

浅谈脱硫石膏及添加剂对石膏基自流平砂浆性能的影响

耿婷婷 赵姣姣

陕西省建筑材料工业设计研究院有限公司

摘要：脱硫石膏是石膏基自流平砂浆的主要胶凝材料，减水剂、保水剂、缓凝剂、消泡剂是石膏基自流平砂浆的关键添加剂。本文主要研究了脱硫石膏、减水剂、保水剂、缓凝剂、消泡剂对石膏基自流平砂浆性能的影响。

关键词：脱硫石膏；添加剂；石膏基；自流平；砂浆

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.10.115

石膏基自流平砂浆作为石膏基干混砂浆中的一种，是由工业副产脱硫石膏、特种骨料及各种建筑化学外加剂精心配置、混合均匀而制得的一种专门用于地面找平的干粉砂浆。它具有流动性大、稳定性好、施工效率高、表面平整度高、质轻、可保温等特点，适用于建筑物地面抬高找平、地暖回填找平等，且在自流平地面之上可直接进行地砖薄贴、木地板拼装、铺贴聚氯乙烯（PVC）等。石膏基自流平砂浆突出的施工和使用性能，对我国砂浆行业的发展具有积极的意义。

目前，国内对石膏基自流平材料的认知度较低，该材料仅在部分地区有应用，且生产厂家少、规模小。有对脱硫石膏深加工处理制备自流平材料，但需要添加大量的添加剂才能达到相应的性能要求，由于外加剂的成本较高，致使石膏基自流平应用成本高于传统水泥砂浆，推广应用受阻，发展缓慢。

脱硫石膏与天然二水石膏的化学成分、矿物组成基本相似，主要矿物均为二水硫酸钙。脱硫石膏的二水硫酸钙含量可达90%左右。石膏基自流平砂浆不仅迎合了当今绿色、环保的装修主题，而且改变了传统的水泥基自流平砂浆收缩率大、易开裂、起鼓且施工周期较长的问题。

问题。

但在施工的过程中仍会出现空鼓、开裂、气泡、长期不干燥、强度低等问题。造成上述工程应用质量问题，我们初步研究分析可能是受石膏组分、外加剂、可溶性盐、石膏基自流平砂浆施工对地面开裂等因素的影响。

一、实验原辅材料

石膏基自流平材料以工业副产石膏为基材，采用辅料、水泥、化学外加剂等混合而成，辅料采用粉煤灰、重钙、玻化微珠、水泥、钠土等，外加剂为减水剂（萘系减水剂、密胺树脂类减水剂、聚羧酸盐系等）、缓凝剂（磷酸盐、糖类、纤维素等）、保水剂（聚丙烯酸盐、纤维素、天然橡胶等）、消泡剂（有机硅油、非离子界面活性剂等），必要时还可以掺加触变剂、润滑剂、颜料等原辅料按照一定的比例参数混合均匀而制得的一种用于地面找平的砂浆。

二、实验过程

研究者对关中地区多家火电厂烟气脱硫石膏排放利用现状进行了实地调研。掌握了当地脱硫石膏累计堆存量及每年的排放量和物理化学等成分分析，也进行了煅烧脱硫石膏在建材制品方面的研究。随着国家节能减排绿色建材逐步开展，研究者抓住时机开展了原状脱硫石膏在建材领域尝试性研究，探索了原状脱硫石膏粉煤灰活性体系、原状脱硫石膏石灰活性体系、原状脱硫石膏矿渣活性体系以及碱激发原状脱硫石膏等研究，进行了大量的试验数据。

针对不同电厂的副产石膏，做了初步的产品配方试验：

对比不同电厂生产的脱硫石膏在相同的配合比条件

表1 石膏基自流平砂浆配合比

| 石膏基自流平配比 | | | | |
|----------|------------|-----|--------|-----|
| 组分 | 纤维素醚（400E） | 消泡剂 | 聚羧酸减水剂 | 缓凝剂 |
| 掺量 | 0.8 | 0.8 | 2.5 | 0.5 |

表2 不同石膏实验结果

| 三组配方性能对比 | | | | | | |
|----------|-------------------------|-----------|---------------|-----------|-----------|----------|
| 项目 | 干密度（kg/m ³ ） | 初始流动度（mm） | 30min后流动度（mm） | 抗折强度（MPa） | 抗压强度（MPa） | 尺寸变化率（%） |
| 配比1 | 1406 | 145 | 140 | 5.90 | 20.35 | -0.05 |
| 配比2 | 1496 | 150 | 145 | 7.6 | 21.72 | -0.04 |
| 配比3 | 1532 | 146 | 138 | 7.4 | 20.1 | -0.07 |

表3 《JC/T1023-2021》石膏基自流平技术指标

| 项目 | | 性能指标 | |
|---------------------|----------------|---------------|------|
| | | G20 | G25 |
| 30min 流动度/mm \geq | | 140 | |
| 凝结时间/h | 初凝 \geq | 1 | |
| | 终凝 \leq | 6 | |
| 强度/MPa | 24h 抗折 \geq | 2.0 | |
| | 24h 抗压 \geq | 6.0 | |
| | 28d绝干抗折 \geq | 5.0 | 7.0 |
| | 28d绝干抗压 \geq | 20.0 | 25.0 |
| | 绝干拉伸粘结 \geq | 1.0 | |
| 尺寸变化率/% | | -0.05 ~ +0.05 | |

下，测试石膏基自流平砂浆的各项性能结果如表2-2所示。

据实验数据表明，不同石膏原料加入相同配比的辅料与外加剂，研发出了一种新型绿色建筑材料—石膏基自流平砂浆。经第三方检测，该新材料符合国家标准规定，产品防火耐热、保温隔湿，不空鼓、不开裂、施工周期短，而且具有良好的和易性，大幅度改善了新产品的施工性。

三、结果与讨论

针对石膏基自流平在施工过程中出现的空鼓、开裂等问题，通过对原辅料结构、性能进行深入研究，经过大量实验，研发出高于国家标准的绿色环保优质产品。

(一) 不同脱硫建筑石膏对石膏基自流平砂浆性能的影响

脱硫石膏化学成分、矿物组成与天然石膏基本相似，由于脱硫工艺的不同以及生产条件的不同，脱硫石膏在应用过程中常常出现问题，增加脱硫石膏的应用难度。例如当缓凝剂不能正常调节石膏凝结时间时，必须首先检查石膏中是否含有较多的Ⅲ型无水石膏(CaSO₄)或欠烧的二水石膏(CaSO₄·2H₂O)相。这是因为CaSO₄与空气中的水分相遇会很快水化成半水石膏(CaSO₄·1/2H₂O)，是不稳定相；在石膏水化过程中起促凝作用，其所占比例不同，促凝效果也不同。

脱硫建筑石膏粉性能的优劣主要取决于烘干和锻烧工艺技术。通常情况下，脱硫石膏中自由水的含量在10%~20%之间，这时往往会采用两步法将烘干和锻烧分开进行。因脱硫工艺及应用设备之间的差异，不同电厂甚至同一电厂不同批次脱硫石膏性能通常会表现出较大的差异，这对脱硫石膏的发展和应用相当不利。因此，针对我省内不同电厂的脱硫石膏，研究其晶体结构以及化学成分，探究不同工艺条件下得到的脱硫石膏制备成

石膏基自流平砂浆的具体技术要求。

(二) 不同的外加剂对自流平性能的影响

石膏基自流平砂浆的性能除了与石膏自身晶体结构有关外，还与石膏外加剂有着更为重要的依存关系，可以说外加剂选用的恰当与否，直接影响产品的施工性能、凝结硬化后的强度、耐水性以及成本。而外加剂的门类繁多，品种不一，掌握各种外加剂的应用技术以及作用机理，对于针对性的解决实际应用过程中出现的问题，仍然需要进一步的探索。常用于石膏基自流平砂浆的外加剂有以下几类：

1. 减水剂对石膏基自流平砂浆流动性的影响

减水剂实质上是一种表面活性剂，其主要作用机理是润湿分散作用和塑化作用。利用减水剂可以使胶体颗粒电子性质改变，体系内黏度降低，颗粒间相对更容易滑动，在相同水灰比的情况下提高了浆体的流动性，达到提高和改性的目的。同时也能起到减小泌水、离析作用，提高保水性。常用的石膏减水剂有三大类：FDN类萘系减水剂、SM类密胺树脂类减水剂以及PCA聚羧酸系减水剂。

不同类型的减水剂，减水剂的形态(固态和液态)以及掺加减水剂的方式都会对石膏基自流平砂浆施工期的流动性与凝结硬化后的强度产生不同影响。

2. 保水剂对石膏基自流平砂浆保水率的影响

保水剂一般是水溶性的高分子化合物，常用的有聚丙烯酸盐、纤维素、天然橡胶等。保水剂掺入砂浆材料，可以使水的黏度系数大幅提高，从而提升砂浆的稳定性、增加材料的粘聚性和保水性。如果砂浆的保水性不好，那么在大面积浇注和流动过程中容易被地面基层吸去很多水，使砂浆体的流动性能降低，正常水化用水减少，从而引起砂浆强度下降。同时，在砂浆体系内引起砂浆的分层离析，颗粒沉降速度加快，水分上浮产生

泌水，硬化后砂浆表面形成“假壳”现象，使耐磨性、平整度、光洁度都受到影响。

保水剂的种类、黏度、和细度的不同，会带来不同的保水效果与施工效果，例如淀粉醚和甲基纤维素醚的配合使用会带来较好的协同作用。无论何种保水剂的掺入都会延缓石膏的水化速度，由此保水剂与缓凝剂的配合关系，值得进一步研究。

3. 缓凝剂对石膏基自流平砂浆凝结时间的影响

缓凝剂种类繁多，用于自流平材料的缓凝剂主要有有机酸及其可溶盐类、碱性磷酸盐类以及蛋白质类。对于不同类型的缓凝剂，其作用机制也不尽相同。常用的石膏缓凝剂是可溶性角质蛋白，这种材料可以用强碱水解动物的蹄子或角制备，这种制备工艺可以得到带羧基、醚基、磺基及酰胺基长链的大分子，官能团处于合适的位置，短分子链的可溶性角质蛋白的缓凝效率更高，能够降低石膏的溶解速和溶解率，延缓凝结时间。

4. 消泡剂对石膏基自流平砂浆空鼓、开裂的影响

常用于石膏基自流平砂浆的消泡剂有正丁醇、聚乙二醇和磷酸三丁酯等有机物。在施工中，由于干砂浆与水在搅拌过程中经常出现气泡，影响产品的美观性。添加适量的消泡剂，能够有效避免气泡、针孔，增大自流平砂浆的流动度，改善砂浆硬化后的表现状态。

(三) 不同辅料对石膏基自流平砂浆性能的影响

(1) 石膏基自流平制备时会加入少量水泥，但在石膏中只掺入水泥是不行的。由于水泥水化析出的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 没有被吸收，造成较高的碱度，导致胶凝材料水化产物—钙矾石产生膨胀。

(2) 在掺入水泥的同时，必须加入适量活性混合材。其目的除了进一步提高强度外，还可降低碱度，造成钙矾石生成的体积稳定条件。

(3) 水泥的掺量与水泥品种、活性混合材的掺量、活性有关。一般，碱度较高时，强度和耐水性较好，安定性较差。我们要在保证安定性的条件下来提高产品性能，调控水泥掺量。

(四) 不同施工工艺对石膏基自流平砂浆性能的影响

自流平的施工过程为：基层清理、涂刷界面剂、搅拌粉料、浇注（泵送或人工）、摊平流平、消泡处理、养护。

(1) 施工前必须彻底清理地面的破碎处、水泥灰渣、易剥离的抹灰层及浮土、赃物和残油等；基层处理不好，将导致砂浆过快失水造成水化反应不充分影响黏结强度和出现开裂现象。

(2) 基层要具有一定的强度，否则导致自流平材料和基层之间黏结强度降低，可能造成自流平地面出现裂纹；若是新浇注的混凝土，收缩必须已经完成，否则

基层开裂会导致石膏基自流平砂浆开裂。

(3) 不能分层施工，间隔时间太短，第一遍水分无法顺利排出，留下隐患，上层易脱落；间隔时间长，重新刷界面剂，成本提高，效率降低。施工时不得停水、停电，不能间断性施工。

(4) 区域转折处、基层落差处、宽窄变换处，必须做好区域分割，防止产生不规则裂缝。

(5) 自流平地面施工后无须洒水养护，但应做好现场封闭，避免穿堂风、阳光直晒、人员踩踏，从而避免风干后自流平地面易产生开裂、空鼓等现象。

(五) 不同环境条件对石膏基自流平砂浆性能的影响

石膏基自流平砂浆施工及养护时，地面温度和环境温度均应 $\geq 5^\circ\text{C}$ ，相对湿度不宜高于80%。当温度低于 5°C 时，石膏基自流平砂浆中的外加剂溶解速度慢，难以发挥作用，且在低温高湿度情况下，石膏基自流平砂浆水花速度和干燥速度缓慢，质量难以保证。

(六) 功能性石膏基自流平砂浆的研究

(1) 轻质保温石膏基自流平砂浆。石膏基自流平砂浆作为新型建筑材料具有质量轻、抗开裂、保温性能好等优点。若在此基础上能够较大限度的发挥石膏基自流平材料的质轻、保温等功能，开发出轻质保温石膏基自流平砂浆产品，将其合理应用到各类建筑中，能够缩短材料的凝结时间、加快施工进度、减轻结构自重、降低施工成本、减少建筑能耗，使其综合性能和性价比优于水泥基自流平材料，有助于增加石膏基自流平材料的市场竞争力。

(2) 石墨烯石膏基自流平砂浆。石墨烯是一种较薄且较强韧的材料，具有较强的导电导热性能，寿命更是长达50年，石膏中添加石墨烯制成石墨烯石膏基自流平砂浆，有望成为高性能的地暖材料，大幅提高地暖的升温速率，其使用中也不存在煤灰、烟尘等污染物，这将为石墨烯地暖发热快、使用寿命长、节能、环保的特性提供有力保障。

参考文献

- [1] 朱海霞. 石膏基自流平砂浆的技术进展研究[J]. 新型建筑材料, 2016, 43(6): 5.
- [2] 朱海霞. 石膏基自流平砂浆发展与技术进展[C]// 中国建筑材料联合会. 中国建筑材料联合会, 2017.
- [3] 柳京育, 单俊鸿, 李春, 等. 脱硫石膏基无砂自流平砂浆的制备与性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2021, 40(11): 8.
- [4] 毛生莲. 一种石膏基自流平砂浆及其应用, 施工方法, CN112250408A[P]. 2021.