

工程地质信息化设计及其在交通工程中的应用

唐辉明¹, 陈建平¹, 程新生²

(1. 中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074; 2. 交通部第二航务工程勘察设计院, 湖北武汉 430071)

摘要: 工程地质信息化设计是工程地质应用领域的延拓, 它对于工程设计的优化具有十分重要的作用。根据理论研究和工程实践, 对工程地质信息化设计中的基本问题进行了归纳总结, 论述了工程地质信息化设计的基本理论与方法, 提出了信息化设计的工作思路, 归纳分析了信息化设计中的数值模拟方法、岩体结构面网络模拟技术、GIS 集成技术及其关键技术问题与解决途径。以京珠高速公路湖北大悟段为例, 说明了工程地质信息化设计的工作过程和一条龙体制的优越性。

关键词: 工程地质; 信息化设计; 数值模拟; 岩体结构面网络模拟; 地理信息系统。

中图分类号: TU45 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2001)04-0331-05

作者简介: 唐辉明(1962—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 现从事地质工程、岩土工程的教学与研究工作。

工程地质学近年来在信息化设计方面取得了重要进展, 已初步形成理论与方法体系。特别是伴随大量复杂交通工程的出现, 边坡工程地质的理论进一步深化, 方法不断更新, 地质灾害勘察、设计、施工一条龙思想逐渐成型, 大大促进了工程地质信息化设计的发展。

传统工程地质的主要任务是为工程建筑提供必需的地质资料, 它不能直接参与设计, 更无法优化设计, 在复杂的工程地质条件下易导致地质与设计的脱节, 直接的危害便是工程事故、工程质量问题的出现或工程造价的提高。现代工程地质要求从工程设计的角度进行工程地质工作的布置、资料收集和资料更新。它要求工程地质直接参加设计, 有时以工程地质为主进行设计。工程地质工作贯穿于不同设计阶段及施工过程, 根据地质条件的不断反馈, 达到工程设计的优化。

工程地质信息化设计的两项重要技术是数值模拟与岩体结构面网络模拟, 它们的不断成熟与发展, 为信息化设计提供了重要保证。GIS 的运用使工程地质综合技术应用成为可能。

1 基本思路

边坡工程信息化设计过程可概化为图 1。工程地质信息化设计强调全过程地质与设计的协调、不同工作步骤的协调。其核心有二: 稳定性分析和设计过程模拟。稳定性分析主要应用于设计之前和加入治理工程结构之后, 两阶段缺一不可。模拟占有举足轻重的作用, 它相当于实际工程的“试验”。岩体结构面网络模拟技术起反馈的作用, 通过 GIS 集成进行

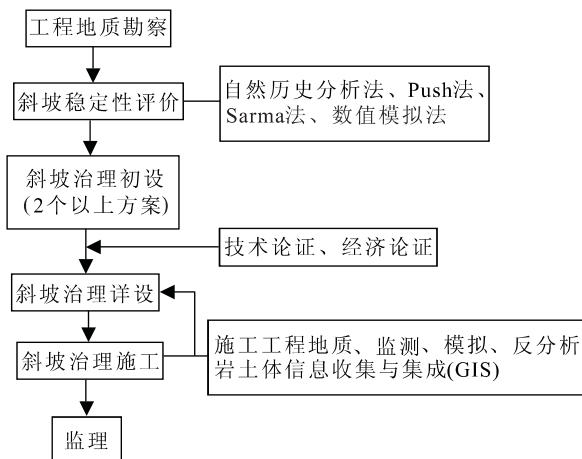


图 1 工程地质信息化设计过程

Fig. 1 Process of information design in engineering geology

决策支持。综上可见,设计是核心,预测是关键。预测的中心工作是工程地质分析,从而决定了工程地质信息化设计的重要地位。

2 数值模拟技术

近 10 多年来,随着电子计算机的广泛应用,解决工程地质问题的数值模拟理论和方法发展迅速。工程地质数值模拟方法的不断成熟和完善,使得解决的工程地质问题更加广泛,研究的课题更加深入。

数值方法的突出优点是能够较好地考虑诸如介质的各向异性、非均质特性及其随时间的变化、复杂边界条件和介质不连续性等复杂地质条件。它可将岩土体工程结构作为整体加以模拟仿真,通过“试验”取得最佳设计方案。

岩土体不同于一般固体力学研究的对象,有限单元法、边界单元法、有限差分法等均能成功地运用于均质或较均质岩土体问题。数值方法甚至可以通过方法本身的发展,如引入节理单元、增强非线性分析能力等手段,可分析含不连续界面和多介质的较复杂的岩土体的力学行为。但随着学科的发展和对岩土体认识的进一步深化,仅靠固体力学中常用的方法已不能满足工程地质、岩土力学数值分析的要求。显然,工程地质、岩土力学数值模拟问题比其他工程力学问题复杂得多,迫切需要建立更加简洁有效的新的数值方法^[1]。正是基于这一原因,新的数值方法一直是国际上研究的热点,近年来发展迅速。新出现的数值方法主要有:有限单元法中的节理单元法(joint element, JE)、块体理论(block theory, BT)、不连续变形分析(discontinuous deformation analysis, DDA)、快速拉格朗日法(fast Lagrangian analysis of continue, FLAC)、块体弹簧元法(BSM)、无网络伽辽金法(element free Galerkin method, EGM)和数值流形法。这些方法对于解决工程地质、岩土工程的特殊问题特别有效。

反分析技术是近年来岩土力学和工程地质领域中最重要进展之一,它已成为学科前沿热点课题。总体而言,反分析可分为应力反分析和位移反分析两类。由于反分析涉及复杂分析计算,它必须通过数值法求解。位移反分析是通过岩土体边界条件的确定和岩土体位移的实测,建立合适的计算模型,求取岩土力学参数,为优化设计提供可靠的依据。通过实测获得某些点的应力值资料,推测一定范围内应力

场的状况是工程地质研究中的一个很重要的内容,是工程岩体稳定性分析和优化设计必不可少的资料。通过应力的反分析,不仅可得到工程区地应力场的总体认识,而且可以获得工程岩体应力边界条件。

通过对岩土体变形破坏规律的模拟,可以分析其变形破坏的过程,评价其稳定性性状,并预测其未来变化^[2]。具体而言,可以解决两类问题:一是在已知边界条件和地质模型条件下的模拟再现,即通过模拟再现过去的发展历史,从而评价工程岩土体的稳定性现状,并在此基础上,通过对模型的时间延拓,预测其稳定性未来发展变化的趋势或失稳破坏方式;二是在边界条件及主导因素尚不甚清楚的条件下的模拟验证,即以不同的边界条件和主导因素建立数学模型,进行数值模拟,确定出对地质体变形破坏现状特征或演化阶段拟合得最好的模型,从而确定岩土体变形破坏的边界条件和主导因素,进而评价其稳定性。

通过施工过程中新揭示的岩土体地质特征和变形破坏规律,随时修正设计和施工方案是工程地质和岩土工程的重要发展趋势,对此岩体结构面网络模拟技术和数值模拟是实现这一目标的重要手段。工程地质数值模拟不是一个简单的“运算”过程,而是包含着从野外工程地质调查到室内试验研究、地质力学模型抽取、计算模拟和野外验证的全过程,它的可靠性和准确性在很大程度上取决于对地质原型认识的正确性。

3 岩体结构面网络模拟技术

岩体结构面网络模拟是按照一定的测量方法,以 Monte-Carlol 为原理,通过较少量结构面资料,推测岩体空间结构面分布特征。图 2 为某公路边坡根据精测线法获取的结构面资料模拟出的岩体空间三维结构面网络图。通过网络模拟,还可获取岩体各类几何参数,为工程设计提供资料。图 3 示出了岩体结构面线密度的分布特征。根据不断获取得岩体结构面信息,特别是根据施工过程中新的结构面资料,可以随时更新模拟成果,反馈修正设计。

4 GIS 技术

以 GIS 为平台,建立大型工程的信息库管理系

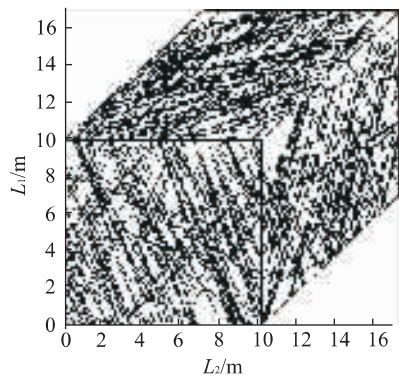


图 2 某工程岩体三维网络模拟成果

Fig. 2 3D simulation result of a rock mass in a railway engineering

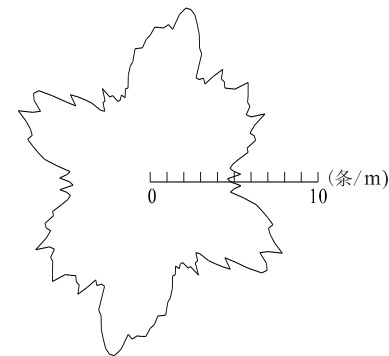


图 3 某工程岩体结构面线密度分布特征

Fig. 3 Distribution character of structural plane in a rock mass

统和广义决策支持系统,为工程设计提供综合手段(图 4)。实现系统信息化设计的主要优点是:(1)工程海量数据的迅速整理和不断更新;(2)分工专业的沟通联合;(3)工程分析判断的综合化;(4)信息化设计的实时化。

5 实例——京珠高速公路湖北大悟段高边坡工程

京珠高速公路是贯穿我国南北的主干国道,其湖北段穿越大悟县,分布有高 40~100 m 的岩体高边坡。该区地层岩性主要为元古宙片麻岩、片岩,断裂十分发育,岩体极为破碎。

5.1 设计思想

为了使得设计与实际结合紧密,采用勘察设计一条龙的工作思路,改变设计人员靠勘察单位提供勘察报告在室内进行设计的做法。

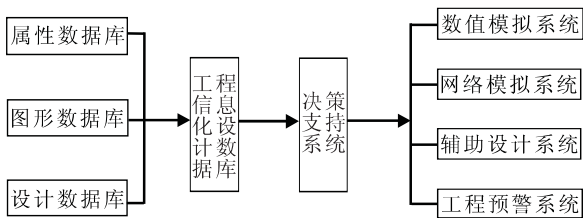


图 4 工程地质信息化设计的 GIS 框图

Fig. 4 GIS framework of information design in engineering geology

具体做法是:在工程地质勘查的基础上,进行边坡岩体稳定性分析。运用 Monte-Carlol 模拟方法,建立岩体边坡的几何模型。通过结构面力学实验、岩体物理力学实验、岩体 RMR 分类和 Q 分类,获得边坡稳定性计算的参数。在几何模型和物理力学参数确定的基础之上,采用 Sarma 法和剩余推力法对每条纵剖面在各种可能工况下进行稳定性验算,为加固方案论证提供可靠的依据。

显然加固设计的前提是符合实际的稳定性分析,但加固设计中十分重视边坡的开挖方法,因为开挖(爆破)与加固是矛盾的统一体,开挖方法不当将严重影响边坡的稳定性,因而在设计中同时规定了开挖方法并提出了开挖爆破参数。设计中提出了“信息化施工”的要求,即要求设计、开挖、加固、量测与信息反馈成为一个整体实施,从而达到设计和施工最优化。

5.2 边坡加固设计

根据边坡稳定性分析结果可知,K32 和 K34 段边坡沿线无论是自然坡还是开挖后的人工边坡都不存在整体滑移的可能,但由于岩体结构面发育,岩体较风化,产生局部破坏是难以避免的,尤其是当开挖方法或爆破方法不当时,局部失稳的现象将较严重,这是设计加固方法时应考虑的重点。

5.2.1 设计原则与加固方案 设计考虑了以下几个原则:(1)以边坡稳定性计算结果为设计依据,在开挖边坡总体稳定的前提下,对局部不稳边坡进行治理;(2)选择最优开挖边坡角度,使开挖与加固工程量最小,经济合理;(3)设计方案易于实施,施工简便易行;(4)加固措施与开挖方法和综合治水有机结合。

按此原则确定的总体加固方案如下:(1)按类比法分析,设计采用分层开挖与光面爆破、锚喷(网)加固、综合治水措施的三者一体的设计、施工总方案;(2)根据剩余推力法和 Sarma 法计算结果,K32 km

段边坡角为 55°,K34 km 段边坡角为 60°时,多数边坡地段处于稳定状态,不加固时的稳定性系数大于 1.25. 所以锚喷支护设计的目的是加固因边坡结构面的存在和因爆破应力波对坡表层产生的破坏而导致的边坡失稳. 所以,采用砂浆短锚杆,以锚为主,锚喷网结合的支护方案,以增大其稳定性系数. 对于局部稳定性系数较低的地段,采用增加锚喷网支护强度的方法提高边坡岩体的稳定性;(3)按类比法,分层开挖以台阶法开挖利于边坡稳定,故采用低台阶(台阶高度为 2.5 m)水平分层开挖法,即从上向下分台阶开挖,台阶边坡光面爆破,严格控制爆破对边坡的破坏与震动.

5.2.2 最优坡角的确定 边坡最优坡角从两方面确定,一是从稳定性方面分析,即分别按剩余推力法和 Sarma 法计算各边坡剖面的各种开挖坡角的稳定性系数,在满足有关规范要求(安全系数 ≥ 1.25)的条件下的最大坡角作为稳定最优坡角 $\alpha_{\text{优}1}$. 二是从经济方面分析,对边坡开挖而言,坡角越缓,边坡稳定性系数越大,支护量越少,但开挖量却越大;反之,坡角越陡,支护量越多,但开挖量越小,这里确定最经济坡角的关系如图 5 所示. 该最经济坡角可看成从经济角度考虑的最优坡角 $\alpha_{\text{优}2}$.

当 $\alpha_{\text{优}2} > \alpha_{\text{优}1}$ 时,取最优坡角 $\alpha_{\text{优}} = \alpha_{\text{优}2}$; 当 $\alpha_{\text{优}2} < \alpha_{\text{优}1}$ 时,取 $\alpha_{\text{优}} = \alpha_{\text{优}1}$.

设计确定经济最优坡角值,是采用国家相应定额预算分析确定的. 根据分析结果,在满足稳定性安全系数前提下,K32 段边坡的最优开挖坡角为 55°,K34 段边坡的最优开挖坡角为 60°.

5.2.3 锚喷支护参数的确定 设计采用素喷砼、锚喷和锚喷网 3 种支护类型,3 种支护类型的使用视边坡稳定性系数、边坡高度和坡角等因素确定. 设计

要求边坡加固必须紧随开挖,要求每挖完一层台阶,迅速加固其产生的边坡,防止边坡产生过大的位移变形.

(1)锚杆参数:①锚杆深度为 3 m,局部 6 m;②锚杆间距 2 m;③最大锚固力 31.2 kN;④锚杆孔径与直径分别为 40 mm 和 20 mm.

值得注意的是在确定锚杆深度和间距时,除按常规的类比法计算外,重点考虑了贯通结构面的间距和密度,目的是设计的参数更切合实际;在计算最大锚固力时,考虑了爆破破坏对结构面产生的松动,及加固不及时,受雨淋使结构面裂隙内充水等几种因素,结构面粘结力 c 忽略不计. 设计参数在 K32 段实施后,没有因锚杆参数的不当造成加固后的边坡滑移.

(2)喷砼与钢筋网参数:①喷砼厚度定为 10 cm,在稳定性系统较低的边坡定为 15 cm;②喷砼强度按要求定为 C20;③钢筋网格为 20 cm \times 20 cm.

设计喷砼的目的是防止表面岩体进一步风化及阻止局部小块岩石下滑,同时与锚杆共同作用,对边坡起表里共同加固作用,所以喷砼参数按类比法确定.

5.3 几点归纳

(1)设计步骤、方法正确,设计参数合理,完全达到经济、快速、最优化的要求,这说明加固施工图设计与勘察紧密结合,有助于选取合理参数;(2)在岩质边坡设计中,对边坡稳定而言,岩体结构面参数与特性比岩石物理力学特性更为重要,这是本次设计成功的关键;(3)对岩体结构面的 Monte-Carlor 模拟和对边坡使用计算机软件(Sarma 法和剩余推力法)进行稳定分析是一种快速而切合实际的方法;(4)岩质边坡加固设计的参数选取既要考虑岩体结构面特征和岩石物理力学参数,又要重视开挖方法与开挖参数,并在设计中确定重要的开挖参数,这样才能使设计参数更为合理.

6 结论

(1)工程地质信息化设计是在复杂地质条件下优化设计的必然要求,它要求工程地质工作贯穿于设计施工的全过程,按照一条龙的工作体制设置工作流程.(2)数值模拟方法是信息化设计的重要手段,它将岩土体结构体作为整体模拟,相当于实际工程的“试验”;通过反分析,它还可提供工程设计所需的应力和计算参数.(3)岩体结构面网络测量和模

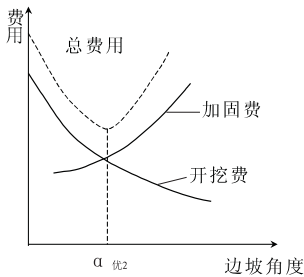


图 5 坡角与开挖、加固费用关系

Fig. 5 Relation between slope angle and engineering expensive

拟是工程地质超前预报和信息化设计的又一重要方法,它可为岩体结构面特征提供实时图像和几何参数.(4)通过 GIS 集成和广义决策支持系统的建立,可以实现工程地质信息化设计的实时化和综合化.

参考文献:

[1] Tang H M. A study on rock slope stability by the meth-

od of damage mechanics [A]. 8th international IAEG congress[C]. Rotterdam: Balkema A A, 1998. 1293—1298.
[2] Tang H M, Liu Y R, Hu X L. Stability and treatment of the front region of Huangtupo landslide in the reservoir areas of the Three Gorges Project, China. [A]. Landslides in research, theory and practice[C]. London: Thomas Telferd, 2000. 1437—1442.

INFORMATION DESIGN IN ENGINEERING GEOLOGY AND ITS APPLICATIONS IN COMMUNICATION ENGINEERING

Tang Huiming¹, Chen Jianping¹, Cheng Xinsheng²

(1. *Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*; 2. *Second Institute of Navigational Exploration and Design of MC, Wuhan 430071, China*)

Abstract: Information design in engineering geology (IDEG) is a new extension of engineering geology and is of very great significance for optimum design of rock and soil engineering. According to theoretical research and engineering practice, we put forward some theories of IDEG in this paper. The principles and methods of IDEG are introduced and the working steps of information design are deduced. The techniques used in information design, i. e. , the network simulation of fractures in rock mass, numerical simulation and geophysical information system (GIS) and key technique are discussed systematically. Finally, taking Dawu slope engineering of Jingzhu highway as an example, we have introduced the process and the steps of IDEG in detail , which shows that IDEG has many advantages in engineering operation.

Key words: engineering geology; information design; numerical simulation, network simulation of fracture in rock mass; geographic information system (GIS).