

重晶石资源现状及材料化应用

王洋^{1,2}, 黄聪^{1,2}, 李珍^{1,2*}

1. 中国地质大学 材料与化学学院, 湖北 武汉 430078;
2. 中国地质大学 纳米矿物材料及应用教育部工程研究中心, 湖北 武汉 430078

中图分类号: TD875⁺.1; TD985 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)06-0026-07
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.06.004

摘要 重晶石资源是我国优势矿产,但多年的无序开发利用,导致重晶石资源在国际市场的竞争力逐渐降低。开发具有高附加值的重晶石产品,拓展重晶石在高附加值产业领域的应用,是重晶石高效利用的重要途径之一。综述了国际及国内重晶石资源现状,并详细阐述了重晶石矿物在聚合物材料、防辐射材料、复合导电材料、制取含钡化合物原料、环境吸附材料、无机复合颜料等领域的应用进展。

关键词 重晶石; 现状; 材料化应用

1 引言

重晶石属于钡的硫酸盐类矿物,主要组成是硫酸钡(BaSO_4)。作为一种重要的非金属原料矿物,其具有难溶于水、密度大、充填性好、无毒、易吸收辐射等优点,在化工、石油、建材、医药等行业得到广泛应用^[1]。

重晶石资源在世界范围内储量丰富。重晶石作为我国的优势矿产资源,产量也居于世界之首。但我国重晶石资源的开发利用现状存在众多问题,主要表现在资源的过量消耗、长期的粗放式增长、开采使用过程中的浪费以及回收率低等。因此,研究现阶段全球重晶石矿产资源的使用情况,对于改进我国的重晶石生产技术以及保持重晶石资源优势具有重大意义。另外,我国传统的重晶石应用主要体现在生产石油、天然气钻井泥浆的加重剂及含钡的初级化工产品,这些产品不仅附加值低,而且生产过程会导致严重的环境污染^[2]。为了改善我国重晶石产业的处境,研究者们近年来拓展了其在其他领域的应用,主要通过开发新的用途与功能,使得重晶石矿物的利用价值得到提高,从而实现资源的高效利用,以全新的思路来改进我国对传统非金属矿物资源的加工。

2 重晶石资源现状

2.1 全球重晶石概况

重晶石矿产资源在世界范围内分布广泛,目前已在40多个国家内发现了重晶石的存在。据美国地质调查局公布的数据,截至2019年年底,世界范围内已探明的重晶石储量达3.0亿t,其中资源较为丰富的国家有中国、俄罗斯、印度、土耳其、伊朗、泰国、哈萨克斯坦、巴基斯坦等,约占世界总量的89.7%^[1]。自2016年始,研究人员已探明哈萨克斯坦重晶石储量超过中国,居于世界之首。图1a为2019年世界重晶石储量分布图,从中可以看出,哈萨克斯坦占比28%,位居世界之首;印度占比17%,紧随其后;而中国和土耳其分别占比12%,居世界第三位。自2000年以来,世界重晶石储量总体稳中有升,2010年中国、阿尔及利亚、俄罗斯重晶石储量分别新增了3 800万t、2 000万t、1 000万t。

我国1983年超过美国成为世界第一大重晶石生产国,在长达30年的时间里,世界范围内我国产量一直稳居第一。2000年产量占世界总产量的56%,2018年产量占世界总产量的32%,为290万t。在这段时间里,印度和摩洛哥的重晶石产量稳定增长。印度2000

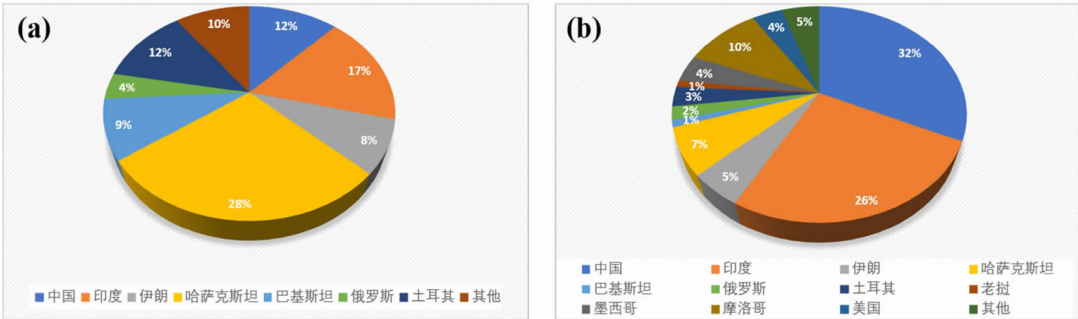
收稿日期: 2020-11-05

作者简介: 王洋(1992-),男,安徽阜阳人,副研究员,硕士生导师,主要从事石墨等层状矿物的高值化利用研究工作。

通信作者: 李珍(1963-),女,山西临汾人,博士,教授,主要从事矿物材料功能化研究。

年产量占世界总产量的 8% ;2018 年以 239 万 t 的产量占比 26% ,位居世界第二。摩洛哥 2000 年重晶石产量

占比 5% ;2018 年以 94 万 t 的产量占比 10% ,位居世界第三(图 1b) ^[2-4]。



资料来源:Minerals Commodity Summaries 2020

图 1 (a)2019 年世界重晶石分布图;(b)2018 年重晶石产量世界占比情况

Fig. 1 (a) The World barite distribution of reserves in 2019; (b) The World barite distribution of production in 2018.

美国、挪威、阿联酋、阿根廷、科威特、荷兰等是世界上主要的重晶石资源进口国。2018 年,美国进口量高达 196.17 万 t,占世界总量的 40.0% ,为世界第一进口国;第二位是沙特阿拉伯,其以 90.70 万 t 的进口量占比 18.5% ;第三位是科威特,进口量占比 4.4% ,为 21.56 万 t。中国不仅是重晶石生产大国,还是重晶石出口大国,2018 年以前世界上重晶石最大的出口国和供应国一直是中国^[2]。2018 年,印度重晶石出口量为 224.41 万 t,占世界总重量的 40.9% ,为世界第一出口国;第二位是中国,其以 120.93 万 t 的出口量占比 22.0% ;第三位是摩洛哥,出口量占比 17.8% ,为 96.46 万 t。

2.2 中国重晶石资源现状

我国重晶石产地众多,主要有湖北、湖南、山东、浙江、贵州、重庆、青海、甘肃、陕西、广西 10 个省(区、市),其中又以湖南、广西、贵州、陕西、甘肃资源储量较多,共占全国储量的 81.6%。虽然我国重晶石产地众多,但富矿较为集中,主要分布在贵州、湖南、广西等地,矿床规模以大中型为主,仅湖南省新晃县贡溪与贵州省天柱县大河边两个矿产地就占全国大中型产地储量的一半以上^[5]。我国重晶石年产量约 400 万 t,国内年消耗量约 150 万 t,其中大多用于生产钡化工产品和油气开采。由于采矿准入条件低,我国重晶石矿山企业大多是民采小矿和乡镇企业,导致采富弃贫、采易弃难、生产粗放等现象常有发生,这不仅浪费了大量的矿产资源,也极大地破坏了我国的生态环境。由于我国之前从未制定重晶石出口政策和细则,重晶石贸易由企业之间自主对接完成,并且出口数量没有限制,这直接导致了重晶石出口秩序混乱。另外我国出口的重晶石产品附加值较低,致使优势资源自带的经济效益无

法得到充分利用^[6,7]。近年来,我国政府出台了大量的政策来调控重晶石的出口力度,重晶石出口量呈缓慢降低趋势。

3 重晶石的应用现状

我国每年的重晶石资源消耗巨大,其中总消费量的 85% ~ 90% 作为加重剂用于石油和天然气钻井; 5% ~ 10% 作为化工原料,生产钡化合物,应用于合成橡胶的凝结剂、油脂添加剂、催化剂、荧光粉等;最后占比小于 5% 的部分用作道路建设、水泥用矿化剂、填料等。加大对重晶石基高端产品的技术研发投入,促进产业升级,是我国合理有效地开发利用重晶石资源的有效策略之一。

3.1 重晶石基聚合物材料

重晶石作为填料添加在聚合物中,一般经超细改性工艺处理,改性后的重晶石与聚合物材料有良好的相容性,能均匀分散在基体材料中,形成无机/有机复合材料。重晶石具有成本低廉、易于开采、耐磨性、耐腐蚀性、耐光性等特点,因此将其添加到橡胶材料中,一方面可以降低橡胶材料的收缩率,提高材料的尺寸稳定性以及刚性,从而增加橡胶材料的应用范围;另一方面作为填料添加到橡胶材料中可以增加重晶石的附加值,降低橡胶材料的成本^[8,9]。此外,重晶石密度大、化学性质稳定,当重晶石添加到油漆涂料中时,涂层的耐酸碱性、耐候性显著增强。

陈有双等^[10]通过直接共混法,使用不同的偶联剂对重晶石的表面进行活化改性,改性后的重晶石用于填充橡胶从而制出重晶石/橡胶复合材料。研究发现:这种改性后制得的复合材料具有优异的力学性能,包括耐磨性能、拉伸强度以及断裂伸长率,当利用硬脂酸

改性重晶石且复合材料中重晶石含量为 20% ~ 30% 时,材料的力学性能最好。利用偶联剂对重晶石进行表面改性,可以制得具有优异的补强效果及理想的加工特性的重晶石,从而替代炭黑,在橡胶领域得到更好的应用。

杨柳^[11]通过湿法改性改善了重晶石在聚乙烯醇(PVA)溶液中的分散性,改性方案如下:当原料中发生硫酸钡沉淀反应时,将硬脂酸长碳链分子嵌入重晶石表面以改变其表面性能,研究发现,改性后的重晶石可以作为一种良好的填料极大地提高聚丙烯(PP)的冲击强度和拉伸强度。

徐妍等^[12]将纳米硫酸钡作为一种无机功能填料添加到聚氯乙烯(PVC)中并研究了改性后材料的力学性能。结果发现,硬脂酸改性后的纳米硫酸钡填料可以显著提高 PVC 强度,复合样品表现出明显的韧性断裂特征。进一步通过 SEM 观察断裂形貌发现,纳米粒子在样品断面均匀分布。

张凤仙、郭翠梨^[13]分别使用铝铝酸盐偶联剂、硅烷偶联剂、非离子型表面活性剂以及自制的一种含有一OH、—COOH、—SO₃官能团的表面改性剂(SA-101)对重晶石粉体进行表面改性,探究改性后的重晶石粉体在油漆工艺中的应用前景。结果发现,重晶石粉经 SA-101 改性后,粉体的活化指数、分散性和流动性都得到了提高,可以代替沉淀硫酸钡成为 CO₃-1 红醇酸调和漆原料。

胡春燕等^[14]以硬脂酸、硬脂酸钠、硬脂酸锌、硬脂酸镁、硬脂酸钙作为改性剂对天然重晶石粉末进行改性,研究结果表明,当搅拌速度为 2 000 r/min,搅拌时间为 30 min 时,往重晶石粉末中加入 0.8% 硬脂酸钠,可以得到活化指数高达 96% 的产品。另外,重晶石粉末未经硬脂酸钠改性后,提高了与有机物之间的相容性,其吸油量降低了 13%。添加到涂料中时,涂料的流平性和光泽度可以得到改善。杭建忠等^[15]研究发现将纳米重晶石添加到树脂涂层中,可以在不影响到涂层硬度的条件下,改善涂层的 T 弯和应变性能,使涂层的硬度和柔韧性达到一个良好平衡。当添加量为 1.0% 时可以得到最佳性能的产品。除此之外,纳米重晶石的添加还极大地提高了该涂层的耐腐蚀性能。S. J. Kim 等^[16]研究了重晶石与钛酸钾作为填料对复合材料的摩擦振荡。对比钛酸钾晶须填料,结果表明,复合材料的摩擦性能与添加剂的形貌密切相关。

3.2 重晶石防辐射材料

中子与物质的原子核相互作用时会出现弹性散射(n, n)、非弹性散射(n, n')、倍增反应($n, 2n$)、发射带电粒子(n, α)和辐射俘获(n, γ)等多种反应形式,为了

清晰地描述各个反应发生的概率,研究者们引入了反应截面的概念来表达^[17]。其中具有极高的中子非弹性散射截面的钡元素可以很好的屏蔽中子,这直接促进了重晶石水泥基材料在中子屏蔽防护工程中的应用^[17-21]。另外,中子穿透某材料样品时会发生衰减,通过检测无/有待测样品时中子探测器的净计数率之比来定义衰减程度^[22, 23],能够准确判定重晶石基复合材料的屏蔽性能。用超细重晶石粉制成大密度的钡水泥、重晶石砂浆和重晶石混凝土建筑材料可替代金属铅板屏蔽核反应堆和建造防氢降氢、防 X 射线的建筑物,用于原子能工业、核电站以及 X 衍射实验室^[24-26]。

土耳其学者对于重晶石辐射机理研究较多。Berna Oto 等^[27]通过使用放射性源 Ba 和 Am 的同位素对包含不同比例重晶石和硬硼酸钙石的混凝土进行了辐射屏蔽性能评估。通过 NaI(Tl)闪烁探测器来计算 γ 射线强度。结果表明,添加重晶石和硬硼酸钙石的混凝土相对于普通混凝土能有效地衰减 γ 射线。I. Akkurt 等^[28]研究了含有不同比例重晶石为骨料的混凝土中子和 γ 射线屏蔽性能。研究发现,在具体增加重晶石的比例可以使伽马衰减系数增加,但同时降低了去中子截面。Demir 等^[37]研究了添加重晶石、硬硼酸钙石和正常骨料的混凝土的辐射传输情况,以¹³⁷Cs 为放射源,通过使用 NaI(Tl)闪烁探测器检测射线能量,研究发现降低硬硼酸钙石浓度能够显著降低线性衰减系数,增加重晶石浓度能够显著提高线性衰减系数。

使用重晶石制成的重混凝土已被用来应用到建筑材料中来防止放射性射线对人体的危害(致癌等)^[31]。但考虑到混凝土的其它性能,比如水灰比^[29]、斯密特硬度^[30]等,研究者们对此也做了大量科研工作。王霞等^[32]以重晶石为防辐射混凝土的主要原材,开展了不同地区和不同性质重晶石对防辐射混凝土性能的影响试验,成功地配制了密度范围在 3 000 ~ 4 000 kg/m³,强度范围在 30 ~ 40 MPa 的重晶石防辐射混凝土。

医用直线加速器在肿瘤疾病的治疗方面卓有成效,但为防止射线泄漏对周边人员的伤害,张亚萍针对重晶石混凝土在医疗建筑中的应用进行了分析,分别从重晶石混凝土在施工中的配合比设计、泵送、浇捣和混凝土养护等方面进行了论述,从而解决了医疗建筑“直线加速器”机房的防射线辐射问题^[33]。

王敏等^[34]通过一系列试验系统研究了重晶石粉的掺入对水泥砂浆凝结时间、强度和密度的影响。结果表明,重晶石粉为非活性混合材,其对水泥强度无增进作用,最适宜掺量为 20%;重晶石粉掺量在 30% 以下时掺入对水泥的凝结时间几乎没有影响。

徐军等^[35]为了选出具有优异的中子屏蔽性能的工程材料,测量了重晶石水泥基材料对 14.8 MeV 快中

子的衰减比,通过各样品的衰减比的大小来判定各样品的中子屏蔽性能的强弱。结果表明,随着重晶石含量的增加,重晶石水泥基样品对 14.8 MeV 快中子的衰减比有明显增强效果。

邢昊等^[36]研究了重晶石粉作为混合材料对高铝水泥强度的影响,并通过化学结合水含量测试及 XRD 分析探讨其水化作用机理。试验结果表明,适量的重晶石粉提高了高铝水泥的早期强度,抑制了高铝水泥后期强度的倒缩。重晶石粉在促进了高铝水泥水化的同时,可以抑制水化产物 CAH10 和 C2AH8 向 C3AH6 转变。

3.3 重晶石基复合导电材料

重晶石是一种天然的白色体质颜料,以重晶石作为核芯材料,并以掺杂改性过的 SnO_2 为包覆层制成浅色导电颜料,可显著提高重晶石附加值及使用价值,同时也拓展了重晶石的应用范围。

中国地质大学夏华等^[38, 39]以重晶石粉体为核芯材料,制备浅色导电颜料,在 pH 为 2.0 和温度为 40 °C 的条件下,向重晶石的悬浮液中滴加一定浓度的 SnCl_2 、 SnCl_4 和 NH_4F 的盐酸混合液,为了保持溶的 pH 值恒定,同时滴加一定浓度的 NaOH 溶液,待混合液滴加完后,再继续搅拌 30 min,过滤、洗涤和干燥,并在 300 °C 下灼烧 1 h,得到一种电阻率为 $7.7 \Omega \cdot \text{m}$ 的白色导电颜料。试验表明,该颜料具有理想的外观颜色和导电性,应用价值较高。

杨华明等^[40-42]采用化学共沉淀技术制备了重晶石基复合导电粉末(SSB)。SSB 以重晶石粉为基体,以铈掺杂 SnO_2 为表面包覆层复合而成。然后探究了 SSB 用量与涂层电阻率的关系,结果发现,添加 20% ~ 45% 的 SSB 可以制得电阻率仅为 $10 \Omega \cdot \text{cm}$ 的丙烯酸导电涂料。另外,将 SSB 加入导电涂料中可以使涂料对频率 < 100 MHz 的电磁波达到中等屏蔽值(40 dB),促进了该涂料对手机、笔记本电脑、电子医疗设备、电子计量和军事设施等在抗电磁波干扰方面的应用。最后,该团队进一步研究了导电粉末在导电涂料中的导电网络及赋存状态,并指出决定涂料导电性的关键在于导电粉末在涂料中的良好分散性(如形成网络结构等)。

3.4 含钡化合物原料

重晶石是制取钡的重要矿物资源。含钡硅铁合金自身具有优异的物理化学特性,在钢铁生产及铸造过程中掺钡形成含钡硅铁合金可以显著提高钢铁的质量。目前,主要以块状重晶石为原料,并将其置入矿热炉中以连续的碳热还原工艺来大规模生产含钡硅铁合

金。

任存治等^[43]通过 $\text{BaSO}_4 - \text{C}$ 的热力学分析和 $\text{Ba} - \text{S} - \text{O}$ 平衡分析发现,无论是标准条件计算下的理论体系,还是实际体系, BaS 都是主要产物,但实际体系下 BaS 的生成温度远高于标准状态计算下的理论体系生成温度;因此,只要合理调控反应过程中的气氛及温度,就可以使主要产物 BaS 不断的向 BaO 转化。这样不仅可以提供大量的原料促使钡合金的合成,也可以提高钡的利用率。BaS 在制铝脱硫过程中作用重大。王家伟等^[44]对硫酸钡脱硫渣还原焙烧制备 BaS 开展了研究,主要考察了焙烧温度、反应时间、物料配比(碳与硫酸钡脱硫渣的质量之比)对产物中 BaS 含量的影响。结果发现,对 BaS 含量影响因素的顺序为:焙烧温度 > 反应时间 > 物料配比,较佳反应条件为:1 100 °C、60 min 和物料配比为 1.3,此时产物中 BaS 含量可达 88.19 %。

3.5 水环境中重金属离子吸附材料

可溶解有毒金属离子近年来对环境造成严重污染,对有毒金属离子的去除是改善环境问题的有效手段之一。Manuel Prieto 等^[45]研究了重晶石颗粒与硅水凝胶形成的复合物对水中铬离子的去除作用,通过重晶石砂嵌入硅水凝胶形成人工多孔介质结构,这种结构抑制了液体间的对流与平流,只通过扩散进行交换。研究通过六价铬离子的净通量来定量测定重晶石对铬离子的相互作用能力。研究发现,由于重晶石的结构原因,六价铬离子在与重晶石表面相互作用,重晶石晶粒外延过度生长形成 $\text{Ba}(\text{CrO}_4, \text{SO}_4)$ 固体,从而达到了对铬离子的吸收,实现了净化环境的目的。

3.6 重晶石无机复合颜料

二氧化钛是优质涂料,在现代涂料中占据重要地位。同时二氧化钛也是重要的光催化材料,现已发现纳米二氧化钛能处理 80 多种有毒化合物^[46]。由于钛白粉用量的日益增加,找到它的替代品已迫在眉睫。重晶石白度高、性质稳定,作为与二氧化钛复合的内核材料,能有效解决二氧化钛易团聚的特性,改善二氧化钛的光催化性质。同时作为涂料,可以替代二氧化钛在涂料中添加使用。

Wang 等^[47]采用机械化学湿法研磨得到重晶石与二氧化钛的复合产品,优化复合条件后,可使遮盖力、白度、吸油量分别达到 $18.40 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、95.3% 和 $22.4 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ 。红外光谱检测发现二者并没有产生化学结合,采用超声振荡定量地计算了范德华力、静电作用力对重晶石与二氧化钛结合的影响,结果表明,在液态环境中,二氧化钛与重晶石粉体的结合主要靠静电

作用,远大于范德华力的作用,而不是化学键的结合。

陈桂光等^[48]通过三级膜分散沉淀法制备了 $\text{BaSO}_4/\text{TiO}_2$ 复合颗粒,利用透射电镜和电子衍射对所得颗粒的结构进行了分析,并利用自行设计的紫外光催化氧化反应器对其光降解性质进行了研究。结果表明,分步沉淀法可以有效地制备表面沉积 TiO_2 的 $\text{BaSO}_4/\text{TiO}_2$ 复合颗粒。 $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$ 浓度及沉淀剂对复合颗粒表面的 TiO_2 颗粒粒度、晶型和光降解性能有很大的影响。提高 $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$ 浓度和以 NH_4HCO_3 为沉淀剂有利于制备出光降解性能好的 BaSO_4 表面包覆锐钛矿型 TiO_2 的复合颗粒。复合颗粒光降解甲基橙的动力学满足 0 级反应动力学。

4 展望

全球重晶石资源丰富,分布较为集中。中国重晶石储量曾长期位居全球第一,品质高,后备资源充足,是我国的优势矿产。作为全球重晶石最大的生产国、第二大消费国,中国一直以外贸出口为主,深加工程度和综合利用工艺技术水平较低。将不同学科、专业的知识与重晶石矿物性能、加工及应用领域相结合,重点开发其在精细化、功能化、复合化等方面的应用,并寻找新的途径开发高附加值重晶石产品,对我国非金属材料未来的使用发展具有重要意义。重晶石未来的发展方向主要有以下几个趋势:

(1) 开发高纯钡盐,如钡盐精细化学品。

(2) 通过对重晶石改性,使其能够为涂料、塑料、橡胶等提供填料,制备高性能复合材料。

(3) 利用重晶石屏蔽辐射特性,开发高附加值的重晶石混凝土材料。

(4) 开发下一代磁性材料钡铁氧体。

参考文献:

- [1] 赵义,彭会清. 重晶石矿物的开发与应用研究进展[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2015(6): 3-6.
- [2] 刘秋颖,屈云燕,韩贝贝. 世界重晶石资源供需形势分析[J]. 国土资源情报, 2020(10): 110-114.
- [3] 胡佩伟,杨华明,胡岳华. 重晶石矿物材料的制备技术与应用进展[J]. 材料导报, 2008(S2): 191-194.
- [4] 张福良,卢晓亚. 我国重晶石资源开发利用现状及建议[J]. 现代矿业, 2017(9): 1-4.
- [5] 袁建国,屈云燕,柳霞丽,等. 中国重晶石资源现状及供需形势[J]. 现代化工, 2017, 37(6): 1-6.
- [6] 王庆伟,张元元. 中国重晶石矿产现状及可持续发展对策研究[J]. 现代化工, 2014, 34(12): 5-7.
- [7] 徐鹏金. 浅述我国重晶石产业发展现状[J]. 中国粉体工业, 2019(4): 1-6.
- [8] HAMMER C O, MAURER F H. Barium sulfated blends of polypropylene and polystyrene: microstructure control and dynamic mechanical properties[J]. Polymer Composites, 1998, 19(2): 116-125.
- [9] MOLNAR S, PUKANSZKY B, HAMMER H O, et al. Impact fracture study of multi-component polypropylene composites[J]. Polymer, 2000, 41(4): 1529-1539.
- [10] 陈有双,王继虎,唐忠锋,等. 重晶石/橡胶复合材料的力学性能研究[J]. 化工新型材料, 2010, 38(12): 108-110.
- [11] 杨柳,郭宝华,张增民,等. 硫酸钡的表面改性处理[J]. 中国塑料, 2002(6): 196-199.
- [12] 徐妍,张小哲,周持兴,等. PVC/重晶石纳米复合材料力学性能与形态研究[J]. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(5): 144-150.
- [13] 张凤仙,郭翠梨. 重晶石的粉体改性[J]. 无机盐工业, 1999, 31(1): 31-32.
- [14] 胡春燕,周志明,刘兴隆. 硬脂酸系对天然重晶石粉末的表面改性[J]. 应用化工, 2010, 39(2): 237-239.
- [15] 杭建忠,施利毅,姜燕燕,等. 纳米重晶石/环氧复合钢板涂层材料机械及耐腐蚀性能的研究[J]. 功能材料, 2006, 12(37): 2003-2005.
- [16] S. J. KIM, M. H. CHOA, R. H. BASCH, et al. Tribological properties of polymer composites containing barite (BaSO_4) or potassium titanate ($\text{K}_2\text{O} \cdot 6(\text{TiO}_2)$) [J]. Tribological properties of polymer composites, 2004, 17(3): 655-660.
- [17] 潘智生,赵晖,寇世聪. 防辐射混凝土研究现状、存在问题及发展趋势[J]. 武汉理工大学学报, 2011(1): 45-50.
- [18] E. YILMAZ, H. BALTAS, E. KIRIS, et al. Gamma ray and neutron-shielding properties of some concrete materials [J]. Annals of Nuclear Energy, 2011, 38(10): 2204-2212.
- [19] FACURE A, SILVA A X. The Use of High-density Concretes in Radiotherapy Treatment Room Design [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2007, 65(9): 1023-1028.
- [20] A. EL-SAYED ABDU, W. A. KANSOUH, R. M. MEGAHID. Investigation of Radiation Attenuation Properties for Baryte Concrete [J]. Appl. Phys., 2002, 41: 7512-7517.
- [21] A. EL-SAYED ABDU. Calculation of The Cross-sections for Fast Neutrons and Gamma-rays in Concrete Shields [J]. Annals of Nuclear Energy, 2002, 29(16): 1977-1980.
- [22] 谢仲生. 核反应堆物理分析 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2004: 7.
- [23] 郑金美,王炳林,温琛林,等. 建立防中子和 γ 射线材料屏蔽性能的测试装置[J]. 原子能科学技术, 1997(5): 472-476.
- [24] I. AKKURT, C. BASYIGIT, S. KILINCARSLAN, et al. The shielding of γ -rays by concretes produced with barite [J]. Progress in Nuclear Energy, 2005, 46(1): 1-11.
- [25] SAKRA K, EL-HAKIM E. Effect of high temperature or fire on heavy weight concrete properties [J]. Cement Concrete Resh, 2005 (35): 590.
- [26] AKKURT I, et al. Radiation shielding of concretes containing different aggregates [J]. Cement Concrete Comp, 2006(28): 153.
- [27] BERNA OTO, AVCAN GUR, MUSTAFA RECEP KACAL, et al. Photon attenuation properties of some concretes containing barite and colemanite in different rates [J]. Annals of Nuclear Energy, 2013(51): 120-124.
- [28] I. AKKURT, AM EL-KHAYATT. The effect of barite proportion on neutron and gamma ray shielding [J]. Annals of Nuclear Energy, 2013(51): 5-9.
- [29] LKER BEKIR TOPCU. Properties of heavyweight concrete produced with barite [J]. Cement and Concrete Research, 2003, 33(6): 815-822.
- [30] S. KILINCARSLAN, I. AKKURT, C. BASYIGIT. The effect of barite

- rate on some physical and mechanical properties of concrete[J]. Materials Science and Engineering, 2006, 424(2): 83–86.
- [31] M. PROKIC. Thermoluminescent properties of natural barium sulfate [J]. The International Journal of Applied Radiation and Isotopes, 1975 (25): 545–549.
- [32] 刘霞,赵西宽,李继忠,等. 重晶石防辐射混凝土的试验研究[J]. 混凝土,2006(7):24–25.
- [33] 张亚萍. 谈重晶石混凝土在医疗建筑中的应用[J]. 山西建筑,2012, 38(34):140–142.
- [34] 王敏,汪智勇,隋同波. 重晶石粉掺合料对普通硅酸盐水泥性能的影响[J]. 水泥,2008(5):9–11.
- [35] 徐军,康青,沈志强,等. 含重晶石水泥基复合材料对14.8 MeV 快中子的衰减效应研究[C]//2011 中国功能材料科技与产业高层论坛论文集(第三卷). 2011:964–966.
- [36] 邢昊,肖佳,勾成福,等. 重晶石粉对高铝水泥强度的影响[J]. 粉煤灰, 2010(5):7–9.
- [37] F. DEMIR, G. BUDAK, R. SAHIN, et al. UN. Determination of radiation attenuation coefficients of heavyweight – and normal – weight concretes containing colemanite and barite for 0.663 MeV c – rays[J]. Annals of Nuclear Energy, 2011, 38(6): 1274–1278.
- [38] 夏华,郭峰,钱建荣. 浅色重晶石导电颜料制备[J]. 非金属矿,1998, 12(1):21–23.
- [39] 夏华,张伟,钱建荣. 白色重晶石导电颜料的制备[J]. 精细加工, 2000,17(5):284–286.
- [40] 张光业,杨华明,唐爱东. 重晶石导电粉末制备工艺研究[J]. 非金属矿,2000,23(2):26–27.
- [41] 杨华明,敖伟琴,陈德良. 重晶石基复合导电粉末制备[J]. 非金属矿,2002,21(1):31–32.
- [42] 杨华明,胡岳华,张慧慧. 重晶石基锑掺杂 SnO₂ 导电粉末用于导电图层及其屏蔽特性[J]. 功能材料,2006,37(9):1433.
- [43] 任存治,孟颖,涂赣峰,等. 重晶石碳热还原过程中硫化钡和氧化钡的生成与转化[J]. 有色金属,1997(2):27–30.
- [44] 王家伟,靳学利,路长远,等. 硫酸钡脱硫渣还原制备硫化钡的试验研究[J]. 中国稀土学报,2012(30):575–578.
- [45] MANUEL PRIETO, A' NGELES FERN'ANDEZ – GONZ'ALEZ, RUT MART'N – DI'AZ. Sorption of chromate ions diffusing through barite – hydrogel composites; Implications for the fate and transport of chromium in the environment[J]. Pergamon, 2002, 66(5): 783–795.
- [46] LINDNER M. Solar Water Detoxification: Novel TiO₂ Powders as Highly Active Photocatalysts [J]. Journal of Solar Energy Engineering, 1997, 119(2): 120–125.
- [47] WANG BAIKUN, DING HAO, WANG YONGKUI, et al. Preparation of Barite/TiO₂ composite particle and interaction mechanism between TiO₂ and barite particles [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2011, 40(S3):193–197.
- [48] 陈桂光,骆广生,杨雪瑞,等. BaSO₄/TiO₂ 复合颗粒制备及其光催化性质[J]. 过程工程学报,2005,5(1):66–69.
- [49] 李忠模. 我国重晶石矿资源及开发利用现状[J]. 化工矿物与加工, 2006,35(10):42.

Status Quo and Materialized Application of Barite Resources

WANG Yang^{1,2}, HUANG Cong^{1,2}, LI Zhen^{1,2*}

1. Faculty of Materials Science and chemistry, China University of Geosciences, Wuhan 430078, China;

2. Engineering Research Center of Nano – Geomaterials of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Barite resources are the dominant mineral resources in China. However, for the years of disordered development and utilization, the competitive advantage lost gradually on the international markets. To develop barite products with high added value and expand the application of barite in high added value industry is one of the important ways to utilize barite efficiently. The present situation of barite resources at home and abroad is summarized in this paper. Moreover, the application progress of barite minerals in polymer materials, radiation – proof materials, electrical conductive composites, raw materials for making barium containing compounds, environmental adsorption materials, inorganic composite pigments and other fields are also summarized.

Key words: barite; current situation; materialized application

引用格式: 王洋, 黄聪, 李珍. 重晶石资源现状及材料化应用[J]. 矿产保护与利用, 2020, 40(6): 26 – 32.

Wang Y, Huang C, and Li Z. Status quo and materialized application of barite resources[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(6): 26 – 32.

投稿网址: <http://kebh.cbpt.cnki.net>

E – mail: kcbh@chinajournal.net.cn