

ENERGY EXPERIMENT AND SHALE GAS TECHNOLOGY ATLAS

# 能源实验与页岩气技术

# 图 册

主 编◎张金川

副主编◎李 哲 唐 玄

金文正 王宏语



华东理工大学出版社  
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

## 图书在版编目(CIP)数据

能源实验与页岩气技术图册 / 张金川主编. — 上海:  
华东理工大学出版社, 2019.9  
ISBN 978-7-5628-5929-1

I. ①能… II. ①张… III. ①油页岩—实验技术—图  
集 IV. ①P618.12-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第168137号

### 内容提要

全书共五章,第1章介绍中国地质大学(北京)能源实验中心实验室概况,包括实验室历史及功能分类;第2章涉及基础性实验仪器与设备,包括样品预处理实验仪器与设备、基础地质实验仪器与设备;第3章为油气成藏与开发实验仪器与设备,包括有机地球化学与成藏、油气储层物性、油气田开发实验仪器与设备及实验测试成果示例等;第4章涉及实验中心特色设备与仪器,包括虚拟仿真实验室、自主研发页岩油气实验设备与仪器及实验测试示例;第5章介绍页岩与页岩气分析技术,包括富有机质页岩、页岩矿物、页岩沉积韵律、孔隙与裂缝、页岩龟裂、结核及与球形风化等。

本书总结了能源实验中心的历史、特色及现状,以画面的风格展现我国早期的页岩气发现(渝页1井)、发展及技术,以纪实的手法展现实验室与页岩气的设备、图像及关联,可为从事页岩气教学与研究的学者提供借鉴,也可供高校相关专业的师生参考学习。

---

项目统筹 / 马夫娇 韩 婷

责任编辑 / 韩 婷

装帧设计 / 吴佳斐

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地址:上海市梅陇路130号,200237

电话:021-64250306

网址:www.ecustpress.cn

邮箱:zongbianban@ecustpress.cn

印 刷 / 上海雅昌艺术印刷有限公司

开 本 / 710 mm × 1000 mm 1/16

印 张 / 7.5

字 数 / 117千字

版 次 / 2019年9月第1版

印 次 / 2019年9月第1次

定 价 / 118.00元

---

版权所有 侵权必究

# 前 言

对于大学，实验室建设的作用和发展的意义毋庸置疑。

与中国地质大学（北京）的历史定位和能源学院的学科发展相和谐，能源实验室在历史上也曾经是能源地质教学与研究中的中流砥柱。但由于多种原因，世纪之交时的能源实验室仍然处于百废待兴、百业待举状态，可继承性发展的历史性物质遗产几乎为零。在大家共同努力下，实验室建设突飞猛进。

2004年年初，学校启动本科教学评估活动，对实验室采取“以评估促建设”措施开始实验室建设。在实验室配套建设得到了空前高度重视的前提下，经过一年努力的能源实验室虽然得到了跨越式的发展和大踏步的前进，但在年底初查验收时，实验室仍然得到了“一小、二旧、三空、四缺、五可怜”的评价结论。经过持续努力，2005年时的实验室条件建设和安全环境得到了进一步改善，逐渐甩掉了“一小、二旧、三空、四缺、五可怜”帽子，年底时达到了辅助41门课程、承担92个实验项次、能够完成100余个实验项目的能力和水平。

对于一流大学，实验室的内涵水平不容争辩。

在教学实验室建设方面，能源实验中心2009年通过答辩入选校级实验教学中心（能源实验教学示范中心）。同年，与地球科学与资源学院、地球物理与信息技术学院以及工程技术学院所属实验室联合，共同开始北京市地质资源与勘查实验教学示范中心立项建设。2012年，由地球科学与资源、能源、地球物理与信息技术及工程技术等4个学院联合组队申报的地质资源勘查国家级实验教学示范中心顺利获得评审通过，同意予以立项建设，能源实验中心成为地质资源勘查国家级实验教学示范中心能源分中心。2014年，能源实验中心独立申报了能源地质与评价国家级虚拟仿真实验教学中心，同年准予立项建设。

从2007年开始，能源实验中心建设开始走向新的高度。在科研重点实验室

建设方面,中国地质大学(北京)2007年年底被批准依托能源学院/能源实验中心开始海相储层演化与油气富集规律教育部重点实验室建设,2012年又同时获准开始国土资源部页岩气资源战略评价重点实验室和非常规天然气能源地质评价与开发工程北京市重点实验室建设,能源实验中心科研重点实验室建设水平再创新高。

对于学科建设,实验室建设的起点高度一目了然。

在各种天然气资源类型中,页岩气的发展速度是最快的。美国、加拿大和中国称为世界前三大页岩气生产国。其中,美国的页岩气研发生产历史较长,其2009年时的页岩气总产量为880亿方,在天然气年总产量中占比14%,该数值超过了中国同年所有天然气总产量,同年,美国的天然气总产量一举超越俄罗斯而成为世界第一。至2015年,页岩气总产量4217亿方,在天然气年总产量中占比超过50%。2008年,加拿大开始生产页岩气,年总产量10亿方,2009年时达到72亿方,2015年时达到350亿方,在其年天然气总产量中占比23.3%。在中国,2009年渝页1井发现页岩气,2015年页岩气年产量达到45亿方,在天然气年总产量中占比3.5%。

2003年,美国的页岩气革命刚刚开始,水平井和水力压裂技术得到了成功应用,页岩气产量开始迅速递增。同一时期,国内对页岩气尚处于“一无所知”状态。一般的研究者都认为,由于页岩孔隙和孔隙度极小,页岩只能是常规气藏中天然气的供应者而不能作为天然气的储集场所《页岩气及其成藏机理》(2003)和《页岩气成藏机理和分布》(2004)论文的发表,打破了我国油气地质学研究领域中的寂静,页岩气渐渐成为我国非常规油气地质领域中的佼佼者。

对于新兴学科,实验室建设的促进作用不言而喻。

2009年,位于重庆市彭水县莲湖乡乐地坝村曹家沟的渝页1井揭示黑色页岩223m(未穿),在五峰-龙马溪组页岩中获得 $1\sim 3\text{ m}^3/\text{t}$ 含气量,首获我国页岩气发现,证实了我国页岩气的存在。2011年,页岩气被国务院列为第172个新矿种。该井页岩气的发现,打破了中国没有页岩气的争论,为后期页岩气的进一步突破指明了方向。

本图册定位于实验室和页岩气的诉说,将能源实验中心与页岩气实验技术融合在一起,采用图册的方式概括能源实验中心的历史、特色及现状,以画面

的风格展现我国早期的页岩气发现、发展及技术，以纪实的手法展现实验室与页岩气的设备、图像及关联，是一部集历史梳理、科学应用、实验测试、技术发展、效果分析及摄影艺术于一体的图册。

2016年，幸得高举相机的李哲加入研究生团队，将其所视尽收眼底。图册选取部分有代表性、典型性或有特殊意义的场景、设备/仪器、岩样标本、实验结果等图像，拍、选、修、排、定历时三年，数易其稿，所展示内容丰富、素材多样、手法简朴、以实为范。图册精心策划、实事求是，贯穿将今论古的哲学思想，编排逻辑严密、图像挑选严谨，期待产生睹图思理、令人回味、别有洞天的效果。

图册素材来源于潜心建设了近二十载的能源实验中心，来源于摸索了近20年之久的页岩气领域，来源于不同阶段、地区、单位及人员的油气地质、开发评价、设备研发及页岩气野外地质作业，其资料收集过程复杂，在此对所有提供过帮助的人表示特别感谢。

图册系统介绍了各类仪器原理，展示了相关仪器/设备，图示了有趣的特殊地质现象，可供石油地质、能源地质、非常规天然气地质等专业领域人员选读，可供实验室、生产现场、理论研究等人员参考，可供教师、工程师、研究生等人员使用。

图册内容广泛，涉及领域多样，加之时间有限，作者水平有限，书中难免出现各种疏漏和不足，望斧正为盼。



二〇一八年晚秋·北京

# 目 录

---

- 第 1 章 能源实验中心 ▶ 001
  - 1.1 实验室概览 / 001
  - 1.2 历史沿革 / 005
  - 1.3 部分代表性实验室 / 011
  - 1.4 野外实验室 (部分) / 017
  - 1.5 管理与运行 / 020
  
- 第 2 章 基础性实验仪器与设备 (部分) ▶ 023
  - 2.1 样品预处理实验仪器与设备 / 023
  - 2.2 基础地质实验仪器与设备 / 026
  
- 第 3 章 油气成藏与开发实验仪器与设备 (部分) ▶ 030
  - 3.1 有机地球化学与成藏实验仪器与设备 / 030
    - 3.1.1 化学成分 / 030
    - 3.1.2 成藏分析 / 034
  - 3.2 油气储层物性实验仪器与设备 / 036
    - 3.2.1 光学显微镜 / 036
    - 3.2.2 扫描电子与原子力显微镜 / 036
    - 3.2.3 岩石颗粒骨架实验仪器与设备 / 040
    - 3.2.4 储层物性实验仪器与设备 / 043
  - 3.3 油气田开发实验仪器与设备 / 046
    - 3.3.1 原油物性 / 046
    - 3.3.2 油气藏开发机理与数值模拟实验仪器与设备 / 047

- 3.4 实验测试成果示例 / 051
  - 3.4.1 有机地球化学测试示例 / 051
  - 3.4.2 储层物性测试示例 / 052

#### 第 4 章 实验中心特色设备与仪器 (部分) ▶ 057

- 4.1 虚拟仿真实验室 / 057
- 4.2 自主研发页岩油气实验设备与仪器 / 061
- 4.3 实验测试示例 / 065

#### 第 5 章 页岩与页岩气分析技术 (部分) ▶ 066

- 5.1 富有机质页岩 / 066
- 5.2 页岩矿物 / 071
  - 5.2.1 黏土矿物手标本 / 071
  - 5.2.2 黄铁矿 / 074
  - 5.2.3 扫描电镜下的矿物 / 077
- 5.3 页岩沉积韵律、孔隙与裂缝 / 078
  - 5.3.1 页岩沉积韵律 / 078
  - 5.3.2 页岩孔隙 / 081
  - 5.3.3 页岩裂缝 / 082
- 5.4 页岩龟裂、结核及与球形风化 / 084
  - 5.4.1 龟裂 / 084
  - 5.4.2 结核 / 086
  - 5.4.3 球形风化 / 089
- 5.5 渝页 1 井及其页岩气的发现 / 092

#### 附录 1 钻头 ▶ 097

#### 附录 2 煤 ▶ 098

#### 附录 3 部分典型手标本 ▶ 100

#### 附录 4 页岩气技术相近、相关及延伸相关术语 ▶ 103

# Content

---

- 1 Energy laboratory group** ▶ 001
  - 1.1 Overview / 001
  - 1.2 History and evolution / 005
  - 1.3 Representative laboratories / 011
  - 1.4 Field bases / 017
  - 1.5 Management and operation / 020
  
- 2 Basic equipments** ▶ 023
  - 2.1 Equipments and instruments for sample preprocessing / 023
  - 2.2 Equipments and instruments for general geology / 026
  
- 3 Equipments for hydrocarbon accumulation and development** ▶ 030
  - 3.1 Equipments and instruments for organic geochemistry and hydrocarbon accumulation / 030
    - 3.1.1 *Equipments and instruments for component analysis / 030*
    - 3.1.2 *Equipments and instruments for accumulation analysis / 034*
  - 3.2 Equipments and instruments for reservoir properties / 036
    - 3.2.1 *Optical microscopes / 036*
    - 3.2.2 *Scanning electron and atomic force microscopes / 036*
    - 3.2.3 *Equipments and instruments for rock particle skeleton / 040*
    - 3.2.4 *Equipments and instruments for reservoir physic properties / 043*
  - 3.3 Equipments and instruments for oil and gas development / 046
    - 3.3.1 *Equipments and instruments for crude oil physical properties / 046*
    - 3.3.2 *Equipments and instruments for development mechanism and numerical*

*simulation of oil and gas / 047*

- 3.4 Examples of experimental test results / 051
  - 3.4.1 *Examples from organic geochemistry testing / 051*
  - 3.4.2 *Examples from reservoir property testing / 052*

#### **4 Characteristic equipments and instruments** ▶ 057

- 4.1 Virtual simulation laboratory / 057
- 4.2 Self-developed equipments and instruments on shale oil and gas / 061
- 4.3 Examples from field desorption testing / 065

#### **5 Analytical techniques for shale and shale gas** ▶ 066

- 5.1 Organic shale / 066
- 5.2 Minerals in shale / 071
  - 5.2.1 *Clay mineral specimens / 071*
  - 5.2.2 *Pyrite / 074*
  - 5.2.3 *Minerals under scanning electron microscopes / 077*
- 5.3 Sedimentary rhythm, pore and cracks in shale / 078
  - 5.3.1 *Sedimentary rhythm in shale / 078*
  - 5.3.2 *Pore in shale / 081*
  - 5.3.3 *Cracks in shale / 082*
- 5.4 Desiccation cracks, concretions and spherical weathering phenomena / 084
  - 5.4.1 *Desiccation cracks in shale / 084*
  - 5.4.2 *Concretions in shale / 086*
  - 5.4.3 *Spherical weathering phenomena / 089*
- 5.5 Discoveries of Well Yuye 1 and shale gas / 092

**Appendix 1 Bits of a drill** ▶ 097

**Appendix 2 Coal** ▶ 098

**Appendix 3 Typical hand specimens** ▶ 100

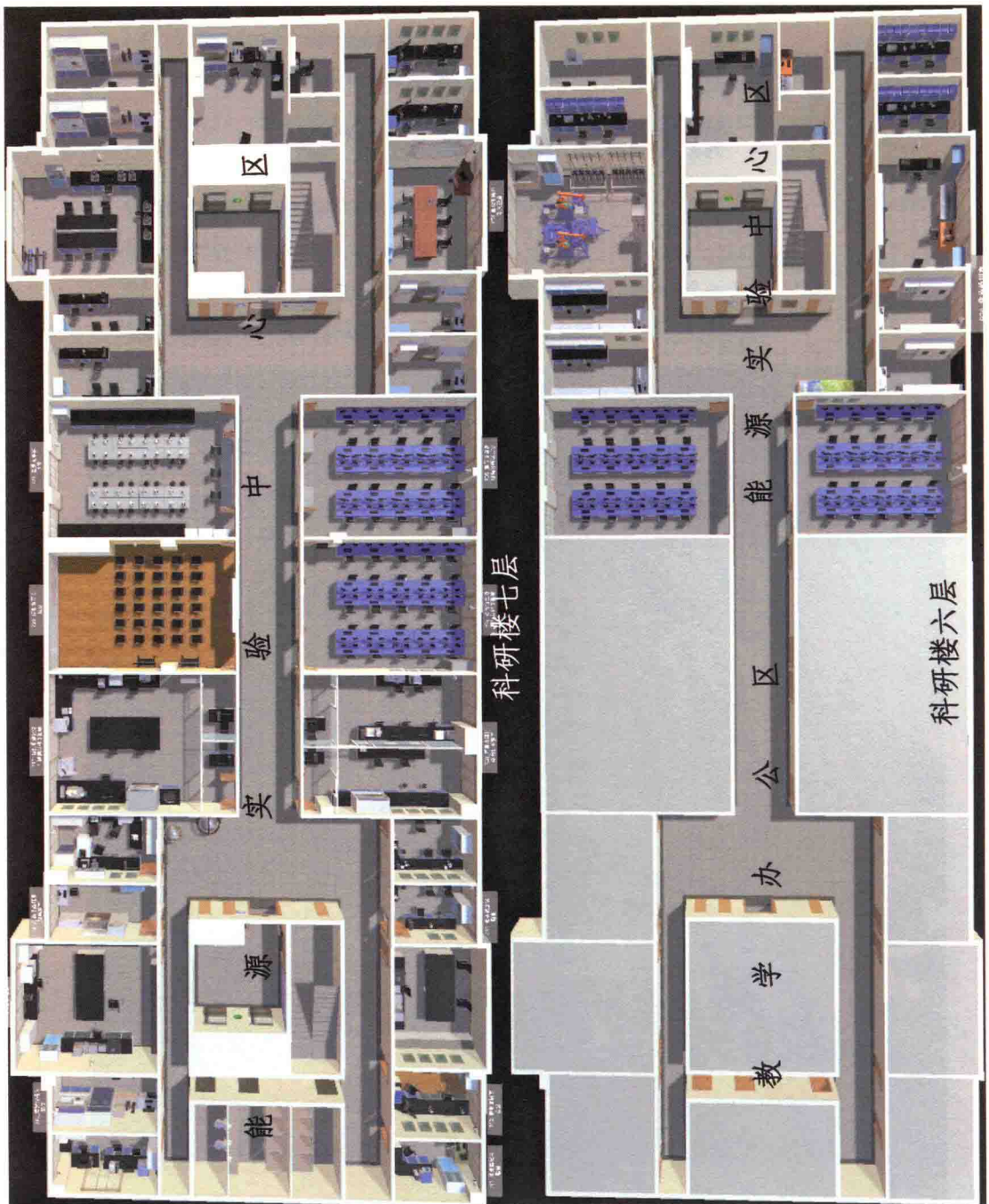
**Appendix 4 Glossary relevant to shale gas technology** ▶ 103

# 第1章 能源实验中心

## 1.1 实验室概览



能源实验中心主体所在的科研楼



能源实验中心实验室整体布局鸟瞰效果图



测试楼



地质资源与勘查国家级实验教学示范中心能源分中心  
和能源地质与评价国家级虚拟仿真实验教学中心



海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室



国土资源部页岩气资源战略评价重点实验室



非常规天然气地质评价及开发工程  
北京市重点实验室

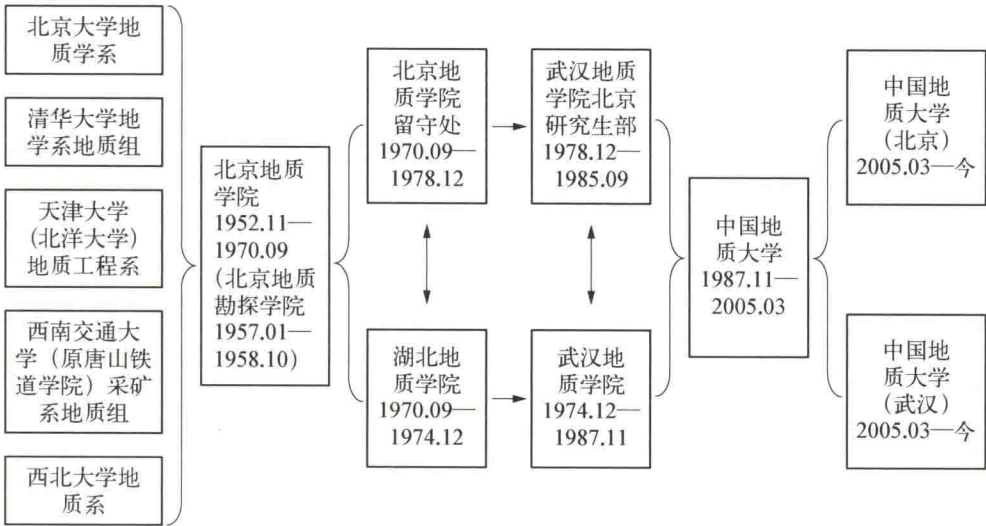


国家煤层气工程中心  
煤储层物性实验室



能源实验中心铭牌

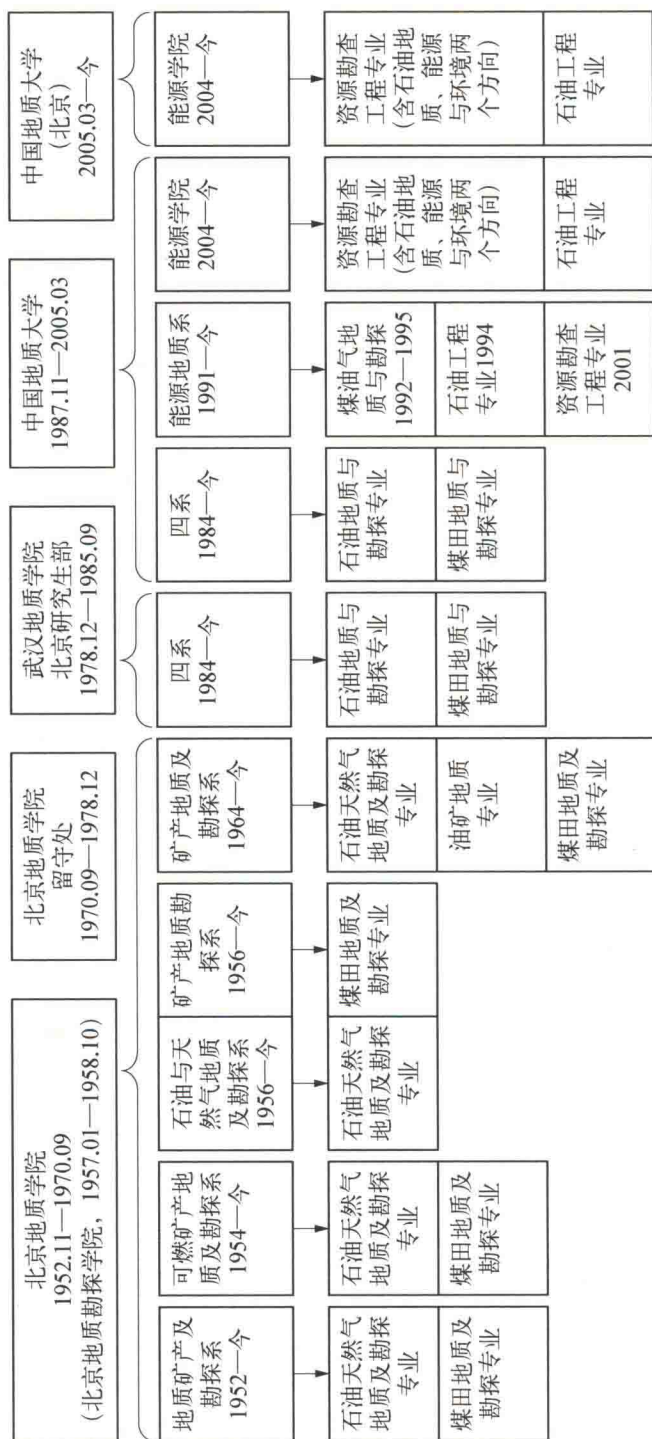
## 1.2 历史沿革



中国地质大学（北京）历史沿革



北京地质学院第一任院长任命通知书



能源学院专业历史沿革简图



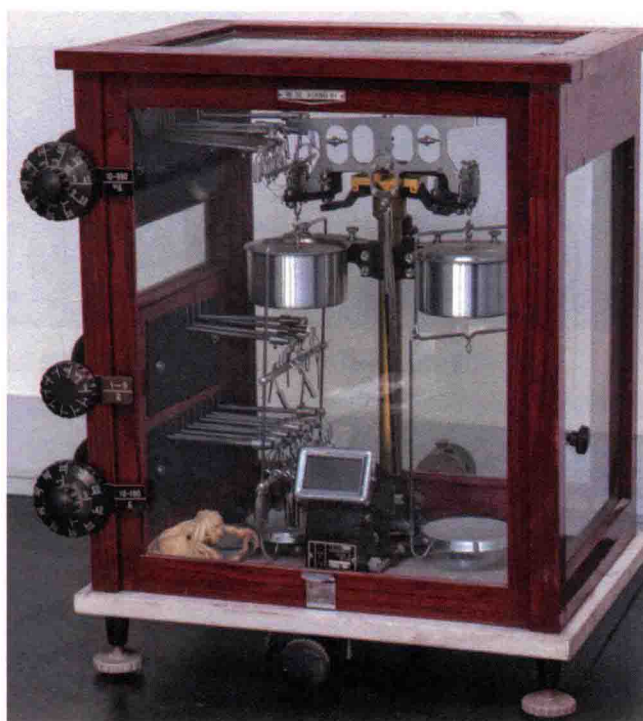
实体显微镜（1953，蔡司 HENSOLDT）



偏光显微镜（1956，莱资 LEITZ-CM）



偏光显微镜（1980，江南光仪厂 XPT-6）



能源实验中心  
现存的“古董”

机械天平（1981）



实验室廊道



地球化学实验室



北京市高等学校基础课评估合格实验室——石油工程教学实验室数值模拟实验分室



北京市高等学校基础课评估合格实验室——石油工程教学实验室油层物理实验分室

2001年时的能源学院实验室