

矿业领域膨润土应用的研究进展

郑长文, 管俊芳, 郑佳敏, 魏晨曦, 郭争争, 陈菲, 王飞

(武汉理工大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 论文从铸造工业、石油钻井工业、冶金工业和处理矿山废水四个方面综述了近十年来膨润土在矿业领域中的应用, 分析了膨润土在矿业领域应用的技术特点, 对比了膨润土在矿业领域应用的国内外差异, 指出我国膨润土在矿业领域应用中存在的问题。

关键词: 矿业领域; 膨润土; 研究进展

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.03.004

中图分类号: TD 875+5 文献标识码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 03-0022-06

近十年以来, 随着科技的发展及对膨润土的深入研究, 膨润土加工的新产品和新工艺不断产生, 其应用领域也更加广泛。

膨润土在矿业领域中应用的最大市场为铸造、冶金球团和钻井泥浆领域。从近十年的应用来看, 国外膨润土在这三个领域的应用相差不多, 而国内膨润土在矿业领域的最大应用为铁矿球团领域, 约占国内膨润土产品的 51%。在矿业环保领域, 天然纳米材料—膨润土在国外已广泛使用, 可用作澄清剂、吸附剂、污水处理剂等, 在矿业废水领域中应用前景较好; 但在国内大多都处于试验开发阶段, 应用实际工业的还比较少^[1-2]。

1 膨润土的资源分布

目前全球膨润土资源丰富, 分布较广, 主要分布在环太平洋、印度洋带和地中海、黑海附近, 据统计全球膨润土总储量约为 70 亿 t。主要资源国有中国、美国、俄罗斯、德国、意大利、墨西哥和日本等, 前三国探明储量占世界储量的 4/5^[3]。

据勘探统计表明, 我国膨润土储量居全球首位, 占全球总量的 60%, 种类齐全, 分布广, 遍布 26 个省市自治区, 目前已探明储量 50.86 亿 t 以上^[4-5], 对国内来说储量充足。其主要分布在广西、新疆、内蒙古等省区, 目前已在辽宁、河北、吉林、内蒙古、新疆、浙江、河南、甘肃及广西等地区开发了主要的膨润土矿区^[6]。

2 矿业领域膨润土的应用

在矿业领域, 膨润土主要应用在冶金、铸造、钻井和废水处理等方面, 用作无机粘结剂、水介质体系的增稠剂和流变性控制剂^[7]。但在各领域膨润土所消费的用量差别较大, 从其他发达国家来看, 其矿业领域主要应用还是铸造砂、钻井泥浆、冶金球团方面较多; 在矿业废水处理领域近年也有进一步的研究。目前我国膨润土发展较快, 应用已达 24 个领域, 用途达 400 多种, 其中铸造占 38%, 钻井泥浆占 24%, 铁矿球团占 16%, 活性白土占 15%, 剩余的 7% 则消费在轻工、农业和建筑等领域,

收稿日期: 2019-01-22; 改回日期: 2019-02-22

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFB0310902) 膨润土离子交换规律及膨润土防渗材料防渗机理研究 (2017YFB0310902-01)

作者简介: 郑长文 (1997-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事矿物材料研究。

通讯作者: 管俊芳 (1965-), 女, 博士, 副教授。

此部分的用量虽小，但价值高，经济效益突出^[8]。

目前，国内外膨润土在矿业领域内的应用在很多方面都取得了非常好的效果。论文将从铸造工业、石油钻井工业、冶金球团和矿山废水处理四个方面详细介绍膨润土在矿业领域内的应用。

2.1 铸造工业

铸造工业是矿业领域膨润土应用的最大市场。其主要利用的是膨润土的可塑性和粘结性，可作为生产铸模材料的粘合剂和醇基涂料的悬浮剂。而铸造业应用的膨润土大多都是通过钙基膨润土进行钠化改性的，通过钠离子取代膨润土层间的钙离子来提高其湿压强度、热湿拉强度和复用性；进而提高铸造产品质量和减少膨润土的用量。目前，湿型砂造型是铸造业中使用最多的造型方法，膨润土作为湿型砂的黏结材料，对湿型砂各方面的性能有直接的影响。在醇基涂料中加入膨润土能提高铸造涂料的悬浮性，也会增加铸造涂料的发气量，降低铸造涂料的高温抗裂性。目前膨润土仍是醇基铸造涂料使用最多的悬浮剂。近年较多研究人员在这方面作进一步研究，进一步提高膨润土在铸造业的应用效率。

庄志钢等^[9]研究了不同膨润土的品质对湿型砂性能的影响。结论表明：优质膨润土与普通膨润土相比，在保证型砂强度的前提下，降低膨润土加入量，使型砂在保持紧实率稳定的前提下，降低型砂水分含量，提高型砂透气性。王文中^[10]研究了改性膨润土在铸造中的应用情况。结果表明：新改性可提高膨润土的铸造使用性能，降低膨润土用量，提高铸件的品质。徐庆柏^[11]研究了含碳膨润土在湿型砂中的应用。结果表明：含有改性碳的铸型材料能较快地制备，并在含水量较低时有较高的强度。

根据资料显示，在国外，美国近年国内消耗的膨润土中铸造占用13%，欧盟近年来铸造占消费总量的24%。同时国外通过改性膨润土作结合剂已使用于铸造工厂。例如ENVI结合剂已经在德国、荷兰和法国使用。而在国内，据估计目前膨

润土产品年产销量约270万t，其中用于铸造型砂约100万t。且国内天然钠基膨润土资源匮乏，故大部分都是用人工钠化膨润土作为铸造工业的黏结剂。此外，国内铸造技术还不先进，制成的铸造产品比较低级，在国际市场出现低进高出的局面，故国内应该注意这些问题。

2.2 石油钻井工业

钻井泥浆是矿业领域膨润土应用的第二大市场。其主要利用的是膨润土的分散性、悬浮性、粘结性及触变性。钻井泥浆在钻探过程中可清洁井底并携带岩屑、冷却和润滑钻头及钻柱、平衡地层压力的作用，在钻井作业中非常重要^[12]。根据美国石油学会(API)和国内标准GB/T5005-2010对钻井泥浆用膨润土的分类均分为钻井级膨润土、未处理膨润土和OCMA膨润土^[13-14]。在石油钻井工业，钙基膨润土的吸水性、造浆性及触变性等基本无法满足其要求，故必须经过改性加工。通过钠离子或有机物取代膨润土层间可交换阳离子或结构水进行钠化或有机改性，或者添加无机、有机增效剂等有效方法。经改性后的膨润土的吸附性、悬浮性及触变性等明显提高且复合要求。在钻井液中有较好的携带性和流变性，能有效地防止腐蚀，润滑钻井；同时也有可观的提切、增黏效果，可作为配制油包水泥浆和优良的抗高温解卡剂的原料^[15-16]。

蒋莉等^[18]利用丙烯酰胺及其衍生物对天然膨润土进行插层，制得纳米膨润土复合体，研究其在钻井液中的性能。结果表明：与普通膨润土相比，纳米膨润土复合体不仅有较好的热稳定性和抗污染能力，还具有比表面积大、吸附能力强、凝聚作用大等独特的性质。胡继良等^[19]研究了利用丙烯酸和丙烯酰胺的聚合物作有机改性剂，通过混链挤压法制得有机改性膨润土样品，来配置钻井液。结果表明：有机改性膨润土钻井液的滤失量和润滑系数都有较大的降低，并改善了钻井液的流变性。

国外，多数国家在新型钻井液体系方面已有

更好的发展。如 HPWBM 钻井液体系与传统的钻井液相比,能更好地抑制黏土和钻屑分散,减少钻头泥包,目前 HP-WBM 体系已在墨西哥湾、美国大陆、巴西、澳大利亚及沙特阿拉伯等国家和地区得到了应用^[19]。此外,其他油基钻井液体系、和成基钻井液体系等也有相应的进展,且国外在钻井级膨润土、未处理膨润土和 OCMA 膨润土三种分类上都有其产品。而在国内,目前用于高品位钻井液的膨润土产量还远远不足。虽然我国膨润土资源丰富,但目前我国市场上供应的用于钻井液的膨润土基本上以 OCMA 级膨润土为主,未处理膨润土几乎没有,能够达到钻井级膨润土的产品不多,大量的钻井级膨润土还需要依赖进口,其生产加工技术远落后于发达国家。同时,我国钠基膨润土资源有限,不能满足钻井液用膨润土的要求,必须经过改性加工。

2.3 冶金工业

冶金球团是矿业领域膨润土应用的第三大市场。其利用的是膨润土的黏结性、膨胀性和阳离子交换性。膨润土与铁精矿粘结后不发生化学变化,也不影响造球成球的化学性质,在高温下这种粘结特性也不改变^[20]。故在国内外被广泛应用于冶金球团的粘结剂。铁矿球团是一种细粉状铁精矿的造块方法,膨润土作为球团粘结剂,可改善铁矿成球性能,提高生球强度,但膨润土的添加也降低了球团的铁品位,故在球团生产过程中,应尽量控制膨润土的用量^[21]。所以实际应用的膨润土中部分是经过改性的,通过钠化和有机改性来增强其吸水率、分散性及膨胀性等,以此来降低膨润土的配入量。近年膨润土在铁矿球团的应用研究进步缓慢,需对减少膨润土的配入量这一问题作更多深入研究。

冯惠敏等^[21]研究了膨润土在铁矿球团中的作用机理,结果表明:膨润土作为球团黏结剂作用机理十分复杂,每个阶段的机理都不相同。李彩霞等^[23]研究了膨润土球团黏结剂中有机物的选择试验研究。试验结果表明:通过对膨润土进行半

干法钠化,膨润土球团黏结剂的用量降低到 0.8%。黄柱成、李铁辉等^[24]研究了纤维化膨润土制备及其在铁精矿球团中的应用。研究表明:纤维化的膨润土在加热脱水过程中,脱水速率明显降低,持水能力明显提高,经纤维化的膨润土粒度变小、比表面积变大,分散度提高,原来的多层片状结构,基本解离成单层结构。

国外,近年都广泛采用膨润土作为球团矿常用的粘结剂,并且膨润土的平均配入量都达到低于 1%。在进一步对膨润土在球团矿中的作用机理的研究中,验证了国外提出的膨润土纤维结构理论。进入 21 世纪,我国冶金球团得到了国家产业政策的扶持,也得到迅速发展。但我国在生产技术上表现为球团矿含铁品位低,膨润土添加量过高(1.5%~3.5%)等,与国外的技术(低于 1%)还是有很大差距的。故国内应该研究开发新型低廉粘结剂来提高国内球团矿的品位及质量。

2.4 处理矿山废水

在处理矿山废水方面,利用的是膨润土的吸附性能和离子交换能力,且有较大的比表面积,可与其他材料组合成矿物复合材料使用。而不管国内还是国外,矿产资源在利用和开采过程中都会产生大量的矿山废水,其 pH 值较低,且含有 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Zn^{2+} 等重金属离子^[25],其中污染范围最广、危害程度最大的是酸性矿山废水(AMD)^[26]。直接排入水体的 AMD 会导致水质酸化,其重金属离子通过沉淀、吸附及生物链不断富集^[27],将严重影响自然环境。现今对矿山废水的治理研究越来越重要,特别是酸性矿山废水;目前研究进展中主要技术有吸附法、人工湿地法、中和法、微生物法等^[28-29]。其微生物法是目前国内外处理 AMD 的最新方法,也最具潜力;吸附法具有操作简单、适应范围广、成本低等优点。

近年矿物材料膨润土-钢渣复合材料成为处理矿山废水的研究热点。肖利萍等^[30]研究了利用膨润土-钢渣复合颗粒与微生物填料分层填装的方式对酸性矿山废水中的重金属离子的去除效果,

结果表明：构造的动态柱 40 d 时的去除率均能达到 95% 以上。肖利萍等^[31]采用矿物材料膨润土、钢渣及其混合物对含 Cu^{2+} 的酸性矿山废水进行了对比试验研究，结果表明：膨润土和钢渣混合后比单一膨润土、单一钢渣的处理效果更好，膨润土和钢渣混合后能发生吸附 - 聚沉协同作用，较佳条件对 Cu^{2+} 的去除率可达 95% 以上。王桂芳、等^[32]通过振荡吸附试验，研究了膨润土与钢渣吸附材料在不同配比、初始 pH 值及振荡时间等条件下对含 Cu^{2+} 废水的处理效果，结果表明：较佳条件下膨润土和钢渣复合物对 Cu^{2+} 的去除率可达 99.9%。肖利萍、刘燕等^[33]研究了膨润土、钢渣、膨润土 - 钢渣复合粉末状材料、膨润土 - 钢渣复合颗粒材料对含 Zn^{2+} 酸性矿山废水的处理效果，结果表明：8:2 膨润土 - 钢渣复合粉末状材料对含 Zn^{2+} 的酸性矿山废水处理效果最好，去除率可达 98.43%。

根据以上所述，研究人员通过把膨润土和钢渣混合制成膨润土 - 钢渣复合材料来处理酸性矿山废水，以此实现以废治废和降低矿山废水处理成本。但这方面的研究大多处在试验研究阶段，用于实际矿山废水处理的还比较少。在矿山废水处理方面，目前国内外研究技术相差不大，仅在最新的微生物法上，国内相较于国外应用起步较晚，仍处于研究阶段。国内外研究人员都在努力寻找治理方法，但取得的成果较小。在国内，AMD 年排放量为 36 亿 t，占全国工业废水总排放量的 10% 左右，而处理率仅有 4.28%，因此 AMD 的污染已成为突出的污染问题^[34]。故国内在矿山废水处理方面应加强研究，减少这方面的污染或从根源上减少矿山废水的产生。

2.5 矿业领域其他的应用

除了以上四种主要用途外，膨润土在矿业领域还有其他的应用。例如在金属尾矿库方面，长期存放的尾矿库因里面重金属离子渗出，存在非常大的潜在危险。而膨润土防水毯在金属尾矿库可作为衬垫来减少金属离子的渗透，得到有效

利用。在湿法冶金、煤炭开采和洗选业等领域内的废水处理中，膨润土也有较少的应用，但研究不多。此外，还可以利用膨润土粘结焦粉制备焦粉型煤及土壤修复^[35]。

3 发展趋势和建议

(1) 未来几年，国外膨润土在矿业领域中铸造、铁矿球团及钻井泥浆方面发展会相对平缓，国内在这三方面应继续提高技术水平，以达到国外先进水平。在处理矿业废水这方面，膨润土有一定的研究进展，但成果较小；国内外在这方面大多均处于试验阶段，故今后需加强工业实际应用的研究。未来膨润土在矿业领域的发展趋势会逐渐的多元化，尤其在处理矿业废水、废气及纳米材料方面会得到进一步的研究发展。

(2) 目前来说，我国膨润土在矿业领域的应用得到了广泛的应用，并还会持续的不断增长。但是从近年发展来看，我国膨润土在矿业领域的利用技术水平与其他发达国家相比仍有较大差距，因此在国际市场中出现低出高进的局面。

(3) 今后，国际市场在铸造、石油、冶金等方面对膨润土的需求会持续增加，国内应合理利用资源，以在国际市场占据更重要的位置。首先应进一步提高低中档产品的质量；第二加强膨润土在矿业废水处理中的应用，加强膨润土在矿山复垦和土壤修复等方面的应用。最后，准确分析国内矿业领域市场需求、有针对性地调整产品结构以扩大膨润土在矿业领域应用。加强对应用中技术问题的改进研究，减少应用中的二次污染等问题。国内应加大膨润土在矿业领域应用研究的投资，针对中国的矿山开发适宜的膨润土有关的矿物材料，提高国内膨润土的附加值，拓展其应用途径。

参考文献：

- [1] 彭杨伟, 孙燕. 国内外膨润土的资源特点及市场现状 [J]. 金属矿山, 2012 (4):95-100.
- Peng Y W, Sun Y. Resource Characteristics and Market Situation of Bentonite at Home and Abroad [J]. Metal mine, 2012 (4):95-100.

- [2] 徐鹏金. 浅谈膨润土的改性及其应用概况 [J]. 中国粉体工业, 2018 (2):12-16.
- Xun P J. A Brief Discussion on the Modification of Bentonite and its Application[J]. Chinese Powder Industry, 2018 (2):12-16.
- [3] 吴小媛, 彭春燕, 等. 国外膨润土行业发展现状及策略研究 [J]. 非金属矿, 2016, 39(5):65-68.
- Wu X Y, Peng C Y, et al. Study on the Development Status and Strategy of Foreign Bentonite Industry[J]. Non-Metallic Mines, 2016, 39(5):65-68.
- [4] 施春辉, 铝品, 王立林. 辽宁省膨润土工业现状及发展建议 [J]. 辽宁化工, 2018, 47(9):954-956.
- Shi C H, Lv P, Wang L L. Present Situation and Development Suggestion of Bentonite Industry in Liaoning Province[J]. Liaoning Chemical Industry, 2018, 47(9):954-956.
- [5] 张莉, 谢丹. 国内有机膨润土的生产与技术进展 [J]. 辽宁化工, 2016, 45(5):663-665.
- Zhang L, Xie D. Production and Technical Progress of Organic Bentonite in China[J]. Liaoning Chemical Industry, 2016, 45(5):663-665.
- [6] 余丽秀, 邵晨, 朱进, 等. 膨润土开发利用水平评估影响因素探讨 [J]. 矿产保护与利用, 2018 (6):20-24.
- Yu L X, Shao C, Zhu J, et al. Discussion on the Factors Affecting the Evaluation of the Development and Utilization Level of Bentonite[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018 (6):20-24.
- [7] 李利勤, 李锐铎, 周世康, 等. 国内外膨润土加工利用情况概述 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2012 (5):10-12.
- Li L Q, Li R D, Zhou S K, et al. Summary of Processing and Utilization of Bentonite at Home and Abroad[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, 2012 (5):10-12.
- [8] 周婷婷, 张晓丹, 刘克爽, 等. 我国膨润土资源的利用与研究进展 [J]. 矿产保护与利用, 2017 (3):106-111.
- Zhou T T, Zhang X D, Liu K S, et al. Utilization and Research Progress of Bentonite Resources in China[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2017 (3):106-111.
- [9] 庄志刚, 李娜, 季顺业. 膨润土品质对湿型砂性能的影响 [J]. 铸造设备与工艺, 2017 (2):34-36.
- Zhuang Z G, Li N, Ji S Y. Effect of Bentonite Quality on Properties of Wet Molding Sand[J]. Foundry Equipment & Technology, 2017 (2):34-36.
- [10] 王文中. 膨润土的改性及应用 [J]. 铸造技术, 2017 (5):1210-1213.
- Wang W Z. Modification and Application of Bentonite[J]. Foundry Technology, 2017 (5):1210-1213.
- [11] 徐庆柏. 含碳膨润土在湿型砂中的应用 [J]. 材料与工艺, 2017 (1): 10-12.
- Xu Q B. Application of Carbon-containing Bentonite in Wet Mold Sand[J]. Material and technology, 2017 (1): 10-12.
- [12] 张建国. 水基钻井液用膨润土加工与应用技术进展 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2015 (1):3-5.
- Zhang J G. Progress in Processing and Application of Bentonite for Water-based Drilling Fluid[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, 2015 (1):3-5.
- [13] American Petroleum Institute. ANSI/API Specification 13A specification for drilling fluids materials[S]. API Publications, 2010.
- [14] 中国国家质量监督检验检疫总局. GB/T5005-2010 钻井液材料规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China. Specification for GB/T5005-2010 Drilling Fluid Materials[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2010.
- [15] 王鸽, 郭海盈, 谢爱虎, 等. 钻井泥浆用膨润土的试验研究 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2010 (4):40-42.
- Wang G, Guo H Y, Xie A H, et al. Experimental Study on Bentonite for Drilling Mud[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, 2010 (4):40-42.
- [16] 王月超, 王腾达, 杨双春等. 膨润土改性及其在钻井液方面的应用 [J]. 当代化工, 2016, 45(1):73-75.
- Wang Y C, Wang T D, Yang S C, et al. Modification of Bentonite and its Application in Drilling Fluid[J]. Contemporary Chemical Industry, 2016, 45(1):73-75.
- [17] 张艳娜, 孙金声, 王倩等. 国内外钻井液技术新进展 [J]. 天然气工业, 2011, 31(7):1-9.
- Zhang Y N, Sun J S, Wang Q, et al. New Development of Drilling Fluid Technology at Home and Abroad[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(7):1-9.
- [18] 蒋莉, 袁丽, 郑清国. 纳米膨润土复合体的研究与应用 [J]. 石油钻探技术, 2009, 37(3):57-60.
- Jiang L, Yuan L, Zheng Q G. Research and Application of Nano-bentonite Complex[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(3):57-60.
- [19] 胡继良, 陶士先, 付帆等. 膨润土的有机改性及其钻井液性能 [J]. 现代地质, 2011, 25(6):1219-1222.
- Hu J L, Tao S X, Fu F, et al. Organic Modification of Bentonite and Properties of its Drilling Fluid[J]. Geoscience, 2011, 25(6):1219-1222.
- [20] 王鸽, 徐光亮. 冶金球团用膨润土使用指标的建议 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2016 (1):32-33.
- Wang G, Xu G L. Suggestions on the Use Index of Bentonite for Metallurgical Pellets[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, 2016 (1):32-33.
- [21] 冯惠敏, 杨勇华. 膨润土在铁矿球团中作用机理 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2009 (6):15-19.

Feng H M, Yang Y H. Action Mechanism of Bentonite in Iron Ore Pellets[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, 2009 (6):15-19.

[22] 张汉泉. 膨润土在铁矿氧化球团中的应用[J]. 中国矿业, 2009,18(8):99-102.

Zhang H Q. Application of Bentonite in Oxidized Pellets of Iron Ore[J]. China Mining Magazine, 2009,18(8):99-102.

[23] 李彩霞, 赵家林等. 膨润土球团黏结剂中有机物的选择试验研究[J]. 非金属矿, 2017,40(5):36-37.

Li C X, Zhao J L, et al. Experimental Study on Selection of Organic Compounds in Bentonite Pellet Binder[J]. Non-Metallic Mines, 2017, 40(5):36-37.

[24] 黄柱成, 李铁辉, 易凌云, 等. 纤维化膨润土制备及其在铁精矿球团中的应用[J]. 中南大学学报, 2014,45(2):341-347.

Huang Z C, Li T H, Yi L Y, et al. Preparation of Fibrous Bentonite and its Application in Iron Concentrate Pellets[J]. Journal of Central South University, 2014, 45 (2): 341-347.

[25] 肖利萍, 裴格, 魏芳, 等. 处理矿山废水的膨润土复合吸附剂材料筛选[J]. 水处理技术, 2014,40(3):36-41.

Xiao L P, Pei G, Wei F, et al. Selection of Bentonite Composite Adsorbent Materials for Mine Wastewater Treatment[J]. Technology of Water Treatment, 2014,40 (3): 36-41.

[26] 肖利萍, 李莹, 刘喆. 矿物材料/PAM吸附-混凝处理含 Mn^{2+} 酸性矿山废水[J]. 非金属矿, 2016,39(2):28-33.

Xiao L P, Li Y, Liu Z. Treatment of Acid Mine Wastewater Containing Mn^{2+} by Mineral Materials / PAM Adsorption-Coagulation[J]. Non-Metallic Mines, 2016,39(2):28-33.

[27] Kim G N, Shon D B, Park H M, et al. Development of Pilot-scale Electrokinetic Remediation Technology for Uranium Removal[J]. Separation and Purification Technology, 2011,80(1):67-72.

[28] 王贺松. 酸性矿山废水中处理技术的研究进展[J]. 民营科技, 2018 (5): 62.

Wang H S. Research Progress on Treatment Technology of Acid Mine Wastewater[J]. Private science and technology, 2018, (5):62.

[29] 牟力, 何腾兵, 黄会前等. 酸性矿山废水治理技术的研

究进展[J]. 天津农业科学, 2017,23 (2):42-45.

Mou L, He T B, Huang H Q, et al. Research Progress of Acid Mine Wastewater Treatment Technology[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2017, 23 (2): 42-45.

[30] 肖利萍, 耿莘惠, 裴格等. 膨润土复合颗粒与SRB协同处理酸性矿山废水[J]. 环境工程学报, 2016,10 (11):6457-6463.

Xiao L P, Geng X H, Pei G, et al. Synergistic Treatment of Acid Mine Wastewater by Bentonite Composite Particles and SRB[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10 (11):6457-6463.

[31] 肖利萍, 栾雪菲, 等. 矿物材料对含 Cu^{2+} 酸性矿山废水的吸附-聚沉效果[J]. 非金属矿, 2015,38(5):71-77.

Xiao L P, Luan X F, et al. Adsorption-sedimentation Effect of Mineral Materials on Acid Mine Wastewater Containing Cu^{2+} [J]. Non-Metallic Mines, 2015, 38(5):71-77.

[32] 王桂芳, 陈程, 莫广得, 等. 新型膨润土复合材料处理矿山废水试验研究[J]. 非金属矿, 2018,41(6):1-3.

Wang G F, Chen C, Mo G D, et al. Experimental Study on Treatment of Mine Wastewater with New Bentonite Composites[J]. Non-Metallic Mines, 2018,41(6):1-3.

[33] 肖利萍, 刘燕. 膨润土-钢渣复合材料处理含 Zn^{2+} 酸性矿山废水[J]. 非金属矿, 2015,38(3):80-82.

Xiao L P, Liu Y. Treatment of Acid Mine Wastewater Containing Zn^{2+} by Bentonite-steel Slag Composite[J]. Non-Metallic Mines, 2015,38(3): 80-82.

[34] 王宁宁. 酸性矿山废水的危害及处理技术研究进展[J]. 环境与发展, 2017 (7):99-100.

Wang N N. Research Progress on Harm and Treatment Technology of Acid Mine Wastewater[J]. Environment and Development, 2017 (7): 99-100.

[35] 陈大同, 宋泽龙, 罗志杰. 水泥/膨润土粘结焦粉制备焦粉型煤[J]. 甘肃科技, 2015,31(6):23.

Chen D T, Song Z L, Luo Z J. Preparation of Coke Powder Briquette from Cement/Bentonite Bonded Coke Powder[J]. Gansu Science and Technology, 2015,31 (6): 23.

Progress in the Application of Bentonite in Mining Industry

Zheng Changwen, Guan Junfang, Zheng Jiamin, Wei Chenxi, Guo Zhengzheng, Chen Fei, Wang Fei (School of Resources and Environment Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei, China)

Abstract: In this paper, the application of bentonite in mining industry in recent ten years is reviewed from four aspects: foundry industry, petroleum drilling industry, metallurgical industry and treatment of mine wastewater, this paper analyzes the technical characteristics of bentonite application in mining industry, compares the differences of bentonite application in China and abroad, and points out the problems existing in the application of bentonite in mining industry in China.

Keywords: Mining field; Bentonite; Research progress