

边坡岩体力学分析中的系统科学方法及认识论问题

沈新普

内容提要 本文首先用系统观来认识复杂岩体这一岩石力学分析对象,考察了复杂岩体系统的特性。之后,以复杂边坡岩体为分析对象,对在复杂岩体的力学分析中引入系统科学的必要性以及如何引入、引入后对原有分析体系产生的影响等问题一一作了研究和论述。最后对引入系统科学后的岩石力学分析结果的评价作了分析和说明。

一、引言

岩石力学是研究岩石及岩石结构的力学性能与力学行为的学科,它以岩石为研究对象,以力学方法为基本分析手段,几十年来解决了大量的工程问题,获得了广泛应用。但是,随着岩石工程结构的日益复杂,岩石力学遇到了许多难以克服的困难,尤其是对复杂岩体如岩石边坡等的力学分析,所得结果与实际情况相去甚远,致使工程界很长一个时期以来一直以经验为主来指导复杂岩体结构的设计与施工。

科学研究是从问题开始的。现在的问题是:面对十分复杂的岩体结构,如何进行较为精确的力学分析,使力学分析的结果与实际情况相近?为了解决这个问题,许多岩石力学工作者作了大量的努力,但仍未有解决问题。计算技术和数值方法的发展曾使人产生极大的希望,但问题在多年的研究之后,没有太大的变化。近年来人们认识到系统科学方法的作用,开始用系统观点来观察和认识事物,用系统科学方法来指导问题的解决。本文首先用系统思想来重新认识复杂岩体这一岩石力学的分析对象,之后分析将系统思想与方法引入到复杂岩体的力学分析中产生的种种问题,并从科学认识论的角度来认识和评价力学分析结果中一定程度的模糊性。

二、用系统思想来观察和认识复杂岩体

系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分

结合成的具有特定功能的有机整体,而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。按照系统的这个定义,世界上的任何事物都可以看作是由要素组成的系统。

边坡岩体是一个存在于特定地质环境中的开放的复杂系统。之所以这样说,是因为边坡岩体具有如下特点:

1、边坡岩体是由许多相互作用的岩块通过结构面组合而成的。

2、边坡岩体是一个具有特定功能的有机整体,岩体的整体性能不是各岩块性能的简单迭加,整体性能与岩块性能有较大差异。

3、边坡岩体的构造是有层次的。一方面它包含有许多岩块;另一方面,它又被它所存在的地质构造所包含。

4、边坡岩体经历了年代久远的地质运动。结构内各岩层的分布以及岩层内节理、裂隙等分布不均匀,其构造具有一定的复杂性。

5、边坡岩体存在于地质环境中,不断地与外界有着物质的及能量的交换,因此是开放的。

对于边坡岩体这样一个复杂系统,无法采用经典的岩石力学分析方法对其进行行为分析。原因在于:经典的岩石力学建立在模型对原型的结构模拟之上,一般适用于分析确定型的、结构清晰的力学模型,大型复杂边坡岩体由于其构造的复杂性,难以弄清深部地质构造,因此对其构造的认识具有一定的模糊性;另一方面,由于岩体内材料性能分布有很强

的不均匀性,个别点上的材料性能参数与整体性能参数有很大的差异,这一点也给经典岩石力学分析方法的应用造成很大的困难。

三、复杂岩体系统的力学分析中系统方法的引入

本小节包括以下四个方面:1、系统方法的引入是必须的吗?2、如何引入?3、引入之后的岩石力学模型与旧模型相比有什么区别?4、引入之后的求解方法是全新的吗?下面按顺序对这四个问题进行分析讨论。

1、系统方法的引入是必须的吗?回答是肯定的,这是由岩石力学的特点及系统方法的功能所共同决定的。

岩石力学分析方法有两大类,一类是建立在物理模拟基础之上的分析方法即实验法,通过制作与实体相似的模型来研究原型的力学行为;第二类是数学模拟方法,通过建立数学模型运用数学工具来研究原型的力学行为。对于一个系统的数学模拟又有两种形式,一种是结构模拟,一种是功能模拟。这里有必要简略地阐述一下系统的结构与功能的含义及其相互关系。

系统的结构是指系统内部诸要素之间相互联系、相互作用的形式和方式;系统的功能是指系统整体与外部环境相互作用的关系。系统的结构决定功能,有什么样的结构就必然表现出相应的功能。但是功能对于结构有相对的独立性。有时组成系统的要素及结构都不同,但却具有相似甚至相同的功能;有时系统的结构相同,但却具有不同的功能(如多功能系统的不同功能态)。

常规的岩石力学解析与数值分析采用结构模拟的方法,对原型建立结构相似的模型进行力学分析,而结构模拟以系统的结构清晰为前提,因此结构模拟方法主要适用于简单结构。对于复杂边坡岩体这一天然系统,由于结构过于复杂,不均匀性等非理想特性较强,不但无法全部弄清其构造,就是其宏观材料特性也无法确切标定,因此不满足结构模拟的要求。

怎样解决结构模拟解决不了的复杂岩体系统分析问题?可以并且只有采用功能模拟的方法。由于系统的功能相对于结构具有一定独立性,给定一个系统的结构之后,采用一定的手段可以使设定结构具有与原型相似的功能。事实上功能模拟在许多领域已有了成功的应用,如人脑系统的模拟及心脏系统

等复杂系统的模拟就都是功能模拟应用的范例。因为在那里同样遇到了结构模拟方法不适用的问题。

2、然而边坡岩体系统又有它的特殊性,不能照搬已有的生物系统等复杂系统的模拟方法。在那里的模拟是纯粹的功能模拟,根本就不要求其结构相似(至少在目前如此),而边坡岩体系统的变形模拟就不宜采用完全的功能模拟,必须结合结构模拟的方法。为什么?这里的原因主要是,心脏等系统的原型是一个结构不变的系统,其模拟是对固定结构系统的功能模拟,而对岩石边坡,特别是露天矿边坡,由于变形是随着结构被不断开采剥离而发生的,变形前后的结构严格地说已经发生了变化(如边坡角变陡等),从而导致对于同样的外部作用两者的反应是不同的。

因此,对复杂边坡岩体系统的数学模拟应该是结构模拟和功能模拟相结合,而不是单纯的结构模拟或功能模拟。具体地说,在建立边坡岩体的力学分析模型时,对已知的结构变化即开采部分宜采取严格的结构模拟,对地表浅层以及其它已知构造应尽可能在模型中有所反映;对未知构造在作模型结构假定时,也应尽量结合已有的地质工程经验和勘探资料。只有这样,才能准确地建立原型的模型系统。

3、系统科学方法(功能模拟法)建立的复杂岩体的力学分析模型与传统的岩石力学分析模型相比,有如下不同:

①传统的分析模型必须与原型结构相似,不适用于复杂岩体系统的模拟;系统方法(功能模拟方法)建立模型时可以采用黑箱或灰箱方法,对于难以弄清的部分结构,可以不必分析系统内部的结构,只要使模型与原型总体行为和功能相似即可,并且,还可以通过简化功能的方法,使模型只模拟原型的部分功能。对于边坡岩体而言,目前人们最为关心的是边坡体的表面位移,在建立分析模型时,只要模型与原型的变形(位移)功能相同即可,这样主要矛盾得到了强调和突出,极大地提高了求解问题的效率。

②在经典的岩石力学分析中,模型只是一种认识原型的手段,而采用功能模拟方法建立的模型,模型本身就是研究目的之一。一方面,功能模拟的模型可以用来预测和研究原型未来的行为和功能,进一步认识原型的结构与功能的本质,详细了解岩体原型在施工条件及外部环境作用下的变形机制与行为规律;另一方面利用功能模拟方法建立的岩体模型,可以研究控制边坡岩体的变形所需采取的措施,这点对指导边坡岩体工程设计与施工尤其重要。

4、原有力学分析求解方法能够直接继承过来吗?回答是肯定的。因为引入系统方法之后的岩石力学模型仍然是确定型的数学模型,所需要的求解手段相应也是确定型的。因此,模型确定之后,求解手段没有改变。

四、复杂岩体力学分析结果的评价及其模糊性的认识论分析

由于在岩体的力学分析中引入了功能模拟的原理与方法,从而对问题的分析结果主要是与所要求的功能相对应的参数。边坡岩体的力学分析模型通常取为原型的变形功能等效模型,因此输出结果可以只包含变形值,解的“好”的标准体现在变形数值解与实测值在整体上趋势一致,数量上接近,而不以个别点的误差大小为标准。为什么这样说?原因之一是这样的解目前能满足工程需要,除此之外,主要是由于岩体系统的复杂性和一定的力学分析手段决定了了解的准确程度。为了详细说明这一问题,下面首先讨论一下解的精确度的含义及误差的来源。

精确度的含义有三个方面,一是准确度,二是精密度,三是正确度。其中精密度是由计算过程中的误差造成的,它体现了求解技术的水平;正确度是由系统误差决定的,反映了模型的正确程度;准确度则是精密度和正确度的综合,整体上反映了系统误差和随机误差的大小。构造清晰的结构,误差来源主要是计算手段产生的随机误差;构造复杂的结构的分析误差主要来自系统误差即模型与原型的距离,而模型误差主要来源于当前水平下人们对复杂系统认识上一定的模糊性。

所谓“模糊性”是指人们的认识中关于认识对象的类属边界及性态的不确定性。在岩体力学分析结果中一定的模糊性是合理的,这是因为:

1、研究对象的复杂性必然伴随着人们对其认识的模糊性,复杂性意味着结构多层次、多因素。当无法对各层次的全部因素都进行精确分析时,只有用模糊化思维对结构进行简化分析;另一方面,复杂性意味着因素间相互作用的多样性,即使各因素是清晰的,相互联系的错综复杂使得系统整体仍难以精确描述。

2、岩体的材料性能具有一定的不可知性,由于

岩体性能测试所得到的结果是扰动后的岩体系统与人为的测量系统之间相互作用的结果,测试手段对测试结果的影响随岩体的不同而有所不同,且无法明确确定和补偿,从而导致性能参数测试结果的不精确。

3、复杂边坡岩体力学分析的目的是为工程服务。对解的精确度的要求以能够提供判断所需的依据为准,追求计算值与实测值在每个点上过高的精确近似,不但对问题的解决意义不大,而且将导致计算量的急剧增加。对局部不均匀性等细节作合理地模糊化处理能极大地提高求解效率。

综上所述,在复杂岩体的力学分析中,一定的模糊性是合理的,科学的,而且由于边坡岩体的复杂程度高,其允许误差值应该合理地放宽。

那么,肯定模糊性存在的合理性是不是说引入系统科学方法之后的岩石力学分析的精度比以前降低了呢?回答是否定的,事实上在没有引入系统方法时,对复杂岩体的力学分析一直未曾获得过令工程界满意的结果,只有在引入系统科学方法之后,才实现了对复杂岩体系统比较精确的力学分析。之所以肯定模糊性存在的合理性,是由于以往对简单结构的力学分析结果精度很高,人们常常希望对岩体的力学分析也能够得到同样精确的结果。实践证明,由于复杂程度的不同,对复杂岩体系统的力学分析不可能得到类似于简单结构的力学分析结果的精度。

五、结束语

系统方法与力学方法的结合,给复杂岩体工程的分析提供了一个可靠的理论工具,为岩石力学的工程应用带来一个大发展。但是由于这方面的研究历史还很短,很多方面还不完善。在发展力学分析求解技术的同时,发展系统方法与力学方法、岩石工程实际三者相结合的实用技术具有十分重要的意义。

作者简介:沈新普,清华大学工程力学系弹塑性与计算力学教研室讲师,博士。

责任编辑:成素梅