

绿色高强混凝土——硅灰混凝土

程瑶 张美霞

(1. 中国地质大学, 武汉, 430074)

摘要 硅灰是冶金厂生产硅铁和工业硅过程中产生的废灰。硅灰混凝土为绿色混凝土, 它不仅节约了水泥熟料, 而且改善了环境, 大大促进了混凝土和建筑工程的健康发展。混凝土中掺入硅灰可得到高强和超高强混凝土, 用此混凝土浇制的结构物其安全度大大提高, 经济效益显著。硅灰混凝土还可以有效抑制碱骨料反应, 提高结构物的安全度和耐久性, 延长使用寿命。

关键词 硅灰混凝土 绿色混凝土 高强混凝土 碱骨料反应

中图分类号: X947

文献标识码: A

文章编号: 1671-1556(2002)03-0033-04

1 引言

硅灰(Silica Fume)是铁合金厂在冶炼硅铁合金或金属硅时, 从烟尘中收集的一种飞灰, 亦称硅粉。当硅石、焦炭和生铁在电炉中共冶, 温度达到1700~2000℃以上, 部分硅与空气中的氧反应生成一氧化硅, 一氧化硅烟气在上升过程中进一步氧化成二氧化硅, 并冷却凝聚成细微的球状颗粒用收尘器加以回收, 就得到硅灰。它为暗灰色的粉状颗粒, 平均粒径为0.1μm左右, 密度为2.2g/cm³, 松堆密度为0.18~0.23g/cm³, 空隙率高达90%以上, 通过氮吸附法测定的比表面积大约为25~35m²/g, 比水泥的比表面积(约0.4m²/g)大50~100倍。硅粉在混凝土中的应用能达到节能、经济、环境保护和节省资源的目的, 掺入硅灰可得到绿色混凝土及高强混凝土, 并对混凝土的碱骨料反应有一定的预防控制作用, 可提高结构物的安全度, 延长使用寿命。

2 绿色硅灰混凝土

随着人口爆炸、生产发展, 地球承受的负担剧增, 其中以资源枯竭、环境破坏最为严重, 使人类生

存受到威胁。1992年里约热内卢世界环境会议后, 绿色事业受到全世界的重视^[1]。绿色的涵义随着认识的提高不断扩大, 主要包括:

- (1) 节约资源、能源;
- (2) 不破坏环境, 更应有利于环境;
- (3) 可持续发展, 保证人类后代能健康、幸福地生存下去。

长期以来, 人们对混凝土进行了大量的研究工作, 但大多是为了满足人类对混凝土材料性能的需求^[2]。而对于如何考虑自然环境的因素, 使混凝土的生产和使用有利于环境保护和生态平衡, 尽量减轻给环境造成的负担, 从自然环境、生态平衡的角度出发进行的研究很少。进入20世纪80年代后期以来, 保护地球环境, 寻求与自然的和谐, 走可持续发展之路成为全世界共同关心的课题。水泥混凝土作为最大宗的人造材料, 到2000年止世界水泥年产量超过15亿吨, 混凝土年产量超过120亿吨, 对资源、能源的需求和对环境的影响十分巨大。而作为混凝土主要原料的水泥实是一种不可可持续发展的产品, 是人所周知的污染源。在制造水泥时石灰石分解生成石灰, 同时排出大量的二氧化碳、粉尘和二氧化硫等, 给地球环境造成负担。生产1吨水泥大约要排出1吨CO₂, 目前全世界每年CO₂的排放量大约为100亿吨, 其中由于生产水泥而产

生的 CO₂ 气体约占 1/10, 是产生温室效应气体的大户。同时水泥的烧成反应所需要能量在我国是由化石类燃料燃烧获得的, 每烧制 1 吨水泥熟料耗标准煤 178kg, 由此还将产生 CO₂ 和 SO₂ 等有害气体, 以温室效应和酸雨的形式增加对地球环境的负荷。而温室效应的结果是地球变暖, 气候反常, 物种灭绝, 疾病流行, 给人类带来巨大的危害。因此, 混凝土能否长期维持作为最主要的建筑结构材料, 关键在于能否成为绿色材料。绿色高性能混凝土是混凝土发展的方向, 是混凝土的未来。

以部分工业废料或其它掺合料代替水泥后, 配制出的混凝土不仅经济, 而且有利于环境保护。硅灰为铁合金厂生产的工业废料, 如不加处理就排放出去会严重污染环境。目前, 国内外厂家充分认识到硅灰的实用价值及对环境的影响, 已采取各种措施进行回收和处理。在水泥混凝土中掺入硅灰后, 减少了水泥熟料的用量, 节省了矿物质资源。同时硅灰本身也是一种工业废灰, 它的重新利用对改善环境, 减少二次污染起到了很重要的作用。因此, 硅灰混凝土为绿色混凝土, 它不但有利于开辟建材新资源节约水泥, 而且对减少大气污染、环境污染和保护人体健康也是十分有利的。

3 高强硅灰混凝土

硅灰作为有效的掺合料掺入新拌混凝土中后, 可改善混凝土的和易性, 配制出高强和超高强混凝土。试验证明, 硅灰是配制高强和高性能混凝土的优质超细粉掺合料^[3]。

3.1 硅灰对水泥浆体的作用机理

计算表明, 用 15% 的硅灰代替水泥, 在混凝土拌合物中, 每 64.8mg, 硅酸盐水泥大约有 2 000 000 粒硅灰。硅灰颗粒如此之细, 它们可以在很早的几小时发生火山灰反应, 使水泥浆集料界面变得密实。在硅酸盐水泥水化时, 硅灰将以细分散的无定形富硅的形态存在于 Ca(OH)₂ 中, 钙离子与硅经过火山性的反应化合形成硅——钙水化物。这些水化硅酸凝胶体的形成, 改善了水泥石的孔结构, 使混凝土致密, 物理力学性能大大提高。在硬化混凝土中, 硅灰粒子由于填充了水泥颗粒之间的空隙, 从而增加了固体材料之间的密实性。图 1 和图 2 分别为硅酸盐水泥浆与添加硅灰的水泥浆的结构模式, 反映了硅灰对水泥粒子间的填充性。

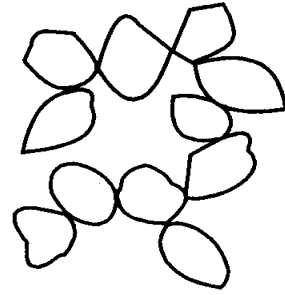


图 1 硅酸盐水泥浆的结构

Fig. 1 The structure of silicate cement paste

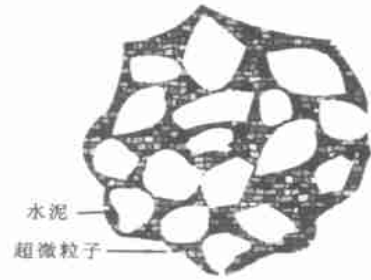


图 2 添加硅粉的水泥浆的结构

Fig. 2 The structure of cement paste added by silica fume

3.2 对新拌混凝土性能的影响

3.2.1 和易性

水泥硅灰混凝土的用水量, 随硅灰掺量的增加而增大。在用水量不变的情况下, 随着硅灰的掺入和掺量的增加, 混凝土的坍落度明显减小。一般硅灰掺量在 5% 左右时, 对需水量影响不大, 但若再增加掺量则需水量呈直线上升, 可达 130%。但它可用掺高效减水剂来抵消。硅灰的掺入使混凝土的粘聚性好, 且离析倾向小, 泌水作用大幅度下降。

3.2.2 凝结时间和水化热

掺硅灰混凝土比同强度的未掺硅灰的凝结时间长, 特别是硅灰掺量较多时。部分水泥由硅灰代替后, 通常使前 3d 的水泥速度和温度升高加快, 但最终水化热有所降低, 特别是水胶比低时更显著。

3.3 对硬化混凝土性能的影响

3.3.1 强度

硅灰混凝土的相对强度发展通常稍慢, 但硅灰使得混凝土的绝对强度大大提高。在常温养护时, 硅灰对混凝土强度发展的主要作用在 3d 到 28d, 硅灰混凝土 28d 的抗压强度一般较高。表 1 为几种水泥浆体的级配和与其相应的混凝土(集料总质量不变, 配比有调整)的抗压强度。

表1 四种混凝土不同龄期的强度

Table 1 The strength of four kinds of concrete at different stages

品种	3d		7d		28d		90d	
	强度 (MPa)	对比 (%)	强度 (MPa)	对比 (%)	强度 (MPa)	对比 (%)	强度 (MPa)	对比 (%)
对比混凝土	14.7		20.0		26.6		28.6	
硅酸盐水泥 + 22% 粉煤灰	12.1	- 18	17.8	- 11	23.2	- 12	27.6	- 3
硅酸盐水泥 + 22% 硅灰	15.2	+ 3	24.4	+ 22	47.0	+ 77	56.2	+ 93
硅酸盐水泥 + 11% 粉煤灰 + 11% 硅灰	14.2	- 3	20.2	+ 1	37.9 + 43.3	+ 43.3	43.3	+ 53

由表1可见,随着硅灰掺入量的增加,早期强度也得到了明显的改善,大大地改进了单独掺入粉煤灰引起的强度增进缓慢,早期强度低的缺点。硅灰混凝土的抗压强度与硅灰掺量呈正比关系,但硅灰掺量最多不得超过35%。如硅灰混凝土和高效减水剂同时使用,可配制出高性能的混凝土,即高强、大流动性混凝土。

3.3.2 耐久性

硅灰的掺入使混凝土的密实度明显提高,从而渗透性降低,抗化学侵蚀性提高,预防混凝土中钢筋的锈蚀,使混凝土的耐久性大大改善。

3.3.3 含气量

随着硅灰取代率的增加,为获得所要求的含气量,引气剂的用量将显著增大。这是由于硅灰用量增加,其总比表面积显著增加以及含碳量也增大所造成的。

硅灰混凝土现已在高层建筑、厂房的大跨度梁、海上钻井平台、高速公路、隧洞、桥梁以及大坝消能池等工程中大量使用,收到了明显的经济效益和社会效益。利用高强混凝土的高强、早强和高变形模量的特点,可以大幅度缩减建筑物墙、柱的截面并增加建筑使用面积,同时提高了结构刚度,减少高层房屋的压缩量与水平荷载下的横向位移。如美国芝加哥一幢77层大厦建设中,下部1/3采用C₈₀硅灰混凝土,使柱子断面尺寸由原来(C₃₀混凝土)的70×70(cm²)减小到42.5×42.5(cm²),截面积减小60%以上,节约了成本,同时使可使用空间大大增加,安全度大大提高。实践证明,硅灰混凝土能增加建筑物的使用寿命,降低平时的维修费用。

4 硅灰对混凝土碱骨料反应的预防控制作用

随着建设事业的发展,混凝土材料在工程中获

得了更加广泛的应用。一般情况下,钢筋混凝土结构实际上往往只对混凝土的强度特别感兴趣,而忽略了混凝土的耐久性。很多工程的钢筋混凝土结构物的早期劣化和耐久性降低已经成为具有普遍性的问题,它直接影响结构物的安全使用和服务年限。混凝土结构物产生劣化的因素很多,主要有冻融循环、温度变化、荷载作用、盐害、碳化、设计施工上的人为因素及碱骨料反应等,其中由碱骨料反应(AAR)引起的混凝土结构物的裂缝损伤、破坏而作为一个突出的课题^[4]。

碱骨料反应是指水泥中的碱性氧化物与骨料中的活性二氧化硅发生化学反应,在骨料表面生成复杂的碱—硅酸凝胶,其吸水后会产生很大的体积膨胀(体积可增大3倍以上),从而导致混凝土产生膨胀开裂而破坏。碱骨料反应使混凝土的强度等性质发生显著变化,抗拉强度约降低30%~50%。由于抗拉强度降低,混凝土产生裂缝,对含筋量少的混凝土可能导致结构失去抗拉能力,引起钢筋抗剪、粘结强度降低,从而导致结构物的破坏。碱骨料反应开始是在30年代美国西部地区的堤坝、公路、桥梁等混凝土结构物发生异常膨胀,产生裂缝而发现的。进入70年代后,不断从欧洲、南非等地传来碱骨料反应引起的结构损伤报告,碱骨料反应作为一个世界性的普遍问题被提了出来。在日本海沿岸,许多港湾建筑、桥梁等,建成后不到1年的时间,混凝土表面开裂、剥落,钢筋锈蚀外露,主要原因是碱骨料反应。北京的三元立交桥桥墩,建成后不到两年,个别地方发生“人字形”的裂纹,也是碱骨料反应的结果。对受碱骨料反应破坏的结构物,修补起来比较困难,效果也比较差,因此最好的办法是积极地采取预防措施。

在混凝土中掺加硅灰,对碱骨料反应有明显的预防控制作用。硅灰添加量为5%~10%时混凝土的膨胀量可减少10%~20%,其控制效果根据反应性骨料及硅灰的种类而不同。实验研究表明,硅灰对碱骨料反应的控制作用主要表现在以下几个方面:

(1) 加硅灰后,由于硅灰颗粒很细,拌制混凝土时需增加用水量,结果改变了混凝土中的空隙率,缓和了局部压力。

(2) 硅灰比表面积大,可吸附碱离子,降低了混凝土细孔溶液中氢氧离子的浓度,生成含钙量高的非膨胀性凝胶体。氢氧离子的浓度降到某一限度以

下时不发生碱骨料反应。

(3) 添加硅灰后, 由于其粒径小, 所以它最先和水化氢氧化物反应, 生成的未硬化碱—硅酸凝胶充填于孔隙结构中, 并且反应要消耗一定量的碱骨料反应需要的氢氧化钙, 使氢氧化钙均匀分布, 从而控制了有害膨胀。

硅灰对碱骨料反应的预防控制作用, 有效提高了混凝土的耐久性, 延长结构物的使用寿命。同时也是减少混凝土的生产量, 实现减轻环境负荷的重要途径。

5 结 论

(1) 硅灰混凝土为绿色材料, 它是利用工业废灰——硅灰取代混凝土中一部分水泥, 减少了水泥的用量, 达到节能节料、改善环境的目的, 具有较高的经济价值和环保价值。

(2) 硅灰混凝土为高性能混凝土, 28d 强度可达 90~ 100M Pa, 比一般混凝土提高强度 50%, 具

有高强、早强和高变形模量的特点, 可提高结构刚度, 减少高层房屋的压缩量与水平荷载下的横向位移, 安全可靠, 前景广阔。

(3) 在混凝土中添加硅灰可有效控制碱骨料反应。硅灰混凝土的添加量为 5% ~ 10% 时, 混凝土的膨胀量可减少 10% ~ 20%, 一般添加量在 10% 时可充分控制碱骨料反应。因此, 硅灰混凝土提高了结构物的安全度和耐久性, 延长了使用寿命。同时减少混凝土的生产量, 减轻了环境负荷。

参 考 文 献

- [1] 冯乃谦. 高性能混凝土[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997
- [2] 杨静. 建筑材料与人居环境[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001
- [3] 陈文豹. 混凝土外加剂及其在工程中的应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998
- [4] 杨伯科. 混凝土实用新技术手册[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1998

Green High-strength Concrete—Silica Fume Concrete

Chen Yao Zhang Meixia

(China University of Geoscience, W anhan 430074)

Abstract: Silica fume is waste material discharged by smeltery when producing ferrosilicon or industrial silicon. As a green material, silica fume concrete can economize cement and improve the environment, thus bringing about a healthy advance in concrete and architectural engineering. High-strength and superhigh-strength concrete will be made up to improve the safety of structure when silica fume is mixed into the concrete. Silica fume concrete also controls the alkaline-aggregate reaction effectively and improves the durability that prolong the service life of the structure.

Key words: silica fume concrete; green concrete; high-strength concrete; alkaline-aggregate reaction

(上接第 32 页)

Slide-collapse Analysis and Remediation Measurement by Steel Tube Peg for the Deep Foundation Pit

Liang Wei Liu Xinxu

(China University of Geosciences, W uhan 430074)

Abstract: After the complete analysis of the engineering geology and the construction of some foundation pile at Shuiyin Road in Guangzhou City, the stability numeration was taken for the slope combined with the Morgenstern-Price model and the forming mechanism of sliding was pointed out. At last the remediation measure with steel tube peg was offered.

Key words: steel tube peg; Morgenstern-Price model; remediation measurement