

文章编号: 1672 - 058X(2009)04 - 0382 - 06

# SMC 墙板开裂机理的研究\*

阎春雷<sup>1</sup>, 姚刚<sup>1</sup>, 邓先德<sup>1</sup>, 黄金宝<sup>1</sup>, 魏小明<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 2. 中广核工程有限公司, 广东 深圳 518124)

**摘要:**针对 SMC 墙板干缩和冷缩造成轻质墙板与结构接缝开裂的共性和普遍性问题, 系统研究了墙板在施工后开裂的力学机理和防治对策; 在接缝开裂研究中, 借鉴我国建材研究院对轻骨混凝土弹性模量的测试结果, 发现高层建筑中高强混凝土材料的使用与 SMC 墙板装配构成二者材料力学性能上的巨大差异, 应力应变关系极不协调; 而环境湿度的改变是导致 SMC 墙板干缩开裂的主要因素。

**关键词:** SMC 内墙板; 裂缝控制; 干缩变形

**中图分类号:** TU50

**文献标志码:** A

## 1 SMC 墙板与主体结构的弹性模量的差异

我国用于轻质墙板的轻骨料多用陶粒、膨胀珍珠岩、工业粉煤灰、植物纤维等, 轻骨料混凝土的密度等级多分布在 800-1200 级, 文献 [1] 提供的轻骨料混凝土弹性模量表 1:

表 1 轻骨料混凝土的弹性模量  $10^2$  MPa

强度等级	密度等级				
	800	900	1 000	1 100	1 200
CL5. 0	34	38	42	46	50
CL7. 5	42	47	52	57	62

一般轻质墙板的强度等级多在 CL5. 0 等级范围左右, 密度等级多在 800 ~ 1200 级左右, 弹性模量  $E_{CL} = 34 \sim 50 \times 10^2$  MPa。

SMC 墙板一般应用于框架结构, 其弹性模量见混凝土结构设计规范:

表 2 混凝土弹性模量  $E_c$   $10^4$  MPa

强度等级	C25	C30	C35	C40	C45	C50
弹性模量 $E_c$	2. 8	3. 0	3. 15	3. 25	3. 35	3. 45

高层框架结构一般多采用 C25—C50,  $E_c = 2. 8 \times 10^4 \sim 3. 45 \times 10^4$  MPa, 剪力墙已用到 C60, 这些高强混

收稿日期: 2009 - 04 - 05; 修回日期: 2009 - 05 - 25。

\*基金项目: 重庆市建设科技项目 (城科字 2007 第 (40) 号)。

作者简介: 阎春雷 (1982 - ), 男, 湖北随州市人, 硕士, 从事土木水利施工研究。

混凝土材料的使用与 SMC墙板的装配,在材料的弹性模量上已构成巨大的反差。

轻质墙板与高层结构的弹性模量相比较,相差 8~10倍。轻质墙板与结构拼装成一个整体投入运用后,应力应变关系极不协调。

## 2 SMC轻质墙板与结构的收缩变形的差异

混凝土自身体积变形是混凝土在凝结、硬化过程中自身产生的一种体积变形,其变形性态除与组成混凝土的水泥及骨料等材料特性有关外,还受到其周围环境的影响。研究 SMC墙板与结构的变形差异性,主要是研究轻质墙板由工厂生产 28 d龄期后与钢筋混凝土框架结构装配完成的后期变形差异。

关于混凝土收缩变形,A·E·谢依金在文献[2]的研究成果中,混凝土的收缩变形表示为:

$$\epsilon = \mu (1 - a)^n \tag{1}$$

式(1)中:  $\epsilon$ ——混凝土的收缩变形,  $\mu$ ——水泥石的收缩变形,  $a$ ——骨料用量,  $n$ ——混凝土收缩。

A·E·谢依金把混凝土结构在研究中分为 3 种类型,微观结构即水泥石结构;亚微观结构,即混凝土中的水泥砂浆结构;宏观结构,即两组分体系,砂浆和粗骨料。

A·E·谢依金的研究成果认为混凝土的收缩变形是水泥石收缩的一部分,同时认为骨料的用量对混凝土收缩变形有明显的影 响,骨料的弹性模量对混凝土收缩也有一定的影响。图 1 中曲线表示不同弹性模量的各种骨料制成的混凝土的收缩变形。从图中可以看出骨料的弹性模量愈高,混凝土收缩变形愈小。同时混凝土的配筋率对混凝土收缩变形也有较大的影响,从图 2 中可以看出,配筋率越高,混凝土收缩变形越小。

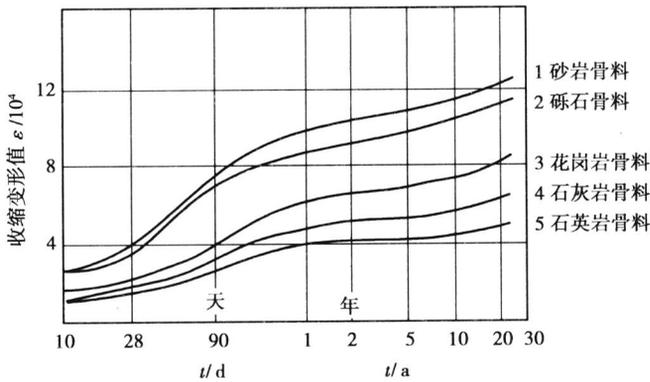


图 1 不同骨料的混凝土的收缩

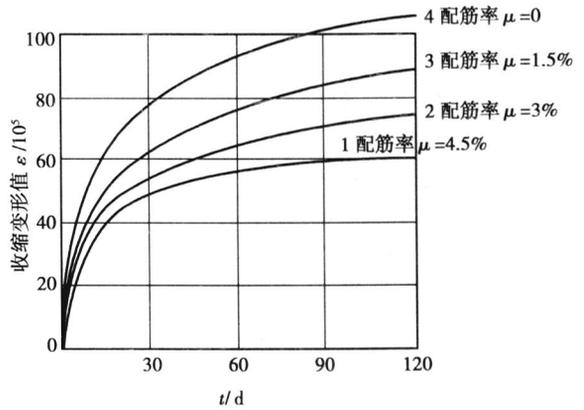


图 2 配筋率对混凝土收缩的影响

从 A·E·谢依金对混凝土收缩变形的试验研究成果可以看出,轻质墙板与高层框架结构件之间的收缩变形的差异,SMC墙板的骨料植物纤维和耐碱玻璃纤维,实测密度 7 Kg/m<sup>3</sup>,它的弹性模量比普通石子要低得多,在同样的抗压强度条件下,SMC墙板的收缩变形要大得多。同时,SMC墙板的配筋率  $\mu = 0$ ,高层框架结构的配筋率较高,所以轻质墙板的收缩变形也要大得多。当轻质墙板与高层框架结构件装配完成后,二者在同一约束条件下发生收缩变形,随着时间的推移,二者的收缩变形差异性愈来愈大,这个变形差必然在二者的接合部位表现出来,形成接缝开裂。

综上所述,轻质墙板与结构的接缝开裂,主要表现在收缩变形上,二者在装配成为整体后,其收缩变形量是极度不协调的。形成裂缝的性质,应当是弹性模量差异较大的变形缝。

### 3 环境湿度对墙板干缩变形的影响

研究表明,轻质墙板的干缩变形,与墙板轻骨料混凝土中毛细管水同外界的交换变化有关。为了研究干缩变形与环境湿度的关系,采用文献[3]所述轻质墙板干缩规律试验,进行研究。

试验方法:沿轻质墙板长方向截取试件(5块试件),即高度为 60 mm,长度为板度的试件。将制备好的试件浸没在  $20 \pm 2$  的水中,水面高出试件 20 mm,浸泡 72 h。然后将试件置于温度  $50 \pm 1$ ,相对湿度  $60 \pm 2\%$  的环境中,每隔一定的时间,测其收缩值,直至达到干缩平衡;同样的方法,置于温度  $50 \pm 1$ ,相对湿度  $30 \pm 2\%$  的环境中,每隔一定的时间,测其收缩值。测试仪器采用 CB250-610型双立柱多用比长仪,测试环境  $20 \pm 2$ 。

干燥收缩值按照国标 JG/T169-2005,《建筑隔墙用轻质条板》规定计算:

$$S = \frac{L_1 - L_2}{L_1 - (l_1 + l_2)} \quad (2)$$

式(2)中: $S$ ——干燥收缩值, $L_1$ ——试件的初始长度, $L_2$ ——试件干燥后的长度, $l_1 + l_2$ ——两个收缩头露在试件外的部分测头的长度之和。

按照上述试验方法增加相对湿度 90%、80%、70%观测干缩稳定值(10 d后),得到轻质墙板干缩规律曲线见(图 3)。

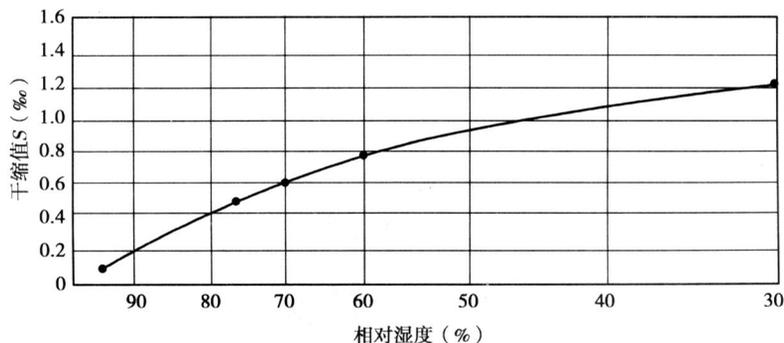


图 3 轻质墙板干缩规律曲线

岩崎训明在文献[4]中关于混凝土干缩变形与环境湿度的研究结果可提供依据,他用微观结构水泥石进行试验,结果表明水中养护过的水泥石,一旦干燥就会产生收缩,在相对湿度 50%时,收缩约为 0.2%~0.3%;在完全干燥的情况下,引起 0.5%~0.6%的长度变化。

以轻质复合墙板试件实测的干缩曲线和相对湿度关系曲线,并结合岩崎训明的研究成果可以得出研究结果,即环境湿度的改变是导致轻质墙板干缩的主要原因,随着环境湿度的降低,其干缩值逐渐增大。

### 4 SMC墙板干缩应力计算与开裂分析

环境湿度的改变是导致墙板干缩的主要原因,环境湿度的降低,其干缩值逐渐增大。温度的变化也会引起墙板中混凝土的变形,在温度与湿度的交替变化下,两种作用时而相互加强,增大墙板的干缩量,时而又相互部分抵消,减小墙板干缩。但在研究中发现,湿度对墙板干缩的影响比温度强得多,且墙板开裂主要接缝处的抗拉强度小于干缩应力,其抗压强度远大于抗压强度,故以下从相对湿度引起的最大干缩应力,并考虑温度的影响来研究导致墙板开裂的主要因素的数量化关系<sup>[5,6]</sup>。

我国幅员辽阔,各地气候各异,四季温度和湿度交替变化,北方地区墙板接缝开缝多是由于冬季的寒潮侵袭而引起的温度和湿度同时降低,墙板干缩应力叠加所产生的结果。而重庆地区气候与北方不同,其相对湿度最低的时间是五月,而温度最低时间是一月(见表 3),因此重庆地区轻质墙板开裂情况相对要好些。

表 3 重庆沙坪坝地区 2006—2007年气温及湿度变化数据

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均温度 /	7.9	12	14.75	18.49	24.48	24.3	27.05	29.9	24.04	19.84	14.36	10.53
相对湿度 /%	84.7	80.8	76.5	78.3	68.3	84.6	85.5	72.0	81.4	85.5	89.5	88.8

4.1 相对湿度引起的干缩应力

SMC墙板属于轻骨料混凝土,其干缩应力计算,仍属于混凝土干缩应力范畴<sup>[7]</sup>。采用欧洲混凝土委员会建议的 CEB/FIP方法,计算公式为:

$$\sigma_{sh,t} = E_t \epsilon_{sh,t} \tag{3}$$

$$E_t = E_h (1 - e^{-0.075t}) \tag{4}$$

式(3)、(4)中:  $E_h$  ——混凝土最终弹性模量,SMC墙板实测推算值为  $37.6 \times 10^2$  MPa,  $t$  ——混凝土的龄期(d),  $\epsilon_{sh,t}$  ——混凝土墙板干缩应变。

在上述试验中,测得干缩应变值与相对湿度的关系曲线图,取若干数值(见表 4)分析发现了干缩应变值与相对湿度的对数成负相关。

表 4 相对湿度下的干缩应变值

相对湿度 $X_i$ /%	90	88.7	80	75	70	65	60	50	40	30
试验干缩应变值 $Y_i / 10^{-3}$	0.2	0.3	0.41	0.53	0.60	0.68	0.78	0.93	1.08	1.21

对试验的数据,进行对数回归,相关关系  $r = -0.97$ ,所建立的收缩 - 相对湿度数据模型为:

$$Y_i = 4.22 - 0.91 \ln X_i \tag{5}$$

由式(5)可以计算出,  $X_i$ 相对湿度下,SMC墙板的干缩应变值  $Y_i$ ,墙板安装月份的初始干缩应变值为  $Y_{oi}$ ,当相对湿度降低到最小值引起墙板的最大干缩应变  $Y_{max}$ ,此时安装后墙板的最大干缩应变为:

$$\epsilon_{sh,t} = Y_{max} - Y_{oi} \tag{6}$$

式(6)中:  $Y_{max}$  ——相对湿度最小月份墙板的干缩最大值,由式(5)计算得到,  $Y_{oi}$  ——墙板安装月份的初始干缩值,由式(5)计算得到。

根据墙板安装的月份,可以计算出截至相对湿度最小月份混凝土的龄期,按照混凝土的龄期,由式(4)可计算出该龄期下的混凝土弹性模量  $E_t$ ,再由式(3)计算出相应的干缩应力  $\sigma_{sh,t}$ 。

4.2 温度引起的干缩应力

混凝土有温度变形特性,实测 SMC墙板温度收缩系数为  $a = 0.625 \times 10^{-5}$ ,温度变化引起的冷缩应变为:

$$\epsilon_{ti} = T_{ti} a \tag{7}$$

$$T_{ti} = t_{oi} - t_{bi} \tag{8}$$

式(7)、(8)中:  $t_{bi}$  ——基准月平均温度( ),  $t_{oi}$  ——墙板安装月份的初始温度( ),  $T_{ti}$  ——初始温度与基准月平均温度的温差( )。

冷缩温差  $T_{ti}$ 是由式(8)得出,代入式(7)可得出  $\epsilon_{ti}$ ;不同龄期混凝土的弹性模量  $E_t$ ,同上由式(3)可

知;因此冷缩应力为:

$$\sigma_{ii} = E_t \epsilon_{ii} \quad (9)$$

现以重庆沙坪坝地区为例,应用以上公式,计算环境湿度与温度变化对 SMC 墙板干缩应力影响。由表 3 可知,重庆地区相对湿度最小为五月份,即干缩值最大月份,但其温度并不是最低月份,因此当初装月份温度低于五月时,温度对墙板干缩的影响削弱了湿度降低引起的干缩量,即温度升高对墙板有微弱的膨胀作用。但综合分析,湿度对干缩量的影响比温度大得多,且墙板开裂主要接缝处的抗拉强度小于干缩应力,其抗压强度远大于抗压强度。所以仍以五月相对湿度最低时引起的干缩量基准,来计算墙板安装完成后的干缩应力,同时考虑温度的影响。

在墙板混凝土龄期的计算中,以五月为基准,考虑混凝土的变形 28 d 趋于常量,五月安装时龄期即为 28 d,五月后月份墙板混凝土的龄期等于前一年同月份到第二年五月的天数。

由于以五月(湿度最小)为计算时间基准,在计算冷缩应变  $\epsilon_{ii}$  ( $10^{-3}$ ) 和冷缩应力  $\sigma_{ii}$  (MPa) 时,有些月份数值为负,这是因为这些月份月平均温度要低于五月,在这些时间段安装的 SMC 墙板到五月温度升高时,墙体略有膨胀,其作用是略微削减了墙板的干缩,是符合实际工程情况的。计算结果见表 5:

表 5 SMC 墙板干缩、冷缩应力与湿度、温度的关系计算

施工月份 / 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
墙板混凝土龄期 / d	149	118	89	58	28	363	332	302	271	241	210	180
弹性模量 $E_t / 10^2$ MPa	37.6	37.6	37.5	37.1	33.1	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6
安装初始相对湿度 $X_i$ / %	84.7	80.8	76.5	78.3	68.3	84.6	85.5	72	81.4	85.5	89.5	88.8
安装初始温度 $t_{oi}$ /	8	12.6	14.8	18.5	24.5	24.3	27.1	30	24	19.8	14.4	10.5
干缩应力 $\sigma_h$ / MPa	0.85	0.66	0.48	0.55	0	0.81	0.85	0.25	0.7	0.85	1.1	1
冷缩应力 $\sigma_{ii}$ / MPa	-0.29	-0.18	-0.13	-0.04	0	0	0.06	0.13	-0.01	-0.11	-0.24	-0.33
干缩、冷缩应力之和 $\sigma_h + \sigma_{ii}$ / MPa	0.56	0.48	0.35	0.51	0	0.81	0.91	0.38	0.69	0.74	0.86	0.67

由表 5 可知:

(1) 重庆地区 06—07 年湿度变化幅度不大,一般在 60%~90% 内,所以引起的干缩应力也不大,最大干缩应力出现在相对湿度接近于 90% 的 11—12 月安装的墙板;

(2) 由干缩、冷缩应力之和计算结果可知,墙板安装最佳施工期为相对湿度小的月份,重庆地区理论上最佳施工期为 1—5 月,在这个时段施工安装的墙板形成的初始状态,由湿度与温度引起的干缩、冷缩应力之和较小;

(3) 从重庆地区 06—07 年温度与湿度变化表可知,由于重庆地区湿度变化幅度小,温度与湿度不同时降低气候特点,各月份安装的 SMC 墙板的干缩应力与冷缩应力之和均小于 SMC 墙体材料的抗拉粘结强度 1.8~2.2 MPa, SMC 墙板在理论上不会出现开裂,但实际工程中 SMC 墙板仍有接缝开裂的现象,这也为研究开辟另一方向,从控制制板质量和规范工程安装的角度来解决开裂问题。

#### 参考文献:

- [1] 曹文达,曹栋. 新型混凝土及其应用 [M]. 北京:金盾出版社,2001
- [2] [苏] A·E·谢依金, M·N·勃鲁谢尔. 水泥混凝土的结构与性能 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,1984
- [3] 李轩. 轻质墙板接缝开裂机理的研究 [J]. 西北大学学报:自然科学版,2002,6(32):18

- [4] [日] 岩崎训明. 混凝土的特性 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980
- [5] 王铁梦. 工程结构裂缝控制 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- [6] WANG J, TAN Y S, LU T J. The role of frame members and sheathing in partition wall panels subjected to compression [J]. *Thin-walled Structures*, 2005, 25 (43), 983-1002
- [7] PEASE D A. Adhesive for straw particleboard and wood process [J]. *Wood Technology*, 1998, 125 (2): 30-32

## Study on cracking mechanism of SMC light - weight wall panel

GE Chun-lei<sup>1</sup>, YAO Gang<sup>1</sup>, DENG Xian-de<sup>1</sup>,  
HUANG Jing-bao<sup>1</sup>, WEI Xiaoming<sup>2</sup>

(1. Faculty of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2. China Guangdong Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Guangdong Shenzhen 518124, China)

**Abstract:** The article emphasizes the study on the problem, whose dry shrinkage and cold shrinkage lead to SMC light-weight wall panel cracking from the structure on joint place. Mechanism and prevention-and-cure solution of cracking are researched systematically in this article. This paper refers to the measuring result of elastic modulus of light-boned concrete material which is provided by China building material academy, and finds out the big difference of dynamical character between 2 types of different materials (SMC light-weight wall panel and the high-intensity concrete) is one of the most major factors leading to cracking on joint place. And the change of surrounding humidity is the primary factor leading the light-weight wall material dry shrinkage.

**Key words:** SMC light weight panels for partition walls; crack control; shrinkage deformation

责任编辑: 李翠薇

(上接第 340 页)

参考文献:

- [1] 伽 弗拉第米尔·塔西奇. 后现代思想的数学根源 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2005
- [2] 张景中. 数学与哲学 [M]. 北京: 中国少年儿童出版社, 2007
- [3] 俄 列夫·谢苗诺维奇·维果茨基. 维果茨基教育论著选 [M]. 北京: 人民教育出版社, 2007
- [4] 俄 列夫·谢苗诺维奇·维果茨基. 教育心理学 [M]. 杭州: 浙江教育出版社, 2003
- [5] M·克莱因. 数学: 确定性的丧失 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1997
- [6] 叶正道, 张远福. 建构主义数学观的教学论解读 [J]. 中国成人教育, 2005 (12): 78

## Philosophic pondering on derivative and its teaching reflection

YUAN Chun-hua

(Fujian College of Water Resources and Electric Engineering, Fujian Yongan 366000, China)

**Abstract:** Based on analysis of scientific exploration on object movement and the formation of derivative concept and their development process, this paper discusses the importance of the process and result of affairs development, points out the thought of the process determinism, analyzes dilemma of mathematics and limit of logic and explores their solution, meanwhile, studies the significance of the process determinism in mathematics and gives related countermeasures and suggestion.

**Key words:** derivative; process; result

责任编辑: 李翠薇