

文章编号: 1009 - 6582 (2005) 04 - 0020 - 05

客运专线超大断面隧道施工过程三维力学分析

喻 渝¹ 赵东平² 曾满元¹ 王明年²

(1 铁道第二勘察设计院桥隧处, 成都 610031; 2 西南交通大学地下工程系, 成都 610031)

摘 要 客运专线上的隧道开挖断面积在 150m^2 以上, 必须选择合适的施工方法才能满足建设需要。对此, 文章以Ⅳ级围岩为研究对象, 根据隧道埋深的不同, 对深埋情况下的台阶法和环形开挖留核心土法、浅埋情况下的 CD 法和 CRD 法等开挖方法进行了三维数值模拟; 通过对超大断面隧道基本受力规律的分析比较, 给出了适合于超大断面隧道的安全、经济、有效的施工方法。

关键词 客运专线 超大断面隧道 施工力学 三维数值分析

中图分类号: U452 **文献标识码**: A

1 概 况

目前, 我国正在规划或修建的客运专线共有九条, 包括: 武 (汉) 广 (州)、郑 (州) 西 (安)、石 (家庄) 太 (原)、京 (北京) 津 (天津)、合 (肥) 宁 (南京)、合 (肥) 武 (汉)、温 (州) 福 (州)、福 (州) 厦 (门)、甬 (宁波) 温 (州)。在这些客运专线上, 需要修建大量的铁路隧道。

为了克服客运专线上高速列车在隧道内运行所引起的空气动力学问题, 客运专线上的隧道基本采用双线铁路隧道通过, 这些隧道轨面以上的净空面积为 100m^2 以上, 开挖断面积都在 150m^2 以上。

过去对于 150m^2 以上的超大断面隧道只有车站隧道才遇到, 虽然施工难度大^[1~3], 但由于车站隧道段长度都较短、数量也少, 往往可以采用高昂的预加固工法或采用复杂的施工方法通过, 此时花费的代价是有限的、可以承受的, 也不会影响工期。

客运专线上的超大断面隧道很常见, 几公里甚至二十几公里长的隧道, 开挖断面积都在 150m^2 以上, 而且隧道长度占线路长度的比重大, 如果还象修建车站隧道一样采用高昂的预加固工法或采用复杂的施工方法通过, 此时花费代价太大, 工期也不允许, 为此, 就需要研究一套安全、经济、有效的施工方法, 以满足客运专线上的超大断面隧道建设的需要。

为了更好地了解客运专线上超大断面双线铁路

隧道的施工力学特性, 本文将以Ⅳ级围岩为例, 根据隧道埋深的不同, 对深埋情况下的台阶法和环形开挖留核心土法^[4~6]、浅埋情况下的 CD 法和 CRD 法^[4~6]等开挖方法进行三维数值模拟, 并对超大断面隧道施工过程各工序支护的基本受力、变形规律进行分析比较。

2 计算情况

本次计算以Ⅳ级围岩为研究对象, 隧道埋深考虑了两种情况, 即深埋和浅埋, 其计算深度分别取为 160 m 和 20 m。隧道开挖跨度为 15.1 m 左右, 开挖高度为 12.8 m 左右。

2.1 开挖方法

根据隧道埋深的不同, 对深埋情况下的台阶法和环形开挖留核心土法、浅埋情况下的 CD 法和 CRD 法进行计算分析 (表 1)。

2.2 计算参数

本次计算采用的围岩及支护物理力学参数见表 2。隧道支护参数见表 3。

计算建模中, 除了初期支护以外, 在 CD 法中, 要考虑设置钢筋混凝土临时中壁外。在 CRD 法中, 除考虑设置钢筋混凝土临时中壁外, 还在 1~2 层、2~5 层、3~4 层、4~6 层 (表 1) 之间设有临时横向支撑。

修改稿返回日期: 2005 - 04 - 10

作者简介: 喻 渝, 男, 高级工程师, 副总工程师。

表 1 开挖方法

Table 1 Excavation methods

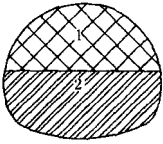
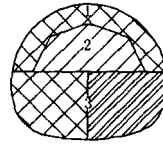
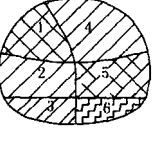
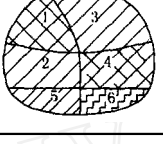
埋深条件	施工方法	开挖示意图
深埋	台阶法	
	核心土法	
浅埋	CD法	
	CRD法	

表 2 围岩及支护物理力学参数

Table 2 Physical and mechanical parameters of surrounding rocks

类别	弹模 /GPa	泊松比	粘聚力 /MPa	内摩擦角 / (°)	密度 /kg · m ⁻³
V级围岩	1.3	0.30	0.2	27	2 000
初期支护	21	0.2	/	/	2 500

表 3 隧道支护参数

Table 3 Parameters of tunnel supports

围岩级别	初期支护			
	喷混凝土 /cm	锚杆 /cm	钢筋网 /cm	钢架 /cm
IV	23	350@100 ×100拱 端	25 ×25	@100

2.3 计算程序及模型

本次计算应用 FLAC 3D 软件,采用 D-P 屈服准则,释放系数按 3 000 步计算。锚喷支护对围岩的加固作用通过提高围岩的物理力学参数来体现。本次计算范围,取隧道长度为 60 m。对于深埋情况拱顶以上取 42 m;对于浅埋情况拱顶以上取至地表,即 20 m。深、浅埋时,仰拱以下均取 45 m,隧道左右两侧各取 50 m。

计算域左右设水平约束,前方和后方均设有垂直其面的约束。深埋情况下下部设垂直约束,上部加载;浅埋情况下,下部设垂直约束,上部为自由面。

计算模型见图 1,总单元数为 93 300 个,总节点数为 99 064 个。

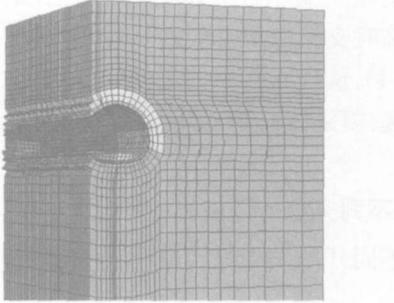


图 1 IV 级围岩 CD 法有限元模型 (仅取局部示于图中)

Fig 1 Partial FE model of CD method for surrounding rock grade IV

3 计算结果分析

3.1 不同开挖方法初期支护安全性比较

将台阶法、环形开挖留核心土法、CD 法、CRD 法四种开挖方法的最小安全系数列于表 4。

表 4 四种开挖方法的最小安全系数

Table 4 Minimum factors of safety for four different excavation options

埋深条件	施工方法	最小安全系数		
		位置	最小值	拉压控制
深埋	台阶法	边墙	1.9	受压控制
	环形留核心土法	拱脚	2.4	受压控制
浅埋	CD 法	初期支护	3.8	受压控制
		中壁临时支护	5.2	受压控制
	CRD 法	初期支护	4.5	受压控制
		中壁临时支护	2.4	受压控制
		横撑临时支护	2.3	受压控制

由表 4 可以看出:

- (1) 从维护施工安全角度看,四种开挖方法安全系数都大于 1.0,因此,四种开挖方法都能保证隧道施工安全。
- (2) 从耐久性安全角度看,初期支护应该满足《TB10003 - 2001, J117 - 2001 铁路隧道设计规范》中表 11.1.1 - 1 的规定,即在主要荷载作用下,混凝土受压控制时安全系数应大于 2.4,受拉控制时安全系数应大于 3.6。根据这一规定,只有环形开挖留核心土法、CD 法、CRD 法三种开挖方法均满

足要求,台阶法不满足要求。

(3) 对于临时支护,只要安全系数大于 1.0,即能满足施工安全性要求,由此可见,CD 法、CRD 法中的临时支护都是安全的。

(4) 从现场施工的方便性来考虑,深埋情况下最好选择环形留核心土法;浅埋情况下最好选择 CD 法。

3.2 不同开挖方法洞周位移比较

不同开挖方法洞周位移列于表 5。

表 5 不同开挖方法洞周位移
Table 5 Displacements on the tunnel periphery for different excavation methods

埋深条件	施工方法	最终位移 /cm	
		拱脚	拱顶
深埋	台阶法	1.0	17.02
	环形留核心土法	2.5	21.0
浅埋	CD 法	0~2.0	0~1.5
	CRD 法	0~1.0	0~2.0

由表 5 可以看出:

四种开挖方法位移都能满足《TB10003 - 2001, J117 - 2001 铁路隧道设计规范》附录 F 表 F.0.3 的规定,因此,四种开挖方法都能够保证施工安全。

3.3 不同开挖方法围岩塑性区比较

不同开挖方法围岩塑性区深度列于表 6。

表 6 不同开挖方法围岩塑性区深度

Table 6 Depths of the plastic zones for different excavation methods

埋深条件	施工方法	塑性区深度 /m	
		隧道周边	掌子面前方
深埋	台阶法	15	13
	环形留核心土法	15	13
浅埋	CD 法	0~1.0	0
	CRD 法	0~0.5	0

由表 6 可以看出:

(1) 台阶法和环形开挖留核心土法塑性区较大。

(2) CD 法和 CRD 法塑性区较小,且局部出现。

3.4 不同开挖方法的适用条件

通过不同开挖方法初期支护安全性、洞周位移、围岩塑性区比较,可以看出:

(1) 深埋隧道适合选择环形留核心土法。

(2) 浅埋隧道适合选择 CD 法。

4 深埋隧道环形开挖留核心土法初期支护安全性变化规律

环形开挖留核心土法初期支护安全系数随开挖的变化规律见图 2。

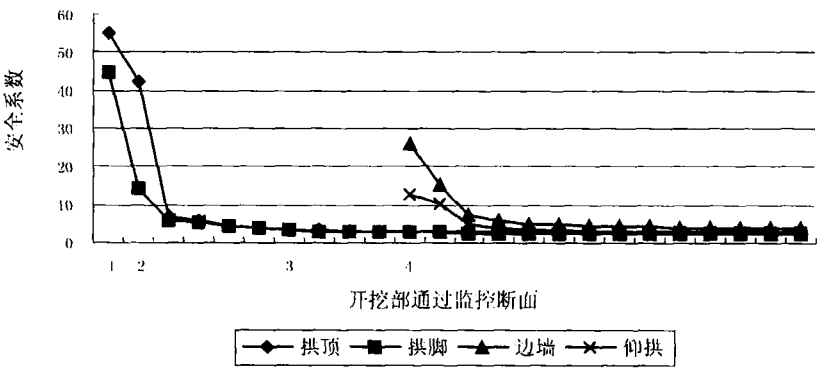


图 2 安全系数随开挖部变化规律

Fig 2 Variation of the factors of safety with the excavation sequence

由图 2 可以看出:

(1) 拱部安全系数随掌子面的向前推进总体上呈降低趋势,环形 1 和核心土 2 开挖对拱部安全系数影响很大,下部 3 和 4 开挖对拱部安全系数影响较小。

(2) 边墙和仰拱安全系数随掌子面的向前推进

总体上也呈降低趋势,特别是下部 4 开挖对边墙和仰拱安全系数影响很大。

(3) 施工完毕,拱顶、拱脚、边墙和仰拱处最小安全系数分别为 2.9、2.4、3.9、2.9,均为受压控制,最小安全系数位于拱脚处。

5 浅埋隧道 CD 法初期支护安全性变化规律

CD 法初期支护安全系数随开挖部的变化规律见图 3。

由图 3 可以看出：

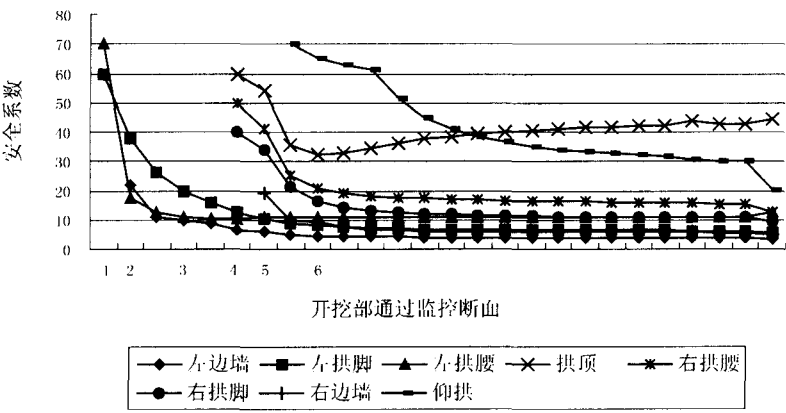
(1) 当掌子面向前推进时,左侧支护安全系数减小很快,但最后趋于稳定。隧道施工完毕后,左墙

脚位置安全系数 (3.8) 最低,为受压控制。

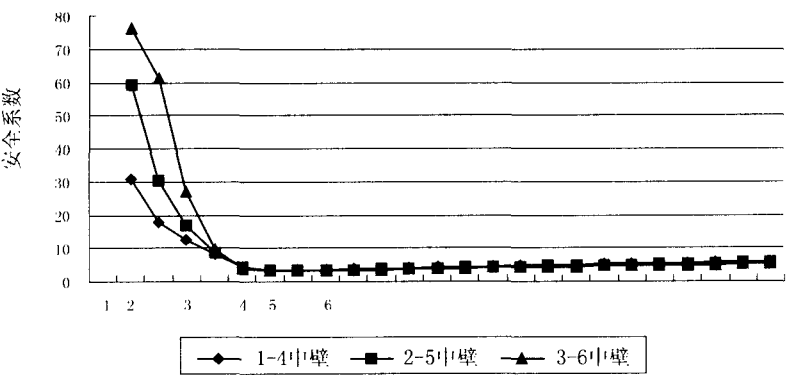
(2) 右侧初期支护安全系数均较左侧大,最小值 (5.1) 位于右边墙位置,受压控制。

(3) 拱顶的安全系数总是维持在一个较高水平,而且随着掌子面推进,还有增加趋势。

(4) 临时支护的安全系数都有一个先减小后缓慢增长最后稳定的过程,但最终临时支护的安全系数均大于 1.0,满足安全性要求。



(a) 初期支护安全系数随开挖部的变化规律



(b) 临时中壁安全系数随开挖部的变化规律

图 3 CD 法安全系数随开挖部的变化规律

Fig 3 Variation of the factors of safety with the excavation sequence in CD method

6 结 论

由上述分析可以看出：

- (1) 四种开挖方法都能保证施工安全。
- (2) 四种开挖方法位移都满足规范要求。
- (3) 台阶法和环形开挖留核心土法塑性区较大,CD 法和 CRD 法塑性区较小。
- (4) 从耐久性和现场施工的方便性来考虑,深埋隧道选择环形留核心土法,浅埋隧道选择 CD 法。
- (5) 深埋隧道环形留核心土法中拱部、边墙和

仰拱安全系数随掌子面的向前推进总体上呈降低趋势。环形 1 和核心土 2 开挖对拱部安全系数影响很大,下部 3 和 4 开挖对拱部安全系数影响较小,但下部 4 开挖对边墙和仰拱安全系数影响很大。

(6) 浅埋隧道 CD 法中当掌子面向前推进时,先开挖一侧的拱部和边墙初期支护安全系数较后开挖一侧的拱部和边墙初期支护安全系数小,但拱顶的安全系数总是维持在一个较高水平,中壁临时支护的安全系数在整个施工过程中都大于 1.0。

参考文献

- [1] 王明年. 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)
- [2] 王明年. 隧道仰拱的力学行为研究 [J]. 岩土工程学报, 1996, 18 (1)
- [3] Shinji Fukushima, Yoshitoshi Mochizuki, Kazuo Kagawa, Akira Yokoyama. Model Study of pre-reinforcement method by bolts for shallow tunnel in Sandy [J]. Proceedings of Progress and Innovation in Tunnelling, Toronto, Canada, 1989, 1 (1): 61~37
- [4] 小林光政. 在覆盖层浅的砂土地层中开挖三车道隧道 [J]. 隧道译丛, 1992 (1)
- [5] Eberhard Flieger, The Mount Baker Tunnel/USA. Exemplary for Drivage of major Cross Sections in soft Soil? [J]. Tunnel, 1990 (4): 205~220
- [6] 王明年. 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)

**Analysis of the 3D behavior of tunnels with super large cross-section
on special lines for passengers during construction**

Yu Yu¹ Zhao Dongping² Zeng Manyuan¹ Wang Mingnian²

(1 The No. 2 Survey and Design Institute, C. R. E. C., Chengdu 610031;

2 School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract The excavated cross-section of tunnels on special lines for passengers is more than 150 m², so adequate excavation methods must be selected in order to meet the construction requirements. In this paper 3D simulations are carried out for bench excavation and ring cut method for deep overburden tunnels and for CD and CRD excavation methods for shallow tunnels respectively, the surrounding rocks are of grade IV. Safe, economical and effective excavation options adaptable for tunnels with super large cross-sections are recommended on the basis of the analyses of the behavior of this kind of tunnels during excavation.

Key words Special lines for passengers; Tunnel with super large cross-section; Construction mechanics; 3D numerical analysis

(上接第 4 页)

参考文献

- [1] 尹旅超, 朱振宏, 李玉珍等编译. 日本隧道盾构新技术 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1999 - 07
- [2] 北京市市政工程设计研究总院. 北京地铁四号线工程初步设计 [R]. 2003 - 09

**Construction options for the transit tunnels
on the line No. 4 of Beijing metro**

Chen Rendong

(Design and Research Institute of Beijing Municipal Engineering, Beijing 100045)

Abstract The paper briefly introduces the features of the construction options for the transit metro tunnels and their adaptive conditions, analyses the control factors and factors of influence on the shield tunneling of the transit metro tunnels in accordance with the practice of the line No. 4 of Beijing metro.

Key words Beijing metro; Construction options for transit tunnels; Shield tunneling