

河南省晚古生代铝土矿、煤矿可能是一个统一的成矿系统

燕长海^{1,2}, 马振波³, 韩江伟³, 冯燕涛², 李肖龙³, 郭波³, 裴玉华⁴, 谭和勇³

¹关键矿产资源勘查与开发江西省重点实验室, 江西 南昌

²河南祥燕矿业有限公司, 河南 郑州

³河南省地质研究院, 河南 郑州

⁴河南省地质科学研究所有限公司, 河南 郑州

收稿日期: 2025年3月11日; 录用日期: 2025年4月30日; 发布日期: 2025年5月26日

摘 要

河南省晚古生代铝土矿、煤矿在空间上共存, 在时间演化上或者形成机制上是不是一体的? 或者铝煤是否是在统一成矿系统完成的? 针对这个问题, 我们在新的整体化的流体(气体)地球科学观指导下, 运用慢汁辐射理论对其进行分析研究后认为, ① 河南省晚古生代铝土矿是热液矿床, 成矿物质来源于地幔流体; ② 河南省晚古生代的煤矿和夹矸的形成来自于碱交代热液, 形成夹矸高纯度高岭石的物质是碱交代热液的末端组分; ③ 河南省晚古生代煤的形成过程中深部碱交代活动非常强烈, 在含煤地层中形成了大量的热液矿物; ④ 河南省晚古生代铝土矿、煤矿的形成可能不是“外生沉积”而是“内生沉积”! 即河南省晚古生代铝土矿和煤矿形成于一个完整的幔源烃碱流体成矿系统。

关键词

幔源流体, 慢汁辐射理论, 铝土矿, 煤矿, 晚古生代, 河南省

Late Paleozoic Bauxite and Coal Mines in Henan Province May Be a Unified Mineralization System

Changhai Yan^{1,2}, Zhenbo Ma³, Jiangwei Han³, Yantao Feng², Xiaolong Li³, Bo Guo³, Yuhua Pei⁴, Heyong Tan³

¹Key Laboratory of Key Mineral Resources Exploration and Development, Nanchang Jiangxi

²Henan Xiangyan Mining Co. LTD., Zhengzhou Henan

文章引用: 燕长海, 马振波, 韩江伟, 冯燕涛, 李肖龙, 郭波, 裴玉华, 谭和勇. 河南省晚古生代铝土矿、煤矿可能是一个统一的成矿系统[J]. 矿山工程, 2025, 13(3): 578-585. DOI: 10.12677/me.2025.133064

³Henan Academy of Geology, Zhengzhou Henan⁴Henan Institute of Geological Sciences Co. LTD., Zhengzhou HenanReceived: Mar. 11th, 2025; accepted: Apr. 30th, 2025; published: May 26th, 2025

Abstract

Late Paleozoic bauxite and coal mines in Henan Province coexist spatially, but it remains unclear whether they are integrated in terms of temporal evolution or formation mechanisms, or whether the bauxite and coal were formed within a unified ore-forming system. To explore this question, we have conducted an analysis and study guided by a new holistic fluid (gas) geoscientific perspective and applying the mantle juice radiation theory. Our findings suggest that, first, the Late Paleozoic bauxite in Henan Province is hydrothermal in origin, with ore-forming materials sourced from mantle-derived fluids. Second, the formation of the Late Paleozoic coal and interbedded shale in Henan Province is attributed to alkaline metasomatic hydrothermal fluids, where the high-purity kaolinite in the interbedded shale represents the terminal components of these fluids. Third, the formation process of the Late Paleozoic coal in Henan Province is characterized by intense deep-seated alkaline metasomatic activity, resulting in the widespread formation of hydrothermal minerals within the coal-bearing strata. Finally, we propose that the formation of the Late Paleozoic bauxite and coal mines in Henan Province may not be “exogenic sedimentation” but rather “endogenic sedimentation,” suggesting that these mines were formed within a complete mantle-derived hydrocarbon-alkaline fluid ore-forming system.

Keywords

Mantle-Derived Fluid, Mantle Juice Radiation Theory, Bauxite, Coal Mines, Late Paleozoic, Henan Province

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

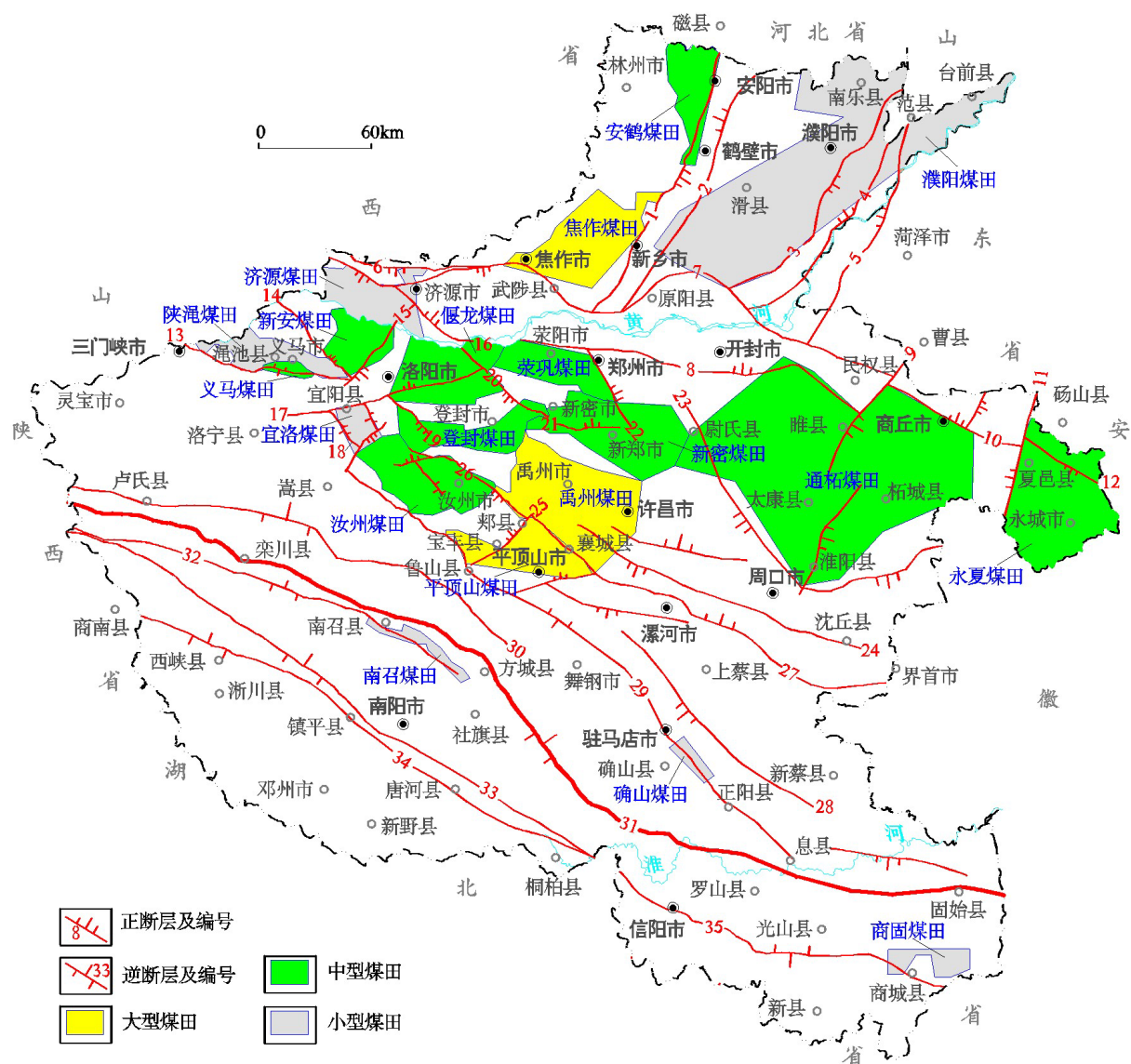
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

河南省晚古生代铝土矿、煤矿主要分布在豫西和豫中地区的三门峡、洛阳、平顶山、郑州以及豫北的焦作、鹤壁等市区。含铝、煤岩系集中赋存于上石炭统本溪组、上石炭统 - 二叠系船山统太原组、二叠系船山统 - 阳新统山西组、二叠系阳新统下石盒子组和阳新统 - 乐平统上石盒子组, 平行不整合于奥陶系或微角度不整合于寒武系之上, 各组间均为整合接触。其中含铝岩系为本溪组, 主要由五个岩性层组成, 即古风化壳、铁质粘土岩、铝土矿层、硬质或高铝粘土矿和粘土质页岩。煤系地层主要由太原组、山西组、下石盒子组和上石盒子组组成, 本溪组的煤层(线)不可采。可见, 河南省晚古生代铝土矿和煤矿在空间分布上是上下关系, 即铝土矿在下、煤矿在上, 铝土矿区和煤田分布完全重叠[1] [2] (图 1), 这一点已经近几年的“煤下铝”勘查工作所证实。那么, 在时间演化上或者形成机制上是不是一体的? 或者说, 河南省晚古生代铝煤岩系是否在一个统一的成矿系统内完成的? 针对这个问题, 我们以新的整体化的流体(气体)地球科学观为指导, 运用幔汁辐射理论对河南省晚古生代铝煤岩系进行了重新认识, 发现河南省晚古生代铝土矿和煤矿可能是在同一地球动力学背景下的幔源流体成因的。



注：该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为豫 S (2020) 017 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 1. Distribution map of late paleozoic bauxite and coal mines in Henan Province [1] [2]

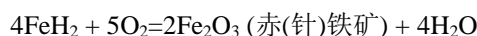
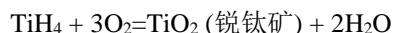
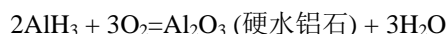
图 1. 河南省晚古生代铝土矿、煤矿分布图[1] [2]

2. 河南省晚古生代铝土矿可能是热液型矿床，成矿物质来自幔源流体

关于铝土矿床的形成机制或矿床成因，不管是红土/钙红土残坡积、红土沉积和红土残坡积沉积理论，实际上都是化学风化-残(坡)积/沉积成因。但是，河南含铝岩系中发现大量的热液矿物，表明河南省铝土矿床可能是内生矿床，其成矿物质(铝)可能主要来自深部幔源流体。

含铝岩系中发现大量的热液矿物。河南铝土矿床的主要含铝(Al)、铁(Fe)和钛(Ti)矿物分别为硬水铝石、赤(针)铁矿和锐钛矿，硬水铝石主体呈隐晶质与锐钛矿密切共生[3] (刘学飞等，2012)，但是常温常压环境不能生成硬水铝石[4] (刘长岭，2005)。俄罗斯科学家 B. H. 拉祖莫娃[5] (郭万奎等，2003)研究认为，铝土矿的铝(Al)看来与其他矿质(铁 Fe、钛 Ti)富集一样，以复杂的元素有机络合物的形式(这里是金属有机化合物)与气体一起搬运，从地球内部迁移至离地面零到几百米深处的地壳表层，此种金属有机化合物

有搬运大量金属(达其重量的 2/3)的能力。元素有机化合物有很高的挥发性,在地球内部还原条件下是稳定的,而在氧化电位增高和压力降低的浅地表处将发生分解,分别形成硬水铝石、锐钛矿和赤(针)铁矿[6][7](郑大中等,2003;2004)。如:



B. H.拉祖莫娃的认识也是符合“慢汁氢化迁移规律”[7]-[9]的。氢(H)是慢汁(HACONS)的重要成分,氢原子、氢分子极小而轻(更不用说 H^+ 的等离子气流),扩散速度极快(1.84 km/S),固总是处于气流的最前锋,其压力又极大,为数千万大气压,存在量也比 CH_4 、 H_2S 多得多,从 2900 km 的外地核只要几小时就可以喷涌到地表浅处[10],同时,原子 H 是极强的还原剂,能将很多金属、非金属离子还原成单质或氢化物。一些不易迁移的元素(铝、钛)一旦形成氢化物,就具有了高扩散性、高化学活性、易挥发性和易粉碎性。氢化物可以呈气体、液体或纳米固体形式迁移,在迁移过程中可与非氢化物或不同种属的氢化物分异。在压力、温度骤降,氧逸度剧增,酸碱度发生变化,氢化物发生分解、水解、氧化、硫化沉淀富集成矿的条件不同,因而形成各种矿床[7]。

部分铝土矿床(嵩箕成矿区的夹沟、李家窑和焦村等铝土矿床)含铝岩系中的黏土矿物除高岭石、伊利石外,还发现有绿泥石、绿泥石-蒙脱石混层、伊利石-蒙脱石混层等热液自生黏土矿物。大量证据表明,热液自生黏土矿物(同生沉积的原生黏土矿物和同生期后形成的次生黏土矿物)、尤其是含铁黏土矿物的特性(矿物类型、化学组成、晶体结构等)与海底热液系统的构造、火山活动和成矿过程密切相关[11]。

含铝岩系中发现大量的幔源物质。刘学飞等[12]报道,首次在豫西的大安、贯沟和坡池铝(黏)土矿中发现大量的碳硅石和与其共存的自然硅和硅铁矿,认为这种矿物组合来自北秦岭造山带的蛇绿岩中。现代地球化学深穿透研究早已证明,气流可以从地球深部向上带出自然金属超微颗粒[13]。

晚古生代华北陆表海盆地形成的动因是海西期秦岭和中亚-蒙古地槽断陷活动,中地壳塑性层减薄而向华北地台区流动变厚,使得地台区软流层物质向槽区流动,造成华北地台区岩石圈自晚石炭世开始缓慢下沉,产生了海进,形成了一套海相或海陆交互的铝、煤沉积建造。

3. 河南省煤系地层的夹矸高岭石可能是热液碱交代的产物

那么,与铝土矿连续沉积形成的煤矿是如何成因的?我们知道,河南省的煤系地层主要由太原组、山西组、下石盒子组和上石盒子组组成,煤层的夹矸(又称夹石层)岩性多为泥质岩、粘土岩、高岭石粘土岩、炭质泥岩或砂岩。毕舒等[14]对鲁西南太原组煤层中夹矸高岭石泥岩研究后认为,要形成这样高度结晶的高岭石,不但要求有理想的空间,而且要有合适的溶液浓度和理想的温度和压力,由此可进一步证明,高岭石晶体可从溶液中直接结晶。刘长龄等[15]根据高岭石矿物结晶有序化程度与成因关系,由软质高岭石粘土形成紫矸,因在固结成岩过程中,其致密度差,在水中能浸散,高岭石重结晶弱,需经地热及上升热水 140℃ 左右。而形成硬质高岭石夹矸,固结成岩致密坚硬、不透水、不浸散、重结晶明显。而结晶“有序化”,则需经地热达 120℃。据此,我们是否可以认为,夹矸和煤的形成来自于深部的碱交代热液,或者说,形成高纯度高岭石的物质是碱交代热液的末端组分。

4. 河南省晚古生代煤的成矿过程显示大量的热液活动痕迹

前人研究表明[16]-[19],在豫西地区上古生界石炭系上统太原组、二叠系山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组地层中发现大量硅化木化石点,初步分析,硅化木含 SiO_2 达 94%,碳酸钙及铁质仅占 6% 左右,作者认为,围岩中水溶液可能呈弱碱性(实际上是碱交代热液—笔者)。那么如此大量的 SiO_2 来

自哪里?笔者认为,这些二氧化硅应该来自深部大规模碱交代作用的排泄。说明豫西地区晚古生代时期深部地幔流体活动非常活跃。

郝永富[20]报道,偃龙煤田的瑶岭石炭-二叠系地层中厚达数公分的石英、方解石脉到处可见,石英脉中含有很好的热液成因的 α 石英变体。

钟宁宁等[21](1990)报道,在河南石炭纪-二叠纪含煤岩系(济源、焦作、偃龙、荥巩等煤田)中发现大量的热液蚀变现象和热液金属矿物,主要有硅化、方解石化、绿泥石化和叶腊石化以及菱铁矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等。硅化和方解石化以石英脉和方解石脉的形式出现较多,绿泥石化和叶腊石化主要分布在富含粘土矿物的岩石中,金属硫化物主要分布在方解石脉和石英脉中,石英、方解石流体包裹体测温结果为中-高温热液($200^{\circ}\text{C}\sim 350^{\circ}\text{C}$)。张士等[22]报道,在登封煤田的上石盒子组中上部发现大量的硅质岩(自上而下由硅质海绵骨针岩、海绵骨针硅质泥岩和硅质泥岩组成),硅质岩层厚度几厘米~几十厘米,骨针的矿物成分主要为隐晶至细晶粒石英集合体。如此之多的 SiO_2 来自哪里?是否反映深部存在大规模的碱交代活动?

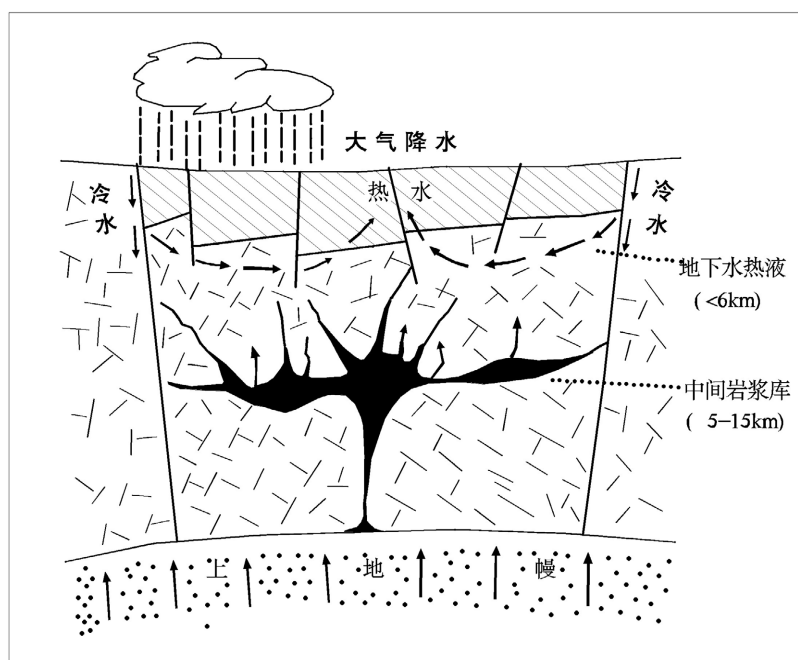


Figure 2. Geological model of groundwater hydrothermal metamorphism of coal [12]

图 2. 煤的地下水热液变质作用地质模式[12]

另外,钟宁宁等[23]还在焦作、偃龙等矿区太原组煤在镜下发现黄铁矿、方解石、石英的网状脉,作者解释为,热源的形成与莫霍面次级隆起(洛阳-焦作之间存在一个莫霍面次级隆起)有关,莫霍面的隆起意味着地下深处高温界面的升起,随之以热流的增强。特别是上地幔物质向地壳下部注入,使下部地壳物质受热重熔,发生软塑性流动,形成不同深度的融熔体,导致大面积的古地温增高。这种从地幔深处向地表运移途中的“中间岩浆库”一般在5~15 km深处(图2),它使区域发生热活化、热流和地温增高,对此,国内外学者都有过论述。深断裂与深部融熔源沟通,成为深部岩浆和热流上涌的通道,同时还为地下水的深循环提供了条件。笔者认为,这里的“中间岩浆库”可能是华北地区南部中地壳塑性层。

李扬鉴等[24]认为,中地壳塑性层是大陆岩石圈中能量和物质交换最活跃的层圈,也是一个为上地壳成矿作用提供物质来源的“矿源层”,为许多金属、非金属和油气等成矿物质的供给场所。中地壳塑性

层还是地热重要供给层、震源集中层, 决定现代大陆地壳稳定性的关键层, 因此它在大陆构造演化过程中起着关键性作用。

彭寿斌[25]认为, 煤炭是由“油基泥沙”变质形成的产物, 经历了三个过程, 一是石油喷发被洪水搬运汇集到附近的盆地中与粘土碎屑物质混合形成油基泥沙; 二是油基泥沙经过干燥、风化、氧化及生物作用固化; 三是油基泥沙在自然条件下脱水、压实、结晶、变质成岩演化成煤炭。

沙赫诺夫斯基既否认了煤来自热带森林的观点, 也不同意煤田泥炭生成的观点, 他认为: “煤由地幔沥青流体沿深部断裂带上升而形成, 没有深部碳参与煤的聚集, 煤是不可能有如此高的含碳量的。”他还指出: “氢含量低的深部沥青形成了煤透镜体和煤层, 而含氢量较高的液体状沥青沿断裂上升充填在地壳上部层位的储集层中, 并形成油气聚集”[26]。可见, 造成石油和煤聚集成藏的深部流体之间的原始差异在于其含氢量, 煤要先于石油而生成。

5. 南华北盆地的深部地壳结构

南华北地区北以焦作 - 商丘断裂为界与华北盆地相邻, 南部边界为栾川 - 确山 - 固始断裂, 东、西延出省界。周世卿(2009)等利用天然地震震源深度分布和密度平面分布等数据, 对华北地区地壳结构进行研究后认为, 华北的上地壳以脆性变形为主, 下地壳以韧性伸展为主, 中地壳为一滑脱层。以这个滑脱层为底边界发育起来的上地壳的结构构造, 是控制华北盆山格局、基底构造发育形成的直接原因[27]。这里的滑脱层类似于李扬鉴先生的中地壳塑性层[13]或杜乐天先生的中地壳低速高导层, 即由地壳流体与地幔流体上涌造成的以 CH_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 、 CO 、 CO_2 等气体为主(还有 H_2 气体)兼具还原性质的气体层(圈)[28]。

陆一峰等[29]通过对地震资料的研究后发现, 渭河断裂与太行山南缘断裂带是相连的, 组成了南华北盆地北界断裂。由于太行山南缘断裂带是南华北和北华北两个块体之间的构造边界, 渭河断裂可能是鄂尔多斯块体与秦岭造山带之间的一条深大边界断裂[30], 因此, 南华北盆地的北界断裂可能是一条对地壳深部结构产生重大影响的深大断裂。

有研究认为[31], 南华北盆地于海西期间受南北两侧秦岭和中亚 - 蒙古地槽断陷活动作用, 造成中地壳塑性层减薄, 从而在重力均衡作用下, 华北陆块区的软流层物质大规模的顺层流入两侧海槽区, 促使其软流层隆起, 由于陆块区软流层物质流向其它地方, 引起华北陆块岩石圈从上石炭世起开始沉降, 产生了海进, 在中奥陶统或中寒武统的剥蚀面上沉积了一套海相或海陆交互的铝、煤沉积建造。研究区中地壳塑性层加厚现象得到了大地电磁测深(MT)测量成果的印证(较大规模的低阻高导体)[32]。

6. 含铝煤岩系可能的形成过程

内外地核的强大氢流在压力差、温度差、黏度差、质量差、密度差、浓度差[21]强大的驱动力由下向上穿透下一中地幔时, 会把大量分散的活性很大的阳离子(Li 、 Na 、 K 、 Rb 、 Cs)萃取并携带(呈氢化物形式)向上, 故称此时的幔汁为氢型幔汁。当氢型幔汁继续上穿到上地幔时, 由于沿途萃取了大量碱金属而演化成碱型(富碱和 CO_2)幔汁, 赋存于上地幔软流层中。随着盆地的形成和演化, 上地幔软流层在重力均衡作用下将不断向上隆起, 碱型幔汁汇聚到软流层隆起的顶部。上地幔软流层隆起上拱导致上覆岩石圈出现张性破裂。汇聚于上地幔软流层隆起顶部的碱型幔汁将沿着这些张性破裂进入中地壳低速高导层演化为氧型幔汁, 在氧型幔汁上升过程中, 其中碱质组分将不断与围岩发生碱交代作用, 萃取围岩中的矿质(Al 、 Fe 、 Ti)进入流体, 然后以氢化物的形式通过盆地与深部沟通的断裂构造上升到近地表沉积盆地水体中发生分异并形成硬水铝石、锐钛矿和赤(针)铁矿等铝、铁、钛矿物。到达近地表发生分异并形成的硬水铝石、锐钛矿和赤(针)铁矿等铝、铁、钛矿物。这些矿物粒度很小, 粒径 $\leq 0.06 \text{ mm}$, 多数在 $0.002 \sim 0.015$

mm 之间, 其中硬水铝石粒径 ≤ 0.06 mm, 多数在 0.003~0.015 mm 之间。锐钛矿粒径 0.002~0.006 mm。金红石粒径 0.002~0.004 mm。这些细小颗粒喷出地表, 极易悬浮水中, 在水环境沉积, 形成微晶、鲕粒、内碎屑等结构, 且多见鲕核中硬水铝石微晶粒径多数大于组成鲕粒圈层硬水铝石及基质中硬水铝石, 显示粒度较大矿物易于凝聚的特点。在水流冲刷形成的空隙中, 这些细小颗粒与混合其中的粘土矿物因浊流沉积形成渗流构造等特征构造。另一部分轻质的石油烃类聚集在水体表层, 经过沥青化作用和煤化过程形成了现今处于各个演化阶段的煤层[33]。

7. 找矿意义及找矿方向

河南省铝土矿床严格赋存于奥陶系古风化侵蚀面上的上石炭统一二叠统本溪组中上部矿岩系, 含矿岩系建造主要为稳定大陆内部的铝土铁质建造分布均匀稳定, 铝土矿矿床主要分布在靠近古隆起边沿的凹陷区, 按照成矿区带, 主要分布在焦作粘(铝)土矿成矿区、三门峡—渑池—新安铝土矿成矿区、嵩箕成矿区、宜阳—汝阳—鲁山成矿区等 4 个 IV 级成矿区下的 19 个成矿带, 预测在埋深 700 m 以浅可获得铝土矿远景资源量 35 亿吨, 国家找矿突破战略行动实施期间, 在这些区带内新增推断和预测资源量 10.5 亿吨, 新增铝土矿资源集中在 200~500 埋深, 未来找矿方向仍集中这些区带内已知矿床的深部和外围[34]。

8. 结论

- ① 河南省晚古生代铝土矿属热液型矿床, 成矿物质来自幔源流体;
- ② 形成河南省煤系地层的夹矸高纯度高岭石的物质是碱交代热液的末端组分;
- ③ 河南省晚古生代煤的成矿过程显示大量的热液活动痕迹, 说明豫西地区晚古生代时期深部地幔流体活动非常活跃;
- ④ 河南省晚古生代铝土矿、煤矿的形成可能不是“外生沉积”而是“内生沉积”! 可能是一个完整的幔源烃碱流体成矿系统。

参考文献

- [1] 沈建海, 楼士毅, 彭翼, 等. 中国矿产地质志 河南卷 能源矿产[M]. 北京: 地质出版社, 2024.
- [2] 姬果, 李宁, 杨晓, 等. 河南省铝土矿床地质特征及成矿规律[J]. 金属矿山, 2021(5): 140-148.
- [3] 刘学飞, 王庆飞, 李中明, 等. 河南铝土矿物成因及其演化序列[J]. 地质与勘探, 2012, 48(3): 449-459.
- [4] 刘长岭, 时子贞. 山西、河南高铝粘土铝土矿床的矿物学研究[J]. 沉积学报, 1985(2): 18-36.
- [5] 郭万奎, 等, 编译. 地球排气作用与大地构造[M]. 上海: 上海辞书出版社, 2003: 3-183.
- [6] 郑大中, 郑若峰. 钛迁移成矿地球化学模式新探索[J]. 化工矿产地质, 2003, 25(1): 13-23.
- [7] 郑大中, 郑若峰. 论氢化物是成矿的重要迁移形式[J]. 盐湖研究, 2004, 12(4): 9-17.
- [8] 郑大中, 郑若峰. 论氢化物迁移成矿机制-兼论钒钛磁铁矿成矿的化学模式[J]. 四川地质学报, 1998, 18(4): 271-279.
- [9] 杜乐天. 氢的地球化学-幔汁氢化迁移律[J]. 铀矿地质, 2014, 30(2): 65-77.
- [10] 杜乐天. 幔汁(HACONS 流体)内动因探索[J]. 地球学报, 2009, 30(6): 739-748.
- [11] 吕华华, 石学法, 杨刚. 黏土矿物对海底热液活动的指示作用[J]. 矿物学报, 2011(增刊): 695-696.
- [12] 刘学飞, 王庆飞, 马遥, 等. 华北克拉通南缘石炭系本溪组铁-铝黏土矿物质来源: 以河南三门峡大安铝黏土矿床为例[J]. 古地理学报, 2020, 22(5): 965-976.
- [13] 王学求, 叶荣. 纳米金属微粒发现——深穿透地球化学的微观证据[J]. 地球学报, 2011, 32(1): 7-12.
- [14] 毕舒, 谢先德, 方邨森, 等. 鲁西南煤夹矸的矿物学研究及应用前景[J]. 地球化学, 2003, 32(3): 291-296.
- [15] 刘长龄, 刘钦甫. 高岭石矿物结晶有序化程度与成因关系研究新进展[J]. 地质找矿论丛, 2002, 17(2): 73-81.

- [16] 张士, 李国胜. 河南义马石千峰组沉积环境探讨[J]. 地质论评, 1989, 35(4): 374-383.
- [17] 张士, 李国胜, 郑卫东. 义马地区石千峰组发现大量硅化木化石[J]. 煤田地质与勘探, 1988(4): 14-15.
- [18] 叶建. 伊川硅化木化石及其沉积环境研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2018(9): 158-160.
- [19] 田慧娟. 豫西地区硅化木赋存特征及成因分析[J]. 能源与环保, 2020, 42(2): 40-43.
- [20] 郝永富. 论豫西北无烟煤的变质成因[J]. 中国煤田地质, 1989, 1(1): 13-19.
- [21] 钟宁宁, 任德怡. 河南石炭二叠纪含煤岩系煤热变质作用下的变化——地下水热液对煤变质作用影响的初步探讨[J]. 地质论评, 1990, 36(2): 130-139.
- [22] 张士, 牛百礼, 焦清典. 登封煤田上石盒子组硅质岩产出特征及生成环境浅析[J]. 河南地质, 1993, 11(3): 192-197.
- [23] 钟宁宁, 曹代勇. 华北地区南部晚古生代煤的变质成因——地下水热液对煤变质作用影响的进一步探讨[J]. 地质学报, 1994, 68(4): 348-357.
- [24] 李扬鉴, 张星亮, 陈延成. 大陆层控构造导论[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [25] 彭寿斌. 煤炭成因研究[J]. 中国高新技术企业, 2011(1): 115-116.
- [26] Shahnovsky, I.M. 石油地质学中几个有争议的问题[J]. 任俞, 译. 新疆石油地质, 2004, 25(2): 219-224.
- [27] 周世卿. 华北中地壳滑脱面及其活动分区的天然地震研究[J]. 现代地质, 2009, 23(6): 1003-1011.
- [28] 杜乐天. 烃碱流体地球化学原理——重论热液作用和岩浆作用[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 140-220.
- [29] 陆一峰, 徐鸣杰, 王良书, 等. 鄂尔多斯东南缘地区的地壳结构[J]. 科学通报, 2012, 57(1): 59-64.
- [30] 张岳桥, 马寅生, 杨农. 太行山南缘断裂带新构造活动及其区域运动学意义[J]. 地震地质, 2003(25): 169-182.
- [31] 李扬鉴. 略论地台区的海进、海退与相邻地槽区的造盆、造山运动伴生的原因[J]. 化工矿产地质, 1999(4): 193-199.
- [32] 卢平. 东秦岭造山带及邻区电性结构研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016: 40-48.
- [33] 崔永强. 煤来自石油[C]//中国地球科学联合学术年会论文集. 北京: 中国和平音像电子出版社, 2017: 582-583.
- [34] 代世峰, 赵蕾, 魏强, 等. 中国煤系中关键金属资源: 富集类型与分布[J]. 科学通报, 2020, 65(33): 3715-3729.