

农房适用建筑材料的 研究与开发

刘 军 主 编 赵金波 副主编



中国建筑工业出版社

农房适用建筑材料的 研究与开发

刘 军 主 编

赵金波 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农房适用建筑材料的研究与开发 / 刘军主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-112-14556-0

I. ①农… II. ①刘… III. ①农村住宅—建筑材料—
研究 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 183150 号

本书研究论述我国农房适用建筑材料的研究与开发问题, 主要包括 7 个方面的内容, 分别为木材加工性能提升关键技术, 住宅墙体材料研究, 住宅保温屋面系统与材料, 结构与性能增强型生土建筑材料, 住宅室内外装饰装修材料, 厨卫材料及产品, 生物质建材开发利用。

本书可供广大建筑工作者参考使用。

* * *

责任编辑: 常 燕 付 娇

农房适用建筑材料的研究与开发

刘 军 主 编

赵金波 副主编

*

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

北京国民图文设计中心制版

北京京丰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8 $\frac{3}{4}$ 字数: 213 千字

2012 年 11 月第一版 2012 年 11 月第一次印刷

定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-14556-0

(22639)

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)

本书编委会

主 编：刘 军

副 主 编：赵金波

编委会成员（按姓氏笔画排序）：

丁力行	王 晴	艾红梅	刘润清
李 瑶	李东旭	谷亚新	张文生
林岚岚	钱晓倩	徐长伟	曹明莉
戚 红	崔玉忠	赖俊英	

前 言

随着国民经济的快速发展,我国农村居住房屋的质量有了很大的改善,但在有些方面却几十年没有发生根本变化。关键在于建房所采用的建筑材料产品多以城市弃用甚至淘汰的中低档建材或是没有经过性能提升的传统建材,建筑材料的总体水平不能适应目前农房的经济条件和对住宅的质量要求,同时也不适应国家对住宅建设节能、环保、可持续发展的要求。

2005年10月,中共中央十六届五中全会通过的《关于制定国民经济和社会发展“第十一个五年规划”的建议》提出了建设社会主义新农村的重大历史任务。2006年初,中共中央、国务院又联合下发了《中共中央、国务院关于推进社会主义新农村建设的若干意见》。环保经济型村镇住宅建设是建设社会主义新农村的重要环节,实现现有农房的功能提升、空间节约利用、建筑节能与绿色建筑、改善生态居住环境质量成为农房建设的方向。农房适用建筑材料的研究与开发是实现上述设想的前提和基础。

我国共有320.7万个自然村、63.4万个行政村;2.2万个集镇、近2万个建制镇;总建设用地面积接近17万 km^2 。我国村镇住宅建设量占全国住宅建设总量的一半以上,每年竣工的建筑面积都在6亿 m^2 以上,建筑材料用量巨大。与城市相比村镇住宅所采用的建筑材料大多是层次低、质量差、能耗高、不环保的低档产品。如何在农户现有经济条件下,实现提高住宅质量的关键环节就是提高配套建材的质量及功能,开发农房适用的建筑材料。

本书以沈阳建筑大学组织中国建筑材料科学研究总院、大连理工大学、中国建筑设计研究院、浙江大学的专家与学者进行的国家支撑计划重大课题“农房适用建筑材料研究与开发”的研究成果为基础,主要内容包括:木材加工性能提升关键技术;住宅墙体材料研究;住宅保温屋面系统与材料;结构与性能增强型生土建筑材料;住宅室内外装饰装修材料;厨卫材料及产品;生物质建材开发利用。通过对课题研究成果的提炼和总结,主要介绍在现有条件下,如何通过有效的途径在节能、环保、资源的再生利用、现有材料的功能提升等方面生产制备农房适用的建筑材料。为广大的建材科技工作者提供参考。

目 录

前 言

第一章 木材加工性能提升关键技术	1
1.1 阻燃材料	1
1.1.1 阻燃材料的分类	1
1.1.2 选用原则	3
1.1.3 材料的应用现状和存在的问题	3
1.1.4 最新研究成果	4
1.1.5 阻燃处理方法	5
1.1.6 标准及验收	7
1.2 木材防腐材料	8
1.2.1 木材防腐剂的分类	8
1.2.2 选用原则	9
1.2.3 材料的应用现状及存在的问题	10
1.2.4 最新研究成果	12
1.2.5 防腐处理方法	15
1.2.6 标准及验收	17
1.3 木材尺寸稳定化材料	18
1.3.1 材料的分类	18
1.3.2 选用原则	19
1.3.3 材料的应用现状及存在的问题	19
1.3.4 最新研究成果	20
1.3.5 尺寸稳定处理方法	21
1.3.6 标准及验收	22
1.4 木塑复合材料	23
1.4.1 材料的分类	23
1.4.2 选用原则	24
1.4.3 材料的应用现状与存在问题	24
1.4.4 最新研究成果	25
1.4.5 木塑复合材料生产工艺	27
1.4.6 标准及验收	28
第二章 住宅墙体材料研究	29
2.1 泡沫混凝土	29
2.1.1 泡沫混凝土的特点	29
2.1.2 原材料组成	29
2.1.3 材料的应用现状与存在的问题	30

2.1.4	最新研究成果	31
2.1.5	泡沫混凝土的制备	32
2.1.6	标准及验收	33
2.2	再生混凝土空心砌块	33
2.2.1	材料的分类	33
2.2.2	选用原则	33
2.2.3	材料的应用现状与存在问题	34
2.2.4	最新研究成果	34
2.2.5	施工方法	35
2.2.6	标准及验收	35
第三章	住宅保温屋面系统与材料	36
3.1	新型组合结构保温板	36
3.1.1	材料的分类	36
3.1.2	选用原则	36
3.1.3	材料的应用现状与存在问题	37
3.1.4	最新研究成果	43
3.1.5	施工方法	49
3.1.6	标准及验收	50
3.2	新型夹芯屋面保温板	51
3.2.1	材料的分类	51
3.2.2	选用原则	52
3.2.3	材料的应用现状与存在问题	53
3.2.4	最新研究成果	59
3.2.5	施工方法	68
3.2.6	标准及验收	68
第四章	结构与性能增强型生土建筑材料	70
4.1	生土建筑材料	70
4.1.1	生土建筑材料的分类	70
4.1.2	生土建筑材料的选用原则	71
4.1.3	生土建筑材料的应用现状与存在问题	71
4.1.4	生土建筑材料最新研究成果	75
4.1.5	生土建筑材料制备方法	76
4.1.6	标准及验收	77
4.2	生土建筑材料构造结构技术	77
4.2.1	结构细部分类	77
4.2.2	构造方式的现状与存在问题	78
4.2.3	最新研究成果	80
4.2.4	施工方法	80
4.2.5	标准及验收	81

第五章 住宅室内外装饰装修材料 82

5.1 多功能楼、地面材料..... 82

5.1.1 轻骨料混凝土的分类..... 82

5.1.2 轻骨料混凝土的特点..... 82

5.1.3 材料的应用现状与存在问题..... 83

5.1.4 最新研究成果..... 85

5.1.5 标准及验收..... 87

5.2 外墙涂料..... 88

5.2.1 外墙涂料的分类..... 88

5.2.2 外墙涂料的选用原则..... 89

5.2.3 外墙涂料的应用现状与存在问题..... 91

5.2.4 外墙涂料最新研究成果..... 93

第六章 厨卫材料及产品 95

6.1 人造板材..... 95

6.1.1 人造板材分类..... 95

6.1.2 常见人造板材选用原则..... 96

6.1.3 人造板材的现状与存在问题..... 96

6.1.4 标准及验收..... 97

6.2 瓷砖..... 99

6.2.1 瓷砖分类..... 99

6.2.2 厨卫常见瓷砖的选用原则..... 99

6.2.3 厨卫常见瓷砖的应用现状与存在问题 100

6.2.4 施工方法 101

6.2.5 标准及验收 102

6.3 厨具 102

6.3.1 厨具分类 102

6.3.2 常用厨具的选用原则 103

6.3.3 常见厨具的现状与存在问题 103

6.3.4 标准及验收 104

6.4 卫浴 107

6.4.1 卫浴分类 107

6.4.2 卫浴品选用原则 107

6.4.3 常见卫浴品的应用现状与存在问题 107

6.4.4 标准及验收 108

第七章 生物质建材开发利用..... 110

7.1 无机胶凝材料基秸秆建材 110

7.1.1 无机胶凝材料基秸秆建材的分类 110

7.1.2 无机胶凝材料基秸秆建材的特点 111

7.1.3 无机胶凝材料基秸秆建材的原材料选用原则 111

7.1.4	无机胶凝材料基秸秆建材的生产工艺	112
7.1.5	无机胶凝材料基秸秆建材的应用现状及存在问题	114
7.1.6	无机胶凝材料基秸秆建材的最新研究成果	115
7.1.7	无机胶凝材料基秸秆建材的施工方法	115
7.1.8	无机胶凝材料基秸秆建材的标准及验收	117
7.2	有机胶凝材料基秸秆建材	117
7.2.1	有机胶凝材料基秸秆建材的种类	117
7.2.2	有机胶凝材料基秸秆建材的原料选用原则	118
7.2.3	有机胶凝材料基秸秆建材的生产工艺	119
7.2.4	有机胶凝材料基秸秆建材的应用现状及存在问题	122
7.2.5	有机胶凝材料基秸秆建材的最新研究成果	123
7.2.6	有机胶凝材料基秸秆建材的标准及验收	123
参考文献		124

第一章 木材加工性能提升关键技术

木材作为建筑材料有着悠久的历史，木结构建筑在农房中占有相当大的比例。但由于木材资源的限制，这一传统的建筑形式面临着资源短缺的限制，快生木材由于生长期短，木材性能较差，更多的用于薪材及制作一次性筷子。通过技术处理，解决快生木材防火、防虫、防霉问题，提高快生木材的综合性能使其应用于农房建设是解决木材短缺的途径之一。本章针对木材加工性能提升的技术，从木材的阻燃材料、防腐材料、尺寸稳定性材料以及木塑复合材料的分类、选用、最新研究成果、处理方法和验收几个方面进行介绍。

1.1 阻燃材料

1.1.1 阻燃材料的分类

木材阻燃剂是一类能赋予木材及木材制品难燃性质的化学物质。木材阻燃剂多种多样，分类方法也很多，按参加反应与否可分为：反应型和添加型；按化合物的类型又可分为：有机阻燃剂和无机阻燃剂；按所含元素可分为：磷系阻燃剂、卤素阻燃剂、硼系阻燃剂及金属氢氧化物等。

1. 无机阻燃剂

无机木材阻燃剂是最早使用的阻燃剂，主要有磷—氮系阻燃剂、硼系阻燃剂、卤系阻燃剂以及 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 等碱金属。

无机阻燃剂优点是来源广泛、价格低、阻燃性能好、无毒、燃烧时释放的烟和有毒气体少，被广泛应用于塑料及木质材料等的阻燃处理，占阻燃剂总需求量的 60% 以上。缺点是吸湿性强、抗流失性差，不能用于高湿或与水接触的环境中；产品表面易起霜、变色，油漆困难；对金属有腐蚀性，对木材材质、强度均有不利影响。

无机阻燃剂的发展大致经历了三个阶段。第一代无机阻燃剂指阻燃剂发展初期所采用的各种水溶性无机盐类或其混合物，如各种铵盐、硫酸盐、磷酸盐、卤化物及硫酸铝钾等盐类或复盐的混合物等。第二代无机阻燃剂是在认识了阻燃协同作用之后发展起来的以磷—氮复合、磷—卤复合、磷—氮—硼复合等高效阻燃体系为特征的阻燃剂，较低的添加量，便能使木材的性能有明显改善。第三代无机阻燃剂是在改进第二代阻燃剂的吸湿性、抗流失性过程中发展起来的。

由于各种阻燃剂阻燃机理不同，采用单一的阻燃剂很难达到理想效果，通常选用混合型的阻燃剂，即利用各种阻燃剂之间相互协同的作用，综合抑制，阻止燃烧。这样不仅可以降低成本，更主要的是使阻燃材料的物理力学性能损失减小到最低。

2. 有机阻燃剂

有机阻燃剂出现较晚但发展较快，其主要是含磷、氮和硼元素的多元复合体系。其机理是磷或卤素参与聚合或缩聚反应，结合到高聚物的主链或侧链中，如氯化石蜡、氯化橡胶等。优点是抗流失、对木材物理力学性能影响小。缺点是阻燃性能不稳定，成本高，燃

烧时产生大量烟和有毒气体。理想的有机木材阻燃剂应无甲醛释放、低迁移、低吸湿或基本不吸湿、一剂多效、高效且价格合理。

有机阻燃剂发展大致经历了 3 个阶段。第一代有机木材阻燃剂，主要是以尿素、双氰胺或三聚氰胺代替氨制得的磷酸盐，与硼酸等含硼化合物复合得到的有机氮—磷或有机氮—磷—硼阻燃体系。其吸湿性较无机阻燃剂有明显降低，但仍然不够理想，尿素、双氰胺存在迁移性大、易析出等问题。第二代有机木材阻燃剂是以尿素、双氰胺和三聚氰胺等氨基化合物的羟甲基化为特征的有机氮—磷或氮—磷—硼复合阻燃体系。第二代有机木材阻燃剂的迁移和析出性虽然有所改善，但是该类阻燃剂在木材处理和使用过程中会释放出有毒的甲醛而污染环境。此外，往往需要将处理材加热到较高温度以促使阻燃剂在木材中固定，因而易造成木材的酸降解，损害木材的物理力学性能。第三代有机木材阻燃剂是无甲醛释放、低迁移、低吸湿或基本不吸湿（与未处理材类似）的高效阻燃剂。这类阻燃剂往往追求一剂多效，即木材经过这类阻燃剂的一次处理便可获得阻燃、防腐、防虫以及尺寸稳定等特性，这样不仅减弱了多次处理给木材材性带来的不利影响，而且降低了处理成本。

3. 树脂型

树脂型木材阻燃剂是在配方中加入低聚合度合成树脂，浸渍木材后。在干燥的过程中树脂固化、对配方中的易流失阻燃成分（常为无机盐）产生包覆固着作用，从而改善阻燃剂的抗流失、迁移和吸湿性。近年来才开发的新型阻燃剂，用氮源（尿素、双氰胺、三聚氰胺等）和甲醛可制得氨基树脂型木材阻燃剂。其原理是在甲醛、尿素、双氰胺、三聚氰胺树脂制造过程中加入磷酸或磷—氮系化合物，通过树脂的固化形成抗流失的阻燃剂，如尿素—双氰胺—甲醛—磷酸（UDFP）树脂，三聚氰胺—双氰胺—甲醛—磷酸（MDFP）树脂以及 $H_3PO_4 \cdot DFAC$ 胶粘剂、 $H_3BO_3 \cdot MFAC$ 胶粘剂等。

优点是抗流失、抗迁移和抗吸湿，价格处于无机和有机阻燃剂之间，对木材强度影响小，耐腐蚀。缺点是阻燃效果不是很理想，不如某些无机阻燃剂。

树脂型木材阻燃剂处于发展阶段，目前存在处理材颜色变深以及浸注较困难等问题。

4. 反应型

反应型木材阻燃剂是利用化学反应，将阻燃元素或含阻燃元素的基团通过形成稳定的化学键载到木材分子上，所得的阻燃木材不仅具有抗流失、耐久的优点，而且由于阻燃元素以单分子状态分布在木材上，所以单位物质量阻燃剂的阻燃效率高。

木材大分子上的羟基和苯环是适合于阻燃处理的常用官能团，通过酯化、酯交换、醚化、酰化和卤化等反应，可与阻燃元素或含阻燃元素并有反应性的基团化合进行反应实现阻燃，可见，用反应型阻燃剂处理木材可实现永久阻燃。

通过磷酸酯化（磷酰化）可将磷元素以化学键合方式载于木材上，反应可发生于液—固相，如采用磷酰化药剂，也可发生在气—固相，如采用较低分子质量的硼酸酯进行木材的气相处理。通过硼酸酯与木材羟基的酯交换反应，可将硼元素以形成硼酸酯的方式载于木材上。而将氮元素载于木材上的最简单的方法，就是通过氨基化合物与木材酸性磷酸酯反应生成盐。

用化学改性法进行木材阻燃处理为制造特殊用途的阻燃木材开辟了新途径。反应型木材阻燃剂目前处于研究阶段。

1.1.2 选用原则

阻燃木材不仅具有阻燃性能，还应该保留木材的原有优良性能。理想的木材阻燃剂应该具有如下特点：

1. 阻燃性能好，能阻止有焰燃烧和无焰燃烧；控制发烟量；燃烧散发烟雾的毒性和腐蚀性也应当小。
2. 无毒，无污染，燃烧产物少烟、低毒、无刺激性。
3. 吸湿性低；对热和光稳定性强，不易挥发或浸出；不易水解，抗流失性耐候性强，阻燃性能持久。
4. 阻燃处理后对其他性能影响小。强度下降较小；有良好的装饰性能；不腐蚀金属；不使材质劣化；不加剧腐朽和虫害；不影响后加工性能。
5. 要求阻燃处理后木材还具有三性：尺寸稳定性、防腐性、防朽和防虫。一剂多效是木材阻燃处理的发展方向。
6. 木材的视觉、触觉和调节空气湿度等环境学特性基本不受影响。
7. 处理简便、经济价廉、来源广泛。

1.1.3 材料的应用现状和存在的问题

1. 阻燃剂的应用现状

(1) 鉴于目前科学技术的发展状况，在较长时期内，磷—氮—硼系水基阻燃体系仍将是木材阻燃剂的主流，如 FR-1，FR-2，FRW 等。今后的工作主要是进一步提高其抗流失性、耐迁移性和降低成本。

(2) 具有阻燃、防腐、抗流失和尺寸稳定等多方面多效力的“一剂多效”、绿色环保型木材保护药剂，将成为木材阻燃的主要发展方向。阻燃工艺的开发从最初侧重于阻燃剂本身，转向全面考虑阻燃性、材性（颜色、加工性、涂饰性、胶合性、力学性能及对金属腐蚀性等）、环境特性（发烟性、无毒、无害、环境友好）、附加性能（如防腐、防虫、尺寸稳定性等）和实用性等综合效果的方向发展。

(3) 膨胀型木材阻燃剂的研制。膨胀型阻燃剂遇火时，酸源放出无机酸，与碳源中的多元醇酯化，进而脱水炭化，黏稠的炭化产物在气源释放的惰性气体、反应产生的水蒸气及聚合物降解产生的小分子化合物等挥发物的作用下膨胀，形成微孔结构的炭层。这种多孔的炭层具有隔热、隔氧、抑烟、防熔滴、使火焰自熄的作用。膨胀型阻燃剂克服了含卤阻燃剂在燃烧中烟雾大、多熔滴的缺点，以及无机物阻燃剂由于添加量大对高分子材料的力学性能、加工性能所带来的不良影响。

(4) 木材阻燃的纳米技术。由于纳米粒子的颗粒尺寸很小，比表面积很大，因而具有表面效应、体积效应、量子尺寸效应及宏观量子隧道效应等特征，为设计和制备高性能、多功能新材料提供了新的思路和途径。由超细化阻燃剂通过特殊技术制成纳米阻燃材料，可大大地提高阻燃效率及相关性能，是阻燃材料的发展方向。

(5) 木材—塑料复合材料近年来获得高速发展，并且应用于室内装饰领域。由于木材—塑料复合材料火灾的危害往往超过木材，因此其阻燃研究将成为木材阻燃研究的新课题。

2. 木材阻燃存在的问题

(1) 抗流失性问题

这是阻燃处理中最重要的问题，它直接影响到阻燃作用的持久性。大多数无机盐类阻燃剂容易流失，尽管它们的阻燃效果较好，但使用过程中经风吹雨淋、摩擦等作用会逐渐流失掉，使材料失去阻燃性。主要原因是药剂与木材之间无化学键，多数为物理填充，附着性差，因此只适用于室内装饰材料的阻燃。另外阻燃剂的水溶性也是流失的原因，再有大多数的处理方法是浸渍或喷淋（涂刷）等，方法虽然简单易行，但渗透进去的药剂有可能被溶剂重新溶出，因此，如何使药剂长久地留在木材内以保持阻燃效果，是木材阻燃的一个重要课题。

(2) 阻燃处理前木材的渗透性问题

木材阻燃的效果除阻燃剂本身外，在很大程度上取决于阻燃剂的注入量和注入深度，特别是实木的阻燃，若注入深度不足，在后续的刨削加工中将使浸注阻燃剂的那一部分被刨削掉，不仅材料无阻燃性能，而且造成阻燃剂极大的浪费。因此，阻燃材料的质量常受木材渗透性的影响。目前，改善木材渗透性能的处理方法有以下几种：① 化学、微生物方式，以化学或微生物方式融解侵蚀阻碍渗透性成分；② 机械式破损木材组织方式，如对木材进行压缩处理及对木材进行机械刻痕或激光切割木材；③ 直接热处理（热烟熏）和水热蒸煮处理方式及生物方法改善木材渗透性。然而中国木材树种之多，还有很多难处理材的渗透性改善有待于研究。

(3) 阻燃处理后木材的干燥工艺问题

尽管木材及其阻燃剂的热分解温度远远高于干燥温度，但不同的干燥温度对材性及阻燃效果的影响也很大。

(4) 阻燃体系的耐热稳定性及耐老化性问题

树脂型阻燃剂性能良好，但它的耐热稳定性及耐老化性是阻燃耐久性的关键。目前木材工业采用的胶粘剂，如脲醛树脂其耐热稳定性和耐老化性特别差，因此，若用它作阻燃剂载体应改进其耐热稳定性和耐老化性，只有这样，才能对阻燃有一定辅助作用，否则它将严重影响阻燃效果。

(5) 成本问题

成本问题是影响阻燃技术产业化最主要的障碍。目前，国内有关阻燃技术的研究理论和成果很多，但在生产上实际应用还不多，主要原因就是成本问题，总结以往的研究成果可从以下两个方面来解决：① 降低阻燃剂用量。在保证足够阻燃效果的前提下，从工艺上尽可能降低用量；② 选用价格便宜、来源广泛、合成简单的阻燃剂。我国磷矿资源丰富，且磷类阻燃剂效果好，特别是磷—氮的协同阻燃效应，无毒、无公害，为木材行业降低阻燃剂的成本提供了有利条件。

1.1.4 最新研究成果

1. 阻燃处理工艺

近年来，随着等离子体、紫外线、射线等的发展，辐射法对木材、木质材料的阻燃处理也渐渐成为热点，发展出超声波法、高压喷射法、辐射法等新工艺。

2. 阻燃剂

高效的阻燃效果必须借助几种能协同作用的药剂甚至元素间的配合。阻燃剂主要是元素周期表中第三、五、七主族中的元素，或是它们的单质，或是化合物。UDFP 与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 能产生协同作用延缓木材内温度的上升，有效抑制木材的热解，并且释放出不燃性气体，从而有效延缓木材的燃烧。生瑜等探讨了阻燃封堵材料的阻燃膨胀性能与炭化剂种类、用量以及材料制作方法的关系。近年来，我国研究者还在无机金属化合物阻燃剂、磷系阻燃剂、钼酸盐类阻燃剂、硅系阻燃剂及氮系阻燃剂等几类新型的无卤阻燃剂领域获得了较大的进展，为我国新型木质材料阻燃剂的产品开发奠定了良好的基础。因此，研究如何合理地选择阻燃剂和阻燃体系，并降低材料燃烧时的烟量及有毒气体量，是阻燃研究领域中的重点课题之一。由于含卤的聚合物在燃烧时会产生大量的烟雾和有毒、腐蚀性的卤化氢气体，因而，我国研究者对新型的无卤阻燃剂，如无机金属化合物阻燃剂、磷系阻燃剂、钼酸盐类阻燃剂、硅系阻燃剂及氮系阻燃剂等，进行了深入的研究并开发出了一系列的无卤阻燃试剂。同时，在阻燃剂中加入适量的抑烟剂可使材料的生烟量大为降低，抑烟剂以金属氧化物和过渡金属氧化物为主。

1.1.5 阻燃处理方法

阻燃木材的阻燃性能不仅取决于阻燃剂的性能和用量，而且与阻燃剂在木材中的分布状态有关。阻燃处理对木材强度、吸湿性等的影响取决于所用阻燃剂的种类、酸碱性及处理工艺条件。因此，选择合适的阻燃处理工艺，既能提高阻燃性能又不破坏木材物理力学性能和工艺性能。木材的阻燃处理方法多种多样，其中多数方法由移植或改良木材防腐处理方法而来，包括浸注法、喷涂法、贴面法、热压法、复合法、辐射法、超声波法、离心转动法、高能喷射法等。

1. 浸注法

该方法是将木材浸泡在阻燃剂溶液里，在常压、真空、加压或者综合运用几种压力条件下使阻燃剂进入木材的内部，从而起到阻燃的目的。浸注法适用于渗透性好的木材，而且要求木材保持足够的含水率。浸注深度一般可达几毫米，此方法处理的木材基本可以达到阻燃目的。

(1) 常压浸注法

常压浸注法是在大气压力下进行处理，用黏度较低的阻燃剂溶液，在室温或加热条件下，将木材浸注在药液中，浸注时间长短取决于木材所需阻燃程度和木材的浸注性能。

该法工艺简单、成本低廉、设备投资少，但只适于处理单板等厚度较薄的材料，以及渗透性能较好的材质，即木材纹孔较粗的材质。

(2) 加压浸注法

加压浸注法是将木材置于高压罐内，先抽成真空，抽掉木材内部的气体，借助于放真空吸入阻燃剂药液，然后加压将阻燃剂药液压入木材内部，分为空细胞法、满细胞法和修正的满细胞法。

加压浸注法能在很宽范围内改变处理条件，并且通过调整阻燃剂组成可改变其浸注性质，具有快速、均匀、浸注深度大、增重率较高以及浸注程度可控等优点，是目前最有效的处理方法之一。但该方法需专门设备，技术费用高且真空度、压力、加压时间、树种、

早晚材、浸注方向、溶液浓度等因素都可能对处理效果有重要影响，尤以压力和加压时间为关键。

2. 分段浸注法

分段浸注法是将不同药剂分别浸注，使前后处理的药剂相互反应生成沉淀，经处理的木材干燥后可增重 20%~100%，增重率取决于处理液浓度与质量、处理时间等，且干燥后木材陶瓷化、阻燃性、硬度、尺寸稳定性等大为提高。该法不需特殊装置，仅用 2 台浸注槽和 2 台药液调和槽，有必要加以推广。

3. 化学改性法

采用高分子化合物的单体，通过加压浸注等手段注入木材内，再经过核照射、高温加热等方法，引发化学单体在木材内聚合生成高分子聚合物沉积在细胞壁和细胞腔上；或者通过高温、催化、偶联等手段使药剂的分子基团与木材的化学成分中某些基团如羟基发生反应，生产酯化木材、乙酰化木材、醚化木材。

目前化学改性主要用来提高木材的物理力学性质及抗生物降解的能力。通过化学改性手段赋予木材阻燃性能尚在研究和探索阶段。其关键问题是遴选合适的化学单体、优秀的阻燃成分及适合的偶联剂。高成本也是必须解决的障碍。这一新技术能克服木材阻燃处理后存在的强度降低、吸潮、因不抗流失而有效期短等诸多问题。

4. 喷涂法

在对阻燃性要求不高或古建筑木构件不便浸注处理时，可采用涂刷或喷涂阻燃涂料方式，隔离热源，阻止材面接触空气，降低燃烧性能，但却覆盖了实木原有纹理及质感。大多数无机涂料为硅酸钠（防火效力大，易膨胀）或硼砂、硼酸等，配制简单、操作方便、成本低，但抗流失性差。有机防火涂料主要有两类：一是涂料受热产生沸泡和膨胀，形成蜂窝状木炭而阻燃；二是依靠涂料本身的不燃性与低的热传导而阻燃。有机涂料抗流失性好，喷涂工艺简单，但成本高。

5. 贴面法

将石膏板、硅酸钙板、铁皮及金属箔等不燃物覆贴在木材或木质材料表面起阻燃作用，该法仅限于表面处理，而且覆盖木材原有纹理，失去木材质感。

6. 热压法

适用于人造板生产，对板材物理力学性能影响甚微。其方法一是将粉状阻燃剂均匀撒在板面上，在热压条件下使其熔融渗入板内，避免了加压浸注时板材表面的膨胀及处理后的干燥，缺点是难以施加足够剂量，热压时也难保阻燃剂停留在板面；二是在板面涂刷或喷涂液体阻燃剂，热压时使其渗入板内，但易使板材表面鼓泡。

7. 复合法

在人造板生产中，在胶粘剂或刨花、木纤维中拌入阻燃剂。阻燃剂的加入可能会影响胶粘剂的固化，故需调整配方或固化剂用量。无机胶合人造板，如水泥刨花板、石膏刨花板、水泥木丝板等，具有良好的阻燃性。复合法以其节约木材、阻燃、防腐、价低等优势而具有强劲的发展势头。

8. 辐照法

近年来，随着等离子体、紫外线、射线等的发展，其对木材、木质材料的阻燃处理也渐渐成为热点。

9. 超声波法

超声波作用于溶液时会产生“超声空化”现象，产生数以万计的微小气泡，这些气泡迅速闭合，产生微激波，局部有很大的压强，能在木材表面产生加压效果。微波与超声波组合处理阻燃剂浸注效果明显，水曲柳木材在微波处理后浸注 30min 的阻燃浸注效果与 1.0MPa，30min 加压浸注效果相当；樟子松木材微波处理后超声波浸注 30min 的阻燃剂浸注效果相当于 1.0MPa，30min 加压浸注效果的 60%。

10. 离心转动法

离心传动机的组成机构：圆筒杯状壳体（内设带底板的支撑浮子）、与圆筒杯同轴固定并通过弹性件与壳体的侧壁和底板相连的可转动挠性连接、对称于转动轴安装的圆筒式浸注室及其传动机构，在常压下的离心浸注能使木材对药剂的吸收量增加。

11. 高能喷射法

高能喷射方法即先在木材上用钻头钻好一个小孔，将喷嘴紧紧地插入小孔中，在高压作用下将浓的阻燃剂喷入。由于高压作用，使阻燃剂在木材内向四处喷射，这样能使喷射点周围相当大范围内得到较好的阻燃处理，同时，由于使用的是浓阻燃剂，还可以利用浓度差进行扩散。喷射处理后，将小孔堵塞起来。这种方法对细木工构件，如门、窗的框架进行修补处理是理想的。目前，这种喷射器正在研制试用中。

1. 1. 6 标准及验收

1. 木材阻燃有关的标准

《难燃胶合板》(GB 1801)

《难燃中密度纤维板》(GB/T 18958)

《水基型阻燃处理剂通用技术条件》(GA 159)

《阻燃材料燃烧性能试验方法 木垛法》(GA/T 42.1)

《阻燃材料燃烧性能试验方法 火管法》(GA/T 42.2)

《阻燃材料燃烧性能试验火传播试验方法 火管法》(GB/T 17658)

《建筑材料燃烧性能分级方法》(GB 8624)

《建筑材料燃烧性能分级方法》(GB 8625)

《建筑材料可燃性能试验方法》(GB 8626)

《建筑材料燃烧及分解的烟密度试验方法》(GB 8627)

2. 木材阻燃性能检测方法

(1) 火管仪测试法

用于测试阻燃板的可燃性，提供其在可控着火条件下燃烧性（失重百分率）的相对值，还可测出失重速度、燃烧时间、残焰时间和温度的增加等数值。火管法为我国阻燃木材燃烧性能公共行业标准测试法，国外同类标准有 ASTM E 69-80，ASTM E 119 等。

(2) 热分析法

是研究木质材料的热分解、燃烧、阻燃机理及测定与热相关的物理量（如热容、热导率等），包括热重分析（TG）、差热分析（DTG）、差示扫描量热分析（DSC）、热一力分析和逸出气体分析等，样品用量少、简便、快速，是研究木材热解及木材阻燃的主要手段之一，如 TG-DTG 联用可获得阻燃处理前后木材热解峰温及残余炭量的变化。

(3) 锥形量热仪法 (简称 CONE)

是建立在氧消耗原理上的燃烧测试仪。材料燃烧每消耗 1g 氧气, 释放出热量 13.1kJ, 受材料种类和燃烧程度的影响很小。因此测定材料燃烧的耗氧量, 可精确计算热释放量及试样在单位时间单位面积上释放的热量 (热释放率 HRR)。CONE 可模拟多种火焰强度, 同时提供热、烟、质量变化及烟气成分等的相关参数和重要信息。试验结果与大型燃烧试验相关性良好, 是一种小比例火灾模拟试验仪, 被公认为具有科学、合理、先进性, 但因价格高目前尚难普及。

(4) 模型试验法

是在建立实木燃烧、火险及其危害评估等数学模型的基础上, 将计算机火灾模拟与大型火灾试验结合, 作为材料实际火灾的依据, 对其危害进行评估, 是今后火灾试验标准的发展方向之一。

1.2 木材防腐材料

1.2.1 木材防腐剂的分类

木材防腐剂主要包括油类防腐剂、油载防腐剂和水载防腐剂 3 类, 目前使用最为广泛的是水载防腐剂。

1. 油类防腐剂

油类防腐剂通常是煤焦油及其分馏物如煤焦杂酚油、蒽油和煤焦杂酚油与石油混合液等。从煤焦油中高温提炼出来的这些分馏物可统称为煤杂酚油, 它本身可能含有几百种有机化合物, 目前已鉴定出的有 100 多种。除了对人畜的毒性以及对环境造成影响外, 煤杂酚油处理的另一个主要缺点是处理后制品的表面有渗出现象, 这些缺点限制了煤杂酚油的应用范围。目前, 这种防腐剂只能用于处理工业用材, 如枕木和电线杆等, 而不能处理民用木材。在所有用途的处理材中, 枕木占 70%, 电线杆占 15%~20%, 其他用途占 10%~15%。尽管煤杂酚油的使用面临着许多来自环保方面的压力, 但是煤杂酚油可以在土壤中迅速降解, 并且废弃的处理材还是一种很好的燃料。在一些特定的用途方面, 还没有别的防腐剂可以代替煤杂酚油, 因此这种防腐剂还将继续使用。目前需要解决的问题是渗出现象, 得到一个干净的处理材表面。煤杂酚油需要进行压力处理, 使防腐剂能很好地渗入木材中, 提高处理质量。

2. 油载防腐剂

油载防腐剂主要包括五氯酚、环烷酸铜等。五氯酚是氯和苯酚的反应产物, 是一种结晶化合物。1928 年开始作为木材防腐剂使用, 是一种使用比较广泛的油载防腐剂, 主要用于处理电线杆和桩材。但是由于它对人畜毒性较大以及对环境的影响, 因此在许多国家如新西兰已经被禁止使用。这种防腐剂对腐朽菌及大部分的虫类有效, 但是对海底钻孔的虫类无效。环烷酸铜在 1889 年开始就用于木材防腐, 但是一直没有得到广泛使用。直至 20 世纪 80 年代, 才开始用于处理电线杆、桥梁、篱笆等用材。有研究指出, 油载防腐剂的高效性除了来自于防腐成分本身, 还在很大程度上来源于所采用的载体—油。

3. 水载防腐剂

由于能源危机、表面特性以及性能优越的水载防腐剂的出现, 在许多场合油载防腐剂