

②

第17卷 第2期  
1995年6月重庆建筑大学学报  
Journal of Chongqing Jianzhu UniversityVol. 17 No. 2  
June 1995

9-14

## 石膏基外墙粉刷材料耐水性机理研究

彭家惠 林芳辉

(材料科学与工程系)

TQ 177.379

① 摘要 石膏基外墙粉刷材料(简称SVF)是一种以A<sub>2</sub>石膏为石膏基材,矿渣改性的耐水性良好的新型外墙粉刷材料。本文采用XRD、SEM、孔结构分析,并结合宏观试验结果,从水化物相、孔结构、硬化体微结构,亲水性等方面对SVF耐水性机理进行了分析研究。

关键词 石膏, 粉刷材料, 耐水性机理, 溶蚀率

中图法分类号 TQ177.379

外墙

SVF是一种以A<sub>2</sub>石膏为主要原料,内掺无机活性材改性,并掺有激发剂、防水剂、减水剂等复合外加剂配制而成的新型外墙粉刷材料。提高耐水性以满足外墙使用的需要是研制SVF的关键之一。本研究是在已配制出能满足外墙使用要求的SVF的基础上,从硬化体相组成、微结构、水份迁移与孔结构、亲水性、表面结构等方面对SVF耐水性机理进行了分析研究。

## 1 石膏硬化体不耐水的原因

1) 二水石膏溶解度较大,20℃时为2.08 g/L,超过水泥水化产物水化硅酸钙、钙矾石等溶解度30倍以上。这是在水,特别是动水作用下,石膏制品发生质量溶蚀的原因所在。二水石膏晶体间接触点溶解度高于晶体,使之更易被水溶解破坏,从而削弱了晶体间的结合,导致强度下降,即使只含有0.5%的水,也足以对二水石膏晶体接触点产生湿润、溶解作用,致使强度下降达40%之多。

2) 内部结构呈多孔状,孔隙率高达50~70%,是含有大量毛细孔、凝胶孔及微细裂纹、具有庞大内比表面积的多孔硬化体。这种多孔硬化体结构为水对二水石膏的侵蚀提供了大量的通道。

3) 二水石膏具有亲水性,接触角小于90°,与其接触的水,因毛细作用而进入硬化体内部,吸水速率快,吸水率高,进入硬化体内部的水份,一方面对二水石膏晶体产生溶蚀作用,另一方面在晶体表面形成水膜,对其微细裂纹产生楔入尖劈作用,破坏晶体结构间微单元的结合。

\* 收稿日期:1994-12-13

彭家惠,男,1962年生,重庆建筑大学(630045)

国家自然科学基金资助项目

## 2 SVF 耐水性试验结果与讨论

在 SVF 配合比与提高耐水性研究基础上,经优选组合确定其配合比为:A<sub>2</sub>;矿渣=70:30、外掺水泥10%、石灰1%、促凝剂 K1%、复合外加剂0.95%。SVF 耐水性试验结果见表1及表2。

表 1 SVF 耐水性

吸水率 (%)	饱水强度(MPa)		软化系数		干湿循环后强度(MPa)		强度损失(%)	
	R <sub>折</sub>	R <sub>压</sub>	折	压	R <sub>折</sub>	R <sub>压</sub>	折	压
8.5	5.65	23.8	0.80	0.83	4.99	23.9	5.5	5.1

表 2 SVF 溶蚀率(%)

静水浸泡30d	流水浸泡12d	人工淋雨(mm)	
	(2800 ml/min)	1100	3300
0.3	1.14	0	1.2

由表1、表2可知,SVF 吸水率远低于建筑石膏,而与水泥制品相当,软化系数超过0.8,且饱水强度较高,SVF 经15次干湿循环的强度损失约5%,而同样条件下建筑石膏的强度损失超过35%。SVF 经30 d 静水浸泡的溶蚀率仅为0.3%,在流量为2800 ml/min 强流水中浸泡12 d,试件表面完好,溶蚀率为1.4%,而同样条件下建筑石膏的溶蚀率为40.6%。人工间歇淋雨1100 mm 无溶蚀发生,经3300 mm 淋水侵蚀,溶蚀率为1.2%。将 SVF 抹于外墙,经3年雨水作用,无溶蚀发生。耐水性试验结果表明,SVF 耐水性良好,能用于外墙抹面工程。

## 3 SVF 耐水性机理研究

### 3.1 硬化体物相与耐水性

#### 3.1.1 水化产物

图1为 SVF 水化不同龄期的 XRD 图谱。

X 射线物相分析表明,主要水化产物除了二水石膏外,还有大量的钙矾石与水化硅酸钙。随着水化龄期延长,水化产物增多。

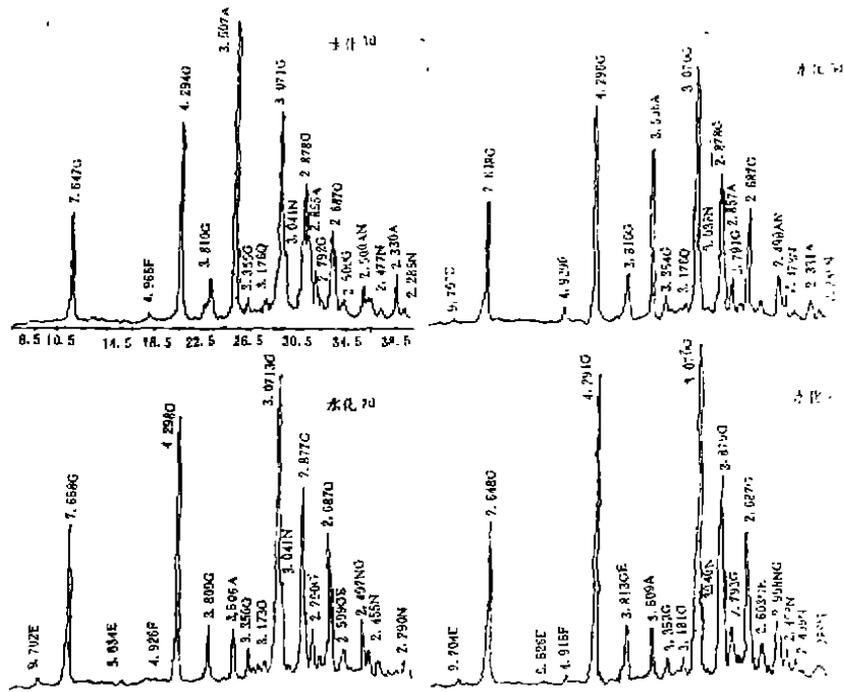
#### 3.1.2 物相与耐水性关系

在 SVF 的水化产物中,溶解度低、具有水硬性的钙矾石与水化硅酸钙的形成,对其耐水性带来很大的变化,表3为不同矿渣掺量对耐水性的影响。

由表3结果并结合 X 射线衍射物相分析可看出,随矿渣掺量增加,钙矾石与水化硅酸钙特征峰强度增大,表明硬化体中其数量增加,故其饱水强度增加,软化系数增大,溶蚀率显著降低。随着低溶解度水化产物的增加,耐水性提高,但这种影响将随钙矾石与水化硅酸钙的进一步增加而逐渐减弱。

#### 3.2 孔结构与耐水性

测定了水料比与成型方式不同的 SVF 试样的孔结构以及与之对应的硬化体耐水性,结



E—钙矾石 G—二水石膏 A—A<sub>2</sub>石膏 N—水化硅酸钙 Q—石英

图1 SVF不同水化龄期的XRD图谱

表3 矿渣掺量对耐水性影响

A <sub>2</sub> 矿渣	饱水抗压强度(MPa)	软化系数	溶蚀率(%)
100:0	13.1	0.35	15.60
90:10	18.2	0.60	3.69
70:30	21.1	0.75	1.86

果见表4、表5。

表4、表5的结果表明,水料比与成型方式对SVF硬化体孔隙及孔分布影响很大,其规律为水料比降低,孔隙率减小,孔径细化,最可几孔径尺寸减小,孔径分布朝小于100 Å方向发展。孔为水对硬化体内部二水石膏的侵蚀提供通道。进入硬化体中水的总量与速度决定于孔的数量与分布,即孔隙率与毛细孔数量。孔隙率及孔分布对SVF硬化体的耐水性有很强的相关性,图2是孔隙率与吸水率、溶蚀率关系曲线。孔隙率降低,孔径分布细化,则吸水率、溶蚀率降低,饱水强度、软化系数增大。

降低孔隙率,减少毛细孔、改善孔结构是改善耐水性的有效途径,据此在SVF中引入高效减水剂F,以提高耐水性,结果表6。

### 3.3 硬化体微结构与耐水性

图3是SVF硬化体的SEM照片。

结合 XRD 物相分析,它的主要水化产物是柱状的二水石膏晶体、针状钙矾石晶体以及纤维状 CSH 凝胶。随着水化龄期延长,水化产物增加,并不断填充于孔隙中,使孔隙率降低,水化3d 与28d 的孔隙率分别为32.3与24.4。SVF 硬化体微结构可描述为:硬化体以二水石膏、钙矾石晶体为结构骨架,CSH 凝胶填充其间,二水石膏晶体、钙矾石晶体与 CSH 凝胶同相互交叉搭接,部分钙矾石晶体与 CSH 凝胶分布在二水石膏晶体周围,未水化的  $A_2$  石膏、矿渣等以微集料形式填充于硬化体

中。这种微结构改变了水在硬化体中的扩散、迁移机制,水对内部二水石膏的溶蚀,在局部微区形成饱和溶液,由于溶液的扩散,迁移受阻,从而减弱了水的溶蚀作用。即钙矾石、CSH 凝胶对二水石膏晶体的包裹保护,削弱了水对二水石膏晶体的侵蚀作用,有效地降低了硬化体的溶蚀率。

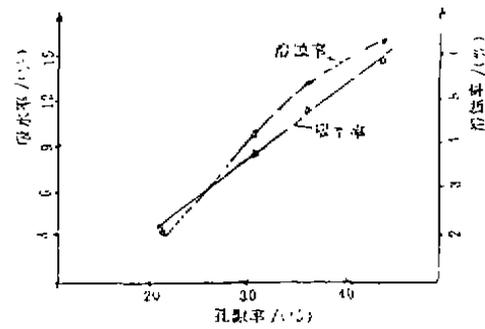


图2 孔隙率与吸水率溶蚀率关系

表4 SVF 孔结构测试结果

编号	水料比	表观密度 (kg/m <sup>3</sup> )	孔隙率 (%)	孔 分 布 (%)				
				>10 <sup>4</sup> Å	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>3</sup> Å	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>2</sup> Å	10 <sup>2</sup> ~50 Å	<50 Å
A1	0.31	1850	31.2	0	4.3	60.1	10.5	25.0
A2	0.36	1750	36.3	0	23.3	51.5	6.8	18.4
A3	0.41	1610	44.3	0	40.8	32.5	15.10	11.7
B	0.07	2005	21.8	0	3.3	18.2	38.3	40.0

注:A1~A3为浇注振动成型,B为压制成型

表5 不同孔结构试样耐水性

编号	吸水率(%)	饱水强度(MPa)	软化系数	溶蚀率(%)
A1	8.53	23.8	0.79	4.13
A2	11.77	12.1	0.70	5.35
A3	14.68	9.9	0.64	6.27
B	3.6	35.2	0.85	2.12

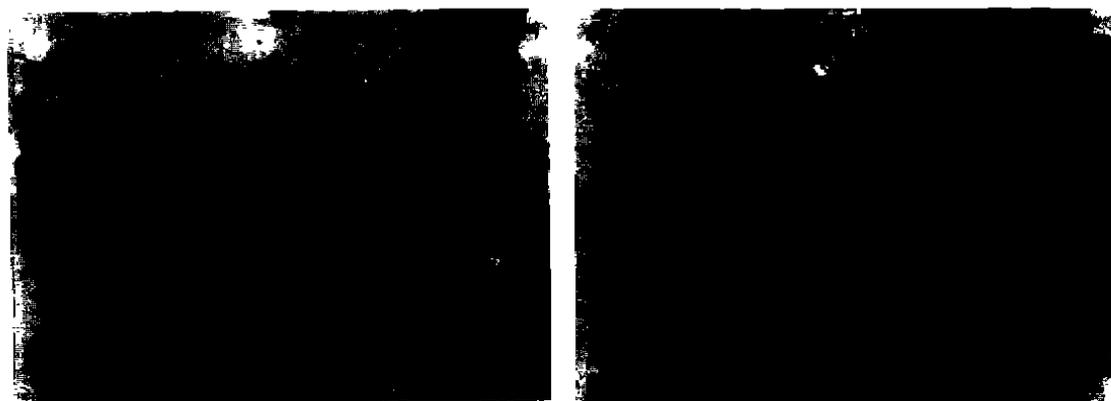
表6 减水剂对耐水性的影响

掺量	水料比	孔隙率(%)	饱水强度(MPa)	软化系数	溶蚀率
0	0.38	39.5	16.5	0.70	5.12
0.7	0.30	28.7	23.8	0.79	2.02

### 3.4 硬化体亲水性与耐水性

表7 有机硅乳液对耐水性的影响

掺量	饱水强度(MPa)	软化系数	溶蚀率(%)	溶蚀后强度损失(%)
—	23.8	0.78	4.13	21.0
0.1	22.8	0.66	2.69	17.2
0.25	23.3	0.68	1.92	13.0
0.5	13.5	0.41	—	—
1.0	14.3	0.41	—	—



a 水化3d

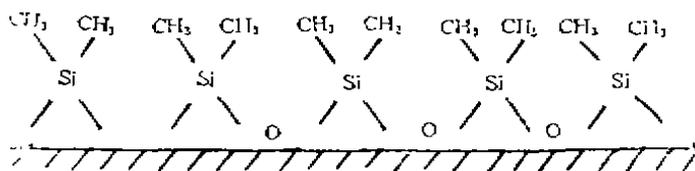
b 水化28d

图3 SVF硬化体SEM照片( $\times 1500$ )

水进入硬化体内部依靠毛细管效应。二水石膏晶体与水的接触角小于 $90^\circ$ ，即水对二水石膏具有良好的润湿性。硬化体中大量的毛细孔的存在，使水在毛细管压力作用下，快速进入硬化体内部，二水石膏晶体的针状结构则加剧了水的毛细吸入。

显然，增大二水石膏表面接触角，降低亲水性是改善其耐水性的途径之一。据此原理，采用掺入有机硅乳液，石蜡乳液，石蜡松香乳液等憎水性防水剂改善耐水性，其中以有机硅乳液效果较好，试验结果见表7。

内掺有机硅乳液提高SVF耐水性的原因在于有机硅分子中具有极性的硅氧基与非极性的硅烷基，极性硅氧基与二水石膏结合，而将非极性硅烷基排斥在外，从而在二水石膏表面形成类似于石蜡烷烃的憎水结构：



随着有机硅掺量增加，这种憎水结构趋于完全，明显降低了二水石膏的亲水性，而使其耐水性得以提高。但有机硅乳液掺量应严格控制，掺量过高将削弱二水石膏晶体之间以及二水石膏与钙矾石、水化硅酸钙之间的结合，从而导致强度降低。

### 3.5 外表面处理与耐水性

SVF硬化体外表面直接与雨水接触，是最容易被溶蚀的部位。在硬化体表面形成耐水性的保护膜或形成溶解度远小于二水石膏的物质，可达到“强化”表面、提高耐水性的目的。表8是SVF硬化体表面涂刷防水涂料与浸泡草酸溶液后的耐水性试验结果。

表8 SVF硬化体表面处理与耐水性

表面处理方式	2h 吸水率(%)	溶蚀率(%)	溶蚀后强度损失(%)
—	13.23	5.93	25.8
刷防水涂料	5.93	0.6	2.00
浸泡草酸溶液	8.20	3.89	15.2

表8结果看,两种表面处理方式均可降低溶蚀率与溶蚀后强度损失,尤以刷防水涂料效果更佳。涂刷防水涂料的试样在其表面形成一层涂料防水膜,而浸泡草酸溶液的试样,在其表面形成难溶的草酸钙。显著降低硬化体表面溶蚀率,使其溶蚀主要从内部发生,经强化的硬化体表面阻碍水份进入内部,同时溶出的二水石膏因扩散受阻,在溶蚀的局部微区形成饱和溶液,从而阻止了溶蚀的进一步发生。不同比表面试样溶蚀率试验表明溶蚀率随SVF硬化体比表面减小而降低,表明溶蚀程度主要决定于表面状态与表面大小(比表面)。

## 4 结 论

1) 采用综合改性技术配制的SVF,其强度和耐水性大幅度提高,软化系数达0.83,干湿循环强度损失约5%,溶蚀率低。模拟自然雨水侵蚀的动水溶蚀试验结果与室外抹面3年的溶蚀状况吻合。SVF能满足外墙抹面的使用要求。

2) SVF耐水性好的原因可归结为:溶解度低的水硬性钙矾石、水化硅酸钙的形成;合理微结构对二水石膏的保护作用;微集料 $A_2$ 石膏及矿渣溶解度低;孔隙率降低及孔结构的改善;二水石膏表面亲水性的降低和水对二水石膏的侵蚀作用及参与活性材料继续水化的作用并存等。

### 参 考 文 献

- 1 冯际斌. 有机硅憎水剂在建筑上的应用及其研究方向. 建筑工程材料, 1984. 5
- 2 林芳辉. 二水石膏沸渣胶结材的性能与结构研究. 硅酸盐建筑制品, 1993. 3
- 3 杭州新型建筑材料设计院译. 日本抗水性石膏及制品. 1984. 12

(编辑:姚国安)

## STUDY ON WATER-RESISTING MECHANISM OF GYPSUM-BASED OUTER WALL PLASTERING MATERIAL

*Peng Jiahui*

*Lin Fanghui*

(Dept. of Material Science and Engineering)

**ABSTRACT** Gypsum-based outer wall plastering material improved by slag is a new outer wall plastering material that has  $A_2$ -gypsum as a base and better water-resisting property. By means of research technology such as XRD, SEM, hole structure analysis and the macro-experimental results, the mechanism of water-resisting is studied from hydration products, hole structure, the micro-structure of hardened body and affinity water property.

**KEY WORDS** gypsum, plastering material, water-resisting mechanism, corrosion ratio