**探究几种添加剂对砂浆尺寸变化率影响**

周熠，罗慧

（广东龙湖科技股份有限公司武汉技术中心）

**摘要**：研究了几种添加剂对砂浆尺寸变化率及砂浆强度的影响。这几种添加剂在减少砂浆收缩问题上的作用机理也各不相同：有能够持续减少收缩的方式，也有常用的补偿收缩法来减少砂浆收缩。这几种添加剂的效果也各不相同。

**关键词**：膨胀剂，减缩，收缩开裂

**To explore the effect of several additives on the size change of mortar**

**Abstract**：The effects of several additives on the change rate of mortar size and the strength of mortar were studied. These additives have different effects on reducing mortar shrinkage: there are ways to continuously reduce the shrinkage, and there are commonly used compensatory shrinkage method to reduce mortar shrinkage. The effects of these additives are also different.

**Key Words**：Expansion agent，Reduction，Crack

1. **前言**

水泥是目前被广泛应用的一种胶凝材料，它强度较高，耐酸碱、腐蚀等，是一种十分优良的胶凝材料。但水泥凝结时，其中的自由水会在后期挥发而导致水泥内部出现空洞，从而出现收缩现象。在砂浆中，由于水泥的收缩，砂浆自身内应力增大，当这种应力超过其临界值时就会出现开裂现象。这些裂缝会严重影响砂浆的抗渗性能、使用功能和耐久性，变相也增加了建筑的成本。水泥化学工作者的任务之一就是如何减少砂浆或混凝土的各种收缩，使其不裂或少裂。随着科技的发展，减少砂浆收缩的方法有很多，如添加膨胀剂或减缩剂，两者都能够有效缓解砂浆或混凝土的收缩情况。其中应用最广泛的是补偿收缩法，通过引入膨胀剂来减小砂浆的收缩，从而缓解砂浆内应力，减少裂纹出现。

混凝土膨胀剂是在膨胀水泥基础上发展起来的一种混凝土外加剂，其中，日本是最先发展膨胀剂的国家，它成功研制了硫铝酸钙膨胀剂和石灰系膨胀剂。我国从20世纪70年代进行混凝土膨胀剂的研究，至今大致经历了“高碱高掺-中碱中掺-低碱低掺”三个阶段。它作为添加剂掺入砂浆中，能够有效的减少砂浆的收缩现象。

减缩剂由一种或多种有机化学表面活性剂组成，能够溶于水并有效降低溶液的表面张力。减缩剂的减缩作用主要通过降低混凝土中毛细孔水的表面张力来实现。研究显示，减缩剂作为一种添加剂能有效的减少砂浆或混凝土的自收缩及干燥收缩。

下文就是研究市面上几种膨胀剂在砂浆中的效果，测试其抗收缩能力。

1. **几种添加剂对砂浆尺寸变化率影响试验**
   1. **实验原料**

华新P.O.42.5水泥，基本物理性能如表1所示；水洗河砂，0.1mm-0.4mm连续级配；纤维素醚，日本进口，白色粉末状固体，粘度1万左右；某进口膨胀剂A、B,均来自日本，黄褐色粉末状固体；另外有两种来自德国的减缩剂C、D，白色粉末状固体；α半水石膏，产地为北京，白色粉末状固体。

表1：水泥的物理性能

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 凝结时间/min | | 抗折强度/MPa | | 抗压强度/MPa | | 安定性 | 标准稠度用水量/% | 密度/g·cm-3 |
|
| 初凝 | 终凝 | 3d | 28d | 3d | 28d |
| 210min | 270min | 5.92 | 8.60 | 30.3 | 59.1 | 合格 | 25.8 | 3.10 |

* 1. **实验过程**
     1. 实验配方

为减少其他添加剂对膨胀剂或减缩剂的影响，选取常用修补配方作为模板，去掉其他添加剂，只保留少量的纤维素醚，防止砂浆泌水。在该基础配方上（见表2），添加膨胀剂与减缩剂，固定水灰比为0.18，比较它们之间对砂浆尺寸变化率与强度的影响。

表2：实验基础配方

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 原材料 | P.O.42.5 | 级配砂 | 纤维素醚 |
| 质量分数/% | 35 | 65 | 0.02 |

* + 1. 实验方法

尺寸变化率：将料混匀加水搅拌后分两次装入预装钉头的试模内，试模大小为25mm\*25mm\*280mm，利用小刀和捣棒使浆料均匀的填满试模，用刮尺刮平表面，放入标准养护室内养护1d，脱模后用比长仪测出初始长度，再继续养护至规定龄期后测量长度，并算出各龄期的尺寸变化率。具体操作方法参考标准《JC 603-2004水泥胶砂干缩试验方法》。

抗压抗折强度：将浆料分两次装入三联模内，三联模规格为40mm\*40mm\*160mm，在振实台上振动后，用刮尺刮去表面砂浆，放入标准养护室内养护1d后脱模，继续养护至规定龄期后测试其抗压抗折强度，具体操作方法参考标准《GB 17671-1999水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》。

1. **实验结果及分析。**
   1. **膨胀剂A在不同掺量下对砂浆尺寸变化率及强度影响**

图1-1：膨胀剂A各掺量下砂浆尺寸变化随时间变化图

图1-2：膨胀剂A 28d抗压抗折强度图

从图1-1中可以看出：与空白组对比，添加膨胀剂A，砂浆在0-2d时有一个非常明显的膨胀现象，2-3d时出现倒缩。3d后砂浆尺寸变化趋势基本与空白样一致，膨胀剂效果主要表现在3d前。该膨胀剂属于钙矾石型膨胀剂，能够在早期形成钙矾石和氢氧化钙微粒，填补水泥空隙，提高水泥膨胀率。在A掺量分别为0.5%、1.0%、1.5%时，28d尺寸变化率对比空白样减小量分别为-9.8%、4.4%、25.3%，膨胀剂掺量在1.5%时即可有一个非常好的效果。

从图1-2砂浆强度对比图中可以看出，膨胀剂A在低掺量时（0.5%），砂浆抗压强度略有提高，但随着A掺量的增加砂浆抗压抗折强度逐渐下降，但下降幅度在可接受范围内。

* 1. **膨胀剂B在不同掺量下对砂浆尺寸变化率及强度的影响**

图2-1：膨胀剂B各掺量下砂浆尺寸变化随时间变化图

图2-2：膨胀剂B 28d抗压抗折强度图

由图2-1可以看出：添加膨胀剂B组砂浆早期膨胀效果较差，在较高膨胀剂掺量（1.5%）时，2d时出现一个微膨胀现象；但在2d后，添加B的砂浆会加剧收缩，尤其在2-3d时，收缩速率非常大，后期基本与空白样持平，最终收缩大于空白样。在B掺量分别为0.5%、1.0%、1.5%时，28d尺寸变化率对比空白样分别减少了-19.8%、-3.3%、-12.9%，可以看出该膨胀剂效果不稳定，掺量过高或者过低都达不到好的效果。我们可以认为膨胀剂B在该体系下未能有好的补偿收缩能力，反而还会增大收缩。

从图2-2中看出，膨胀剂B在低掺量时（0.5%），28d抗压强度略有提高，其余的强度均随着膨胀剂掺量的增加而降低。

对比膨胀剂A与B，可以看出他们的作用机理基本相似，都是在早期（2d前）出现膨胀现象，2-3d间则会加剧收缩，3d后砂浆尺寸变化基本与空白样相当，这是目前钙矾石体系膨胀剂的一个基本特征。我们知道，砂浆干缩开裂的原因就是其收缩应力大于其产生形变的最大值，砂浆产生形变而出现裂缝，而添加膨胀剂从某种意义上说其实并未改变砂浆的后期收缩，只是给予了砂浆内部一个预应力，来缓解砂浆因收缩而产生的应力，使得砂浆内部应力最终小于其开裂所需要的力，达到减少开裂的效果。

* 1. **减缩剂C在不同掺量下对砂浆尺寸变化率及强度的影响**

图3-1：减缩剂C各掺量下砂浆尺寸变化随时间变化图

图3-2：减缩剂C 28d抗压抗折强度图

从图3-1中可以看出，随着减缩剂掺量的增加，砂浆尺寸变化率逐渐减小。减缩剂主要作用效果时间在0-3d，3d后添加减缩剂组砂浆尺寸变化趋势基本与空白样一致。减缩剂掺量大于1%时，其减缩效果增长不明显，推荐掺量不高于1%，此时28d尺寸变化与空白样对比减少了约10%。

从图3-2中看出，随着减缩剂掺量增加，砂浆抗压强度逐渐下降，且下降幅度较大，在高掺量（1.5%）时强度下降约29%。

* 1. **减缩剂D在不同掺量下对砂浆尺寸变化率及强度的影响**

图4-1：减缩剂D各掺量下砂浆尺寸变化随时间变化图

图4-2：减缩剂D 28d抗压抗折强度图

从图4-1中可以看出，随着减缩剂掺量的增加，砂浆尺寸变化率逐渐减小。与减缩剂C不同的是，减缩剂D作用时间更长，在7d前均有一个较明显的减缩过程，且在7-28d过程中也有一个轻微的减缩效果，最终添加减缩剂D组效果较减缩剂C组好，同比1%掺量，添加减缩剂D组尺寸变化较空白样减少约27.6%。

从图4-2压折强度图中看出，添加减缩剂也会明显降低砂浆抗压强度，在掺量1%时最低，减少约47.2%。

根据国内外专家等对减缩剂的研究，目前普遍认为减缩剂作用机理是通过降低孔隙溶液的表面张力来减少毛细孔失水时所产生的收缩应力。而我们根据该减缩剂原料提供商说法是减缩剂在砂浆内部可以起到一个蓄水并缓慢给水的功能，使水泥水化平缓，能使水泥内部收缩应力更好的缓解与释放。两种说法也并不矛盾，可以认为减缩剂在砂浆内部能同时起到以上两种作用，相辅相成，更能达到较好的减缩效果。

由于国内外专家对验证减缩剂能否降低砂浆内部空隙表面张力等做了许多相关研究，从各个方向阐述了减缩剂在砂浆中的作用机理，本次实验也不再复述。下面简单做了一个观测砂浆失水过程的对比实验，通过观察砂浆重量变化率，来反应砂浆的收缩过程随游离水的变化。分别比较空白样，添加减缩剂C和添加减缩剂D三组的重量随时间变化图，其中减缩剂掺量均为1.0%。

图4-3：砂浆重量随时间变化图

砂浆在养护过程中重量逐渐减少，可以认为是其中游离水的挥发导致。根据图4-3，以及上面减缩剂在砂浆中尺寸变化率图可以看出，砂浆的尺寸变化率与其重量变化率是有一定关系的：尺寸变化越小，砂浆重量变化越大。这说明了未添加减缩剂组中，砂浆内部游离水较少，水泥水化较充分，相对的，添加减缩剂组中游离水较多。而由于砂浆水灰比的固定，较多的游离水说明了水泥水化不充分，结合上述减缩剂作用机理，可以推出该减缩剂可能确实有一定的蓄水功能，来缓解水泥的水化，最终有较多的未反应的水分挥发导致砂浆重量变化增大，这也解释了为什么添加减缩剂后砂浆强度下降，是由于水泥水化不充分而引起的。可以说减缩剂是一把双刃剑，虽然可以降低砂浆的收缩，但同时也会降低砂浆的强度，如何寻找合适的平衡点也是我们将来所要研究的方向。

* 1. **α半水石膏在不同掺量下对砂浆尺寸变化率及强度的影响**

图5-1：α半水石膏各掺量下砂浆尺寸变化随时间变化图

图5-2：α半水石膏 28d抗压抗折强度图

由图5-1可以看出：添加α半水石膏的砂浆在0-2d时也有较明显的膨胀现象，但是在2-7d收缩加剧，尺寸变化大于空白样，7d后变化趋势基本与空白组一致，从最终28d结果上来看，该α半水石膏并未能起到一个较好的补偿收缩效果。在掺量分别为0.5%、1.0%、1.5%、2.0%时，28d尺寸变化率减少量分别为-12.1%、-14.3%、-10.1%、-3.3%。出现这种情况的原因是α半水石膏在砂浆中遇水结合生成二水石膏，新分子中加入了约20%的水，后期多余水分蒸发，留有空隙并形成小孔，总体积略有膨胀，其缺点是留下的空隙会影响砂浆的致密性，后期倒缩现象严重，且强度会减小，并不能提供一个长久稳定的减少收缩效果，并且由于石膏不耐水，砂浆在后期遇水时也可能会影响其性能。

* 1. **膨胀剂与减缩剂复配应用实验**

膨胀剂与减缩剂虽然类型不同，作用方式也不同，但在砂浆中都能起到一个降低后期尺寸变化率的作用，两者各有优缺点。能否将这两种类型的添加剂复配起来使用，来达到1+1>2的效果呢？下面是一个减缩剂应用于三元自流平中的对比实验。该实验基础配方见表3.

表3：自流平砂浆基础配方

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 原材料 | 水泥 | 级配砂 | 高铝水泥 | α石膏 | 重钙 | 乳胶粉 | 聚羧酸减水剂 | 消泡剂 | 纤维素醚 | 缓凝剂 | 促凝剂 |
| 质量分数/% | 35 | 41.2 | 6 | 4 | 10 | 3 | 0.4 | 0.1 | 0.06 | 0.1 | 0.1 |

在上述基础配方上添加减缩剂C，D，对比其尺寸变化趋势。在三元体系自流平中，石膏作为一种膨胀剂添加其中，来补偿自流平后期收缩，防止其干缩开裂等现象。在砂浆体系中存在膨胀剂的同时添加减缩剂，看能否起到更好的效果。实验结果如图6-1。

图6-1：减缩剂在自流平砂浆中对其尺寸变化影响

从图中可以看出，空白组砂浆虽然28d尺寸变化率远小于自流平砂浆标准要求（±0.15%）,但其效果还是明显差于添加减缩剂组。尤其在0-3d时，添加减缩剂组减缩效果明显，而0-3d也正是减缩剂和膨胀剂在砂浆中起到关键作用的时期。从总的尺寸变化趋势线上看到，添加减缩剂组砂浆尺寸变化基本游离于初始值左右，全程未出现较剧烈的膨胀收缩现象，稳定性较好，这也正是我们希望看到的效果。因此可以得出，减缩剂和膨胀剂在砂浆中是可以共同发挥作用的，且效果要好于其单一使用，能够达到1+1>2的效果。

1. **结论**
2. 膨胀剂A、膨胀剂B、α半水石膏在砂浆中都有较明显的膨胀效果，都是通过前期膨胀来减少后期收缩，但是A、B由于是引进钙矾石的原理，砂浆会更加致密，对强度几乎不影响，且不会出现后期倒缩现象。
3. 减缩剂C、D两种添加剂在砂浆中并未出现明显膨胀现象，它们的减缩原理与膨胀剂不同，是通过持续减少水泥自身收缩来降低砂浆的尺寸变化率。但是这两种减缩剂会明显的影响砂浆强度，推测是减缩剂影响水泥水化反应导致。
4. 膨胀剂与减缩剂可以复配使用，能达到更好的效果，具体的实施方案还有待研究。

**参考文献**

[1].钱春香，耿飞，李丽，等.减缩剂的作用及其机理[J].功能材料，2006（02）：0287.

[2]. 王智，郭清春，江楠，钱觉时，党玉栋，等.减缩剂在水泥材料中的作用历程与机理研究[J].建筑材料学报，2012（05）：0601.

[3].任慧韬，郭磊，等. 减缩剂掺加对混凝土性能的影响[J].大连理工大学学报，2013（03）:0397.

[4].孙诗兵，聂光临，姚晓丹，田英良，等.膨胀剂对普通硅酸盐水泥砂浆性能的影响[J].预拌砂浆，2014（09）：0094.