

特大断面隧道施工方法试验研究*

吴梦军¹, 黄伦海¹, 刘新荣^{1,2}

(1. 重庆交通科研设计院, 重庆 400067; 2. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要:特大断面公路隧道由于跨度特大和扁平,加上施工期间诸多工序的相互影响、围岩的多次扰动等诸多因素,其受力条件极为复杂,在施工过程中,围岩极易发生失稳乃至坍塌。本文利用“公路隧道结构与围岩综合实验系统(CTSSSRH)”,对特大断面隧道在不同施工方法下的施工动态过程进行了物理模拟,研究了特大断面隧道围岩位移、变形等发展规律,提出了特大断面隧道合理的施工方法。

关键词:特大断面;公路隧道;施工方法;试验研究

中图分类号:U451+.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)05-0057-04

Experimental Study on Construction Method of Super - Large Section Tunnel

WU Meng - jun¹, HUANG Lun - hai¹, LIU Xin - rong^{1,2}

(1. Chongqing Communications Research & Design Institute Chongqing 400067, P. R. China; 2. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: For the super - large section tunnel due to its super large span and flatness, together with the effect of various processes and excitation of surrounding rock during construction, the mechanical behavior of super - large section tunnel is quite complicated. Making use of the "CTSSSRH", the physical analogue for simulating the construction dynamic process of super - large section tunnel in different construction methods is experimented. The rule of surrounding rock displacement and strain development is studied and the reasonable construction method is put forward.

Keywords: super large section; highway tunnel; construction method; experimental study

随着我国国民经济的日益发展,对公路隧道日交通量的要求越来越高。在一些经济发达地区,四车道乃至六车道公路隧道已不能适应交通量增长的需求,双向八车道公路隧道已开始修建。已建成的如沈大高速公路的金洲隧道、贵州省凯里市大阁山隧道,在建的如广州东二环高速公路龙头山隧道、深圳南坪快速路雅宝隧道等。双向八车道隧道的开挖宽度一般都大于20 m,而断面形式一般采用三心圆或四心圆等扁平断面。由于特大断面公路隧道开挖跨度特大和扁平,加上施工期间诸多工序的相互影响、围岩的多次扰动以及支护衬砌相互之间的非同步施工等诸多因素,结构将承受较大的围岩压力,其受力条件极为复杂,在施工过程中,围岩极易发生失稳乃至坍塌事故。因此,对特大断面隧道的施工开挖方案进行研究是十分必要的。

对于大断面隧道施工开挖方案的研究^[1],日本、德国等一些发达国家起步较早。早在1981年,德国就首创了CD工法,并先后成功应用了双侧壁工法、眼镜工法等先进的施工方法。而我国在这方面的研究起步较晚,直到20世纪90年代的中后期才陆续这方面的研究。目前主要采用的施工方法有中壁工

* 收稿日期:2005-06-20

作者简介:吴梦军(1973-),男,湖南涟源人,硕士,工程师,主要从事隧道工程的设计、研究。

法(CD法)、双侧壁导坑法、交叉中壁工法(CRD工法)、三导坑(洞)法、台阶法和台阶分部法等^[2,3]。而对于特大断面隧道施工方法的研究,因实际工程修建较小,国内研究基本处于空白状态。

2 试验方案

2.1 试验系统

试验采用重庆交通科研设计院成功研制的“公路隧道结构与围岩综合实验系统(CTSSSRH)”进行。如图1示,该实验系统由内、外加载系统、液压控制系统及数据采集处理系统等组成。它基于“先加载、后挖洞”的原理,采用液压千斤顶在模型试件外部加载以模拟上覆岩土层自重应力,用内置千斤顶及位移计模拟开挖体应力响应及位移变化。从而使模型试验应力状态与原型完全一致,能真实地反映原型的变形特征。

模型试件尺寸为1.6 m×1.6 m×1.6 m,共分为8个断面,每个断面在左边墙、右边墙、左拱腰、右拱腰及拱顶处共设测点5个,断面编号及测点布置如图2示。

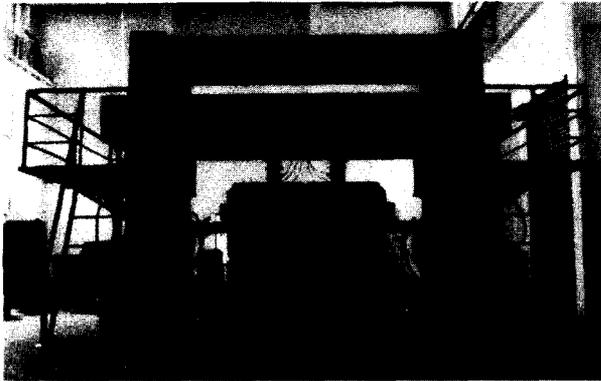


图1 公路隧道结构与围岩综合实验系统

断面编号	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
模板及测点展开示意图	•	•	•	•	•	•	•	•
	•	•	•	•	•	•	•	•
	•	•	•	•	•	•	•	•
	•	•	•	•	•	•	•	•
	•	•	•	•	•	•	•	•
模板及测点编号	L1-1	L2-1	L3-1	L4-1	L5-1	L6-1	L7-1	L8-1
	L1-2	L2-2	L3-2	L4-2	L5-2	L6-2	L7-2	L8-2
	L1-3	L2-3	L3-3	L4-3	L5-3	L6-3	L7-3	L8-3
	L1-4	L2-4	L3-4	L4-4	L5-4	L6-4	L7-4	L8-4
	L1-5	L2-5	L3-5	L4-5	L5-5	L6-5	L7-5	L8-5

图2 断面编号及测点布置图

2.2 配比试验

模型试验模拟围岩类别为Ⅲ类,根据有关规范取Ⅲ类围岩的主要物理力学参数如表1。根据已做试验经验及多次配比试验后,选用中砂作为骨料,石膏、石灰作为胶结材料。通过对不同配合比的试验,得到各配比的主要物理力学参数如表1(配合比中各数字含义为:第一位数字表示砂胶比,第二位数字表示胶结物中石膏含量的比例,第三位数字表示胶结物中石灰含量的比例)。

根据四车道隧道设计断面尺寸及实验系统内加载几何尺寸可得几何相似比 $C_l = 38$,由相似理论原理^[4]推导出容重相似比 C_r 、抗压强度 C_σ 、弹性模量相似比 C_E 等。另外,由静力平衡方程及物理方程可推导出研究隧道开挖过程力学形态的地质力学模型试验相似准则为 $\frac{C_\sigma}{C_l C_E} = 1$ 及 $\frac{C_E}{C_r} = 1$ 。根据各配比的

相似程度,配合比882的 $\frac{C_\sigma}{C_l C_r}$ 与 $\frac{C_E}{C_r}$ 最接近于1,其相似程度最好。因此,在本次相似模型试验中,选用配合比882进行Ⅲ类围岩的模型试验。

表1 模型与原型物体力学参数

材料	容重 $\gamma/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	抗压强度 σ/MPa	泊松比 μ	内摩擦角 $\varphi/^\circ$	弹性模量 E_c/GPa
原型	27	14.4	0.29	52	32.2
模型	437	0.255	0.17	38	0.35
	882	0.378	0.22	47	0.58
	682	0.416	0.31	52	0.43

2.3 模拟方案

特大断面隧道施工方案主要是根据围岩地质和施工机械等条件来选定,常采用的施工方案有中壁

工法(CD法)、双侧壁导坑法、交叉中壁工法(CRD工法)、三导坑(洞)法、台阶法和台阶分部法等。根据隧道围岩地质情况,本次模型试验采用双侧壁导坑法(开挖方案I)和台阶分部法(开挖方案II)进行比较研究,两开挖方案的施工工序示意分别如图3、图4。隧道围岩初始地应力仅考虑自重应力,按埋深70m计算得初始地应力后,由相似系数及系统的有关几何尺寸,可得模型试验的加载压力。同时根据试验系统油压系统尺寸可计算内外加载系统油压,按计算出的油压均等分为4级逐步加载。每次加载后稳压0.5h(最后一级荷载稳压1h)。加载完后,按开挖方案对内加载系统逐次卸载模拟开挖,每卸一断面稳压1h后进行数据观测。

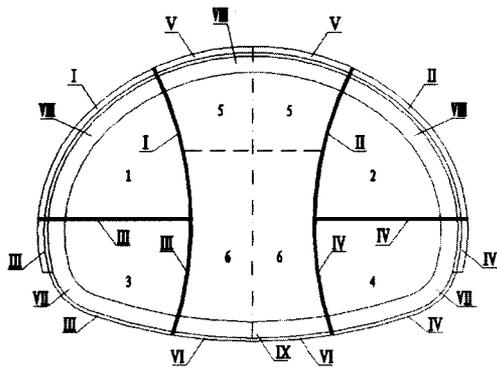


图3 开挖方案I示意图

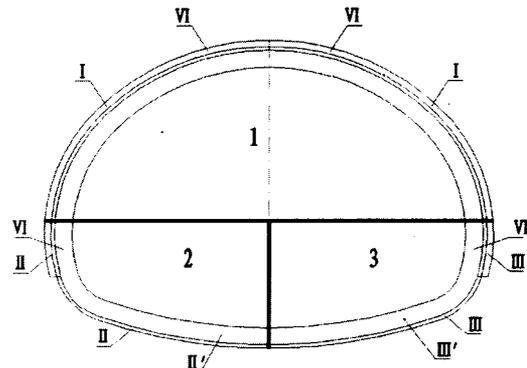


图4 开挖方案II示意图

3 试验结果与分析

模型试验共进行了两组,每组模型试验时,通过试验系统中数据采集系统对数据进行采集后,记录于试验数据汇总表。然后通过对数据进行计算得出各测点在每一开挖步时的径向位移,作出各断面各测点的位移历时曲线(典型曲线如图5、图6)。并利用各种函数对典型断面位移历时曲线进行拟合分析,拟合曲线如图5、图6,回归方程分别如下:

对于方案I,其拟合方程为:

$$\text{测点3: } y = 5.648 \frac{t^{2.631}}{503.584^{2.631} + t^{2.631}}$$

对于方案II,其拟合方程为:

$$\text{测点3: } y = 7.511 \frac{t^{3.442}}{144.530^{3.442} + t^{3.442}}$$

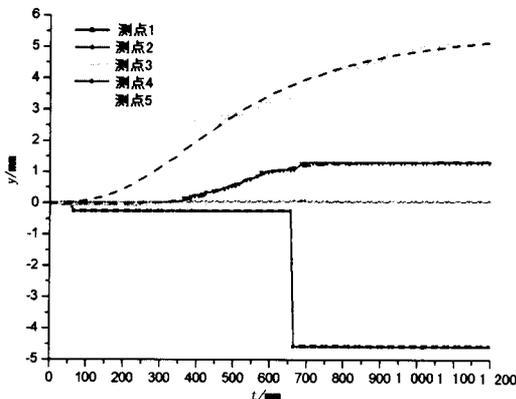


图5 方案I的典型历时拟合曲线

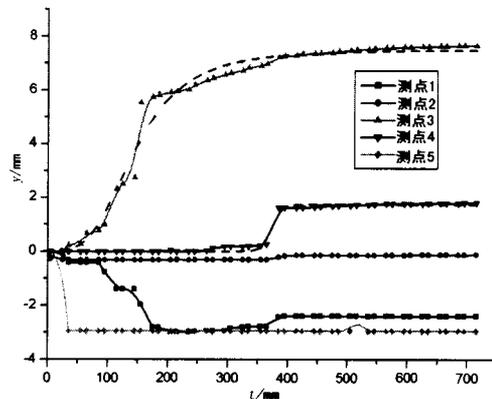


图6 方案II的典型历时拟合曲线

模型试验结束后,拆除外传力板对模型试件裂缝及破坏情况进行了观测(如图7、图8),对于开挖

方案 I, 试件表面存在部分裂缝, 拱部存在小量的坍落, 而对于方案 II, 试件表面裂缝开展较多, 隧道拱部坍落范围较大。说明对于特大断面隧道 III 类围岩, 采用开挖方案 I 时, 须及时施作初期支护, 必要时采取超前支护, 以控制围岩的变形; 而采用开挖方案 II 时, 必须采取强超前支护措施, 并及时施作初期支护, 否则, 围岩将失稳。

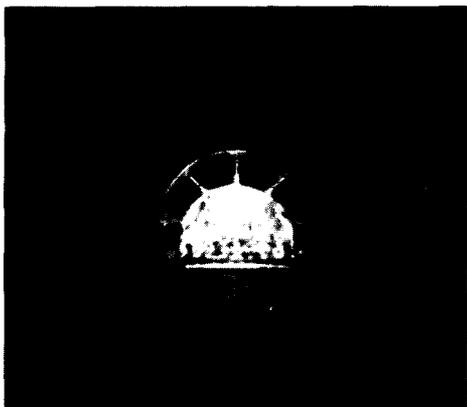


图7 方案 I 的试件破坏图

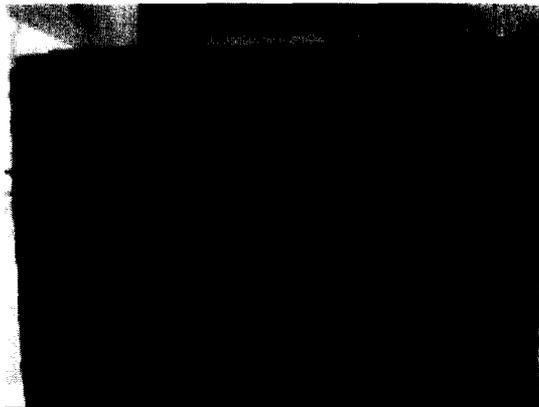


图8 方案 II 的试件破坏图

4 结论与建议

通过对各开挖方案条件下的试验数据进行统计、回归分析及对断面位移历时曲线的形状、走向、斜率等进行比较、分析后可得以下一些结论和建议。

1) 围岩最大位移均发生在拱顶, 开挖方案 II 的最大值 (10.18 mm) 比方案 I 大 (7.15 mm), 作为预测围岩变形发展趋势重要指标的位移速率同样是开挖方案 II 大于开挖方案 I。因此, 对控制围岩稳定性而言, 开挖方案 I 明显优于方案 II。

2) 测点 3 (拱顶) 的位移远大于其它测点位移, 即拱顶下沉远大于水平收敛, 特别是边墙 (测点 1、5) 位移较小, 且部分位移为向外发生膨胀。说明对于特大断面隧道而言, 围岩开挖后拱部土体在自重应力场作用下向洞内变形, 并导致两侧土体受挤压。因此, 对于特大断面隧道, 拱顶下沉应作为围岩稳定判据的关键因素。

3) 位移历时曲线总体形状呈 S 形, 位移随开挖步呈台阶式增加。利用多种函数对位移历时曲线进行拟合分析后认为, 用 Hill 函数拟合其拟合程度最好, Hill 函数表达式为:

$$y = A \frac{x^n}{B^n + x^n}$$

式中: A 、 B 、 n 为回归系数。

4) 两种方案中, 水平位移均较小, 甚至有部分为朝围岩内方向发生变形, 说明围岩总体失稳模式与一般隧道存在较大区别。这主要是由于开挖跨度较大, 支护与围岩联合结构体中产生的压力区域增加, 并集中传递到侧部或拱脚处压向围岩, 特别是在侧压系数极小, 以竖向应力为主的情况下尤为突出。

5) 综合以上分析可知, 开挖方案 I 在控制围岩稳定方面明显优于开挖方案 II, 因此, 在 III 类围岩特大断面隧道中施工, 建议施工方法采用开挖方案 I, 但须及时施作初期支护, 必要时须采取超前支护, 以控制围岩的变形与稳定。

参考文献:

- [1] 夏保祥, 程崇国. 三车道大断面公路隧道研究现状综述[J]. 地下空间, 2002, 22(4): 360-366.
- [2] 谭光宗. 市区浅埋大跨度公路隧道施工技术[J]. 西部探矿工程, 2002, 78(5): 87-88.
- [3] 官建岗. 大跨度山岭公路隧道施工[J]. 石家庄铁道学院学报, 1999, 12(S0): 27-30.
- [4] 徐挺. 相似方法及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.