

某隧道工程的参数反演及 围岩稳定边界元分析

王志亮 李筱艳

侯军奎

(河海大学土木工程学院, 南京 210098) (南京大地建设集团珠海分公司, 南京 519015)

【摘要】 针对某隧洞工程的围岩稳定分析, 利用间接边界元法进行了初始应力场的参数反演和洞周应力分布探讨, 并对该工程的施工提出了建议。

【关键词】 间接边界元; 围岩稳定; 反演分析

【中图分类号】 U 453.2

The Jointed Rock Stability and Parameters Back Analysis of One Tunnel Engineering with BME

【Abstract】 Using indirect boundary element method, the back analysis of initial ground stress fields for a tunnel engineering is considered. And stress distributions in the jointed rock is discussed. Some suggestion for the construction is presented.

【Key words】 indirect boundary element method; stability of jointing rock; back analysis

0 工程概况

某水电站的穿山隧洞(兼作人行及电缆、水管铺设之用)拟建为截面形状为直墙拱形, 埋深在 200~900 m, 上部半圆形半径 1.0 m, 下部墙高 1.0 m, 洞宽为 2.0 m 的矩形。地层主要为泥灰岩、石英砂岩夹杂色粘土等。在里程 810 m 处, 观察到断层挤压破碎带和节理裂隙发育, 并有裂隙水呈滴渗状活动。若设围岩为均质、无限弹性体。据工程地质报告弹性模量 E 为 7 000 MPa, 弹性泊松比 μ 为 0.25。现要预先对该隧洞工程施工中的围岩稳定及衬砌情况作定性分析。

1 初始应力场的反演

原始观测资料的匮乏, 只能以实测最终稳定收敛位移作为理想的预测最终位移进行反演分析, 得到进一步分析和计算所需要的参数。

地下岩土工程的复杂性和不可预见性, 使得工程材料性态参数及初始地应力场的确定一直

成为人们认知这一领域各种现象的主要障碍。洞室无论是浅埋还是深埋的状态, 由于地壳运动的影响, 初始应力场的分布规律极其复杂。据对初始应力场的实测的资料作统计分析, 可得出在工程范围内初始应力随埋深呈线性变化, 且随深度变化的速率与上覆岩体自重引起的垂直地应力的变化率接近^[1]。在工程围岩范围内, 初始地应力场可假设为均布构造应力场和按线性规律分布的自重应力场的叠加场。当洞室埋深很大时, 由于小范围内自重应力场变化量相对较小, 围岩初始应力场可近似考虑为均布应力场。

在线性分布规律的假设下, 二维空间的初始应力场各分量为^[1,2]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^0 &= \sigma_x^c - \frac{\mu}{1-\mu} \gamma_z + A_1 \\ \sigma_z^0 &= \sigma_z^c - \gamma_z + A_2 \\ \tau_{xz}^0 &= A_3 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

作者简介: 王志亮, 男, 汉族, 1969 年生, 安徽枞阳人, 工程师。2000 年合肥工业大学硕士毕业, 现为河海大学岩土工程专业博士研究生。

式中: A_1, A_2, A_3 为常数; z 为竖向坐标, 原点一般设在洞室的底板中点, σ_x^0, σ_z^0 为坐标原点处自重应力, γ 为重度, μ 为泊松比。

本文改编和调试了文献[1]上的边界元反分析程序 BACK2, 其流程见图 1。利用其对该工程的弹性参数及初始应力场进行了反演。程序使用的是间接边界元法, 适用于均质各向同性的弹性无限介质(取平均意义上)。程序采用屏幕输入和数据文件相结合, 屏幕输入利用人机对话形式, 对变量有选择的输入; 数据文件包括控制参数、几何参数及量测信息。输出内容有打印参数、控制参数及计算结果。程序考虑了四种反演分析的计算情形。本例利用工况 1) 已知弹性模量 E 和量测的位移进行初始地应场的反演分析。整个边界面由离散的分段的常量元逼近, 每个线段的中心为常量元的节点, 整体坐标按右手螺旋系统确定, 单元划分应尽量将边界收敛测点置于单元中点处, 以避免不必要的计算误差, 同时尽可能缩短边界元长度。

本算例已知 $E=7\ 000\ \text{MPa}$ 、 $\mu=0.25$, 考虑到隧洞的对称性, 取一半进行考虑。为单一、弹性体。整个洞室断面分两次开挖(见图 2)。第一次开挖 1、2、3、4 单元后, 在 b, d, f, g, h 结点布置相应的观测点再进行第二次开挖, 挖出 5、6、7、8、9 单元, 此时在观测点的变位值为: $\mu_b = -9.20\ \text{mm}$ 、 $\mu_d = -7.45\ \text{mm}$ 、 $\mu_f = -8.5\ \text{mm}$ 、 $\mu_g = -11.5\ \text{mm}$ 、 $\mu_h = 9.5\ \text{mm}$ 。选择工况 1) ICASE=1, 输入位移量测的信息和弹性模量 E 值, 得到所需要参数: 竖向初始应力 σ_z^0 约为 $0.982\ 5\ \text{MPa}$, 水平向初始应力 σ_x^0 约为 $0.491\ 8\ \text{MPa}$, τ_{xz} 接近于零 (10^{-4} 数量级), 为了计算方便略去不计。

2 围岩稳定的计算和分析

隧洞对称于 y 轴, 取周边一半进行考虑, 把它划分为三段 AB, BC, CD 各段又均分为 10 个单元, 共 30 个边界单元见图 3。边界单元的编号从隧洞的底部中线开始, 只计算单元

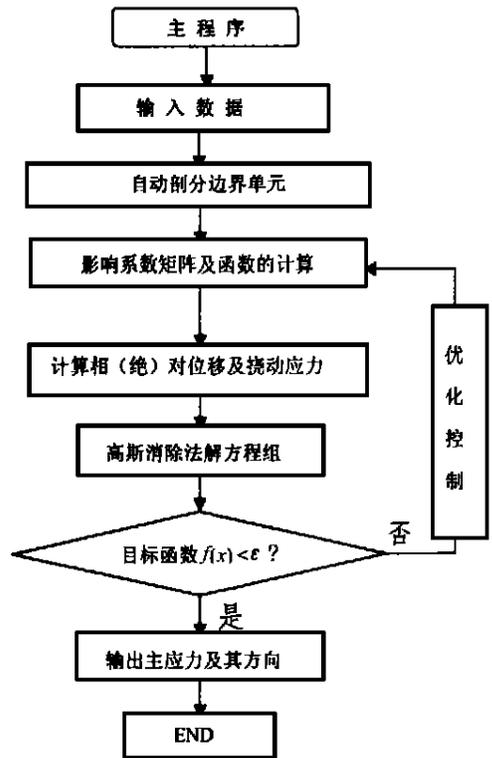


图 1 边界元反分析流程图

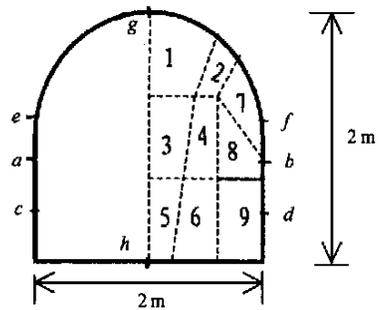


图 2 开挖的步骤及位移测点布置图

的中点的应力值, 同时在隧洞周边域内取 7 条线段(①~⑦), 各段的起点和终点坐标(见图 3)分别为 $(0.0, 1.15)$ 到 $(0.0, 3.5)$ 、 $(0.90, 0.90)$ 到 $(2.56, 2.56)$ 、 $(1.15, 0.0)$ 到 $(3.5, 0.0)$ 、 $(1.15, -1.0)$ 到 $(3.5, -1.0)$ 、 $(-0.9, -0.9)$ 到 $(-2.56, -2.56)$ 、 $(1.0, -1.15)$ 到 $(1.0, -3.5)$ 、 $(0.0, -1.15)$ 到 $(0.0, -3.5)$ 在各段上又均分为 10 个单元。

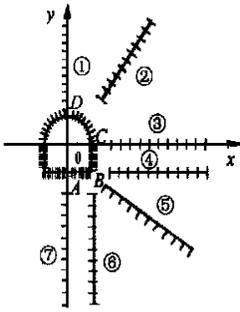


图3 边界元划分及围岩内单元布置图

本计算程序是综合了文献[3][4]上源程序编制的,属于间接边界元中虚拟力法,流程图见图4。输入各控制参数及数据后,由运行结果可知,对各边界上的单元中点的表面力无论是法向还是切向均为零,但切向正应力在底部中间部位为拉应力,其余部位基本为压应力。

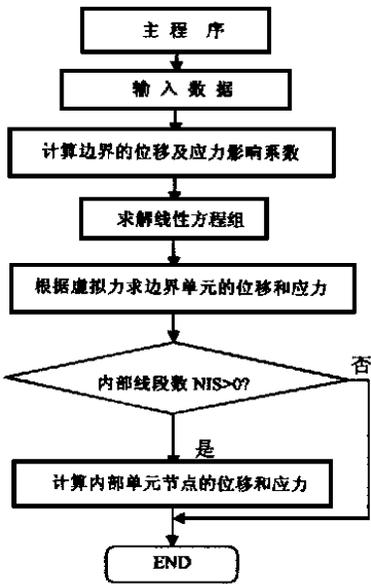


图4 间接边界元计算流程图

对于周围域内点的应力值在不同结点处有不同的 σ_x 、 σ_y 、 σ_{xy} ,把这些值按

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2)$$

转换为最大主应力和最小主应力,并求出主应力的方向 α_1 、 α_3 ,利用 Sufer 软件即可绘出围岩内的等应力线和等倾角线(见图5)。图5

中右边的实线和虚线分别为最大和最小主应力等值线,数字表示应力值和竖向初始应力值之比,左边网格表示最大、最小主应力方向的正交图,即等倾角线图。

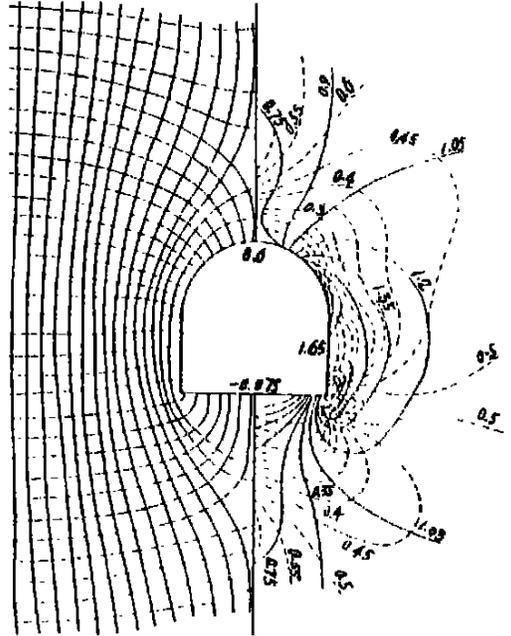


图5 该隧洞围岩主应力等值线及方向的等倾角线图

本程序中只给出了随深度线性变化的初始应力场情况。对于其它特殊的初始应力场,如有其解析表达式,也可引入程序中,与释放的应力场叠加而计算重分布后的应力。

3 结论和建议

边界元可以解(非)线性和无限域问题,在二维和三维空间的弹性和弹塑性模型反分析中有其独到之处,它可以根据量测的位移进行反演后有选择的算出我们感兴趣和需要的某些域内点的位移和应力,无需象有限元那样将所有点的位移、应力都计算出,且反演过程和围岩稳定分析的计算程序均较简单,输入的数据少。

对于开挖的隧洞,若不加支护,围岩会经过应力集中→形成塑性区→隧道内位移→塑性区进一步扩大→围岩松动甚至破坏。由图5知,隧洞围岩中无论最大主应力还是最小主应力均在洞脚部和上侧壁产生了应力集中现象,并产生镰

刀形塑性对称区。由隧洞地层的初始水平应力和垂直应力比 $\lambda_0=0.5$,再根据文献[5][6]上相关公式和测得的围岩单轴抗压强度、抗剪强度 c 、内摩擦角 φ 、初始应力场以及隧道的几何参数就可大致算出塑性区,见图6中虚线所示。

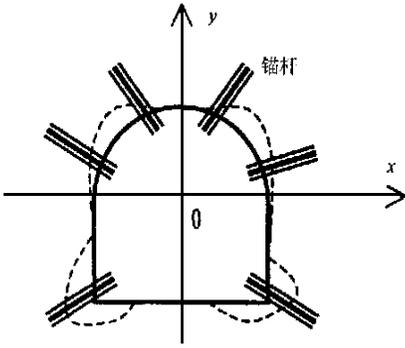


图6 洞周塑性区图及锚固示意图

为了安全起见,需要对可能出现塑性区域进行锚喷支护。其作用主要在于锚杆可加固节理和软弱结构面,喷射的混凝土可封闭围岩体表面的裂隙。对于洞室侧壁应在图中位置处设径向锚杆,至于锚杆的长度问题与塑性区的界限有关,需作进一步定量分析。为了施工

的安全,在完成开挖到设置锚杆的这段时间间隔不宜太长,否则塑性区就会向外发展,原来准备打入良好地层的锚杆也就达不到足够深度,造成危险性很大。根据边界元计算分析,我们可以确定何时、何地需要支护,这样不但阻止围岩体 c 、 φ 值的下降,甚至提高了围岩的抗剪强度,保证了施工安全。

参 考 文 献

- 1 朱合华·边界元法及其在岩土工程中的应用·上海:同济大学出版社,1997,20~78
- 2 Brebbia C A·Boundary Elements XIV (12); Stress Analysis and Computational Aspects The Alden Press, 1992, 231~279
- 3 Brebbia C A·The Boundary Element Method for Engineers Pentech Press, 1980, 166~213
- 4 邝国能,熊振南·工程实用边界元法·北京:中国铁道出版社,1989,65~155
- 5 卡斯特奈著 H·隧道和坑道静力学(同济大学译)·上海:上海科学技术出版社,1980, 33~189
- 6 关保树·隧道力学概论·成都:西南交通大学出版社,1993,44~102

收稿日期:2001-04-23

读者来信照登

编辑部:

问好!

贵刊今年第2期第100页式(3)不正确,应为: $b = \frac{F}{f - \gamma d}$, 否则,式(4)验算基底压力亦无意义。

此外,原式(3)中 γ_d 为 γd 之误。

请酌查。望复。

崔家立

2001年6月7日

* * * * *

崔家立先生的意见是正确的。由于我们工作中的疏忽,造成了不应有的错误,我们向广大读者表示歉意。希望有更多的读者关心、爱护本刊,指出本刊的缺点和错误,共同携手把本刊办得更好!

《岩土工程技术》编辑部

2001-06-13