

Properties of Wood Treated with
Water-borne Preservatives

水基防腐处理 木材的性能研究

曹金珍 于丽丽 等 著



科学出版社

www.sciencep.com



水基防腐处理木材的 性能研究

Properties of Wood Treated with
Water-borne Preservatives

曹金珍 于丽丽 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是中华人民共和国教育部资助的高等学校全国优秀博士学位论文作者专项基金“水基防腐处理在中国杉木人工林木材上的应用及处理材性质研究”课题的研究成果之一。书中对水基防腐处理木材的耐腐蚀性、抗水流失性、吸湿性、表面润湿性、松弛特性、金属腐蚀性的研究方法及其研究结果进行了介绍,同时也介绍了水基防腐处理木材的环境安全性及水载型木材防腐剂的未来发展方向。研究采用的树种主要为我国的主要人工林树种——杉木。

本书对从事木材保护与改性方面科研和教学、防腐处理木材的生产管理及技术开发、防腐处理木材的相关政策和标准制定等相关方面的工作者有重要的参考价值,同时也可作为高等院校木材保护与改性课程的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水基防腐处理木材的性能研究=Properties of Wood Treated with Waterborne Preservatives/曹金珍,于丽丽等著.——北京:科学出版社,2010
ISBN 978-7-03-029403-6

I. ①水… II. ①曹… ②于… III. ①木材防腐法 IV. ①S782.33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第213049号

责任编辑:张会格 王 玥 王 静 / 责任校对:鲁 素

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年11月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010年11月第一次印刷 印张:17 1/4

印数:1—1 000 字数:335 000

定价:58.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

著者名单

主要著者:

曹金珍 于丽丽^①

著者分工:

第1章 曹金珍

第2章 刘智^② 于丽丽 曹金珍

第3章 于丽丽 余丽萍^③ 曹金珍

第4章 曹金珍 闫丽^④

第5章 曹金珍 闫丽

第6章 曹金珍 刘智 朱礼智^① 王怡

第7章 高巍 曹金珍

第8章 唐镇忠^⑤ 于丽丽 曹金珍

第9章 曹金珍 姜卸宏 郑兴国

备注: 现工作单位^①天津科技大学^②河北农业大学^③贵州大学^④西北农林科技大学^⑤中国木材节约发展中心; 其余未标注者为北京林业大学。

前 言

木材是一种可再生、可循环、可再利用、可减排的生态环境材料，易于加工利用，强重比高，热绝缘性和电绝缘性好，具有抗冲击性和安全预警性，同时具有良好的视觉、触觉、体觉和温湿度调节特性。但同时木材也是一种天然生物材料，在使用时容易受到自然界中的微生物和虫蚁等的侵袭，从而限制了其使用范围，缩短了使用寿命。因此，对木材进行防腐处理是非常必要的，特别是在户外使用的情况下尤其必要。木材的防腐处理效果受到很多因素的影响，如防腐剂的种类、防腐处理工艺、有效成分含量、木材树种、使用地点等。根据美国木材防腐研究所（AWPI）提供的数据，木材经过适当防腐处理后使用年限是未处理材的 8 倍左右。因此，对木材进行防腐处理是扩大木材应用范围、节约木材资源，从而推动我国建立节约型社会的有效措施。

木材防腐剂主要分为油类防腐剂、油载型防腐剂和水载型防腐剂三类。考虑到能源危机和表面性能等方面的因素，油类防腐剂及以油为载体的油载型防腐剂已经逐渐被以水为载体的水载型防腐剂所取代。根据美国木材防腐协会（AWPA）2006 年制定的标准，水基防腐剂包括 ACC（酸性铬酸铜），ACZA（砷酸锌铜铵），CCA（铬化砷酸铜）A 型、B 型、C 型，DDAC（二癸基二甲基氯化铵），SBX（无机硼），ACQ（季铵铜）A 型、B 型、C 型、D 型，CDDC（二甲基二硫代氨基甲酸铜），CA（铜唑）A 型、B 型和 CX-A（铜 HDO）。其中 CCA 的使用已有 70 余年的历史，由于其价格便宜、防腐效果优越，其使用量曾在所有的防腐处理木材中占有很大的比例。但是，由于其配方中含有砷和铬，其处理材在使用过程中对人畜存在安全隐患。另外，CCA 的废弃材不能像普通木材一样进行燃烧处理，因此其废弃问题也不能得到妥善解决。目前，很多国家和地区（如北美、大部分欧洲国家和日本等）规定限用或禁用 CCA。目前，我国尚未颁布有关限用或禁用 CCA 的法规，但是在中国建筑标准设计研究院组织编写的《建筑产品选用技术》中也提出了对 CCA 处理木材的应用范围的限制性条款。随着对环境及安全问题的日益重视，在我国 CCA 处理木材的使用量将逐渐下降，而其他不含砷和铬的环保型木材防腐剂的使用比例将逐渐上升。但是，我国目前缺乏木材防腐方面的新技术，使用的木材防腐剂和防腐技术的种类也比较单一，有必要开发新型的木材防腐剂和防腐处理技术，以提高国内木材防腐产业的总体水平。

广义的木材防腐不仅包括了防止腐朽菌的侵袭，同时也包括木材的防虫、防

白蚁等。目前该领域的研究重点是：①提高现有的含铜木材防腐剂中铜与木材的固着；②开发新型的不含金属的水载型木材防腐剂配方，并对处理材的各项性质进行研究；③提高热改性木材的防腐性能以及热改性木材的防腐机理研究；④其他改性处理木材的防腐性能及防腐机理研究；⑤生物方法在木材防腐中的应用；⑥开发与防腐处理技术及热改性技术相配套的木材防水剂、光稳定剂和染色剂等。

开发一种新的木材防腐技术，需要了解防腐处理木材的性能要求及其检测方法，同时明确防腐剂与木材之间的反应机理。本书介绍了防腐处理木材的耐腐性、抗流失性、物理力学性质、表面特性、金属腐蚀性等方面的原理、方法和一些研究结果，同时针对木材防腐剂的环境保护要求，对不同防腐剂的环境安全特性也进行了详细的介绍，对水载型木材防腐剂的发展趋势进行了展望。本书是高等学校全国优秀博士学位论文作者专项基金“水基防腐处理在中国杉木人工林木材上的应用及处理材性质研究”课题的研究成果之一，是课题组成员五年研究工作的总结。

全书共包括9章。第1章绪论，介绍了木材的生物劣化和木材防腐的目的和意义，由曹金珍教授撰写；第2章水基防腐处理木材的耐腐性，由刘智（河北农业大学）、于丽丽博士（天津科技大学）和曹金珍教授撰写；第3章水基防腐处理木材的抗流失性，由于丽丽博士、曹金珍教授、余丽萍博士（贵州大学）撰写；第4章水基防腐处理木材的吸湿性及吸湿热力学，由曹金珍教授和闫丽博士（西北农林科技大学）撰写；第5章水基防腐处理木材的表面自由能，由曹金珍教授和闫丽博士撰写；第6章水基防腐处理木材的应力松弛及介电弛豫，由曹金珍教授、刘智、朱礼智（天津科技大学）、王怡撰写；第7章水基防腐处理木材的金属腐蚀性，由高巍、曹金珍教授撰写；第8章水基防腐处理木材的环境安全性，由唐镇忠（中国木材节约发展中心）、于丽丽博士、曹金珍教授撰写；第9章水载型木材防腐剂研究展望，由曹金珍教授、姜卸宏、郑兴国撰写。本书的主要著者为曹金珍教授和于丽丽博士，其余著者均为曾在或正在本课题组工作的博士或硕士研究生。本书旨在为从事木材保护与改性方面科研和教学、防腐处理木材的生产管理及技术开发、防腐处理木材的相关政策和标准制定等相关方面的工作者提供参考和借鉴。

由于著者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

著 者

2010年8月

于北京林业大学

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 木材的生物劣化	1
1.2 木材防腐的目的和意义	13
1.3 水载型木材防腐剂的种类和特点	14
1.4 防腐处理木材的性质要求及测定标准	16
参考文献	17
2 水基防腐处理木材的耐腐蚀性	18
2.1 耐腐蚀性的测定方法概述	18
2.2 应力松弛法在耐腐蚀性测定上的应用	21
2.3 经过不同后处理的 ACQ-D 处理材的野外耐久性试验	31
参考文献	49
3 水基防腐处理木材的抗流失性	51
3.1 抗流失性的测定方法	51
3.2 水基木材防腐剂有效成分在木材中的固着机理	62
3.3 水基防腐处理木材的加速固着方法	77
3.4 微波后处理对水基防腐处理木材中铜的加速固着	89
参考文献	102
4 水基防腐处理木材的吸湿性及吸湿热力学	111
4.1 乙醇胺铜处理木材的吸湿性	111
4.2 乙醇胺铜处理木材的吸湿热力学	121
参考文献	129
5 水基防腐处理木材的表面自由能	130
5.1 表面润湿理论及表面自由能计算	130
5.2 几种工业水基防腐处理木材的表面自由能	132
5.3 ACQ-D 处理木材的表面特性	138
参考文献	145
6 水基防腐处理木材的应力松弛及介电弛豫	147
6.1 应力松弛理论	147
6.2 乙醇胺铜处理木材的应力松弛	149

6.3	ACQ-D 防腐处理木材的应力松弛	154
6.4	介电弛豫理论	160
6.5	乙醇胺铜处理木材的介电弛豫	163
	参考文献	171
7	水基防腐处理木材的金属腐蚀性	173
7.1	金属腐蚀性产生的机理	173
7.2	金属腐蚀性的测试方法	183
7.3	ACQ 防腐剂的金属腐蚀性	188
7.4	不同配比的 ACQ 防腐剂处理木材对金属的腐蚀性	193
	参考文献	197
8	水基防腐处理木材的环境安全性	201
8.1	CCA 防腐处理木材对环境的影响	201
8.2	其他水载型防腐处理木材对环境的影响	246
	参考文献	251
9	水载型木材防腐剂研究展望	253
9.1	无机硼类	253
9.2	有机胺类	256
9.3	有机杀菌剂类	260
9.4	纳米杀菌剂类	261
	参考文献	265

1 绪 论

1.1 木材的生物劣化

木材在外界条件的作用下，会发生变质败坏，从而导致性能的下降，这种现象称为木材劣化。木材的生物劣化是指由生物引起的木材劣化现象，根据生物种类的不同分为微生物劣化、昆虫（包括白蚁）劣化和海生动物劣化三类，其劣化原因如表 1-1 所示。

表 1-1 木材的生物劣化

序号	木材劣化种类	劣化现象	劣化原因	抵抗劣化的性质
1	微生物劣化	产生腐朽、霉变、变色	腐朽菌、霉菌、变色菌	耐腐性、防霉性、防变色性
2	昆虫劣化	虫害（含蚁害）	昆虫、白蚁	抗虫蚁性
3	海生动物劣化	钻孔	海生动物	耐蛀蚀性

1.1.1 微生物劣化

微生物是包括真菌、细菌、病毒以及一些小型的原生动物、显微藻类等在内的一切肉眼不可见或不清晰的微小生物的总称。危害木材的微生物很多，但主要有真菌和细菌两大类。按照林奈（1735）建立的两界分类系统（动物界和植物界），它们属于植物界藻菌植物门菌类。自然界中真菌的种类超过 100 万，但是只有相对少数的真菌可以降解木材。不同的微生物对木材的损害途径各不相同，从被侵害木材的外观上也可以进行大致的区分。微生物劣化主要包括腐朽、霉变、变色和细菌败坏等几类。下面将对这几类微生物劣化方式进行简要的介绍（图 1-1）。

1.1.1.1 腐朽

腐朽主要分为褐腐和白腐两类，现在通常也把软腐归为腐朽的一类。褐腐和白腐是由担子菌侵害而引起的，都有子实体（俗称的“蘑菇”）。一般，通过辨别腐朽菌的子实体的外部特征可以确定褐腐菌和白腐菌的种类。而软腐菌则和变色菌一样属于子囊菌纲或半知菌纲。这些不同的腐朽类型对木材的危害以及被害材的特征都不尽相同，表 1-2 中比较了褐腐、白腐、软腐这三种不同的形式。

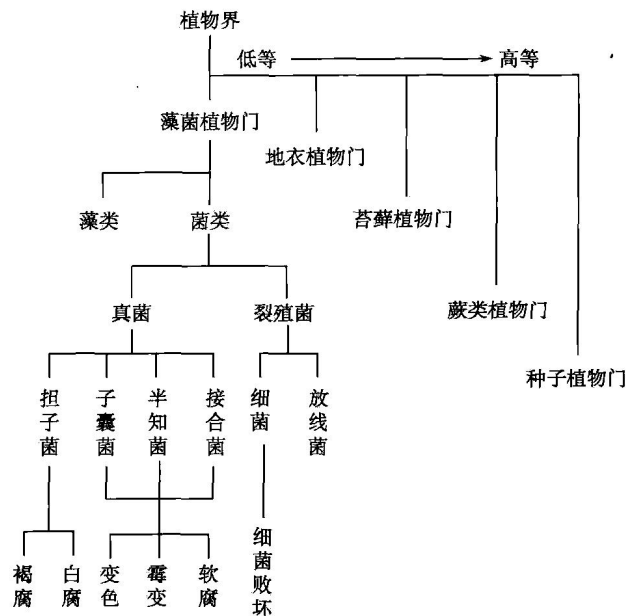
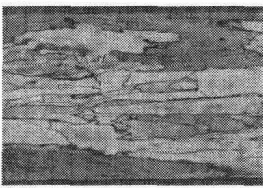


图 1-1 引起木材微生物劣化的微生物种类

表 1-2 不同木材腐朽类型比较

	褐腐	白腐	软腐
菌类	褐腐菌（如密黏褶菌）	白腐菌（如彩绒革盖菌）	软腐菌（如球毛壳菌）
所属纲	担子菌纲	担子菌纲	子囊菌纲或半知菌纲
危害木材种类	主要为针叶材	主要为阔叶材	针叶材、阔叶材（略多）
木材含水率	半湿材（对密度低的树种来说含水率 40%~150%最适宜，密度高的树种含水率略低一些，干朽菌要求的含水率更低一些）		与水长期接触或在潮湿土壤中的湿木材
宏观特征	早期变化不明显，逐渐变红褐色，呈块状裂纹，类似正方形图案	早期变化不明显，逐渐变白或变色，一般有斑点，常能观察到暗色的带线	早期木材变软，出现细小裂痕，表面黑褐色黏滑，逐渐从表面向内发展
分解的木材成分	纤维素和半纤维素，留下部分为氧化的棕色的木质素	几乎全部成分，对木质素的降解尤其快	主要为纤维素
图例			无

图片来源：褐腐，《中国储木及建筑木材腐朽菌图志》，戴玉成主编；白腐，*Understanding Wood*，Hoadley R B.

褐腐菌主要分解木材中的纤维素和半纤维素，基本不破坏木质素。腐朽木材呈龟裂状或方块状，材色呈褐色、深棕色，纵横交错裂缝间有时候有菌丝存在。我们知道，纤维素在木材中的作用好比建筑中的钢筋，木材的强度主要靠它来实现。因此褐腐后的木材纤维素含量大幅度下降，大大降低了木材的强度，是一种破坏性的腐朽。常见的木材褐腐菌有密黏褶菌 (*Lenzites trabea* / *Gloeophyllum trabeum*)、干朽皱孔菌 [*Merulius lacrymans* (Wulf.) Schum]、白干朽菌 [*Poriavaporaria* (Fr.) Cooke]、篱边革柎菌 (*Lenzites sepiaria* / *Gloeophyllum spiarium*)、洁丽香菇 (*Lentinus lepideus*) 等。

白腐菌几乎能降解木材中所有主要成分，尤其是半纤维素和木质素，由于木质素的快速降解而使腐朽材呈现白色，因此称为白腐。白腐后木材可呈现筛孔状腐朽、轮状腐朽、大理石状腐朽和海绵状腐朽等不同的形式。常见的木材白腐菌包括彩绒革盖菌 (*Coriolus versicolor* / *Polyporus versicolor*)、毛革盖菌 (*Coriolus hirsutus* / *Polyporus hirsutus*)、桦革柎菌 [*Lenzites betulina* (L.) Fr.]、普通裂褶菌 (*Schizophyllum commune* Fr.) 和松心腐层孔菌 [*Fomes pini* (Thorex pers) Lloyd] / 松栓菌 (*Trametes pini* Brot ex Fr.) 等。

褐腐菌和白腐菌适宜生长的因素包括食物、水分、温度、空气和酸碱度等。褐腐菌和白腐菌具备可以消化木材中主要成分的酶（如褐腐菌具有水解纤维素的酶，而白腐菌具有分解木质素的酶），通过这些酶的作用将木材的大分子物质分解为小分子的碳水化合物，从而为木腐菌提供其生长发育所需的碳源和氮源。除了少数菌种以外，一般的褐腐菌和白腐菌在木材含水率为 30%~60% 时活动比较旺盛，含水率过高和过低都可以抑制腐朽菌的生长。木腐菌生长发育最适宜的温度为 25~30℃，但是只要在 3~38℃ 它都能生长发育。当温度降低到 3℃ 以下时，它的生长速度减慢或处于休眠状态，但是不会死亡。只有在 100℃ 以上高温条件下才可以达到杀灭腐朽菌的效果。另外，木腐菌和其他真菌一样都是好氧菌，氧气是它生长发育的必要条件之一。但是木腐菌所需要的氧气量很少，因此很容易达到，有的仅靠木材孔隙内的氧气量就能完成其生长发育过程。木腐菌适宜在偏酸性环境中生长，而绝大多数木材的 pH 为 4~6，呈酸性，所以没有处理的木材的酸碱性非常适合木腐菌的生长发育需要。而高碱性 (pH 在 8.0 以上) 溶液则能抑制木腐菌的生长。另外，如光线等也对木腐菌生长发育有一定的影响，不同的木腐菌对于光线的要求也是不同的，对于危害建筑物内木材的木腐菌来说，一般喜好阴暗的环境，不需要直射光线。而对于危害露天木材的木腐菌来说，它们能承受直射光线，在形成子实体期间更是需要光线的照射。

软腐和以上所述的褐腐和白腐有所不同，软腐一般发生于长期浸在不流动的水中，立在潮湿土壤中或长期水淋状态下的木材。软腐可以使木材重量变轻，并使木材表层变软。它和褐腐的共同点是都缺乏分解木质素的酶，因此主要分解的

是木材内的纤维素。但是和褐腐相比，软腐分解纤维素的过程比较缓慢，因此强度的下降也比褐腐要慢。

目前已知的软腐菌有 200 多种，其中以球毛壳菌最为典型，危害力也较强。在大多数情况下，这类真菌只侵害木材表层，使木材组织软化，表面黑褐色、黏滑，木材干燥后呈细小裂纹，与风化后的木材比较接近。一般在风化的木材中都普遍存在软腐菌，因此可以认为软腐菌是导致木材风化的因素之一。

软腐菌对温度、湿度、pH 以及防腐剂都有很强的耐受力。它耐酸碱，能在高温、高湿和缺氧条件下生长。对于软腐菌来说，最适宜生长的温度比木腐菌高，一半以上的软腐菌的适宜生长温度为 $34\sim 38^{\circ}\text{C}$ ，它危害的木材的含水率很高。在酸碱性方面，虽然微酸性的环境最适合软腐菌生存，但是一半以上的软腐菌可以在中性环境中生存，少数甚至能在略碱性环境中生存。另外，软腐菌可以分解水中的木材，这时它所需的氧来自水中溶解的氧。

无论是哪种形式的腐朽，腐朽后木材的化学组分均发生很大的变化，从而影响木材的各项物理和力学性质。腐朽通常可以使木材的吸水性、吸湿性增大，木材的韧性、抗弯强度、抗压强度和抗冲击强度等力学性质明显下降。但是，不同形式的腐朽，由于其分解的木材成分以及分解的程度和速度各不相同，因此对于各项性质的影响也是不同的。

1.1.1.2 发霉和变色

木材的发霉是由于霉菌侵蚀木材而引起的，危害木材的霉菌属于子囊菌纲与半知菌纲的真菌，如木霉属 (*Trichoderma*)、青霉属 (*Penicillium*) 和曲霉属 (*Aspergillus*)。不同属别的霉菌的结构形态及其分生孢子的颜色各不相同，因

此感染了不同颜色的孢子后在木材表面形成不同颜色的霉斑，如黑、绿、黄红、蓝绿等。例如，曲霉属的黑曲霉产生的孢子呈黑色，感染这种孢子的木材表面呈黑色斑点，有时也连成一片。一般地，各类霉菌引起的变色如下：木霉菌——变绿，镰刀菌——变红或变紫，曲霉菌——变黑，青霉菌——变绿，根霉菌——变黑。

霉菌喜好潮湿的环境，因此没有经过干燥的原木端头、板方材、单板等很容易发霉，尤其是阔叶材的边材部分 (图 1-2)。木材的发霉通常只限

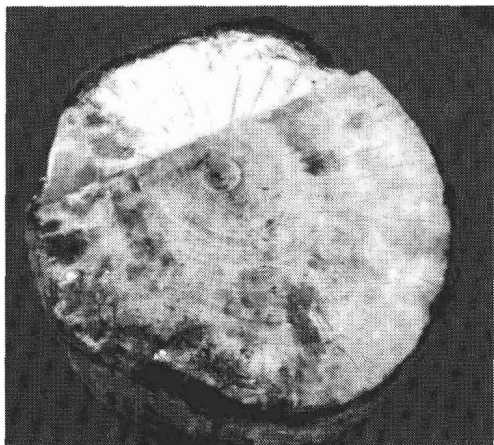


图 1-2 刚砍伐的毛白杨木材的发霉现象

于表层或靠近表面很浅的层，只有在适宜的条件下菌丝才会向内部侵入。菌丝是通过纹孔向木材内层侵入的，主要吸收木材内的一些淀粉和糖等营养物质，对细胞壁几乎没有影响，因此通常发霉对木材的强度是没有影响的，但是由于纹孔被破坏，所以渗透性有所增加。但是这并非是一个好的可利用的现象，因为这样引起的渗透性的提高在木材内并不均匀，如果对这样的木材进行防腐处理的话，经常可以发现防腐剂在木材内分布不均匀的现象。

虽然一般霉斑对木材材质没有大的影响，但对于胶合板或单板胶合还是有一定的影响。除有特殊要求的木材外，均不加限制。但蓝变或发霉的木材往往有利于木腐菌的侵害，所以木材开始发霉、变色时，应进行防腐处理，加强木材保管。

蓝变是指由蓝变菌侵染木材后其有色菌丝集聚而引起的木材变色现象（图 1-3）。由于其发生部位主要是边材，因此又称作边材青变。蓝变是变色菌引起的木材变色中最常见的一种，在针叶材的边材位置十分常见，如马尾松、云南松、樟子松、西部铁杉、花旗松等。另外，有一些阔叶材也很容易发生蓝变，如橡胶木等。这些树种的特点是木材内的淀粉、糖类的含量较高，可以为蓝变菌提供营养。

木材蓝变菌主要是子囊菌纲和半知菌纲的球二孢属 (*Botryodiplodia*)、长喙壳属 (*Ceratocystis*)、小长喙壳菌属 (*Ceratostomella*)、球壳孢科 (*Sphaeropsidaceae*)、色二孢属 (*Diploda*) 等，危害橡胶木最严重的是可可二球孢 (*Botryodiplodia theobomae*)。这些真菌的子囊壳呈细梗状，在细梗上长有孢子，孢子通过风、水、土壤、昆虫等途径传播。

发生蓝变需要的温度、空气和酸碱度条件与腐朽菌相似，但是在营养物质和水分条件上和腐朽菌

有所区别。腐朽菌的食物是木材的主要成分，如纤维素、半纤维素和木质素，而蓝变菌生长所需的营养物质为木材中的淀粉和单糖，另外还需要少量木材中的微量物质（无机盐、氮化合物等）。在水分方面，木材含水率达到 20% 以上蓝变菌就能生长发育，因此如果采伐后的木材没有立即干燥或干燥缓慢，蓝变菌侵染就严重。相反，采伐后的木材如果能立即干燥到含水率 20% 以下，并且在加工和使用中始终将含水率保持在 20% 以下，就能防止蓝变。

蓝变通常发生在锯材的表面或原木的端头，但是有的时候表面蓝变不明显的

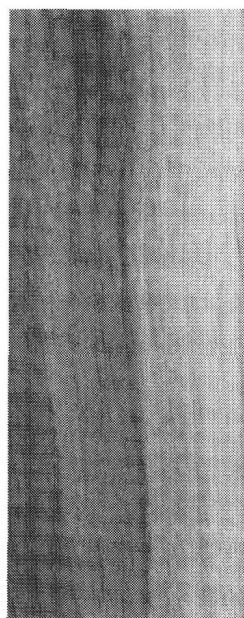


图 1-3 木材的蓝变
(图片来源: *Understanding Wood*)

木材其内部也可能发生严重的蓝变。这主要是因为已经感染了蓝变菌的木材表面被快速干燥,因此木材表面的含水率条件不能满足蓝变菌生长的条件,使其表面的菌丝不能发展成有色菌丝,因此表面没有明显的变色。而木材内部如果仍然比较潮湿的话,那么蓝变菌就能继续发展成有色菌丝,造成木材内部变色。

蓝变对木材的物理性质、力学性质和耐腐性都有不同程度的影响。蓝变后木材的吸水性和吸湿性增大,对木材的冲击强度和韧性会有一定的影响,但对其他力学强度的影响不大。不过,因为蓝变的木材更容易腐朽,因此严重蓝变的木材通常也伴随着木材的腐朽,所以还是应该考虑到腐朽对木材力学性质的影响。

1.1.1.3 细菌败坏

许多细菌能在木材中生长繁殖,即使在健康树木的边材中也存在大量的兼性厌氧细菌和固氮细菌,但是在木材中很少发现放线菌的存在。木材在使用过程中由于树种和使用环境的不同,引起降解的细菌种类也有所不同。有研究者曾从一些木制品中分离出 198 种细菌,它们主要属于杆菌属 (*Bacillus*)、产气杆菌属 (*Aerobacter*) 和假单胞菌属 (*Pseudomonas*)。

细菌能够降解木材细胞间的纹孔膜,因此它能够通过纹孔从一个细胞进入另一个细胞。一般来说,细菌是从木材的内皮开始,沿着木射线和横向树脂道很快地进入木材内,进而遍布木材内部。影响木材发生细菌败坏的条件包括以下几个方面:

(1) 营养物质:细菌不仅能够分解纤维素,如果条件合适,时间足够长,有些细菌也会严重地降解木质化的材料。

(2) 木材含水率:含水率增大时,细菌的数量也将增加,饱水木材中细菌的数量远高于干燥状态下的木材。因此储水池中的原木、喷水保存的木材或浸没在淡水或海水中的木构件表面也常常发现有大量细菌存在。如果木材储存在不流动的死水中,细菌生长所需要的营养物质积累愈多,愈有利于细菌的繁殖,细菌降解木材也就愈严重。这也说明细菌具有在缺乏氧气的环境中繁殖的能力,有些细菌还能厌氧繁殖。

(3) 与土壤的接触程度:由于土壤中通常存在着大量的细菌,因此与潮湿的土壤接触可能会加剧木材的细菌败坏。

(4) 是否存在真菌:除了在比较特殊的环境中,或者经过很长的时间,否则细菌对木材的破坏作用并不大。但是,木材中的细菌败坏常和腐朽同时发生,细菌的存在有助于真菌侵入木材,促进木材的最终生物降解。

细菌对有毒的化学药品具有很强的抵抗力,它不但能够分解煤杂酚油,而且还对铬化砷酸铜 (CCA)、五氯苯酚和三丁基氧化锡等防腐剂具有很高的耐

药性。

细菌降解对木材物理性质具有一定的影响。细菌的降解作用会增加木材的渗透性，从而增加木材的吸水能力，由这种木材制成的木制品进行短时间的浸渍处理，或用真空法进行处理时，会吸收过量的防腐液，这给后续的油漆加工造成困难。在用加压法浸注防腐剂时，也会出现这种不正常的吸收量的情况。一般说来，细菌不会明显地降低木材的力学强度，但是遭受一些细菌长期侵害的木材，其细胞壁也会严重地降解，造成力学强度显著地下降。木材力学强度的下降和木构件的大小及细菌侵入的深度有关。根据电子显微镜观察的结果，发现经细菌降解后的木材细胞壁的超微构造的变化和真菌引起的变化是不同的，这说明细菌和真菌侵害木材的方式是不同的。被淡水或泥浆淹没的木材也会受到细菌的降解，即使像桩木那样大的木构件也会由于细菌的降解而使其强度大大地下降。比较薄的木构件受细菌的作用强度下降比较明显，在几年甚至几个月内其强度就会降低许多。

1.1.2 昆虫劣化

危害木材的昆虫的种类很多，主要分布在昆虫纲的 6 个目中，分别为鞘翅目、等翅目、膜翅目、半翅目、鳞翅目和双翅目（图 1-4）。大部分木材害虫属于前两目，即鞘翅目和等翅目。下面简要介绍不同目的昆虫的特点。

1.1.2.1 鞘翅目

鞘翅目是动物界中最大的一目，占昆虫纲昆虫的 40%，已知的有 35 万多种。危害木材的鞘翅目科类包括天牛科（Cerambycidae）、粉蠹科（Lyctidae）、窃蠹科

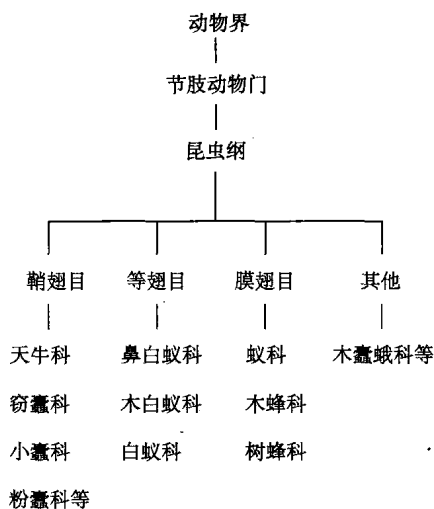


图 1-4 危害木材的昆虫的类别

(Anobiidae)、长蠹科（Bostrichidae）、长小蠹科（Platypodidae）、象甲科（Curculionidae）、吉丁虫科（Buprestidae）和筒蠹科（Lymexylidae）等。我们平常所说的留粉甲虫就是指这一目的昆虫。经过这类昆虫蛀蚀后的木材及木制品的孔道充满了粉末，因此称为留粉甲虫（图 1-5）。

天牛科是鞘翅目中最大的一科。世界上已知属于该科的昆虫种类超过 2 万。天牛是很多果树和林木的天敌，其中有一些也危害木材。该科昆虫的成虫具有长形触角，其长度一般至少超过体长的 1/2，一些甚至可超过其身体长度的 1 倍以上。天牛的幼虫呈乳白色，从头部至尾部逐渐变细，足或存或缺，身体的各个节

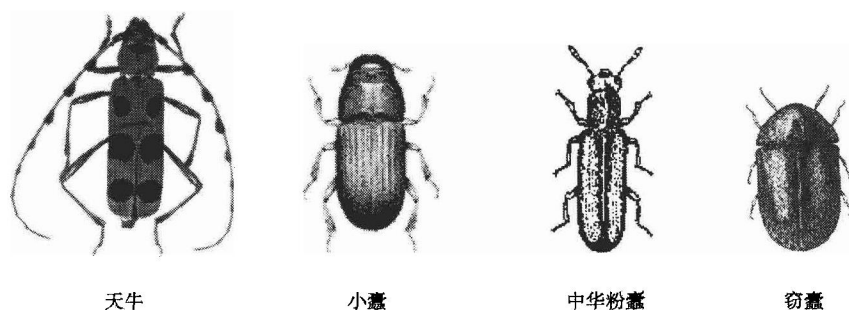


图 1-5 鞘翅目主要昆虫类型



图 1-6 天牛幼虫在木材内形成孔洞

上长有小的突起，便于其行动。它在木材中钻孔寄居（图 1-6），尤其是针叶材的边材部位，这是因为边材中集中了天牛幼虫所需要的营养物质。天牛的幼虫蛀成的虫孔为椭圆形的弯曲孔道，不规则地穿过木材，孔道充满了粉末。由于天牛本身的大小变化很大，因此虫孔的大小也根据天牛的种类不同而不同，大一些的直径可达 6~10mm。因此，天牛对木材的危害主要是由天牛幼虫引起的。

长小蠹科和小蠹科的一部分属于食菌小蠹，是主要的湿木材害虫，一般要求木材含水率高于 48%。所谓食菌小蠹，是指其身体的某些部分藏有真菌孢子，当成虫钻蛀木材时，真菌也随之进入木材，在虫道内发育，食菌小蠹的幼虫就以真菌的菌体及其分泌物作为食物，两者之间呈共生关系。食菌小蠹的虫道中没有蛀屑，周边褐色，虫孔细小，直径在 1.5mm 以下。

粉蠹科的昆虫个体狭长、小型、颜色多数为黑色、暗褐色，也有带黄、红色的。触角短，呈球杆状。主要危害枯木和干材，它们适宜的木材含水率为 7%~30%，一般室内使用的木材的含水率范围也在此之内，因此是建筑用材、木制品和家具的重要害虫，其幼虫对于硬木家具和木制品的危害十分严重，它以木材内的淀粉等为食物，将木材蛀成直径为 1~2mm 的虫道，从蛀孔中排出粉末。栎木、杨木、山核桃、白蜡等树种最容易受到粉蠹的侵袭，而对于松柏类的木材其危害不大。常见的粉蠹科昆虫包括栎粉蠹、磷毛粉蠹、中华粉蠹、褐粉蠹和南方粉蠹等。

窃蠹科的昆虫也称番死虫，属于小型甲虫，呈卵圆形或椭圆形，触角生于复眼前方，头下方的前足基节呈球状，后足的基节为斜形，鞘翅覆盖整个腹背。幼虫为乳白色，弯曲，生活期长，蛀蚀速度较慢，蛀屑呈细团粒状排出孔外。窃蠹也是干材害虫，除了危害木材外，还蛀食中药材、纸张等。在危害木材时大多数危害硬阔叶材的边材，如杨木、桦木、山毛榉等，但也有一些属专门危害针叶材，例如，松窃蠹 (*Ernobius mollis*) 常危害带皮的红松、黑松、落叶松、云杉、冷杉等树种的干材或枯木。成虫在树皮或木材孔隙中产卵，然后在受害材上蛀出 3mm 左右直径的圆孔并从中钻出。常见的窃蠹包括家具窃蠹 (具斑窃蠹)、梳齿角番死虫 (梳角窃蠹)、大理窃蠹、松窃蠹、红毛窃蠹等。

1.1.2.2 等翅目

等翅目 (Isoptera) 即白蚁共分为六个科，其中包括木白蚁科 (Kalotermitidae)、鼻白蚁科 (Rhinotermitidae)、白蚁科 (Termitidae)、澳白蚁科 (Mastotermitidae)、齿白蚁科 (Serritermitidae) 和草白蚁科 (Hodotermitidae)。其中草白蚁科以草为食物，对木材无影响；澳白蚁科和齿白蚁科在我国罕见，因此前三个科的白蚁是我国危害木材的主要白蚁类型。这类昆虫的特点是有翅成虫的中胸和后胸的背面各生翅一对，翅为膜质，形状狭长。前后翅形状大小几乎相等，所以称为等翅目。

全世界已知白蚁种类有 3000 种左右，绝大多数分布在赤道两旁。东洋区种类最多，有 1000 种左右，是白蚁分布中心；其次是非洲和南美洲一带，近 1000 种；大洋洲有 200 种左右；少数种类可伸达北美及亚洲北部以及欧洲地中海沿岸。其危害面积约占全球总面积的 50%。我国已知等翅目昆虫 (白蚁) 4 科 43 属 522 种主要分布于华南地区，如云南、广东、广西、福建等省 (自治区)，有的种类也出现于长江两岸，有些甚至能到达华北及东北地区。全国除了黑龙江、吉林、内蒙古、宁夏、青海、新疆尚未发现白蚁外，其他省、自治区、直辖市均有分布。白蚁可通过分飞传播、蔓延侵入和人为传播等多种方式进行传播，危害十分严重。

白蚁是营巢穴生活的昆虫，按蛀巢的地点，一般将白蚁分为三类，即土栖、木栖和土木两栖三类。土栖型白蚁主要生活在土壤中，蛀巢于地下，以土壤中腐殖质、植物根茎、朽木等为食，要求食物的水分较大，在林区常危害活树，有时也危害巢区附近的建筑材。木栖型白蚁主要危害干燥木材，筑巢于木材中，对建筑材和家具等危害相当严重。土木两栖型白蚁蛀巢于地下或木材中，能侵入建筑物危害木结构等。