

程宏飞,高宇龙,梁绍暹,等.中国高岭土(岩)矿床新成因分类[J].地球科学与环境学报,2023,45(5):1110-1117.

CHENG Hong-fei,GAO Yu-long,LIANG Shao-xian,et al. New Genetic Classification of Kaolin Deposits in China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment,2023,45(5):1110-1117.

DOI:10.19814/j.jese.2023.08038

· 庆贺汤中立院士从事地质工作七十周年专辑 ·

## 中国高岭土(岩)矿床新成因分类

程宏飞<sup>1</sup>,高宇龙<sup>1</sup>,梁绍暹<sup>2\*</sup>,刘钦甫<sup>3</sup>

(1. 长安大学 地球科学与资源学院,陕西 西安 710054; 2. 西安科技大学 地质与环境学院,  
陕西 西安 710054; 3. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院,北京 100083)

**摘 要:**随着我国经济结构的调整和产业的转型升级,高岭土已被建议列入国家 15 种战略性非金属矿产之中,因此,对高岭土矿产资源类型及其成因研究刻不容缓。依据高岭土(岩)矿床成因相关研究成果,采用母岩类型(或成矿原始物质来源)+形成作用+矿石类型的复合命名原则,提出了我国高岭土(岩)矿床新的成因分类方案。高岭土(岩)矿床可以划分为 4 种成因类型、8 个成因亚型和 12 种矿床类型。在现有的 6 个矿床类型基础上增加了 6 个新的矿床类型,其中 3 个为风化残积亚型高岭土矿床,即风化残积亚型木节土矿床、富长石砂(岩)风化残积亚型砂质高岭土矿床、变高岭岩风化残积亚型水铝英石-埃洛石-高岭土矿床。将耐火黏土矿床的硬质黏土、软质黏土和半软质黏土的成因归属于陆源碎屑及胶体化学沉积成岩亚型高岭岩(土)矿床。华北石炭纪—二叠纪含煤岩系中部分煤层夹矸和煤层顶、底板高岭岩是由降落火山碎屑沉积成岩形成的,该类型是一种独特的高岭岩资源,将其单独列为降落火山碎屑沉积成岩亚型。此外,变高岭岩亚型矿床是一种特殊矿床类型,(热)流体蚀变亚型砂岩型高岭土矿床较为罕见,但是一种有潜在经济价值的高岭土矿床类型。

**关键词:**高岭土(岩);成因分类;母岩类型;成岩作用;矿床类型;煤系高岭石;木节土矿床;风化残积亚型

中图分类号:P619.23<sup>+</sup>2

文献标志码:A

文章编号:1672-6561(2023)05-1110-08

## New Genetic Classification of Kaolin Deposits in China

CHENG Hong-fei<sup>1</sup>, GAO Yu-long<sup>1</sup>, LIANG Shao-xian<sup>2\*</sup>, LIU Qin-fu<sup>3</sup>

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. School of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** With the adjustment of China's economic structure and industrial transformation and upgrading, kaolin, included in 15 kinds of minerals, has been suggested to be strategic non-metallic minerals in China. Therefore, it is urgent to study the types and causes of kaolin mineral resources. A new genetic classification scheme of kaolin deposits in China was proposed based on the research results on the genesis of kaolin (rock) deposits and the compound naming principle of parent rock type (or source of ore-forming original material) + formation + ore type. Kaolin

收稿日期:2023-08-24;修回日期:2023-09-11 投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目:国家自然科学基金项目(42172043);山西省科技重大专项项目(20181101003)

作者简介:程宏飞(1983-),男,陕西淳化人,教授,博士研究生导师,理学博士,E-mail:h.cheng@chd.edu.cn.

\* 通讯作者:梁绍暹(1939-),男,四川蓬溪人,教授,E-mail:lsx@xut.edu.cn.

deposits can be divided into 4 genetic types, 8 genetic subtypes and 12 deposit types. On the basis of the existing 6 ore deposit types, 6 new types of ore deposits are proposed, including 3 subtypes of weathered eluvial kaolin ore deposits, which are the weathered eluvial subtype knag soil deposits, rich long sand (rock) weathered eluvial and molding sand quality kaolin ore deposit, and kaolin rocks weathered eluvial subtype aluminum water stone-halloysite-kaolin ore deposit. The origin of hard clay, soft clay and semi-soft clay in refractory clay deposits is attributed to terrigenous clastic and colloidal chemical sedimentary diagenetic subtype kaolin (soil) deposits. For the Carboniferous-Permian coal-bearing rock series in North China, part of coal seam gangue and roof and floor kaolin rocks are formed by descending pyroclastic sedimentary diagenesis. This type of kaolin rocks is unique to China and is classified as descending pyroclastic sedimentary diagenesis subtype. In addition, the variable kaolin subtype deposit is a special type of deposit, and the (thermal) fluid alteration subtype sandstone kaolin deposit is rare, but it is a kaolin deposit with potential economic value.

**Key words:** kaolin (rock); genetic classification; parent rock type; diagenesis; deposit type; coal-bearing strata kaolinite; knag soil deposit; weathered eluvial subtype

## 0 引言

高岭土(Kaolin)一词源自中国,以江西省景德镇市东北 45 km 处的高岭村出产的一种可制瓷白色黏土而得名,是我国一种重要的非金属矿产,现已被广泛应用于橡胶、塑料、造纸、油漆、颜料、建材等众多领域。据目前我国非金属矿产资源在国家经济安全、国防安全和战略性新兴产业发展中的重要作用,结合矿产资源的保障能力与特色,高岭土等 15 种矿产已被建议列为当前和今后一段时期内的战略性非金属矿产。随着经济结构的调整和产业的转型升级,国家对非金属矿产资源的开发利用提出了更高的要求,各种战略性矿产资源的摸底排查便是当务之急。

据报道,我国已在 26 个省(区)发现高岭土矿床。根据矿床的分布规律,将其划分为 3 个成因类型和 6 个成因亚型,并划分出 4 个成矿域、13 个成矿省和 44 个成矿带<sup>[1]</sup>。我国高岭土矿产资源丰富,矿床类型齐全,是一种重要的非金属矿产。前人对高岭土矿床成因、地质勘查和资源综合利用做了大量工作,积累了丰富资料。近年来,虽然我国高岭土矿床的成因研究已取得了许多新的认识,但其成因分类一直停留在 20 世纪八九十年代的认识。

郑直等将高岭土定义为高岭石亚族矿物达到可以利用的含量之黏土和黏土岩;达到“可以利用的含量”是指矿石可直接使用或者通过加工选矿使其能够使用,但必须经济合理<sup>[2]</sup>。现阶段要求原岩中高岭石体积分数大于 15%。高岭石亚族矿物包括水

铝英石、埃洛石、高岭石、迪开石、珍珠陶石等。高岭土的定义中包括了“土”和“岩”,按照惯例,将松散的微粒集合体称为“土”,将坚硬的称为“岩”<sup>[3-4]</sup>;也就是说,将以高岭石亚族矿物为主的松散微粒集合体称为高岭土,将主要由高岭石亚族矿物组成的坚硬岩石称为高岭岩。找矿勘探表明,我国含煤岩系中高岭岩有巨大的储量。因此,将以往称谓的高岭土矿床这一命名术语称为高岭土(岩)矿床;而含煤岩系中以高岭岩为主,论述含煤地层中的矿床时,则称为高岭岩(土)矿床。本文汇总分析了高岭土(岩)矿床成因研究的新成果,提出了以矿床的形成作用为主导,同时充分考虑母岩的岩石类型及成矿原始物质来源的高岭土(岩)矿床新的成因分类。

## 1 高岭土(岩)矿床成因分类

早在 1948 年,苏联学者就提出了高岭土矿床的成因分类,相继经过了 1951 年、1977 年和 1982 年的 3 次更新。然而欧美学者对高岭土矿床的全面综合性成因分类鲜见报道,日本学者对高岭土矿床的分类多与工业利用相结合。20 世纪 50 年代至 90 年代,我国对高岭土(岩)矿床进行了大规模的找矿勘探和研究,积累了极其丰富的研究成果,为高岭土(岩)矿床的成因分类奠定了良好的基础。郑直等在充分研究国外高岭土矿床成因分类的基础上,结合我国的研究成果,最早提出了中国高岭土矿床的成因分类(表 1、2)<sup>[3]</sup>。

纵观国内外高岭土(岩)矿床的成因分类,主要存在 3 个体系。第一个成因分类体系是以矿床形成

表 1 中国高岭土矿床的成因类型

Table 1 Genetic Types of Kaolin Deposits in China

成因类型	成因亚型	矿床实例
风化型	风化残积亚型	湖南衡阳界牌、福建龙岩东宫下
	风化淋积亚型	四川叙永、山西阳泉下五渡
热液蚀变型	热液蚀变亚型	江苏苏州观山、吉林长白
	现代热泉蚀变亚型	云南腾冲、西藏羊八井
沉积型	沉积和沉积-风化亚型	广西合浦、广东茂名
	含煤地层中高岭石	山西大同、内蒙古准格尔
	黏土岩亚型	

注：表格引自文献[3]。

作用进行分类,以郑直等的分类<sup>[3]</sup>为代表。该分类方法能够反映矿床形成的本质,目前已得到了广泛应用。虽然矿床的形成过程受到多种成矿作用的控制,但必然有主导的成矿作用,因此要避免采用叠加和复合的命名。陶维屏等指出,由于地质背景不同,相同的成矿作用形成的矿床特征有较大差异,如不同原岩的风化残积亚型砂质高岭土矿床,在产状和矿石质量上存在差异<sup>[5]</sup>。鉴于此,很多学者便提出了第二个成因分类体系,即以成矿作用为主,考虑原始成矿物质的分类原则,以陶维屏等的分类<sup>[5]</sup>为典型代表(表 2)。例如,将风化残积亚型砂质高岭土矿床按细粒酸性脉岩、花岗岩-花岗伟晶岩、凝灰岩等进一步分为 3 个类型;热液蚀变亚型高岭土矿床又按照蚀变原岩的不同进一步划分为 3 个类型。该分类方法被较多学者所认同,但由于将原岩划分过细,略显庞杂、烦琐。第三个成因分类体系则是以工业用途划分,再进一步阐明成因为分类原则,以日本努力由吉(Noriyuki Fujii)的分类为代表(表 3)<sup>[6]</sup>。这一分类方法强调矿床的工业用途,对于成因的划分缺乏系统性。

2 高岭土(岩)矿床成因研究进展

20 世纪 80 年代以来,我国高岭土(岩)矿床的找矿勘探进入一个新时期。应用于造纸、涂料等的高岭土矿床找矿勘探取得了重大突破,含煤岩系高岭岩(土)矿床找矿勘探也得到了蓬勃发展,在矿床成因研究方面逐渐取得了许多新的认识。

(1)风化残积亚型砂质高岭土矿床的研究取得新认识。分布于我国东南沿海诸省的风化残积亚型砂质高岭土矿床,是我国重要的高岭土矿床类型,也是我国学者研究得最深入的矿床类型。其成矿母岩是中酸性侵入岩、次火山岩、火山碎屑岩及变质岩等内生地质作用形成的岩石,在大气降水的淋蚀下,岩石中的长石和云母等铝硅酸盐矿物转化形成高

岭石。风化母岩并不局限于内生地质作用形成的岩石。在含煤岩系中,沉积成岩过程所形成的富长石砂(岩),煤层、高岭岩及烧变形成的变高岭岩,也可经风化作用形成高岭土矿床,从而划分出几种风化残积亚型高岭土矿床<sup>[7-11]</sup>。

(2)煤层夹矸及煤层顶、底板高岭岩成矿类型研究取得新突破。20 世纪六七十年代,欧美及苏联多位地质学家将其称为“Tonstein”,以充分的证据论证了部分煤层夹矸及煤层顶、底板高岭岩的原始物质主要来源于降落火山碎屑物质,后经成岩改造(蚀变)形成<sup>[12]</sup>。周义平等研究了我国西南地区上二叠统龙潭组含煤岩系中 20 层降落火山碎屑蚀变高岭岩夹矸<sup>[13]</sup>。其特点是层位稳定,区域分布广泛,但厚度薄,一般仅有几厘米。尽管这些煤层夹矸中高岭石含量高,品质优良,但因层薄而无开采价值。然而,在我国华北石炭纪一二叠纪聚煤盆地北部紧邻内蒙古造山带的大青山煤田、大同煤田、南票煤田等煤层中降落火山碎屑蚀变高岭岩夹矸不仅层位多,分布广,而且厚度大,最厚可达数米,质量优良,成为我国特有的煤系伴生矿产资源,也是我国特有的一种新型高岭岩(土)矿床<sup>[14-15]</sup>。

另外,分布于华北石炭纪一二叠纪煤系中非夹矸型高岭岩(土)矿层,从上至下将其编号为 A、B、C、D、E、F、G 等,并作为耐火黏土矿床勘探与应用,制定出用作耐火材料的高岭岩(土)质量标准。从工艺性能上将其划分为硬质黏土、软质黏土、半软质黏土等矿石类型<sup>[16]</sup>。然而,从矿物组成来说,这些矿石中的主要矿物组分为高岭石。众所周知,矿物组成是划分矿床类型的主要依据,况且随着应用开发的发展,这类高岭岩(土)的用途已不局限于用作耐火材料制品的原料,在陶器、橡胶、塑料等多个领域已得到广泛应用。因此,以矿床的主要矿物组成来划分,应将其划归为高岭土(岩)矿床的一种类型<sup>[17]</sup>。

(3)(热)流体蚀变亚型砂岩型高岭土矿床研究取得新认识。鄂尔多斯盆地东北缘东胜地区中侏罗统延安组顶部富长石砂岩曾短时期暴露地表,经大气降水淋蚀形成长石风化程度较高的砂岩型风化壳,再经油气流体的作用进一步转变为高岭石,形成砂岩型高岭土矿床,故将其称为(热)流体蚀变亚型砂岩型高岭土矿床<sup>[18-19]</sup>。

石油地质非常重视油气储集层孔隙的研究,其中在砂岩储集层中次生孔隙形成有重要贡献的自生高岭石,其形成方式是在油气酸性流体的作用下由

表 2 中国高岭土矿床主要成因类型

Table 2 Main Genetic Types of Kaolin Deposits in China

矿床成因类型	成矿地质背景	主要成矿作用	特征矿物	主要用途	矿床实例
细粒酸性脉岩 风化型高岭 土矿床	母岩为穿插在长石较多的片岩、片麻岩、花岗岩、酸性火山岩中的石英斑岩、花岗斑岩、细晶岩,矿床产于易风化而不易剥蚀的地区	风化残积	无序的自形程度差的不规则片状或蠕虫状高岭石、部分 7 Å 埃洛石、水云母	日用陶瓷及 白水泥工业 原料	福建南安高山、 福建晋江白垵
花岗岩-伟晶 花岗岩风化型 高岭土矿床	母岩为混合岩、中生代花岗岩和伟晶岩,矿床产于地势低平且易风化而不易剥蚀的沿海地区及雨量充沛的内地	风化残积	无序的板状高岭石与 7 Å、10 Å 埃洛石成带状分布,但伟晶岩主要风化成埃洛石	陶瓷及造纸 工业原料	江西景德镇高岭村、 江西九江星子温泉
凝灰岩风化型 高岭土矿床	母岩为酸性熔结凝灰岩,矿床产于易风化而不易剥蚀的地势低平地区	风化残积	无序的假六方片状高岭石和大量水云母	日用陶瓷 工业原料	江西乐平南港、 广东潮州飞天燕
古岩溶剥蚀 面洞穴充填型 高岭土矿床	矿床产于碳酸盐岩古岩溶剥蚀面洞穴中,上部为含有机质或黄铁矿的岩系覆盖,区内无后期火山活动	风化淋积	7 Å 埃洛石及 大量 10 Å 埃洛石	陶瓷工业 原料	四川叙永六拐河、 安徽庐江火龙山
古岩溶剥蚀 面洞穴充填物 蚀变型高岭 土矿床	矿床产于碳酸盐岩古岩溶剥蚀面洞穴中,区内后期火山活动强烈或受轻微的区域变质作用	热液蚀变	有序的晶形完好的高岭石及 7 Å 埃洛石	各类陶瓷、造纸、 搪瓷、橡胶工业 原料,个别可作 工艺雕刻材料	江苏苏州阳东、 陕西略阳白水江
凝灰岩蚀变型 高岭土矿床	层控矿床,产于酸性火山岩系中部靠上,母岩为晶屑凝灰岩,附近次火山岩发育,与叶蜡石矿体伴生	热液蚀变	有序的晶形不完整的高岭石、迪开石、 部分叶蜡石	建筑卫生陶瓷 工业原料、工 艺雕刻材料	江西上饶下高洲、 浙江青田北山
边缘混合岩 蚀变型高岭 土矿床	花岗岩体边缘混合岩化带蚀变产物,上部有石英岩顶盖,矿体斜深延伸 100 m 以上,与花岗岩风化型矿床有别	热液蚀变	埃洛石,以晶形呈完整管状且较粗大而有别于花岗岩风化型矿床	陶瓷、造纸 工业原料	湖南衡阳界牌、 云南临沧马家寨
碎屑建造 沉积型高岭 土矿床	矿床产于河漫滩、湖沼、海湾地段,为附近花岗岩、凝灰岩受风化形成的高岭土矿物经搬运、分选富集或硅铝胶体淀积而成,第四纪未经成岩作用,第四纪前经受过成岩作用	沉积	无序的细小浑圆或假六方片状高岭石、 部分水云母	造纸、陶瓷、 搪瓷、橡胶 工业原料	福建南安康垵、 广西合浦赤江
含煤建造 沉积型高岭 土矿床	矿床产于煤系中,有时为煤层顶、底板,有时位于煤层附近,也有在煤系下部铝土矿层中呈夹层的	沉积	有序到无序的不规则小片状或呈蠕虫状集合体的高岭石	陶瓷及耐火 材料工业 原料	江西乐平吾口街

注:表格引自文献[5]。

长石等原位转化或从富 Si、Al 的流体中结晶而成<sup>[20]</sup>。当高岭石富集到一定程度,就可形成砂岩型高岭土矿床。除此之外,陕甘宁盆地中、东部和塔里木盆地巴楚—麦盖提地区碳酸盐岩储层孔隙、溶孔中的迪开石也是从热流体中沉淀形成的<sup>[21-22]</sup>,含煤岩系中富长石砂岩在富腐植酸的流体作用下能够形成高岭土矿床<sup>[23]</sup>。因此,本次研究提出了(热)流体蚀变亚型砂岩型高岭土矿床的新类型。

(4)球黏土找矿勘探取得进展。上海宝山钢铁厂建设所需的特种耐火材料的结合黏土,促进了我国球黏土找矿勘探工作的开展。在我国广东、广西、吉林、黑龙江等地区古近纪、新近纪、第四纪的沉积

盆地中,找到了质量优良、储量巨大,可与英国、美国等国家的高岭土质量相媲美的球黏土,从而使得我国球黏土在国际上占有重要地位,也丰富了沉积型高岭土这一成因类型的内容<sup>[24-25]</sup>。

### 3 中国高岭土(岩)矿床成因分类

经大量综合分析我国高岭土(岩)矿床成因方面的研究成果,本文提出了中国高岭土(岩)矿床的新成因分类方案(表 4)。从表 4 可以看出,这一分类是以矿床的形成作用为主导,也充分考虑母岩的岩石类型及成矿原始物质来源。为了将各成因类型命名区分开来,本文采用了母岩类型(或成矿原始物质

表 3 努力由吉的分类  
Table 3 Noriyuki Fujii's Classification

商业名称			说明	成因类型	主要矿物组成
耐火黏土	黏土页岩	硬质黏土	非常坚硬的黏土岩	成岩	高岭石
		腐殖质黏土	坚硬到半可塑的底黏土	沉积	高岭石、石英
	木节黏土(Kibushi Clay)		强可塑的底黏土	沉积	高岭石、石英
	蛙目黏土(Gaerome Clay)		带有大量石英的分选伊利石高岭土	沉积	石英、高岭石、埃洛石、长石
	热液蚀变黏土		热液蚀变形成的带色的埃洛石黏土	热液	埃洛石、方英石
高岭土			主要用于制瓷与造纸的高岭质黏土	热液	高岭石、埃洛石、石英
				残余	高岭石、埃洛石、石英
				成岩	埃洛石
蜡石(Rōseki)			蜡状黏土岩	热液	叶蜡石、绢云母、石英、高岭石
陶石(Tōseki)			主要用于制瓷的绢云母-石英岩	热液	石英、绢云母、高岭石

注:热液蚀变黏土是用作耐火材料的埃洛石黏土的暂用名称;表格引自文献[6]。

表 4 中国高岭土(岩)矿床的成因类型  
Table 4 Genetic Type of Kaolin (Rock) Deposits in China

成因类型	成因亚型	矿床类型	矿床实例
风化型(Ⅰ)	风化残积亚型(Ⅰ-1)	风化残积亚型砂质高岭土矿床(Ⅰ-1-a)	湖南衡阳界牌、广西合浦
		风化残积亚型木节土矿床(Ⅰ-1-b)	内蒙古老石旦、山西平朔
		富长石砂(岩)风化残积亚型砂质高岭土矿床(Ⅰ-1-c)	广东茂名
		变高岭岩风化残积亚型水铝英石-埃洛石-高岭土矿床(Ⅰ-1-d)	山西浑源、内蒙古清水河、甘肃华亭
	风化淋积亚型(Ⅰ-2)	风化淋积亚型埃洛石矿床(Ⅰ-2-a)	四川叙永、湖南辰溪、山西阳泉
沉积型(Ⅱ)	沉积亚型(Ⅱ-1)	陆源沉积亚型球黏土矿床(Ⅱ-1-a)	广西南宁、吉林水曲柳
	沉积-成岩亚型(Ⅱ-2)	陆源碎屑及胶体化学沉积成岩亚型高岭岩(土)矿床(Ⅱ-2-a)	辽宁本溪、河北开滦、山东淄博、河南焦作、安徽淮北
		降落火山碎屑沉积成岩亚型高岭岩矿床(Ⅱ-2-b)	内蒙古大青山、山西大同
热液蚀变型(Ⅲ)	热液蚀变亚型(Ⅲ-1)	热液蚀变亚型高岭土矿床(Ⅲ-1-a)	江苏苏州阳西、河北张家口
	现代热泉蚀变亚型(Ⅲ-2)	现代热泉蚀变亚型高岭土矿床(Ⅲ-2-a)	云南腾冲、西藏羊八井
	(热)流体蚀变亚型(Ⅲ-3)	(热)流体蚀变亚型砂岩型高岭土矿床(Ⅲ-3-a)	内蒙古东胜、青海大通
烧变型(Ⅳ)	变高岭岩亚型(Ⅳ-1)	变高岭岩亚型矿床(Ⅳ-1-a)	山西大同、河曲、浑源

来源)＋形成作用＋矿石类型的复合命名原则。如果母岩类型明确或与所形成的矿床有专属性,可省去母岩名称,例如风化残积亚型砂质高岭土矿床,成矿母岩是众所周知的内生地质作用形成的岩石,因此将其省略。尽管不同类型的母岩所形成的矿层产状和矿石质量有所不同,但都具有风化残积亚型高岭土矿床最基本的特征,即风化带的分带性,因此对于不同内生成因的岩石不再细分。为了更好地地区分成因类型,本文采用了一些广为流传的俗语冠名,如风化残积亚型木节土矿床,即高岭土用木节土代替。木节土这一名词源于日本(表 3),专指产于含煤岩系中,主要由高岭石矿物组成,且富含有机质的可塑性高的软质和半软质黏土,可分为黑木节、紫木节和白木节,以紫木节分布最广。风化残积的母岩主要为具有纹层构造的煤层,成因类型的命名省去了母

岩的名称。陆源沉积亚型球黏土矿床也是如此,这里的高岭土由球黏土所代替。球黏土是一个商业名称,是指(富)含有机质的可塑性黏土,以高岭石为主要矿物组分,最早在英国开采,为了便于马车装运,利用其可塑性滚成粗糙的球状而得名。这一术语目前在国际上作为耐火材料的结合黏土被广泛采用。从表 4 还可以看出,风化残积亚型高岭土矿床的成矿母岩可分为 4 个类型:内生地质作用形成的中酸性岩浆岩、火山碎屑岩、变质岩,煤层夹矸和煤层顶、底板高岭岩,富长石的砂(岩)及变高岭岩。郑直等将富长石砂(岩)风化残积亚型砂质高岭土矿床归为沉积型沉积-风化亚型高岭土矿床,这是因为该类型矿床矿层剖面既具有沉积的特征,又具有风化残积的特征<sup>[3]</sup>。本次研究认为陆源沉积形成松散高孔隙度的含砾砂(岩)层只是一种成矿母岩,在大气

降水和有机酸的淋蚀下,陆源沉积的长石、伊利石、云母及碎屑高岭石转化形成砂质高岭土矿床,风化作用是矿床形成的动因,因此将其归属风化残积亚型矿床。

高岭岩在煤层自燃热力作用下形成变高岭岩,严格地说它们并不属于高岭土(岩)矿床。但它们与高岭岩常伴生在一起,是一种可以利用的高岭岩天然熟料。烧变型矿床不属于高岭土(岩)矿床,烧变岩也有多种岩石类型。表4中只列出了变高岭岩亚型矿床,它们是高岭岩在煤层自燃热力作用下烧变而成。在地表风化作用下,变高岭岩亚型矿床可形成水铝英石、埃洛石、高岭石等矿物(床),尽管矿床规模小,但这种循环演变的成因意义远远超过了矿床本身,而且变高岭岩这种天然熟料也是具有多种用途的矿产资源,与高岭岩相伴生,因此将变高岭岩也作为高岭土(岩)矿床一种特殊类型。

风化淋积亚型高岭土矿床在陶维屏等的矿床成因分类中被称为古岩溶剥蚀面洞穴充填型高岭土矿床<sup>[6]</sup>,也有不少研究者采用这一命名术语。郑直等称其为风化淋积亚型矿床<sup>[3]</sup>,本次分类增添了埃洛石,称其为风化淋积亚型埃洛石矿床。这一命名能更确切地体现矿床的形成作用及成矿过程,既有风化淋滤作用,所形成的硅铝溶胶又有短距离迁移和淀积。

通过找矿勘探,沉积亚型球黏土矿床有巨大的资源量,矿石质量可与英国、美国的球黏土相媲美,其用途也不局限于做耐火材料的结合黏土,彰显了这类矿床在高岭土(岩)矿床中的地位。因此,该矿床类型不可忽略。

降落火山碎屑沉积成岩亚型高岭岩矿床,被广泛称为火山灰蚀变高岭岩矿床,是一种独特的矿产资源,应单独列为高岭土(岩)矿床的一个成因类型。将原先用作耐火材料原料的硬质黏土、软质黏土和半软质黏土归属于陆源碎屑及胶体化学沉积成岩亚型高岭岩(土)矿床,不仅增加了高岭土(岩)矿床的一个成因类型,而且也恢复了其原始成因的面貌特征。虽然有学者将煤层夹矸及煤层顶、底板高岭岩作为沉积型含煤地层中高岭石黏土岩亚型矿床,但完全归属于沉积成因欠妥。因此,将含煤岩系中高岭岩划分为陆源碎屑及胶体化学沉积成岩亚型和降落火山碎屑沉积成岩亚型两种成因类型,将含煤岩系中不同原始物质来源的夹矸型和非夹矸型高岭岩纳入沉积成岩统一的成矿作用之下。

(热)流体蚀变亚型砂岩型高岭土矿床目前鲜有

报道,但其地质储量巨大,如鄂尔多斯盆地东胜地区延安组顶部高岭土矿床的地质储量达 $50\times 10^8$  t,但对该高岭土矿床的认识还存在较大分歧。油气流体蚀变形成的含高岭石的砂岩储集层埋藏较深。这一成因类型的矿床有待进一步深入研究。

## 4 结 语

(1)基于我国高岭土(岩)矿床成因研究成果,以形成作用为主,进一步考虑成矿母岩或成矿物质来源的分类原则,将我国高岭土(岩)矿床划分4种成因类型、8个成因亚型和12个矿床类型。矿床类型的命名采用母岩类型(或成矿原始物质来源)+形成作用+矿石类型的复合命名原则。

(2)本文拓展了对风化残积亚型高岭土矿床的认识和矿床类型的划分,按风化母岩的类型划分出内生地质作用形成的中酸性岩浆岩、火山碎屑岩、变质岩,煤层夹矸和煤层顶、底板高岭岩,富长石砂(岩)及变高岭岩4种风化残积亚型高岭土矿床;进一步提出了(热)流体蚀变亚型砂岩型高岭土矿床新类型。

(3)根据主要矿物组成,将华北石炭纪—二叠纪煤系中非夹矸型A、B、C、D、E、F、G等层和我国南方类似的耐火黏土矿床划归为高岭土(岩)矿床,并结合其物质来源,划分为陆源和火山源两种矿床类型。将分布于煤系中夹矸型或非夹矸型高岭土(岩)纳入沉积成岩统一的成矿体系。这类矿床储量特别巨大,彰显了煤系高岭土(岩)矿床在中国高岭土(岩)矿床中的重要地位。全面、系统、合理的高岭土(岩)矿床成因分类对其矿床的成因研究、找矿勘探和开发利用都有重要价值和意义。

在汤中立院士九十华诞来临之际,谨以拙作向汤先生致以最崇高的敬意!汤先生是杰出的矿床学家,“小岩体成(大)矿”理论的创立者,更是我国地质学教育事业的一代宗师!汤先生求真严谨的治学精神、勤勉敬业的工作风格和积极进取的人生态度,深深激励着我们青年科技工作者不断进取。在汤先生的引领下,我们将坚持创新、勇于探索,为国家的科技事业做出更大的贡献!衷心祝愿汤院士身体健康、幸福快乐!

## 参 考 文 献:

## References:

- [1] 吴宇杰,陈从喜,袁峰.中国高岭土矿床时空分布规律[J].地球学报,2021,42(5):628-640.

- WU Yu-jie, CHEN Cong-xi, YUAN Feng. Temporal-spatial Distribution Regularities of Kaolin Deposits in China[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2021, 42(5): 628-640.
- [2] 郑 直, 吕达人, 冯宝华, 等. 中国主要高岭土矿床[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1987.
- ZHENG Zhi, LYU Da-ren, FENG Bao-hua, et al. Major Kaolin Deposits in China[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1987.
- [3] 郑 直, 吕达人, 冯墨林. 中国高岭土矿床[M]//《中国矿床》编委会. 中国矿床(下册). 北京: 地质出版社, 1994.
- ZHENG Zhi, LYU Da-ren, FENG Mo-lin. Kaolin Deposits in China[M]// Editorial Committee of *Mineral Deposits in China*. *Mineral Deposits in China (Part III)*. Beijing: Geological Publishing House, 1994.
- [4] 任磊夫. 黏土矿物和黏土岩[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- REN Lei-fu. Clay Minerals and Clay Rocks[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.
- [5] 陶维屏, 杨雅秀, 陈欣强. 中国高岭土矿床成因类型[C]// 国际交流会议组委会. 国际交流学术论文集 4: 物探与化探. 北京: 地质出版社, 1985: 299-309.
- TAO Wei-ping, YANG Ya-xiu, CHEN Xin-qiang. Genetic Types of Kaolin Deposits in China[C]// Committee of International Exchange Conference. *International Exchange Proceedings*; 4, Geophysical and Geochemical Exploration. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 299-309.
- [6] 陶维屏, 孙 祁, 杨雅秀, 等. 中国高岭土矿床地质学[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1984.
- TAO Wei-ping, SUN Qi, YANG Ya-xiu, et al. *Geology of Kaolin Deposits in China*[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Literature Press, 1984.
- [7] 陈世悦, 李 晋, 陈扬杰, 等. 中国北方某些地区煤系中软质黏土矿床的成因[J]. *中国矿业大学学报*, 1990, 19(3): 85-91.
- CHEN Shi-yue, LI Jin, CHEN Yang-jie, et al. The Origin of Soft-clay Deposits in Coal-bearing Strata in Some Areas of Northern China[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 1990, 19(3): 85-91.
- [8] 周国平, 林毓川. 沉积-风化型高岭土矿床及其特征[J]. *矿床地质*, 1991, 10(3): 272-282.
- ZHOU Guo-ping, LIN Yu-chuan. Sedimentary-weathering Type Kaolin Deposits and Their Characteristics[J]. *Mineral Deposits*, 1991, 10(3): 272-282.
- [9] 王惠民. 大磁窑高岭石-水铝英石黏土矿床地质特征及成因的初步探讨[J]. *山西地质科技*, 1984(3): 5-17.
- WANG Hui-min. Preliminary Study on Geological Characteristics and Genesis of Daciyao Kaolinite-hydroaluminite Clay Deposit[J]. *Shanxi Geological Science and Technology*, 1984(3): 5-17.
- [10] 庄志学. 准格尔旗东部清水河一带高岭石矿层[C]//《河北陶瓷》编辑部. 华北陶瓷原料文集. 唐山: 唐山工业职业技术学院, 1985: 29-32.
- ZHUANG Zhi-xue. Kaolinite Deposit in Qingshuihe Area, East of Junge Banner[C]// Editorial Department of *Hebei Ceramics*. North China Ceramic Raw Materials Collection. Tangshan: Tangshan Polytechnic College, 1985: 29-32.
- [11] 陈扬杰. 华亭安口高岭土的成因探讨[J]. *岩石学报*, 1993, 9(增): 207-213.
- CHEN Yang-jie. Discussion on the Genesis of Kaolin in Ankou, Huating[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1993, 9(S): 207-213.
- [12] 周义平. 煤系黏土岩夹矸译文集[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- ZHOU Yi-ping. Collection of Coal Measures Clay Rock Waste[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.
- [13] 周义平, BURGER K, 汤大忠. 中国西南地区晚二叠世含煤岩系中黏土岩夹矸(Tonsteins)研究新进展[J]. *云南地质*, 1988, 7(3): 213-227.
- ZHOU Yi-ping, BURGER K, TANG Da-zhong. Recent Progress in the Study of Clay Rock Tonsteins in Late Permian Coal-bearing Rock Series in Southwest China[J]. *Yunnan Geology*, 1988, 7(3): 213-227.
- [14] 冯宝华. 我国北方石炭—二叠纪火山灰沉积水解改造而成的高岭岩[J]. *沉积学报*, 1989, 7(1): 101-108.
- FENG Bao-hua. Carboniferous-Permian Tonsteins Formed by Hydrolytic Reformation of Volcanic Ash Sediments in Northern China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1989, 7(1): 101-108.
- [15] 梁绍暹, 王水利, 姚改焕. 华北聚煤区火山灰蚀变黏土岩夹矸的研究[J]. *中国煤田地质*, 1995, 7(1): 59-63.
- LIANG Shao-xian, WANG Shui-li, YAO Gai-huan. Study of Synsedimentary Volcanic-ash-derived Clay-rock Bands in Carboniferous-Permian Coal-bearing Formation of North China[J]. *Coal Geology of China*, 1995, 7(1): 59-63.
- [16] 林正欣. 耐火黏土[M]// 陶维屏. 中国工业矿物和岩石(上册). 北京: 地质出版社, 1987: 218-246.
- LIN Zheng-xin. Fireclay[M]// TAO Wei-ping. *Industrial Minerals and Rocks in China (Part I)*. Beijing:

- Geological Publishing House,1987:218-246.
- [17] 扬晓杰,刘钦甫.淮南煤田颍凤区二叠系下石盒子组高岭岩矿床成矿机理的探讨[J].建材地质,1995(1):15-21.
- YANG Xiao-jie, LIU Qin-fu. Discussion on Metallogenic Mechanism of Kaolinite Deposit of Permian Lower Shihezi Formation in Yingfeng District, Huainan Coalfield[J]. Building Materials Geology, 1995(1):15-21.
- [18] 马艳萍,刘池阳.盆地东北部天然气耗散与砂岩漂白现象[M]//刘池阳,吴柏林.油气煤铀同盆共存成藏(矿)机理及富集分布规律(上册).北京:科学出版社,2016:465-499.
- MA Yan-ping, LIU Chi-yang. Natural Gas Dissipation and Sandstone Bleaching in Northeast Basin[M]//LIU Chi-yang, WU Bo-lin. Mechanism of Accumulation and Distribution of Hydrocarbon, Coal and Uranium Co-existing with Basin(Volume 1). Beijing: Science Press, 2016:465-499.
- [19] 张 龙,刘池阳,雷开宇,等.鄂尔多斯盆地东北部侏罗纪延安组漂白砂岩成因及古风化壳形成环境探讨[J].地质学报,2017,91(6):1345-1359.
- ZHANG Long, LIU Chi-yang, LEI Kai-yu, et al. White Bleached Sandstone Genesis and Paleo-weathered Crust Forming Environment of the Jurassic Yanan Formation in the Northeastern Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2017, 91(6):1345-1359.
- [20] 曹 剑,张义杰,胡文瑄,等.油气储层自生高岭石发育特点及对物性的影响[J].矿物学报,2005,25(4):367-373.
- CAO Jian, ZHANG Yi-jie, HU Wen-xuan, et al. Developing Characteristics of Kaolinite in Central Junggar Basin and Their Effect on the Reservoir Quality[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2005, 25(4):367-373.
- [21] 伏美燕,张峭楠,胡 伟.碳酸盐岩中迪开石的分布特征及其成因[J].沉积学报,2012,30(2):310-317.
- FU Mei-yan, ZHANG Shao-nan, HU Wei. The Distribution and Origin of Dickite in Carbonate[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(2):310-317.
- [22] 赵杏媛,王经科,王晓方.陕甘宁盆地奥陶系风化壳粘土矿物[J].天然气地球科学,1995,6(2):9-13.
- ZHAO Xing-yuan, WANG Jing-ke, WANG Xiao-fang. Weathered Crustal Clay Minerals of the Ordovician of the Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 1995, 6(2):9-13.
- [23] 李焕英,张发德,成永芹.喜鹊岭砂质高岭土矿床特征及其利用方向[J].青海地质,1998(1):55-59.
- LI Huan-ying, ZHANG Fa-de, CHENG Yong-qin. Geological Features of Xiquelin Sandy Kaolin Deposit and Its Utilization[J]. Qinghai Geology, 1998(1):55-59.
- [24] 刘长龄,刘钦甫,李生才.广西南宁地区所产世界级球粘土的矿床特征与合理开发利用[J].中国地质,2004,31(2):199-205.
- LIU Chang-ling, LIU Qin-fu, LI Sheng-cai. Characteristics and Rational Development and Utilization of a World-class Ball Clay Deposit in the Nanning Area, Guangxi[J]. Geology in China, 2004, 31(2):199-205.
- [25] 刘长龄,陈新邦.东北地区球黏土的地质特征和成矿条件[J].地质找矿论丛,2004,19(4):243-251.
- LIU Chang-ling, CHEN Xin-bang. Geological Feature and Ore-forming Condition for Ball Clay in the Northeast China[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2004, 19(4):243-251.