

技术方法

焦家金矿尾矿旋流器溢流胶结充填水化机理研究

渠美云

(济钢集团国际工程技术有限公司,山东 济南 251010)

摘要:本文以焦家金矿选厂尾矿旋流器溢流产品为主要研究对象,分别考察了采用普通425水泥(OPC)和自制胶固粉(KD)作为胶凝材料时微细粒尾矿的水化机理。水化反应后OPC的结晶水化产物主要为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、水化铝酸钙,另含有少量钙矾石(Af);而KD的结晶水化产物主要为钙矾石,另含有少量氢氧化钙。两种胶凝材料水化反应后结晶水化产物的种类明显不同,KD材料对微细粒尾矿的胶结性能要优于OPC材料,达到相同强度要求试块的KD用量低于OPC用量:在KD固结体中有大量针棒状的钙矾石填充在颗粒孔隙之间,在结构中起到架桥和支撑作用;而在OPC固结体中,生成的片状 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、CSH凝胶等水化产物则不足以完全填充孔隙,在结构中容易出现“孤岛状”结构,对强度带来不利影响。

关键词:微细粒尾矿;水化产物;钙矾石;CSH凝胶

中图分类号:TD985

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2021.08.009

引文格式:渠美云.焦家金矿尾矿旋流器溢流胶结充填水化机理研究[J].山东国土资源,2021,37(8):62-70. QU Meiyun. Study on Cementation Filling Hydration Mechanism of Hydrocyclone Overflow of Tailings in Jiaoja Gold Deposit[J]. Shandong Land and Resources, 2021, 37(8): 62-70.

0 引言

我国是矿业大国,但主要矿产资源入选原矿品位低,造成了我国尾矿资源堆存量巨大。随着矿产资源的不断开发利用,优质资源逐渐减少,矿山企业面临矿石开采边界品位逐年降低、矿物共伴生关系复杂、矿物嵌布粒度细等问题,导致矿石预处理、分选过程中破磨粒度不断减小,从而导致选矿尾矿呈现细粒化趋势,尾矿排放量越来越大。同时,随着各地环保意识的增强,部分地区已限制新建尾矿库,尾矿处理成为制约企业发展的难题。

中国年产各类工业固废超过35亿t,堆存量巨大。尾矿年产量已超过15亿t,但综合利用率仅25%左右^[1]。作为体量巨大的固废,尾矿对耕地产生了巨大的危害。目前针对金尾矿综合利用主要是回收有用矿物^[2]和有价元素^[3],制备建筑用砂^[4]、肥料^[5]、烧结砖^[6]、胶凝材料^[7]、加气混凝土^[8]、地聚

物^[9]、橡胶填料^[10]、玻璃纤维^[11]、微晶玻璃^[12]等。焦家金尾矿化学成分以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 为主,另含有少量的 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 等物质,物相主要以长石、石英、云母矿物为主,含有少量的高岭石。尾矿可综合回收利用的有用矿物、有价元素价值不高,但储量巨大,且尾矿库接近服务极限,亟待开发利用。

宋艳民^[13]等以矿渣为主要原料制备新型胶凝材料,对微细粒尾矿进行胶结充填,制备出符合《采矿设计手册》^[14]要求抗压强度的充填体,降低了胶结充填成本。王炳文^[15]采用玲珑金矿全尾作为主要原料,以矿渣、水泥熟料、石膏作为胶结剂,通过添加适量激发剂,制备出固水性能好、凝结速度快、固结尾砂性能强的充填试块,新型胶结剂与尾矿混合水化后会生成钙矾石和C-S-H凝胶,随着养护龄期增长,C-S-H凝胶含量增加,彼此搭接的致密网状结构,成为试块强度的主要来源。王万红^[16]等人以玲珑金矿细粒尾砂为主要原料,研究了胶凝

收稿日期:2020-09-01;修订日期:2021-05-18;编辑:王敏

基金项目:山东省金属矿产成矿过程与资源利用重点实验室、国土资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室开放课题(No.Kflkt201812)、山东省级地质勘查项目《山东省贵金属矿产成果集成及其尾矿综合利用研究》(鲁国土资发[2018]108号)

作者简介:渠美云(1988—),女,山东菏泽人,工程师,主要从事烟气脱硫脱硝、固废综合利用工作;E-mail:1742632570@qq.com

材料、灰砂比、料浆浓度、养护龄期等对充填体强度的影响,研究表明矿渣制备的胶结剂比普通水泥更适合作为极细粒级尾砂充填料浆的胶凝材料。本项目组^[17]前期研究了王家尾矿库细粒尾矿的胶结性能,制备出符合《采矿设计手册》强度要求的充填体试块,未就水化机理进行深入研究。

本文以微细粒尾矿为主要原料,研究了不同胶凝材料的水化机理,丰富了微细粒尾矿胶结充填的研究内容。

1 样品的采集、制备、表征

1.1 样品的采集和制备

样品采自山东黄金矿业集团有限公司焦家选

表 1 原矿化学分析结果

化学成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Ti ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	S
含量/%	69.06	14.49	2.51	4.63	2.06	2.25	0.64	0.20	0.079	0.11	0.13

进行了分析检测,XRD 结果如图 2、表 2 所示。

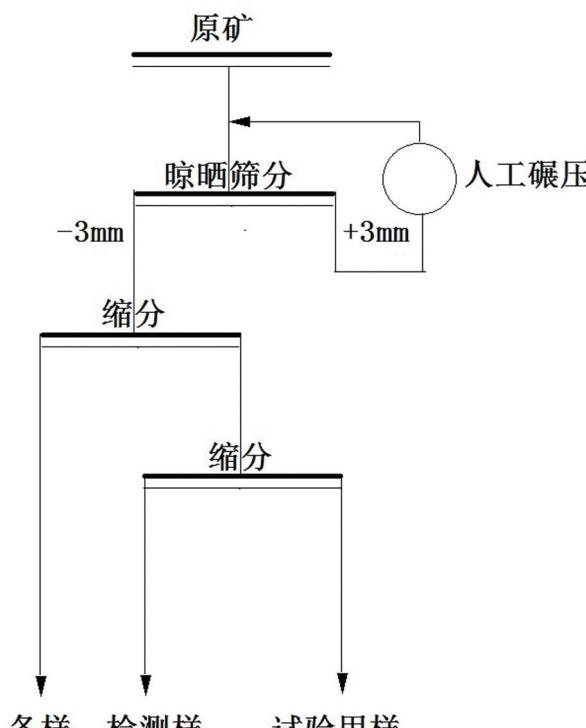


图 1 样品制备流程

焦家金尾矿的主要化学成分为 Si, Al, 并含少量 K, Na, Fe, Ca 等, 其余元素含量较低。

1.2.2 X 射线衍射分析

采用 X 射线衍射分析手段, 对尾矿的矿物组成

厂。选厂尾矿经旋流器分级后底流产物用于井下胶结充填, 溢流产物因粒度较细, 脱水干燥后进入尾矿库堆存。将采集的样品静置后, 用虹吸法去除上层清水, 底层矿浆采用露天晾晒的方法进行自然干燥。将干燥后的尾矿进行人工碾压后, 混匀、缩分出各种分析检测用样品, 其余样品用作试验样及备样。样品制备流程如图 1 所示。

1.2 尾矿性质

1.2.1 化学分析

原料化学分析结果如表 1 所示。

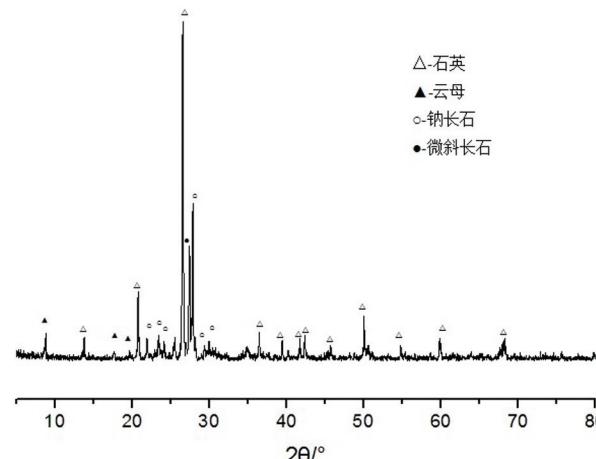


图 2 尾矿 X 射线衍射分析结果

表 2 尾矿的 X 射线半定量分析结果

矿物名称	石英	斜长石	云母	钾长石	方解石	未检出
含量/%	35~40	25~30	15~20	10~15	4~6	1

从结果汇中可以看出该尾矿主要矿物为石英、斜长石、云母、钾长石, 另含有少量的方解石, 尾矿结晶度较好, 活性差, 综合利用性能差。

1.2.3 粒度

采用标准筛湿法筛分, 对尾矿粒度进行了测定, 尾矿粒度分布如表 3 所示。

表3 尾矿粒度分布

尾砂粒级		质量含量/%	筛上累计/%	筛下累计/%
网目	粒径/ μm			
+100	+150	20.05	20.05	100.00
100—160	-150+96	12.02	32.07	79.95
160—200	-96+74	7.01	39.08	67.93
-200+325	-74+43	11.40	50.48	60.92
-325	-43	49.52	100.00	49.52
合计		100.00		

该尾矿—200目含量60.92%，—325目含量49.52%，总体属于细粒级尾矿，沉降性能、胶结性能较差。

2 试验设备和方法

试模制备及养护：采用JJ-5行星式水泥胶砂搅拌机，将水泥、尾矿砂、水按给定的质量比混合搅拌（加入水和水泥后低速搅拌30s，加入尾矿继续搅拌30s，然后高速搅拌60s）制成三联试模。将试模置于ZS-15型水泥胶砂振实台上振实。在YH-4013型标准养护箱中养护（温度 $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ ，湿度不低于90%）。

采用YHS-229WJ-20kN-360电子万能试验机测定强度；采用Rigaku Utima IV X射线衍射仪（铜靶，扫描范围： $5^\circ\sim 80^\circ$ ）测定物相；使用FEI扫描电镜进行微观形貌分析；热重分析样品外送检测。

3 结果及分析

3.1 OPC 条件试验

3.1.1 灰砂比对强度的影响

根据前期尾矿料浆的流动特性研究结果，试验尾矿浓度确定为72%，采用OPC进行尾矿胶结试验，考察不同灰砂比对胶结体抗压强度的影响，实验结果如图3所示。

采用OPC作胶凝材料时，随灰砂比的增大，各养护龄期胶结试块单轴抗压强度明显增大。为满足《采矿设计手册》中充填体强度要求（《采矿设计手册》中要求上向充填采矿法和下向进路充填采矿法假顶以外的充填体28d强度 $\geq 1\text{MPa}$ 的要求），以及降低生产成本，拟采用灰砂比1:15，其28d抗压强度可达到1.33MPa。为满足下向进路充填采矿法假顶28d强度 $\geq 4\text{MPa}$ 的要求，拟采用灰砂比1:6，其28d抗压强度可达到5.96MPa。

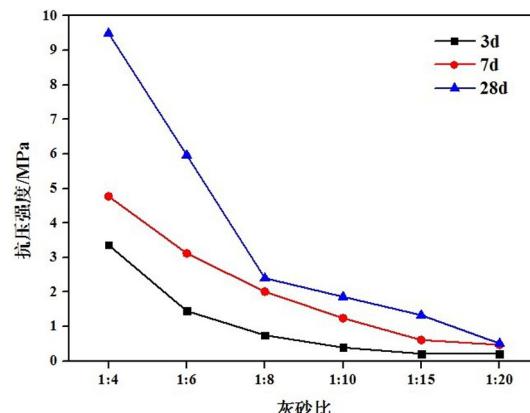


图3 不同灰砂比条件下42.5水泥胶结尾矿抗压强度变化规律图

3.1.2 尾矿浓度对强度的影响

为了进一步考察不同尾矿浓度对尾矿胶结效果的影响，根据前期流变试验和触变试验结果，尾矿浓度选择为68%，70%，72%，74%，灰砂比为1:6，1:15，胶结试验结果见图4。

从结果中可以看出，胶结试块单轴抗压强度随料浆浓度的升高以及灰砂比的增大而增大。在灰砂比为1:6的条件下，尾矿浓度在68%以上时，28d抗压强度可达到4.51MPa以上，满足下向进路充填采矿法假顶28d强度 $\geq 4\text{MPa}$ 的要求；在灰砂比为1:15的条件下，尾矿浓度在68%以上时，28d抗压强度在1.04MPa以上，满足上向充填采矿法和下向进路充填采矿法假顶以外的充填体28d强度 $\geq 1\text{MPa}$ 的要求。

3.2 KD材料条件试验

3.2.1 KD材料配比试验

为了进一步考察KD胶凝材料作为胶固粉时不同尾矿浓度对胶结效果的影响，试验用尾矿浓度选择为68%，70%，72%，74%，灰砂比为1:6,1:15，胶结试验结果见图5。

从实验结果看，胶结试块抗压强度随料浆浓度的升高和灰砂比的增大而增大。在灰砂比为1:6的条件下，3d抗压强度在尾矿浓度达到68%以上时可达到1.60MPa以上、28d抗压强度可达到7.31MPa以上，满足下向进路充填采矿法假顶28d强度 $\geq 4\text{MPa}$ 的要求。当灰砂比为1:15时，尾矿浓度大于68%时，28d抗压强度均高于1.92MPa，满足上向充填采矿法和下向进路充填采矿法假顶以外的充填体28d强度 $\geq 1\text{MPa}$ 的要求。

充填体28 d强度 $\geq 1\text{ MPa}$ 的要求。从试验结果可以看出采用KD胶凝材料对细粒物料的胶结性能优于采用OPC时的性能。

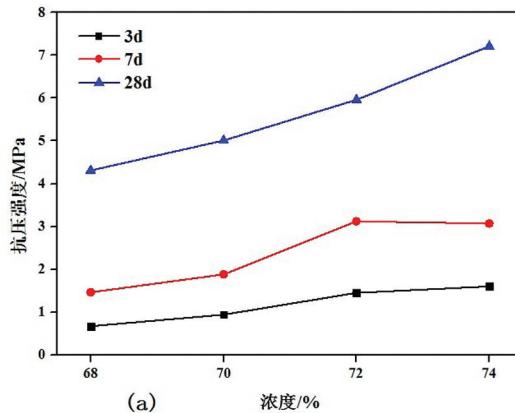


图4 OPC灰砂比1:6(a)和1:15(b)时的抗压强度

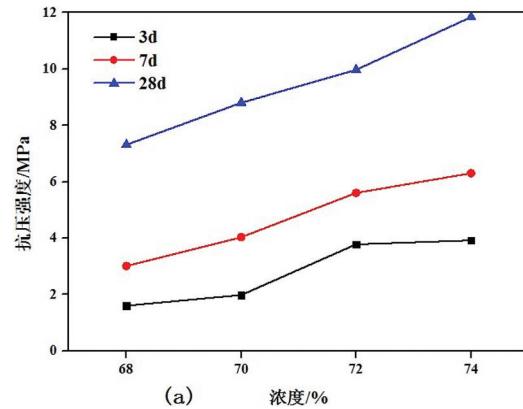
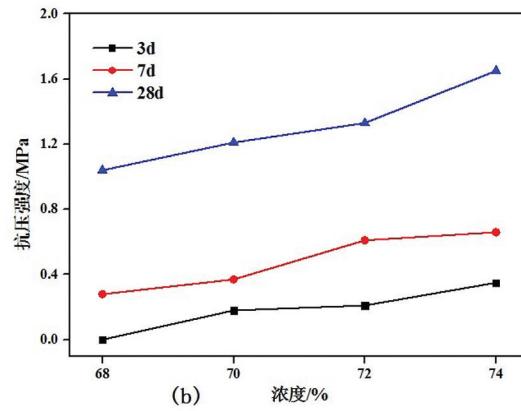


图5 KD胶凝材料灰砂比1:6(a)和1:15(b)时的抗压强度

3.2.2 不同灰砂比试验

为了探究最佳的KD胶凝材料掺量，降低充填胶结的成本，对灰砂比进行了探索试验，选用灰砂比为1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:15, 1:20，尾矿浓度为72%，胶结试验结果见图6所示。

从实验结果看，随着灰砂比的增大，试块的抗压强度也随之增大，当灰砂比为1:20时，28 d抗压强度可达到1.82 MPa，完全满足上向充填采矿法和下向进路充填采矿法假顶以外的充填体28 d强度 $\geq 1\text{ MPa}$ 的要求；为满足下向进路充填采矿法假顶28 d强度 $\geq 4\text{ MPa}$ 的要求，建议采用灰砂比为1:10，其3 d, 28 d抗压强度可分别达到1.34 MPa, 5.30 MPa。

3.3 水化机理

3.3.1 XRD分析

分别对养护1d, 3d, 7d, 28d的OPC与KD胶凝材料的水化产物进行分析，测定结果如图7所示。

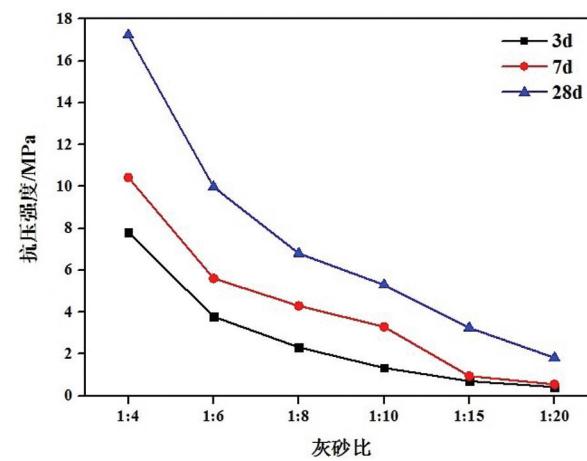


图6 不同灰砂比条件下KD胶凝材料胶结尾矿的抗压强度变化规律图

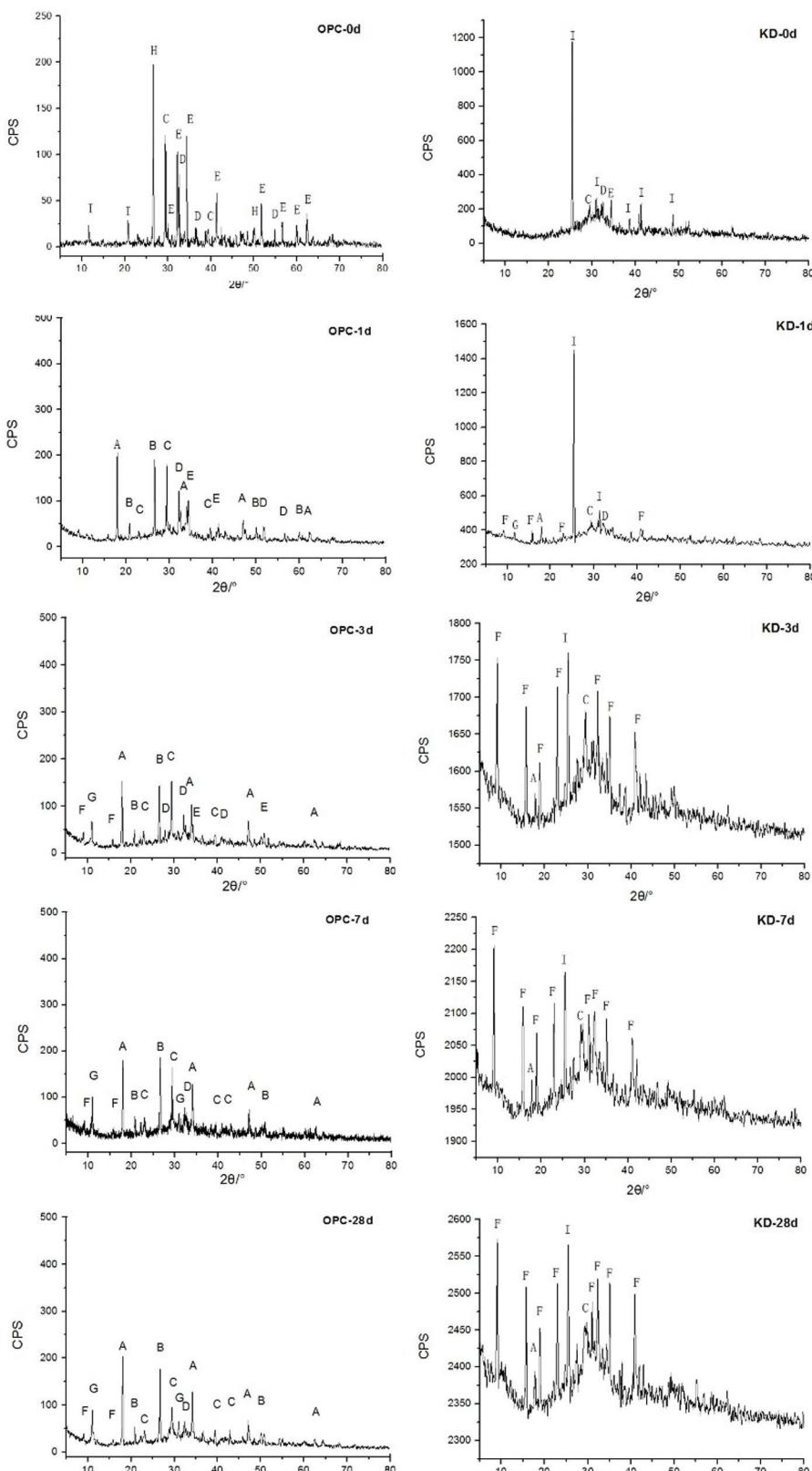


图7 不同养护龄期试样的XRD图谱:A— $\text{Ca}(\text{OH})_2$;B— SiO_2 ;C— CaCO_3 ;D— Ca_2SiO_4 ;E— Ca_3SiO_5 ;F—AFt;G— C_4AH_{13} ;H— $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$;I— $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

对于 OPC 材料,水化产物结晶程度较高,结晶物质和以隐晶质水化氢氧化钙、水化硅酸钙(CSH)等凝胶类物质为主的非晶物质共同对强度起作用。对比水化前后结晶水化产物的变化可知,OPC 水化反应后新生成的结晶水化产物主要为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、水化铝酸钙,钙矾石的生成量很低。

在 OPC 材料水化反应的过程中,本身以晶体形态存在的 SiO_2 结晶规整,是惰性的,本身不会参与水化反应,因此可以检测到其比较高的峰值;在整个反应过程中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的峰强度一直较强,可以提供适宜的碱性环境促进矿渣的解离,同时可以为反应提供充足的钙质原料。因此,虽然在 OPC 材料的原料中含有高硅高钙,但由于有一部分硅是以结晶完好的晶体状态形式存在,不能参与水化反应,常把 OPC 材料认为是高钙低硅材料,而矿渣胶凝材料是高硅低钙材料,这就决定它们具有不同的水化反应,特别是在凝胶类物质的生成过程中,钙含量高就容易生成高钙低硅类的凝胶,而硅含量高就容易生成高硅低钙类的凝胶。

对于 KD 胶凝材料,试样在水化前后均包括结晶物质和非晶物质两大类,且水化后的衍射峰强度较水化前有所减弱,以非晶物质为主。未水化前试样的结晶物质以无水石膏为主,另含有少量硅酸三钙、硅酸二钙、方解石等;水化后存在于水化产物中的结晶物质主要以钙矾石为主,另含有少量的方解石、氢氧化钙等,说明水化反应后结晶物质的种类发生了明显变化。随着养护龄期的延长,水化 1 d 时石膏的衍射峰强度有所减弱,但峰形依然尖锐,峰强度较大,并且出现钙矾石的衍射峰和氢氧化钙的衍射峰,而硅酸三钙的衍射峰消失,硅酸二钙的衍射峰减弱,说明,水化至 1 d 时,熟料开始大量水解产生氢氧化钙,矿渣在碱性环境中也开始水化,与石膏作用生成钙矾石。水化至 3 d 时,石膏的衍射峰明显减弱,氢氧化钙的衍射峰也有所减弱,硅酸二钙的衍射峰消失,而钙矾石的衍射峰强度明显增强,说明,在此过程中以生成钙矾石的水化反应为主,同时熟料继续发生水化反应。水化至 3d 以后,随着养护龄期的延长,各衍射峰的强度均未发生明显的变化,说明钙矾石的生成主要集中在水化反应初期(3 d 以前),此后结晶水化产物基本不再发生明显变化。

综上可知,水化反应后 OPC 的结晶水化产物主要为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、水化铝酸钙,另含有少量钙矾石;而

KD 的结晶水化产物主要为钙矾石,另含有少量氢氧化钙。两种胶凝材料水化反应后结晶水化产物的种类明显不同,且 OPC 水化产物的结晶程度高于 KD 胶凝材料。

3.3.2 热重—微商热重(TG—DTG)分析

水化产物中除了结晶水化产物外,大量研究均表明水泥水化产物中还存在大量非晶质水化产物,为了查明 OPC 与 KD 胶凝材料非晶质水化产物的差异性,对不同养护龄期的试样进行热重—微商热重分析。测试分析结果如图 8 所示。

结果表明,KD 与 OPC 的水化产物在 800℃ 内的总失重率并没有明显的差异(3 d 失重率 16.21%~16.50%,28d 失重率 17.60%~17.84%),但具体变化过程存在明显不同,说明 KD 与 OPC 水化产物种类存在明显不同,并且大量络合水的化学反应主要集中在养护初期。一般认为,80℃ 以下的失重主要来源于水化浆体中自由水的脱除,而 80~800℃ 之间的失重反应主要源于水化产物的脱水和分解。说明,KD 和 OPC 最终水化产物的络合水量并没有明显差别,即水化产物的生成总量无明显差异。

热重分析过程中重量变化明显的温度区间为水化产物的脱水或分解的温度区间,由此可以判断水化产物的种类。为了便于观察热重分析过程中重量变化率的情况,对热重曲线求导,得出微商热重(DTG)曲线,如图 8(2)所示。结果表明,KD 与 OPC 水化产物的种类有明显差异,与 XRD 分析结果一致。KD 的水化产物以钙矾石、CSH 凝胶为主,另含少量 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,所对应脱水峰值分别为 115℃,740℃,445℃;OPC 的水化产物以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、CSH 凝胶为主,另含少量 C_4AH_{13} ,对应脱水峰值分别为 452℃,100℃(727℃)和 150℃,而 70℃ 对应峰值为硬化浆体中游离水的脱除,结合图 8(1)热重曲线可知,养护时间由 3 d 增加到 28d,200℃ 下水化样品失重率由 9.31% 减小为 7.55%,200℃ 至 400℃ 失重率由 2.20% 增加为 3.56%,说明这部分游离水随着养护时间的延长,逐渐参与水化反应,形成水化产物。

综上所述,KD 的水化产物以钙矾石、CSH 凝胶为主,另含少量 $\text{Ca}(\text{OH})_2$;OPC 的水化产物以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、CSH 凝胶为主,另含少量 C_4AH_{13} 。

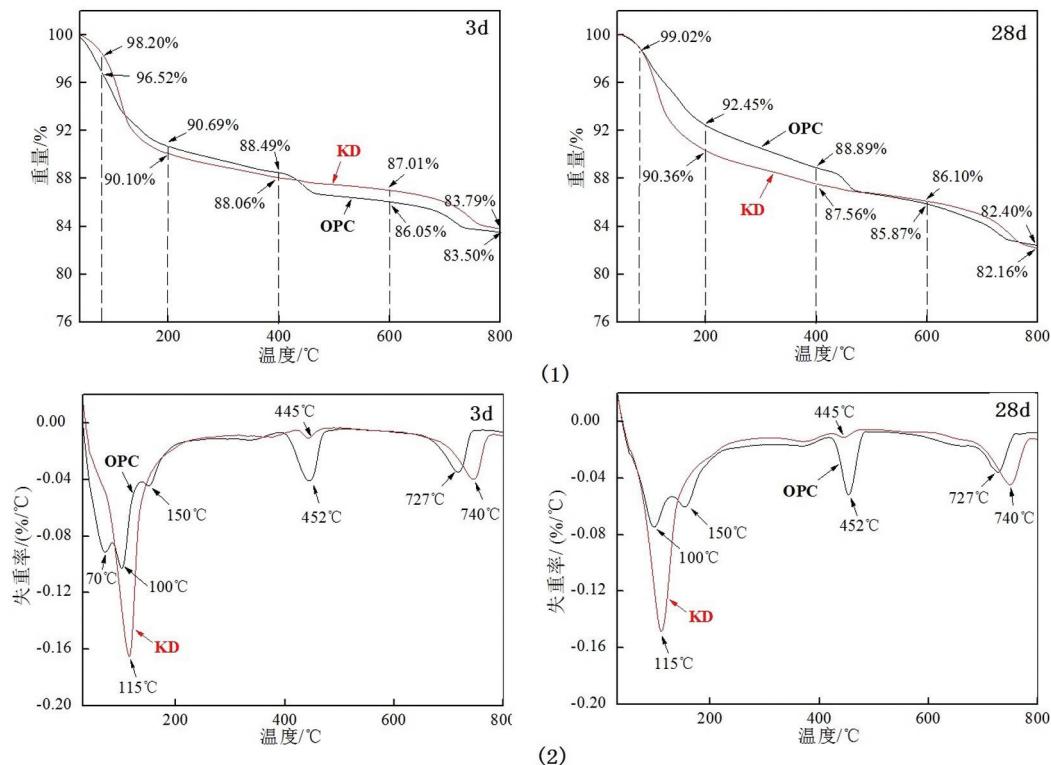


图8 KD和OPC水化试样的(1)热重曲线和(2)微商热重曲线

3.3.3 SEM—EDS分析

为了研究对比材料 OPC 与 KD 水化反应历程, 观察在反应过程中颗粒形貌的变化情况, 对两种材料不同龄期的水化产物做了 SEM 分析, 测试结果如图 9、图 10 所示。

不同水化龄期的 SEM 图谱结果表明, 未水化前样品的颗粒呈现简单的堆积, 颗粒轮廓清晰, 棱角明显, 一些极小颗粒由于具有高表面能而附着在大颗粒的表面或团聚在一起。水化前期(3 d), 在低倍镜下, 孔隙率明显降低, 出现一些大的块状结构, 凝胶水化产物的生成量明显增多, 在高倍镜下, 在颗粒的缝隙之间填充着大量的针状、棒状的钙矾石, 在结构中起“架桥”作用, 提高胶结体的密实度, 明显提高材料的抗压性能。水化后期(28 d), 试样在高、低倍镜下, 其致密程度进一步提高, 胶结体呈现均一的整体, 颗粒形貌完全消失, 水化产物的生成量充足, 颗粒间的缝隙得到充分的填充。

由图 10 可知, 当胶凝材料 OPC 水化 1 d 时, 其胶结体的形貌与 KD 材料 1 d 水化产物的形貌比较相似, 也是由许多大小不一的颗粒简单堆积而成的, 看不出有明显的水化产物生成, 绝大多数的颗粒边缘虽然都已水化, 但仍然保持原来的形貌, 呈零散的

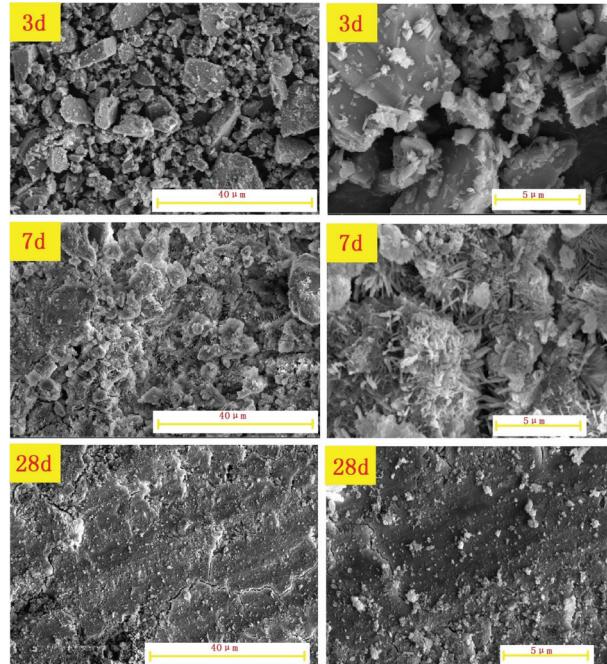


图9 KD材料不同水化龄期SEM图像

“碎石”状, 其零散程度要比 KD 材料的更严重。当养护至 3 d 时, 颗粒之间的界限逐渐变得很模糊, 颗粒间无定形的凝胶状物质增多, 充斥在大颗粒之间, 胶结体的密实度不断提高, 通过高倍镜下观察发现, 水化反应生成了一些板状的氢氧化钙和“针”“棒”状

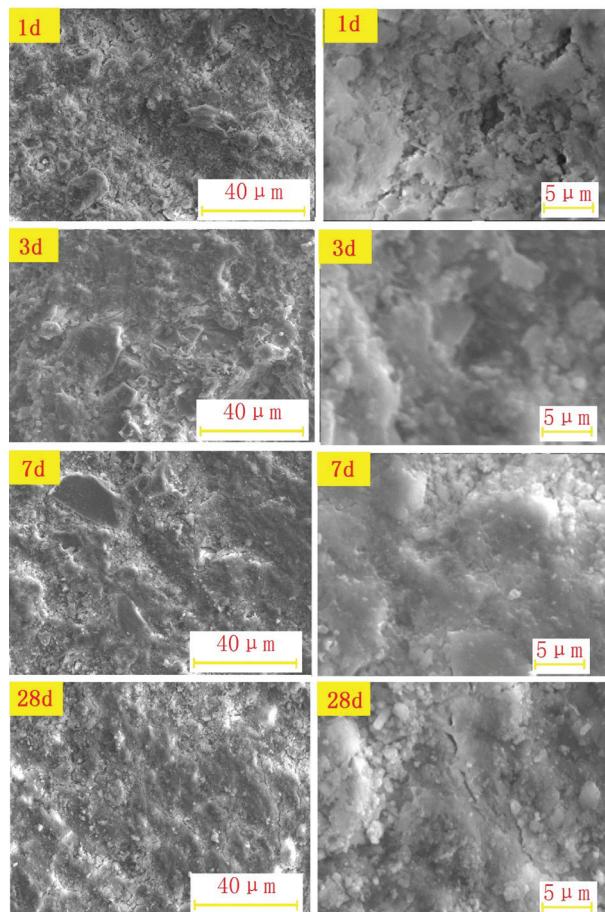


图 10 OPC 材料不同龄期水化产物的 SEM 图像
的钙矾石,但是仍然有大量的空隙存在。

随着养护龄期的延长,水化反应不断进行,水化产物继续大量的生成,不断的将一些大小不一的颗粒粘结在一起,形成大块的板状结构,使一些空隙得到进一步的填充,胶结体的密实度不断提高,宏观上展现为强度不断提高。当养护至 28 d 时,块状结构逐渐连成一片,形成一个均一的整体,使胶结体的密实度进一步得到提高,从色泽上看颜色进一步加深,宏观上展现为抗压强度继续提高,但由于有一些裂纹的存在,使其抗压强度低于 KD 材料。

对比 KD 和 OPC 水化产物的微观形貌可知,这两种材料水化产物的微观形貌存在明显差异,相对而言,KD 固结体的结构更为致密。在 KD 固结体中有大量针棒状的钙矾石填充在颗粒孔隙之间,在结构中起到架桥和支撑作用,而在 OPC 固结体中,生成的片状 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CSH 凝胶等水化产物则不足以完全填充孔隙,在结构中容易出现“孤岛状”结构,对强度带来不利影响。

4 结论

KD 胶凝材料的水化产物以钙矾石、CSH 凝胶为主,另含少量 $\text{Ca}(\text{OH})_2$; OPC 的水化产物以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CSH 凝胶为主,另含少量 C_4AH_{13} 。颗粒之间主要由一些凝胶状水化产物粘结在一起,KD 固结体的结构较 OPC 更为致密。在 KD 固结体中有大量针棒状的钙矾石填充在颗粒孔隙之间,在结构中起到架桥和支撑作用,而在 OPC 固结体中,生成的片状 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CSH 凝胶等水化产物则不足以完全填充孔隙,在结构中容易出现“孤岛状”结构,对强度带来不利影响。达到相同强度要求的试块,含大量矿渣的 KD 胶凝材料灰砂比用量小于 OPC 用量,降低了充填成本。

参考文献:

- [1] 杜根杰,利用工业固废制备陶瓷材料优势明显[N].中国建材报,2018-05-09.
- [2] Araya, Natalia, Andrzej Kraslawski, et al. Cisternas, Towards mine tailings valorization: Recovery of critical materials from Chilean mine tailings[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 263:121555.
- [3] Guo Xueyi, Qin Hong, Tian Qinghua, et al. The efficacy of a new iodination roasting technology to recover gold and silver from refractory gold tailing[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 261:121147.
- [4] 杨少伟,刘孜睿,原光暖.金尾矿砂在混凝土中的资源化利用[M].山东:山东省建筑科学出版社,2016:400-403.
- [5] T. Nyenda, S.M. Jacobs, W. Gwenzi, et al., Biological crusts enhance fertility and texture of gold mine tailings[J]. Ecological Engineering, 2019, 135:54-60.
- [6] 贺深阳,宋美,彭建军.高掺量金尾矿烧结砖的烧结机理研究[J].砖瓦,2012(12):23-25.
- [7] Lyu Xianjun, Yao Geng, Wang Zhiming, et al., Hydration kinetics and properties of cement blended with mechanically activated gold mine tailings[J]. Thermochimica Acta, 2020, 683:178457.
- [8] Wang Xin, Huang Jian, Dai Shaobin, et al., Investigation of silica fume as foam cell stabilizer for foamed concrete[J]. Construction and Building Materials, 2020, 237:117514.
- [9] Demir, Funda, Emek Moroydor Derun. Modelling and optimization of gold mine tailings based geopolymer by using response surface method and its application in Pb^{2+} removal [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 237:117766.
- [10] 渠美云,王志明,董延钰,利用三山岛金尾矿制备塑料母料[J].山东国土资源,2020,36(12):60-64.

- [11] Youngjae Kim, Minseuk Kim, Jungsoo Sohn, et al., Applicability of gold tailings, waste limestone, red mud, and ferronickel slag for producing glass fibers[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 203:957–965.
- [12] H. Shao, K. Liang, F. Peng., et al., Production and properties of cordierite – based glass – ceramics from gold tailings [J]. Minerals Engineering, 2005, 18(6):635–637.
- [13] 宋艳民.山东某金矿细粒尾矿胶结性能试验[J].现代矿业, 2020(2):92–95.
- [14] 罗绍裘, 刘大荣, 陆礼镛, 等.采矿设计手册(矿床开采卷) [M].北京:中国建筑工业出版社, 1987:1283–1341.
- [15] 王炳文, 高利晶, 赵文华, 等.玲珑金矿胶结剂固结尾砂的微观实验[J].矿业科学学报, 2019, 4(6):524–530.
- [16] 王万红, 谢盛青, 付建勋, 等.极细粒级尾砂膏体充填试验研究[J].矿业研究与开发, 2020, 40(3):67–71.
- [17] 魏健, 王志明, 王丽, 等.王家尾矿库细粒尾矿胶结性能研究[J].山东国土资源, 2018, 34(5): 102–106.

Study on Cementation Filling Hydration Mechanism of Hydrocyclone Overflow of Tailings in Jiaoja Gold Deposit

QU Meiyun

(International Engineering Technology Limited Corporation of Ji'nan Iron and Steel Group, Shandong Ji'nan 251010, China)

Abstract: In this paper, taking overflow products of tailings cyclone in concentrator of Jiaoja gold deposit as main research object, hydration mechanism of fine tailings has been studied by using ordinary 425 cement (OPC) and self-made cementitious powder (KD) as cementitious materials. The main hydration products of OPC are Ca(OH)_2 , calcium aluminate hydrate and a small amount of ettringite (AFT). The hydration products of KD are mainly ettringite and a small amount of calcium hydroxide. It is showed that the types of crystal hydration products of the two cementitious materials are obviously different. The cementation performance of KD material is better than that of OPC material, and the amount of KD in the test block is lower than that of OPC material to meet the same strength requirements. There are a lot of needle like ettringite filled between the pores of the particles in the KD consolidated body, which plays a bridging and supporting role in the structure. In the OPC consolidated body, the hydrated products, such as flaky Ca(OH)_2 , CSH gel are not enough to completely fill the pores, and the "isolated island" structure is easy to appear in the structure, which has a negative effect on the strength.

Key words: Fine tailings; hydration products; ettringite; CSH gel