

文章编号:1000-582X(2006)07-0149-03

# 大跨度隧道开挖围岩变形稳定监测与主动控制\*

万明富<sup>1</sup>, 海洪<sup>2</sup>, 刘剑平<sup>1</sup>, 刘斌<sup>1</sup>

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004 ;2. 沈阳建筑大学 土木工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**结合沈大高速公路改扩建工程金州单洞四车道公路隧道施工现场监测, 对大跨度隧道开挖岩体变形的规律进行了探讨, 揭示了大跨度隧道开挖后围岩失稳的原因, 强调进行现场稳定性监测的必要性, 阐明了锚喷网支护对于改善围岩受力状况、提高围岩自身承载力的本质, 指出在大跨度公路隧道施工中必须坚持监控量测与主动控制的原则, 以确保隧道施工的安全和质量。

**关键词:**四车道隧道; 隧道开挖; 岩体变形; 稳定监测; 主动控制

**中图分类号:**TD854.2

**文献标识码:**A

## 1 一般跨度隧道开挖围岩变形规律

隧道开挖面附近围岩应力场和位移场具有时空效应, 图1表示了这种效应<sup>[1]</sup>. 图中横坐标表示隧道某一断面与开挖面的距离  $L$ , 纵坐标表示开挖面前后某点围岩的径向变形  $U$ . 在开挖面前方距离开挖面两倍的直径范围内, 未开挖岩体已受扰动而变形, 距开挖面越近, 未开挖围岩的径向变形越大. 开挖面之后的围岩内空变形用图2表示. 以新奥法 NATM (New Austrian Tunneling Method.) 为基础的设计与施工, 在确定支护原则、方式、时机等方面, 都必须充分考虑到开挖面附近的围岩力学变化情况和变化范围, 这对防止塌方、保证安全有重要意义<sup>[2]</sup>.

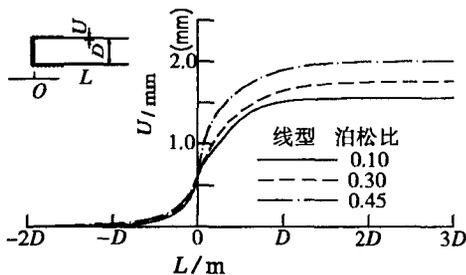


图1 隧道开挖面附近围岩径向变形曲线

## 2 大跨度隧道开挖围岩变形规律

### 2.1 大跨度隧道设计中的技术难题

单洞四车道隧道开挖面周长达到49 m左右, 在强

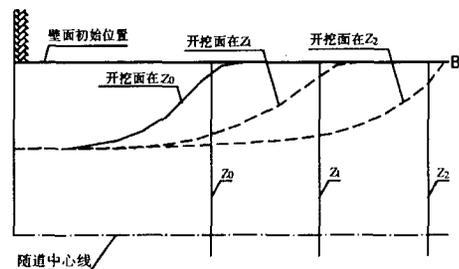


图2 随开挖面前进围岩内空变形状态

大的周边荷载作用下, 支护衬砌结构的整体稳定性和其强度哪一个更起控制作用很难像一般跨度的隧道那样清楚. 大跨度隧道开挖方案、作用在支护衬砌结构上的荷载及发展历史与一般跨度的隧道也不一样, 那么围岩与支护衬砌结构的破坏模式也必然不同. 这决定了大跨度隧道围岩变形规律的研究对工程安全与质量是十分重要的.

### 2.2 大跨度隧道围岩变形规律

限于篇幅, 这里仅给出数值分析的结论. 隧道开挖过程中, 起拱线特征点在各开挖阶段的水平位移都很小. 在施工的某些中间阶段, 该点在水平方向上的位移方向指向岩体内部, 说明围岩总体失稳模式与双车道隧道有较大区别. 拱顶下沉随着施工的进行逐渐增大, 拱顶下沉已发生了绝大部分, 约占总沉降量的90%.

### 2.3 大跨度隧道围岩变形规律的室内模型实验

拱顶下沉大于水平收敛, 边墙位移较小, 且部分位移向围岩深部发生. 这是因为围岩开挖后拱部土体在

\* 收稿日期: 2006-03-06

基金项目: 交通部重点科技攻关项目(2002-353 32 07)

作者简介: 万明富(1967-), 男, 湖北钟祥人, 东北大学博士研究生, 主要从事为岩土工程理论及应用的研究.

重力场作用下洞内变形,由于开挖跨度大,支护与岩体中产生的压力区域增加,传递到侧部压向围岩,导致两侧土体受挤压.大部分测点在开挖当前断面时位移发生量最大,达测点最终位移的85%以上,比一般断面隧道要大,说明在开挖当前断面时,大跨度隧道围岩稳定性要比一般断面隧道差,施工过程中应采取必要的超前支护措施.开挖上台阶时拱顶位移发生量绝大部分达最终位移的85%~90%以上,下台阶开挖对拱顶变形影响不大,仅对边墙变形有一定影响.

模拟围岩破坏型式:模型试验完毕拆除外传力板后对模型试件裂缝及破坏情况进行观测,Ⅱ类围岩开挖时将会发生围岩失稳、坍塌.Ⅲ类围岩试件表面裂缝较多,隧道拱部坍塌范围较大.说明采用台阶法开挖时,必须采取强超前支护措施,并及时施作初期支护,以保证围岩的稳定<sup>[2]</sup>.

#### 2.4 大跨度隧道开挖围岩变形规律的现场测试

现场监控量测位移历时曲线表明:隧道内收敛、拱顶下沉位移随开挖呈台阶式增加.大部分测点在开挖当前断面时位移发生量最大(这与数值分析与模型实验的结论吻合),说明在开挖当前断面时,大跨度隧道围岩稳定性差.图3是现场一个断面进行监控量测得到的拱顶下沉位移曲线,图中横坐标为时间 $t/d$ ;纵坐标为收敛数值 $mm$ .

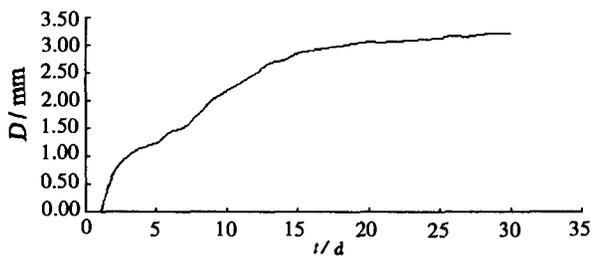


图3 监控量测拱顶下沉位移曲线

### 3 围岩破坏规则与初期支护受力特点

#### 3.1 围岩破坏规则与应对措施

根据摩尔-库仑准则,岩体的破坏可以采用式(1)表示<sup>[3-5]</sup>:

$$\tau(\text{UPR}) \geq S = C + \sigma(\text{UPR}) \operatorname{tg} \Phi \quad (1)$$

式中: $S$ 是岩体的抗剪强度; $C$ 是岩体的内聚力; $\sigma(\text{UPR})$ 是某一斜截面的正应力值; $\tau(\text{UPR})$ 是某一斜截面的剪应力值; $\Phi$ 是岩体的内摩擦角.岩体强度是岩体的残余强度,它取决于组成岩体的岩块间的啮合、镶嵌程度<sup>[4]</sup>,提高岩体的残余强度是工程与理论研究的重点.锚喷支护能够满足这个要求:喷射混凝土封闭围岩表面,使壁面围岩受压;锚杆对围岩进行加固,形

成承载拱效应.

图4所示实线表示岩体发生剪切破坏强度下降时,应力圆与摩尔-库仑滑动线的相对关系.虚线表示岩体中的应力使岩体经过强度下降阶段出现松动的条件.围岩处于单向应力状态或拉应力状态是不利的,所以支护结构体系必须及时有效,使壁面围岩向3向应力状态发展,保护、利用甚至提高围岩的自身承载力.

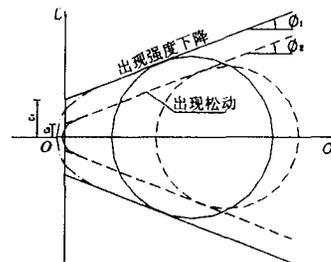


图4 岩体出现强度下降与发生松动的条件

#### 3.2 金州大跨度隧道初期支护受力特点

金州隧道设计初期支护采用锚、喷、网、金属拱架联合支护,对该支护的变形和受力特性进行研究很有必要.在围岩逐渐变化过程中,喷层由不受力状态逐渐过渡到受力状态.锚杆作用约束了围岩的径向变形,减小了喷层变形,使全断面的变形趋于一致,减小了应力集中,有利于喷层的稳定.

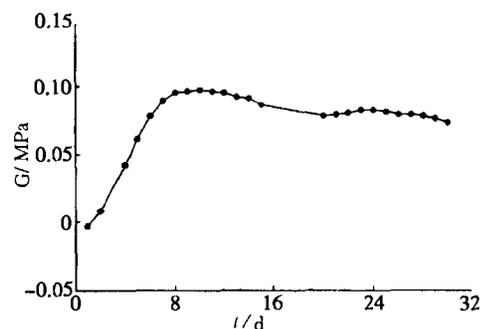


图5 喷层应力随时间变化曲线

图5中曲线变化规律表明,围岩开挖后由于松弛变形使初始阶段喷层接触应力逐渐增加,一定时间后,喷层接触应力有衰减的趋势,这一方面是因为喷层是柔性支护,有减压让压的趋势,另一方面围岩的自身承载力开始发挥作用,使围岩逐渐趋于稳定.

### 4 围岩与初期支护稳定性监测与主动控制

#### 4.1 监测目的

通过现场监测获得的信息来表达结构状况,判断结构的合理性,调整支护衬砌参数,实现动态设计和信息化施工<sup>[5]</sup>.

#### 4.2 大跨度隧道围岩稳定性监测面临的困难

大跨度隧道由于跨度、断面大,沿跨度方向、拱顶

底板间很难通尺,给监测带来了很大困难.

新奥法施工要求喷锚支护必须紧跟工作面,所以,爆破后在围岩表面无法马上安设量测元件,而是在初期支护后安装并测试,对围岩所作的位移或应变测量都是增量测定,围岩的弹性位移和应变都难以通过监控量测取得.

#### 4.3 大跨度隧岩主动控制的必要性和可行性

大跨度隧道力学行为的变化和过程比一般断面的隧道更难通过数值分析、模型实验等手段进行定量表达,特别是出现起拱线水平位移向洞内发生、拱顶下沉比较大的情况,表明大跨度隧道的破坏模式有其特殊性,不能采用以前的经验来判断围岩是否失稳.这就有必要在实际工程中采用现场监控量测对结构的稳定情况进行掌握,达到对复合结构稳定性进行主动控制的目的<sup>[6]</sup>.

保证地下工程施工中进行主动控制的技术关键是:地质超前预报、光面爆破、喷锚网支护、监控量测等.

## 5 结 论

1)大跨度隧道开挖后围岩的变形规律与常规隧道不尽相同,拱顶下沉大于水平收敛,开挖过程中水平方向的位移一度向围岩内部发生.

2)大跨度隧道开挖后围岩的破坏机制与常规隧道不尽相同,除拱顶下沉可能引起塌方外,拱脚或起拱线也可能受到来自拱顶变形传递来的强大推力,产生塑性区而失稳.

3)大跨度隧道开挖过程中围岩的力学行为虽然不像常规隧道那样通过数值分析等手段掌握,但是监控量测可以达到同样的效果,实现动态设计与信息化施工.

4)大跨度隧道在开挖过程中的力学行为是可以主动控制技术实现有效控制的.

#### 参考文献

- [1] 韩瑞庚. 地下工程新奥法[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [2] 黄伦海, 刘伟, 刘新荣. 单洞四车道公路隧道开挖的模型试验研究[J]. 地下空间, 2004, 24(4): 465 - 469.
- [3] 李四平. 岩石力学简明教程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.
- [4] 《采矿手册》编辑委员会. 采矿手册第2卷[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.
- [5] GB 50086 - 2001, 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S].
- [6] 关宝树. 隧道工程设计要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

## Rock Deformation, Stability Monitor Active Control About Excavation of Super-span Tunnel

WAN Ming-fu<sup>1</sup>, HAI Hong<sup>2</sup>, LIU Jian-pin<sup>1</sup>, LIU Bin<sup>1</sup>

(1. School of Resource and Civil engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China;

2. School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** According to the measurement during excavation of Jinzhou tunnel with four lanes in one cave which lies on the rebuilt highway from Shenyang to Dalian, this paper analyzes the rock deformation rule, discusses the reason of instability after a highway tunnel was excavated, emphasizes the necessity of the construction stability monitor and active control. The importance of support is Presented with bolts and shotcrete to improve and enhance the carrying capability of the rock. It is necessary to insist on the rule of measurement and active control to ensure the safety and quality of tunnel construction.

**Key words:** highway tunnel with four lanes; tunnel excavation; rock deformation; stability monitor; active control

(编辑 成孝义)