

中国钾盐区域分布与找钾远景

郑绵平, 袁鹤然, 张永生, 刘喜方, 陈文西, 李金锁

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

内容提要:中国大陆是由不同古气候环境下的若干小陆块(克拉通)、微陆块和造山带拼合而成,既可与其他大陆块对比,又有其特殊性,因而导致中国海、陆相盐盆地构造环境和成盐成钾的某些特殊性,表现为:具有成盐多期性;成盐时代的差异性;成盐作用迁聚性;物质成分多样性;海相盐盆地规模较小;盐盆地后期变动大和液态矿产等特点。构造基底性质对钾盐盆地形成的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。中国主要的古代盐盆地多产于“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,该区是找钾的关键地区。且规模较大的叠合结构可溶盐沉积多发育于较稳定的陆核中。按中国成盐盆地所在构造域特点,划分为华北盐类成矿域、扬子盐类成矿域、塔(里木)一柴(达木)盐类成矿域以及羌北—滇西盐类成矿带,并分别讨论其成盐找钾远景。

关键词: 钾盐区域分析;构造基底控制成钾;成盐成钾的特殊性;盐类成矿域;找钾远景

钾盐主要用作钾肥,钾肥是农业三大肥料之一,中国是一个拥有13多亿人口的农业大国。中国耕地资源紧缺,为了保证粮食安全和对农产品需求而需要不断增加作物产量,形成了中国特有的化肥大量投入的耕作体系。

随着我国经济快速发展,我国对钾盐消费是快速增长。如2007年我国钾肥消费量(K_2O)达763.3万吨,较2001年消费量343.5万吨相比,增加1倍多。我国主要来自现代钾盐湖的KCl生产量达300余万吨,钾盐自给率约30%。

我国探明钾盐储量和基础储量仅分别占世界1.024%和1.015%;受钾资源限制,我国近几年来钾盐进口量剧增,成为世界最大钾盐进口国,如2007年我国进口钾盐(K_2O)达547.4万吨。

世界钾盐丰富,资源和产量集中在少数国家。按储量,加拿大第一,钾盐储量44亿吨,储量基础97亿吨,占世界53%;俄罗斯第二,钾盐储量18亿吨,储量基础22亿吨,占22%;白俄罗斯第三,钾盐储量7.5亿吨,储量基础10亿吨,占9%;德国第四,钾盐储量7.1亿吨,储量基础8.5亿吨,占8.9%。以上四国占世界总储量93%,上述国家加上以色列和约旦生产

商,掌握了世界90%钾盐产量。

粮食安全是我国的基本国策,粮食安全涉及社会稳定,是构成和谐社会的基础。为此,必须加强在中国古今盐盆地找钾的研究与勘查,重点要开展海相盐盆地找钾和油钾兼探,并兼顾陆相盐湖及其地下卤水。中国对钾的需求量大,只有在中国海相地层中找钾取得重大突破,才可从根本上解决中国钾盐自给的问题。长期以来,在中国海相地层中找钾未能取得实质性的进展,成了找钾的“硬骨头”。在相当长时间对在中国找钾普遍信心不高,虽然钾盐被列为国家急缺的重点矿种,但安排国内找钾的具体科研和勘查项目的力度还较小,急待“动真格”大力加强投入。

由于地球的海水数量巨大、含钾量丰富并且稳定,业已发现的海相钾盐矿床规模巨大且质量优良。在特定条件下,大陆水形成的陆相盐盆地也可形成钾盐矿床。如中国察尔汗、罗布泊现代盐湖钾矿床,但与海相相比,其规模要小得多,而且主要为液相钾矿床,其固相含钾品位则较低。无论海相还是陆相,钾盐均是在海水或湖水蒸发到末期才能大量沉积。以海水蒸发为例:在海水蒸发至12%~13%盐度时

注:本文为中国地质调查局项目(编号1212010918025、1212010011810)、国家自然科学基金重点项目及联合基金项目(编号40531002、U0833601)资助的成果。

收稿日期:2010-08-20;改回日期:2010-09-15;责任编辑:郝梓国。

作者简介:郑绵平,男,1934年生。研究员,中国工程院院士。从事盐湖学与盐类地质矿床研究。Email:zmp@public.bta.net.cn。

开始沉积石膏,当海水蒸发至 27.5%后开始大量沉积石盐,最后在海水蒸发到盐度 33%以后才沉积高溶解度的钾盐,亦即相当于形成盐系的原始海水体积的 1.7%才开始沉积钾盐(KCl)(Валяшко М. Г., 1962)。因此,通常钾盐矿床沉积于厚层岩盐之上部,钾盐沉积的体积只有石盐体积的十分之几至几分之一。在有利的构造条件下(克拉通内的台地拗陷、大陆被动边缘、地堑带、裂谷-堑沟等),在该盐盆地的局部洼地或次盆地中大量富集成钾,只有在少数情况下,主要由于构造运动或水文地质环境变化,钾盐层沉积于石盐泥砾(如云南勐野井)中或含钾卤水赋于石盐、碳酸盐层中(如四川三叠系)和钙芒硝晶间(如罗布泊)。基于以上认识,本文将成盐地质构造及其石盐和卤水沉积与地球化学作为找钾的基本前提条件。

1 中国成盐成钾区域地质背景

中国的国土是由若干小陆块(克拉通)、微陆块和造山带拼合而成的,既可与其他大陆对比,又具有其特殊性,特别是中国的前寒武纪陆块较北美、西伯利亚等盛产巨型钾盐盆地的克拉通少得多,克拉通化时间也稍晚,实为活动带中的大型中间地块形成的“准地台”,故受周缘造山带较强烈的影响;而造山带又常叠加在中间地块上或卷入微陆块,因此,中国的地槽活动性相对较弱。以上是导致中国海、陆相盐盆地成矿构造环境和成盐成钾的某些特殊性(个性),即成盐多期性与成盐时代差异性,成盐迁聚性、物质成分多样性;液态矿多、海相盐盆地规模较小;海陆相盐盆地后期变动较大等的基本地质构造原因。

中国前寒武纪地壳主要发育有华北、塔里木和扬子三个小型陆块(准地台、克拉通),还有发育前寒武纪基底的印支-南海陆块(任纪舜,2002),而且有部分微陆块卷入显生宙造山带中,其中如分布于特提斯构造域中的羌塘、昌都、巴塘、临沧-思茅等微陆块。

同国外绝大多数古代海相钾盐盆地一样,我国重要的古代盐盆地、特别是海相盐盆地均发育于上述前寒武纪为基底的陆块和原地台的构造区域。值得强调的是,我国多期叠合结构的盐沉积多在较稳定的陆核中最为发育。如扬子三叠纪蒸发盆地,最终盐盆地即座落在四川盆地构造稳定区,与王鸿楨厘定的川西-川中陆核基底不谋而合。而且,在该区还发育晚震旦统和寒武系厚层膏盐沉积;陕北大奥陶统盐盆地的分布也与鄂尔多斯陆核几乎重叠(Wang Hongzhen, 2005a, b)(图 1)。产于我国特提

斯带的成盐盆地,也都发育于有大量微陆块;而与国际大型成盐成钾盆地相比较:如著名的加拿大萨斯克彻温中泥盆统钾盐盆地,发育于地盾和地槽之间的地台区,是最稳定的地盾南侧亚稳定构造区,(Bear C A, 1970)。又如,白俄罗斯彼里亚特(Припятский)上泥盆统钾盐盆地,则是产于乌克兰地盾和白俄罗斯地块之间的大型地堑中,都是产于稳定构造区相对活动的亚稳定区(Раевский В. И. и др, 1973)。研究表明,较有利于钾盆地形成的地质构造背景是:在构造稳定区是在相对活动的亚稳定区;在构造亚稳定区则位于相对稳定区(基底为地核或原地台)。

现按不同构造域的地块中发育的主要古代盐盆地分述如下(图 1)。

本文所称的构造域是依照任纪舜(1999)提出的“是指在统一的全球动力学体系下形成的全球性构造区”。若按陈毓川成矿域乃指全球性成矿区(带)及成矿域应大致等同构造域的认识(陈毓川等, 2007),可将我国蒸发岩划分为(I)华北盐类成矿域;(II)扬子盐类成矿域;(III)塔(里木)-柴(达木)盐类成矿域和(IV)羌北-滇西盐类成矿带(图 1)。

从广义成盐地质时代分析,中国是世界上成盐时代较早和较多的国家之一。自古元古代始,已发现有硼酸盐和石膏沉积(辽宁风城二台子宽甸群上部砖庙组沉积变质型硼镁石矿层区中夹石膏层);在中元古代长城纪高于庄组也产出海相沉积型锰方硼石矿床(郑绵平, 1994);由晚震旦世(灯影组)、早中寒武世、早奥陶世(马家沟组)、早石炭世、三叠纪、侏罗纪、白垩纪、古近纪、新近纪到第四纪均有石盐沉积,其中还有一些含盐层位赋有富钾卤水^①和薄层钾矿层(郑绵平等, 2006),为节约篇幅,兹概括如表 1。

2 中国主要成盐盆地的特点与成钾条件分析

2.1 扬子盐类成矿域(I)

扬子陆块形成于晋宁运动(1000~750Ma),经历四堡和晋宁两次固结,其基底以早、中元古界组成(王鸿楨, 1982),震旦纪至志留纪为广海碳酸盐岩和碎屑岩,泥盆一中三叠世为海相碳酸盐岩、碎屑岩;晚三叠一中新生代为陆相暗色碎屑岩系,红色碎屑岩和含膏硝岩系。

从扬子区盐类成矿和构造特点出发,将本区划分下扬子云膏成盐预备盆地,属局限台地(马永生等, 2009);中扬子盐膏预备盆地,属克拉通盆地;上

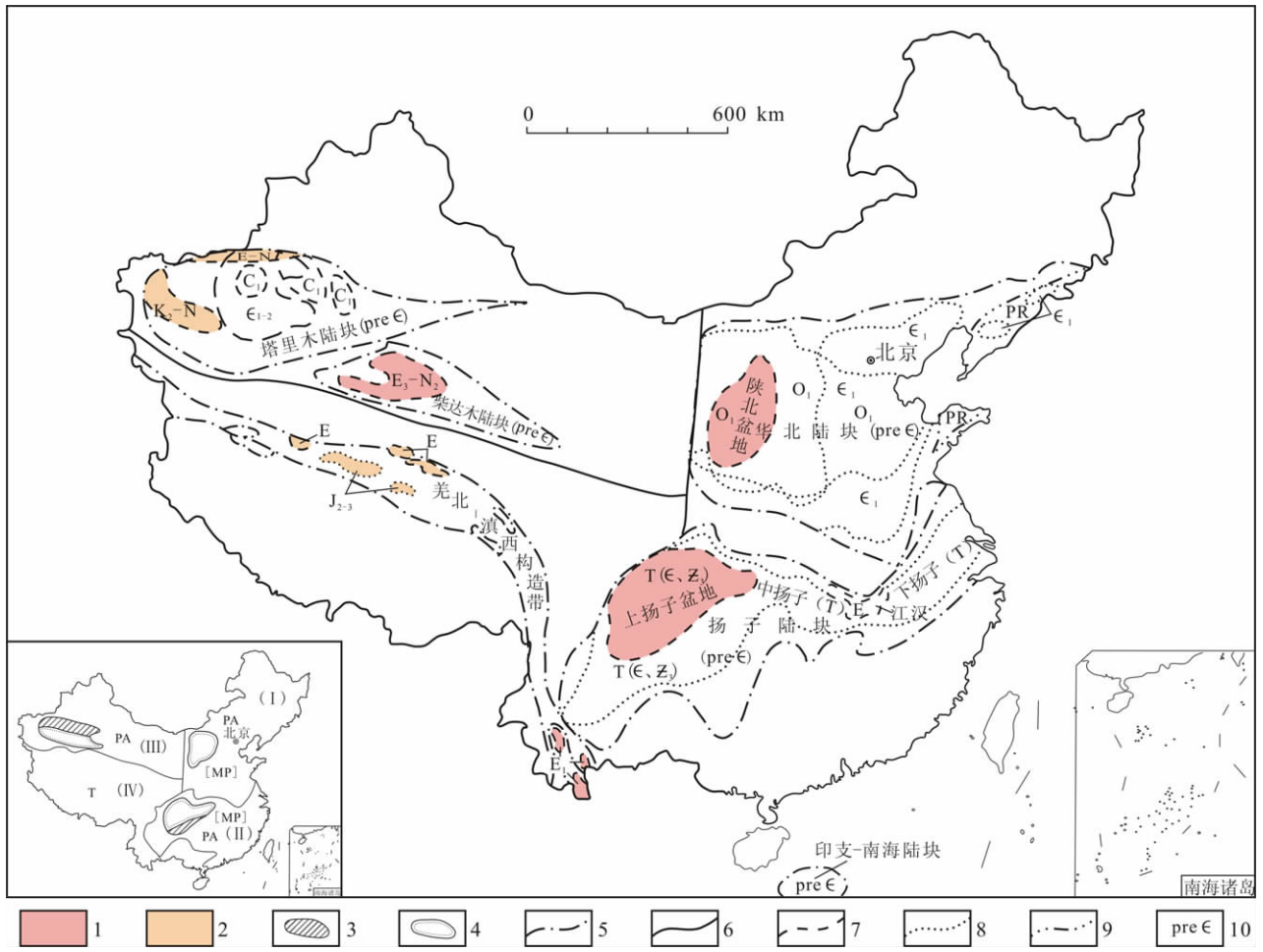


图1 中国构造域和主要古蒸发岩盆地分布略图(构造划分据王鸿桢等,1996)
 Fig.1 Distribution of tectonic domains and major ancient evaporite basins in China
 (tectonic divisions after Wang Hongzhen et al., 1996)

1—首要找钾靶区;2—远景找钾区;3—原地台;4—陆核;5—陆块及微陆块边界;6—构造域界线;7—石膏盐盆地界线;8—云膏盐盆地界线;9—菱镁矿(石膏)硼酸盐盆地界线;10—前寒武纪基底(隆起区);E-N—古近系-新近系;E—古近系;E₁—古新统;K₂-N—上白垩-新近系;J₂₋₃—中上侏罗统;T(Є, Z₃)—三叠系(含寒武系、晚震旦统);C₁—下石炭统;O₁—下奥陶统;Є₁₋₂—中下寒武统;Є₁—下寒武统;PR—元古界;PA—古亚洲构造带;T—特提斯构造域;(MP)—滨太平洋构造域;(I)—华北盐类成矿域;(II)—扬子盐类成矿域;(III)—塔里木-柴(达木)盐类成矿域;(IV)—羌北-滇西盐类成矿带

1—Main potash target area;2—Potash prospect area;3—Protoplatform;4—Continental nucleus;5—Block and microblock boundary;6—Tectonic domain boundary;7—Gypsum-halite basin boundary;8—Dolomite-gypsum basin boundary;9—Magnesite(gypsum) borate basin boundary;10—preЄ basement (uplift); E-N—Paleogene-Neogene; E—Paleogene; E₁—Paleocene; K₂-N—Upper Cretaceous-Neogene; J₂₋₃—Mid-Upper Jurassic; T(Є, Z₃)—Triassic (including Cambrian and upper Sinian); C₁—Lower Carboniferous; O₁—Lower Ordovician; Є₁₋₂—Mid-Lower Cambrian; Є₁—Lower Cambrian; PR—Proterozoic; PA—Paleo-Asian tectonic domain; T—Tethys tectonic domain; (MP)—Peri-Pacific tectonic domain; (I)—North China salt minerogenetic domain; (II)—Yangtze salt minerogenetic domain; (III)—Tarim-Qaidam salt minerogenetic domain; (IV)—Northern Qiangtang-Western Yunnan salt minerogenetic domain

扬子成盐(钾)盆地(图2),属克拉通盆地。现按下扬子区、中扬子区和上扬子区蒸发盆地分述如下:

2.1.1 下扬子区

(1)分布范围:东南以江南断裂为界(大致在苏州—九江一带),其南为江南隆起,北西以郟庐为限(大致在淮安—巢湖一线),其西北为淮阳古陆和北方古陆。

(2)构造地质概况:下扬子准克拉通基底内由前寒武纪昆阳群构成,上部盖层发育良好,分为下部海相盖层和上部陆相盖层。下部海相盖层,厚达13000~14000m,可分下构造层和上构造层(安徽省地质矿产局,1982),下构造层为震旦—志留系,下构造层在空间上变化较大,厚度变化悬殊,显示较大活动性;上构造层为上泥盆至三叠系,均为典型的稳定

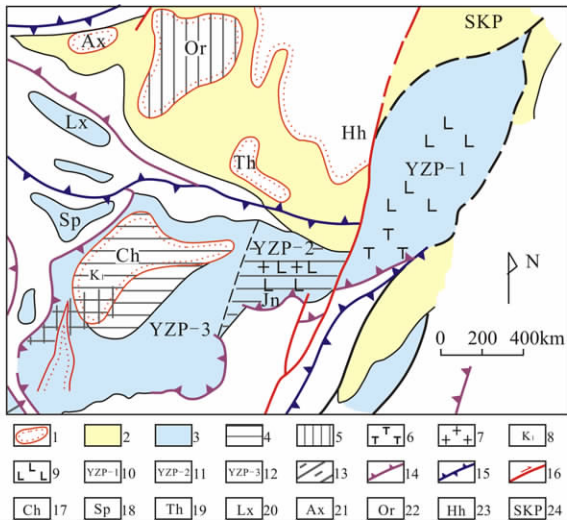


图 2 中国扬子区构造与蒸发盆地分布略图

Fig. 2 Tectonics and distribution of evaporite basins in the Yangtze domain, China

1—陆核;2—原地台;3—地块及地台;4—寒武系与三叠系膏盐沉积;5—晚震旦系膏盐沉积;6—三叠系云膏沉积;7—三叠系膏盐沉积;8—上白垩统钙芒硝;9—上白垩古近系膏盐沉积;10—下扬子云膏预备盆地(I);11—中扬子膏盐预备盆地(II);12—上扬子成盐(钾)盆地;13—侏罗系与古近系膏盐沉积;14—地壳消减叠接带;15—地壳消减对接带;16—走滑断层(印支期后为主);17—川中;18—松潘;19—太华;20—陇西;21—阿拉善;22—鄂尔多斯;23—河淮;24—中朝

1—Continental nucleus; 2—Protoplatform; 3—Block and platform; 4—Cambrian and Triassic gypsum-halite deposits; 5—Upper Sinian gypsum-halite deposits; 6—Triassic mica-gypsum deposits; 7—Triassic gypsum-halite deposits; 8—Upper Cretaceous glauconite; 9—Upper Cretaceous-Paleogene gypsum-halite deposits; 10—Lower Yangtze dolomite-gypsum basin (I); 11—Middle Yangtze halite-gypsum basin (II); 12—Upper Yangtze salt (potash)-forming basin; 13—Jurassic and Paleogene gypsum-halite deposits; 14—Crustal overlapping junction belt; 15—Crustal butt junction belt; 16—Strike-slip fault (mainly post-Indosinian); 17—Central Sichuan; 18—Songpan; 19—Tai Hua; 20—Longxi; 21—Alxa; 22—Ordos; 23—Yellow River-Huaihe River; 24—Sino-Korean platform

性地台沉积,以台地相碳酸盐建造为主,构成一个完整的海进—海退序列,尤以中三叠系发育有大规模白云岩—石膏沉积,上部陆相盖层由侏罗系—第四系组成,发育齐全,最大厚度达 20000m,其中从上白垩统上部至新近纪为含膏盐红层。

现着重介绍本区含膏盐地层如下:

三叠系蒸发岩:三叠系白云岩和硬石膏层重要发育有中三叠统下部,含巴东动物群 *Eumorphotis* (*Asoella*) *Illyrica-Myophoria* (*Costatoria*) *Submultistriata* 等,归属于中三叠系上安尼阶

(Anisian)(吴瑞棠等,1977)(表 2)。

含膏层在地表为盐溶角砾层,在本区分布较广,在安徽芜湖—安龙地区称东马鞍山组,在南京地区为周冲村组。后者探到的硬石膏有 12 层,累计厚度达 95~650m,膏层中上部是“溶蚀”角砾岩(蔡本俊等,1977)(图 3)。

晚白垩—古近纪蒸发岩:分布于苏北盆地淮安—一带晚白垩世浦口组。江苏第六石油普查大队、化工部钾盐队等,共施工 13 口钻井,均发现岩盐层,累厚 20~347m,伴生有石膏、钙芒硝、无水芒硝等,未见钾盐矿物^⑨。

为查明下扬子古近纪古始新世阜宁组成盐找钾条件,1979、1989 年江苏第六石油普查大队、地矿部二大队等,在苏北的洪泽凹陷施工探盐找钾钻孔 5 口,有 3 口见盐,未见含钾显示;1964~1980 年江苏第六石油普查大队和化工部钾盐大队在苏南金坛凹陷施钻 21 口,有 7 口见到古新世阜宁组膏盐与油层(表 3),但未见含钾显示。

2.1.2 中扬子区

(1)分布范围:位于下扬子西面,北以淮阳、北方古陆为界,南以江南隆起北缘为限,西部大致以南北向汉中—贵阳台地与上扬子区相接。

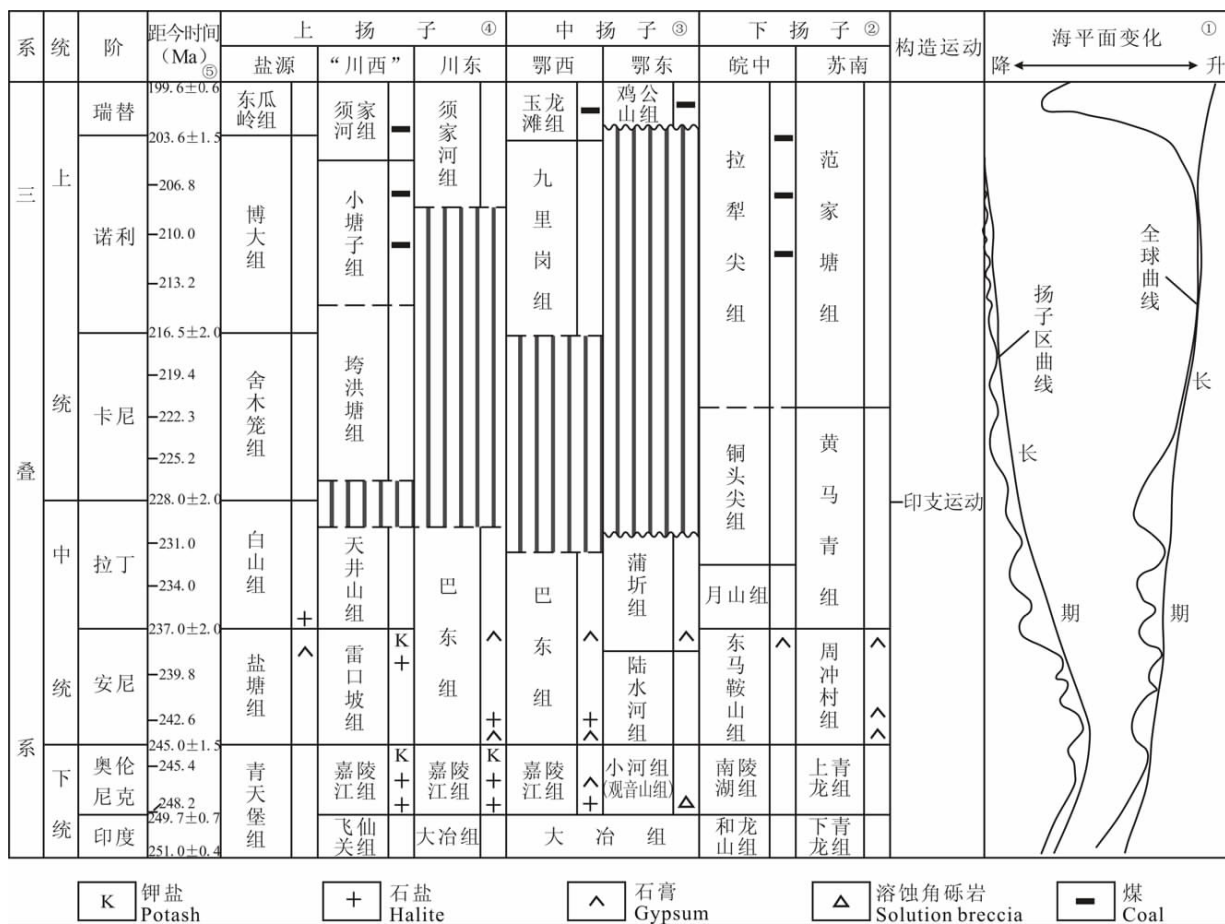
(2)构造地质概况

目前已发现中扬子准克拉通基底是由前寒武纪不同时期的褶皱带构成,是经过扬子旋回(1920~800Ma)构造运动,在 800Ma“花山”运动由活动的地槽转化为统一的稳定地台(湖北省地质矿产局,1990;王鸿祯,2005)(见图 2)。

在中扬子区准克拉通基底之上,其地台盖层沉积结构与下扬子区相似,亦分为①下部海相盖层和②上部陆相盖层:①下部海相盖层,厚约 3670~9950m,可分为下构造层和上构造层:下构造层为震旦系至志留系,该构造层在空间上变化亦较大,在近期油气勘探中,还于下中寒武统发现厚层膏层。该构造层总厚 1947~6640m;上构造层自泥盆系至三叠系,为稳定性地台沉积,以台地相碳酸盐岩建造为主,厚约 1720~6890m,其总的变化趋势由东向西,沉积厚度变大、蒸发岩组分增大,在西部利川一带的三叠系发现石盐沉积;②上部陆相盖层,为侏罗纪—新生代碎屑岩沉积,总厚 3060~8987m。侏罗系为含煤系、白垩系为红层,古近系发育膏盐(硝)层,特别是江陵组赋有含钾卤水;潜江组产出钙芒硝和钾盐镁矾。现着重介绍本区三叠系和古新-始新纪蒸发岩。

表2 扬子区三叠纪地层对比与海平面变化

Table 2 Stratigraphic correlation of Trias and sea-level change of the Yangtze domain, China



注：①—殷鸿福等，1994；②—安徽省地质矿产局，1982；③—湖北省地质矿产局，1990；④—四川省地质矿产局，1991；⑤—章森桂等，2009。

三叠系蒸发岩：中扬子盆地三叠纪早期以碳酸盐沉积为主，中晚期逐渐过渡为以碎屑岩为主夹碳酸盐岩。该盆地东薄西厚，东部厚度 300~1600m，西部 1100~3300m，反映盆地西倾沉积特征。该盆地三叠系蒸发岩发育于下统和中统，三叠系下统上部称小河组，产石膏层，在鄂西称嘉陵江组，中下部（二、四段）见膏盐层（利川盆地）；在该组上部（四、五段）所产牙形石 *Parachirognathus delicatulus*-*Pachycladina*-*Neospathodus* 组合带属于下统奥伦尼克阶（湖北省地质矿产局，1990）。三叠系中统在鄂东称陆水河组和蒲圻组，后者有膏层发现，据其所含双壳类和轮藻化石，其时代相当于安尼阶晚期至拉丁期；在鄂西称巴东组，亦见有膏层（见表 2）。

晚白垩-古近纪蒸发岩：本区晚白垩-古近纪均有蒸发岩沉积。上白垩统仅见石膏层沉积，而古近系不仅有较广泛膏盐沉积，而且在江汉盆地的潜江和江陵次盆地分别发现含硫酸钾矿层和达到工业品位钾卤水，兹简介如下。

晚燕山期以来，西太平洋板块向欧亚板块俯冲，造成中扬子陆块处于区域引张背景下，产生一系列 NW 向带状分布的裂陷次盆地。江汉晚白垩-古近纪盐盆地即是在此区域构造背景下成生和发展的。江汉断陷膏盐盆地总面积 1 万余 km²，该盆地发育厚达 1 万 m 晚白垩-古近纪陆相膏盐沉积岩系，在北西和北东向断裂的间歇活动下，形成“七凹”和“五凸”，即潜江、江陵、沔阳、小板、云应、陈沱口和枝江等次盆地（凹陷），以及丫角新沟、沉湖、通海口、天门和龙赛湖低凸起（水下隆起或沙堤）（图 4）。

江汉盆地新生代湖相地层的地质时代，业经地质石油部门以微体古生物进行详细划分（张师本，1993）。按地层划分表，江汉盆地主要产钾的含盐岩系有二组：第一组为古新世沙市组下、中部，产含钾卤水；第二组为始新世下、中部潜江组，上部含硫酸钾盐类（钾芒硝等）。本区还作了磁性地层年代学研究（张师本等，1993；戴世昭，1997），但是所测样品均采自地表地层，在缺乏井下地层古地磁数据且地表

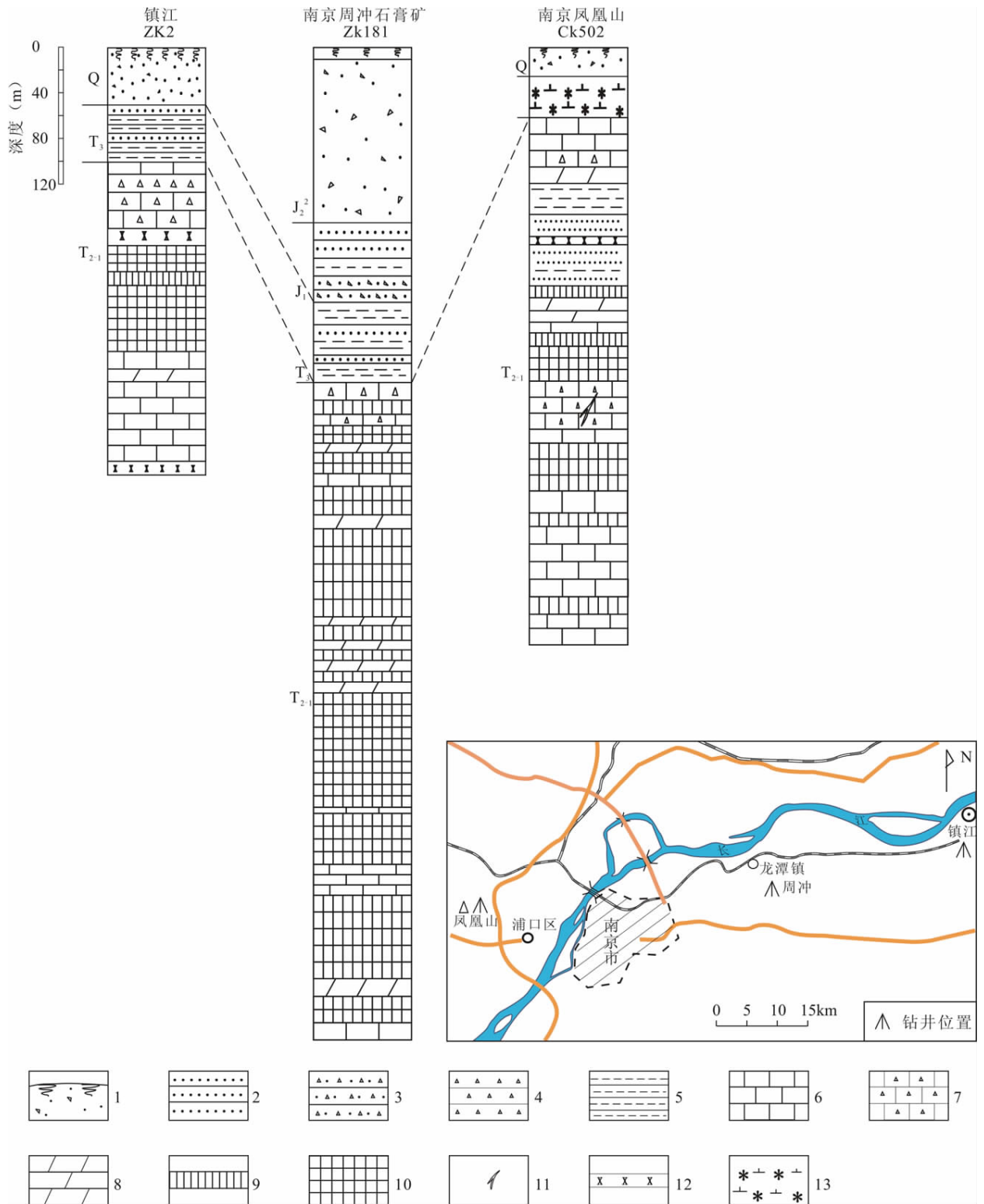


图 3 下扬子三叠纪蒸发岩预备盆地钻孔剖面对比图(根据江苏地质一队、冶金勘察公司,1970,1971 等简化)

Fig. 3 Correlation of the columnar sections of wells drilled in the Lower Yangtze Triassic evaporite preparatory basin (Simplified from the First Geological Party of Jiangsu Province and Metallurgical Exploration Corporation)

1—冲积层;2—砂岩;3—砂砾岩;4—砾岩;5—页岩;6—白云岩;7—灰质角砾岩;8—泥灰岩;9—石膏层;10—硬石膏层;
 11—石膏脉;12—脉岩;13—蚀变闪长岩

1—Alluvium;2—sandstone;3—sandy conglomerate;4—conglomerate;5—shale;6—dolostone;7—limey breccia;8—marlstone;
 9—gypsum bed;10—anhydrite bed;11—gypsum vein;12—dike rocks;13—altered diorite

和井下岩性差别很大情况下,将潜江组与车阳河组、牌楼组相对比,将其时代置于始新世中晚期至渐新世早期,按国际地层表(2008)给出年龄,笔者等曾对潜江凹陷潜江组明钾 1 井岩心磁性年代学研究表明:潜江组潜四段上部至潜一段年龄为 47.2~42.0 Ma,推测延深至潜四段下部,其大致与始新世鲁帝特阶(Lutetian Stage)从底部到上部(48.6±0.2Ma~40.4±0.2Ma)相当(International Commission

on Stratigraphy, 2008)。潜江组含盐岩系厚度 650~3500m,若按江汉盆地潜江组鲁帝特阶 8Ma 计算,其沉积速率为 0.98~0.6mm/a;若按戴世昭等(1998)鲁帝特阶年龄 12Ma 计算,其沉积速率为 0.29~0.054mm/a,前者较后者沉积速率约高 1 倍以上。如所周知,由于盐类(石盐、芒硝等)较碎屑沉积速率快得多,似可佐证前者沉积年龄较为可信(有关江汉盆地井下潜江组古地磁年龄将另文讨论)。

表 3 中国东部若干古近纪—新近纪含盐类及生油层位对比简表

Table 3 Summary of correlation of several Paleogene-Neogene salt-bearing and oil source horizons in eastern China

序 号				1	2	3	4	5	6														
				①,②	①	③	③	④	④														
盆地(凹陷)				江汉盆地		苏南隆起	苏北盆地	鲁苏隆起	华北盆地														
地层时代																							
纪	世	期(代号)	地质年龄(Ma)	井下	露头	金坛凹陷	洪泽凹陷	大汶口凹陷	东营凹陷														
新近纪	上新世	Pia.	2.48	广华寺组	牌楼组	黄岗组	盐城组	明化镇组	5.1(Ma)														
		Zan.	3.60			元台组																	
	中新世	Mes.	5.332			洞关玄组				三垛组	三垛组	官三段	东营组	24.0									
		Tor.	7.246																				
		Ser.	11.608																				
		Lan.	13.65																				
		Bur.	15.97																				
Aqu.	20.43																						
古近纪	渐新世	Cha.	28.4±0.1	荆河镇组	荆河镇组	戴南组	戴南组	官二段	二上														
		Rup.	33.9±0.1							真武组	真武组	官一段	二下										
	始新世	Pri.	37.2±0.1			潜江组	车阳河组	真武组	真武组					官一段	K+								
		Bar.	40.4±0.2							潜江组	车阳河组	真武组	真武组			官一段	K+						
	新近世	Lut.	42.28			潜江组	车阳河组	真武组	真武组					官一段	K+								
		Ypr.	47.65							潜江组	车阳河组	真武组	真武组			官一段	K+						
	古新世	Tha.	48.6±0.2			潜江组	车阳河组	真武组	真武组					官一段	K+								
		Sel.	55.8±0.2							潜江组	车阳河组	真武组	真武组			官一段	K+						
		Dan.	58.7±0.2															潜江组	车阳河组	真武组	真武组	官一段	K+
			~61.1																				
65.5±0.3	潜江组	车阳河组	真武组	真武组	官一段	K+																	
65.0							潜江组	车阳河组	真武组	真武组	官一段	K+											

①—张师本等, 1993; ②—本文, 2001; ③—王仪诚等, 1994; ④—姚益民等, 1994; 蒸发岩为本文所加

K 钾盐 Potash	+ 石盐 Halite	^ 石膏 Gypsum	◇ 油页岩 Oil shale	▨ 好生油层 Good source rocks	▩ 较好生油层 Better source rocks
--------------------	--------------------	--------------------	------------------------	---------------------------------	------------------------------------

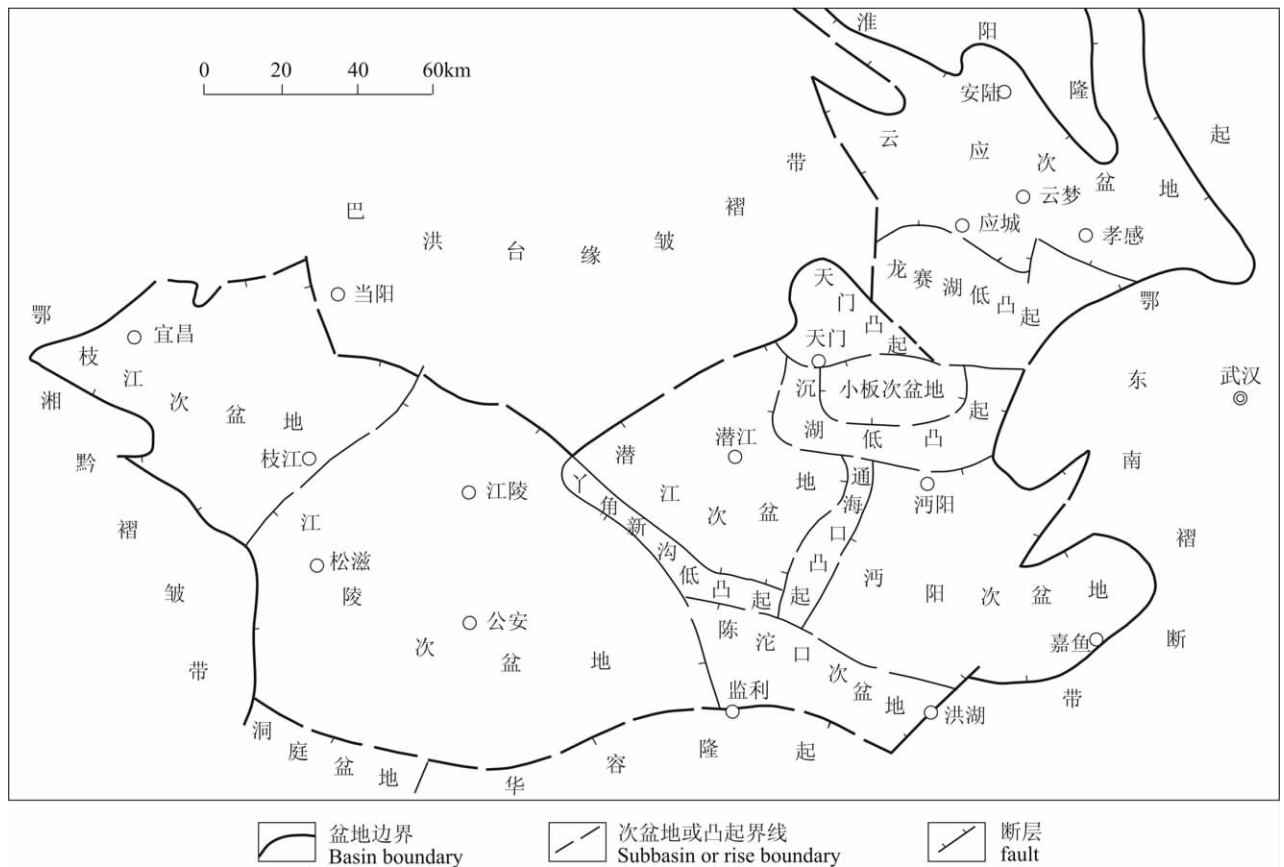


图 4 江汉盆地系次盆地分布略图(据张师本等,1993。略有删补)

Fig. 4 Distribution of subbasins in the Jianghan basin system (after Zhang Shibin et al., 1993)

目前,江汉盆地已知卤水和固体钾盐层,分别发现于江陵次盆地和潜江次盆地。本区含钾卤水达到工业品位主要在江陵次盆地,潜江次盆地虽然赋有 6 层丰富地下卤水,但 KCl 含量绝大部分低于边界品位,其 KCl 平均含量仅达 0.3%^①。

从晚白垩世至始新世,江汉盆地沉积中心由西南向东北有规律地迁移。在晚白垩世其沉积中心在枝江一带,面积约 28000km²;古新世沙市组-荆沙组沉积时,沉积中心迁至江陵一带,面积约 12000km²;潜江组沉积时,其沉积中心向东北迁至潜江一带,面积约 12000km²,含盐岩系厚达 3000~4000m。江陵次盆地沙市组由下而上概分为沙 1~4 段,石盐层见于下、中部(见表 3),含钾卤水产于沙 1~3 段,在其脆性岩石和泥岩的裂缝形成卤水富集带。据目前已揭露的个别钻孔资料,其 KCl 含量为 1.4%~1.52%,超过工业开采品位,并含稀碱元素和钾均高于潜江次盆地始新世地下卤水,而硼和重金属铜、铅、锌含量两地相近(表 4)。江陵和潜江地下卤水均属于沉积卤水,并经深埋变质作用,但其组分基本特征与内陆盐湖较为相近,为内陆盐湖成因,而有别于

海水组分。江陵地下卤水含钾与稀碱元素较接近西藏高原盐湖(主要受壳层流体和风化盐补给),与接受深部地幔热流体补给的 Salton Sea 盐湖比较(Zheng Mianping, 1999),其重金属含量相差悬殊(表 4)。

始新世石盐厚层沉积主要赋于潜江和小板次盆地,面积分别为 2000km²和 250km²,潜江次盆地岩盐累计厚度达 1800m,通过七十年代初矿床地质研究所组队同江汉油田合作,开展油盐兼探^②,不但总结了一套行之有效的“油钾兼探”方法(石油化工部等,1977),而且在始新世潜江组上部发现含无水钾镁矾的原生钾芒硝矿层,厚 0.43~1.16m(表 5)^③。

2.1.3 上扬子区

在扬子地块发育有海相晚震旦系、寒武系、石炭系、泥盆系、三叠系和陆相上白垩统 6 个时代蒸发岩层。其中海相三叠系膏盐沉积规模最大。分布面积约达 18×10⁴km²(见图 1、图 2)。由上扬子盆地东部万县一带以早三叠世嘉陵江组含钾的石盐沉积为主,向西偏南至成都凹陷以中三叠世雷口坡组含钾的石盐沉积占优势,直至上扬子西缘盐源一带,中三

表 4 江汉古近系地下卤水与其它卤水和海水若干组分对比

Table 4 Comparison of several components of underground brine with those of other brine and seawater in the Paleogene in the Jiangnan basin (unit: mg/L)

类含 型量 元素	江汉盆地			藏北陆-陆碰撞带		柴达木内陆盆地	西藏陆-陆碰撞带	断层-沉降转换带	现代海洋
	潜江次盆地		江陵次盆地						
	潜江组 1~6 卤水层平均值	潜 3 段卤水	江陵沙 4 井卤水	扎布耶盐湖南湖卤水平均值	扎仓茶卡 II 湖卤水平均值	大柴旦湖地表卤水	塔格架地热水	Salton sea 湖卤水	海水
K	1581.3	1583	9054	31968	15848.37	3222.0	41	17500	390.64
Br	379.7	740	230	377.24	186.57	50.54	0.18	120	66.82
Li	59.50	55.80	65.00	1404.83	693.14	84.90	7.50	215	0.1748
Rb	3.68	3.25	56.10	42.6	18.90	0.26	0.80	13.5	0.1234
Cs	1.22	0.33	16.8	18.25	6.72	/	6.45	14	0.000514
Cu	/	1.20	0.06	0.837	0.03	0.013	0.0013	8	0.00301
Zn	/	1.20	0.60	≤0.000008	0.12	0.45	0.0023	540	0.01028
Pb	/	0.06	0.06	≤0.00011	0.45	0.006	0.0025	102	0.000031
B	298.18	212.64	312.09	3107.26	635.54	767.11	87.3	390	4.73
∑S	279000	326867	335059	325000	290200	274400	1370	270000	35990
K×10 ³ /∑S	5.668	4.843	27.022	98.363	54.612	11.742	29.93	64.81	10.854
Br×10 ³ /∑S	1.3609	2.26392	0.70365	1.1607	0.6429	0.1842	0.13	0.44	1.8567
Li×10 ³ /∑S	0.21	0.20	0.19	4.32	2.39	0.30	5.474	0.7962	0.004857
Rb×10 ³ /∑S	0.013	0.01	0.172	0.13	0.065	0.00095	0.584	0.05	0.003428
Cs×10 ³ /∑S	0.0043	0.001	0.05	0.056	0.023	/	4.708	0.0519	0.0000143
Cu×10 ⁴ /∑S	/	0.037	0.002	0.026	0.00103	0.00047	0.0095	0.296	0.000836
Zn×10 ⁴ /∑S	/	0.037	0.02	/	0.00414	0.0163	0.017	20.000	0.00286
Pb×10 ⁴ /∑S	/	0.002	0.002	/	0.00155	0.00022	0.018	3.777	0.0000086
B×10 ⁴ /∑S	1.069	0.651	0.9548	9.56	2.19	2.796	63.72	1.44	0.13143
pH	6.65	6.83	/	9.0	7.9	7.95	8.85	5.2	8.2
钾的主要 物质来源	风化盐(寒武系、三叠系蒸发岩)		风化岩石和 火山沉积	温泉和风化岩 (含新近系火山沉积)		温泉和风化岩	碰撞带高温热泉	热泉及中新世 盐岩系溶蚀	世界海洋
资料来源	江汉油田,1972			郑绵平等,1989		郑喜玉等,2002	郑绵平等, 1995,1996	P. E. white 等, 1968	Keiths, Stowe,1979

注:∑S 为总盐量;单位为 mg/L

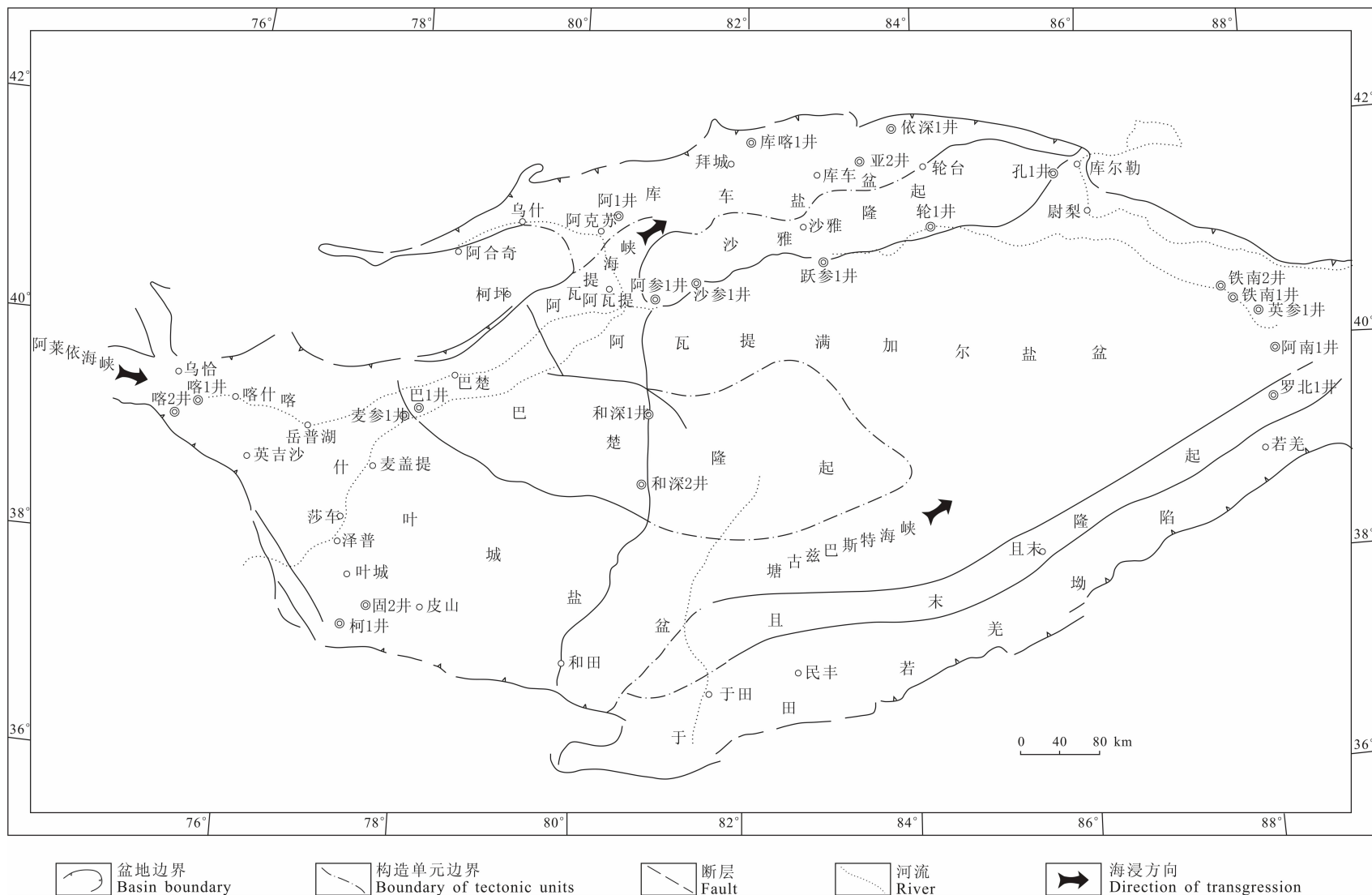


图 12 塔里木盆地晚白垩世-古近纪多级成盐盆地示意图(据金若谷,2007,内部略有修改补充)

Fig. 12 Diagrammatic map of the Late Cretaceous-Paleogene multi-step salt-forming basins in the Tarim basin (after Jin Ruogu et al., 2008)

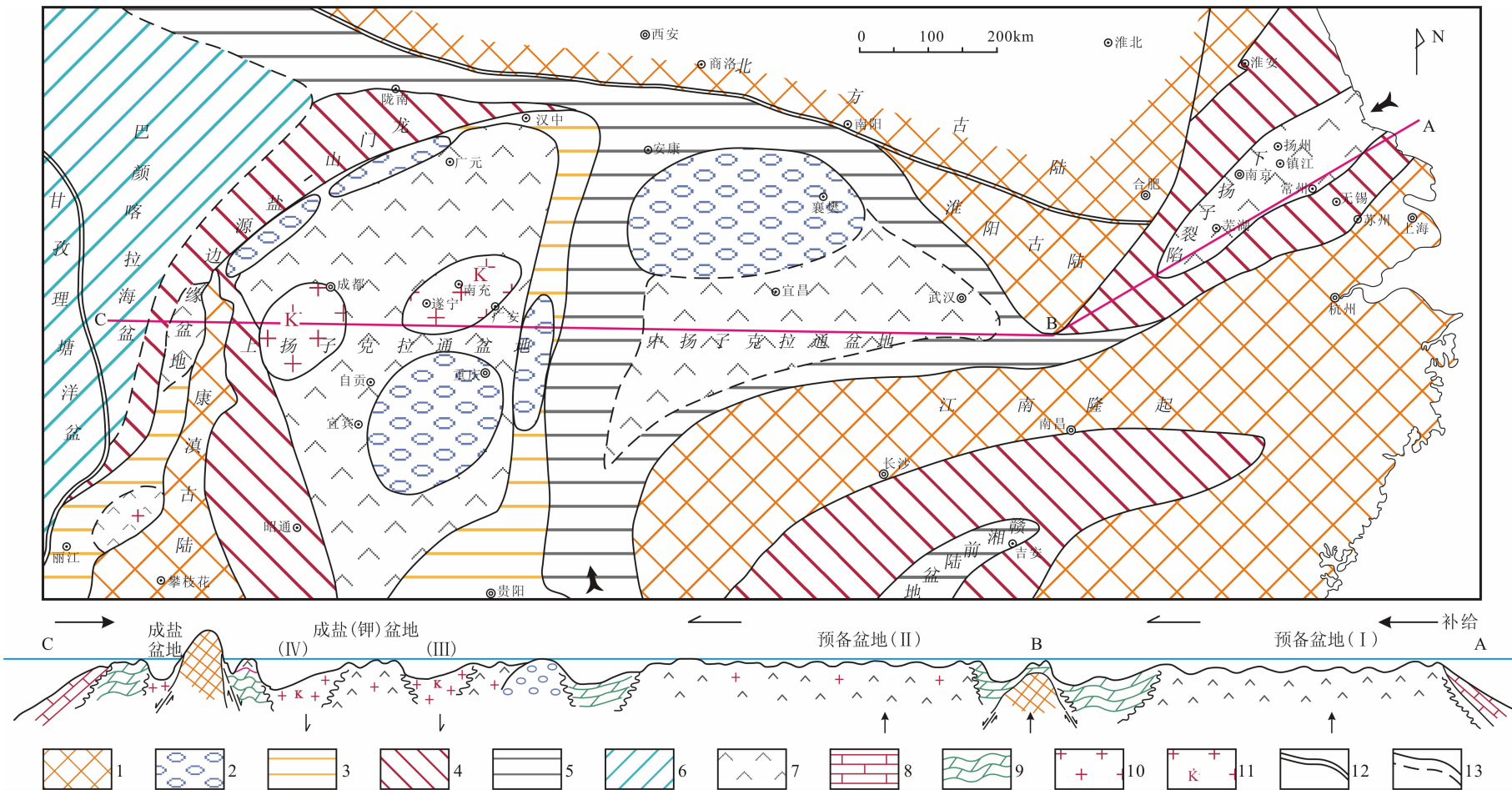


图 14 中三叠世扬子蒸发岩多级次盆地略图

Fig. 14 Sketch map of the Middle Triassic Yangtze evaporite multi-step subbasins

- 1—古陆/隆起; 2—藻滩/水下隆起; 3—台地; 4—潮坪; 5—陆棚; 6—海盆/海槽; 7—膏云沉积; 8—灰岩; 9—白云岩; 10—石盐沉积; 11—含钾-石盐沉积; 12—后期板块边界; 13—相界/推测相界
 1—Old land/uplift; 2—Algal beach; 3—Platform; 4—Algal flat; 5—Shelf; 6—Ocean basin/ocean trough; 7—Gypsum-dolomite deposits; 8—Limestone; 9—Dolomite; 10—Halite deposits;
 11—Potash- and halite-bearing deposits; 12—Late-stage plate boundary; 13—Facies boundary/facies boundary inferred

表 5 潜江凹陷见钾芒硝层钻孔简表

Table 5 Records of the wells encountering glaserite beds in the Qianjiang subbasin

孔号	含主矿层位	井段(m)	厚度(cm)	K ₂ O 含量(%)	备注
广 12 ²	潜二下 20 韵律	2401.58~2402.06	48	10.56	主要矿物:钾芒硝、石盐及少量无水芒硝,盐镁芒硝
周钾 1	同上	2803.03~2803.46	43	9.67	同上
广 13	同上	2593.65~2596.15	46	9.35	同上
		2595.73~2596.15	42	4.42	同上
钟 96	同上	2301.35~2302.64	1.16 *	10.86	主要矿物:钾芒硝、 无水钾镁矾、石盐

叠统上部(白山组,见表 2)其石盐厚度可达 750m。

黄建国(1998)将上扬子盆地三叠系蒸发岩概括为 8 个含盐亚段,由下而上:

飞仙关组的 $T_1 f^3-T_1 f^4$,嘉陵江组的 $T_1 j^1-T_1 j^2$ 、 $T_1 j^3-T_1 j^4$ 、 $T_1 j^5$,雷口坡组的 $T_2 l^{1-1}-T_2 l^{1-2}-T_{21-3}$ 、 $T_2 l^{2-1}-T_2 l^{2-2}$ 、 $T_2 l^{3-1}-T_2 l^{3-2}$ 、 $T_2 l^{3-3}-T_2 l^{4-2}$ (图 5)。其中以 $T_1 j^4$ 、 $T_1 j^5$ 和 $T_2 l^4$ 含盐亚段石盐沉积较厚,含钾显示较好,是今后值得注意的目的层:

嘉四($T_1 j^4$)含盐亚段:由白云岩和膏盐层构成,厚 9~369m,一般厚 80~150m,以膏盐为主,钾异常区位于剖面中、下部,厚 1.5~8.0m。

嘉五至雷一($T_1 j^{5-1}-T_2 l^{1-1}$)含盐亚段:由硫酸盐、膏盐与杂卤石及凝灰岩(绿豆层)构成,主要以膏盐与杂卤石韵律层组成,厚 25~506m,一般 50~120m,含钾盐层分布于绿豆岩之上下,赋存富钾卤水。

雷四($T_2 l^4$)含盐亚段:由白云岩与膏盐组成,由硬石膏与石盐韵律层构成,含杂卤石,厚 5~640m,一般厚 100~300m;赋存高浓度富钾卤水。

在上扬子盆地三叠纪初期,由于盆地东部(川东)逐渐抬升,盆地盐沉积中心,从嘉陵江组($T_1 j$)至雷口坡组($T_2 l$),渐由川东(万县—南充次盐盆地)向西南(成都次盐盆地)迁聚,而其盐沉积中心的范围几经变化,也有渐为缩小趋势,中三叠世初始,四川盆地大规模火山喷发,即向盆地汇入大量硼、锂、

铷、溴和钾等组分。在重力场作用下,从奥伦阶(嘉陵江组)至安尼阶(雷口坡组)长达 1200 万年的蒸发与沉积化学分异作用下,按照多级盐次盆地沉积模式分析,上扬子蒸发盆地易溶性钾及硼、铷、锂、溴、碘必然向低阶次盐盆地汇聚(郑绵平等,1989)。除了已发现杂卤石和无水钾镁矾硫酸钾镁盐沉积外,特别发现平落坝构造特富钾综合性卤水,其 KCl 含量达 101.56g/L,并富含硼和锂、铷、铯、溴、碘(表 6)。据平落坝构造仅平落 4 井、平落 20 井 2 个钻孔控制的膏盐地段,经初步评价,钾盐已达中型规模。

上扬子盆地具有多期叠合成盐特点,属于海相蒸发岩系除三叠系外,还有晚震旦统陡山沱组、灯影组和中上寒武统。在上扬子盆地长宁地区宁 1 井和宁 2 井见及陡山沱组含膏层、灯影组下贫藻段产纯厚岩盐,富藻段产岩盐和富钾卤水。此系我国迄今为止,所发现最古老的岩盐层。宁 1 井深 2413~2655m 富藻段见 5 层石盐层,单层厚 2.5~12m,共厚 29.5m;于井深 2786~2796m 下贫藻层中见一层厚 10m 石盐层。宁 2 井于下贫藻段井深 2593~2645m 见厚 53m 钙芒硝层,井深 2645~2885m 见厚 292m 的石盐层,其上部为含钙芒硝石盐层。上扬子盆地晚震旦统蒸发岩沉积已见于川南、滇东北和川东北—鄂西地区,按古生物地层等对比,笔者认为其地层时代与邻区巴基斯坦盐岭钾盐等矿区可以对比(郑绵平等,1978),国外也将巴基斯坦及邻区印

表 6 平落坝卤水化学成分^{①②}

Table 6 Chemical composition of brine at Pingluoba

NO	常量组分含量(g/L)							矿化度	pH
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻		
1	96.789	53.267	3.630	3.166	210.184	1.394	1.129	375	5.9
2	84.19	52.0	1.06	2.33	198.1	1.91	1.47	358	5.0
微量组分含量(mg/L)									
	Br ⁻	I ⁻	B ³⁺	Li ⁺	Sr ²⁺	Rb ⁺	Cs ⁺	密度	
1	2533.00	38.38	4994.36	89.80	166.00	37.50	3.00	1.2359	
2	2590.0	67.0	3960.0	73.0	159.0	35.0	2.0	—	

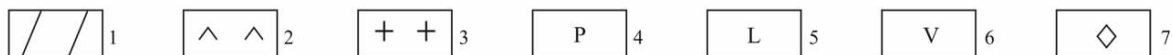
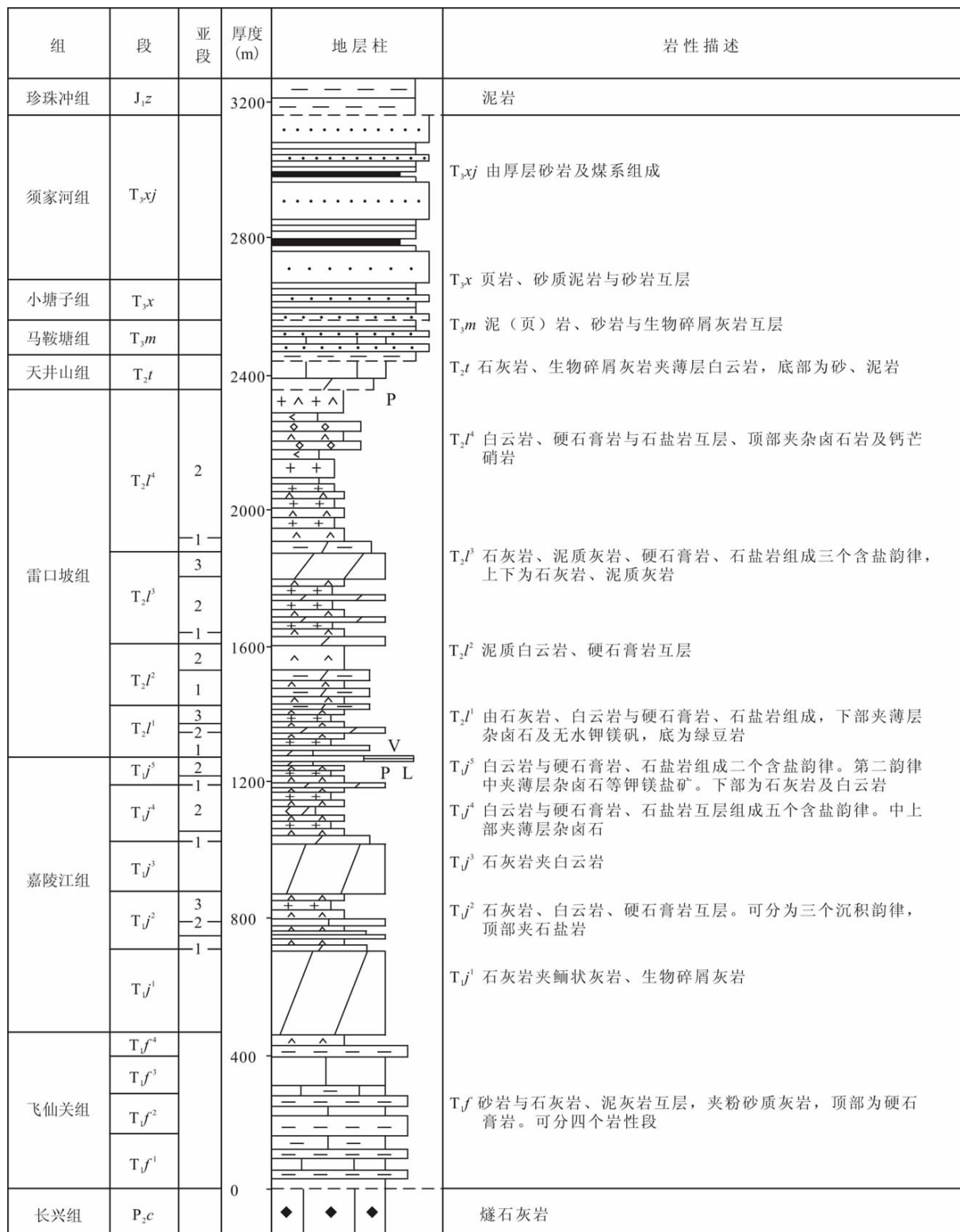


图 5 四川盆地三叠纪含盐地层层序(据黄建国,1998,略有补充、删改)

Fig. 5 Triassic gypsum-halite sequences in the Sichuan basin (after Huang Jianguo, 1998)

1—灰岩-白云岩或泥质白云岩;2—硬石膏;3—岩盐;4—杂卤石;5—无水钾镁矾;6—绿豆岩;7—钙芒硝
 1—Limestone-dolostone or muddy dolostone;2—Anhydrite;3—Halite;4—Polyhalite;5—Langbeinite;
 6—Mung bean rock;7—Glauberite

表 7 中国和巴基斯坦上震旦统上部—寒武纪地层对比表

Table 7 Stratigraphic correlation of the upper Upper Sinian-Cambrian between China and Pakistan

时代		国别		中国 (上扬子海区)	巴基斯坦 (盐岭)
寒武系	上统	娄山关群		浅灰色白云岩, 泥质白云岩为主。(化石稀少) 400~600m (注1)	大部缺失
		陡坡寺组		白云岩、页岩、产石盐假晶 33~416m 产 <i>Chittilla</i> , <i>Ptychoparia</i> , <i>Paragraulus</i>	石盐假晶组 (Salt Pseudomorph beds) 红褐色页岩、砂岩, 含石盐, 石膏假晶产 <i>Ptychoparia</i> , <i>Chittidilla</i> 107m
	中统	龙王庙组		灰色白云岩、夹紫红色砂岩、灰岩, 产石盐假晶 127~799m	白云岩组 (maonlsian s s) 灰白-浅黄色白云岩, 夹鲕状白云岩, 页岩及细砂岩 76m
		沧浪铺组	乌龙箐段	紫红色砂泥岩 产 <i>Palaeolenus</i> , <i>Redlichia</i> , <i>Cambrocycathus</i> 85~222m	列斯奥布岩组 (Neobohlus, sh) 紫红、灰色-深灰色页岩和砂岩, 具白云岩夹层 产 <i>Redlichia</i> , <i>noetlingi</i> , <i>Bostfordia</i> 21~219m
			红井哨段	深灰色砂页岩 300~400m 产 <i>Yunnanaspis</i> <i>Hupeidiscas</i> 等	紫色砂岩组 (Purple, s s) 紫红、暗红色到浅黄色砂岩, 夹紫色灰岩, 层理具波痕, 泥裂含盐包裹体。 137m
	箐竹寺组		灰黑色页岩夹灰色砂岩 300~700m左右		
震旦系	上统	灯影组	白云岩段	中部和边缘多缺失	可能缺失
			蓝灰色页岩段	硅质白云岩 600~50m 灰色砂岩夹页岩、白云岩 2~24m	
	下部	藻段	上藻贫段	白云岩, 具硅质条带 0~350m	盐组 (saline series) 上部: 石膏、白云岩、夹油页岩 46m 中部: 盐质泥灰岩和岩盐夹钾盐层(硫酸盐型) 244m 下部: 石膏白云岩夹油页岩 229m
			富藻段	含藻白云岩为主, 靠下部产石膏、岩盐(产天然气) 265~780m	
			下藻贫段	白云岩夹厚层岩盐、石膏、钙芒硝层、含硅质 400~20m	
下伏岩层		陡山沱组 425~15m	峨眉山花岗岩	前寒武纪花岗岩	

注 1: 由 400m 至 600m 为上扬子海西部至东部厚度的变化范围, 以下皆同。

度、伊朗该古老含盐岩系,划为前寒武纪晚期(pre ϵ)或 pre ϵ 至寒武纪早期(Wadia D N, 1953; Jones G L, 1970; Engene C, 1970; Srikan Tin S V, 1972; Zharkov M A, 1981, 1984; Virendra Kumar, 2005)。已在笔者所编对比表中(表 7, 引自郑绵平等, 1978)列出, 不再赘述。

前寒武纪末—寒武纪广泛成盐以至成钾是亚洲大陆特点,除了西伯利亚早寒武世形成世界远景资源量最大钾盐矿床外,在南亚震旦纪晚期—早寒武世,伊朗—印度—巴基斯坦存在一个面积约达 100 万 km² 蒸发岩沉积区。除了巴基斯坦盐类钾盐外,早在 1972 年就有报导在印度地下前寒武纪沙贝组厚达 235m 岩盐中,也发现有钾的异常带(含 K 1.3%)(Srikan Tin S. V., 1972)。最近在巴基斯坦盐岭邻近的印度拉贾斯坦发现大型低品位钾盐矿床, KCl 资源储量约 2 亿吨 (Virendra Kumar et al., 2005)。

上扬子盆地中下寒武统也有蒸发岩发育,分布面积在 20 \times 10⁴ km² 以上,分布地区与晚震旦纪相近似,但范围更广。其地层层序如表 8 所示。

表 8 四川与邻区寒武系地层对比简表

Table 8 Summary of the stratigraphic correlation of the Cambrian between Sichuan and its adjacent regions

	四川石油局原用地层系统(川南)		川南、黔北地层分区	贵州东北部地区
上寒武统	洗象池群($\epsilon_{2,3}$)		娄山关群($\epsilon_{2,3}$)	娄山关群 茅田组 后坝组 平井组
中寒武统	遇仙寺组	上红层	双龙谭组 高台组(ϵ_2g)	石冷水组 高台组
		中灰岩	清虚洞组(ϵ_1g^A)	清虚洞组
下寒武统		下红层	金顶山组(ϵ_1f^A)	金顶山组
	九老洞组		明心寺组 牛蹄塘组	明心寺组 牛蹄塘组

上扬子盆地寒武系主要膏盐层赋于下寒武纪上部清虚洞组(ϵ_1g)和中寒武纪下部高台组(ϵ_2g)中,20 世纪 80 年代以来石油部门相继在川东、川南发现钻遇寒武系钻孔 6 个(座 3 井、东深一井、临 7 井、建深一井、朴一井、丁山一井),近期中石化资料还在鄂西天一井钻孔遇中寒武纪膏盐层,甚至向东到武汉也发现寒武系膏盐层。已有资料显示,扬子地块寒武系成盐条件较好,尤其在川东南已形成约 2 余万 km² 膏盐盆地,其中岩盐厚可达 600m 以上

(临 7 井、未钻穿),据石盐岩屑分析,其 Br \cdot 10³/Cl 系数达 0.35^⑥,反映石盐沉积已达晚期阶段,但该区寒武系深埋地下,已钻遇膏盐层深度约在 2700~6740m。

2.2 华北盐类成矿域

华北地块是太古宙末期形成的克拉通(张秋生等,1988),是我国最早发现海相蒸发岩沉积的地块。该陆块基底由太古宙和早元古代不同变质程度的变质岩系。盖层属于海相沉积为中、新元古代海相碎屑岩—碳酸盐岩,寒武纪—中奥陶世碳酸盐等。该蒸发岩类主要分布于辽吉—冀北,构成中国最古老的蒸发岩盆地,尽管后期大部分经过变质改造。如据研究,辽宁世界著名的大石桥菱镁矿属于同生再造矿床,认为该菱镁矿产于辽河群中,是在盐湖环境中沉积,再经后期热液改造的(姜春潮,1994)。辽河群的同位素年龄大致在 $\leq 2200 \sim \geq 1960$ Ma(张秋生,1988)或 1700~1500 \pm 100Ma(姜春潮,1987),均在早元古代年龄范围内。此外,辽吉宽甸群上部砖庙组沉积变质型硼镁石——遂安石矿床,还夹有石膏层(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(Pen Qiming,1998)。在中元古界长城系高于庄组还产出海相蒸发沉积型锰方硼石矿床(郑绵平,1994)。

在华北地块中东部还广泛发育早寒武纪白云岩—石膏蒸发岩系,构成面积约 60 万 km² 碳酸盐蒸发台地,该下寒武统赋有三个层位石膏和硬石膏层(刘群,1997),并在其泥灰岩和含泥质碳酸盐岩层中,见到石盐假晶和泥裂构造等反映干旱环境沉积物,但迄今未发现岩盐层,已有研究认为该区早寒武世虽有较有利的古气候、古地理条件,同已知东西伯利亚下寒武统钾盐盆地同属碳酸盐台地相的沉积环境,并均位于干旱气候带和相近纬度,但盆地蒸发强度较弱,持续成盐时间较短,“找钾前景不太理想”(刘群,1994)。由于找盐钾工作程度较低,尤其是深部工作很少,今后还应注意有无局部成盐凹地。最近,获悉山东临清口凹陷在石油勘查中曾钻遇寒武系石盐层^⑥。

华北地块西部鄂尔多斯(陕甘宁)盆地的下中奥陶统,是该陆块最新的海相蒸发岩系。该岩系在五十年代以前,在地表早已发现很多下中奥陶系马家沟组石膏(硬石膏)矿点。在 1955 年,原燃料工业部在延一井曾发现下中奥陶统马家沟组岩盐层。20 世纪 70 年代后期以来,石油部门在一批深井中有 10 余钻井钻遇岩盐层。1987~1995 年相继进行了

在陕北盆地开展油盐兼探和钾盐普查和研究工作,通过榆九井和陕钾 1 井岩心研究,首次在该区发现钾盐薄层,初步圈定了盐盆范围和钾矿化带等,为在该区找钾工作提供重要依据(刘群等,1997)。2007 年以来,矿产资源所盐湖中心主动配合陕北榆林地区岩盐钻探任务,对该区施工的 5 口探盐井进行了野外观察编录和系统采样研究,通过 2 年多的研究取得了一些新进展,现将鄂尔多斯下奥陶统蒸发沉积简述如下。

鄂尔多斯下奥陶统沉积盆地面积约 $22 \times 10^4 \text{ km}^2$,下奥陶统为一套碳酸盐岩与膏盐岩互层沉积组合。鄂尔多斯陕北盆地膏盐层主要发育于马家沟一段、三段、五段。在马二段中部和马四段中部,局部亦有少量膏盐分布,马五段膏盐较为发育,尤以其上部马五⁶石盐单层厚度最大(图 6),由下而上细分为马五¹⁰—马五⁴(表 9)。

表 9 陕北奥陶系含盐系及盐组划分

Table 9 Ordovician salt-bearing sequences and salt groups in northern Shaanxi

地层			含盐系及盐组划分	
组	段	亚段	含盐系(成盐期)	盐组(聚盐期)
峰峰组	马六段			
上马家沟组	马五段 O _{1m} ⁵	马五 ⁴	马五含盐系	IV
		马五 ⁵		
		马五 ⁶		III
		马五 ⁷		
		马五 ⁸		II
		马五 ⁹		
		马五 ¹⁰		I
				马四段
下马家沟组	马三段	O _{1m} ³	马三含盐系	IV
	马二段	O _{1m} ²		III
				I
	马一段	O _{1m} ¹	马一含盐系	I
亮甲山组	O _{1l}			
冶里组	O _{1y}			

在鄂尔多斯盆地东部的陕北盐盆是目前我国发现的最大盐盆之一,含盐面积达 5.6 万 km^2 ,石盐累计厚度 159~200m,单层厚度可达 12~14m。在奥陶系下统马家沟组沉积时期,属于大型的碳酸盐台

地,具有相对封闭的古地理环境,奥陶纪时期华北地块又处于南纬 20° 以内的低纬度带,具有干旱的古气候条件(图 7)。因而在该盆地形成巨大规模的石盐沉积,不仅有很大的经济价值,也为形成钾盐矿床提供了必要条件。作者等五次赴陕北榆林地区,先后对 2007 年 2008 年完钻的佳一井、绥一井、米探一井、吴堡一井、子洲一井岩心进行野外观察编录及系统采样。并采集米脂钻孔中的卤水。绥一井样品化学分析结果显示,KCl 含量 2.0%~5.74%,已达边界工业品位,镜下见钾石盐、钾铁盐,厚度约 1m,并发现深度 2404m 处 K 含量 4.92%,KCl 含量达 9%,尤其在吴堡一井岩芯中,已显示含钾高段厚度有 1m 余。并且在该地区盐层中溴氯系数普遍较高,已达到钾盐至光卤石沉积阶段(表 10),如与老挝发现的钾盐矿床和海相石盐溴氯系数对比,也已达钾石盐沉积阶段。

表 10 陕北盐盆最新钻孔与正常海相石盐中 Br 和 $\text{Br} \times 10^3 / \text{Cl}$ 系数对比表

Table 10 Comparisons of Br contents and $\text{Br} \times 10^3 / \text{Cl}$ coefficients of halite from the latest wells and normal marine halite in the northern Shaanxi salt subbasin

沉积阶段	Br(ug/g)			$\text{Br} \times 10^3 / \text{Cl}$		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均
正常海水沉积石盐	189	68		0.37	0.11	
正常海水沉积钾石盐	370	270		0.611	0.445	
正常海水沉积光卤石	630	370		10.39	0.611	
佳一井	400	250	330	0.91	0.40	0.54
绥一井	440	150	310	0.75	0.31	0.51
米探一井	800	180	320	1.36	0.3	0.7
子洲一井						
吴堡一井	420	50	220	0.86	0.1	0.41

迄今,在国外显生宙各地质时代几乎都发现有钾盐矿床,惟独尚未发现奥陶纪有钾矿床,而且在 14 个奥陶纪蒸发盆地中有岩盐沉积的盆地也只见于加拿大北极盆地(Zharkov M A, 1984),而在我国不仅有大规模岩盐堆积,且已发现含钾矿化层。奥陶纪是重要冰碛期,笔者曾指出“盐沉积不仅可以在干旱炎热环境下发生,还可在干旱寒冷环境下大量沉积,只是在两种气候条件下,它们的盐类沉积矿物种类和组合有所不同而已”(郑绵平等,1998),据古纬度研究,华北奥陶纪时在低纬度区带大致在南纬 18°(Scotese et al., 1979)或北纬 10°~2°附近(图 7),而在各地史时期的低纬度地区,是成盐成钾最有利地区。只要陕北盐盆地有后期聚钾凹地,成钾是完全可能的。

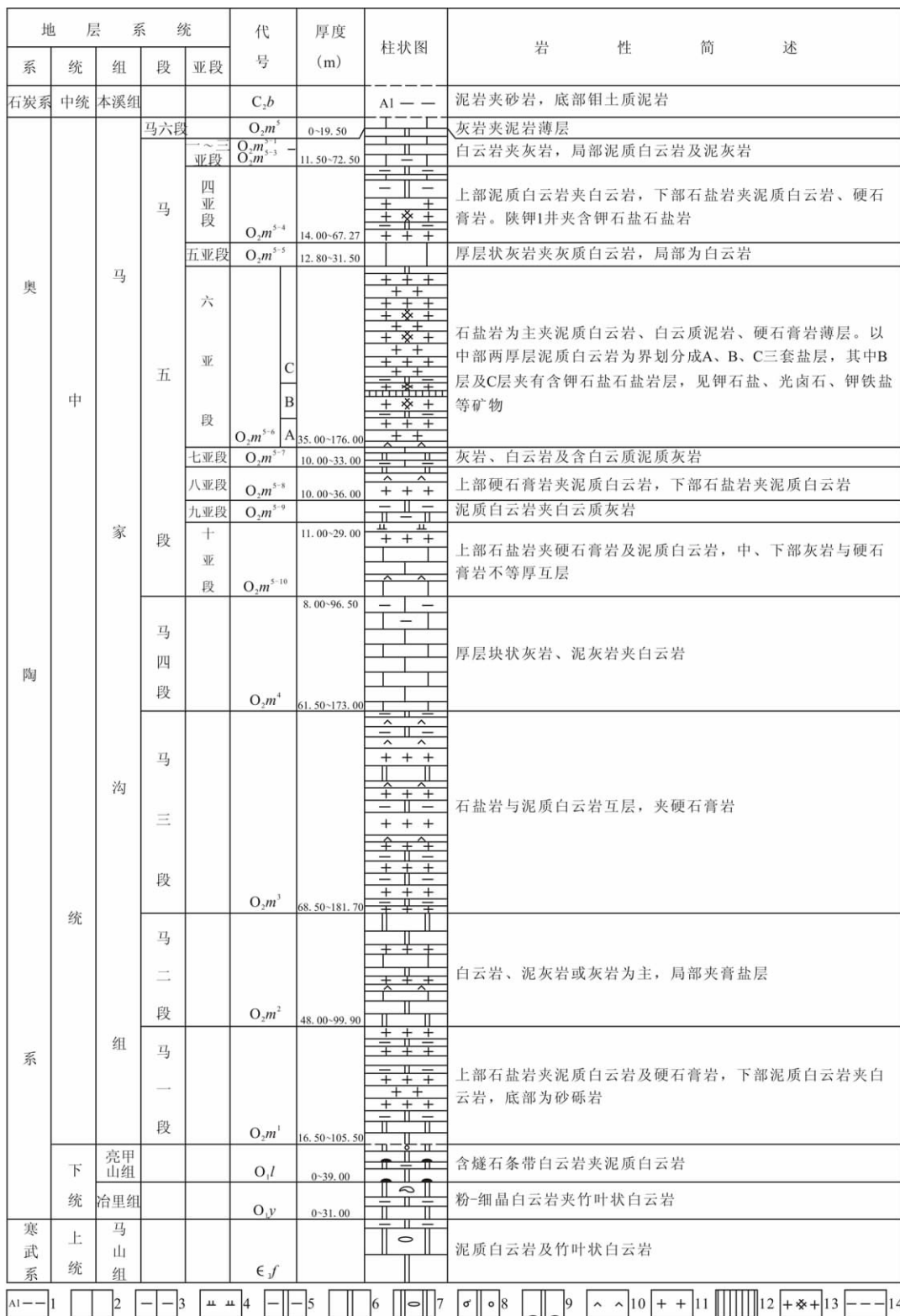


图6 马家沟组膏盐综合剖面图(据刘群等,1997,稍作补充)

Fig. 6 Integrated columnar section of gypsum and halite in the Majiagou Formation (after Liu Qun et al., 1997)

1—铝土质泥岩;2—石灰岩;3—泥质灰岩;4—白云质泥岩;5—泥质白云岩;6—白云岩;7—竹叶状白云岩;8—鲕状白云岩;9—含燧石白云岩;10—硬石膏岩;11—石盐岩;12—薄层钾石盐;13—含钾石盐石盐岩;14—不整合

1—Bauxitic mudstone; 2—limestone; 3—argillaceous limestone; 4—dolomitic mudstone; 5—argillaceous dolostone; 6—dolostone; 7—edgewise dolostone; 8—oolitic dolostone; 9—cherty dolostone; 10—anhydrite; 11—halite; 12—thin-bedded sylvite; 13—sylvite-bearing halite; 14—Unconformity

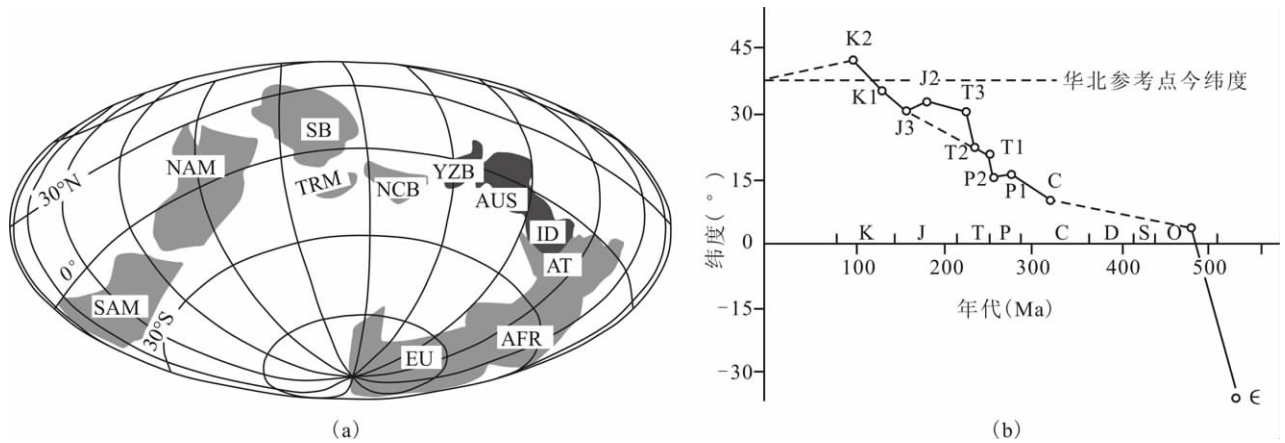


图 7 奥陶纪华北地体(陆块)运移图((a)据朱日祥等,1998;(b)据吴汉宁等,1990)

Fig. 7 Map showing the migration of the Ordovician North China terrane (block) (a) after Zhu Rixiang et al., 1998; (b) after Wu Hanning et al., 1990)

(a) 华北、扬子和塔里木地块奥陶纪古大陆再造(据朱日祥等,1998)。NCB—为华北地块;YZB—为扬子地块;TRM—为塔里木地块;SB—为西伯利亚;AUS—为澳大利亚;SAM—为南美;NAM—为北美;AFR—为非洲;ID—为印度;AT—为南极;EU—为古欧洲;(b) 华北地体古纬度分布变化(据吴汉宁等,1990)

(a) Reconstruction of Ordovician paleocontinents of the North China, Yangtze and Tarim blocks (after Zhu Rixiang et al., 1991); NCB—North China block; YZB—Yangtze block; TRM—Tarim block; SB—Siberia; AUS—Australia; SAM—South America; NAM—North America; AFR—Africa; ID—India; AT—Antarctica; EU—Paleo-Europe; (b) The paleolatitude distributions of North China blocks (after Wu Hanning et al., 1990).

在华北成矿域已知有小型钾矿,分布于本成矿域东部的大汶口盐盆地。该区在 20 世纪 60 年代山东地矿局地质队已作过石膏勘探工作,并在岩芯中发现可能赋存钾盐包体。著者曾据此于 1973 年前往大汶口做过地表调查,并曾以矿床地质所钾盐组名义建议开展该区钾盐找矿工作。1976 年以来,山东省综合研究队和山东省地质一队通过钻探和矿床所徐其俊等配合发现了含杂卤石、钠镁盐等,并有专题研究报告^①。1981 年山东第九地质队又发现了无水钾镁矾矿层。嗣后,还陆续有一些研究论文发表(李钟模,1994)。本文据上述成果作一概要介绍。

大汶口盆地位于山东泰安市西部隶属鲁西隆起中部新生代断陷盆地,周边为断层所围限,面积约 320km²(图 8),该盆地古近纪汶口组厚约 3000m,划分为下、中、上三段:下段以紫红色砾岩、砂砾岩为主,厚度大于 200m;中段底部为灰绿色钙质砂砾岩,下部为紫红色砂质泥岩夹含膏泥灰岩厚 370m;上部为灰色泥灰岩、泥质白云岩和一套含自然硫的含膏盐岩系,本段厚 787m;上段为深灰色泥灰岩夹油页岩和辉绿岩等,厚 1120m。据介形类和孢粉分析,将汶口组下中段含盐岩段相当中始新统沙河街四段,其上汶口组上段相当于上新统沙河街组三段(李钟模,1994)。

该盐盆地盐类沉积在平面上呈环带状分布,边缘为石膏和硬石膏,面积约 220km²;向中心依次为石盐面积约 50km²,杂卤石、钙芒硝—石盐,面积略小,可石盐、钠镁盐面积约 20 余 km²,钾镁盐面积约 3km²。在纵向上由下而上,由石膏和硬石膏—石盐—杂卤石、钙芒硝、石盐—钠镁盐到钾镁盐。

上述汶口组中上部含盐岩系自下而上分为下硬石膏、中石盐段和上硬石膏段。

下硬石膏段:以泥质硬石膏或硬石膏质泥岩为主,偶含星散状自然硫,厚度 > 150m;中石盐段:以石盐为主的咸化层和合以硬石膏、泥质岩为主的淡化层构成的频繁韵律层,厚达 1.18 m 的无水钾镁矾矿层即赋存于咸化层上部厚层岩盐中,该钾矿层 K₂O 平均品位 10.92%,圈定面积 320km²,远景地质储量 944 万吨,本段厚度 346m。上硬石膏段:泥质硬石膏和泥灰岩或少量泥质白云岩互层,厚度约 390 m。该矿床盐类矿物经较详细研究,以查明 20 种盐类矿物,主要盐类矿物为石盐、硬石膏、白云石、菱镁矿等。其次为杂卤石、钙芒硝等。本段盐类矿物的生成顺序已列表^②。

大汶口钾矿层围岩以陆相碎屑层为主,产陆相介形虫及轮藻化石(李钟模,1994)、溴氯系数较海相盐矿低 4~5 倍^③等。以上说明该小型钾矿是在陆

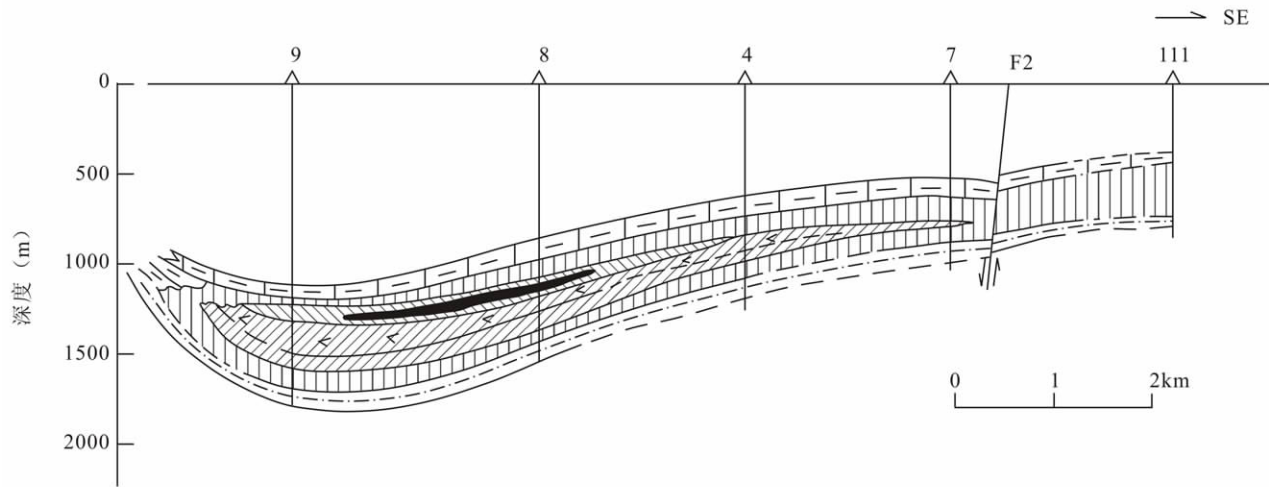
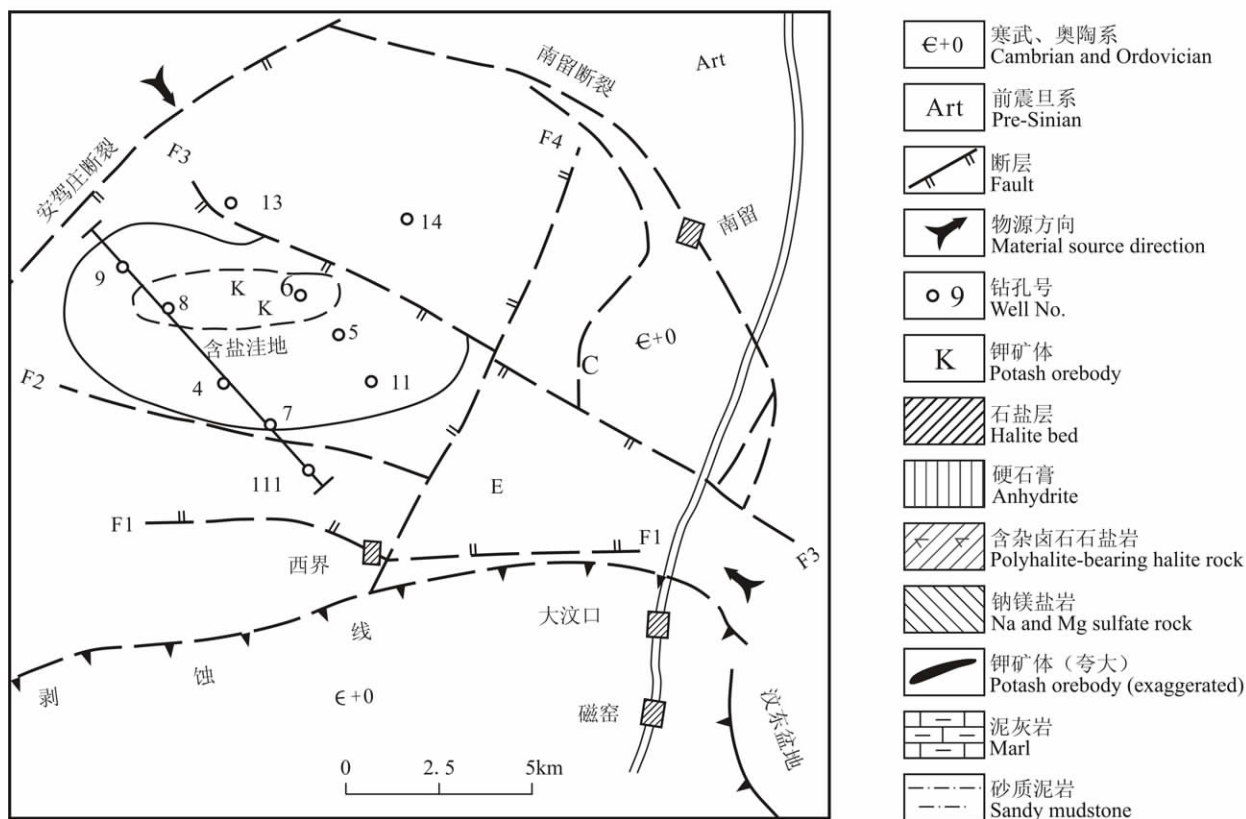


图 8 大汶口盐盆地钻孔分布与剖面略图 (引自徐其俊等, 1982^①。略有改动)

Fig. 8 Schematic section of the Dawenkou salt basin, showing the distribution of drill wells (after Xu and Yan et al., 1982)

相环境中形成,但钾的来源具有多样性,除了周围结晶岩风化盐类外,持续很长的是周边和下伏的广泛分布的寒武、奥陶系石膏蒸发岩。且附近临清地区已发现寒武系岩盐。由于在该含盐岩系个别层位中发现半咸水有孔虫化石和海绿石,可能还有海水来源(李钟模,1994)。还应指出大致的盐盆地是其东部“高阶湖”汶东盆地和“低阶湖”的梦阴盆地,在重

力场、磁场和选择性化学分异作用下,可溶性钾盐盐类必然会由高阶湖向低阶湖迁聚(郑绵平等,1989),因此,可汇聚的多级次盆地可能含有更多可溶盐类。

2.3 塔(里木)一柴(达木)成矿域

塔里木地块和柴达木地块均隶属于古亚洲构造域,兹分述如下。

表 11 大汶口钾矿层盐类形成顺序表
Table 11 Sequence of salt formation in the Dawenkou potash bed

矿物生成顺序	同生作用	成岩作用		后生作用
		早期	晚期	
碳酸盐	白云石	——	——	——
	菱镁矿	——	——	——
硫酸钠	天青石	——	——	——
	(硬)石膏	——	——	——
钙盐	钙芒硝	——	——	——
	无水芒硝	——?	——	——
氯化物	石盐	——	——	——
硫酸	氯镁芒硝	——	——	——
	白钠镁矾	——	——	——
钠镁盐	钠镁矾	——	——	——
	无水钠镁矾	——	——	——
	泻利盐	——	——	——
	硫镁矾	——	——	——
酸硫酸	杂卤石	——	——	——
	钾芒硝	——	——	——
钾镁盐	软钾镁矾	——	——	——
	无水钾镁矾	——	——	——
	钾盐镁矾	——	——	——

2.3.1 塔里木陆块成矿域

塔里木成矿亚域的陆核是在 2800Ma 固结的,其外围是在 1700Ma 固结(王鸿楨,2005)。古生界为海相沉积,中生代为海相和陆相裂陷盆地沉积,新生代以巨厚陆相为主,南部有古近纪和新近纪海相

沉积。

该盆地是我国多期强烈成盐的典型,在寒武纪、石炭纪、二迭纪、白垩纪、第三纪、第四纪均有膏盐沉积;泥盆纪、侏罗纪有石膏沉积,是我国较大的、相对稳定的克拉通。近期通过石油勘探部门工作,在塔里木克拉通内拗陷盆地发现大面积厚层膏盐沉积。在塔里木西部早中寒武纪膏盐盆地分布面积大于 20 余万 km²(图 9),膏盐层厚达 700 余米。发现有丰富的含钾卤水。

在柯坪地区的寒武纪为海退层序形成的蒸发台地环境,尤其在塔西拗陷北部还发育一系列隆起形成封闭沉积环境。从古纬度资料分析,世界最大的涅帕超大型钾盐即属于寒武系,在寒武纪时我国塔里木台地与其均在古赤道附近;塔里木位于赤道南低纬度区,而西伯利亚寒武纪蒸发盆地位于赤道北低中纬度,塔里木所在钾盐盆地位于低纬度区(图 9)。

塔里木盆地的石炭系含盐岩系主要分布于塔东满加尔拗陷和塔西北拗陷。据石油勘探部门多口钻井资料,其含盐系厚达 270m,盐层累计厚达 200 余米(沙 10 井累计石盐层 224m),其总分布面积约 10 余万 m²(图 11)。

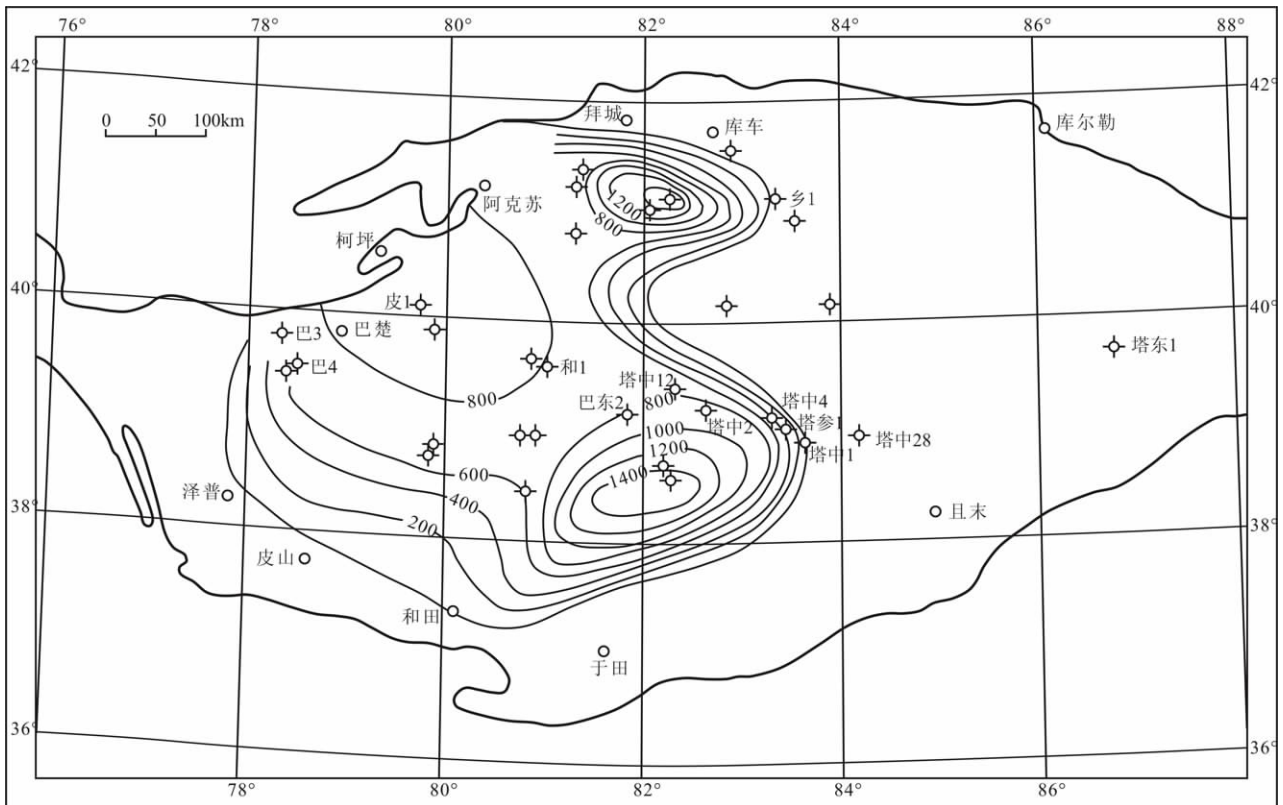


图 9 塔里木盆地下一中寒武统膏盐岩分布图(引自康玉柱,2007)。

Fig. 9 Distribution of Lower-Mid Cambrian gypsum-halite rocks in the Tarim basin (after Kang Yuzhu, 2007)

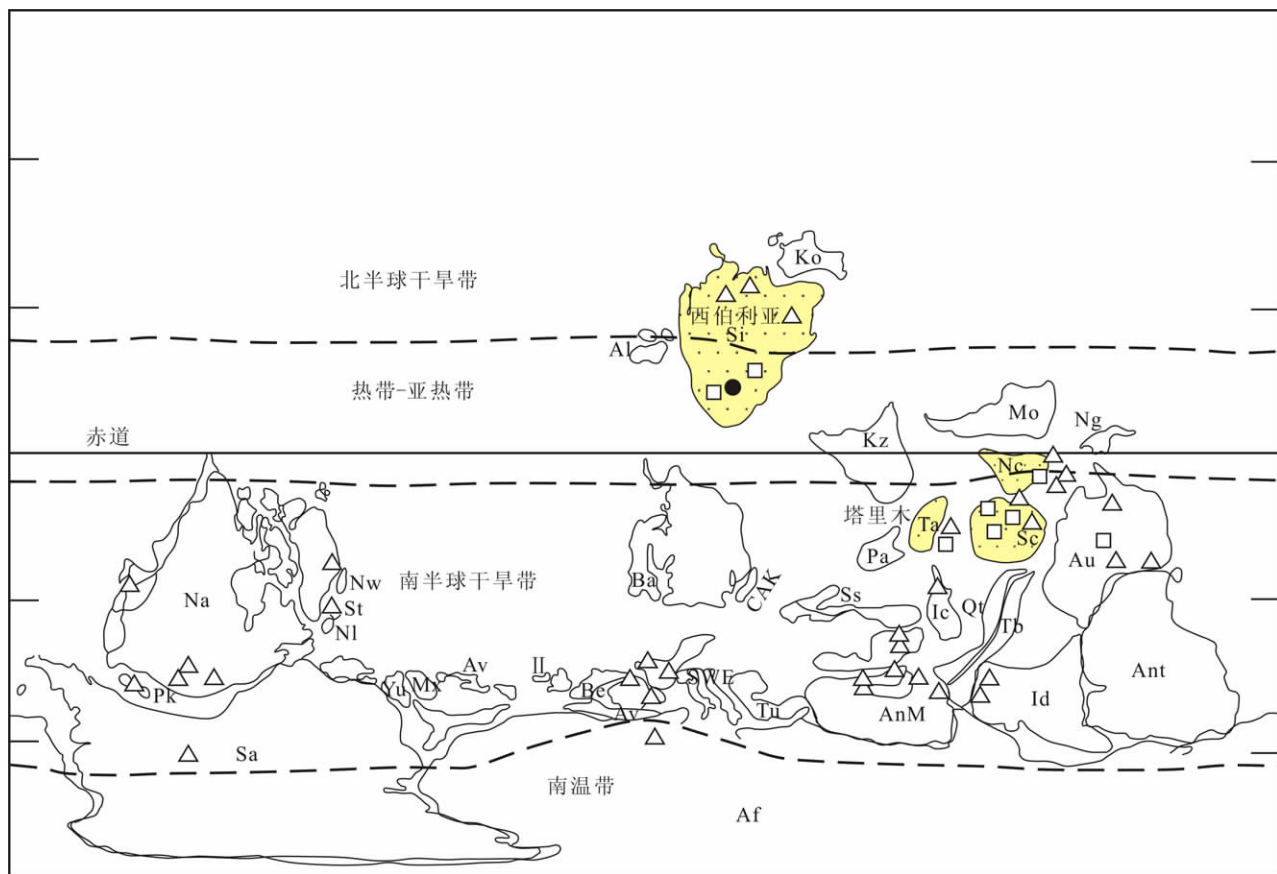


图 10 全球寒武纪陆块与膏盐分布图(据 Scotese, 2001. 膏盐分布有较大补充、改动)

Fig. 10 Cambrian blocks and distribution of gypsum and halite over the globe (after Scotese, 2001; major supplements and revision are made for the distribution of gypsum and halite)

△—石膏—硬石膏; □—石盐; ●—钾盐; Af—非洲; Au—澳大利亚; Na—北美洲; Sa—南美; Si—西伯利亚; Ta—塔里木; Kz—哈萨克斯坦; Tb—西藏; Qt—羌塘; Id—印度; B—CAC—波罗、欧洲、阿尔卑斯; Sc—华南; Nc—华北; Ss—滇缅甸马苏; Mo—蒙古; Ko—科累马; Al—阿拉斯加; Ic—印支; Ng—新几内亚

△—Gypsum-anhydrite; □—Halite; ●—Potash; Af—Africa; Au—Australia; Na—North America; Sa—South America; Si—Siberia; Ta—Tarim; Kz—Kazakhstan; Tb—Tibet; Qt—Qiangtang; Id—India; B—CAC—Baltic, Europe and Alps; Sc—South China; Nc—North China; Ss—Yunnan, Burma, Malaysia and Sumatra; Mo—Mongolia; Ko—Kolyma; Al—Alaska; Ic—Indo-China; Ng—New Guinea

我国西部晚白垩—第三纪特提斯海,最后由塔西经多期海侵海退,沉积多组含盐岩系,是塔里木盆地另一个重要成盐找钾层位,是我国唯一属于晚白垩—第三纪海相蒸发岩系。在我国西部晚白垩—第三纪特提斯,最后由塔里木西部多期海侵、海退过程中,形成了库车一带总面积约 2 万 km² 以上的多级成盐盆地(图 12),在库车盆地边缘地带其盐丘现出露地表。莎车盆地上白垩统一古近系分为:下含盐系(晚白垩统)和上含盐系(古近纪),均深埋地下,深者达 2000~5000m,上含盐系又细分下、上含盐岩组,下含盐岩组为古新世阿尔塔什组,上盐岩组为晚始新世—早渐新世巴行布拉克组。莎车与上白垩—古近系含盐岩系多深埋地下,深者达 2000~5000m,但在英吉沙一带由于局部隆起埋深较浅,见有白垩

—古近系盐层出露,此外,该区还赋存卤水层,值得引起注意。

2.3.2 柴达木盐类成矿亚域

柴达木陆块基底主要由浅变质的古元古界沉积(中西部)和古元古界结晶岩系(中部)构成,而在其东部则由石炭系和上泥盆—石炭系浅变质碳酸盐构成(翟光明等,2002)。该区大部盖层从震旦纪—三叠纪均为海相沉积,三叠纪以后则为陆相沉积。据柴达木与塔里木基底和下部盖层震旦—古生代地层可以对比,以及阿尔金山上有中生界及第三系和下中更新统均可与柴达木盆地对比,朱允铸等认为柴达木盆地不是印支运动由地块断陷而成的盆地,推论柴达木与塔里木在古生代两者原为同一拗陷区(朱允铸等,1994)。

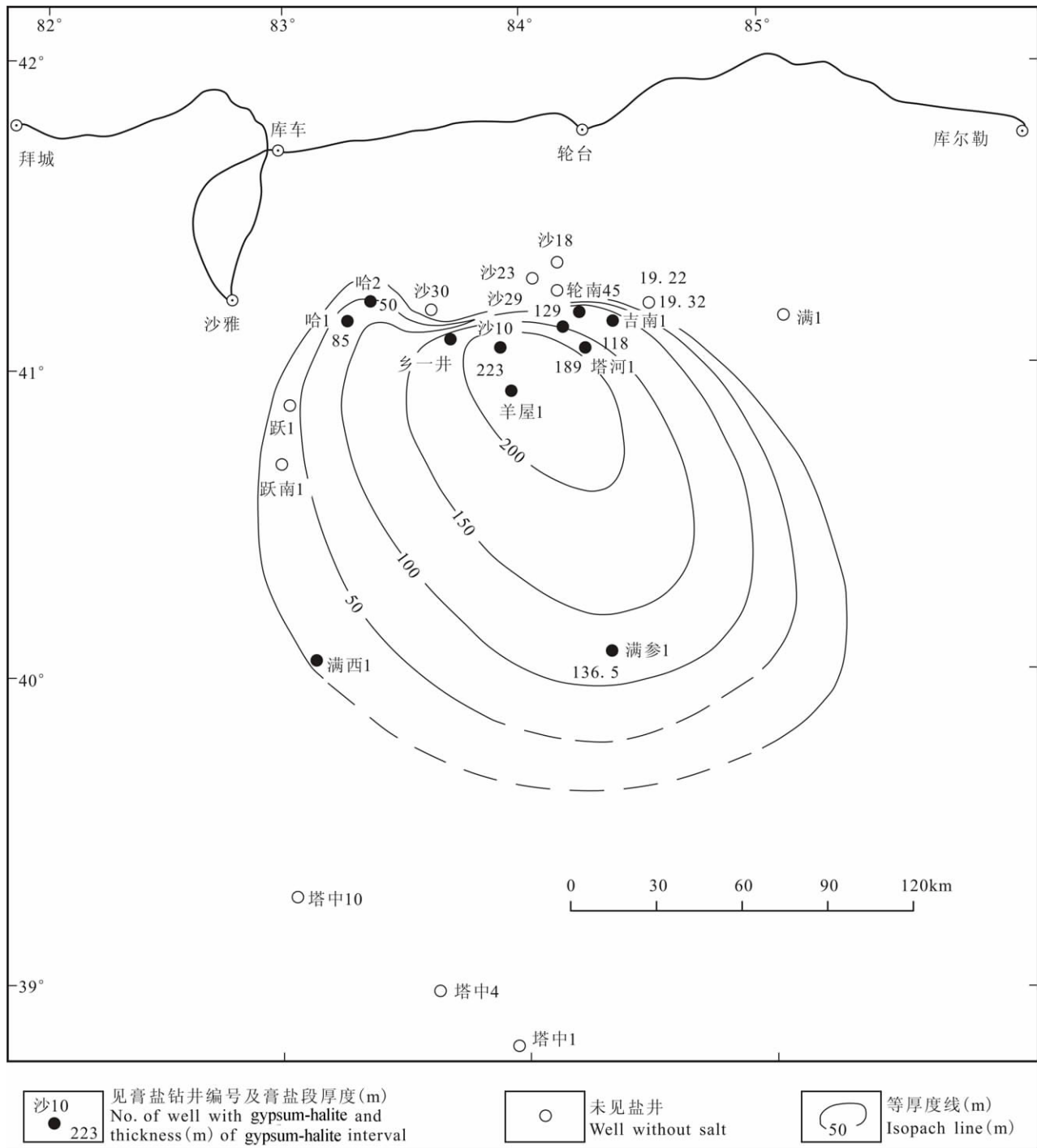


图 11 满加尔下石炭纪盐体含盐岩系等厚图

Fig. 11 Isopach map of the salt-bearing sequences of the Lower Carboniferous Manjia'er salt body

柴达木盆地已知蒸发盆地为陆相第三系和第四系。古代蒸发盆地第三系膏盐发现于柴达木西部，恰与基底为古元古界变质岩相对应。该区第三系始新世(下干柴沟组)已发现膏盐和钙芒硝沉积(杨藩等,1994),在狮子沟已钻遇岩盐面积约 150km²,含盐系厚度 663m 至大于 966m,单井石盐累计最大厚

度 274.8m,石盐单层最大厚度 34m,但可惜缺乏化学分析资料。往上至上干柴沟组下段仍见有较多膏盐和芒硝,该下段均属始新世晚期(杨藩等,1994)。盆地中新世—上新世早期未见膏盐沉积,但赋有卤水层,矿化度 35~290g/l。上新世晚期也有大量岩盐发现,分布较广,以南异山发育最好,石盐层 189

层,总厚度 245.73m,其层次多,单层厚度较小,但有往剖面上部盐层厚度增大趋势,至上部已发现钾石盐和光卤石矿物,特别在该层中发现丰富的钾硼锂碘综合性卤水。如大浪滩上新统上部晶间卤水,含 KCl 0.8054 ~ 1.3828%、LiCl 34mg/L、 B_2O_3 208mg/L、I 3.34mg/L。1985 年南异山背斜油井喷溢地表的油田水,在风蚀凹地中汇聚成湖,面积 15875m²,一般水深几十厘米至 1m,最深 >3m。含 KCl 34930 ~ 38744mg/L、LiCl 16919 ~ 89170mg/L (四个样品)^⑨。

2.4 羌北—滇西成矿域

本构造亚域隶属特提斯构造域东部,大致相当于黄汲清等划分的特提斯东部(T_p)的中央部位(黄汲清等,1987);与徐志刚划分的喀喇昆仑二江造山系(Vf)位置相当(陈毓川,2007)。该构造亚域多属于扬子板块的构造组分,中间有昌都、临沧、巴塘和羌塘等微陆块分布,相对周边造山带较为稳定(参见图 1)。

该构造亚域在侏罗纪以来,特提斯是在逐渐关闭的过程中形成了局限海,并在中晚侏罗、第三纪初期多期处于炎热干旱气候环境。特别是中晚侏罗世,多位于赤道以北低纬度区,形成了有利于成盐成钾的古地理古气候环境。形成了特提斯成盐带以及世界最主要油气集中区之一。如位于中特提斯成盐带上著名的土库曼和乌兹别克上侏罗系钾盐矿床,其 KCl 资源量达 200 余亿吨,在西特提斯也发现墨西哥侏罗系钾盐矿床(图 12)。在东特提斯—羌塘北部,近几年来也陆续发现数十处规模不等的上侏罗统石膏露头 and 突出地表的石膏丘。最近我中心刘喜方等还在附近发现多处盐溶地貌和盐泉带,盐泉水经分析钾及钾盐、钾氯系数,达到硫酸镁盐沉积,接近钾盐沉积指标(表 12)。由羌北往东南至滇西南已有多处侏罗系石膏和盐泉发现。

表 12 羌北侏罗系盐泉水化学参数

Table 12 Chemical parameters of Jurassic salt spring water in northern Qiangtang

类别 地区	矿化度 (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	K×10 ³ /Cl	K×10 ³ /盐
羌北盐泉	27204.78	784	15667	50.04	40.66
海水硫酸镁盐沉积				75.5	36.9
钾石盐沉积				87.5	50.6

在羌北—滇西构造亚域的古近纪红层中,已发现勐野井组钾盐矿床,在可可西里风火山一带发育一系列古近纪盐丘群,最近作者还在其西部阿里北部发现古近纪盐丘^⑩。

羌北—滇西盆地与老挝泰国呵叻盆地属于同一构造带,尤其是滇西的兰坪—思茅盆地的成盐时代和沉积相与老挝、泰国的呵叻盆地相同,属同一成盐盆地。在呵叻盆地中赋有大型钾盐矿产,钾层位主要为下盐段,经有关研究和作者考察对比均认为,该含钾下盐段可能与勐野井组下(盐)段相当(曲一华等,1998)。在江城勐野井地区已找到小型钾盐矿床,该区所赋存的钾盐矿层有可能相当勐野井上段,相当于老挝中盐段,勐野井下段可能多未揭露,初步对比如下(表 13)。

该层位在勐纳盆地的凹陷部位尚无钻孔控制,但含钾性值得注意,兹简述如下:

勐纳成盐带南北长 280km,平均宽 10km,盐系面积 2300 余 km²,已圈定盐拱 25 个(即地下厚大盐层受构造作用向上拱起的异常区),其面积达 275km²,区内分布盐泉 54 个,具明显水化学异常(K×10³/∑盐 2~5.6, Br×10³/Cl 0.22~0.38),小比例尺圈定 22 个重力负异常,最大强度 -4 毫伽,面积 199km²,已施工浅钻 44 个,见钾钻孔 28 个,其中

表 13 思茅凹陷古新统含盐岩系与老挝同时代钾盐矿层对比示意图

Table 13 Comparison of the Paleogene salt-bearing sequence in the Simao subbasin and potash beds of the same age in Laos

思茅凹陷		主要岩性	老挝钾矿床
勐野井组 (E ₁ m)	上段 (上泥砾岩)	上亚段,棕红色粉砂岩、泥岩夹少量细砂岩、少量石膏脉, 一般厚 10~50m,局部地区厚度 >200m	上盐段: 细碎屑与石盐层
		下亚段,主要含矿段,为石盐、钾盐层夹含盐泥砾岩、泥岩、 粉砂岩等,在江城见凝灰岩夹层,厚度变化大,一般厚 400m 左右	
	中段	为棕红色粉砂岩、泥岩,夹少量细砂岩和黄色泥岩、泥灰岩,本段厚度随上、 下地层的含盐性而异,当剖面含盐性好时,本段厚度则小。据磨黑、镇源少数 钻孔剖面资料,本段厚度为 50m 左右,勐野井矿区厚 0~3m	中盐段: 含少量钾盐薄层
	下段 (下泥砾岩)	为棕红色、杂色泥砾岩夹薄层泥岩、泥灰岩,并有薄层青色石膏出现。磨黑钻孔见 180m 盐层 并含钾石盐,地表厚度一般 <100m,局部可达 200m 以上	下盐段: 主要钾盐矿层

图 12

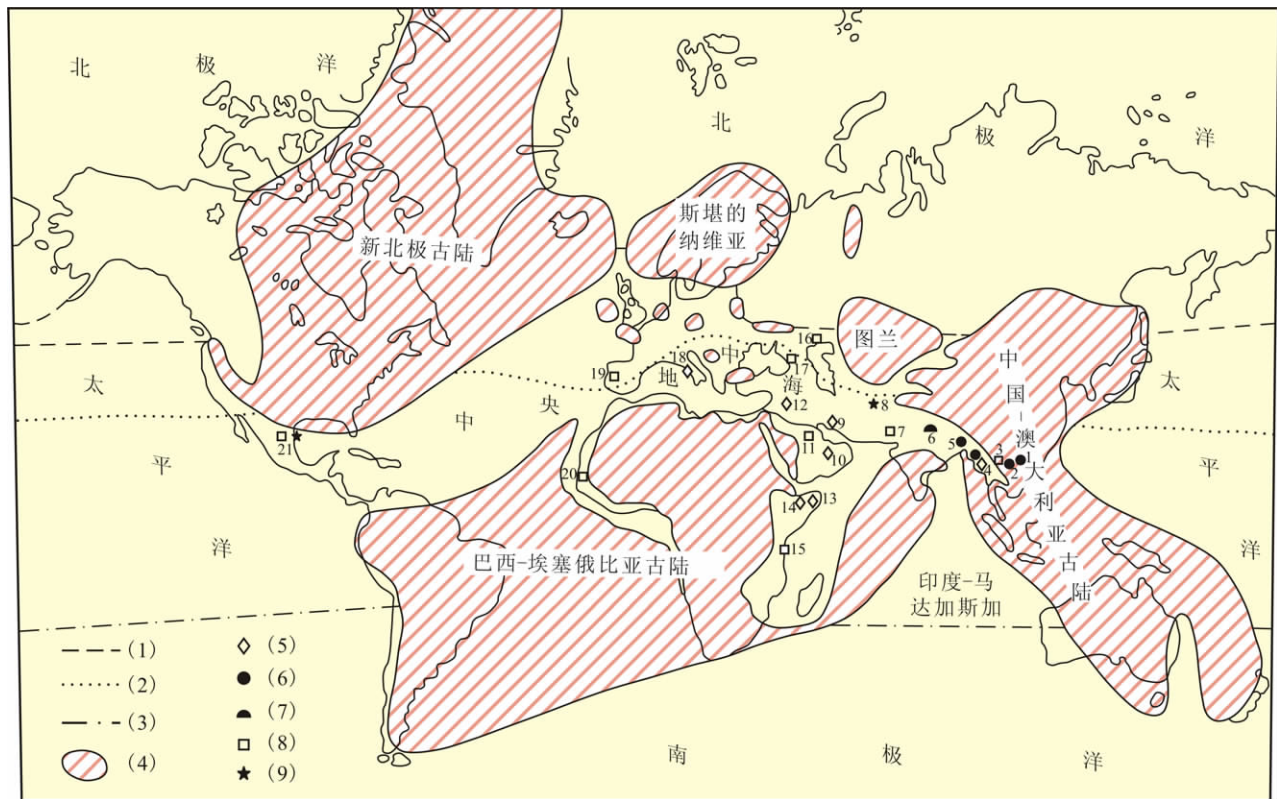


图 13 侏罗纪中央地中海古地理与蒸发岩分布示意图

(古陆及概略气候带引自 Sengör, 1984, 及潘桂棠等, 1997; 本文据新近资料对其边界略作修改, 并增加蒸发岩分布)

Fig. 13 Paleogeography and evaporite distribution of the Jurassic Central Mediterranean Sea (major old lands and climate zones cited from Sengör, 1984, and Pan Guitang, 1997, and their boundaries revised slightly according to the latest data; in this paper evaporite distribution is added)

(1) —北温带的北界; (2) —北温带和赤道带的界线; (3) —赤道带和南温带的界线; (4) —侏罗纪时的古陆; (5) —石膏/硬石膏; (6) —卤水/卤泉; (7) —膏丘; (8) —石盐; (9) —钾盐; 1—中国湖北利川 盐泉; 2—中国四川盆地 卤水; 3—中国滇中安宁 石盐、钙芒硝; 4—中国滇西(德钦—永平) 石膏、盐泉; 5—昌都 石膏、盐泉; 6—中国羌北 向阳湖——雁石坪 膏丘; 7—塔吉克——阿富汗 石盐; 8—土库曼——乌兹别克斯坦(卡拉库姆) 钾盐; 9—伊朗东波斯湾 石膏; 10—卡塔尔—科威特 石膏; 11—沙特阿拉伯; 石盐、硬石膏; 12—伊拉克 石膏; 13—索马里 石膏; 14—埃塞俄比亚 石膏; 15—坦桑尼亚 石盐; 16—滨里海 石盐; 17—北高加索 石盐; 18—意大利 石膏; 19—葡萄牙 石盐; 20—毛里塔尼亚 石盐; 21—墨西哥 圣路易波多西州 石盐、钾盐

(1) —Northern boundary of the North Temperate Zone; (2) —boundary of the North Temperate Zone and Equatorial Zone; (3) —boundary of the Equatorial Zone and South Temperate Zone; (4) —old lands during the Jurassic; (5) —gypsum/anhydrite; (6) —brine/brine spring; (7) —gypsum dune; (8) —halite; (9) —potash; 1—Lichuan, Hubei, China: salt spring; 2—Sichuan basin, China: brine; 3—Anning, central Yunnan, China: halite and glauberite; 4—Western Yunnan (Deqin-Yongping), China: gypsum and salt spring; 5—Qamdo, China: gypsum and salt spring; 6—Xiangyang Lake-Yanshiping, northern Qiangtang, China: gypsum dune; 7—Tajikistan-Afghanistan: halite; 8—Turkmenistan-Uzbekistan (Karakumy): potash; 9—East Persian Gulf, Iran: gypsum; 10—Qatar-Kuwait: gypsum; 11—Saudi Arabia: halite and anhydrite; 12—Iraq: gypsum; 13—Somali: gypsum; 14—Ethiopia: gypsum; 15—Tanzania: halite; 16—Peri-Caspian Sea: halite; 17—North Caucasus: halite; 18—Italia: gypsum; 19—Portugal: halite; 20—Mauritania: halite; 21—San Luis Potosi, Mexico: halite and potash

有 8 个孔见到薄层钾盐层, 推测相当于老挝下盐段(钾盐段)层位还在其下部。由于勐纳成盐带盐层巨厚, 最大盐层厚度 626m, 但多未揭穿盐体。

3 找钾远景的分析

50 多年来, 通过我国地质工作者与相关科技人员的努力, 我国已从无到有, 找到了 10 余个钾盐湖

矿床和一个古新世钾盐矿床, 总氯化钾储量近 10 亿 t, 尤其是规模较大的察尔汗钾盐湖, 已建成为新中国最主要的钾肥基地; 与国外钾盐研究相比, 中国的钾盐地质水平并不低, 特别是在陆相成钾理论和特种盐湖勘查研究领域有所创新, 为盐类地质科学领域作出了重要贡献。然而由于中国成盐条件的特殊性和复杂性和经费等原因, 迄今对于深埋地下的古

代盐盆找钾工作程度还很低,在我国海相蒸发岩地层找钾长期未能取得实质性突破,成了地质找矿的“硬骨头”,以至有些人对在我国找钾信心不足,甚至得出找钾无望的看法。但是,通过上述我国成盐找钾区域地质条件分析,说明我国还有相当的成钾前景,现分别对上述 3 个盐类成矿域 1 个成矿带进行找钾探讨。

3.1 上扬子盐类成矿域

本盐类成矿域的三叠系分布较广,成盐成钾线索较多,经多年勘查研究,虽收集一些油井资料和获取了少量岩芯,但总体以地表工作为主以地矿部第七普查大队(原第二地质大队)、地矿部成都地质矿产研究所为主,作了艰苦细致工作,取得了该区丰富的成盐地质资料和宝贵经验,为尔后研究奠定重要基础^{①②③④},限于当时条件和工作程度,认为四川盆地早、中三叠纪各含盐系韵律多,单层盐岩厚度小、淡化频繁、且为萨布哈蒸发岩坪台盐湖相,难于沉积具有工业意义钾盐矿床;地层卤水比较丰富,但在品位上不足以构成钾矿床。嗣后川东川 25 井虽然发现富钾卤水,但几经试验,均因结盐堵孔,和疏通后不出卤而“搁浅”。

20 世纪 90 年代以来,由于地质研究和油气勘查等新发现和新认识,继川东川 25 井钾卤水发现之后,在成都凹陷平落坝发现中三叠纪富钾综合性卤水(硼、溴、碘、锂、铷、铯等),且高承压,自喷和弹性储量大,而提出具有勘查开发前景(林耀庭,2001a、2001b,2002)。中国地质科学院水文地质与水文工程研究所、中国地质大学、第二地质大队、中国地质科学院矿床地质所先后估算过四川盆地深层地下水资源量、对平落 4 井富钾卤水成因作了同位素分析,指出其为溶滤卤水和沉积卤水等混合成因(李慈君等,1992;熊淑君等,1996;宋鹤彬,1997)。平落 4 井富钾卤水自 1992 年发现以来,曾作过多次试采均失败,主要是上升卤水在管口结晶堵塞难于解决。该类卤水矿化度达 420g/l,102℃ 达到饱和,并开始析盐。卤水从井底(125℃)至井口是一降温过程,导致卤水在采卤管柱、井口、输卤管线堵塞,而难于开发。最近邛崃鹏丰钾矿肥有限公司研发出“地面井下联动高压保温采卤工艺技术”和相应高压保温采卤设施,经实施成功解决了采卤结晶堵塞难题。

笔者等通过四川油气区和平落坝调研和综合分析认为:① 四川盆地三叠系蒸发岩沉积系是一种特殊的多级次盆地成钾模式,在空间上,由下扬子盆地—中扬子盆地—上扬子盆地,由成盐预备盆地—

盐盆的变化(图 14)。

在时间上,由早三叠世—中三叠世安尼阶(雷口坡组)—拉丁阶(白山组),有由盆地东、东北往西南迁移的趋势(参看中国南方早三叠世奥伦期和中国南方中三叠世安尼期岩相古地理图;见刘宝珺等,1994)。随着扬子盆地三叠纪时空演变,在干旱的蒸发条件下,经长期化学分异、受重力场作用,富钾综合性卤水遂向南充次盐盆——成都次盐盆聚集,尽管三叠系淡化—咸化韵律频繁,盐层相对较薄,但是由于浓缩卤水依然向后期次盐盆汇聚,目前从古地理封闭条件和揭示的富钾卤水存在,证明含钾卤水既没淡化流失,也没有因形成杂卤石而大部被消耗,尤其是向成都凹陷西部集中而且有可能越过康滇古陆北斜水下隆起向盐次盐盆地聚集。因此,下一步既要重点注意评价富钾综合卤水资源,也要探索川东和川西(如盐源一带)较浅部找钾。

看来,四川三叠系富钾卤水的成因既有残存沉积卤水,也有可溶性钾盐溶滤;水分来源既有大量石膏变化硬石膏析放结晶水,也有成盐后的构造运动和地下水的淋滤作用,导致大量钾盐层被淋滤,并与沉积卤水混合成为富钾卤水。据统计,该盆地储卤层分布面积达 13 万 km²,其中已知储卤构造 159 个,潜在资源量达 1773 亿 m³,可采资源量达 109 亿 m³以上,值得注意是一些储卤层中卤水含 K 很高,而且富钾卤水分布范围还包括川东北——嘉陵江组(川 25 井为代表)。

笔者据有关参数框算,若全区 KCl 平均品位 35.97g/L 计,其静态资源量达 63 亿 t, Li、B、Rb 和碘也十分可观。

我们若用新的观念来分析,四川盆地已存在着巨大的潜在钾盐资源,而且是一种独特的钾、锂、铷、硼、碘等综合资源,有别于一般的钾矿床。如何科学评价和有效地开发,对于中国地学、化工、开采和产业界,既是一个绝好的机会,也是一个巨大的挑战。

上述丰富的富钾卤水资源,绝大多数是油气勘查探井中无意中发现的,并未专门开展卤水勘查,对卤水的赋存状态、聚集规律及成因、尤其是可靠的可采工业储量以及综合作用和评价均缺乏系统研究和专门勘查,亟待全面规划和统一部署,以期综合评价和科学开发利用提供扎实可靠的依据。

上扬子震旦—寒武纪石盐层埋藏较深,且罕见有规模较高浓度卤水层,目前难以作为主要研究对象,宜作为“油钾兼探”开展预研究,以积累找钾基本资料。

图 14

此外,关于江汉盐盆古近纪钾盐远景,由于潜江凹陷为继承性凹陷,钾芒硝层深埋地下(2300~2800m),钾芒硝和无水钾镁矾属溶解度较低的硫酸钾复盐,且厚度较小,目前无开采价值。但江陵凹陷古新统赋有高钾卤水,达工业品位,其规模和远景值得进一步调查。

3.2 华北成矿亚域

实际上,本区曾发育古、中元古代、早寒武世和奥陶纪等时代的多期蒸发盆地;古元古代硼酸盐层虽经后期变质和热液作用,仍有重大工业价值,早寒武世有易溶性盐类沉积最近已初步得到证实。从本区奥陶系已发现厚大岩盐,说明稳定持续干旱时间较长;而且中上部已发现较厚的含钾异常。因此,需要加强该盐盆油气区油钾兼探力度,注意通过古构造、岩相古地理和地球物理和测井资料综合分析,找出盐盆后期低洼部位,布署几个重点兼探取芯井和找钾钻孔。

此外,华北陆相古近纪蒸发中小盆地有较广泛分布,但成钾显示较差。且埋藏多较深,如东营盆地古近纪沙四段产水溶性较差的杂卤石。埋深 2900~3400m 以上,在目前技术条件下尚无开采价值,唯该区含盐段上部沙三上、沙三下和沙四上产高浓度卤水层^①,但唯该区卤水未作钾分析,尚需作含钾量分析,以作评价,大汶口盐矿床埋藏在 1000m 左右,该矿床很有科研和实际意义,但可惜未形成工业化硫酸钾盐矿层^②。

3.3 塔(里木)—柴(达木)成矿域

塔里木盆地的各时代海相盐沉积多深埋地下,寒武系和石炭系膏盐层分别深达 4000~10000m 和 2000~5000m 以上,只在前山前偶见含石膏层出露。目前这两时代的膏盐沉积工作程度依然很低。矿床地质所等在“八五”期间对塔里木石炭系作过专门找钾研究(刘群等,1997),对当时有限资料,作了相当细致的分析,指出满加尔拗陷为塔里木盆地石炭系重点找钾远景区;阿瓦提拗陷埋藏太深,古生代沉积在 5000m 以下,故不具备找钾条件;巴楚地区只到达硫酸盐阶段,尚不具备成钾条件。鉴于两个膏盐岩系埋藏多较深,掌握其膏盐岩系第一性资料太少,钾盐远景不明,今后须密切结合找油勘查,通过油钾兼探进行找钾研究。

以往塔里木晚白垩第三纪膏盐岩系的找钾工作多限于地表地质工作,仅有少量油井资料可供参考(刘群等,1987),尚缺乏可靠成钾标志。随着近期油气勘查工作进展,在库车盆地已作了大量地球物

理工作,一些油气勘探井也钻遇膏盐层,这些有待今后实施油钾兼探时充分利用这些成盐资料。

晚白垩世一早第三纪塔西南是一个中生代继承性前陆盆地^③,其中莎车和库车次盆地成盐条件较好。莎车次盆地从晚白垩纪开始成盐,一直延续到古近纪,继往东至库车次盆地从古新世开始成盐,延续至新近纪;库车盆地边缘已有盐丘出露,但经研究石盐含钾性较差,因此有的专家曾认为不利于成钾,但由于盐丘的岩盐是经过流动和重结晶的,仅据此判断恐难成立。莎车次盆地的含盐系深埋地下,含盐岩系含钾了解很少,目前认为其上盐岩系(晚始新一早渐新世巴行布拉克区)是在新特提斯海退条件下形成的,是塔西部成盐成钾较有利的泻湖蒸发盆地。且莎车英吉沙一带,上白垩—古近系含盐岩系埋藏较浅,已有地下卤水层发现。比较塔里木寒武系、下石炭系和白垩第三系膏盐赋存状况和工作条件,目前还是以后者作重点调研,兼顾前两者为宜。

3.4 羌北—滇西成矿域

本成矿域位于冈瓦纳北缘亚域和松潘—甘孜造山带之间,隶属特提斯中晚侏罗—古近纪局限海区,已发现大量中侏罗系膏丘和盐溶及古近纪盐丘群,在滇西已找到勐野井小型钾盐矿。在本成矿域西面有中亚中上侏罗纪数百亿吨钾盐沉积、在其东南面有老挝—泰国古近系巨型钾盐矿床。由于羌北(含风火山地区)属高寒地区,宜结合油气普查和盐湖综合考察进行,而滇西地质工作基础和工作条件较好,是值得首先解剖的找钾地区。

据近期笔者等到勐腊成盐带和老挝实地调查,确认滇西红层含钾盆地和老挝红色钾盐盆地成盐时代相同,两者原来同属一成盐盆地而且确认勐腊成盐带含钾性较好(曲一华等,1998),有由北往南变佳趋势;以往浅部揭露的含盐层可能仅相当于老挝含钾岩层的中上盐段,而据对勐野井小型钾盐剖面结构分析推测其可能为是由下部钾盐层局部被挤到上部的,需查究其下部可能存在的主钾盐组从何处而来?同时,根据盐盆地盐物质化学分异规律分析,认为在勐纳成盐带如果找到钾盐,很可能是 KCl 型为主,而不是光卤石型($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$),如果这个推测得以证实,则对未来钾盐生产、保护环境有利。

为了尽量规避风险,建议分三步进行^④:

第一步,在该带进行中小比例尺重力测量(1/10 万已进行),进一步要作地震工作,结合地表地质、水

化学调查研究,首先查明地下盐体中心和划出有利成钾地段;第二步,在第一步基础上,布署钻探工程,深中浅钻结合,分步实施,深钻 2000~2500m 左右 1 口、1500m 左右 1 口,中浅钻 500~800m 左右约 10 口;第三步,如找到工业钾盐层,在该地段进入详勘,进而筹划开发。如果钻探情况不佳,要详细分析其原因:如成钾较好,宜进一步扩大“战果”,例如景东文卡成盐带等布置风险探测,并考虑邻近中老边境合作找钾勘查。

4 结 论

(1)由于中国是地处不同古气候带的若干小陆块和造山带拼合而成的,因而导致中国海、陆相盐盆地具有成盐成钾的某些特殊性,如与国外大型蒸发盐盆地(如加拿大、西伯利亚和稳定克拉通)相比,其成盐成钾盆地规模可能较小;而盐类物质成分具多样性,特别是稀碱金属和硼酸盐较高;中国蒸发盐盆地活动性较强、后期变化较大,并导致深埋地下和形成液体矿。但由于具有自喷能力,而可能开发利用。

(2)盐类沉积需要具备稳定构造沉积环境和干旱封闭-半封闭条件,由于钾盐沉积是盐类沉积发展到最后阶段的产物,还要有最后浓缩含钾卤水汇集的地质构造和水文地质条件。在中国多数古代盐盆地产于“准克拉通”,规模较大的和多期叠合的可溶盐沉积多发育于基底为陆核的蒸发岩。包括扬子区的四川中西部、华北区的陕北和塔里木西部等海相盐盆地。

(3)中国是世界上成盐时代较早、较多的国家之一,海陆相均赋存丰富盐类。其中有海相厚层石盐沉积者,包括晚震旦世,早中寒武世、中奥陶世、早石炭世、早中三叠世、晚白垩世、古近纪、新近纪,(海相侏罗系有大规模膏丘和卤水显示)。其中早奥陶世、早中三叠世、古新世已有钾盐层发现。下奥陶统马家沟组石盐沉积规模较大、石盐单层厚度较大、有良好的成钾地化系数显示,结合地球物理、水化学等资料进行综合分析,将为预测后期成钾洼地提供依据,以便施行钻探验证;四川盆地早、中三叠纪多元素富钾卤水经初步勘查研究和开发试验表明,有较大工业利用前景,值得作为下阶段找钾评价的重要目标。

滇西南勐野井钾盐矿床已开采多年,在其邻区勐腊次级盐盆地古新统厚盐层形成大量“盐拱”,并发现薄层钾盐层,可能相当于老挝、泰国的古新统具钾矿化的中盐组,老泰赋有工业钾盐层属于下盐组。故滇西南有工业价值钾盐段,可能还位于下部,值得

着手进行深部找钾钻探验证。

(4)中国陆相盐沉积时代包括:侏罗纪、白垩纪、古近纪、新近纪和第四纪。其中古新统和始新统分别发现有含钾卤水和钾盐层;第四纪内陆盐湖则已成为目前中国开采钾盐的主要对象,但规模不大,现阶段一般仅可满足我国钾肥需求的 30% 左右,若无新的后续钾资源发现,不可能维持太长时间;未来柴达木新近系一第四系中下部及江陵古新统富钾卤水可能有一定工业规模。据上所述,今后我国找钾应采取以海相蒸发盐盆地为主攻方向,兼探陆相盐湖及其含钾地下卤水的策略。

(5)晚震旦世和寒武纪仅在亚洲陆块上发现有钾盐矿床和巨厚石盐沉积。巴基斯坦—印度的晚震旦世(“始寒武纪”)有工业钾盐;而西伯利亚涅帕寒武系则赋有全球地质资源量最大的钾盐矿床。位于印巴晚震旦世蒸发盆地东面的中国川南—到滇东北发育有晚震旦世蒸发盆地,已发现有厚层岩盐和水化学成钾异常,其盐系剖面结构与印巴含钾盐岩相似。中国小陆块华南和塔里木在寒武纪普遍赋有厚层膏盐,并见有含钾卤水;华北陆块也发现有岩盐沉积,该三个小陆块在寒武纪时均位于南半球低纬度带(图 10),而与位于北纬涅帕遥相呼应。总之,上述中国两个时代的蒸发盆地找钾远景应当开展深入探索,由于其多为深埋地段(华北稍浅,华南多达 4000~7000m;塔里木多在 6000~10000 余米),找钾难度大,应当更加结合我国油钾兼探工作进行。

注 释

- ① 本文所称富钾卤水,指卤水达到目前中国施行工业指标边界品位: $\geq \text{KCl } 0.5\%$ 。
- ② 杜之岳,俞骥谷等. 1989. 中国含油气区成钾条件调查报告(内部)。
- ③ 郑绵平. 1975. 我国东部白垩—老第三纪红色盆地成钾远景初步分析. 地质科学院地矿所五室(内部报告)。
- ④ 据西南石油局自贡地质工程勘探院,1996(内部)。
- ⑤ 据宋鸿彬(1997)。
- ⑥ 据翟光明院士面告. 详情待查。
- ⑦ 徐其俊,闫东兰. 1982. 山东大汶口凹陷早第三纪含盐系物质成分和地球化学特征研究.《中国地质科学院科研报告》0083。
- ⑧ 与康玉柱私人通讯. 2007。
- ⑨ 据青海省地调院付建龙提供的资料。
- ⑩ 郑绵平、刘喜方. 2008. 西部钾盐项目研究年报(内部)。
- ⑪ 郑绵平. 2006. 关于在云南思茅地区开展钾盐矿风险勘探的建议(致云南省地调院,中国地质调查局)。
- ⑫ 第二地质大队(林耀庭等). 1982. 四川盆地早、中三叠世成盐条件研究及找钾远景评价(内部)。
- ⑬ 地矿部成都地质矿产研究所(吴应林等). 1985. 上扬子台地早、中

三叠世岩相古地理论蒸发岩模式(审查书).

- ⑭ 金若谷,袁鹤然等. 2008. 塔西南晚白垩—古近纪含盐系沉积特征及成盐条件. 矿产资源所盐湖中心内部报告.
- ⑮ 郑绵平. 2006. 关于建议在滇西勐腊成盐带开展钾盐风险勘查的几点依据(致云南省地质调查院、国家投资公司和万向集团建议).

参 考 文 献

- 安徽省地质矿产局. 1982. 安徽省区域地质志(一)、(二). 北京:地质出版社,142~147, 524~525.
- 蔡本俊,高广生,赵德均. 1997. 长江中下游清龙群硬石膏和石膏矿类型及其找矿意义. 地质科技资料(武汉地质学院资料情报室)—钾盐专辑,1:70~89.
- 陈毓川,王登红,朱裕生,徐志刚,任纪舜,等. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价(上册). 北京:地质出版社,64~71.
- 戴世昭(主编). 1997. 江汉盐湖盆地石油地质. 北京:石油工业出版社,48~50.
- 地质科学院地矿所钾盐组(郑绵平). 1975. 关于我国钾盐找矿方向的探讨. 钾盐地质学习资料选编. 四川省地质局第七普查大队编:66~68.
- 湖北省地质矿产局. 1990. 湖北省区域地质志. 北京:地质出版社,172~174.
- 黄汲清,陈炳蔚. 1987. 中国及邻区特提斯海的演化. 北京:地质出版社.
- 黄建国. 1998. 中国三叠纪钾盐沉积——以四川为例. 岩相古地理,18(4):24~43.
- 姜春潮. 1987. 辽吉东部前寒武纪地质. 沈阳:辽宁科学技术出版社.
- 姜春潮. 1994. 沉积变质再造硼矿床. 中国矿床(下册),主编:宋叔和. 北京:地质出版社,81~93.
- 金性春. 1989. 板块构造研究进展与趋向述评. 自然杂志,12(1):10~13.
- 李慈君,杨立中,周训,陈明. 1992. 深层卤水资源量评价的研究. 北京:地质出版社.
- 李钟模. 1994. 山东大汶口盆地蒸发岩特征及成钾规律. 盐湖研究,2(2):1~10.
- 林耀庭. 2001c. 四川盆地卤水钾硼碘溴资源开发利用可持续发展的对策思考. 盐湖研究,9(2):56~60.
- 林耀庭,曹善行. 2001a. 四川卤水钾资源及其开发利用前景. 矿产保护与利用,(4):14~17.
- 林耀庭,曹善行. 2001b. 四川盆地西部发现罕见的富钾富硼气田卤水. 中国地质,28(7):45~47.
- 林耀庭,何金权,王田丁,叶茂才. 2002. 四川盆地中三叠统成都盐盆富钾卤水地球化学特征及其勘查开发前景研究. 化工矿地质,24(2):72~84.
- 刘宝珺,许效松. 1994. 中国南方岩相古地理图集(震旦纪—三叠纪). 北京:科学出版社. 146~166.
- 刘群,陈郁华,等. 1987. 中国中生代陆相碎屑—化学岩型盐类沉积. 北京:北京科学技术出版社. 130~131.
- 刘群,杜之岳,陈郁华,金若谷,袁鹤然,张峰根,祝有海,陈英华. 1997. 陕北奥陶系和塔里木石炭系钾盐找矿远景. 北京:原子能出版社.
- 刘群,马丽芳,祝有海,金若谷,戴维声,等. 1994. 华北早寒武世岩相

古地理与膏盐沉积. 北京:地质出版社.

- 马永生,陈洪德,王国力. 2009. 中国南方层序地层与古地理. (中国石化化工股份有限公司科技开发部丛书)北京:科学出版社,310~311.
- 潘桂棠,陈智梁,李兴振,颜仰基,许效松,等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京:地质出版社,1~2.
- 曲一华,袁品泉,张瑛,等. 1998. 兰坪—思茅盆地钾盐成矿规律及预测. 北京:地质出版社,1~114.
- 任纪舜. 2002. 中国及邻区大地构造简图. 北京:地质出版社.
- 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等. 1999. 中国及邻区大地构造图及其说明书. 北京:地质出版社,50.
- 四川省地质矿产局. 1991. 四川省区域地质志. 北京:地质出版社,206~235.
- 宋鹤彬. 1997. 川西成都盐盆平落 4 井富钾硼溴浓卤水水化学同位素地球化学特征及形成机制. 地球学报,18(3):282~289.
- 王鸿楨. 1981. 从活动论观点论中国大地构造分区. 地球科学——武汉地质学院学报,1:42~66.
- 王鸿楨. 1982. 中国地壳构造发展的主要阶段. 地球科学——中国地质大学学报,82(3):155~177.
- 王鸿楨. 2005. 中国及邻区大地构造划分和构造发展阶段. 王鸿楨文集. 北京:科学出版社,359~379.
- 王鸿楨,莫宣学. 1996. 中国地质构造概要. 中国地质,(8):4~9.
- 王仪诚,穆曰孔,居杏珍,叶芝萍,赵正忠,等. 1994. 中国油气区第三系(VI)东南油气区分册. 北京:石油工业出版社.
- 吴瑞棠,周正国,刘本培,辛建荣. 1977. 江苏南部海相三迭系及膏盐层时代. 地质科技资料(武汉地质学院资料情报室)—钾盐专辑,45~69.
- 熊淑君,林耀庭. 1996. 论四川盆地卤水分布及地质特点. 中国井矿盐,(2):6~8.
- 杨藩,唐文祜,魏景明,傅智雁,梁世君. 1994. 中国油气区第三系(II). 石油工业出版社:47~54.
- 姚益民,梁鸿德,蔡治国,关学婷,赵志清,陈仲勤,孙镇城,杨时中. 1994. 中国油气区第三系,(IV)渤海湾盆地油气区分册. 北京:石油工业出版社.
- 殷鸿福,童金南,丁梅华,张克信,赖旭龙. 1994. 扬子区晚二叠世—中三叠世海平面变化. 地球科学——中国地质大学学报,19(5):627~632.
- 翟光明,宋建国,靳久强,高维亮. 2002. 板块构造演化与含油气盆地形成和评价. 北京:石油工业出版社,276~277.
- 张秋生,等. 1984. 中国早前寒武纪地质及成矿作用. 长春:吉林人民出版社.
- 张秋生,等. 1988. 辽东半岛早期地壳与矿床. 北京:地质出版社.
- 张师本,沈后,曲欣国,高琴琴,等. 1993. 中国油气区第三系,(V)鄂豫皖油气区分册. 北京:石油工业出版社.
- 章森桂,张允白,严惠君. 2009. “国际地层表”(2008)简介. 地层学杂志,33(1):1~10.
- 郑绵平. 1994. 海相沉积锰方硼石矿床——河北蓟县硼矿床. 中国矿床(下册),主编宋叔和. 北京:地质出版社,79~81.
- 郑绵平,李银彩. 1978. 上扬子区震旦—寒武系找钾可能性探讨. 地质科技,(1):39~52.
- 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. 地质通报,25(11):1239~1246.

- 郑绵平, 向军, 魏新俊, 郑元. 1989. 青藏高原盐湖. 北京: 北京科技出版社.
- 郑绵平, 赵元艺, 刘俊英. 1998. 第四纪盐湖沉积与古气候. 第四纪研究, (4): 297~307.
- 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 马醒华, 黄宝春, 孟自芳, 方大均. 1998. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动. 中国科学(D辑), 28(增刊): 1~23.
- 朱允铸, 钟坚华, 李文生. 1994. 柴达木盆地新构造运动及盐湖发展演化. 北京: 地质出版社: 1~2.
- Валяшко М Г. 1962. Закономерности формирования месторождений Солей. Издательство московского университета, 194~195.
- Bear C A. 1970. Geological problems in Saskatchewan potash mining due to peculiar conditions during deposition of potash beds. Fourth Symposium on Salt, Vol. 1, Cleveland Ohio. 101~118.
- Engene C. 1970. Distribution of salt and potash deposits: present and potential effect on potash economics and exploration. Proceeding of the Third Symposium on Salt, 2: 85~95.
- Huang Jiqing, Chen Bingwei. 1987. Evolution of the Tethys Sea in China and Adjacent Regions. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Jones, G L. 1970. Potash in halitic evaporites, salt range, Pakistan. U. S. Geol. Surv., Prof. Pap., No. 700-U, 141.
- Kumar Virendra, Bakliwal P C. 2005. Geological Survey of India Potash in India. (Miscellaneous Publication, No. 65), Order of the Government of India: 29~36.
- Раевский В И. и др. 1973. Месторождения калийных солей СССР. изд "Недра".
- Peng Qiming, Palmer, M R and Lu, J W. 1998. Geology and geochemistry of the Paleoproterozoic borate deposits in Liaoning-Jilin, northeastern China: evidence of metaevaporites. Hydrobiologia, 381: 51~57.
- Scotese C R. 2001. Atlas of Earth history, paleogeography. Volume 1. Arlington, Virginia: Paleomap project.
- Scotese C R. 1979. Palaeozoic base maps. J. Geol., 87 (3): 217~277.
- Sengör A M C. 1984. The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia. Geol. Soc. America Spec. Paper., 195, xi+82.
- Srikan Tin S V. 1972. The Precambrian salt deposit of Himachal Pradesh Himalaya—its occurrence, tectonics and correlation. Himalayan Geology, (2): 222~238.
- Virendra Kumar, Ram Chandra. 2005. Geology and evolution of Nagaur-Ganganagar basin with special to salt and potash mineralisation. Geological Survey of India, Special Publication, (62).
- Wadia D N. 1955. The Geology of India (3rd ed.). London: Macmillan & Co.
- Wang Hongzhen. 2005a. An outline of the tectonic evolution of China. In: Selected Works of Wang Hongzhen. Beijing: Science Press, 394~406.
- Zharkov M A. 1981. History of Paleozoic Salt Accumulation. Berlin: Springer-Verlag.
- Zharkov M A. 1984. Paleozoic Salt-bearing Formations of World. Berlin: Springer-Verlag.
- Zheng Mianping. 1999. Preliminary discussion of low-salinity hydrothermal fluid mineralization. Chinese Science Bulletin, 44 (Supp.): 141~143.

Regional Distribution and Prospects of Potash in China

ZHENG Mianping, YUAN Heran, ZHANG Yongsheng, LIU Xifang, CHEN Wenxi, LI Jinsuo

R & D Center for Saline Lake and Epithermal Deposit, Chinese Academy of Geological Sciences, Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environment, Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037

Abstract

China was formed by amalgamation of several small continental blocks (cratons), micro-blocks and orogenic belts in different paleoclimatic settings. It may be correlated with other continental blocks but has its own specific characteristics; therefore the tectonic environments of China's marine and continental saline basins and salt- and potash-forming environment have some specific characteristics: multiple phases of salt formation, difference in salt-forming ages, migration and concentration of salt-forming processes and diversity of component materials, as well as small sizes of marine saline basins and great changes of saline basins in the late stage and occurrence of liquid mineral deposits. The nature of the tectonic basement exerted a key controlling effect on the formation of potash basins. The stable tectonic region was favorable for potash concentration in a quasi-stable region, and quasi-stability was favorable for salt concentration and potash formation in a local stable tectonic region. Most China's major ancient saline basins occur in "quasi-cratons (continental block)"; especially all the marine saline basins occur in continental blocks with the Precambrian basement. These regions are the key ones for potash search. Most relatively large-scale soluble salt deposits with a superposed structure are developed in relatively stable continental nuclei. According to the characteristics of the tectonic domains where China's salt-forming basins are located, the North China, Yangtze and Tarim-Qaidam salt minerogenetic domains and the northern Qiangtang-western Yunnan salt minerogenetic belt may be distinguished. Their salt and potash prospects will be discussed separately.

Key words: regional analysis of potash; structural basement-controlled potash formation; specific salt- and potash-forming characteristics; salt minerogenetic domain; potash prospects