无机玻璃钢工艺及应用

王禹阶　主编

唐德明　高宝安　张明霞　夏双喜　编

化 学 工 业 出 版 社

·北　京·

需要全本请访问 www.ertongbook

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

无机玻璃钢工艺及应用/王禹阶主编. —北京：化学工业出版社，2003.12
ISBN 7-5025-5079-8

Ⅰ. 无… Ⅱ. 王… Ⅲ. 玻璃钢-生产工艺
Ⅳ. TQ327.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 118189 号

无机玻璃钢工艺及应用
王禹阶 主编
唐德明 高宝安 张明霞 夏双喜 编
责任编辑：王秀鸾 曾照华
责任校对：吴桂萍 马凤英
封面设计：潘 峰

*

化学工业出版社出版发行
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话：(010)64982530
http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷厂印刷
北京市彩桥印刷厂装订
开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 7 字数 159 千字
2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-5079-8/TQ·1887
定 价：20.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

序　一

“无机玻璃钢”是玻璃纤维增强氯氧镁无机复合材料的俗称。它肇始于20世纪70年代的前民主德国，我国改革开放以来发展甚快。从华北地区到珠江三角洲，业者不少。无机玻璃钢20世纪80年代先用于制作包装箱与烟囱，现主要用于制作空调用风管。1996年玻璃纤维氯氧镁水泥通风管道（JC 646—1996）全国建材行业标准问世，推动了这个产品的健康发展。值得提出的是国际标准组织（ISO）迄今尚无此类标准。近年无机玻璃钢已逐步做到机械化连续生产，发展系列产品，除国内市场外，已向国外市场出口。从“丑小鸭”发展到如今，实属不易。

“无机玻璃钢”原料主要是菱苦土（其主要成分为氧化镁）与卤水（氯化镁水溶液），将原料调成胶凝材料，硬化快，具有一定强度。现在配方不少，可谓百花齐放，表明我国无机玻璃钢正由普及向较高层次发展。

“无机玻璃钢”发展快。有三大原因：一是其最大优点为不燃，而有机玻璃钢最高工作温度都在280℃以下且价昂；无机玻璃钢隔热、耐热、不锈蚀、无毒、价低，产品有相当大的应用范围，我国不少的玻璃钢厂从事无机玻璃钢制品的生产，据笔者所知，仅北京新车站工程所用无机玻璃钢总价就在8000万元以上。二是我国为蕴藏菱苦土的大国，品位高，价低。三是我国有大量勤勉的劳动力。

本书作者王禹阶是高级工程师，积其研究与生产之心得与经

验，为普及与提高玻璃钢技术做了大量卓有成效的工作。先生淡泊名利，热心助人，深受业内人士好评。

中国玻璃钢工业协会、化学工业出版社曾先后出版过王禹阶编写的《玻璃钢技术问答》（1 版及 2 版）与《有机、无机玻璃钢技术问答》颇受欢迎。

本书内容翔实丰富、深入浅出，且有一些新的内容。希望本书能予读者以新的启迪和教益，并运用到实际中去，共同积累经验，发展“无机玻璃钢”。相信此乃作者之愿，亦是在下作序之望。

陈博

2003 年冬至于京西三里河

序　二

近几年，全国菱镁工业发展迅速，据不完全统计全国菱镁（无机玻璃钢）行业生产企业有2560多个。产品种类有28个，涉及机电、水利、煤炭、铁路、航运、基建、装饰、农业、畜牧业、造纸、军工及人民生活等多个领域，年产值超过百亿元。

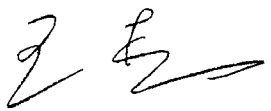
在生产中，经常听到一些企业反映有关原材料的使用、生产工艺、机械设备、配方技术、改性措施等技术难题，迫切需要一部比较系统、通俗易懂的工具书。《无机玻璃钢》一书，就是在这种客观需要的情况下于2002年诞生出版的。

本书作者王禹阶同志对有机玻璃钢和无机玻璃钢（菱镁产品）进行了几十年的研究和开发工作，积累了丰富的实践经验。先后出版了《玻璃钢技术问答》、《有机、无机玻璃钢技术问答》、《无机玻璃钢》（注：分别由化学工业出版社和中国玻璃钢工业协会出版）。这三本书的出版对指导全国玻璃钢生产企业的生产起到了重要作用，成为生产企业的工具用书和生产技术培训教材，得到了全国有机、无机玻璃钢企业同仁的普遍欢迎。

我曾于2003年6月在《中国菱镁》第二期刊物上推荐了《无机玻璃钢》一书。作者王禹阶同志先后接待了350人次的咨询。为更好地服务于全国菱镁行业，王禹阶同志在广泛收集全国各地技术人员在生产中遇到的技术难题及取得的经验的基础上，对原《无机玻璃钢》一书进行了大量修改、补充，并将书名更改为《无机玻璃工艺及应用》。修订版不仅丰富了技术含量，并且

需要全本请访问 www.ertongbook

调整了结构、突出了重点、精炼了文字、吸收了一些新的内容，实用性更强、更能解决实际问题。我相信，这部书的出版一定能成为菱镁行业的良师益友，必将对生产技术和产品质量的提高大有裨益。



（王杰同志现任“中国菱镁行业协会”副会长）

前　言

本人在过去 40 年的工作岁月里，从事过玻璃钢的研究及生产，曾赴西南支援过内地建设 10 年，这是实践的 10 年。当时从未想到今天能有写书的机会，但有了 10 年经验积累的基础，才有了今天写书的机会。于是在 2001 年由化学工业出版社出版了《有机、无机玻璃钢技术问答》一书，此书问世后深受广大读者的青睐，几乎每天都接到各地读者来电咨询，在此感谢他们反映了生产中的各种问题，其中许多读者反映了当前无机玻璃钢方面资料太少了，建议能够多写这方面的图书，于是本人受托又写了这本书。此书完全是在广大读者、朋友及行家的鞭策和协助下完成的，是形势所逼，非笔者能力所在。

该书从原料选用、成型工艺直到产品应用都作了详细介绍，并提出了许多新的技术、新的经验，现将该书的重点内容按序列出，供广大读者阅读本书时参考。

第一章介绍了 FRIM 所用各种原材料，特别是其中重要原料氧化镁的选用和保管的条件；CO_2 对 MgO 的影响；各种改性添加剂及二元、三元添加剂的应用；氧化镁活性的两种测试方法；磷石膏的推荐及应用设想。

第二章介绍了镁水泥反应历程的 6 个阶段；CO_2 对镁水泥制品的影响；玻璃纤维增强的镁水泥以及 FRIM 新的增强材料。

第三章介绍了防止镁水泥产品变形的 4 项措施；造成 FRIM 反卤的内因和外因。

第四章解决 FRIM 变形的多种措施；FRIM 成型时的两次上

料法；FRIM 成型时增强材料使用网格布的意义。

第五章提高 FRIM 强度的多种措施；FRIM 工艺性能的综合提示；防止 FRIM 制品变形的 4 点意见；镁水泥中钢件防腐蚀的措施以及新的防腐方法；用 FRP 的边角废料加工成 FRIM 的填充料；“氯化镁加热配料法”应用的必要性，搅拌机的选择以及提高搅拌效果的重要意义。

第六章哪些产品可用 FRP 和 FRIM 的复合技术来生产；“改进型有机复合法”与 FRP 和 FRIM 复合的区别；如何用 FRP 和 FRIM 复合技术来制作玻璃钢模具（子母）；玻璃钢模具的模面（FRP 部分）成型工艺，模面镜面处理等最新技术的应用。

第七章 FRIM 通风管道的 3 种生产方式；组装式通风管道与“改进型有机复合法”的关系；无机防火板生产当前存在的问题以及今后的设想；蔬菜大棚骨架的生产；玻璃纤维的品种及选用；FRIM 在房屋建筑上的应用。

第八章垫舱板产品值得开发推广；FRIM 成型工艺中具有实用性的分层夯实法、分层加压法、振动密实法的应用及其重要意义；FRIM 成型中，必须注意捣实，该捣实法实际是前述“三法”的具体体现，十分重要。因为镁水泥的浸润性、流动性都较差，只有这样才能保证产品的边角、凹陷处得以填实、避免产品局部缺料、分层和气泡。

第九章介绍了利用镁水泥砂浆的高强特点来制造磨具。

第十章介绍了 FRIM 的抗水、抗冻、抗渗、抗腐等性能以及力学性能的影响因素。

第十一章介绍了用聚氨酯软模料来制软模可与惯用的硅橡胶软模料相媲美，但是耐热性不如硅橡胶，优势不多；软模制造方法的介绍。

第十二章有关磷酸盐可着色水泥的制造及较多难以克服的

因素。

第十三章介绍镁水泥“快速固化剂”实行时的困难和尚未掌握的因素。

附录中介绍了 FRIM 生产中的改性添加剂，并介绍了每种添加剂的性能及作用；磷石膏是很有希望的添加剂和填充料的替代品。

总之，对于有实践经验的读者来说，读过本书后完全可以自己组织一个实用的无机玻璃钢配方来，并运用这里的新技术开发出诸多新产品、建立新的工艺。

在此，除了要感谢众多行家、朋友外，特别要感谢“中国玻璃钢工业协会”的同仁们以及“中国菱镁行业协会”的王杰同志。在仓促中完成的此书，错误难免，望大家批评指正。

为了方便联系，特在此留下笔者联系电话：(025) 86284142。手机号 13851809807。

编　者

2003 年 10 月于南京

目　录

第一章　无机玻璃钢的原料 …… 1
第一节　概述及特性 …… 1
第二节　氯氧镁水泥的主要原料 …… 4
一、氧化镁（MgO）及其活性的两种测试方法 …… 4
二、氯化镁 …… 17
三、活性填充材料 …… 20
四、外添加剂 …… 25
五、增强材料 …… 28
第二章　镁水泥的配料及固化机理 …… 31
第一节　镁水泥的反应体系及产物 …… 31
一、镁水泥反应体系 …… 31
二、影响镁水泥反应产物结构形式的因素 …… 35
三、镁水泥制品的养护条件 …… 39
第二节　镁水泥的反应历程 …… 40
一、镁水泥的反应历程 …… 40
二、加速固化缩短反应历程的方法 …… 42
三、氯化镁的作用 …… 45
第三节　镁水泥浆体的用液量及溶液配制 …… 46
一、稠度实验 …… 46
二、溶液的配制 …… 47
第四节　玻璃纤维增强的镁水泥 …… 51
第三章　氯氧镁水泥的性能及添加剂 …… 54
第一节　抗水性 …… 54
一、转化系数 …… 54

二、如何提高镁水泥的抗水性…… 55
第二节　软质 FRIM …… 60
第三节　镁水泥的膨胀性和变形性…… 61
一、膨胀性…… 61
二、变形性…… 62
第四节　镁水泥制品的返潮返卤现象…… 66
第五节　镁水泥制品的表面泛霜问题…… 67
第六节　镁水泥的稳定性及开裂问题…… 69
第七节　镁水泥的耐磨性、抗渗性及其他性能…… 71
一、镁水泥的特殊性能…… 71
二、镁水泥的破坏机理…… 76
第八节　5·1·8 晶种的应用 …… 76
一、破碎…… 77
二、筛选…… 77
三、晶种磨细…… 78
第四章　FRIM 生产中的问题及特点 …… 79
一、FRIM 生产中的问题 …… 79
二、解决问题的方法…… 80
三、FRIM 生产的特点 …… 81
第五章　FRIM 的强度及历程 …… 84
第一节　提高 FRIM 强度的措施…… 84
第二节　缩短 FRIM 的反应历程的措施…… 86
第三节　冬天加快反应速度的措施…… 89
第四节　镁水泥工艺性能的综合提示篇…… 90
第五节　氯化镁加热配料法…… 96
一、氯化镁加热配料法的优点…… 96
二、氯化镁加热配料法的操作步骤…… 96
三、关于氯化镁加热配料法的几点说明…… 97
第六章　FRP 和 FRIM 的复合 …… 100
需要全本请访问 www.ertongbook

第一节　FRP 和 FRIM 的复合工艺 …… 101
一、FRP 和 FRIM 的复合工艺 …… 101
二、复合产品的特点 …… 102
三、改进型有机复合法 …… 105
第二节　FRP 与 FRIM 复合工艺的产品 …… 106
一、铁路通信信号不燃型菱镁复合材料电缆槽的开发 …… 106
二、地下通信用 FRP 和 FRIM 复合管道 …… 106
三、复合管道与夹砂管的比较 …… 110
四、复合水箱产品 …… 111
五、有机、无机复合技术在制作玻璃钢模具中的应用 …… 111
六、其他复合产品 …… 117
第三节　改进型有机复合法与 FRP 和 FRIM 两种玻璃钢
复合法的区别 …… 119
第七章　FRIM 的应用 …… 123
第一节　通风管道的生产 …… 123
一、整体式生产方式 …… 123
二、喷涂式生产方法 …… 126
三、组装式风道的生产方法及改进型有机复合法 …… 129
第二节　无机防火板生产现状及设想 …… 132
一、无机防火板的生产现状 …… 132
二、对防火装饰板生产的今后设想 …… 135
第三节　新型农用无机玻璃钢蔬菜大棚骨架的生产 …… 136
一、意义 …… 136
二、建造大棚的理想材料 …… 138
三、不足 …… 140
四、产生的经济效益 …… 141
第四节　保温板 …… 146
第五节　镁水泥在蜂窝夹层结构中的应用 …… 148
第六节　玻璃纤维的选用及在镁水泥混凝土中的应用 …… 149

一、玻璃纤维的品种及选用 …… 149
二、产品种类 …… 151
第七节 FRIM 在房屋建筑上的应用 …… 154
第八章 镁水泥锯末混凝土的应用 …… 158
一、镁水泥锯末混凝土的生产及性能 …… 158
二、应用 …… 160
第九章 镁水泥砂浆的应用——磨具的生产 …… 165
一、镁水泥磨具的制作方法 …… 165
二、用镁水泥制造磨具砂轮的方法 …… 166
第十章 镁水泥混凝土的应用 …… 169
一、镁水泥混凝土的生产工艺 …… 169
二、镁水泥混凝土的主要性能 …… 169
三、应用 …… 174
第十一章 聚氨酯软模 …… 176
第十二章 镁水泥的新品种——磷酸盐系易着色水泥（磷酸镁水泥、磷酸铵水泥等） …… 181
第十三章 镁水泥的快速固化剂问题 …… 186
附录 …… 194

第一章　无机玻璃钢的原料

第一节　概述及特性

当人们参观一座古建筑时，所见到的建筑材料不外乎有4种，即4大材料：砖、瓦、木、石。可是对于现代建筑来说，运用最多的材料是水泥，特别对于一些大型现代建筑如大坝、电站、水库等，水泥的应用是大量的，所以水泥对人类做出了巨大贡献。

随着水泥工业的发展，技术、品种也随之不断发展和更新。如硅酸盐水泥，可分为普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥等六类，用于常规建筑工程的水泥通称为硅酸盐通用水泥，其他具有特殊用途的水泥又称为特种水泥，如快硬高强水泥，膨胀和自应力水泥等。

1867年由法国人索瑞尔发明了氯氧镁水泥（或称镁水泥），该水泥可归类为特种水泥的一种。从此，世界上参与对这种水泥进行研究的科学家越来越多，到了今天，已取得了辉煌成就，同时也出现了“各有建树，各有见解”的局面，镁水泥由此获得了广泛应用。

氯氧镁水泥是一种气硬性胶凝材料。到了近代，由于玻璃纤维的出现，人们首先将玻璃纤维用来增强热固性树脂（如不饱和聚酯树脂），人们将这种增强材料通称为复合材料，在中国又称为“玻璃钢”（FRP）。后来，人们又用玻璃纤维来增强镁水泥制得无机复合材料，将此称为无机玻璃钢，为了区别，又将过去的

“玻璃钢”改称为有机玻璃钢，仍用国际通用代号 FRP。

如果将无机玻璃钢用英文表示，有以下两种写法。

① Fiber Reinforced Inorganic Material.

玻璃纤维增强无机材料，缩写为 FRIM。

② Glass Fiber Reinforced Magnesium Oxychloride Cement Inorganic Compsoite.

玻璃纤维增强氯氧镁水泥无机复合材料。

为了使缩写更加简便，暂取第一种英文表示，即以缩写 FRIM 代表“无机玻璃钢”。

作为有机玻璃钢——FRP，其中的玻璃纤维作为增强材料，对强度起着很大作用，在保证树脂能充分浸润的前提下，纤维含量越高，强度也越高；而对于耐腐蚀、耐热、耐水等基本性能，在很大程度上决定于不饱和树脂的性能，如树脂耐腐、耐热，FRP 才能耐腐、耐热。

作为 FRIM，情况就不一样了，强度在一定程度上取决于镁水泥。玻璃纤维含量高，对提高强度有时反而不利，这在第二章第四节中还要谈到；而对于耐腐蚀、耐热等基本性能，几乎完全取决于镁水泥的性能。因此，镁水泥的性能在 FRIM 中是十分关键的。

本书中着重介绍并分析了镁水泥的性质及各种改进措施，实质上也是针对无机玻璃钢（FRIM）的性能而言的。

镁水泥的固有缺点有以下几点。

① 变形大。

② 抗水性差。

③ 有腐蚀性，特别是未完全固化前，卤水中的氯离子（Cl^-）对钢筋有腐蚀作用。

④ 返潮返卤。

变形易引起翘曲，翘曲则引起开裂，这些缺点经过众多专家100多年来的研究、攻关，已基本上得到了解决。由于工艺设备简单，上马容易，原料易得，一般工人、一般厂家都可生产，但由于管理上的差异，技术水平的高低，而且国家尚无专门规范，因此带来了产品质量上的很大差异。几乎可以说，全国每个生产厂家各自都有自己的镁水泥配方，而每家都在说自己的配方如何的好。近来，一些厂家坦率地反映了自己在生产中遇到的各种问题，这些问题在第四章已涉及到。从目前各厂家存在的问题来看，镁水泥原来的固有缺陷至今仍存在着，镁水泥工业之所以在中国已经几起几伏，正是由于这些缺陷长期以来阻碍着镁水泥的发展和应用。

镁水泥更有它特有的优点，而且是难得的、独具特色的优点。

① 不燃、耐热。

② 抗冻性好。

③ 有稳定的耐候性。

④ 很高的抗渗性、耐磨性。

⑤ 优良的抗盐卤腐蚀性。

⑥ 价格低廉，生产成本低等，其中的耐燃性是特有的最佳性能。

对于较高的抗冻性与FRP（有机玻璃钢）是相同的，FRP抗冻性是好的，在低温下使用比在高温下使用更为适应，由于不饱和聚酯树脂的性能决定了FRP热变形温度较低，因此FRP具备了怕热不怕冷的特点。而无机玻璃钢由于氯氧水泥的性质决定了它既不怕冷又不怕热，其耐热可达300 ℃以上，这是FRP难以做到的。最多使氧指数达到28以上，实现阻燃。

第二节　氯氧镁水泥的主要原料

一、氧化镁（MgO）及其活性的两种测试方法

（一）氧化镁的性能

氧化镁是一种碱性氧化物，具有与水反应的能力，发生水化反应。

$$MgO+H_2O=\!=\!=Mg(OH)_2$$

MgO 的水化反应速度与其活性大小有关。

“活性氧化镁”的定义是指有活性的、游离态的 MgO，不包括 $Mg(OH)_2$ 在内。

氧化镁是氯氧镁水泥的主要原料，和氯化镁（$MgCl_2$）一起组成氯氧镁水泥缺一不可的骨干原料，可以这样说：氧化镁＋氯化镁就是氯氧镁水泥。但是，这样的材料不具备使用价值，因为如果没有改善性能的添加剂加入，前述的固有的四大缺点是难以克服的，是影响使用的障碍。

生产氧化镁的原料十分广泛，目前世界上普遍的生产方法是煅烧菱镁矿和白云石来制得，因此，人们开始一般将氧化镁又统称为菱苦土，也有人把由菱镁矿煅烧而获得的氧化镁称为菱苦土。目前在菱苦土的产地，根据工艺特点又称之为“轻烧粉”，相应地称白云石煅烧而获得的氧化镁为灰粉。白云石在我国又是储量极为丰富的矿物，但是，灰粉中的活性 MgO 含量较少，因此与调和剂的正确配合比范围也就较小，而且存放期很短。为了正常使用，一般不允许活性 MgO 降低，这是灰粉不如轻烧粉好的原因，在实际使用中轻烧粉中的活性 MgO 含量不允许降低到 40％以下，这是由于轻烧粉容重较轻，用的水灰比高（0.55～0.70）决定的。关于水灰比的概念及应用情况，见第二章的第一节。

菱镁矿的矿石成分主要为碳酸镁（$MgCO_3$），经过窑炉煅烧

需要全本请访问 www.ertongbook