

加拿大萨斯喀彻温盆地泥盆纪钾盐区域成矿分析

罗晓峰^{1,2}, 郑绵平^{3,4}, 齐文^{3,4}

1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083
2. 中川国际矿业控股有限公司, 北京 100012
3. 中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心, 北京 100037
4. 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 加拿大萨斯喀彻温省钾盐矿床是世界上最大的钾盐矿床,以规模大、矿层厚、品位高、有害杂质少著称。对中川国际矿业控股有限公司位于萨斯喀彻温省的“中钾”项目矿区内2008—2009年完钻的5口钻井岩心进行了沉积学、矿物学和地球化学综合研究。结果表明,该项目区域成钾与萨斯喀彻温省目前在产钾矿成矿状况相近,钾石盐资源巨大、埋藏浅、分布广,其钾盐层埋藏深度略深于目前在产钾盐矿。萨斯喀彻温省钾盐矿床成矿稳定连续,以钾石盐为主,光卤石少,矿床自东北向西南方向以极小的倾角倾斜,从曼尼托巴省的露头一直倾斜到萨斯喀彻温省南部达到2750 m深,表明该钾盐区仍然有巨大的资源潜力待勘探开发。

关键词 加拿大钾盐;萨斯喀彻温钾盐次盆地;泥盆纪;麋鹿点盆地;草原蒸发岩

世界钾盐资源分布很不均匀,主要集中在加拿大、俄罗斯、白俄罗斯、德国等少数国家,而中国、巴西等钾盐消费大国资源相对贫乏。中国是农业大国,钾盐是重要肥料来源,是保证粮食安全生产供应的决定性战略资源,中国已知氯化钾总量约10亿t^[1]。近年来,随着中国经济的快速发展,钾盐供给形势日趋严峻,钾盐长期被列为国家急缺矿种,对外依赖程度持续攀高。海相钾盐中光卤石少,钾石盐形成连续,是形成大规模高品质钾盐的最好形态。因此,勘探及开发国内外海相钾盐,对解决中国钾盐资源紧缺问题有重要意义。

加拿大萨斯喀彻温省矿产资源丰富,主要资源有石油天然气、煤及煤层气、金属和工业材料。北部地区为变形的前寒武纪基底与未变形的阿萨巴斯卡(Athabasca)沉积岩,主要分布有金属矿产。南部为寒武纪至第三纪沉积地层,主要分布有石油、天然气、煤及工业原料。阿萨巴斯卡盆地的铀矿与萨斯喀彻温盆地泥盆纪草原蒸发岩的钾盐在世界上占有重要地位,此外还有金刚石、碱金属、金、铂族金属、稀土及黏

土矿、硅砂、建材与卤水矿^[2]。

加拿大萨斯喀彻温省钾盐矿床是世界上最大的钾盐矿床,以规模大、矿层厚、品位高、有害杂质少著称。矿层分布范围达720 km×240 km,矿石类型主要为优质钾石盐型,部分地区为光卤石型。K₂O含量一般超过20%,局部超过30%。据美国地质调查局统计^[3],全球钾盐储量达95亿t,加拿大达44亿t,占46%,加拿大钾盐产量约占全球总产量28%。萨斯喀彻温省钾盐对世界钾盐市场和当地经济均具有重要意义。目前,萨斯喀彻温省的所有在产钾矿均为20世纪70年代前建成,20世纪的钾盐勘探也主要集中于在产钾矿附近。进入21世纪后,新一轮钾盐勘探热潮始于2007年,中川矿业的“中钾”项目是中国企业在萨斯喀彻温省勘探开发的第一个钾盐项目,包括KP488和KP385两个相连的矿权区,该项目位于萨斯喀彻温省内的萨斯卡通市东南55 km处,矿区位置及5个钻孔的位置如图1所示。

收稿日期:2016-09-22;修回日期:2016-11-10

基金项目:中国地质调查局“钾盐资源调查评价”计划项目(1212011085524);NSFCO云南联合重点基金项目(U0833601)

作者简介:罗晓峰,博士研究生,研究方向为钾盐矿床开发,电子信箱:346504723@qq.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矿床地质学,电子信箱:zhengmp2010@126.com

引用格式:罗晓峰,郑绵平,齐文.加拿大萨斯喀彻温盆地泥盆纪钾盐区域成矿分析[J].科技导报,2016,34(24):93-100;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.24.013

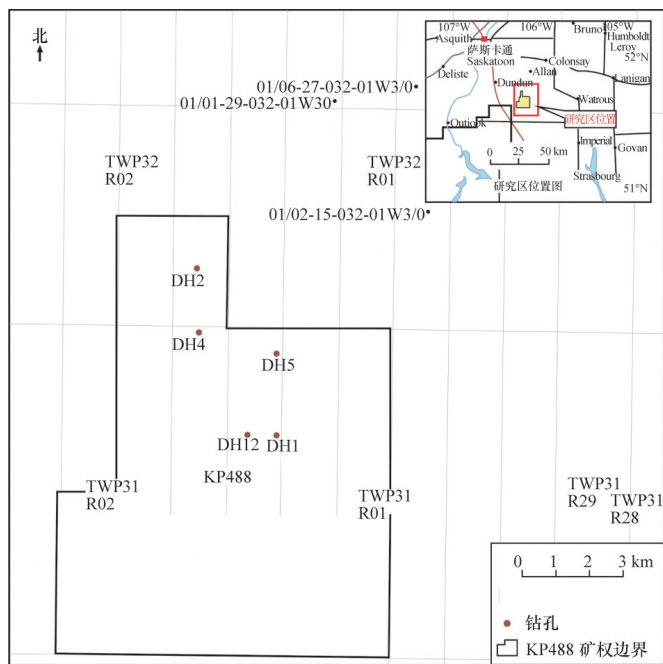


图1 “中钾”项目及研究钻孔位置

Fig. 1 Project location and drilling location map

1 区域地质

萨斯喀彻温钾盐矿床属于典型的海相蒸发成因。泥盆纪海水自北向南侵入北美地台内部,形成长条状多级蒸发盆地(麋鹿点盆地 Elk Point Basin),自西北向东南分别为北阿尔伯塔次盆地(Northern Alberta Sub-basin)、中阿尔伯塔次盆地(Central Alberta Sub-basin)和萨斯喀彻温次盆地(Saskatchewan Sub-basin)^[4],沉积了中下泥盆统麋鹿点(Elk Point)群含盐系地层,岩性主要为灰岩、白云岩、蒸发岩(包括硬石膏、岩盐和钾石盐与光卤石等)、页岩等,该群包括3个大的盐沉积旋迴,从下至上分别为洛茨伯格(Lotsberg)蒸发岩、冷湖(Cold Lake)蒸发岩和草原蒸发岩(Prairie Evaporite)3个大的蒸发岩层(图2^[5]),其中洛茨伯格蒸发岩、冷湖蒸发岩分布于北阿尔伯塔次盆地和中阿尔伯塔次盆地^[5-6],草原蒸发岩主要分布于萨斯喀彻温次盆地和阿尔伯塔次盆地,并在远离海水补给的萨斯喀彻温次盆地形成了世界上规模最大的钾盐堆积^[7-8]。

萨斯喀彻温次盆地的中泥盆统麋鹿点群包括亚瑟恩组(Ashern)、温尼伯戈西斯组(Winnipegosis)、草原蒸发岩组,缺失下麋鹿点群的洛茨伯格和冷湖岩盐层。该群不整合于志

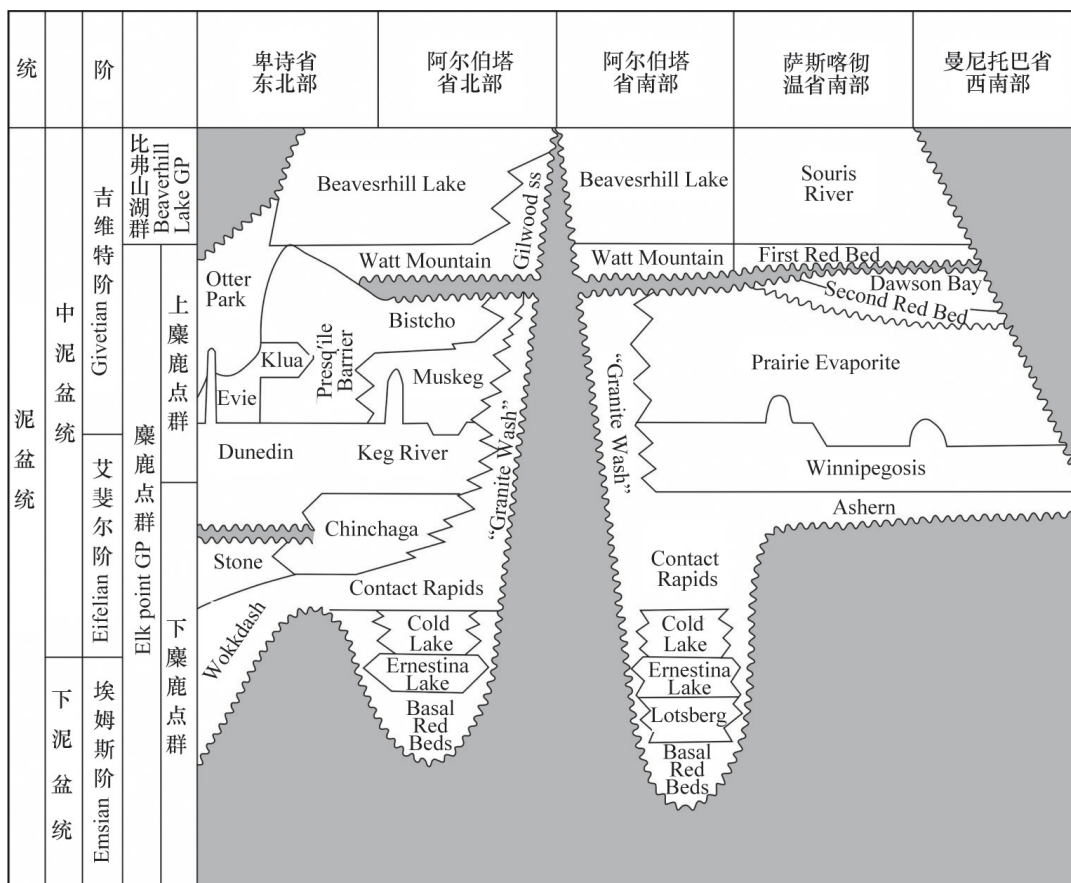


图2 加拿大Elk Point盆地泥盆纪地层对比

Fig. 2 Stratigraphic sequences of the Devonian-age Elk Point Basin in Canada

留系之上,其上为中上泥盆统曼尼托巴群(Manitoba)(包括道森湾组 Dawson Bay 和苏里斯河组 Souris River)、上泥盆统萨斯喀彻温群(Saskatchewan)(包括 Duperow 组和 Birdbear 组),缺失上泥盆统 Three Forks 群, Birdbear 组直接与上覆侏罗系(Gravelbourg 组)不整合接触^[9]。

萨斯喀彻温省钾盐形成于中泥盆纪麋鹿点群,主要成分是岩盐、钾盐、光卤石和黏土。麋鹿点群位于名为“麋鹿点航道”的巨大克拉通沉积带,该沉积带跨越加拿大的曼尼托巴省、萨斯喀彻温省和阿尔伯塔省、美国北达科他和蒙大拿

州^[4]。而钾盐层位于麋鹿点群最上部的草原蒸发岩组。

2 含钾盐系地层特征

2.1 研究区钻孔概况

2008—2009年,研究区完成5个钻孔。这些钻孔设计用来评估泥盆纪草原蒸发岩组钾盐成矿潜力。所有的钻孔都是垂直孔,都钻透了草原蒸发岩组的钾盐矿化层,且钾盐带都取了岩心(表1^[10])。

表1 研究区2008—2009钻孔数据统计表

Table 1 Statistics of drilling wells between 2008 and 2009

钻孔编号	盐层顶深/m	高品位钾盐层大致厚度(含夹层)/m	地层	钻孔总深度/m
1-30-31-1W3(DH1)	1258.0	45.0	草原蒸发岩组	1448
9-31-31-1W3(DH5)	1224.6	37.8	道森湾组,草原蒸发岩组	1355
3-12-32-2W3(DH2)	1222.1	36.5	苏里斯河组,道森湾组,草原蒸发岩组	1330
15-36-31-2W3(DH4)	1221.6	42.0	道森湾组,草原蒸发岩组	1435
3-30-31-1W3(DH12)	1263.8	35.0	道森湾组,草原蒸发岩组	1360

该研究区内,草原蒸发岩内主要探明有耐心湖(Patience Lake)和贝尔普莱恩(Belle Plaine)两个钾盐层,这两个钾盐层又被夹层(主要是岩盐)进一步区分为几个小的钾盐层,其氯化钾(KCl)平均品位在20%~38%,部分区段氯化钾品位高达70%。部分钻孔有白熊(White Bear)钾盐层,但白熊层极薄,不具工业开采价值。

DH4和DH5的取心点在道森湾组第二红层段的上部,DH2取心点在苏里斯河组,DH2钻孔对整个道森湾组地层进行取心。钻孔DH12的取心点在道森湾组第二红层段的顶部。从取心点开始直到最底部含钾层之下均连续取心。

2.2 研究区地层层序特征

根据萨斯喀彻温省钾盐矿区内的5个钻孔柱状图,可将该区地层分为三大单元。上部层序从地表延伸到大约175~200 m,由冰碛物、砾石层、黏土组成,含有淡水含水层。中部层序从冰川沉积物底部延伸到大约800 m,由侏罗纪到白垩纪的页岩、粉砂岩和砂岩组成,并夹有有限的咸水层。底部层序从古生代/中生代不整合面延伸至1900 m以下,由寒武纪到上泥盆纪的碳酸盐岩、蒸发岩、基底页岩和砂岩组成。

横向上,含石盐、钾石盐和光卤石沉积的蒸发岩层发现于中泥盆纪的麋鹿点群,其顶面埋深变化从萨斯喀彻温省南部2500 m到曼尼托巴省北西部的地表露头,在本研究区内钻孔DH2,DH4和DH5位置的草原蒸发岩组顶面埋深在1221~1225 m,钻孔DH1和DH12位置的草原蒸发岩组顶面埋深在1260~1265 m,比目前萨斯喀彻温省采用早采法采矿的钾盐矿山的蒸发岩层埋藏略深。麋鹿点群地层不整合于志留纪因特拉肯(Interlake)组之上,被中泥盆纪道森湾组碳酸盐岩沉积不整合覆盖。蒸发岩层位于草原蒸发岩组地层之内,该组地层上覆在温尼伯戈西斯组之上。草原蒸发岩组底部和

温尼伯戈西斯组之间有显著的变化,从草原蒸发岩的石盐层突然变为温尼伯戈西斯组混杂的灰岩、白云岩和硬石膏。草原蒸发岩组顶部和道森湾组之间接触带由页岩到局部粉砂质风化层组成,称为第二红层。区域上,温尼伯戈西斯形成了广阔的平坦盆地至平台沉积,局部形成灰岩和白云岩礁体。温尼伯戈西斯礁的隆起可能导致蒸发岩层沉积减薄,本研究区内个别钻孔位于温尼伯戈西斯礁隆起的位置,但这些位置的钾盐沉积与其他几个钻孔位置的钾盐沉积无异,因为钾盐层位于蒸发岩的顶部,其与温尼伯戈西斯礁相隔数十米厚的岩盐。但萨斯喀彻温省也存在温尼伯戈西斯礁隆起过高的区域,对蒸发岩、乃至钾盐层沉积严重变薄,有较大的影响。因此,温尼伯戈西斯礁隆起对海相钾盐沉积的影响是因地而异。

2.3 蒸发岩沉积特征

从蒸发沉积角度划分,萨斯喀彻温次盆地中-上泥盆统共有4个成盐旋回,钾盐仅分布于第一旋回的中泥盆统麋鹿点群中的草原蒸发岩组顶部约60 m范围内(图3)。

1) 第一成盐旋回(麋鹿点群),由中泥盆统麋鹿点群组成,自下而上依次为亚瑟恩组(灰色-褐色白云质泥岩,称为第三红层)、温尼伯戈西斯组灰岩和草原蒸发岩组的蒸发岩^[11],构成了逐渐浓缩的咸化序列。

草原蒸发岩分布于萨斯喀彻温次盆地和中阿尔伯塔次盆地,向南延伸到美国威利斯顿(Williston)盆地,分布面积达20万km²,厚度可达213 m。埋深由北向南逐渐加大,在北部小于600 m,中部1000 m左右,向南接近美国边境一带埋深可超过2400 m。区域岩层向南和西南方向倾斜,倾斜的增长率为每1000 m增长1.9~7.5 m^[12-13]。

草原蒸发岩组主要为石盐层,顶部夹数层钾石盐层,局

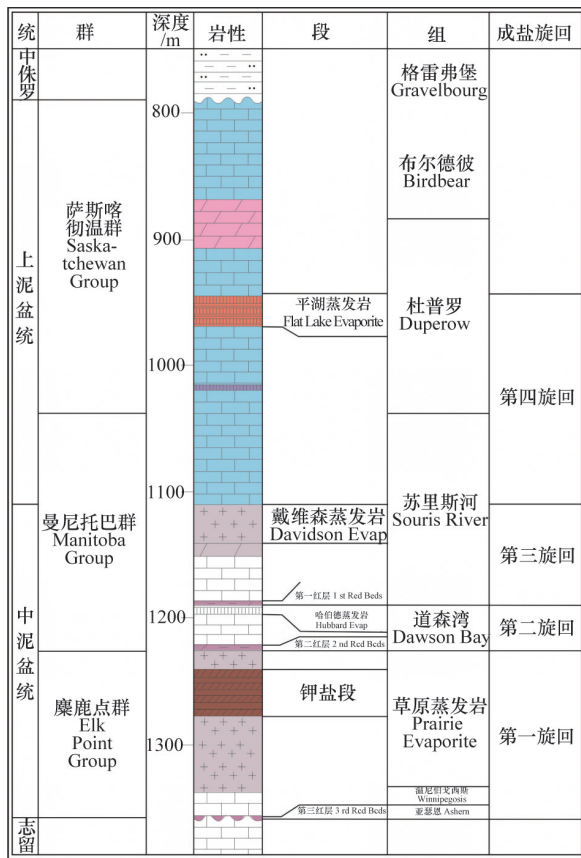


图3 萨斯喀彻温次盆地蒸发沉积旋回
Fig. 3 Evaporation sedimentary cycles of Saskatchewan sub-basin

部含少量光卤石、硬石膏、白云岩和黏土。草原蒸发岩组蒸发岩可以划分为上、下两段,称为上盐段和下盐段,通常被6~7.5 m厚的硬石膏-白云岩-黏土层分隔(称为Shell Lake段)。本研究区内钾盐仅分布于的“草原蒸发岩”层顶部约60 m范围内,与萨斯喀彻温次盆地(包括美国威利斯顿盆地)其他已知钾盐区域一致。钾盐层由石盐(NaCl)、氯化钾(KCl)、光卤石(KCl·MgCl₂·6H₂O)及一定量的不溶物组成。本研究区内KCl平均品位在20%~38%,部分区段氯化钾品位高达70%

草原蒸发岩组蒸发岩底部与温尼伯戈西斯组沉积接触。底部接触的显著特征是,由“草原蒸发岩”的石盐突变为温尼伯戈西斯组的灰岩、白云岩和硬石膏。草原蒸发岩组蒸发岩顶面与道森湾组第二红层岩性段的泥质白云岩或白云质泥岩呈假整合。

2) 第二成盐旋回(曼尼托巴群的道森湾组),该旋回由第二红层开始,向上变为道森湾组灰岩、哈伯德(Hubbard)蒸发岩。本研究区内哈伯德蒸发岩主要由薄石膏层组成,上覆为白云岩,下覆石灰岩,含的石盐较少。麋鹿点盆地内有些地区的哈伯德蒸发岩内石盐较多,夹石膏。旋回序列厚度常常为30~40 m,其中第二红层厚为3~5 m,顶部哈伯德石膏层(或膏云岩、白云岩)厚度约3~5 m。道森湾组灰岩呈浅灰-浅

棕色,泥质至隐晶质,致密块状,含生物骨屑和泥质,向下泥质成份增加^[14]。偶见虫迹或白色硬石膏团块^[15]。

3) 第三成盐旋回:曼尼托巴群苏里斯河(Souris River)组下部自下而上分别为第一红层、苏里斯河灰岩、戴维森(Davidson)蒸发岩,构成了中泥盆统第3个成盐旋回。根据很多历史钻孔岩屑编录、测井和地震物探资料,该旋回地层序列厚度多为80~100 m,其中第一红层为白云质泥岩;苏里斯河灰岩厚度大,常夹石膏层、白云质灰岩、白云岩等。戴维森石盐层在钾盐勘探中常常作为一个标准层,判断该地区的钾盐赋存情况,若戴维森石盐层连续且完整,则可推测该区域的钾盐赋存情况良好,出现盐溶的几率较小。

4) 第四成盐旋回:由中泥盆统曼尼托巴群的苏里斯河组上部灰岩至中上泥盆统萨斯喀彻温群的杜普罗(Duperow)组中部平湖蒸发岩(Flat Lake Evaporites)段的蒸发岩构成,厚度多为200~300 m^[16]。

苏里斯河组上部为灰岩,夹石膏和白云质灰岩等。中上泥盆统萨斯喀彻温群的杜普罗组自下而上包括了Saskatoon, Wymark 和 Seward 这3个岩性段,Wymark 段顶部还有一层蒸发岩层^[17]。

3 钾矿层的分布和特征

3.1 钾盐层的分布

萨斯喀彻温次盆地草原蒸发岩顶部60 m包含4个明显的含钾段(图4),按由下至上的顺序分别是Esterhazy (EM)

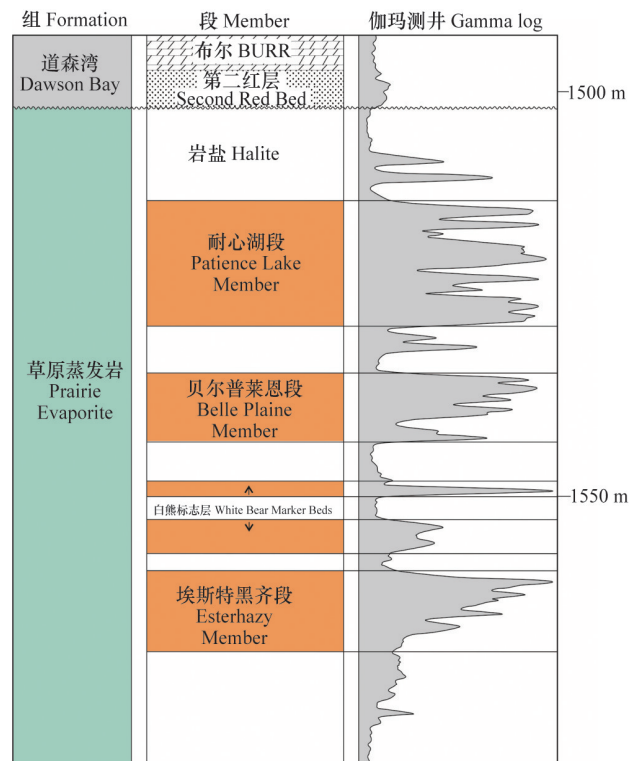


图4 草原蒸发岩顶部钾矿段柱状图
Fig. 4 Lithologic log of potash members in upper section of Prairie Evaporite

段、White Bear (WBM) 段、Belle Plaine (BPM) 段和 Patience Lake (PLM) 段, 各钾盐段厚度一般在 6~15 m, 被 1~45 m 的石盐所分隔, 包含一至多个单独的钾盐层, 厚度为几米到十几米不等^[18-19]。

各段的区域分布变化很大, 最底部的 EM 钾盐段主要分布于萨斯喀彻温省东部-中部; WBM 分布范围局限于东部局

部地区, 更多的是作为标志层出现, 没有经济价值; 往上, BPM 钾盐段和 PLM 钾盐段的分布范围逐渐向西扩展, 分布面积也逐渐扩大, 最上层钾盐分布范围最广^[20]。钾盐矿带从阿尔伯塔省北部, 经过萨斯喀彻温省南部, 曼尼托巴省西南部, 到达美国北达科他州西北和蒙大拿州东北^[21], 西北—东南向狭长延伸分布, 最长达 1500 km, 最宽约 300 km (图 5^[7])。

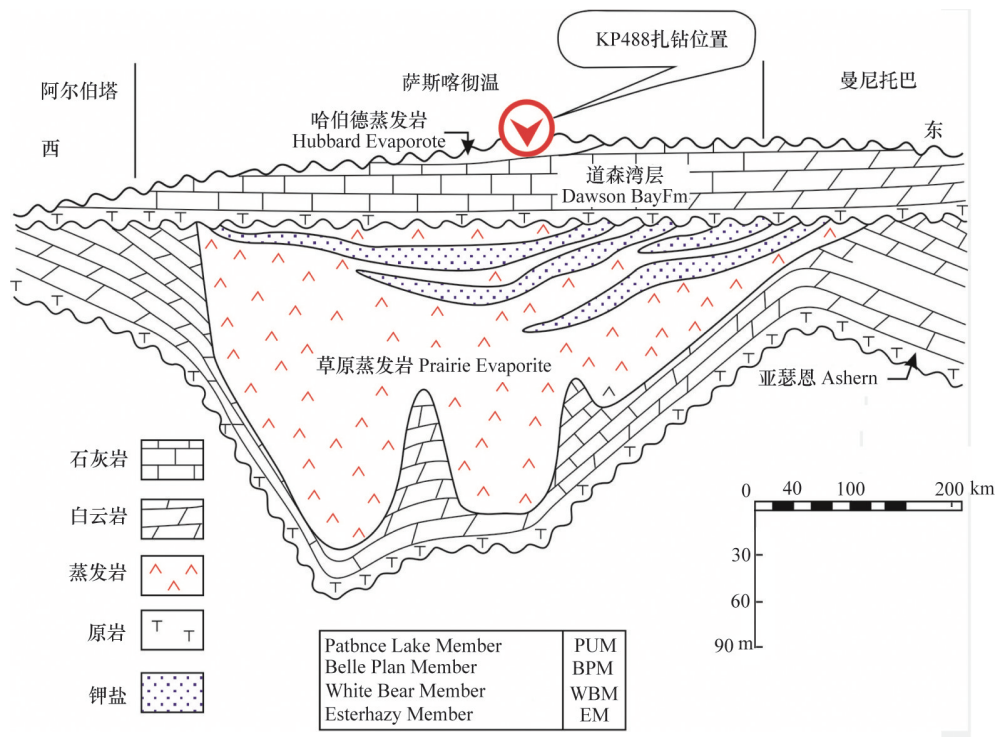


图 5 萨斯喀彻温“草原蒸发岩”的东西向横剖面示意

Fig. 5 Diagrammatic cross-section through the Prairie Evaporite in Saskatchewan

1) EM 段, 指草原蒸发岩层最底部的钾盐层。该段的典型发育见于 California Standard Tidewater Carnoustie Province 4-20 (Lsd. 4-20-17-32W 1) 钻孔, 深度在 3662~3709 m。该段的上界在大多数钻孔中都容易确定, 但是下界只能人为确定, EM 段在萨斯喀彻温省中部很发育^[22]。

EM 段的厚度范围从 0 到最大 31.4 m 见于 N.P.C. Touchwood 16-12-31-18 井 (Lsd. 16-12-31-18W2)。EM 段分布区的北翼常见厚度中心, 此外, 南部的 Township 9-Range 17W2, Township 17-Rang 23W2 和 Township 21-Rang 2W3 相对较厚 (图 6^[20])。

2) EM-BPM 段间的夹层。在 EM 段和上覆段之间石盐层的厚度, 在萨斯喀彻温省南部少于 6.1 m, 到北部边界大于 42.7 m。剖面中常见薄的富钾层。该富钾层最发育的地区是钻孔 Tidewater Pan-American White Bear Crown No. 5-15 well (Lsd. 5-15-1-2W2) 所在的地区, 但是其他地方发育不好。此外, 该地层中钾矿石品级基本上不能开发利用, 但它们是重要的地层标志层, 被称为 White Bear 标志层。本夹层

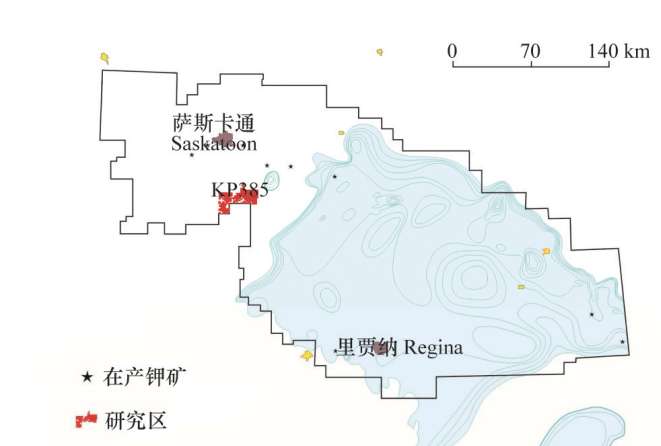


图 6 KP385 位置及 Esterhazy 段厚度等值线图

Fig. 6 KP385 outline with Esterhazy isopach

顶部有硬石膏薄纹层, 可用于钻孔剖面对比。

3) BPM 段是一套明显的富钾层序, 本研究区内 BPM 段

平均厚度为 12~30 m, 深度为 1253~1307m。除此之外, BPM 的典型代表还有 Sifto Salt Tugaska 14-32-22-2 井(Lsd. 14-32-22-2W3)深度 1441~1451 m 的地层^[23]。

BPM 最大厚度出现于 General Petroleum Saskatoon 6-12 井(Lsd. 6-12-384W3), 厚达 14.02 m, 该盐剖面仅含少量钾盐。西部和北部该段较厚, 从 Township 21-Range 16W2 向东-东南较薄。在以 Duval Aberdeen 3-30-37-2 井(Lsd. 3-30-37-2W3)为中心的地带贫钾或没有钾。在 Duval Potash Burr 4-18 井(Lsd. 4-18-35-23W2)和 Duval Viscount No.2 井(Lsd. 5-18-34-25W2)之间的长形延伸地带也含钾较少。

4) BPM-PLM 间的夹层位于 BPM 段与上覆 PLM 段之间, 本研究区内该夹层石盐层厚达 5~10 m, 见少量富钾层。在萨斯卡通市(Saskatoon)东北, 该夹层厚度最大, 可达 15 m 以上(图 7^[20])。

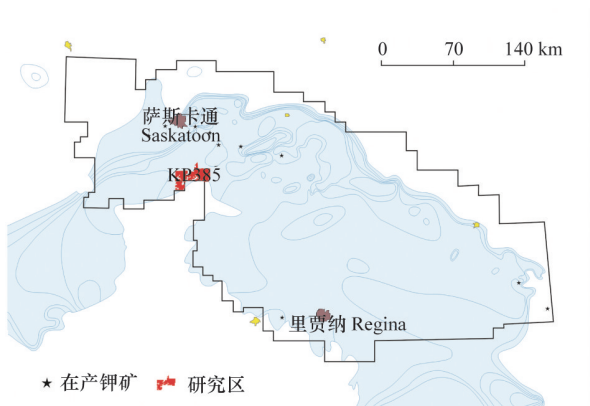


图 7 KP385 位置及 Belle Plaine 段厚度等值线图
Fig. 7 -KP385 outline with Belle Plaine isopach

5) PLM 段在研究区的厚度为 21~31 m, 其中钻孔 DH2, DH4 和 DH5 位置的 PLM 段顶板深度在 1227~1234 m, 而钻孔 DH1 和 DH12 位置的 PLM 段顶板埋藏较深, 位于 1270~1273 m。这在萨斯喀彻温省钾盐矿床中是位于相对较浅的位置, 但相较该省大多在产钾矿区内约 1000 m 的 PLM 段顶板要更深。

本研究区外的标志性钻孔情况如下。Elstow 16-9 井(Lsd. 16-9-35-1W3)在 994~1016 m 之间的层序被选作最上部钾盐段的标准剖面, 通常称为 PLM 段。该段的上、下界限在绝大多数地区一般容易确定, 只有穆斯乔(Moose Jaw)地区除外。其他地区原本划入下伏夹层的少量钾盐层, 在穆斯乔地区相对较厚, 且与石盐呈互层, 出现于 PLM 段底部附近。因此, 该地区 PLM 段的底界是人为确定的, 即把夹层中最上部一层“贫”石盐层的顶面作为其底界。某些地区 PLM 段能进一步划分两个或多个亚段, 以所夹石盐层为界面。

综上, PLM 段厚度范围 0~26.8 m, 见于 General Petroleum Saskatoon 6-12 井(Lsd. 6-12-38-4W3)。沿分布区北

翼中心地带最厚, 即从 Township 18 至 Range 24W2 到萨斯卡通市城西。大致以 Township 33-Range 21W3 为中心出现局部增厚(图 8^[20])。相反地, 从 Township 30-Range 27W2 至 Township 24-Range 10W2, 该段相对较薄。PLM 段之上, 覆盖了最厚 21.3 m 或更厚的石盐层, 含钾低。大部分地区该层石盐厚度 3~12 m。甚至在 PLM 段顶部被侵蚀地区, 它仍然覆盖在该段之上。Dominion Potash Kandahar 1-27 井 1(Lsd. 1-27-3 1-16W2, Well 10)就是这种情况。只有 PLM 段最底部地层未被侵蚀, 仍有 3 m 以上的石盐盖在钾盐层之上。

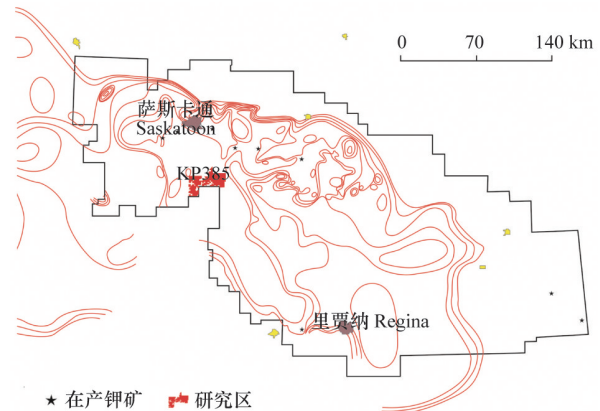


图 8 KP385 位置及 Patience Lake 段厚度等值线图
Fig. 8 KP385 outline with Patience Lake isopach

3.2 钾盐矿石类型和品级

1) 矿石类型划分。

萨斯喀彻温盆地的草原蒸发岩内盐岩类型主要有石盐岩、钾石盐岩、石盐质钾石盐岩、钾石盐质石盐岩、泥质石盐岩、泥质钾石盐岩、硬石膏岩。构成工业矿石的主要有钾石盐岩、石盐质钾石盐岩、钾石盐质石盐岩、泥质钾石盐岩、泥质含钾石盐的石盐岩、光卤石岩、石盐质光卤石岩等^[24]。

2) 工业开采中矿石划分标准。

加拿大钾盐勘查划分矿体的工业指标边界品位通常为 10%的 K₂O(15.829%的 KCl)。当光卤石含量大于 6%, 或水不溶物含量大于 15%时, 需要对钾石盐矿石的加工工艺作调整。因此, 依据钾石盐、光卤石和水不溶物含量, 通常将矿石类型划分为钾石盐矿石、泥质钾石盐矿石、光卤石矿石 3 类。钾石盐矿石的盐岩类型主要为石盐质钾石盐岩、钾石盐质石盐岩、含钾石盐的石盐岩, 主要组分为钾石盐、石盐; 泥质钾石盐矿石在萨斯喀彻温盆地中数量少, 且以薄层、条带、透镜状分散分布于优质钾石盐矿层中; 矿石中光卤石含量超过 6%则为光卤石矿石, 该盆地中光卤石矿石很少, 且多分布在钾盐矿带的边缘附近。

以勘查的 KP488 矿区为例, 各类矿石划分依据及其所占比例见表 2, 由此可见萨斯喀彻温盆地钾盐属于优质钾石盐矿石。

表2 各类含钾矿石划分标准
 Table 2 Standard of all kinds of potassium ore

矿物类型	含量/%			盐岩类型	矿区中占比/%
	KCl	光卤石	水不溶物		
钾石盐矿石	>15.829	<6	<15	钾石盐岩、石盐质钾石盐岩、钾石盐质石盐岩	83.00
泥质钾石盐矿石	>15.829	<6	<15	泥质钾石盐岩、泥质含钾石盐的石盐岩	15.00
光卤石矿石	>15.829	>6	—	光卤石岩、石盐质光卤石岩	1.570

4 成钾、找钾分析

钾盐是盐盆地发展到晚期的沉积物,所以全球钾盐矿床没有例外赋存于石盐体中。泥盆纪时北美地台开始下降,海面上升,麋鹿点盆地接受自阿尔伯塔西北进入盆地的海水,海侵自西北向东南发展。海侵过程呈螺旋式发展,有多个海侵-海退旋回,形成了多个盐层。至中泥盆纪,海侵扩张到东南部的萨斯喀彻温-威利斯顿盆地,由于与开阔海连通不畅,盆地内海水蒸发加强,在萨斯喀彻温盆地形成了大量钾盐堆积。经过多级海盆的数次沉积和迁移,最终形成了巨型海相钾盐矿床。

影响萨斯喀彻温地区沉积物堆积与剥蚀的主要因素有:克拉通内的威利斯顿盆地的下拗、周边构造体的垂向运动、基底构造活化相关的次级断层活动以及海面升降,此外还有沉积期后的褶皱、断裂和盐溶等,影响和控制了显生宙沉积层以及相关矿产资源的分布。

用二维地震探测分析当地地层层序,一些标志性的层位对找矿、勘探有指示性作用,如萨斯喀彻温盆地内的戴维斯(Davidson)石盐层,若其连续完整,则可推测该区域的钾盐赋存情况良好,出现盐溶的几率较小。第二红层因其处于盐层上方,且在钻探工程中容易识别,常被当做钻探取心开始的标志层。二维地震无法区分盐层和钾盐层,但用二维地震测定盐层的厚度对勘探也有意义,盐层厚且平整连续,则钾盐赋存的几率更高。另外,盐层底部是否存在温尼伯戈西斯礁(隆起)对海相钾盐沉积可产生影响,隆起高则可能造成该区域钾盐沉积薄,甚至钾盐缺失。

5 结论

加拿大萨斯喀彻温省钾盐矿床是在稳定的克拉通盆地上发育的海相蒸发岩矿床,其分布面积广、矿层厚度大、矿石品位高,是世界上最大的优质钾石盐矿床,钾盐找矿是有章可循的。

本次通过研究5个钻孔,显示获得高品位钾盐层 Patience Lake 和 Belle Plaine,与萨斯喀彻温省在产矿山一致,埋深相较更深,地层层序和沉积情况也萨斯喀彻温省在产钾矿一致,进一步拓宽了萨斯喀彻温省钾盐沉积的埋藏范围及赋存连续性,证明了萨斯喀彻温盆地西南部非传统采矿区蕴含

了同样品位、厚度的高品质钾石盐。这一研究成果对开辟其他区域的海相找钾,对海相钾盐盆地的成钾、找钾方向有借鉴意义。

参考文献(References)

- [1] 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. Present situation of potash resources and direction of potash search in China[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(11): 1239-1246.
- [2] Harper C T. Geology, and mineral and petroleum resources of Saskatchewan[J]. Miscellaneous Report, 2003.
- [3] United States Geological Survey. Mineral commodity summaries 2013 [R]. Washington DC: United States Geological Survey, 2013.
- [4] Holter M E. Saskatchewan. Dept. of Mineral Resources. The Middle Devonian Prairie Evaporite of Saskatchewan[M]. Regina: Lawrence Amon, Queen's Printer, 1969.
- [5] Meijer Drees N C. Devonian Elk Point Group of the Western Canada Sedimentary Basin[R]. Geological Atlas of the Western Canada Sedimentary Basin, 1994: 129-138.
- [6] Baillie A D. Devonian system of the Williston Basin area: Abstract[J]. AAPG Bulletin, 1953, 37(11): 2615-2615.
- [7] Saskatchewan Geological Survey. Potash in Saskatchewan[M]. Regina: Saskatchewan Geological Survey, 1982.
- [8] Fuzesy L M. Petrology Of potash ore in the Middle Devonian Prairie Evaporite, Saskatchewan[M]/McKercher R M. Potash 83 Potash Technology. Mining, Processing, Maintenance, Transportation, Occupational Health and Safety, Environment, Pergamon Press, Toronto. 1983: 47-56.
- [9] Caldwell W G E. Phanerozoic rocks in Saskatchewan—Some regional and global tectonic implications[C]/Gilboy C F, Vigrass L W. Economic Minerals of Saskatchewan Sask. Tulsa: AAPG, 1986.
- [10] 中川国际矿业控股有限公司, 中国地质科学院矿产资源研究所. 加拿大萨斯喀彻温省KP488区块钾盐普查报告[R]. 北京, 2013.
Zhongchuan International Mining Holding Co., Institute of mineral resources, Chinese Academy Of Geological Sciences. Prospecting report of potash permit KP488 in Saskatchewan, Canada[R]. Beijing, 2013.
- [11] The Middle Devonian Winnipegosis Formation of Saskatchewan[M]. Regina: Province of Saskatchewan, Sedimentary Geology Division, 1965.
- [12] Meijer Drees N C. Evaporite deposits of Western Canada[J]. Geological Survey of Canada, 1986, 81: 18.

- [13] Garrett D E. Borates: Handbook of deposits, processing, properties, and use[M]. Salt Lake City: Academic Press, 1998.
- [14] Wardlaw N C, Schwerdtner W M. Halite-anhydrite seasonal layers in the middle Devonian Prairie evaporite formation, Saskatchewan, Canada[J]. Geological Society of America Bulletin, 1966, 77(4): 331-342.
- [15] Wardlaw N C. Carnallite-sylvite relationships in the Middle Devonian Prairie evaporite formation, Saskatchewan[J]. Geological Society of America Bulletin, 1968, 79(10): 1273-1294.
- [16] Kent D M. The geology of the Upper Devonian Saskatchewan Group and equivalent rocks in western Saskatchewan and adjacent areas[M]. Sedimentary Geology Division, Geological Sciences Branch, Department of Mineral Resources, 1969.
- [17] Saskatchewan Geological Survey, Saskatchewan. Sedimentary Geology Division. Geology of the Middle Devonian Dawson Bay Formation in the Saskatoon Potash Mining District, Saskatchewan[M]. Regina: Saskatchewan Geological Survey, 1982.
- [18] Alger R P, Crain E R. Defining evaporite deposits with electrical well logs[C]//Second symposium on salt. The Northern Ohio Geological Society, Inc. 1966, 2: 116-130.
- [19] Worsley N, Fuzesy A. The potash-bearing members of the Devonian Prairie Evaporite of southeastern Saskatchewan, south of the mining area[J]. Economic Geology, 1979, 74(2): 377-388.
- [20] Yang C, Jensen G K S, Berenyi J. Isopach and salt-back thickness maps of the Patience Lake, Esterhazy and Belle Plaine members of the Prairie Evaporite Formation[R]. Ankara: Ministry of Energy and Natural Resources, 2009.
- [21] Sandberg C A. Distribution and thickness of Devonian rocks in Williston basin and in central Montana and north-central Wyoming[M]. Washington DC: US Government Printing Office, 1961.
- [22] Holser W T, Wardlaw N C, Watson D W. Bromide in salt rocks: extraordinarily low content in the Lower Elk Point salt, Canada[J]. Geology of Saline Deposits, Earth Science Series, 1972, 7: 183-190.
- [23] Wardlaw N C, Watson D W. Middle Devonian salt formations and their bromide content, Elk Point area, Alberta[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1966, 3(3): 263-275.
- [24] 齐文. 北美地质演化地钾盐成矿[J]. 地质学报, 2010, 84(11): 1576-1584.
- Qi Wen, The evolution of north America and the formation of potash deposits[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(11): 1576-1584.

Overview of regional mineralization of the Sevonian-age Saskatchewan Basin in Canada

LUO Xiaofeng^{1,2}, ZHENG Mianping^{3,4}, QI Wen^{3,4}

1. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China
2. Zhongchuan International Mining Holding Co., Ltd., Beijing 100012, China
3. R&D Center for Saline lake and Epithermal Deposit, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China
4. MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments; Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China

Abstract The Saskatchewan potash deposit in Canada is the largest potash reserve in the earth, which is recognized by its great scale, thick potash members, high grade resource and very few impurities. The ‘Sino-potash’ project owned by Zhongchuan Mining is the first potash project in Saskatchewan run by Chinese enterprise. The authors investigated into the project’s 5 drilling wells completed between 2008 and 2009 using sedimentology, mineralogy and geochemistry. It is shown that mineralization in the region is similar to that of currently operating potash mines of Saskatchewan. Thick sylvite members deposited in a relatively shallow depth spread continuously in the whole region, though the deposition depth is slightly deeper than those of the operating potash mines of Saskatchewan. The result tells that the middle-Devonian Saskatchewan potash deposit forms steadily and continuously, which is mainly composed of sylvite, with small amount of carnallite. The deposit dips slightly in the northeast-southwest direction from outcrops in Manitoba to the south Saskatchewan and reaches as deep as 2750 m, suggesting a great potential of resource in the area which was not defined as a potash mining area historically.

Keywords Canada potash; Saskatchewan Potash Sub-Basin; Devonian; Elk Point Basin; Prairie Evaporite

(责任编辑 刘志远)