

盐湖沉积的研究方法与研究特点

李建森^{1,2}, 李廷伟^{1,2}, 马海州¹

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100039)

摘要: 盐湖沉积研究具有自身的特殊性与不可替代性。基于目前国内外盐湖沉积研究的大发展, 介绍了盐湖沉积学的发展历史、研究内容、研究方法, 综述了近年来盐湖沉积学的理论、方法、应用研究上的进展, 指出微观化、精细化、定量化、多指标、多学科交叉、注重应用是盐湖沉积学发展的大趋势, 并对此进行了展望。加强基础研究与国际合作, 面向重大科学问题, 注重实质性学科交叉, 是未来盐湖沉积研究的重点。

关键词: 盐湖沉积; 理论; 方法; 应用; 展望

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2012)04-0052-05

前言

沉积学在经历了20世纪50年代的复兴与革命之后, 蓬勃发展成为与人类生存直接相关的一门富有生命力的分支学科。盐湖沉积研究作为沉积学研究的一部分, 长期以来并未引起地学界的足够重视, 但国内外众多研究^[1-4]表明盐湖沉积研究具有自身的特殊性与地学应用的广泛性、创新性与不可替代性, 盐湖沉积研究在湖泊沉积科学研究体系中占有重要一席, 应给予足够重视。

盐湖作为湖泊的一个类型, 由于成因上的复杂性, 所处大地构造—气候条件上的特殊性, 盐湖沉积具有不同于一般湖泊的沉积特点。盐湖沉积是特定地理和地质环境条件下的产物, 盐湖所处地质地理条件的相对封闭性缓冲了过于频繁气候变化事件的效应, 从而确保了其记录气候变化的长尺度、高精度以及全息性, 是大自然的一个完备信息库和良好天然实验室。20世纪90年代以来, 随着全球变化研究的需要, 古盐湖和现代盐湖的沉积学研究得到发展并逐渐变得更具价值^[5], 成为将今论古的敏感指示

体和用于恢复古气候、古环境和地质构造事件及预测未来全球变化的重要研究对象^[6]。同时, 盐湖沉积研究对于沉积理论与模式研究、成岩作用、盐类矿床与油气资源勘探开发研究具有至关重要的作用。

盐湖在全球许多地区有一定分布, 盐湖沉积研究有助于地学理论发展与经济社会可持续增长, 应当给予足够重视。本文提出应重视盐湖沉积学的研究, 并结合前人研究及最新国内外盐湖沉积研究进展进行综述与评论, 同时进行了展望。

1 盐湖沉积研究概述

20世纪70、80年代全球石油工业蓬勃发展的大背景下, 盐湖沉积研究得以发展。在中国则最早服务于盐类矿床的调查, 开展了对盐湖盐类矿物学和沉积学的研究, 并开始利用其水化学和沉积特征以及其中的代用指标来研究探讨古气候、古环境^[7]; 90年代以来伴随着全球变化深入研究对地球科学的迫切需求, 盐湖沉积在沉积学理论、盐湖沉积古气候重建、盐类矿物与粘土矿物、盐湖沉积环境微生物、盐类与

收稿日期: 2012-04-09; 修回日期: 2012-06-08

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41003013); 国家重点基础研究发展计划项目(2011CB403004)

作者简介: 李建森(1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为盐湖地球化学。

油气资源勘查等方面获得了极大的成就;进入21世纪,随着新方法新技术的引入以及对于高分辨率、多指标综合研究的提倡,盐湖沉积研究进入了一个新时期,沉积新发现、新理论不断涌现,古气候研究指标体系趋于完善,研究对象与应用范围更加广泛,盐湖沉积研究成为沉积学热门的前沿课题。

对于盐湖沉积学,目前仅有郑绵平提到过“比较盐湖沉积学”一词^[8],胡东生提及“盐湖沉积学”^[9],而对于盐湖沉积学的研究内容,目前尚未见有充分的说明,本文认为盐湖沉积学是研究盐湖的沉积环境、沉积作用、沉积物质、沉积规律、沉积演化的一门科学。盐湖沉积学不仅研究古盐湖的沉积,而且研究现代盐湖沉积,并进行比较沉积学研究。同时还进行模拟实验,并利用各种环境指标综合深入探讨盐湖沉积、矿物成因、全球变化机理,除全面系统地进行沉积相与岩相古地理分析,还研究其演化与大地构造、盐类资源与油气储藏的关系。

目前,盐湖沉积学的研究方法主要基于野外地质勘察、覆盖区地质研究、地球化学与地球物理以及室内实验分析等方法,包括野外地质图件的编制、测井录井与地震资料、遥感、粒度分析与物性分析、扫描电镜、电子探针与能谱、X射线衍射、阴极发光、显微荧光等分析手段,结合粘土矿物、流体包裹体、孢粉、古生物、同位素地球化学等指标进行古环境、古气候的恢复,并进行成盐分析与生油层和储层的评价^[10]。

2 盐湖沉积研究特点与进展

随着盐湖沉积研究在地学中重要性的不断提升,众多原有理论得到科学验证和完善。一些新理论不断出现,众多新方法得到了很好的应用,新理论新方法互为支撑,共同推进了盐湖沉积学发展,为进一步探讨研究盐湖沉积规律、沉积演化、盐湖成盐作用、古气候恢复以及油气储藏奠定了基础。

2.1 新模式不断提出,研究更广泛微观更精细深入

盐湖沉积模式对学科研究起到支撑和引导

的作用,从“沙洲说”到“沙漠说”、“萨布哈”学说,以及袁见齐于1961年和1983年分别提出的“陆相成钾理论”和“高山深盆成盐模式”,许靖华的“干化深盆”,还有基于罗北凹陷研究而提出的“高山深盆迁移论”、“两段式成钾论”及“含水墙成钾等理论模式,一直指导着盐湖沉积与盐类矿床勘探研究,并取得了较好效果,也说明了盐湖沉积模式研究的不断进步。同时,在国内外盐湖地质学家的工作和理论模式基础上,新涌现了许多针对区域性的模式以及精细化沉积地质意义上的沉积相与古地理研究。Blazevic等通过研究南加利福尼亚鲍德温湖的高分辨率的岩相及沉积岩石组合,建立了极为完整的湖泊沉积序列,并总结了用于探讨沉积演化与环境的主导核心沉积物的特点^[11]。Mees通过研究岩盐沉积特征指出湖泊水深决定了钙芒硝的纹理,盐类矿物沉积可以揭示降水和蒸发过程,北马里Taoudenni-Agorgott盐盆经历了水位持续降低的过程^[12]。Pérez等通过扫描电镜(SEM)和X射线衍射对Gallocanta湖进行了盐湖粘土矿物研究,识别了5种沉积相和3个盐盆演化阶段^[13]。还有一些学者结合卫星和航磁以及室内分析手段对干盐湖的白钠镁矾矿物进行了细致深入的分析探讨,为盐湖矿物分析提供了新的视角。对第三纪沉积盆地Emet盆地进行矿物组合研究,发现了基性硼钠钙石-钙芒硝-岩盐的复杂共生特点,通过水化学、流体包裹体分析等手段可揭示其成因。国外对于盐湖盆地微观上的沉积相与岩相古地理研究、盐类矿物岩石学研究是一个热点,基础研究多集中在高分辨率沉积相的分析与建立、盐类矿物的成因分析与探讨方面,趋于精细化、微观化、深入化,富有创新性。早在20世纪80、90年代,国内就已出现了大批盐湖沉积学研究成果,如对盐湖沉积物中粘土矿物的研究^[14-15],昆特依干盐层碎屑沉积物的研究^[16],内蒙古盐湖沉积地层研究^[17],以及轮台凹陷、东濮凹陷、东营凹陷、潜江凹陷等的盐湖沉积研究,都极具借鉴意义。

进入21世纪,新模式研究增多^[18-19],由宏观寻找微观方法与指标、以微观系统分析揭示宏观意义、注重创新已成为当前趋势,研究过程

中一定的理论提炼能够促进盐湖沉积学的发展,形成百家争鸣的探讨,共同推进学科进步。

2.2 环境指标不断完善,研究手段方法不断增加

盐湖的沉积演化过程被各种环境指标记录着,利用各项环境指标重建古气候、反演盐湖沉积等成为盐湖沉积学研究的核心。随着各种先进仪器手段的不断研发以及对于盐湖研究的深入,新的代用指标不断被发现,多项指标综合分析利用于盐湖的沉积学研究,一定程度上弥补了单一指标使用过程中的不确定性因素。同时各种新的研究方法与手段的利用,极大地推动了盐湖沉积学的发展。

定年是利用盐湖沉积恢复古环境的基础。目前的定年手段多样并不断改进,促进了盐湖沉积的研究。魏乐军等依据西藏洞错 DZ01 剖面的磁化率特征,结合韵律层的沉积学、盐类矿物学和 ^{14}C 年代学等恢复重建盐湖环境的替代性指标,指出洞错在全新世早、中期经历了频繁的水热交替气候演变过程^[20]。Fan 等通过光释光定年技术建立了尕斯库勒湖的湖泊沉积年代^[21],较好地用于盐湖的古环境恢复,但古环境研究的定年手段有待进一步深化。随着同位素技术的发展,元素与同位素地球化学开始极好地应用于盐湖沉积研究中^[22-24]。对罗北凹陷钻孔进行了元素地球化学研究,得出了沉积环境记录的全球变化信息;运用氢、氧、氮、锶同位素地球化学指标对柴达木盆地油田卤水的来源进行了研究;将稳定同位素研究应用于西藏扎布耶盐湖的沉积古气候,使西藏扎布耶的研究更进一步。地球化学手段的应用已成为热点,但缺乏系统性与深入性,下一步应注重多种同位素手段的综合对比应用,并促进盐湖沉积研究自成系统。当然目前还有一系列指标与研究手段,如孢粉古生物、石盐流体包裹体、遥感、实验观察与模拟、地球物理等手段集中使用并与其它指标对比分析,在盐湖沉积古环境研究中发挥了极好的作用。

总之,目前盐湖沉积研究手段多样,指标趋于完善,新方法与技术的应用取得了良好效果。但还存在不少问题,盐湖的地域特点决定了对

于盐湖的认识和研究的不足,对于盐湖沉积条件与特点的研究尚有许多不确定之处,研究体系难以系统化和定量化,对于盐湖沉积的理论研究也不够,需要结合湖泊沉积成果,继续推进其理论发展。同时,指标还需进一步探讨与发现并不断完善,以期更好地应用于盐湖沉积研究中,比如西藏的部分盐湖,目前仅仅开展了极少的初步研究,还有许多技术手段可以运用来开展盐湖沉积的研究。

2.3 高精度、定量化、多学科交叉

盐湖沉积学在研究过程中,无论指标上还是在地质资源赋存上都有解释上的复杂性。因此高精度、定量化研究,加强学科之间的联系,积极探索多学科交叉研究,已成为盐湖沉积学研究的重要发展趋势。目前盐湖沉积研究在这方面也有了一定进展。

国内外众多研究都非常重视高精度与定量化研究,积极运用数学方法与模型,获得了可靠的数据和极好的研究结果。基于 FA、CA、DCA 等一系列数学方法,运用多元时间序列模型可精确分析内流盐湖的水位变化与盐湖沉积特征。对盐湖进行系统孢粉采样,使样品能全面包含地形、水深、基质类型、盐度等环境参数,通过聚类分析和对应分析,并结合钻孔孢粉古生物对比,可定量研究现代孢粉与古植被之间的关系。孟凡巍等首次利用极为先进的 Cryo-SEM-EDS 方法在国内对始新世石盐原生包裹体成分进行分析,得到了金坛盐矿水体沉积时期成分的直接数据,首次获得了石盐包裹体的半定量分析成果^[25]。但目前在定量化研究上并不成熟,处于初步阶段,还有许多盲点及不尽合理的地方,力求建立精确的模型,探讨适合研究内容的最佳方案,不断改进而不能盲目生搬硬套,是在研究中应该注意的地方。

随着盐湖沉积学研究领域的扩大,基于对盐湖沉积学研究空白点探索的需要,部分学科交叉研究取得了一定进展。比如,生命科学中的极端环境微生物研究是一个热点问题,盐湖微生物的研究逐渐开始渗透到盐湖沉积学研究中,促生了盐湖地质微生物学。目前学科交叉主要集中在地质地理学与环境、生物学科之交

叉上,而且十分单一而不够深入,交叉联系的实质性强,因此切实探讨学科交叉使用的深入性是一大趋势。

2.4 地学应用性更强

盐湖沉积学不仅仅局限于研究盐湖沉积理论,也注重解决地学重大科学应用问题,如基础地质、环境灾变事件、资源勘查等。Yang 等对达布逊湖古气候进行研究,并提出了水文学意义^[26];Tweed 等研究发现盐湖对于干旱事件具有独特的响应特征^[27];通过盐湖沉积进行盐类资源勘探、烃源岩研究等研究实例不胜枚举。总之,盐湖沉积学的应用越来越广泛与深入,并开始得到地学界重视与认可。加强理论与应用探索,更好的服务于全球性问题,成为盐湖沉积学发展的努力方向。

3 盐湖沉积学研究展望

3.1 继续重视盐湖沉积学基础理论研究,朝向精细化、定量化发展

近年来研究进展表明对盐湖科学问题的深入探讨与微观化、精细化、定量化研究成为必然趋势。尽管目前有先进的方法与技术、多指标综合利用,一定程度上提高了研究精度与准确性,但仍有极多不确定性因素亟待研究改进。比如孢粉、古生物与沉积过程的模型建立,盐类矿物沉积的定量分析,力求建立短—中—长期尺度的高分辨率盐湖沉积记录等。同时,室内分析与野外长期观测相结合,加强盐湖沉积动力学研究,建立国际盐湖数据库,客观掌握盐湖沉积学信息数据等,都将成为未来盐湖沉积学发展的重点。

从国内外研究对比得出,中国盐湖沉积研究在国际盐湖研究中占重要地位。国内对于盐湖沉积的研究起步并不晚于国外,但进入21世纪,研究队伍没有明显扩大,对过程和理论的研究偏弱,在先进性、精细度、研究深度上甚至落后于国际水平,不过国内研究辐射性强,在研究广度上要优于国外。面对盐湖沉积学的大发展,若积极发挥自身优势,突破薄弱环节,一定

有能力走在世界前列。

3.2 加强多学科交叉,重视人才队伍建设,深入国际合作

盐湖沉积发生于大气圈、生物圈、水圈和地表岩石圈密切相互作用的部位^[28],因此盐湖沉积学的发展离不开多学科交叉,多学科交叉能打开研究思路,产生新的学科生长点。要加强国际合作,重视国际新观点,把握前沿科学命题,增加原创性,积极加入到国际综合重大计划中去。人才队伍是学科发展之本,加强大学盐湖人才的培养,注重设置重大科学计划,吸引优秀人才投入到盐湖沉积学中。

3.3 面向重大科学问题,致力于人类社会可持续发展

盐湖沉积学从来都是服务于人类社会发展的。继续面向重大科学问题,注重创新性的发现并解决问题,提高盐湖沉积学在全球变化、资源、环境、灾害研究领域的地位,为人类社会可持续发展做出应有的贡献。由于盐湖的特殊地理地质条件,可进入性差,因此极多盐湖区的调查研究工作程度很低,若取得这些盐湖的第一手资料,深入研究,一定能原创性地解决一些科学问题,盐湖沉积研究大有可为。

参考文献:

- [1] Aydemir A. Hydrocarbon potential of the Tuzgolu(Salt Lake) Basin, Central Anatolia, Turkey: A comparison of geophysical investigation results with the geochemical data [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2008, 61 (1): 33 - 47.
- [2] Gaskova O L, Solotchina E P, Sklyarova O A. Reconstruction of solution chemistry evolution based on the sedimentary record of salt lakes in the Olkhon region [J]. Russian Geology and Geophysics, 2011, 52(5): 548 - 554.
- [3] Colman S M, Kelts K R, Dinter D A. Depositional history and neotectonics in Great Salt Lake, Utah, from high-resolution seismic stratigraphy [J]. Sedimentary Geology, 2002, 148(1 - 2): 61 - 78.
- [4] 马黎春, 李保国, 蒋平安, 等. 罗布泊盐湖“大耳朵”盐盘特征、成因及古环境意义 [J]. 沉积学报, 2011, 29(1): 125 - 132.
- [5] Rodó X, Giralt S, Burjachs F, et al. High-resolution saline lake sediments as enhanced tools for relating proxy paleolake

- records to recent climatic data series[J]. *Sedimentary Geology* 2002 ,148(1 - 2) : 203 - 220.
- [6] 郑绵平. 论中国盐湖[J]. *矿床地质* ,2001 ,20(2) : 181 - 189.
- [7] 张彭熹, 张保珍. 柴达木地区近三百万年来古气候环境演化的初步研究[J]. *地理学报* ,1991 ,46(3) : 327 - 334.
- [8] 郑绵平. 盐湖学的研究与展望[J]. *地质论评* ,2006 ,52(6) : 737 - 745.
- [9] 胡东生. 盐湖地学的研究进展和发展方向[J]. *地球科学进展* ,1997 ,12(5) : 411 - 415.
- [10] Blazevic M A ,Kirby M E ,Woods A D *et al* . A sedimentary facies Model for glacial-age sediments in Baldwin Lake , Southern California [J]. *Palaeogeography , Palaeoclimatology , Palaeoecology* ,1999 ,151(1 - 3) : 127 - 148.
- [12] Mees F. Textural features of Holocene perennial saline lake deposits of the Taoudenni-Agorgott basin , northern Mali [J]. *Sedimentary Geology* ,1999 ,127(1 - 2) : 65 - 84.
- [13] Pérez A ,Luzón A ,Roe A C *et al* . Sedimentary facies distribution and genesis of a recent carbonate-rich saline lake: Gallocanta Lake ,Iberian Chain ,NE Spain [J]. *Sedimentary Geology* 2002 ,148(1 - 2) : 185 - 202.
- [14] 徐昶, 林乐枝. 内蒙古查干诺尔和吉兰泰盐湖沉积物种粘土矿物[J]. *矿物岩石* ,1988 ,8(1) : 82 - 85.
- [15] 徐昶. 我国某些盐湖粘土矿物化学成分初步研究[J]. *地球化学* ,1990(1) : 81 - 88.
- [16] 胡文瑄. 利用盐层中碎屑沉积物粒度分布特征鉴别干盐湖沉积层序[J]. *沉积学报* ,1991 ,9(2) : 71 - 76.
- [17] 杨清堂. 内蒙古盐湖的主要沉积特征及其古气候意义[J]. *化工矿产地质* ,1996 ,18(4) : 49 - 53.
- [18] 张孝义, 王运所, 段红梅. 东濮凹陷北部浅水成盐与油气分布初探[J]. *断块油气田* 2002 ,9(4) : 12 - 14.
- [19] 袁静, 赵澄林, 张善文. 东营凹陷沙四段盐湖的深水成因模式[J]. *沉积学报* ,2000 ,18(1) : 114 - 119.
- [20] 魏乐军, 郑绵平, 蔡克勤, 等. 西藏洞错全新世早中期盐湖沉积的古气候记录[J]. *地学前缘* ,2002 ,9(1) : 129 - 134.
- [21] Fan Q ,Lai Z ,Long H *et al* . OSL chronology for lacustrine sediments recording high stands of Gahai Lake in Qaidam Basin ,northeastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Quaternary Geochronology* 2010 ,5(2 - 3) : 223 - 227.
- [22] 罗超, 彭子成, 杨东, 等. 多元地球化学指标指示的 32 ~ 9 ka B. P. 罗布泊地区环境及其对全球变化的响应[J]. *地球化学* 2008 ,37(2) : 140 - 148.
- [23] Tan H ,Rao W ,Ma H *et al* . Hydrogen ,oxygen ,helium and strontium isotopic constraints on the formation of oilfield waters in the western Qaidam Basin , China [J]. *Journal of Asian Earth sciences* 2011 ,40(2) : 651 - 660.
- [24] Wang R L ,Scarpitta S C ,Zhang S C *et al* . Later Pleistocene/Holocene climate conditions of Qinghai-Xizhang Plateau(Tibet) based on carbon and oxygen stable isotopes of Zabuye Lake sediments [J]. *Earth and Planetary Science Letters* 2002 ,203(1) : 461 - 477.
- [25] 孟凡巍, 倪培, 严贤勤, 等. 江苏金坛盐矿形成时期盐湖水体成分: 来自石盐包裹体的证据[J]. *微体古生物学报* 2011 ,28(3) : 324 - 328.
- [26] Yang W ,Spencer R J ,Roykrouse H *et al* . Stable isotopes of lake and fluid inclusion brines ,Dabusun Lake ,Qaidam Basin ,Western China: Hydrology and paleoclimatology in arid environments [J]. *Palaeogeography , Palaeoclimatology , Palaeoecology* ,1995 ,117(3 - 4) : 279 - 290.
- [27] Tweed S ,Grace M ,Leblanc M *et al* . The individual response of saline lakes to a severe drought [J]. *Science of the Total Environment* 2011 ,409(19) : 3919 - 3933.
- [28] Sun S. Geological sciences in China: Past ,present and future [J]. *Geological Review* ,2002 ,48(6) : 576 - 584(in Chinese) .

Methods and Characteristics of Salt Lake Sedimentology Research

LI Jian-sen^{1,2} , LI Ting-wei^{1,2} , MA Hai-zhou¹

(1. *Qinghai Institute of Salt Lakes , Chinese Academy of Sciences , Xining 810008 , China;*

2. University of Chinese Academy of Sciences , Beijing , 100049 , China)

Abstract: Salt lake sedimentary study has its own peculiarity and non-substitutability ,based on the big development of salt lake deposits research at home and abroad , this paper introduced the development history and the research contents and methods. Points out the fine and quantitative , micro , index , interdisciplinary research is a trend in the development of sedimentation salt lake , and more attention must be paid to the application of it. At the same time , some prospects of salt lake sedimentology research were reviewed , face to the important scientific problems , strengthen basic research and international cooperation , pay attention to the substantive subject crossing is the key of salt lake deposits study.

Key words: Salt lake sedimentology; Theory; Methods; Apply; Prospect