

我国煤系高岭土应用现状研究与展望

陈漫, 陈肖汀, 黄腾, 骆春龙, 刘才鹏, 李盟

(西南科技大学环境与资源学院, 固体废弃物处理与资源化教育部重点实验室,
四川 绵阳 621010)

摘要: 煤系高岭土 (coal series kaolinite 简称 CK) 是煤炭生产和加工过程中产出的工业固体废弃物, 因其煅烧土质地纯净、耐磨性好、白度高等优点, 也是作为新型陶瓷、高端造纸、高级涂料等不可或缺的原料。我国是高岭土产出大国, 煤系高岭土储量位居世界第一, 如何开展高效利用便成为我们亟需重视和解决的问题。本文对煤系高岭土简介、主要分布、常见应用及其主要加工工艺和未来发展进行了概述; 通过全面详细的介绍, 进一步推进煤系高岭土创新性研究和应用。

关键词: 煤系高岭土; 加工工艺; 应用现状; 研究展望

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.06.002

中图分类号: TD95 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 06-0011-06

高岭土是一种重要的非金属矿产^[1], 与云母、石英、碳酸钙并称为四大非金属矿。高岭土理想的化学式为 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, 主要矿物有高岭土和多水高岭土, 还有其他矿物如蒙脱石、叶腊石、伊利石等伴生。煤系高岭土又称煤矸石^[2], 作为含煤沉积岩层的共生伴生矿物, 一般呈灰色或黑色, 其高岭石含量通常可达到 70%, 多为块状结构或蠕虫状晶体隐晶质结构, 结晶有序度高, 这种高岭土与煤层具有一定的成因关系, 一般厚度可达 0.3~0.5 m^[3]。通过煅烧高岭土和煤系高岭土除去煤等含碳杂质, 能够获得煅烧高岭土。

1 煤系高岭土的主要分布

目前, 位于我国的高岭土矿点多达 700 多处, 储量特别丰富, 通过对其 200 多处矿点进行探明得知高岭土储量约 30 亿 t, 但矿点分布比较散。其中煤系高岭土的 2018 年探明储量有 19.66 亿 t, 它们主要分布在我国西北和东北的石炭—二叠纪煤系中, 存在形式是以煤层中夹矸、顶底板或单独矿层^[4]。

国内的煤系高岭土具有分布面广、储量多的特点, 主要赋存在石炭纪、二叠纪、三叠纪、侏罗纪等煤系地层中。典型矿石类型及分布见表 1^[5]。

表 1 矿石的分类
Table 1 Classification of ore

矿石类型	分布地区	分布地层	厚度	稳定性
硬质大同砂石型高岭土	山西大同、雁北, 内蒙古海勃湾、乌达, 陕西, 宁夏等	1~4 层黑色硬质高岭土	0.1~1.1 m, 局部厚度可达到 1.6 m	在数千平方公里范围内十分稳定
硬质焦宝石型高岭土	江苏徐州、安徽淮北、山东临沂、辽宁南票等	自上而下共 7 层, 呈层状或似层状	厚度 2~10 m 不等	较稳定
软质、半软质高岭土	甘肃华亭煤田为侏罗纪	1~3 层	一般厚 1~3 m, 分布面积达数百平方公里	相对稳定
软质高岭土	云南小龙潭、昭通煤田广东茂名, 海南文昌、长坡, 广西等	1~4 层	厚 1~3 m	不太稳定

收稿日期: 2021-12-21

作者简介: 陈漫 (1999-), 女, 主要研究方向为非金属材料。

2 煤系高岭土应用现状及工艺

2.1 造纸工业

造纸工业的发展是衡量一个国家现代化水平高低的重要标志之一^[6]，近年来我国造纸工业正以每年 15% 的速度递增。相较于钛白粉，煅烧高岭土无论是油墨吸收性、遮盖率

以及价格都更具优势，完全可以代替昂贵的钛白粉，尤其适合高速刮刀涂布机使用^[7]。孙涛等^[8]通过研究比表面积与吸油性能发现，煅烧温度低于 800℃ 时高岭土平均孔径较小，比表面积较大，煅烧温度高于 800℃ 后高岭土微孔开始发生闭塞，平均孔径增大，导致比表面积下降，影响了煅烧高岭土的吸油性，其吸油性在 750℃ 时最优，吸油性能的提高可大大加快高岭土在高档涂布纸中的应用。

2.2 涂料工业

高岭土也是涂料工业的一种添加剂，它通过降低涂料的粘稠度、减慢沉降速度、提高流平和附着性能来体现^[9]。高岭土可以改善涂料贮存稳定性、涂层的抗浮色和发花性等。涂料在性能和耐久性等方面有着很多严格的要求，而作为添加剂的高岭土恰好可以满足这些要求^[10]。现在愈发重要的环境问题，让涂料工业开始寻找替代品，出现了许多新型涂料，如粉末涂料^[11]、水性涂料^[12]、高固涂料^[13]和辐射涂料^[14]都使得高岭土的需求持续增加。

2.3 生产水玻璃及白炭黑

在用煤系高岭土为原料生产硫酸铝、氯化铝等铝盐过程中，会产生大量以化学成分 SiO_2 为主的残渣，用烧碱溶解酸浸后的残渣，再过滤残渣，除去不溶于碱的物质，就制得了硅酸钠溶液^[15]。白炭黑由加入电解质的硅酸钠溶液，采用稀硫酸或盐酸处理得到的沉淀物，经过滤、洗涤、干燥等一系列操作制得^[16]。冯臻^[17]按 1:3.5 的质量比，将在 500℃ 中煅烧 45 min 高岭土与 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 反应后，所含的铝形成硫酸铝铵，再使用 5% 的 H_2SO_4 处理所得的硫酸铝铵沉淀物等杂质，最后经过过滤干燥操作得到白炭黑。用煤系高岭土制备白炭黑是一种环境友好型和经济型的方法，但仍存在以下问题：①不同煤系废弃物的活化条件和性能的控制；②为了降低白炭黑品质的影响，如何高效地除去原料中的 Al、Fe 元

素；③Si 元素提取的同时，含 Al 废液在开发新型产品方面的应用；④如何进一步的将工艺流程简化，降低能耗，进一步提高白炭黑的品质等^[8]。

2.4 农用塑料薄膜

高岭土作为塑料添加剂已有很长历史。7~25 μm 向外辐射的红外光占夜晚地球表面向大气层散发的热量的 90%，而煤系煅烧高岭土对波长为 7~25 μm 的红外光辐射有很好的阻隔效果。煅烧高岭土、滑石和母在塑料薄膜中使用，它们阻隔红外光的作用，能使塑料大棚的保温性提高^[18]。铁刚^[19]等人发现煅烧高岭土添加到农用塑料棚膜可大幅度提高红外光阻隔能力，从而提高棚膜保温性，添加 3% 煅烧煤系高岭土的 0.1 mm 厚棚膜红外光阻隔率达到 88% 以上，这有效的提高了夜间棚内温度，促使农作物早发芽、早成熟，使得寒冷地区农作物的生长周期大大减少。

2.5 橡胶工业

橡胶制品中，为了确保制品性能优越和胶料质地均匀，必须提高胶料中的各种配合剂分散程度^[20]。改性煅烧高岭土容易被胶料湿润，且吃粉较快，能起到补强的效果，改善生产工艺和产品的力学性能等，与胶料的表面极性正好相近。李汉弘^[21]等人在研究川南高岭石型铁尾矿大宗量高效利用技术研发中发现煅烧高岭土经粉磨（ $d \approx 2 \mu\text{m}$ ），硅烷偶联剂改性（用量为煅烧高岭土质量的 1.5%）后所得的表面改性高岭土，可作 EPDM 橡胶（三元乙丙橡胶）的填充剂。

普通的改性煅烧高岭土也能起到不低于半补强^[22]的效果，物质分散与交联程度，提高加工性能等有利于在橡胶中应用的性质。同时可增大它的填充量，这将利于煅烧高岭土的应用性和降低成本。

2.6 固体聚合氯化铝生产工艺

聚合氯化铝是一种无机高分子絮凝剂^[23]，广泛应用于污水处理及化妆品等领域，具有效率高、成本低、无环境污染，对人体无害等优点。传统聚合氯化铝由铝灰、金属铝和氢氧化铝制备而成。因铝灰含有重金属有毒杂质、金属铝和氢氧化铝原料来源有限，聚合氯化铝的制备受到了限制。煤系高岭土生产聚合氯化铝可提高产品质量^[24]，降低成本，对环境有益，具有良好的效益。崔莉^[25]将煤系高岭土一次粉磨至 0~8 mm 后

进行焙烧，使其脱水脱碳，形成无数的微孔，从而具有很大的表面活性，提高浸出率和溶出强度。焙烧后需再次粉磨，采用20%浓度的盐酸进行酸浸制取聚合氯化铝，在反应釜中加入配制的溶液并启动搅拌，按比例加入熟料高岭土，通入蒸汽加热升温，浸出1~1.5 h后加入调解剂调节pH值和浓度，调节后放出反应料液沉淀，除去杂质，将其干燥成固体产品。此生产工艺流程短，产品质量高，同时能降低成本，提高了资源利用率，达到变废为宝。

2.7 重选脱碳除杂工艺

煤系高岭土中含有一定量的有机碳，它会影响到产品的质量与工艺性能，故对煤系高岭土进行脱碳实验尤为关键，袁小会等^[26]提出利用催化燃烧的方法，在低温条件对煤系高岭土进行脱碳处理。由于煤系高岭土含碳量程度差异较大，故可采取重力分选进行脱碳分选后所得+2.0 g/cm，沉物烧失量为19.93%，相比原高岭土的35.73%显著下降，脱碳效果显著。

2.8 合成堇青石工艺

堇青石是一种硅酸盐矿物，通常呈无色，玻璃光泽，具有明显的多色性^[27]，即在不同的方向上发出不同颜色的光线。由于堇青石自然界含量较少，但其工艺性能良好且作用范围较为广泛，可作为堇青石陶瓷催化分解臭氧性能及其作为其他晶体的原料，赵军等^[28]以煤系高岭土等合成堇青石，同时加入镁砂与滑石，在高温下烧成，其最佳烧成温度为1340℃，堇青石的含量可达到90%。

3 煤系高岭土相关前沿性研究现状

3.1 粒度对高岭土的影响研究

张熬等^[29]利用内蒙古清河水地区煤系高岭土为原料，对不同粒度的高岭土晶体的结构参数、热演化行为和微观形貌使用XRD、FT-IR、Ramanspectra、SEM等分析手段进行了测试研究。其结果证明了随着高岭石颗粒粒度的减小，高岭石诸多性质也随之改变，高岭石的片层结构随粒度的降低而松散，片层间也表现出边缘-边缘和边缘面的接触；同时当颗粒粒径减小时，它的比表面积会增大，内能量在单位时间的传递速率提高，高岭石的脱羟基失重会有增加的趋势，同时，最大失重速率温度逐渐降低。

3.2 煤系高岭土的表面改性

煤系高岭土表面改性主要用来改善煤系高岭土和聚合物分子的亲和性^[30]，提高其应用性能。煤系高岭土在橡胶填充剂和塑料工业补强剂^[31]中被大量使用，为提高高分子材料的相容性和结合力，往往需要对煤系高岭土粉体表面进行改性。高岭石表面改性机理主要是通过其表面羟基与偶联剂分子的水解基团形成氢键缩合。在550℃的煅烧温度下，高岭土晶体结构中的羟基几乎全部脱失，从而也改变了其内部结构。

3.3 煤系高岭土煅烧和微生物提质研究

结合煅烧和微生物的方法对煤系高岭土进行提质实验，使用辽宁凌源煤系高岭土作为原料，结合矿物组成、扫描电镜分析得出其主要杂质是碳和铁，然后通过煅烧的方法去除原矿中的碳质^[32]。实验结果表明，当煅烧温度达到950℃、恒温时间2.5 h、升温时间3 h时煅烧白度可达86.66%，最后结合生物产出的混合酸设计正交实验去除铁杂质，煅烧白度在较佳实验条件下可以达到89.25%，符合高级煅烧高岭土的质量要求。

4 煤系高岭土生产关键技术

4.1 综合除杂提纯技术

目前，大部分煤系高岭土中的杂质以铁、钛为主，且杂质含量越高，其白度越低。根据煤系高岭土与杂质矿物磁性、活性和密度的不同，可分别采用物理、化学、电解和微生物等方法去除原矿中的含铁含钛杂质。段峰等^[33]利用煤系高岭土（2.6 g/cm³左右）和含铁含钛杂质（3.4~3.8 g/cm³）之间的密度差在充分分散和一定浓度下使用重选分离。化学除杂法则是采用氧化-还原^[34]漂白方法除去部分铁杂质，使用化学除铁法，不但能有效降低以胶状和纤维状包藏存在于高岭土中的铁杂质，而且不会破坏高岭土结构。微生物除铁是利用发酵产物或微生物发酵将难溶的铁变成易溶的铁，从而达到除铁目的的方法^[35]。

4.2 超细粉碎技术

进行超细粉碎，将物料粒度加工到微米级或亚微米级，才能满足超煅烧高岭土产品性能的要求。高岭土超微细化的方法主要有干法超细化^[36]、湿法超细化^[37]、干湿混合法与纳米化法^[38]四种。

4.3 煅烧高岭土

因为我国的煤系高岭土主要矿物为高岭石,且普遍高品位、质量好。若存在有机质和固定碳等杂质,往往会影响到其白度。高岭土主要应用于造纸、陶瓷行业,低白度也极大的限制了高岭土的广泛应用。影响煅烧产品白度的主要因素有原料质量、时间、煅烧温度和气氛,其中煅烧气氛控制最为重要。传统工艺技术一般采用还原气氛静态煅烧^[9]和氧化法,对原料中的铁钛含量要求严格($\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0.5\%$, $\text{TiO}_2 \leq 0.8\%$)。

5 煤系高岭土的发展前景及建议

我国虽然是矿产资源大国,但人均资源远低于世界平均,加上近几十年来的大范围开采,我国的矿产利用开发已经趋于低品位、难开采阶段。煤系高岭土作为我国独有的且资源充足的非金属矿之一,再加上煤系高岭土在造纸、陶瓷等诸多行业的应用和我国近年来的环保要求,煤系高岭土的发展前景必将是一片大好。

传统的煤系高岭土应用主要在造纸、陶瓷等行业中作为填料使用,而经过表面改性后的煤系高岭土,其各方面性能更优于原矿,同时形成了具有代表性的生产工艺,如淮北矿业集团利用煤系高岭土合成固体聚合氯化铝,具有良好的经济效益和社会效益。未来的煤系高岭土的发展前景必将趋向深加工和超细化。通过对煤系高岭土有关性质的不断研究,如煤系高岭土的开采技术、表面改性、综合除杂提杂,超细粉碎等,符合需求的高级煅烧高岭土的生产更为容易,煤系高岭土的应用市场也变得更为广阔。对煤系高岭土的应用不仅带来了大量的对社会生产和人类活动有益的产品,同时也符合我国发展的理念,实现了资源的循环利用,做到了变废为宝。

参考文献:

[1] Nelson I, Benjamin, Boqiang Lin. Influencing factors on electricity demand in Chinese nonmetallic mineral product, industry A quantile perspective[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 234:1-9.
 [2] 刘玉海,李海明.四川某煤系高岭土工艺矿物学研究[J]. *矿产综合利用*, 2019(4):94-97.
 LIU Y H, LI H M. Study on process mineralogy of coal-series kaolin from Sichuan[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral*

Resources, 2019(4):94-97.

[3] 李宝智,王文利.煤系煅烧高岭土表面改性及在高分子制品中的应用[J]. *非金属矿*, 2005(S1):49-51.
 LI B Z, WANG W L. Surface modification of calcined coal series kaolin and its application in polymer products[J]. *Non metallic Mine*, 2005(S1):49-51.
 [4] 郑孟林,王毅,金之钧,等.塔里木盆地叠合演化与油气聚集[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(6):925-934.
 ZHENG M L, WANG Y, JIN Z J, et al. Superimposed evolution and hydrocarbon accumulation of Tarim Basin[J]. *Petroleum and Natural Gas Geology*, 2014, 35(6):925-934.
 [5] 任瑞晨,陈康,李成龙,等.煤泥伴生高岭土提纯与增白试验研究[J]. *非金属矿*, 2017, 40(2):55-58.
 REN R C, CHEN K, LI C L, et al. Experimental study on purification and whitening of coal slime associated kaolin[J]. *Non metallic mineral*, 2017, 40(2):55-58.
 [6] 许英,臧永华,任景慧.颜料涂布对再生箱纸板性能的影响[J]. *中华纸业*, 2011, 32(24):17-21.
 XU Y, ZANG Y H, REN J H. Effect of pigment coating on properties of recycled cardboard[J]. *Zhonghua Paper*, 2011, 32(24):17-21.
 [7] 唐靖炎,张韬.中国煤系高岭土加工利用现状与发展[J]. *新材料产业*, 2009(3):60-63.
 TANG J Y, ZHANG T. The present situation and development of coal series kaolin processing and utilization in China[J]. *New Material Industry*, 2009(3):60-63.
 [8] 孙涛,陈洁瑜,周春宇,等.煅烧高岭土的比表面积与吸油性能[J]. *硅酸盐学报*, 2013, 41(5):685-690.
 SUN T, CHEN J Y, ZHOU C Y, et al. Specific surface area and oil absorption property of calcined kaolin clay[J]. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 2013, 41(5):685-690.
 [9] Cunchuan Zheng, Haoran Fu, Chaozong Yan, et al. Preparation and mechanism of hyperbranched heavy oil viscosity reducer[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2000.
 [10] 宋海峰,陶灿,许戈文,等.高岭土改性水性聚氨酯乳液的合成及表征[J]. *涂料工业*, 2015, 45(2):28-34.
 SONG H F, TAO C, XU G W, et al. Synthesis and characterization of kaolin modified waterborne polyurethane lotion[J]. *Paint Industry*, 2015, 45(2):28-34.
 [11] Wei Liu, Haiping Zhang, Yuanyuan Shao, et al. Preparation of aluminium metallic pigmented powder coatings with high color stability using a novel method: Microwave bonding[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2020, 147:1-8.
 [12] 林莉萍.水性涂料[J]. *新技术新工艺*, 2001, 12:34-36.
 LIN L P. Waterborne paint[J]. *New technology and process*,

- 2001, 12:34-36.
- [13] 刘慧枫. 新型流变改性剂改善高固含量涂料的流变性[J]. *中华纸业*, 2010, 31(6):34-37.
- LIU H F. A new rheological modifier can improve the rheological property of high solid content coatings[J]. *China Paper*, 2010, 31(6):34-37.
- [14] 张娟, 王秋娣, 蒋晨, 等. 核电厂用耐辐射涂料的制备与性能[J]. *现代涂料与涂装*, 2012, 15(8):27-30.
- ZHANG J, WANG Q D, JIANG C, et al. Preparation and performance of radiation resistant coatings for nuclear power plants[J]. *Modern Coatings and Painting*, 2012, 15(8):27-30.
- [15] 孙红娟, 宋鹏程, 彭同江, 等. 硫酸氢铵与石棉尾矿混合焙烧浸取 MgO 过程分析[J]. *岩石矿物学杂志*, 2015, 34(6):853-859.
- SUN H J, SONG P C, PENG T J, et al. Analysis of MgO extraction process by mixed roasting of ammonium bisulfate and asbestos tailings[J]. *Journal of Rock Mineralogy*, 2015, 34(6):853-859.
- [16] 韩磊, 祝培旺, 戴华, 等. 煤灰酸浸渣碳分法制备纳米白炭黑的试验研究[J]. *材料导报*, 2015, 29(16): 106-110+114.
- HAN L, ZHU P W, DAI H, et al. Experimental study on preparation of nanometer white carbon black from acid leaching residue of coal ash[J]. *Material Guide*, 2015, 29 (16): 106-110+114.
- [17] 冯臻. 以煤矸石为原料制备铝盐和白炭黑[J]. *煤炭加工与综合利用*, 2005(5):32-33.
- FENG Z. Preparation of aluminum salt and white carbon black from coal gangue[J]. *Coal Processing and Comprehensive Utilization*, 2005(5):32-33.
- [18] 景江, 谷晓昱, 张胜, 等. 高反射近红外隔热薄膜的制备与研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 38(6):1708-1711.
- JING J, GU X Y, ZHANG S, et al. Preparation and research of high reflection near-infrared thermal insulation film[J]. *Spectroscopy and spectral analysis*, 2018, 38(6):1708-1711.
- [19] 铁刚, 祖吉喆, 王瑞军. 煅烧高岭土在多功能棚膜中的应用研究[J]. *科技创新与应用*, 2014(27):9-10.
- TIE G, ZU J Z, WANG R J. Research on the application of calcined kaolin in multi-functional greenhouse film[J]. *Scientific and technological innovation and application*, 2014(27):9-10.
- [20] Kai Luo, Bin Hu, Zhi-Hong Guan, et al. Distributed coordination of multi-agent systems for neutralizing unknown threats based on a mixed coverage-tracking metric[J]. *Journal of the Franklin Institute*, 2020, 18:47.
- [21] 李汉弘. 川南高岭石型硫铁矿大宗量高效利用技术研发[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2017.
- LI H H. Research and development of large volume and efficient utilization technology of kaolinite pyrite tailing in southern Sichuan [D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2017.
- [22] Xianwei Zhao , Meichun Ding , Chongzhi Xu, et al. A self-reinforcing strategy enables the intimate interface for anisotropic alginate composite hydrogels[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 251:1-8.
- [23] 杨开吉, 姚春丽. 高分子复合絮凝剂作用机理及在废水处理中应用的研究进展[J]. *中国造纸*, 2019, 38(12):65-71.
- YANG K J, YAO C L. Research progress on the action mechanism of polymer composite flocculants and their application in wastewater treatment[J]. *China Paper*, 2019, 38(12):65-71.
- [24] 漆智鹏. 高岭土制取聚合氯化铝工艺研究——废渣综合利用[D]. 南京: 南京林业大学, 2010.
- QI Z P. Study on the process of preparing polyaluminum chloride from kaolin -- comprehensive utilization of waste residue [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2010.
- [25] 崔莉. 煤矸石综合利用制备聚合氯化铝絮凝剂的研究[D]. 太原: 山西大学, 2009.
- CUI L. Study on preparation of polyaluminum chloride flocculant by comprehensive utilization of coal gangue [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2009.
- [26] 袁小会, 谢洪波, 李凯琦, 等. 煤系高岭土低温煅烧和快速脱碳技术研究[J]. *非金属矿*, 2004, 27(3):1-2+22.
- YUAN X L, XIE H B, LI K Q, et al. Study on low temperature calcination and rapid decarburization technology of coal series kaolin[J]. *Nonmetallic ores*, 2004, 27(3):1-2+22.
- [27] 郭雪飞. 硅酸盐类宝石矿物的近红外光谱研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2019.
- GUO X F. Near infrared spectroscopy study of silicate gem minerals [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2019.
- [28] 赵军, 王宏联, 薛群虎, 等. 煤系高岭土合成堇青石工艺研究[J]. *非金属矿*, 2007(1):17-19.
- ZHAO J WANG H L, XUE Q H, et al. Research on cordierite synthesis process from coal series kaolin[J]. *Nonmetallic Minerals*, 2007(1):17-19.
- [29] 张熬, 亢浪浪, 张印民, 等. 高岭石粒度对其晶体结构和热演化行为的影响研究[J]. *硅酸盐通报*, 2019, 38(12):3964-3971.
- ZHANG A, KANG L L, ZHANG Y M. Study on the influence of kaolinite grain size on its crystal structure and thermal evolution behavior[J]. *Silicate Bulletin*, 2019, 38(12):3964-3971.

- [30] 刘敏敏. 分子印迹聚合物的分子设计及优化[J]. 河北化工, 2008(7):20-22.
- LIU M M. Molecular design and optimization of molecularly imprinted polymers[J]. Hebei Chemical Industry, 2008(7):20-22.
- [31] 尹峰. 煤系高岭土包膜改性机理及技术试验研究[J]. 矿业研究与开发, 2004(5):52-54.
- YIN F. Experimental study on mechanism and technology of coating modification of coal series kaolin[J]. Mining Research and Development, 2004(5):52-54.
- [32] 张帅, 刘钦甫, 程宏飞, 等. 我国煤系高岭土的研究进展[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2012(3):4-6+35.
- ZHANG S, LIU Q F, CHENG H F, et al. Research progress of coal series kaolin in China[J]. China Nonmetallic Mineral Industry Guide, 2012(3):4-6+35.
- [33] 段锋, 马爱琼, 肖国庆. Al_2O_3/SiO_2 比和煅烧温度对煤系高岭土物理性能与显微结构的影响[J]. 硅酸盐通报, 2013, 32(8):1614-1619.
- DUAN F, MA A Q, XIAO G Q. Effect of Al_2O_3/SiO_2 ratio and calcination temperature on physical properties and microstructure of coal series kaolin[J]. Silicate Bulletin, 2013, 32(8):1614-1619.
- [34] Jiri Zita, Josef Krysa. Andrew Mills Correlation of oxidative and reductive dye bleaching on TiO_2 photocatalyst films[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2009, 2(3):119-124.
- [35] 赵辉, 王瑞. 煤系高岭土除铁技术研究进展[J]. 煤炭与化工, 2018, 41(12):133-136.
- ZHAO H, WANG R. Research progress of iron removal technology from coal series kaolin[J]. Coal and Chemical Industry, 2018, 41(12):133-136.
- [36] 刘彩兵, 盛勇, 涂铭旌. 三七的超细化及纳米化研究[J]. 食品科技, 2004(11):21-24.
- LIU C B, SHENG Y, TU M J. Study on the Ultrafine and Nanometer of Panax notoginseng[J]. Food Science and Technology, 2004(11):21-24.
- [37] 林海, 陈秀枝, 松全元, 等. 煤系煅烧高岭土颗粒湿法超细化过程的机械力化学效应[J]. 中国矿业, 1998(5):54-57.
- LIN H, CHEN X Z, SONG Q Y, et al. Mechanochemical effect of wet ultrafine process of calcined kaolin particles from coal measures[J]. China Mining, 1998(5):54-57.
- [38] 刘万洲, 霍秀春, 董云芸, 等. 不同气氛下热处理对 CO 甲烷化催化剂性能的影响[J]. 化学工程与装备, 2018(11):59-62.
- LIU W Z, HUO X C, DONG Y Y, et al. Effect of heat treatment in different atmospheres on the performance of CO methanation catalyst[J]. Chemical Engineering and Equipment, 2018(11):59-62.
- [39] 贾敏, 杨磊. 煤矸石煅烧活化提取氧化铝技术研究[J]. 矿产综合利用, 2020(2):140-144.
- JIA M, YANG L. Study on technology of alumina extraction from coal gangue activated by calcination[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(2):140-144.

Application Status of Coal Series Kaolin in China

Chen Man, Chen Xiaoting, Huang Teng, Luo Chunlong, Liu Caipeng, Li Meng
(School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Key Laboratory of Waste Treatment and Resource Recycle, Southwest University of Science and Technology, Ministry of Education, Mianyang, Sichuan, China)

Abstract: Coal Series Kaolinite (CK) is the industrial solid waste produced in coal mining and processing. CK is an indispensable raw material for new ceramics, high-end paper and advanced coatings, attribute to its advantages of pure soil quality, good wear resistance and high whiteness. China is a major kaolin producer, the coal-series kaolin reserves rank first in the world, and we need to pay attention to and solve how to effectively research and use these resources. Therefore, the introduction, main distribution, common application, main processing technology and development trend of CK are summarized. Through the comprehensive and detailed introduction, the innovative research and application of CK will be promoted.

Keywords: Coal measure kaolin; Processing technology; Application status; Research prospect