

重晶石对赤泥水泥砂浆强度及放射性的影响研究

田崇霏¹, 罗忠涛¹, 王 晓¹, 殷会玲¹, 杨久俊^{1,2}

(1. 郑州大学材料科学与工程学院, 450052; 2. 天津城建大学材料科学与工程学院, 300384)

摘 要:研究了不同细度与掺量重晶石对赤泥水泥砂浆水化 28d 强度及放射性的影响。结果表明:利用重晶石来取代砂可以有效屏蔽赤泥水泥砂浆的放射性,但同时会影响到砂浆的 28d 抗压、抗折强度;当粒度相同时,屏蔽物重晶石的掺量越高,放射性的屏蔽效果越好,当掺量相同时,屏蔽物重晶石的粒度越小,放射性的屏蔽效果越好。当 0.2mm 以下重晶石取代砂量达到 30% 时,所得砂浆的放射性屏蔽率达到了 21.2%,此时砂浆的内、外照射指数分别为 0.16、0.25,放射性总比活度降低到 214.4Bq/kg。

关键词:赤泥水泥;重晶石;强度;放射性;细度;掺量

Abstract: The impact of barite content and fineness on the 28d strength and radioactive of the red mud cement mortar was studied. The results show that: the radioactive of the red mud cement mortar is shielded by replacing sand with barite, but the 28d compressive and flexural strength of the mortar are changed at the same time; the higher the content of barite, the better of the radioactive shield of the results under the same particle size, the smaller the particle size of barite, the better of the radioactive shield of the results under the same barite content. The radioactive shielding rate can reach 21.2% as the amount of barite below 0.2mm instead of sand reaches 30%, the I_{Ra} and I_r of the mortar are 0.16、0.25, the total specific activity of the mortar can low to 214.4Bq/kg.

Key words: Red mud cement; Barite; Strength; Radioactive; Fineness; Content

中图分类号: TU528 文献标识码: A 文章编号: 1000-4637(2015)04-59-04

0 前言

炼铝工业产生大量的废渣赤泥,巨大的数量使赤泥处理问题显得十分突出^[1-3]。目前,大量消纳赤泥废渣的领域是建材工业,但赤泥的天然放射性水平一般都比较低,如果将赤泥作为建筑材料或建筑材料添加物来使用,人体将长期暴露于辐射之下,持续的辐射对环境对人体健康会造成一定的影响,产生所谓的放射性危害现象,放射性危害已成为制约赤泥在建筑材料领域大规模综合利用的主要因素之一^[4]。

实际消纳赤泥废渣的工业中,我们往往期望一方面能够消耗大量的赤泥,另一方面制得的建筑材

料制品放射性又不太高,因此,如何有效进行赤泥基建材的放射性屏蔽问题就显得尤为突出和重要。国内外对利用重晶石做防辐射水泥砂浆混凝土进行了一系列研究^[5-11],但利用重晶石屏蔽赤泥基建筑材料的研究并不多,为此本文开展了这方面研究。

1 原材料及试验方法

1.1 试验原材料

1.1.1 主要原材料

试验所用主要原材料的化学组成如表 1 所示。其中,熟料为实验室自制熟料,熟料烧成最佳配料参数为脱碱拜耳法赤泥:砂岩:石灰石:粉煤灰=15:7.7:75.51:1.79,烧成温度为 1450℃。

表 1 原材料的化学组成

原材料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	烧失量
脱碱赤泥	12.86	14.75	15.76	26.61	0.72	-	0.51	2.38	0.00	23.26
熟料	17.46	3.50	2.77	63.13	3.17	-	0.80	0.12	2.84	-
重晶石	4.14	0.20	0.19	1.91	0.09	55.21	0.01	0.40	29.63	-
石膏	2.95	1.22	0.66	34.56	1.19	-	0.23	0.36	43.14	-

1.1.2 普通硅酸盐水泥的制备

在熟料中添加适量的石膏制成普通硅酸盐水

泥,所制水泥的基本物理性能如表 2 所示。

1.1.3 赤泥水泥的制备

在上述普通硅酸盐水泥中分别添加不同量的脱碱拜耳法赤泥,依据 GB/T 17671-1999《水泥胶砂

表 2 普通硅酸盐水泥的基本物理性能

抗压强度/MPa			抗折强度/MPa			标准稠度	凝结时间/min		安定性
3d	7d	28d	3d	7d	28d	用水量/%	初凝	终凝	(沸煮)
24.9	38.4	47.1	6.0	6.9	7.4	27.2	67	160	合格

强度检测方法》对水泥进行强度测试,依据 GB/T 1346-2001《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性试验方法》对水泥进行其他基本物理性能测试,

综合考虑赤泥掺量对水泥基本物理性能的影响,最终确定赤泥的最佳掺量为 15%,所制赤泥水泥的基本物理性能如表 3 所示。

表 3 赤泥水泥的基本物理性能

抗压强度/MPa		抗折强度/MPa		标准稠度	凝结时间/min		安定性
3d	28d	3d	28d	用水量/%	初凝	终凝	(沸煮)
24.3	43.1	5.2	7.1	30.4	97	204	合格

由此可见,该赤泥水泥的综合赤泥掺加量达到了 30%(熟料掺加 15%,制成水泥时又加入了 15%),具有比较好的性能。

1.2 试验方法

利用不同细度的重晶石(细度 1 在 0.2mm 以下,细度 2 在 0.5mm~1.0mm 之间,细度 3 在 1.5mm~2.0mm 之间)取代不同量(0、10%、20%和 30%)的 ISO 标准砂,依据 GB/T 17671-1999 制作成 40mm×40mm×160mm 的试块(水:水泥:砂=1:2:6),利用 TYE-200B 水泥胶砂抗折抗压试验机对赤泥水泥砂浆试块的 28d 抗压抗折强度进行检测,依据 JGJ/T 70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》制作成

40mm×40mm×40mm 的试块(水:水泥:砂=1:2:6),利用湖北文华测控设备制造有限公司生产的 FP90041B 型低本底多道 γ 能谱仪对水泥砂浆试块进行 ²²⁶Ra、²³²Th、⁴⁰K 放射性比活度的测定。

2 结果与讨论

2.1 重晶石的细度与掺量对赤泥水泥强度的影响

重晶石的细度与掺量对砂浆强度的影响如表 4 和图 1 所示。

从图 1 和表 4 的 28d 抗压强度可以看出:

(1)随着细度 1 重晶石取代砂量的增加,试块的 28d 抗压强度出现了下降,随着细度 2 重晶石取代砂量的增加,试块的 28d 抗压强度基本保持不

变,随着细度 3 重晶石取代砂量的增加,试块的 28d 抗压强度迅速增加。之所以会出现上述变化是由于,重晶石和砂都是脆性材料,当用粒度较大的重晶石去全取代砂时,取代后粒度较大的颗粒变多,具有较高的抗压强度,当

表 4 重晶石的细度与掺量对赤泥水泥强度的影响

组号	重晶石取代砂量/%	细度 1		细度 2		细度 3	
		28d 抗压	28d 抗折	28d 抗压	28d 抗折	28d 抗压	28d 抗折
1	0	43.1	7.2	43.1	7.2	43.1	7.2
2	10	42.4	7.9	43.2	7.3	44.2	8.0
3	20	39.5	7.7	44.3	7.6	46.9	8.2
4	30	39.3	7.4	43.3	7.6	48.3	8.4

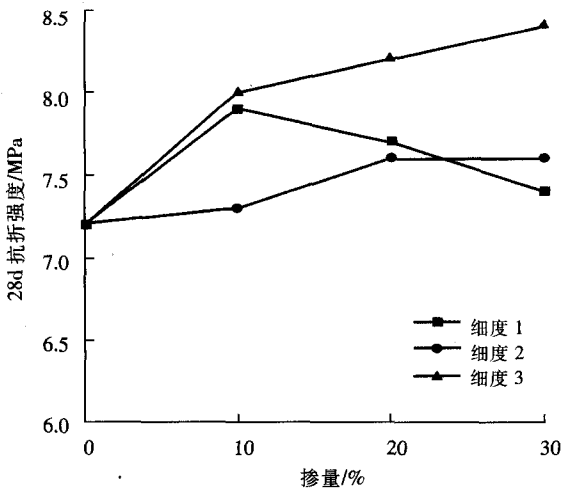
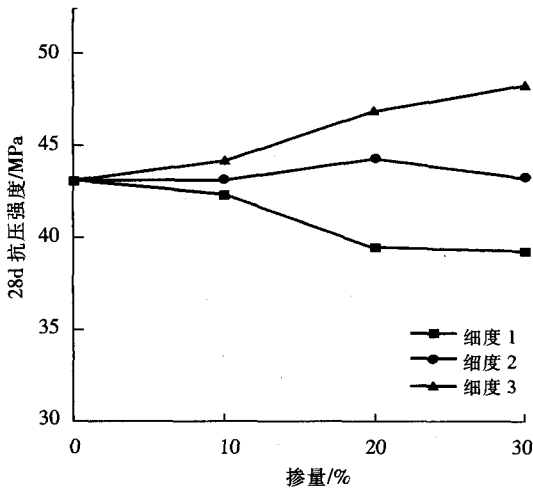


图 1 重晶石的细度与掺量对赤泥水泥强度的影响

用粒度较小的重晶石去全取代砂时,取代后粒度较小的颗粒变多,具有较低的抗压强度。

(2)随着细度 2 重晶石和细度 3 重晶石取代砂量的增加,试块的 28d 抗折强度不断增加,随着细度 1 重晶石取代砂量的增加,试块的 28d 抗折强度先增加后减小,并在 10%左右达到了最大。这是由于用粒度较小的重晶石全取代砂时,一部分重晶石填充了材料的孔隙,有利于高强度的形成,在 10%左右填充效果最佳,取代量进一步增加,多余的细

重晶石对强度不利,用粒度较大的重晶石去全取代砂,复合材料中粗颗粒越多,抗折强度也就越高。

(3)当取代量相同时,参与取代的重晶石粒度越大,相应的 28d 抗压和抗折强度也就越高。

2.2 重晶石细度与掺量对赤泥水泥放射性的影响

重晶石的细度与掺量对砂浆放射性的影响如表 5 和图 2 所示。其中 D 组为对照组,Z21 表示用细度 2 的重晶石取代 10%的标准砂,Z32 表示用细度 3 的重晶石取代 20%的标准砂,以此类推。

表 5 重晶石的细度与掺量对赤泥水泥放射性的影响

编号	²²⁶ Ra /(Bq/kg)	²³² Th /(Bq/kg)	⁴⁰ K /(Bq/kg)	I _{Ra}	I _T	总比活度 /(Bq/kg)	屏蔽率 /%
D	38.3	38.6	195.3	0.19	0.30	272.2	-
Z11	34.8	35.4	165.9	0.17	0.27	236.1	13.3
Z12	33.6	33.7	158.4	0.17	0.26	225.7	17.1
Z13	31.7	32.6	150.1	0.16	0.25	214.4	21.2
Z21	36.1	35.7	170.2	0.18	0.28	242.0	11.1
Z22	34.2	35.2	163.8	0.17	0.27	233.2	14.3
Z23	32.9	33.5	151.2	0.16	0.25	217.6	20.1
Z31	37.0	36.2	172.4	0.19	0.28	245.6	9.8
Z32	36.2	35.8	165.7	0.18	0.27	237.7	12.7
Z33	34.8	34.1	159.5	0.17	0.26	228.4	16.1

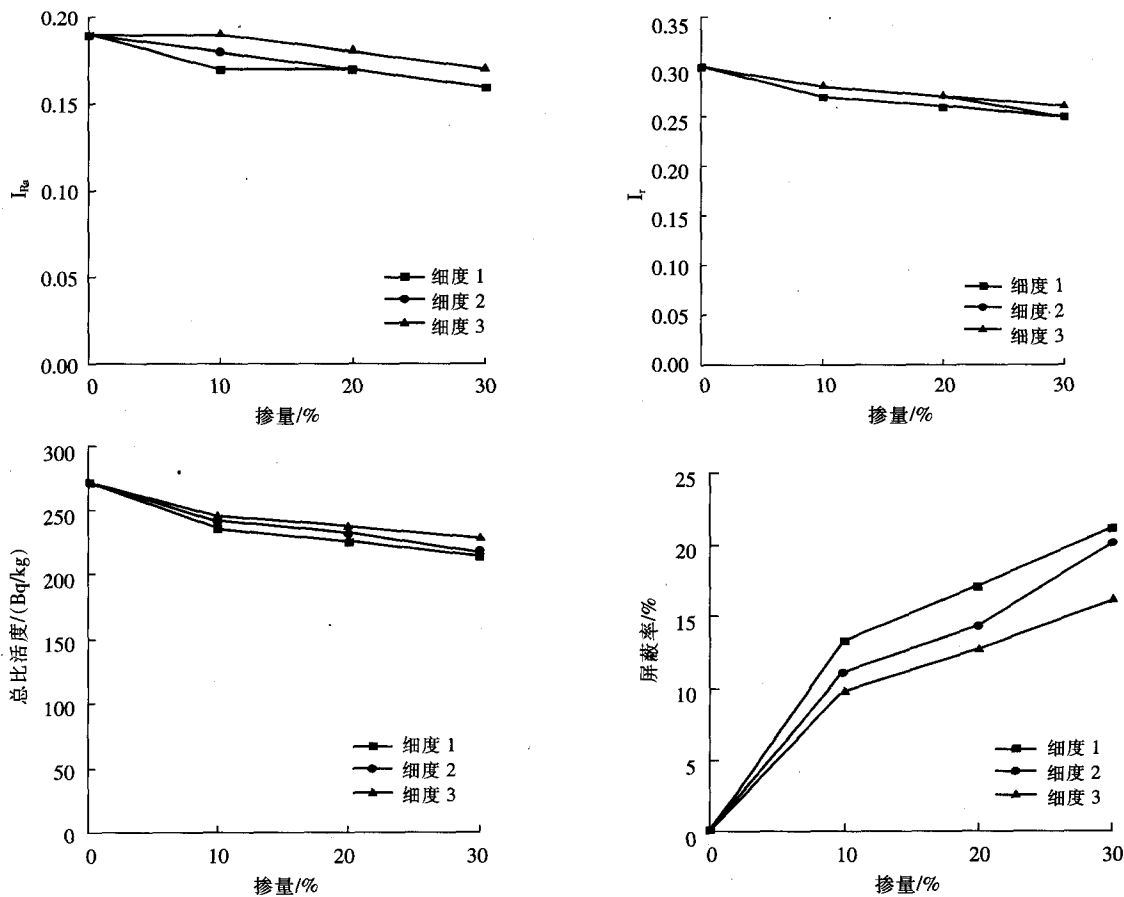


图 2 重晶石的细度与掺量对赤泥水泥放射性的影响

从表5和图2可以看出:

(1)随着相同细度重晶石取代砂量的增加,试块的内照射指数、外照射指数、放射性总比活度均出现了下降,放射性屏蔽率均出现了增加。对照组D的内照射指数、外照射指数、放射性总比活度分别为0.19、0.30、272.2Bq/kg,细度1重晶石取代10%的砂后,内照射指数、外照射指数、放射性总比活度降低到0.17、0.27、236.1Bq/kg,此时放射性屏蔽率达到了13.3%,当砂的取代量增加到20%时,放射性屏蔽率达到了17.1%,砂的取代量进一步增加到30%时,放射性屏蔽率增加到21.2%,此时试块的内照射指数为0.16,外照射指数为0.25,放射性总比活度为214.4Bq/kg,对于细度2和细度3重晶石取代砂,也有相同的规律。由此可以看出,当粒度相同时,屏蔽物重晶石的掺量越高,放射性的屏蔽效果越好。

(2)当重晶石取代砂量一定时,重晶石的粒度越小,放射性的屏蔽效果越好。重晶石取代砂量的10%,如果重晶石是细度3,试块的内、外照射指数分别为0.19、0.28,放射性总比活度是245.6Bq/kg,此时放射性屏蔽率为9.8%,如果重晶石的粒度达到细度2,试块的内、外照射指数分别为0.18、0.28,放射性总比活度是242.0Bq/kg,此时放射性屏蔽率是11.1%,粒度进一步减小到细度1,试块的内、外照射指数减小到0.17和0.27,放射性总比活度减小到236.1Bq/kg,此时放射性屏蔽率增加到13.3%,对于重晶石取代砂量为20%和30%时,也有相同的规律。由此可见,当掺量相同时,屏蔽物重晶石的粒度越小,放射性的屏蔽效果越好。

2.3 重晶石放射性屏蔽机理

当试样中 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 放出的射线透过重晶石层时,一部分射线会与重晶石层中的重金属元素Ba发生相互作用,使得Ba的内部电子受激发而跃迁出来成为光电子,即发生所谓的光电效应,另一部分射线(能量 $>1.02\text{Mev}$)从Ba原子核旁边经过时,会受到原子核库仑场的作用,此时一个 γ 光子会转变为一个电子和一个正电子,光子的能量被分成两部分,一部分转化为电子对的静止能量(1.02Mev),另一部分转化为电子对的动能,即发生了所谓的电子对效应,还有一部分射线与Ba原子的外层电子(等效于自由电子)发生弹性碰撞,将一部分能量传递给外层电子,使电子脱离原子核的束缚而从原子中射出,射线本身的能量受到衰减,运动方向也发生改变。

上述三种效应只要发生一次,射线的能量不是被完全吸收就是被部分吸收后射线粒子改变原来

的运动方向,也即只要发生一次光电效应、电子对效应或康普顿效应,具有原来特性的射线就不再存在。

内部发出的射线经外部重晶石层的不断阻挡屏蔽被不断的削弱减少,重晶石的掺量越高,发生上述效应的概率越大,对射线的阻挡也就越大,重晶石的细度越大,比表面积也越大,与射线的接触面积也越大,对射线的屏蔽能力也就越强。

3 结论

(1)利用重晶石来取代砂可以有效屏蔽赤泥水泥砂浆的放射性,但同时会影响到砂浆的28d抗压、抗折强度。

(2)粒度相同时,屏蔽物重晶石的掺量越高,放射性的屏蔽效果越好;掺量相同时,屏蔽物重晶石的粒度越小,放射性的屏蔽效果越好,当0.2mm以下重晶石取代砂量达到30%时,所得砂浆的放射性屏蔽率达到21.2%,此时砂浆的内、外照射指数分别为0.16、0.25,放射性总比活度降低到214.4Bq/kg。

参考文献:

- [1] 张国锋. 我国电解铝工业现状与发展 [J]. 广州化工学报, 2013(6):60-62.
- [2] 马洪坤, 于其正. 赤泥在建筑材料方面的综合利用 [J]. 建材世界, 2012, 33(5):9-12.
- [3] 饶正勇. 赤泥中金属元素分析和CTAB/STAB改性赤泥吸附Cr(VI)的研究[D]. 开封: 河南大学, 2012.
- [4] 黄迎超, 王宁, 万军, 等. 赤泥综合利用及其放射性调控技术初探[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(2):128-130.
- [5] 蒋平, 龚瑞明. C40重晶石防辐射混凝土的配合比试验[J]. 混凝土与水泥制品, 2006(5):19-20.
- [6] 何登良, 邓跃全. 防辐射水泥砂浆的研究[J]. 硅酸盐通报, 2005(2):99-102.
- [7] 丁庆军, 黄修林. 基于高钡污泥的防辐射功能集料制备及其性能[J]. 核动力工程, 2011(4):35-38.
- [8] 刘霞, 赵西宽. 防辐射混凝土的试验研究[J]. 商品混凝土, 2006(1):25-26.
- [9] 王萍, 王富川. 防辐射混凝土的试验研究[J]. 建筑材料学报, 2000(2):182-186.
- [10] 邹秋林, 李军, 等. 防辐射混凝土高性能化研究进展[J]. 混凝土, 2012.01:6-9.
- [11] 罗忠涛, 张美香. 建筑材料领域赤泥放射性屏蔽技术研究现状[J]. 轻金属, 2013(9):16-18.

收稿日期:2015-01-24

作者简介:田崇霏(1989-),男,硕士研究生。

联系电话:15537113868

E-mail:552487336@qq.com

通讯作者:杨久俊(1955-),男,教授、博导。