硅溶胶对水泥基材料性能的影响研究

梁苗苗

（重庆交通大学 ）

摘要：水泥基材料无疑是当前应用最为广泛的建筑材料，但是根据调查发现建筑物的使用寿命并没有达到所设计的使用年限，因此需要找到可以有效改善水泥基材料性能的方法。大量研究表明，纳米材料的加入可以使水泥基材料的力学性能及耐久性得到改善。纳米SiO2和硅溶胶都属于纳米材料，但纳米SiO2易发生团聚现象，不能很好的发挥其作用；而硅溶胶是通过溶胶的方式引入纳米SiO2，可以大大提高纳米粒子的分散性。本文从硅溶胶的作用机理以及制备方式等方面来研究硅溶胶对水泥基材料性能的影响。

关键词：硅溶胶、水泥基材料、性能、反应机理

**Effect of silica sol on properties of cement based materials**

Liang Miaomiao

(Chongqing Jiaotong University )

**Abstract：**Cement-based materials are undoubtedly the most widely used building materials at present. But according to the survey, the service life of the building has not reached the designed service life. So it is necessary to find a method to effectively improve the performance of cement-based materials. A large number of studies have shown that the mechanical properties and durability of cement-based materials can be improved by adding nano materials. Nano SiO2 and silica sol are all nano materials. Nano SiO2 is easy to agglomerate and can not play its role very well; while silica sol is introduced into nano SiO2 by sol, which can greatly improve the dispersion of nanoparticles. In this paper, the effect of silica sol on the properties of cement-based materials was studied from the aspects of the mechanism and preparation methods of silica sol.

**Keywords：**silica sol, cement-based materials, properties, reaction mechanism

1 水泥基材料简介

水泥基材料是应用最为广泛的建筑材料，但是有数据表明，用水泥基材料建成的建筑物，往往在达到设计使用年限之前，就已经出现不同程度的损坏，因此会产生巨大的维修费用、加固费用以及拆除重建费用。为了延长建筑物的使用寿命，我们不仅要关注水泥基材料的力学性能，还要关注其耐久性，找到可以有效改善水泥基材料性能的方法。

硅酸盐水泥与水发生水化反应生成一系列的水化产物，而水化产物中大量存在的Ca(OH)2是造成水泥基材料耐久性下降的主要原因之一。Ca(OH)2含量的多少和晶粒的大小对水泥基材料的力学性能和耐久性有着重要影响[1]。掺加活性掺合料，可优化水泥基材料的孔结构，细化Ca(OH)2晶粒，减少Ca(OH)2含量，提高C-S-H凝胶的含量，从而可以有效的改善水泥基材料的力学性能和耐久性[2,3]。因此要想提高水泥基材料的性能，首先要从如何降低或消耗水化产物Ca(OH)2入手。

2 硅溶胶

2.1 硅溶胶的作用机理

硅灰具有良好的火山灰效应，硅灰的加入可以提高水泥基材料的力学性能以及耐久性，其主要成分是SiO2，反应机理是SiO2可以与水泥的水化产物Ca(OH)2发生反应，在消耗掉Ca(OH)2的同时产生强度较高的C-S-H凝胶。但是硅灰的加入对水泥基材料的早期强度有较大的影响。

纳米SiO2以及硅溶胶与硅灰相比较虽然主要成分都是SiO2，但是也有所差别。有研究表明，纳米材料掺加到水泥基材料中，可以促进水泥的水化，填充水化产物C-S-H凝胶之间的结合空隙，改善水泥石与骨料的界面微结构，明显提高水泥基材料的力学性能、抗渗性以及耐久性[4]。但是纳米粉体材料的比表面积很大，纳米颗粒之间极易发生团聚，一旦发生团聚便很难将其进行分散。如果只是将纳米粉体材料简单的掺加到水泥基材料中，纳米颗粒将很难发挥其作用。

纳米SiO2属于纳米材料，粒径非常小，能提高水泥基材料的早期性能，具有非常高的火山灰活性，能更有效地与水泥的水化产物Ca（OH）2发生反应，改善水泥硬化浆体与骨料之间的界面，细化Ca（OH）2 晶粒，而且纳米SiO2 能够填充在更细小的空隙中，增加水泥基材料的致密度，从而大幅度提高水泥基材料的力学性能和耐久性能[5-10]；但是纳米SiO2由于比表面积大，表面能高，极易发生团聚，使其不能充分发挥火山灰效应和填充效应。而硅溶胶是纳米SiO2在水中的分散体系，是一种胶体溶液，将纳米SiO2通过溶胶的方式引入，可以大大提高纳米粒子的分散性[11]。与纳米SiO2相比，硅溶胶具有分散性好、成本低等优势。

2.2 硅溶胶的制备方法

目前硅溶胶的制备方法有很多种，但是，每种方法都有各自的优缺点，本文选择了其中应用较为广泛的两种方法（离子交换法和单质硅一布溶解法）进行对比。

目前大多数企业生产硅溶胶时多采用离子交换法，这种方法的优点是可以根据不同的工艺组合来合成不同性能的硅溶胶。缺点是这种制备方法会产生大量的废水，不利于环保。

国外的很多企业在生产硅溶胶时会选择单质硅一步溶解法（单质硅法），这种方法制备的硅溶胶成品中杂质含量少，SiO2的胶粒粒形、粒径、粘度、pH值等均易控制，胶粒外形均匀，结构致密，硅溶胶的稳定性较好。更重要的是这种方法在生产过程中不会像离子交换法那样产生大量废水，产品浓度也比较高，在浓缩时消耗的能量也就较少。在人们环保意识日益增强和能源危机日益加重的情况下，用单质硅一步溶解法代替离子交换法，已成为国内企业的普遍选择。但是，目前这种方法仍然存在许多的问题，如反应时间过长，导致生产效率低；反应的具体工艺环节仍然存在不足之处，导致生产出来的产品质量不稳定；尤其是关于反应过程的理论研究较少，生产过程缺乏理论指导。

2.3 硅溶胶对性能的影响

叶青研究了硅溶胶对矿渣混凝土性能[12]的影响，结果表明：硅溶胶能够提高水泥硬化浆体的力学性能，硅溶胶的最佳掺量为1.5%，此时，掺矿渣的水泥混凝土的抗折强度和抗压强度分别达到临界值，与对照组不掺硅溶胶的相比，分别提高了20%和15%。并且硅溶胶的加入能有效地降低界面中Ca（OH）2 晶体的取向程度，减少界面中Ca（OH）2 晶体的数量并细化其尺寸，减小界面过渡区的厚度。

李绍纯等人研究了硅溶胶对硅酸盐水泥性能[13]的影响，结果表明:不同种类的硅溶胶对水泥浆体的影响不同，因此其最佳掺量也不同。硅溶胶的加入对水泥的需水量影响不大，但会影响水泥浆体的凝结时间，不同种类的硅溶胶影响程度也不同。

陈元朋等人研究了硅溶胶对水泥砂浆耐久性[14]的影响，结果表明：硬化水泥砂浆的强度和耐久性与硅溶胶的掺量以及养护龄期有关。硅溶胶的掺量较小时，对水泥砂浆早期强度没有明显的增强效果，但随掺量的增加，其增强效果逐渐显著。同时，掺硅溶胶的水泥砂浆试件随着养护龄期的延长，其强度的增强效果逐渐显著；并且水泥砂浆试件的耐久性也随着硅溶胶掺量的增加而逐渐增强。

孔德玉等研究了硅溶胶对水泥浆体中Ca（OH）2晶体的影响及机理[15]，结果表明掺入硅溶胶后，水泥浆体中的Ca（OH）2晶体易沿（0001）晶面二维长大，且晶格缺陷明显减少。

Kong等对比研究了硅溶胶与纳米SiO2粉体对水泥浆体新拌性能[16]的影响，发现与纳米SiO2粉体相比，硅溶胶对水泥浆体的沉积及流变作用更为显著，能够更快地加速水泥水化进程,并且能够更好地改善水泥基材料的力学性能。

3 存在的问题及解决方案

虽然硅溶胶有着优异的性能，被广泛应用于许多行业，但是硅溶胶也存在着一些缺点。

3.1 硅溶胶的稳定性

溶胶的稳定性在其各领域中的应用十分重要[17]，有研究表明影响硅溶胶稳定性的因素主要有温度、pH值、二氧化硅粒径等，也正因如此，在制备硅溶胶时，很难准确的控制其反应过程[18]。因此如何在制备硅溶胶时准确的控制其反应过程，制备出稳定性较高的硅溶胶，还是目前为止我们需要研究的一个问题。

3.2 生产技术水平及产品质量

目前，国外生产硅溶胶的技术已经非常先进，但是国内生产出来的硅溶胶质量参差不齐。与国外硅溶胶行业发展状况相比，我国生产的硅溶胶在粒径和胶粒均匀性方面还有待改进。

商品硅溶胶产品要求胶粒粒径均匀、密实，有较高的浓度、小的粘度和良好的分散性能[19]。国内企业生产出来的硅溶胶往往达不到这样的水平，与国外企业生产的硅溶胶相比还存在着产品质量不稳定，企业规模偏小，技术装备水平落后，应用研究开发与售后技术服务等方面的差距。

3.3 反应机理

随着人们对水泥基材料进入到纳米层次的研究，有许多研究人员对纳米SiO2 改善水泥基材料界面结构及相关的增强机理、增强规律开展了探索研究[20-22]，一般认为在水泥基材料中掺入纳米溶胶更有助于发挥纳米粒子对水泥基材料的增强与改性作用[23]。但是到目前为止，对硅溶胶反应机理的研究还不够深入，不够明确。

3.4 解决方案

硅溶胶是一种胶体溶液，其稳定性受pH值、溶胶浓度、温度、粉体粒径、比表面积、溶胶黏度等因素的影响。可以通过单一变量法来改变这些因素中的某一个因素，通过实验来观察这些因素的改变对硅溶胶稳定性的影响，得出一系列有利于硅溶胶稳定性的数据。

生产硅溶胶方面，国外有一些公司做的非常好，比如美国杜邦公司，可以找一些与之相关的资料与数据，对比国产硅溶胶，看一下差距在哪些方面，找到行之有效的减少差距的方法。另外，硅溶胶与水泥基材料发生反应的机理不是很成熟，需要在现有的理论基础上进行完善与明确。

4 结语

硅溶胶属于无机材料，具有无臭、无味、无化学腐蚀的性质。硅溶胶是纳米SiO2在水中的分散体系，是一种胶体溶液，通过溶胶的方式引入纳米SiO2可以大大提高纳米粒子的分散性。硅溶胶具有火山灰效应和填充效应，可以与硅酸盐水泥的水化产物Ca（OH）2 进行反应，消耗掉Ca（OH）2 的同时生成强度较大的C-S-H凝胶，提高水泥基材料的力学性能及耐久性。

参考文献

[1] 孔德玉,马韬,陈元朋等.掺硅溶胶对水泥浆体中氢氧化钙晶体生长的影响及机理[J].浙江工业大学学报,2014,42（1）：99-103.

[2] 施惠生,方泽锋.粉煤灰对水泥浆体早期水化和孔结构的影响[Ｊ].硅酸盐学报,2004,32(1):95-98.

[3] 陈益兰,赵亚妮,李静等.偏高岭土替代硅灰配制高性能混凝土［J］.硅酸盐学报,2004,32(4):524-529.

[4] 宋小杰. 纳米材料在新型混凝土材料中的应用[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版), 2007, 4：22-24.

[5] 卢忠远，徐迅.纳米SiO2 对硅酸盐水泥水化特性的影响[J].建筑材料学报，2006，9（5）：581-585.

[6] Luciano Senff，Joao A Labrincha，Victor M Ferreira.Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars[J].Construction and Building Materials，2009，23（7）：2487-2491.

[7] Hosseini P, Booshehrian A, Farshchi S.Influence of nano -SiO2 addition on microstructure and mechanical properties of cement mortars for ferrocement[J].Transportation Research Record：Journal of the Transportation Research Board，2010，2141：15-20.

[8] 王培铭，朱绘美，张国防.纳米SiO2 对水泥饰面砂浆性能的影响[J].新型建筑材料，2010（9）：14-16.

[9] 徐迅，卢忠远.纳米二氧化硅对硅酸盐水泥水化硬化的影响[J].硅酸盐学报，2007，35（4）：478-484.

[10] 徐迅，卢忠远.纳米SiO2 对水泥基材料密实填充性能的影响[J].中国粉体技术，2010，16（5）：55-58.

[11] 张翠,李绍纯,金祖权等.硅溶胶的制备与影响因素[J].科技视界,2015,(5):42-44.

[12] 叶青.硅溶胶对水泥基材料微观结构和力学性能的影响[J].硅酸盐学报,2008,4:427-430.

[13] 李绍纯,金祖权.SiO2 溶胶对硅酸盐水泥性能的影响研究[J].新型建筑材料,2013,6:13-15.

[14] 陈元朋,方诚,孔德玉.掺纳米硅溶胶对硬化水泥砂浆强度和耐久性的影响[J].甘肃水利水电技术,2014,50（6）：22-24.

[15] 陈科,邓安仲,戎翔等.铝溶胶对水泥基材料性能的影响及机理[J].后勤工程学院学报,2017,33（1）：62-67.

[16] Kong De-yu，Corr D J，Hou Peng⁃kun，et al. Influence of colloidal silica sol on fresh properties of cement paste as compared to nano-silica powder with agglomerates in micron⁃scale[J]. Cement and Concrete Composites，2015，63：30-41.

[17] 王兴利,邱国民,张克铮.SiO2 溶胶稳定性的正交试验[J].辽宁石油大学学报,2006,26(3):30-33.

[18] 张翠,李绍纯,金祖权等.硅溶胶的制备与影响因素[J].科技视界,2015,(5):42-44.

[19] 李建中,曲其昌.专用硅溶胶制备技术研究[J].石化技术与应用,17（4）：210-215.

[20] Campillo I，Guerrero A，Dolado J S，et al.Improvement of initial mechanical strength by nanoalumina in belite cements [J].Materials Letters，2007，61（8-9）：1889-1892.

[21] 李朋飞,张擎,李晶晶.掺加纳米二氧化硅水泥混凝土路用性能[J].长安大学学报：自然科学版,2010,20（3）：41-46.

[22] Laila Raki,James Beaudoin,Rouhollah Alizadeh.Cement and concrete nanoscience and nanotechnology [J].Materials，2010，3（2）：918-942.

[23] 陈元朋，方诚，孔德玉. 掺纳米硅溶胶对硬化水泥砂浆强度和耐久性的影响[J]. 甘肃水利水电技术，2014，50（6）：22-24.