

简论岩体的两类力学模型^{*}

钱向东 任青文 姜弘道

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

摘 要 连续介质模型和不连续介质模型是岩体的两类力学模型. 根据两类力学模型的适用范围并运用劳丹的科学合理性模式, 指出 两类模型不是对立的, 而是互补的. 今后应建立既能反映连续性又能反映不连续性的统一的岩体力学模型.

关键词 岩体力学 模型 连续性 不连续性

中图号 TU45

科学始于问题^[1]. 在水利水电、矿山油田、铁路交通、土木建筑以及国防工事等工程建设中出现了诸如坝基、边坡、地下洞室等一系列有关岩体强度、变形、破坏和稳定的问题. 对这些问题的研究, 促使了岩体力学的形成和发展.

回顾历史, 岩体力学的形成可以追溯到本世纪 20 年代. 岩体力学几乎与土力学同时诞生, 但与土力学相比, 岩体力学的发展显得比较缓慢, 特别是在 50 年代以前, 几乎是停滞不前. 其主要原因在于, 早期的岩体力学视岩体为连续介质, 采用材料力学或弹性力学的方法来处理岩体力学问题, 而人们对于天然岩体的计算模型即力学模型一直存在着疑问和矛盾, 既怀疑连续介质模型的合理性和有效性, 又没有别的可行的方案. 可以说, 早期的岩体力学实质是关于岩石或者岩块的力学. 40 年代后, 特别是在马尔帕塞大坝等工程失事的惨痛教训的影响下, 人们开始寻求能够考虑岩体裂隙性质的计算模型, 建立了各向异性的等效连续介质模型, 解决了一大批岩体工程问题; 从而使岩体力学进入了第二个发展阶段. 在这一阶段中, 以 L. Müller 为代表的奥地利学派起了很大的作用, 他们注重岩体力学性质的尺寸效应, 把关于岩块的力学拓展到了关于岩体的力学^[2]. 60 年代以来, 随着计算机及计算技术的发展, 一方面, 由于各种数值方法(特别是非线性有限单元法)的引入, 使等效连续介质模型的解题规模和效率不断提高, 并且能够模拟岩体中断层、节理等结构面^[3,4]; 另一方面, 随着各种岩体结构形式的揭示及块体理论、离散单元法的创立, 形成了岩体力学的不连续介质模型, 并使之从理论研究逐步进入工程应用. 一般认为, 这一阶段是岩体力学的第三个发展阶段.

纵观岩体力学的 3 个发展阶段, 其过程是 连续介质模型→等效连续介质模型→不连续介质模型. 若把前两者合归为连续介质模型, 则可将岩体的力学模型分为连续介质模型和不连续介质模型两大类. 在现阶段的岩体力学体系中, 两大模型依然并存, 一部分学者片面强调连续介质模型的有效性, 另一部分学者则片面强调不连续介质模型的合理性, 但都无法完全解决岩体工程中的所有问题. 因此, 关于岩体的“科学抽象”——力学模型的讨论也尚未终结. 本文试图从岩体的地质特征和力学行为, 结合科学哲学之科学合理性模式讨论岩体的力学模型.

1 岩体的力学模型

岩体是一种具有多种结构形式的结构体, 其力学行为具有明显的结构效应. 不同结构形式的岩体在不同的环境应力状况下表现出连续性的或不连续性的力学介质特性. 因此, 在建立岩体的力学模型时必须根据岩体的结构特征, 选用合适的力学介质模型.

孙广忠^[5]把完整岩体、碎裂岩体、块裂岩体、板裂岩体分别抽象为连续介质、碎裂介质、块裂介质、板裂介

收稿日期: 1997-11-28

第一作者简介: 钱向东, 男, 副教授, 主要从事水工结构力学及岩体稳定性研究.

^{*} 水利部重点基金资助项目(95371623).

质,把散体结构岩体视其碎屑的粗细和赋存应力的_{高低抽象为连续介质或碎裂介质。实质上,碎裂介质、块裂介质、板裂介质仅是岩体结构的物理形式,而不是岩体的力学介质形式,它们的力学介质形式可以进一步抽象为不连续介质。因此,岩体的力学模型不仅应能够模拟介质的连续性,更应能够考虑或模拟介质的不连续性。}

平衡条件、物理条件、几何条件,或者说平衡方程、物理方程、几何方程,是力学理论的基本条件或基本方程。平衡方程表示的是力与力之间的关系,它是一种普遍存在的关系,与所描述对象的物性形式和几何形式无关。而物理方程表示的是应力与形变之间的关系,几何方程表示的是形变与变形之间的关系,它们分别可以考虑岩体本构关系的不连续性和岩体物质的空间分布及变形的不连续性。合理的岩体力学模型应在物理方程和几何方程中考虑岩体的不连续性。

等效连续介质模型和不连续介质模型是目前岩体力学中并存的两大模型。两者均反映了岩体的不连续性,但对岩体的不连续性的处理方式是不同的。

等效连续介质模型是从早期的连续介质模型发展而来的,它以业已成熟的连续介质力学为理论基础,把岩体的不连续性进行概化、等效处理,采用大尺寸试件试验或野外原位试验确定岩体力学指标,建立具有不连续性的岩体本构关系,从物理条件上考虑岩体的不连续性。它适应的岩体结构形式有完整结构,高围压下的散体结构和碎裂结构,不涉及屈曲破坏的板裂结构。目前常用的解题方法为有限元和边界元等数值方法。该模型不在结构形式上追求对实际岩体结构的仿真,而是在力学行为上力求与实际岩体等效,通过试验把影响岩体力学行为的诸多因素综合等效地体现在表征连续介质力学行为的本构关系和力学指标中。特别地,采用有限单元法求解时,通过夹层、节理单元的引入,也可以模拟主要结构面的几何存在和物理特性。

不连续介质模型是从刚体极限平衡理论和散粒体力学发展而来的。它充分认识到岩体是由被结构面切割而成的岩块或岩粒组成的。抛弃经典的连续介质力学理论,根据岩体的结构形式及结构面性质直接建立岩块或岩粒的平衡方程或运动方程,从几何条件上考虑岩体的不连续性。它适应的岩体结构形式有块裂结构,低围压下的散体结构、碎裂结构。目前常用的解题方法为赤平投影法、块体元法和离散元法等。该模型追求在结构形式上仿真实际岩体结构,分别处理岩体结构面和结构体,把结构面当作联结结构体的纽带或分割结构体的界面。在充分把握结构面分布及其物理力学性质的情况下,它是比等效连续介质模型更逼近真实情况的岩体力学模型。

2 两种模型的合理性评说

根据著名的现代科学哲学家 L. 劳丹的科学合理性模式^[5],科学的目的是追求最能解决问题的理论,而评价科学进步或选择理论的标准也是看理论解决问题的有效性或能力。也就是说,科学的进步就在于后继理论比前驱理论能解决更多的问题。因此,要评价两种岩体力学模型的合理性,就要搞清楚研究岩体力学的目的,分析两种模型与这一目的的接近程度。

众所周知,研究岩体力学的目的在于解决岩体工程中有关岩体强度、变形、破坏和稳定的问题。早期的理想连续介质模型之所以被认为是不合理的模型,就是因为绝大部分岩体不满足连续性要求,用这种模型解决岩体力学问题成效甚少。随后发展的等效连续介质模型保留了理想连续介质模型能够解决完整岩体或在某些条件下满足连续性要求的岩体问题的能力,并且还能较好地解决高围压下的散体结构、碎裂结构、断续结构等岩体的问题以及部分板裂结构岩体的问题。不连续介质模型能够解决块裂结构岩体以及低围压下散体结构、碎裂结构、断续结构等岩体的问题。

从解决问题的能力方面来看,尽管不连续介质模型能够有效地解决块裂结构岩体问题和等效连续介质模型不能解决的低围压下散体结构、碎裂结构、断续结构岩体的问题,但它并不适合解决完整岩体的问题,在现阶段,对板裂结构岩体的问题也还是无能为力。可见,不连续介质模型并未完全包含等效连续介质模型,它并不比等效连续介质模型能够解决更多的问题。因此,两个模型之间不存在一个比另一个进步的问题,至少目前的状况是如此。

另一方面,连续与不连续不是两个绝对的或不变的概念,而是相对的、具有尺度意义的,且是可以相互转换的。所谓连续仅是一种理想化的定义,世界上根本不存在绝对连续的事物,即使原子与原子之间、电子与电子之间,也存在一定的间距。因此,所谓完整连续的岩体只是表明在工程尺度上其内部没有明显的结构面而

已.连续是不连续的特殊情况,不连续是连续的极端情况,并且在受力过程中连续介质可以转换为不连续介质.同样,不连续介质也可以转换为连续介质.所以,在岩体力学的研究中不应将连续介质模型和不连续介质模型对立起来,而应该扬两者之长,避两者之短,根据具体工程问题中岩体的结构形式、受力状况和受力过程,选用合适的、最能解决问题的力学模型.

3 结论与展望

通过以上分析,可以得出以下结论:

- a.岩体是有结构的,在不考虑环境因素的前提下,其力学行为受其结构形式、结构面性质、结构体性质的控制.
- b.岩体的结构性导致了岩体力学行为的不连续性,岩体力学模型必须反映这种不连续性.
- c.具体研究时究竟采用不连续介质模型还是等效连续介质模型,应视岩体的结构形式和加载条件而定.
- d.就目前解决问题的能力来看,不连续介质模型并不比等效连续介质模型更优越,两个模型有各自的适用范围.

问题不仅是科学研究的起始,也是科学探索的目标和恒久的动力^[1].尚未解决的老问题和不断出现的新问题将推动岩体力学蓬勃发展.随着岩体力学的试验技术和计算方法的不断发展和更新,岩体力学也将不断完善并最终建立起既能反映连续性又能反映不连续性的统一的岩体力学模型,以适应更多的岩体结构形式,解决更多的岩体力学问题.可喜的是,近年来在这方面的研究工作已经取得了进展,提出了能够兼顾岩体连续与不连续两类性质的计算模型和计算方法^[7~11].

参 考 文 献

- 1 丁长青,伍正亮.科技方法.南京,南京出版社,1993.16~33
- 2 米勒 L 主编.岩石力学.李世平,冯震海等译.北京:煤炭工业出版社,1981.1~12
- 3 陶振宇.岩石力学的理论与实践.北京:水利电力出版社,1981.231~247
- 4 Goodman R. Methods of geological engineering in discontinuous rocks. West Publishing Company, 1976.300~368
- 5 孙广忠.岩体结构力学.北京:科学出版社,1988.23~57
- 6 林超然.现代科学哲学教程.杭州:浙江大学出版社,1988.243~272
- 7 卓家寿,赵宁.不连续介质静、动力分析的刚体-弹簧元法.河海大学学报,1993,21(5):34~43
- 8 任青文.块体单元法及其在岩体稳定分析中的应用.河海大学学报,1995,23(1):1~7
- 9 张雄.不连续介质力学分析的块体-夹层模型.力学学报,1997,29(3):323~331
- 10 Shi Gen-Hua. Numerical manifold method. In: Shi Gen-Hua eds. Proc Of IFDDA'96. Berkely California: Tsi Press, 1996.52~204
- 11 周维垣,杨启琼,剡公瑞.流形元法及其在工程中的应用.岩石力学与工程学报,1996,15(3):211~218

Comments on Two Kinds of Mechanical Models of Rock

Qian Xiangdong Ren Qingwen Jiang Hongdao

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

Abstract Continuum model and discontinuum model are two kinds of mechanical models of rock. On the basis of the application scope of the two kinds of models and L. Laudan's rationality model of science, it is shown that these two kinds of models are not conflicting but complementary. The further development in mechanical modelling of rock should be the establishment of a unified model in which not only continuity but also discontinuity of rock are considered.

Key words rock mechanics; model; continuity; discontinuity