



新型墙体材料应用丛书

蒸压粉煤灰加气混凝土砌块 生产及应用技术

杨伟军 李 炜 主编
梁建国 张中脊 主审

中国建筑工业出版社

新型墙体材料应用丛书

蒸压粉煤灰加气混凝土砌块 生产及应用技术

杨伟军 李 炜 主编
梁建国 张中脊 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

蒸压粉煤灰加气混凝土砌块生产及应用技术 / 杨伟军等
主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 10

(新型墙体材料应用丛书)

ISBN 978-7-112-13526-4

I. ①蒸… II. ①杨… III. ①蒸压—粉煤灰砌块: 加气
混凝土砌块—生产工艺 IV. ①TU522.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 178089 号

新型墙体材料应用丛书

蒸压粉煤灰加气混凝土砌块生产及应用技术

杨伟军 李 炜 主编

梁建国 张中脊 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 6 $\frac{5}{8}$ 字数: 176 千字

2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月第一次印刷

定价: 20.00 元

ISBN 978-7-112-13526-4

(21277)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书从蒸压粉煤灰加气混凝土砌块的产品、生产及其砌体的力学性能到房屋的承载力分析、抗裂性能及其设计施工,对蒸压粉煤灰加气混凝土砌块及其砌体进行了系统的论述。第1章绪论;第2章蒸压粉煤灰加气混凝土砌块生产与应用可行性;第3章蒸压粉煤灰加气混凝土砌块生产用原材料;第4章蒸压粉煤灰加气混凝土砌块的生产;第5章蒸压粉煤灰加气混凝土砌块及其砌体的基本性能;第6章蒸压粉煤灰加气混凝土砌块砌体建筑设计与建筑节能技术;第7章蒸压粉煤灰加气混凝土砌块砌体结构设计与构造措施;第8章蒸压粉煤灰加气混凝土砌块砌体的裂缝控制;第9章蒸压粉煤灰加气混凝土砌块砌体施工。

本书可供新型墙体材料生产企业、管理部门的技术与管理人员,房屋建筑工程技术人员、科学研究人员和高等院校有关师生参考。

* * *

责任编辑:赵梦梅 武晓涛

责任设计:董建平

责任校对:陈晶晶 姜小莲

“新型墙体材料应用丛书” 编审委员会

主 任 杨伟军

副主任 梁建国 樊家生 黎 滨 李 炜

成 员 (以姓氏汉语拼音为序)

樊家生 高连玉 雷 波 黎 滨

李 炜 梁建国 林文修 刘 斌

倪玉双 欧阳辰敏 彭艺斌

王季青 夏栋舟 杨春侠 杨伟军

玉小冰 张兴富 张振浩 张中脊

赵成文 左恒忠

前 言

加快新型墙体材料的发展是我国经济社会发展和实施可持续发展战略的必然要求。随着墙改工作的深入开展，各类满足节能、节土、利废要求的新型墙体材料不断涌现。并在实践中不断完善与改进，对提高建筑工程质量，改善建筑功能，美化我们的生活和工作环境发挥了巨大的作用。

目前，新型墙体材料产量在墙体材料中占到了绝大多数，但新型墙体材料生产及其应用中有一些问题尚待解决。例如：对新型墙体材料了解不够、市场不清楚、技术不完善、政策导向不了解、生产与应用脱节等。因而大力发展新型墙体材料产业，生产出高质量的新型墙体材料，完善新型墙体材料建筑设计施工技术等，是做好“禁实”工作的前提条件。

新型墙体材料的发展和应用需要从政策、市场、建筑结构体系、建筑节能、技术创新、资源情况、产品种类及工艺、技术装备选型等出发，全方位给予指导，提供成套技术。一方面解决新型墙材品种过多过滥、优质产品过少、产品性能指标不高，企业在上项目时无所适从的问题；另一方面也便于管理，制定和实行扶植政策支持发展重点；另外也为新型墙体材料革新工作的健康发展提供成套技术保障。

作者编著本套丛书意在为墙材企业的新建改造项目决策、生产技术和应用市场提供科学依据和成套技术；为新型墙体材料建筑在设计、施工与验收规定等方面提供技术应用指导，解决新型墙体材料建筑推广过程中的应用技术问题。

作者在多年从事蒸压粉煤灰加气混凝土砌块及其砌体理论与试验研究工作的基础上，吸收国内外该领域的最新科研成果，写成了本书。

本书得到湖南省墙体材料改革办公室的资助，参考了大量的国内外文献，编者的许多同事和李耀、李丽珊、欧孟仁、皮正波、沈继美等研究生参与了本书工作，在此一并表示衷心感谢！

本书试图起到抛砖引玉的作用，使新型墙体材料建筑得到较大的发展，为国家经济建设作出贡献。限于作者水平，书中难免有不妥之处，恳请有关专家和广大读者批评指正。

2011 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 加气混凝土材料的分类与特点	2
1.3 国外加气混凝土的发展概况	6
1.4 国内加气混凝土的发展概况	8
1.5 加气混凝土砌块生产技术及设备状况	11
1.5.1 加气混凝土的主要生产工序	11
1.5.2 加气混凝土生产工艺的主要类型	12
1.5.3 加气混凝土砌块主要工艺技术及设备配套状况	14
1.6 蒸压粉煤灰加气混凝土砌块的发展与应用应重视的 几个问题	15
1.7 加气混凝土的发展趋势	18
第 2 章 蒸压粉煤灰加气混凝土砌块生产与应用可行性	21
2.1 加气混凝土砌块的规格及其技术要求	21
2.2 国家政策支持	24
2.3 加气混凝土建筑的节能	27
2.3.1 加气混凝土的制造能耗	27
2.3.2 加气混凝土原料及成品运输节能	28
2.3.3 加气混凝土建筑使用能耗	28
2.3.4 加气混凝土的综合节能	31
2.4 加气混凝土的环保效果	31
2.5 加气混凝土舒适性能	31
2.6 粉煤灰加气混凝土砌块自保温技术经济性能分析	35

第3章 蒸压粉煤灰加气混凝土砌块生产用原材料	37
3.1 原材料种类	37
3.1.1 钙质材料	37
3.1.2 硅质材料（粉煤灰）	38
3.1.3 发气材料	38
3.1.4 其他材料	40
3.2 粉煤灰加气混凝土原材料技术要求	40
3.2.1 粉煤灰	40
3.2.2 水泥	42
3.2.3 石灰	43
3.2.4 发气材料	46
3.2.5 调节材料	51
第4章 蒸压粉煤灰加气混凝土砌块的生产	55
4.1 原料处理	55
4.1.1 石灰煅烧	55
4.1.2 粉煤灰的处理	57
4.1.3 块状物料的破碎	58
4.1.4 物料的筛分	59
4.1.5 物料的磨细	60
4.1.6 铝粉的脱脂	65
4.2 配料	65
4.2.1 粉煤灰加气混凝土的配合比	65
4.2.2 配料工艺	67
4.3 浇注成型	67
4.3.1 浇注成型工艺的主要类型	67
4.3.2 浇注成型工艺的主要设施	69
4.3.3 浇注成型工艺参数	70
4.4 切割	71

4.4.1	对切割工艺的要求	71
4.4.2	切割工艺的类型	73
4.4.3	切割工艺的设施	74
4.5	蒸压养护	76
4.5.1	蒸压养护过程中的热传递	77
4.5.2	蒸压养护过程的热膨胀	78
4.5.3	蒸压养护制度	79
4.5.4	蒸压养护设施	80
4.6	制品的拆模、加工和包装	81
4.6.1	拆模工序	81
4.6.2	制品加工和修补	82
4.6.3	砌块的包装与堆放	83

第5章 蒸压粉煤灰加气混凝土砌块及其砌体的基本性能 ... 84

5.1	加气混凝土砌块的主要性能	84
5.2	加气混凝土砌块砌筑砂浆	87
5.3	加气混凝土砌块砌体的力学性能	90
5.4	加气混凝土的物理性能	95
5.5	加气混凝土的其他性能	102
5.5.1	耐火与耐热性能	102
5.5.2	耐久性	103
5.5.3	透气性	105
5.5.4	吸水导湿性	106

第6章 蒸压粉煤灰加气混凝土砌块砌体建筑设计与建筑节能技术..... 107

6.1	加气混凝土砌块建筑设计	108
6.1.1	承重墙体	108
6.1.2	非承重外墙	110
6.1.3	内隔墙	114

6.1.4 砌块排块设计	116
6.1.5 局部处理	118
6.2 建筑节能设计	127
6.2.1 影响建筑物耗热量指标的几个因素	128
6.2.2 加气混凝土自保温墙体节能体系	129
6.3 薄灰缝的热工性能以及对能耗的影响	135
6.4 加气混凝土砌块砌体特殊部位保温隔热措施	139
6.4.1 热桥的概念及形式	140
6.4.2 加气混凝土砌块墙体热桥内表面温度验算	141
6.4.3 热桥部位保温措施	142
6.4.4 其他特殊部位保温	149
第7章 蒸压粉煤灰加气混凝土砌块砌体结构与构造措施	151
7.1 结构设计概述	151
7.1.1 结构的功能要求	151
7.1.2 结构的极限状态	152
7.1.3 结构上的作用、作用效应和结构的抗力	152
7.1.4 结构可靠度和可靠度指标	153
7.1.5 基本计算规定	154
7.2 结构构件计算	155
7.2.1 砌体构件的受压承载力计算	155
7.2.2 砌体构件的受剪承载力计算	156
7.3 加气混凝土砌块砌体的构造措施	157
第8章 蒸压粉煤灰加气混凝土砌块砌体的裂缝控制	161
8.1 加气混凝土墙体裂缝及成因	161
8.1.1 裂缝的形式	161
8.1.2 墙体裂缝成因	163
8.2 粉煤灰加气混凝土砌块墙体裂缝产生机理分析	164

8.2.1	受压加气混凝土砌块墙体的工作特性和破坏形态	164
8.2.2	加气混凝土砌块的材料特性分析	165
8.2.3	施工工艺分析	167
8.2.4	设计构造措施所造成的墙体裂缝	169
8.2.5	砂浆因素分析	169
8.3	蒸压粉煤灰加气混凝土砌块干燥收缩	172
8.3.1	干燥收缩的影响因素	172
8.3.2	干燥收缩与抗压强度的关系	176
8.4	加气混凝土砌块墙体裂缝控制措施	177
8.4.1	材料特性方面	177
8.4.2	施工方面	179
8.4.3	设计构造措施方面	179
8.4.4	砌筑砂浆方面	180
第9章	蒸压粉煤灰加气混凝土砌块砌体施工	182
9.1	工艺流程及操作要点	182
9.2	质量要求	190
9.3	雨期施工与安全施工措施	195
参考文献		197

第 1 章 绪 论

1.1 引言

近几十年来,随着国民经济的快速发展,住宅建设已成为国民经济新的增长点。我国住宅产业化发展为墙材的发展提供了广阔的空间,建筑节能工作的推进对墙材的发展提出了更高的要求。然而,目前国内墙体材料中,传统墙体材料依然是主体,存在产业结构落后、大量毁坏耕地、污染环境等问题。

蒸压粉煤灰加气混凝土砌块是一种适应社会经济持续发展的新型墙体材料,被广泛应用。加气混凝土砌块在我国已有 70 多年的发展历史。近年来,随着我国墙体材料革新力度的加大以及人们对绿色环保概念的理解,普通黏土砖的应用逐步受到禁限,低污染、低消耗的蒸压粉煤灰加气混凝土砌块正逐步成为建筑材料市场的主力军。

混凝土作为土木工程中最大宗的人造材料,其用量巨大,使用范围日益扩大。尤其是近几十年内,混凝土材料经历了许多重大变革。混凝土之所以能有如此广泛的用途,主要是因为它具有原料丰富、价格低廉、可就地取材、抗压强度高、耐久性好、工艺简单、适应性强以及可改造性强等优点。然而随着科学技术和生产的发展,一些重大的混凝土结构,如跨海大桥、海底隧道、海上平台、高层超高层建筑等工程建造的需求不断增加,对混凝土的各项性能都提出了更高的要求。因普通混凝土自身存在重量大、保温隔热差等缺点,限制了它在某些工程中的应用。加气混凝土的出现为混凝土的深入发展提供了前景。与一般混凝土相比,加气混凝土的干体积密度仅为 $400\sim 700\text{kg}/\text{m}^3$,相当于普通混凝土的 $1/5$ 左右,可以大大减轻建筑物自重。另外,加气混凝土

土还具有保温性能好、可加工性强、抗震性能良好等优点。

近年来，我国已把建筑节能提到了前所未有的重要位置。随着新型建筑材料工业的发展和人们对建筑节能要求的日益提高，墙体材料逐渐由普通混凝土向新型混凝土转变，建筑能耗明显降低。加气混凝土作为墙体材料革新与建筑节能的重要材料，是目前我国主要的外墙材料中热工性能最好的墙体材料之一。近几年来，加气混凝土行业发展较快，形势十分喜人，在我国迅速得到发展和应用。

1.2 加气混凝土材料的分类与特点

(1) 加气混凝土砌块的分类

加气混凝土产品品种可分为非承重砌块、承重砌块、保温块、墙板与屋面板五种。其中，非承重砌块的生产和使用最为广泛，它的体积密度一般为 500kg/m^3 和 600kg/m^3 ，主要使用在结构中的填充墙与隔墙中；承重砌块的体积密度为 700kg/m^3 和 800kg/m^3 ，在建筑中承担结构荷载；保温块的体积密度一般为 300kg/m^3 和 400kg/m^3 ，主要用于建筑物的保温隔热；屋面板和墙板都是加筋加气混凝土板，根据用途不同，其配筋不同。

加气混凝土砌块是指以硅质材料和钙质材料为主要原料，掺加发气剂，经加水搅拌，由化学反应形成内部的孔隙，经浇注成型、预养切割、蒸汽养护等工艺过程制成的多孔硅酸盐砌块。

按养护方法可分为蒸养加气混凝土砌块和蒸压加气混凝土砌块两种。

按原材料不同，蒸压加气混凝土砌块主要有以下七种：

- ① 蒸压水泥—石灰—砂加气混凝土砌块；
- ② 蒸压水泥—石灰—粉煤灰加气混凝土砌块；
- ③ 蒸压水泥—矿渣—砂加气混凝土砌块；
- ④ 蒸压水泥—石灰—尾砂加气混凝土砌块；
- ⑤ 蒸压水泥—石灰—沸腾炉渣加气混凝土砌块；

⑥ 蒸压水泥—石灰—煤矸石加气混凝土砌块；

⑦ 蒸压石灰—粉煤灰加气混凝土砌块。

以上各种蒸压加气混凝土砌块统称为加气混凝土砌块。

粉煤灰加气混凝土砌块是一种气孔均匀、表面平整、棱角整齐、施工简便的轻质节能建筑材料。粉煤灰加气混凝土砌块是以粉煤灰为主（掺量 60% 以上），经原料处理、配料、搅拌、发气、切割、养护等工艺制成的产品。

（2）加气混凝土的特性

加气混凝土也称之为“混凝土”，但是与普通的水泥混凝土相比具有一些不同的特性。普通混凝土是由水泥水化生成的水化产物（凝胶），并主要依靠物理吸附力将骨料胶结成整体。而加气混凝土则是由钙和硅质骨料表面发生化学反应生成的水热硅酸盐 CSH（B）和托勃莫来石结晶等将“骨料残骸”胶结起来，并用铝粉反应生成的气孔一起形成一个整体。上述两者具有质的区别，因而形成加气混凝土材料性能上的一系列特点。

1) 多孔性是加气混凝土最主要的特性，一般加气混凝土的孔隙达 70%~80%。由于大量孔隙的存在引入了大量空气，大大降低了材料的密度，一般为 $400\sim 700\text{kg/m}^3$ ，只相当于黏土砖和灰砂砖的 $1/4\sim 1/3$ 、普通混凝土的 $1/5$ 。由于减轻重量，将会给建筑工程带来一系列的好处：提高建筑物的抗震性能；减少建筑物梁、柱截面尺寸及配筋，降低工程造价；建筑物自重减轻，减少基础投资；增加建筑物的使用面积等。

2) 强度利用率大。因为引入大量空气降低了密度，必然也降低了加气混凝土的强度，因此抗压强度（立方强度）偏低。但是由于加气混凝土砌块尺寸较大，制品均匀性较好，使得加气混凝土砌体强度约为立方强度的 70%~80%。所以加气混凝土在砌体中的强度利用系数很高。

3) 在长期荷载作用下加气混凝土的徐变值较小。加气混凝土的徐变比普通混凝土小，这是因为普通混凝土的徐变是由荷载引起结晶变形和继续进行化学过程引起收缩的综合结果，而加气

混凝土经高压蒸汽养护，化学反应已比较完全的缘故。

4) 保温、隔热性能好。由于加气混凝土砌块本身的构造特点，加气混凝土砌块的导热系数为 $0.1 \sim 0.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，只有黏土砖的 $1/5$ ，所以加气混凝土的保温性能比普通混凝土好得多。将其应用在建筑物的内外墙、屋面保温层、冷冻库、空调室中，可提高隔热保温效果，从而降低能耗。

5) 吸声、隔声性能好。加气混凝土由于具有多孔结构，因而具有一般建筑材料所不具有的吸声能力（吸声系数 $0.2 \sim 0.3$ ），完全可以满足分户墙的隔声要求。

6) 耐久性良好。加气混凝土长期强度稳定，在自然碳化后强度略有提高或不降低。把一个 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的试件暴露于大气中，一年后抗压强度提高 25% ，十年后仍保持稳定，说明加气混凝土具有良好的耐久性。

7) 耐火和耐热性能好。加气混凝土的主要原材料大多为无机材料，其本身又具有保温隔热性能，因而有良好的耐火性能，并且遇火不散发有害气体；加气混凝土砌块导热系数低，热迁移慢，能有效抵抗火灾，并保护结构不受火灾影响。加气混凝土在温度为 600°C 以下时，其抗压强度稍有增长，当温度在 600°C 左右时，其抗压强度接近常温时的抗压强度，所以作为建筑材料的加气混凝土的防火性能达到国家一级防火标准。

加气混凝土属不燃材料，其耐火性能比普通混凝土高得多。这是由于加气混凝土保温隔热性能好，保护层对于钢筋有较强的隔热作用。甚至一些加气混凝土建筑在火灾后，只是在加气混凝土表层发生龟裂和酥松，扒去表层修补后，仍能恢复使用。

8) 抗震性能较好。建筑物由于采用了轻质材料砌筑，大大降低了地震时建筑物产生的水平推力，从而增加其抗震性能。在震级为 7.8 级的唐山丰南大地震中，据震后考察，加气混凝土建筑只新出现了几条裂缝。

9) 可加工性强。加气混凝土不用粗骨料，不仅可以在工厂内生产出多种规格的产品，还可以像加工木材一样地进行锯、

刨、钻、钉，因而能在使用现场根据实际需要进行再加工，十分方便，并且能在制造过程中加钢筋，给建筑施工提供了有利的条件。

10) 抗渗水性较好。蒸压加气混凝土具有密闭独立球状结构，因而吸水导湿缓慢。经试验，采用淋浴喷头分别向 240mm 厚的黏土砖墙和加气混凝土墙喷淋，黏土砖墙 12h 后全部浸透，而加气混凝土墙喷淋 72h 后渗水深度 80~100mm。因此，加气混凝土制品也可用于多雨地区的外墙。

11) 原料来源广、生产效率高、生产能耗低。加气混凝土可以因地制宜用砂子、矿渣、粉煤灰、尾矿、煤矸石及生石灰、水泥等原料生产。加气混凝土的资源利用率较高（1m³ 原材料可生产 5m³ 的产品），可大量利用粉煤灰、尾矿砂等工业废弃物，符合发展循环经济战略。加气混凝土的年人均实物劳动效率可达 600m³ 左右，少数自动化程度较高的企业则达 900~1000m³。加气混凝土具有能耗低（包括生产能耗、运输能耗和使用能耗）的优点。

加气混凝土作为一种轻质多孔的建筑材料，具有以上这些特性，尤其是密度小，保温好，对于降低建筑物自重，实现墙体改革，降低建筑物能耗，具有特别重要的意义。加气混凝土砌块不失为建筑材料中较好的选择。

加气混凝土作为墙体材料也存在一些缺陷：

1) 加气混凝土应用时，有时有开裂现象，粉刷层较易起壳和龟裂。对普通抹灰水泥砂浆而言，当其黏稠性达到使用要求时，其充分固化后的强度将远远高于加气混凝土砌块的强度。由于加气混凝土吸水率大、干燥收缩率大、表面强度低、导热系数小，弹性模量小及表面存在粉化层等，从而造成其抹灰难度大，抹灰层极易出现空鼓、开裂和质量难以保证的缺点。以往，为提高粉刷层与加气混凝土的粘结性能，粉刷前需在墙体上浇水，但潮湿的墙体在干燥的过程中要收缩变形，易产生裂缝，砂浆层易起壳。