

裂隙岩体结构面力学参数取值的工程地质研究

张 勤 陈志坚 罗增益

(淮海大学土木工程学院 南京 210098)

摘 要 裂隙岩体结构面力学参数的取值是复杂而重要的. 本文在深入分析其复杂性和各取值方法优缺点的基础上, 结合工程实践阐述了最危险控稳结构面的确定以及采用工程地质类比法和相对位移反分析法合理确定结构面力学参数的理论和方法. 研究结果表明, 扎实的工程地质分析是合理确定结构面力学参数的基础, 干扰能量法、模糊度量和相对位移反分析法在小浪底水利枢纽工程和江阴大桥工程中的应用取得满意的效果.

关键词 裂隙岩体 控稳结构面 定量化工程地质类比 仿真概化地质模型 相对位移反分析

中图号 TU457

在工程地质研究中, 岩石与岩体是两个有着明显区别的概念. 岩石可以理解作为一种材料, 是由一种或多种矿物或岩屑组成的自然集合体. 它的性质可以用岩块来表征. 而岩体是地质体的一部分, 是一定地质环境下自然历史的产物. 往往可以是由不同岩石材料组成的、含有各种地质结构面的非均质、各向异性的不连续体. 岩体的变形和强度取决于岩体结构, 主要受结构面及其组合形式的控制. 同时, 岩体又是一个复杂的、多介质的裂隙体, 而且岩体往往又处于一定的地应力场中, 以及岩体还具有流变特性等. 岩体的这些工程地质特性, 以及所处的复杂多变的地质条件等, 决定了岩体力学参数的取值是一个极其复杂、而又极具实际意义的研究课题. 结合小浪底水利枢纽及江阴长江公路大桥等国家重点工程中的岩体稳定性研究, 拟就裂隙岩体结构面力学参数取值问题, 从工程地质研究角度予以分析探讨.

1 现状与思考

岩体按其工程荷载的特征, 可分为地基岩体、边坡岩体与地下洞室围岩. 岩体稳定性分析是岩体工程地质研究的重要课题之一. 而岩体结构面力学参数的合理取值, 是岩体稳定分析中各种数值方法得以成功应用的关键. 岩体力学参数确定方法通常有室内及现场试验、工程地质类比及反演分析等方法. 室内试验是通过现场采样、室内试验、数据统计整理的方法取得试验指标. 其方法、设备相对简单, 操作方便, 有规程规范可循. 但其试样的代表性、原状性、试验方法的合理性及有关数理统计方法等都将直接影响其试验结果. 更不足的是室内小批量的小尺寸(岩块)试样的试验值很难揭示岩体实际变形的特性, 笔者认为, 室内试验结果, 对岩块参数或均质各向同性连续介质力学参数的确定是有意义的. 而对结构复杂的岩体, 尤其是岩体稳定性分析中的控稳结构面(原生软弱夹层、层间错动形成的泥化夹层等), 现场取样十分困难, 试验的原状性也无法保证, 使得用室内试验方法提供岩体滑动面参数变得十分困难. 现场原位试验, 其试样制备、及整个试验过程均在现场原位进行, 克服了室内试验现场采样的困难, 有利于保证试样的原状性, 其试验结果也相对可靠. 但原位试验设备复杂、成本昂贵、耗时费力, 一般(尤其是中、小型)工程的技术、经济力量不及. 笔者认为, 若能在室内试验的基础上, 辅以必要的现场大型原位试验, 各取其长、相互映证, 通过建立两种试验结果的相关关系, 指导结构面力学参数取值, 不失为一种有效办法. 根据小浪底工程经验, 一般现场大型原位试验结果比室内试验值提高 10% 左右. 有侧限膨胀的抗剪试验指标比无侧限抗剪试验指标提高 18% ~ 20%. 另外在有关现场试验的基础上, 利用工程地质类比方法, 选择与拟研究结构面地质环境最为相似的样品的试验资料, 确定所研究结构面的力学参数, 也是一种有效研究途径.

工程地质类比法是用已有大量工程建设经验,指导拟建工程的评价或设计参数取值的一种方法.是工程地质研究的传统方法之一.由于其方法简单,操作方便,目前仍颇受工程界欢迎.但由于其不定量性、经验性、地区性等特点,在以往的应用中,研究结果的可靠性不高.笔者认为,若能将工程地质类比研究的方法定量化,用大量工程建设经验指导拟建工程的评价和设计参数取值,不仅可以克服各种人为因素干扰,而且可以得到定量的、更为可靠的研究结果.

位移反分析方法是 70 年代用于岩体参数取值及有关岩土工程地质问题评价和预测的一种数值方法,是在已有位移观测资料的基础上,通过求解逆方程得到岩体参数.该方法目前已引起了国内外工程界的重视.但是在如何建立正确的分析模型以及误差分析、优化分析及解的唯一性等方面仍然有值得进一步探讨的必要.

综上岩体力学参数取值的现状分析及有关思考,要正确、合理地取得结构面上的力学参数,首先必须在大量现场调查和地质分析的基础上,找出可能的控稳结构面,并能通过进一步分析找出最危险滑面,这样有针对性的建立模型,研究参数取值和进行稳定性评价,自然会得到较为可靠的研究结果.

2 探索与实践

可靠的地质模型,正确、合理的计算参数,先进、得当的计算方法是岩体稳定性分析、评价的三个重要环节.可靠的地质模型是稳定性数值分析的基础,正确、合理的参数取值,是取得可靠分析评价结果的关键,先进、得当的计算方法是数值计算成功的保障.

2.1 最危险的控稳结构面的确定

岩体中发育有大量不同成因类型的地质结构面.不同产状、不同规模、不同类型的结构面其对岩体稳定性的贡献和在岩体稳定分析中所充当的‘角色’是不同的.在岩体稳定性边界条件分析中,缓倾角底滑面往往是控制稳定性的最危险的结构面.只有在大量地质调查的基础上,进行系统的工程地质分析(结构面理论、优势面理论等),即可定性地确定可能性滑动面.引用力学分析中的干扰能量法,即可在定性研究的基础上,定量地确定出最危险的控稳结构面.其基本思想为:设考察体原来平衡位置的总势能为 Π_P^I ,受干扰后的总势能为 Π_P^{II} ,则干扰能量 $\Delta\Pi_P$ 为:

$$\Delta\Pi_P = \Pi_P^{II} - \Pi_P^I \tag{1}$$

又
$$\Delta\Pi_P = 1/2\delta^2\Pi_P \tag{2}$$

而 $\Delta\Pi_P$ 可由数值计算求得:

$$\Delta\Pi_P = \Delta U - \Delta W \tag{3}$$

$$\Delta U = \int_{\Omega} [A(e_{ij}^0 + \Delta e_{ij}) - A(e_{ij}^0)] d\Omega \tag{4}$$

$$\Delta W = \int_{\Omega} f_i^0 \Delta u_i d\Omega + \int_{s_{\sigma}} p_i^0 \Delta u_i ds \tag{5}$$

式中 $\Delta u_i, \Delta e_{ij}$ ——干扰位移及其所对应的应变; ΔU ——受干扰后贮存在物体内的变形能增量,它是使各系统恢复原位的因素,称为干扰内能; ΔW ——外力在干扰位移中所做的功,它将消耗系统的能量; p_i^0 ——计算边界 s_{σ} 上的已知面力; f_i^0 ——计算域 Ω 上的已知体力.

- 若 $\Delta W > \Delta U$,系统将出现动能而导致系统失稳;
- 当 $\Delta W = \Delta U$,系统处于临界稳定状态;
- 当 $\Delta W < \Delta U$,系统在去掉干扰后便能恢复原位,此时系统稳定.

通常在计算中某级增量的干扰位移即为下级增量位移.为了反映某加载段或某工况下岩体稳定的安全度,可利用能量的观点得到稳定安全系数:

$$K_E = \Delta U / \Delta W \tag{6}$$

据此可以得到各离散单元的 K_E ,而最小 K_E 值的连线即为最小安全度等值线或最危险的控稳滑动面.该方法用于江阴大桥南岸山体稳定分析中,取得了满意的研究结果.

2.2 工程地质类比法的定量化研究

工程地质类比法虽是工程地质研究的传统方法之一,但以往使用中,由于有人为因素的干扰,仅通过少量个别因素相比较而得到的参数,其结果可靠性较差,严重地影响了工程地质类比法的应用.应用模糊相似优先比原理及有关模糊度量等,即可实现在考虑众多因素共同影响下从大量可供选择的固定样品中,快速、定量地选择出与研究对象相似程度最高者,用此样品的设计参数或试验资料指导所研究问题的评价或参数选择,无疑有利于克服以往人为因素的干扰、不定量性等,从而提高研究结果的可靠性.

该定量化工程地质类比基本思想可概括为:首先确定相似因子及各样品在不同因子下的特征值.其次,计算相似优先比及各因子对应的相似优先比矩阵.最后,用 λ -水平集确定相似程度.将上述思想程序化,其计算程序结构框图见图 1.只要输入相似因子数和样品个数,以及不同因子下各样品的特征值,计算机即可迅速输出相似优先关系矩阵和相似程度计算结果,从而定量地选择出条件最为相似的类比对象.将此方法用于小浪底左岸单薄分水岭抗滑稳定分析中泥化夹层参数取值研究,其研究结果与现场大型试验结果基本一致^[1].

2.3 反分析法岩体参数取值的研究

岩体稳定分析中的反分析基本思想最先由 Kavanagh (1973), Gioda 和 Maier (1980) 等提出.其最初的目的是期望通过位移测量进行参数反演以避免参数测试的困难,求得能反映真实状态的参数.但由于岩体的非均匀性和复杂多变的工程地质条件,在大多数情况下,反分析法都是采用较简单的地质模型^[2].例如岩体的均质各向同性及均匀的初始应力场等假定,这种简单化及假定与多数工程实际情况出入较大,更无法客观反映含有各种大量地质结构面的复杂裂隙岩体.鉴于以上不足,笔者提出了仿真概化地质模型的概念,较好地解决了传统方法中所存在的主要问题,得到了较为可靠的分析结果.

裂隙岩体的仿真概化地质模型是在大量现场地质调查的基础上,通过深入细致地工程地质系统分析研究,抓住影响岩体变形与强度的主要地质结构面,概化出能够客观反映实际岩体结构及变形特性的仿真概化地质模型,其基本思想和研究过程见文献^[3],在此地质模型的基础上,进行结构面参数的反分析,结果自然近于实际.

在参数反分析中,为了避免传统位移反分析方法难以针对岩体控稳结构面进行精确反演的不足,引入了相对位移反演法,其结构面相对位移反分析基本思想见图 2.

在以上仿真概化地质模型的基础上,进行结构面参数的相对位移反分析,并从而进行岩体稳定性分析评价,其研究结果经受了工程实践的检验,成果令人满意.

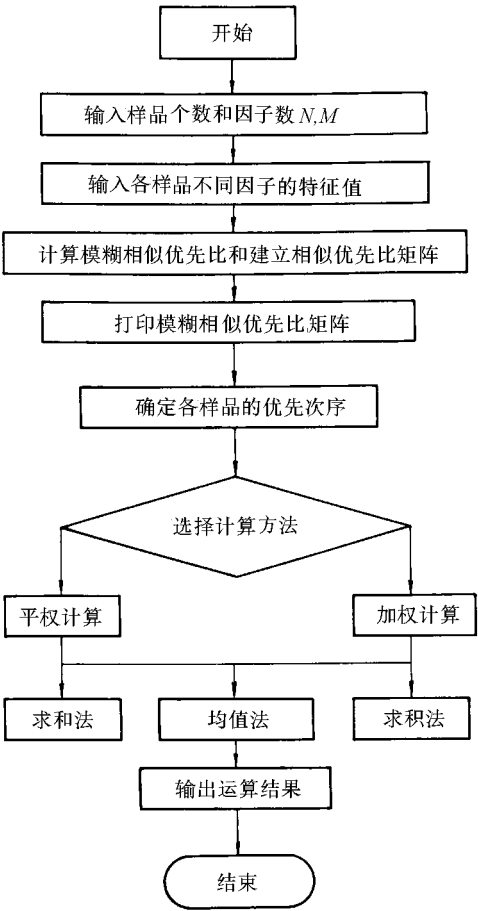


图 1 计算程序结构框图
Fig.1 Diagram of calculation program

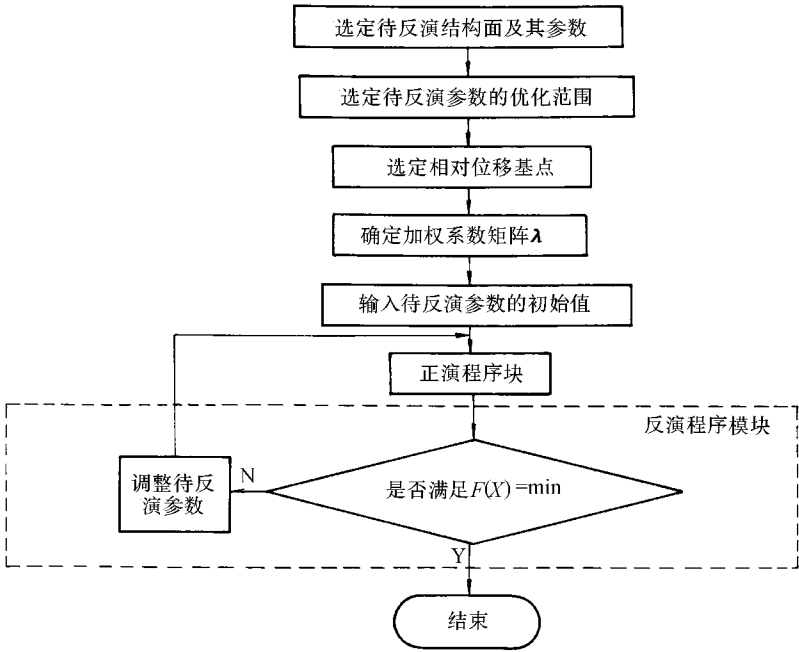


图 2 相对位移反分析基本思想框图

Fig.2 Diagram of back analysis of relative displacement

参加该工作的还有杜景灿、胡应德、伊颖峰 3 位研究生.

参 考 文 献

1 张勤. 模糊数学在工程地质类比中的应用. 河海大学学报, 1990, 7(4): 1~6
2 周维垣. 高等岩石力学. 北京: 水利电力出版社, 1990. 250~265
3 张勤, 厉渝生, 陈志坚等. 小浪底地下厂房围岩稳定计算地质模型的研究. 人民黄河, 1993, 7(7): 27~31

Geology Study on Mechanical Parameters Selection
in Joint Rock Mass Structure Surface

Zhang Qin Chen Zhijian Luo Zengyi

(College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098)

Abstract The selection of the mechanical parameters of the structural surface of joint rock masses is complicated but important. On the basis of deep analysis of the complexity and merits and demerits of each selection method and in consideration of a practical project, the determination of the most dangerous, controlling structural surface is introduced and the theory and method of selecting the mechanical parameters of the structural surface by the quantitative geology analogy and the relative displacement back analysis are given. The conclusion is that solid geological analysis is the most important basis in selecting the mechanical parameters of the structural surface. The interference energy method, the fuzzy theory and the relative displacement back analysis have been sucessfully used to the Xiao Lang Di Hydroproject and the Jiang Yin Bridge project.

Key words joint rock mass ; stability controlling structural surface ; quantitative geology analogy ; back analysis of relative displacement