

徐州东二环路扩建隧道穿泄水洞施工有限元分析*

王福喜

(中铁十九局集团公司 辽宁 辽阳 111000)

摘 要 通过对徐州云龙山东二环路扩建隧道工程 k0 + 126 的施工影响 ,采用有限元施工模拟作了超前预测 ,从理论上论证了暗挖施工的可能性 ,保障了邻近建筑的安全。同时对土体支护、支护结构、支护与土体相互作用及施工过程进行模拟 ,以达到对支护结构变形作出预报的目地。对暗挖法施工产生的影响做了超前预测分析 ,为安全施工提供了指导。针对埋深浅 ,地质条件复杂的特点 ,采用有限元法进行模拟分析 ,为方案的确定提供了可参考的依据。

关键词 隧道 ;施工 ;有限元 ;分析

中图分类号 : TU311.2 文献标识码 :A 文章编号 :1671 - 532X(2005)01 - 0060 - 05

1 工程概况

徐州云龙山东二环路扩建隧道为城市市政工程软弱围岩暗挖隧道。隧道长 312.58 m ,最大开挖跨度 12.24 m。在 k0 + 126 处跨徐州云龙湖泄

水洞 ,距底板 2.6 m。围岩以Ⅰ、Ⅱ类为主 ,隧道采用浅埋暗挖法施工 ,复合式衬砌。

进洞段洞顶覆盖层厚 4 ~ 5 m ,顶板岩体极薄 ,顶板厚与跨径径比小于 0.2 ,属于超浅埋 ,成洞条件极差 ,地层物性参数见表 1。

表 1 地层物性参数

Table1 The physical parameter of soid layer

围岩	弹性模量 <i>E</i> /MPa	泊松比 μ	容重 γ /kN/m ³	凝聚力 <i>C</i> /kPa	内摩擦角 φ /°
杂填土	3.0	0.4	18.5	10.0	15.0
淤泥质粘土	1.73	0.42	18.0	5.24	8.0
粘土	4.39	0.35	19.6	32.97	15.2
粉质粘土	4.78	0.3	20.0	19.97	22.5
强风化砂岩	300	0.35	24.0	0	35.0
中风化砂砾岩	10 100	0.3	26.0	1 500	40.0
微风化砂岩	15 200	0.23	26.3	4 000	45.0

洞口上部为人工堆积土 ,松散破碎 ,下部为第四系残坡积碎石土 ,由石英岩、混合花岗岩风化而成 ,粒径 30 ~ 100 mm ,充填物为亚粘土 ,属软弱松散围岩。

隧道结构为复合式衬砌 ,围岩拱部 120°范围内设超前小导管间隔布置(见图 1) ,大管棚采用 108 mm 无缝钢管 ,长 24 m ,小导管采用 ϕ 32 水煤气管 ,格栅网喷初期支护 ,基底采用 ϕ 32 水煤气管注浆加固。

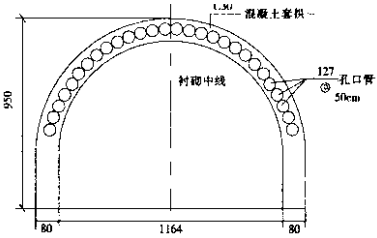


图 1 隧道复合衬砌结构图

Fig.1 The hybrid lining structure figureof tunnel

* 收稿日期 2005 - 01 - 03
作者简介 王福喜(1973 -) ,男 ,辽宁辽阳人 ,硕士 ,中铁十九局集团公司工程师。

2 有限元施工模拟计算

由于地质条件差,在 $k0+126$ 处跨徐州云龙湖泄水洞施工成为安全施工的关键。为此,我们采用有限元法对施工工序进行了模拟分析,对暗挖法施工产生的影响做了超前预测分析,为安全施工提供了可靠的指导和参考作用。针对隧道埋深浅、地质条件复杂的特点,如何控制地表沉降,保护地表环境安全,是本段隧道施工方案是否可行的关键。我们采用有限元法对施工进行了模拟前进分析,经理论计算预测出地面的最大沉降值、拱顶的最大下沉值、为施工方案的确定提供了可以参考的理论依据。

2.1 计算断面选择

围岩计算断面取 $k0+126$,隧道埋深较浅,穿越地层为中风化的含砾砂岩和细砂岩,隧底为中风化的含砾砂岩和细砂岩。

2.2 计算模型与方法

2.2.1 计算假定

(1)应力以拉应力为正,位移以与坐标轴同向为正 (2)变形是微小的 (3)混凝土初期支护为均匀多孔线弹性,且各向同性的连续介质 (4)围岩

为非线性变形的各向同性多孔连续介质 (5)计算假定平面应变,不考虑隧道掘进空间效应 (6)计算假定开挖后及时支护,不考虑开挖和支护间的时间效应 (7)围岩不抗拉 (8)计算考虑施工辅助措施的有利作用 (9)初始应力场为自重应力场 (10)计算不考虑初期支护和二次衬砌间防水板的力学作用。

2.2.2 计算模型

因隧道是一个狭长的建筑物,纵向很长,横向相对尺寸较小。隧道计算可以取中间每延米隧道,作为平面应变问题来近似处理,考虑围岩与结构的共同作用、分步施工过程,施工模拟采用有限元数值模拟连续介质模型进行计算。隧道施工模拟计算模型采用平面应变模型,计算范围上取至地面,隧道下取至隧底下 30 m 处,横向取至距洞室中线 50 m。计算采用平面有限元程序进行模拟计算分析。计算结构模型见图 2 有限元模型介绍:土体采用弹塑性模型,用平面四边形八节点等参单元模拟,喷混凝土用梁单元模拟,锚杆用杆单元模拟,模注混凝土用平面四边形八节点等单元模拟。

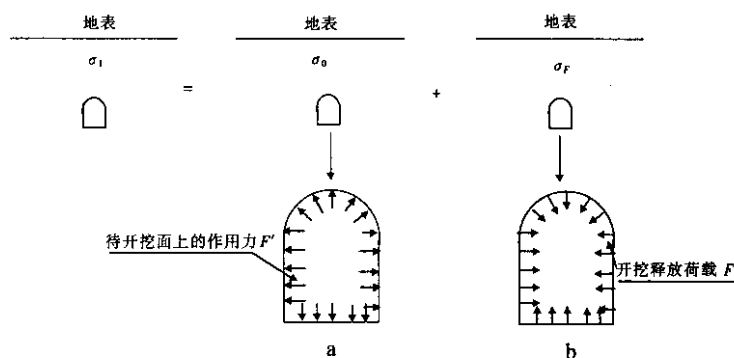


图 2 开挖过程释放荷载示意图

Fig. 2 The released loads schematic diagrams of excavation stage

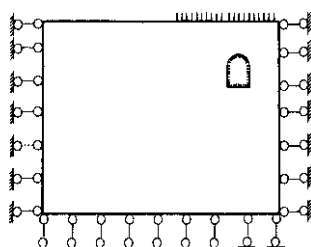


图 3 施工模拟计算连续介质模型

Fig. 3 The continous medium model of the simulated calculatim construvtion

2.3 洞室分步开挖施工过程的模拟及开挖释放荷载的计算

对地下工程(或岩土工程)来说,其施工过程包括对岩土体的开挖及各类支护体系的施加,计算时对这一过程进行模拟并无很大困难,按开挖或支护结构的类型不同,去掉或增加相应类型的单元即可。以下着重说明如何在未开挖前,地层中的初始地应力场为 σ_0 ,即图中之(b)。或者说,待开挖部分岩土体的开挖边界上存在着作用力 F' 。当开挖后,被挖掉的部分不能再提供作用力

F' 时故此开挖边界上的法向应力为零,这等效于在开挖边界上作用与 F' 大小相等,方向相反的荷载,即开挖荷载 F ,开挖荷载产生的地应力场为 σ_1 ,故最终的地应力场 σ_1 应为初始地应力场 σ_0 及有开挖释放荷载所产生的应力场 σ_F 之和,即

$$\sigma_1 = \sigma_0 + \sigma_F$$

根据上述原理,开挖荷载的计算公式可写为

$$\{F\} = - \sum_{N_e} \int_s [B]^T \{\sigma\} dS$$

上式中 N_e 为该步开挖所挖掉的单元总数, $\{\sigma\}$ 为开挖前单元的应力,若是计算第一步开挖的释放荷载,则显然 $\{\sigma\}$ 为初始应力场。经积分求和后,即得挖掉部分的节点荷载 $\{F'\}$,反号后即为开挖释放荷载 $\{F\}$ 。

2.4 屈服准则

这是一个岩土工程广泛采用的著名准则。通常表示为破坏面上的剪应力 τ 与正应力 σ_n 的关系,最重要的两个参数为粘聚力 c 和内摩擦角 φ 。有限元法用于求解岩土工程问题主要有两点特殊的地方,一是采用的破坏准则不同,一是对施工过程的模拟。对岩土工程材料,可以近似看作 Mo-

hr—Coulomb 体,因此在计算中采用主应力空间下的 Mohr—Coulomb 屈服准则,即

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \phi$$

其物理意义是,当岩土体中一点在某个面上的剪应力达到 $c + \sigma_n \tan \phi$ 时,该点将发生剪切破坏。用主应力表示,则可写为

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = 2c \cdot \cos \phi + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi$$

为与其它屈服准则统一起来,可将它以不变量的形式表示出来,

$$F = \sin \phi \sigma_m + \sqrt{J_2} \cos \theta -$$

$$\frac{\sqrt{J_3}}{\sqrt{3}} \sin \varphi \sin \theta - c \cdot \cos \varphi = 0$$

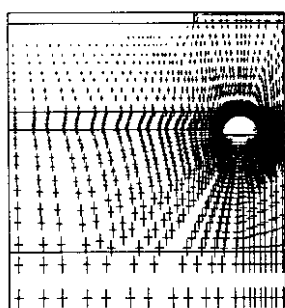
σ_m ——三个正应力的平均值;

J_2, J_3 ——应力偏量的第二、第三不变量。

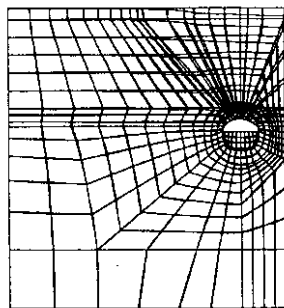
2.5 计算结果(k0+126)

2.5.1 单元网格划分

土体采用平面四边形八节点等参单元模拟,共划分节点数 1038,单元数 329。单元网格图见图 5。

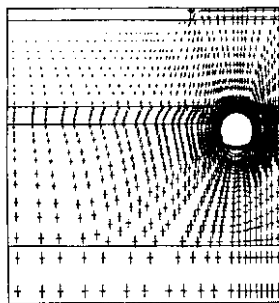


主应力图

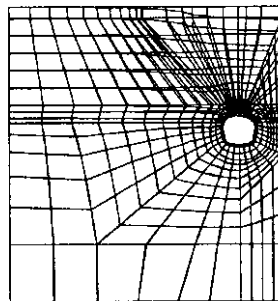


位移网格图

上台阶开挖完成后



主应力图



位移网格图

下台阶开挖完成后

图 4 主应力和位移网格图

Fig.4 principal stress and displacement grid figure

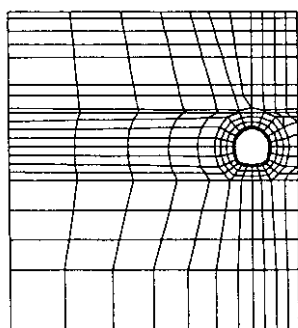


图 5 单元网格图

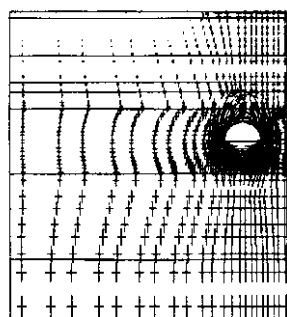
Fig.5 Element grid figure

2.5.2 围岩受力情况

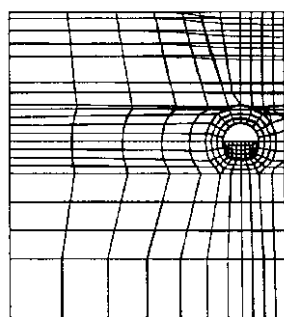
从主应力图可以看出,洞周围岩应力集中,洞周围岩仰拱下方、边墙外侧下部土体发生塑性屈服,深度 1.52 m 左右。

2.5.3 变形计算结果

隧道施工完成后,地面沉降计算值 18.9 mm,拱顶下沉 26.7 mm。边墙相对收敛 4.8 mm,沉陷槽宽度 16.5 m。隧道施工产生的变形主要在上台阶开挖时产生,见图 6。

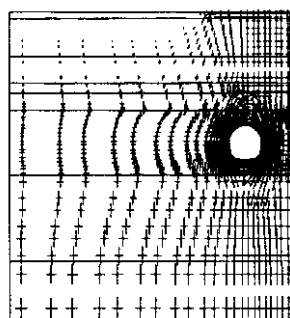


主应力图

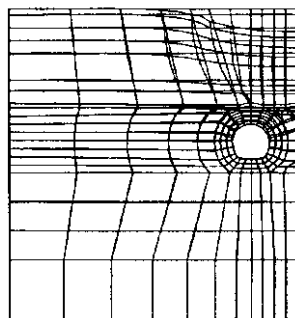


位移网格图

上台阶开挖完成后



主应力图



位移网格图

下台阶开挖完成后

图 6 主应力和位移网格图

Fig.6 Principal stress and displacement grid figure

2.5.4 支护受力结果

初期支护受力结果:锚杆最大拉力 23 kN。喷混凝土层最大弯矩 23.8 kNm,最大轴力 595.6 kN。二次衬砌最大弯矩 46.8 kNm,最大轴力 821.5 kN。

2.6 地面沉降分析计算

各种围岩计算断面地面最大沉降和沉陷槽宽度见前面计算结果,基本在上台阶开挖完成时产

生,下台阶开挖对地面沉降贡献不大。由于为均匀质地层,地表沉降曲线可以近似用墨西哥学者 Peck 和英国学者 Reilly 提出的符合正态概率曲线的观点进行分析。沉降曲线用 Peck 公式表示:

$$y = \omega e^{-\frac{x^2}{2i^2}}$$

式中: y —距隧道中线 x 处的下沉值;

ω —最大下沉值;

i —从地表下沉曲线的反弯点到垂直线的距

离。

另外, Peck 推导出计算沉陷槽体积的公式:

$$\nu = \int_{-\infty}^{\infty} y dx = \sqrt{2\pi i \omega}$$

这样, 上述公式可以表示为:

$$y = \nu \frac{e^{-\frac{x^2}{2i^2}}}{\sqrt{2\pi i}}$$

美国学者 Cording 等人根据 Mohr—Coulomb 理论, 并经过简化假定, 推导出沉陷槽的宽度 B 和 i 之存在如下简单关系:

$$B = 5i$$

根据经验资料, 距隧道中线一定距离以外的沉降曲线可以认为是一条直线, 其坡度近似等于:

$$m = 2\omega/B$$

参考文献:

- [1] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [2] 屈智炯. 土的塑性力学 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1987. 213—220.
- [3] 姜弘道. 水土结构工程与岩土工程的现代计算方法及程序 [M]. 开封: 河南大学出版社, 1992. 305—315.

如规范允许的倾斜坡度为 m , 某种条件下的沉陷槽宽度为 B , 可以定出该条件下的地表最大允许下沉值为:

$$[\omega] = B[m]^2$$

由以上公式可以计算得出隧道的沉陷曲线坡度小于沉陷槽曲线最大坡度 $1/300$ 。

3 结束语

通过对 $k0+126$ 处隧道施工的有限元分析, 对浅埋暗挖法隧道各个工序进行了模拟, 并且模拟计算的模型和工序假定与施工工序吻合。可知按照设计的施工方法和辅助措施施工能保证洞室围岩的稳定, 地面沉降和洞周变形满足规范要求, 能保证隧道下的云龙湖泄水洞安全。

The FEM Analysis of Chunxie Water Cave Tunnel Construction in Xuzhou Dongerhuan Reconstruction Road

WANG Fu-xi

(Nineteenth Bureau of China Railway Group, Liaoning Liaoyang, 111000, China)

Abstract: Through the construction influence of $k0+126$ tunnel reconstruction engineering in Xuzhou Yunlong mountain and the advanced prediction of construction simulation with FEM, embedding construction are possible in theory. The safety of heighbouring architectures are protected as well. The soil mass supporting stake, supporting structure, supporting interaction and the construction process are simulated, the supporting structure deform are predicted also. Due to the advanced prediction analysis of influence of embedding anstruction, the guides for safely construction are provided. Based on the character of the shallow of embedded depth, complicate geological condition and the simulation analysis of FEM, the reference decision basis of projects are determined. **Keywords:** tunnel, construction, FEM analysis