

华南地块震旦纪晚期一早寒武世古大陆位置暨 灯影组蒸发岩成钾条件分析

王立成, 刘成林, 张 华

中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037

摘 要: 海相钾盐的形成需要构造、气候和成钾物源三者的耦合作用, 而构造是首要控制因素。华南地块发育震旦晚期一早寒武世灯影组海相蒸发岩, 本文通过古大陆位置、古纬度和古气候、古地理以及古海水成分等文献综合分析, 提出灯影组沉积时期, 华南地块位于印度大陆西北缘, 是冈瓦纳大陆的一部分。华南地块灯影组沉积与印度、巴基斯坦、阿曼、伊朗等地的同时期沉积相似, 并形成一个巨型的碳酸盐台地, 其中发育众多的局限盐盆地蒸发岩, 古气温最高可达 40℃。同时, 通过与巴基斯坦盐岭地区含钾蒸发岩盐岭组的构造-沉积背景对比, 表明两者均为冈瓦纳大陆北缘被动大陆边缘盆地沉积, 具有相似的蒸发岩沉积序列和形成条件。因此, 综合来看, 认为华南地块灯影组具有必要的成钾条件。

关键词: 华南地块; 灯影组; 古大陆位置; 蒸发岩

中图分类号: P534.31; P588.247/01 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2013.05.09

Tectonic and Sedimentary Settings of Evaporites in the Dengying Formation, South China Block: Implications for the Potential of Potash Formation

WANG Li-cheng, LIU Cheng-lin, ZHANG Hua

*MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources,
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*

Abstract: The formation of marine potash salts needs a coupled mechanism of tectonics, palaeoclimate, and source. Tectonic element is the primary controlling factor. A sequence of marine evaporites was developed in the Late Sinian–Early Cambrian Dengying Formation in South China Block (SCB). An integrated literature analysis of the position of continents, palaeo-altitude, palaeoclimate, palaeogeography, and seawater chemistry indicates that the SCB should be an integral part of Gondwana close to the northwestern margin of India. Deposits of the Dengying Formation are similar to those in India, Pakistan, Oman, and Iran. These deposits were deposited in a giant carbonate platform. Shallow restricted marine evaporites were developed in the carbonate platform with the highest temperature up to about 40℃. A comparison of tectonic and sedimentary setting between SCB and Salt Range indicates that the evaporite-bearing Dengying and Salt Range formations were deposited in a shallow marine environment on the northern margin of the Gondwanaland passive continent and shared the similar evaporitic sequence and formation conditions. It is thus inferred that the Dengying Formation in the SCB has the essential conditions for the formation of potash deposits.

Key words: South China Block; Dengying Formation; position of continent; evaporite

本文由国家“973”计划项目(编号: 2011CB403007)资助。

收稿日期: 2013-04-24; 改回日期: 2013-07-19。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 王立成, 男, 1983 年生。助理研究员。主要从事蒸发岩沉积地质与矿床学研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999877。E-mail: wayne-wlc3@126.com。

世界上的大部分钾盐资源都形成于海相沉积环境。几乎所有巨型石盐和钾盐沉积层是巨量海水渗入封闭-半封闭凹陷后蒸发析出形成(Warren, 2010)。这些巨厚的蒸发岩建造的形成, 还有赖于构造与气候的特殊配合。从国外大型钾盐矿的形成背景来看, 海相钾盐的形成需要三大条件: 大型封闭盆地; 持续平衡的海水补给; 长期干旱-极端干旱的气候(刘成林等, 2010)。显生宙以来每次造山运动和洋盆的打开, 都伴有巨量盐类沉积(Warren, 2010), 这显示出构造运动是控制大多数蒸发岩分布的首要因素。地质历史中有两次大的石盐沉积时期, 一次是从二叠纪三叠纪之交到早侏罗世末期, 约有 40% 的显生宙的石盐沉积; 另一次就是在新元古代末期到早古生代期间(700—500 Ma)(Knauth, 2005), 前者与全球 Pangea 大陆的碰撞拼贴相关, 后者则与 Ronidia 超级大陆解体后的冈瓦纳大陆形成相关。同时, 这两个时期也蕴藏着丰富的钾盐资源(刘成林等, 2006; 刘成林, 2013)。

中国是由若干小陆块、微陆块和造山带拼合而成, 海相盆地规模较小, 同时古板块比较活动(郑绵平等, 2010), 这些特殊性和复杂性制约了海相钾盐勘探。因此, 对古板块发展演化、岩相古地理、古气候等条件的研究对于中国古陆块的进一步海相找钾显得尤为重要。华南地块主要发育晚震旦世、早—中寒武世和早—中三叠世三个时期的蒸发岩(郑绵平等, 2010, 2012)。但由于晚震旦世—寒武纪石盐层埋藏较深, 多在 3000~4000 m 以下, 找钾难度大, 宜开展预研究, 积累找钾资料(郑绵平等, 2006)。本文根据新近发表的资料, 分析了华南地块震旦纪晚期—早寒武世华南地块的古大陆位置、古气候和古海水化学特征, 进而通过蒸发岩的沉积特征与巴基斯坦盐岭含钾蒸发岩进行对比, 探讨其成钾条件。

1 震旦纪晚期—早寒武世华南地块的古大陆位置恢复

扬子(Yangtze Block)和华夏地块(Cathaysia Block)经过 Rodinia 超级大陆聚合形成了华南地块(South China Block, SCB)(Zhao et al., 2011)。按照国际文献的惯例, 称聚合后的地块为 SCB。

新元古代—早古生代 SCB 的位置一直存有争议(Li et al., 1995, 2002; Yang et al., 2004; Yu et al., 2008; Wu et al., 2010; Duan et al., 2011, 2012), 争议的焦点主要是该时期 SCB 是位于澳大利亚大陆西侧, 作为冈瓦纳大陆的一部分还是在澳大利亚大陆东侧

的一个分离的块体。

1.1 古地磁研究

Li 等(1995, 2002)提出 SCB 可能是澳大利亚和劳伦大陆之间的孤立块体, 将其置于澳大利亚东部和劳伦大陆西北之间。Zhang 等(1997)建议早古生代 SCB 应在澳大利亚西北部。Evans 等(2000)根据三峡地区新元古代莲沱组沉积物的古地磁研究, 提出了新的高质量 Z1 古地磁极(750 Ma), 并认为 Li 等(1995)和 Zhang 等(1997)提出的重建对于 750 Ma 的古地理都是无效的。Huang 等(2000a)通过古地磁数据的总结, 推断在早寒武世, 华北、华南和塔里木均邻近于东冈瓦纳的南半球低纬地区。Macouin 等(2004)通过晚新生代南沱冰碛岩和上覆的陡山沱组碳酸盐的古地磁和同位素研究表明, SCB 位于邻近澳大利亚西部, 是冈瓦纳大陆的一部分。同样地, Yang 等(2004)对扬子地块西北四川盆地中寒武世沉积物的古地磁研究, 获得的高质量数据也建议将 SCB 置于澳大利亚西北部。造成长期以来这种争议的主要原因在于, 缺少高质量古地磁数据, 目前在 SCB 仅获得 3 个高质量的古地磁极(Evans et al., 2000; Huang et al., 2000b; Yang et al., 2004), 因此需要在 SCB 中获得更加可靠的高质量的古地磁数据, 特别是 700—500 Ma 之间的古地磁数据(Evans et al., 2000)。

1.2 碎屑锆石证据

近年来, 不少学者利用碎屑锆石年龄和 Lu-Hf 同位素体系进行物源区的精确对比来约束 SCB 的位置, 但仍有分歧。Wu 等(2010)通过武夷山褶皱带新元古代末期—奥陶纪地层碎屑锆石分析, 认为 SCB 有明显的劳伦大陆亲缘性而不是冈瓦纳大陆。不过多数学者支持 SCB 的冈瓦纳大陆亲缘性。Yu 等(2008)通过对华夏地块新元古代晚期碎屑锆石的 U-Pb 年龄和 Lu-Hf 同位素研究, 认为 SCB 在新元古代晚期与东印度—东南极洲相连, 而不是在澳大利亚东部和西劳伦大陆之间。Wang 等(2010)的碎屑锆石研究也表明华夏地块是东冈瓦纳大陆北缘的一部分。Hofmann 等(2011)通过对比 SCB 和印度小喜马拉雅新元古代末期砂岩碎屑锆石年龄组成, 认为两个地块在新元古代经历了至少一次同时的地壳生长, 并且两者的被动陆缘均有同样的物源, 因此表明了印度和 SCB 是彼此靠近的。Duan 等(2011, 2012)通过对志留统石英砂岩碎屑锆石和 Hf 同位素研究, 也同样表明在东冈瓦纳大陆聚合期间, SCB 应该是作为东冈瓦纳大陆的一部分, 与印度北部和澳大利

亚西部相连。

1.3 沉积学证据

震旦纪晚期—寒武纪早期，西至波斯湾，经伊朗、阿曼至印度、巴基斯坦，存在着一个巨型的含盐盆地(吴必豪，1995)，而这些含盐盆地的形成与冈瓦纳大陆的裂离作用相关。Banerjee 等(1999)指出，通过 SCB 与小喜马拉雅、Rajasthan 西部、伊朗和阿拉伯部分地区岩石组合相似性的对比，可以用来约束新元古代晚期的古地理重建。Nie(1991)通过气候敏感沉积物的分布研究，并结合古地磁和生物古地理分析，认为 SCB 在早古生代是东冈瓦纳大陆的一部分。McKerrow 等(1992)利用磷块岩和蒸发岩的分布，将 SCB 置于邻近印度—伊朗—阿拉伯大陆的位置。Jiang 等(2003)通过小喜马拉雅和华南地块的震旦纪晚期(590—543 Ma)的地层对比发现在震旦纪晚期，SCB 已经位于临近印度大陆西北的位置。

表 1 列出了中东伊拉克、阿拉伯湾、阿曼、伊朗到印度、巴基斯坦和四川长宁震旦纪晚期—早寒武世地层沉积特征对比。该时期地层均为一套被动大陆边缘典型的浅海环境的碳酸盐岩-蒸发岩沉积组合。印度 Rajasthan 西部的 Nagaur-Ganganagar 盆地广泛发育 Hanseran 蒸发岩群，厚达 652 m 的蒸发岩层由 7 个蒸发岩旋回组成，每个旋回含有硬石膏、石盐、杂卤石以及钾石盐等(Mazumdar et al., 2006)。

波斯湾的很多盆地也有新元古代末期—早寒武世的蒸发岩沉积 Hormuz 盐组及其对应地层，其中尤以阿曼该时期的蒸发岩沉积最为著名。阿曼 Huqf 群 Ara 组蒸发岩只在钻孔发现，由两个序列组成，下部为蒸发岩序列，由厚层的石盐及伴生的硬石膏、页岩、粉砂岩和薄层碳酸盐岩组成；上部为白云岩和灰岩夹硬石膏的碳酸盐序列(Gorin et al., 1982)。而在伊朗，Hormuz 盐组变为含石膏的白云岩、灰岩、燧石和粉砂质页岩(Alsharhan et al., 1997)。进一步通过蒸发岩沉积对比，可以发现阿曼—印度—巴基斯坦—长宁地区的蒸发岩具有相似性，出现较一致的蒸发岩矿物组合，如石膏、硬石膏、石盐，以及白云岩和灰岩，并且具有相似的蒸发沉积序列，即从白云岩—硬石膏—石盐—钾盐的序列(图 1)。这些海相蒸发岩沉积都是在新元古代晚期或是早寒武世早期，沿着冈瓦纳大陆北缘，在宽广的碳酸盐陆棚上彼此极其接近的裂谷地堑中形成(Peters et al., 1995)。因此，可以推断该时期 SCB 与印度、阿拉伯同处于位置相邻且构造背景一致的位置(图 2)。

1.4 其它研究

除了在大陆重建中常用的古地磁、碎屑锆石年龄和沉积学手段外，还有多位学者从其它角度进行了研究。颜丹平等(2002)发现扬子地块西缘出露的一系列变质杂岩为一套主体为与俯冲板块有关的岛弧型岩浆杂岩，形成时代为 726~864 Ma，并与印度

表 1 中东、印度和巴基斯坦与华南长宁地区震旦纪晚期—早寒武世地层
Table 1 Late Sinian-Early Cambrian stratigraphy of Middle East, India, Pakistan and South China

地区	地层		岩性	沉积环境
伊拉克南部和 阿拉伯湾	Hormuz 盐系		石盐、石膏、页岩、白云岩、灰岩以及火山碎屑岩	浅海-局限海
阿曼	Huqf 群	Ara 组	石盐、硬石膏和白云岩	局限海
		Buah 组	块状白云岩, 含蒸发岩和迭层石	潮间-潮上带
		Shuram 组	鲕粒灰岩、交错层理砂岩	浅海
		Khufai 组	沥青质白云岩, 迭层白云岩	泻湖
		Abu Mahara 组	薄层纹层状页岩、粉砂岩	浅海
伊朗	Bayandor 组		页岩	浅海-局限海
	Soltanieh 组		砂岩、页岩夹有硅质岩、迭层白云岩和灰岩, 夹有硬石膏	
	Barut 组		迭层白云岩、灰岩和页岩	
	Zaigun 组		砂岩、页岩和白云岩	
印度	Marwar 超群	Nagaur 群	粉砂岩和泥岩	浅海-潮坪
		Hanseran 蒸发岩群	白云岩、菱镁矿、硬石膏、石盐、杂卤石、粘土和钾石盐	
		Jodhpur 群	交错层理砂岩和页岩	
巴基斯坦	盐岭组		石盐、硬石膏、白云岩和粉砂岩、泥质灰岩以及钾盐镁矾、无水钾镁矾等钾盐	浅海-局限海
中国四川长宁	灯影组		白云岩、硬石膏、石盐、泥岩、砂岩、钙芒硝	浅海-局限海

注：中东地区资料据 Alsharhan et al., 1997；印度资料据 Mazumdar et al., 2006；巴基斯坦资料据 Jones, 1970；长宁资料据中国盐业总公司勘探队，1981。

西北的变质岩浆杂岩带具有完全一致的构造属性,显示了 SCB 亲冈瓦纳大陆的属性。Zheng(2004)获得了华南地块东北缘榴辉岩和花岗片麻岩锆石年龄 700~800 Ma, 并且锆石 $\delta^{18}\text{O}$ 较低, 对应于扬子北缘 Ronidia 裂解的双峰岩浆活动, 与印度、马达加斯加等完全一致性, 因此将 SCB 置于冈瓦纳东缘靠近印度的位置。

古生物亲缘性的研究也一直是古大陆重建的传统方法。Ediacaran 纪小壳动物群的出现是新元古代末期—早寒武世的重要事件, Steiner 等(2007)表明 SCB 早寒武世小壳生物化石大部分物种与塔里木有很强的相似性, 另外少部分物种与印度、伊朗具相似性。

1.5 古大陆位置

因此, 结合古地磁、碎屑锆石、沉积学以及古生物、同位素等证据, 尽管 SCB 的冈瓦纳或劳伦亲缘性之争还无定论, 但越来越多的研究者倾向于 SCB 的冈瓦纳大陆亲缘性。同时, 结合蒸发岩沉积对比, 本文认为在震旦纪晚期—早寒武世早期, 华南地块是冈瓦纳大陆的一部分, 很可能位于印度大陆的西北部(图 2)。

2 华南地块震旦纪晚期—早寒武世灯影组蒸发岩沉积特征

2.1 蒸发岩沉积分布

尽管习惯上将华南地块灯影组归于晚震旦世, 但根据李勇(2002)的最新资料, 灯影组是一个穿时地层单位, 其上部可以至早寒武世早期, 因此本文将华南地区的灯影组碳酸盐岩-蒸发岩沉积归于震旦纪晚期—早寒武世早期。这时期的蒸发岩主要见于上扬子。云南省地质矿产局(1990, 1996)报道在滇东灯影组下部见石盐假晶。据吴必豪(1995)研究, 四川长宁灯影组盐盆约 20000 km², 目前在宁 1 井和宁 2 井震旦系灯影组下部见石盐矿, 其中长宁 1 井见 6 层石盐, 厚 39.5 m, 长宁 2 井见 52 m 厚的钙芒硝层以及厚达 240 m 的石盐层(魏东岩, 1999)。另外在湖北宜都、枝城灯影组也见有石膏和钙芒硝产出(郑绵平等, 2006)。

2.2 蒸发岩沉积特征

由于仅有长宁 2 井进行了岩屑录井和部分取芯, 我们对整个灯影组蒸发岩沉积的了解目前也局限在长宁 2 井。灯影组含盐系厚约 460 m, 自下而上依次为碳酸盐岩、硬石膏岩、石盐岩、硬石膏岩、碳酸盐岩, 构成一个完整的海相蒸发岩沉积旋回, 即由海水不断蒸发咸化的碳酸盐—硫酸盐—氯化物阶段,

万方数据

到咸化后的淡化氯化物—硫酸盐—碳酸盐阶段(吴必豪, 1995), 蒸发矿物组合包括白云石、硬石膏、钙芒硝和石盐, 并见脆钾铁矾, 整体以碳酸盐岩为主, 仅存在 2~3 个由白云岩-石盐的旋回, 厚度较小(图 1), 属于灯影组一段沉积。前人资料显示, 石盐均为

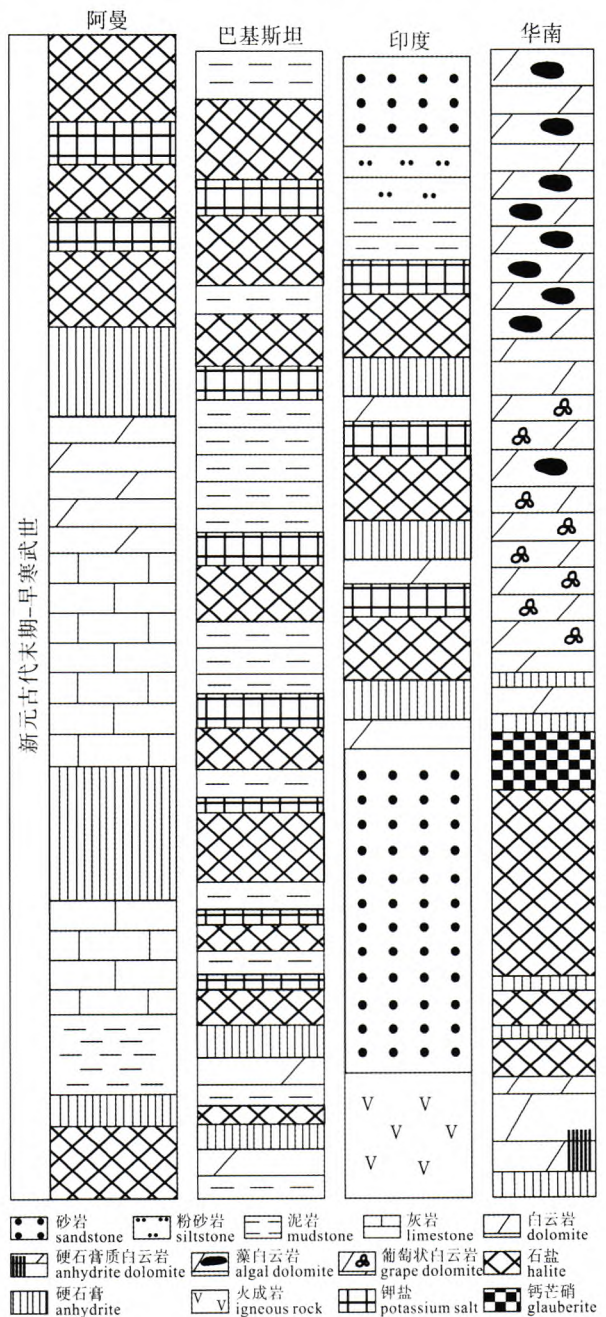


图 1 阿曼—巴基斯坦—印度—华南长宁震旦纪晚期—早寒武世蒸发岩柱状图 (阿曼资料据 Alsharhan et al., 1997; 印度资料据 Mazumdar et al., 2006; 巴基斯坦资料据 Jones, 1970; 华南长宁资料据中国盐业总公司勘探队, 1981)

Fig. 1 Lithostratigraphic columns of Oman, Pakistan, India and Changning of South China in the Late Sinian–Early Cambrian period (Oman data after Alsharhan et al., 1997; India data after Mazumdar et al., 2006; Pakistan data after Jones, 1970; Changning of South China data after Geological Survey Party of China Salt Corporation, 1981)

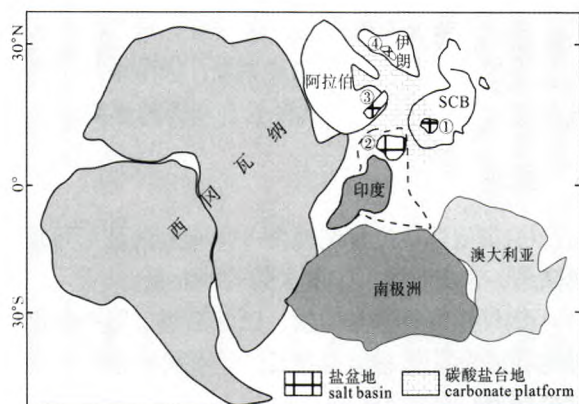


图2 冈瓦纳大陆中华南地块位置复原
(冈瓦纳大陆底图修改自 Van der Voo, 1993; 华南地块位置参考 Jiang et al., 2003; Duan et al., 2011)

Fig. 2 Position of South China Block in the Gondwanaland configuration (Gondwana map modified after Van der Voo, 1993; the position of SCB modified after Jiang et al., 2003; Duan et al., 2011)

①-四川长宁盐盆; ②-印度—巴基斯坦盐盆;

③-阿曼盐盆; ④-伊朗盐盆

①-Changning salt basin; ②-India-Pakistan salt basin;

③-Oman salt basin; ④-Iran salt basin

无色透明, 结晶粗大, 最大单晶达 10 cm 以上(中国盐业总公司勘探队, 1981)。

3 岩相古地理、古气候与古海水化学特征

3.1 岩相古地理

晚震旦世陡山沱组沉积时期, 受莲沱组“雪球地球”冰川融化影响, 全球海平面普遍上升, 发生广泛海侵(万天丰, 2004)。同时, 本区的裂谷断陷发育阶段也结束, 开始了拗陷期碳酸盐台地的发育(Wang et al., 2003)。尽管全球海平面处于上升时期, 但在局部地区相对海平面显示出变浅的趋势, 如贵州地区(梅冥相等, 2006)。而到了灯影组晚期, 扬子区开始了广泛的海侵(梅冥相等, 2006), 进入早寒武世筇竹寺期, 由于持续的拉张裂陷作用, 导致了海平面的最大上升, 灯影组碳酸盐台地被陆源黑色页岩所覆盖(水井沱组)(汪建国等, 2007)。灯影组沉积时期, 在上扬子地区广泛发育碳酸盐台地, 其中在台地中部的珙县、威信等地为萨布哈相, 在长宁发育白云岩、含膏白云岩、石盐岩、硬石膏岩等; 另外还发育有台地浅滩鲕粒白云岩、泻湖相薄层白云岩、粉砂质页岩等(马永生等, 2010)。

3.2 古纬度与古气候

早期的古气候和古地磁研究表明, SCB 在早寒武世位于北纬 20°—30° 之间(Nie, 1991)。Meert 等(2008)的古地理重建表明 SCB 位于东冈瓦纳大陆北缘, 处于北纬 15°—35° 的位置。Macouin 等(2004)

通过晚新元古代南沱冰碛岩和上覆的陡山沱组碳酸盐的古地磁和同位素研究表明, 在 600 Ma 左右, SCB 位于赤道以南, 古纬度 $3^{\circ} \pm 4.5^{\circ}$ 。Yang 等(2004)的古地磁研究表明, SCB 位于赤道以北, 古纬度 20°。前已述及, Yang 等(2004)的古地磁极是目前 SCB 仅有的三个高质量古地磁极之一, 因此予以采信。

古温度的定量重建一般是基于同位素方法。Knauth(2005)通过氧同位素重建了前寒武纪大洋的温度历史, 表明从太古代到新元古代大洋温度经历了由 70℃到 30℃左右的降低。Robert 等(2006)通过硅质岩的硅同位素研究恢复了前寒武纪大洋的古温度曲线, 表明在新元古代末期, 古海水温度在 30℃左右, 最高达 40℃。利用石盐包裹体进行古温度重建也获得了较为一致的认识。Meng 等(2011)研究了长宁二井盐的原生流体包裹体, 获得了最大的均一温度为 $39.4 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 主要为 20~25℃。

结合古纬度和古温度来看, 灯影组沉积时期 SCB 位于典型的副热带高压带内, 温度较高, 最高温度达 40°, 形成了巨厚的盐类沉积, 因此利于海水的进一步蒸发浓缩, 形成钾盐矿物。

3.3 古海水化学特征

古大洋海水的化学成分在新元古代以来并不是一成不变(Lowenstein et al., 2001)。海水成分演化控制着海相钾盐的形成与演化(孟凡巍等, 2012)。一般而言, 海水中钙离子相对硫酸根离子高的“方解石海”时期, 海水蒸发形成石盐和钾石盐; 钙离子相对硫酸根离子低的“文石海”时期, 海水蒸发形成石盐和泻利盐。Kovalevych 等(2006)通过盐岭地区新元古代末期盐岭组中重结晶石盐的流体包裹体分析表明, 在 650 Ma 海水富硫酸根, 而在 530 Ma, 海水又恢复到富钙。因此, 在盐岭组沉积时期(有钾石盐和钾盐镁矾矿物), 古海水中钙离子相对较高。同样地, SCB 灯影组时期的古海水也利于钾盐形成。

4 华南地块震旦纪晚期—早寒武世成钾条件

4.1 与巴基斯坦盐岭组含钾蒸发岩的对比

巴基斯坦含钾蒸发岩主要分布在巴基斯坦西部 Rawalpindi 省盐岭地区的东部, 含钾盐系称为盐岭组, 由于缺乏特征性的生物化石, 其时代尚不能确定, 因其在寒武系之下通常认为是寒武纪底部(Infracambrian), 如 Wensink(1972), Klootwijk 等(1986)和 Khan 等(1986), 包括新元古代晚期到早寒武世早期。盐岭组为一套无色-灰白色, 粉色和红色的岩盐夹少量的褐色页岩、粉砂岩和白色-灰色硬石

膏和白云岩;另外在盐岭组上部的白云岩和岩盐夹层中有 3~5 m 厚的凝灰岩和粗面熔岩;代表了典型的正常海相蒸发岩序列(Jones, 1970)。盐岭组是一个以蒸发岩开始,继而以非海相-海相沉积交互,最后转为次生蒸发岩相的沉积序列(Kovalevych et al., 2006)。该组总厚度在地下超过 2000 m(Gorin et al., 1982)。

上扬子盆地在震旦纪晚期一早寒武世是冈瓦纳大陆北缘的被动大陆边缘盆地,由于在海岸带和浅海环境持续的海水蒸发,形成了灯影组的蒸发岩沉积;盐岭地区盐岭组的蒸发岩沉积也是在寒武纪前后,印度北缘的被动大陆边缘盆地中局限浅海形成的。另外,如图 2 所示,从伊朗—阿曼—印度—长宁存在一个巨大的冈瓦纳大陆北缘的碳酸盐台地,从 Holmuz 盐系、Ara 组、Soltanieh 组到盐岭组和灯影组,都有厚层的碳酸盐岩沉积(表 1)。因此,二者具有完全一致的大地构造背景和沉积环境。从沉积旋回来看,盐岭组具有典型的海相蒸发岩序列,在石盐沉积之后形成钾盐,而长宁地区从仅有的一口取芯井来看,也发育白云岩—硬石膏—岩盐的序列,还未见钾盐矿物;并且盐岭组具多个成钾旋回,而长宁地区从钻获地层来看,厚层石盐沉积后却出现钙芒硝沉积(图 1)。

4.2 成钾条件分析

一般而言,成钾的有利构造环境是克拉通内的台地拗陷、被动大陆边缘、地堑带、裂谷-堑沟等(郑绵平等, 2010)。据统计,浅海、陆棚内拗陷背景的钾盐占世界资源总量的 64.90%;地堑、裂谷和海湾盆地的资源占 4.6%;稳定地台、台内拗陷的资源量占 29.31%(刘成林等, 2006)。华南地块灯影组沉积时期,尽管之前经历了 Rodinia 大陆拼贴、碰撞造山,构造活动较强烈,但都在其边缘,而台地内部处于相对稳定环境,属于典型的“构造亚稳定区的相对稳定区”,因而扬子地块内的小拗陷相对稳定,且属于冈瓦纳大陆北缘的被动大陆边缘。据 Warren(2010)统计,地质历史上各时代的钾盐矿床都分布在南北纬 5°—30°带内。这主要是由于副热带高压内持续的蒸发形成的干旱-极端干旱条件。从华南地块古纬度来看,具有钾盐形成的古气候条件。另外,巨量盐类的沉积都与大陆的拼合-离散相对应(Warren, 2010)。如前所述,华南地块灯影组盐类沉积即是冈瓦纳大陆聚合裂解背景之下形成。另外,华南地块在灯影组沉积时期位于印度大陆西北缘,并且在中东—印度—华南的大型碳酸盐台地中已经发现了众多钾盐盆地,可以推测华南地块的盐盆地也应具有成钾可

能。因此,综合大地构造、古气候、古地理和古海水化学特征等各个因素初步判断,华南地块上扬子地区震旦纪晚期一早寒武世具有成钾的必要条件。

5 结论

(1)华南地块震旦纪晚期一早寒武世是东冈瓦纳大陆的一部分,位于印度大陆的西北缘。

(2)灯影组具有与印度、巴基斯坦、阿曼和伊朗等地同时期沉积相似的特征,并形成一个巨大的碳酸盐台地。

(3)灯影组和盐岭组均为冈瓦纳大陆北缘被动大陆边缘盆地的沉积,形成的蒸发岩具有相似的沉积序列和形成条件。

(4)华南地块灯影组具有成钾的必要条件。

致谢: 本文写作过程中得到了中国科学院南京地质与古生物研究所的孟凡巍副研究员的鼓励和帮助;期刊编辑部对文章编排提供了大量的帮助。在此一并致谢!

参考文献:

- 李勇. 2002. 上扬子区晚震旦世地层古生物研究[D]. 西安: 西北大学.
- 刘成林, 焦鹏程, 王弼力. 2010. 盆地钾盐找矿模型探讨[J]. 矿产地质, 29(4): 581-592.
- 刘成林, 王弼力, 焦鹏程, 陈永志. 2006. 世界主要古代钾盐找矿实践与中国找钾对策[J]. 化工矿产地质, 28(1): 1-8.
- 刘成林. 2013. 大陆裂谷盆地钾盐矿床特征与成矿作用[J]. 地球学报, 34(5): 515-527.
- 马永生, 陈洪德, 王国力. 2010. 中国南方层序地层与古地理[M]. 北京: 科学出版社.
- 梅冥相, 周鹏, 张海, 陈永红, 聂瑞贞. 2006. 上扬子区震旦系层序地层格架及其形成的古地理背景[J]. 古地理学报, 8(2): 219-231.
- 孟凡巍, 刘成林, 倪培. 2012. 全球古海水化学演化与世界主要海相钾盐沉积关系暨中国海相成钾探讨[J]. 微体古生物学报, 29(1): 62-69.
- 万天丰. 2004. 中国大地构造学纲要[M]. 北京: 地质出版社: 64-68.
- 汪建国, 陈代钊, 王清晨, 严德天, 王卓卓. 2007. 中扬子地区晚震旦世-早寒武世转折期台-盆演化及烃源岩形成机理[J]. 地质学报, 81(8): 1102-1109.
- 魏东岩. 1999. 中国石盐矿产之分类[J]. 化工矿产地质, 21(4): 201-208.
- 吴必豪. 1995. 中国钾盐成矿条件与国外典型矿床的对比研究[R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所.
- 颜丹平, 周美夫, 宋鸿林, MALPAS J. 2002. 华南在 Rodinia 古陆中位置的讨论—扬子地块西缘变质-岩杂岩证据及其与 Seychelles 地块的对比[J]. 地学前缘, 9(4): 249-256.

云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社: 23-43.

云南省地质矿产局. 1996. 云南省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社: 60-61.

郑绵平, 齐文, 张永生. 2006. 中国钾盐地质资源现状与找钾方向初步分析[J]. 地质通报, 25(11): 1239-1246.

郑绵平, 袁鹤然, 张永生, 刘喜方, 陈文西, 李金锁. 2010. 中国钾盐区域分布于找钾远景[J]. 地质学报, 84(11): 1523-1553.

郑绵平, 张震, 张永生, 刘喜方, 尹宏伟. 2012. 我国钾盐找矿规律新认识和进展[J]. 地球学报, 33(3): 280-294.

中国盐业总公司勘探队. 1981. 中国主要盐矿矿区简况[R]. 北京: 中国盐业总公司.

References:

- ALSHARHAN A S, NAIRN A E M. 1997. Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East[M]. Amsterdam: Elsevier Science B.V.: 65-86.
- BANERJEE D M, MAZUMDAR A. 1999. On the Late Neoproterozoic-Early Cambrian transitions events in parts of east Gondwanaland[J]. Gondwana Research, 2(2): 199-211.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1996. Lithostratigraphy of Yunnan province[M]. Beijing: Geological Publishing House: 60-61(in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1990. Regional geology of Yunnan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House: 23-43(in Chinese with English Summary).
- DUAN Liang, MENG Qing-ren, ZHANG Cheng-li, LIU Xiao-ming. 2011. Tracing the position of the South China block in Gondwana: U-Pb ages and Hf isotopes of Devonian detrital zircons[J]. Gondwana Research, 19: 141-149.
- DUAN Liang, MENG Qing-ren, WU Guo-li, MA Shou-xian, LI Lin. 2012. Detrital zircon evidence for the linkage of the South China block with Gondwanaland in early Palaeozoic time[J]. Geological Magazine, 149(6): 1124-1131.
- EVANS D A D, LI Zheng-xiang, KIRSCHVINK J K, WINGATE M T D. 2000. A high-quality mid-Neoproterozoic paleomagnetic pole from South China, with implications for ice ages and the breakup configuration of Rodinia[J]. Precambrian Research, 100: 313-334.
- GORIN G E, RACZ L G, WALTER M R. 1982. Late Precambrian-Cambrian sediments of Huqf Group, Sultanate of Oman[J]. AAPG Bulletin, 66(12): 2609-2627.
- HOFMANN M, LINNEMANN U, RAI V, BECKER S, GÄRTNER A, SAGAWA A. 2011. The India and South China cratons at the margin of Rodinia-Synchronous Neoproterozoic magmatism revealed by LA-ICP-MS zircon analyses[J]. Lithos, 123: 176-187.
- HUANG Bao-chun, ZHU Ri-xiang, OTOFUJI Y, YANG Zhen-yu. 2000a. The Early Paleozoic paleogeography of North China block and other major blocks of China[J]. Chinese Science Bulletin, 45: 1057-1065.
- HUANG Kai-nian, OPDYKE N D, ZHU Ri-xiang. 2000b. Further paleomagnetic results from the Silurian of the Yangtze block and their implications[J]. Earth and Planetary Science Letters, 175: 191-202.
- JIANG Gan-qing, SOHL L E, CHRISTIE-BLICK N. 2003. Neoproterozoic stratigraphic comparison of the Lesser Himalaya (India) and Yangtze block (south China): Paleogeographic implications[J]. Geology, 31(10): 917-920.
- JONES C L. 1970. Potash in halitic evaporites, salt range, west Pakistan[C]// United States Department of the Interior, Geological survey research 1970, Chapter C. Washinton: United States government printing office, D140-145.
- KHAN M A, AHMED R, RAZA H, KEMAL A. 1986. Geology of petroleum in Kohat-Potwar depression, Pakistan[J]. AAPG Bulletin, 70(4): 396-414.
- KLOOTWIJK C T, NAZIRULLAH R, DE JONG K A. 1986. Palaeomagnetic constrains on formation of the Mianwali reentrant, Trans-Indus and western Salt Range, Pakistan[J]. Earth and Planetary Science Letters, 80: 394-414.
- KNAUTH L P. 2005. Temperature and salinity history of the Precambrian ocean: implications for the course of microbial evolution[J]. Palaeogeophy, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 219: 53-59.
- KOVALEVYCH V M, MARSHALL T, PERYT T M, PETRYCHENKO O Y, ZHUKOVA S A. 2006. Chemical composition of seawater in Neoproterozoic: results of fluid inclusion study of halite from Salt Range(Pakistan) and Amedeus Basin(Australia)[J]. Precambrian Research, 144: 39-51.
- LI Yong. 2002. Paleontology and stratigraphy of the Late Sinian the west Yangtze Platform[D]. Xi'an: Northwest University(in Chinese).
- LI Zheng-xiang, ZHANG Ling-hua, POWELL C M. 1995. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia-East Antarctica and Laurentia?[J]. Geology, 23: 407-410.
- LI Zheng-xiang, LI Xian-hua, ZHOU Han-wen, KINNY P D. 2002. Grenvillian continental collision in south China: new SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia[J]. Geology, 30: 163-166.
- LIU Cheng-lin, JIAO Peng-cheng, WANG Mi-li. 2010. A tentative discussion on exploration model for potash deposits in basins of China[J]. Mineral Deposits, 29(4): 581-592(in Chinese with English abstract).
- LIU Cheng-lin, WANG Mi-li, JIAO Peng-cheng, CHEN Yong-zhi. 2006. The exploration experiences of potash deposits in the world and probing of countermeasures of China's future potash-deposits investigation[J]. Geology of Chemical Minerals, 28(1): 1-8(in Chinese with English abstract).
- LIU Cheng-lin. 2013. Characteristics and Formation of Potash

- Deposits in Continental Rift Basins: A Review[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(5): 515-527(in Chinese with English abstract).
- LOWENSTEIN T K, TIMOFEEFF M N, BRENNAN S T, HARDIE L A, DEMICCO R V. 2001. Oscillations in Phanerozoic seawater chemistry: evidence from fluid inclusions[J]. *Science*, 294: 1086-1088.
- MA Yong-sheng, CHEN Hong-de, WANG Guo-li. 2010. Sequence stratigraphy and palaeogeography in South China[M]. Beijing: Science Press(in Chinese with English abstract).
- MACOUIIN M, BESSE J, ADER M, GILDER S, YANG Z, SUN Z, AGRINIER P. 2004. Combined paleomagnetic and isotopic data from the Doushantuo carbonates South China: implications for the "snowball Earth" hypothesis[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 224: 387-398.
- MAZUMDAR A, STRAUSS H. 2006. Sulfur and strontium isotopic compositions of carbonate and evaporite rocks from the late Neoproterozoic-early Cambrian Bilara Group (Nagaur-Ganganagar Basin, India): Constraints on intrabasinal correlation and global sulfur cycle[J]. *Precambrian Research*, 217-230.
- MCKERROW W S, SCOTese C R, BRASIER M D. 1992. Early Cambrian continental reconstructions[J]. *Journal of the Geological Society*, 149: 599-606.
- MEERT J G, LIEBERMAN B S. 2008. The Neoproterozoic assembly of Gondwana and its relationship to the Ediacaran-Cambrian radiation[J]. *Gondwana Research*, 14: 5-21.
- MEI Ming-xiang, ZHOU Peng, ZHANG Hai, CHEN Yong-hong, NIE Rui-zhen. 2006. Sequence stratigraphic framework and its palaeogeographical background for the Sinian of Upper Yangtze Region[J]. *Journal of Palaeogeography*, 8(2): 219-231(in Chinese with English abstract).
- MENG Fan-wei, NI Pei, SCHIFFBAUER J D, YUAN Xun-lai, ZHOU Chuan-ming, WANG Yi-gang, XIA Mao-long. 2011. Ediacaran seawater temperature: evidence from inclusions of Sinian halite[J]. *Precambrian Research*, 184: 63-69.
- MENG Fan-wei, LIU Cheng-lin, NI Pei. 2012. To forecast sylvite deposits using chemistry of fluid inclusions in halite[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 29(1): 62-69(in Chinese with English abstract).
- NIE Shang-you. 1991. Palaeoclimatic and paleomagnetic constraints on the Paleozoic reconstructions of south China, north China and Tarim[J]. *Tectonophysics*, 196: 279-308.
- PETERS K E, CLARK M E, DAS GUPTA U, MCCAFFREY M A, LEE C Y. 1995. Recognition of an infracambrian source rock based on biomarkers in the Baghewala-1 oil, India[J]. *AAPG Bulletin*, 79(10): 1481-1494.
- ROBERT F, CHAUSSIDON M. 2006. A palaeotemperature curve for the Precambrian oceans based on silicon isotopes in cherts[J]. *Nature*, 443: 969-972.
- STEINER M, LI G X, QIAN Y, ZHU M Y, ERDTMANN B D. 2007. Neoproterozoic to early Cambrian small shelly fossil assemblages and a revised biostratigraphic correlation of the Yangtze Platform (China)[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 254: 67-99.
- The Geological Survey Team of China Salt Corporation. 1981. Brief introduction of salt mines in China[R]. Beijing: China Salt Corporation(in Chinese).
- VAN DER VOO R. 1993. Paleomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus Oceans[M]. Cambridge: Cambridge University Press: 84-98.
- WAN Tian-feng. 2004. The tectonics of China[M]. Beijing: Geological Publishing House: 64-68(in Chinese).
- WANG Jian, LI Zheng-xiang. 2003. History of Neoproterozoic rift basins in South China: Implications for Rodinia break-up[J]. *Precambrian Research*, 122: 141-158.
- WANG Jian-guo, CHEN Dai-zhao, WANG Qing-chen, YAN De-tian, WANG Zhuo-zhuo. 2007. Platform evolution and marine source rock deposition during the terminal Sinian to Early Cambrian in the middle Yangtze Region[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(8): 1102-1109(in Chinese with English abstract).
- WANG Yue-jun, ZHANG Fei-fei, FAN Wei-ming, ZHANG Guo-wei, CHEN Shi-yue, CAWOOD P A, ZHANG Ai-mei. 2010. Tectonic setting of the South China Block in the early Paleozoic: resolving intracontinental and ocean closure models from detrital zircon U-Pb geochronology[J]. *Tectonics*, 29, TC6020, doi: 10.1029/2010TC002750.
- WARREN J K. 2010. Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits[J]. *Earth-Science Reviews*, 98: 217-268.
- WEI Dong-yan. 1999. Classification of China's halite deposits[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 21(4): 201-208(in Chinese with English abstract).
- WENSINK H. 1972. The paleomagnetism of the Salt Pseudomorph Beds of Middle Cambrian age from the Salt Range, West Pakistan[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 16(2): 189-194.
- WU Bi-hao. 1995. Potash-forming conditions in China and correlation with typical potash deposits in the world[M]. Beijing: Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- WU Long, JIA Dong, LI Hai-bing, DENG Fei, LI Yi-quan. 2010. Provenance of detrital zircons from the late Neoproterozoic to Ordovician sandstones of South China: implications for its continental affinity[J]. *Geological Magazine*, 47: 974-80.
- YAN Dan-ping, ZHOU Mei-fu, SONG Hong-lin, MALPAS J. 2002. Where was south China located in the reconstruction of Rodinia?[J]. *Earth Science Frontiers*, 9(4): 249-256(in Chinese with English abstract).
- YANG Zhen-yu, SUN Zhi-ming, YANG Tian-shui, PEI Jun-ling.

2004. A long connection (750-380Ma) between South China and Australia: paleomagnetic constrains[J]. Earth and Planetary Science Letters, 220: 423-434.
- YU Jin-hai, O'REILLY S Y, WANG Li-juan, GRIFFIN W L, ZHANG Ming, WANG Ru-cheng, JIANG Shao-yong, SHU Liang-shu. 2008. Where was South China in the Rodinia Supercontinent? Evidence from U-Pb geochronology and Hf isotopes of detrital zircons[J]. Precambrian Research, 164: 1-15.
- ZHANG Qi-rui, PIPER J D A. 1997. Paleomagnetic study of Neoproterozoic glacial rocks of the Yangtze Block: Paleolatitude and configuration of South China in the late Proterozoic Supercontinent[J]. Precambrian Research, 85: 173-199.
- ZHAO Jun-hong, ZHOU Mei-fu, YAN Dan-ping, ZHENG Jian-ping, LI Jian-wei. 2011. Reappraisal of the ages of Neoproterozoic strata in South China: No connection with the Grenvillian orogeny[J]. Geology, 39(4): 299-302.
- ZHENG Mian-ping, QI Wen, ZHANG Yong-sheng. 2006. Present situation of potash resources and direction of potash search in China[J]. Geological Bulletin of China, 25(11): 1239-1246(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mian-ping, YUAN He-ran, ZHANG Yong-sheng, LIU Xi-fang, CHEN Wen-xi, LI Jin-suo. 2010. Regional distribution and prospects of potash in China[J]. Acta Geologica Sinica, 84(11): 1523-1553(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Mian-ping, ZHANG Zhen, ZHANG Yong-sheng, LIU Xi-fang, YIN Hong-wei. 2012. Potash exploration characteristics in China: New understanding and research progress[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(3): 280-294(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Yong-fei. 2004. Position of South China in configuration of Neoproterozoic supercontinent[J]. Chinese Science Bulletin, 49(8): 751-753.

中国地质科学院召开 2012 年新华联科技奖 突出贡献奖颁奖会

2013 年 8 月 9 日，中国地质科学院 2012 年度新华联科技奖突出贡献奖颁奖会举行。新华联矿业公司总经理曾敏出席会议并讲话，中国地质科学院党委书记、副院长王小烈讲话，中国地质科学院常务副院长朱立新主持会议。

2012 年，新华联集团向中国地质科学院捐赠了 1000 万元设立科技奖励基金，专门奖励中国地质科学院对找矿突破和地质科技发展做出重要贡献的优秀科技人员。中国地质科学院新华联科技奖设立杰出成就奖和突出贡献奖两个奖项，杰出成就奖每年奖励 5 人，突出贡献奖每年奖励 10 人。按照《中国地质科学院新华联科技奖励条例》，中国地质科学院成立了科学技术委员会，每年评选一次年度杰出成就奖和突出贡献奖。

第二届新华联科技奖突出贡献奖获奖者名单：吴珍汉，金小赤，刘成林，聂凤军，张岳桥，王贵玲，王学求，雷明堂，王晓红。

王小烈希望各位科学家戒骄戒躁，继续拼搏，不断创新，勇攀高峰，为经济社会发展做出更大贡献。

曾敏表示，此项机制在取得企业经济发展的同时，能够充分激发科技工作者的工作热情，推动科技成果转化、理论技术方法创新与推广应用，助力地质找矿事业。

测试中心获奖者王晓红将奖金捐献给了程裕淇基金会。

本刊编辑部 采编