



岩体力学的进展——岩体结构力学

孙广志

(中国科学院地质研究所 北京 100029)

提 要

本文论述了岩体变形、岩体破坏及岩体力学性质主要受岩体结构控制的理论，“岩体结构控制理论”是岩体力学基本理论，提出了关于岩体结构力学的系统观点和理论。

一、引 言

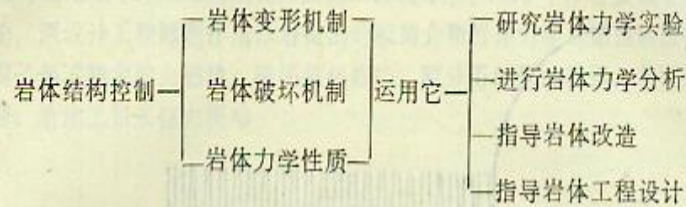
岩体力学是解决土木工程、矿山工程、国防工程建设中存在的岩体工程问题的基础理论。随着人类向地下深部进军大趋势的到来，岩体工程类型愈来愈多，规模愈来愈大，其安全和经济愈来愈受到关注，对岩体力学的需求愈来愈迫切，岩体力学已经受到国内外广泛重视，出版了许多专著、论文和教科书，但是工程界仍感到已有的岩体力学理论解决实际问题的能力很低，作者认为原因有两条：

(1) 岩体力学研究与地质研究脱节。

(2) 已有的岩体力学理论不能反映岩体力学的真实规则；已有的岩体力学理论是从材料力学和土力学移植过来的，实质上是连续介质力学，不符合岩体的地质实际。

岩体是经受过变形、遭受过破坏、具有多种不连续结构的地质体，岩体力学是研究环境应力改变时岩体产生再变形、再破坏的规律、理论和应用的科学，这两个再字非常重要，这两个再字才是岩体力学特点，这两个再字是严格地受岩体结构控制着，即岩体结构控制着岩体变形、岩体破坏、岩体力学性质。据此，作者于1984年提出了“岩体结构力学效应”是岩体力学的力学基础，“岩体结构控制理论”是岩体力学的基础理论。

如下面的框图所示，“岩体结构控制理论”有两个层次，第一个层次是岩体结构对岩体变形、岩体破坏、岩体力学性质规律控制，这是岩体结构力学基础理论，是岩体结构力学的核心，第二个层次是应用，应用这三个基础理论去实际问题。显然，岩体力学的核心理论是“岩体结构控制理论”，解决岩体力学问题的基本方法是岩体结构分析方法和结构力学分析方法。据此，著者将阐述这一理论的专著命名为《岩体结构力



学》，下面是作者建立的岩体结构力学具体理论。

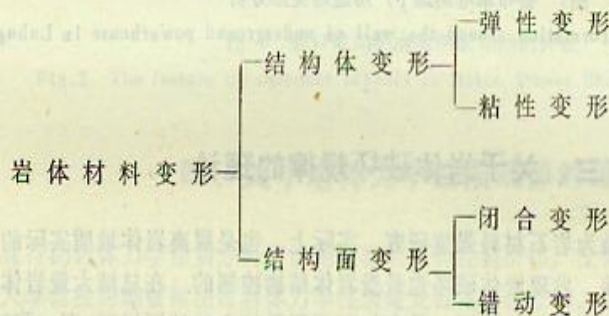
二、关于岩体变形规律的理论

已经不少人研究过岩体变形本构规律，但是，大多数研究结果脱离岩体地质实际，作出来的结果不好用。作者经过多年研究和实践，发现岩体变形系由岩体材料变形和岩体结构变形共同贡献的。

岩体变形机制

岩体变形 = 岩体材料变形 + 岩体结构变形

$$U = U_m + U_s$$



岩体材料变形系由结构体弹性变形、结构体粘性变形、结构面闭合变形、机构面错动变形四种成分构成的。根据这一方案，作者对岩体材料变形进行了系统的研究，针对着岩体地质特征的不同，给出了 17 种岩体材料变形模型和本构方程。同时对岩体结构变形规律也进行了基础性研究，提出了 4 种岩体结构变形本构规律。这就是软弱结构面滑移变形规律、软弱夹层挤出变形规律、块状结构体转动变形规律和板状结构体弯曲变形规律。这样，作者为岩体变形分析提供了理论基础。然而，目前岩体变形分析大多还是把岩石材料变形当作岩体变形。所以，变形理论分析结果与实际观测结果相差十分悬殊。图 1 是作者 1986 年做的鲁布革电站地下厂房边墙变形分析实例。设计时根据胡克法则计算得地下厂房边墙变形为 0.19mm，而实际变形观测结果为 22.5mm，相差达 100 倍以上。利用作者提出的板裂结构岩体力学理论计算得洞室边墙岩体结构变形达 22.7mm，且岩体内部产生了开裂。这与实际观测结果十分相符。这表明仅用胡克法则分析岩体变形是不行的。

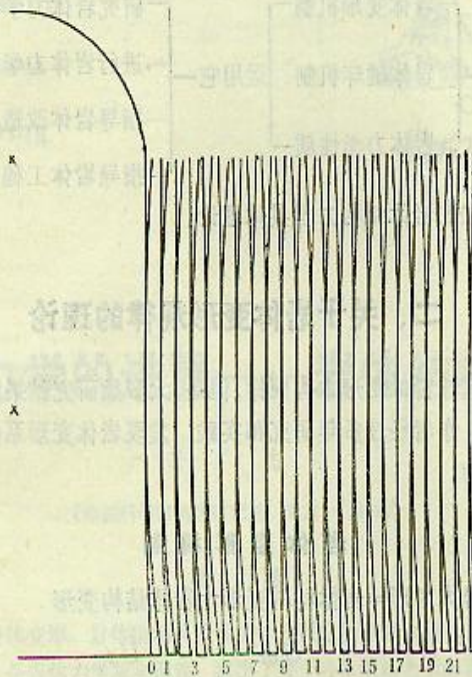


图1 鲁布革电站地下厂房边墙变形分析

Fig.1 Analysis of deformation around the wall of underground powerhouse in Lubuge Power Station

三、关于岩体破坏规律的理论

很多人把这个问题做为岩石材料强度研究,实际上,也是脱离岩体地质实际的。作者根据多年的研究和实践,发现岩体破坏也是受岩体结构控制的。在总结大量岩体破坏资料基础上,发现岩体在其结构控制下,具有如下表所示的七种破坏机制;即:张破裂、剪破坏、结构体滚动、结构体沿结构面滑动、倾倒破坏、溃曲破坏、弯折破坏。相应地作者给出了七种破坏判据,批判了单一库伦莫尔破坏判据片面性的错误,建立了岩体破坏判据体系。这一论点得到了广泛实践的验证。图(2)所示为碧口电站引水隧洞的一个实例。这个隧洞通过的岩体具板裂结构,设计是用库伦莫尔准则进行了稳定性分析。

表1 岩体破坏机制

Tab.1 Fracture mechanism of rockmass

岩体结构类型	完整结构	碎裂结构	板裂结构	块裂结构
破坏机制	1. 张破裂 2. 剪破坏	1, 2. 结构体破坏 3. 结构体滚动 4. 结构体沿结构面滑动	5. 倾倒破坏 6. 溃曲破坏 7. 弯折破坏	4. 结构体沿结构面滑动

结果是可以建成 12.9m 的引水洞,而施工时破坏了,1985 年作者发表了板裂介质岩体力学理论,原设计工程师利用作者提出的板裂介质岩体力学理论重新进行分析,结果是这个洞子是不稳定的,显然,破坏是必然的,原分析结果的错误,导致该工程长时间停工处理,给施工带来巨大困难

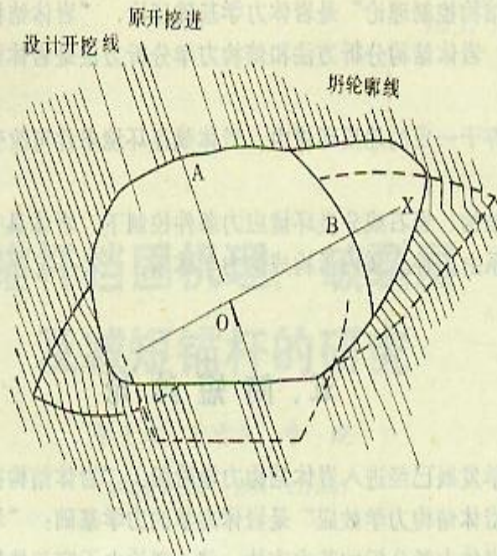


图 2 碧口电站引水隧洞破坏后的特征

Fig.2 The feature of aqueduct tunnels in Bikou Power Station after failure

四、关于岩体力学性质规律的理论

现行的岩体力学性质分析方法是试验结果加经验折扣,没有理论,七十年代中期,鲁尔大学教授约翰曾提出过岩体力学性质是受岩体结构控制,因为他没有掌握岩体结构力学效应规律,他没有解决这个问题,作者经过多年研究和实践,发现岩体力学性质结构效应可概括为三个法则,即爬坡角效应法则、尺寸效应法则、各向异性效应法则,从而为岩体力学性质分析提供了理论基础。

通过岩体变形、岩体破坏、岩体力学性质规律的研究,作者发现岩体力学基本规律的的确是受岩体结构控制,故于 1985 年明确地提出了“岩体结构控制理论”是岩体力学基础理论,这一发现使作者建立了岩体结构力学理论体系,同时,作者在应用方面也做了一些研究,如在岩体力学分析方面,作者提出了将岩体划分为连续、碎裂、块裂、板裂四种力学介质,并对各类介质岩体力学分析方法进行了深入的研究,从而完成了完整的岩体结构力学体系;还对岩体改造原理进行了基础性研究,使岩体结构力学理论更加好用。

综合前人研究结果及作者的研究结果,作者将岩体力学核心内容归纳为如下五条,这五条可以称为岩体结构力学基本原理或者称为岩体力学基本定理:

(1) 岩体是经受过变形, 遭受过破坏, 由一定的岩石成分组成, 具有一定的结构和赋存于一定的地质环境中的地质体。岩体力学是研究环境应力改变时岩体产生再变形和再破坏规律、理论和应用的科学。

(2) 岩体在结构面控制下形成自己独特的不连续结构。岩体结构控制岩体变形、破坏、及其力学性质。岩体结构对岩体力学的控制作用远远大于岩石材料的控制作用。

(3) “岩体结构控制理论”是岩体力学基础理论, “岩体结构力学效应”是岩体力学的力学基础, 岩体结构分析方法和结构力学分析方法是岩体结构力学研究的基本方法。

(4) 岩体赋存于一定的地质环境中, 岩体赋存环境条件可改变岩体结构力学效应和岩石力学性能。

(5) 在岩体结构、岩石成分及环境应力条件控制下, 岩体具有多种力学介质和力学模型, 岩体力学系由多种介质力学构成的力学体系。

五、简短结论

今天岩体力学发展已经进入岩体结构力学阶段。“岩体结构控制理论”是岩体力学的基础理论; “岩体结构力学效应”是岩体力学的力学基础; “岩体结构分析和结构力学分析方法”是岩体力学分析的基本方法。这一理论由于它与地质密切相结合, 不仅有用, 而且好用。

参 考 文 献

(1) 米莉, L. 《岩石力学》, 煤炭工业出版社, 1981。

(2) 孙广忠, 《岩体结构力学》, 科学出版社, 1988。

ADVANCE IN ROCKMASS MECHANICS—ROCKMASS STRUCTURAL MECHANICS

Sun Guangzhong

(*Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing 100029*)

Abstract

In this paper, the author has proposed that the deformation, failure and mechanical properties of rockmasses are mainly controlled by the structure of rockmasses and that the theory of rockmass structural control is a fundamental theory in rockmass mechanics, and presented a set of systematic concepts and theories of rockmass structural mechanics.