

文章编号: 1671-6833(2003)04-0075-03

# 水泥强度诱导提高方法研究

杨力远<sup>1,2</sup>, 林宗寿<sup>1</sup>

(1. 武汉理工大学材料学院, 湖北 武汉 430070; 2. 郑州大学材料工程学院, 河南 郑州 450052)

**摘要:** 利用物理性能检测、水化放热测定和孔结构测定方法研究了通过掺加微细矿渣、高铝组分和水化硬化浆体诱导提高硅酸盐水泥强度的方法, 并对其作用机理进行了探讨. 试验表明, 适量的微细高铝组分、矿渣组分及水化硬化浆体能够明显提高硅酸盐水泥强度.

**关键词:** 矿渣; 铝酸盐矿物; 水化产物; 强度

**中图分类号:** TQ 172.1 **文献标识码:** A

## 0 引言

随着社会经济的发展, 建筑业对水泥强度提出了越来越高的要求. 目前常用的提高硅酸盐水泥强度的手段, 主要是改变硅酸盐水泥熟料矿物结构、改变混合材品种和掺加量, 以及改变水泥颗粒级配等<sup>[1]</sup>. 而对不同系列矿物之间的交叉作用的研究, 以及通过诱导硅酸盐水泥水化过程对硅酸盐水泥的强度进行提高的方法则具有特殊的意义<sup>[2]</sup>. 本文对微细矿渣、铝酸盐矿物组分和硅酸盐水泥水化硬化浆体对水泥水化过程的影响以及对水泥强度发展的诱导提高作用进行研究.

## 1 试验方法与结果

### 1.1 原料来源及制备

用作参比基准的硅酸盐水泥为市售P·O42.5号.

矿渣来自某钢铁厂, 经 105 °C 烘箱干燥后用 500 mm 水泥标准磨磨细备用. 微细矿渣由 CO 型气流磨进一步粉磨制备.

高铝组分为某厂生产的高铝水泥熟料, 经 500 mm 水泥标准磨磨细后, 再经 CO 型气流磨粉磨成一定细度的微细粉.

水化硬化浆体为普通水泥净浆凝结、硬化后的浆体块, 经 105 °C 烘箱干燥后由 CO 型气流磨粉磨制备. 试验原料的化学成分及分散度分别如

表 1、表 2 所示.

表 1 试验原料化学成分

Tab. 1 The chemistry composition of experimental row materials

名称	烧失量	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	其它
水泥熟料	0.18	21.16	5.84	4.08	66.09	1.44	1.21
矿渣	0.54	35.60	14.76	2.30	36.64	7.49	2.67
高铝组分	0.70	6.71	45.00	2.92	34.52	0.84	9.31

表 2 试验原料分散度

Tab. 2 The fine degree of experimental row materials

原料名称	0.080 mm 筛筛余/%	比表面积/(m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup> )
水泥	5.6	280
普通矿渣	6.6	286
微细矿渣	1.1	370
高铝组分	1.2	359
水化浆体	2.0	338

### 1.2 试验方法和结果

#### 1.2.1 水泥样品物理性能试验

试验水泥样品配比如表 3 所示. 各水泥样品物理性能试验严格依照国家标准 GB 175-1999、GB 17671-1999、GB 1346-1989 等进行, 其试验结果如表 4 所示, 其中 G0 为参比水泥.

物理性能试验表明, 经诱导增强作用的水泥样品, 尽管比参比样品 G0 多掺加 10%~20% 的矿渣作为混合材, 但它们的强度仍然高于不采取诱导措施的参比样品, 并且凝结时间、安定性等性能完全符合有关国家标准要求, 说明本研究采取

收稿日期: 2003-06-26; 修订日期: 2003-08-30

基金项目: 河南省科技攻关项目(0224360014)

作者简介: 杨力远(1964-), 男, 河南省邓州市人, 郑州大学副教授, 武汉理工大学博士研究生, 主要从事无机非金属材料方面的研究.

的诱导措施是有效的.

表3 试验样品配比

Tab.3 The mixing proportion of experimental row materials %

编号	普通矿渣	微细矿渣	高铝组分	水化浆体	水泥
G1	10	1	0.2	0.1	88.7
G2	10	3	0.6	0.3	86.1
G3	10	5	1	0.5	83.5
G4	15	1	0.6	0.5	82.9
G5	15	3	1	0.1	80.9
G6	15	5	0.2	0.3	79.5
G7	20	1	1	0.3	77.7
G8	20	3	0.2	0.5	76.3
G9	20	5	0.6	0.1	74.3
G10	0	0	0	0	100

表4 试验样品水泥物理性能

Tab.4 The physical capability of experimental cement

编号	标稠 /%	初凝 / (h:min)	终凝 / (h:min)	3d 抗折 /MPa	3d 抗压 /MPa	28d 抗折 /MPa	28d 抗压 /MPa
G1	29.3	2:15	4:25	6.91	33.1	9.23	64.4
G2	28.5	2:30	4:30	5.43	28.1	7.78	60.4
G3	28.0	3:15	5:20	5.86	28.5	9.00	60.0
G4	29.0	2:55	4:45	5.96	28.3	8.96	59.8
G5	29.5	3:15	4:55	5.65	27.4	9.28	59.1
G6	28.8	2:20	4:55	5.72	28.4	8.10	59.3
G7	28.6	3:25	4:30	5.72	26.1	8.15	57.5
G8	29.5	2:45	5:20	5.86	26.4	8.98	59.5
G9	27.0	2:30	4:45	5.53	25.4	8.53	58.8
G10	28.5	3:45	5:00	6.19	30.6	8.73	55.6
G0	29.1	3:00	4:45	6.08	31.1	8.80	56.8

说明:所有样品的安定性均为合格.

1.2.2 水化浆体放热测定试验

用简易量热计测量G0,G1样品水化浆体温度,计算水化过程放热量,结果如图1、图2所示.试验条件:水灰比为0.28,20℃恒温.将水泥搅拌成浆,放入样品池,安装好仪器,密封,恒温10min开始读数计时.从图1可看出,G0样品温升加速拐点约在第2.5h,G1样品的温升加速拐点约在第3h,G1比G0提前约30min.G0的水化浆体温度峰值在第11h出现,G1的水化浆体温度峰值则出现在第9h,G1比G0提前约2h.与之相对应,从图2可看出,G1比G0放热加速拐点约提前30min,G1比G0水化放热峰值约提前2h,这说明用于提高水泥强度的外加组分对水泥水化确实起

到了诱导促进作用.由于G1样品与参比样品相比内部多参加了10%矿渣作为混合材,所以G1的总放热量小于G0的总放热量.

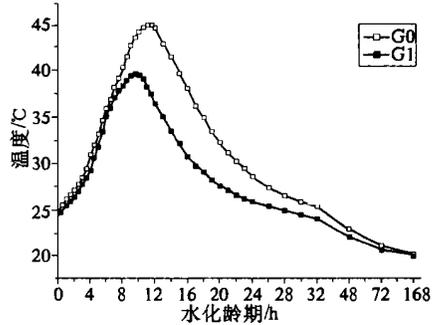


图1 G0,G1水化浆体温度变化

Fig.1 The temperate change of G0,G1 hydrate

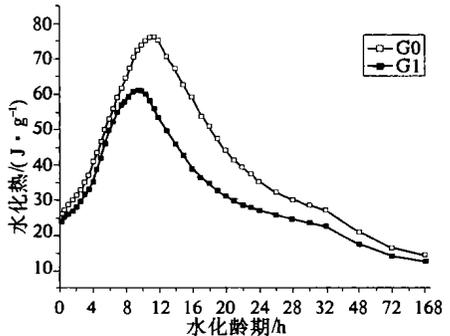


图2 水化浆体放热量

Fig.2 The ejective heat from hydrate

1.2.3 水化凝结硬化浆体孔结构试验

将G0和G1水化凝结硬化浆体分别在标准条件下养护至7d龄期时用无水酒精终止水化,用NOVA-100氮吸附法快速孔隙度分析仪分析水化浆体孔分布,试验结果见图3.结果表明,在水化龄期为7d时,在相近的孔径区域内,G1硬化浆体的孔隙率小于G0硬化浆体的孔隙率.这和物理性能检测结果中强度的差别是一致的.

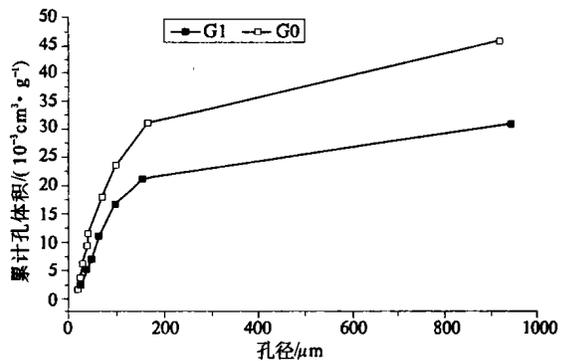


图3 水化浆体孔径分布对比

Fig.3 The contrast of the hole size in the hydrate

2 分析与讨论

本研究试验结果表明,通过掺加适量微细矿

渣、铝酸盐矿物组分和水硬化浆体诱导组分,的确能够加快水泥强度发展进程,提高水泥各龄期的强度指标,所得水泥的安定性、凝结时间等其他性能指标也能够达到或优于国家标准规定的指标。

试验结果表明,大多数配制样品 28d 强度高于参比样品 G<sup>0</sup> 的强度,其中 G<sup>1</sup> 样品的 28d 抗压强度比 G<sup>0</sup> 提高了 13.4%。水化浆体累计空隙率曲线(图 3)表明,在相近孔径区域,采取增强措施的水泥样品累计空隙率小于参比水泥样品。这说明,通过掺加适量的微细矿渣、微细铝酸盐矿物组分和微细水化浆体诱导组分,在另掺 10% 以上矿渣的条件下,仍然能够得到比基体结构更加密实、强度更高的水泥样品。

### 2.1 铝酸盐组分的作用机理

微量的以 CA 和 CA<sub>2</sub> 矿物为主的高铝组分在与以硅酸盐矿物为主的普通硅酸盐水泥共同水化过程中的积极作用,是与它们本身的水化特性以及我们对其在水泥中含量的正确控制密不可分的。

微量 CA 和 CA<sub>2</sub> 矿物,由于其晶体结构中钙、铝的配位极不规则,本身具有水化极快、早期强度高特性。在有石膏存在的情况下,它们能在水化早期水化反应生成大量的棒状和针状的 AR 晶体,这些晶体互相交错搭接,可形成坚强的结晶合生体,为早期强度提供了微观保证。

微量 CA 和 CA<sub>2</sub> 矿物在水泥水化反应早期快速水化生成钙矾石的反应,降低了系统内钙离子含量,而钙离子含量的降低,导致了硅酸三钙水化反应速度加快。进而在水化早期生成大量无定型水化硅酸钙凝胶和六方板状氢氧化钙晶体,共同促进了早期强度的发展。

必须指出,过量的 CA 和 CA<sub>2</sub> 组分和硅酸盐水泥组分的共同反应会导致急凝等不正常情况发生。本文试验表明,通过对 CA 和 CA<sub>2</sub> 矿物掺加量的严格控制,能够提高硅酸盐水泥的强度,并避免急凝等不正常情况的发生,这 and 传统理论是一致的。

### 2.2 水化浆体中晶核的诱导作用

根据晶体生长理论,非均匀成核时所需的形成能总是要比均匀成核时的低。本研究中,我们在

水泥中加入 0.1%~0.5% 的水化凝结硬化浆体,浆体中水化产物晶核的存在为本体相胚芽形成晶核提供了非均匀成核的基面,从而可能成为水泥水化过程中良好的催化剂,这也可能成为硅酸盐水泥强度提高的原因之一。

### 2.3 微细矿渣的辅助增强作用

对水泥混合材高细粉磨,是为了进一步开发利用混合材的潜在水化活性。测试表明,在比表面积为 300 m<sup>2</sup>/kg 左右时,高炉矿渣水化 90d 左右,才能产生与硅酸盐水泥熟料水化 28d 时相应的强度。本试验中利用气流磨对矿渣进行高细粉磨,扩大了矿渣参与水化反应时的表面积,相应地可以较大幅度地提高它们的水化速度,使他们在较短时间内水化生成较多的 C-S-H 凝胶,使体系密实度增加,从而产生较高的强度。

## 3 结论

(1) 适量的含 CA 和 CA<sub>2</sub> 矿物的高铝组分微细粉、适量的微细矿渣及适量的水化浆体晶种组分共同作用,能够对硅酸盐水泥的水化过程产生诱导促进作用,从而提高水泥强度。

(2) 高铝组分中 CA 和 CA<sub>2</sub> 矿物的快速水化反应特性以及由此引起的硅酸盐水泥-水体系的平衡点的移动,是硅酸盐水泥的水化进程加快,水化产物密实度增加的原因之一。

(3) 水化浆体中水化产物晶核的存在为本体相胚芽形成晶核提供了非均匀成核的基面,从而成为水泥水化过程中良好的催化剂,也会使水化产物密实度增加。

(4) 微细矿渣能够在较短时间内水化生成较多的 C-S-H 凝胶,使体系密实度增加,从而产生较高的强度。

## 参考文献:

- [1] 王复生,张捷,王光明,等. 水泥物料高细粉磨的意义及要求[J]. 水泥,2001,(1):14~15.
- [2] 张永娟,施惠生. 用预水化法提高水泥早期强度的探讨[J]. 水泥,2000,(7):7~10.
- [3] 沈威,黄文熙,闵盘荣. 水泥工艺学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1986.

(下转第 89 页)

nance, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 210000, China)

**Abstract** : According to the revenue difference resulting by the order of the reaction during the decision making, this paper analyzes the first move advantage of those who take action quickly, explains the reason why having more information doesn't mean more revenue. Then the paper probes in detail into the relationship of risk attitude, that is, risk prefer, risk neutral and risk averse, and the expected revenue in constant sum game with the Game Theoretic model respectively, and comes to the conclusion that they are positively related. Finally, the author points out that to take action quickly and to dare to face the risk are far more important than that of getting more information, only in this way can one get expected revenue.

**Key words** : first move advantage ; risk attitude ; expectant revenue ; game theory

(上接第77页)

## Study on Cement Strength Inducing Exaltation Method

YANG Li -yuan<sup>1,2</sup>, LIN Zong -shou<sup>1</sup>

(1.College of Materials Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2.College of Materials Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract** : This research centers on cement exaltation method by mixing fine slag, aluminium mineral materials and hydrate with physical capability test, measuring hydrate heat and hole size. And it also discusses the function mechanism. The result shows that fine aluminium mineral materials, slag and hydrate can evidently heighten the strength of the Portland cement.

**Key words** : fine slag ; aluminium mineral materials ; hydrate ; strength