

文章编号:1001-831X(2004)02-0156-05

# 连拱隧道两种工法的施工力学分析\*

贾永刚<sup>1</sup>, 王明年<sup>2</sup>

(1. 北京城建设计研究总院有限责任公司, 北京 100037;

2. 西南交通大学地下工程系, 四川成都 610031)

**摘 要:**目前在连拱隧道施工中均不同程度地出现了围岩坍塌、已修筑的衬砌产生大面积裂缝等问题。为此,本文通过有限元方法对渝怀线金洞隧道出口段连拱隧道两种不同施工方法下的洞周位移、初期支护的内力、安全系数等进行了分析,得出一些有意义的结论,可作为连拱隧道施工时参考。

**关键词:** 连拱隧道; 施工力学; 安全系数

**中图分类号:** U455.4

**文献标识码:** B

## 1 概述

金洞隧道位于渝怀线甘家坝与鱼泉之间,全长 9105m。隧道两端位于半径为 1200m 的曲线上,中间夹直线长 7800.33m,曲线进洞长度进口端为 652.6m,出口端为 616.96m。隧道纵坡接近紧坡,坡度依次为 10.0‰(815m)、10.9‰(7450m)、4.9‰(450m)、3.0‰(390m)。设计预留了二线隧道条件,二线位于一线右侧,进口两线间距 14.09m,有分修条件;出口两线间距 5.03m,设 150m“燕尾”式隧道段,其中连拱隧道长 42.2m。连拱隧道施工有很多种方法,在围岩条件较好时,往往采用三导洞法或两导洞法,为了比较这两种方法的施工安全性,进行了以下几个问题的研究:

- (1) 两种施工方法洞周位移分析;
- (2) 两种施工方法初期支护内力分析;
- (3) 两种施工方法二次衬砌安全性评价;
- (4) 两种施工方法中的关键工序及控制措施。

## 2 计算基本情况

### 2.1 计算参数

隧道支护参数如表 1 所列。

隧道支护参数 表 1

支护结构	厚度 (cm)	材料	仰拱
初期支护厚度	15	C20	
锚杆	22	20MnSi	有
二次衬砌	30	C20	

围岩的物理力学参数如表 2 所列。

围岩的物理力学参数 表 2

重度 (kN/m <sup>3</sup> )	变形模量 E(GPa)	泊松比 $\nu$	内摩擦角 (°)	粘聚力 C(MPa)
20~23	1.3~6	0.3~0.35	27~39	0.2~0.7

### 2.2 两种工法开挖步骤 见图 1

### 2.3 计算情况

连拱隧道采用两种施工方法,即两导洞法,三导洞法。本次计算范围横向取 50m,竖向取 36m。围岩采用四节点等参单元模拟,初期支护采用梁单元模拟,二次衬砌采用四节点等参单元模拟,锚杆采用杆单元模拟。计算中采用 Drucker-Prager 屈服准则,围岩左右边界取水平约束,下部边界取竖向约束。

#### 2.3.1 两导洞法施工步骤有限元模型

\* 收稿日期:2003-12-28(修改稿)

作者简介:贾永刚(1977-),男,硕士,工程师,主要从事隧道及地下工程设计研究。

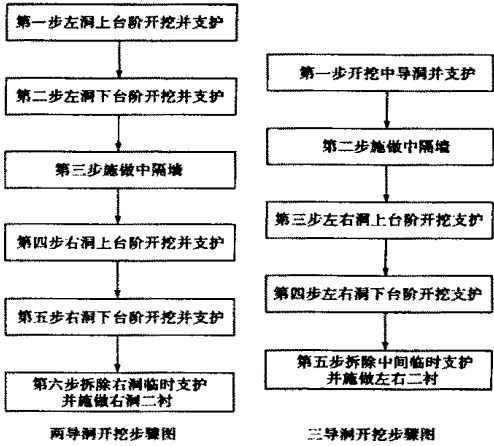


图 1 两种工法具体开挖步骤图

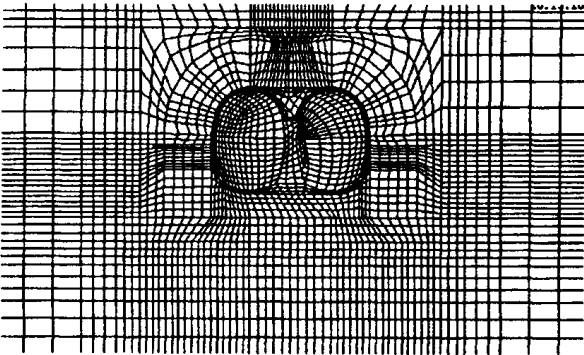


图 2 两导洞法有限元分析模型

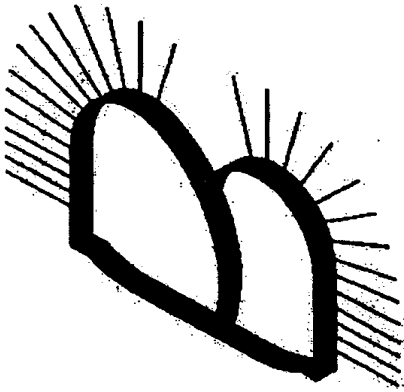


图 3 两导洞法初期支护有限元模型

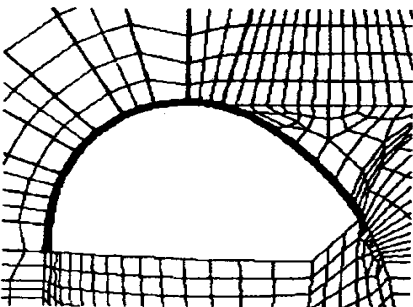


图 4 第一步左洞上台阶开挖并支护

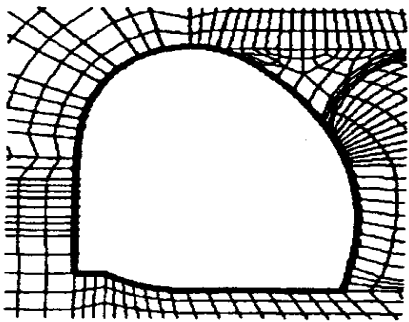


图 5 第二步左洞上台阶开挖并支护

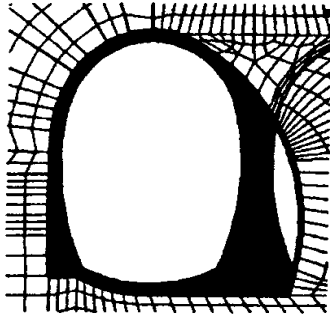


图 6 第三步施做中隔墙

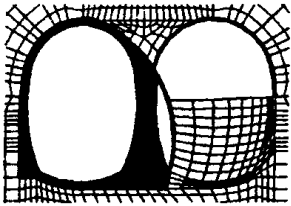


图 7 第四步右洞上台阶开挖并支护

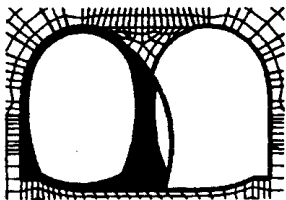


图 8 第五步右洞上台阶开挖并支护

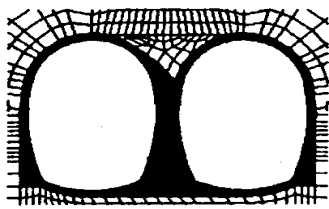


图 9 第六步拆除右洞中临时支护施做右洞二衬

2.3.2 三导洞法施工步骤有限元模型

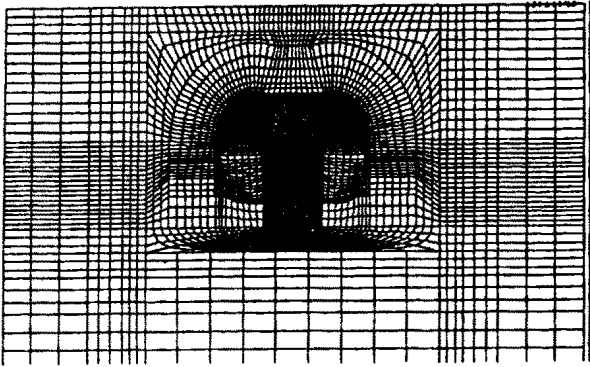


图 10 三导洞法有限元分析模型

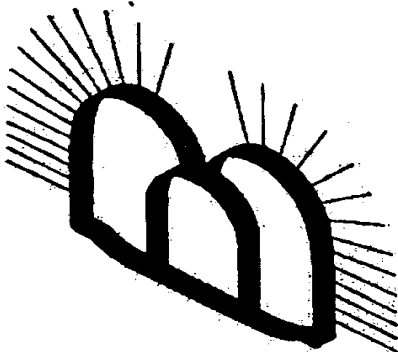


图 11 三导洞法初期支护有限元模型

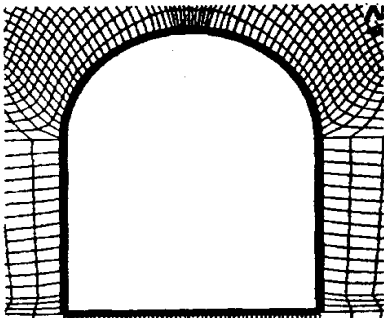


图 12 第一步开挖中导洞并支护

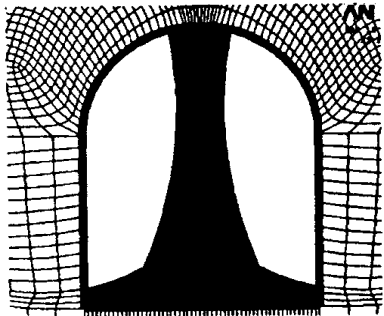


图 13 第二步施做中隔墙

3 计算结果分析

3.1 两种施工方法中的洞周位移

两种施工方法洞周最大位移情况列于表 3。

两种施工方法洞围最大位移(mm)				表 3
施工方法	拱部最大位移	边墙最大位移	底部最大位移	临时支护最大位移
两导洞法	3.1	0.3	2.6	25.1
三导洞法	1	12.5	6.1	11

两种施工方法中关键工序洞周位移变化情况绘于图 17、图 18。

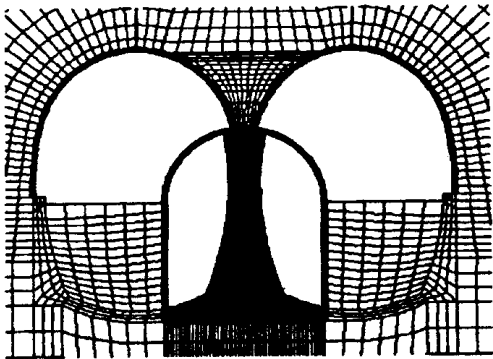


图 14 第三步左右洞上台阶开挖支护

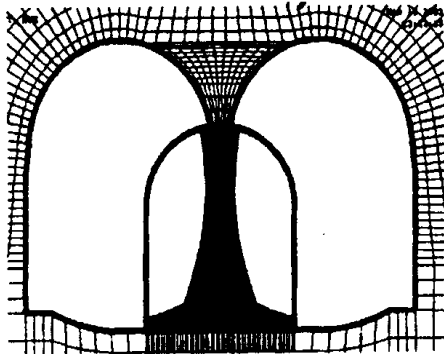


图 15 第四步左右洞下台阶开挖支护

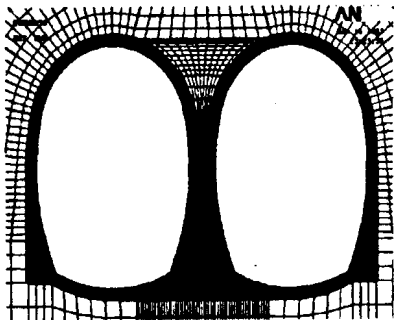


图 16 第五步拆除中间临时支护并施做左右洞二衬

由表 3 和图 17、图 18 可以看出：

两导洞施工方法中,拱部最大下沉 3.1mm 左右,隧底最大位移为 2.6mm,边墙位移最大向内0.6 mm,均未超过规范规定,因此该工法施工也是安全的。右导洞施工时临时支护最大位移为 25.1mm,

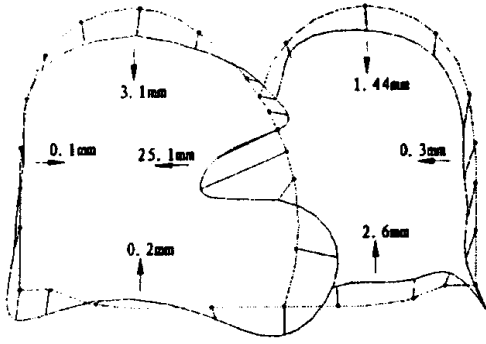


图 17 两导洞法关键工序洞周位移

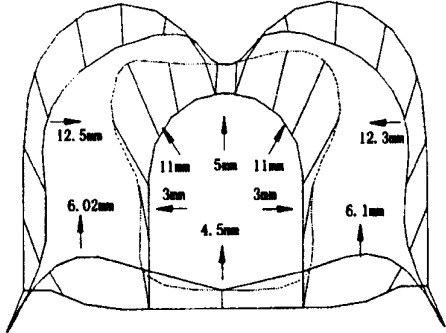


图 18 三导洞法关键工序后洞周位移  
此时必需加强该部位的支护或设置临时支撑,以保证该步开挖安全。

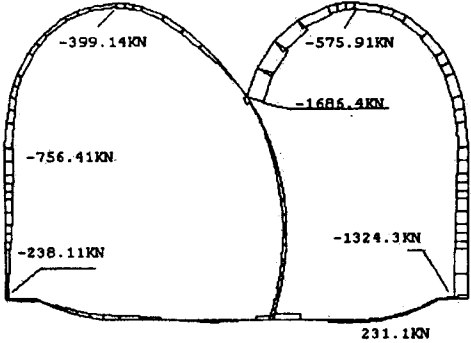


图 19 两导洞法关键工序后初期支护轴力图(kN)

三导洞施工方法中,拱部最大下沉 1mm 左右,隧底最大位移为 6.1mm。拱脚部位向内最大水平收敛 6.7mm,边墙位移最大向内 12.5mm,均未超过规范规定,因此该工法施工是安全的。拆除中导洞临时支护时,中导洞的顶部位移为 11mm,增长迅速,两侧隧道边墙位移变化也较大,最大向内达 7.8mm,所以该步施工为关键工序,必须减小临时支护一次拆除长度,以保证施工安全。

3.2 两种施工方法中初期支护内力

两种施工方法初期支护内力情况列于表 4。

两种施工方法初期支护轴力(kN)				表 4
施工方法	拱部	边墙	底部	临时支护
两导洞法	1686.4	1324.3	231.1	311.6
三导洞法	1160	1355.6	627.2	285

两种施工方法中关键工序初期支护内力变化情况绘于图 19、图 20。

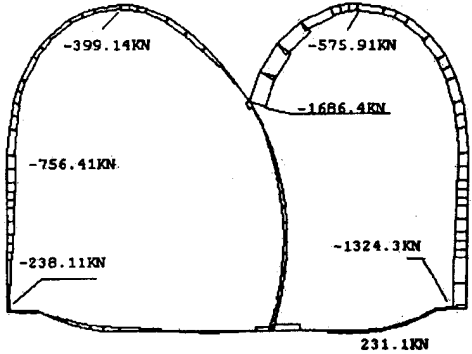


图 20 三导洞法关键工序后初期支护轴力图(kN)

由表 4 和图 19、图 20 可以看出:

三导洞法施工中,初期支护最大轴力为 2541kN,为压力,小于规范规定允许值,因此初期支护是安全的。初期支护最大轴力发生在拆除中导洞临时支护后,其位置发生在联拱隧道中隔墙与拱部相连接处,因此,该工序为最不利工序。

两导洞法施工中,初期支护最大轴压力为 1686.4kN,小于混凝土极限抗压值,因此初期支护是安全的。初期支护最大轴力发生在右洞开挖并支护后,其位置发生在联拱隧道中隔墙与拱部相连接处,因此,该工序为最不利工序。

3.3 两种施工方法中二次衬砌安全系数

两种施工方法二次衬砌安全系数情况列于表 5。

两种施工方法二次衬砌安全系数				表 5
施工方法	拱部	边墙	底部	
两导洞法	11.2	7.0	2.1	
三导洞法	17.15	15.75	2.4	

由表 5 可以看出两种施工方法的安全系数都能满足规范要求,但三导洞法的二次衬砌安全系数大于两导洞法。

3.4 两种工法开挖位移、应力、塑性区计算结果

3.4.1 围岩位移

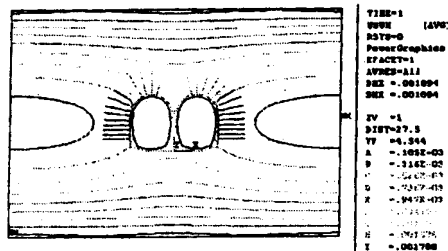


图 21 中导洞法围岩内位移场等值线图 (m)

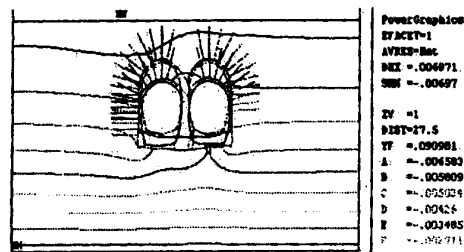


图 22 两导洞台阶法围岩内位移场等值线图 (Pa)

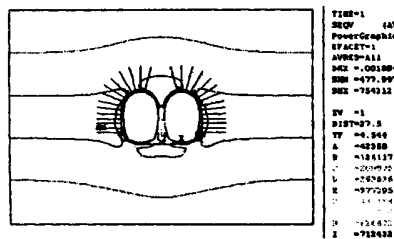


图 23 中导洞法围岩内等效应力等值线图 (m)

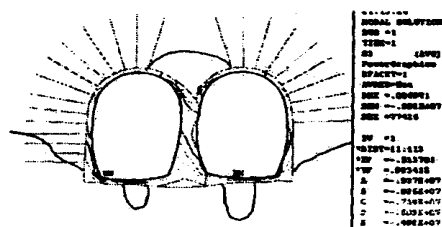


图 24 两导洞台阶法围岩内等效应力等值线图 (Pa)

中导洞法随着开挖步骤的进行,围岩内位移场在不断地变化,特别是上半断面开挖和拆除中导洞临时支护后,围岩内位移变化剧烈。具体如图 21

所示。两导洞台阶法随着开挖步骤的进行,围岩内位移场在不断地变化,特别是拆除右洞临时支护后,围岩内位移变化剧烈。具体如图 22 所示。

### 3.4.2 围岩应力

中导洞法围岩内等效应力等值线由计算结果可知,随着开挖步骤的进行,围岩内应力场在不断地变化,特别是隧道下部围岩内应力变化剧烈。如图 23 所示,两导洞台阶法围岩内等效应力等值线由计算结果可知,随着开挖步骤的进行,围岩内应力场在不断地变化,特别是拆除右洞临时支护后。具体如图 24 所示。

### 3.4.3 塑性区

由于围岩级别较高,而且没有产生大面积的开挖,在开挖过程中没有出现塑性区。

## 4 结论

(1) 计算结果表明,对于连拱隧道两种施工方法都能保证施工安全。

(2) 三导洞施工方法中,拆除中导洞临时支护是该工法的关键工序。本工法的薄弱环节是边墙和拱脚,为了防止由于拆除中导洞临时支护而引起隧道边墙和拱脚的破坏,要控制一次拆除中导洞临时支护的纵向长度,待二次衬砌施工完成后,再进行下一环的拆除工作,依次一个循环一个循环施工。

(3) 两导洞施工方法中,右导洞施工是该工法的关键工序。本工法的薄弱环节是两导洞联结处的初期支护,此时必需加强该部位的支护或设置临时支撑,以保证该步开挖安全。

(4) 中导洞法开挖过程中围岩最大位移为 1.8 mm,两导洞法开挖过程中围岩最大位移为 6.5 mm。中导洞法开挖过程中围岩最大等效应力 0.7 MPa,两导洞法开挖过程中围岩最大等效应力为 1.8 MPa。两种工法均是可行的,安全的。但是,从施工的方便性考虑两导洞法好一些。

## 参考文献:

- [1] 王明年,等. 隧道仰拱的力学行为研究[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(1): 46 - 53.
- [2] 王明年,等. 工程措施对控制隧道围岩变形的力学效果研究[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(5): 27 - 30.
- [3] 王明年,等. 三车道公路隧道在不同构造应力作用下的力学行为研究[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(1): 51 - 55.
- [4] 王明年,等. 3 孔小间距浅埋暗挖隧道地表沉降控制技术研究[J]. 岩土力学, 2002, 23(6): 821 - 824.
- [5] 周玉宏,程崇国,等. 元磨高速公路桥头隧道施工中的监控和分析[J]. 地下空间, 2002, 22(2): 115 - 119.
- [6] 马万权,程崇国,张鹏勇. 阳宗隧道试验段动态开挖过程的数值分析[J]. 地下空间, 2003, 23(3): 256 - 259.