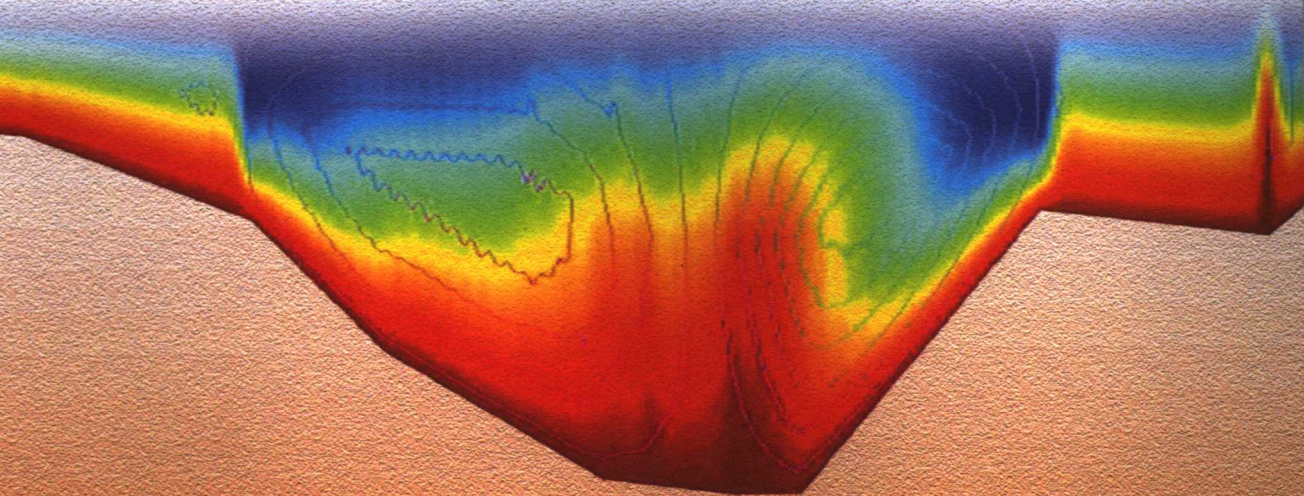


江汉盆地 盐湖沉积充填模式

The Filling Models of Jianghan Salt Lake Basin

方志雄 等著



石油工业出版社

江汉盆地盐湖沉积充填模式

方志雄 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书应用层序地层学、地球化学动力学等新理论、新方法,建立了潜江凹陷古近系潜江组盐湖层序充填及沉积响应模式,研究了盐湖层序的发育机理;对盐湖沉积使用诸如氯、硼同位素、稀土元素测试等现代分析测试技术进行了地球化学测试分析,采用“双扩散对流机制”理论进行了物理模拟和数值模拟分析,并在高分辨率层序地层学等时格架内研究了其形成机理和沉积模式,最后通过典型沉积过程解剖,分析了隐蔽圈闭的分布规律,预测了其有利区带。

本书可供地质、地球物理、地球化学等专业科研人员以及石油院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

江汉盆地盐湖沉积充填模式/方志雄等著.

北京:石油工业出版社,2006.12

ISBN 7-5021-5596-1

I. 江…

II. 方…

III. 江汉平原-含油气盆地-盐湖-沉积作用

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 071249 号

江汉盆地盐湖沉积充填模式

Jianghan Pendi Yanhu Chenji Chongtian Moshi

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:河北省欣航测绘院印刷厂

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:15.25

字数:384 千字 印数:1—1000 册

定价:60.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序 一

1998年,中国石油、中国石化实现了战略重组。重组后,中国石油化工集团公司暨股份公司作为国家的主要石油公司之一,站在国家石油安全的高度,始终坚持将资源战略列为四大发展战略之首。将“稳定东部,发展西部,准备南方,开拓海外”作为中国石化上游“十五”发展方针,并相继成立了中国石化国际勘探开发公司、西部新区勘探指挥部、南方勘探开发分公司等单位,有力地推进了中国石化上游业务的发展。提出了在一段时期内,东部现有的各个油气田仍然是油气勘探开发的主阵地,“稳定东部”是中国石化及其各个油田发展的重要基础。

纵观中国石化东部的各个老油气探区,有三个共性特征是明显的,一是油气勘探历史悠久,油气资源探明程度较高;二是有效的油气勘探区域均比较有限;三是这些含油气盆地的地层与沉积多有“咸化”的特征,尤其是在其油气资源的主要集中区块,更是发育了较大量的膏盐岩,如胜利油田的东营、沾化等凹陷,中原油田的东濮凹陷北部,河南油田的泌阳凹陷,江汉油田的潜江凹陷等等。这种现象是某种偶然特征,还是这些膏盐岩与油气资源的富集有着某种特殊的关联性?为此,“十五”初期,中国石化安排了一系列的科研课题进行相关的研究。本书就是在中国石化科技攻关项目研究总结的基础上,集我国最典型的盐湖盆地——潜江凹陷30余年油气勘探开发所汇之浩瀚地质、地球物理资料,借助于当今国内外最为先进的测试分析手段和相关理论知识,开展了氯、硼等同位素在地下隐伏含油气盆地应用、双扩散机制在咸化盆地沉积机理模拟中的应用和盐湖盆地碎屑岩发育区与膏盐岩发育区层序地层特征等等创造性的研究,历时四年而完成的科研专著。本书在咸化盆地地球化学特征分析、沉积机理物理模拟和数值模拟技术、沉积充填机理和盐岩沉积成因等方面,形成了独到的见解。

全书集地质理论、数值分析、化学测试、油气勘探技术方法和应用实践于一体,具有理论的科学性、技术的先进性和方法的实用性,对广大油气勘探工作者有很大参考价值和实用价值,对大专院校师生也是一部很好的参考书。相信本书的出版会推动我国陆相含油气盆地,特别是“咸化”含油气盆地的油气勘探与开发,乃至对国外含盐盆地的油气勘探与开发都将有一定的借鉴作用。同时,相信它对相关的学科,如沉积学、层序地层学的研究和发展亦有重要的推动和促进作用,对中国陆相盆地隐蔽油气藏勘探理论与技术的完善起到重要的推动作用。

书
12-28/05

序 二

世界上有许多含油气盆地的油气资源与盐岩沉积密切相关,尤其是一些大型油气田,诸如布尔干、加瓦尔等油气田几乎都是由良好的盐岩沉积构成区域封盖层系,形成大规模的油气富集。因此,对盐岩沉积条件与咸化盆地沉积充填特征的研究,将大大有助于其油气等矿产资源的勘探。自 J. Usiglio (1849) 的著名试验证明了海水的蒸发成盐机理以来,国内外众多的地质学家从不同的角度进行了咸化盆地的研究,从早期的“沙洲说”(1877)、多级盆地说(1945)到回流说(1947)以及萨布哈(Sabkha)说等等,这一系列的研究从不同的角度讨论了盐岩的成因特征。这些研究成果几乎涵盖了咸化盆地的各个方面,从盐岩的沉积、地层特征,盐岩的层序地层模式到盐岩沉积与油气勘探的关系等等。但是,这些研究成果基本上都局限于海相盆地,其盐岩沉积模式中无法摆脱海水的作用,并多依赖海洋作为盐岩物质的基本来源。而我国的各个咸化(含油气)盆地中,大多都是陆相沉积,即使是在海相沉积最发育的塔里木盆地,其库车凹陷的克拉2、迪那2等大型气田的发育,仍然是在陆相的盐岩沉积层段之下(及内部)形成的天然气富集。而方志雄等同志编写的《江汉盆地盐湖沉积充填模式》,利用地球化学特征分析、数学模拟和物理模拟等多种技术方法,从一个崭新的视角论证了湖泊盆地中盐岩的成因特征,给潜江凹陷巨厚的盐岩沉积成因提出了一种新的解释。

从我国的各个油气探区来看,许多盆地的充填发育都与盐岩沉积有着密切的关联,尤其是中国石油化工集团公司所辖的几个油田更是如此,如胜利油田的东营、沾化等凹陷,中原油田的东濮凹陷北部,河南油田的泌阳凹陷等等。其中盐岩沉积最发育、最著名的盐湖盆地还是江汉油田的潜江凹陷。它的有效勘探面积不足2000平方千米,却发现了诸如王广油田等长期稳产、高产的油气田,这充分说明了陆相盐湖盆地也与海相咸化盆地类似,同样是油气资源富集的有利场所。因此,方志雄同志集20余年来奋战于潜江凹陷油气勘探开发研究第一线之经验,与中国地质大学合作,采用了石油地质、地球化学等一系列新技术、新方法,对潜江凹陷的陆相盆地盐岩沉积提出了初步但十分新颖的盐湖盆地沉积充填成因模式。其中对盐湖密度分层和盐岩水下浓缩等成盐机理的实验与演绎,颇具新意,它将为研究我国的潜江凹陷等盐湖盆地的沉积充填机理开辟新的研究思路和方法。

我十分赞赏中国石化及江汉油田分公司强调沉积盆地与沉积充填发育机理等基础理论研究的做法,相信本书的出版可以进一步丰富沉积岩、沉积相及沉积学的研究理念与思路。其中在高分辨率层序地层等时格架基础上,进行的“双扩散对流机制”等化学动力学理论模拟很有意义。我在此衷心祝贺专著的出版,并向有关的地质、地球物理、地球化学等多个学科的有关研究人员、高校教师与研究生推荐本书。

刘宝忠
2006年元月

前言

盐盆地的石油资源勘探,长期以来一直是国际石油界所密切关注、饶有兴趣的一个研究领域。勘探实践表明,世界上大多数盐盆地都是含油气区。盐盆地独特的成藏地质条件,特别是它非常优越的封闭条件,是其他盆地所无法比拟的。盐盆地可以在高达 2.0 的压力系数下,形成良好的油气富集,也可在基本不具孔隙度的泥质、膏质混合岩中发现高产油气流。据统计,大约 90% 的油气资源与盐盆地有关,中东地区的一些特大型油气田,如布尔干、加瓦尔油气田等,与寒武纪以来的蒸发岩塑性流动所产生的大型长垣密切相关。研究表明,蒸发岩与油气资源分布的相关性,至少有以下几个方面:首先,长期稳定沉降的盆地是蒸发岩与油气形成所必需的共同基础,长期稳定的沉降、封闭的盆地是蒸发岩形成的必要条件,同时,在蒸发岩形成过程中,卤水浓缩引起的氧的耗竭也为有机质的堆积、保存和转化成烃提供了有利的背景;其次,从沉积盆地的动力学演化的意义上讲,深埋的蒸发岩在高温、高压下的塑性流动以及巨厚蒸发岩沉积区的差异压实作用,对于油气运移、聚集和圈闭的形成具有多种形式的、实质性的控制和影响;再次,蒸发岩类是众所周知的、最理想的区域性盖层。据 M. T. 哈尔布蒂等人的统计,世界上 60% 特大型油气田,其盖层都是由蒸发岩类构成的。

陆相盐湖盆地的含油气远景,也一直是国内外石油地质界所备受关注的研究方向。在塔里木盆地库车坳陷极其复杂的构造带中发现的超大型气田,使我国的石油地质学家再次燃起盐湖盆地油气勘探的热潮。而笔者集潜江凹陷 30 余年油气勘探之浩瀚资料,汇集当今国内外最为先进的测试分析手段和相关理论知识,历时数年完成的《江汉盆地盐湖沉积充填模式》一书,以抛砖之举,万望引来碧玉无限,以期为中国油气勘探之大业贡献一点薄力。

国内外地质学家曾系统研究过现代及古代湖泊的水文资料,在详细测试了现代湖泊的盐度、温度、化学成分等物理化学参数后,得到了比较一致的看法是“多数湖泊有较好的排泄能力,湖水的化学成分积累绝不会超过可饮水的容许范围。但是在特殊情况下,溶质的负荷可能增大,因而湖泊变成咸水湖(或称咸化湖泊)”。“这种状态的形成,或者是蒸发量超过注入水量,或者流入的就是咸水,或两者兼而有之(A. Lerman, 1978)”。同时他们也指出“咸水湖在世界的一些地区是常见的,但是,无论它的规模还是数量,都不如一般湖泊。鉴于这一原因,对这类湖泊几乎没有做过多少研究,因此这些湖泊的水文、地球化学、沉积及生物等环境仍很少了解。但是,盐湖不仅有经济意义,而且可作为过去构造和气候事件的敏感指标。咸水湖在地质记录中是很重要的”。“世界上最大的现代内陆干盐湖——柴达木盆地东部地区的察尔汗盐湖,形成于晚更新世晚期,最大湖区面积曾达 5800 km²,其地质历史却不超过 24ka(陈克造等, 1985)”。对此,潜江凹陷上千平方千米的盐岩分布面积,超过 1500m 的盐岩厚度,超过 17Ma 的发育时间,或许只能当作地质事件的特例吧。但是近万平方千米的库车坳陷,再次发现千米以上的盐岩厚度,使我们不得不重新来认识湖泊水体中的盐岩沉积,其盐源来自何处?盐类物质的沉淀机理如何?

20 世纪 60 年代,随着海洋科学的发展,人们发现海水盐度、温度等存在突变和跃层现象,称之为温—盐跃层。研究表明,导致这些突变的动力学机制为流体内热扩散和组分(盐分)扩散两种因素的相互作用和制约,称之为双扩散对流(Double - Diffusive Convection, DDC)。在不

同的动力学参数条件下(包括热动力条件、组分带入和带出通量、流体的初始盐度分布、流体的黏度系统、热导率、组分扩散系数等动力学参数),随温度的变化,流体可发生盐指构造(salt fingering)或分层(layering)。Stommel 等(1956)发现,在亚热带海洋中,由于洋面太阳照射和蒸发,使得上部较热、盐度较高,而深部则相对较冷、盐度较低,上下层之间存在对流现象,呈窄的指状,称之为盐指。随后,Stern(1960)的研究表明,这种对流是由于组分(盐度)扩散和热扩散两种机制相互制约的结果,即双扩散对流。双扩散对流的另一种情形是下部流体的温度和盐度较高,如在地热梯度较强的地区或受深部岩浆作用的影响等。研究表明,当垂直温度梯度和盐度梯度达到一定值后,流体将失稳,产生上下对流运动,并发生分层现象(Stern, 1960; Turner 和 Stommel, 1964)。

形成于 20 世纪 80 年代末期的层序地层学,“提供了一种更精确的地质时代对比、古地理再造和在钻井前预测储油岩、生油岩和盖岩的方法……”层序地层学改变了分析世界地层记录的基本原则,因此,它可能是地质学中的一次革命,它打开了了解地球历史的一个新阶段(Vail, 1991)。笔者相信它也可为盐湖盆地的成因机理研究提供新的帮助。层序地层学诞生之初, Van Wagonar 等人(1988)依据当时盛行的“干沙洲说(Sabkha)”将膏盐沉积归入低位体系域,随后 Tucker(1991)提出了一个较系统的碳酸盐岩—蒸发岩层序地层模式。Jisuo Jin(1999)依据加拿大阿尔伯达泥盆纪碳酸盐岩—蒸发岩的相变关系提出了碳酸盐岩台地在滩坝封闭情况下,由通过障壁岛的渗透回流而控制了泥质纹层和硬石膏的转化与生成,这种渗透回流作用又由开阔海的周期性海面变化而控制,从而可对应不同的体系域阶段,并由此认为这些膏盐沉积具有特定的层序地层学意义。El Sayed(1999), Ibrahim(1999)等人均论证了各种类型蒸发岩盆地的成因特征,特别是引入层序地层学的观点讨论这些蒸发岩盆地的成因与演化。这些讨论的观点虽不乏新颖之处,但却难以推广到我国的盐湖盆地,其中的主要原因是:国外的盐盆地几乎都是海相成因的,其中基本都是以碳酸盐岩—蒸发岩组合为特征。而我国的盐盆地几乎都是湖盆,而且是碎屑岩—化学岩混合型组合。即使如此,这些国外的模式也不能完全解决海相盆地的盐类成因问题,从最初的低位体系域成盐发展到高位体系域成盐,到最近提出的海进体系域成盐,盐类沉积可以发育在沉积层序的任何部位,也可形成在任何的水深条件下。这只能说明海相盐盆地的层序地层学研究亦处于起步阶段。

本书是在完成中国石化科技攻关项目“高精度层序地层学与隐蔽油气藏勘探研究”及对潜江凹陷潜江组盐湖沉积层序地层学研究基础上,进一步深入研究而形成的集层序地层学、地球化学、痕量元素同位素测试分析、计算机数值模拟等多种理论、技术为一体的研究成果。提出的深盆水下成盐理论及其模拟试验成果,相信无论对奋战在咸化盆地油气勘探研究一线的科技工作者还是对其他石油地质、环境科学和矿产地质研究领域的地质学家、高等院校师生都有一定的参考和借鉴作用。

全书共分八章,其中前言、第一章和第二章由方志雄编写,第三章和第四章由陈开远编写,第五章由方志雄、陈开远、陈凤玲合作编写,第六章由鲍征宇、陈开远、杨瑞琰合作编写,第七章、第八章由方志雄编写。方志雄对全部文稿进行了统编与定稿。

文稿完成后曾得到中国石油化工集团公司有关领导和专家的指导与帮助。在有关材料的收集和研究过程中,曾得到中国石油化工集团公司江汉油田分公司勘探开发研究院和中国地质大学有关研究人员的多方协助与支持,在此一并表示衷心的感谢。最后,特别感谢牟书令高级副总裁和刘宝珺院士在百忙中挤出宝贵时间为本书作序。

方志雄

2006 年 10 月

目 录

第1章 绪 言	(1)
1.1 国内外盐湖研究现状与潜江凹陷地质背景	(1)
1.1.1 国内外研究现状	(1)
1.1.2 潜江凹陷构造背景	(2)
1.1.3 潜江凹陷地层发育特征	(5)
1.1.4 潜江组盐湖沉积特征与潜江凹陷隐蔽油气藏勘探现状	(8)
1.2 研究思路与方法	(11)
1.2.1 研究基础与存在的问题	(11)
1.2.2 研究方法与技术路线	(11)
1.3 主要工作量与研究成果	(12)
1.3.1 研究工作量	(12)
1.3.2 主要成果与认识	(13)
第2章 咸化盆地沉积特征	(17)
2.1 蒸发岩沉积成因概述	(17)
2.2 蒸发岩层序地层学特征	(19)
2.2.1 蒸发岩沉积的地层学研究现状	(19)
2.2.2 蒸发岩层序中的地层对比	(21)
2.3 蒸发岩沉积模式研究现状	(24)
2.3.1 蒸发岩沉积的孤立海盆成盐模式	(24)
2.3.2 蒸发盆地的深水成盐条件	(25)
2.3.3 蒸发岩发育和海平面变化	(26)
2.3.4 蒸发岩沉积模式研究综述	(28)
2.4 盐湖沉积发育与油气成藏	(30)
2.4.1 盐湖沉积与油气生成	(30)
2.4.2 盐湖沉积与油气储集	(30)
2.4.3 盐湖沉积与油气封闭	(30)
2.4.4 盐湖沉积与油气圈闭	(30)
2.4.5 盐湖沉积与油气运移	(30)
第3章 黏土与元素地球化学特征	(32)
3.1 咸化盆地地球化学特征	(32)
3.1.1 沉积地球化学基础	(32)
3.1.2 卤水演化及其地球化学特征	(33)
3.1.3 咸化盆地元素地球化学特征	(35)
3.2 元素丰度特征与母源区性质	(36)

3.2.1	常、微量元素丰度与沉积母源分析	(37)
3.2.2	元素比较特征	(40)
3.2.3	化学元素的环境意义	(45)
3.3	稀土元素分布与沉积物源特征	(54)
3.3.1	稀土元素物源示踪性与潜江凹陷的 REE 采样测试特点	(54)
3.3.2	潜江盐湖沉积充填的物源供给体系	(57)
第4章	稳定同位素地球化学特征	(62)
4.1	咸化盆地同位素地球化学基本特征	(62)
4.1.1	氧同位素地球化学特征	(62)
4.1.2	碳同位素地球化学特征	(63)
4.1.3	硫同位素地球化学特征	(64)
4.1.4	硼同位素地球化学特征	(65)
4.2	碳、氧、硫同位素特征及其沉积环境意义	(68)
4.2.1	碳、氧、硫同位素的影响因素	(68)
4.2.2	潜江凹陷的碳、氧同位素特征	(70)
4.2.3	潜江凹陷的硫同位素特征	(73)
4.3	锶、硼、氯同位素特征及其沉积环境意义	(76)
4.3.1	潜江凹陷的锶同位素特征	(76)
4.3.2	潜江凹陷的硼同位素特征	(80)
4.3.3	潜江凹陷的氯同位素特征	(86)
第5章	高分辨率层序地层分析与盐湖地层等时格架	(94)
5.1	高分辨率层序地层学概述	(94)
5.1.1	层序地层学与高分辨率层序地层学	(94)
5.1.2	高分辨率层序地层学的基本概念	(97)
5.1.3	基准面变化在高分辨率层序地层学中的应用	(98)
5.2	高分辨率层序地层发育特征	(99)
5.2.1	碎屑岩发育区高分辨率层序地层特征	(100)
5.2.2	盐岩发育区高分辨率层序地层特征	(103)
5.2.3	盐膏岩发育区高分辨率层序地层特征	(107)
5.3	潜江凹陷盐湖层序充填与等时地层格架特征	(108)
5.3.1	经典钻井分层的穿时性	(108)
5.3.2	潜江组地震层序界面特征	(110)
5.3.3	潜江组高分辨率等时层序地层格架特征	(115)
第6章	盐湖沉积机理模拟	(124)
6.1	膏盐卤水流体动力学的物理模拟	(124)
6.1.1	仪器装置和试验条件	(124)
6.1.2	开放条件下常温膏盐卤水的流体动力学实验	(125)
6.1.3	开放条件下热卤水的流体动力学实验	(129)
6.1.4	混合介质热卤水的流体动力学实验	(133)

6.2	盐湖盆地双扩散系统中的温—盐跃层模拟	(136)
6.2.1	研究现状与理论基础	(136)
6.2.2	模拟的边初值条件及参数	(139)
6.2.3	模拟计算模型与结果	(140)
6.3	双扩散理论数值模拟的应用实例	(147)
6.3.1	习28井—渔10井剖面应用实例	(147)
6.3.2	钟45(钟61)井—宋6井剖面应用实例	(158)
6.3.3	模拟应用小结	(167)
第7章	潜江盐湖盆地沉积充填模式	(169)
7.1	潜江盐湖盆地层序地层充填序列	(169)
7.2	潜江盐湖盆地沉积充填与体系域演化	(170)
7.2.1	层序 S_{III}^1 — S_{III}^2 体系域发育与沉积充填特征	(170)
7.2.2	层序 S_{III}^3 体系域发育与沉积充填特征	(170)
7.2.3	层序 S_{III}^4 体系域发育与沉积充填特征	(176)
7.2.4	层序 S_{III}^5 体系域发育与沉积充填特征	(180)
7.2.5	层序 S_{III}^6 体系域发育与沉积充填特征	(184)
7.2.6	层序 S_{III}^7 体系域发育与沉积充填特征	(190)
7.2.7	层序 S_{III}^8 体系域发育与沉积充填特征	(191)
7.3	潜江盐湖盆地沉积充填模式	(197)
7.3.1	潜江盐湖沉积的岩相特征及盐湖密度流概念	(197)
7.3.2	潜江盐湖沉积充填模式——盐湖密度流沉积机理	(204)
7.3.3	潜江盐湖岩性油藏有利区预测	(214)
第8章	结论	(220)
	参考文献	(223)

第1章 绪 言

在油气成藏和保存过程中,膏盐层起着独特的作用。据统计,全球含油气盆地和具较好含油气远景的沉积盆地有近 200 个,其中半数以上的沉积盆地已发现商业性油气田,而其中 58% 的油气田又与含盐地层有关。这些含盐沉积盆地(或称“咸化盆地”)中,富集了已探明石油储量的 89% 和天然气储量的 80% (马新华等,2000)。而且,随着勘探技术的不断提高和勘探程度的不断增加,石油地质学家将会越来越深入地认识咸化盆地,咸化盆地在含油气盆地中所占比重还会不断增加。因此,咸化盆地的研究是石油地质学家的重要任务和历史使命。

新中国半个世纪的油气勘探发现表明,中国的咸化盆地非常发育,而且基本上都含有丰富的油气资源,其中既有新近发现的克拉 2、苏里格等世界级的大型气田,也有勘探开发多年,油气储量不断增长的东濮凹陷、济阳坳陷、潜江凹陷等老油气田(区)。其中,尤以潜江凹陷潜江组的数千米盐岩沉积最典型。当然,这些咸化盆地在富集了大量油气资源的同时,也因膏盐层的发育,给钻井工程、油气开发工艺等增加了很多难题。

对于咸化盆地中膏盐层的成因,传统的观点主要集中于“一个相对封闭的海域、潟湖或内陆湖泊中通过强烈的蒸发作用,使得盐过饱和沉淀”。目前的油气勘探和地质研究证实,这种成因模式在国外通用性较好的海相含盐沉积盆地中都遇到很多争论,更无法套用于以分割性强、发育特征差异大而著称的陆相沉积盆地中。这种简单的蒸发成因显然无法解释潜江凹陷数千米厚盐岩沉积的形成机理。

1.1 国内外盐湖研究现状与潜江凹陷地质背景

1.1.1 国内外研究现状

沉积盆地是当代地质科学的重大前沿领域之一,其中沉积盆地成因和盆地分析已成为国际岩石圈计划和美国岩石圈计划的研究课题。了解盆地形成与发育、研究其内部各种与人类生存密切相关的矿产资源分布等基础问题,无论对岩石圈演化等重大基础理论,还是油气勘探等矿产开发应用实践,都具有重要的科学意义。

盐湖盆地是一种特殊的沉积盆地,其中不仅发育大量的岩盐、石膏等直接与国民经济生活密切相关的经济矿产,如湖北应城的石膏矿等;它还富集了石油、天然气等战略性能源矿产资源,如江汉盆地的江汉油田、塔里木盆地库车凹陷的克拉 2 气田等。几乎世界上所有的大型含油气盆地都与盐类沉积密切相关,发育良好的盐类沉积几乎已成为世界各大油气田形成的基本条件。因此,盐湖盆地的形成与发育特征研究对促进国民经济发展具有重要意义。

近百年来,“干沙洲说”在盐类矿床成因理论界占据统治地位。从 Schmalz(1969)的“深水深盆”说,到许靖华教授针对地中海中新世所提出的“干化深盆”说,许多学者从各个方面试图突破“干沙洲说”的藩篱,但却一直没有脱离强烈蒸发、湖泊干涸、水体变浅的框架。当然,许

多专家学者也提出了许多疑问,如 Reading (1977) 便指出“对于古代蒸发岩沉积的成因,如……还有激烈的争论”。袁见齐教授(1983)针对我国柴达木盆地盐类沉积与大量粗碎屑共生的特点,还提出了“高山深盆”成盐模式,认为“可以断言,高山深盆是现代与古代成盐盆地中相当普遍的一种地质现象,是盐类矿床成因理论需要深入探索的重要问题之一”。

由于盐类沉积在石油等矿产资源勘探中的重要性,许多外国专家也从不同的角度研究了盐湖盆地的成因。基于墨西哥湾盆地的地震地层学格架解释,Shaub (1984) 曾提出一个比较系统的深水成盐模式。层序地层学诞生时, Van Wagoner、Sarg 等人(1988) 便依据“干沙洲说”将膏盐沉积归入低位体系域,随后 Tucker (1991) 提出了碳酸盐岩—蒸发岩层序地层模式,在此基本明确了水下可以形成盐岩沉积的观点。近年来, Jin (1999) 又依据加拿大阿尔伯达泥盆纪碳酸盐岩—蒸发岩的相变关系提出了“碳酸盐岩台地在滩坝封闭情况下,由通过障蔽岛的渗透回流而控制了泥质纹层和硬石膏的转化与生成,这种渗透回流作用又由开阔海的周期性海面变化而控制,从而可对应不同的体系域阶段,并由此认为这些膏盐沉积具有特定的层序地层学意义”的观点。E. L. Sayed, T. Ibrahim 等(1999) 等人则进一步从不同的侧面论证了各种类型蒸发岩盆地的成因特征,特别是引入层序地层学的观点讨论这些蒸发岩盆地的成因与演化。这些讨论的观点虽不乏新颖之处,但却难以应用于我国的盐湖盆地,其主要原因是:国外的盐盆地几乎都是海相成因的,其中基本都是以碳酸盐岩—蒸发岩组合为特征。而我国的盐盆地几乎都是湖盆,而且是碎屑岩—化学岩混合型组合。即使如此,这些国外的模式也不能完全解决海相盆地的盐类成因问题,从最初的低位体系域成盐发展到高位体系域成盐,到最近提出的海进体系域成盐,盐类沉积可以发育在沉积层序的任何部位,也可形成于任何的水深条件下。这些只能说明海相盐盆地的层序地层学研究尚处于起步阶段。

刘群等(1987)和孙镇城等(1997)曾对盐湖盆地的古地理条件作过比较全面的论述,秦淑英(1992)等人则全面剖析中国的盐类矿物。而岩石地球化学的发展又给盐类沉积的研究注入大量新资料,国内众多专家大多认为我国独特的这种碎屑岩成盐盆地基本以陆相沉积环境为主,成盐过程中不断地、周期性地接受陆源物补给,形成碎屑岩—化学岩混合组合;而且这些盆地基本为浅水盆地。借助于石油勘探的大量资料,近年来人们开始注意到深水成盐模式,戴世昭等人(1997)总结了江汉盆地多年来的勘探经验,认为潜江凹陷的盐类沉积具有多种成盐模式,既有浅水浅盆成盐(小板凹陷),又有浅水深盆和深水深盆等多种成盐模式(潜江凹陷潜江组)。

笔者认为,对于潜江凹陷来说,上述种种成盐环境解释都有不尽完善之处。油气勘探成果表明,完整的膏盐晶体夹于纸片状页岩之中是潜江凹陷巨厚的盐类沉积的典型特征。依据现代沉积的研究成果,不难推断出其沉积环境应该是一种水体比较安静的较深水的湖盆环境。

1.1.2 潜江凹陷构造背景

1.1.2.1 潜江凹陷构造格局

江汉盆地是指白垩纪、古近—新近纪陆相沉积地层分布范围所构成的沉积盆地,为多隆多凹的构造格局。按照习惯的划分方法,以残留的白垩系分布的最大面积为江汉盆地的范围,其面积有 28000km²,划分成七个凹陷五个凸起(图 1.1)。江汉盆地的七个凹陷为:云应凹陷、小板凹陷、沔阳凹陷、潜江凹陷、江陵凹陷、枝江凹陷及陈沱口凹陷。五个凸起为:龙赛湖低凸起、岳口低凸起、沉湖低凸起、通海口凸起和丫新低凸起。

潜江凹陷位于江汉盆地中部,面积 2500km²,是一个发育于扬子陆块上的中、新生代陆相

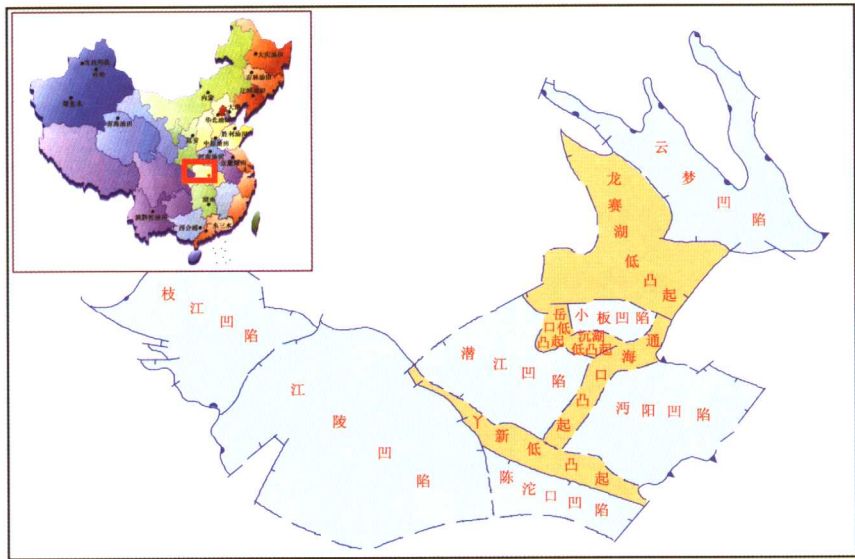


图 1.1 江汉盆地构造区划略图

盆地,是江汉盆地内部一个较大的次级构造单元,也是江汉盆地最重要的生烃凹陷。

潜江凹陷北部以潜北断裂为界,分别与荆门地堑、乐乡关地垒、汉水地堑、永隆河隆起相接;东南部以通海口断层与通海口凸起分界;东北和西南分别与岳口低凸起和丫新低凸起呈斜坡过渡。凹陷内部发育有一系列北东向正断层体系,如潜江凹陷北部的浩口断层、车挡断层、周矶断层及返湾湖断层等,落差数百至上千米,都是潜江组沉积时的同生断层,对沉积有一定的控制作用。

1.1.2.2 潜江凹陷构造演化

潜江凹陷与我国东部晚白垩世晚燕山运动形成的其他内陆盆地一样,是受板块构造运动的影响,在地壳或岩石圈发生区域性引张作用背景下形成的裂陷盆地—伸展盆地。其构造轮廓定型于始新世末期,晚始新世沉积的潜江组的构造演化大致可分为三个阶段(表 1.1)。早期(潜四下段沉积期)为断陷阶段,凹陷北部北东向潜北大断裂强烈活动,盆底呈北低南高、走向北西的箕状。中期(潜四上段至潜二段沉积期)主要为断拗期,北部边界断层持续活动,但强度减弱,派生出与之平行的二级断层,改造了前期北西向构造,形成了北东走向的断—洼—隆构造格局,沉降中心位于蚌湖—王场一带。晚期(潜一段至荆河镇组沉积期)北东向断层活动微弱,主要为拗陷阶段,但受到一定强度的北东—南西向侧压力作用,形成了一些北西向的背斜构造,北东向的构造面貌进一步受到改造。构造演化及格局控制了古地貌的总体特征,使凹陷古地形总趋势呈北低南高,北陡南缓,洼、隆、坡相间,东、西以平缓斜坡向两侧低凸起过渡的不规则箕状。在此古地形背景之上,由于盐湖内盐岩的塑性流动和上拱,促使其不同部位微地貌差异增大,使箕状古地貌进一步复杂化。渐新世末期的喜马拉雅运动,使凹陷整体抬升,凹陷边缘的潜江组地层遭受不同程度剥蚀,其剥蚀强度自凹陷周缘向凹陷中心减弱,今构造定形,盐湖消亡。在准平原化后为新近纪及第四纪的河流、沼泽沉积所覆盖(戴世昭,1997;方志雄等,2003;王典敷等,1998)。

江汉盆地盐湖沉积充填模式

表 1.1 江汉盆地潜江凹陷地层简表

地 层 系 统				岩性描述	厚度 (m)	含油 岩系	含盐 岩系	构造 旋回	二级 层序
系	统	组	段						
第四系	全、更新统	平原组		灰色黏土、粉砂岩、细砂岩和砾石层	50 ~ 150			Ⅲ	S _Ⅲ
新近系	上、中新统	广华寺组		杂色泥岩夹砂岩、砾岩	300 ~ 900				
古 近 系	中上渐新统	荆河镇组		绿灰色泥岩、粉砂岩夹油页岩, 含钙芒硝泥岩	0 ~ 1000	第二 含油 岩系	第二 含盐 层系	Ⅱ	S _Ⅱ
	下 渐 新 统	潜 江 组	潜一段	上部为灰、深灰色泥岩、泥膏岩、油页岩夹盐岩, 中部灰色泥岩与粉砂岩互层, 下部为膏盐岩和砂泥岩互层夹鲕状泥灰岩	120 ~ 450				
			潜二段	由 24 个盐韵律组成, 每个韵律由盐岩、泥膏岩和盐间沉积组成; 钙芒硝泥岩、油浸泥岩、泥灰岩, 有时在韵律底部发育有粉—细砂岩	110 ~ 700				
			潜三段	潜 3 上为灰至深灰色泥岩、粉砂岩及鲕状泥灰岩, 夹三个韵律层及两个砂组; 潜 3 下为深灰色泥岩、泥膏岩、盐岩和盐间沉积等组成 14 个韵律层, 并夹有粉—细砂岩	150 ~ 640				
			潜四上	灰、深灰色泥岩、钙芒硝泥岩、盐岩、粉细砂岩、盐间沉积或油浸泥岩	100 ~ 700				
			潜四下	灰、深灰色泥岩、钙芒硝泥岩、盐岩、盐间沉积或油浸泥岩	173 ~ 2218				
	中始新统	荆沙组		棕红色泥岩、含膏泥岩与粉—细砂岩	600 ~ 1900	第一含 油岩系	第一含 盐层系	Ⅰ	S _I
	下始新统	新沟嘴组		紫红色、灰绿色泥岩、泥膏岩、石膏质粉砂岩	600 ~ 2000				
	古新统	沙市组		深灰色及棕红色泥岩、石膏、含膏泥岩、粉砂岩	200 ~ 1900				
	上统	渔洋组		棕紫红色泥岩、泥膏岩、盐岩、粉—细砂岩、石膏、红色砂质泥岩夹砾岩	120 ~ 2800				
白垩系	下统								

受盆地构造演化的断—坳相互转化的两个次级旋回控制,白垩纪至古近纪沉积明显表现为两个正粒序沉积旋回和两个大型成盐期(一为古新世—始新世早期,二为晚始新世)、两次玄武岩活动期(一次以晚白垩世为主,另一次以始新世中期为主),充分反映了沉积作用、成盐期和玄武岩活动与构造发育的一致性,即构造活动与沉积发育的一致性。

1.1.3 潜江凹陷地层发育特征

上始新统一下渐新统的潜江组为一套厚 4700 多米的盐间含油层系,以砂岩、盐岩、暗色泥岩及泥膏岩为主,盐韵律极其发育。暗色泥岩厚 2200m,分布面积达 2485km²;盐岩最厚处达 1800m,分布面积 2000km²。潜江凹陷内白垩系—新近系最大厚度达万米以上,自下而上分别为白垩系渔洋组、古近系沙市组、新沟嘴组、荆沙组、潜江组、荆河镇组,新近系广华寺组及第四系(图 1.2)。

1.1.3.1 白垩系(K)

仅发育上白垩统渔洋组,岩性主要为棕紫红色泥岩、泥膏岩、盐岩、粉砂岩、石膏、红色砂质泥岩夹砾岩,厚度 120 ~ 2800m。与下伏地层呈不整合接触。

1.1.3.2 古近系(E)

(1)沙市组(Es)。

厚度及岩性变化大。按岩性等差异分上下两段:下段主要为盐岩、棕红色及灰色泥岩、石膏、含膏泥岩、粉砂岩,最大厚度大于 1000m;上段为暗色泥岩集中段,为凹陷内主要生油层段之一。与下伏渔洋组呈整合或假整合接触。

(2)新沟嘴组(Ex)。

沉积较稳定,岩性、厚度变化小。按岩性等差异分上下两段:下段岩性主要以深灰色泥岩为主,夹砂岩、泥膏岩及泥灰岩,为主要生油层段及主要勘探层段之一,厚度一般为 500m;上段为紫红色、灰绿色泥岩、泥膏岩、石膏质粉砂岩。与下伏沙市组呈整合接触。

(3)荆沙组(Ej)。

厚度及岩性变化大,为一套棕红色泥岩、含膏泥岩与粉砂岩,下部砂岩及玄武岩较发育,厚度 600 ~ 1900m。与下伏新沟嘴组呈整合接触。

(4)潜江组(Eq)。

厚度及岩性变化较大,周缘及古隆起高部位剥蚀严重,主要为一套厚 4700 多米的盐间含油层系,以砂岩、盐岩、暗色泥岩及泥膏岩为主,盐韵律极其发育。据岩性等差异自下而上分为潜四、潜三、潜二、潜一共四段。与下伏荆沙组呈不整合接触。

① 潜四段(Eq₄):厚度及岩性变化很大,最厚处近 4000m。据岩性等差异分上下两段。

A) 潜四下段(Eq₄^下):发育一套灰、深灰色泥岩、钙芒硝泥岩、盐岩、灰褐色油浸泥岩等组成的不规则韵律层。横向上厚度变化大,为 173 ~ 2218m。

B) 潜四上段(Eq₄^上):由油组和韵律层组成,油组的岩性为深灰色、灰色泥岩、含油粉砂岩。韵律层由绿灰色泥岩、钙芒硝泥岩、盐岩、油浸泥岩组成。横向上厚度变化大,100 ~ 700m。潜四上段的潜 4^中油组的 1 ~ 6 韵律层分布稳定,可作区域对比标志层,又是良好的

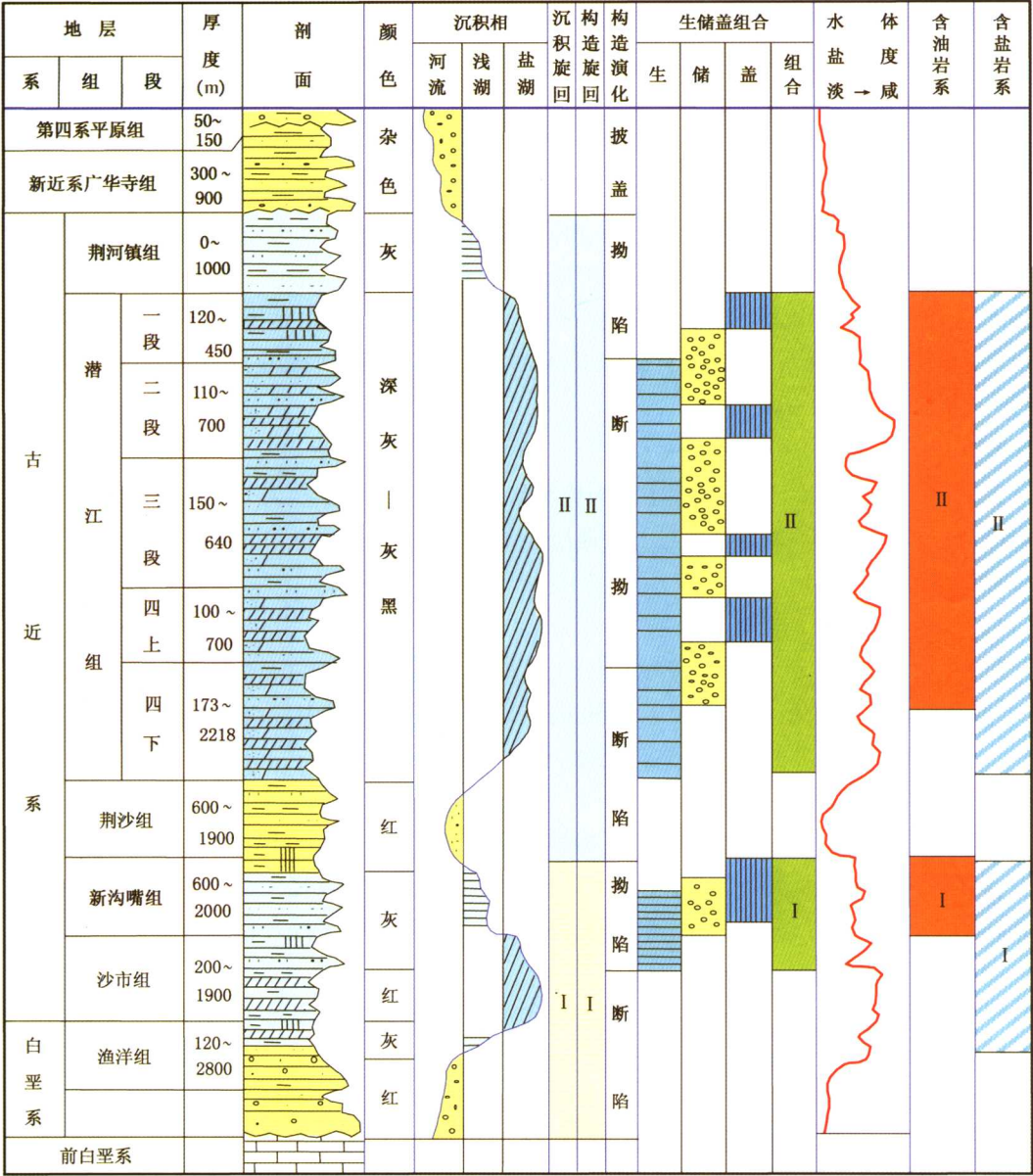


图 1.2 潜江凹陷地层综合剖面图

区域盖层。潜四上段的潜 4¹油组砂岩较为发育,具良好的储盖条件。此段为研究区最重要的勘探目的层之一。

② 潜三段(E_{q3}):据岩性等差异分上下两段。与下伏潜四段为整合接触。横向上厚度变化较大,为 150 ~ 640m。

A) 潜三上段(E_{q3}^上):为灰至深灰色泥岩、粉砂岩及鲕状泥灰岩、夹三个韵律层及两个砂

组,潜三上段的潜 3^2 油组砂岩极其发育,几乎遍布全区。潜三上段的潜 3^{1F} 油组发育的两高阻区域分布稳定,可作区域对比标志层,又是良好的区域盖层。此段为研究区重要的勘探目的层段之一。

B)潜三下段(Eq_3^F):为深灰色泥岩、泥膏岩、盐岩等组成14个韵律层,并夹有粉砂岩。潜三下段的潜 3^{3F} 油组的4~8韵律层的盐岩分布稳定,可作区域对比标志层,又是良好的区域盖层。潜三下段的潜 3^4 油组的盐岩和砂岩都较发育,具有良好的储盖组合条件,为研究区最重要的勘探目的层段之一。

③潜二段(Eq_2):与下伏潜三段为整合接触。由24个盐韵律层组成,每个韵律层由盐岩、泥膏岩、钙芒硝泥岩、油浸泥岩、泥灰岩组成,有时在韵律层底部发育有粉—细砂岩。横向上厚度变化较大,为110~700m,单层厚15~35m。11~15盐韵律分布稳定,可作区域对比标志层段,由于盐岩具有良好的封闭性,所以它是良好的区域盖层。

④潜一段(Eq_1):与下伏潜二段为整合接触。据岩性等差异分上中下三部分。上部为灰、深灰色泥岩、泥膏岩、油页岩夹盐岩,中部灰色泥岩与粉砂岩互层,下部为膏、盐和砂泥互层夹鲕状泥灰岩。潜一段电性为一套中高梳状电阻,具泥膏标志层。厚度为120~450m,具有较好的储盖组合。

(5)荆河镇组(E_{jh})。

与下伏潜一段为平行不整合或整合接触。横向上厚度变化较大,为0~1000m。主要发育绿灰色泥岩、粉砂岩夹油页岩、含钙芒硝泥岩。

1.1.3.3 新近系—第四系($N+Q$)

(1)新近系广华寺组(Ng)。

由绿灰、黄色黏土岩与灰色、浅灰白色、浅黄色粉砂岩、砂岩及含砾砂岩组成韵律层,厚300~900m,与下伏地层呈角度不整合接触。

(2)第四系平原组(Q)。

为灰色黏土、杂色砾岩、夹松砂层,厚度50~150m。与下伏新近系呈平行不整合接触。

1.1.3.4 潜江组盐湖沉积特征

古近纪晚始新世—早渐新世是江汉盐湖发育的鼎盛时期,潜江凹陷位于江汉盆地中部,是全盆地中基底最深、沉降速度最快的凹陷,是湖盆的沉降中心、汇水中心,同时也是江汉盆地的浓缩中心和成盐中心,在封闭性、高盐度、强蒸发环境下沉积了巨厚的潜江组盐系地层。潜江凹陷古近系潜江组是一套由四个含盐段组成的含盐系地层,不仅盐岩巨厚,还发育大量的盐间地层,它由深灰色油浸泥岩、钙芒硝泥岩、白云岩、泥质白云岩及油页岩等岩性组成。这些岩石类型混杂在一起,形成一种潜江盐湖的独特沉积类型(戴世昭,1997;王典敷等,1998;方志雄等,2002)。对于这种成分极为特殊的岩石,国内外的盐湖沉积研究中很少报道(Reading, 1977;Kendall,1988,Tin等,1999)。

古近系上始新统潜江组(Eq)自上而下分为潜一段(Eq_1)至潜四段(Eq_4),为灰色、深灰色泥岩、钙芒硝泥岩、褐灰色泥质钙芒硝岩、褐灰、白色粉砂岩与灰白色盐岩互层。潜江凹陷南部为一套含盐系地层,有193个含盐韵律层,每个含盐韵律层为盐岩与盐间沉积间互组成。潜江