

硅粉在混凝土中的应用探讨

杨 坪, 彭振斌

(中南大学资源环境与建筑工程学院, 湖南 长沙 410083)

[摘 要] 作者分析了硅粉在混凝土中的作用机理, 以及硅粉对混凝土物理、力学性能的影响, 从而指出在混凝土中掺入适量的硅粉, 是一种所需投资较少且有明显效果的方法, 并可带来良好的环境效益和社会效益。

[关键词] 硅粉; 混凝土; 物理性能; 力学性能

[中图分类号] TU528.04

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-3550(2002)01-0011-04

1 概况

自从1982年挪威技术研究院对硅粉混凝土的性能首次进行了综合研究以来, 人们对硅粉进行了不断的研究, 由于硅粉具有与硅酸盐水泥独特的互补性能, 现在已被确定为一种新型的辅助胶结材料而被广泛研究和应用。

2 硅粉的特性和作用机理

2.1 硅粉的特性

硅粉是硅铁和硅金属生产中的工业尘埃, 它是在冶炼硅、铁合金时由电弧炉中高纯度石英与焦炭发生还原反应而生成的。

硅粉具有以下特性:

(1) 硅粉是一种非常细的粉末, 主要成分是颗粒极细($0.1\mu\text{m} \sim 0.2\mu\text{m}$)的无定型的二氧化硅。它的平均粒径比水泥小100倍, 比表面积约为 $15\text{m}^2/\text{g} \sim 20\text{m}^2/\text{g}$;

(2) 因为硅是从蒸气冷凝而得, 故其粉末具有非常完美的球状形态;

(3) 这种粉末含有85%~95%以上玻璃态的活性二氧化硅;

(4) 硅粉的比重为 $2.2\text{g}/\text{cm}^3 \sim 2.5\text{g}/\text{cm}^3$, 松散容重为 $200\text{kg}/\text{m}^3 \sim 300\text{kg}/\text{m}^3$ 。

硅粉掺入混凝土后, 对新拌和硬化混凝土的作用与上述几个特性有关。

硅粉的主要品质指标是它的 SiO_2 含量和细度。 SiO_2 含量越高、细度越细, 其对混凝土的改性效果也越好。因各国的试验方法不同, 其对硅粉主要品质指标的规定也不一样, 表1列出了几个国家对硅粉主要品质指标的规定。

2.2 硅粉在混凝土中的作用机理

[收稿日期] 2001-12-24

硅粉具有极强的火山灰性能。其作用机理是当把硅粉掺入混凝土中后, 硅粉和水接触, 部分小颗粒迅速溶解, 溶液中富 SiO_2 贫 Ca 的凝胶在硅粉粒子表面形成附着层, 经过一定时间后, 富 SiO_2 和贫 Ca 凝胶附着层开始溶解和水泥水化产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成 C—S—H 凝胶。

表 1

国别	SiO_2 含量 / %	细 度		火山灰活性指数 / %
		比表面积 / (m^2/g)	湿筛余量 ($45\mu\text{m}$) / %	
中国	≥ 85	≥ 15	≤ 10	≥ 90
美国	≥ 70	—	≤ 10	≥ 75
加拿大	≥ 85	—	≤ 10	≥ 85
挪威	≥ 85	—	—	—

火山灰反应的结果是改变了浆体的孔结构, 使大孔(大于 $0.1\mu\text{m}$)减少, 小孔(小于 $0.05\mu\text{m}$)增加, 使孔径变细, 还将浆体中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 减少, 结晶细化。并使其定向程度变弱, 细颗粒的硅粉, 填充在水泥颗粒空隙间, 也使浆体更密实。

此外, 由于火山灰的反应和减少泌水, 界面处浆体密实, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 晶体细化, 定向程度减弱, 致使过渡区变薄, 增加浆体与骨料界面的粘结, 从而改变界面过渡区分布形态。

3 硅粉对混凝土物理性能的影响

掺入硅粉, 可以改变混凝土的一些重要物理性能指标, 可以满足某些特殊性的要求。

3.1 影响混凝土用水量

硅粉颗粒可以填充相对较大的水泥颗粒的孔隙, 减少孔隙的体积, 但硅粉很大的比表面积对和易性的影响更大。因此, 一般用水量要随硅粉掺量的增加而增加。

但为了保持流动度不变,在掺入硅粉的同时,一般都要加入高效减水剂或超塑化剂。

3.2 改善和易性

在混凝土水胶比 $[W/(C+SF)]$ 比较低的情况下,加入硅粉要增加粘聚性。为了得到与不掺硅粉的混凝土相同的和易性,一般要增加50mm坍落度,但在水泥用量低于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 情况下,加入硅粉可以改善它的粘聚性。

3.3 减少泌水量

因为硅粉的比表面积非常高,在新鲜混凝土中的许多自由水都被硅粉粒子所约束,可以大大减少泌水量。

3.4 减少离析

掺入硅粉可改善混凝土的离析性能。当坍落度较大,振捣时间比较长的时候,硅粉混凝土也不易离析。

3.5 塑性收缩

混凝土的塑性收缩开裂是由于混凝土表面拉应力超过了混凝土早期的抗拉强度。这种拉应力是由混凝土表面水份移动所引起的。硅粉混凝土显著减少泌水量就增加了塑性收缩开裂的危险性,特别在蒸发速度比较高的情况(例如高风速、低湿度和高温度情况下)。塑性收缩开裂可出现在浇注抹面之后直至混凝土开始凝固,大多发生在混凝土接近初凝的时候。

为了防止塑性开裂,混凝土必须覆盖以防止快速蒸发,表面可用麻袋或塑料膜或养护剂覆盖,或者用喷雾的方法来减少蒸发,一些能延缓蒸发的特种外加剂在国外也曾用来减少塑性开裂的危险。

3.6 凝结时间

硅粉混凝土的凝结时间与等强度不掺硅粉的混凝土相比经常是略为增加。在没有减水剂和超塑化剂的情况下也会延迟,特别是在硅粉含量较高的情况下更是如此。当外掺硅粉以提高强度时,视所用外加剂的品种不同,对凝结时间影响也不同,有的缩短1~2h,有的没有明显增加,有的延缓1~2h。

3.7 降低空气含量

由于硅粉比表面积较高,同样剂量引气剂情况下其含气量要减少,尽管使用超塑化剂也是如此。

3.8 减少水化热温升

用硅粉取代水泥可以减少水化热温升。曾测试了硅粉取代量为0、10%、30%的水泥水化热。硅粉水泥的热峰值出现虽都略早于不掺的,但总放热量都低于不掺硅粉,7天总放热量在取代量为10%及30%时,分别降低29%和19%。水泥用量为 $540\text{kg}/\text{m}^3$ 并以10%硅粉取代水泥的高强混凝土,其绝热温升可以比不掺的减少9%。

4 硅粉对混凝土力学性能的影响

4.1 提高粘结性能

由于混凝土内部的泌水会使某些自由水积聚在钢筋和骨料下面,从而降低了水泥浆与钢筋和骨料界面的粘结,加入硅粉可以大大减少新鲜混凝土内部的泌水,从而减少界面水分的积聚,改善界面粘结性能。

4.2 增加抗压强度

由于硅粉的加入产生了火山灰反应和微填料作用,使水泥浆与骨料界面过渡区改善,并使孔结构细化都引起强度增加。但由于用水量增加要抵消一部分强度增长。掺入硅粉后,对混凝土的强度提高程度可用效率指数来衡量。所谓效率指数是指当用硅粉取代水泥时,1份硅粉对混凝土强度的贡献可能相当于2~5倍水泥所能产生的强度,这个倍数称为硅粉的效率指数。随着硅粉掺量的增加,其效率指数逐渐降低,当硅粉掺量超过20%时,其效率指数显著降低,超过30%时,混凝土的强度甚至反而下降,因此,掺量通常不应高于20%。当硅粉掺量过高时,新拌混凝土将变得非常粘稠而增加施工浇捣的难度。同时,硅粉的价格高于水泥,在满足设计对混凝土强度或其他性能要求的前提下,以少掺为宜,在高性能混凝土中,常用的掺量一般介于5%~15%之间。表2列出在混凝土中掺入硅粉时的强度情况:

表 2

编号	SF0	SF5	SF10	SF15
水泥用量/(kg/m^3)	467	439	412	385
硅粉掺量/%	0	5	10	15
高效减水剂掺量/%	0.7	1.0	1.3	1.6
水胶比	0.32	0.32	0.32	0.32
坍落度/mm	70	70	75	75
平均抗压强度 /MPa	7d	65.0	72.9	77.3
	28d	80.3	90.3	96.5
	90d	86.6	93.2	100.5

4.3 抗拉和抗弯强度

一般混凝土的拉压比干燥养护要大于潮湿养护,但硅粉混凝土不管是干燥养护或潮湿养护,其拉压比都较相近。

4.4 弹性模量

硅粉混凝土的弹性模量随硅粉掺量的增加和水胶比的减少而增加。由于减少骨料和硬化水泥浆过渡区的孔隙率,使得硅粉混凝土的总刚度增加。

4.5 徐变

徐变和收缩一样,与由于干燥或水化引起的自由水从硬化混凝土中的迁移有关,徐变一般随着抗压强

度增加而减少。

4.6 干缩

在高强度混凝土中自由水几乎全部用于水化,干缩和自生收缩随着水灰比减少而增加,特别是掺硅粉的情况下更是如此,如果硅粉的掺入,毛细管孔隙细化水分蒸发量减少。因此,一般硅粉混凝土表现为早期干缩增大而后减少。

为了减少硅粉混凝土早期干缩,可采用延长潮湿养护时间,把硅粉配成浆剂或掺入适当的膨胀剂等。

5 硅粉对混凝土耐久性的影响

从综合角度来看,硅粉对改善混凝土的耐久性效果最为显著,几乎可用于有任何耐久性要求的环境。

5.1 抗渗性

一般硅粉增加抗渗性的效果要大于强度的增加,特别是硅粉以小掺量掺入低强度混凝土时更是如此。

由环境介质对混凝土的渗透引起的耐久性问题最为普遍。就混凝土材料自身来说,抗各种介质(水、氧、 CO_2 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等)渗透性的能力主要取决于其内部孔结构(总孔隙率、孔径分布)及界面性能。其中有害大孔($>1000\text{\AA}$)占总孔隙的体积比越高对抗介质渗透性越不利。对于普通混凝土,根据 Neville 的资料,当水灰比超过 0.6 时,混凝土的可渗透性急剧增长,而对于水灰比小于 0.4 的混凝土可认为是基本不渗透的。对于掺入一定量的硅粉的高性能混凝土,水胶比通常小于 0.4(最小的甚至仅 0.18),且有超细微粒填充,因此,掺入硅粉的高性能混凝土具有非常好的抗渗能力。

5.2 提高抵抗化学侵蚀的能力

加入硅粉可以明显地降低混凝土的渗透性及减少游离的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,从而可以提高混凝土抗化学侵蚀的性能。

5.3 抗碱骨料反应性

加入硅粉可改善混凝土中的碱骨料反应,因为硅粉粒子改善水泥胶结材的密封性,减少了水分通过浆体的运动速度,使得碱膨胀反应所需的水分减少;也由于减少水泥浆孔隙液中碱离子(Na^+ 和 K^+)的浓度。另外,在有硅粉时所形成的 C—S—H 有一个较低的钙硅比,可以增加晶体容纳外来离子(碱分子)的能力,从而减少了还原成硅和石灰凝胶的危险性。

5.4 防钢筋腐蚀性

混凝土高碱性给普通钢筋混凝土中的钢筋提供了形成钝化膜的条件,一旦钝化膜破坏,钢筋就会发生电化学腐蚀。腐蚀速度取决于水分以及氧气进入混凝土的速度。

加入硅粉可以改善密实性增加电阻率,所以抵抗钢筋锈蚀的性能得到很大改善,硅粉改善电阻率是随

着硅粉含量的增加而增加。

5.5 抗磨蚀性

水工结构中的高速水流泄水建筑物护面材料具有高抗冲磨与抗空蚀要求。在混凝土中加入硅粉可以改善混凝土的抗磨蚀性。

加入硅粉改善了混凝土的抗磨蚀性是由于改善了浆体自身的抗磨性和硬度,以及改善水泥浆骨料界面的粘结,从而使粗骨料在受到磨损作用时难以被冲蚀。

掺硅粉抗磨蚀混凝土同不掺硅粉的混凝土相比,一般抗冲磨能力可提高 1 倍左右,抗空蚀能力可提高 3 倍以上。一般抗空蚀能力提高的倍数要大于抗冲磨能力提高的倍数。

一般随着硅粉掺量的增加,硅粉抗磨蚀混凝土的强度也随之提高,但当硅粉掺量超过 20% 之后,其强度及抗磨蚀性能就开始降低,综合考虑,根据对抗磨蚀混凝土的性能高低要求,一般取 8%~10% 为宜。

水泥与骨料品种对改善抗磨蚀能力有一定的影响。研究发现用 425# 早强普硅及矿渣水泥配制的硅粉混凝土其改善抗磨蚀的能力要差于纯大坝或硅酸盐水泥配制的硅粉抗磨蚀混凝土,硅粉碎石混凝土改善抗磨蚀能力要高于硅粉卵石混凝土,硅粉改性的铁矿砂石混凝土抗磨蚀能力比河卵石提高 70%。钢纤维硅粉混凝土抗冲击韧性有很大提高。

6 结论

大量的试验研究和工程实践表明:在混凝土中掺入一定量的硅粉,不仅可以有效地改善混凝土的物理力学性能,满足某些特殊工程的要求,还可以减少环境污染,同时在节约水泥和降低成本等方面也都效果显著,是一项值得推广和提倡的技术。

[参考文献]

- [1]林宝玉,吴绍章.混凝土工程新材料设计与施工[M].北京:中国水利水电出版社,1998.8.
- [2]惠荣炎,等.硅粉混凝土及其应用[M].北京:中国铁道出版社,1995.
- [3]Bentur A and Goldman A. Curing Effects, Stength and Physical Properties of High Strength Silica Fume Concretes. Journal of Materinals in Civil Engineering. ASCE;2, 1):460~480.
- [4]Sandvik M. Silicabetong: Herdvarme, egenskapsutivking. Report STF 65 A83063, FCB/SINTEF, The Nonwegian institute of Technology, Trondheim, Norway.

[作者简介] 杨坪(19-),中南大学资源环境与建筑工程学院地质工程硕士研究生。

[单位地址] 湖南长沙市中南大学岳麓山校区资源环境与建筑工程学院彭振斌转杨坪(410083)

[联系电话] E-mail:csuyangp@263.net

Application of silica fume on concrete and its research

YANG Ping, PENG Zhen-bin

(Central South University, Hunan Changsha 410083, China)

Abstract: According to studying the effect mechanism of silica fume on concrete and influence of silica fume on mechanical and physical performances of concrete, we points out that using concrete mixed with some silica fume is imexpensive and effective.

Key words: silica fume; concrete; physical performances; mechanical performances

·上接第 31 页·

Research for the application of the low alkali and micro-expansive steel fibre reinforced concrete in Jinwei highway project

JIANG Yi

(Tianjin highway construct developing company, Tianjin 300381, China)

Abstract: Low alkali and micro-expansive steel fibre reinforced concrete was used in the project of reconstruction of Tianjin Jinwei Highway, thus the strength and the durability of the concrete is enhanced, the quality of the project is ensured and satisfactory economic benefits had been obtained.

Key words: low alkali; steel fibre; micro-expansive concrete; expansive agent

·上接第 33 页·

6 结论

(1) 施工因素造成构件承载力降低, 使得混凝土过早开裂, 而使用时反复作用的荷载则加速了这一过程。

(2) 按国标(GBJ144-90)^[1]和行标(JGJ125-99)^[2]判断, 此框架结构已属局部危险结构, 建议对其进行加固。

[参考文献]

[1] GBJ144-90, 工业厂房可靠性鉴定标准[S].

[2] JGJ125-99, 危险房屋鉴定标准[S].

[3] JGJ/T23-92, 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S].

[4] CECS 02:88, 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程[S].

[5] GB50152-92, 混凝土结构试验方法标准[S].

[6] CECS69:94, 后装拔出法检测混凝土强度技术规程[S].

[7] GB50204-92, 混凝土结构工程施工及验收规范[S].

[作者简介] 靳彩(1950-), 男, 高级工程师; 赵瑜(1964-), 男, 副教授(硕士)。

[单位地址] 郑州市郑花路 20 号华北水力水电学院 3-27 号信箱(450045)

[联系电话] 0371-5790015

Testing and analyzing on concrete performances of the frame structure of the powder-making workshop

JIN Cai, ZHAO Yu

(North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, ZhengZhou 450045, China)

Abstract: In the paper concrete performances of the six-storey frame structure of the flour factory are tested totally. According to many factors such as construction, raw materials, environment and load, causes of cracking are analyzed. The repairing and reinforcing schemes for the frame beam are proposed in the end.

Key words: frame structure; crack; testing; repairing; reinforcing