

Experimental Study on Expansion Rate of Cement Mortar

Renyong Liu, Shouchao Jiang

College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai
Email: liury0908@163.com

Received: Mar. 25th, 2014; revised: Apr. 28th, 2014; accepted: May 3rd, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The influence of the proportion of expanding agent and silica fume and the changing of water-binder ratio on expansion rate of the mortar were studied in this paper. The results indicated that the expansion rate of the mortar was enhanced with the increasing of the expansion agent, and reduced with the adding of the silica fume and the decreasing of the water-binder ratio.

Keywords

Cement Mortar, Expansion Rate, Silica Fume

水泥砂浆膨胀率试验研究

刘仁勇, 蒋首超

同济大学土木工程学院, 上海
Email: liury0908@163.com

收稿日期: 2014年3月25日; 修回日期: 2014年4月28日; 录用日期: 2014年5月3日

摘要

本文研究了膨胀剂掺量、硅灰掺量、水胶比降低对水泥砂浆膨胀率的影响。结果表明: 膨胀剂掺量的增加会使浆体膨胀率大幅提升; 掺加硅灰后, 浆体膨胀率有大幅度降低; 水灰比降低对膨胀率的影响较明

显，会导致浆体膨胀率下降。

关键词

水泥砂浆，膨胀率，硅灰

1. 引言

普通的水泥基材料在水化反应时，体积会产生收缩。当水泥砂浆作一些特殊用途时，如钢筋的锚固、各种机械设备的安装和固定、混凝土裂缝的修补、结构的加固等[1]-[3]，由于其体积的收缩，会使浆体与周围原有构件相脱离，大大降低了其承载能力。而如果水泥砂浆具有一定的膨胀，在进行锚固时，会由于水泥浆的膨胀产生一定的预应力，增大周围结构与水泥浆的握裹力，提高粘结强度。关于膨胀剂在水泥基材料中的作用，国内的孟志良、蔺喜强[4] [5]等人做了许多有益研究，研究发现膨胀剂掺量为 10% 左右时，膨胀率和强度的协调性最好。郑国华[6]提出在用作锚固等用途时，水泥砂浆 28d 膨胀率的建议范围为 0.02%~0.1%。

提高水泥基材料的强度，可以在钢筋或预应力筋锚固时，缩短锚固段长度，提高经济性。其通常的手段是在水泥基材料中掺加硅灰或减小水灰比[7] [8]。但对砂浆膨胀率的影响尚不明确。

本文主要研究了膨胀剂掺量、硅灰掺量、水胶比降低对水泥砂浆膨胀率的影响。结果表明：膨胀剂掺量的增加会使浆体膨胀率大幅提升；掺加硅灰后，浆体膨胀率有较大幅度降低；水灰比降低会导致浆体膨胀率下降。

2. 试验原材料及试验方法

2.1. 试验原材料及方法

水泥：海螺牌 42.5 级普通硅酸盐水泥，其比表面积为 $360 \text{ m}^2/\text{kg}$ ，28 天抗折强度为 8.3 MPa，抗压强度为 51.7 MPa。

石英砂：细度 40~70 目，直径 0.3 mm 以内，二氧化硅含量 $\geq 98\%$ 。

膨胀剂：采用硫铝酸钙类膨胀剂，其化学成分如表 1 所示。

硅灰：采用上海埃凯硅粉材料有限公司生产的硅灰，其技术指标如表 2 所示。

减水剂：采用非引气型萘系减水剂，其主要技术指标如表 3 所示。

试验方法参照《膨胀水泥膨胀率试验方法》(JC/T 313-2009)进行。

2.2. 配合比设计

本试验共设计水泥砂浆 9 组，硅灰掺量参考文献[9]。具体配比见表 4 所示。

Table 1. Chemical component of expanding agent (%)

表 1. 试验用膨胀剂化学成分(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Other
4	10	28.2	52.5	0.6	1.3	3.4

Table 2. Technical index of silica fume

表 2. 试验用硅灰技术指标

SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Loss 750°C	Moisture Content	Specific Surface Area	Volume Density
94.8%	0.63%	0.35%	0.9%	0.43%	19m ² /g	200~350 kg/m ³

Table 3. Technical index of water reducing agent

表 3. 试验用减水剂技术指标

Moisture content	Slump improved	Entrained air volume	Chlorine salt	Sodium sulfate	specific surface area
94.8%	0.63%	0.35%	0.9%	0.43%	19 m ² /g

Table 4. Mix proportion of cement grout

表 4. 试验配合比

编号	胶凝材料质量比			砂胶质量比	减水剂(%)	水胶比
	水泥	膨胀剂	硅灰			
1#	0.9		0.1	0.35	0.25	0.36
2#	0.87		0.13	0.35	0.25	0.36
3#	0.85	0.05	0.1	0.35	0.40	0.36
4#	0.8	0.1	0.1	0.35	0.60	0.36
5#	0.75	0.15	0.1	0.35	0.90	0.36
6#	0.77	0.1	0.13	0.35	0.60	0.36
7#	0.72	0.15	0.13	0.35	0.90	0.36
8#	0.9		0.1	0.35	0.40	0.3
9#	0.87		0.13	0.35	0.40	0.3

为使本试验水泥基材料满足实际工程中的灌注要求,本文参考《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448-2008 提出的性能指标。由于本文所用减水剂对水泥砂浆性能影响较小[10],所以本试验采用通过改变减水剂掺量的方法,保持浆体流动性基本不变。

2.3. 养护条件

由于本文所研究的水泥砂浆主要用于灌浆,其所处环境通常为密闭,所以本文采用保鲜膜养护的方法。试件成型后,先将其放在标准养护室中养护,温度为 20℃ ± 1℃,湿度 60%,养护 24 小时后脱模。试块拆模后用保鲜膜包裹,之后置于恒温(温度 20℃ ± 3℃)普通室内进行养护。

3. 膨胀剂掺量对水泥砂浆膨胀率的影响

本文膨胀剂掺量为 10% 和 13%,等质量代替水泥。图 1(a)、图 1(b)分别给出了无硅灰和硅灰掺量 10% 时,膨胀剂掺量不同对浆体各龄期膨胀率的影响。

表 5 列出了不同膨胀剂掺量对砂浆试件膨胀率的影响。其中:提高系数列为 13% 膨胀剂掺量时浆体膨胀率与 10% 膨胀剂掺量时的比值;56d 回缩量为各配比最大膨胀率值减去 56d 时的膨胀率;56d 回缩率为 56d 回缩量与最大膨胀率的比值。

膨胀剂从 10% 提高到 13%,试件膨胀率会有比较明显的提升。1# 配比的 最大膨胀率出现在 2d 时,2# 配比出现在 3d 时,其他配比的 最大膨胀率均出现在 1d,之后膨胀率降低,出现回缩现象。说明膨胀剂水化反应主要出现在前三天,浆体后期的体积变形主要是水泥浆体的回缩。

从以上分析可以看出:膨胀剂掺量为 13% 时的浆体最大膨胀率均超过 10% 掺量的两倍。而且将膨胀剂掺量从 10% 提高到 13%,浆体的 56d 回缩率有所下降。其中 2# 配比的 56d 回缩率仅为 23.4%。

4. 硅灰掺量对水泥砂浆膨胀率的影响

本文硅灰掺量有 5%、10%、15% 三种,等质量代替水泥。图 2(a)、图 2(b)分别给出了膨胀剂掺量为

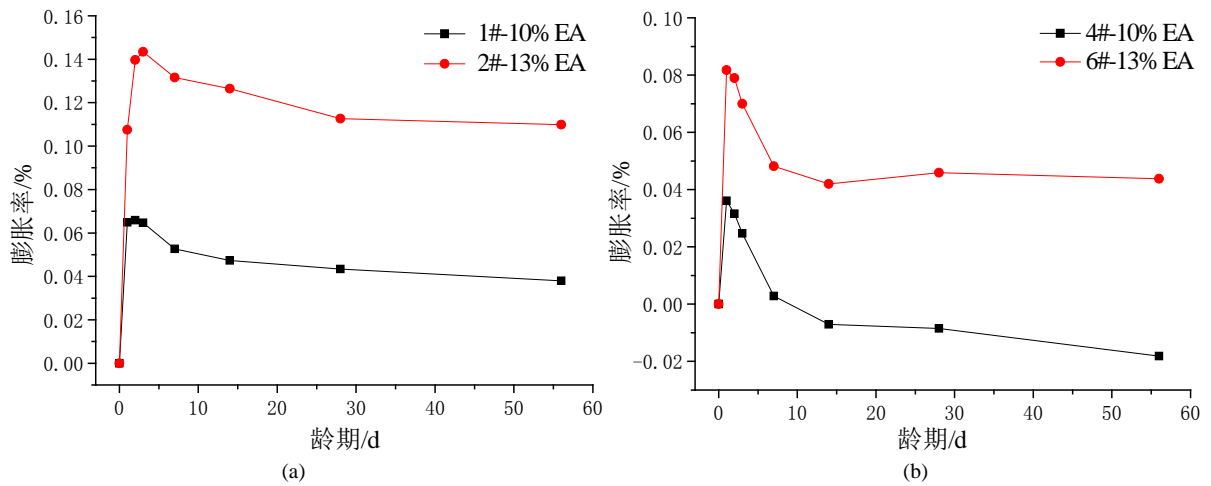


Figure 1. The effect of the content of expanding agent on expansion rate
图 1. 膨胀剂掺量对砂浆膨胀率的影响

Table 5. The effect of the content of expanding agent on expansion rate
表 5. 膨胀剂掺量对膨胀率的影响

编号	硅灰	膨胀剂掺量	最大膨胀率(%)	提高系数	56d 回缩量(%)	56d 回缩率(%)
1#	0%	10%	0.06587	-	0.02787	42.3
2#		13%	0.14344	2.18	0.03361	23.4
4#	10%	10%	0.03613	-	0.05426	150.2
6#		13%	0.08173	2.26	0.03793	46.4

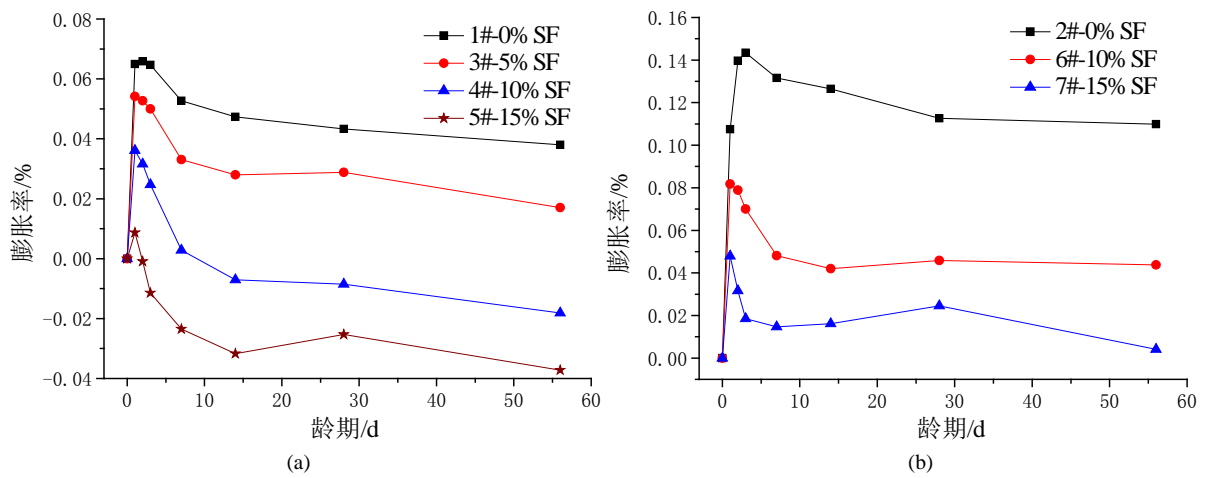


Figure 2. The effect of the content of silica fume on expansion rate
图 2. 硅灰掺量对砂浆膨胀率的影响

10%和13%时，硅灰掺量不同对浆体各龄期膨胀率的影响。

从图 2 可以看出，随着硅灰掺量的增加，浆体在各龄期的膨胀率均有大幅度降低。掺加硅灰后，浆体的最大膨胀率均出现在 1d 时，比不加硅灰的浆体时间提前。原因是：硅灰的掺入会使水泥前期水化反应加快，水泥石前期收缩增大。在 1d 之前，膨胀剂水化反应产生膨胀作用大于硅灰的收缩作用，所以浆体在 1d 仍是膨胀的；1d 之后，硅灰的收缩开始占主导作用，所以，导致浆体在 1d 之后立即出现回缩。

表 6 列出了不同硅灰掺量对砂浆试件膨胀率的影响。影响系数列为参加硅灰的浆体与不掺硅灰浆体最大膨胀率的比值；其他同表 5。

从表 6 可以看出：掺加硅灰后，浆体膨胀率有大幅度降低；当硅灰掺量超过 10% 时，最大膨胀率仅为不掺时的一半甚至更低。保持 10% 膨胀剂掺量不变时，硅灰掺量增大会使浆体 56d 回缩量增大，同时由于掺加硅灰时最大膨胀率有大幅度降低，所以 56d 回缩率有较大的增加。

5. 水胶比与水泥砂浆膨胀率的关系

本文涉及配合比中，水胶比有 0.3、0.36 两种。图 3(a)、图 3(b) 分别给出了膨胀剂掺量为 10% 和 13% 时，水灰比不同对浆体各龄期膨胀率的影响。

从图 3 可以看出，水灰比为 0.3 的浆体膨胀率较水灰比 0.36 的有大幅降低。原因可能是：水灰比的降低使膨胀剂水化不完全，没有充分发挥膨胀作用造成的；另外试验中发现，水灰比降低后，试件中会出现很多肉眼可见的气孔，如图 4 所示，这些气孔的存在会对膨胀率的发展起到降低作用。

表 7 列出了不同水胶比对砂浆试件膨胀率的影响。从表中可以看出：水灰比为 0.3 的浆体最大膨胀率仅为水灰比为 0.36 浆体的一半左右。水灰比对 56d 回缩量影响不大，但水灰比降低会使 56d 回缩率大幅增加。

Table 6. The effect of the content of silica fume on expansion rate
表 6. 硅灰掺量对砂浆膨胀率的影响

编号	膨胀剂掺量	硅灰掺量	最大膨胀率(%)	影响系数(%)	56d 回缩量(%)	56d 回缩率(%)
1#	10%	0%	0.06587	-	0.02787	42.3
3#		5%	0.05413	82.2	0.03706	68.5
4#		10%	0.03613	54.9	0.05426	150.2
5#		15%	0.00867	13.2	0.04587	529.1
2#	13%	0%	0.14344	-	0.03361	23.4
6#		10%	0.08173	43.9	0.03793	46.4
7#		15%	0.04787	25.7	0.04374	91.4

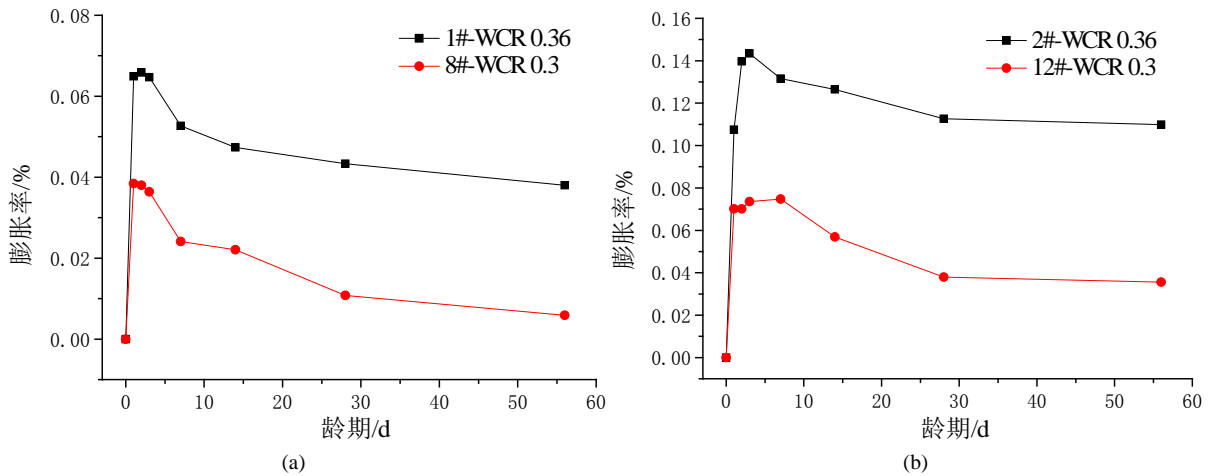


Figure 3. The effect of the content of water-binder ratio on expansion rate
图 3. 水灰比对砂浆膨胀率的影响

6. 砂浆的强度试验结果

本文挑选了膨胀率较大的配比 1#、2#、6#、7#，测试了其在 3d、7d、28d 时的抗压强度，结果如表 8 所示。

从表 8 可以看出：

(1) 1#配比和 2#配比抗压强度相差不大，说明膨胀剂掺量的增加对抗压强度没有影响；

(2) 掺加硅灰的配比(6#)抗压强度比未掺加硅灰的(1#、2#)要略大；

(3) 降低水灰比(12#配比)后，浆体抗压强度仅有很小的提升，没有达到预计效果。降低水灰比的目的是减小孔隙率，但实际试验过程中，水灰比降低使浆体更加粘稠，导致更多的气泡混入其中，形成了很多大孔。因此，想要通过降低水灰比的方法提高砂浆强度，需要采取其他措施。

7. 结论

本文研究膨胀剂掺量、硅灰掺量、水胶比降低对水泥砂浆膨胀率的影响。由试验结果我们可以得出以下结论：



Figure 4. The air vent of the test specimen after reducing the water-binder ratio
图 4. 降低水灰比后试件中的气孔

Table 7. The effect of the water-binder ratio on expansion rate
表 7. 水胶比对砂浆膨胀率的影响

编号	膨胀剂掺量	水胶比	最大膨胀率(%)	影响系数(%)	56d 回缩量(%)	56d 回缩率(%)
1#	10%	0.36	0.06587	-	0.02787	42.3
8#		0.3	0.03841	58.3	0.02892	75.3
2#	13%	0.36	0.14344	-	0.03361	23.4
9#		0.3	0.07013	48.9	0.03459	49.3

Table 8. Compression strength of the cement mortar (MPa)
表 8. 膨胀水泥砂浆的抗压强度(MPa)

龄期	1#	2#	6#	7#
3d	36.353	39.133	42.323	37.1
7d	45.617	42.767	51.033	46.883
28d	63.256	62.383	73.417	68.131

- (1) 膨胀剂掺量的增加会使浆体膨胀率大幅提升，并且可以在一定程度上降低回缩量和回缩率；
- (2) 硅灰对砂浆膨胀率的影响主要集中在前期，对浆体的最大膨胀率影响明显。在浆体硬化后期，尤其在膨胀剂掺量较小时，硅灰对后期回缩量影响不大；但在膨胀剂掺量较大时，浆体后期回缩量有所增大；
- (3) 水灰比对膨胀率的影响较明显，水灰比降低会使膨胀剂水化不充分，同时会使试件中产生很多气孔，导致浆体膨胀率下降，而且膨胀剂掺量越大，这种影响越明显；
- (4) 硅灰的掺入可以较大幅度的提高砂浆的强度。

参考文献 (References)

- [1] 路长生, 李钊 (2008) 高强无收缩混凝土灌浆料在结构加固改造中的应用. *黑龙江纺织*, **3**, 43-45.
- [2] 李忠, 左巍巍 (2011) 高强无收缩水泥基灌浆料在核电设备安装中的应用. *核动力工程*, **32**, 141-144.
- [3] 石湘, 杨彬, 展旭和, 等 (2013) 膨胀式自应力灌浆卡箍长期滑动承载力测试. *海洋工程*, **31**, 79-83.
- [4] 孟志良, 李国宇, 马晓伟, 等 (2013) 膨胀剂对自密实混凝土力学性能影响. *混凝土*, **5**, 89-92.
- [5] 蔺喜强, 王栋民, 陈雷, 等 (2013) CSA 膨胀剂对 C80 高性能混凝土性能影响及膨胀机理研究. *混凝土*, **2**, 91-94.
- [6] 郑国华 (2009) 无收缩高强灌浆料施工工艺探讨. *商品混凝土*, **9**, 31-33.
- [7] 蒲心诚, 严吴南, 王冲, 等 (2000) 硅灰对 150 MPa 超高强高硫太混凝土的强度及流动性的贡献. *混凝土与水泥制品*, **1**, 8-12.
- [8] 巫昊峰, 何惠兰, 梁海勇, 等 (2010) 低水胶比下硅灰对水泥水化的影响. *粉煤灰综合利用*, **6**, 37-39.
- [9] 王震宇, 李俊 (2008) 活性粉末混凝土材料性能与配制技术的试验研究. *混凝土*, **2**, 91-93.
- [10] 王震 (2011) 预应力灌浆套管的结构性能研究. 硕士论文, 同济大学, 上海.