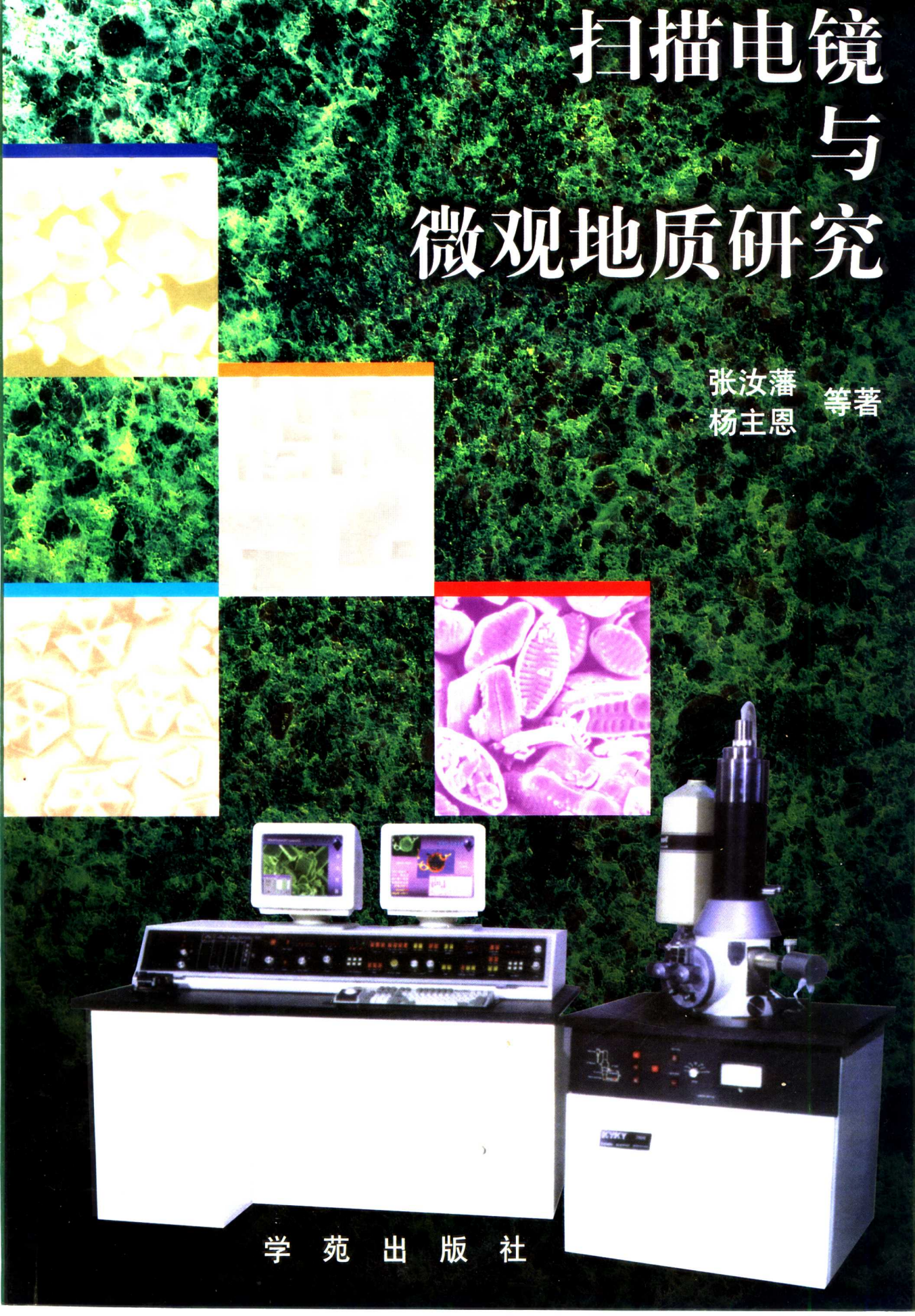


扫描电镜 与 微观地质研究

张汝藩 等著
杨主恩



学苑出版社

扫描电镜与微观地质研究

张汝藩 等著
杨主恩

学苑出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

扫描电镜与微观地质研究/张汝藩等著. - 北京: 学苑出版社, 1999.1

ISBN 7-80060-228-1

I. 扫… II. 张… III. ①扫描-电子显微镜-应用-地质采样-分析②矿物-电子显微镜分析③岩石-电子显微镜分析 IV. P575.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 37853 号

学苑出版社出版发行

北京市万寿路西街 11 号 100036

争锐图文制作公司照排

高碑店市印刷厂印刷 新华书店经销

787×1092 16 开本 12.75 印张 172 千字 86 页图

1999 年 2 月北京第 1 版 1999 年 2 月北京第 1 次印刷

印数: 001—500 册 定价: 45.00 元

内 容 简 介

电子显微镜作为探索微观物质世界的有力工具，正发挥着巨大的作用，也取得了不少突破性成果，其分辨能力已达到原子尺度。扫描电镜（SEM）特别适合于地质试样分析。本书介绍现代 SEM 的功能、特点，并叙述其在近期地质学领域中取得的研究成果。可供地质科技工作者和地质院校师生在科研和教学工作中参考。

作者工作单位和通讯地址

张汝藩 陶克捷 谢奕汉 李红生 李任伟 雷加锦
黄峥嵘 赵杰辉 范宏瑞 王英兰 田桂茹

中国科学院地质研究所, 100029
(北京市德胜门外祁家豁子)

杨主恩 俞理宝 鲍秀英

中国地震局地质研究所, 100029
(北京市德胜门外祁家豁子)

序 一

《扫描电镜与微观地质研究》是作者们多年科研工作和长期积累的宝贵成果，它对微观地质体的扫描电镜研究做了系统全面的阐述，为微观地质研究提供了重要的途径。

本专著中将扫描电镜研究方法与地质科研工作紧密结合，不仅使地质研究课题的工作更为深入，而且也使扫描电镜观察研究的领域得到拓展。从层状硅酸盐矿物，到稀有的微体古生物、流体包裹体的子矿物、构造断层岩中的矿物，甚至宇宙尘矿物等得到广泛应用。研究内容不仅涉及组分的变化，还包含显微形貌、结构、构造等的综合分析研究。

本专著中应用扫描电镜进行微观地质体的研究取得了一系列进展。例如，根据微体古生物形貌特征研究发现了若干新的种属，对解决地层时代，探讨地质环境等有重要意义；又如，对包裹体子矿物的研究，为探讨矿床成因提供了重要证据，以及在构造地质学中的应用研究，这些都有助于地质科学研究的深入和创新。

本专著中扫描电镜的微观地质体的形貌特征观测与相应的化学成分分析密切配合，显微图象均配有化学组分能谱分析数据。结果可靠、可信。此外，本专著中还对微地质体的制样方法和技术作了详细的介绍，这是作者在多年工作中探索和总结出来的宝贵经验，值得推广应用。

本专著结构清晰、内容丰富、资料翔实，在学术上和实用上均具有重要价值。我相信本专著的出版必将受到同行的欢迎，也将促进我国微观地质研究领域的发展。

王思敬

中国工程院院士
中国岩石力学与工程学会理事长
国际工程地质学与工程学会理事长

序 二

数年前张汝藩同志就在积极筹划出版一本反映我所扫描电镜实验室研究成果的专著，现在此书终于出版。作为他的一个老同事和老朋友，我衷心地表示祝贺。七十年代后期，我国科技界迎来了“科学的春天”。在“科学的春天”里建“科学大厦”需要实验室的“砖块”。为了追赶国际地质科学的先进水平，建筑我国地质科学的“高楼大厦”，我们许多人当时都曾献身实验室建设。张汝藩同志所在的扫描电镜实验室就是在这种背景下成立的。建实验室开头难，维持实验室正常运转也很难。本书主编及其合作者克服了许多困难，经过二十年的辛勤耕耘，才获得丰硕的成果。我认为本书的出版至少有两方面重要的价值。本书叙述了作者丰富的实践经验，挑选了八十六幅扫描电镜图版，有的还配有 X-射线能谱分析资料，它可以做为初学者通过扫描电镜涉足微观地质研究的入门指南。此外，由于本书包括了微观地质学领域多方面的研究内容和成果，可供相关专业的地质学家参考。要了解宏观物质世界，必须研究微观物质世界。我们必须深入到矿物、岩石和生物的微观世界去寻找有关地球起源和演化（包括岩石圈板块运动）、地球上生物圈起源和演化（包括生物地质作用）的依据。无疑，包括扫描电镜在内的微分析技术仍将在未来的地球科学中大有作为。



中国科学院地质研究所
研究员

Microgeology Research in Scanning Electron Microscopy

Zhang Rufan, Yang Zhu'en et al.

Summary

This book represents the research work in the Scanning Electron Microscopy (SEM) Laboratory in Institute of Geology, Academy of Science of China, and is an achievement on research and application in geology by the authors. It includes nine chapters and 86 plates with more than six hundred of SEM images, 71 X-ray energy spectra of minerals applying SEM in rocks and minerals, and some detail study in geology using SEM.

Chapter 1, it summaries the developing process of SEM technology, and outline of its application in geoscience.

Chapter 2, it introduces the main property of modern SEM and some brands of SEM manufactured by famous factories, including the advanced digital SEM of mode KYKY-2800 made in China.

Chapter 3 expounds the process of making geological sample for SEM and the basic methods of observation and research. Great attention must be paid in making samples, because the sample qualities affect the result from analysis and research.

Chapter 4 describes some SEM-EDX analytical examples of minerals from igneous rock such as: fluorite, pyrite, magnetite, cassiterite, aeschynite-(Y), zircon, epidote, sphene etc. These results of micro-textures and element composition of minerals are the basement for study of genesis and regional differences for rocks and minerals. SEM is an indispensable method to research the cosmic dust, and provides important information about its formation and origin from the special microstructures on the surface of its spherulite. This chapter also shows more SEM-EDX analytical data of clay minerals, zeolite minerals (clinoptilolite, analcite, arduinite etc.), some ferriferous, manganiferous, phosphorus-bearing and bauxite minerals (hematite, siderite, pyrite, psilomelane, pyrolusite, apatite with different origin, diaspore, allophane etc.), carbonate minerals (calcite, high-magnesian calcite, dolomite), salina minerals (halite, gypsum, mirabilite,

barite, celestite, witherite etc.), some common minerals (quartz, feldspar, mica etc.) and a few artificial minerals (synthetic diamond, synthetic corundum). Some research inquires into the alteration of minerals based on the outline of micro-crystal of mineral, weathering and formation of rock.

Chapter 5 concerns on the SEM analysis of microfossil, especially the fossil of radiolarians. Based on the analysis of number of radiolarian samples from different geologic time and region in China, more than ten of new species were found. These results show important significance on the examination of dating of stratum with little of fossil in some region, and research of structural stratigraphy. In addition, more study of diatom is included. SEM will be more applied on research of microfossil in future.

Chapter 6 expounds the research of daughter minerals in fluid inclusion from igneous and metamorphic rocks. Based on the observation and analysis on the micro-outline and element component solid daughter-minerals with scale of micro size by use of SEM, it is important for further understanding the composition of inclusions in minerals, ore-forming mechanism and ore genesis, and for the development of study on inclusions in minerals and fluid geochemistry.

Chapter 7 is the application to structural geology. There are three aspects of determination of movement mode of faulting, faulting dating and paleopiezometer. All these application is based on the features of much higher magnifying and resolving power with undestroyed original sample of the SEM than the popular microscopy. SEM becomes an effective useful research tool in structural geology.

Chapter 8, it summaries the micro-textures on surface of coal, quartzite reservoir rock and quartz grain. Some new experience and achievement on research of grain gold by use of SEM is introduced.

Chapter 9, the last chapter, gives a prospect for near future on the SEM application to micro-geology. With the advance of instrument property of SEM and more detail apply in geoscience, the knowledge of microstructure world of earth will further increase. The more new find and blazing new ideas will occur. The microgeology will tend perfects and become an important field in geoscience.

Although this book summarized a number of achievement on SEM application to many fields in geology, but the research on microgeology by SEM is still on the step of data collection and more study are needed. All we give in this book is just a stepping stone. We hope all the researchers who with lofty ideas on microgeology research join us together and try our best and help each other forward for more fruitful achievement on the SEM application in geoscience.

目 录

第一章 概论	张汝藩	(1)
第二章 现代扫描电镜简介	张汝藩	(5)
第三章 扫描电镜地质试样的制备及观察研究方法	张汝藩	(11)
第一节 试样的制备		(11)
第二节 地质试样 SEM 观察研究基本方法		(13)
第四章 微矿物扫描电镜分析	陶克捷 张汝藩 李任伟	(15)
第一节 微矿物概论		(15)
第二节 岩浆岩微矿物		(16)
第三节 宇宙尘矿物		(20)
第四节 粘土矿物		(21)
第五节 沸石矿物		(26)
第六节 铁矿、锰矿、磷矿和铝土矿矿物		(28)
第七节 碳酸盐矿物		(31)
第八节 盐类矿物		(32)
第九节 其他矿物及人造矿物		(34)
第十节 矿物微晶形态及矿物变化研究		(38)
第五章 微体古生物研究	李红生 张汝藩	(43)
第一节 放射虫		(43)
第二节 硅藻		(47)
第三节 其他微体古生物		(48)
第六章 流体包裹体中子矿物的研究	谢奕汉 范宏瑞 王英兰 田桂茹	(49)
第一节 包裹体的子矿物特征		(49)
第二节 研究实例		(52)
第三节 流体包裹体子矿物研究的地质意义		(55)
第七章 微观形貌学在构造地质研究上的应用	杨主恩 俞理宝 鲍秀英	(57)
第一节 微观形貌学在断层运动学研究中的应用		(57)
第二节 新年代学测定上的应用		(60)

第三节 古应力测定上的应用	(64)
第八章 其他微观地质研究	张汝藩 李任伟 (67)
第一节 石油储层及煤瓦斯储盖层有关的 SEM 工作	(67)
第二节 石英颗粒表面微结构与沉积环境分析	(68)
第三节 微粒金分析	(69)
第九章 扫描电镜—微观地质学展望	李任伟 张汝藩 雷加锦 (71)
参考文献	(75)
结束语和致谢	(79)
图版说明及图版 (1-86)	(81)

MICROGEOLOGY RESEARCH IN SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

Contents

Chapter 1 Introduction	Zhang Rufan
Chapter 2 Introduction to modern scanning electron microscope (SEM)	Zhang Rufan
Chapter 3 Preparation and measurement of geological samples for SEM analysis	Zhang Rufan
Chapter 4 SEM analysis of micro-minerals	Tao Kejie, Zhang Rufan, Li Renwei
4.1 Conception of micro-minerals	
4.2 Magmatic minerals	
4.3 Minerals from cosmic dusts	
4.4 Clay minerals	
4.5 Zeolite minerals	
4.6 Minerals from the Fe, Mn, P and Al ore deposits	
4.7 Carbonate minerals	
4.8 Evaporite minerals	
4.9 Artificial and other minerals	
4.10 Research on micro-crystalline forms and mineralogical alterations	
Chapter 5 Micropaleontological research	Li Hongshen , Zhang Rufan
5.1 Radiolarian	
5.2 Diatom	
5.3 Other micropaleontological fossils	
Chapter 6 Research on the daughter minerals from fluid inclusion	Xie Yihan, Fan Hongrui, wang yinglan, Tian Guiru
6.1 Characteristics of the daughter minerals from fluid inclusion	
6.2 Examples	
6.3 Geological significance of research on the daughter minerals from fluid inclusion	
Chapter 7 Application of the micro-texture on mineral surface to the study of structural geology	Yang Zhu'en
7.1 Application of the micro-texture on mineral	

surface to the study of fault movements	
7.3 Measurement of the paleostress	
Chapter 8 Other micro-geological studies	Zhang Rufan, Li Renwei
8.1 Mineralogical and petrologic analysis of coal-bearing strata and petroleum reservoir rocks	
8.2 The surface structure of quartz grains and sedimentological environmental analysis	
8.3 Analysis of micro-grain gold	
Chapter 9 Prospects to the developments of microgeology through the application of SEM	Li Renwei, Zhang Rufan, Lei Jiajin

第一章 概 论

张汝藩

电子显微镜及其他微束分析仪器有力地推动着科学研究和生产实践的深入进展，为地学研究开辟了新领域。

1931年，德国鲁斯卡（E. Ruska）等建成第一台透射电子显微镜（TEM），1939年西门子公司研制成分辨率为 100\AA 的商品电镜。

1951年法国卡斯坦（R. Castaing）成功研制成电子探针（EPMA），1958年法国 Cameca 公司生产出了第一台商品电子探针。

扫描电镜最早始于1935年克诺尔（M. Knoll）的工作，1948年英国奥特莱（C. W. Oatley）等开始研制扫描电镜，并于1965年由英国剑桥仪器公司生产出商品扫描电子显微镜（SEM）。

这三种基于电子光学理论发展而产生的电子光学仪器，在50年代以后，伴随着电子、材料、机械制造业的发展，其性能不断提高。在材料、生命、地球科学等领域的研究工作和生产实际中，得到十分广泛的应用。它们成为继光学显微镜后探索微观世界强有力的工具。

从70年代，特别是80年代以来，上述三种仪器，更由于计算机技术的飞速发展，其性能已达到极高水平。透射电镜的分辨率已达到 $1-2\text{\AA}$ ，能分辨原子和详细研究物质的内部微细结构。电子探针探测的精度、范围和速度都有很大改善，可定量测定微区（ $1\mu\text{m}$ ）元素，从 $\text{Be}^4-\text{U}^{92}$ 。扫描电镜的分辨率也提高到了 $10-30\text{\AA}$ （最佳为 8\AA ），透射电镜和扫描电镜也都可配接X射线能谱仪，在观察物质微观形态同时可迅速获取其元素组分的资料。

80年代还发展有离子探针及各种谱仪（如俄歇电子谱、光电子谱、特征能量损失电子谱等），更加丰富了微分析的内容。

1986年 G. Binnig 和 H. Rohrer 研究出扫描隧道显微镜（STM），他们与第一台透射电镜研制者 E. Ruska 一道，获得了1986年度诺贝尔物理奖，电镜的问世被誉为“本世纪最重要的发现之一”。

我国于1958年，由中科院长春光学精密机械研究所制成第一台透射电镜。1977年上海新跃仪器厂生产出 DXB₂-12 型八十万倍透射电镜，晶格分辨率达 2.04\AA ，达到了当时相当高的水平。

1975年，中国科学院科学仪器厂（现中科院北京科学仪器研制中心），制成 DX-3 型扫描电镜。1993年推出了 KYKY-2800 型扫描电镜，分辨率达 40\AA 。

此外，南京江南光学仪器厂等单位，也先后研制了各种型号的透射电镜，电子探针和扫描电镜。

1980年我国成立了“中国电子显微学会”，下设有地学专业委员会。1982年创刊了“电子显微学报”，极大地推动了我国电子显微学工作的发展。

我国地质学界从60年代就引入透射电镜。由于当时地质试样制成超薄切片相当困难和仪器性能较差，所以多用于对细分散矿物，主要是粘土矿物及一些微化石、硅藻及孢粉等的形态分析研究，亦有一些岩矿复型工作。随着电镜分辨率迅速提高、超高压电镜的出现及制样方法的改进，通过电子衍射等方式，能详细研究矿物超微结构。配有X射线能谱仪的高分辨透射电镜，尚可同时确定微区的元素组分，现已成为深入研究微细矿物十分重要的方法。

1964年地质、石油科研单位先后引进了电子探针仪。在微细、稀少矿物分析鉴定和新矿物发现方面，取得了很大成绩，如测定了滦河矿、西盟矿、彭志忠石及发现了20多种铂族新矿物及上百种变种，成功地解决了显微金赋存状态。此外在宇宙尘、陨石、月岩等珍稀岩矿鉴定研究工作中，电子探针也是必不可少的手段。

1974年地质学界引入扫描电镜，1976年后国内开始批量生产。由于扫描电镜试样制作较简便，实用范围广泛，所以在地质科研和生产上得到了迅速的应用和发展，特别是80年代以来，扫描电镜配接了X射线能谱仪，从而大大增强了扫描电镜分析研究的准确性，使许多工作得以更深入地进行。在微体古生物学、岩矿学、沉积学、石油地质、工程岩土力学、煤岩学、试验岩石矿物学等几乎地质学的各个领域，都得到越来越多的应用。1986年出版的《扫描电镜在地质上的应用》一书（陈丽华等），概括了当时在地质领域中，扫描电镜所进行的一些主要工作和取得的成果。

80年代以来，电子光学仪器的性能有了迅速提高。由于透射电镜、电子探针、扫描电镜等各有所长，它们相互配合，于今已经拥有了深入剖析地质微观世界的的能力。因此，如果说70年代是微分析仪器在地质上逐渐广泛应用的阶段，那么80年代以来，主要依赖微分析手段开始发展出一门新兴的地质学科——微观地质学，并在90年代取得了更大进展和成果。相对而言扫描电镜较之透射电镜和电子探针，在微观地质学研究中应用更为广泛。本书将主要论述扫描电镜在微观地质研究中的工作。

中科院地质所扫描电镜实验室始建于1979年，至今已工作了近20年。在所内外科技人员的共同工作中，观察分析各种地质试样数千个，拍摄照片上万张，积累了较多资料，特别是1985年来，使用了中科院科仪厂和美国AMRAY公司合作生产的带有X射线能谱仪的KA-1000B型扫描电镜(分辨率为60Å)，在观察试样微观形态同时，可获得其主要元素组分(可分析元素Na¹¹-U⁹²)的资料，从而提高了分析工作的精度及深度，拓宽了许多研究的领域。

本书论述的主要是我所研究人员和实验技术人员相互密切配合所进行的比较深入的微观地质分析研究工作，主要包括以下几个方面：

一、微矿物学研究。主要是与稀土矿物有关的一些细粒岩浆岩矿物及宇宙尘。沉积岩矿物包括：粘土矿物、沸石、部分碳酸盐、铁、锰、磷、铝、盐类矿物等的SEM-EDX分析研究，并涉及矿物微晶形态和变化。

二、微体古生物学研究。由于扫描电镜的应用，这一研究得以迅速开展起来，我所对不同时代硅质岩中放射虫化石进行的系统深入工作，已发表了十多个新种属。几丁虫、颗石藻、硅藻等微体动植物化石方面也有程度不同的工作，对地层划分对比、构造地层、沉

积环境等研究工作颇有助益。

三、矿物包体固相矿物研究。在包裹体研究中，以往多注重包体气液相成分分析，而对微少的残留固相物质研究很少，本书的内容表明，矿物中保存的包裹体子矿物、子晶微形态的 SEM-EDX 分析，对认识矿床成因有重要意义。

四、石英颗粒表面微形态研究。除了应用于沉积石英砂综合判定沉积环境获得良好结果外，还利用石英颗粒在自然条件下，矿物性质比较稳定和抗蚀变能力强的特点，据其溶蚀状态、擦痕形态以及断层泥的微形态来判别断层相对年代、断层性质等，与热释光、 C^{14} 等方法综合应用，相互印证，起到了较好作用。

五、其他研究领域。如工艺矿物岩石学研究（陶瓷、人造金刚石等）、工程岩土性质研究、微粒金分析研究、石油储集岩、煤岩等方面的分析研究工作，扫描电镜也都发挥了很好作用。

全书共集 86 个图版，主要为扫描电镜照片，共约 600 余张，还有 X 射线谱图 71 个。在文中用圆括号（图版 X-Y）表示，标注在要说明的矿物（或古生物）之后，X 示图版序号（1-86），Y 示该图版中照片（或谱图）的序号（一般为 1-8），带 * 号者为 X 射线能谱图。

虽然，十多年来，我们应用扫描电镜开展了较多方面的地质科研工作，有不少收获，但工作仍处于微观地质学研究的初期阶段，尚需不断提高完善。

本书第一、二、三章，第四章第四节至第九节，第五章第二、第三节及第八、九章由张汝藩、李任伟同志完成，第四章第一、二、三节由陶克捷同志完成，第五章第一节由李红生同志完成，第六章由谢奕汉同志完成，第七章由杨主恩同志（中国地震局地质研究所）完成。参加这项工作的同志还有黄峥荣、赵杰辉、王英兰、范宏瑞、雷加锦、俞理宝、鲍秀英、田桂茹等同志。本项工作得到王思敬、刘嘉麒两位所长基金支持，也得到王艺芬付所长的关心帮助，在此特致谢意。

