

11-15

## 石膏基材料耐水性指标及测试方法\*

林芳辉 彭家惠 (重庆建筑大学)

TQ177.312

**摘要** 分析了研究石膏基材料耐水性指标和实验方法的必要性,讨论了软化系数的局限性和试验误差,提出了相应改进意见。研究了几种溶蚀率测定方法及其与自然环境下材料受雨水溶蚀的相关性,并提出了比表面溶蚀率概念。

**关键词:** 石膏基材料, 耐水性, 软化系数, 溶蚀率

指标 测试

## 一、引言

石膏建材及制品因其具有诸多优点而在国内外得到广泛的应用。耐水性差是其严重缺陷之一。为改善其耐水性,国内外采取了多种技术措施,研制了配方、工艺、耐水性指标及使用范围不同的多种复合石膏基胶结材,如防潮石膏矿渣装饰板、石膏砌块、二水石膏矿渣板。石膏大理石内外墙饰面板及石膏基外墙粉刷材料等。由于多种复合石膏基胶结材在防水机理、水化产物、硬化规律及使用要求等方面差异较大,若仍沿用气硬性石膏耐水性指标及测试方法,势必在测试数据准确性、耐水性指标的针对性上出现较大差异,使石膏基材料耐水性试验研究的可比性差。本文以建筑石膏和几种石膏基复合材料耐水性指标的试验数据为基础,提出了石膏基材料耐水性指标及测试方法的改进意见,供同行研讨。

通常,软化系数是表征材料耐水性的重要指标,以材料在吸水饱和的状态下的强度与其在绝干状态下的强度的比值表示。随着石膏基复合材料的发展,仅以软化系数还不足以全面、准确地表征和比较石膏基材料的

耐水性。例如,有的改性石膏材料虽有较高的软化系数值,但这是以损失材料绝干强度(也不成比例地损失饱水强度)值而得到的,此时宜辅以饱水强度来表征耐水性。对于防潮装饰板,在保证断裂荷载符合要求的同时,则应着重测定和比较其受湿挠度,以保证这种材料的装饰功能。对于石膏基外墙粉刷材料,耐水性指标则应着重考察溶蚀率和干湿循环强度损失,以保证外墙粉刷工程质量。因此,我们认为,应根据使用环境中水对材料破坏作用的特征及对材料耐水性的特定要求,有针对性地选择诸多表征石膏耐水性的指标中确定主要评定指数,以满足工程要求,并提高其可比性。

对于掺入无机活性材的石膏基复合材料,测定试件的绝干强度,需在 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 条件下经历较长的干燥过程。在这类材料中除建筑石膏水化很快之外,活性材与激发剂的反应则较缓慢,并且对热养护有好的适应性,即含水石膏基复合材料的干燥过程伴随促进水硬性组份强度发展的热养护过程,使绝干强度呈现正偏差。因此,对此类材料的软化系数确定,其绝干强度的测定方法似应改进。为此本文提出了无水酒精法。它同时还具有缩短试验时间的优点。

\* 国家自然科学基金资助项目。

我国目前尚无石膏基材料溶蚀率的测定方法标准,有的方法测定时间长、重复性较差。我们结合石膏基外墙粉刷材料溶蚀率的试验,对静水、连续流水,间歇流水作用下的溶蚀率测定及其与自然条件下受动水溶蚀的相关性进行了研究。

## 二、主要原材料及石膏基复合材料配比

建筑石膏:性能指标满足国标 GB9776-88 优等品要求;矿渣、粉煤灰的化学成分见表 1; A<sub>II</sub>石膏:二水石膏经 800℃ 煅烧而得。

表 1 矿渣、粉煤灰化学成分

化学成分(%) 原料	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>
矿渣	41.80	33.60	11.30	2.90	/	5.85	1.70
粉煤灰	3.30	42.80	24.80	21.10	1.03	1.10	/

A<sub>II</sub>石膏基外墙粉刷材料(SVF)配比:

A<sub>II</sub>石膏:矿渣 = 70:30, 外掺水泥 10%, 石灰 1%, 复合外加剂 1.7%。

石膏水泥粉煤灰胶结材(GCF)配比:

建筑石膏:水泥:粉煤灰 = 70:15:15, 外掺复合外加剂 0.5%。

R: 未经干湿循环试件强度

R': 经干湿循环后试件强度

## 三、试验方法

建筑石膏标准稠度、成型及强度测定参照 GB9776-88 进行。SVF、GCF 标准稠度、成型及强度测定参照粉刷石膏 JC/T517-93 进行。试件尺寸 4×4×16cm, 实验室空气中自然养护, 平均温度 20℃, 平均相对湿度 75%, 养护时间 28d。干湿循环制度: 20℃ 水中 1d, 空气中 1d 为一循环, 共进行 15 次循环。

软化系数:  $\alpha = R_{\text{饱和}} / R_{\text{绝干}}$

$R_{\text{饱和}}$ : 吸水饱和时的试件强度

$R_{\text{绝干}}$ : 40±2℃ 烘至绝干时的试件强度

溶蚀率  $b = \frac{W - W'}{W} \times 100\%$

W: 溶蚀前试样绝干质量

W': 溶蚀后试样绝干质量

干湿循环强度损失  $C = \frac{R - R'}{R} \times 100\%$

## 四、耐水性指标及测试方法研究

### 1. 软化系数

#### (1) 无水酒精法测定烘干强度

按现行确定软化系数的方法,需将 4×4×16cm 试件置于 40℃ 烘箱中烘至绝干。这种方法测试时间一般需 6d, 对于掺无机活性材改性的石膏基复合材料还存在烘干强度偏高, 软化系数偏低的缺陷。为了提高掺活性材的石膏基复合材料的软化系数测定的准确度, 我们试验采用无水酒精法测烘干强度。此法与现行方法不同点是将测绝干强度的试件置于无水酒精中浸泡至饱和, 取出置于烘箱中于 40±2℃ 烘至绝干。本法利用无水酒精对试件中水的萃取作用, 避免伴随烘干过程而出现的湿热养护使烘干强度偏高而造成的误差。同时因酒精蒸发速率远大于水, 使得烘干时间大为缩短, 从而显著缩短烘干强度的测试时间。

经试验, 浸泡无水酒精至饱和的浸泡时间约为 2h, 试验采取浸泡 4h。

将建筑石膏与 SVF 各二组试样烘至绝干, 一组置于干燥器中, 另一组浸于无水酒精中至饱和, 再于  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  烘至绝干, 其两种干燥强度值几乎相等, 表明酒精法测烘干强度是可行的。含一定酒精试样的强度, 特别是抗折强度低于绝干强度, 因此应保证浸泡酒精试样烘至绝干。 $40 \pm 2^\circ\text{C}$  下将饱和酒精试样烘干至绝干强度的时间约 1.5d, 即无水酒精法测定软化系数的试验时间不到 2d, 仅为传统法的三分之一。

#### (2) 两种确定软化系数方法的比较

采用两种方法测定了建筑石膏、SVF、GCF 的软化系数, 结果见表 2。

表 2 现行法、无水酒精法测软化系数

材料	饱水强度 (MPa)	烘干强度 (MPa)		软化系数	
		现行法	酒精法	现行法	酒精法
建筑石膏	4.0	14.8	14.6	0.27	0.27
SVF	22.1	32.0	29.6	0.69	0.75
GCF	13.0	26.5	24.4	0.49	0.53

表 2 结果表明, 对于建筑石膏, 两种方法测定的烘干强度与软化系数结果相同。但对于掺有无机活性材改性的 SVF 与 GCF 材料, 两种方法的测定结果差异明显, 现行法确定的软化系数偏低约 8%, 这与前面的分析是吻合的。

为了进一步说明两种试验方法的烘干过程材料水化程度的差异, 测定了烘干前及两种方法烘至绝干后试样的结晶水含量, 结果见表 3。

由表 3 可见, 对于建筑石膏, 两种方法的绝干试样的结晶水含量相同, 且与未烘试样的结晶水含量一致, 表明建筑石膏在烘干过程无进一步水化发生, 两种测试方法所得

结果是一致的, 只是酒精法试验时间大为缩短。对于 SVF、GCF, 两种方法绝干试样的结晶水含量不同, 酒精法烘干试样结晶水含量与未烘平行试样结晶水含量基本相同, 表明浸泡无水酒精后, 因酒精对水的萃取作用, 中止了试样的进一步水化, 而现行法绝干试样的结晶水含量高于未烘试样, 即表明烘干过程早期为石膏基材料提供了进一步水化的“热养护”条件, 使其结晶水含量增加, 强度增长。养护 7d 与 28d 结晶水含量测定结果表明, 这种促进水化的伴生热养护作用随着养护龄期延长, 无机活性材水化程度的加深而减弱。

表 3 结晶水含量 (%) 测定

	养护时间 (d)	未烘试样	结晶水含量 (%)	
			现行法绝干后	酒精法绝干后
建筑石膏	7	18.31	18.33	18.32
SVF	7	13.40	14.19	13.51
	28	14.65	14.90	14.64
GCF	7	14.06	14.66	14.10
	28	15.02	15.19	15.04

## 2. 溶蚀率

二水石膏溶解度较大 ( $2.08\text{g}/\text{l}$ ), 遇水, 特别是流水的侵蚀, 部分二水石膏被溶解, 而使制品表面开始发生溶蚀, 这种破坏具有不可逆性。对于经常与水接触, 特别是在流水侵蚀环境的石膏基复合材料, 如石膏基复合材料饰面板、外墙粉刷材料, 溶蚀率应视为耐水性的重要指标。

分别测定了试样在静水中浸泡 30d 和流量分别为  $2800\text{ml}/\text{min}$  与  $6000\text{ml}/\text{min}$  的流水中浸泡 12d, 以及模拟自然雨水作用间隙喷淋  $550 \sim 3300\text{mm}$  雨水的溶蚀率, 结果见表 4。

表4 溶蚀率(%)

胶结材	静水浸泡 30d	流水浸泡 12d		人工淋雨(mm)		
		2800ml/min	6000ml/min	550	1100	3300
SVF	0.3	1.14	2.21	0	0	1.7
建筑石膏	12.3	40.5	6.5	10.2	35.2	

注：人工淋雨，喷壶成 45° 角喷淋，10mm/次，10次/天。

表4结果表明，流水的溶蚀作用显著大于静水，连续流水的溶蚀作用大于间隙流水。流水作用可在较短的时间测出材料的溶蚀率，流水作用溶蚀率与作用时间，水流量以及试验容器有关，标准的试验方法应在统一这三个因素的条件下进行。人工淋雨-间隙流水作用更能反映用于外墙材料在外界间隙流水（即雨水）作用下的耐水性能。为考察该方法与材料在实际使用环境下的溶蚀破坏的相关性，将SVF抹于室外墙面，经三年雨水（约3150mm）作用，仅雨水沿沟流过的局部抹面层表面稍有溶蚀发生。表明人工淋雨溶蚀试验与室外实际溶蚀观察有较好的相关性。

溶蚀还与试样的表面积大小有关，为此

表6 干湿循环强度损失

材料	未经干湿循环强度(MPa)		干湿循环后强度(MPa)		强度损失(%)	
	抗折	抗压	抗折	抗压	抗折	抗压
SVF	5.28	25.2	4.99	23.9	5.5	5.2
建筑石膏	1.65	3.9	0.63	1.6	61.8	59.0

干湿循环强度损失表征材料抗干湿变化的能力，是耐水性在材料耐久性方面的表现，在一定程度上也反映了材料的耐水性。表6结果表明，两种材料抗干湿循环能力相差很大，SVF具有较好的抗干湿循环性。

#### 4. 平衡含水率与强度

软化系数只能表示与绝干状态相比，饱水状态时材料强度降低的程度，而不能描述不同含湿状态的材料强度变化，而材料使用

测定了不同比表面积的SVF试样在2800ml/min流水作用下溶蚀率，结果见表5。

表5 SVF比表面溶蚀率(%)

比表面(cm <sup>2</sup> /g)	0.68	1.00	1.68
溶蚀率(%)	1.64	3.19	6.10

材料相同，比表面积不同，其溶蚀率差别甚大，因此溶蚀率比较应在相同试样规格下进行。试验的试样尺寸应一致，并应以比表面溶蚀率作比较。

#### 3. 干湿循环强度损失

建筑石膏和SVF的干湿循环强度损失试验结果见表6。

时通常处于不同平衡含水率的状态。同一材料，处于不同湿度环境则有相应的平衡含水率。查明不同含水率与材料强度的关系，有助于全面评价耐水性和确定材料使用的湿度范围。同时，材料生产的干燥过程中也只须将材料干燥至相应的平衡含水率而不必至绝干状态。为此，测定了平衡含水率与强度的对应关系，结果见图1。

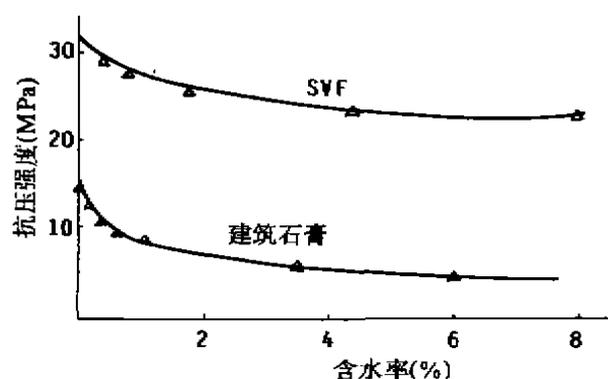


图1 平衡含水率与强度关系

由图1可见,耐水性不同的石膏基材料,含水率对强度影响的差异很大。随着含水率增加,SVF强度缓缓降低,含水率超过

5%以后,强度损失基本维持在24%左右,而建筑石膏随着含水率增加,强度迅速降低,含水率为1%时,强度损失达50%,含水率为6%时,强度损失达70%,即它对水的破坏作用“敏感”。

由上可知,不同材料在同一含水状态,其强度降低程度差异悬殊,含水状态相同,对于破坏作用“敏感”的材料,强度降低显著,施工和使用过程中尤其应注意防潮。

### 5. 吸水率与吸水速率

吸水率、吸水速率表示多孔材料的吸水性,是耐水性的一个方面,它决定于材料密实度与孔结构以及亲水性。材料耐水性不但与饱和吸水率有关,还与吸水速率有关,见表7。

表7 石膏基材料吸水率(%)

试样	5min	10min	30min	2h	24h	48h
建筑石膏	19.71	23.42	26.85	27.20	28.74	28.62
SVF	2.27	4.46	5.86	7.53	8.15	8.17
SVF'	0.84	1.83	2.37	5.93	7.50	8.14

注: SVF'是在SVF表面涂刷一层防水涂料。

表7吸水率数据很好地表示了这三种材料的耐水性差异。建筑石膏吸水速度最快,5分钟吸水率达饱和吸水率的68%,吸水30分钟即接近28.7%的饱和吸水率。而SVF与SVF'饱和吸水率虽相同,但吸水速率差异甚大,SVF吸水速率大大快于进行表面防水处理的SVF',由此可见,吸水速率与吸水率一样是表征材料耐水性好坏的指标。

## 五、结 论

1. 随着多种石膏基复合材料的研制及应用范围的拓宽,软化系数难以全面、准确评价这类材料的耐水性,应进行石膏基材料多项耐水性指标及测试方法的研究,并针对材料及应用条件选择相应主要耐水性指标。

2. 对石膏基复合材料确定软化系数宜用无水酒精法测试件绝干强度,避免伴随烘干过程的湿热养护作用带来的烘干强度正偏差,同时它的测试时间大为缩短。

3. 溶蚀率是用于受雨水作用的石膏基材料耐水性的重要指标。连续流水作用溶蚀率与水流量、作用时间以及试验容器有关。本试验制度下的间隙流水作用溶蚀与自然环境材料受动水溶蚀有较好的相关性。比表面溶蚀率能更准确地反映材料的抗溶蚀能力。

4. 与软化系数相比较,石膏基材料强度与含水率的关系能结合材料实际使用的含湿状态,表征不同含湿状态对强度的影响,对于生产干燥制度控制,应用选材及防潮均有指导意义。对水破坏作用“敏感”的材料,尤应注意防潮。