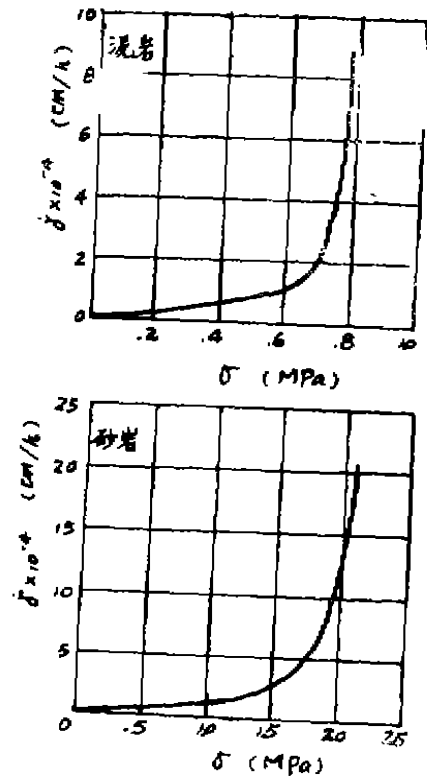


图6 岩石模型材料的位移速率—应力关系

在粘合表面上。当模型加载至初始地应力场,在平面形变和边界加载的情形下开挖洞室。洞室全部深度分四部开挖。模型Ⅰ、Ⅱ在每一步开挖后,安设锚杆和喷射混凝土。模型Ⅲ在喷射混凝土后即安装预制的衬砌,并将其间空隙仔细地充填。

开挖后衬砌在初始地应力作用下进行蠕变试验,直至时间增加而应变和位移没有增加。然后进行超载试验,直至破坏。最后卸载、观察表面的裂纹,并描绘裂纹,取下裂隙模型,以备进一步研究。

软岩的流变特性是熟知的。岩石模型 $\phi 5\text{cm}$ 试件的蠕变试验结果,如图5,6所示:泥岩模型在应力达到单轴强度的70%时进入蠕变第三阶段,而砂岩模型低于50%。采用Kelvin元件和Bingham元件串联作为流变模型。

5 模型试验结果

5.1 蠕变试验

侧墙和拱顶位移与时间的关系曲线,如图7所示。图8和图9给出模型Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ的侧墙和模型Ⅲ衬砌表面的应变—时间关系曲线。

由图可见,在上述全部情形中20小时应变和位移均趋稳定。

5.2 超载试验

图10给出模型Ⅰ孔边附近的应变分布。由图可见,随着荷载的增加,侧墙的法向应变

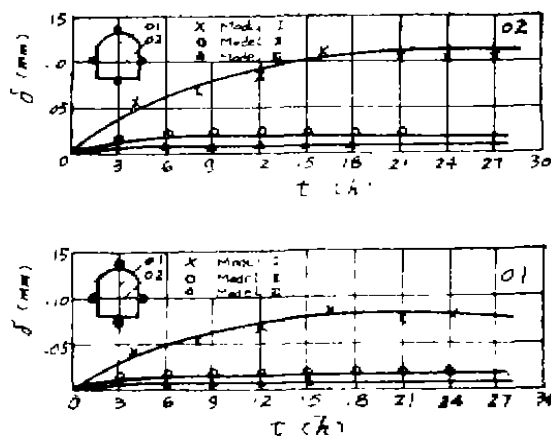


图7 洞室位移—时间关系曲线

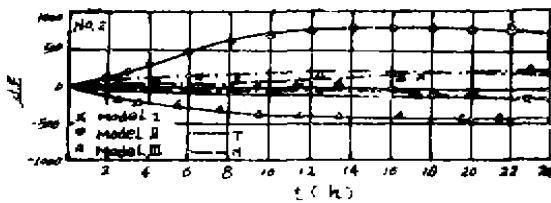


图8 洞周围岩应变—时间曲线

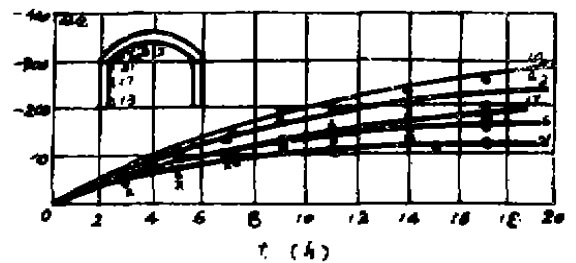


图9 二次衬砌应变—时间曲线

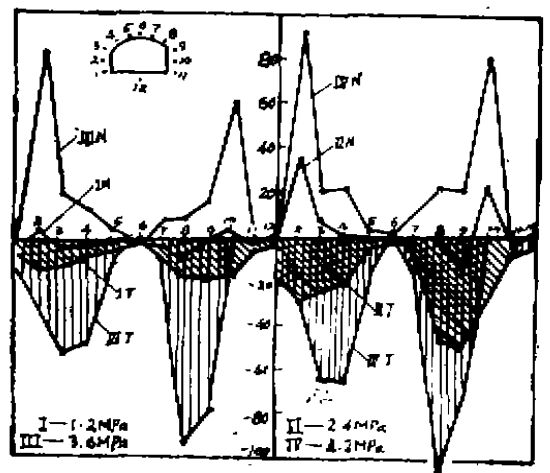


图10 模型Ⅰ孔周边应变分布

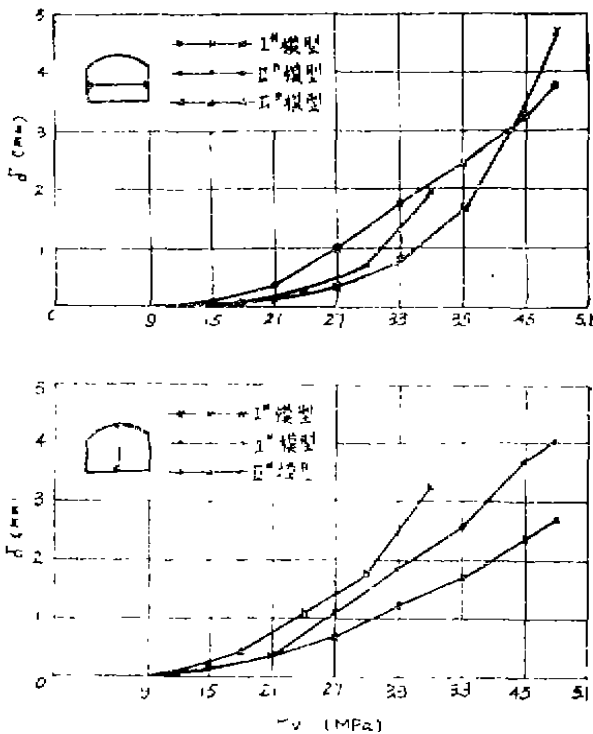


图11 位移—荷载曲线

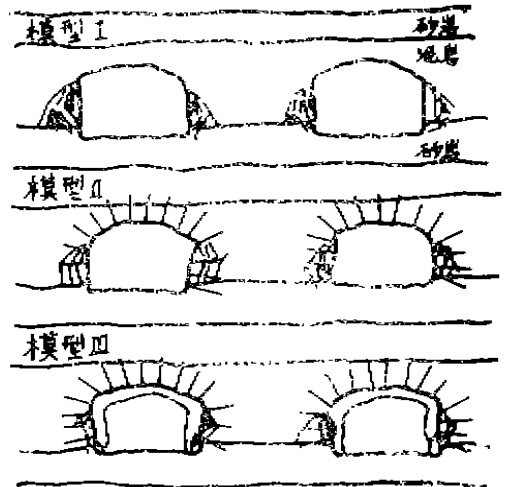


图12 模型破坏型式

基本上为拉伸应变，拱顶部份变化很小。切向应变几乎均为压应变。模型Ⅱ和Ⅲ也观察到类似的情形。全部模型的收敛变形表示在图11中。随着荷载的增加，收敛速度亦增加。

三块模型的破坏型式很相似，在侧墙处裂纹形成楔形体。模型Ⅰ的侧墙当荷载为10/3倍初终荷载时产生裂隙，当17/3倍时破坏。模型Ⅱ，Ⅲ没有发生剥落，在14/3倍初始荷载时衬砌最先出现裂纹。模型Ⅰ和Ⅲ是分别在62/9和59/9倍初始荷载时破坏。

图12给出三块模型的破坏型式。

全部模型的岩柱裂纹密集，但是，模型中上覆砂岩层没有发现裂纹。

6 讨论和结论

利用模型研究了岩层和衬砌的强度和变形特性。虽然没有应用严密的相似定律推导出原型的特性，但是从模型试验所得到的结果可以作为指导。喷射混凝土和岩石锚杆的加固效果，从图7中可以明显地看出。没有观察到孔边剥落的现象，并且开裂荷载增加40%。即使岩柱宽度减小30%，岩柱也十分安全。现浇混凝土衬砌的支护效果不明显，也许是由于充填预制衬砌和喷射岩石间的空隙不密实所致。这也在某种程度上反映了现场的实际情形。

有限元分析表明^{[3]、[4]}，在拱脚和墙角处产生应力集中，并且在拱顶附近和底板的跨中产生拉伸应力。因此，采用曲墙和仰拱是适合的。岩柱中应变的计算结果与模型试验结果一致。

由上述讨论，我们可以得出以下结论，精心施工，喷射混凝土和岩石锚杆可以作为永久支护，现浇混凝土衬砌宜尽可能薄一些，可以作为强度储备，改进洞壁表面平整度，有利于通风。

致 谢

这项研究工作得到重庆市市政建设开发公司向昌仁总工程师的大力支持, 巫英士老师为准备资料尽了最大的努力, 谨在此表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- [1] 厉白凡: 大瑶山隧道设计, 《地下工程》, Mo.11, 1983
- [2] Sun J. and Y.S. Lee: A viscous elastoplastic numerical analysis of the underground structure interacted with family of multilaminate rock mass using FEM, Proc. 5th ICNMG, V.2, pp.1121—1134, 1985
- [3] 孙钧等: 大跨度地下结构粘弹性有限元分析, 《同济大学学报》, No.2, 1983; 10—25
- [4] 王立维: “层状岩体中地下洞室模型试验研究”, 1986
- [5] 郑力, 朱可善, 朱敬民, 樊泽宝: 均匀介质中地下洞室试验研究, “中国岩石力学与工程学会模型试验和数值分析专业委员会学术会议论文集”, 1986
- [6] 朱敬民, 朱可善, 顾金才, 王林: 地下洞室喷锚支护破坏特性的模型试验研究”, 隧道与地下工程学术会议, 1986
- [7] 朱敬民, 顾金才, 王林: 地下工程非预应力砂浆锚杆支护变形破坏的实验研究与理论分析, 中国土木工程学会第三届年会论文集”, 1986年, 第342—354页
- [8] Zhu Keshan and X. Li, 1983, Pressure tests in rock chambers, Proc. 5th ICRM
(编辑: 徐维森)

MODELLING DESIGN OF THE CAIYAN TUNNEL IN CHONGQING

Zhu Jingmin Zhu Keshan Wang Liwei
(Chongqing Institute of Architecture and Engineering)

Gu Jincal Wang Jianting
(The Chinese PLA No. 89002) (Chongqing Designing Institute of
Building and Surveying)

ABSTRACT A modelling design approach for the preliminary dimensioning of underground opening supports is presented in this paper. The method is based on the model test results under the condition of plane deformation. It is to be used for the analysis and design of the primary support measures and the proper thickness of secondary linings as well as appropriate construction techniques adapted to the condition of the Caiyuan Tunnel in Chongqing.

KEY WORDS shotcrete, rockbolt, secondary lining