

文章编号: 1000-0550(2017)05-1054-09

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.05.016

中国海相碳酸盐岩勘探领域拓展历程及沉积学的基本驱动作用

陈安清^{1,2}, 侯明才^{1,2}, 陈洪德^{1,2}, 徐胜林^{1,2}, 钟怡江^{1,2}, 刘文均^{1,2}

1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 成都 610059

2. 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059

摘要 回顾中国碳酸盐岩油气勘探领域的拓展历程,共经历了三个阶段:第一阶段,上世纪中后期以靖边气田等为代表的找构造高部位的岩溶型油气藏阶段;第二阶段,2000年以来以普光气田等为代表的台地边缘礁滩油气藏拓展阶段;第三阶段,2010年以来克拉通内幕白云岩油气藏新拓展阶段。沉积学的三种基本的水动力储层宏观成因模式是三大碳酸盐岩勘探领域拓展的基本驱动因素;早期勘探阶段的构造高部位岩溶储层宏观分布受控于隆起暴露期的大气水岩溶作用,台缘礁滩储层的宏观分布受控于镶边台地边缘持续的波浪作用,内幕白云岩储层的宏观分布则受控于潮汐作用。大气水岩溶模式的古水文地质系统除了作用于不整合面附近的隆起区,构造低部位和被断裂沟通的远离不整合面地区也能够发育岩溶储层,值得注意的是短暂暴露的准同生岩溶是未来重要勘探方向。浪控台缘礁滩模式具有“盆包台”、“台包盆”、“盆切台”等多种台缘结构模式,它们的储层宏观分布都处于波浪作用的高能礁滩带上,都基本符合威尔逊碳酸盐岩台地模式,只是不同地区的台地边缘具有不同的复杂形状而已,识别深部隐伏裂隙及其周缘礁滩相带是该领域勘探的难点。潮控陆表海台地潮坪模式指导了碳酸盐岩勘探向克拉通内幕白云岩的拓展,该类白云岩储层呈大面积薄互层席状产出,其宏观分布具有进积潮坪楔和潮坪岛拼嵌两种样式,是一个重要的勘探新领域。

关键词 碳酸盐岩勘探;岩溶储层;礁滩储层;白云岩储层;水动力模型

第一作者简介 陈安清,男,1981年出生,博士,副教授,沉积学与石油地质学,E-mail: aqinth@163.com

通讯作者 侯明才,男,教授,E-mail: houmc@cdut.edu.cn

中图分类号 P588.24 P618.13 **文献标识码** A

0 引言

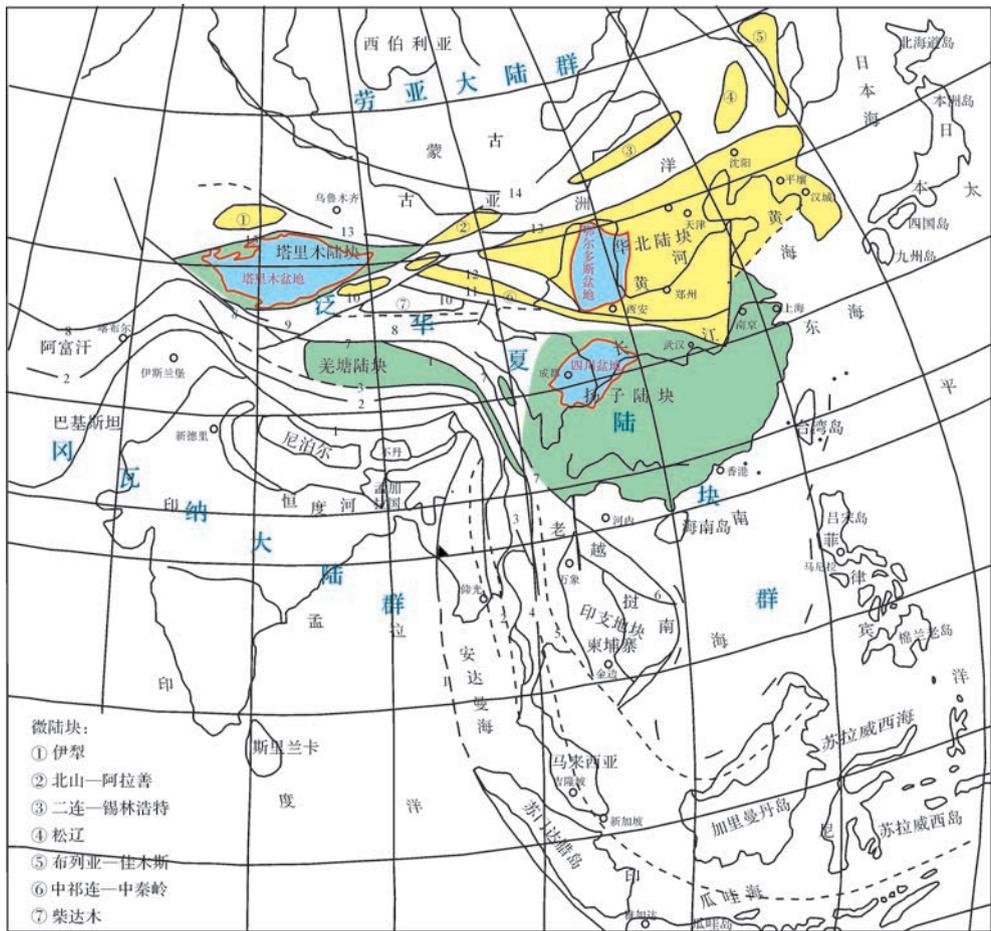
中国中西部地区的秦岭—昆仑造山带南北两侧,分列着三个大型盆地——塔里木、鄂尔多斯和四川盆地(图1),已经成为我国深层碳酸盐岩勘探的热点盆地。它们的形态规模不一,都具有下伏结晶变质基底、中夹海相地层和上覆陆相地层的三层地质结构特点。它们的海相地层分布广泛,蕴藏有丰富的资源,正成为我国重要的油气供应基地。新的油气资源评价表明,中国陆上海相碳酸盐岩油气资源丰富,石油地质资源量达 340×10^8 t,天然气地质资源量为 24.3×10^{12} m³。鄂尔多斯盆地在中央古隆起东侧马家沟组中组合和盐下白云岩取得重大勘探突破,无阻流量最高的苏322井达到 41.59×10^4 m³/d,勘探领域从以往的风化壳岩溶储层拓展至内幕白云岩;四川盆地在发现普光大型气田后,又陆续发现了元坝大气田、龙岗大气田、彭州大气田和安岳大气田;塔里木盆地同样

也在更深更古老的盐下寒武系地层中获得新发现。这也是继松辽盆地打破我国“陆相贫油论”后,古老海相盆地大放光彩,投射出我国石油工业“二次创业”的新曙光。

近十多年来,有关这三大盆地油气地质方面的研究百家争鸣,涌现出的真知灼见有力推动了我国西部复杂叠合的碳酸盐岩油气勘探^[2-5]。深埋碳酸盐岩被多构造旋回长期改造造成“烃源多期混合、储层致密不均、油藏复杂改造”已成为大家的共识。回顾我国碳酸盐岩的勘探历程,经历了上世纪中后期以靖边气田为代表的找构造高部位的岩溶型碳酸盐油气藏,向2000年以来普光气田为代表的找台地边缘礁滩油气藏的飞越,2010年以来又逐渐拓展至了克拉通内幕白云岩新领域。本文通过中国碳酸盐岩勘探的历程回顾与典型实例分析,探讨沉积学对碳酸盐岩勘探领域拓展的基本推动作用,展望碳酸盐岩勘探前景。

收稿日期: 2017-07-25; **收修改稿日期**: 2017-08-28

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05024-003-010);国家自然科学基金项目(41672102,41602118);油气藏地质及开发工程国家重点实验室开放基金项目(PLC201605) [**Foundation**: National Science and Technology Major Project, No.2016ZX05024-003-010; National Natural Science Foundation of China No. 41672102, 41602118; Open Foundation of State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, No. PLC201605]



- 1. 印度河—雅鲁藏布江结合带K-E;
- 2. 班公湖—怒江结合带K-E;
- 3. 双湖—昌宁结合带P₂,可能为三个弧后小洋盆;
- 4. 澜沧江—青莱—文冬—劳易结合带P₂;
- 5. 雅河—沙结合带P₂;
- 6. 车邦即结合带P₂;
- 7. 金沙江—哀牢山—马江结合带P₂;
- 8. 康西瓦—阿尼玛卿结合带P₂;
- 9. 中昆仑结合带P₂;
- 10. 柴达木—秦岭—大别—鲁苏结合带(榴辉岩带Pt-P₂)
- 11. 中祁连结合带P₂;
- 12. 中祁连—北秦岭结合带P₂;
- 13. 华北北缘—北天山—阴山桦甸结合带P₂;
- 14. 阿尔金—额尔古纳结合带P₂;
- 15. 南天山结合带P₂;

图1 中国陆块群及三大主要碳酸盐岩盆地位置分布^[1]

Fig.1 China continental groups and the position of the main marine carbonate basins^[1]

1 中国碳酸盐岩基本特征

在全球范围内,以碳酸盐岩沉积为主的盆地类型,大多发育在伸展背景下的克拉通、被大陆动边缘及裂谷盆地。成盆时代包括中—晚元古代、早—晚古生代和中新生代。挤压背景下的较少,如晚白垩世—新生代东阿曼前陆盆地。我国的陆上碳酸盐岩几乎形成于克拉通盆地,在时代上主要集中在震旦纪和早古生代,晚古生代较少,中新生代更少。全球共发现储量大于 0.86×10^8 t 的巨型油气田共 936 个,可采储量 0.43×10^{12} t 油当量,其中碳酸盐岩油气田 320 个。在这些盆地中,根据碳酸盐岩的发育时期可以区分为 4 个发育阶段(图 2):1) 中—晚元古代:以西伯利亚的里菲系为代表,地质年龄为 6.5~16.5 亿年,发现的

巨型碳酸盐岩油气田如尤鲁布欣—托霍姆油气田群,我国中朝陆块的长城系—青白口系地层与之相当。2) 震旦纪—早古生代:全球范围碳酸盐岩内分布较广,我国三大盆地的震旦纪—奥陶纪都是以碳酸盐岩为主的,如阿曼盆地侯格夫群(相当于震旦系)有巨型油气田发现,北美的伊利诺斯、阿尔伯达、密歇根盆地的碳酸盐岩也都有油气发现。3) 晚古生代:全球碳酸盐岩分布也较普遍,我国主要出现在四川盆地,中阿拉伯和阿曼盆地的二叠纪碳酸盐岩油气占有重要地位,如世界最大的南帕尔斯气田。4) 中—新生代:碳酸盐岩主要分布于特提斯域,中国仅四川盆地的三叠系和西藏地区有发育,全球巨型油气田发育的重要层位。虽然世界碳酸盐岩油气田数量和可采储量的分布有随着时代变新而增多,而在我国已知的海

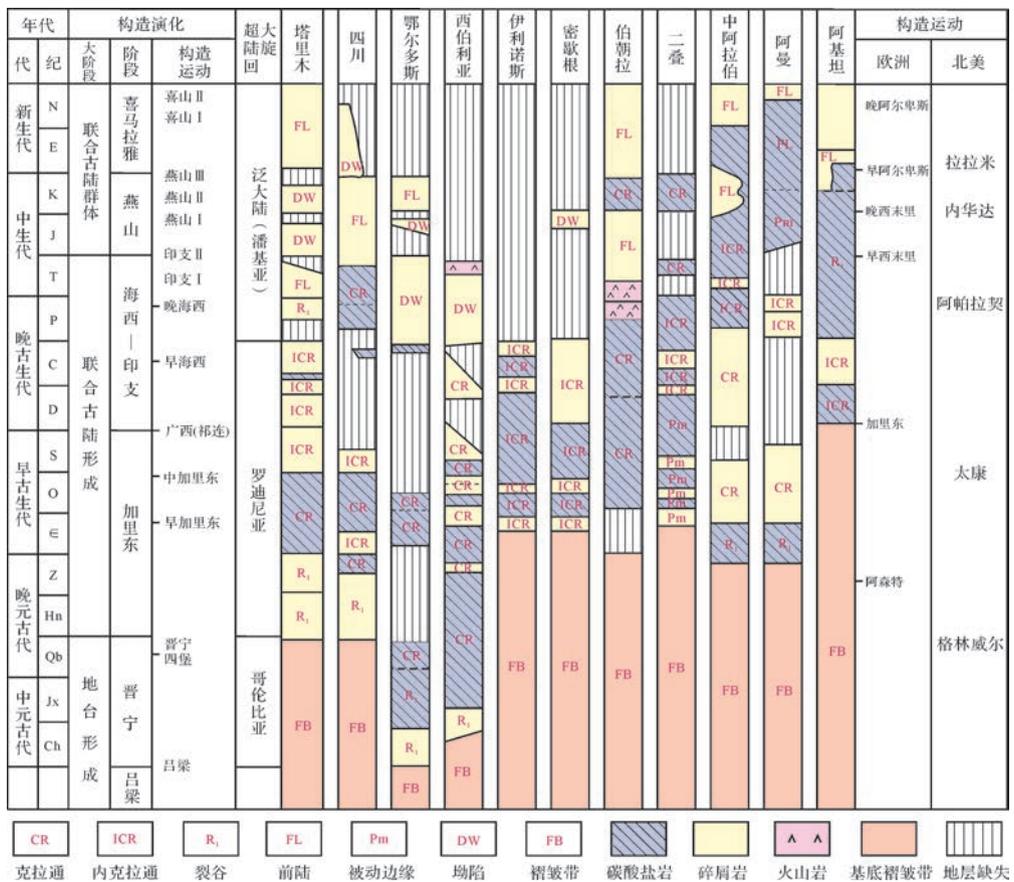


图2 国内外主要盆地碳酸盐岩发育阶段比较

Fig.2 The development stages of main carbonate basins around the world

相碳酸盐岩油气田主要出现在中生代以前的地层中,以天然气为主,这是截然不同的特点,也是我国坚持深层古老碳酸盐岩勘探的原因。

中国海相碳酸盐岩总体上地层时代古老、埋藏深度大、构造改造强、储层极为致密。世界主要的碳酸盐岩油气藏以发育在中生界为主,埋藏深度一般在2 000~4 500 m,孔隙度通常在10%以上。中国的碳酸盐岩油气田埋深5 000~7 000 m,孔隙度只有5%左右。另外一个重要的特点是,我国碳酸盐岩发育的克拉通盆地规模小,经历的构造期次多,盆地叠合关系复杂,发育多个不整合面,主要形成于元古界至晚三叠世之前的小板块分散活动阶^[6]。中国的海相碳酸盐岩分布面积超过450×10⁴ km²。陆上海相碳酸盐岩盆地28个,面积约330×10⁴ km²,海域海相碳酸盐岩盆地22个,面积约125×10⁴ km²,以塔里木、四川、鄂尔多斯盆地分布最为广泛^[7]。

2 中国碳酸盐岩勘探拓展历程

回顾我国碳酸盐岩的勘探历程,可概括为三个拓

展阶段:向风化壳岩溶储层拓展的第一阶段、向台缘礁滩拓展的第二阶段和向台内白云岩拓展的新阶段。

2.1 第一阶段:风化壳岩溶储层拓展阶段

20世纪50—90年代,中国的碳酸盐岩油气田发现主要有靖边气田、威远气田、塔河油田和任丘油田等。以塔河油田的勘探历程为例:通过“七五”、“八五”期间的油气地质条件评价,形成了大型古隆起、古斜坡为碳酸盐岩油气勘探目标,沿着大奥陶系顶部大型不整合面寻找岩溶油气藏的勘探思路。中国石化西北油田分公司在1980—1984年落实了沙雅隆起雅克拉潜山构造圈闭,在沙参2井发现了海相凝析气藏^[8]。此后,又获得了沙48井高产稳产的重大勘探突破,实现了塔河奥陶系顶部碳酸盐岩大型缝洞型油藏的发现^[9]。这一阶段,鄂尔多斯盆地中央古隆起东侧的奥陶系靖边气田、四川盆地乐山—龙女寺古隆起的震旦系威远气田、渤海湾盆地古潜山的蓟县系任丘油田等的勘探思路和历程基本相同。该阶段碳酸盐岩勘探的典型特征是以“沿断裂、找残丘、打高点”的勘探思路寻找构造(古潜山)圈闭油气藏。

2.2 第二阶段:台缘礁滩储层拓展阶段

21世纪初,随着容易发现的构造油气藏越来越少,世界范围内岩性油气藏的发现比例逐步增高。岩性油气藏的勘探思路引入中国,成为勘探家们热捧的对象。勘探思路由构造圈闭向岩性圈闭转变,高构造的翼部、负向构造不再是勘探禁区。找油找气也不再是构造圈闭勘探期构造地质学家的主角戏,沉积地质学家慢慢成为主角之一。中国碳酸盐岩岩性油气藏的勘探又以中国南方的四川盆地普光气田的发现为代表,实现了向台地边缘礁滩岩性油气藏的飞越。中国南方碳酸盐岩油气勘探在1960年随油苗、找构造打井发现威远气田后,经历了“三上龙门山、四上海棠铺、三次川中大会战”,长期未取得新突破。甚至一时被南方油气勘探“悲观论”占上风,认为中国南方油气成熟度过高、油气保存条件差。在岩性油气藏勘探思路的影响下,勘探家们根据中国南方碳酸盐礁滩极为发育的特点,从基础的沉积学和岩相古地理学研究入手,逐渐认识了台缘礁滩相带这一油气勘探目标。2000年,中国石化开始进入川东北开展碳酸盐岩勘探工作。勘探思路从以往“沿长轴、占高点、打扭曲”找构造圈闭向“以长兴—飞仙关组礁滩孔隙型白云岩储层”的构造岩性复合圈闭转变,在川东北宣汉县的普光1井获得无阻流量 $103 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的高产气流,实现了中国南方碳酸盐岩勘探重大发现^[10]。这一阶段,不但实现了圈闭认识的突破,也开启了我国深层—超深层海相碳酸盐岩勘探的新步伐。

2.3 第三阶段:台内白云岩储层拓展阶段

2010年以来,虽然碳酸盐台缘礁滩油气勘探方兴未艾,但中国油气对外依存度持续增长,超过了50%的警戒线。寻找更多的油气资源勘探新领域成为了石油地质工作者的责任与挑战,提出了“从依赖国内向立足国内、开拓国际,从依赖东部向稳定东部、发展西部,从浅层碎屑岩向深层碳酸盐岩”的油气战略。随着科技的日新月异,钻井和地球物理勘探技术越来越成熟,碳酸盐岩油气勘探逐渐开始从岩溶带和台缘礁滩带向更深更广阔的克拉通内幕拓展。石油地质工作者们既百家争鸣,又广泛地交叉合作,推动了一些列大型综合勘探研究项目,如2012—2015年由 中国地质调查局和成都理工大学组织实施的“中国西部主要大型盆地碳酸盐岩油气资源调查评价”,参加单位有中国石油长庆油田分公司、中国石化西北油田分公司、中国石油塔里木油田分公司、中国石化勘探南方分公司、中国石化西南分公司、中国石化华

北分公司、中国地质调查局成都地调中心、北京大学、中国地质大学、西北大学。这一阶段,发现了鄂尔多斯盆地中央古隆起内侧奥陶系马家沟组中组合白云岩气田、四川盆地川西坳陷中段雷口坡组雷四段彭州气田^[11-12]以及四川盆地中部震旦—寒武系的安岳大气田^[13],天然气探明储量10000亿方,并且在塔里木盆地盐下获得导向性深层勘探突破。这些油气新发现,昭示着碳酸盐岩拓展至了克拉通内幕白云岩新领域。

3 勘探领域拓展的基本驱动因素

储层是油气勘探的核心目标,对储层的宏观分布的认识指引着油气勘探的方向,也决定着油气勘探领域拓展和成功率。纵观上述三个勘探历史阶段,碳酸盐岩勘探领域的拓展主要是基于沉积学对潜在储层的宏观发育分布的拓展认识所驱动的。沉积学中三种基本的水动力条件控制了三类储层宏观分布。早期勘探阶段的构造高部位岩溶储层取决于隆起抬升暴露期大气水岩溶作用;台缘礁滩储层的宏观分布取决于镶边台地边缘持续的波浪作用;台内白云岩储层的宏观分布则取决于潮汐作用。

3.1 风化壳岩溶储层与大气水岩溶模式

岩溶储层是中国碳酸盐岩勘探最早关注的领域。它受地壳抬升作用形成的大规模风化壳不整合面的控制。中国的主要海相碳酸盐岩盆地,都发育多个不整合面,如震旦系顶部的不整合面、奥陶系顶部的不整合面等。这些不整合面之下的碳酸盐岩受到不同程度的喀斯特作用,即古地下水和古地表水对碳酸盐岩的破坏和改造作用。由于当时地貌差异,不同地貌单元的古水文条件不尽相同,对碳酸盐岩的破坏和改造程度也不相同。岩溶发育受古气候、古地貌、古水文条件、古海平面变化、岩石性质和岩相等的影响。其中气候是影响岩溶最为关键的外部因素。气候条件直接影响温度、降水量及气压等。气压和温度影响 CO_2 含量,降雨量直接决定了水的溶蚀能力的强弱。炎热多雨的气候有利于岩溶发育;干燥气候,降雨量小,岩溶相对不发育;雨量充沛的温暖气候区,蚀变过程迅速,发育大量的土壤、落水洞及坍塌角砾岩;温暖半干燥气候常形成钙结层;干旱气候岩溶发育较差。理想的大气水岩溶水动力模型显示,岩溶作用受岩溶地貌和地下古动力的控制,形成由垂直渗流带、水平潜流带、深部缓流带组成的三层结构(图3)。高地形区常为地下水补给区,水质以垂向流动为主,循环深

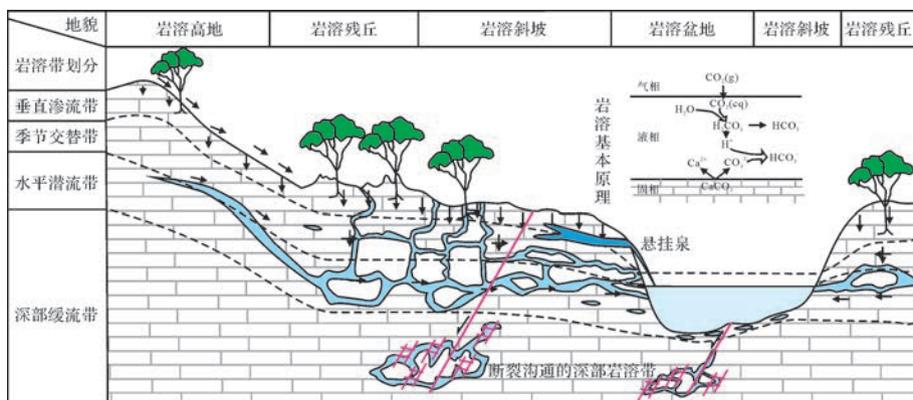


图 3 岩溶地貌及地下水水力分带模式

Fig.3 Karst landform and groundwater dynamic model

度较浅;斜坡地带的地下水除了垂向渗透外,水质以水平流动为主,岩溶呈层状分布;低地区常为排泄区,不利于岩溶作用。早期岩溶储层的勘探主要以高部位的构造圈闭和残丘为主。随着勘探的深入,发现该类油气田不仅受局部构造和岩溶残丘的控制,古隆起背景下岩溶缝洞体系古水文地质控制着储层的发育规律,在斜坡等构造低部位也发育岩溶储层。即该类油气勘探不能局限于构造圈闭和潜山圈闭,还包括广泛分布的岩溶缝洞体系构成的岩性圈闭。

3.2 台缘礁滩储层与浪控台缘礁滩模式

四川盆地普光气田的发现,在中国掀起了台缘礁滩油气勘探的热潮。勘探表明,台缘礁滩的发育受盆地活动性的影响。较活动的塔里木盆地和次稳定的四川盆地碳酸盐礁滩较为发育,它们在碳酸盐岩沉积前发育碎屑岩垫底,稳定的鄂尔多斯盆地礁滩不大发育,碳酸盐岩沉积前无碎屑岩垫底。我国的扬子、华北和塔里木克拉通在碳酸盐岩发育阶段的基本属性是小陆块分散漂移于古大洋中,受基底稳定性、基底断裂活化、同沉积断裂和差异沉降作用的制约,克拉通时常被切割破坏,形成了复杂的次级构造地貌,造成了碳酸盐岩台地边缘发育分布极为复杂。形成了 3 种典型的碳酸盐岩台地结构模式:1)“盆包台”模式,如晚古生代的上扬子南缘,克拉通边缘在 NE 向与 NW 向两组近于垂直的同沉积断裂的切割下,形成破碎型大陆边缘,深水盆地沉积为主,具有高能礁滩镶边的孤立台地发育在台盆中。2)“台包盆”模式:如二叠纪川东北地区与奥陶纪鄂尔多斯盆地南缘,在伸展背景下断裂近垂向或斜向切割克拉通边缘,断层规模小,活动性不强,台地沉积为主,台盆伸入台地内部形成海湾状,形成环台间盆地的边缘礁滩相。

3)“盆切台”模式,如奥陶纪塔里木盆地,在伸展背景下同沉积断裂活动切穿整个克拉通台地,断层在边缘活动性强,在克拉通内部活动性较弱呈现台台相望格局,环大型台发育边缘礁滩相。这些不同结构特征的碳酸盐台地都具有一个共同的特点,就是它们的储层的宏观分布都处于波浪作用的高能礁滩带上,都基本符合威尔逊碳酸盐岩台地模式(图 4),只是台地边缘具有不同的复杂形状而已。通常碳酸盐岩台地的近岸为陆源碎屑砂泥带或蒸发带,中部带是陆源和碳酸盐岩砂质泥的混合带,然后是纯碳酸盐岩砂、泥以及外陆架的礁群带。中部和内陆架的碳酸盐岩颗粒是由软体动物、苔藓动物和底栖有孔虫组成的。礁占优势的外陆架碳酸盐岩颗粒则由珊瑚、珊瑚线藻、仙人掌藻和底栖有孔虫组成。在台地边缘礁的前礁浅水带有发育良好的沟、槽结构,沟槽内覆盖着枝状的鹿角珊瑚、珊瑚藻和千孔虫,生物礁有明显的分带特征。

3.3 台内白云岩储层与潮控陆表海台地潮坪模式

经典的镶边台地模式对于碳酸盐岩勘探的指导作用所关注的是波浪作用带。有利于这种模式形成的时期往往是克拉通构造相对活跃期。除波浪作用外,潮汐作用也是海洋表层水体普遍存在的一种地质营力。地质历史中,海相克拉通也有相对稳定的间隙期,陆表海碳酸盐台地是这种时期的典型沉积环境,台地潮坪和盐湖广泛发育^[6,14]。由于陆表海台地形成的碳酸盐岩储层往往时代老、埋藏深、隐蔽性强,油气勘探难度大,勘探涉及极少。这也造成以往人们认为这一领域不利于储层的发育。但正如欧文所言:“自然界从来不是静止的,在地质历史中,陆表海海侵到陆上或从陆上海退的过程发生过无数次”。即陆表海沉积并非安静的平板一块,如华北早古生代陆

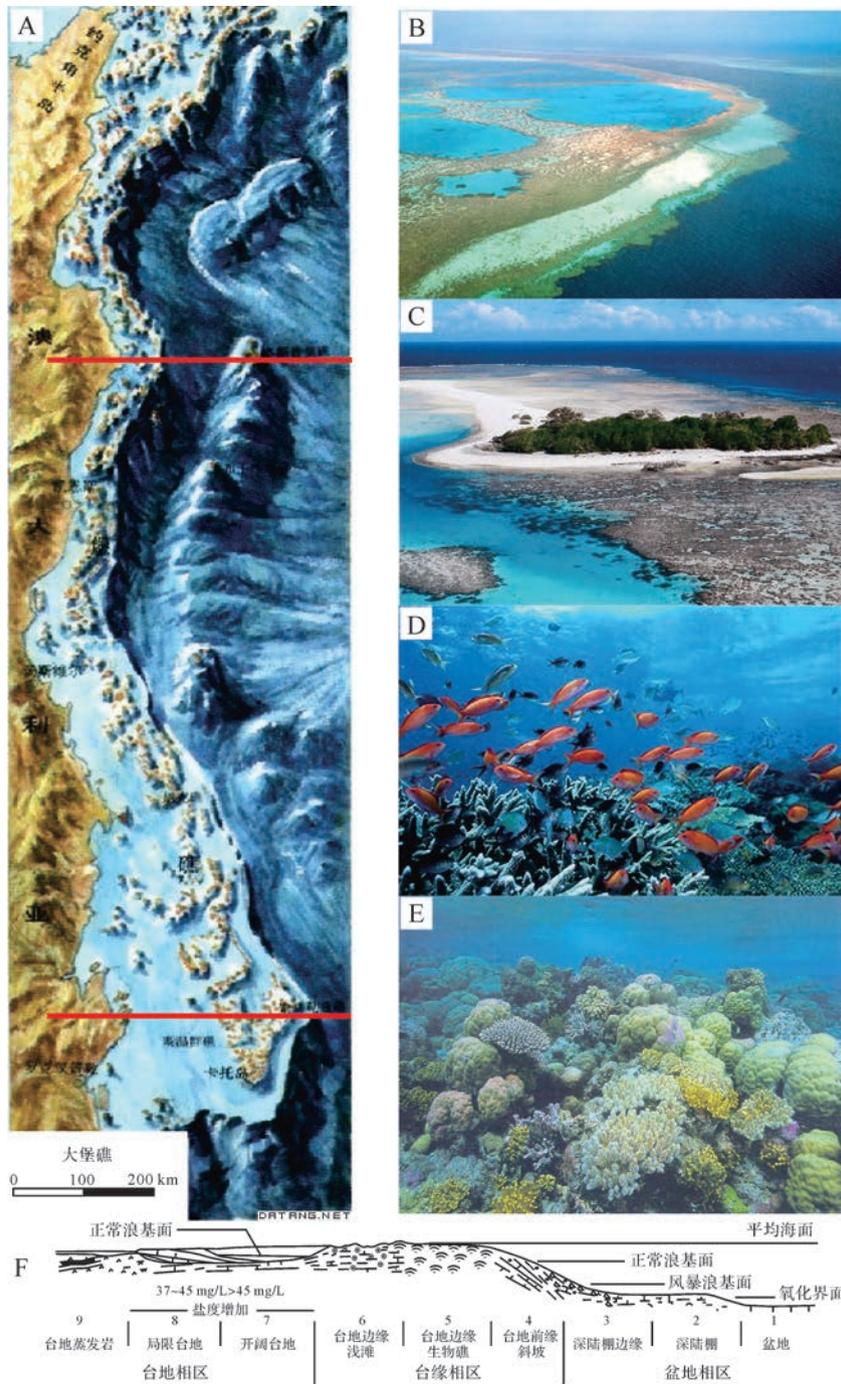


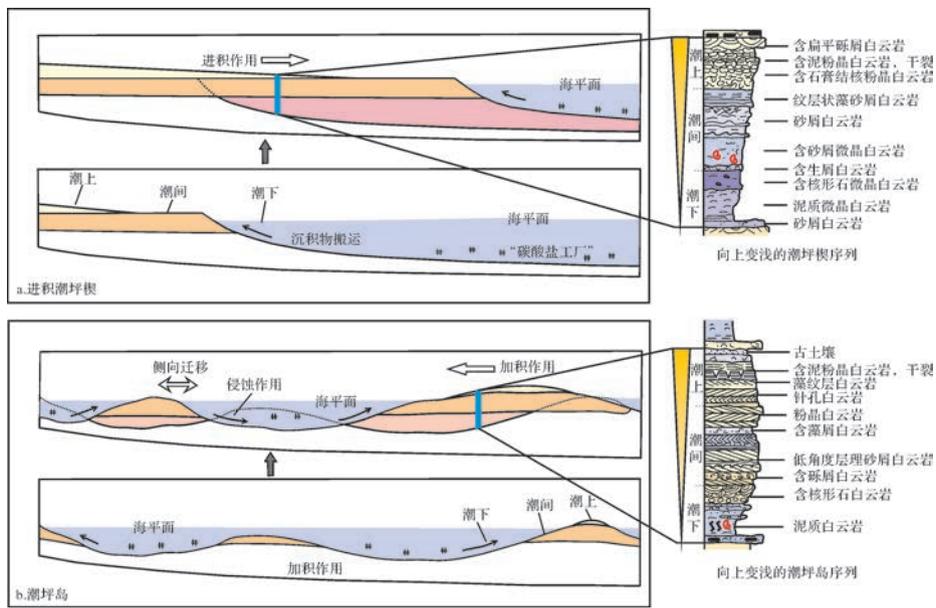
图 4 碳酸盐岩镶边台地的基本模式

A.大堡礁地形地貌,近平行于海岸的礁滩带形成陆棚镶边;B.大堡礁鸟瞰图;C.台地边缘礁及红树林;D.生物礁的海底生态;E.礁冠上的珊瑚;F.威尔逊碳酸盐模式。A、B、C、D、E 来自于百度图片 <http://image.baidu.com>, A 的红线方向的横切剖面与威尔逊碳酸盐模式具有较好的吻合度

Fig.4 The basic model of carbonate platform

表海发育大量风暴潮沉积。2010 年以来,对于陆表海白云岩发育分布规律的认识,促使碳酸盐岩勘探拓展至了克拉通内幕白云岩新领域。如鄂尔多斯盆地马家沟组就是典型的陆表海进积潮坪楔模式(图 5a)。受气候、风向、海流变化的影响,浅海和潮缘区

从中央古隆起向米脂拗陷方向增生,从而形成广泛分布的潮缘向上变浅的碳酸盐岩序列。潮坪的进积作用主要表现为连续性退超。进积楔垂向序列下部主要是潮坪沉积,其上为纹层状的潮间到潮上的沉积物,以发育席状潮缘滩为特征。在当时稳定的水文条

图 5 陆表海台地潮坪层序充填模式^[6]Fig.5 The sequence filling pattern of the tidal flat in epicontinental platform^[6]

件下,潮坪进积楔稳定分布于整个台地,每次海平面的迅速上升导致进积作用停止。这种进积楔模式很好地解释了鄂尔多斯奥陶纪陆表海台上的潮缘向上变浅序列在与沉积走向平行和垂直的方向上延伸都在 100 km 以上。当然,并不是所有陆表海盆地都是大型的单隆单坳,如四川盆地雷口坡组、栖霞组—茅口组和龙王庙组沉积期的陆表海盆地就呈现出多隆多坳的格局,其沉积充填模式为潮坪岛拼嵌模式(图 5b),实质上 and 进积潮坪楔模式没有本质上的差别。由于陆表海的地貌低幅起伏较小,水体较浅,海平面的升降变化往往会引起更大距离的相带迁移与相带转换。它所形成的有利白云岩呈较薄的席状分布,它所带来的油气勘探难度比镶边台地中的礁滩“移动靶”更大。因此,认识陆表海潮汐作用是台内白云岩勘探的关键。

4 结论

中国的碳酸盐岩勘探拓展历程经历了三个阶段:第一阶段是上世纪中后期以靖边气田等为代表的找构造高部位的岩溶型碳酸盐油气藏阶段,该阶段的构造高部位岩溶储层宏观分布受控于隆起暴露期的大气水岩溶作用;第二阶段是 2000 年以来以普光气田等为代表的向台地边缘礁滩油气藏拓展阶段,该阶段的台缘礁滩储层的宏观分布受控于镶边台地边缘持续的波浪作用;第三阶段是 2010 年以来向克拉通内

幕白云岩新领域拓展阶段,该阶段的台内白云岩储层的宏观分布则受控于潮汐作用。

大气水岩溶模式、浪控台缘礁滩模式、潮控陆表海台地潮坪模式是认识目前三大碳酸盐岩勘探领域的基础。大气水岩溶模式的古水文地质系统不能局限于不整合面附近的隆起区,构造低部位和断裂沟通的远离不整合面地区也发育大量岩溶储层,另外短暂暴露的准同生岩溶是一个不能忽略的领域。浪控台缘礁滩模式具有“盆包台”、“台包盆”、“盆切台”等多种台缘结构模式,它们的储层宏观分布都处于波浪作用的高能礁滩带上,都基本符合威尔逊碳酸盐岩台地模式,只是台地边缘具有不同的复杂形状而已,该领域的勘探需要加强构造与沉积学的结合研究,识别深部隐伏裂隙及其周缘礁滩相带。潮控陆表海台地潮坪模式指导了碳酸盐岩勘探向克拉通内幕白云岩的拓展,该类白云岩储层呈大面积薄互层席状产出,其宏观分布具有进积潮坪楔和潮坪岛拼嵌两种样式,是一个重要的勘探新领域,需要加强微幅地貌、咸化盐洼和高频层序的研究。

参考文献 (References)

- [1] 许效松,刘宝珺,牟传龙,等. 中国中西部海相盆地分析与油气资源[M]. 北京:地质出版社,2004. [Xu Xiaosong, Liu Baojun, Mou Chuanlong, et al. Analysis on marine basins and oil & gas resources in central and western China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004.]

- [2] 马永生,蔡勋育,赵培荣,等. 深层超深层碳酸盐岩优质储层发育机理和“三元控储”模式;以四川普光气田为例[J]. 地质学报,2010,84(8):1087-1094. [Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Zhao Peirong, et al. Formation mechanism of deep-buried carbonate reservoir and its model of three-element controlling reservoir: A case study from the Puguang oilfield in Sichuan[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(8): 1087-1094.]
- [3] 庞雄奇. 中国西部叠合盆地深部油气勘探面临的重大挑战及其研究方法意义[J]. 石油与天然气地质,2010,31(5):517-534. [Pang Xiongqi. Key challenges and research methods of petroleum exploration in the deep of superimposed basins in western China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 517-534.]
- [4] 陈洪德,庞林,倪新锋,等. 中上扬子地区海相油气勘探前景[J]. 石油实验地质,2007,29(1):13-18. [Chen Hongde, Pang Lin, Ni Xinfeng, et al. New brief remarks on hydrocarbon prospecting of marine strata in the middle and upper Yangtze region[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(1): 13-18.]
- [5] 刘光鼎. 论中国油气二次创业[J]. 海洋地质动态,2002,18(11):1-3. [Liu Guangding. The second round of oil & gas exploration of China[J]. Marine Geology Letters, 2002, 18(11): 1-3.]
- [6] 陈安清,杨帅,陈洪德,等. 陆表海台地沉积充填模式及内克拉通碳酸盐岩勘探新启示[J]. 岩石学报,2017,33(4):1243-1256. [Chen Anqing, Yang Shuai, Chen Hongde, et al. The sedimentary filling model of epeiric platform and new inspiration of intracratonic carbonate for oil & gas exploration[J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(4): 1243-1256.]
- [7] 马永生,何登发,蔡勋育,等. 中国海相碳酸盐岩的分布及油气地质基础问题[J]. 岩石学报,2017,33(4):1007-1020. [Ma Yongsheng, He Dengfa, Cai Xunyu, et al. Distribution and fundamental science problems for petroleum geology of marine carbonate in China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(4): 1007-1020.]
- [8] 康玉柱. 自主创新与古生代油气田的发现[J]. 中国工程科学,2006,8(9):19-23. [Kang Yuzhu. Independent innovation and discovery of the Paleozoic oil-gas field[J]. Engineering Science, 2006, 8(9): 19-23.]
- [9] 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质,1999,20(2):120-124,132. [Zhang Kang. The discovery of Tahe oilfield and its geologic implication[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 120-124, 132.]
- [10] 马永生,蔡勋育,郭旭升,等. 普光气田的发现[J]. 中国工程科学,2010,12(10):14-23. [Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Guo Xusheng, et al. The discovery of Puguang gas field[J]. Engineering Science, 2010, 12(10): 14-23.]
- [11] 杨华,刘新社,张道锋. 鄂尔多斯盆地奥陶系海相碳酸盐岩天然气成藏主控因素及勘探进展[J]. 天然气工业,2013,33(5):1-12. [Yang Hua, Liu Xinshe, Zhang Daofeng. Main controlling factors of gas pooling in Ordovician marine carbonate reservoirs in the Ordos Basin and advances in gas exploration[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(5): 1-12.]
- [12] 李书兵,许国明,宋晓波. 川西龙门山前构造带彭州雷口坡组大型气田的形成条件[J]. 中国石油勘探,2016,21(3):74-82. [Li Shubing, Xu Guoming, Song Xiaobo. Forming conditions of Pengzhou large gas field of Leikoupo Formation in Longmenshan piedmont tectonic belt, western Sichuan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3): 74-82.]
- [13] 杜金虎,邹才能,徐春春,等. 川中古隆起龙王庙组特大型气田战略发现与理论技术创新[J]. 石油勘探与开发,2014,41(3):268-277. [Du Jinhu, Zou Caineng, Xu Chunchun, et al. Theoretical and technical innovations in strategic discovery of a giant gas field in Cambian Longwangmiao Formation of central Sichuan Paleozoic uplift, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 268-277.]
- [14] 陈安清,王立成,姬广建,等. 川东北早—中三叠世聚盐环境及海水浓缩成钾模式[J]. 岩石学报,2015,31(9):2757-2769. [Chen Anqing, Wang Licheng, Ji Guangjian, et al. Evaporitic environment and the concentration model of potash in the early-middle Triassic, northeastern Sichuan Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2015, 31(9): 2757-2769.]

Marine Carbonate Exploration History and the Basic Driving Action from Sedimentology in China

CHEN AnQing^{1,2}, HOU MingCai^{1,2}, CHEN HongDe^{1,2}, XU ShengLin^{1,2}, ZHONG YiJiang^{1,2},
LIU WenJun^{1,2}

1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation (Chengdu University of Technology), Chengdu 610059, China

2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: Reviewed the development of the carbonate oil & gas exploration in China, there have three stages: the first stage is in the later 20th century, represented by the Jingbian gas field in Ordos Basin discovered from karstic carbonate reservoirs at its central palaeouplift, the second stage is in the 2000s, represented by the Puguang gas field of Sichuan Basin discovered from reef-bank reservoir of the platform edge, and the third stage is 2010 up to now represented by intracratonic dolomite reservoirs in Ordos Basin. Three basic types of reservoir hydrodynamic model is the basic driving factors of three carbonate exploration stages: the macro distribution of karst reservoir in the early stage of carbonate exploration is controlled by atmospheric fresh water karstification, the macro distribution of reef-bank reservoir in the second stage is controlled by wave action of the platform edge, and the macro distribution of intracratonic dolomite reservoir is controlled by tidal action of epeiric sea. The ancient hydrogeological system of the atmospheric fresh water model not only plays the role for the karst reservoir in the uplift zone near the unconformity surface, but also in the low structural parts and the carbonate buried away from the unconformity surface linked by fracture. Furthermore, it is worth noting that penecontemporaneous karst caused by the short exposure period is an important exploration direction in the future. Wave controlling platform margin reef-bank model have many structural types, such as “platforms surrounded by a basin”, “basins surrounded by a platform” and “platforms cut by basins”. Their reservoir macro-distribution is all controlled by wave action, and basically fit the Wilson carbonate platform model, just has different complex shapes. Identification on the deep concealed rift and its peripheral reef facies belt is the key factor for this type of carbonate exploration. Tidal controlling epeiric sea dolomite model guides the intracratonic carbonate exploration. This type of dolomite reservoir occurs broadly in thin interbed sheet, its macro-distribution controlled by the tidal flat progradation wedge and mosaic of tidal flat islands, which is an important new exploration field.

Key words: marine carbonate exploration; karst reservoir; reef-bank reservoir; dolomite reservoir; hydrodynamic model