

寒武系盐盆地的分布特征及其对中国成盐找钾的意义

王淑丽, 郑绵平

中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037

摘要 寒武系膏盐岩在世界范围内广泛分布, 以亚洲寒武系分布最为广泛, 含盐岩系主要分布在俄罗斯东西伯利亚、伊朗—印度—巴基斯坦—阿曼和中国。东西伯利亚、伊朗—印度—巴基斯坦均有钾盐发现。构造基底性质对钾盐盆地的形成具有关键性控制作用: 稳定构造区在准稳定区有利聚钾; 准稳定区在局部稳定构造区利于聚盐成钾, 如形成于早寒武世的涅帕钾盐矿床——世界上大型钾盐矿之一, 即位于前寒武纪地层为基底的古拗陷区。中国主要的古代盐盆地多发育于以前寒武纪为基底的准克拉通(陆块)中。近年来, 随着油气勘查和盐业开发工作, 中国上扬子陆块、华北陆块和塔里木陆块相继发现了4个大型的膏盐岩盆地。上扬子陆块与塔里木陆块发现单层厚度较大的岩盐沉积及较好的成钾水化学显示, 为在中国寒武系蒸发岩盆地开展成盐找钾工作提供了重要依据。

关键词 寒武系; 盐盆地; 分布特征; 找钾意义

中图分类号 P612

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.04.002

Distribution of Cambrian Salt Basin and Its Significance for Halite and Potash Explorations in China

WANG Shuli, ZHENG Mianping

MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

Abstract The wide distribution of the Cambrian rock gypsum and salt is an important feature of older strata in Asia. The Cambrian salt-bearing sequences are mainly distributed in East Siberia of Russia, Iran, Oman, India, Pakistan, and China. Potash salts are also found in East Siberia, Iran, India, and Pakistan. The nature of the tectonic basement is a key controlling factor for the formation of potash basins. The stable tectonic region is favorable for the potash concentration in a quasi-stable region, and the quasi-stability is favorable for the salt concentration and the potash formation in a local stable tectonic region. For example, one of the largest potash deposits in the world—the Siberian Nepa potash deposit was formed in the Early Cambrian in the palae-depression of Precambrian strata. China's major ancient saline basins are in quasi-cratons (continental block) with the Precambrian basement. In China, only one solid potash deposit in Yunnan can be exploited. However, there are a number of marine evaporite basins, so the study of marine evaporite basins is an important way to solve the problem of serious shortages of potash in China. In recent years, with the exploration of oil and natural gas and the development of the salt industry in China, the drilling has uncovered extensive gypsum and salt deposits in Cambrian strata. Four large marine evaporite basins were found in China. In this paper, through the lithofacies-paleogeographic analysis and the potash geological survey, extensive thick rock salt deposits are found in the Yangtze block and the Tarim block, where good and pronounced anomalies of high Br/Cl and K/Cl coefficients were identified. The Chengkou-Wuxi area of the Yangtze and the Tazhong area of the Tarim block are important areas for potash explorations in the Cambrian, and merit a further study. They provide some important information for carrying out the halite and potash explorations in Cambrian evaporite basins in China.

Keywords Cambrian; evaporite basin; distribution characteristics; significance for potash finding

收稿日期: 2012-11-21; 修回日期: 2012-12-06

基金项目: 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室开放基金项目(ZS1113); 中国地质调查局项目(1212010011810)

作者简介: 王淑丽, 博士研究生, 研究方向为盐湖学与盐类矿床学, 电子信箱: wangshuli77@126.com; 郑绵平(通信作者), 中国工程院院士, 研究方向为盐湖学与盐类地质矿床, 电子信箱: zhengmp2010@126.com

0 引言

钾盐是海水或湖水蒸发到末期的沉积矿产。在蒸发沉积过程中,首先析出的是溶解度较低的碳酸岩类矿物(灰岩、白云岩),其次是硫酸岩(石膏、硬石膏),最后是高溶解度的氯化物,如石盐、钾镁盐等,且钾盐是氯化物沉积阶段的后期产物。以海相蒸发沉积矿床为例,在海水蒸发至 12%~13% 时开始沉积石膏,当海水蒸发至 27.5% 后,开始大量沉积石盐,最后在海水蒸发到 33% 以后才沉积高溶解度的钾盐^[1]。所以钾盐沉积必须要有一个持续蒸发的干旱气候条件。因此,通常钾盐矿床沉积于厚层岩盐之上,钾盐沉积的体积只有石盐体积的十分之几至几十分之一。在有利的构造条件下,如大陆被动边缘、地堑带、裂谷—堑沟、克拉通内的台地拗陷等,在盐盆地的局部洼地中大量富集成钾^[2-3]。

世界上大型的钾盐矿床主要存在于古代海相蒸发岩盆地中,在中国仅有云南一处固体钾盐矿可用于开发。但是,中国存在若干海相蒸发岩盆地,所以从海相蒸发岩盆地着手,是解决国内钾盐严重短缺的重要途径。

1 寒武系膏盐岩分布特征

1.1 寒武系成盐成钾的“亚洲现象”

寒武系膏盐岩分布广泛,在世界范围内都有分布(图 1,引自文献[4],补充了中国的石膏与石盐分布),尤其在亚洲,具有厚大的石盐沉积,甚至是钾盐沉积。与其他大陆成盐强度相比,亚洲寒武系的成盐作用强度大,并有大规模的石盐和巨型钾盐聚集,故称之为“亚洲现象”(表 1)。寒武纪含盐岩系主要分布在俄罗斯东西伯利亚、伊朗—阿曼—印度—巴基

斯坦和中国。早寒武世成钾的俄罗斯涅帕钾盐矿床是世界上超大型钾盐矿床之一,印度—伊朗—巴基斯坦在始寒武世也有钾盐发现^[4-11]。

1.2 寒武系膏盐岩分布区的古纬度、古气候条件

钾盐矿床多形成于低纬度干旱、半干旱气候带^[36-38]。根据晚新元古代—早寒武世岩石 C、S、Sr 同位素地球化学表明,印度半岛、喜马拉雅山脉、中国南部、伊朗和阿曼的部分地区有着相同的地球化学记录^[39,40]。结合古生物与古地磁资料^[37,41,42],说明在寒武纪时期东西伯利亚、印度—伊朗—阿曼—巴基斯坦和中国的膏盐岩分布区均位于低纬度的干旱气候带^[22,39,43-49](图 2^[41])。据统计,中国上扬子陆块、华北陆块和塔里木陆块在寒武纪时古纬度位于赤道附近的中低纬度带^[44,50-53],气候炎热干燥,有利于盐类沉积。

1.3 构造基底对蒸发岩沉积的控制

构造基底性质对钾盐盆地的形成具有关键性控制作用:稳定构造区在准稳定区有利聚钾;准稳定在局部稳定构造区利于聚盐成钾^[54]。如著名的加拿大萨斯卡彻温中泥盆世钾盐盆地,发育于地盾和地槽之间的地台区,是最稳定的地盾南侧的亚稳定构造区;又如俄罗斯涅帕钾盐矿床,产于前寒武纪地层为基底的古拗陷区^[55]。同国外绝大多数古代海相钾盐盆地一样,中国主要的古代盐盆地多位于“准克拉通(陆块)”,特别是海相盐盆地均发育于前寒武纪为基底的陆块中^[56](图 3,基底构造图据文献[56],膏盐岩为本文新增)。

在中国三大陆块区(上扬子陆块、华北地地、塔里木陆块)均有蒸发岩发育,华北陆块蒸发岩发育最早,始于太古代;上扬子陆块从震旦系灯影组普遍发育膏盐岩;塔里木陆

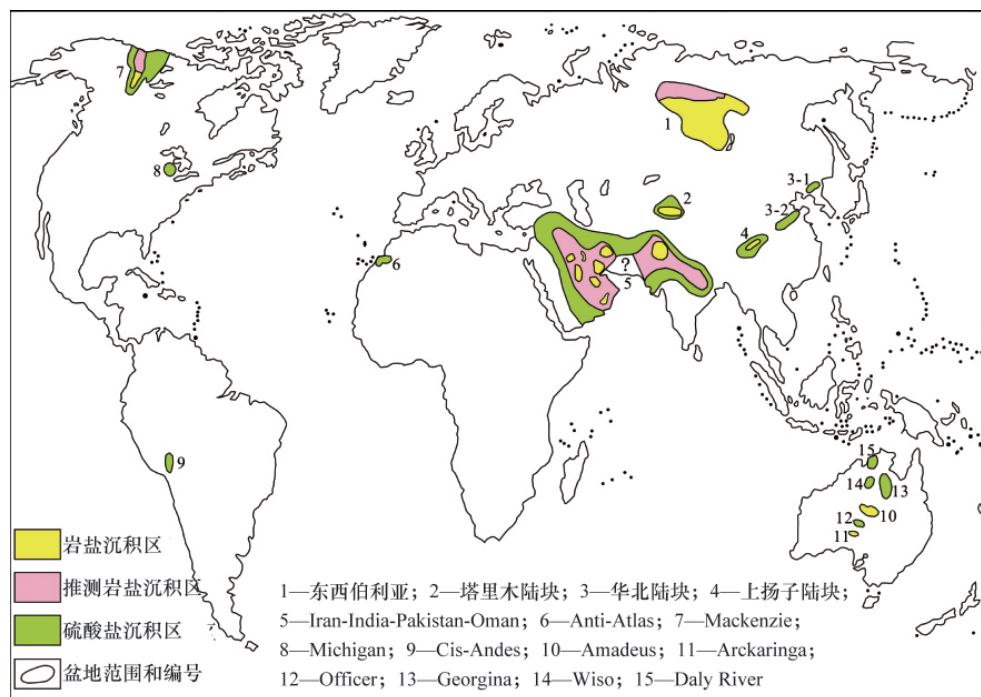


图 1 世界寒武纪蒸发岩分布
 Fig. 1 Distribution of Cambrian evaporite deposits

表 1 亚洲寒武纪含膏盐岩地层对比表
Table 1 Comparison chart of gypsum-halite strata in Cambrian in Asia

时代与岩性	中国			俄罗斯	印度	伊朗	巴基斯坦	阿曼	
	上扬子陆块 (厚度以重庆地区为例)	塔里木陆块 (厚度以巴楚隆起区为例)	华北陆块(厚度以河南为例)	东西伯利亚 (厚度以Irkustk-Baikit为例)	拉贾斯坦	霍尔木兹	盐岭	厚度以阿曼南部盆地为例	
上覆地层	上寒武统(C ₃)	上寒武统(C ₃)	上寒武统(C ₃)	上寒武统(C ₃)	二叠—石炭系(P—C)	上寒武统(C ₃)	上寒武统(C ₃)	上寒武统(C ₃)	
中寒武统(C ₂)	覃家庙组 (~1300m): 岩盐, 石膏, 卤水, 白云岩, 灰岩, 砂岩	阿瓦塔格组 (~300m): 岩盐, 石膏, 白云岩, 灰岩	张夏组(50~280m): 灰岩, 页岩, 砂岩	Litvintsevo 组 (120m): 岩盐, 白云岩	上碳酸岩组: 碳酸岩	Soltanieh 群: 白云岩, 页岩, 砂泥岩, 砂岩	Baghanwala 组: 石盐假晶, 页岩	Mahatta Humaid 群: 砂岩	
		沙依里克组 (~260m): 岩盐, 石膏, 白云岩, 灰岩, 砂岩	徐庄组(25~200m): 灰岩, 页岩, 砂岩				Nagaur 群 (75~500m): 砂泥岩, 砂岩, 泥岩		Jutana 组: 白云岩, 砂岩
			毛庄组(110~160m): 灰岩, 页岩, 砂岩						Kussak 组: 页岩
下寒武统(C ₁)	清虚洞组 (~800m): 岩盐, 石膏, 白云岩, 灰岩, 砂岩	吾松格尔组 (~70m): 石膏, 白云岩, 灰岩	馒头组(46~149m): 石膏, 石盐假晶, 白云岩	Angarskaya 组 (400~800m): 钾石盐, 光卤石, 岩盐, 硬石膏, 白云岩	Hanseran 蒸发岩群 (100~150m): 钾石盐, 光卤石, 岩盐, 硬石膏, 白云岩	Hormuz 组(900~2000m): 钾石盐, 光卤石, 岩盐, 硬石膏, 白云岩, 页岩, 砂泥岩, 砂岩	Khewra 组: 砂岩	Nimr 群: 砂岩	
	金顶山组 (~500m): 白云岩, 灰岩, 砂岩		朱砂洞组(36~293m): 石膏, 白云岩, 灰岩, 砂岩	Bulaiskaya 组 (50m): 白云岩					Bilara 群 (100~600m): 白云岩, 灰岩, 泥岩
				Bel'skaya 组 (450m): 岩盐, 硬石膏, 白云岩, 砂岩					
				明心寺组 (~600m): 白云岩, 灰岩, 砂岩	肖尔布拉克组 (180m): 岩盐, 石膏, 白云岩				
	牛蹄塘组 (~150m): 白云岩, 灰岩		玉尔吐斯组(50m): 白云岩	辛集组(14~68m): 白云岩, 灰岩, 砂岩	Usol'skaya 组 (680m): 钾石盐, 岩盐, 白云岩				Danilovo 组: 白云岩
震旦系(Z): 岩盐, 石膏, 白云岩, 灰岩, 砂岩	震旦系(Z)	震旦系(Z)	前寒武系(Danilovo 组下部)	新元古代: malani 侵入岩套	埃迪卡拉(Hormuz 组): 石盐, 硬石膏, 白云岩	Salt Range 组: 岩盐, 石膏, 白云岩, 泥岩, 砂岩	埃迪卡拉(Ara 群, A ₀ ~A ₃ : 20~100): 岩盐, 硬石膏, 白云岩		
参考文献	[12],[13]	[14]	[15]	[16]~[19]	[5],[20]~[23]	[6],[24]~[26]	[18],[27]~[30]	[10],[21],[31]~[35]	

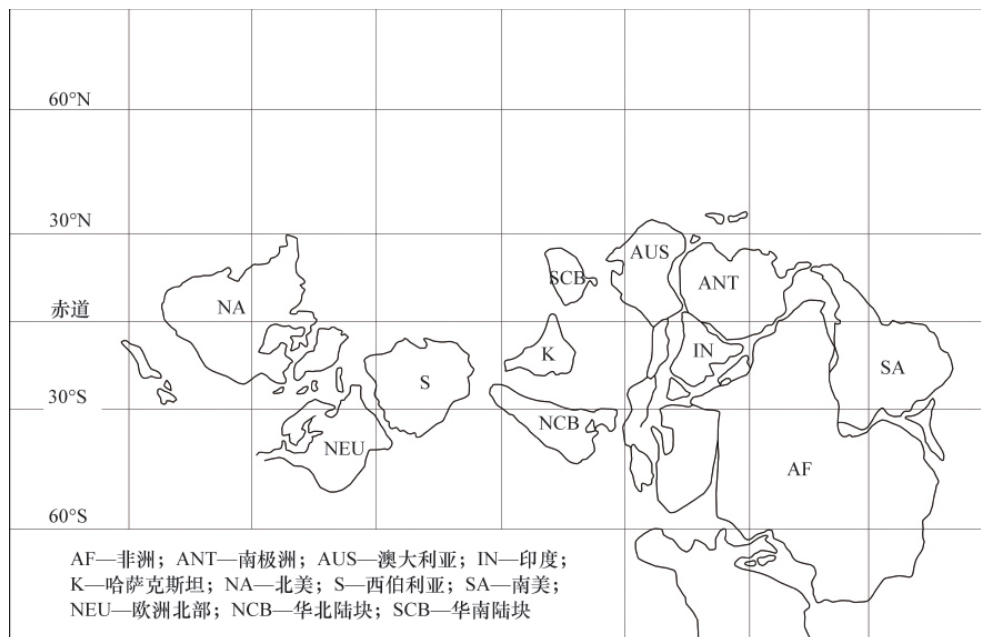


图2 早中寒武世世界地图

Fig. 2 The world map of Early to Middle Cambrian

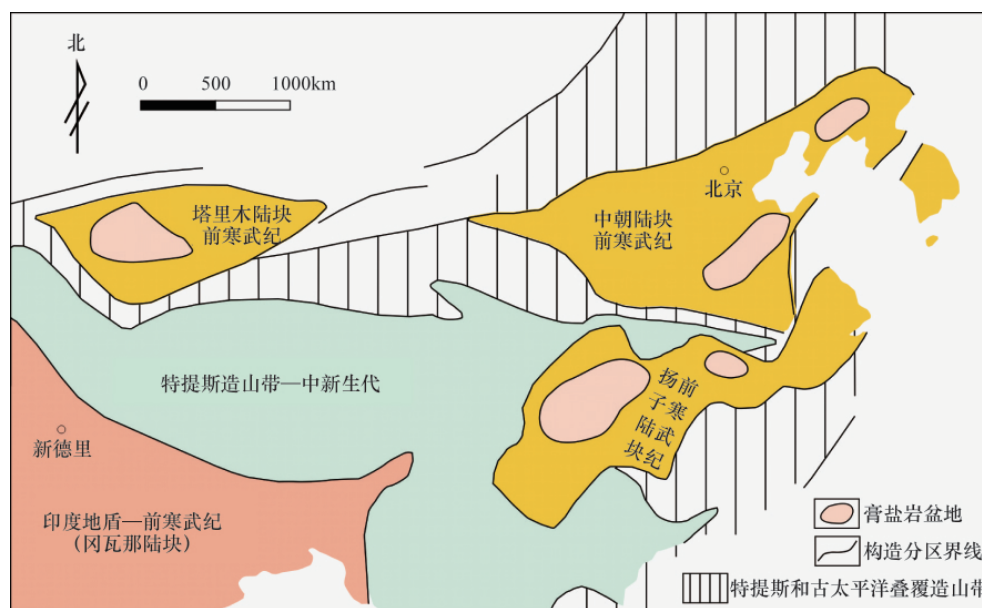


图3 中国膏盐岩盆地及其基底构造

Fig. 3 The evaporite basin in China and its basement structure

块自早寒武世发育膏盐岩(表2)。

上扬子陆块的基底经新元古代晚期震旦纪前晋宁运动及澄江运动形成,从震旦纪开始进入准地台阶段,发育了多套以海相蒸发岩为主的沉积层。膏盐岩广泛发育于上震旦统陡山沱组、灯影组和寒武系地层中。长宁地区见有陡山沱组含膏层、灯影组岩盐和含钾卤水,江津—泸州地区发育早中寒武世厚层岩盐、建南地区中寒武世厚层岩盐、城口—巫溪地区中寒武世见有石膏及富钾卤水。

华北地块是太古宙末期形成的克拉通^[57],是中国最早发

现海相蒸发岩沉积的地块。蒸发岩主要分布于辽吉—冀北,构成中国最古老的蒸发岩盆地。如产于辽河群地层的世界著名的大石桥菱镁矿床,是在盐湖环境中沉积,再经后期热液改造形成^[58];辽吉宽甸群上部砖庙组沉积变质型硼镁石—遂安石矿床,夹有石膏层(风城二台子),也属于早元古代产物,其原生沉积也属于蒸发成因^[59];中元古界长城系高于庄组还见有海相蒸发沉积型锰方硼石沉积^[60];蓟县纪早期,华北地台中东部受长城纪末期地壳局部抬升影响,海域变小,沉积了以白云岩为主的碳酸盐建造,含有石膏、岩盐等^[60];下寒武统广

表 2 中国三大陆块元古代—寒武纪成盐时代

Table 2 Salt-forming ages of three blocks in China in the Proterozoic-Cambrian age

地质时代及代号		构造运动	区域构造演化	成盐类型			图例	
纪	世			扬子陆块	塔里木陆块	华北陆块		
寒武纪 542.0	晚寒武世	Є ₃	冈瓦纳大陆形成, 西伯利亚大陆增生, 古中国地台解体为中华陆块群				 富钾卤水	
	中寒武世	Є ₂						 卤水
	早寒武世	Є ₁						
震旦纪 800	晚震旦世	Z ₂		扬子、塔里木、中朝等陆块连成一体, 形成古中国地台				 富钾卤水
	早震旦世	Z ₁						
青白口纪 1000.0		Qb						 富钾卤水
蓟县纪 1400.0		Jx					 富钾卤水	
长城纪 1800.0		Ch	中朝、西伯利亚克拉通化, 扬子、塔里木等结晶基底形成					
溇沱纪 2500.0		Ht			中朝、西伯利亚地台, 印度地盾结晶基底形成			

泛发育白云岩-石膏及石盐假晶等蒸发岩系。

太古代和早元古代的结晶变质岩系构成塔里木盆地的结晶基底,中晚元古代、古生代盆地进入了地台发展阶段。震旦—寒武纪是该区海相碳酸盐建造的主要发育时期。中下寒武统是主要成盐层位,以下统吾松格爾组和中统阿瓦塔格组最为发育,岩盐主要分布于巴楚—塔中地区。

2 上扬子陆块膏盐岩分布

2.1 上扬子陆块寒武系岩相古地理

上扬子陆块寒武纪在古老基底构造控制下,承袭了震旦

纪古构造、古地理格局开始其发展演化过程。伴随早寒武世晚期的构造变动,本区在龙王庙期、陡坡寺期至西王庙初期,发生了两次较大的海退事件,从而在总的海退背景下,发育了大面积的蒸发岩盆地^[6]。上扬子陆块发育蒸发岩盆地面积约 20 万 km²^[6],含盐区域主要分布于蒸发岩盆地中部,如川东南、黔西北、渝东北和鄂西北(建南)等地区(图 4,根据文献[63],本文补充膏盐岩分布)。

2.2 上扬子陆块成钾条件探讨

本区含盐层位主要为下寒武统清虚洞组、中统高台组及石冷水组或覃家庙组。石盐主要分布于江津—泸州地区及城

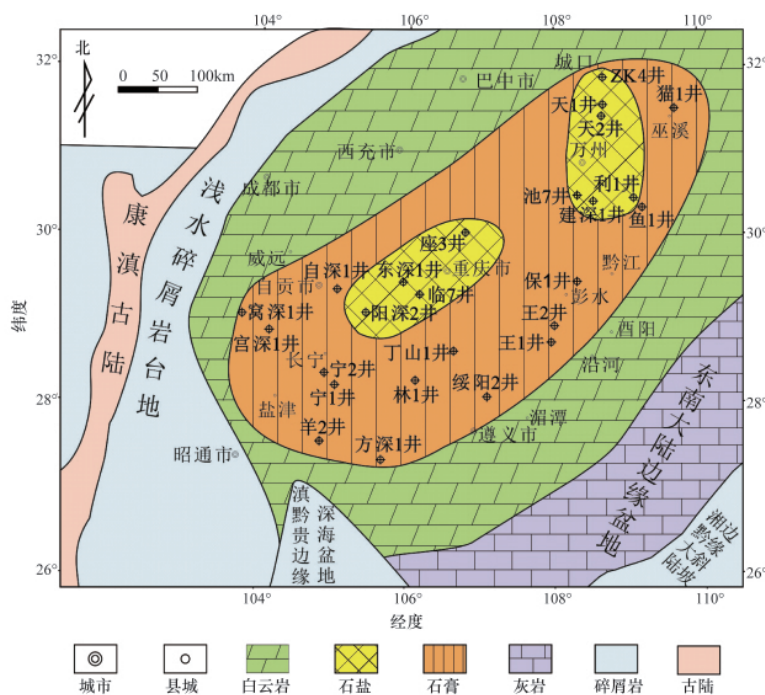


图 4 上扬子陆块早中寒武世膏盐岩分布

Fig. 4 Distribution of Lower-Middle Cambrian rock gypsum and salt in the upper Yangtze area

口—巫溪地区。在江津—泸州地区寒武系卤水大多为浓卤水,矿化度为243~347g/L,只可惜未单独测定钾离子含量(表3)。临7井与阳深2井的Br⁻含量较高,临7井为955mg/L,阳深2井为981mg/L与1191mg/L;临7井与阳深2井溴氯系数Br×10³/Cl⁻分别为6.25,6.64与6.88,符合早期钾盐沉积阶段指标。

巫溪县天1井与天2井的水化学显示较好,矿化度一般在200~300g/L,最大可达281.17g/L,溴氯系数大多在1~3之间,最大可达4.68;钾氯系数K×10³/Cl⁻相对也较高(表4)。该区卤水样品溴氯系数与钾氯系数大多已达到海相钾盐沉积指标,认为具有溶盐及溶钾的可能性。城口地区卤水矿化度较低,溴氯系数与钾氯系数相对较高,最高可达到1.55与6.19,有溶解含钾盐层的可能性。

该区寒武系含盐层位埋藏均较深,如渝中地区临7井岩盐层位于5200~5547m;建南地区建深1井含盐层位深达6000余m,因此该区目前的找钾工作仍具有较大的困难,宜结合“油钾兼探”与“盐钾兼探”等手段开展工作;城口地区卤水矿化度较低,但其埋藏很浅,钻井至300m左右即有卤水并可自溢,根据其溴氯系数与钾氯系数分析,其具有溶解含钾盐层的可能性;巫溪地区天1井与天2井的卤水品质最好,其卤水矿化度较高,并富含钾、溴、锂、硼、碘等多种元素,部分层位的钾、锂、溴等元素已达到综合开发利用,甚至是单独开采的价值。溴氯系数与钾氯系数已经达到了溶滤含钾盐层,甚至是钾盐层的指标。在20世纪90年代盐业公司制盐的同时,也生产过钾盐与溴素。因此,城口—巫溪地区是上扬子找钾的首选区域。

表3 江津—泸州地区钻井卤水化学分析统计

Table 3 Chemical composition of the brine in Cambrian drilling in Jiangjin-Luzhou

井名	离子含量/(mg·L ⁻¹)						矿化度/(g·L ⁻¹)	Br×10 ³ /Cl
	K ⁺ +Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻		
临7井	67570	24824	1700	152799	22	955	247	6.25
阳深2井	70972	21198	538	147863	351	981	242	6.64
	80164	26276	1197	173126	132	1191	281	6.88
座3井	95052	0	0	137948	9878	—	245	—
	82450	24303	737	170556	1457	—	281	—
东深1井	64192	22796	4043	150187	310	—	243	—
	73132	26805	3253	169124	194	—	273	—

表4 城口—巫溪地区卤水化学分析

Table 4 Chemical composition of the brine in Chengkou-Wuxi area

地点	井名	矿化度/(g·L ⁻¹)	离子含量/(mg·L ⁻¹)								Br×10 ³ /Cl	K×10 ³ /Cl	K×10 ³ /Σ盐
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	Br ⁻	Li ⁺	B ₂ O ₃			
巫溪	天1井	281	3100	94119	9812	1691	171765	573.00	137.00	215.00	3.34	18.05	11.02
		286	3550	97700	8310	1360	171200	465.00	85.40	424.00	2.72	20.74	12.43
		119	636	43371	2044	481	72109	65.66	17.50	95.73	0.91	8.83	5.34
		266	3480	91691	6610	1160	160600	390.00	76.70	310.00	2.43	21.67	13.07
巫溪	天2井	219	2000	78830	3860	640	129700	211.00	44.80	285.00	1.63	15.42	9.14
		234	1850	83748	4658	863	140261	250.63	68.75	139.65	1.79	13.19	7.90
		262	2375	92826	5678	1175	157970	315.00	—	285.00	1.99	15.03	9.07
		317	4578	105210	10655	1847	189215	885.94	148.00	226.26	4.68	24.19	14.43
城口	ZK ₁	133	130	49620	—	—	77070	42	—	16	0.54	1.69	0.98
	ZK ₂	92	125	33852	1248	317	52762	30	11	—	0.58	2.37	1.36
	ZK ₄	170	609	61560	2798	494	98284	152	1.922	174.44	1.55	6.19	3.58
		77	170	28260	1440	230	44120	17	1	—	0.38	3.83	0.53
	ZK ₆	87	118	32187	988	271	50037	28	0	—	0.56	2.36	1.36
	ZK ₇	72	71	26930	810	—	41510	—	—	16	—	1.71	0.98

3 华北陆块膏盐岩分布

华北陆块寒武系属稳定克拉通盆地陆表海沉积。下寒武

统石膏、硬石膏分布很广,北自辽宁、吉林,南至河南,东到山东、江苏都有分布。除石膏、硬石膏沉积外,多处发育石盐假

晶,未见层状岩盐。济阳拗陷寒武系地层深部卤水钾、钠、溴、氯、镁含量较高^[64],东濮凹陷石油钻孔岩心中见有层状石膏及石盐晶粒^[65]。石盐假晶分布极为普遍,在华北大地区的朱砂洞组、碱厂组、馒头组的泥灰岩、泥质白云岩、白云质泥岩等岩层表面均可见到。石盐假晶是成岩早期曾经有过石盐晶体生成,后被淋失而留下印痕,指示海盆盐度增高,是干旱气候的标志。

3.1 华北陆块寒武纪岩相古地理

早寒武世初期,华北陆块基本上继承了震旦纪晚期的古地理面貌和古构造格局^[66]。辛集组沉积期地壳开始下沉,海水逐渐侵入陆块。朱砂洞沉积期,海水进一步向古陆推进,气候变得炎热、干燥,海水蒸发强烈,盐度提高,许多地区出现白云岩及白云质灰岩沉积^[67],其中河南鲁山辛集组、朱砂洞组、苏北徐州及安徽局部地区猴家山组白云岩沉积较为发育,并有石

膏沉积。馒头组沉积期是华北陆块早寒武世海侵最大时期,气候干旱炎热。地势西高东低,沉积物由紫红色碎屑岩向碳酸盐岩过渡,沉积厚度较大,是主要的成膏时代。

3.2 早寒武世主要含膏层位

华北陆块含膏层位较多,以下寒武统朱砂洞组与馒头组石膏、硬石膏最为发育。从目前掌握的资料分析,主要有3个含膏层位:最下部是下寒武统大林子组(辽宁大连)及朱砂洞组(河南鲁山、山东沂源);其上是碱厂组(辽宁本溪、辽宁灯塔);最上部是馒头组(吉林通化)(图5)。

华北陆块寒武系除石膏、硬石膏沉积外,多处发育石盐假晶,未见层状岩盐。现于济阳拗陷寒武系地层发现有钾、钠、溴、氯、镁含量较高卤水;东濮凹陷石油钻孔岩心中见有层状石膏及石盐晶粒。因此,本区值得通过“油钾兼探”开展进一步的成盐条件研究。

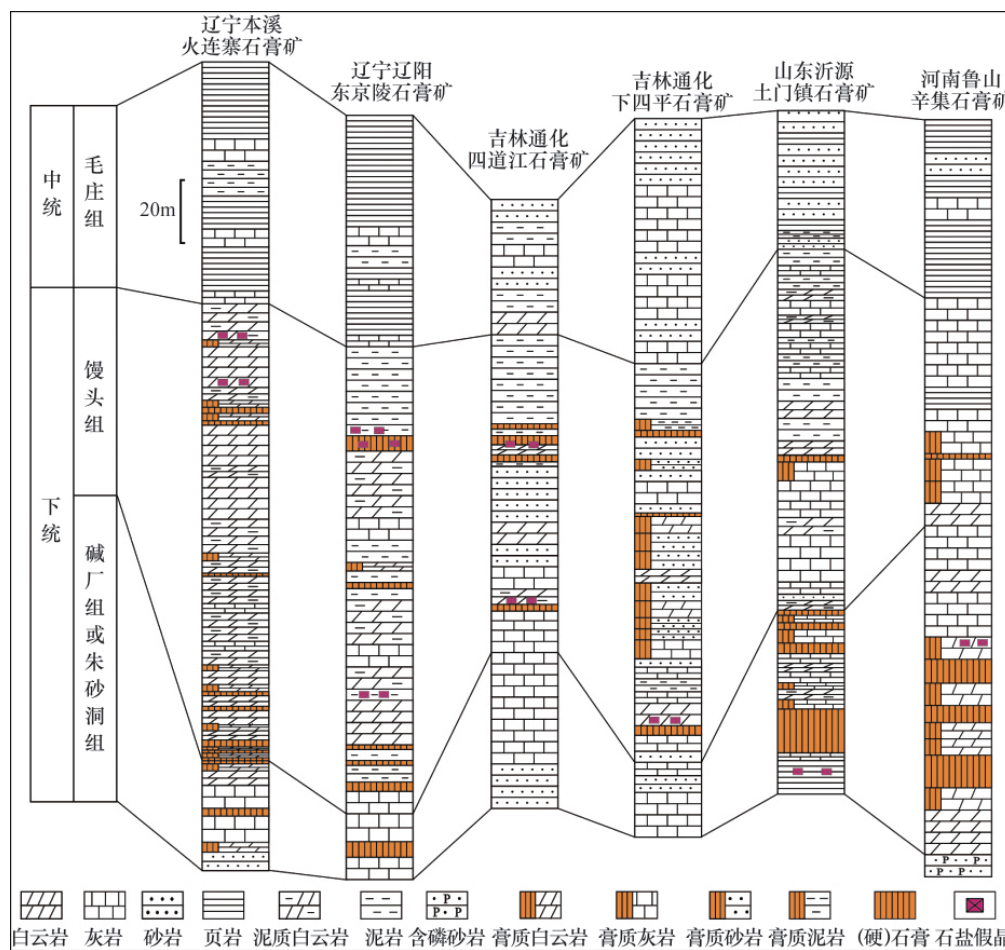


图5 华北陆块中下寒武统主要石膏矿地层对比

Fig. 5 Stratigraphic correlation of the main Middle-Lower Cambriangypsumdeposits in the North China

4 塔里木陆块膏盐岩分布

4.1 寒武纪岩相古地理特征

塔里木陆块在早寒武世初期,区内地壳下沉,相对海平面快速上升,出现了快速海侵过程^[68]。早寒武世晚期海平面明

显下降,气候变得炎热干燥,开始接受膏盐岩沉积,形成面积约13万 km²的膏盐岩。

中寒武世水体继续变浅,气候干燥,海水蒸发量大,咸化程度高。主要岩石类型为膏盐岩,浅水碳酸盐岩含量相对较

少,为蒸发岩台地相,是塔里木盆地最重要的膏盐岩赋存地层^[69]。该期的蒸发岩分布广泛,发育膏盐岩面积约 16 万 km²,并在巴楚—塔中地区沉积有厚层岩盐(图 6,根据文献[70],增加膏盐分布)。晚寒武世海平面逐渐上升,演变为局限台地云坪、灰云坪环境^[70,71]。

4.2 塔里木膏盐岩分布特征

塔里木陆块含盐层系主要分布在塔中—巴楚地区和柯坪地区^[72-74]。成盐层位以下寒武统吾松格尔组与中统阿瓦塔格组地层发育最佳,以阿瓦塔格组为代表。岩性主要为岩盐、膏岩、膏泥岩,夹少量灰岩和白云岩。

本区共钻遇寒武系岩盐钻井 9 口,膏盐岩以巴楚地区较

厚,一般在 145~220m,最厚为方 1 井,达 222m;沉积中心在和 4 井—方 1 井—和田 1 井—巴东 4 井一带。塔中地区相对较薄,塔参 1 井膏盐岩厚度仅 13.5m^[75]。巴探 5 井中寒武统阿瓦塔格组第 15 筒岩心单层岩盐厚度超过 6m(图 7)。通过对样品进行化学分析发现(表 5):溴氯系数数值相对较高,最高达 0.55,表明该井已达到石盐沉积的中晚期阶段,具有一定的找钾前提条件。

塔里木陆块的巴楚—塔中地区是重要的膏盐岩成矿地区,该区具有较好的成盐地质背景,并在巴楚地区发现有厚大的岩盐沉积及较好的溴氯系数指示,具备成钾的前提地质条件,应进一步针对性的开展成盐条件和找钾探索。

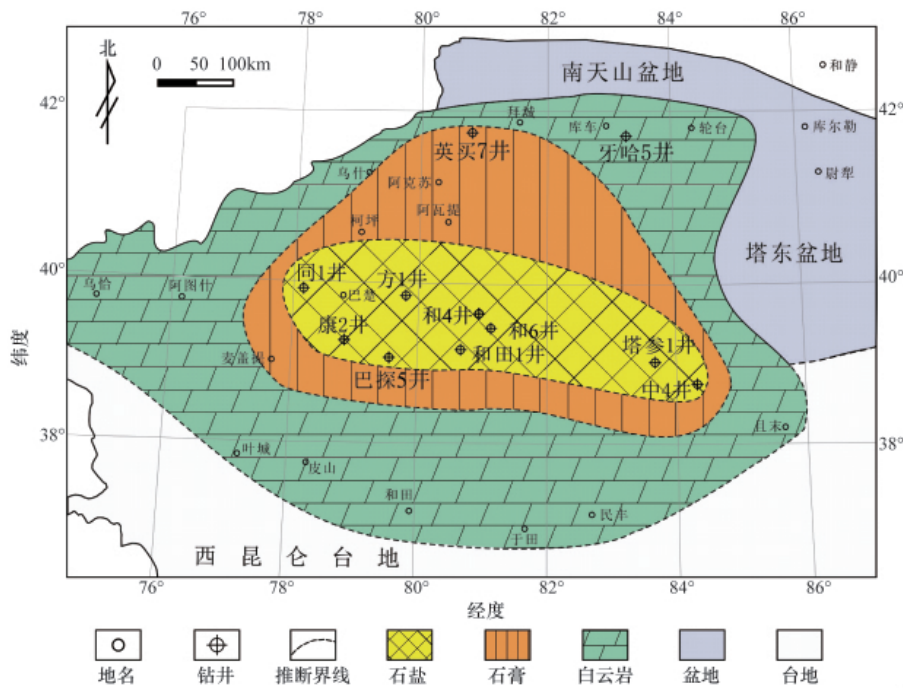
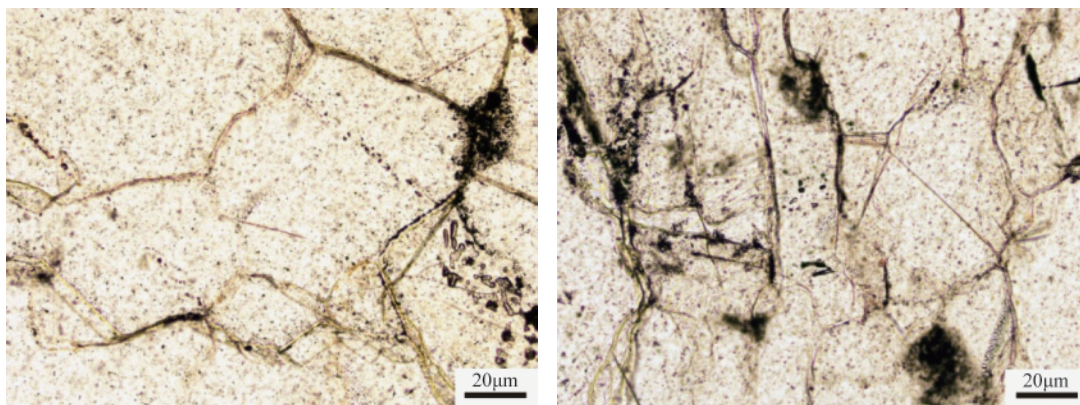


图 6 塔里木盆地中寒武世膏盐岩分布

Fig. 6 Distribution of Middle Cambrian rock gypsum and salt in the Tarim Basin



(a) 5297m

(b) 5493m

Fig. 7 50 倍单偏光镜下石盐颗粒

Fig. 7 Halite grains (plain light 50x)

表 5 巴探 5 井岩心水溶化学分析
Table 5 Chemical analysis of the core from well Batan 5

序号	井深/m	岩性	离子含量/%							不溶物 /%	Br×10 ³ /Cl	K×10 ³ /Cl	
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻				Br ⁻
1	5297	无色岩盐	36.66	0.05	0.23	0.01	0.31	58.21	0.28	0.0300	0.26	0.52	0.82
2	5487	褐色岩盐	35.31	0.04	1.13	0.01	0.30	55.12	2.64	0.0149	1.82	0.27	0.75
3	5489	褐色岩盐	35.25	0.04	0.48	0.01	0.30	55.96	0.67	0.0307	2.21	0.55	0.78
4	5491	褐色岩盐	34.15	0.04	0.51	0.01	0.36	55.32	0.97	0.0219	2.17	0.40	0.72
5	5493	褐色岩盐	36.05	0.04	0.31	0.01	0.36	56.37	0.52	0.0307	3.03	0.54	0.70

5 结论

(1) 寒武系成盐成钾的亚洲现象并非偶然,根据古生物、古地磁及 C、S、Sr 等同位素证据表明,在寒武纪时,含盐盆地均分布于干旱炎热的中低纬度带,有利于蒸发作用的进行。

(2) 构造基底性质对钾盐盆地的形成具有关键性控制作用。中国上扬子膏盐岩盆地、华北膏盐岩盆地和塔里木膏盐岩盆地均发育于以前寒武纪为基底的陆块中,是成盐成钾的有利区域。

(3) 中国上扬子和塔里木陆块已发现有大面积的岩盐沉积,并且具有较好的溴氯系数及钾氯系数。上扬子城口—巫溪地区的卤水水化学显示已经达到了溶滤含钾石盐—钾盐层的指标;塔里木陆块的巴楚地区的岩心水溶溴氯系数表明已达到了石盐晚期的沉积阶段。建议在城口—巫溪地区与巴楚地区开展详细的钾盐地质调查工作,验证其成钾性。华北陆块也发现有高矿化度卤水及石盐晶粒。因此,在中国三大陆块均具有较好的成盐地质背景,有待进一步通过“油钾兼探”与“盐钾兼探”开展详细的成盐找钾研究。

参考文献 (Referenes)

- [1] 瓦里亚什科. 钾盐矿床形成的地球化学规律[M]. 范立, 译. 北京: 中国工业出版社, 1965: 354.
Валяшко М Г. The geochemistry law of potash-forming[M]. Fan Litrans. Beijing: China Industry Press, 1965: 354.
- [2] 郑绵平, 齐文, 张永生. 中国钾盐地质资源现状与找钾方向初步分析[J]. 地质通报, 2006, 25(11): 1239-1246.
Zheng Mianping, Qi Wen, Zhang Yongsheng. Geological Bulletin of China, 2006, 25(11): 1239-1246.
- [3] 袁见齐, 霍承禹, 蔡克勤. 盐类矿床成因理论的新发展及其在矿床学上的地位[J]. 矿床地质, 1982(1): 15-24.
Yuan Jianqi, Huo Chengyu, Cai Keqing. Mineral Deposits, 1982 (1): 15-24.
- [4] Yanshin A L, Sorkina R E, Furenko R V, et al. Paleozoic salt bearing formations of the world [M]. Berlin, Heidelberg, NewYork, Tokyo : Springer-Verlag, 1984.
- [5] Goncharenko O P. Potassic salts in Phanerozoic evaporite basins and specific features of salt deposition at the final stage of halogenesis[J]. Lithology and Mineral Resources, 2006, 41(4): 378-388.
- [6] Prasad B, Asher R, Borgohai B. Late Neoproterozoic (Ediacaran)-early Paleozoic (Cambrian) acritarchs from the marwar supergroup, Bikaner-Nagaur basin, Rajasthan[J]. Journal Geological Society of India, 2010, 75 (2): 415-431.
- [7] Christopher T, Pedram A, Zurab C. Potash in a salt mushroom at Hormoz island, Hormoz Strait, Iran[J]. Ore Geology Reviews, 2009(35): 317-332.
- [8] Le Guerroué E, Allen P A, Cozzi A. Chemostratigraphic and sedimentological framework of the largest negative carbon isotopic excursion in earth history: The Neoproterozoic Shuram Formation (Nafun Group, Oman)[J]. Precambrian Research, 2006, 146(1/2): 68-92.
- [9] Kumar V, Chandra R. Geological survey of India: Geology and evolution of Nagaur-Ganganagar Basin with special reference to salt and potash mineralisation[M]. Calcutta: Order of the Government of India, 2005: 29-36.
- [10] Zharkov M A, Yanshin A L, Sorkina R E, et al. History of Paleozoic salt accumulation [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1981: 308.
- [11] Amthor J E, Grotzinger J P, Schröder S, et al. Extinction of cloudina and namacalathus at the Precambrian-Cambrian boundary in Oman[J]. Geology, 2003, 31(5): 431-434.
- [12] 王津义, 付孝悦, 潘文蕾, 等. 黔西北地区下古生界盖层条件研究[J]. 石油实验地质, 2007, 29(5): 477-481.
Wang Jinyi, Fu Xiaoyue, Pan Wenlei, et al. Petroleum Geology and Experiment, 2007, 29(5): 477-481.
- [13] 黄建国. 上扬子区(四川盆地)寒武系的含盐性与地质背景[J]. 岩相古地理, 1993, 28(5): 44-56.
Huang Jianguo. Lithofacies Palaeogeography, 1993, 28(5): 44-56.
- [14] 刘雁婷, 傅恒, 陈曦, 等. 塔里木盆地巴楚—塔中地区寒武系层序地层特征[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2): 48-53.
Liu Yanting, Fu Heng, Chen Ji, et al. Lithologic Reservoirs, 2010, 22 (2): 48-53.
- [15] 裴永万, 芦杰. 辽阳市东京陵石膏矿床地质特征[J]. 中国非金属矿业工业导刊, 2007, 62(4): 59-62.
Pei Yongwan, Lu Jie. China Non-Metallic Mining Industry Herald, 2007, 62(4): 59-62.
- [16] Mel Nikov N V, Shabanov Y Y, Shabanova O S. Stratigraphic chart of Cambrian deposits in the Turukhansk-Irkutsk-Olekma region, Siberian platform[J]. Russian Geology and Geophysics, 2010, 51(6): 672-683.
- [17] Vinogradov V I, Belenitskaya G A, Bujakaite M I, et al. Isotopic signatures of deposition and transformation of lower Cambrian saliferous rocks in the Irkutsk Amphitheater: Communication 1. sulfur isotopic composition [J]. Lithology and Mineral Resources, 2006, 41(1): 96-110.
- [18] Kovalevych V M, Marshall T, Peryt T M, et al. Chemical composition of seawater in Neoproterozoic: Results of fluid inclusion study of halite from Salt Range (Pakistan) and Amadeus Basin (Australia) [J].

- Precambrian Research, 2006, 144(1/2): 39–51.
- [19] Petrychenko O Y, Peryt T M, Chechel E I. Early Cambrian seawater chemistry from fluid inclusions in halite from Siberian evaporites [J]. *Chemical Geology*, 2005, 219(1/4): 149–161.
- [20] Virendra K, Bakliwal P C. Geological survey of India: Potash in India [M]. Calcutta: Order of the Government of India, Miscellaneous Publication No. 65, 2005.
- [21] Schröder S, Schreiber B C, Amthor J E, et al. Stratigraphy and environmental conditions of the terminal Neoproterozoic-Cambrian period in Oman: Evidence from sulphur isotopes [J]. *Journal of the Geological Society*, 2004, 161(3): 489–499.
- [22] Pandey D, Bahadur T. A review of the stratigraphy of marwar supergroup of west-central Rajasthan[J]. *Journal of the Geological Society of India*, 2009, 73(6): 747–758.
- [23] Maheshwari A, Sial A, Mathur S. Carbon and oxygen isotope profiles from the terminal Precambrian Marwar supergroup, Rajasthan, India [J]. *Carbonates and Evaporites*, 2003, 18(1): 10.
- [24] Talbot C J, Farhadi R, Aftabi P. Potash in salt extruded at Sar Pohl diapir, southern Iran [J]. *Ore Geology Reviews*, 2009, 35(3/4): 352–366.
- [25] Jahani S, Callot J, de Lamotte D F, et al. The salt diapirs of the eastern Fars Province (Zagros, Iran): A brief outline of their past and present [J]. *Frontiers in Earth Sciences*, 2007, Part V: 289–308.
- [26] Talbot C J, Alavi M. The past of a future syntaxis across the Zagros [J]. *Geological Society*, 1996, 100(Special Publications): 88–109.
- [27] Aamir M, Siddiqui M M. Interpretation and visualization of thrust sheets in a triangle zone in eastern Potwar, Pakistan[J]. *The Leading Edge*, 2006, 25(1): 24–37.
- [28] Pogue K R, Wardlaw B R, Harris A G, et al. Paleozoic and Mesozoic stratigraphy of the Peshawar Basin, Pakistan: Correlations and implications[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1992, 104(8): 915–927.
- [29] Wensink H. The paleomagnetism of the speckled sandstones of early Permian age from the Salt Range, Pakistan[J]. *Tectonophysics*, 1975, 26(3/4): 281–292.
- [30] Krishnan M S. Salt tectonics in the Punjab Salt Range, Pakistan [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1966, 77(1): 115–122.
- [31] Ramseyer K, Amthor J E, Matter A, et al. Primary silica precipitate at the Precambrian/Cambrian boundary in the south Oman salt basin, sultanate of Oman[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2013, 39(1): 1–11.
- [32] Grosjean E, Love G D, Stalvies C, et al. Origin of petroleum in the Neoproterozoic-Cambrian south Oman salt basin[J]. *Organic Geochemistry*, 2009, 40(1): 87–110.
- [33] Schoenherr J, Littke R, Urai J L, et al. Polyphase thermal evolution in the Infra-Cambrian Ara group (south Oman salt basin) as deduced by maturity of solid reservoir bitumen[J]. *Organic Geochemistry*, 2007, 38(8): 1293–1318.
- [34] Bowring S A, Grotzinger J P, Condon D J, et al. Geochronologic constraints on the chronostratigraphic framework of the Neoproterozoic Huqf Supergroup, Sultanate of Oman[J]. *American Journal of Science*, 2007, 307(10): 1097–1145.
- [35] Burns S J, Haudenschild U, Matter A. The strontium isotopic composition of carbonates from the late Precambrian (~ 560-540 ma) huqf group of Oman[J]. *Chemical Geology*, 1994, 111(1/4): 269–282.
- [36] 郑绵平, 袁鹤然, 张永生, 等. 中国钾盐区域分布与找钾远景[J]. *地质学报*, 2010, 84(11): 1523–1553.
- Zheng Mianping, Yuan Heran, Zhang Yongsheng, et al. *Acta geologica Sinica*, 2010, 84(11): 1523–1553.
- [37] Mckerrow W S, Scotese C R, Brasier M D. Early Cambrian continental reconstructions[J]. *Journal of the Geological Society*, 1992, 149(4): 599–606.
- [38] 袁见齐. 关于钾盐矿床形成条件的几个问题[J]. *盐湖科技资料*, 1975(4): 36–41.
- Yuan Jianqi. *Salt Lake Scientific and Technological Information*, 1975(4): 36–41.
- [39] Banerjee D M, Mazumdar A. On the late Neoproterozoic-early Cambrian transition events in parts of east gondwanaland[J]. *Gondwana Research*, 1999, 2(2): 199–211.
- [40] Kouchinsky A, Bengtson S, Runnegar B, et al. Chronology of early Cambrian biomineralization[J]. *Geological Magazine*, 2012, 149(2): 221–251.
- [41] Lin J, Fuller M, Zhang W. Paleogeography of the north and south China blocks during the Cambrian[J]. *Journal of Geodynamics*, 1985, 2(2/3): 91–114.
- [42] Gubanov A P. Early Cambrian palaeogeography and the probable Iberia-Siberia connection[J]. *Tectonophysics*, 2002, 352(1/2): 153–168.
- [43] Singh B P. Paleobiogeography. Paleocology and paleoenvironmental significance of the Cambrian trilobites from the Zanskar region (Zanskar- Spiti-Kinnaur basin), northwest Himalaya[J]. *Journal geological society of India*, 2011, 77(3): 219–226.
- [44] Scotese C R. Atlas of earth history: Paleogeographic maps[M]. Paleomap Project, 2001.
- [45] 梁其中, Zade A H. 伊朗晚元古代-早古生代古地磁研究[J]. *地球物理学报*, 1995, 38(4): 477–486.
- Liang Qizhong, Zade A H. *Chinese Journal Geophysics*, 1995, 38(4): 477–486.
- [46] Scotese C R, Mckerrow W S. Revised world maps and introduction[J]. *Geological Society Memoirs*, 1990, 12: 1–21.
- [47] Badyukov D D, Demidenko E L, Kaplin P A. Paleogeography of the seychelles bank and the northwest madagascar shelf during the last glacio eustatic regression (18,000 a B.P)[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1989(1): 89–92.
- [48] Chatterjee S, Hotton Iii N. The paleoposition of India[J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1986, 1(3): 145–189.
- [49] Wensink H. The Paleomagnetism of the salt pseudomorph beds of middle Cambrian age from the Salt Range, West Pakistan[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1972, 16(2): 189–194.
- [50] 黄宝春, 周姚秀, 朱日祥. 从古地磁研究看中国大陆形成与演化过程[J]. *地学前缘*, 2008, 15(3): 348–359.
- Huang Baochun, Zhou Yaoliu, Zhu Rixiang. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(3): 348–359.
- [51] 杨振宇, Otofujii Y, 黄宝春, 等. 华北陆块冈瓦纳大陆亲缘性的古地磁证据[J]. *地质论评*, 1999, 45(4): 402–407.
- Yang Zhenyu, Otofujii Y, Huang Baochun, et al. *Geological Review*, 1999, 45(4): 402–407.
- [52] 朱日祥, 杨振宇, 马醒华, 等. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J]. *中国科学, D 辑: 地球科学*, 1998, 28(S1): 1–16.
- Zhu Rixiang, Yang Zhenyu, Ma Xinghua, et al. *Science in China, Series D: Earth Sciences*, 1998, 28(S1): 1–16.
- [53] 刘育燕, 杨巍然, 森永速男, 等. 华北陆块、秦岭地块和扬子陆块构造

- 演化的古地磁证据[J]. 地质科技情报, 1993, 12(4): 17-21.
Liu Yuyan, Yang Weiran, Sen Yongsunan, et al. Geological Science and Technology Information, 1993, 12(4): 17-21.
- [54] Zheng M P, Zhang Y S, Yuan H R. Regional distribution and prospects of potash in China [J]. Acta Geologica Sinica-English Edition, 2011, 85 (1): 17-50.
- [55] 钱自强, 曲一华, 刘群. 钾盐矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 273.
Qian Ziqiang, Qu Yihua, Liu Qun. Potash deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 273.
- [56] 马永生, 陈洪德, 王国力, 等. 中国海相油气勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 530.
Ma Yongsheng, Chen Hongde, Wang Guoli, et al. Petroleum exploration in marine formations of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007, 530.
- [57] 张秋生. 辽东半岛早期地壳与矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 574.
Zhang Qiusheng. Liaodong Peninsula early crust with deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 574.
- [58] 姜春潮. 沉积变质再造硼矿床. 中国矿床 (下册)[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 81-93.
Jian Chunchao. The metamorphosed sedimentary reengineering borate deposit. Mineral deposits of China (Volume II)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 81-93.
- [59] Qiming P, Palmer M R, Lu J W. Geology and geochemistry of the Paleoproterozoic borate deposits in Liaoning-Jilin, northeastern China: Evidence of Metaevaporites[J]. Hydrobiologia, 1998, 381(1/3): 51-57.
- [60] 郑绵平. 海相沉积硼方硼石矿床-河北藁县硼矿床. 中国矿床 (下册) [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 79-81.
Zheng Mianping. Marine sedimentary chambersite deposits -boron deposits in Jixian, Hebei. Mineral Deposits of China (Volume II) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 79-81.
- [61] 郑绵平, 李银彩. 上扬子区震旦-寒武系找钾可能性探讨[J]. 地质科技, 1978(1): 39-52.
Zheng Mianping, Li Yincui. Geological Sciences and Technology, 1978 (1): 39-52.
- [62] 王淑丽, 郑绵平, 焦建. 上扬子区寒武系蒸发岩沉积相及成钾潜力分析[J]. 地质与勘探, 2012, 48(5): 947-958.
Wang Shuli, Zheng Mianping, Jiao Jian. Geology and Exploration, 2012, 48(5): 947-958.
- [63] 马永生, 陈洪德, 王国力. 中国南方构造-层序岩相古地理图集[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 301.
Ma Yongsheng, Chen Hongde, Wang Guoli. Structure-sequence lithofacies paleogeography atlas of southern in China [M]. Beijing: Science Press, 2009: 301.
- [64] 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): 114-118.
Yuan Jing, Zhao Chenglin, Zhang Shanwen. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(1): 114-118.
- [65] 徐磊, 操应长, 王艳忠, 等. 东营凹陷古近系膏盐岩成因模式及其与油气藏的关系[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(3): 30-35.
Xu Lei, Cao Yingchang, Wang Yanzhong, et al. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2008, 32(3): 30-35.
- [66] 刘群, 马丽芳, 祝有海, 等. 华北早寒武世岩相古地理与膏盐沉积[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 144.
Liu Qun, Ma Lifang, Zhu Youhai, et al. Early Cambrian lithofacies palaeogeography gypsum and salt deposition of north China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 144.
- [67] 祝有海, 马丽芳. 华北地区下寒武统的划分对比及其沉积演化[J]. 地质论评, 2008, 54(6): 731-740.
Zhu Youhai, Ma Lifang. Geological Review, 2008, 54(6): 731-740.
- [68] 祝贺, 刘家铎, 孟万斌, 等. 塔里木盆地巴楚隆起寒武系层序及岩相古地理[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(4): 344-348.
Zhu He, Liu Jiaduo, Meng Wanbin, et al. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(4): 344-348.
- [69] 邵龙义, 何宏, 彭苏萍, 等. 塔里木盆地巴楚隆起寒武系及奥陶系白云岩类型及形成机理[J]. 古地质量, 2002, 4(2): 19-30.
Shao Longyi, He Hong, Peng Suping, et al. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(2): 19-30.
- [70] 冯增昭, 鲍志东, 吴茂炳, 等. 塔里木地区寒武纪岩相古地理[J]. 古地质量, 2006, 8(4): 427-439.
Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Wu Maobing, et al. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(4): 427-439.
- [71] 何宏, 彭苏萍, 邵龙义, 等. 巴楚隆起与阿瓦提凹陷寒武系及奥陶系沉积古地理分析[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(6): 1-4.
He Hong, Peng Suping, Shao Longyi, et al. Coal Geology & Exploration, 2002, 30(6): 1-4.
- [72] 吕修祥, 白忠凯, 付辉. 从东西伯利亚看塔里木盆地寒武系盐下碳酸盐岩勘探前景[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(2): 157-162.
Lü Xiuxiang, Bai Zhongkai, Fu Hui. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(2): 157-162.
- [73] 高志前, 王惠民, 樊太亮, 等. 塔里木盆地寒武-奥陶系沉积相沉积体系及其组合序列[J]. 新疆石油天然气, 2005, 1(1): 30-35.
Gao Zhiqian, Wang Huimin, Fan Tailiang, et al. Xinjiang Oil & Gas, 2005, 1(1): 30-35.
- [74] 屈秋平, 唐勇, 王海东, 等. 塔西南坳陷寒武系含油气系统及勘探目标[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(2): 101-104.
Qu Qiuping, Tang Yong, Wang Haidong, et al. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(2): 101-104.
- [75] 金之钧, 周雁, 云金表, 等. 我国海相地层膏盐岩盖层分布与近期油气勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 715-724.
Jin Zhijun, Zhou Yan, Yun Jinbiao, et al. Oil & Gas Geology, 2010, 31 (6): 715-724.

(责任编辑 刘志远)