https://doi.org/10.3799/dqkx.2019.155



二连盆地马尼特坳陷南缘赛汉塔拉组砂岩 碎屑锆石年龄及其地质意义

俞礽安^{1,2},吴兆剑^{3,4},司马献章^{1,2},韩效忠³,李紫楠³,文思博^{1,2},涂家润^{1,2}

1. 中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170

2. 中国地质调查局天津地质调查中心铀矿地质重点实验室,天津 300170

3. 中煤地质集团有限公司北京地质调查分公司,北京 100040

4. 中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083

摘 要:二连盆地是我国重要的产煤炭、石油、铀资源的能源矿产基地之一.综合以往资料可知,二连盆地煤和铀矿均主要赋 存于下白垩统赛汉塔拉组,但受盆地构造演化的制约,煤矿在盆地东部地区较为发育,在盆地中西部规模变小、厚度减薄;而铀 矿的分布规律则相反.为进一步了解构造一沉积演化对煤、铀成矿过程和赋矿机理的约束,选取马尼特坳陷南缘恩格日音地区 赛汉塔拉组下段砂岩开展地球化学和碎屑锆石 U-Pb测年研究,探索其物源变化规律;同时对比分析马尼特坳陷东段和西段地 震剖面,约束关键构造时限.结果显示:(1)马尼特坳陷南缘赛汉塔拉组下段下亚段物源以坳陷北缘的巴音宝力格隆起为主,而 下段上亚段物源以坳陷南缘的苏尼特隆起为主,指示苏尼特隆起在早赛汉塔拉期晚期发生较强烈隆升;(2)马尼特坳陷南缘赛 汉塔拉中期,沉积水体较浅,不利于煤的沉积;(3)苏尼特隆起构造隆升可能为坳陷南缘赛汉塔拉组下段铀成矿提供条件.这对 了解二连盆地煤、铀的空间配置,预测马尼特坳陷、乌兰察布坳陷南缘新区新层位铀成矿具有较为重要的理论意义. 关键词:碎屑锆石 U-Pb年龄;铀成矿;赛汉塔拉组;马尼特坳陷;二连盆地;矿产地质.

中图分类号: P597 **文章编号:** 1000-2383(2020)05-1609-13 **收稿日期:** 2019-06-27

Geochronology and Geological Significance of Sandstone Detrital Zircons from Saihantala Formation in Southern Manite Depression, Erlian Basin

Yu Reng'an^{1,2}, Wu Zhaojian^{3,4}, Sima Xianzhang^{1,2}, Han Xiaozhong³, Li Zinan³, Wen Sibo^{1,2}, Tu Jiarun^{1,2}

1. Tianjin Geological Survey Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China

2. Key Laboratory of Uranium Geology, China Geological Survey, Tianjin 300170, China

- 3. Branch Company of Geological Survey, China Coal Geology Group Company Limited, Beijing 100040, China
- 4. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: Erlian basin is one of the most important energy mineral bases bearing coal, oil and uranium. Although both of coal and uranium deposits mainly occur in lower Cretaceous Saihantala Formation, previous data reveal that most of coal mines are distributed in the eastern Erlian basin; while major uranium deposits are found in the midwestern Erlian basin. In order to understand the tectono-sedimentary evolution progress and its constraints on mineralization of coal and uranium, we took Saihantala Formation sandstones in Engeriyin area of southern Manite depression for geochemical and detrital zircons

引用格式:俞礽安,吴兆剑,司马献章,等,2020.二连盆地马尼特坳陷南缘赛汉塔拉组砂岩碎屑锆石年龄及其地质意义.地球科学,45(5): 1609-1621.

基金项目:中国地质调查局项目(No.DD20190119);国家重点研发计划项目(No.2018YFC0604200);国家重点基础研究计划973项目 (No.2015CB453000);中国煤炭地质总局科技项目(No.ZMKJ-2018-18).

作者简介: 俞礽安(1980-), 男, 高级工程师, 主要从事矿产勘查和理论研究. ORCID: 0000-0001-5377-6089. E-mail: 121181748@qq. com

geochronological analysis. Combined with previous seismic data in eastern and western Manite depression, we conclude that (1) the lower and upper subinterval of the lower Saihantala Formation in southern Manite depression have different provenances, and the lower subinterval is composed of terrigenous materials from Bayinbaolige rise, while the upper subinterval from Sunite rise, which may indicate the Sunite rise began to uplift in the late substage of the Early Saihantala period; (2) the water depth became shallow in Southern Manite depression during the middle period of Saihantala and it counted against the formation of coal; (3) the uplift of Sunite rise might provide beneficial tectonic condition for uranium mineralization in the lower Saihantala Formation in southern Manite depression. This is significant for us to understand the space allocation of coal and uranium in Erlian basin and evaluate the uranium metallogenic prospects in southern Manite depression.

Key words: detrital zircon U-Pb age; uranium mineralization; Saihantala Formation; Manite depression; Erlian basin; mineral geology.

二连盆地是中国北方典型的石油、天然气、页 岩油、煤炭及铀矿等多矿种叠合富集的中新生代能 源盆地,其中煤炭资源主要赋存于赛汉塔拉组中 段,在锡林浩特、西乌旗、东乌旗等地发现资源储量 在百亿吨以上多处:铀矿资源主要赋存于下白垩统 赛汉塔拉组下段和上段,近年来核工业地质系统和 中国地质调查局天津地质调查中心等部门在马尼 特坳陷、乌兰察布坳陷等地区发现了巴彦乌拉、赛 汉高毕、努和廷、恩格日音、陆海等一系列铀矿床 (张金带等,2010;韩效忠等,2018),盆地找矿成果显 著、找矿潜力巨大.以往研究多聚焦于盆地聚煤规 律或铀成矿特征等方面(Eriksson, 2001; 王东东等, 2013; Bonnetti et al., 2015, 2017; Zhang et al., 2015; 鲁 超等,2016;Christophe et al.,2017;刘波等,2017;冯 晓曦等,2019),而对不同矿种之间的相互联系和空 间展布等研究相对较少.王东东等(2013)通过对二 连盆地煤炭资源的分布研究表明,白垩系煤层发育 程度东部强于西部,南缘优于北缘;而近年来大量 学者对砂岩型铀成矿特征与成矿模式的研究表 明,砂岩型铀矿主要分布于盆地西部马尼特坳 陷、乌兰察布坳陷的北缘,且成矿目的层主要为 赛汉塔拉组上段(Christophe et al., 2013;刘武生 等,2015;聂逢君等,2015;康世虎等,2017).这样 的煤、铀不同类型矿床空间配置是如何形成的? 另外值得注意的是,中国地质调查局天津地质调 查中心和中国煤炭地质总局特种技术勘探中心 近年来发现的恩格日音铀矿床位于马尼特坳陷 的南缘,成矿目的层主要为赛汉塔拉组上段和下 段(韩效忠等,2018),且以下段为主;该层位的发 现与以往认为含铀层位主要为赛汉塔拉组上段 的观点和物源方面的认识存在较大差异.究其原 因在于对盆地沉积构造演化的认识不够,特别是 对沉积期后关键构造成矿期的识别存在偏差.

因此,本文以二连盆地马尼特坳陷为研究对

象,在对比分析恩格日音地区赛汉塔拉组砂岩碎屑 锆石年龄与坳陷南缘、北缘的火成岩年龄基础上, 综合以往地震剖面和区域地层资料,深入剖析恩格 日音地区赛汉塔拉期的沉积一构造演化特征与煤、 铀形成的耦合关系,提出苏尼特隆起在早赛汉塔拉 期的抬升制约了马尼特坳陷等区段的成煤潜力,却 为铀的成矿富集提供了良好的先决条件.

1 地质背景及样品采集

二连盆地位于蒙古一中国板块与西伯利亚板 块的拼接带上,为内蒙古一大兴安岭海西褶皱基底 和侏罗纪残留盆地基础上发展起来的断坳陷盆地 (Reucat et al., 1989; Tong et al., 2005; 聂逢君等, 2010; Charles et al., 2013), 经历了侏罗纪一早白垩世中早 期伸展断陷、早白垩世晚期坳陷、晚白垩世及其后 构造反转等阶段(聂逢君,2010;屈晓艳等,2013;鲁 超等,2016;焦养泉等,2018).据盆地形态和基底构 造特征可将其划分为马尼特坳陷、乌兰察布坳陷、 川井坳陷、腾格尔坳陷、乌尼特坳陷和苏尼特隆起6 个构造单元(卫三元等,2006)(图1a).其中马尼特坳 陷区内白垩系地层有阿尔善组(K₁ba)、腾格尔组 (K₁bt)、赛汉塔拉组(K₁bs),缺失二连组(K₂e);新生 代地层主要包括古近系的脑木根组(E_n)、伊尔丁曼 哈组(E₂y)和新近系通古尔组(N₁t)、宝格达乌拉组 (N₂b).赛汉塔拉组是一套河流、沼泽相沉积地层,既 是重要的煤层,也是研究区的主要含铀矿目的层.

恩格日音地区位于马尼特坳陷南缘,其南东位 置紧邻苏尼特隆起.根据研究区赛汉塔拉组的沉积 体系域和岩性变化特征,本次将本区含矿目的层赛 汉塔拉组自上而下划分为上段(K₁bs³)、中段(K₁bs²) 和下段(K₁bs¹)3段,其中上段和下段为含铀目的层, 中段为含煤地层.赛汉组下段根据沉积旋回特征又 可细分为上亚段(K₁bs¹⁻²)及下亚段(K₁bs¹⁻¹)(图2).

本次采集的2个碎屑锆石年龄样品分别取自恩

1610

格日音地区 ZKU3201 钻孔赛汉塔拉组下段下亚段 棕红色含砾砂岩和 ZKU3205 钻孔赛汉塔拉组下段 上亚段浅灰绿色、灰色含砾粗砂岩.2个钻孔直线距 离仅 500 m,且地层变化小,因此可近似认为其为同 一钻孔不同层位的样品.钻孔位置、综合柱状图和 取样位置见图 1b.其中,上亚段岩性主要为灰色、灰 绿色粗砂岩及含砾泥岩(图 3a),砂岩以粗砂岩为 主,碎屑成分以石英为主(60%~90%),次为长石和 暗色矿物,长石主要成分为条纹长石,次棱角状、分 选性一般(图3b,3c),泥质胶结;岩石裂隙分布零星 黄铁矿,呈细脉状分布(图3d),钻孔岩心层理不发 育,整体具有冲积扇上发育的辫状水道、分流河道 沉积特征.下段以砾岩、砂砾岩夹泥岩为主,砾石粒 径多为2~10 mm,最大可达5~8 cm,砾石成分以花



图1 二连盆地基底构造单元分布略图(a)及二连盆地中部地质简图(b)

Fig. 1 Sketch map showing the tectonic division of basement of the Erlian basin (a) and geological sketch map of central Erlian basin (b)

a. 据卫三元等(2016)修改;b. 据天津中心内部资料修改.1.新生界沉积岩;2. 第四系玄武岩;3. 白垩系二连组;4. 白垩系大磨拐河 组;5. 侏罗一白垩系玛尼吐组;6. 二叠系哲斯组;7. 二叠系大石寨组;8. 石炭一二叠系八当山火山岩组;9. 石炭系本巴图组;10. 温 都尔庙群哈尔哈达组;11. 奥陶系包尔汉图群哈拉组;12. 燕山期正长花岗岩;13. 印支期花岗岩;14. 二叠纪二长花岗岩;15. 晚石 炭纪二长花岗岩;16. 早石炭纪二长花岗岩;17. 采样位置

GR(API) DEN(g/cm³) FD3019 γ 20 1 000 深度 (m) 2.5 四级 旋回 三级旋回 岩性 地层 沉积相 微相 岩心照片 $\mathbf{RT} (\Omega \cdot \mathbf{M})$ SP(MV)0.1 80 180 400 -200 10 河漫滩 $K_1 bs^3$ 河流相 辫状河道 50 沼泽+ 决口河道 河漫滩 三角洲相 湖相 100 K_1bs^2 河漫沼泽 150 MANAMAN MANAMA \star 辫状河道 200 ZKU3205-G1 <u>河漫滩</u> 辫状河道 Mr.M.M. 0.0 三角洲 平原 $K_1 b s^{1-2}$ 250 河漫滩 河流相 辫状河道 M.M.M.M. 河漫滩 300 辫状河道 ★ ZKU3201 350 WHANNA ANNANANANANAN 扇中相 冲积扇 400 $K_1 b s^{1-1}$ 扇根相 450

岗岩、闪长岩、硅质岩、变质泥岩为主,分选性差,次 棱角状-棱角状;表现为扇根到扇中相砾石、卵石 的低位体系域沉积组合特征.综合上述岩性组 合和岩相学特征表明,砂岩整体反映了成分成

图 2 内蒙古恩格日音地区钻孔柱状图 Fig.2 Drill columns of Engryin area in Inner Mongolia



图 3 恩格日音地区赛汉塔拉组下段岩石学特征 Fig.3 Petrographic characteristics of lower member of Saihantala Formation in Engryin Area a. 含砾粗砂岩岩心照片;b.单偏光镜下;c.正交光镜下;d.反射光镜下;Q.石英;Pl.斜长石;Bi.黑云母;Py.黄铁矿

熟度低,磨圆较差,近源快速沉积的特点,岩石 中含有大量的岩浆岩岩屑,推测碎屑物应主要 来自近源的岩浆岩源区.

2 分析方法

锆石挑选在廊坊诚信地质服务有限公司实验 室完成,将岩石样品粉碎至100μm后,经磁选和 浮选出锆石精样,并在双目镜下手工挑选具代表 性的锆石,粘靶、抛光和镀金后,在中国地质调查 局天津地质调查中心实验测试室进行阴极发光 (CL)内部结构照相和锆石U-Pb同位素定年.锆 石定年使用激光烧蚀多接收器等离子质谱仪测 定,具体原理、测试条件及流程参照(俞礽安等, 2015).误差为1σ,普通Pb校正使用标定的²⁴⁰Pb. 锆石U-Pb同位素数据列于附表1,有关年龄的数 据处理采用ISOPLOT(Ludwig,2009)程序完成.

全岩地球化学分析在中国地质调查局天

津地质调查中心实验测试室完成.常量元素使用荷兰帕纳科公司生产的Axios 4.0kw顺序 式-X射线荧光光谱仪(XRF)测定,精度优于 5%;微量元素使用美国热电公司生产的XSeries II型电感耦合等离子体质谱仪测定,精度 优于10%.全岩地球化学数据见附表2.

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年龄

阴极发光(CL)图像(图4a,4c)显示,所挑选出的锆石颗粒中等(50~100 μm),主要为无色自形、半 自形晶体或晶体碎屑,浑圆状少见.大部分晶体较 破碎,但均具有较好的生长环带和韵律结构,Th/U 值一般大于0.4,指示所挑选的碎屑锆石多为岩浆成 因的锆石(吴元保和郑永飞,2004),未经历多期次的 再旋回搬运沉积,说明其为近源搬运产物.年龄谐 和图(图4b,4d)显示,2个样品测试结果较好,几乎



图4 恩格日音地区赛汉塔拉组砂岩碎屑锆石CL图和LA-ICP-MSU-Pb年龄谐和图

Fig. 4 CL images and LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams of Saihantala Formation sandstones in Engryin area a.ZKU3201 钻孔样品典型锆石阴极发光照片; b.ZKU3201 钻孔样品U-Pb 年龄谐和; c.ZKU3205 钻孔样品典型锆石阴极发光照片; d. ZKU3205 钻孔样品U-Pb 年龄谐和; 图 a, c 中年龄单位为 Ma

所有测点均位于U-Pb谐和线附近.除了少数点为晚 志留纪一早泥盆纪外,2个样品碎屑锆石年龄大致 呈 320~290 Ma、270~240 Ma 和 220~190 Ma 三 个 区 段 展 布 . 但 值 得 注 意 的 是,样 品 ZKU3201 的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年 龄 以 320~290 Ma 为 主,次为 270~240 Ma,再次为 220~190 Ma(图 5a);而样 品 ZKU3205 则 正 好 相 反(图 5b). 这 表 明 钻 孔 ZKU3201 和 ZKU3205 赛 汉 塔 拉 组 下 段 的 物 源 可 能 发 生 了 较 大 变 化.

3.2 全岩地球化学

3.2.1 主量元素 赛汉塔拉组砂岩主量元素含量见附表 2.数据处理时,除去烧失量,重新换算成 100%.赛汉塔拉组下段上亚段和下亚段砂岩的主量元素地球化学特征较为一致,均具有较高的 SiO₂ (70.02%~75.84%)和 Al₂O₃(12.1%~14.95%),且

SiO₂/Al₂O₃为4.69~7.16,平均值为5.83,反映了一 个低的成分成熟度.赛汉塔拉组砂岩物源区化学分 异指数(CIA)为48~71,平均值为63.5,指示源区的 化学风化程度中等.在A-CN-K三角图(图6a) 中,呈现出与A-CN边界近平行的趋势,表明风化 过程是岩石主要的成分控制因素,而沉积期后成岩 作用或者变质作用对岩石化学成分影响较小.

3.2.2 微量元素 在球粒陨石标准化图解(图7a) 中,赛汉塔拉组砂岩表现出右倾的海鸥式配分模 式,具有相对富集的的LREE、较高的(La/Yb)_N值 (14.95~23.68)及中等的Eu负异常.在原始地幔标 准化蛛网图(图7b)中,赛汉塔拉组砂岩富集Rb、U、 Th、K及Pb等大离子亲石元素,强烈亏损Ba、Sr和 高场强元素Ti、Nb、Ta、P等,具有典型的高分异中 酸性岩浆岩的特征.部分赛汉塔拉组砂岩样品Zr含



Fig.5 Detrital zircon age distribution histograms of the Saihantala Formation in Engryin area of Manite depression a. 赛汉塔拉组下段下亚段砂岩(ZKU3201);b.赛汉塔拉组下段上亚段砂岩(ZKU3205)



Fig.6 Teinary diagram of A-CN-K (a) and plot of Th/Sc versus Zr/Sc (b) 底图据 McLennan *et al.*(1993)

量较高,指示可能的多旋回分选作用.但在 Th/Sc-Zr/Sc 图解(图 6b)中,样品点与组分分异曲线近于 平行展布,指示赛汉塔拉组砂岩沉积碎屑物质的近 源性.因此,赛汉塔拉组砂岩物源可能是以近源的 岩体为主,夹有少量再旋回地层.

4 讨论

4.1 碎屑锆石 U-Pb 年龄对苏尼特隆起构造时限的制约

(1)碎屑锆石示源.由图1b可知,恩格日音地区 北侧的巴音宝力格隆起和南侧的苏尼特隆起均可 能为其提供物源,其中北侧巴音宝力格隆起带的二 连一阿拉坦宝拉格一吉尔嘎朗图一东乌旗一线石 炭纪一白垩纪火成岩均有发育(白立兵,2013; Christophe et al., 2013;杨俊泉, 2016;田强国等, 2017; 王树庆等, 2019); 而南侧苏尼特隆起火成岩 出露面积相对较小,主要为二叠纪一晚三叠世的岩 浆岩(张臣和李茂松,1997;梅可辰等,2015;俞礽安 等,2016).为精确约束恩格日音地区赛汉塔拉组下 段砂体物源,本文对巴音宝力格隆起区和苏尼特隆 起区已报道的岩体和火山岩地层年龄进行统计分 析(附表3),并绘制岩体同位素年龄谱系图(图8). 由于恩格日音地区赛汉塔拉组碎屑锆石年龄均大 于190 Ma(附表1和图5),因此,物源区侏罗纪一 白垩纪火成岩年龄未参与统计.巴音宝力格隆起 火成岩年龄大致分布于 330~270 Ma,峰值为 310 Ma(图 8a);苏尼特隆起火成岩年龄则大致分布于

270~200 Ma,峰值为220 Ma(图 8b).

前文已述,恩格日因地区赛汉塔拉组下段下亚 段砂岩(ZKU3201)碎屑锆石年龄大致呈三段式 展布,其中频率最高的碎屑锆石年龄320~ 290 Ma和最低的碎屑锆石年龄220~190 Ma与巴 音宝力格隆起区火成岩年龄分布基本一致,而频 率次高的碎屑锆石年龄270~240 Ma在巴音宝力 格隆起火成岩年龄谱系图中却表现为低频(图5a 和图8a).此处需注意的是,尽管二连一东乌旗一 带270~240 Ma的火成岩整体较少出现,但盆地 北缘巴音乌拉地区可见该年龄段岩体较大面积 出露(洪大卫等,1994;张玉清,2009).因此,恩格 日音地区赛汉塔拉组下段下亚段物源应为马尼 特坳陷北侧的巴音宝力格隆起巴音乌拉地区.

而恩格日因地区赛汉塔拉组下段上亚段砂岩 (ZKU3205)碎屑锆石年龄特征与下亚段正好相 反,320~290 Ma的年龄出现频率最低,其次为 270~240 Ma的年龄,最高频为220~190 Ma.这与 苏尼特隆起区岩浆岩年龄分布特征基本一致.但 需注意的是,样品ZKU3205碎屑锆石年龄峰值为 210 Ma,而苏尼特隆起岩浆年龄峰值为220 Ma,两 者似乎存在一定的年龄差.一方面尽管关于苏尼 特隆起岩浆岩的报道较少,统计样品数量少会造成 一定的偏差,但岩体年龄主体表现为晚三叠世这个 特征不存在问题;另一方面,本文统计的是加权平 均年龄,实际上存在大量190~210 Ma的碎屑锆石 单颗粒²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄(石玉若等,2005).综上所



Fig. 7 Chondrite-normalized REE diagrams (a) and primitive-mantle-normalized trace element spidergrams (b) for the sandstones in Saihantala Formation









Fig.9 Structural section map (a) and seismic profile map of Manite depression (b)

a.据赵贤正等(2015); b.据刘武生等(2015); 1.新生界; 2.赛汉塔拉组中上段; 3.赛汉塔拉组下段; 4.赛汉塔拉组; 5.腾格尔组上段; 6.腾格尔组下段; 7.腾格尔组; 8.阿尔善组; 9.侏罗系; 10.二叠系; 11.石炭系; 12.泥盆系; 13.花岗岩或花岗闪长岩侵入体; 14.依据地震剖面解释的地层界面; 15.依据地震资料、重磁资料和露头岩层分布推测的地层界面; 16.早白垩世断陷底面(据地震剖面解释); 17.断层及运动方向, 虚线为早期断层活动方向; 18.断陷内部正断层、粗线表示主干正断层; 19.依据地震资料、重磁资料推测的基底逆冲断层; 20.依据地震资料、重磁资料推测的沉积岩层基底

述,恩格日音地区赛汉塔拉组下段上亚段物源更可能为盆地南缘的苏尼特隆起.

另外,两个样品均可见 380~430 Ma的碎屑锆 石年龄,除苏尼特隆起出露有较小面积的岩浆岩外 (石玉若等2005),巴音宝力格隆起和苏尼特隆起均 少见该期岩浆岩的发育,推测可能为出露于隆起区 的C-P地层中的再旋回锆石.

(2)苏尼特隆起时限的约束.由图1a可知,苏尼特

隆起主要凸起区位于马尼特坳陷西段以南,对坳陷西 段构造一沉积演化的控制作用应强于东段.为进一步 约束苏尼特隆起的构造时限,本文对马尼特坳陷东段 地震剖面(图 9a)和西段地震剖面(图 9b)进行对比研 穷,图9a显示,马尼特坳陷东段在早白垩世为典型的 北断南超的中生代断坳陷盆地,北缘为陡坡断陷带, 南缘为缓坡超覆带.而受苏尼特隆起的制约,马尼特 坳陷西段在其中部形成的鼻状隆起破坏了地层的展 布,但地震剖面仍明显表现出北断南超的特征(图 9b).即在阿尔善一腾格尔断陷期(K₁ba-K₁bt),马尼特 坳陷北缘发育厚层冲积扇相粗粒沉积和深湖一半深 湖相细粒沉积(马立桥,2005),且沉积厚度由北向南 明显减薄,指示该沉积期坳陷北缘的巴音宝力格隆 起为主物源区.但在赛汉塔拉期(K₁bs),马尼特坳 陷东段和西段沉积特征明显不同. 坳陷东段赛汉 塔拉组地层厚度仍呈现向南逐渐减薄的特征,而坳 陷西段赛汉塔拉组地层厚度明显减小,且冲积扇相 砂砾岩沉积明显增多(图2),这表明该沉积期马尼 特坳陷西段南缘的苏尼特隆起开始大量供源.结 合前文碎屑锆石物源示踪结果认为,苏尼特隆起应 于早赛汉塔拉期的晚期(K₁bs¹⁻²)开始隆升,并逐渐 控制马尼特坳陷南缘的沉积,这对马尼特坳陷煤、 铀形成规律的认识具有较好的指导意义.

4.2 构造演化对成煤、铀的制约

二连盆地自东向西分布有大量煤矿和铀矿床 (李月湘等,2009)(图10).关于二连盆地下白垩统 含煤地层聚煤规律和断陷盆地聚煤模式等前人已 有较详细研究(Wei et al., 2005;王东东等, 2013), 其中二连盆地东部多为浅水型半地堑凹陷,陡坡带 发育扇三角洲和冲积扇等粗粒沉积,而缓坡带发育 辫状河三角洲和湖沼相沉积,为较好的赋煤区带; 而马尼特坳陷尽管具有北断南超的半地堑特征, 但前文已述,苏尼特隆起在早赛汉塔拉期的晚期 开始隆升,导致该坳陷南缘在主成煤期赛汉塔拉 中期可容空间减小,沉积环境以河流沼泽相为主, 在平面上分布狭窄,煤层一般较薄.这是煤矿床主 要分布于二连盆地东部,西部仅在所属坳陷的北 缘发现芒来煤矿和白音花煤矿的原因.

而铀矿床主要分布于二连盆地西部,如陆海、 恩格日音、2083、2082、努和廷、苏崩等铀矿床.需指 出的是,以往观点认为铀矿床主要分布于所属坳陷 的北缘,成矿目的层为赛汉塔拉组上段(罗照华等, 1995;刘武生等,2015;聂逢君等,2015;孔令杰等, 2017),而马尼特坳陷南缘恩格日音铀矿床的发现 表明,坳陷南缘同样可形成铀矿,且成矿目的层以 赛汉塔拉组下段为主.这表明以往工作对苏尼特隆 起制约马尼特坳陷西段南缘的构造一沉积演化和 形成煤、铀环境的重要性认识不够,认为赛汉塔拉 组下段在南缘处于超覆状态,未出露地表,更可能 为还原状态不利于铀成矿.而苏尼特隆起在早赛汉 塔拉期之后开始构造隆升,这对马尼特坳陷西段南 缘的沉积和构造格局产生了巨大影响,为马尼特坳 陷赛汉塔拉组下段的剥蚀出露地表接受含氧含 铀水的改造提供了构造条件.因此,马尼特坳陷 南缘不是较好的成煤区带,但可作为良好 的铀矿找矿区带.

5 结论

(1)二连盆地马尼特坳陷赛汉塔拉组下段砂体 碎屑锆石年龄呈 320~290 Ma、270~240 Ma和 220~190 Ma 三个区段展布,其中下段下亚段 (K₁bs¹⁻¹)以 320~290 Ma为主,而下段上亚段 (K₁bs¹⁻²)以 210~190 Ma为主.

(2)巴音宝力格隆起的岩体和火山岩地层可能 是赛汉塔拉组下段下亚段砂岩的主物源,而苏尼特 隆起的岩体和火山岩地层可能为下段上亚段砂体 的主物源,指示苏尼特隆起在早赛汉塔拉期晚期发 生构造反转,改变了坳陷南缘的沉积体系和景观.

(3)马尼特坳陷南缘赛汉塔拉中期可能为 相对隆升的沉积环境,不利于煤的沉积;但为 赛汉塔拉组下段剥蚀出露地表接受含氧含铀 水的后期改造提供了条件,坳陷南缘应将下段 作为主要找矿目的层之一.

致谢:天津地质调查中心杨俊泉、胡晓佳,中煤 地质集团有限公司北京地质调查分公司蒋喆、胡航 在成文过程中给予了帮助,以及匿名审稿专家提出 的宝贵意见,在此一并致以诚挚的谢意!

附表见本刊官网(http://www.earth-science.net).

References

- Bai, L.B., 2013. The Granitoids, Geochronology, Rock Assemblages, Tectonic and Evolution of the Erenhot City - Abag Banner, Inner Mongolia (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Bonnetti, C., Cuney, M., Bourlange, S., et al., 2017. Primary Uranium Sources for Sedimentary - Hosted Uranium Deposits in NE China: Insight from Basement Igneous Rocks of the Erlian Basin. *Mineralium Deposita*, 52(3): 297-315. https://doi.org/10.1007/ s00126-016-0661-0
- Bonnetti, C., Cuney, M., Michels, R., et al., 2015. The Multiple Roles of Sulfate-Reducing Bacteria and Fe-Ti Oxides in the Genesis of the Bayinwula Roll Front-Type Uranium Deposit, Erlian Basin, NE China. *Economic Geology*, 110(4): 1059-1081. https://doi.org/10.2113/

econgeo.110.4.1059

- Charles, N., Augier, R., Gumiaux, C. H., et al., 2013. Timing, Duration and Role of Magmatism in Wide Rift Systems: Insights from the Jiaodong Peninsula (China, East Asia). Gondwana Research, 24(1): 412-428. https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.10.011
- Chen, B., Zhao, G.C., Wilde, S., 2001. Subduction and Collision Related Granitoids from Southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia: Isotopic Ages and Tectonic Implications. *Geological Review*, (4): 361-367 (in Chinese with English abstract).
- Christophe, B., Michel, C., Fabrice, M., et al., 2013. The Bayinwula Roll Front-Type Uranium Deposit, Erlian Basin, NE China. 12th SGA Biennial Meeting—Mineral Deposit Research for a High-Tech World, Uppsala.
- Eriksson, L. C. K., 2001. Sequence Architecture, Depositional Systems, and Controls on Development of Lacustrine Basin Fills in Part of the Erlian Basin, Northeast China. *AAPG Bulletin*, 85(11): 2017-2043. https://doi.org/ 10.1306/8626d0db-173b-11d7-8645000102c1865d
- Feng, X.X., Teng, X.M., He, Y.Y., et al., 2019. Preliminary Discussions on the Metallogenesis of the Dongsheng Uranium Orefields in the Ordos Basin. *Geological Survey and Research*, 42(2): 96-107 (in Chinese with English abstract).
- Han, X.Z., Wu, Z.J., Sima, X.Z., et al., 2018. Metallogenic Model of Uranium with Source Supply from the South and the North in Manite Depression of Erlian Basin, Inner Mongolia. *Coal Geology & Exploration*, 46(6): 1– 10 (in Chinese with English abstract).
- Hong, D. W., Huang, H. Z., Xiao, Y. J., et al., 1994. The Permian Alkaline Granites in Central Inner Mongolia and Their Geodynamic Significance. Acta Geologica Sinica, (3): 219-230 (in Chinese with English abstract).
- Kang, S.H., Yang, J.X., Liu, W.S., et al., 2017. Mineralization Characteristics and Potential of Paleo-Valley Type Uranium Deposit in Central Erlian Basin, Inner Mongolia. Uranium Geology, 33(4): 206-214 (in Chinese with English abstract).
- Kong, L.J., Han, B.F., Zheng, B., et al., 2017. Geochronology, Geochemistry and Tectonic Significances of the Granites to the Northeast of Erenhot, Inner Mongolia. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 36(4): 433-457 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. X., Qin, M. K., He, Z. B., 2009. Spatiotemporal Distribution of Uranium, Oil and Coal, and Uranium-Metallogenic Processes in Erlian Basin, Inner Mongolia. *World Nuclear Geoscience*, 26(1): 25-30 (in Chinese

with English abstract).

- Liu, B., 2017. Study on the Characteristics and Genesis of Volcanic Rocks of Baoligaomiao Formation in Abaga Qi, Inner Mongolia (Dissertation). Jilin Unversity, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Liu, W. S., Kang, S. H., Zhao, X. Q., et al., 2015. Mineralization Mechanism and Exploration of Paleo-Channel Type Uranium Deposits in Central Erlian Basin. Uranium Geology, 31(z1): 164-175 (in Chinese with English abstract).
- Lu, C., Jiao, Y.Q., Peng, Y.B., et al., 2016. Effect of the Episodic Rifting in the Western Manite Depression in Erlian Basin on Sandstone-Type Uranium Mineralization. *Acta Geologica Sinica*, 90(12): 3483-3491 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig, K. R., 2009. Isoplot v. 3.71: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel: Berkeley. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley.
- Luo, Z.H., Deng, J.F., Luo, F., et al., 1995. On Divisions of Plutonic Masses in the Central Inner Mongolia and Its Tectonomagmatic Activity—An Example from Regional Geological Surveying in Sonid Zuoqi Area. *Geoscience*, 9 (2): 189–202 (in Chinese with English abstract).
- Ma, L.Q., 2005. Sequence Stratigraphy Research and Stratigraphic/Lithologic Reservoirs Prediction on Lower Cretaceous in A' Nan-Abei Sag, Erlian Basin, China(Dissertation). Zhejiang University, Hangzhou (in Chinese with English abstract).
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K., et al., 1993. Geochemical Approaches to Sedimentation, Provenance, and Tectonics. In: Johnsson, M. J., Basu, A., eds., Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Geological Society of America, Colorado, 21-40. https://doi.org/10.1130/SPE284-p21.
- Mei, K. C., Li, Q. G., Wang, Z. Q., et al., 2015. SHRIMP Zircon U-Pb Age, Geochemistry and Tectonic Significance of the Dashizhai Formation Rhyolites in Sunid Left Banner, Middle Part of Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 34(12): 2181-2194 (in Chinese with English abstract).
- Nie, F. J., Chen, A.P., Peng, Y.B., et al., 2010. Paleochannel Sandstone Uranium Deposits in Erlian Basin. Geology Press, Beijing, 17-34 (in Chinese).
- Peucat, J. J., Vidal, P., Bernard Griffiths, J., et al., 1989. Sr, Nd, and Pb Isotopic Systematics in the Archean Low- to High-Grade Transition Zone of Southern India: Syn-Accretion vs. Post-Accretion Granulites. *The Journal of Geology*, 97(5): 537-549.

https://doi.org/10.1086/629333

- Qu, X.Y., Yang, M. H., Luo, X. H., et al., 2013. Extensional Tectonic Feature and Its Control on Hydrocarbon Accumulation of Saihantala Sag in Erlian Basin. *Geoscience*, 27(5): 1023-1032 (in Chinese with English abstract).
- Shi, Y. R., Liu, D. Y., Zhang, Q., et al., 2005. The Petrogenesis and SHRIMP Dating of the Baiyinbaolidao Adakitc Rocks in Southern Suzuoqi, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 21(1): 143-150 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society*, *London, Special Publications*, 42(1): 313-345. https:// doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19
- Tian, Q.G., Wu, Y., Gao, K., et al., 2017. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology of the Biotite Monzonitic Granite and Its Geological Significance, in the Aershan of Sonid Zuoqi, Inner Mongolia. *Geological Survey and Research*, 40(4): 263–273 (in Chinese with English abstract).
- Tong, Y., Jahn, B. M., Wang, T., et al., 2015. Permian Alkaline Granites in the Erenhot - Hegenshan Belt, Northern Inner Mongolia, China: Model of Generation, Time of Emplacement and Regional Tectonic Significance. Journal of Asian Earth Sciences, 97(Part B): 320-336. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.10.011
- Wang, D.D., Shao, L.Y., Zhang, Q., et al., 2013. Analysis of Coal-Accumulating Characteristics in the Lower Cretaceous Coal-Containing Strata of the Erlian Basin Group. *Journal of China University of Mining & Technology*, 42 (2): 257-265 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S.Q., Hu, X.J., Zhao, H.L., 2019. Geochronology of Late Carboniferous Alkaline Granite from Honger Area, Sunidzuoqi, Inner Mongolia. *Geological Survey and Research*, 42(2): 81-85 (in Chinese with English abstract).
- Wei, S.Y., Qin, M.K., Li, Y.X., et al., 2006. Tectono-Sedimentary Evolution of Erlian Basin since Late Mesozoic and Sandstone-Hosted Uranium Metallogenesis. Uranium Geology, 22(2): 76-82 (in Chinese with English abstract).
- Wei, S. Y., Qiu, M. K., Li, Y. X., et al., 2005. Late Mesozoic-Cenozoic Tectono-Sedimentary Evolution and Sandstone-Hosted Uranium Mineralization of the Erlian Basin. Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Springer, Berlin, 319–322. https://doi.org/ 10.1007/3-540-27946-6_84

- Wu, Y. B., Zheng, Y.F., 2004.Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U-Pb Age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589-1604 (in Chinese).
- Yang, J. Q., 2016. Magmatic Evolution and Its Relationship with Metallogenesis in Erenhot-Dongwuqi Area(Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Yu, R.A., Hu, P., Zeng, W., et al., 2016. Geochronology, Geochemistry and Geological Significance of Dongsu A-Type Granites in Sonid Left Banner, Inner Mongolia. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 35(2): 229-241 (in Chinese with English abstract).
- Yu, R.A., Tang, Y.X., Zhang, F., et al., 2015. Petrogeochemical Feature and Geochronology of the Ore-Forming Porphyry in Wheerclt Molybdenum Deposit in Abag Banner, Inner Mongolia. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 45(4): 1098-1111 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C., Li, M. S., 1997. The Features of Late Paleozoic Tectono-Magmatic Activity and Crustal Revolution in the Southern Suzuoqi Area. *Geological Journal of China Uni*versities, 3(1): 32-40 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J.D., Xu, G.Z., Lin, J. R., et al., 2010. The Implication of Six Kinds of New Sandstone-Type Uranium Deposits to Uranium Resources Potential in North China. *Geology in China*, 37(5): 1434-1449 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X., 2015. The Petrological Characteristics of Mesozoic Volcanic Rocks in Sonidzuoqi, Inner Mongolia (Dissertation). Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X.H., Yuan, L.L., Xue, F.H., et al., 2015. Early Permian A-Type Granites from Central Inner Mongolia, North China: Magmatic Tracer of Post-Collisional Tectonics and Oceanic Crustal Recycling. *Gondwana Research*, 28(1): 311-327. https://doi. org/10.1016/j.gr.2014.02.011.
- Zhang, Y.Q., 2009. Geochemical Characteristics of Permian Adakitic Granodiorite in Bayinwula of Sonid Left Banner, Inner Mongolia. Acta Petrologica et Mineralogica, 28(4):329-338 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, X.Z., Jin, F.M., Qi, J.F., et al., 2015. The Structural Types and Petroleum Geological Significance of Early Cretaceous Complex Faulted Sag in Erlian Basin. Natural Gas Geoscience, 26(7): 1289-1298 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 白立兵,2013.内蒙古二连一阿巴嘎地区晚古生代岩浆岩 年代学、岩石组合与构造演化(博士学位论文).北 京:中国地质大学.
- 陈斌,赵国春,Wilde,S.,2001.内蒙古苏尼特左旗南两类 花岗岩同位素年代学及其构造意义.地质论评,(4): 361-367.
- 冯晓曦,滕雪明,何友宇,等,2019.初步探讨鄂尔多斯盆地东 胜铀矿田成矿作用研究若干问题.地质调查与研究,42 (2):96-107.
- 韩效忠, 吴兆剑, 司马献章, 等, 2018. 二连盆地马尼特坳陷 南北双向供源铀成矿模式探讨. 煤田地质与勘探, 46 (6): 1-10.
- 洪大卫,黄怀曾,肖宜君,等,1994.内蒙古中部二叠纪碱性 花岗岩及其地球动力学意义.地质学报,(3):219-230.
- 焦养泉,吴立群,荣辉,2018.砂岩型铀矿的双重还原介质模型及其联合控矿机理:兼论大营和钱家店铀矿床.地球科学,43(2):459-475.
- 康世虎,杨建新,刘武生,等,2017.二连盆地中部古河谷砂 岩型铀矿成矿特征及潜力分析.铀矿地质,33(4): 206-214.
- 孔令杰,韩宝福,郑波,等,2017.内蒙古二连浩特东北部花 岗岩的年代学、地球化学特征及构造意义.岩石矿物学 杂志,36(4):433-457.
- 李月湘,秦明宽,何中波,2009.内蒙古二连盆地铀与油、煤 的时空分布及铀的成矿作用.世界核地质科学,26(1): 25-30.
- 刘波,杨建新,彭云彪,等,2017.二连盆地中东部含铀古河 谷构造建造及典型矿床成矿模式研究.矿床地质,36 (1):126-142.
- 刘武生,康世虎,赵兴齐,等,2015.二连盆地中部古河道砂 岩型铀矿成矿机理及找矿方向.铀矿地质,31(z1): 164-175.
- 鲁超, 焦养泉, 彭云彪, 等, 2016. 二连盆地马尼特坳陷西部 幕式裂陷作用对铀成矿的影响. 地质学报, 90(12): 3483-3491.
- 罗照华,邓晋福,罗飞,等,1995.内蒙古中部深成侵入岩谱 系单位及构造岩浆活动初探——以苏尼特左旗等8幅 1:5万区域地质调查为例.现代地质,9(2):189-202.
- 马立桥,2005.二连盆地阿南一阿北凹陷下白垩统层序发 育特征与岩性地层油气藏预测(博士学位论文).杭 州:浙江大学.
- 梅可辰, 李秋根, 王宗起, 等, 2015. 内蒙古中部苏尼特左旗 大石寨组流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特 征及其构造意义. 地质通报, 34(12): 2181-2194.
- 聂逢君,陈安平,彭云彪,等,2010.二连盆地古河道砂岩型 铀矿.北京:地质出版社,17-34.

屈晓艳,杨明慧,罗晓华,等,2013.二连盆地赛汉塔拉凹陷

伸展构造特征及其控藏作用.现代地质,27(5): 1023-1032.

- 石玉若,刘敦一,张旗,等,2005.内蒙古苏左旗白音宝力道 Adakite质岩类成因探讨及其SHRIMP年代学研究.岩 石学报,21(1):145-152.
- 田强国, 吴煜, 高凯, 等, 2017. 内蒙古苏尼特左旗阿尔善黑 云二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意 义. 地质调查与研究, 40(4): 263-273.
- 王东东, 邵龙义, 张强, 等, 2013. 二连盆地群下白垩统含煤 地层聚煤特征分析. 中国矿业大学学报, 42(2): 257-265.
- 王树庆,胡晓佳,赵华雷,2019.内蒙古苏左旗洪格尔地区 新发现晚石炭世碱性花岗岩.地质调查与研究,42(2): 81-85.
- 卫三元,秦明宽,李月湘,等,2006.二连盆地晚中生代以来 构造沉积演化与铀成矿作用.铀矿地质,22(2):76-82.
- 吴元保,郑永飞,2004. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年 龄解释的制约.科学通报,49(16):1589-1604.
- 杨俊泉, 2016. 二连一东乌旗地区岩浆演化及与成矿作用的

关系(博士学位论文).北京:中国地质大学.

- 俞礽安, 胡鹏, 曾威, 等, 2016. 内蒙古苏尼特左旗东苏A型 花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及地质意义. 岩石矿物学杂志, 35(2): 229-241.
- 俞礽安,唐永香,张峰,等,2015.内蒙古阿巴嘎旗乌和尔楚鲁 图钼矿区成矿斑岩的岩石地球化学特征与年代学研 究.吉林大学学报(地球科学版),45(4):1098-1111.
- 张臣,李茂松,1997.内蒙古苏左旗地区晚古生代构造一岩 浆活动及地壳演化特征.高校地质学报,3(1):32-40.
- 张金带,徐高中,林锦荣,等,2010.中国北方6种新的砂岩 型铀矿对铀资源潜力的提示.中国地质,37(5): 1434-1449.
- 张玉清,2009.内蒙古苏尼特左旗巴音乌拉二叠纪埃达克质 花岗闪长岩类地球化学特征及其地质意义.岩石矿物 学杂志,28(4):329-338.
- 赵贤正,金凤鸣,漆家福,等,2015.二连盆地早白垩世复式 断陷构造类型及其石油地质意义.天然气地质学,6(7): 1289-1298.