

doi:10.3969/j.issn.2095-1744.2021.04.014

山西省平陆县西山头铝土矿地质特征及成因分析

廉凯龙¹, 赵胜利², 薛磊¹, 豆贯铭³, 靳妙杰¹, 代金拴¹

(1. 山西省地球物理化学勘查院, 山西 运城 044000;

2. 山东地矿国际投资有限公司, 济南 250000;

3. 河南省第一地质矿产调查院, 洛阳 471012)

摘要:西山头铝土矿区位于平陆—夏县铝土矿成矿带内, 区内本溪组为铝土矿含矿地层, 主要形成于海相沉积环境中, 自下而上分为铁质岩段、铝质岩段、硅(碳)质岩段。区内铝土矿体呈层状、似层状、溶斗状、透镜状产于奥陶系古风化壳之上, 是在晚石炭世海侵背景下, 中条古陆上的铝硅酸盐风化壳中的富铝物质, 被搬运到溶斗、溶洼等有利的成矿地带, 在潮坪环境中沉积形成的, 成矿过程分为母岩风化阶段、沉积成矿阶段、成岩阶段、表生阶段等四个阶段。

关键词:铝土矿; 含矿地层; 地球化学; 成矿过程

中图分类号:P62 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-1744(2021)04-0096-06

Geological Characteristics and Genesis of Xishantou Bauxite Deposit in Pinglu County, Shanxi Province

LIAN Kailong¹, ZHAO Shengli², XUE Lei¹, DOU Guanming³, JIN Miaojie¹, DAI Jinshuan¹

(1. Shanxi Geophysical and Chemical Exploration Institute, Yuncheng 044000, China;

2. Shandong Geo-mineral International Investment Co., Ltd., Jinan 250000, China;

3. No. 1 Institute of Geology and Mineral Resources Survey of Henan, Luoyang 471012, China)

Abstract: Xishantou bauxite mining area is located in Pinglu-Xiaxian bauxite metallogenic belt. Benxi formation is ore-bearing strata, mainly formed in marine sedimentary environment, and can be divided into ferruginous rock section, aluminous rock section and silicon(carbon) rock section from bottom to top. The bauxite ore deposit are layered, stratoid, funnel-form and lenticular. They occur on the Ordovician paleo-weathering crust. Under the background of Late Carboniferous transgression, the aluminum rich materials in the aluminosilicate weathering crust of Zhongtiao old land were transported to the favorable metallogenic zones such as funnel and thaw-depression, and formed in tidal flat environment. The ore-forming process of Xishantou bauxite deposit can be divided into four stages: Weathering stage of parent rock, sedimentary metallogenic stage, diagenetic stage and epigenetic stage.

Key words: bauxite; ore bearing stratum; geochemistry; metallogenic process

豫西铝土矿成矿盆地是中国重要的铝土矿集中区, 区内铝土矿为典型的古风化壳沉积型铝土

矿^[1-4]。受地层和构造控制, 豫西铝土矿围绕隆起呈串珠状分布, 根据围绕隆起的不同, 豫西成矿盆地共

收稿日期: 2020-11-04

基金项目: 山西省 2017 年度地质勘查基金项目(SXZDF20170820)

Fund: Supported by Shanxi Provincial Geological Exploration Fund Project in 2017(SXZDF20170820)

作者简介: 廉凯龙(1988—), 男, 硕士, 地质工程师, 从事矿产勘查工作。

引用格式: 廉凯龙, 赵胜利, 薛磊, 等. 山西省平陆县西山头铝土矿地质特征及成因分析[J]. 有色金属工程, 2021, 11(4): 96-101.

LIAN Kailong, ZHAO Shengli, XUE Lei, et al. Geological Characteristics and Genesis of Xishantou Bauxite Deposit in Pinglu County, Shanxi Province[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2021, 11(4): 96-101.

划分为四个成矿区:陕县—渑池—新安成矿区、嵩箕成矿区、济源—焦作成矿区、汝州—宝丰成矿区。其中陕县—渑池—新安成矿区为最主要的成矿区,区内铝土矿储量巨大,且品位较高。西山头矿区位于陕县—渑池—新安成矿区北部的平陆—夏县铝土矿成矿带内,资源储量十分丰富。本文通过分析矿区地质特征、矿床特征,进而对区内铝土矿成因进行探讨,以期今后的勘探工作提供参考。

1 区域地质特征

西山头矿区大地构造位置位于华北板块南缘,北靠中条山断隆,南依渑池向斜^[5]。区域地层出露较齐全,广泛出露下元古界中条群变质岩、中元古界汝阳群碳酸盐岩—碎屑岩、寒武系—奥陶系碳酸盐岩、石炭系—二叠系碎屑岩—碳酸盐岩以及新生界古近系、新近系、第四系等地层。岩浆岩出露于南部,主要为燕山期花岗斑岩、石英闪长玢岩,呈岩床状侵入到太原组煤系地层,对矿体影响不大。区域地质构造复杂,以断裂为主,构造线方向主要呈北东

向,断裂多为高角度正断层,对矿体起到破坏作用。

2 矿区地质特征

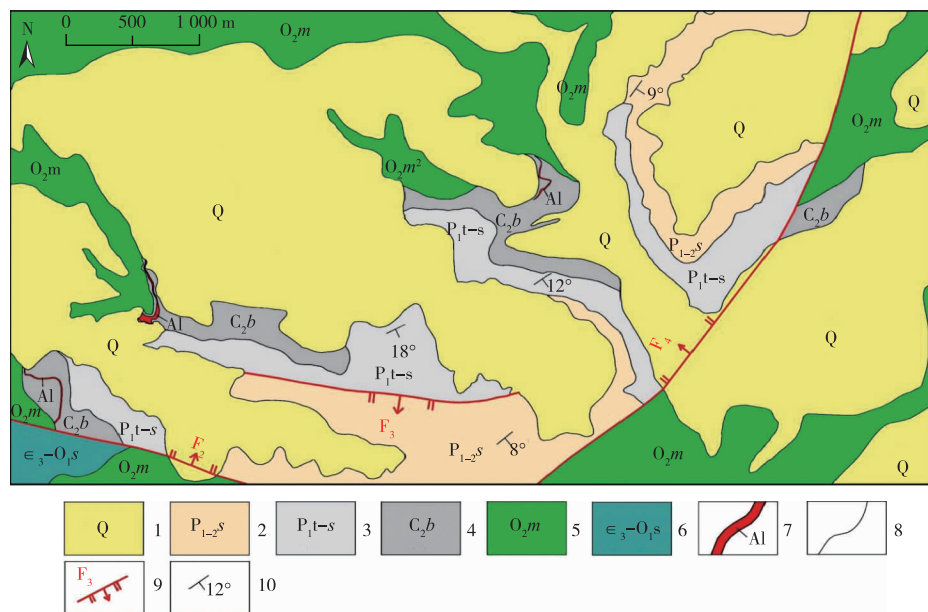
2.1 地层及构造特征

矿区出露地层由老到新依次为寒武系—奥陶系灰岩、白云岩,石炭系—二叠系砂岩、泥岩、铝土矿含矿岩系,新近系黏土岩、砾岩及第四系地层(图1)。地层总体呈单斜构造,向渑池向斜核部倾斜,倾向南东,倾角 $8^{\circ}\sim 16^{\circ}$ 。

区内构造多为高角度正断层,其中对矿体影响最大的是F4断层(图1),位于矿区东部,北东走向,断层下盘地层整体抬升遭受剥蚀,在矿区东部形成大面积的剥蚀无矿区。

2.2 含矿岩系特征及沉积环境分析

本溪组是区内铝土矿含矿地层,与下伏奥陶系马家沟组灰岩总体呈平行不整合接触关系。地层厚度 $4.85\sim 31.45\text{ m}$,受沉积基底凹凸不平的影响,厚度变化较大,基底低凹处本溪组厚度大,凸起处厚度小或缺失。



1-Quaternary;2-Shihezi Formation of Lower-Middle Permian;3-Taiyuan and Shixi Formation of Lower Permian;
4-Benxi Formation of Upper Carboniferous;5-Majiagou Formation of Middle Ordovician;
6-Sanshanzi Formation of Upper Cambrian-Lower Ordovician;7-Bauxite outcrop;8-Geological boundary;9-Fault;10-Occurrence

图1 西山头地区地质简图

Fig. 1 Geological diagram of the Xishantou area

相关资料表明,淡水沉积物中 $\text{Sr}/\text{Ba} < 1$,而海水沉积物中 $\text{Sr}/\text{Ba} > 1$ ^[6],区内含矿岩系 Sr/Ba 离散图(图 2)显示除个别样品参数点落在淡水区域,其余样品参数点均落在海水区域,表明含矿岩系主要形成于海相沉积环境中。

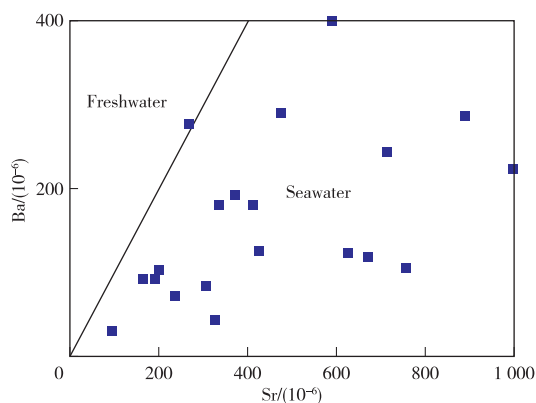


图 2 西山头矿区含矿岩系 Sr/Ba 含量离散图(底图据陈阳等^[2])

Fig. 2 The Sr/Ba content dispersion diagram of ore bearing rock series in Xishantou mining area(after CHEN, et al^[2])

本溪组在垂向上表现出下部富 Fe、中部富 Al、上部富 Si 和 C 的特征,自下而上可分为三段:

1) 铁质岩段(C_2b^1):区内分布极为广泛,厚度较稳定。岩石类型以铁质黏土岩为主,颜色斑驳,常呈紫红、褐黄、深灰等色,结构类型主要为黏土质结构,局部发育鲕状结构。矿物类型主要为黏土矿物、铁质矿物和绿泥石,含少量植物化石。本段铁质矿物类型较复杂,上段主要为赤铁矿、褐铁矿,下段主要为菱铁矿、黄铁矿。黄铁矿、菱铁矿常为深水还原环境下的产物,表明本段最初形成于水体较深的还原环境中。

2) 铝质岩段(C_2b^2):呈层状、似层状、透镜状产出,厚度变化较大。岩石主要类型为铝土矿、铝土岩、硬质耐火黏土矿等,底部常见菱铁矿结核。岩石颜色多为灰色、深灰色,以豆鲕结构、碎屑结构、致密结构为主,发育平行层理、波状层理、水平层理。本段岩石结构、构造特征反映了沉积时水动力强弱交替的现象。

3) 硅(碳)质岩段(C_2b^3):区内分布广泛,呈层状产出,与铝质岩段常呈此消彼长的关系。岩石类型主要为黏土岩、砂质泥岩、碳质泥岩等,颜色以灰色、灰黑色、黑色为主,黏土质结构,多具水平层理,局部发育煤线,富含植物根茎化石,底部可见菱铁矿、黄铁矿结核。本段具宁静沼泽环境沉积的特征。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

区内铝土矿体呈层状、似层状、溶斗状和透镜状产出,倾向 $110^\circ \sim 160^\circ$,倾角 $6^\circ \sim 14^\circ$,矿厚 $0.40 \sim 11.28$ m,平均厚度 2.25 m。矿体厚度与本溪组厚度呈正相关,当本溪组厚度小于 5 m 时,地层中不含矿。受沉积环境及构造影响,矿体连续性不好,区内共圈定 6 个铝土矿体,其中 Al3 矿体为主矿体,平面上呈不规则长条形状,近东西向展布,东西总长约 2200 m,南北宽 765 m, A/S 平均为 4.3 。

3.2 矿石特征

3.2.1 矿石类型

按照矿石结构、构造的不同,区内铝土矿分为豆鲕状、碎屑状、致密状、蜂窝状四种类型。

豆鲕状铝土矿(图 3a):占区内矿石总量的 55% ,主要分布在矿体中上部。豆鲕粒主要由一水硬铝石和少量黏土矿物组成,豆鲕粒含量约为 $30\% \sim 65\%$,呈次圆状—圆状,鲕粒直径约为 $0.2 \sim 2.0$ mm,豆粒直径约 $2.0 \sim 5.5$ mm。鲕粒具典型同心层状结构,同心层多为 $1 \sim 3$ 层,核心主要由一水硬铝石和黏土矿物组成,包壳主要由黏土矿物和铁质矿物组成。部分豆鲕粒受后期压实作用发生塑性变形而拉长,呈定向排列。

碎屑状铝土矿(图 3b):占区内矿石总量的 30% ,主要分布在矿体的中、下部。碎屑主要由一水硬铝石组成,碎屑含量约为 $35\% \sim 70\%$,大小约为 $1.5 \sim 5.5$ mm,多呈次棱角状—次圆状,个别碎屑呈团块状,由多个次一级碎屑组成。碎屑粒度悬殊,以砂砾级为主,形态多样,磨蚀显著,表明经过了一定距离搬运。

致密状铝土矿(图 3c):占区内矿石总量的 10% ,主要分布于矿体的上部和下部,品质较差。矿物成分以隐晶质—一水硬铝石、高岭石、伊利石为主,矿物颗粒细小均一,分布均匀,具静水环境沉积的特点。

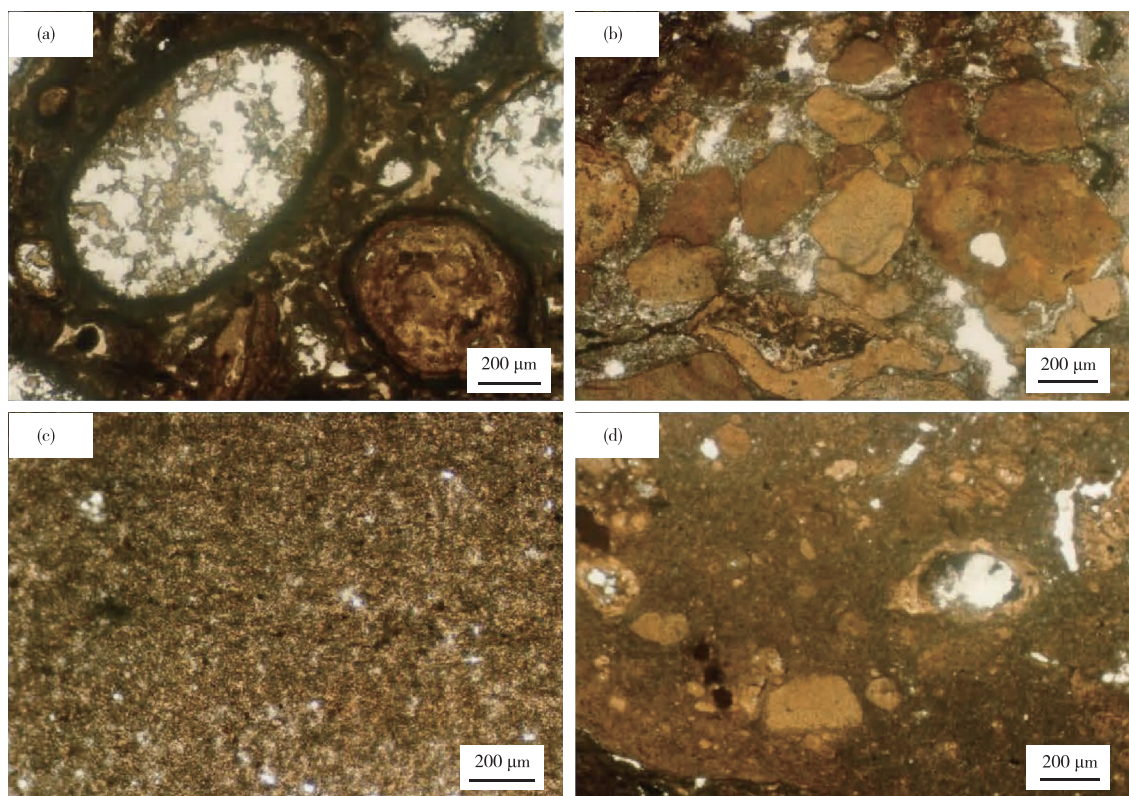
蜂窝状铝土矿(图 3d):占区内矿石总量的 5% ,主要位于矿体的中部,品质较高,最高 A/S 达 91.2 。主要由一水硬铝石和少量黏土矿物组成,表面多发育孔洞,孔径约为 $1.5 \sim 3.5$ mm,孔洞多被一水硬铝石、高岭石填充。推测为原生豆鲕状铝土矿遭受较长时间的淋滤作用,矿石中豆鲕粒遭受破坏而形成。

3.2.2 常量元素化学特征

铝土矿 Al_2O_3 平均含量 59.53% , SiO_2 平均含量 13.33% , Fe_2O_3 平均含量 2.23% , TiO_2 平均含

量 2.61%, Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 含量变化较大,但四者之和比较稳定,绝大部分集中在 80%~86%,平均为 82.93%, Na_2O 、 CaO 、 MgO 等成分含量较低(表 1),红土化强度图解(图 4)显示铝土矿位于强红土化作用区域,表明铝土矿原岩遭受了强烈

风化作用, Na 、 Ca 、 Mg 等化学性质活泼的元素在长期强风化作用下容易流失,而相对稳定的 Al 、 Si 、 Fe 、 Ti 等元素容易保存下来,从而在铝土矿中呈现出 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 等成分富集,而 Na_2O 、 CaO 、 MgO 等成分贫化的现象。



a—bean-oolitic bauxite; b—clastic bauxite; c—compact bauxite; d—coarse bauxite

图 3 西山头矿区铝土矿矿石结构类型

Fig. 3 Ore structure type of bauxite in Xishantou mining area

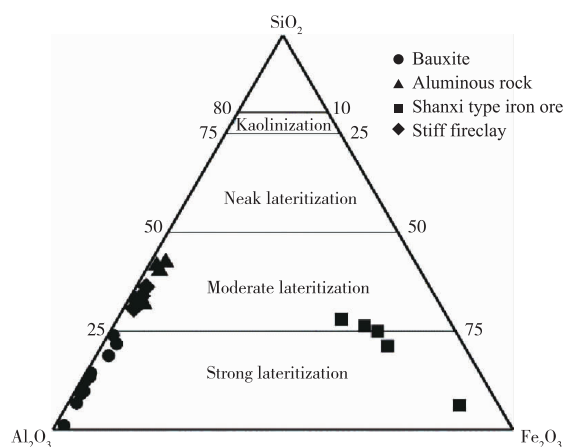


图 4 西山头矿区岩石红土化强度 Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 三角图

Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 triangle diagram showing lateritization strength of rock in the Xishantou mining area

表 1 西山头矿区铝土矿主量元素分析结果

Table 1 Principal element compositions of bauxite ores in Xishantou mining area

/%

Natural type of ore	S	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Loss on ignition
Pisolitic bauxite	0.30	0.06	0.29	0.85	0.23	0.01	0.05	61.7	16.48	1.50	2.52	14.13
Clastic bauxite	0.08	0.06	0.22	1.04	0.14	0.02	0.08	60.66	18.10	2.30	2.63	12.92
Pisolitic bauxite	0.11	0.09	0.32	0.94	0.20	0.01	0.07	61.08	16.96	1.78	2.55	14.38
Clastic bauxite	0.06	0.09	0.11	0.49	0.08	0.04	0.09	71.88	7.22	1.29	3.22	14.32
Pisolitic bauxite	0.60	0.17	0.19	0.95	0.13	0.04	0.07	59.64	15.08	6.05	2.89	13.74
Pisolitic bauxite	0.07	0.18	0.25	0.91	0.22	0.10	0.10	59.89	12.46	8.08	2.85	13.52

4 矿床成因探讨

古风化壳沉积型铝土矿的形成与地史上重大的地质事件密不可分,相关资料表明,豫西地区铝土矿是板块碰撞、冰川消融、大陆漂移等地质事件的共同产物^[7-9]。近年来,地质学者在豫西地区通过碎屑锆石 U-Pb 测年和 Lu-Hf 同位素特征分析等方法,揭示出铝土矿成矿物质主要来源于古陆上的岩浆岩^[10-12]。研究区紧靠中条古陆,区内铝土矿成矿母岩应为中条古陆上的铝硅酸盐。矿床成矿过程可划分为四个阶段:母岩风化阶段、沉积成矿阶段、成岩阶段、表生阶段。

母岩风化阶段:中奥陶世,受古秦岭洋俯冲碰撞的影响,华北板块南部隆升遭受剥蚀。古地磁资料显示,华北板块在晚志留世到早泥盆世期间漂移至赤道附近,至晚石炭世,豫西盆地位于北纬 $6.9^{\circ}\sim 33.82^{\circ}$ ^[13],此时气候炎热潮湿,适宜的气候条件有利于岩石的风化。在此期间,中条古陆的铝硅酸盐发生强烈红土化作用,Na、Ca、Mg 等化学性质活泼的元素大量流失,而相对稳定的 Al、Si 等元素则不断富集,从而形成了富铝铁的红土型风化壳。另一方面,基底的碳酸盐岩在长期风化过程中形成了大量的溶斗、溶洼等负地形,为铝土矿的形成提供了良好的成矿空间。

沉积成矿阶段:晚石炭世早期,在板块碰撞和冰川消融的共同影响下,豫西成矿盆地内发生突发性海侵,形成广泛的陆表海环境^[9],中条古陆上的古风化壳中富铝铁的风化物质,以碎屑和胶体的形式在河流、洪水以及波浪、潮汐等地质应力的作用下,被搬运到溶斗、溶洼等有利的成矿区域。海侵初期研究区水体较深,推测为浅海环境,水体底部呈还原环境,有利于铁质的富集^[14]。进入海水的 Fe^{2+} 与海水中丰富的 S^{2-} 结合形成黄铁矿,与基地碳酸岩中析出的 CO_3^{2-} 结合形成菱铁矿,从而沉积形成了大面积的富含菱铁矿、黄铁矿和绿泥石的黏土岩,局部富集成矿。其后在震荡性海退影响下水体逐渐变浅,水体环境逐渐由还原环境转变为氧化环境,上部的菱铁矿、黄铁矿被氧化成赤铁矿、褐铁矿。

晚石炭世中期,受海退影响,在豫西地区形成了数个海相潟湖,研究区位于澠池潟湖西北缘的潮坪环境中。潮上带水动力较弱,水体较浅,时常呈滞留状态,为酸性氧化环境,成矿条件差,沉积形成黏土岩、铝土岩以及少量品位较差的致密状铝土矿,局部发生沼泽化,沉积形成碳质泥岩;潮间带和潮下带上部水动力相对较强,处于弱氧化—弱还原环境中,呈弱酸—弱碱性,成矿条件较好, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体易发生聚沉形成豆鲕状铝土矿,经过一定距离搬运的颗粒、密度较大的碎屑状富铝物质,在该环境中较易沉积形成碎屑状铝土矿,而颗粒、密度较小的物质易被搬运至深处水体较平静的地段;潮下带底部水体较深,水动力条件较弱,处于弱还原环境,呈弱碱性,细小的铁铝质矿物较易沉积,形成隐晶—细晶结构的黏土岩、铝土岩和致密状铝土矿等, Fe^{2+} 易沉淀形成菱铁矿、黄铁矿。沉积成矿期间,受间歇性海退影响,部分豆鲕状、碎屑状铝土矿出露水面,遭受长时间淋滤作用形成高品位的蜂窝状铝土矿。

晚石炭世晚期,受“填平补齐”作用和间歇性海退影响,沉积环境逐渐转变为滨海沼泽环境,植物生长繁茂,沉积形成了富含植物化石和碳质的黏土岩,标志着本溪组沉积作用的结束。

成岩阶段:早二叠世早期,豫西成矿盆地内发生了更大范围的海侵^[9],在本溪组之上沉积形成太原组海陆交互相地层,使含矿岩系得到了有效保护。随着二叠系地层不断沉积,上覆地层厚度不断增加,温度随之逐渐升高, Eh 值降低,孔隙度减小,孔隙水不断排出,部分未固结的豆鲕粒在压实作用影响下发生塑性形变,呈定向排列。原本松散的含矿岩系最终固结成岩。

表生阶段:自中三叠世印支运动开始,华北板块构造运动频繁,矿区地层整体隆升。在地表水及地下水的共同作用下,位于深部大裂隙附近以及抬升到浅表的铝土矿体易发生淋滤作用,使矿石进一步去硅、脱硫,矿石品位进一步提高;位于地面较深部位的矿体,因缺乏淋滤作用,形成中硫—高硫型铝土矿。受

构造运动影响,部分矿体抬升至地表,在风化作用和剥蚀作用下遭到破坏,形成大面积的剥蚀无矿区。

5 结论

1)西山头铝土矿床赋存于奥陶系马家沟组古风化壳之上,为古风化壳沉积型铝土矿床,成矿过程分为四个阶段:母岩风化阶段、沉积成矿阶段、成岩阶段、表生阶段。

2)本溪组为铝土矿含矿地层,Sr/Ba 离散图显示其形成于海相沉积环境中,自下而上可划分为铁质岩段、铝质岩段、硅(碳)质岩段。

3)常量元素化学特征显示区内铝土矿的原岩遭受了强烈风化作用,在表面形成富铝铁的古风化壳,为区内铝土矿的形成提供丰富的成矿物质。

参考文献:

- [1] 刘长龄. 中国石炭纪铝土矿的地质特征与成因[J]. 沉积学报, 1988, 6(3): 1-10.
LIU Changling. Geological features and genesis of carboniferous bauxite in China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1988, 6(3): 1-10.
- [2] 马既民. 河南岩溶型铝土矿床的成矿过程[J]. 河南地质, 1991, 9(3): 15-20.
MA Jimin. Mineralization process of karst bauxite deposit in Henan province[J]. Henan Geology, 1991, 9(3): 15-20.
- [3] 高兰, 王登红, 熊晓云, 等. 中国铝矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 2014, 88(12): 2284-2295.
GAO Lan, WANG Denghong, XIONG Xiaoyun, et al. Summary on aluminum ore deposits minerogenetic regulation in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(12): 2284-2295.
- [4] 鲁正清, 柴世刚, 刘会星, 等. 豫西偃龙煤田深部铝土矿地质特征及矿床成因[J]. 地质与勘探, 2016, 52(4): 627-634.
LU Zhengqing, CHAI Shigang, LIU Huixing, et al. Geological characteristics and genesis of the deep-seated bauxite beneath the Yanlong coalfield in Western Henan Province[J]. Geology and Exploration, 2016, 52(4): 627-634.
- [5] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 郑州: 河南省地质矿产局, 1985: 598-681.
Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Henan province[M]. Zhengzhou: Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, 1985: 598-681.
- [6] 赵振华, 熊小林, 王强, 等. 铌与钽的某些地球化学问题[J]. 地球化学, 2008, 37(4): 304-320.
ZHAO Zhenhua, XIONG Xiaolin, WANG Qiang, et al. Some aspects on geochemistry of Ni and Ta [J]. Geochimica, 2008, 37(4): 304-320.
- [7] 温同想. 河南石炭纪铝土矿地质特征[J]. 华北地质矿产杂志, 1996, 11(4): 491-511.
WEN Tongxiang. Geological characteristics of carboniferous bauxite deposits in Henan [J]. North China Journal of Geology and Mineral Resources, 1996, 11(4): 491-511.
- [8] 陈旺. 豫西石炭纪铝土矿成矿系统[D]. 北京: 中国地质大学, 2009: 30-41.
CHEN Wang. Carboniferous bauxite ore-forming system, Western Henan[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2009: 57-59.
- [9] 马收先, 李增学, 吕大伟. 南华北石炭—二叠系陆表海层序古地理演化[J]. 沉积学报, 2010, 28(3): 497-508.
MA Shouxian, LI Zengxue, LYU Dawei. Sequence paleogeographical evolution of epicontinental deposit of Permo-carboniferous in Southern North China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(3): 497-508.
- [10] 王庆飞, 邓军, 刘学飞, 等. 铝土矿地质与成因研究进展[J]. 地质与勘探, 2012, 48(3): 430-448.
WANG Qingfei, DENG Jun, LIU Xuefei, et al. Review on research of bauxite geology and genesis in China[J]. Geology and Exploration, 2012, 48(3): 430-448.
- [11] 李中明, 燕长海, 刘学飞, 等. 河南省新安县郁山隐伏铝土矿成因分析[J]. 地质与勘探, 2012, 48(3): 421-429.
LI Zhongming, YAN Changhai, LIU Xuefei, et al. Genesis of the Yushan concealed bauxite deposit in Xin'an County, Henan province [J]. Geology and Exploration, 2012, 48(3): 421-429.
- [12] 曹高社, 邢舟, 毕景豪, 等. 豫西偃龙地区本溪组铝土矿成矿物质来源分析[J]. 地质学报, 2018, 92(7): 1507-1523.
CAO Gaoshe, XING Zhou, BI Jinghao, et al. Material sources analysis of the benxi formation bauxite in the Yanshi-Longmen area, Western Henan [J]. Acta Geologica Sinica, 2018, 92(7): 1507-1523.
- [13] 黄自力, 李国平. 豫西地区铝土矿床主要控矿因素研究[J]. 西部探矿工程, 2018(6): 144-146.
HUANG Zili, LI Guoping. Study on main ore controlling factors of bauxite deposits in western Henan Province[J]. West-China Exploration Engineering, 2018(6): 144-146.
- [14] 陈全树. 河南陕县柿树沟铝土矿床控矿地质特征[J]. 西北地质, 2012, 45(2): 74-80.
CHEN Quanshu. Geological characteristics of Shishugou bauxite deposit, Henan province [J]. North-Western Geology, 2012, 45(2): 74-80.