

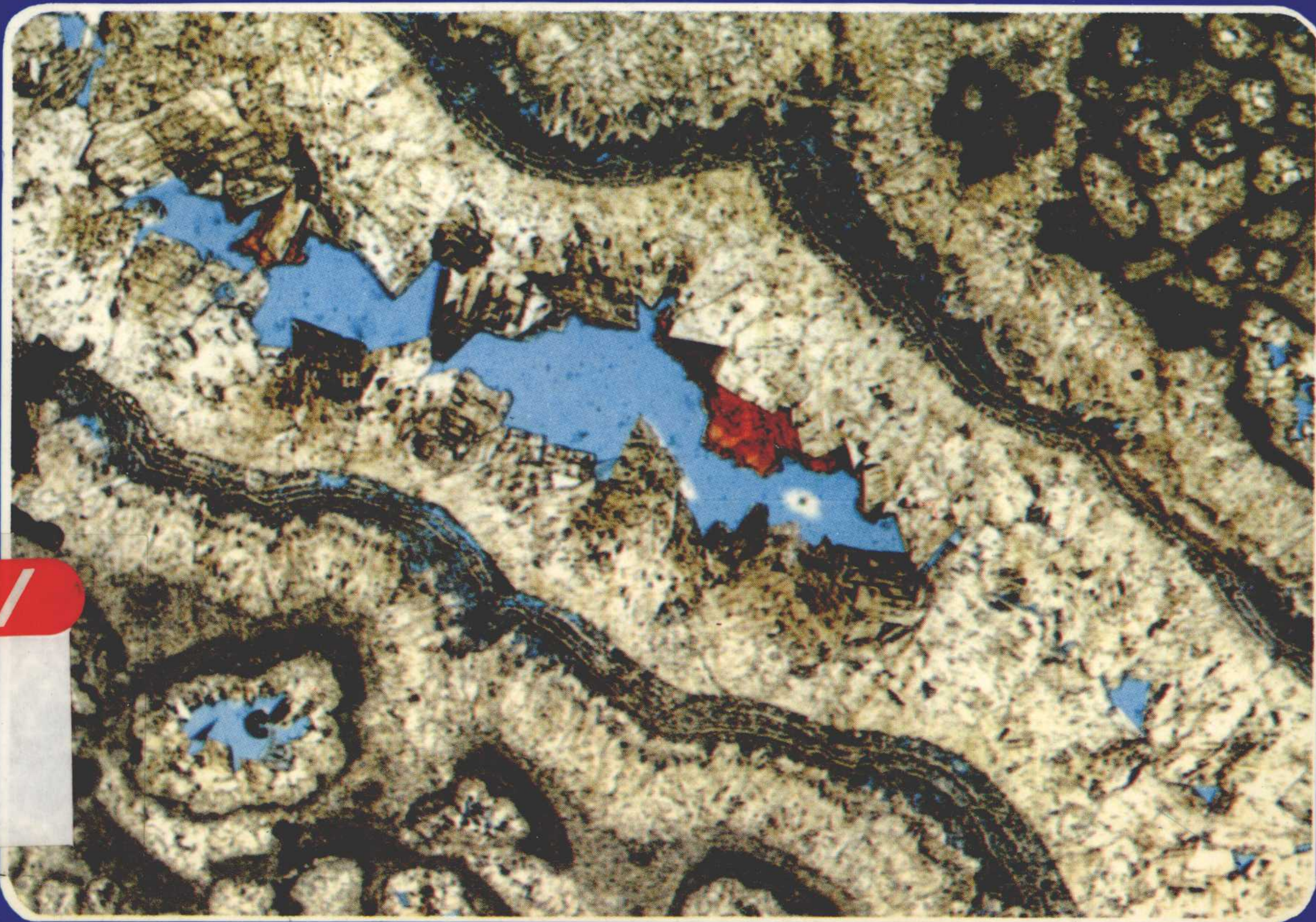
“七五”国家重点科技攻关成果

中、下扬子区

海相碳酸盐岩成岩作用研究

主编：王英华

副主编：黄志诚 王国忠 梁百和



科学技术文献出版社

• 084595

P588.24
010

内 容 简 介

中、下扬子区海相碳酸盐岩 成岩作用研究



主 编:王英华

副主编:黄志诚 王国忠 梁百和

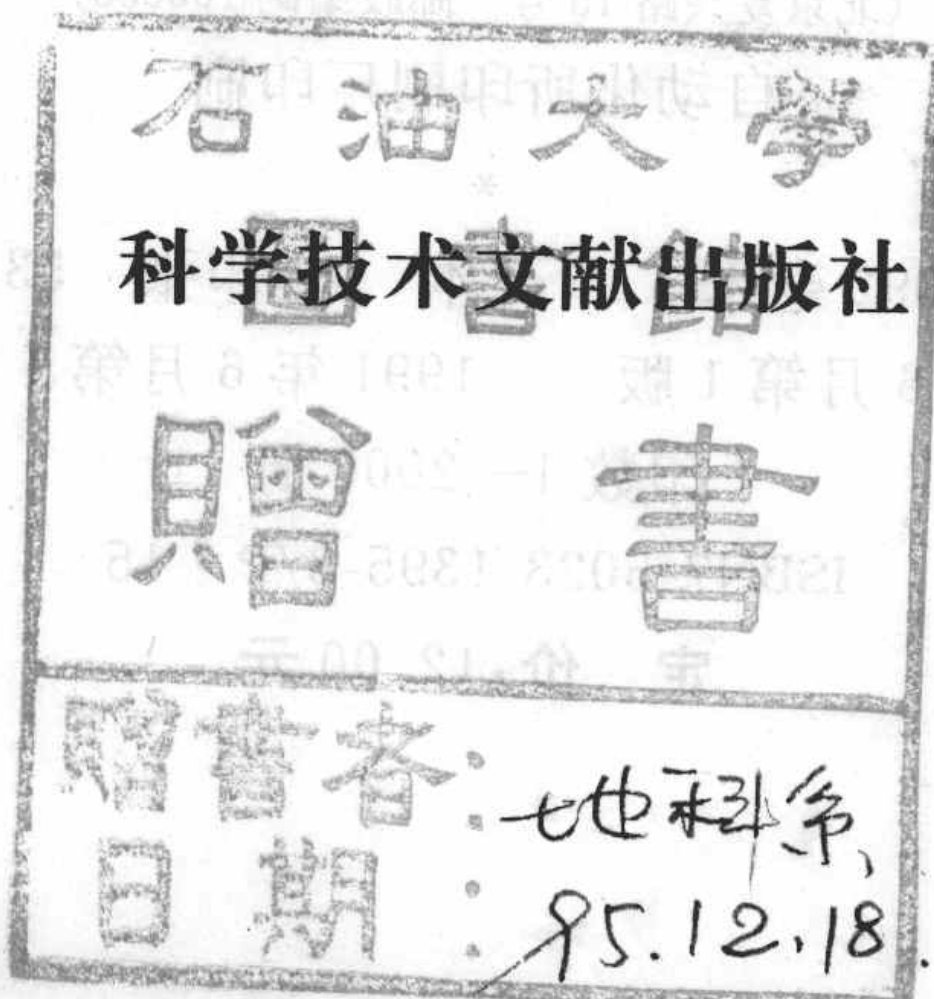
编 委:(以姓氏笔划为序)

王英华	王安德	王国忠	王 琦
杨承运	陈智娜	张秀莲	庞荣庆
梁百和	黄志诚	潘荣胜	

关德范教授指正



王英华
91年国庆



内 容 简 介

“七五”期间国家教委六所重点大学联合攻关科研组以“中、下扬子区中、古生界海相碳酸盐岩作用及其储集性研究”为课题,研究了成岩作用及其与储集性的关系等问题,本书即为这一工作成果的总结。

全书以成岩相分析为基础,综合并运用了微量元素和稳定碳、氧同位素地球化学、超微和电子探针分析、X光衍射和阴极发光分析,以及包体测温等资料和数据确立了碳酸盐岩成岩相的识别标志;对各时代碳酸盐岩和颗粒滩、生物礁、白云岩、泥晶碳酸盐岩等沉积-成岩地质体的成岩作用特征、成岩环境、成岩序列和孔隙的形成与演化,以及储层的时、空展布等问题进行了深入的研究;建立了多种成岩模式。

书中有关成岩相图的编制方法及其在岩石储集性中的应用,具有较强地探索性,将会引起同行专家们的更大兴趣。

本书可为石油、天然气地质、层控矿床和沉积学等学科领域的科技工作者阅读参考;同时也可作为高等院校地质专业研究生和本科生的学习资料。

中、下扬子区海相碳酸盐岩成岩作用研究

王英华 主编

科学技术文献出版社出版发行

(北京复兴路15号 邮政编码100038)

自动化所印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 23印张 538千字

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

印数1—2000册

ISBN7-5023-1395-8/P·15

定 价:12.00元

序

《中、下扬子区海相碳酸盐岩成岩作用研究》一书将由科学技术文献出版社出版,这是我国碳酸盐岩研究的一个新进展,应予热烈祝贺!

这一专著是王英华教授组织国家教委所属六所重点大学,即北京大学、南京大学、同济大学、中山大学、青岛海洋大学和浙江大学地质系的沉积学、石油地质学、地球化学等领域的专家、教授们为完成国家七五重点科技攻关项目过程中取得的丰硕成果。这一成果既反映了作者们克服各种艰难险阻、勇于实践和探索的科学求实精神;也是他们艰苦劳动和学术造诣的结晶。

本书以内容丰富、信息量大、图文并茂、技术思路明确、研究方法新颖和学术观点及科学结论正确、实用为特点。在理论上,作者首次提出了“成岩地质体”的概念,并科学地认为我国各地质时代的碳酸盐岩多为成岩地质体,而该类岩石的含油气性和含矿性均受成岩作用所控制。作者有关成岩作用直接控制生、储、盖组合和成岩圈闭的科学论断为碳酸盐岩型油、气勘探开辟了新的领域。

作者以自行设计、行之有效的“成岩相段分析”方法为基础,深入地研究了碳酸盐岩的各类成岩作用及其与储集空间形成和演化的关系;并正确地进行了成岩环境分析、编制了成岩相图。不言而喻,这一新的技术方法,不但使纵向上成岩环境分析在技术上成为可行;而且也为研究有利储集成岩相带的空间展布打下了基础,作者据此所获得的大量重要的科学结论也令人耳目一新。从本书的丰富内容不难看出,这一专著对在我国继续深入开展碳酸盐岩成岩作用研究和评价岩石含油、气性等方面必将具有重要的理论和实用意义。

值得特别提出的是,作者在研究工作中,全面、综合地应用了微量元素和稳定碳氧同位素地球化学、超微和探针分析、X光衍射和阴极发光、包体测温等现代测试技术和手段,以丰富的各类数据和地质、岩石学特征建立了识别各类成岩环境和划分成岩相的有效标志。书中对滩、礁、白云岩和细粒碳酸盐岩成岩作用的专题性深入研究和所建立的各类成岩模式;以及成岩环境和孔隙形成、演化的综合研究等,均可为今后同类研究提供可贵的借鉴。

通过成岩环境分析、成岩相划分和成岩相图的编制而查明的由大气淡水淋溶、埋藏溶解和白云石化等作用形成的有效储集空间和该类储层的识别标志,不但为油、气勘探提供了新的领域,而且也为探寻成岩圈闭油藏和研究金属矿床的富集规律提供了依据。由此看来,该书又是一本实用性较强、应用范围较广的学术性专著。

在成岩作用日益受到重视、成岩研究方兴未艾之际,这一专著的及时出版,对深入开展这一重要领域的研究工作当应具有积极而广泛的意义。作为先期读者谨以此序与作者共勉,并与同仁共识。

中国科学院学部委员
地质矿产部科技顾问委员 关士聪

1990. 10 月于南京

目 录

前言	(1)
总论	王英华、黄志诚 (4)
一、研究碳酸盐岩成岩作用的意义及现状	(4)
二、成岩序次和成岩阶段	(5)
三、成岩环境和成岩相	(8)
四、研究成岩作用的方法	(11)
五、中、下扬子区碳酸盐岩沉积-成岩作用基本特征	(14)
第一章 湖南省寒武系、奥陶系及泥盆系碳酸盐岩成岩作用及储集性	
梁百和、朱素琳、吴起俊、吴华新	(21)
一、地层及沉积相	(21)
二、成岩作用	(23)
三、孔隙	(34)
四、结论	(39)
第二章 湖北省寒武系、奥陶系和三叠系碳酸盐岩成岩作用及储集性	
王英华、张秀莲、杨承运、潘荣胜、张万中	(41)
一、主要岩石类型及沉积环境	(42)
二、成岩作用类型及其特征	(46)
三、成岩段的展布及其特征	(55)
四、成岩环境及储集空间	(59)
五、主要储层的控制因素、成岩圈闭及其评价	(68)
六、结论与建议	(72)
第三章 下扬子区奥陶系、寒武系及灯影组碳酸盐岩成岩作用及其储集性	
黄志诚、陈智娜、朱嗣昭、孔庆友	(74)
一、区域地质概况	(74)
二、奥陶系、寒武系、灯影组岩石学及沉积相特征	(76)
三、碳酸盐岩成岩作用及成岩段	(79)
四、碳酸盐岩的储集性	(107)
五、结论	(113)

第四章 苏皖石炭系碳酸盐岩成岩作用及储集性

王琦、涂仁亮	(115)
一、地层及岩石	(115)
二、成岩作用特点	(118)
三、孔隙演化历史	(122)
四、孔隙评价	(124)
五、结论	(125)

第五章 鄂东南二叠系碳酸盐岩成岩作用及其储集性

王安德、武蕙菁、杨新新	(126)
一、地层	(126)
二、岩石类型及沉积环境	(127)
三、成岩作用	(128)
四、孔隙的形成及演化	(132)
五、油气保存条件简析	(133)

第六章 苏皖二叠系、三叠系碳酸盐岩成岩作用及其储集性

王国忠、庞荣庆、吕炳全、全松青、徐国强	(134)
一、区域地质概况	(134)
二、江苏二叠系碳酸盐岩成岩作用及其储集性	(135)
三、江苏、安徽三叠系碳酸盐岩成岩作用及其储集性	(145)
四、结论	(156)

第七章 生物礁的成岩作用及其孔隙性

王国忠、黄志诚、梁百和、陈智娜、朱素琳	(158)
一、研究区内生物礁的类型和分布概况	(158)
二、浙赣常山、玉山上奥陶统藻礁和层孔虫礁	(159)
三、湖南邵东中泥盆统层孔虫礁	(168)
四、浙江桐庐下二叠统海绵礁	(172)
五、结论与展望	(175)

第八章 滩相颗粒碳酸盐岩成岩作用及孔隙性

王英华、黄志诚、王琦、梁百和、吕炳全、张万中	(177)
一、中、下扬子区滩相沉积的特点	(177)
二、浅滩颗粒碳酸盐岩的结构组分特征	(181)
三、滩相岩石的成岩作用	(183)
四、滩的成岩环境及成岩演化	(192)
五、滩相颗粒碳酸盐岩的孔隙及储集性	(193)

第九章 白云岩类型及孔隙性

黄志诚、杨承运、孔庆友、庞荣庆、梁百和	(200)
一、概述	(200)
二、白云岩的类型划分及形成模式	(200)
三、下扬子区白云岩类型及其形成机理	(202)
四、中扬子区白云岩类型及其形成机理	(217)
五、白云岩的孔隙性	(220)
六、白云岩储集性评价	(225)

第十章 成岩环境与孔隙演化

杨承运、张秀莲、潘荣胜、陈智娜	(227)
一、中、下扬子区碳酸盐岩成岩环境的一般特征和成岩环境分类	(227)
二、各成岩环境中的成岩作用类型	(228)
三、中、下扬子区碳酸盐岩成岩环境的序列演化	(239)
四、孔隙的形成、演化和成岩环境	(243)

第十一章 苏皖三叠系碳酸盐岩成岩作用与有机质演化

庞荣庆、王国忠、全松青	(247)
一、概述	(247)
二、主要成岩作用对有机质的影响	(247)
三、有机质热演化与成岩环境温度史	(251)
四、结论	(254)

第十二章 碳酸盐岩成岩相与成岩相图

黄志诚、陈智娜、潘荣胜	(256)
一、成岩相的概念及分类	(256)
二、成岩相图的编制	(257)
三、下扬子区奥陶系主要层段的成岩相	(257)
四、下扬子区寒武系主要层段及灯影组的成岩相	(258)
五、成岩相图在储集性评价中的作用	(262)

图版说明	(265)
------	-------

图版	(283)
----	-------

参考文献	(331)
------	-------

前 言

为使我国碳酸盐岩地区油气勘探早日取得突破,国家计委于“六五”和“七五”期间特设立了“海相碳酸盐岩地区油气成因和勘探技术研究”攻关项目,以解决与碳酸盐岩相关的油气田的地质理论、储集性能和勘探部署等问题。“扬子地区中、古生界海相沉积、构造、油气演化特征及油气藏形成、赋存地质条件分析”即是这一攻关课题中的重要内容之一。

以北京大学为首及南京大学、同济大学、中山大学、青岛海洋大学和浙江大学等国家教委所属六所重点大学参加了这一攻关项目,并承担“中、下扬子区中、古生界海相碳酸盐岩成岩作用及其储集性研究”课题。这一课题任务涉及苏、浙、皖、赣、湘、鄂等地区,自震旦纪至三叠纪七个时代的碳酸盐岩地层。难度较大、范围广、地层厚、时间紧和研究经费有限构成了本项工作的特点。在完成该项任务过程中,由六校地质系组成的攻关课题组,在原有工作的基础上,以单剖面成岩相分析入手,采用现代先进测试、研究方法,就该区碳酸盐岩成岩作用类型、成岩机理、成岩序列、成岩环境、成岩相和孔隙形成、演化,以及岩石储集性等问题进行了为期三年的深入研究,除获得不少新的认识外,同时也检验和证实了我们采用的以单剖面相分析为基础研究成岩相,以及综合运用多种测试方法建立成岩相标志的有效性,本书即为上述研究成果的概括和总结。从技术思路、研究方法、手段到成岩演化规律的系统总结,不仅可用来阐明中、下扬子区碳酸盐岩成岩作用总特征,而且也能作为评价潜在储层和预测成岩圈闭的依据。书中反映出来的技术思路、学术观点、研究方法,以及相应的科学结论亦可作为其它碳酸盐岩分布区的借鉴和参考。

结合中、下扬子地区碳酸盐岩沉积、成岩和分布等特点,筛选了下扬子区震旦系灯影组、全区寒武系、奥陶系、湖南泥盆系、下扬子区石炭系、二叠系和全区三叠系的碳酸盐岩,依地层时代和地区展布分别进行了成岩作用基干和辅助剖面实测、观察和深入的研究。此外,又就成岩环境与孔隙、成岩作用与有机质演化、滩相、礁相和白云岩的成岩作用与孔隙,以及成岩相图的编制等专题作了深入探讨。为完成上述区域和专题研究任务,先后在全区建立基干剖面 19 条、辅助剖面 40 余条(图 1),实测地层厚度近万米,采集各类样品约 7000 余件,鉴定各类薄片计 5400 余片。除岩石学研究外,还采用了铸体薄片、阴极发光分析、超微分析、能谱、探针分析、微量元素分析、碳氧同位素测定、X 光衍射、包体研究、渗透率测定、有机地球化学分析和图象处理等研究手段。

此项研究是在王英华、黄志诚、王国忠主持下进行的,各校参加工作的人员和分工如下:北京大学王英华、张秀莲、杨承运、潘荣胜、张万中、翟永红、蒙俭、陈荣坤负责湖北省寒武系、奥陶系和三叠系的研究工作;南京大学黄志诚、陈智娜、朱嗣昭、孔庆友、周琦负责苏、皖、浙灯影组、寒武系和奥陶系;同济大学王国忠、庞荣庆、吕炳全、全松青、徐国强、翟建忠负责苏、皖地区二叠系、三叠系;中山大学梁百和、朱素琳、吴起俊、吴华新负责湖南寒武系、奥陶系、泥盆系;青岛海洋大学王琦、涂仁亮负责苏、皖石炭系;浙江大学王安德、武惠菁、杨新新负责湖北省二叠系碳酸盐岩成岩作用研究。参加滩相成岩研究的有王英华、黄志诚、王琦、梁百和、吕炳全、张万中、翟永红;礁相研究者为王国忠、黄志诚、梁百和、陈智娜、朱素琳、周琦、徐国强;白云岩专题

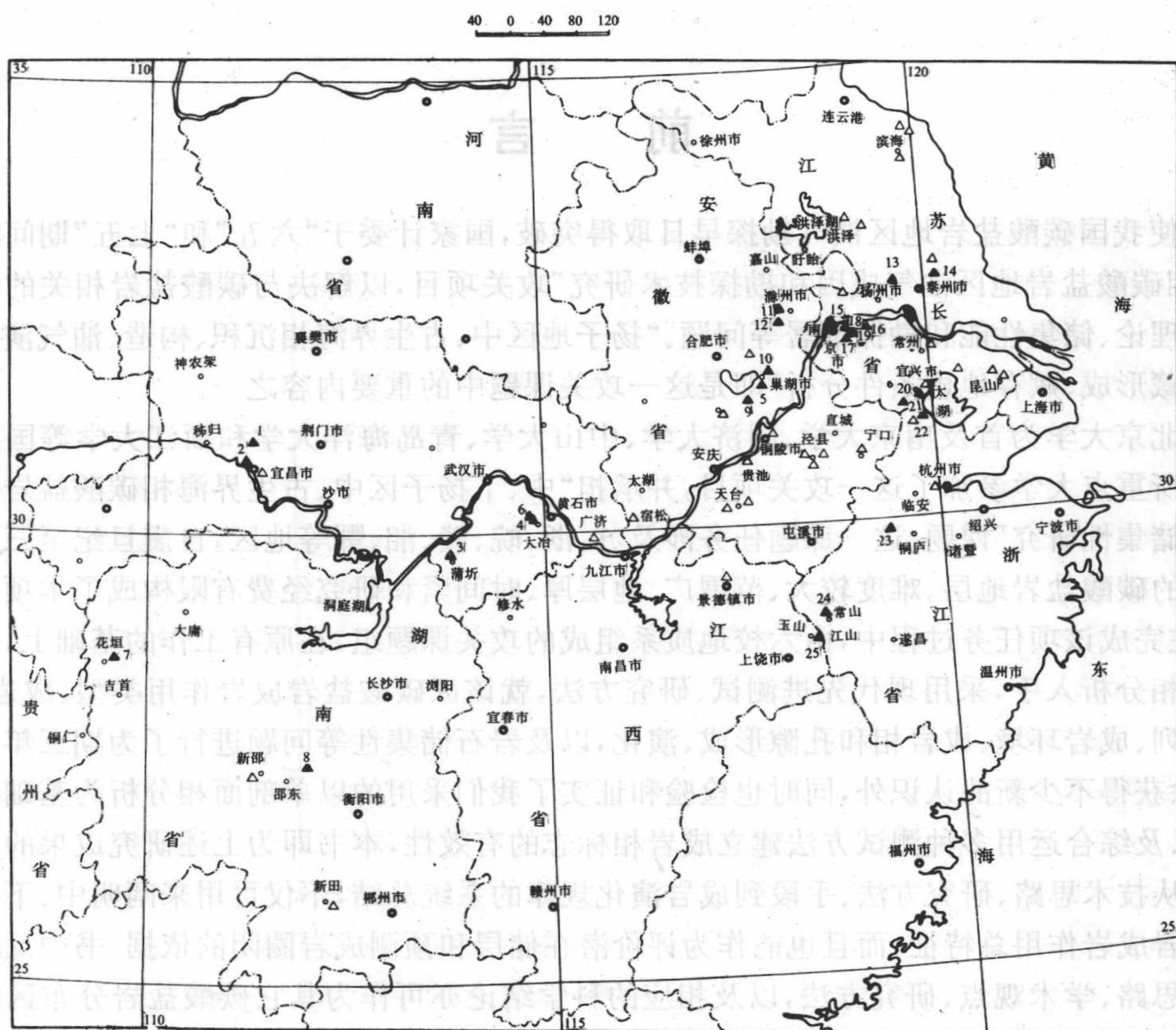


图1 研究区剖面位置图

▲为基干剖面；△为辅助剖面；1. 宜昌寒武系；2. 宜昌奥陶系；3. 蒲圻三叠系；4. 大冶三叠系；5. 巢县三叠系；6. 大冶二叠系；7. 花垣寒武系；8. 邵东泥盆系；9. 无为三叠系；10. 巢湖石炭系；11. 滁州寒武系；12. 全椒灯影组；13. 江都奥陶系；14. 泰州灯影组、寒武系；15. 南京幕府山寒武系；16. 句容人山灯影组、奥陶系；17. 南京汤山奥陶系；18. 南京二叠系；19. 南京石炭系；20. 宜兴石炭系；21. 宜兴三叠系；22. 长兴二叠系；23. 桐庐二叠系生物礁；24. 常山奥陶系生物礁；25. 玉山奥陶系生物礁

研究者黄志诚、杨承运、庞荣庆、梁百和、王琦、孔庆友；成岩环境和孔隙专题研究者杨承运、张秀莲、潘荣胜；成岩作用与有机质演化关系专题由庞荣庆、王国忠和全松青负责；成岩相图的编制和应用专题由黄志诚、陈智娜、潘荣胜负责完成。

室内外工作期间，六校的同志，克服了时间紧、任务重和科研经费不断缩减等困难，以科学的态度，通过艰苦的实践，取得了丰富的第一性资料。由于全体课题组成员都能理解课题组制定的技术路线、学术观点和严格依照工作初期制定的规范和技术方法、指标投入工作，故在区域成岩总特征、成岩相展布、潜在储层评价和预测，以及滩、礁、白云岩的成岩与孔隙研究、成岩环境与孔隙、成岩作用与有机质关系等方面，获得了一定的成果。这对本区今后开展油气和其它多种固体矿产资源勘探应具有重要实际意义，工作中涉及到不少碳酸盐岩成岩的理论问题，以及通过本区综合研究所获得的科学结论，对认识造山运动频繁、地质历史复杂、地质年代较

为古老的碳酸盐岩的成岩演化规律也是具有广泛意义的。

负责本书编写工作的有王英华、黄志诚、王国忠、梁百和、王琦、杨承运、庞荣庆、潘荣胜等。梁百和对本书各章逐一作了校阅、加工工作,为本书的准时出版,作了很大的努力。全书脱稿后,承蒙学部委员叶连俊、关士聪教授,张鹏飞、冯增昭、孟祥化教授详细评阅,并提出宝贵意见,笔者深致谢意。

工作过程中,地质矿产部碳酸盐岩攻关办公室和一级专题负责单位——地质矿产部无锡石油地质中心实验室孙肇才、易大同等同志对这一研究项目给予了大力支持;湖南省地质矿产局、湖南省地质研究所、湖南省地质矿产局 405 地质队、地质矿产部宜昌地质矿产研究所、湖北第七地质队、江苏石油勘探局、华东石油地质局、浙江石油地质研究所等单位,在资料收集和剖面选址等工作中热情协助;六校所属磨片室、暗室及有关实验室的通力合作,使工作得以顺利进行;同济大学海洋地质系王秀雅、北京大学地质系徐筠、南京大学地球科学系徐福栋等同志代为清绘图件,应一并致谢。

本书在编写过程中,曾得到许多同志的帮助,特别是地质矿产部碳酸盐岩攻关办公室的同志,在资料收集和剖面选址等方面给予了大力支持,使本书得以顺利完成。在此,谨向所有帮助过本书的同志表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,曾得到许多同志的帮助,特别是地质矿产部碳酸盐岩攻关办公室的同志,在资料收集和剖面选址等方面给予了大力支持,使本书得以顺利完成。在此,谨向所有帮助过本书的同志表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,曾得到许多同志的帮助,特别是地质矿产部碳酸盐岩攻关办公室的同志,在资料收集和剖面选址等方面给予了大力支持,使本书得以顺利完成。在此,谨向所有帮助过本书的同志表示衷心的感谢。

参考文献(二)

1868年 G. S. Engel 将碳酸盐岩的成岩作用分为两种类型,其中一种是“成岩作用”(diagenesis),另一种是“后成岩作用”(epigenesis)。1893年 W. S. Dyer 将碳酸盐岩的成岩作用分为两种类型,其中一种是“成岩作用”(diagenesis),另一种是“后成岩作用”(epigenesis)。1900年 W. S. Dyer 将碳酸盐岩的成岩作用分为两种类型,其中一种是“成岩作用”(diagenesis),另一种是“后成岩作用”(epigenesis)。

总 论

王英华 黄志诚

一、研究碳酸盐岩成岩作用的意义及现状

(一) 研究成岩作用的意义

海相碳酸盐岩分布广范,与之相关的矿产极为丰富。碳酸盐岩型油气藏的勘探结果表明,这类工业油流已居世界石油生产的首位,高产油井也多出自碳酸盐岩型油田。我国是一个富碳酸盐岩的国家,与之有成生联系的 Fe、Mn、Cu、Pb、Zn、Au、Hg、Sb、U 等层控矿床,以及多种非金属矿产十分丰富,油气显示亦较为常见,大型碳酸盐岩古潜山油田和小型工业油气藏早已开采多年。近年来更有西部大型碳酸盐岩含油区的发现,从而基本结束了多年来碳酸盐岩区无重大突破的局面。但在我国东部地区碳酸盐岩油气资源勘探工作仍有待继续深入和发展,成岩作用与油气形成和聚集关系的研究即是其中重要的技术关键问题之一。

我国碳酸盐岩多集中于古生代和前古生代,在漫长的地质演化历史中,岩石遭受的各类成岩作用,导致了海相碳酸盐岩的独特地质特点。尽管长期以来,特别是“六五”期间通过碳酸盐岩沉积相和岩相古地理方面的研究,对油气资源进行了具有一定深度的评价和生、储、盖组合分析,但效果并不十分理想。事实上,这些岩石都是各类复杂成岩作用的综合产物,其结构、成分和岩层宏观特点均与其所处成岩环境和成岩作用类型、强度密切相关。因此,与其说沉积相控制生、储、盖组合,不如说成岩作用与生、储、盖组合关系更为密切。成岩作用直接控制了岩石中有机组分的转化,决定了岩石中孔隙的形成、演化,以及储集类型和规模,因此碳酸盐岩较发育的国家,无不重视成岩作用及储集层的研究,一些科学技术较先进的国家,更在研究成岩作用类型、成岩序列及成岩阶段划分的基础上,针对成岩环境、沉积盆地成岩相、孔隙演化规律和潜在储层等方面大力开展了综合性研究,其手段和方法也日趋完善。80 年代以来,在这方面所取得的进展和积累的经验,对沉积盆地含油气性预测和评价具重要指导意义。

中、下扬子区碳酸盐岩成岩作用研究表明,该区中、古生界碳酸盐岩经历了复杂、长期的成岩改造。在各类成岩环境控制下,形成了各具特色的成岩相(段),它们在空间上互相配置,构成了具重要意义的潜在储层和成岩圈闭。事实证明,碳酸盐岩孔隙的形成和演化与成岩环境的演化密切相关。成岩作用不仅决定了碳酸盐岩的储集类型、储层性质和规模;同时也控制了生、储、盖组合的形成。潜在储层的时、空展布和成岩圈闭的形成是成岩事件的结果。

(二) 成岩作用研究现状

1868 年 Güembel 将沉积物形成后所发生的各种变化,其中包括变质作用称为“成岩作用”(digenesis)。Walther(1893)通过剔除变质作用而修改了成岩作用的概念。此后,经历了一段漫长而沉闷的时期,直到本世纪 60 年代才对成岩作用开始了系统而广泛的研究,《沉积物成岩作用》(Trask, 1951, Sujkowski, 1958)专著的出版,反映了成岩作用研究的系统化。这一时期对成

岩作用类型、形成机理和成岩阶段划分作了较深入的研究。

Bathurst(1958)对成岩组构的深入研究,开拓了成岩研究的新领域,60—70年代初期有关白云石化机理的探讨,也取得了重大进展,尤其是 Folk、Chilingar、Zenger、Bissell、Wolf、Land 等从化学、化学动力学、热力学、环境化学等诸方面对白云岩成因问题所作的深入研究,使原生白云岩的认识被“交代白云岩”所代替,此后出现的回流渗透云化(Deffeyes, et al., 1965)、调整云化(Goodell & Garman, 1969)、混合云化(Badiozamani, 1973)、淡水白云石(Folk & Land, 1973)和毛细管浓缩作用(Friedman & Sanders, 1967)等模式把对白云岩多种形成机理的认识提高了一大步。

1975年 Bathurst 的专著《碳酸盐沉积物及其成岩作用》可作为碳酸盐沉积、成岩研究新时期的标志。他系统总结了沉积、成岩作用的基本特征,识别标志,形成机理,把成岩作用和成岩环境紧密地结合起来,阐述了二者之间的成生关系。这一时期大量的研究成果,在 G. Larsen & G. V. Chilingar 编辑出版的《沉积物和沉积岩的成岩作用》中,也有较全面的总结。

1980年 M. W. Longman 发表的《近地表成岩环境中碳酸盐岩的成岩结构》把成岩作用研究推上了 80 年代的新阶段。他结合成岩结构和成岩环境对碳酸盐岩的成岩特征进行了深入的研究,文中所提出的成岩环境分类已被广范引用,1981年 C. H. Moore & Y. Druckman 对阿肯色和路易斯安娜州上侏罗统颗粒灰岩的埋藏史和孔隙演化进行了深入研究。对埋藏环境下成岩作用研究的重要性和方法作了深入探讨,并对成岩作用在空间上的差异性作了详细阐述;1984年 L. Bruce 等对密苏里、堪萨斯和依俄华三州上宾夕法尼亚统的碳酸盐岩作了详细研究,根据颗粒保存的情况,在该区划分了成岩相。运用成岩相的概念,研究一个地区的成岩地质体,使成岩研究进入了一个新的阶段。

我国成岩研究起步较早,但自 50 年代以来,多限于成岩作用类型、成岩阶段划分等方面,60 年代以后,叶连俊提出的陆源汲取论和退后生成岩作用等理论,对成岩过程中物质的转化、迁移,以及成岩环境的演化序列等重要问题均有深入而精辟的论述;70 年代以来涂光炽有关层控和改造矿床理论的提出,也反映了对沉积物成岩作用的重视。70 年代末期,结合现代沉积和成岩作用的研究,深入开展了碳酸盐沉积物成岩作用的研究,并在灰砂胶结、混合水云化和淡水白云石等问题上,结合成岩环境研究取得了不少成果(王英华, 1979、沙庆安, 1983、王国忠, 1984)。结合油气勘探、多金属矿床成矿预测,朱国华对砂岩成岩作用和储集空间关系,特别是对成岩矿物浊沸石的研究取得了很大的进展;方少仙、李南豪等对西南地台碳酸盐岩成岩和孔隙的研究,以及曾允孚、刘宝珺等对上、中扬子区含金属矿化关系的研究在油气资源评价和多金属矿床勘探等方面均具明显效果。“六五”期间取得的大量研究成果表明,我国碳酸盐岩成岩作用的研究,无论就研究广度或深度,或应用范围而言,均取得了长足的进展。在研究方法方面,虽然各类现代测试手段均有不同程度的运用,但综合对比则有待深入。目前,有关成岩相的研究工作刚刚开始,在划分和识别成岩相的标志和研究方法,以及成岩相图的编制和应用等方面均需不断完善。相信,随成岩作用研究的重要性得到普遍认识,我国的成岩研究必能迅速地达到国际先进水平。

二、成岩序次和成岩阶段

任何碳酸盐岩成岩地质体都是多种成岩作用的综合产物,不同成岩作用类型随成岩环境

的变迁而不断改变,同类成岩作用也可形成于不同成岩阶段。因此,在不断演化的成岩环境控制下,每一成岩地质体都有其特定的演化阶段和成岩序次。

(一)成岩序列

叠加于同一成岩体的各类成岩作用发育的序次可称为成岩序列。由于成岩作用直接受成岩环境的控制,并与沉积作用的性质和沉积物结构特征密切相关,因此,不同沉积体各具不同的成岩序列。例如滩相颗粒岩多为浅水沉积,在短暂的不稳定构造幕的控制下,海退和海进层序十分常见,由此而导致的暴露与埋藏,以及古气候条件的配合,必然引起因大气淡水的渗滤而发生早期成岩作用。但在干旱区,暴露面则向盐滩转化,准同生白云化、膏盐化作用加强,其后,随埋深加大,近地表和深埋藏成岩作用可进一步改造沉积物和早期组构。抬升后的溶解、去云化、充填和诸多成岩矿物,如黄铁矿、海绿石的氧化等作用,在碳酸盐岩裸露区均较发育(图1)。

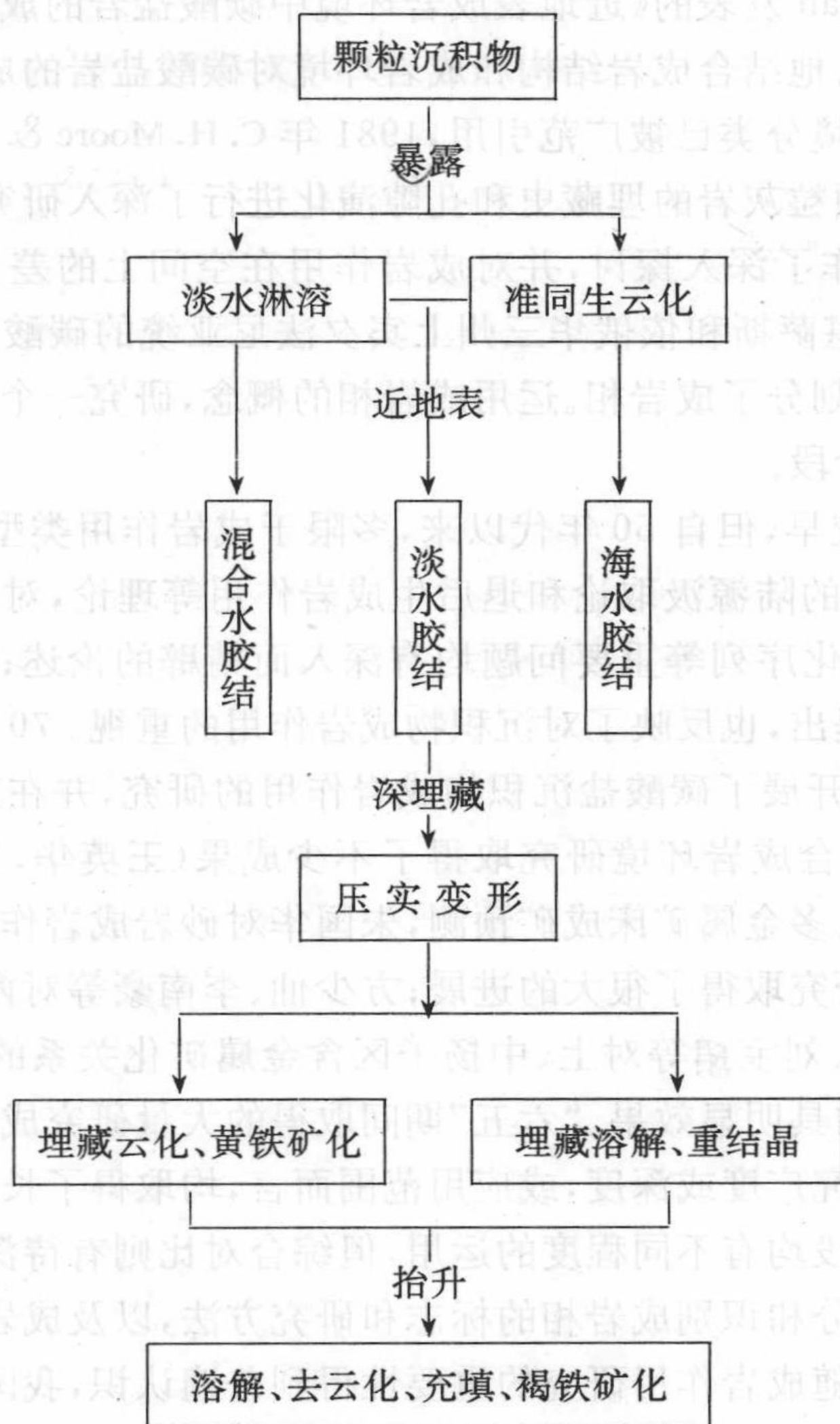


图1 海退滩相沉积物的成岩序列

海退系列中的礁、滩沉积物多经近地表成岩作用而演化为深埋藏成岩环境,其成岩系列亦较复杂,并以泥晶化-海水世代胶结-压实变形-压溶、调整云化-排烃、深埋溶解、充填为主。许

多低能环境沉积的泥晶、生物泥晶灰岩如直接进入埋藏环境时,其成岩序列多较简单,以生物泥晶化-压溶或埋藏云化作用为主。

事实上,凡台地沉积的碳酸盐岩都不同程度地首先经近地表面海水成岩作用,其后或抬升遭受早期大气淡水成岩作用;或直接演化为深埋藏成岩环境,其成岩序列亦表现为前者复杂,后者简单。较深或深水沉积的碳酸盐岩,都因未经早期大气淡水成岩作用改造,或改造作用微弱而仅具压实、破碎、变形、压溶和云化等简单序列。

(二) 成岩阶段及其划分标志

所谓成岩阶段就是各类成岩作用在时间上的演化和差异,成岩阶段分析则是对随时间而变化的成岩特征的分析。由于成岩作用在时间上的变化规律直接受成岩环境的控制,所以成岩环境的主要标志,也是划分成岩阶段的标志。但各个成岩阶段所经历的常不是一种环境,因此,其划分标志也应是多种成岩环境标志的综合。

碳酸盐岩成岩阶段划分方案分歧甚大、繁简不一,其中即有早、中、晚期和进、退后生成岩阶段的复杂划分方案,也有只划分为准同生和准同生后成岩阶段的见解。沉积期后的成岩改造是一个连续的地质作用过程,成岩环境也不是突然变化的,因此,过细的划分方案,很难有准确的区分标志。其应用意义亦不显著。现将国内外常见和我们工作中应用的成岩阶段划分方案及各阶段的主要特征简述如下(表 1)。

表 1 国内外成岩作用阶段划分与对比

鲁 欣 (1956)		叶连俊 (1973)		华东石油学院 武汉地质学院 (1982)		费尔布里奇 (1983)		✓沙庆安 (1983)		北京大学 (1984)	本 文 (1988)
石 化 作 用	同生作用	成 岩 作 用	海解作用	同生作用	同 生 作 用	同生成岩作用	初始阶段	同生成岩作用		准同生成岩阶段	早期成岩阶段
	成岩作用		(陆解作用)	准同生作用						早期成岩阶段	
	进后生作用		早期成岩作用	成岩作用		早埋阶段	再生成岩作用	晚期成岩阶段			
	作用		晚期成岩作用	后生作用	深层后生作用			后生成岩作用	作用	深埋后生成岩阶段	中期成岩阶段
	退后生作用	表生再造作用			表层后生作用	表生成岩作用	早晚期表生成岩作用	复生成岩作用		地表后生成岩阶段	晚期成岩阶段

1. 早期成岩阶段 沉积物脱离沉积介质后,进入地表成岩环境直至深埋藏期之前,其中包括准同生期成岩作用,可称为早期成岩阶段。其所处的成岩环境即可为大气淡水,混合水环境;也可以是海水成岩环境。在这一阶段中发生的成岩作用复杂多样,渗流砂结构、重力胶结、世代栉壳胶结、共轴增生、颗粒及晶体铸模和单晶充填、淡水白云石、泥晶化、准同生云化-混合云化、膏化、去膏化、去云化、溶孔、溶洞,以及低 Sr、B、Na 和高 Fe^{III}、低 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 等均可作为区分

标志。

2. 中期成岩阶段 也可称为深埋藏阶段,典型标志为压实、破碎、变形、嵌入、应变重结晶、压溶、调整云化、异形白云石、黄铁矿化、硅化及自生石英、长石等。

3. 晚期成岩阶段 构造抬升导致岩石重新回返大气淡水成岩环境,常见成岩类型为渗流砂、溶解和淡水方解石充填、混合云化、硅化、褐铁矿化、去云化、去膏化、膏溶角砾岩、洞缝高岭石充填、低 Sr、B、Na 和 $\delta^{13}\text{C}$ 呈负值等。

早、中、晚成岩阶段各具不同的成岩环境,沉积组构随成岩阶段不同而演化,岩石中的有机组分和矿化物质亦随之转化、迁移或富集。成岩阶段的研究和划分与有机成熟度和成岩物质的富集规律直接相关。

三、成岩环境和成岩相

沉积环境是指具一定物理、化学和生物特征的地貌单元,成岩环境则是指具一定物理、化学和生物特征的沉积单元,二者之间具明显的继承性。沉积物需在一定的成岩环境中,经多种成岩作用转化为岩石,并在此过程中导致孔隙的形成和演化。

(一)成岩环境的划分和识别标志

由于成岩环境决定了成岩作用的性质和强度,并直接控制着物质转化和储集空间的形成,因此,成岩环境的研究颇为重要。近年来,一些知名学者所提出的成岩环境类型可概括为表 2。

表 2 碳酸盐岩成岩环境(据叶德胜,1980)

巴瑟斯特 (1971)	海底成岩环境		大气成岩环境		深地壳成岩环境	
布拉特等 (1972)	海底成岩环境		地表渗流带和地下浅处成岩环境		地下深处成岩环境	
福 克 (1973)	海底成岩环境	潮间、潮下、礁、深海	大气成岩环境	渗流、潜流	地下成岩环境	
劳克斯 (1977)	海洋成岩环境	混合带	大气成岩环境		区域地下水流动成岩环境	深地下成岩环境
伯吉期 (1979)	海底成岩环境		大陆成岩环境		地下成岩环境	
朗 曼 (1980)	海洋成岩环境	海水潜流、渗流带	混合带	大陆成岩环境 渗流、潜流带	大气	深地下成岩环境

根据本区碳酸盐岩成岩作用特点和研究现状,可将本书所用成岩环境分类及典型成岩特征归纳如表 3。

鉴于成岩环境又是成岩反应发生和演化的体系,并由沉积物和充填于其间的溶液(成岩介质)组成。其性质取决于沉积物和粒间溶液的数量、化学和物理性质,以及该体系开放的程度。

在这些因素的控制下,成岩环境所控制的成岩作用常为较复杂的组合,同一成岩作用也可以发生于不同成岩环境中,因此相近的成岩环境可以具有共同的成岩标志,如刃状胶结物可见于混合水和海水成岩环境,溶解作用则见于更多的成岩环境中。由此可见只有采用多种标志综合,才可能严格地区分各类成岩环境。

表 3 成岩环境及成岩作用特征

标志			成岩介质的性质	成岩作用特征
环境				
近地表面成岩环境	大气淡水成岩环境	淡水渗流带	不饱和大气淡水充于粒间,土壤带中 CO_2 助溶,动力条件好,成岩介质重力悬垂分布, CO_2 不断逸出,pH 值低, $\text{Eh} \geq 0$	溶解、拉长的溶洞、铸模孔、粒内、粒间溶孔,去石膏化、去云化、硅化、褐铁矿化、膏溶角砾岩化,渗滤砂、渗滤豆、重力、新月和等轴粒状方解石胶结,洞缝高岭石、淡水白云石充填、白云石高价铁环边,阴极发光强弱不等,低量 Sr、B、Na、Mn,负值 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$
		淡水潜流带	成岩介质流动不畅,饱和 CaCO_3 ,沉淀和交代作用快,pH = 7 左右, $\text{Eh} \leq 0$	铸模孔多保存、晶模孔、水平溶孔,去石膏化、去云化、硅化,等厚刃状、粒状方解石胶结、共轴增生、连晶胶结、孔隙中心晶粒变粗,单晶或多晶铸模、残缺颗粒晶粒修补,洞缝中铁方解石、淡水白云石充填,阴极发光强度不等,低量 Sr、B、Na,负值 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$
	混合水成岩环境		介于海水潜流与淡水潜流环境之间,介质性质介于二者之间	混合云化、溶解与沉淀、晶间孔、晶间溶孔、残余粒间孔、刃状胶结、叶片状胶结,阴极发光多环带,发光强, $\delta^{13}\text{C}$ 呈低负值
	海水成岩环境	海水渗流带	成岩介质为海水和空气, CO_2 逸出速度快,沉淀速度快,介质流动性良好	单向纤状、细柱状胶结、新月形胶结、泥晶化、准同生云化、膏化,阴极发光弱,Sr、B、Na 近于海水,Fe 含量高, $\delta^{13}\text{C}$ 多具低正值
		海水潜流带	粒间充满海水,流动性差,微生物作用明显	颗粒完整保存,泥晶化,纤状、柱状等厚环边胶结,胶结物多具世代,晚期呈粒状,准同生后云化、膏化、自生海绿石、石英、弱阴极发光, $\delta^{13}\text{C}$ 具正值, $\delta^{18}\text{O}$ 中负值
深埋藏成岩环境			埋深较大,埋温高、静压大、排烃作用强	应变重结晶、缝合线构造、压力影、破碎、变形、深部溶解与充填,异形白云石、自生石英、长石、伊利石、多环带强发光, $\delta^{13}\text{C}$ 呈正值、 $\delta^{18}\text{O}$ 具高负值,Fe、Mn 含量高

随着先进技术的配套使用,成岩环境分析的准确性和可靠性不断提高,现代成岩环境的考察和模拟实验也推进了成岩环境研究的进展,并使成岩环境的再造更接近于实际。

(二)成岩相

1. 成岩相的概念和基本特征

成岩相是在一定成岩环境控制下,各种成岩作用综合的物质表现。它具有如下特征:

(1)成岩相是客观存在的地质体,它具有一定的几何形态、特定的成岩组构和成岩矿物组合。不同性质的沉积物,在相似的成岩环境中,通过成岩作用可形成相似的成岩组构或成岩矿物组合,但成岩强度可能有所不同。如细晶白云岩、粗晶白云岩或结晶灰岩等;

(2)成岩相不同于沉积相,是多种成岩环境和多种成岩作用的产物,而沉积相则通常是一种沉积环境中沉积作用的结果;

(3)成岩相能通过成岩强度全面反映岩体的地质演化史,并可结合其演化确定成岩阶段和期次;

(4)成岩作用直接控制孔隙的形成和演化,不同成岩相孔隙演化历史不同,成岩相分析是研究孔隙演化史的必经途径;

(5)成岩相在空间上的组合分析,是确定成岩圈闭的直接而有效的方法,成岩相图能反映成岩圈闭的展布特征。

上述特征说明了成岩相分析的重要意义,它以各类成岩特征为基础,高度综合和概括成岩演化规律时,可准确预测研究地区潜在储层的成因、性质、规模和展布,以及深入评价储盖组合和成岩圈闭的实际意义。

中、下扬子区地质历史复杂,成岩环境多变,成岩相类型较全。综合全区成岩作用特点,可将区内成岩相和成岩亚相概括为四个成岩相和若干亚相(表4)。

表4 中、下扬子区常见的成岩相和亚相

相	大气淡水成岩相	混合水成岩相	海水成岩相	深埋藏成岩相
亚相	淡水溶解亚相 淡水渗流胶结亚相 淡水潜流胶结亚相	混合白云石化亚相 混合水胶结亚相 混合水溶解亚相	海水渗流胶结亚相 海水潜流胶结亚相 海水白云石化亚相 石膏化亚相	压实压溶亚相 胶结亚相 重结晶亚相 白云石化亚相

实际上许多成岩相都不是由单一的成岩作用形成的,成岩作用依一定的成岩序次相互叠加的现象极为常见,因此成岩亚相多为复合型,并可按其成岩作用强度联合命名,如溶解-胶结亚相、白云石化、溶解亚相。

2. 成岩相(段)的划分依据和命名

成岩相在时间上表现为成岩岩性段,成岩环境分析和成岩柱状图的编制应是空间上成岩相分析的依据。因此,成岩环境分析或成岩段的划分是成岩相研究的基础。

实际工作中可根据下列成岩特征划分成岩段。

(1) 成岩作用类型:成岩作用是成岩介质和沉积物相互作用的成岩反应,因此,详细研究各类成岩作用的特征和形成机制,是划分成岩段的基础;