

盐类科学研究的扩展 ——盐体系研究的思考(代序)

郑绵平^{1,2,3)}

1) 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室,北京,100037; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所,北京,100037; 3) 中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心,北京,100037

内容提要:传统的地球科学对于盐类研究主要集中于盐湖和古代盐类沉积,对于其他盐类聚集体,如泻湖、港湾、盐沼泽、泉水等研究较少,更未涉及其他行星的盐类聚集体。成盐元素约 25 种,由于其作用的广泛性和重要性以及近代科学技术的进步,对于盐类聚集体的研究已冲破单学科领域,不但在地球科学包括盐类资源科技领域日益扩大和深入,而且在生物学、医学、保健和环境生态学等也有了引人入胜的新发现,航天行星科学也开始涉及盐类研究领域,在宏观上已进入全球以至行星研究时期,在微观上已达到分子和基因层次;盐类及盐碱土开发已达到综合利用、整体开发的初始阶段。盐类科学研究已进入多学科交叉、在广度和深度上大为扩展的崭新时代,概称为“盐体系”研究和综合开发与保护管理阶段。

关键词:盐类科学; 盐类聚集体; 成盐元素; 盐体系

长期以来,传统的地球科学对于盐类研究主要集中于地球上现代盐湖和古代盐类沉积,对于其他盐类聚集体(含盐类的固液相地质体),如泻湖、港湾、盐沼泽、泉水等研究较少,更未涉及其他行星的盐类聚集体。由于盐类(成矿元素)作用的广泛性和重要性以及近代科学技术的进步,对于盐类聚集体的研究,不但在盐类资源的地质、化学、采选和工程技术领域日益深入,并延伸到古今气候与环境保护,而且在生物学与生命科学领域,对嗜盐和耐盐生物机理和应用研究有了引人入胜的新发现;医学、保健和行星科学也先后涉足盐类领域的研究。在 21 世纪肇始之际,盐类科学研究已进入多学科、多领域交叉融合、在广度和深度上大大扩展的崭新时代;在宏观上已开始进入全球以至行星研究时期,在微观上已达到分子和基因层次的研究阶段;盐类及盐碱土开发已达到综合利用整体开发初始阶段,概称之为“盐体系”研究和综合开发与保护管理阶段。

这里所称盐体系(Saline Systems),包括行星上古今湖海、港湾、沼泽、盐碱地以及泉水和人工盐田等的盐类聚集体(蒸发岩系)的研究科学。大力加强“盐体系”研究,不但与全世界经济发展与人民健康

密切相关,而且对研究盐类资源成因、探索生命起源和行星演化也有着深远意义。

2004 年 6 月 1 日由美国生物医学中心和国际盐湖学会创刊《盐系统》。该刊为网络公开性的新杂志,以展示盐生物学及与盐环境有关的研究领域为主,主编是美国马里兰大学生物技术教授 S. DasSarma。由于创刊单位和主编来自发展国家的生物学界,且其所处盐类研究和应用阶段也不同于发展中国家的同行,况且限于专业差别,该刊侧重于地球表层盐生物学和盐湖环境保护与管理(费振壁等,2005),缺乏盐资源开发利用及相应综合勘查、综合开发的科学技术与工程技术等研究领域,其视野也未及其他行星盐类聚集体及生命起源等基础领域。

在上述含盐聚集体中的盐类元素又称“成盐元素”,目前已知在地球上约有 25 个,主要为某些轻金属和卤素、氧、硫等,其阳离子主要为碱金属(IA)、碱土金属(IIA),阳离子主要为碳(IVA)、氧、硫(VIA)、卤素(VIIA)等(图 1)。

这些成盐元素在地球各层圈中以地壳的丰度最高,由地壳往下:上地幔、下地幔和地核,其丰度逐渐

注:本文为国家自然科学基金重点项目(编号 49833010,40531002)、国家大地调项目(编号 200313000065,1212010633809)资助成果。

收稿日期:2007-11-12;改回日期:2007-11-14;责任编辑:周健。

作者简介:郑绵平,男,1934 年 11 月生。中国工程院院士,国土资源部盐湖资源与环境重点实验室主任,中国地质科学院矿产资源研究所研究员;盐湖学与矿床地质专业。

IA

H ⁺ 1.0079*	IIA		VIIA		VIIIA		IIIA		IVA		VA		VIA		VIIA	
Li ⁺ 6.94							B ⁺ 10.81	C ⁺ 12.011	N ⁺ 14.0067	O ⁺ 15.999				F ⁺ 18.998403		
Na ⁺ 22.98977	Mg ⁺ 24.305						Al ⁺ 26.98154	Si ⁺ 28.085	P ⁺ 30.97376	S ⁺ 32.06				Cl ⁺ 35.453		
K ⁺ 39.098	Ca ⁺ 40.08	Mn ⁺ 54.9380	Fe ⁺ 55.84						As ⁺ 74.9216						Br ⁺ 79.904	
Rb ⁺ 85.467	Sr ⁺ 87.62														I ⁺ 126.9045	
Cs ⁺ 132.9053	Ba ⁺ 137.33															

* 原子量 + 主要“成盐元素” ^ 次要的“成盐元素”

图 1 “成盐元素”在周期表中的分布

Fig. 1 Distribution of “salt-forming elements” in the periodic table of the elements

降低,只有个别元素镁和硫在地核较高(表 1)(南京大学地质学系,1987)。在地球上盐类沉积在显生宙每个纪均有分布,上溯至元古宙和太古宙间均有发现。迄今已知最古老的蒸发岩(硬石膏)为南非(阿扎尼亚)的翁弗尔赫特群(Onverwacht Group),其绝对年龄达 34 亿年(袁见齐等,1982)。以上说明地球的盐类沉积等盐聚集体在地史上的分布也同“成

表 1 主要“成盐元素”在地球各层圈中的丰度

Table 1 Abundances of main “ore-forming elements” in various spheres of the Earth

原子序数	元素符号	地壳	上地幔	下地幔	地核
		a	b	c	d
1	H	1400	780	480	30
3	Li	21	4.1	0.5	—
5	B	13	2	1	—
6	C	2800	100	100	720
7	N	18	10	6	—
8	O	4.6×10 ⁵	4.3×10 ⁵	4.2×10 ⁵	—
9	F	450	170	100	—
11	Na	23000	9100	5700	—
13	Al	83000	25000	4500	40
14	Si	2.9×10 ⁵	2.0×10 ⁵	1.9×10 ⁵	40
17	Cl	280	50	50	—
19	K	17000	2300	300	—
20	Ca	52000	22000	7000	300
35	Br	4.4	1.1	0.5	0.6
37	Rb	78	2.6	2	—
38	Sr	480	120	10	—
53	I	0.6	0.1	0.01	0.4
55	Cs	1.4	0.3	0.1	—
92	U	1.7	0.13	0.003	0.003

盐元素”在诸层圈的丰度特性相对应,并且主要分布在地壳表层。

地球上最古老的沉积岩达 38 亿年,这表明在 38 亿年前地球上已有部分固化的地壳,地壳表层有了液态的水圈,分布有湖泊、“海洋”、沼泽等水洼,这些“成盐元素”由于溶解度较大,必然较多向水圈中汇聚,并为地球原始生命提供能量和营养,在尔后气候干旱时,即可能形成盐类沉积。目前发现比较可信的早期生命证据是澳大利亚太古宙 35 亿年前的瓦拉那群的微生物化石(郝守刚等,2000),这表明成盐元素在水圈的汇聚和早期生命形成几乎同步,而且,从低等到高等生物的元素组成同主要“成盐元素”相同或相似。以上说明水圈成盐元素与生命形成和演化有密切的成因联系,同时,盐类在水圈中的演化和沉积成为蒸发岩盆地,既是地质环境的重要组成部分,又是与许多矿产成因与评价、环境保护与管理密切相关,古今盐类聚集体分布广泛,涉及诸多学科领域和经济建设部门,对于盐类聚集体的研究与开发,从来没有像今天这样得到地球科学、生物学(生命科学)、工程技术等领域的广泛关注。下面结合古今盐类聚集体(蒸发岩)特点和各国、尤其是发展中国家的经济发展与人民需求,对盐体系研究领域的发展,提出几点认识(郑绵平,2006),供今后推进盐体系研究和发“大盐类产业”参考。

(1)盐类地质矿床学。盐类沉积概分为古代盐类矿床和现代(第四纪)盐湖两大类。古代盐类矿床通常赋存于地下呈固体盐矿层,偶有地下卤水层伴生,其海相层状膏盐矿床分布面积广、厚度大、储量大、质量高,其中尤以钾盐矿床最具重要经济价值;而有的地区地下卤水富产溴、碘或钾硼也很有开发价值。现代盐湖为近期或第四纪形成,甚至现在仍在继续沉积。它是一种固液相共存的动态综合性矿产和生物资源,它不仅赋有常见的膏盐碱硝普通盐类矿产,而且是钾、镁、锂、硼、溴、碘、铯、铷、锶、铀、钨以至疗泥等工农业、军工、医疗以及盐生物等重要原料的宝库。因此,随着社会工农业经济的发展,古代盐类矿床和盐湖地质矿床学的研究,仍将是重点研究的领域,并将会日益拓宽研究范围,从而推动盐类矿床沉积学、矿物学、地球化学、水文地质学等相关学科的发展。尤其是古代盐矿和盐湖矿产的调查勘查,将会以综合评价为特征加快向前发展,特别是在发展中国家。在我国随着农业发展对钾资源的迫切需要,必须加强在古代成盐区和现代盐湖的找钾勘查和研究。特别是在我国西部,除了继续开展盐

湖找钾外,重点要开展海相盐类成矿区和地下卤水找钾预测和油钾兼探,如能坚持这一方向,迎难而上,将会推进先进的盐类成矿理论与找钾预测评价技术的发展,并有可能取得找矿的重大突破。

(2)盐类资源综合利用、整体开发与环境保护研究。随着全球经济发展和人口的增加,矿产资源的合理开发、循环利用和环境保护及有效管理将越来越受到人类社会的高度重视。因此,发展先进实用工艺和深加工技术、充分利用、整体开发盐类综合性资源、提高资源附加值无疑会成为科技工作的永恒课题。与其相关的盐类基础和应用研究:包括盐类相平衡、热力学及开采技术、盐田工艺学、化工选矿学、化工工艺学和化学工程学等学科应重点加强。与我国西部盐湖钾盐、锂盐和硼酸盐开发相关的课题,如钾镁盐湖大宗镁盐和石盐的开发利用,高Mg/Li 锂盐湖的有效开发和综合利用,西藏碳酸盐型低温、八元复杂体系稀有金属和硼溴综合利用等,将是重要盐湖化学、化工等学科迫切需要解决的实际意义重大的前沿课题,为了合理利用资源和保护环境,生态大盐湖产业将会应运而生。

(3)盐湖生物学与盐湖农业、盐土农业。高盐环境及其微型和大型盐生物资源,为多学科基础研究和生物技术提供了难得的发展机遇,同时科学家又要面对如何保护和管理由于人类活动增多和气候变化而引起的盐湖变化的严峻挑战,这就迫使科学家要不失时机地进一步孕育和完善更多边缘学科的产生,如盐境地质生态学(Geocology of hypersaline environment)、盐生物系统生物学(Systems biology of halophile)、盐生物分子生物学(Molecular biology of halophile)、盐生物环境生物学(Environmental biology of halophile)、盐生物基因学(Genebiology of halophile)以及盐环境的生物多样性及其保护和资源管理以及盐生物的生物技术(biotechnology of halophile)等。盐生物与生物技术的发展,将为人类提供新的功能材料和更多的蛋白质、天然色素和能源,净化环境、改良土壤及促进旅游业的发展服务,尤其是极端嗜盐菌多样性及其开发利用、嗜盐古菌遗传机制与生物工程利用已显示远大应用前景;全世界盐碱地和盐沼带面积广大,利用盐碱地和盐沼带培植替代燃油的盐生物具有广阔应用前景,可能是解决“油气危机”一条重要途径。变盐湖、盐滩、盐碱地为“良田”,由此形成一种新的农业——“盐湖农业”、“盐土农业”。科技发达国家越来越重视这一领域,发展中国家也应迎头赶上。

(4)极端盐环境生命形成与进化研究^①。在极端嗜盐生物群中,嗜盐古菌(Halobacteriacea 科)广泛分布于现代和古代高盐聚集体中,特别是赋存于现代盐湖、盐碱土、盐田和古代海相、陆相蒸发盐盆地盐沉积中。极端嗜盐古菌是具有特殊遗传机制的生命第三种形式^②,它能长期存活于盐类晶体包裹体中,对其不同时代 DNA 的解剖,对于生命起源和生命过程与进化、对古菌的盐适应机制的认知都有深远科学意义。目前已发现 2.5 亿年上二叠纪石盐晶体液体包裹体中仍成活的嗜盐古菌(Vreeland et al., 2000);而且采用岩石学和地球化学技术,获得距今 1100 万年中新世至 4.25 亿年志留纪石盐液体包裹体中古菌核糖体 DNA 片段(Fish et al., 2006)。2004 年 3 月 2 日美国航天局“机遇”号火星车传来信息表明,在火星上也发现有沉积岩形成,说明火星上曾经浸在流动的水中,并已发现有硫酸盐矿物(Wang et al., 2006),值得进一步探索火星上有无石盐之类沉积,进而探讨有无嗜盐古菌之类的生物存在。笔者认为,火星上沉积岩和硫酸盐矿物的发现,标志着盐体系研究向其他类行星扩展的开端;目前应加紧开展地球相似极端环境的对比研究。

(5)盐湖沉积与古环境。盐湖由淡水湖—咸水湖演变而来,它具有湖泊环境变化记录的全息性,在盐湖沉积中保存着古今环境变化和地质事件的翔实信息。因此,盐湖沉积与古环境现已成为全球变化的重大研究课题,并具有特殊意义。开展盐湖沉积多学科和新技术相结合的研究,以恢复古气候、古环境和预测未来全球变化为目的,具有广阔的领域和发展前景。

(6)比较盐湖沉积学研究和现代盐湖动态变化监测。现代盐湖作为动态变化矿床天然沉积实验室,既是当今和未来环境、气候灵敏记录器和监测器,又是古代盐类矿床成因与成矿作用的天然实验室。因而,对于积累第一手科学资料,推进当代研究全球变化和盐体系动态变化都具有重要意义。为此,需要与遥感研究相结合建立定点的盐湖等盐类聚集体科学观察站,并长期坚持进行观察和监测。

(7)盐类与油气、金属、非金属成矿相关性研究。国内外大量勘查研究表明,盐类聚集体(蒸发岩)不仅与世界上大多数油气田有密切关系,而且也与相当多金属和非金属矿床在时空分布紧密相关。油气和蒸发岩都需要在封闭、半封闭沉积盆地和较稳定沉积构造条件,而且蒸发岩可成为生油源岩,一些蒸发盐环境有利于有机质的烃类转化和保存,特别是

形成优良油气藏盖层^⑨。据统计,全世界 80%~89%以上油气资源赋于蒸发岩盆地,如波斯湾盆地,从寒武纪至第三纪有 6 个时代、7 套蒸发岩系(李国玉等,2005),该盆地拥有占世界油气储量的 38%,因此,蒸发岩油气成因与成藏研究越来越得到重视。与蒸发岩系有关的金属和非金属矿种达 40 余种(袁见齐等,1982),其中包括规模巨大的砂岩铜矿、铅锌矿、铀矿和自然硫等。在与蒸发岩系有关的一些金属、非金属矿床勘查中,成盐作用与其相关性研究得到多学科关注,“标志着盐类矿床的内涵及其在地学领域里的意义已有了重要扩展”(袁见齐等,1982)。

(8)盐梯度太阳池是新兴起的一种太阳能利用技术,目前正处于研究和初始发展阶段。盐梯度太阳池是集蓄热和集热于一体的太阳能利用装置,由于它的结构简单,造价低廉,能长时间蓄热,在全年内可提供稳定的中低温热源,而被日渐应用于发电、取暖、海水淡化、矿产提取和加工等诸多领域。由于世界矿物能源日益短缺和环境污染严重,该项技术已日益引起国际上的重视,尤其对世界诸盐湖区和沿海盐场来说更是具备了盐资源和场地等有利条件。如我国西部盐湖区具备优越盐资源和太阳能优越条件,应高度重视和大力部署该项利用盐梯度太阳能的技术,首先可先用于取暖和矿产加工,逐步试验于发电,这将对促进西部经济发展和人民生活改善起到重要作用。

(9)“盐湖与健康”、“盐类与医学”新课题将应运而生。随着经济发展和人民生活水平的提高,人们将越来越注重生活质量,盐湖区的特殊风光、盐湖泥疗的美容与保健功能、卤水漂浮浴的特殊功能(促进脑垂体分泌、消除疲劳等),都将有益于盐湖旅游业的发展。此外,原生沉积石盐(粗盐)和母卤沉积石盐、光卤石等,往往含痕量元素较高,可作为浴盐之用,也是近年来开发出来的盐类矿物的一种新用途。

(10)盐碱区材料与工程学研究^⑩。在世界干旱、半干旱区盐碱和滨海盐土分布十分广泛,在大量工程建设中常遇施工材料和工程设施盐碱侵蚀和危害。其中混凝土构筑物的盐蚀危害,在全世界较为普遍。甚至冬季撒盐化冰,由于氯盐进入混凝土中,成为钢筋锈蚀“元凶”,也引起道路、桥梁破坏^⑩。因此,大力开展适盐碱区材料及相应工程技术研究对

于建设工程质量和民生安全有十分重要的意义。

以上所列举研究领域还不能全面概括《盐体系》与盐湖学所有内容,可以预期,随着 21 世纪世界经济的发展和科技进步,其研究领域还会不断扩大和延伸。

最后应指出,本专刊刊出若干古今盐湖古气候演化、矿床成因、蒸发盆地生物气藏、盐湖资源开发利用应用基础及盐湖和热泉生物等研究论文,今后将按《盐体系》和盐湖学的理论认识,组织推介其他相关论著,欢迎国内外同行积极投稿参与。

注 释

- ① 郑绵平. 2007. 盐体系极端环境生物研究若干问题探讨. 第二届盐湖生物学及嗜盐生物与油气生成学术研讨会论文摘要.
- ② 向华. 2007. 极端嗜盐古菌遗传机制及生物工程利用. 第二届盐湖生物学及嗜盐生物与油气生成学术研讨会论文摘要.
- ③ 郑绵平. 2007. 蒸发盆地油气成因与成藏研究(项目建议书).
- ④ 郑绵平. 2006. 关于盐碱区材料与工程学(致李亚玲先生函)(2006. 5. 12.).
- ⑤ 李亚玲. 2007. 2. 1 来函. 海域和高盐碱地区混凝土服役的探讨.

参 考 文 献

- 费振璧,郑绵平. 2005. 《盐系统》(Saline Systems)网络杂志投稿信息. 湖泊科学,17(1):92.
- 郝守刚,马学平,董熙平,齐文同,张响. 2000. 生命的起源与演化—地球历史中的生命. 北京:高等教育出版社,37~47.
- 李国玉,金之钧. 2005. 世界含油气盆地图集(下册). 北京:石油工业出版社,184~232.
- 南京大学地质学系. 1987. 地球化学(修订本). 北京:科学出版社.
- 袁见齐,霍承禹,蔡克勤. 1982. 盐类矿床成因理论的新发展及其在矿床学上的地位. 矿床地质,1(1):16~33.
- 郑绵平. 2006. 盐湖学的研究与展望. 地质论评,52(6):737~746.
- Vreland R H, Rosenzweig W D, Powers D W. 2000. Isolation of a 250 million-year-old halotolerant bacterium from a primary salt crystal. Nature, 407: 897~900.
- Fish S A, Spedherd T J, McGenity T I, Grant W D. 2002. Recovery of ribosomal RNA gene fragments from ancient halite. Nature, 417:432~436.
- Wang Alian, Haskin L A, Squyres S W, Jolliff B L, Crumpler L, Gellert R, Schrder C, Herkenhoff K, Hurowitz J, Tosca N J, Farrand W H, Anderson R, Knudson A T. 2006. Sulfate deposition in subsurface regolith in Gusev crater, Mars. Journal of Geophysical Research, 111:1~19.

Expansion of Salt Science ——Thoughts on Saline Systems Research (in Lieu of Preface)

ZHENG Mianping^{1,2,3)}

1) *Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environment, Ministry of Land and Resources, Beijing, 100037*

2) *Institute of Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

3) *R & D Center for Saline Lake and Epithermal Deposit, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

Abstract

In the traditional Earth sciences, salt research focuses on saline lake and ancient saline deposits, while other salt accumulations (both solid-phase and liquid-phase salt-bearing geologic bodies), e. g. lagoons, estuaries, salt marshes and springs, are less studied, let alone salt accumulations in other planets. There are about 25 salt-forming elements, and due to the wide range and importance of their actions and with the progress in modern science and technology, the study of salt accumulations has broken through the monodisciplinary field. It has not only expanded and become more intensive in the Earth sciences, including the field of salt resource science and technology, but also new intriguing discoveries have been reported in biology, medicine, public health and environmental ecology, and furthermore, space and planetary science has begun to involve salt research. Macroscopically the research has entered the stage of global and even planetary research, and microscopically it has attained the molecule and gene level. The exploitation of salts and saline-alkaline soils has reached the stage of comprehensive use and total development. All these set a completely new stage for interdisciplinary salt research and great expansion of salt research in depth and breadth, which is generally known as the stage of "salt systems" research and comprehensive development, conservation and management.

Key words: salt science; salt accumulation; salt-forming element; saline systems