

物理模拟材料流变性质研究现状

徐云峰¹, 曾佐勋²

(1. 安徽建筑工业学院 土木工程系, 合肥 230601; 2. 中国地质大学 地球科学学院, 武汉 430074)

摘 要: 模拟材料的选用以及其相关参数的测定是物理模拟实验的基础。当前采用的延性材料能通常有粘泥、石蜡、松香、塑化松香、塑胶粘土等, 国内使用的流变仪主要为毛细管流变仪、旋转流变仪、落球式流变仪, 国外对三轴流变仪的研制、应用已见成效。今后应加强新型模拟材料的研制、开发, 同时积极研制、引进合适的流变仪。

关键词: 物理模拟; 流变; 模拟材料; 流变仪

中图分类号: TB24; TB3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2006)03-0210-04

0 引言

物理模拟是地质学研究的重要手段。近年来, 随着人们对地球物质物理性质认识深化、流变理论的发展和实验技术水平的提高, 物理模拟也逐渐向定量化方向发展。新的实验对物理模拟所选用的材料及其流变参数的测定提出了更高的要求, 模拟材料的选用以及其相关参数的测定是物理模拟实验的基础, 同时, 也决定着实验的成功与否及精确性。本文主要介绍模拟材料和材料流变性质测试技术两方面的研究现状。

1 模拟材料的研究

一般而言, 模拟材料可分为脆性材料和延性材料两种, 根据具体研究的要求, 脆性材料可较容易地实地选用。当前研究者所采用的延性材料很多, 普通的材料有粘泥、石蜡、松香等, 国家地质局地质所李建国等配制了塑化松香系列材料。国外的构造模拟实验室一般采用塑胶粘土作为模拟材料。

(1) 粘泥。相对于其他材料, 粘泥是最经济、最容易获得的材料。在地质力学模拟实验中, 粘泥模拟实验一直是一种主要的实验方法。早在 19 世纪

初, Hall 就把粘土选为构造模拟的实验材料之一。除了采用粘土进行模拟实验外, 还有人采用油灰、滑石粉泥、凡士林、黄油等作为模拟材料。这些可看作一种广义的粘泥^[1]。

粘泥的成分变化很大, 其力学性质可变范围也很大。同时还可通过调节其成分、含水量改变其流变性质。但是, 粘泥的含水量在实验过程中由于挥发逐渐减小, 使其参数测定及性质描述非常困难。

(2) 石蜡。一般用于实验室的石蜡有两种: 微晶石蜡和蜂蜡。在常温常压下, 石蜡常用作脆性材料。当温度升高时, 石蜡开始软化, 粘度降低。如果有较好的温控条件, 石蜡亦可作粘性材料^[2]。

(3) 松香。在室温下松香呈淡黄-黄色半透明固体, 性脆易碎, 随着温度的增加, 会逐渐变软, 超过软化点(70~120℃)后变成液体。松香物理性能和化学组成随产地和树种不同而有很大差别。Ramberger 和 Cobbold 利用松香物理性质随温度变化的特性, 将其作为热塑性模拟材料, 并测定了温度接近软化点条件下的粘度。但是松香不能用作室温条件下的模拟实验材料^[3]。

(4) 塑化松香。国家地质局李建国等首次在松香中配增塑剂松节油作为模拟实验塑性材料, 并成功地用于岩石圈多层构造和塑性流动网络模拟和中东亚大陆塑性流动网络控制下构造变形的物理模拟中。塑化松香由松香(R)和增塑剂松节油(P)按不同比例(质量比)混合而成。松节油是从松香中提取

出来的无色或淡黄色的透明液体^[4-8]。根据李建国等和周永胜的实验, 塑化松香具有良好的流动性能, 而且制作成的模型具有较好的透明性; 其粘度和牵引力随增塑剂含量和环境温度的变化而变化。因此, 塑化松香可作为物理模拟理想的塑性材料。

(5) 塑胶粘土。塑胶粘土是由 Harbuts Plasti-

cine Ltd. 的 Bath 研制^[9-18]。随着材料科学研究的突飞猛进以及需求的日益扩大, 现在已有数家厂家生产塑胶粘土, 其成分和性质略有差异。有关塑胶粘土确切的化学组成一直以来都作为商业秘密而不可知, 其基本成分为: 高级油脂, 颜料及碳酸盐等充填物。几种常见的油脂分子结构如图 1。

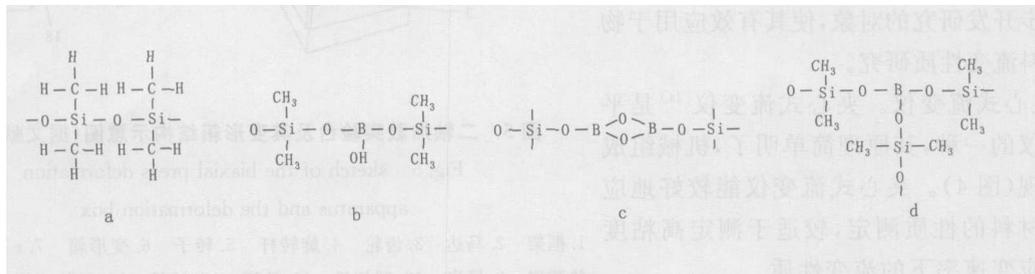


图 1 几种塑胶粘土的分子结构(据文献[10])

Fig. 1 Molecule structures of some plasticines

2 材料流变性质测定的研究

流变仪的选用直接影响着测试结果的可靠性、准确性。目前国内所采用的主要流变仪有毛细管流变仪、旋转流变仪、落球式流变仪等, 在国外的研究所里, 三轴实验台的研制、应用已初见成效。本文对常用流变仪的基本组成和原理做一简要介绍。

(1) 毛细管式流变仪。毛细管式流变仪^[19, 20]有载荷型和恒速型两种, 其中后者使用较普遍(图 2)。该仪器通过机械传动, 使柱塞以一定的速度向下移动, 把装在料筒里已经恒温的一定量的物料从毛细管中挤出。用测力计将挤压载荷转换成电信号, 在单笔记录仪上显示。根据公式将载荷与速度换算成切应力与切应变速率, 进而测出材料的流变曲线。

毛细管流变仪精度高, 操作简便。但是目前大型的精密毛细管流变仪主要应用于高温下高应变速率下高分子化合物的性质测定。尚待大力的引进、开发, 使其应用于物理模拟材料性质的测定。

(2) 旋转流变仪。旋转流变仪^[21- 23]主要有同轴圆筒式、平行平板式和锥板式 3 种。普遍应用的是同轴圆筒式和锥板式 2 种, 其中又以同轴圆筒式流变仪应用最为广泛(图 3)。

内筒旋转式同轴圆筒流变仪的测量系统由同轴内外筒组成, 其中外筒固定, 内筒由同步电机等动旋转, 内外筒间充入试料。由实测内筒转速及内筒表面

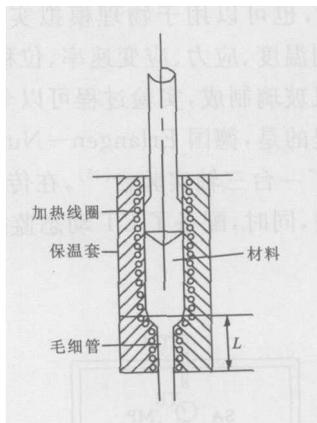


图 2 毛细管流变仪主要功能部分功能结构

Fig. 2 The main functions and partial framework of the capillary rheometer

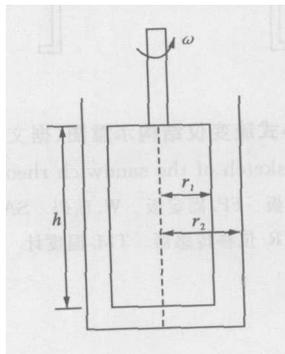


图 3 同轴圆筒式旋转流变仪结构示意图

Fig. 3 Sketch of the circumrotatory rheometer

的剪切应力确定试料的流变参数。国产 NXS-11 型旋转流变仪(成都仪器厂)、德国产的 RV 型、瑞士产的 RM15 型旋转流变仪即属于这一类型。旋转流变仪使用范围广,开发研制也较简单。但是目前各种旋转式流变仪主要用于浆液体等低粘度材料流变性质的测量,还缺乏直接应用于物理模拟的产品。因此可以将旋转流变仪作为进一步开发研究的对象,使其有效应用于物理模拟材料流变性质研究。

(3) 夹心式流变仪。夹心式流变仪^[24]是平板式流变仪的一种,其原理简单明了,机械组成也易于实现(图 4)。夹心式流变仪能较好地应用于模拟材料的性质测定,较适于测定高粘度材料在低应变速率下的流变性质。

(4) 二轴加载实验台。本装置由英国帝国理工学院 Cobbold 1974 年研制而成,主要用于测试各种模拟材料(粘泥、石蜡、塑胶粘土等)的流变性质^[25],同时,也可以用于物理模拟实验。该装置配有自动控制温度、应力、应变速率、位移等的系统,变形箱用有机玻璃制成,实验过程可以全程拍摄(图 5)。值得一提的是,德国 Erlangen-Nurnberg 大学 2002 年研制了一台三轴实验台^[26],在传动装置上做了一定的改进,同时,配备了 CT 动态监控系统。

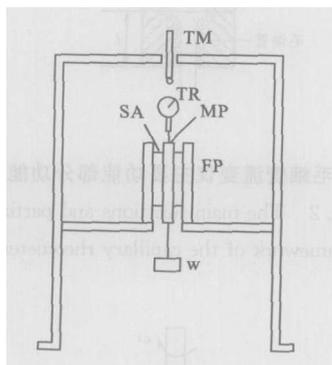


图 4 夹心式流变仪结构示意图(据文献[24])

Fig. 4 sketch of the sandwich rheometer
MP. 活动板 FP. 固定板 W. 砝码 SA. 试样
TR. 位移传感器 TM. 温度计

3 建议

(1) 加强新型模拟材料的研制、开发。模拟材料

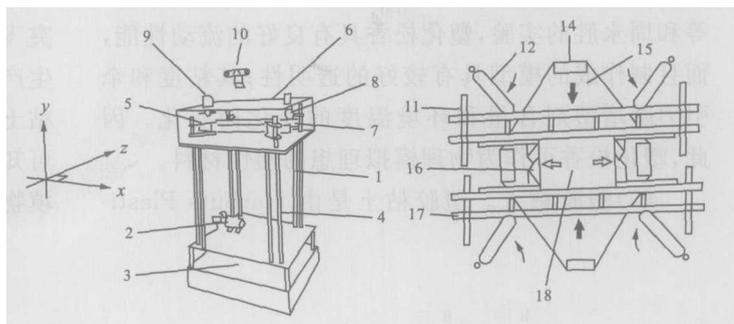


图 5 二轴加载实验台及其变形箱结构示意图(据文献[25])

Fig. 5 sketch of the biaxial press deformation apparatus and the deformation box

1. 框架 2. 马达 3. 齿轮 4. 旋转杆 5. 转子 6. 变形箱 7. z 平面 8. 加热装置 9. 风扇 10. 照相机 11. 轨道 12. 转子 14. 滑轮 15. y 轴下平面
16. x 平面 17. z 平面 18. 模型

的选用往往直接决定着实验的成败与效果,但是一般情况下,大多数研究者都重视模型的建立,而忽略材料的选用,更无法顾及新材料的研制。与国外的研究机构相比,我国在这方面较为欠缺。

(2) 积极研制、引进合适的流变仪。虽然目前市场上流变仪种类很多,但是物理模拟材料有其特有的性质及实验要求(一般实验时,材料应变速率较小),应用于其他行业的流变仪往往难以直接应用于模拟材料测定。为此,有必要在借鉴、参考其他流变仪的结构、原理的同时,积极研制、开发适用的流变仪。

参考文献:

- [1] 曾佐勋,刘立林. 构造模拟[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1992.
- [2] Neurath C, Smith R B. Effect of material properties on growth rates of folding and boudinage: experiments with wax models [J]. J. Struct. Geol., 1982, 4(2): 215-229.
- [3] Cobbold, P. R., Jackson M. P. A. Gum rosin (colophony): A suitable material for thermomechanical modeling of the lithosphere[J]. Tectonophysics, 1992, 210: 255-271.
- [4] 周永胜,王绳祖,李建国. 物理模拟理想材料——塑化松香和有关物理参数测定[J]. 世界地质, 2000, 19(4): 313-319.
- [5] 李建国,周永胜,宋瑞卿,等. 岩石圈塑性流动网络与多层构造变形的物理模拟[J]. 地震地质, 1997, 19(3): 248-257.
- [6] 周永胜,李建国,王绳祖,等. 用物理模拟实验研究大陆伸展构造[J]. 地质力学学报, 2002, 8(2): 144-148.
- [7] 周永胜,李建国,王绳祖. 用物理模拟研究地幔上隆与大陆裂陷伸展[J]. 地质力学学报, 2000, 6(1): 22-32.
- [8] 王绳祖. 亚洲大陆岩石圈多层构造模型和塑性流动网络[J]. 地

- 质学报, 1993, 67(1): 1-18.
- [9] McClay K R . The rheology of plasticine[J] . Tectonophysics, 1976, 33: T7-T15.
- [10] Ruud W. Flow behaviour and physical chemistry of bouncing putties and related polymers in view of tectonic laboratory applications[J] . Tectonophysics, 1985, 124: 325-358.
- [11] Ramberg H. Natural and experimental boudinage and pinch-and-swell structures [J] . J. Struct. Geol. , 1955, 63(6) : 512-526.
- [12] Haakon F, Roy H Gabrielsen. Experimental modeling of extensional fault systems by use of plaster [J] . J. Struct. Geol. , 1996, 18(5) : 673-687.
- [13] Kobber G, Zulauf G . Experimental folding and boudinage under pure constrictional conditions [J] . J. Struct. Geol. , 1995, 17(7) : 1055-1063.
- [14] Janet Z, Gernold Zulauf. Rheology of plasticine used as rock analogue: the impact of temperature, composition and strain [J] . J. Struct. Geol. , 2004, 26: 725-737.
- [15] Cobbold P R . Fold propagation in single embedded layers [J] . Tectonophysics, 1975, 27, 333-351.
- [16] Hailemariam H, Mulugeta G . Temperature dependent rheologies of bouncing putties used as rock analogus [J] . Tectonophysics, 1998, 294: 131-141.
- [17] Kidan T W , Cosgrove J W . The deformation of multilayers by layer-normal compression; an experimental investigation [J] . Journal of Structural Geology , 1996, 18: 461-474.
- [18] Martin P J S, Gernold Z. Strain-dependent rheology and the memory of plasticine[J] . Tectonophysics , 2002, 354: 85-99.
- [19] 周彦豪. 聚合物加工流变学基础[M] . 西安: 西安交通大学出版社, 1988.
- [20] 沈崇棠, 刘鹤年. 非牛顿流体力学及其应用[M] . 北京: 高等教育出版社, 1989.
- [21] 赵洪, 王暄, 崔思海, 等. 基于计算机测控技术的转矩流变仪的研制[J] . 塑料工业, 2002, 30(3) : 52-54.
- [22] 侯克鹗, 杨晓雷. 浆液体流变性及其测试研究[J] . 试验技术与试验机, 2002, 42(1) : 18-22.
- [23] 段鸿杰, 孙恒虎. 高浓度浆体流变参数测定的新方法[J] . 中国矿业大学学报, 2001, 30(4) : 371-374.
- [24] 曾佐勋, 刘立林, 黄定华, 等. 高粘度非牛顿模型材料流变性能的实验测定[J] . 地质力学学报, 1995, 1(2) : 35-39.
- [25] Cobbold P R. A biaxial press for model deformation and rheological tests[J] . Tectonophysics, 1975, 26: 1-5.
- [26] Zulauf G. , Zulauf J, Hastreiter P, *et al.* A deformation apparatus for three-dimensional coaxial deformation and its application to rheologically stratified analogue material [J] . J. Struct. Geol. , 2003, 25: 469-480.

RESEARCH PROGRESS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTY OF THE PHYSICAL MODELING MATERIALS

XU Yun-feng¹, ZENG Zuo-xun²

(1. Anhui Institute of Architecture Industry, Hefei 230601, China;

2. College of Geo-sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Physical modeling experiments are based on the choice of the materials and the determination of the rheological parameter. The flexible materials nowadays used in the experiments include generally clay mud, paraffin wax, rosin, plasticized rosin and plastic clay. Rheometers used in China are mainly capillary rheometer, rotary rheometer, falling sphere rheometer. Abroad, development and application of 3-axial rheometers have won successes. In the future, we should strengthen development of new modeling materials and proper rheometers and their introduction.

Key Words: physical modeling; rheology; modeling materials; rheometer