

非接触式测试方法对水泥基灌浆料竖向收缩性能的研究

张量 李伟

(陶氏化学(中国)有限公司, 上海市张江高科技园区张衡路 936 号, 201203)

摘要: 本文采用非接触式锥形收缩仪研究了一些典型原材料对硅酸盐水泥基灌浆材料在塑性和硬化阶段竖向尺寸变化的影响。研究发现塑性膨胀组分和能够在硬化阶段形成膨胀性水化产物的膨胀剂是控制灌浆料竖向收缩的有效技术手段。这种试验方法可以为测试和改进无收缩水泥基灌浆料的竖向性能提供可靠的技术依据。

关键词: 无机非金属材料, 水泥基灌浆料, 竖向收缩, 竖向膨胀, 非接触测试

1 前言

水泥基灌浆材料自上世纪九十年代开始在我国大量推广使用, 当时主要用于大型设备基础的二次灌浆¹。由于这种材料性能优异, 在后张预应力孔道²、混凝土的加固和裂缝修补^{3, 4}以及铁路桥梁支座砂浆^{5, 6, 7}等方面也获得了推广和应用。2005 年, 水泥基灌浆材料的建材行业标准 JC/T 986-2005 发布实施⁸; 2008 年, 国家颁布了“水泥基灌浆材料应用技术规范”, GB/T 50448-2008⁹。标准中的性能指标主要包括凝结时间、流动性、泌水、强度和竖向膨胀率。为了达到大流动性、早强、高强和微膨胀性的技术要求, 不同的技术路线被用来研制水泥基灌浆材料。一些研究人员^{10, 11, 12, 13}以硅酸盐水泥为基础, 采用塑性膨胀组分如铝粉或有机物、控制后期膨胀的组分如 UEA 或 CSA 膨胀剂、不同混合材如粉煤灰、硅灰等及其它添加剂开发了水泥基灌浆材料并在工程中进行了应用。另一条技术路线是以硫铝酸盐水泥为基础制备水泥基灌浆材料¹⁴, 由于早期大量钙矾石晶体的持续形成, 获得了较高的早期强度和体积膨胀性。还有一些学者^{15, 16, 17, 18}采用了将硅酸盐水泥与硫铝酸盐水泥或高铝水泥及石膏复配的技术路线, 希望克服硅酸盐水泥凝结时间过长、早期强度不高的缺点, 并达到补偿收缩的效果。

使用无收缩灌浆材料的目的是使其能够完全填充到设备与基础之间的空隙当中, 从而保证机械设备安装时的定位和灌浆料与设备底板之间足够的有效承载面积, 以将设备载荷传递到基础。因此, 竖向高度的变化是水泥基灌浆材料在凝结硬化初期的一项重要性能, 对确保灌浆质量具有重要的意义¹⁹。如果灌浆材料在这一阶段的产生竖向收缩, 会使有效承载面积减少, 并可能出现空鼓, 导致灌浆材料失去其应有的作用。在 GB/T 50448-2008⁹中, 规定竖向膨胀率的检验可以采取两种方法, 一种方法是架百分表法, 即将拌合好的灌浆料浇注到中间盖上了玻璃板的试模中, 然后把百分表固定安装在玻璃板中央, 自加水拌合时起分别于 3 小时和 24 小时读取百分表的读数来计算灌浆材料的竖向收缩率。另一种方法是非接触式测量法, 采用激光发射系统测试灌浆材料竖向长度的变化。这种方法的优点是数据可以通过电脑自动采集, 从灌浆材料浇注在模具内之后即可开始进行测试, 对其竖向长度的变化进行全程观察。从现有的文献资料来看, 采用非接触式测量方法来研究灌浆材料中的常用组分对竖向膨胀率影响的报导并不多见¹⁹。

本文的研究目的是采用非接触式测试设备全程观察一些典型原材料对硅酸盐水泥基灌浆材料在塑性和硬化阶段竖向尺寸变化的影响, 为测试和改进灌浆材料的这一重要性能提供必要的技术依据。

作者简介: 张量, 男, 博士, 高级工程师, 从事干混砂浆和混凝土外加剂方面的研究工作。

2 试验用原材料

试验采用了以下原材料：海螺普通硅酸盐水泥 P042.5，三种级配的石英砂（10-40 目，40-70 目和 70-140 目），陶氏化学的纤维素醚 MW6000PFV（黏度为 6,000 cps），德国明凌公司的消泡剂 P803，BASF 粉末聚羧酸减水剂 F2651，天津豹鸣公司生产的 CSA（无水硫酸铝钙）膨胀剂、爱卡公司（Eckart）生产的铝粉 R0400、海明斯公司生产的 BENTONE[®]OC 流变助剂（不经加工的天然蒙脱石粘土），上海天恺特种材料公司生产的硅灰，凯诺斯公司生产的 Fondu 高铝水泥和上海金虹新型建材公司生产的无水石膏。

3 测试设备和试验方法

试验采用史莱宾格公司生产的非接触式圆锥形收缩测试仪进行，如图 1 所示。仪器由一个圆锥形容器、放置在新拌水泥灌浆料样品表面的用于反射激光束的反射靶（表面贴有铝箔的 XPS 泡沫塑料）、激光发射装置和数据采集系统组成。测试从新拌灌浆料浇注到模具中并放置好反射靶后即可开始进行。测试高度的工作范围是 ± 2 mm；激光在测试范围内的精度超过 8 μm ；分辨率超过 0.5 μm 。激光测距仪获得的数据数字化后储存在数据记录器中。



图 1：史莱宾格非接触式锥形收缩测试仪

试验步骤如下（见图 2：设备装置简图）：

1. 将拌合好的水泥灌浆材料（2）一次性浇注到锥形样品容器内（1），高度控制在 100 mm 左右；

2. 在灌浆料表面的中间部位放置一个激光反射靶（4）；
3. 将锥形容器置于固定在支架上的激光器（3）的正下方；
4. 通过电脑（5）设置数据收集系统，然后开始测量。

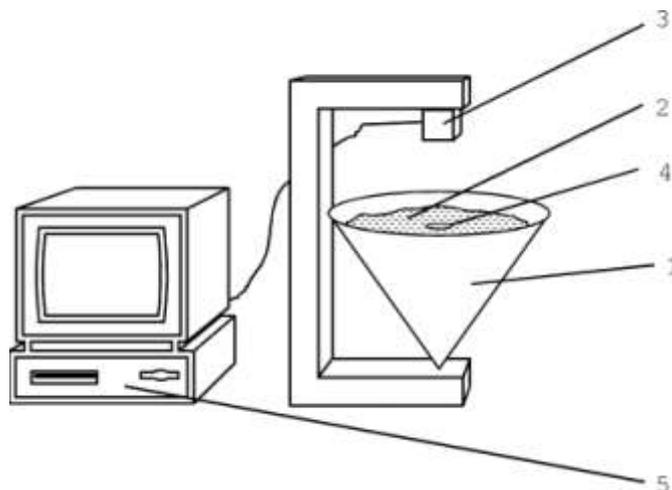


图 2：锥形收缩测试仪装置图

4 试验结果和讨论

4.1 试验配方

根据水泥灌浆料的技术要求设计了一个简单的基准配方，如表 1 所示。按照国标 GB 50488-2008 测得的流动度为 345cm。在基准配方的基础上，掺加不同原材料配制了六种水泥基灌浆料，如表 2 所示。这些灌浆料的加水量保持一致，均为配方总量的 17.5%，流动度均控制在 340-350cm。为了保持固定的加水量和基本相同的流动性，通过调节水泥基灌浆料配方中超塑化剂的掺量来达到这一目标。需要说明的是这些配方只是为了进行本文的竖向尺寸变化研究而设计的初始配方，不能用于制备用于实际工程的水泥基灌浆材料。另外，在测试过程中没有对灌浆料表面进行覆盖。

表 1：水泥灌浆料的基准配方（基准）

组分		比例 (%)
普硅水泥		47.00
石英砂	10-40 目	12.62
	40-70 目	20.00
	70-140 目	20.00
纤维素醚		0.03
消泡剂		0.15
超塑化剂		0.20
加水量		17.5% (占总配方量)

表 2：使用不同原材料的水泥灌浆料配方

组分		比例 (%)					
		膨胀剂	铝粉	蒙脱土	硅灰	铝粉 + 膨胀剂	高铝水泥 + 硬石膏
普通水泥		42.70	47.00	47.00	45.00	42.70	39.00
高铝水泥							5.00
硬石膏							3.00
石英砂	10 – 40 目	12.42	12.618	12.07	12.418	12.418	12.12
	40 – 70 目	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
	70 – 140 目	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
纤维素醚		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
消泡剂		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
超塑化剂		0.40	0.20	0.60	0.40	0.40	0.70
膨胀剂		4.30				4.30	
铝粉			0.002			0.002	
膨润土				0.15			
硅灰					2.00		
加水量		17.5%	17.5%	17.5%	17.5%	17.5%	17.5%
流动度 (mm)		340	340	337	340	343	346

4. 2 竖向尺寸的变化

图 3 为采用基准配方配制的灌浆料（基准）与在基准配方的基础上掺加不同原材料配制的灌浆料浇注完毕后 24 小时的竖向高度的变化曲线。显然，没有掺加塑性膨胀组分的灌浆料配方均出现了不同程度的收缩（曲线基准、膨胀剂、蒙脱土、硅灰和高铝水泥+石膏）。只有掺加了塑性膨胀组分的配方才在塑性阶段出现了膨胀现象（曲线膨胀剂+铝粉和曲线铝粉）。相对于基准配方而言，CSA 膨胀剂和蒙脱土的掺加显著增大了灌浆料在塑性状态下的收缩，而硅灰对塑性收缩的影响似乎并不明显。但这三种材料在硬化阶段对竖向尺寸变化的影响却有很大的差别。掺加硅灰的配方 8 小时后在水泥硬化阶段的收缩显著加大，这可能是由于硅灰使灌浆料自收缩程度增加而产生的²⁰。掺加了蒙脱土的配方形成的塑性收缩在水泥硬化阶段基本上稳定了。但掺加膨胀剂的配方在约 10 小时后开始出现硬化阶段的膨胀，塑性阶段的收缩得到了一定程度的补偿，这可能是由于 CSA（无水硫铝酸钙）膨胀剂的加入在这一阶段形成了大量的膨胀相如钙矾石的原因²¹。而掺加了高铝水泥和硬石膏的灌浆料的塑性收缩明显低于采用基准配方的灌浆料，并且塑性收缩很快就稳定了。这可能是由于配方中未使用缓凝剂，因此钙矾石的形成速度较快的原因^{17, 22}。

掺加铝粉的灌浆料最初的塑性膨胀增长很快，但随后出现一定程度的收缩，之后逐渐

稳定。在塑性阶段的这种回缩现象是否会影响到灌浆料的有效承载面积，需要进一步进行试验研究。同时掺加铝粉和 CSA 膨胀剂的配方中初始阶段的膨胀曲线与单掺铝粉的配方相似，但竖向膨胀的程度更大一些。约 10 小时后，灌浆料开始出现硬化阶段的膨胀。

对于精确无收缩水泥基灌浆料而言，要求灌浆料在塑性和硬化阶段均产生不同程度的膨胀。显然，复合掺加能够控制塑性阶段竖向尺寸的塑性膨胀组分和能够在硬化阶段形成钙矾石和/或其它膨胀性水化产物是一个较为可行的技术措施。掺加诸如硅灰等超细材料时应特别注意它们在硬化阶段加大水泥自收缩程度的问题。

采用传统的金属粉末类如铝粉等作为塑性膨胀组分来达到早期膨胀效果的技术路线存在着许多问题。铝粉的掺量非常低，不容易搅拌均匀。由于其反应速度快，发气速度不好控制，对温度也很敏感。产生氢气会使钢筋产生“氢脆”，使其内部形成微小的裂纹¹²。在一些标准规范中已明确限制铝粉类膨胀剂的使用²³。因此，开发和研究塑性膨胀稳定和易于控制，并且不会对钢筋产生负面作用的塑性膨胀组分对于配制高品质的水泥基无收缩灌浆料具有现实意义。

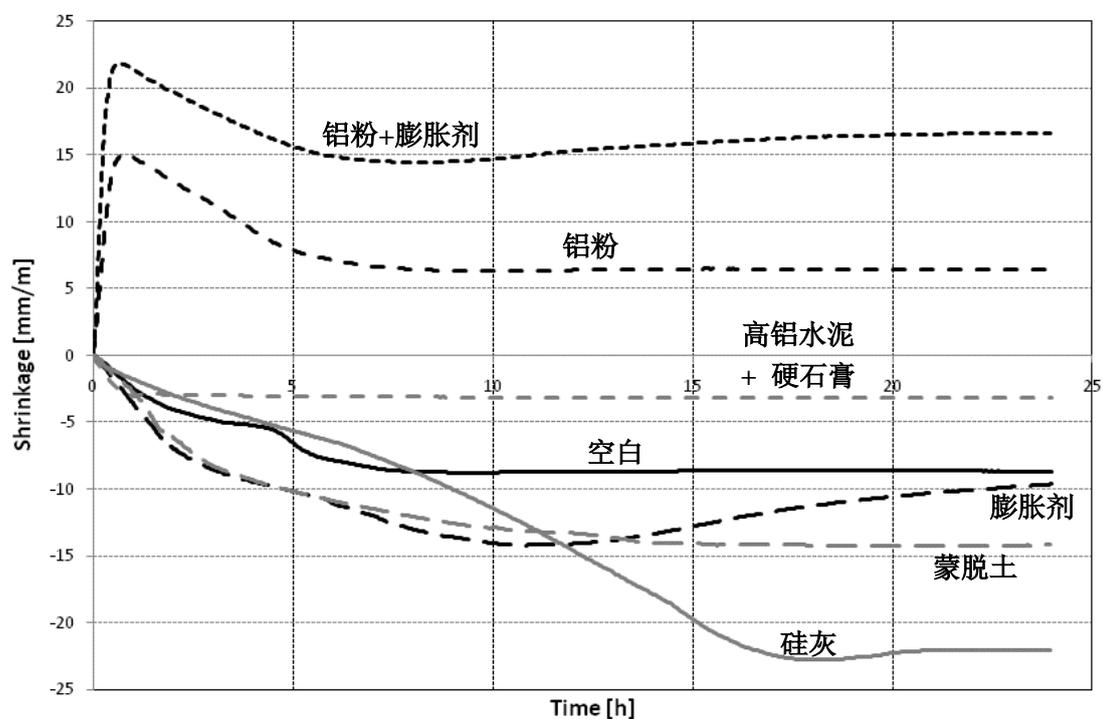


图 3：采用不同原材料配制的灌浆料早期竖向尺寸变化曲线

5 结论

1. 非接触式锥形收缩仪能够在水泥灌浆料塑性和硬化阶段全程测试竖向尺寸的变化，为高品质无收缩灌浆料的开发提供有效的测试和分析手段；
2. 塑性膨胀组分和能够在硬化阶段形成膨胀性水化产物的膨胀剂是控制灌浆料竖向收缩的有效技术手段；
3. 开发能克服铝粉类产品缺点的塑性膨胀组分对于制备高品质的水泥基无收缩灌浆材料具有重要的现实意义。

6 参考文献

1. 颜亨吉, 何丹, 仲晓林:《水泥基灌浆材料》建材行业标准的编制说明, 第四届全国混凝土膨胀剂学术交流会论文集, 2006年11月, 深圳, 618-621。
2. 傅沛兴, 李晨光; 后张预应力高性能孔道灌浆材料研究, 建筑技术开发, 第24卷-5, 1997年10月, 21-24。
3. 李荣海, 迟术萍, 魏培生, 谢晓秋: 灌浆料在公路桥涵工程中的应用, 公路, 2005年9月, 第9期, 198-201。
4. 朱卫华: 水泥基灌浆料的发展, 施工技术, 2009年6月, 第六期, 76-80。
5. 张显锋, 全黎, 张瑾: 客运专线超早强支座砂浆的试验研究, 科协论坛, 2011年第6期(下), 100-101。
6. 宋延州: 预应力混凝土简支T梁支座灌浆技术, 铁道建筑技术, 2010(11), 45-47。
7. 仲朝明, 邵正明, 王晓丰, 仲晓林: 高速铁路桥梁盆式橡胶支座灌浆料的研制及应用, 铁道建筑, 2009年第10期, 18-21。
8. 水泥基灌浆料: JC/T 986-2005, 中华人民共和国建材行业标准。
9. 水泥基灌浆材料应用技术规范: GB/T 50448-2008, 中华人民共和国国家标准。
10. 王飞, 黄伟建, 赵喜敬, 蔡伟桦: 粉煤灰在预应力高性能灌浆材料中的应用研究, 施工技术, 2004年7月, 43-45。
11. 戴民, 聂元秋, 吴解放: UEA/硅灰石粉对水泥基灌浆料性能的影响, 混凝土, 2010年第3期, 74-76。
12. 曾明, 周紫晨: 一种用于水泥基灌浆料的复合膨胀剂研究, 混凝土与水泥制品, 2011年第2期, 6-9。
13. 齐冬有, 汪智勇, 韩桂华, 嵇琳: 水泥基灌浆料专用膨胀剂的研究, 第四届全国混凝土膨胀剂学术交流会论文集, 2006年, 深圳, 636-640。
14. 杜纪锋, 叶正茂, 芦令超, 常钧: 硫铝酸盐水泥基自流平灌浆料研究, 第十届全国水泥和混凝土化学及应用技术会议论文集, 2007年11月, 南京。
15. 冷达, 张雄, 沈中林, 张永娟: 水泥基灌浆材料主要成分对其新拌及硬化性能的影响, 混凝土与水泥制品, 2008年第5期, 12-16。
16. 袁进科, 陈礼仪: 普通硅酸盐水泥与硫铝酸盐水泥复配改性灌浆材料性能研究, 混凝土, 2011年第1期, 128-130。
17. 李英丁, 张铭, 徐迅: 硬石膏与高铝水泥掺量对无收缩灌浆料性能的影响, 新型建筑材料, 2009年3月, 10-12。
18. 刘小兵: 水泥基无收缩灌浆砂浆的配制及性能研究, 重庆大学硕士学位论文, 2010年4月。
19. 邵正明, 周建启, 陈田, 任恩平: CGM 高性能灌浆料的性能研究, 建筑结构·技术通讯, 2006年9月, 36-37。
20. 李悦, 吴科如, 王胜先, 张雄: 掺加混合材的水泥石自收缩特性研究, 建筑材料学报, 2001年3月, 第4卷第1期, 7-11。
21. 席耀忠: 关于膨胀混凝土若干问题的讨论, 混凝土与水泥制品, 2007年第5期, 1-5。
22. A. De Gasparo, J. Kighelman, R. Zubringgen, K. Scrivener, M. Herwegh: 自流平地面砂浆的性能机理及应用, 新型建筑材料, 2006年9月, 4-7。
23. 铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆剂技术条件: 中华人民共和国铁道部标准, TB/T 3192-2008。