

岩石记忆 与开挖理论

于学馥 等著

北京)

冶金工业出版社

79366

0079366

国家自然科学基金资助项目

高等学校博士学科点基金资助项目

岩石记忆与开挖理论

于学馥 于 加 徐 骏

葛树高 马燕合 著

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

简 介

开挖理论是指岩土(地层)开挖工作面是动态的,每开挖一步,工作面(结构)变动一次,前次开挖对以后各次开挖都产生影响。工程过程稳态平衡控制理论,也是工程中岩石材料应力记忆过程的研究理论。该理论是开挖高技术科学发展的基础理论。

本书论述了(1)岩石材料记忆理论;(2)开挖过程稳态平衡机理;(3)开挖系统控制理论简易计算方法与算例一则。

本书为从事采矿与其他各种岩土工程、工程地质、力学等工作者的科研、设计、生产人员必读书籍,亦为有关高等院校教师、研究生、大学生必读读物和教科书。

岩石记忆与开挖理论

于学馥 于加 徐骏

葛树高 马燕合

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北里39号)

新华书店总店科技发行所经销

昌平环球印刷厂印刷



*

850×1168 1/32 印张 5.375 字数 138 千字

1993 年 8 月第一版 1993 年 8 月第一次印刷

印数 00,001~ 1200 册

ISBN 7-5024-1189-5

TD·192 定价 7.00 元

著者的话

作者提出来的开挖理论是根据：(1) 岩石属记忆材料；(2) 开挖属事物科学概念内涵不确定的系统问题；(3) 工作面是变动的，每开挖一步，系统结构变动一次，在岩石具有记忆性的条件下，各次开挖的应力（变形）都具有记忆，前次开挖对以后各次开挖都具有影响，岩石的力学行为不仅取决于现时的应力状态，也取决于全部工程过程的应力历史；(4) 开挖系统是个具有自组织、自我调节能力和突变特点的动态过程和稳态平衡问题。本理论是建立在热力学中的能量积累与耗散的基础之上，以及工程与地质必须相融合，引入了现代系统、信息、控制、功能、突变、智能、优化、离散、模糊等理论综合、交叉形成的。在科学方法中运用了结构、功能相结合的研究方法，从功能（干什么）方法的研究中来提高对原始状态模糊不清的结构（是什么）的认识。开挖系统的智能控制既需要控制理论依靠数学模型进行定量分析，又需要人工智能（与知识工程）依靠经验、感性、理性、专业、常识等知识的知识模型进行定性分析。开挖技术运用人工智能与控制理论相结合的研究方法，既是工程实际的需要，也是科学发展的必然。这是作者在金川十年（1978—1989）矿山生产与理论分析实践过程中获得的知识，并形成了本理论。实践证明，没有生产中不断认识、启发、改进和模拟仿真，生产实际与工程模型的建立是十分困难的（仿真模型是功能上的模拟）。

此外，在本理论的建立中，是老中青相结合，在作者的指导下，十年中先后曾有博士生 17 人，硕士生 16 人，在不同层次和不同程度中参与了工作，这对科学的发展和理论的提高十分有效。忽视了这一环节，本理论也是难以形成的。举一个例子，作者曾试图不以力学理论与方法为主，而运用数学方法，特别模糊系统

方法解决开挖技术理论的定量研究问题，在汪培庄等教授的协助下，有 5 个博士生探索了这条道路，研究结果表明，最后的安全系数的识别还是困难的。这是作者在本理论形成过程中的点滴花絮。

在开挖技术理论研究中，这一力学理论与方法的变革的科学性、实践性、新思维性和哲学性等都是很强的。从而使开挖技术科学从封闭、简单、静态结构分析进入了开放系统行为稳态平衡的动态分析领域。好比猎犬抓狐狸，如狐狸不动，猎犬可以很方便地作出决策把狐狸抓到；但实际上狐狸很狡猾，千方百计地逃避猎犬的追捕，这样猎犬必须根据狐狸的目标变化而不断地变换自己的动作。这是一种控制过程，猎犬必须依靠正、负反馈不断地调节自己的行动来捕获狡猾的狐狸。在系统结构初始状态无法掌握的条件下，功能研究方法仍然能够帮助人们利用和改造世界。本著作强调了结构与功能结合的研究方法，使“黑箱”方法发展为“灰箱”或“白箱”方法。解决这些问题首先要变革传统思维方式，作者在文献 [11] 和 [12] 中强调了系统、不确定、反馈和全方位思维方式，是十分必要的。全方位内涵很多，其中包括不同的学术观点不是相互排斥，而是互相补充、交叉，共同提高。这是当代科学发展的重要标志。

此外，本著作及其理论形成与发展中涉及到了金属材料记忆问题。本来金属材料记忆的内涵是指温度与形状的记忆，作者等人把它的内涵扩展为：金属材料的记忆不仅指温度与形状的记忆，也具有应力历史记忆，这为在动载荷条件下研究金属破坏机理打下了基础。

中国地质大学（北京）于加和北京有色金属研究总院徐骏参加了本著作有关金属和岩石材料记忆问题的研究和写作工作。书中最后一章的算例是博士研究生葛树高计算的，也是作者与他向金川龙首矿提出的科研报告中的部分内容。软化判据是他的硕士论文工作。此外，也引用了博士研究生马燕合论文中的部分内容。最近十年科学发展十分迅速，作者从 50 年代末发表的《轴变论》

开始到本著作的六本书中，见文献 [11] ~ [15]，前后都是连贯的，但是内容中每本都有较大变化，这反映了作者在世界高技术发展中学术思维的变化过程，但都是初步的和不够完善的，有错误之处在所难免，请读者指正，并希望随着科学的迅速进步大家联合起来，共同开拓入地科学和发展开挖技术的理论研究工作。

由于时间所限，本课题的研究尚欠深入，建议在今后的工程实践中更进一步深化这方面的研究。

此外，本著作的完成与参加中国科学院地质研究所工程地质力学开放研究室学术委员会的工作分不开。该室专家荟萃，青年学者思维敏捷，学术空气浓厚、自由，扩展了作者的学术思路，才得以在古稀之年完成本专著。为此，特将本书献给该开放实验室，相互交流学术观点，共同促进工程地质力学与岩石力学学科的发展。

于学馥

1992年8月

于北京科技大学

目 录

第 1 章 总论	1
1-1 开挖理论基本内容及其特点	1
1-2 开挖技术发展的突破口	7
1-3 实现突破口的首要问题是思维方式的变革	14
第 2 章 岩石材料记忆理论	18
2-1 非生物记忆智能化	18
2-2 环境条件与岩石材料力学属性的关系	21
2-3 岩石材料的记忆问题	25
第 3 章 开挖系统控制论	44
3-1 基本原理	44
3-2 开挖系统控制论的哲学问题与方法论	47
3-3 轴变论与开挖空间的自我调节机能	49
3-4 多空间开挖系统岩层移动与控制	61
3-5 开挖的系统特征	66
3-6 开挖系统结构特征	67
3-7 开挖系统功能特征	69
3-8 开挖系统动态原则	70
3-9 开挖系统的优化原则与决策	72
第 4 章 开挖系统控制理论简单分析方法及其分析实例	78
4-1 开挖系统控制理论简单分析方法	78
4-2 开挖系统控制理论分析实例	83
4-3 岩石应力软化稳定系数	88
4-4 理想全充填时计算结果中的某些特征	97
4-5 充填 3/4 的采场应力分析	104

4-6	充填 3/4 的采场稳定性识别	128
4-7	下向六角形进路胶结充填不接顶的 浅部采场稳定性分析.....	132
4-8	三个不同中段采场的稳定性综合分析	134
4-9	上部中段有充填体影响的下部采场稳定性分析	146
4-10	下向六角形进路胶结充填不接顶的深部采场 稳定性分析.....	154
4-11	总结论和建议	155
参考文献.....		158

第 1 章 总 论

1-1 开挖理论基本内容及其特点

开挖理论包括以下三个内容：(1) 岩石材料记忆理论；(2) 开挖系统控制理论；(3) 开挖系统控制理论简单分析方法。这些理论是由 50 年代作者提出的“轴变论”结合现代科学系统论、信息论、控制论以及其它交叉学科综合发展出来的。由于开挖技术基础理论，特别在力学理论和稳态平衡定量化分析方法方面没有得到必要的解决，至今入地科学和开挖技术未能进入现代化新技术领域。开挖生产技术落后，全球各地由于岩石工程和开挖而引起的灾害层出不穷，时有发生。生产安全无保障，开采困难，矿石资源丢失率达 50% 左右，其中包括石油资源。

从道理上说，“上天”应当比“入地”更难。但是，人已登上月球（跳出地球看自己）；航天空间站（天上人间）已实现；航天飞机（天、地之间的桥梁）已架起；空间探测器（探索星球秘密的眼睛）已飞向太阳系除冥王星以外的其它八大行星。所有这一切的关键在于上天科学的必要基础理论得到了很好地解决。

当前航天技术中两大新技术领域（大系统的稳定性和空间飞行器姿态动力学）发展的重要基础理论之一是“运动稳定性”的理论研究与应用。随着系统科学的发展，以及越来越广泛地应用于各种系统控制问题之中。作者引用了这种理论，并把它应用于入地科学和开挖技术系统之中。它是开挖技术中重要的基础理论之一，并获得了有效的成果。

航天技术是天文学与运动稳定问题。同样，入地科学和开挖技术也不完全是静力学稳定问题，作者认为，它是地质学、工程学和稳态平衡的动态过程问题，同样可以引用俄国数学家和力学

家 A. M. 里雅普诺夫于 1892 年发表的有关运动稳定性的理论。在我们的科学和技术中应称它为稳态平衡分析问题。“稳态平衡”本身就是动态的，它是指由一个平衡状态进入另一个平衡状态的过程，稳态只是动态完成后相对稳定和相对平衡的状态。它是不彻底的和暂时的动态特例。

运动稳定性理论是研究干扰力对系统运动状态（坐标、速度及其函数等）的影响，从而建立判别运动状态是否稳定的法则。如果干扰力对某些运动状态的影响并不显著，即随着时间的发展，受干扰的运动状态（受扰运动）与不受干扰的运动状态（无扰运动）相差很小，就称这些运动是稳定的；否则是不稳定的。

“稳定性”一词来自拉丁文 “*stabilitas*”，其含义是“恒定的”。17 世纪中叶，学者们曾把它引用于研究太阳系的稳定性问题（即随着时间的无限增大，行星是否会无限接近或远离太阳，或处于稳定状态中）。19 世纪末，由于“生产技术”的需要和数学、天体力学的发展，在 H. 庞加莱有关理论的启示下，A. M. 里雅普诺夫从理论上对运动稳定性的普遍问题作了严格的论证和系统的分析，提出了解决运动稳定性问题的两种方法。第一种方法是通过解微积分方程来分析运动的稳定性。第二种方法（直接法）是所谓定性方法，它不需求解微积分方程，而是寻求具有某些性质的函数，使这些函数与微分方程相联系，就可以控制积分轨线的动向。这种方法已成为目前解决运动稳定性的基本方法，并在应用数学、自动控制、航空和航天事业中得到广泛应用。在当代自然科学奔向社会科学强大潮流中，许多自然科学的理论和方法正纷纷向社会领域渗透和移植，涌现了一大批新兴的综合科学和交叉科学。1977 年诺贝尔奖金获得者、比利时科学家普利高津教授提出的耗散结构理论就是其中之一。他也引用了上述理论，以解决社会、经济、人口、企业、交通、环境、市政管理、商业服务等大小各种系统控制问题，并得到了广泛的应用。

A. M. 里雅普诺夫证明了三个定理：稳定性定理、渐进稳定性定理和不稳定性定理。在现代科学系统论、信息论和控制论里，

把上述运动稳定性理论理解为系统的稳态平衡理论是可以的。在许多工程技术问题中，虽然就全系统而言可能不稳定，但对于某些变量而言，还可能是稳定或渐进稳定，这就是所谓的部分变量稳定性问题。这是运动稳定性中更有普遍意义的命题。它对大系统（由诸子系统组成的复合系统）也有用。里雅普诺夫定理，以及其它一些推广的稳定性定理，一般地说都是给出分析系统稳定性的充分条件。它们对于线性和非线性系统、定常和非定常系统都是适用的。对于某些问题，经常要用到稳定性定理，对于控制系统，经常用到的是渐进稳定性定理。另一方面，又可用不稳定性定理来预测不稳定的系统，以避免事故的发生。

上述稳定性定理、渐进稳定性定理和不稳定定理，是现代各高新技术学科领域系统稳定问题的重要科学理论之一。在此必须回答，它是否也能应用于开挖系统，解决采矿工程、各种岩土工程开挖过程中的稳态平衡问题？作者的回答是肯定的，并且能够解决入地科学的理论问题，及数学力学上的量化问题。

为了在各种涉及到开挖地球（地层、岩土，其中包括充填和水位变迁）领域中进一步向现代科学理论发展，作者在本节开头提出了开挖理论的两个内容，现分述如下：

关于第一个问题，岩石具有“记忆”是客观存在的，通过简单的力学试验就可以得到，试验是可以重复的（但对于已经受过力的试件，则是不能重复的）。记忆本来是人和某些动物才具有的思维功能，现在科学家已经把非生物记忆载体（如记忆金属）的广义记忆作为“似属性”应用，在力学中把它称为“效应”、“特征”。实际应当把它理解为“智能”更符合现代科学要求。因为在开挖技术中，运用岩石的记忆，与计算机的记忆“智能”结合起来，就能使“智能工具”具有更高的智能——思维能力，达到了解放脑力劳动的程度，这是现代科学最高层次的科学。

关于第二个问题，是由第一个问题引出来的。岩石材料既然具有“记忆”，那么也就提出了开挖的时间问题、空间问题、物质、能量（积累与耗散）、信息等问题，也提出了开挖系统结构与功能

的控制问题。过去没有提出这些问题，现在提出来，是因为运用牛顿时代的思维方式与力学方法，是一种简单的和单纯依靠精确的和必然规律的力学方法，认为只要知道系统的确切初始条件，就必然能够确切地知道它在今后某一确定时刻的状态，这是一种机械的拉普拉斯式的决定论，在我们这里用不上。事实上，在绝大多数的情况下，要满足这种条件是难以做到的。特别在开挖系统中，不可能完全知道它的初始状态，只能知道它们的某些概率分布。这就必须要超越材料和工程结构的分析方法，进行开挖系统功能方法分析。功能方法是在结构不太清楚的条件下，利用外部观测、试验，通过输出的信息来研究系统的功能和特性，探索其结构和行为的一种科学方法。

本来结构与功能是一个系统的两个方面。结构与功能是从横向与纵向、静态与动态的不同角度来认识系统的性质和规律。结构联系着系统的要素，是系统的内在构成和横向的与静态的方面（犹如人的骨架、脑、心、肝、肺……等）；而功能联系着系统与环境，是系统纵向的和动态的方面，也是系统的外在行为和对环境的作用（犹如人的各种活动和能力）。结构的改变是系统质变的标志，从这种开挖方式进入另一种开挖方式，系统的性质和规律是不一样的，即开挖系统稳态平衡的性质直接取决于系统结构。但是由于古典物理学和传统力学方法主要是从结构方面的静态和确定性规律研究开挖技术，这种研究方法无法使入地科学和开挖技术进入现代化高新技术行列。为此，作者提出了“开挖系统控制”的理论。顾名思义，是从系统的功能（它能做什么而不是它是什么）和动态控制方面研究入地科学和开挖技术，并在现代思维方式中，强调了全方位的思维，意思是任何单独学科不可能解决复杂的系统性问题。入地科学和开挖技术是工程性、环境性、哲学和思维性、理论性、技术性、方法性都很强的整体，缺乏共性的思维与方法学的指导，仅用微观的方法，不可能优异地解决实际问题。必须采用多学科综合起来解决问题。此外，科学是有继承性的，不能互相排斥，而应当结合，共同发展，这是十分重要

的。

作者提出的“开挖系统行为控制”理论具有以下主要特点：

(1) 岩石具有记忆，开挖过程具有能量积累与能量耗散，所以系统是稳态平衡问题，而不是静力学问题。平衡是暂时的，不平衡是绝对的。

(2) 强调了环境对开挖的影响问题。系统在特定环境中发挥作用或能力称为系统的功能。本著作的主题思想是重点研究开挖系统的功能，重视工程过程和工程因素影响的研究。

(3) 强调了控制问题。控制的涵义是研究开挖系统各种共同存在的活动规律，控制的过程就是借助不同形式、不同载体的信息运动去指挥各种物质运动和能量的交换。

(4) 强调了开挖系统能够自动得到调节自身的稳态平衡。开挖系统对环境发生作用的结果，会反馈回来，系统接受后会相应地调节自身结构和活动，从而保持系统的稳态平衡，以及与环境的一致性。

(5) 作者不同意“只有认识了结构才能认识功能的这种简单认识和思维方式”。在某些情况下，当一个系统内部结构不够清楚（开挖系统就是这样）或者根本不清楚时，借助另一种方法，即从系统的输入来看系统的输出，无须考察系统内部的结构状态的一种方法。或者说，不清楚内部结构，而利用外部观测、试验，通过得到的信息来研究系统的功能和特性，探索其结构和行为的一种科学方法。

(6) 强调了现代模拟方法。建立在现代模拟技术与方法基础之上的开挖功能模拟，不仅只是关心以怎样的材料以及方式来模拟对象的功能，而且要关心对象怎样进行研究，即研究的不是物体，而是分析动作和行为方式。它提出的问题不是“这是什么”，而是“它能做什么”，所以它所模拟的不是物质的外形和结构，而是物质特定运动的行为过程。通过系统中诸因子的联系与相互关系，通过功能行为再回到结构来看，哪种结构是最佳的一种研究方法。这是一种需要与近代数学科学发展相结合的方法，它引起

了传统模拟由以往单纯定性的和不精确的模仿，到定量的、精确的、具有一套规范的模拟方法和理论的变革。开挖技术都需要运用模拟与现代的计算技术，这样可以预先发现问题，并得到及时纠正与改进。

(7) 强调了进行开挖技术理论研究必须具备工程经验与素质训练。现代模拟技术要求模型或模拟与原型之间的结构相同，必须以认识了实际工程或原型的结构及其运动过程为前提条件，失去了这个条件，任何模拟都会失去意义。因而在物质的结构以及内部的关系尚不清楚的研究对象面前，这类模拟就暴露了它所固有的局限性。

(8) 强调了开挖系统优化选择原则与系统决策。所谓优化原则是通过系统的组织、自我调节活动，达到系统在一定环境条件下的最佳结构，发挥最好的功能。进行系统优化，首先要研究系统的要素、结构以及与环境的关系，作出系统发展变化的模式，经过科学的实践、预测，找出多种开挖技术方案，也就是系统的多种存在形态，再加以比较（经济社会或其它特殊要求），最后选择最佳结构与功能。

系统决策是运用系统方法，制定可选择的方案，并确定最佳方案的活动和过程。决策包括建立系统化程序，运用数学手段、计算技术等因素，从而使决策科学化。

任何事物都有它的内在规律。一项建设、一个施工、一种计划，第一个工序就是设计与决策。作者出版这本著作——《岩石记忆与开挖理论》的目的，主要是为了建设者作设计与决策使用的。

(9) 强调了工程与地质必须统一的问题。作者把开挖岩土的行为视为“破坏”地球（地层平衡）的行为。小范围内的开挖工程，即当“开挖破坏”程度尚未达到某一定限度时，在这个阶段的开挖稳态平衡规律主要属工程性质范畴。一旦地层破坏到超过一定限度，开挖系统结构就要改变，并转化为另一种新的结构系统。环境变化是系统转化的外因，内因是系统内部诸要素的活动，环境通过对诸要素以及结构的影响，才会促使整个系统的变化。这

一变化主要是由地质内部因素引起的。所以作者认为“工程”与“地质”是一体的，即岩土工程，特别采矿工程设计，必须与地质统一考虑。任何采矿开挖到一定限度，地层必然会出现一次大冒落或大移动。岩土工程不是人为现象工程（虽然它也是人工开挖的），而属自然现象工程，它要受到地质环境的控制，工程与地质是一个不可分割的系统。本著作是从这一点出发提出了诸多理论。本理论的提出，不仅是“地质”与各种开挖“工程”的基础理论，也是建立在系统论、信息论、控制论基础上的新科学体系，并与智能论、功能论、优化论、离散论、突变论、对立论、模糊论等理论结合、应用与补充，同时也发展了上述学科的应用。因此，本理论可作为从事上述科学或学科工作者的参考，使学科交叉、综合，共同提高。

1-2 开挖技术发展的突破口

当前国内、国外都是一样，不仅采矿理论的发展迟缓，各种地下工程和岩石力学理论的发展也迟缓。与上述有关的各学科、各学会，甚至各行各业都在讨论发展战略，投入了多少人力、物力，其结果至今仍未有被公认的战略出现。作者在这种形势逼迫下，在“新材料技术是科学进步的基石，也是整个科学技术基本的突破口”的概念指引下，和金属（合金）是“记忆”材料的概念启发下，经过十年的理论与实践研究，和在金川镍矿以及其它十余个矿山的验证，提出了三个理论，并写出了本著作。

当前使采矿和各种岩土工程开挖技术的科学理论进入现代科学和高技术领域，有两个突破口：一是从材料科学出发，开拓岩石材料记忆的研究；二是从地质与工程环境出发，开拓开挖系统行为控制理论的研究，使结构与功能的两个方面在横向与纵向、静止与动态的不同层次和不同角度中掌握开挖系统的性质和规律，这是本书内容的总思路。

一、新材料和航天技术的发展对我们的启发

岩石材料记忆的开发，是改变采矿和各种岩土工程（其中包括工程地质）技术理论的落后局面，使相关技术从经验类比和传统结构分析进入工程/施工功能动态定量化的关键；也是使开挖（开采）科学技术进步的关键，作者称它为突破口。

当前在采矿和各种岩土工程研究中，首先还不是各种数值分析方法的研究问题，而是工程所处环境，特别是模糊不清的地层和岩石性质结构、步步变化的工程结构和开挖与环境之间的功能关系等的研究问题。问题研究的前提条件不清，何谈开挖技术科学理论的发展。

实践证明，进入 20 世纪后，具有优异性能和特定功能的新材料的出现，是发展信息、航天、能源、生物、海洋开发等高技术的重要基础，也是整个科学技术进步的突破口。人类的进化史表明，新材料对社会经济技术的发展具有关键性的作用。材料一直是人类进化的里程碑，石器、青铜器、铁器等利用，都曾作为历史上划分时代的重要标志。进入 20 世纪后，对材料性能的认识在很大程度上决定了许多科学上的关键性突破；硅半导体材料使计算机技术进入袖珍化时代，高温、高强度结构材料促进了宇航技术的发展；低损耗光纤技术开拓了光通信技术的发展，高温超导材料将改变电子技术的面貌，塑料和复合陶瓷材料将使社会生活、工业、军工产品大为改观，等等。

回顾一下岩石材料在开挖技术中的发展现状，现在仍旧停留在弹性、塑性、粘性、强度，以及节理、裂隙等结构和强度的研究范畴。真正从物理、化学能量微观等研究中，没有新的进展，岩石材料是处于地质环境中地壳的一部分。它的组成和结构复杂，对它的认识远远没有摸透，远没有象金属那样（均质、简单），对它的性质认识得那样清楚。相反，人们对它的认识普遍下了这样的结论：地质岩层（包括岩石材料）的性质是永远认识不清的，其中当然也没有提出“记忆”的问题。这就导致了开挖技术的理论研究，迄今只能停留在简单的结构分析，和孤立的固体力学、有限元、边界元、无限元、离散元、损伤等的研究领域。这些当然

都是基础性研究，无可非议，也是作者走过的道路。但是至今并未把开挖技术理论推进到现代科学领域，这也是事实。

作者从事采矿和岩土开挖工程（施工）因素影响和工程过程稳态平衡理论研究已十年，但总是觉得科学性不足，特别缺乏理论依据。于是作者回过头来再从岩石材料基本性质入手，结合地质与工程环境互为影响的基础理论研究，形成了本著作的“岩石记忆”的新概念，并从该概念出发，引出了“开挖系统控制”的理论，和“开挖理论力学”的综合理论。为提高开挖科学理论和开挖技术现代科学化发展，奠定了科学理论基础。

二、岩石材料记忆新概念

从现在的科学技术发展的眼光来看，很多材料都可以定义为“记忆”材料，其中首先被定义为记忆材料的有金属（记忆）材料。记忆本来是人和某些动物才有的，并作为一种思维功能提出来的。由于现代科学的发展，现在除了人和某些动物之外，科学家也引用了“记忆”这一名词，加在非生物物体之上，“金属记忆材料”就是这样来的。记忆一词本来应当加上“引号”，因为它是人为地引入的一种概念。金属记忆是“温度与形状”之间的记忆关系。这种记忆是外观上形状改变的记忆，同时也体现了系统内部结构状态变化的记忆，是一种性态重现记忆。

岩石记忆的研究，不是研究金属那样的记忆形式，而是研究岩石材料受力后的力学效应与应力状态之间的记忆关系。其中有两种形式的关系：一种是岩石材料的力学效应不仅取决于现时的应力状态，也取决于全部过去的应力状态，即岩石材料在力的作用下对过去所有的应力状态都有记忆。或者说。现时的应力取决于变形的整个以往历史，并且与加载和卸载过程具有特定的时间或速率的依赖关系；另一种记忆形式是，它的变形状态不仅取决于最后的应力状态，还和到达该最后状态在应力空间所经历的路径有关。

以上所述都是在常温，或温度没有变化的条件下，得出的结论。这里说明：岩石记忆不仅与岩石力学性质直接相关，也与工