

中国钾盐矿产预测评价模型和资源潜力分析

商朋强^{1,2,3}, 祁才吉², 焦森³, 熊先孝¹, 关炳庭⁴, 张杨²

SHANG Pengqiang^{1,2,3}, QI Caiji², JIAO Sen³, XIONG Xianxiao¹, GUAN Bingting⁴, ZHANG Yang²

1. 中化地质矿山总局化工地质调查总院, 北京 100013;

2. 中化地质矿山总局地质研究院, 河北涿州 072750;

3. 中化地质矿山总局, 北京 100013;

4. 云南金长江矿业有限公司, 云南昆明 650101

1. *General Institute of Chemical Geological Survey, China Chemical Geology and Mine Bureau, Beijing 100013, China;*

2. *Geological Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Zhuozhou 072750, Hebei, China;*

3. *China Chemical Geology and Mine Bureau, Beijing 100013, China;*

4. *Yunnan Jinchangjiang Mineral Co., Ltd., Kunming 650101, Yunnan, China*

摘要:为摸清全国钾盐矿资源家底,制定科学合理的经济产业政策,依据全国矿产资源潜力评价数据和成果,系统地开展了中国钾盐矿成矿特征研究和资源潜力评价。研究和评价结果显示,中国钾盐矿已发现的矿产资源以第四纪盐湖型钾盐矿为主,成矿时代以第四纪为主。钾盐矿主要分布在西部大型新生代陆相成盐盆地,在空间上可划分为12个Ⅲ级成矿区带。在典型矿床、区域成矿要素和预测要素研究的基础上,归纳总结了第四纪盐湖型、深藏地下卤水型、碎屑岩型、碳酸盐岩型4类钾盐矿的预测评价模型特征。以成矿系列理论为指导,采用矿床模型综合地质信息预测方法,共圈定钾盐矿最小预测区320个,归并圈定了42个3级预测区,并对各预测区进行了定量预测评价,6000m以浅钾盐矿预测资源量计 $32.63 \times 10^8 \text{t}$ (KCl),其中500m以浅钾盐矿预测资源量计 $15.10 \times 10^8 \text{t}$ 。分析结果显示,全国以柴达木盆地及北缘钾盐成矿带和塔里木盆地钾盐成矿带预测资源量较大,预测资源量主要为第四纪盐湖型和深藏地下卤水型。潜力预测工作较全面地反映了当前的钾盐矿床地质和勘查信息资料水平,对指导钾盐矿地质找矿工作具有重要意义。

关键词:钾盐矿;成矿特征;矿产预测评价模型;资源潜力

中图分类号:P612;P619.21⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2019)10-1758-10

Shang P Q, Qi C J, Jiao S, Xiong X X, Guan B T, Zhang Y. Potash assessment models and resource potential analysis in China. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(10):1758-1767

Abstract: Aimed at calculating ore resources and providing proposal of scientific industrial policy, the authors carried out scientific researches on mineralization characteristics and assessment of resource potential in the past several years. The discovered potash deposits, which can be divided into 12 Ⅲ grade metallogenic belts, are mainly of Quaternary saline lake-type located in Cenozoic continental basin in western China with a Quaternary metallogenic age. On the basis of researches on typical deposits, regional metallogenic and predictive factors, four different kinds of potash metallogenic prediction models were summarized, namely Quaternary salt lake type, deep-subterranean bittern type, clastic rock type and carbonate type. Adopting comprehensive geological information model, the authors delineated 320 minimum predicting areas and 42 grade Ⅲ prediction areas. Furthermore, 3.263 billion tons of KCl at the depth shallower than 6000m and 1.51 billion tons of KCl at the depth shallower than 500m were predicted on the basis of metallogenic prediction model proposed by the authors. These researches indicate that the north Qaidam Basin and

收稿日期:2019-01-19;修订日期:2019-05-18

资助项目:中国地质调查局项目《东部地区硼磷萤石等重要非金属矿产调查》(编号:DD20160057)、《江西赣南—福建浦城地区战略性萤石硼资源调查》(编号:DD20190816)、《中国矿产地质与区域成矿规律综合研究(中国矿产地质志)》(编号:1212011220369)

作者简介:商朋强(1980-),男,高级工程师,从事矿床地质研究。E-mail:shang5551983@163.com

Tarim Basin carry more potash resources quantity than other places in China and the potash resources in the two basins are mainly of Quaternary salt-lake type and deep-subterranean bittern type. These resource potential predictions reveal the degree of the present study of potash deposits and are of great significance for potash prospecting.

Key words: potash deposits; geological characteristics; assessment models; resource potential

钾盐是中国最紧缺的矿产资源之一,为农业三大肥料中钾肥的主要原料。随着经济快速发展,对钾盐消费需求快速增长。中国近年来一直为世界最大的钾盐进口国,如 2016 年,中国进口钾盐(K_2O)达 $408.2 \times 10^4 t$ 。据美国地质调查局统计,2016 年全球钾盐年消耗量约为 $5.3 \times 10^7 t$,而全球已探明剩余可采储量 $43 \times 10^8 t$,世界钾盐储量基础约为 $250 \times 10^8 t$,远景资源总量达 $2500 \times 10^8 t$,可见世界钾盐资源极为丰富。但资源和产量主要集中在少数国家,如加拿大、俄罗斯、白俄罗斯、德国、以色列、约旦等,掌握了世界约 91.4% 的钾盐产量,而中国的探明储量不多,约占世界的 2.2%^[1]。

中国找钾工作自 20 世纪 50 年代开始,开展了数轮的第四纪盐湖和古代钾盐矿产资源的调查、普查及预测研究工作,发现并建成了几个钾肥工业基地(察尔汗、罗布泊),提交了一批成矿远景区,不仅终结了国外学术界“陆相不可能成钾”的论断,而且在陆相成钾理论和特种盐湖研究方面发展和形成了一套钾盐成矿理论体系和找矿方法^[2-7]。但在古代海相或海陆交互相成盐盆地中寻找固体钾盐矿,一直未能取得找矿重大突破,钾盐资源短缺已威胁到中国资源安全并制约了农业发展。鉴于以往全国性钾盐矿系统性定量预测评价工作较少,为摸清全国钾盐矿资源家底,制定科学合理的经济产业政策,对钾盐矿资源找矿潜力进行合理准确的预测成为当务之急。本文以第三轮全国矿产资源潜力评价工作成果为依据,主要从钾盐矿分布规律、矿床预测模型、矿产预测成果等方面分析研究了全国钾盐矿地质特征及资源潜力,以期对钾盐地质找矿部署提供依据。

1 中国钾盐矿成矿地质特征

1.1 资源禀赋特征

中国钾盐矿产资源的分布及构成主要呈现 3 个突出特点。

(1) 钾盐资源短缺,分布极不均匀。中国目前探明钾盐资源储量少,仅占世界总储量的 2.2%,且 96% 以上资源储量集中分布于青海柴达木盆地和新疆罗布泊盐湖,其他省区资源储量极少。

(2) 中国钾盐矿资源以富钾卤水矿为主,固体钾矿少。中国钾盐矿资源 98% 以上为卤水钾矿,固体钾矿只占 2% 左右,与世界钾盐矿资源以固体钾盐矿为主有明显区别^[8]。

(3) 中国已发现的钾盐矿床类型以第四纪盐湖型为主,第四纪以前的古代钾盐矿(深藏地下卤水型、古代化学沉积型)资源极少,且规模较小。中国周边国家分布有多个大型古代固体钾盐矿床,而中国目前未发现与之相似的大规模固体钾盐矿床。

1.2 时空分布特征

依据钾盐矿床成矿时代、矿床成因及矿床特征,参考前人对中国钾盐矿研究中的习惯称谓,本次将中国钾盐矿床划分为第四纪盐湖型、深藏地下卤水型和古代化学沉积型 3 中矿床类型,其中古代化学沉积型钾盐矿包括以前文献中所称的碎屑岩中和碳酸盐岩中钾盐矿 2 类^[9-10]。中国现有钾盐矿产资源以第四纪盐湖型钾盐矿为主,古代化学沉积型次之,深藏地下卤水型钾盐矿床现有规模小,但古代化学沉积型和深藏地下卤水型钾盐矿具有较大的找矿远景。

(1) 时间分布规律

含钾矿物是海水或含钾水体蒸发浓缩至最后阶段才形成的矿物,而石盐和卤水作为形成钾盐矿床的中间产物,是找钾的前提。从地质时代看,震旦纪迄今,中国在大多数地质时期都有石盐或卤水聚集^[11],震旦纪(灯影期)、早一中寒武世、早奥陶世、早一中石炭世、三叠纪、侏罗纪、白垩纪、古近纪、新近纪—第四纪均有石盐沉积,其中还有一些含盐层位赋存含钾卤水^[12]。到目前为止,中国只在早奥陶世、三叠纪、古近纪—新近纪及第四纪的层位有钾矿(化)层(或富钾卤水)发现,其他时代的含盐层位中有待进一步工作验证。在所有的地质时期,以第四纪成盐聚钾作用最强(图 1),查明资源储量 $92414 \times 10^3 t$,占总量 98.38%,第四纪的矿产线索共计 121 处,占总数的 81%,其次为古近纪成钾期,其他地质时代发现的成钾线索较少。

(2) 空间分布规律

本次工作在全国已有的成矿区带划分^[13]、构造

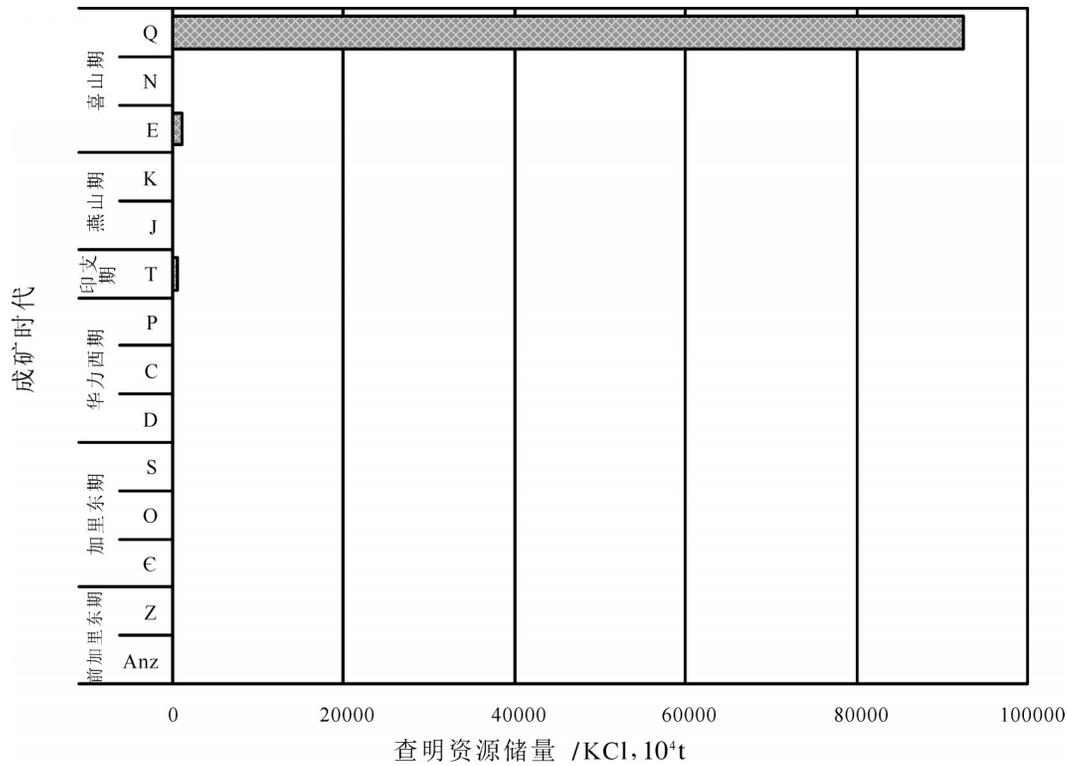


图1 中国钾盐矿不同地质时代查明资源量统计

Fig. 1 Statistic plots of proved potash resources in different geological epochs

Q—第四纪;N—新近纪;E—古近纪;K—白垩纪;J—侏罗纪;T—三叠纪;P—二叠纪;C—石炭纪;D—泥盆纪;S—志留纪;O—奥陶纪;ε—寒武纪;Z—震旦纪;Anz—前震旦纪

单元划分^[14]的基础上,充分考虑钾盐矿床分布和成矿地质条件,共划分出准噶尔盆地(ⅢK-1)、天山山间盆地(ⅢK-2)、塔里木盆地(ⅢK-3)、阿拉善(隆起)(ⅢK-4)、柴达木盆地及北缘(ⅢK-5)、鄂尔多斯盆地(ⅢK-6)、华北盆地(ⅢK-7)、鲁西南(ⅢK-8)、藏北高原(ⅢK-9)、兰坪-思茅盆地(ⅢK-10)、四川盆地(ⅢK-11)、江汉盆地(ⅢK-12)12个钾盐矿Ⅲ级成矿区带(图2)。

第四纪盐湖型钾盐矿床分布明显受中生代成盐盆地的控制,大中型钾盐矿床均分布于西部大型断陷盆地中,以柴达木盆地及北缘钾盐成矿带分布最集中,富钾卤水或含钾盐类沉积于盆地相对低洼处,部分盆地中次级构造分异明显,形成多个沉积区,如察尔汗盆地有3个次级拗陷区^[15],在盆地中部及西北部形成3个钾盐矿床分布区;有的成盐盆地只有一个沉积中心,如准噶尔盆地和塔里木盆地,各有一个钾盐矿集中分布区,在天山山间盆地成矿带形成独具特色的若干小型硝酸盐型含钾

盐湖的集中分布区^[16-17]。其他断陷盆地及山间盆地中钾盐矿也有集中分布的特点。

古代化学沉积型钾盐矿根据含盐系岩性特征可分为碳酸盐岩中钾盐矿和碎屑岩中钾盐矿。现有碳酸盐岩中的钾盐矿主要分布在四川盆地成矿带东部,华蓥山背斜北端农乐地区形成了杂卤石矿床,矿层赋存于嘉陵江组五段—雷口坡组一段海相碳酸盐—硫酸盐建造内,呈层状产于石膏层中。陕北鄂尔多斯盆地钾盐成矿带中奥陶纪盐盆多个钻孔的盐层中见钾石盐薄层,尚未发现钾盐工业矿层。碎屑岩中钾盐矿已有钾盐矿床(点)主要分布于中国中东部部分中—新生代断陷盆地及西南部的兰坪-思茅盆地。兰坪-思茅盆地南段思茅盆地从北至南可划分为景谷、江城、整董和勐腊4个含盐带,含盐(钾)性由北至南逐渐变优,景谷含盐带的文卡、文晒和凤岗3个钻孔中见薄层工业钾矿层,南部的勐腊含盐带南端钻孔中见钾矿化,部分可见工业钾矿层^[18],整董含盐带产中型勐野井钾盐矿床。

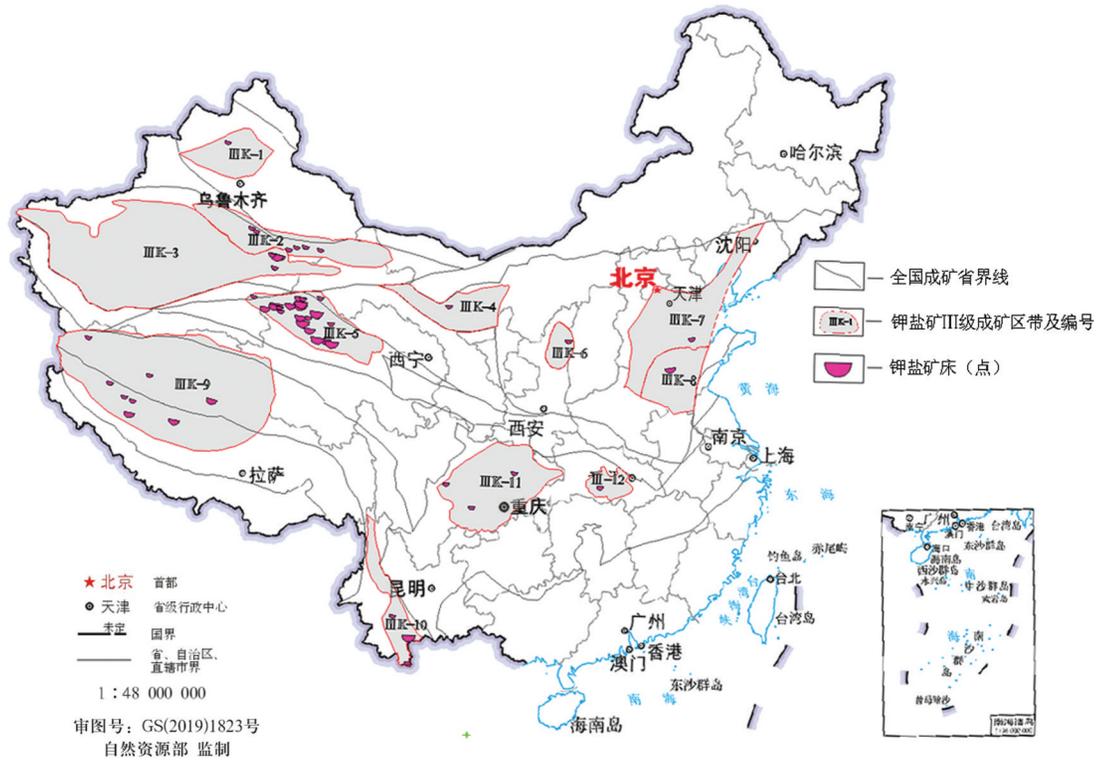


图2 中国钾盐矿Ⅲ级成矿初步划分

Fig. 2 Preliminary map of III level potash metallogenic units in China

山东鲁西隆起中部汶蒙盆地大汶口凹陷内古近纪含盐段中上部有大量薄层状杂卤石岩和含杂卤石的石盐岩产出^[19]。江汉盆地内潜江凹陷含盐岩系最大厚度 3557m,除见有巨厚的石盐及镁盐外,还沉积了钾芒硝矿层及无水钾镁矾^[20]。

深藏地下卤水型钾盐矿主要分布于中西部大型盆地部分次级背斜构造区,早一中三叠世富钾卤水分布于上扬子地区的四川盆地,并富集于盆地的次级背斜区。这些地区构造作用强烈,岩溶十分发育,水交替强烈,盐系地层多被溶蚀而角砾岩化,从而构成统一的岩溶裂隙含水岩体。川西平落坝构造区雷口坡组富钾盐卤水 K^+ 含量高达 53.3g/L, B^{3+} 含量达 5154mg/L,一般均可达到综合利用品位,川东北宣达盐盆嘉陵江—雷口坡组富钾卤水 K^+ 含量达 25.9g/L,是优质的液态钾矿及化工原料。柴达木盆地西部南翼山一带沉积了巨厚的古近系干柴沟组—新近系狮子沟组盐岩层,油田卤水发育,主要分布于背斜构造中,含卤层既有碎屑层也有盐层,油田卤水普遍富钾^[21]。在江汉盆地的江陵、潜江、云应及小板等次级凹陷中也赋存有含钾卤水,近年,在江陵凹陷南岗构

造施工的岗钾 1 井,在 3581m 深度钻遇高温高压富钾卤水矿,地质普查圈定江陵凹陷富钾卤水分布范围 1000km²,估算卤水氯化钾资源量逾 $2 \times 10^8 t$ ^[22]。

2 预测评价模型

预测评价类型的划分和汇总研究是开展资源潜力评价工作的基础。本次根据中国钾盐矿地质特征及控矿要素特征,在矿床类型划分的基础上,将中国钾盐矿划分为第四纪盐湖型、深藏地下卤水型、碎屑岩型和碳酸盐岩型 4 个预测评价类型,其中碎屑岩型和碳酸盐岩型 2 个预测评价模型同属前文的古代化学沉积型。初步总结和研究了各预测类型的描述性模型,用以指导钾盐矿资源潜力评价工作。

2.1 第四纪盐湖型钾、硼、锂矿床描述性预测评价模型

大地构造位置位于内陆大型陆内盆地及山间盆地地区。

成矿时代:第四纪,以晚更新世—全新世为主。

含矿岩系:含钾盐层位主要为碎屑岩—盐岩建造或湖表富钾卤水。

矿物组合:矿石分固态和液态(卤水)2种。固态矿石的矿石组合较复杂,可分为硫酸盐型和碳酸盐型组合,硫酸盐型除大量石盐、芒硝、石膏或白钠镁矾、泻利盐、钙芒硝外,常见钾盐矿物有软钾镁矾、钾芒硝、钾石膏或光卤石、钾石盐、杂卤石,硼矿物以库水硼镁石、柱硼镁石等为主。碳酸盐型除大量石盐、芒硝(无水芒硝)和碱类矿物外,常见钾矿物有钾芒硝或钾石盐,硼矿物以硼砂、钠硼解石为主,锂矿物以扎布耶石、含锂菱镁矿、含锂白云石等为主。液态多呈层状的地表卤水、晶间卤水和淤泥卤水出现。

结构/构造:矿石结构主要为他形变晶结构;矿石构造主要有块状构造、角砾状构造、条带状构造等。

控矿条件:封闭-半封闭的古湖盆地;大陆性干旱气候;成矿物质来源多(周边岩石的风化盐、再溶盐、油田水或构造热卤水)。

预测类型:青海察尔汗式、西藏扎布耶式(图3)、新疆罗布泊式、乌勇布拉克式,以及甘肃小苏打湖式。

主要预测要素:陆内相盆地断陷-坳陷盆地亚相+第四纪盐湖碎屑岩-蒸发岩建造+钾(水化学)异常+遥感色异常+伽马能谱异常。

2.2 深藏地下卤水型钾、硼、锂矿床描述性预测评价模型

大地构造位置:稳定地块内压陷盆地、裂谷盆地或陆块内坳陷盆地区。

成矿时代:早中生代(T)、新生代(E、N)。

含矿岩系:可分为海相和陆相2类,其储卤层分别为海相碳酸盐岩-蒸发岩建造和陆相碎屑岩-蒸发岩建造。

储卤层特征:多呈层状富集于碳酸盐岩、碎屑岩、岩盐及少量火山岩中,不同岩性的孔隙、裂隙和溶穴为富钾卤水的储集场所。背斜构造和断裂构造对矿体的分布和形态有重要的制约作用,且背斜构造与断裂构造的叠置部位常为地下卤水的重要富集带。

富钾卤水水化学特征可分为原生卤水和次生卤水2种,卤水除 K^+ 含量较高外,常伴有 B^{3+} 、 Li^+ 、 I^- 等有益组分,可综合利用。

控矿条件:封闭-半封闭的古湖盆地;古沉积岩层;成矿物质多来源(周边岩石的风化盐、再溶盐、油田水或构造热卤水)。

预测类型:四川邓井关式、青海南翼山式(图4)和湖北江陵式。

主要预测要素:(被动陆缘陆表海相-陆表海亚

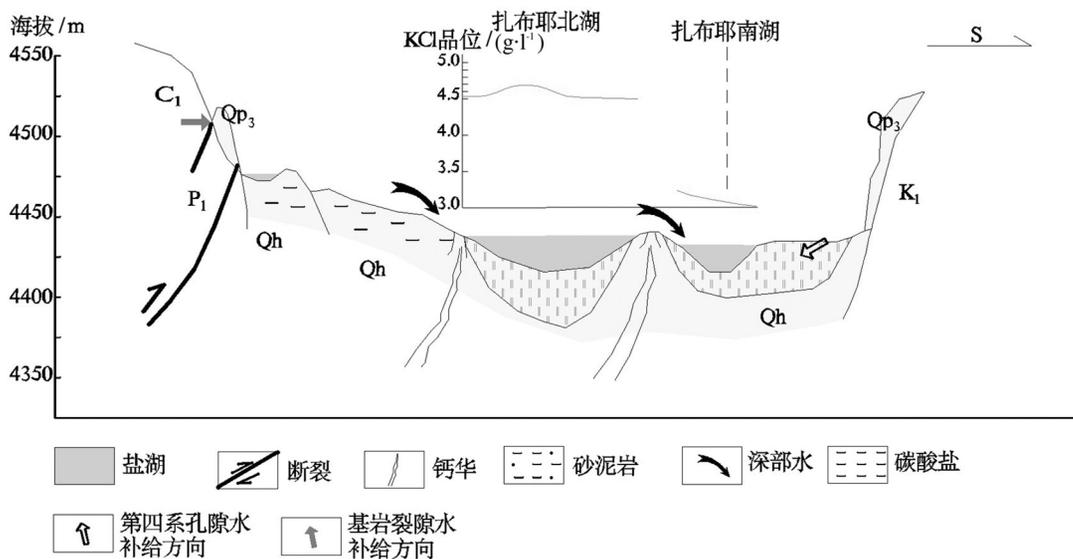


图3 西藏扎布耶茶卡盐湖硼锂钾矿预测模型图^{①②}

Fig. 3 The prediction model of the Zabuye B-Li-K deposit in Tibet
C₁—下石炭统;P₁—下二叠统;K₁—下白垩统;Qp₃—下更新统;Qh—全新统

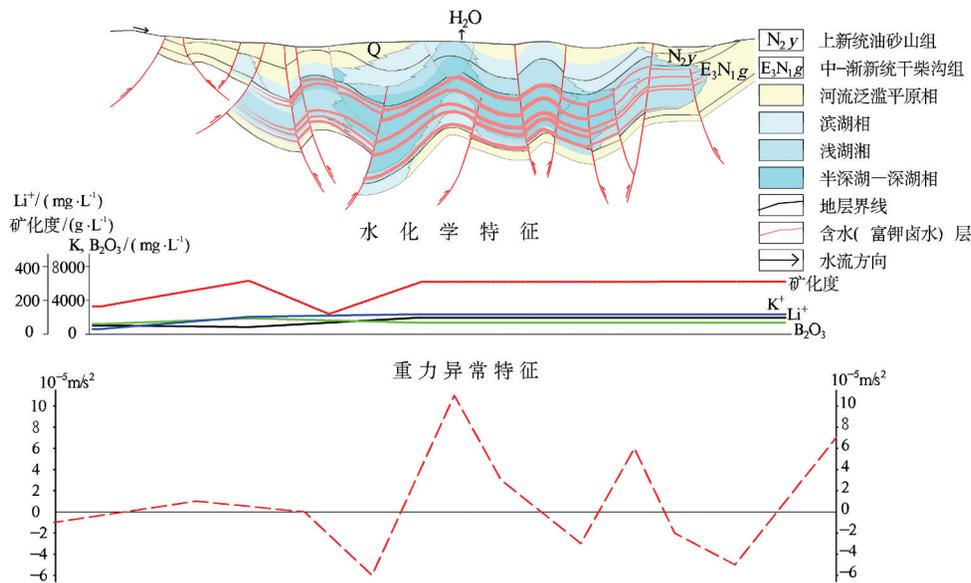


图 4 柴达木盆地南翼山式富钾卤水预测模型(据参考文献③修改)

Fig. 4 The prediction model of the Nanyishan-type potassium-rich brine in Qaidam basin

Q—第四系

相)+碳酸盐岩-蒸发岩建造或碎屑岩建造+古隆起+锂、硼、钾(水化学)异常。

2.3 碎屑岩型钾盐矿床描述性预测评价模型

大地构造位置:古板块碰撞带边缘沉积盆地、大陆古板块活动带内裂谷盆地、大陆古板块内部断拗盆地。

成矿时代:中生代—新生代新近纪。

沉积建造/沉积作用:碎屑岩-岩盐建造,以机械沉积的碎屑岩为主,蒸发沉积的岩盐次之。含盐系底部常是碎屑岩夹石膏、硬石膏岩,往上演化成碎屑岩-石盐及钾盐沉积。

岩相古地理/构造古地理/建造古构造:大部分中、新生代盐湖具有陆内相沉积特征,古地理环境表现为海陆过渡环境、大陆陆内盐湖或少数具滨海盐湖环境。

控矿条件:在元古宙或早古生代构造基底上发展起来的长期性继承性拗陷;多期次构造活动使拗陷分割成若干个次一级盆地;盆地沉积相以陆相为主,少数具海陆交互沉积特征。

预测类型:云南勐野井式、山东大汶口式。

主要预测要素:(陆内盆地断陷-拗陷盆地亚相)+蒸发盐湖沉积相或间歇性干盐湖亚相+(碎屑岩-蒸发岩建造)。

2.4 碳酸盐岩型钾盐矿床描述性预测评价模型

大地构造位置:相对稳定的古陆块的拗陷地区。

成矿时代:以早古生代、早中生代为主。

含矿岩系:碳酸盐-硫酸盐-盐岩建造,含盐系主要由化学岩(白云岩、硬石膏、石盐、钾镁盐)组成,或含有少量碎屑岩(泥灰岩、泥岩、页岩、粉砂岩等)。

岩相古地理/构造古地理/建造古构造:矿床沉积属陆表海蒸发台地相,封闭或半封闭的水盆地有利于成矿物质聚集并成矿。

矿物组合:矿石矿物以钾石盐为主,部分受后期构造影响变质成杂卤石。其他盐类矿物以石盐为主,常夹有石膏、硬石膏和泥质物。

结构/构造:矿石结构主要有他形变晶结构;矿石构造主要有块状构造、角砾状构造、条带状构造等。

控矿条件:充足的物质来源——海水;相对封闭的古地理环境,如泻湖、海湾、潮上盐湖等;相对低洼的古构造条件——台向斜、陆缘拗陷、台内拗陷、同沉降盆地等;强蒸发的干旱古气候;大型预备盆地。

预测类型:四川农乐式、陕西陕北式。

主要预测要素:(被动陆缘陆表海相-陆表海亚相)+稳定克拉通盆地的蒸发岩建造(灰岩、白云岩、硬石膏岩夹杂卤石,灰岩、白云岩、硬石膏岩和石盐

夹杂卤石)。

3 资源潜力分析

第三轮全国矿产资源潜力评价工作中,钾盐矿是全国重点评价的25个矿种之一。工作过程中,以成矿系列理论^[23]为指导,采用矿床模型综合地质信息预测方法^[24-26],充分利用以往地、物、化、遥等专业资料数据,并应用计算机信息提取技术,全面开展钾盐矿地质信息提取,建立不同预测方法类型的典型矿床及区域预测模型,按照不同矿产预测类型圈定最小预测区,应用地质参数体积法进行潜在资源量估算。限于篇幅,本文仅概略介绍预测技术方法和资源潜力评价成果。

3.1 预测底图

钾盐矿均为沉积矿产,按全国矿产资源潜力评价总体要求,本次钾盐矿预测方法类型均为沉积型,第四纪盐湖型钾盐矿预测底图为地貌与第四纪地质图,深藏地下卤水型和古代化学沉积型(碎屑岩、碳酸盐岩型),钾盐矿预测底图为岩相古地理图、沉积建造构造图。

3.2 最小预测区圈定

钾盐矿产作为沉积矿产,预测区的圈定主要以沉积盆地边界结合岩相分析圈定。确定含矿有利层位或区域,用必要要素、重要要素,考虑地质单元、矿产分布等,在预测工作区内划分出最小预测单元。最小预测单元圈定采用地质体单元法。第四纪盐湖型圈定最小预测区可分固体钾盐、湖表卤水、晶间卤水矿分别圈出;深藏地下卤水钾盐矿主要考虑富钾卤水层分布的连续性,一般应控制在同一富钾卤水层连续分布的范围内;碎屑岩型、碳酸盐岩型钾盐矿最小预测区规模主要应考虑含钾盐段分布的连续性,一般应控制在同一含钾岩段连续分布的范围内。

3.3 预测区评价、资源量估算和数据精度分析

主要采用找矿信息量优选模型法,辅助证据权法、特征分析等方法。对各预测区内预测变量进行排序、评价和分类,并估算成矿概率。预测区分A、B、C三类。对于其他预测类型钾盐矿床,预测区内未发现矿床数可采用模型估计法、统计学方法或德尔菲法估计。矿床数估计均分别在10%、50%和90%三个置信度条件下进行。

根据钾盐矿床的特点,本次主要选择地质参数

体积法进行资源量估算,即以一定地质建造赋存钾盐矿产资源潜力与该建造成正比,地质建造类似地区有相似的资源潜力,主要工作是确定赋矿建造空间三维分布范围,以及单位体积矿产平均含量^[23]。结合矿床模型综合地质信息定量预测方法与体积法进行有效性对比,计算预测区潜在资源量。第四纪盐湖型和深藏地下卤水型钾盐矿,如伴生达到边界品位的B、Li矿产,其资源量与钾盐同时预测。预测资源量按地质可靠程度分为334-1、334-2、334-3三类。与典型矿床对比,预测资源量按置信程度按小于0.5、0.5~0.75、大于0.75三个区间分别统计分析。

3.4 潜力分析

按照全国矿产资源潜力评价技术要求,全国9个省(区)钾盐矿潜在资源量按典型矿床成矿深度和预测区含矿地质体推深进行预测,预测资源量按500m以浅、1000m以浅、2000m以浅及6000m以浅(四川盆地、柴达木盆地深层富钾卤水预测深度大于2000m)进行统计分析。

在典型矿床和区域预测要素研究基础上,全国9省(区)共圈定钾盐矿最小预测区320个,其中第四纪盐湖型242个,深藏地下卤水型41个,古代化学沉积型37个。在最小预测区圈定基础上,本次全国共研究圈定42个钾盐矿3级预测区(图5)。按预测深度统计,全国6000m以浅钾盐矿预测资源量计 $32.63 \times 10^8 \text{t}$,500m以浅钾盐矿共计 $15.10 \times 10^8 \text{t}$,1000m以浅钾盐矿共计 $16.22 \times 10^8 \text{t}$,2000m以浅钾盐矿共计 $20.03 \times 10^8 \text{t}$ 。按不同地质可靠程度分类统计,334-1级计 $12.61 \times 10^8 \text{t}$,334-2级计 $7.33 \times 10^8 \text{t}$,334-3级计 $12.69 \times 10^8 \text{t}$ 。预测资源量大于1亿吨的3级预测区7个,1000万吨至1亿吨的预测区16个,小于 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 的预测区18个,具有较好成矿条件但本次未估算资源量的远景区4个。

按照成矿单元统计,以柴达木盆地及北缘钾盐成矿带预测资源量最大,其次为塔里木盆地钾盐成矿带(表1;图6)。鄂尔多斯、江汉盆地等成矿带具有较佳的成矿条件,但由于无成规模典型钾盐矿区,暂未建立典型矿床预测模型,本次未进行资源潜力估算。

柴达木盆地钾盐矿预测资源量以第四纪盐湖型和深藏地下卤水型为主,主要分布于盆地西部,预测资源量超过 $4 \times 10^8 \text{t}$ 的为油泉子预测区,超过 $3 \times 10^8 \text{t}$ 的为察汗斯拉图预测区,其他均未超过 $1 \times 10^8 \text{t}$,

表 1 全国钾盐矿成矿区带查明和预测资源量

Table 1 The accumulative identified resources and the predictive resource in various potash metallogenic belts in China

成矿区带编号	Ⅲ级成矿区带名称	典型矿床或代表性矿点(平均品位)	预测评价类型	查明资源量/KCl, 10 ⁴ t	预测资源量/KCl, 10 ⁴ t	预测资源量层位
ⅢK-1	准噶尔盆地钾盐成矿带(Q)	达巴松诺尔钾盐矿(KCl 1.39%)	第四纪盐湖型	69	140	Q
ⅢK-2	天山山间盆地钾盐成矿带(Q)	乌勇布拉克硝酸钾矿(KNO ₃ 1.98%)	第四纪盐湖型	152	1700	Q
ⅢK-3	塔里木盆地钾盐成矿带(C、K-E、Q)	罗北凹地钾盐矿(K ₂ SO ₄ 1.5%)	第四纪盐湖型、碎屑岩型	19456	60700	Q
ⅢK-4	阿拉善(隆起)钾盐成矿带(Q)	白碱湖钾盐矿(KCl 0.73%)	第四纪盐湖型		200	Q
ⅢK-5	柴达木盆地及北缘钾盐成矿带(E、N、Q)	察尔汗盐湖钾盐矿(KCl 1.6%~2.2%)、大浪滩盐湖钾盐矿(KCl 0.88%~1.71%)、南翼山富钾卤水矿(KCl 5527mg/L)	第四纪盐湖型、深藏地下卤水型	83719	170000	E、N、Q
ⅢK-6	鄂尔多斯盆地钾盐成矿带(O)	陕北钾盐矿点	碳酸盐岩型			典型矿床暂缺,未开展资源量估算
ⅢK-7	华北盆地钾盐成矿带(E)	东营杂卤石矿点	碎屑岩型			典型矿床暂缺,未开展资源量估算
ⅢK-8	鲁西南钾盐成矿带(E)	大汶口钾盐矿(K ₂ O 10.92%)	碎屑岩型	129	200	E
ⅢK-9	藏北高原钾盐成矿带(J、Q)	扎布耶盐湖硼锂钾矿、扎仓茶卡Ⅱ湖硼钾矿	第四纪盐湖型	2196	16000	Q
ⅢK-10	兰坪-思茅盆地钾盐成矿带(E)	勐野井钾盐矿(KCl 8.82%)	碎屑岩型	1633	39000	E
ⅢK-11	四川盆地钾盐成矿带(T)	邓井关富钾卤水矿(K ⁺ 2.91~4.66g/L)、农乐杂卤石矿(K ₂ O 5%~10.4%)	深藏地下卤水型、碳酸盐岩型	440	36800	T
ⅢK-12	江汉盆地钾盐成矿带(E)	江陵凹陷富钾卤水矿	深藏地下卤水型			典型矿床暂缺,未开展资源量估算

注:地质时代代号同图1注释

预测资源量主要为深藏富钾卤水和第四纪盐湖深部富钾卤水,其中深藏地下卤水型钾盐矿预测资源大部分深度大于2000m。近年,在油泉子预测区西部大浪滩地区黑水凹地一带施工的多个钻孔中,于第四纪深层化学沉积层和砂砾石层中见厚层富钾卤水,卤水KCl含量0.36%~1.0%,取得重大找矿突破^[27],开辟了新的找钾方向。

塔里木盆地钾盐矿预测资源量以第四纪盐湖型为主,分布于盆地东缘的罗布泊地区,预测资源量超过6×10⁸t,预测资源量主要为深层富钾卤水。近年,在罗布泊深部正在开展深层富钾卤水矿找矿实践^[28]。值得注意的是,本次未进行定量评价工作的盆地西部的库车坳陷、莎车坳陷在白垩纪—古近

纪具较好的成盐找钾条件,近年的找钾工作,在库车坳陷油气钻井羊塔4井的岩屑复查中发现含钾石盐岩层厚达百米,其中8m厚KCl平均含量12%,含钾矿物经鉴定为原生钾石盐,取得了找钾工作的重大实质性进展^[29]。

兰坪-思茅盆地钾盐矿成矿带预测资源量为(碎屑岩中)古代化学沉积型钾盐矿,主要分布于盆地南部的江城-勐腊预测区、镇沅-景谷预测区,预测资源量均大于1×10⁸t,预测资源量主要为已有矿(化)点深部含矿层。杨尖絮等^[18]和郑绵平等^[30]认为,勐野井钾盐矿床成矿物质可能来源于深部中生代侏罗系源盐层,其中马尾丝状钾盐矿体可能是沿断层由深部侏罗纪含钾岩系挤压塑流到表层来的,并通过初步深

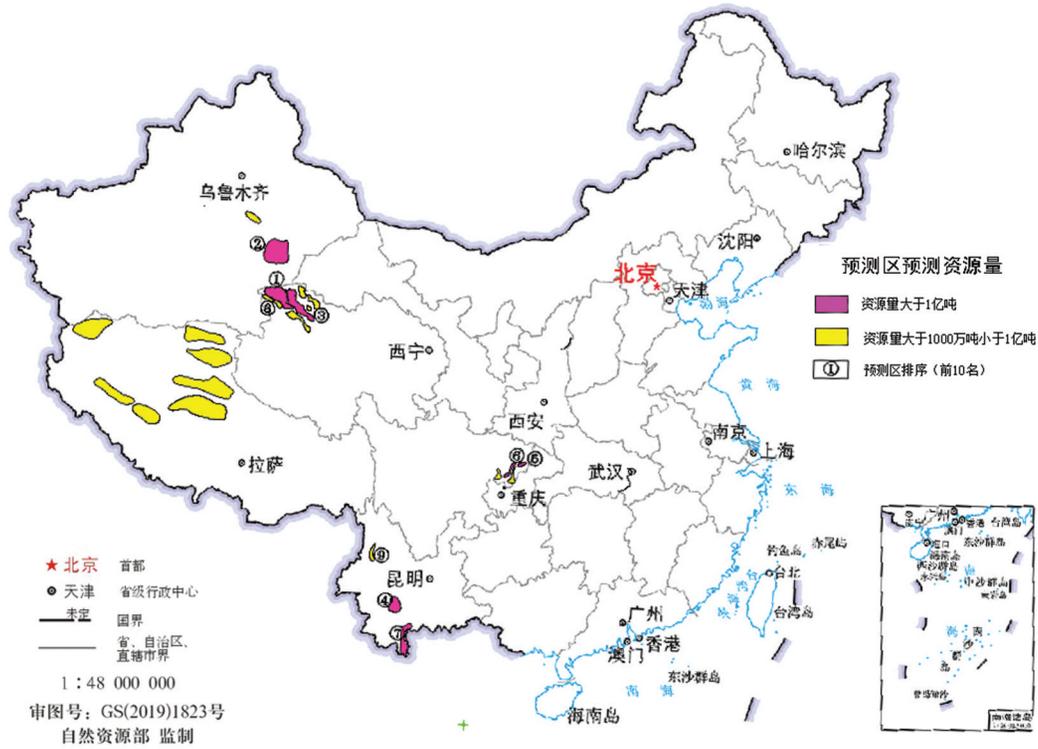


图5 全国钾盐矿三级预测区分布及资源潜力

Fig. 5 The III level prediction area and resource potential of potash deposits in China

部探矿工程证实,开辟了新的找矿空间。

四川盆地钾盐成矿带预测资源量主要为(碳酸盐岩中)古代化学沉积型和深藏地下卤水型钾盐矿,主要分布于盆地东北部的龙会、板桥预测区等,两预测区预测资源量均超过 $1 \times 10^8 t$ 。古代化学沉积型钾盐矿主要为杂卤石型矿石,在盆地东部多个坳陷中分布广泛,但尚未达到开发利用规模。深藏地下卤水型钾盐矿埋藏深度较大,且控矿构造复杂,共伴生Li、B、I、Cs等多种有益元素,值得进一步开展成矿条件研究和找矿探索。

4 结论

(1)依据钾盐矿成矿特征,将中国钾盐矿床划分为第四纪盐湖型、深藏地下卤水型和古代化学沉积型3个类型,现有的钾盐矿资源以第四纪盐湖型为主,成矿时代亦主要为第四纪。

(2)划分出准噶尔盆地等12个钾盐矿三级成矿区带,中国重要钾盐矿床均分布于中国西部大型陆内成盐盆地。

(3)根据各类型钾盐成矿特征和预测要素特征,归纳总结了第四纪盐湖型、深藏地下卤水型、碎屑岩型和碳酸盐岩型4个描述性钾盐矿预测评价模型。

(4)采用矿床模型综合地质信息预测方法,开展了全国钾盐矿资源潜力预测,共圈定钾盐最小预测区320个,归并三级预测区42个,全国钾盐矿预测资源量 $32.63 \times 10^8 t$,预测资源量大于 $1 \times 10^8 t$ 的三级预测区7个,资源潜力较大。以柴达木盆地及北缘钾盐成矿带预测资源量最大,预测资源量主要为第四纪盐湖型和深藏地下卤水型钾盐矿。

(5)本次钾盐矿潜力预测工作全面利用了以往钾盐矿勘查和研究资料,系统应用GIS技术,较全面地反映了当前钾盐矿床地质和勘查信息资料水平。

致谢:本次钾盐矿潜力评价是在青海、新疆、西藏等9省(区)预测评价基础上开展的汇总研究工作,感谢9省(区)参与钾盐矿潜力评价的相关人员,感谢中国地质调查局叶天竺研究员及中国地质科学院矿产资源研究所郑绵平院士、肖克炎研究员、孙莉副研究员、姜德波副研究员等各位专家在工作

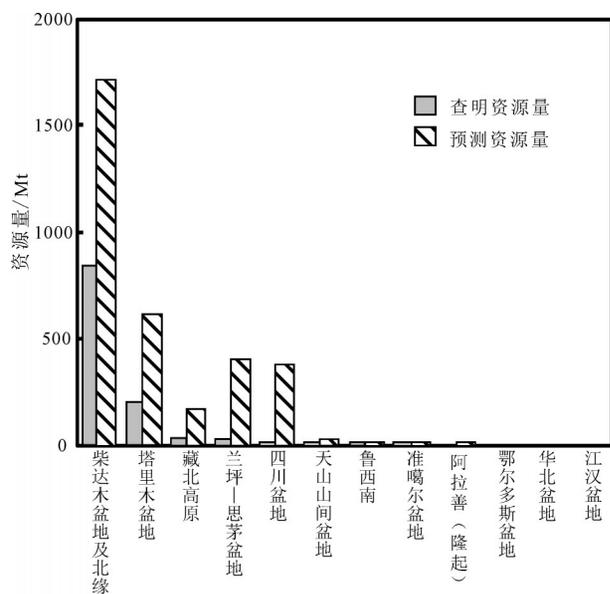


图 6 全国钾盐矿成矿区带查明资源量和预测资源量对比
Fig. 6 Statistic plots of the accumulative identified resource and the predictive resource in various potash metallogenic belts in China

及成文过程中的指导,同时感谢单位同事王吉平、邓小林等在成文过程中的帮助。

参考文献

- [1]王春连,刘成林,王立成,等.钾盐矿床成矿条件研究若干进展[J].地球科学进展,2013,28(9):976-987.
- [2]袁见齐,霍承禹,蔡克勤.高山深盆的成盐环境——一种新的成盐模式的剖析[J].地质论评,1983,29(2):159-165.
- [3]袁见齐.钾盐矿床成矿理论研究的若干问题[J].地质论评,1981,26(1):56-59.
- [4]郑绵平,向军,魏新俊,等.青藏高原盐湖[M].北京:科学技术出版社,1989:1-431.
- [5]Wang M L, Liu C L, Jiao P C, et al. Minerogenic theory of the superlarge Lop Nur potash deposit, Xinjiang, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(1): 53-65.
- [6]刘成林,焦鹏程,王弭力.盆地钾盐找矿模型探讨[J].矿床地质,2010,29(4):581-592.
- [7]刘成林.大陆裂谷盆地钾盐矿床特征与成矿作用[J].地球学报,2013,34(5):515-527.
- [8]李文光.从全球着眼合理配置钾盐资源[J].化工矿物与加工,2001,30(11),28-29.
- [9]袁见齐.袁见齐教授盐矿地质论文选集[M].北京:学苑出版社,1989:212-221.
- [10]刘群,许德明.钾盐矿床的分类及找矿意义[J].地质学报,1979,5(4):351-362.
- [11]赵元艺,焦鹏程,李波涛,等.中国可溶性钾盐资源地质特征与潜力评价[J].矿床地质,2010,29(4):649-656.
- [12]郑绵平,张震,张永生,等.我国钾盐找矿规律新认识和进展[J].地球学报,2012,33(3):280-294.
- [13]徐志刚,陈毓川,王登红,等.中国成矿区带划分方案[M].北京:地质出版社,2008:1-138.
- [14]潘桂堂,肖庆辉,陆松年,等.中国大地构造单元划分[J].中国地质,2009,36(1):1-27.
- [15]张彭熹.柴达木盆地盐湖[M].北京:科学出版社,1987:1-431.
- [16]葛文胜,刘斌,邱斌,等.新疆东天山南缘富钾硝酸盐盐湖成矿带地质特征及资源潜力[J].矿床地质,2010,29(4):640-648.
- [17]张义民,潘克耀,赵兴森,等.新疆硝酸盐矿床[M].乌鲁木齐:新疆大学出版社,2000:15-60.
- [18]杨尖絮,尹宏伟,张震,等.滇西兰坪—思茅盆地成钾地质条件分析[J].大地构造与成矿学,2013,33(4):633-640.
- [19]赵德均,韩蔚田,蔡克勤,等.大汶口凹陷下第三系含盐段杂卤石的成因及其找钾意义[J].地球科学—武汉地质学院学报,1987,12(4):349-356.
- [20]潘杰锋.江汉盆地盐类矿产的富集规律及找矿方向浅析[J].湖北地质,1988,2(1):90-98.
- [21]付建龙,于升松,李世金,等.柴达木盆地西部第三系油田卤水资源可利用性分析[J].盐湖研究,2005,13(3):17-21.
- [22]刘成林,余小灿,赵艳军,等.华南陆块液体钾、锂资源的区域成矿背景与成矿作用初探[J].矿床地质,2016,35(6):1119-1143.
- [23]陈毓川,裴荣富,宋天锐,等.中国矿床成矿系列初论[M].北京:地质出版社,1998,20-100.
- [24]肖克炎,张晓华,李景朝,等.全国重要矿产总量预测方法[J].地学前缘,2007,14(5):20-26.
- [25]叶天竺,肖克炎,严光生.矿床模型综合地质信息预测技术研究[J].地学前缘,2007,14(5):13-21.
- [26]Xiao K Y, Xing S W, Bagas L, et al. The China National Mineral Assessment Initiative [J]. Ore Geology Reviews, 2017, 91: 1084-1093.
- [27]郑绵平,张雪飞,侯献华,等.青藏高原晚新生代湖泊地质环境与成盐成藏作用[J].地球学报,2013,34(2):129-138.
- [28]焦鹏程,刘成林,颜辉,等.新疆罗布泊盐湖深部钾盐找矿新进展[J].地质学报,2014,88(6):1011-1024.
- [29]邓小林,韦钊,赵玉海,等.塔里木盆地古近纪钾盐矿层的发现及其意义[J].矿物学报,2013, S2: 755-756.
- [30]郑绵平,张震,尹宏伟,等.云南江城勐野井钾盐成矿新认识[J].地球学报,2014,35(1):11-24.
- ①西藏自治区地质调查院.西藏自治区钾盐矿资源潜力评价成果报告.2011.
- ②中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心.西藏自治区仲巴县扎布耶盐湖矿床锂矿详查报告.2001.
- ③青海省地质矿产勘查开发局.青海省钾盐矿资源潜力评价成果报告.2011.