

氯氧镁凝胶/砂增强复合材料弯曲性能的研究*

王 晓, 陈斯蔼, 李小澄, 林斯娜, 许家瑞

(中山大学化学与化学工程学院//聚合物复合材料及功能材料国家教育部重点实验室, 广东 广州 510275)

摘 要: 研究了氯氧镁凝胶/砂增强复合材料配方各组分对弯曲性能的影响。实验结果表明, 随着砂料含量的增加, 材料的弯曲强度和弯曲模量也相应增加; 粒径小的砂料具有更好的增强效果, 也能使材料的弯曲性能提高; 对于砂料含量为 60% 的复合材料, 其弯曲强度提高了 40.1%, 而其弯曲模量则提高了 132.1%。

关键词: 氯氧镁水泥; 氧化镁; 凝胶; 复合材料; 弯曲性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) 04-0055-04

轻烧氧化镁能与氯化镁水溶液进行水化反应形成的凝胶材料。工业上, 利用这一原理来生产氯氧镁水泥^[1-4]。氯氧镁水泥是以氧化镁、氯化镁为主要原材料形成的气硬性材料, 它是由法国科学家索瑞尔于 1867 年发明的, 所以也称之为索瑞尔水泥 (Sorel Cement)。氯氧镁水泥具有普通的硅酸盐水泥的一系列特点, 在很多场合下可以代替硅酸盐水泥。氯氧镁水泥由于具有特殊的质感、价格低廉、原料简单易得等优点, 已经被广泛地开发应用。并且得到了相当多的研究。

前期对于氯氧镁水泥的应用开发研究, 多利用其价格低廉的特点, 代替硅酸盐水泥。近年来, 随着建材应用观念的变化和发展, 在建筑用料中采用环境艺术材料的场合越来越多。氯氧镁水泥由于其特殊的质感, 可以通过适当的改进, 作为环境艺术材料的基材。这就使得这种材料大大增值, 具有很好的应用前景。

通常的氯氧镁水泥材料多与碎石、粉状填料或玻璃纤维等形成复合材料。对于这些材料的研究, 包括力学性能等方面的研究, 已经有见文献报道^[1-7]。

氯氧镁凝胶/砂增强复合材料在做为环境艺术材料方面具有良好的质感。然而, 对其研究却较少。对于其力学性能方面的研究, 迄今未见文献报道。作为建材材料, 抗弯曲、抗压等性能是重要的表征指标, 为了使这种材料能得到更好地设计和使用, 必须系统地考察其抗弯曲等性能, 研究材料配方和弯曲性能等的相互关系和影响, 总结出相应的

规律和理论。

本文对氯氧镁凝胶/砂增强复合材料的弯曲性能进行了系统的考察。对于建材材料来说, 材料的弯曲性能相当重要, 弯曲性能除了表示了材料的弯曲的能力之外, 也表示了材料的挺性、抗压的能力。而这些能力在建材构件中是非常重要的。为了排除杂质等次要因素的影响, 使研究的线索更清晰, 本工作的氯化镁原料采用化学纯和分析纯的品级, 而不是通常工业用的品级。

1 实验部分

1.1 原 料

氧化镁 (MgO): 320 号, 辽宁出产; 砂料: 粒径为 0.35~0.84 mm (20 目); 砂料: 粒径为 0.12~0.35 mm (40 目); 六水氯化镁 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$): 广州化学试剂厂, 分析纯。

1.2 氯氧镁凝胶/砂增强复合材料的制备

将六水氯化镁用水溶解, 配制成氯化镁溶液; 根据实验设计的目的, 加入一定量的氧化镁和砂料, 不断搅拌几分钟。然后, 将物料倒入模具中, 静置数小时, 待试样基本干透之后开模。试样置于空气中养护一段时间, 即可用于测试力学性能。

1.3 弯曲性能测试实验

氯氧镁凝胶/砂增强复合材料的弯曲性能测试实验按照国家标准 GB1042-79 进行。弯曲实验速度为 2 mm/min。

1.4 测试仪器设备

本工作采用英国出品的 Hounsfield H10K-S 万能

* 收稿日期: 2004-12-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50073030); 中山大学理科科研资助项目 (01-058-711094); 中山大学“创新化学实验研究基金”资助项目

作者简介: 王晓 (1957 年生), 男, 副教授; E-mail: ceswx@zsu.edu.cn; 李小澄现在汕头市龙湖穗汕雕塑环艺工程有限公司工作

材料实验机进行弯曲性能测试实验。

1.5 氯氧镁凝胶/砂增强复合材料的养护

氯氧镁凝胶/砂增强复合材料的养护在自然环境中进行。将开模制备好的试样置于自然的空气气氛中，在自然环境下静置，记录静置的时间，即是材料的养护时间。到达原定的养护时间之后，就立即进行力学性能测试。在本文中，所有试样的养护时间为 1 个月（30 天）。

2 结果与讨论

2.1 砂料含量对氯氧镁凝胶/砂增强复合材料弯曲性能的影响

图 1 (a) 表示了砂料含量对氯氧镁凝胶/砂增强复合材料弯曲强度的影响，而图 1 (b) 则表示了砂料含量对氯氧镁凝胶/砂增强复合材料弯曲模量的影响。图中的每个实验点都用 5 条以上的试样进行实验，然后计算平均值，各试样的实验数据的相对误差均不超过 15%。

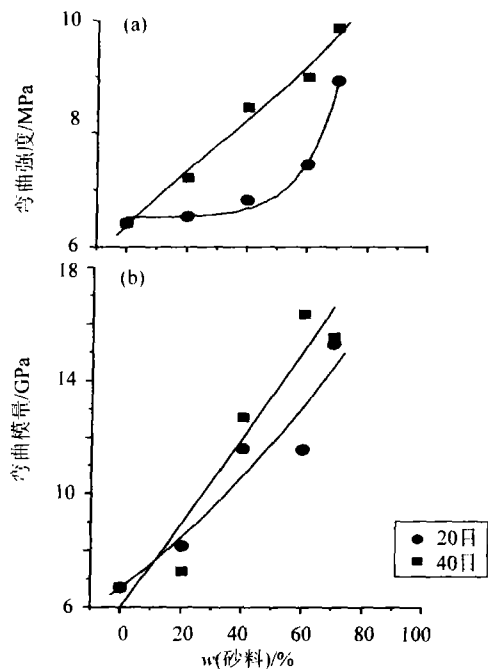


图 1 砂料含量对氯氧镁复合材料弯曲强度 (a) 和弯曲模量 (b) 的影响

Fig.1 Influences of mass fraction of sand on flexural strength (a) and flexural modulus (b) of the magnesium oxychloride composites

由图 1 (a) 可见，在加入砂料之后，复合材料的弯曲强度要比没有加入砂料的空白对照实验试样的弯曲强度要高。并且，随着砂料含量的增加，复合材料的弯曲强度也相应增加。表 1 表示了复合材料弯曲强度的增加幅度，以空白对照实验的弯曲

强度为基数，计算出各个试样的增加百分比。由表可见，在较低的砂含量下，弯曲强度的增加幅度较低。但是，随着砂含量的提高，弯曲强度有较大幅度的提高。对于 40 目 $w = 70\%$ 的试样，弯曲强度的增加量已经超过 $w = 50\%$ 的。通常使用的氯氧镁凝胶材料，要求其弯曲强度约在 5 MPa 以上，而其弯曲模量则约在 5 GPa 以上。由上述观察可见，氯氧镁凝胶/砂增强复合材料已经能大大满足使用要求。

表 1 氯氧镁/砂增强复合材料弯曲强度的增加量

Tab.1 Increasement percentages of the flexural strength for the magnesium oxychloride composites %

粒径/mm	w (砂料) / %			
	20	40	60	70
0.35 ~ 0.84	2.0	6.3	16.1	39.1
0.12 ~ 0.35	12.4	31.8	40.1	53.7

同样，由图 1 (b) 可见，与没有加入砂料的空白对照实验试样相比，加入砂料、形成复合材料之后，试样的弯曲模量会增高。并且，随着砂的质量分数的增加，复合材料的弯曲模量也相应增加。图 2 中两条曲线的变化趋势基本上都呈现线性规律。两条直线都比较陡峭，说明弯曲模量的增加幅度很明显。当砂的质量分数超过 40% 时，试样的弯曲模量已经达到十几兆帕，其抗弯曲性能相当好，即材料的挺性相当好。

与表 1 类似，表 2 表示了复合材料弯曲模量的增加幅度，以空白对照实验的弯曲模量为基数，计算出各个试样的增加百分比。由表 2 可见，与弯曲强度相比，弯曲模量的增加幅度更加显著。在较低的砂质量分数下，弯曲模量已经有较大的增加量。例如，对于砂的质量分数为 40% 的情形，两种砂粒粒径的试样其弯曲模量均超过 70% 以上，达到较好的增强。而当砂的质量数分增加到 70% 的时候，弯曲模量的增加量已经远远超过 100%。

表 2 氯氧镁/砂增强复合材料弯曲模量的增加量

Tab.2 Increasement percentages of the flexural modulus for the magnesium oxychloride composites %

粒径/mm	w (砂料) / %			
	20	40	60	70
0.35 ~ 0.84	21.9	73.4	73.0	128.3
0.12 ~ 0.35	8.6	89.8	144.4	132.1

将图 1、表 1 和表 2 的情形综合考虑，也就是说，将材料的弯曲强度和弯曲模量一起考虑，可以看到，在加入砂料之后，复合材料的弯曲强度和弯

曲模量同时都要比没有加入砂料的空白对照实验试样的弯曲强度和弯曲模量高。弯曲强度和弯曲模量同时提高的情况表明, 砂料的加入、复合材料的形成, 会使得材料体系得到明显增强, 力学性能得到明显提高。因而, 氯氧镁凝胶/砂增强复合材料的弯曲性能, 要比没有加入砂料的空白对照实验试样的弯曲性能好。

2.2 砂料粒径对氯氧镁凝胶/砂增强复合材料弯曲性能的影响

目数的不同表示了砂粒粒径的不同。图1中20目级的砂料表示的是砂料的砂粒粒径处于40~20目筛之间, 也即粒径处于0.35~0.84 mm之间。40目级的砂料表示的是砂料的砂粒是120~40目筛之间, 也即粒径处于0.12~0.35 mm之间。

由图1可见, 砂粒粒径的不同会对复合材料的弯曲性能产生很大的影响。从图1可以看到, 20目级砂料的曲线和40目级砂料的曲线表现出明显的不同。对于20目级砂料的曲线, 基本上服从二次曲线(图中为倒置的抛物线)的规律。在曲线的开始段, 填料含量的增加虽然使得弯曲强度有所增加, 但增加的幅度不大, 曲线较为平缓。而在曲线的后半部, 当填料含量超过 $w=40\%$ 之后, 曲线陡然上升, 弯曲强度的增加幅度大大升高。

另一方面, 对于40目级砂料的曲线, 弯曲强度和填料含量的关系基本上服从线性规律, 在图1中基本上是一条直线。

然而, 不论曲线如何变化, 40目级砂料曲线总是处于20目级砂料曲线的上方, 这表明40目级的砂料能使材料的弯曲强度得到更大的提高。

图2的情况与图1有所不同, 两条曲线均基本上服从线性规律, 在图中均基本上都是直线。直线的变化也比较陡峭, 说明砂料的加入会很好地提高材料的模量。

对于20目级砂料的情形, 由于在图1(a)中表现为抛物线型的曲线, 而在图1(b)中表现为比较陡峭的直线, 说明在各自曲线的开始阶段, 也就是说, 在填料含量较低的情形下, 弯曲模量的提高比弯曲强度的提高更为明显。

从图1(b)的曲线可以看到, 与图1(a)的情况类似, 不论曲线如何变化, 40目级砂料曲线总是处于20目级砂料曲线的上方, 这表明40目级的砂料能使材料的弯曲模量得到更大的提高。

综合图1的情形, 可知40目级的砂料能使材料的弯曲强度和弯曲模量同时得到更大的提高, 由此可见, 40目级的砂料有更好的增强作用。

实际上, 目数越大, 砂粒粒径越小, 填料颗粒

的比表面积越大, 因而就具有较大的增强作用。

2.3 关于填料临界含量的讨论

由复合材料理论可知, 通常增强填料有一个临界体积含量, 当填料含量超过临界体积含量之后, 其增强效果才显得明显。本文也存在着这样的情形。由于本文采用质量分数来表示填料含量, 所以, 这里将其简称为“填料临界含量”。由图1、表1和表2可见, 对于不同的填料粒径(目数)、不同指标(弯曲强度或弯曲模量), 其填料临界含量是不同的。

对于20目级复合材料的弯曲强度, 其填料含量必须达到60%~70%, 才能有较好的增强效果(此时弯曲强度的增加百分比为16.1%~39.1%)。因而其临界含量应为60%左右。对于40目级复合材料的弯曲强度, 情况则有所不同, 在填料含量达到40%时, 已经有较好的增强效果(此时弯曲强度的增加百分比为31.8%)。因而其临界含量应为40%左右。

对于弯曲模量, 则无论是20目级或40目级的复合材料, 其临界含量均较低, 都在40%左右(此时20目级的弯曲模量为73.3%或40目级的弯曲模量为81.5%)。

综合上述分析, 可以认为, “填料临界含量”应该有两种涵义。第一种涵义是对于整个体系的增强效果而言的。第二种涵义则是对于特定的性能指标而言的。对于第一种涵义, 只要是有一种性能指标的增强效果明显(如弯曲模量), 即可认为这时的填料含量就是临界含量。对于这个确定的临界含量, 试样的另一种指标可能增强效果不明显(如弯曲强度), 但是, 可以认为这时增强效应暂时还未能第二种指标(即弯曲强度)上体现出来。对于第一种涵义的临界含量, 可以认为, 无论是20目级或40目级的复合材料, 其临界含量都在40%左右。对于第二种涵义的临界含量, 则数值有所不同。对于40目级的复合材料, 无论是弯曲强度或弯曲模量, 其临界含量都在40%左右。但对于20目级的复合材料, 其弯曲强度的临界质量分数约在60%左右, 其弯曲模量的临界质量分数则仍然处于40%左右。

2.4 关于复合材料增强效果的讨论

如上所述, $w=40\%$ 是一个材料增强的临界含量, 当砂的质量分数选择在这个数值或以上时, 无论何种砂粒粒径, 复合材料的弯曲强度和弯曲模量都有明显的提高。如果想获得更好的增强效果, 可以把砂的质量分数提高到60%左右。此时从表1和表2可以看到, 对于40目级的复合材料, 其弯

曲强度提高了 40.1%，而其弯曲模量则提高了 132.1%。实际上，氯氧镁/砂增强复合材料的优点在于具有环境艺术材料的质感，在一些场合，只要能保证弯曲性能不比空白对照试样的性能低就可以。对于这种情形，砂粒粒径为 20 目级、砂的质量分数低于 40% 的复合材料也可以使用。实际应用中可以根据使用的目的选择合适的配方。

参考文献:

- [1] 童义平. 氯氧镁水泥及其制品的开发研究[J]. 盐湖研究, 1996, 1(4): 68 - 72.
- [2] 王英姿, 邱振新, 王翔. 浅谈氯氧镁水泥制品的性能及发展状况[J]. 山东建材, 2000(1): 38 - 40.
- [3] 夏树屏. 氯氧镁水泥[J]. 海盐湖与化工, 1995, 3(24): 12 - 15.
- [4] 阎忠灿. 氯氧镁水泥的性能和使用价值[J]. 硅酸盐建筑制品, 1994(1): 21 - 22.
- [5] 余红发, 李生堂, 何庆英, 等. $\text{MgO-SF-FA-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 凝胶材料体系的长期强度及耐水性研究[J]. 硅酸盐学报, 2000, 1(28): 33 - 37.
- [6] 陈旭东, 翁睿. 纤维增强氯氧镁复合材料增强体系改性研究[J]. 桂林工学院学报, 2001, 3(21): 271 - 275.
- [7] 刘宁, 刘雄亚. 高强、耐水玻璃纤维增强氯氧镁复合材料的研究[J]. 纤维复合材料, 2000(2): 7 - 9.

Study on the Flexural Properties of the Sand Reinforced Magnesium Oxychloride Gelatin Composites

WANG Xiao, CHEN Si-ai, LI Xiao-cheng, LIN Si-na, XU Jia-rui

(School of Chemistry and Chemical Engineering//Key Laboratory for Polymeric Composite and Functional Materials of Ministry of Education, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The effects of the variations of the ingredients of the sand reinforced magnesium oxychloride gelatin composites on their flexural properties have been investigated. Experimental results showed that the increase of the addition amount of the sand could significantly raise both the flexural strength and the flexural modulus of the composites. Small size of the grains of sand can give the materials good reinforcement with the raise of the flexural properties. Composite with 60% of mass fraction of sand raised its flexural strength to 40.1% and the flexural modulus up to 132.1% compared with the blank test.

Key words: magnesium oxychloride cement; magnesia; gelatin; composite