



中上扬子海相含油气盆地分析与页岩气资源

汪正江 杨平 余谦 等著◆

非 外 借



科学出版社

中上扬子海相含油气盆地分析与页岩气资源

汪正江 杨平 余谦 等著

油气基础地质调查项目 (No. 1212010782003)

油气基础地质调查项目 (No. 1212011220750)

油气基础地质调查项目 (No. 12120114071401)

油气基础地质调查项目 (No. 12120115004501)

联合资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书从原型盆地的形成演化入手,首次系统分析评价了上扬子海相含油气盆地震旦系陡山沱组、寒武系牛蹄塘组、奥陶系五峰组、志留系龙马溪组四套海相区域性烃源岩特征,从静态参数评价出发,结合生烃史恢复和保存条件动态演化分析,初步揭示了中上扬子海相含油气盆地油气成烃、成藏与改造过程。系统分析中上扬子地区牛蹄塘组、五峰-龙马溪组、旧司组-打屋坝组、龙潭组页岩气资源潜力,并对五峰-龙马溪组页岩气的富集规律进行了探讨,较为深入总结了龙马溪组页岩气富集主控因素,并在此基础上开展了中上扬子海相页岩气有利目标区优选工作。研究指出中上扬子地区龙马溪组页岩气富集的主控因素为有利沉积相带、保存条件和页岩储层物性。有利沉积相带主要是指欠补偿的深水陆棚相沉积相带;保存条件包含相互联系的三个方面:顶底板条件、地层超压和埋深适中(1500~4000m);页岩储层物性则由页岩的矿物组分及其页理发育程度决定。该成果是在不断实践、不断探索和总结的过程中形成的,因此,本书的出版也将有力促进我国南方海相页岩气勘探开发和相关页岩气基础地质的调查研究,对提升我国能源资源的保障能力,推动全国其他含油气盆地页岩气的勘探开发,均具有积极意义。

本书可供油气地质、页岩气地质、基础地质等调查研究人员、高校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中上扬子海相含油气盆地分析与页岩气资源 / 汪正江等著. —北京: 科学出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-03-055161-0

I. ①中… II. ①汪… III. ①扬子地块-海相-含油气盆地-分析②扬子地块-海相-含油气盆地-油页岩资源-研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 268895 号

责任编辑: 韦 沁 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 北京东方人华科技有限公司

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>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年11月第一版 开本: 787×1092 1/16

2017年11月第一次印刷 印张: 25

字数: 593 000

定价: 248.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者名单

汪正江 杨平 余谦 刘家洪

刘伟 熊国庆 杨菲 邓奇

杜秋定 何江林 卓皆文 熊小辉

前 言

中上扬子新元古代—古生代海相原型盆地发育多套优质的生-储-盖组合,然而,在历经加里东、印支、燕山和喜马拉雅等多期构造叠加改造后,其原生含油气系统也经历了多期改造、调整,甚至破坏,这给油气地质调查评价提出了严峻挑战,但油气地质人一直也没有放弃不懈探索。半个多世纪以来,作为该原型盆地一部分的四川盆地,海相油气勘探获得了巨大成功,特别是20世纪以来,一个个大型、超大型气田的发现,使我们相信除四川盆地以外的广阔的中上扬子海相层系分布区也应具有良好的油气资源潜力,同时,我国经济社会的快速发展对能源资源的强劲需求,也要求我们不断开拓油气勘探新区、新领域和新层系。特别是近年来,中上扬子海相页岩气的相继突破,掀起了一轮油气调查评价的新高潮。由此,本书也是基于前人认识的一次新的探索吧。

本书是依托于中国地质调查局成都地质调查中心2008~2014年“中上扬子海相含油气盆地油气地质综合调查”计划项目和2015年“四川盆地页岩气基础地质调查”项目开展的大量地质-地球物理调查成果资料。在武汉地质调查中心、湖南省地质调查院、贵州省地质调查院、湖北省地质调查院、安徽省勘查技术院、成都理工大学、中石化西南油气分公司勘探开发研究院、陕西省地质矿产勘查开发局物化探队、中国地质科学院岩溶所等合作单位和同仁的大力支持和协助下,我们对中上扬子海相含油气盆地调查研究取得了一些新的认识:

1. 分析总结了中上扬子海相盆地的形成演化过程及其阶段性

中上扬子震旦纪—早古生代海相盆地只是中上扬子新元古代—早古生代海相含油气盆地的中晚期阶段,实际上其完整形成演化过程经历了三个阶段:新元古代中期的裂谷盆地阶段(820~635Ma)、震旦纪—寒武纪被动大陆边缘盆地阶段和奥陶纪—志留纪前陆盆地阶段。

中上扬子新元古代的裂谷盆地形成于弧陆碰撞造山之后的构造伸展背景,该时期的沉积序列在空间上具有“楔状地层”特征,区域连续性较差,且沉积主要发育在裂谷盆地内。在裂谷盆地充填晚期,全球经历了两次广泛的冰川沉积事件,在华南同样也发育了两个冰期和一个间冰期沉积(即南华冰期沉积),并随即完成了裂谷盆地的填平补齐作用,为震旦纪扬子碳酸盐缓坡和碳酸盐初始台地的形成奠定了基础。

中上扬子海相盆地的被动陆缘碳酸盐台地的形成至少经历了两个有陆架至台地的演替过程。第一次演替发生在震旦纪,陡山沱期为碳酸盐陆架建设,灯影期为碳酸盐初始台地的形成。但该期的台地主要还是一系列孤立台地,中扬子和上扬子还是处于分割状态(鄂西裂陷槽)。震旦纪末期,扬子克拉通主体还经历了长达20~30Ma的抬升与剥蚀,发育了广泛的喀斯特。第二次发生在寒武纪,滇东世扬子陆块主体普遍处于隆升剥蚀状态;黔东世海平面快速上升,早期为碎屑岩陆架建设,晚期向碳酸盐陆架和碳酸盐台地演化,至清虚洞晚期,中上扬子统一的碳酸盐台地基本形成,寒武纪武陵世和芙蓉世主要为碳酸盐

台地的发展与调整,特别是在武陵世,台内广泛发育潟湖相含膏岩系,是海相下组合重要封盖层之一。

进入奥陶纪,随着华南加里东造山带的形成与向西持续推进,中上扬子海相盆地也进入了前陆演化阶段。至早志留世末,中上扬子新元古代—早古生代海相沉积盆地关闭消亡。

加里东构造运动后,中上扬子海相盆地之上又叠加了晚古生代陆表海盆地和中—新生代陆相沉积盆地,形成多旋回构造叠置格局。因此,中上扬子地区经历了复杂的沉积—构造演化过程,使海相含油气系统也经历了多期成藏、调整、改造,造就了中上扬子地区海相油气复杂的成藏地质条件。

2. 系统分析了中上扬子海相盆地四套主力烃源岩

依据成烃物质和成烃时代的相似性,中上扬子海相含油气盆地的四套烃源岩可以划分为两个组合,早期的陡山沱组和牛蹄塘组烃源组合的成烃母质主要为海生菌类、藻类及浮游类,烃源岩显微组分主要为腐泥组和沥青组,无镜质组、壳质组和惰质组。区域上牛蹄塘组烃源岩有机质含量高,厚度大、分布广,是一套主力烃源岩;相对而言,陡山沱组烃源分布较为局限,主要为中上扬子东南缘深水斜坡或盆地相区,及鄂西台间盆地内。

晚期的五峰—龙马溪组烃源组合的成烃母质除海生生物外,开始出现少量陆生植物,显微组分也开始出现镜质组和惰质组,因此龙马溪组烃源岩类型开始由Ⅰ向Ⅱ₁转变。区域上该两套烃源岩之间虽有观音桥段泥灰岩相隔,仍可视为一套完整的烃源组合。因受盆地性质和沉降中心向西迁移控制,其分布主要集中在城口—涪陵—永川—长宁—雷波等半环形区带内。

由于经历了长期的地史演化和多期构造叠加改造,上述两组烃源岩热演化程度均达高成熟阶段,但受加里东期区域隆升作用影响,晚期烃源组合热演化相对早期略低(约0.5%)。另外,可能同时受构造样式制约,不同构造单元内也存在差异,如黔东南凯里—黄平地区的热演化相对较低。

3. 深入分析了上扬子地区的油气生成、运移、成藏与改造过程,为有利成藏单元预测提供了新思路

在中上扬子海相层系生—储—盖及其组合特征研究和古油气藏解剖基础上,认为加里东晚期只是油气初始生烃期(不同于加里东期是主成藏期的传统认识),海西期(D—P)生烃缓慢,有机质演化速率较低;二叠纪中期开始,因持续盆地沉积充填,地温梯度及埋藏温度逐渐增加,于二叠纪末或三叠纪初进入大量快速生油阶段,而且受地史时间的累积与埋藏温度的增加等效应,三叠纪中晚期才进入主要成气阶段。这一结论与黔北灯影组中多期次流体包裹体研究结果一致,不同埋深环境下多期次流体活动对早期古岩溶残余孔隙及充填物具有复合叠加溶蚀作用,显示灯影组发生过三期油气充注(470~428Ma、252~228Ma、177~145Ma)。

同时,研究发现中上扬子地区油气运聚表现为:①早期石油成藏主控因素为牛蹄塘组优质烃源岩为大型油气藏奠定了物质基础,灯影组滩相储层为有利成藏空间,加里东晚期古隆控制了油气运移方向;②晚期天然气成藏主控因素为燕山晚期构造改造,包裹体测温

及碳氧锶同位素证据表明现今大于 2800m 埋藏深度的有利构造圈闭可能仍为天然气保存的理想空间。

4. 较为系统地总结了上扬子地区海相层系页岩气地质特征

1) 五峰-龙马溪组是上扬子海相页岩气勘探主力层系

五峰-龙马溪组主要为滞留局限海盆地沉积, 沉积中心位于川南宜宾-永川、渝东武隆-石柱和渝东北巫溪-城口一带, 富有机质页岩厚度可达 120m 以上, 其优质页岩厚度可达 40m 以上。上扬子地区五峰-龙马溪组页岩气地质和成藏富集条件好, 有效勘探面积大, 是页岩气主力勘探层系。长宁-永川、涪陵-綦江、自贡-威远等地区为勘探首选区域, 而滇东北、黔西北、黔北-渝东南残留向斜群仍具有较好的勘探潜力。

2) 牛蹄塘组成藏条件复杂, 是潜在的重要勘探层系

牛蹄塘组主体为浅海陆棚沉积, 沉积中心位于川南-黔北、米仓-大巴山和湘鄂西一带, 分别为深水陆棚和盆地-斜坡相沉积; 同时在绵阳-长宁一线, 可能发育有裂陷槽深水陆棚沉积。该沉积期富有机质页岩厚度大, 普遍在 50m 以上, 川南宜宾-大方、绥阳-正安、万源-镇坪一带可达 120m 以上。上扬子地区筇竹寺组-牛蹄塘组成藏条件复杂, 目前仅在威远地区获得突破, 大部分地区含气性较差, 可能与保存条件、成熟度、物性、矿物组分等基本特征有密切关系。由于该套富有机质页岩分布面大广、厚度大, 仍是潜在的重要勘探层系, 但其页岩气基础地质条件有待进一步深入研究。

3) 黔西南石炭系是有望获得页岩气勘探新突破的重要层系

受早石炭世大塘期古地理格局的控制, 打屋坝组富有机质页岩属台缘斜坡-台盆相沉积, 有利沉积相带位于黔南、黔西南地区威宁、册亨-罗甸一带, 富有机质页岩厚度 110~180m。有机质类型主要为 I 型, 有机碳为 2.0% 左右, 成熟度为 2.0%~3.0%, 页岩气基本地质特征较好。同时, 多口调查井现场含气性解析揭示了较好的含气性及高富烃类组分的特征。总体上, 石炭系广泛分布于滇黔桂地区, 富有机质页岩厚度大, 有机质丰度高, 热演化适中, 且目前已获得重要页岩气发现, 因此, 石炭系可能是继龙马溪组后有望获得重要突破的勘探层系。

4) 龙潭组具有三气叠合、综合开发资源潜力

龙潭组主体为滨岸沼泽-潮坪-浅水陆棚-潟湖相沉积, 川滇黔邻区及川南地区, 主体为沼泽相含煤岩系, 厚度较大; 川中地区一般为浅水陆棚相泥岩, 川东北地区主要为潟湖相泥页岩、硅质页岩组合, 因此各相区烃源岩类型不同, 但平均有机碳较高 ($\geq 2.5\%$), 成熟度适中 (1.5%~2.6%)。目前的调查表明, 川南-黔北地区页岩气显示较好, 含气量为 1.2~2.13m³/t。该目标层段厚度大, 页岩层系埋深适中, 应是未来四川盆地重要的页岩气勘探层系, 且具备煤层气-页岩气-致密气 (简称“三气”) 叠加富集的地质条件, 采用“综合勘探、联合开发”的模式, 能源资源综合利用前景好。

5. 分析了中上扬子海相页岩气勘探潜力与勘探方向, 优选了一批有利目标区

根据富有机质页岩优质相带展布、应力场与异常压力分布、埋深及构造改造强度等制约页岩气富集的主要地质要素分析, 四川盆地内可以划分出三个等级: 川南页岩气富集区、川东南和川西南页岩气较富集区以及川中、川西待评价区。川南富集区受帚状构造带

控制,构造改造较弱、优质相带发育、压力系数大于2.0,测试产能较高,是页岩气最有利富集区。川东南和川西南也是页岩气有利富集区,其分别受高陡断褶带和低陡断褶带控制,除了局部发育断裂外,大部分区域构造稳定,富有机质页岩优质相带展布稳定,压力系数在1.5~1.7左右。川中及川西地区,虽构造稳定,然而埋深较大,暂缺乏页岩气钻井数据支撑,有待进一步调查评价。

结合涪陵、长宁、威远、富顺-永川和彭水等区块页岩气勘探经验,盆内的川东、川南和山前地带,压力系数较高,选区评价主要包括三个方面:优质相带——决定了基本页岩气地质条件、埋深2000~3000m——决定了经济可采性、正向构造——兼具常规油气聚集机理;盆外由于改造强度较大,保存条件为首先考虑因素,选区评价主要包括两个方面:相对稳定区、优质相带。

对于四川盆地外缘,因改造相对较强,压力系数较小,但若处于龙马溪组、筇竹寺组优质相带内,也应具有一定的页岩气勘探潜力,如利川复向斜、武隆向斜、彭水桑拓坪向斜、道真向斜、古蔺石宝向斜、雷波-永善向斜、大关木杆-高桥向斜等。

本书是在王剑研究员、谢渊研究员的关心指导下,由汪正江牵头组织,杨平、刘伟协助完成的。本书编写分工如下:前言,汪正江、杨平、余谦、刘伟;第1章,汪正江、杜秋定、杨菲、邓奇;第2章,汪正江、杜秋定、杨菲、卓皆文;第3章,杨平、汪正江、刘家洪、杜秋定;第4章,杨平、刘家洪、汪正江;第5章,汪正江、刘伟、余谦、邓奇、何江林、熊国庆、熊小辉;第6章,杨平、汪正江、刘家洪;第7章,汪正江、余谦、熊国庆、杜秋定、熊小辉;参考文献由邓奇、刘家洪统编;本书最后由汪正江、杨平统稿,编排、校对由杨菲、刘家洪完成。需要说明的是,第4章和第7章选区评价部分内容是在“中上扬子海相含油气盆地油气地质综合调查”计划项目(2011~2014年)下属相关工作项目成果资料基础上梳理集成的,特此致谢。

本书是在中国地质调查局资源评价部、中国地质调查局油气资源调查中心和计划项目实施单位成都地质调查中心的统一组织领导下完成的,是项目组历经多年辛勤劳动的结晶。

多年来,项目工作得到了得到了项目参加单位湖南省地质调查院、贵州省地质调查院、湖北省地质调查院、成都理工大学、安徽省勘查技术院、中石化西南油气分公司勘探开发研究院等单位领导和参研人员的大力协助;得到了成都地质调查中心王剑、谢渊、牟传龙、谭富文、彭东等领导的大力支持和李嵘、谭钦银、刘建清、赵瞻、林家善、杨桂花、熊杰、朱丽霞等同事的无私帮助。

在此,特向上述单位及个人表示衷心感谢!

目 录

前言

第1章 中上扬子海相含油气盆地演化与叠加改造	1
1.1 中上扬子海相盆地的形成与演化	1
1.2 中上扬子海相重点层系地层序列	7
1.3 中上扬子重点区海相沉积层序特征	11
1.4 中上扬子海相盆地改造与现今构造格局	33
第2章 中上扬子海相盆地重点时期的古地理	49
2.1 中上扬子重点区沉积岩石类型与沉积相	49
2.2 中上扬子海相盆地重点时期沉积古地理	65
2.3 中上扬子重点区沉积序列演化与生-储-盖组合	81
第3章 中上扬子海相烃源岩生烃潜力评价	91
3.1 烃源岩有机质类型与沉积环境	91
3.2 烃源岩有机质丰度	114
3.3 烃源岩热演化程度	127
3.4 中上扬子海相烃源岩综合评价	137
第4章 中上扬子海相油气成藏富集规律与有利区预测	142
4.1 重点区古地温场及生烃史恢复	142
4.2 海相典型古油藏解剖及其运聚模式	163
4.3 中上扬子海相层系流体活动与油气成藏耦合	193
4.4 中上扬子海相油气有利目标区带预测	221
第5章 中上扬子海相页岩气资源潜力分析	233
5.1 寒武系牛蹄塘组页岩气资源潜力分析	233
5.2 五峰-龙马溪组页岩气资源潜力分析	252
5.3 黔西南石炭系页岩气资源潜力分析	270
5.4 川黔邻区龙潭组页岩气资源潜力分析	290
第6章 四川盆地龙马溪组页岩气富集规律	297
6.1 东南缘龙马溪组页岩气富集模式	297
6.2 川东高陡带龙马溪组页岩气富集模式	317
6.3 西南缘龙马溪组页岩气富集模式	322
6.4 四川盆地龙马溪组页岩气富集规律	329

第7章 中上扬子海相页岩气有利区优选	335
7.1 海相页岩气有利目标区优选标准	335
7.2 中上扬子重点区海相页岩气有利区优选	336
7.3 四川盆地周缘海相页岩气有利区优选	363
参考文献	377

第1章 中上扬子海相含油气盆地演化与叠加改造

1.1 中上扬子海相盆地的形成与演化

本书研究的对象是中上扬子震旦纪—早古生代海相盆地。实际上中上扬子海相含油气盆地的形成演化经历了三个阶段：新元古代中期的裂谷盆地阶段、震旦纪—寒武纪被动大陆边缘盆地阶段和奥陶纪—志留纪前陆盆地阶段（图 1.1），震旦系—志留系是其沉积充填的主体，但不是全部。加里东构造运动后，中上扬子海相盆地之上又叠加了晚古生代陆表海盆地和中—新生代陆相沉积盆地，形成三层叠置的构造格局。因此，中上扬子地区经历了复杂的沉积构造演化过程，使海相含油气系统也经历了多期成藏、调整、改造过程，造就了中上扬子地区复杂的油气地质条件。

为进一步深化认识中上扬子海相含油气盆地的油气地质特征，分析其油气保存条件，有必要系统梳理中上扬子海相盆地的形成演化阶段及其后期的叠置改造过程。

1.1.1 中上扬子海相盆地的形成演化阶段

1.1.1.1 中上扬子震旦纪—古生代海相盆地的前身——裂谷盆地

在中上扬子大部，由于后期沉积覆盖厚度巨大，露头少见，使得中上扬子海相盆地的早期演化阶段研究较为薄弱，且认识上也存在较多争议。对于很多研究者来说，都认为中上扬子震旦纪—早古生代应为被动大陆边缘盆地沉积，那么这一被动陆缘盆地的前身是什么性质的盆地？其沉积序列又是怎样的呢？在 2000 年之前，没有做过系统性研究。因此，大多数研究者对于中上扬子新元古代中期裂谷盆地多采取模糊处理或避而不谈。但对于原型盆地分析来说，则是不可避免的重要问题，实际上，这正是深化认识中上扬子海相含油气盆地的重要窗口。

新元古代中期的晋宁—四堡造山运动之后，华南扬子克拉通进入了一个全新的沉积构造演化旋回。约 820Ma，伴随着重要而广泛的火山岩浆活动，华南裂谷盆地正式开启，发育了广泛存在的异地滨岸相砂砾岩，且角度不整合超覆在经历强烈褶皱变形的四堡群、冷家溪群、梵净山群、双桥山群、双溪坞群等之上。随着海平面的快速上升，滨岸相砂砾岩也快速演变为浅水陆棚或三角洲前缘砂泥岩序列、碳酸盐缓坡及深水陆棚黑色页岩沉积序列。800~780Ma，随着泛克拉通的双模式火山岩浆活动的发生，裂谷盆地在经历了重要调整后，进入了区域性热均匀沉降时期，在扬子克拉通上发育了一套区域可对比的（莲沱组、休宁组、澄江组、溧水河组等）滨浅海沉积。

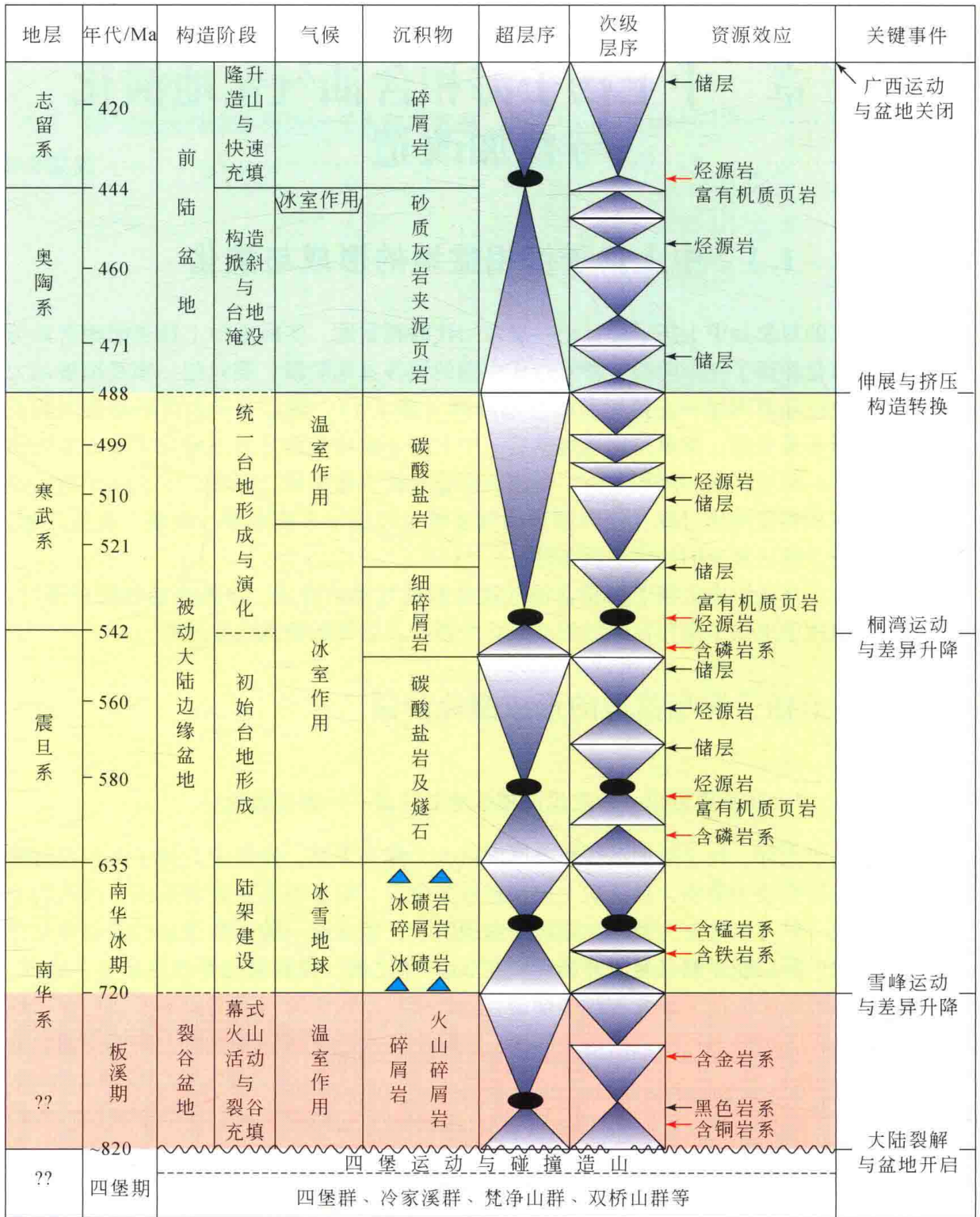


图 1.1 上扬子地区新元古代中期—早古生代海相盆地演化与资源效应 (据王剑等, 2012, 修改)

板溪晚期, 可能与 Rodinia 超大陆各主要块体的漂离造成可容纳空间的快速增加有关, 华南扬子地区出现区域性海退, 板溪群及其相当层位地层普遍遭受了不同程度的剥蚀。由于长安冰期海平面很低, 扬子克拉通主体少有沉积记录, 仅在大陆边缘沉积盆地的沉降中

心部位发育有相关沉积。随着气候变暖和海平面的缓慢上升,富禄间冰期沉积形成了向克拉通上一个渐次上超的楔状层序(汪正江等,2015)。至南沱冰期,扬子克拉通大部为海水淹没,南沱组广泛发育,为震旦纪中上扬子碳酸盐初始台地的形成奠定了基础。

1.1.1.2 中上扬子海相含油气盆地主体——被动陆缘盆地

中上扬子海相盆地的被动陆缘碳酸盐台地的形成实际上不是一次完成的,至少经历了两个由陆架至台地的演替过程(汪正江等,2012;图1.1)。第一次演替发生在震旦纪,陡山沱期为碳酸盐陆架建设,灯影期为碳酸盐初始台地的形成,但该期中扬子和上扬子还是处于分割状态(鄂西裂陷槽),在上扬子和中扬子分别形成了孤立台地。而且在震旦纪末期,扬子克拉通主体还经历了长达20~30Ma的抬升与剥蚀,发育了广泛的喀斯特(汪正江等,2011,2012)。第二次发生在寒武纪,黔东世早期为碎屑岩陆架建设,晚期向碳酸盐陆架和碳酸盐台地演化,清虚洞晚期中上扬子统一的碳酸盐台地基本形成,寒武纪武陵世和芙蓉世主要为碳酸盐台地的发展与调整,特别是在武陵世,台内广泛发育潟湖相含膏岩系,是海相下组合重要封盖层之一。

1.1.1.3 中上扬子海相含油气盆地晚期——前陆盆地

进入奥陶纪,随着华南加里东造山带的形成与向西持续推进,中上扬子海相盆地也进入了前陆盆地演化阶段。根据构造应力场变化及其沉积响应特征,该阶段又可划分为三个次级阶段:

1) 碳酸盐台地调整和镶边台地的形成(O_1)

早奥陶世早期是中上扬子碳酸盐台地的调整阶段,由于郁南运动(可能与越北-湘桂地块向北运动有关)的影响,早奥陶世沉积相分异明显,在中上扬子台地相区出现了分别代表不同沉积相类型的桐梓组、南津关组+分乡组等沉积组合。在中上扬子统一的碳酸盐台地东南缘发育了稳定的浅滩相砂砾屑灰岩沉积,为镶边台地的形成奠定了基础。

早奥陶世红花园期是中上扬子统一碳酸盐台地发展的最后阶段,在中上扬子东南缘新晃-松桃-花垣-古丈一带形成了多个断续分布的海绵礁灰岩和藻礁灰岩沉积体,标志着碳酸盐台地的发展达到了顶峰,即镶边碳酸盐台地的形成。

2) 前陆充填第一阶段(O_{2-3})

在前陆阶段,由于构造应力场的转换,中上扬子东南缘前陆盆地的发展又经历了两个发展阶段,第一阶段的主应力为北西-南东向的,是由被动大陆边缘阶段的北西-南东向伸展应力场转换而来的。第二阶段的主应力方向转化为南北向,前缘隆起为黔中隆起。

前陆早期阶段,由于来自扬子东南缘加里东运动的构造掀斜作用导致了海平面快速上升,使得红花园期形成的镶边台地被淹没了,并出现了大量陆源碎屑的进积作用。该时期的前缘隆起为水下隆起,但在临湘期末可能出现过短暂暴露。

至临湘期末,伴随受越北-湘桂地块向北碰撞发生了导致黔中隆起形成并最终定型的都匀运动,且使中上扬子东南缘的前缘隆起局部可能已经露出了水面,发育了暴露侵蚀面和古风化壳等,同时这也是一个重要构造-沉积转换:前陆盆地转化为前渊拗陷盆地、碎屑岩沉积代替了碳酸盐沉积。

3) 前陆充填第二阶段 (O_3w-S_1)

临湘期末, 由于来自主应力为南北向的都匀运动的强烈挤压, 黔中隆起快速隆升并露出水面, 形成了一个新的前缘隆起, 导致扬子东南缘(张家界-保靖-松桃)的早期前缘水下隆起快速沉没, 中奥陶世中上扬子东南缘的前陆盆地与隆后克拉通拗陷盆地连为一体, 形成了统一的前陆拗陷盆地, 这就是前陆盆地发展第二个阶段的早期主要特征。该阶段又可以龙马溪中期为界划分为早期和晚期, 早期是以黔中隆起形成为标志的都匀运动导致的构造掀斜作用, 使得海平面快速上升, 形成了五峰期中上扬子克拉通内相对深水的滞留环境, 发育了广泛的碳质-硅质页岩夹薄层凝灰岩(斑脱岩)沉积。晚期由于东南方华南造山带的快速隆升, 物源补给充足, 盆地充填以具有复理石特征的砂质泥页岩为主, 三角洲沉积发育, 但砂岩成熟度普遍较低。由于华南加里东造山带的持续向西逆冲加载以及川中隆起、黔中隆起的快速发展, 中上扬子前陆拗陷盆地的陆源碎屑供应充分, 盆地被快速沉积充填。至早志留世末, 中上扬子早古生代海相盆地充填演化结束。

1.1.2 晚古生代陆表海盆地

华南加里东造山带的形成结束了扬子和华夏陆块相互作用、相互影响的漫长历史, 自此, 统一的华南板块形成, 并进入了板内活动构造阶段(刘宝珺等, 1993)。板内活动以大陆裂谷作用为主, 扬子陆块南缘发育的裂谷带有右江-南盘江裂谷带和康滇裂谷带, 北缘主要有梁平-开江裂谷带(马永生等, 2006)和鄂西裂谷带(卓皆文等, 2009), 其中南缘的裂谷活动开启时间较早, 主要为泥盆-石炭纪、二叠纪继承性发展; 北缘较晚, 主要为晚二叠世, 但它们都是古特提斯裂谷系的重要组成部分(图1.2)。

1.1.2.1 泥盆-石炭纪台盆格局的形成与演化

由于南缘的右江-南盘江裂谷带开启较早, 最先开始晚古生代的海侵上超, 并形成了典型的台盆相间的古地理格局。泥盆-石炭纪台盆相间格局的形成与演化大体上经历了四个阶段: 第一阶段为初始海侵与陆架建设阶段, 主要发育潟湖-潮坪沉积序列。第二阶段为台间盆地形成期, 由于持续的伸展, 台地与台盆初步分异, 在台地上形成碳酸盐沉积, 在相对低洼区则发育斜坡或盆地相黑色泥岩、硅质岩。泥灰岩、瘤状石灰岩等, 局部有重力流沉积。第三阶段为台盆形成期, 随着同沉积断裂的活动, 使初始台地快速生长, 发育巨厚的碳酸盐台地和台缘礁滩沉积, 而在台间盆地内则发育细碎屑钙质浊积岩和含放射虫的硅质泥岩等。第四阶段为萎缩封闭期, 由于受区域或全球性海平面下降(冰川作用)影响, 同沉积断裂活动减弱, 台盆分异趋于停止, 并逐渐趋于同相化和浅水化, 至石炭纪晚期, 大部分可能处于隆升暴露状态, 形成了南方广泛的石炭系与二叠系的平行不整合关系(刘宝珺等, 1993)。

1.1.2.2 二叠纪统一碳酸盐台地建设

可能是由于全球气候回暖与冰川消融, 早二叠世晚期, 海平面快速上升, 在华南在发育较薄的梁山组含煤岩系后, 至栖霞期, 整个南方迎来了晚古生代以来的最大海侵期, 普遍沉积了一套含筳、钙藻、有孔虫的生物灰岩、瘤状石灰岩等, 形成了一个巨大的碳酸盐缓坡,

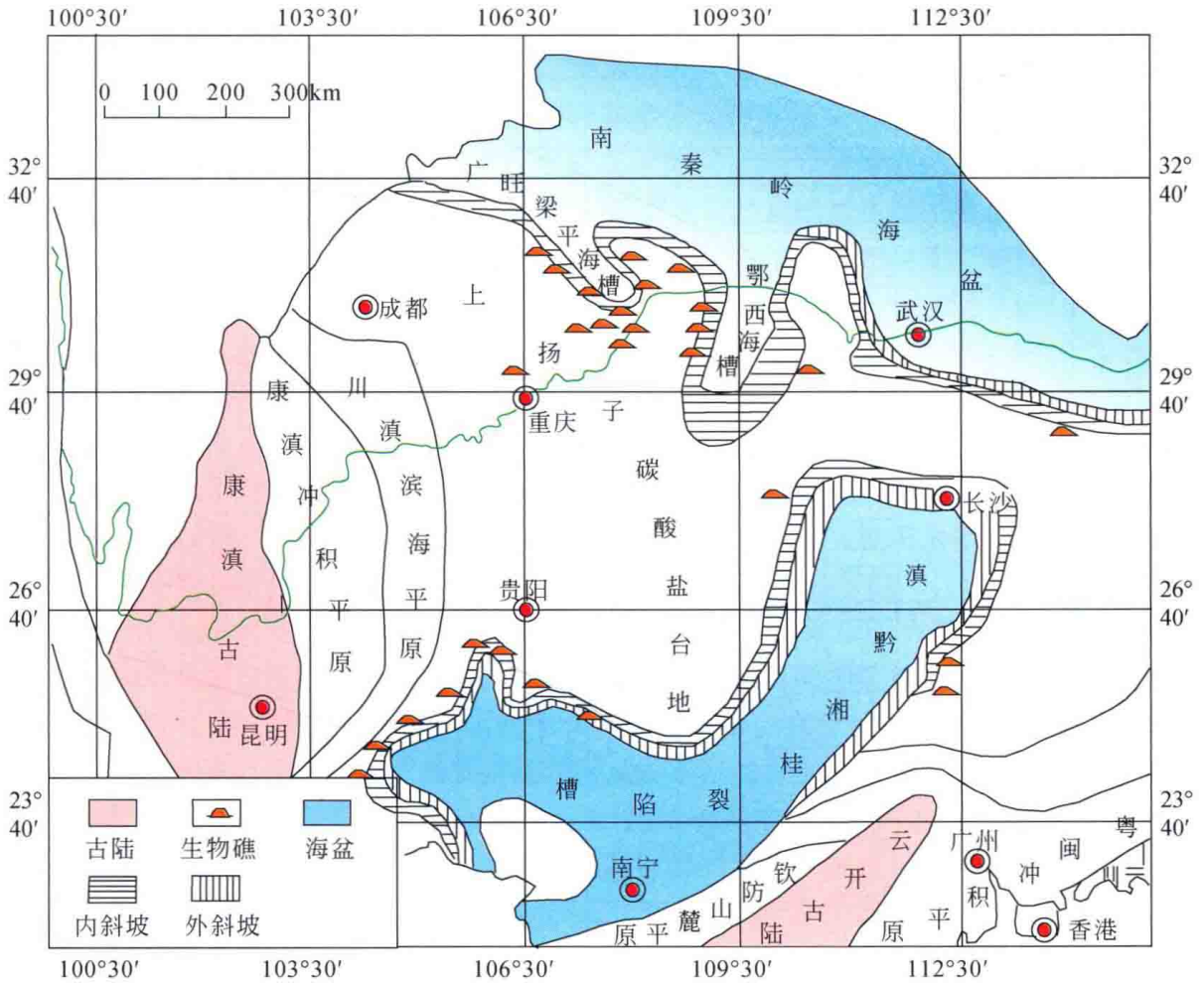


图 1.2 中上扬子地区晚二叠世主要裂谷带(裂陷槽)分布与古地理(据卓皆文等, 2009)

沉积相分异较为简单：在陆块边缘为深水缓坡，在陆块内部主要为浅水缓坡和开阔台地。

茅口期，随着碳酸盐岩的加积作用，碳酸盐缓坡逐渐演变为局限台地和开阔台地。在东部，由于华夏古陆的隆升和建设型三角洲的向西推进，碳酸盐台地沉积推出了华夏地区。

吴家坪期，受峨眉山玄武岩喷发影响，川滇古陆再次隆升，其西部为冲积平原，东侧演化为三角洲。因陆源碎屑的输入，扬子碳酸岩台地受到抑制而进一步收缩。同时由于华夏陆块的向西推移和云开古陆的隆升，华南海相盆地进一步收缩，钦防海槽也关闭，扬子克拉通盆地进一步变浅，虽长兴期碳酸盐台地有所扩大，并形成了台缘海侵型生物礁，但基本古地理格局无明显变化。

1.1.2.3 早中三叠世局限海盆地

早三叠世，在二叠纪末混积陆架上发育了小规模的海侵上超，其后发育多次相对海平面升降，在台地边缘形成了开阔台地和局限台地交替发育的特征（图 1.3），而在台地内部则普遍发育潟湖和萨布哈沉积，膏岩发育，从古陆向边缘构成河流-大陆萨布哈-滨岸萨布哈-局限台地-开阔台地-台缘浅滩的相带展布格局。

地层系统				厚度/m	沉积序列	沉积相		层序划分		相对海平面变化					沉积构造转换面	
系	统	组	段			亚相	相	体系域	III层序	II层序	深海	半浅海	浅海	滨海		陆相
三叠统	下三叠统	嘉陵江组	四段	6.23		湖泊或蒸发台地	碳酸盐									暴露侵蚀
			四段	55.22		局限台地	碳酸盐	HST								
			三段	228.41		开阔台地	盐	TST								
			二段	78.08		台缘浅滩 开阔台地	碳酸盐	HST								
			一段	25.74		斜坡	碳酸盐	TST								
			四段	42.13		浅水混积陆棚	陆棚									
	三段	125.94		局限台地	碳酸盐	HST										
	二段	158.39		台缘浅滩 开阔台地	盐	HST										
	一段	69.89		斜坡	碳酸盐	TST										
	上二叠统														海侵上超 暴露侵蚀	

图 1.3 上扬子东南缘早三叠世开阔台地与局限台地交替发育的沉积序列

中三叠世, 华南板块受到特提斯构造域强烈的挤压和汇聚作用, 碳酸盐台地逐渐进入消亡阶段, 早三叠世末的较大规模的海退, 致使上扬子陆架大部暴露, 并在其上覆盖了一层稳定的中酸性火山灰(绿豆岩)。碳酸盐台地急剧向西北退缩, 继之发育为大陆蒸发岩干盐湖(刘宝珺等, 1993), 加之来自江南隆起区的陆源碎屑的持续向西推进, 中扬子的中三叠世已转换为红色陆相碎屑岩沉积了, 上扬子残留海盆地也在晚三叠世早期转换为前陆盆地, 海水全部退出, 至此, 华南板块上新元古代—古生代海相盆地形成演化过程宣告结束。

1.1.3 中—新生代陆相沉积盆地

中三叠世末, 在印支造山运动作用下, 秦岭—祁连—昆仑海槽、古特提斯洋、哀牢山海峡和右江—南盘江裂谷带等先后关闭或消亡, 海水从此退出华南板块主体, 康滇大陆裂谷进入沉降拗陷期, 西昌盆地形成。

同时, 华南板块在周边地壳消减的全方位挤压作用下, 发生了大规模陆内汇聚作用, 使一系列古老断裂带重新复活并转换为逆冲推覆, 其中重要的推覆构造有南秦岭带、龙门山—锦屏山带、江南—雪峰构造带、湘桂滇带和闽浙带等。在板块周缘一系列前陆盆地形成, 其中典型代表就是扬子西缘前陆盆地(川西前陆盆地和楚雄前陆盆地)和扬子北缘前陆盆地(江汉盆地、沿江盆地和苏北盆地等)(高瑞祺等, 2001)。

印支期陆相湖盆的早期充填, 由于气候温暖, 有利于有机碳埋藏。同时, 物源补给量不大, 湖泊三角洲和湖盆发育交替(朱如凯等, 2009), 形成了良好的生—储—盖组合, 因此, 四川盆地晚三叠世须家河组是重要的油气勘探层系, 特别是须一、须三和须五段也可能是未来页岩气重要的勘探目标层系。

早侏罗世, 扬子克拉通继承了晚三叠世的古气候和盆地格局, 只是该时期湖盆进一步缩小, 有利烃源岩发育相对局限(主要分布在川中南充—汉中地区)。中侏罗世后, 气候变得相对炎热干燥, 四川盆地和西昌盆地广泛发育陆相红色磨拉石, 直至盆地消亡。

自白垩纪开始, 中上扬子地区的沉积不再具有广泛性了, 相对集中发育的是白垩纪—新生代伸展断陷盆地(江汉盆地和苏北盆地)内, 其他地区均为紫红色近源砂砾岩沉积, 且分布零星, 不具有油气地质意义了。

1.2 中上扬子海相重点层系地层序列

1.2.1 前震旦纪地层序列

雪峰山西侧地区最古老的基底变质岩系出露于鄂西峡东地区, 即前人所称的崆岭片岩(Lee and Chao, 1924)、崆岭群(李福喜、聂学武, 1987)或崆岭杂岩(马大铨等, 1997)。近年来, 同位素年代学的研究取得了许多重要进展, 扬子克拉通存在古太古代的陆壳物质, 在早于32亿年前, 在三峡地区出现玄武岩喷发和沉积岩构成的早期表壳