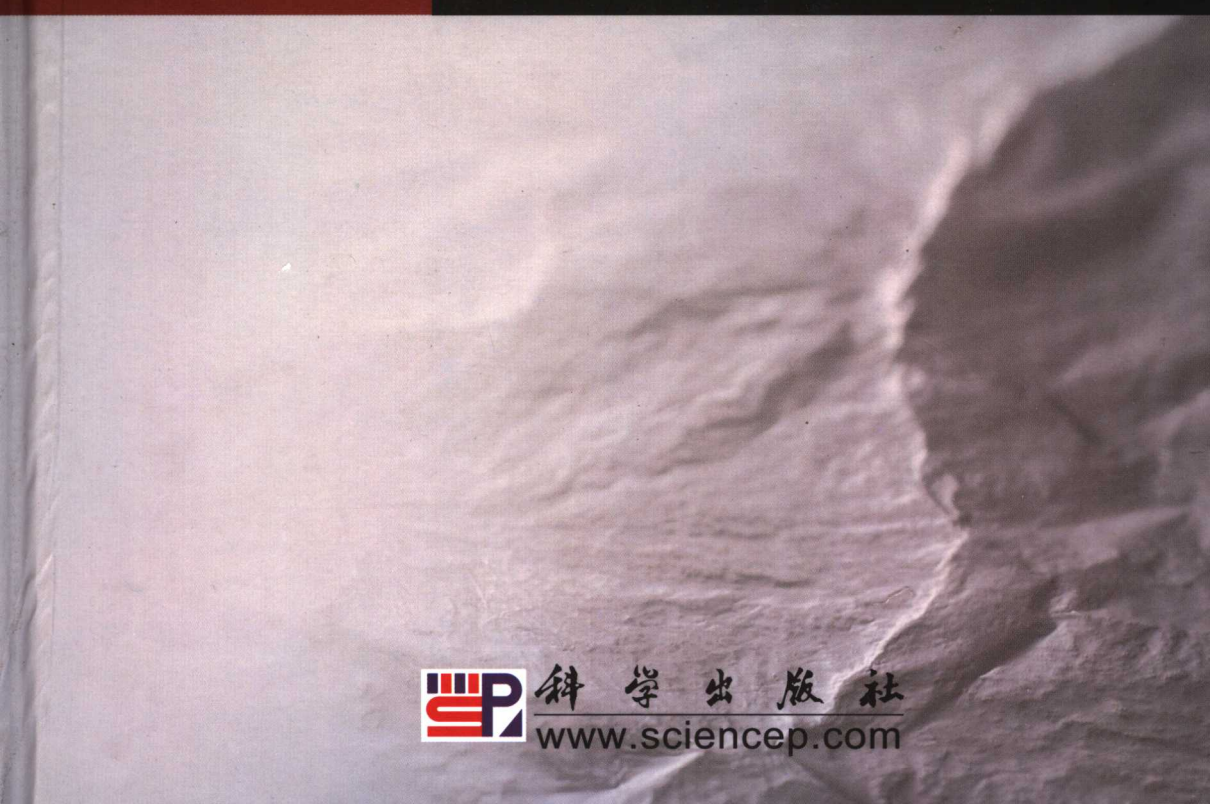




李晓红 卢义玉
康 勇 饶邦华

编著

岩石力学实验 模拟技术



科学出版社
www.sciencep.com

岩石力学实验模拟技术

李晓红 卢义玉 编著
康 勇 饶邦华

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是采用理论联系实际、理论与应用并重的指导思想编写而成的,对于相似模拟研究,主要介绍相似理论、相似模拟法的单值条件和相似判据、相似材料的配制、相似模型设计与制作以及相似模拟测试技术等;在离心模型法中着重介绍了离心模拟技术的基本原理、模型在离心力场中的运动状态、离心模拟的相似性以及离心模拟固有误差与离心设备等;在光测弹性法中介绍了光测弹性法的基本原理、光弹实验的力学效应、光弹性材料、模型设计与制作以及光弹性应力计和应变计等,并简要介绍了底面摩擦模拟研究。在各类模拟法中均介绍有国内有关科研单位和高等院校使用各种模拟法中成功经验的实例。

本书可供从事地下工程和岩土工程的工程技术人员在工作实践中参考,也可作为高等院校相关专业的教材及教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

岩石力学实验模拟技术/李晓红等编著. —北京:科学出版社, 2007

ISBN 978-7-03-018085-8

I. 岩 II. 李… III. 岩石力学-模拟实验-研究 IV. TU455

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 113429 号

责任编辑:沈 建/责任校对:钟 洋

责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年1月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2007年1月第一次印刷 印张: 16 1/2

印数: 1—2 500 字数: 307 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

前 言

岩石力学实验模拟技术是实践性很强的工程应用基础学科，它是采用某种人工材料应用相似原理，根据所模拟的实体原型制成相似模型，通过对模型上有关力学参数、变形状态的测试与分析进而推断在实体原型上可能出现的力学现象与变形规律，为岩土工程的设计与施工方案的选择提供参考依据。

本书主要介绍相似材料模型法、离心模型法以及光测弹性法，同时在各类模拟法中介绍了国内有关科研单位和高等院校使用各种模拟法中成功经验的实例，在编写过程中尽力做到理论联系实际，强调实用性、可操作性，力求内容全面、科学、系统。本书可供从事地下工程和岩土工程的工程技术人员在工作实践中参考，也可供高等院校有关专业作为相关课程的教材或相关课程的教学参考书。

本书获国家自然科学基金创新研究群体科学基金“高压水射流破岩理论及其在地下工程中的应用基础研究”（编号 50621403）、国家自然科学基金重点项目“隧道与地下空间工程结构物的稳定性与可靠性研究”（编号 50334060）和西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室基金资助。

本书在编写过程中引用和参考了大量文献与有关资料，在此特向所有原作者致以谢意。

由于作者水平有限，再加上编写时间仓促，书中内容难免存在缺点和错误，敬请批评指正。

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一章 相似模拟研究	3
------------	---

第一节 概述	3
--------	---

一、相似模拟研究的基本概念	3
---------------	---

二、相似模拟研究的应用	4
-------------	---

三、相似模拟实验技术的发展与存在的问题	5
---------------------	---

第二节 相似理论	6
----------	---

一、相似概念	6
--------	---

二、相似理论	6
--------	---

第三节 相似模拟法的单值条件和相似判据	16
---------------------	----

一、几何相似	16
--------	----

二、物理相似	17
--------	----

三、初始状态相似	22
----------	----

四、边界条件相似	24
----------	----

第二章 相似材料	25
----------	----

第一节 概述	25
--------	----

一、对相似材料的基本要求	25
--------------	----

二、相似材料的分类	25
-----------	----

三、骨料的主要技术特征	26
-------------	----

四、胶结材料的主要技术特征	26
---------------	----

五、相似材料的选择	29
-----------	----

第二节 模型结构材料	30
------------	----

一、模型混凝土块的模型材料	30
---------------	----

二、模拟岩石的模型材料	33
-------------	----

三、模拟地质构造的模型材料	41
---------------	----

第三节 影响石膏胶结材料力学性质的主要因素	42
-----------------------	----

一、水灰比	42
-------	----

二、辅助胶结物	42
---------	----

三、材料配比的影响	43
-----------	----

四、湿度的影响	43
---------	----

五、掺加剂对石膏、水泥凝固时间的影响	43
六、砂胶比对材料强度的影响	44
七、含水率对材料稳定性的影响	44
第三章 相似模型设计	46
第一节 模型试验架	46
一、平面模型架	46
二、转体模型架	47
三、立体模型架	48
第二节 模型制作和试验前的准备工作	51
一、相似材料力学参数的测定	51
二、逐层计算模拟岩石的强度指标	56
三、相似材料配方与配比的选择	57
四、计算各分层的材料用量	59
五、制作模型的步骤	59
六、实验前的准备工作	60
第三节 模型实验的加载	60
一、自重的模拟	60
二、构造应力模拟	62
第四章 相似模拟测试技术	63
第一节 相似模拟测试方法和测试技术	63
一、相似模拟测试的任务	63
二、相似模拟实验量测的基本方法	63
第二节 机械法	65
一、千分表法	65
二、机械式应变计	65
第三节 光测法	66
一、水准测量法	66
二、激光测位移法	67
三、照相测位移法	68
四、云纹法	68
第四节 电测法	69
一、电阻应变片	69
二、电阻应变片的使用选择	71
三、粘结剂及其主要特征	75
四、应变片的粘贴	75
五、模型内应力应变的测试	78

第五章 相似模拟研究实例	82
第一节 地下开采相似模拟研究	82
一、模拟对象——实验原型	82
二、实验目的	82
三、模拟采用的相似条件	82
四、测点布置	83
五、观测结果及主要结论	84
第二节 利用相似模拟方法研究公路隧道施工力学形态	88
一、依托工程概况——相似模拟对象简介	88
二、相似模型实验的方法与目的	88
三、相似模拟加载系统	88
四、相似材料的选择与配比	89
五、洋硐隧道 III 类围岩断层破碎带开挖模拟	91
六、洋硐隧道进口右线软弱围岩浅埋段施工开挖模拟	92
七、洋硐隧道进口左线软弱围岩偏压段施工开挖模拟	93
八、实验数据分析	93
第三节 采场顶板的相似模拟实验	95
一、模拟原型与模拟目的	95
二、实验方法	95
三、相似条件	95
四、模型设计	97
五、模型建造与养护	97
六、模型开采实验	97
七、实验结果与分析	97
八、主要结论	99
第四节 水下矿床开采的相似模拟	100
一、模拟原型与模拟目的	100
二、模型相似比与模拟架尺寸	100
三、模型设计与模型相似材料	100
四、测点测线的布置与测试方法	101
五、实验结果与分析	102
六、主要结论	103
第五节 层状复合岩体力学的相似模拟	103
一、因次分析法确定各物理量的相似关系	103
二、黏弹性状态下岩体力学现象的因次分析法	103
三、模型相似系数的确定	105

四、层状复合岩体模型相似关系的确定	105
五、主要结论	107
第六节 岩盐溶腔稳定性的相似模拟	108
一、模拟情况简介	108
二、模型确定依据	108
三、模型相似条件	110
四、模型相似比	111
五、模型模拟范围	111
六、模型制作、加载和量测方法	111
七、实验结果分析	112
八、主要结论	113
第六章 离心模型法	114
第一节 概述	114
一、离心模拟法的发展状况	114
二、离心模拟实验在岩土工程领域应用的优越性	114
三、离心模型实验存在的问题	115
四、今后的展望与发展方向	117
第二节 离心模型技术的基本原理	119
一、基本原理	119
二、离心机转速 n 与模型几何比例 N 的关系	120
三、原型与模型的比例关系	121
四、离心力场的特性	124
五、模型在离心力场中的运动状态	126
第七章 离心模拟技术	128
第一节 离心模拟相似性	128
一、半无限地基自重应力模拟	128
二、基本控制方程相似	128
三、能量方程相似	130
四、量纲分析	131
第二节 离心模拟固有误差分析	133
一、径向加速度分布不均匀引起的误差	133
二、离心力分布的不均匀性	134
三、模型变形引起的误差	135
四、离心机启动与制动时的误差	136
五、边界效应问题	136
六、粒径效应问题	136

第八章 离心设备与离心模拟法的应用	138
第一节 离心模拟设备	138
一、国内现有离心机的情况	138
二、离心机的主要组成	139
第二节 离心模拟技术在工程领域中的应用	140
一、高土石坝离心模型实验	141
二、边坡离心模型实验	141
三、挡土墙的模拟实验	142
四、隧洞的离心模型实验	142
五、地基的离心模拟实验	142
六、离心模型实验在地下开采中的应用	143
七、在环境岩土工程中的应用	143
八、离心模型在地震工程中的应用	144
九、模拟动态施工过程	144
第九章 光测弹性法基本原理	145
第一节 概述	145
一、光测弹性法的发展	145
二、光测弹性法研究岩土工程山体压力的特点	146
三、光测弹性法的优缺点	146
四、利用光测弹性法研究岩土压力的几个方面	147
第二节 光学基础	147
一、光波振动的表达式及其传播方程	147
二、偏振光	148
三、光的干涉	149
四、两个同频率共面偏振光的合成与干涉	150
五、两个同频率正交平面偏振光的干涉	150
六、两个同频正交平面偏振光相位差的特征	151
七、折射与双折射	154
第三节 光测法的力学基础	156
一、力学基础	156
二、暂时双折射	157
三、应力-光学定律	157
第四节 光的偏振装置	158
一、单式偏振光系统	158
二、复式偏振光系统	159
三、光弹仪的校正	160

第五节 光弹实验的力学效应	161
一、光弹模型在平面偏振场中的应力-光学效应	161
二、等倾线和等差线	163
三、光弹性模型在圆偏振场中的应力-光学效应	166
四、模型条纹值 K 的确定	170
五、主应力迹线	172
六、光弹模型冻结法	174
第六节 散光光弹法	175
一、光的散射现象	175
二、散光光弹法的基本原理	176
三、散射光弹法的实验设备	178
第十章 光测弹性法	179
第一节 光弹性材料	179
一、光弹性模型所用的材料应满足的要求	179
二、常用的光弹性材料	179
三、环氧树脂硬胶的原料、配比及制造	179
四、明胶-甘油软胶(伊格达胶)	183
五、琼脂-甘油软胶	183
六、光弹性材料基本性能的测定	184
第二节 光弹性模型设计	187
一、几何相似常数的选择	187
二、荷载与应力相似常数的选择	188
三、弹性模量相似常数的选择	189
四、应力模型中位移的测量	190
五、加载设备	190
六、光弹性模型的制作	191
第十一章 光测弹性法应用实例	192
第一节 条带开采采场应力分布规律的光弹性实验研究	192
一、实验研究的目的	192
二、光弹模型的设计与制作	192
三、模型的观测记录	194
四、模拟实验结果的分析	194
五、结论	197
第二节 应用光测弹性法研究上下导坑与品式系统施工方案的优劣	197
一、研究的目的	197
二、光弹性材料的配比与有关力学参数的取值	197

三、模型的制作	197
四、应力光图	199
五、主要结论	199
第三节 三峡工程排漂孔坝段的三维光弹应力分析.....	202
一、工程概况	202
二、研究目的与研究内容	202
三、模型制作	202
四、模拟实验	203
五、实验结果分析	204
六、结束语	206
第四节 隧道爆破动态响应的动光弹研究.....	206
一、概述	206
二、实验研究的目的与方法	207
三、实验结果与分析	208
四、结论	211
第五节 巷道围岩自稳结构的影响因素分析.....	212
一、概述	212
二、有限元模型及力学假设	212
三、巷道埋深 H 的影响	213
四、侧压系数 λ 的影响	214
五、巷道（洞室）形状的影响	216
六、节理、裂隙对巷道自稳结构的影响	217
七、结论	217
第十二章 光弹性应力计和应变计.....	219
第一节 光弹性应力计.....	219
一、基本原理	219
二、光应力计构造	219
三、光应力计的率定	220
四、光应力计的埋设	220
五、现场观测与计算	222
六、关于使用光应力计的几点说明	225
第二节 光弹性应变计.....	226
一、单向光应变计	226
二、双向光应变计	229
三、光应变计与光应力计的对比	233

第十三章 底面摩擦模拟研究..... 234

第一节 概述..... 234

 一、底面摩擦模型的应用情况 234

 二、底面摩擦模型实验的优越性 234

第二节 底面摩擦模拟的基本原理..... 235

 一、基本原理 235

 二、底面摩擦模型的相似关系 236

第三节 底面摩擦模型材料..... 238

 一、对底面摩擦模型材料的要求 238

 二、可塑性材料 238

 三、硬质材料 239

第四节 底面摩擦模拟法应用实例..... 239

 一、井工露天同期采动下边坡岩体变形机制的模拟实验研究 239

 二、国道 108 线某段缓倾角顺层边坡变形破坏机制底面摩擦模拟研究 242

 三、路基不均匀沉降的原因与处治措施的底面摩擦模拟研究 247

参考文献..... 251

绪 论

岩石力学实验模拟技术大多是以模拟岩土工程中部分工程结构进行研究,模拟的主要对象材料是岩体,由于岩体是由各种非均质、各向异性的岩石与地质结构面组成,因此研究岩体的工程问题非常复杂。采用数学力学的研究方法只能为形状简单的圆形或椭圆形的地下通道提供围岩应力场与位移场的理论解。对于不同材料、形状各异的岩土工程结构的应力、应变问题,目前是无法求解的。许多岩土工程分析的预见和推断大多来自现场实测与模拟研究。有限元与边界元等数值分析方法与计算机相结合为岩石力学的分析与计算提供了有力的工具。但是岩石力学模拟实验本身随着近代科学技术的进步也有所发展,使原有的实验模拟技术更加完善,再加上这类方法具有直观性与全场逐点给出有关参数与结论的优点,因而岩石力学实验模拟是当前研究岩土工程问题必不可少的研究手段。

岩石力学实验模拟是实践性很强的工程应用基础。随着岩土工程设计理论和施工技术的发展,在获得岩土工程设计基本数据进行设计方案的试验论证和施工工序的合理安排上,模拟实验是最基本、最重要的研究方法。

岩石力学实验模拟就是在室内用某种人工材料(单一的或多种材料混合的),根据相似原理做成相似模型,模型是根据所模拟的原型来塑造的。在进行模拟实验时,通常多采用缩小比例或在某些特殊情况下用放大的比例来制作模型。通过对模型上应力、应变的观测来认识与判断原型(模拟实体)上所发生的力学现象和应力-应变的变化规律,以便为岩土工程设计和施工方案的选择提供依据。

岩石力学实验模拟有以下特点:

(1) 直观性强,可以观测到岩土工程所模拟的范围内发生的力学现象并逐点给出相关的参数,为理论分析奠定了基础。

(2) 岩土工程在多因素影响条件下,可以进行单因素分析研究,即固定某些影响因素,探讨某一因素对岩土工程稳定性的影响及其敏感程度。

(3) 探讨目前用数学分析方法尚不能解决的岩土工程力学问题,如岩体在弹性、塑性、黏性范围直至破坏的机理、运动与动力学等问题。

(4) 实验模拟获得研究的结果快,如在岩体中经过几年才能发生的现象,通过模拟实验可在短时间内显现出来,为岩土工程设计与科学决策提供依据。

(5) 根据模型实验的结果,可以推断原型可能出现的力学现象与变形状态以及岩土工程的稳定性与安全程度。

但是模型毕竟不是原型,实验也不能保证完全符合相似条件,因此模型实验只能做为现场实测和理论分析的辅助方法。

岩石力学模拟实验是以相似理论为基础，在岩石力学模拟实验中主要有相似材料模拟法、离心模型法以及光测弹性模拟法等，本书在相似模拟研究中，主要介绍相似理论、相似模拟法的单值条件和相似判据、相似材料的种类、配制与选择、相似模型设计与制作以及相似模拟测试技术等。在离心模型法中着重介绍离心模拟的相似性以及基本原理、模型在离心力场中的运动状态、离心模型的相似性以及离心模拟固有的误差与离心设备等。在光测弹性法中主要介绍光测弹性法的基本原理、光弹实验的力学效应、光弹性材料的种类及配制、模型设计与制作以及光弹性应力计和应变计等，并简要介绍了底面摩擦模拟研究。在各类模拟法中均介绍有国内有关科研单位和高等院校使用各该模拟法中成功经验的实例，以便从事岩土工程的工程技术人员在工作实践中加以参考，也可供高等院校地下工程专业和岩土工程专业的学生作为相关教材使用。

第一章 相似模拟研究

第一节 概 述

一、相似模拟研究的基本概念

相似模拟研究是一种重要的科学研究手段，是在实验室内按相似原理制作与原型相似的模型，借助测试仪表观测模型内力学参数及其分布规律，利用在模型上研究的结果，借以推断原型中可能发生的力学现象以及岩体压力分布的规律，从而解决岩体工程生产中的实际问题。这种研究方法具有直观、简便、经济、快速以及实验周期短等优点。而且能够根据需要，通过固定某些参数，改变另一些参数来研究巷（隧）道围岩应力和采矿工作面附近支撑压力在空间与时间上的分布规律和变化情况以及某些参数对岩体压力的影响，这在现场条件下是难以实现的。

在岩体压力模拟研究中，模拟实验可以起到以下作用：

(1) 辅助现场岩体压力实测的研究，现场实测一般需要较多的人力、物力，工作量大、耗费时间长，同时，不能直观地了解围岩中发生的应力变化和破坏过程以及内部状态，观察还常常受到生产工作的制约甚至影响生产。而用模型研究时，可以大致了解围岩的全面情况和变化过程，能清楚、方便地研究大范围岩体内的应力分布状态和变形规律。

(2) 给工程施工的新技术、新工艺以及施工技术的新方案的工业试验提供有价值的参考数据，不论是在矿山生产中，还是在地下工程实践中，每一项重大的、新的技术方案都必须经过工业试验。一般情况下，工业试验需要较多的人力、物力和财力，并牵涉到与正常生产的关系等问题，因此，工业试验前对新方案必须有一定把握，模型实验可以帮助了解所实施新方案的可靠性，为工业试验作准备。

(3) 帮助解决目前用理论分析方法尚不能解决的一些岩体压力问题。

近年来，虽然理论分析方法有很大发展，但对某些个别（特殊）断面形状巷道周边的应力分布，特别是地压活动的规律，尚需通过模型实验和现场的调查观测综合分析获得。

必须指出，模拟研究有一定的局限性，这是因为岩体的力学性质以及地压活动规律比较复杂，完全、准确地模拟它们较难做到。当然，模型毕竟不是原型，不可能也没有必要在一切方面都做到相似，应当根据所研究的内容确定相似条件，而相似模拟实验的成功关键在于抓住研究问题的本质，以相似理论为依据，

采用先进的试验设备和严谨的科学态度，从模型实验的结果来推测在原型可能出现的力学现象。另外，目前，模拟技术还不够完善。有些模型实验是基于某些假设上，如果在模拟研究中做了一些不当的修改，或者某些基本因素达不到相似条件，就难以由模型实验结果去推断原型可能出现的地压现象。这样，现场实测和实验室模拟的综合研究就是非常重要。

二、相似模拟研究的应用

各种科研问题的研究方法，通常有理论分析、实际观测与模拟实验三种。模拟实验与前两种研究方法相比，其优点为可人为控制和改变实验条件，从而可确定单因素或多因素对比研究问题影响的规律，实验效应直观清楚、实验周期短、见效快、费用低。20 世纪 60 年代以来，模拟实验被我国广泛应用于水利、采矿、地质、铁道以及岩土工程等部门，并取得了显著的技术成就和经济效益，已成为一种有力的科学研究手段。相似材料模拟已成为国内外进行重大岩体工程可行性研究不可缺少的方法之一。20 世纪 80 年代初，清华大学水利系就为葛洲坝水库的建设进行了相似材料模拟实验研究，建筑系统也采用模拟实验方法研究上海黄浦江边的高层建筑物受台风的影响。在矿业方面，重庆大学矿山工程物理研究所松藻矿务局打通煤矿南盘区工作面为模拟对象对上覆岩层冒落带、裂隙带与沉降带的宽度与岩层移动角以及回采工作面前后方与两侧（上下方）的压力分布规律及影响范围进行了探讨；武汉工业大学就湖南邵东石膏矿采场稳定性进行了相似材料模拟；重庆大学资环学院对四川自贡长业盐矿岩盐溶腔稳定性进行了相似模拟，探讨了 1000m 采深溶腔围岩应力分布规律和溶腔极限跨距等特性。同时针对层状复合岩体力学问题进行相似模拟研究，用因次理论分析了处于弹性和黏弹性状态下的单一岩层和层状复合岩体模拟实验的相似问题；长沙矿山研究院为了研究长锚索预控顶、连续分条开采，尾砂充填采矿法的采场地压显现规律，以湘西金矿沃西矿区实验采场的锚杆护顶及锚杆与锚索联合护顶为原型进行了相似模拟实验，依据实验结果，分析和检验在上述采矿方法和护顶条件下的采场稳定程度；焦作工学院材料工程系以义马常村煤矿开采条件为地质原型，采用中比例相似材料模型研究了近距离煤层上层煤开采时顶板岩层移动的特征；中国科学院地质研究所采用混凝土块和亚黏土型软弱材料对某露天矿地质结构进行相似模拟，研究了边坡破坏的形式与变形破坏的特征；重庆交通科研设计院利用相似模拟方法研究公路隧道施工力学形态，探讨了公路隧道围岩在隧道施工中位移的发展过程，隧道围岩最终位移及围岩的稳定性；中国科学院力学研究所根据气、液两相流体同心环状流线性稳定性分析的结果，对微重力气、液两相流地面模拟实验所应遵循的相似模拟准则进行了研究，取得了一个新的重力无关性准则。以上所列举相似模拟实验只是众多模拟实验的很少一部分，这足以说明相似模拟在国内的广泛应用。

三、相似模拟实验技术的发展与存在的问题

相似模拟实验是以相似理论、因次分析为依据的实验研究方法，由于模拟实验可人为控制和改变实验条件，从而可确定单因素或多因素对岩体压力影响的规律。

相似模拟实验是 20 世纪 30 年代由苏联库兹涅佐夫提出的，并在全苏联矿山测量和煤炭研究院等应用。随后在德国、波兰、日本、澳大利亚以及美国等国家也得到广泛应用。发展至今已成为国外矿业界的一种重要的研究手段。

我国 1958 年率先在北京矿业学院（现中国矿业大学）的矿压实验室建立了相似模拟实验架，并逐步扩大到煤炭科学研究院、各煤炭高校以及冶金、水利、矿业、地质、铁道以及岩土工程等部门。20 世纪 60 年代相似材料模拟技术在国内获得了广泛应用。在矿业系统，当时主要利用平面应力相似模拟实验为主，通过平面应力模拟实验架重点从宏观及定性的角度来研究矿山开采过程中上覆岩层的移动规律，开采过程同岩层移动之间的相互关系等。在水利水电建设上，水利部门为葛洲坝水库的建设进行了相似模拟研究，建筑系统也采用模拟实验方法研究了上海黄浦江边的高层建筑物受台风的影响。对于实际处于三向应力状态的研究对象——岩体，通过适当的简化常把有关问题简化成平面问题来处理往往无法达到“仿真”的目的。因此，应采用立体模拟实验较为可靠，研究结果较接近实际，于是进入 20 世纪 70 年代后期及 80 年代以后，国内外相继出现了平面应变相似模拟实验架、立体模拟实验装置。俄罗斯、德国、波兰等国均建有立体模型。国内中国矿业大学、重庆大学等单位也都建有平面应变模拟及简易的立体模拟实验装置。如德国（当时联邦德国）埃森岩石力学研究中心的 $10\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m}$ 的立体模拟实验台，重庆大学矿压室的 $1.5\text{m} \times 1.3\text{m} \times 1.2\text{m}$ 的立体模型和 ETVE-85 型 $1.0\text{m} \times 1.0\text{m} \times 0.6\text{m}$ 的卧式立体模型，洛阳工程兵部队的 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m} \times 0.2\text{m}$ 卧式布置的平面应变实验台，以及中国矿业大学的立式平面应变相似模拟实验台和平板式模拟实验台。这些设备对当时有关模拟实验发挥了重要作用。通过相似模拟实验取得了不少研究成果，如著名的“砌体梁”理论、地下开采引起上覆岩层“三带”形成的规律以及地压显现与岩层断裂的规律等。在很大程度上都是借助相似模拟实验方法而得出的。

从发展的眼光看相似材料模拟，目前仍存在以下问题尚需研究解决：

（1）由于以往的相似模拟实验大多为平面模拟实验，而平面模型无横向尺寸，因此一些与横向尺寸有关的实验无法进行模拟研究，同时由于对平面模型的边界条件做了很大的简化，模拟结果往往也与实际情况存在着较大的差异。

（2）现有的立体实验装置也往往只能进行单一类型的模拟实验，由于岩体工程所关注和扰动的对象是天然的岩体，包含有多种矿物成分组成的性质不同的岩石块体和具有结构面特征的节理裂隙，岩体是非均质、各向异性、不连续和随机