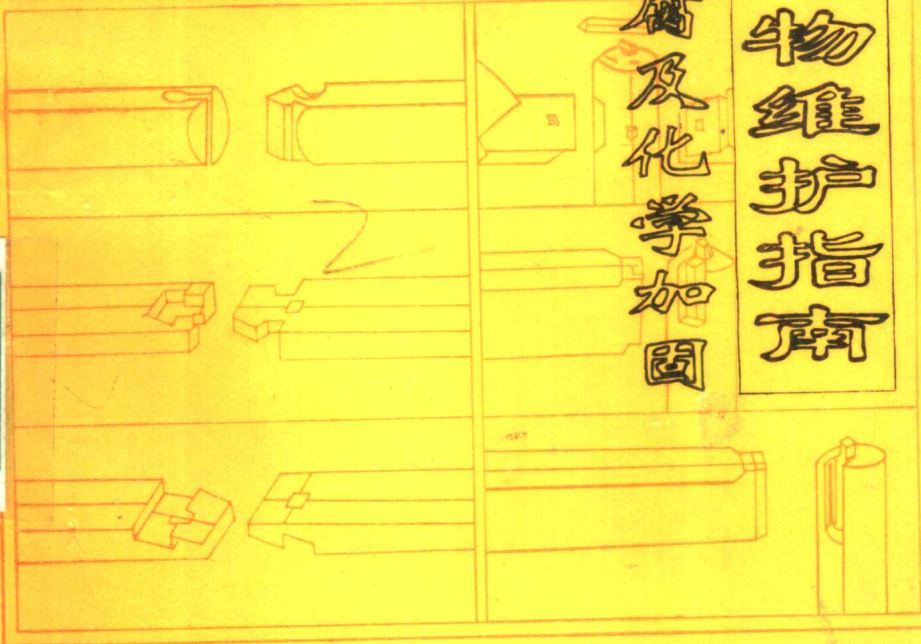
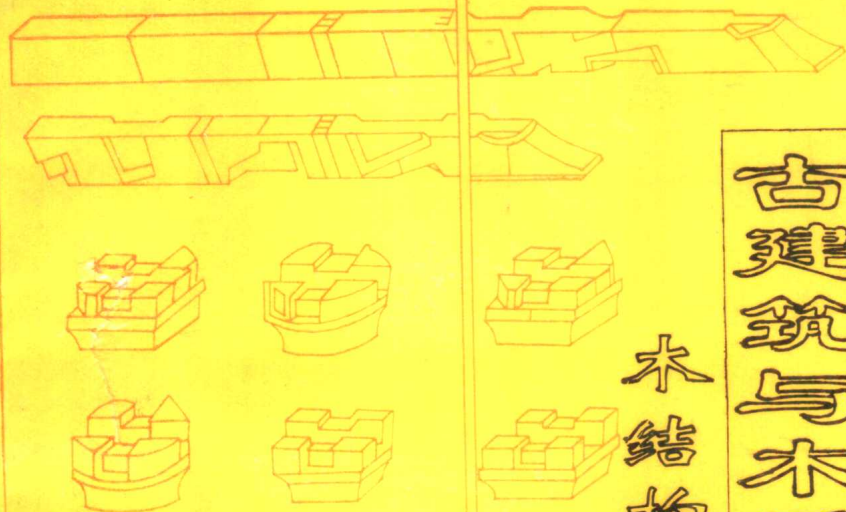


古建筑与木质文物维护指南

木结构防腐及化学加固

陈允适 李武 编著

中国林业出版社



TU-87

2

古建筑与木质文物维护指南

——木结构防腐及化学加固

陈允适 李武 编著

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

古建筑与木质文物维护指南：木结构防腐及化学加固 /
陈允适，李武编著. -北京：中国林业出版社，1995. 12
ISBN 7-5038-1511-6

I. 古… II. ①陈…②李… III. ①古建筑-文物保护-
指南②文物，木结构-木材防腐-化学加固-指南 IV. TU-
87

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 11576 号

中国林业出版社出版

(100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

河北涿州新华印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1995 年 12 月第 1 版 1995 年 12 月第 1 次印刷

开本：787×1092 毫米 1/32 印张：7.25

字数：165 千字 印数：1~3000 册

定价：12.80 元

前 言

我国虽有悠久的历史，但保留下来上千年的古建筑寥寥无几，而西方国家两千年以上的建筑仍有不少保存完好。这种情况在很大程度上是因其结构不同——我国建筑为木结构，而西方国家建筑为砖石结构所致。

木材除易燃外，还有一个致命的弱点，就是容易腐朽和虫蛀。我国传统建筑多以木材为其骨架，所以在维护古建筑、新建仿古建筑时，对木材的防腐处理则成为至关重要的环节。

笔者在多年从事古建筑维护工作中，木材防腐始终是一道难解的课题，总也找不到一种有效的方法。直到与陈允适先生合作之后，终于在这项工作上取得了突破性的进展。陈允适先生长期从事木材保护的科学研究，并直接参加了多处古建筑维修工程，有着丰富的理论和实践经验，特别是在应用最新科学技术成果方面，更有其独到的优势。

这次，配合陈允适先生完成此书，将我们工作中总结、积累下来的经验，配合以基本的理论知识综合介绍给读者，希望能对木材防腐，特别是对古建筑维护工作有所裨益。

国内外前人的研究成果，对于充实和完善此书的内容起着重要的作用，在此，著者对国内外同行专家们表示敬意和谢忱！

由于专业的局限，资料收集不够完全，书中疏漏和错误之处在所难免，祈望专家不吝指正。

李 武

1995年2月21日

目 录

古建筑与木质文物维护基础

1 古建筑与木质文物概述	(1)
1.1 古建筑与木质文物的地位	(1)
1.2 木材保护和化学加固的含义	(4)
1.3 木材保护的历史	(5)
2 古建筑木结构维修基础知识	(8)
2.1 我国古建筑的特点	(8)
2.2 古建筑维修中应了解的一些问题	(10)
2.3 立柱和梁架的维修	(12)
2.3.1 立柱的维修	(12)
2.3.2 梁架的维修	(15)
3 木材的构造	(18)
3.1 木材的解剖构造	(18)
3.2 木材的化学组成	(24)
4 木材的重要性质	(28)
4.1 木材含水率	(28)
4.2 木材密度和浸注性	(29)
4.3 木材强度	(31)
4.4 木材的天然耐久性	(35)
5 木材的各种损害	(35)
5.1 木材的生物损害	(36)
5.1.1 木材的植物性损害	(36)
5.1.2 木材的动物性损害	(40)

5.2 木材的物理损害	(54)
5.3 木材的化学损害	(55)
5.3.1 金属与木材的相互影响	(55)
5.3.2 木材与水分的关系	(56)
5.3.3 气体对木材的影响	(57)
5.3.4 化学物质对木材的损害	(58)

古建筑与木质文物防腐

6 木材的化学防腐	(61)
6.1 对木材防腐剂的原则要求	(62)
6.2 水溶性防腐剂	(63)
6.2.1 单一水溶性防腐剂	(63)
6.2.2 复合型水溶性防腐剂	(73)
6.3 油类和有机溶剂型防腐剂	(78)
6.3.1 油类防腐剂	(78)
6.3.2 有机溶剂型防腐剂	(80)
6.4 熏蒸剂	(85)
7 木材的非化学防腐	(89)
7.1 木材害虫的生物防治	(89)
7.2 物理方法消灭木材害虫	(90)
7.2.1 γ 射线	(91)
7.2.2 x射线	(93)
7.2.3 高频电磁波	(94)
7.2.4 声波	(95)
7.2.5 热能	(95)
7.2.6 冷冻	(96)
7.2.7 真空	(97)
7.3 改进结构设计, 避免菌虫危害	(97)

8 木材化学防腐处理方法	(103)
8.1 木材处理前的准备	(105)
8.2 常压处理法	(108)
8.2.1 涂刷法	(108)
8.2.2 喷淋法	(109)
8.2.3 浸渍法和浸泡法	(110)
8.2.4 热冷槽法	(112)
8.2.5 扩散法	(113)
8.3 加压处理法	(114)
8.3.1 加压处理法的原理	(114)
8.3.2 满细胞法	(115)
8.3.3 空细胞法	(118)
8.3.4 频压法	(121)
8.3.5 真空法	(122)
8.3.6 加压法的设备	(125)
8.3.7 加压法的操作	(126)
8.3.8 处理后木材的存放	(128)
8.4 特殊的处理方法——树液置换法	(128)
8.5 适用于古建筑维修现场的一些处理方法	(130)
8.5.1 浸泡法	(131)
8.5.2 喷淋法	(132)
8.5.3 涂刷法	(133)
8.5.4 吊瓶滴注法	(134)
8.5.5 防腐绷带法	(135)

古建筑与木质文物的化学加固

9 化学加固药剂——无机化合物	(138)
9.1 铝化物	(138)

9.2 硅化物	(140)
10 化学加固药剂——有机化合物	(141)
10.1 天然胶	(141)
10.2 油类	(143)
10.2.1 干性油	(143)
10.2.2 半干性油	(147)
10.2.3 非干性油	(147)
10.3 油脂	(149)
10.4 蜡	(149)
10.5 树脂、虫胶和樟脑	(154)
10.6 多元醇和糖	(161)
10.7 纤维素衍生物	(171)
10.8 甲醛	(173)
10.9 甲醛树脂	(174)
10.10 酮树脂	(181)
10.11 聚乙烯化合物	(181)
10.12 苯乙烯	(186)
10.13 聚酯树脂	(188)
10.14 丙烯和甲基丙烯酸化合物	(194)
10.15 环氧树脂 (EP)	(202)
10.16 聚酰胺 (PA) (Nylon66)	(206)
10.17 聚氨基甲酸酯 (聚异氰酸酯) (PUR)	(208)
10.18 有机硅化合物 (硅酮, 聚硅氧烷)	(209)
10.19 含硫塑料 (聚多硫乙烯, 多硫化物)	(211)
11 加固药剂的固化方法	(212)
11.1 真空法	(212)
11.2 热 (催化) 固化法	(213)
11.3 光化学法 (辐射固化法)	(214)
11.4 冷冻干燥法	(215)

维 护 实 例

12 北京地坛公园宰牲亭金柱的维修	(219)
12.1 一般情况介绍	(219)
12.2 腐朽情况调查	(220)
12.3 具体施工操作	(222)
12.4 小结	(223)
主要参考文献	(224)

古建筑与木质文物维护基础

1 古建筑与木质文物概述

1.1 古建筑与木质文物的地位

我国的古建筑历经数千年的发展，具有极高的文物、历史和艺术价值，它不仅是中华民族的宝贵财产，也是世界建筑艺术的珍宝。尽管在历史的进程中历尽沧桑，许多珍贵的古建筑毁于历代的自然灾害，但是现存遍布全国的古建筑，仍然丰富多采。认真保护好这份遗产，有计划地进行维修与加固，是我们从业人员的神圣职责。

我国是一个历史悠久，土地辽阔的多民族国家，保留下来的古代建筑，如宫殿、坛庙、寺观、佛塔、桥梁、园林、府第和民居等非常丰富。始于50年代初期的全国文物普查结果显示，各省、市，地上、地下的文物总计36231处。根据其历史、艺术、科学等方面的价值，对其中比较重要的革命遗址及纪念建筑物、石窟寺、古建筑及历史纪念物、石刻、古遗址和古墓葬等六大类型中的8648处，列为省、市、自治区级或县级的文物保护单位，占普查总数的23.8%。在此基础上，国务院于1961年和1982年将其中最重要的分两批公布为全国重点文物保护单位，共计243处。其中古建筑占文物保护单位50%以上。

我国古建筑的发展源远流长。

我国的古建筑以木结构体系为主，它源于自然，利用自

然，高于自然。它以灵活的风格、合理的布局、适宜的建筑体量和精巧的装修取得了高度的艺术成就，在世界上享有盛誉。

我国木结构建筑体系的产生和发展，可以追溯到几千年前，它与古埃及、古两河（幼发拉底河和底格里斯河）流域、古印度和古爱琴海文化并列为世界上五个最古老的建筑体系。

从原始社会的穴居、浅穴木架、夯土筑墙的土木结构到砖墙木构架，经历了长期继承发展的过程，使我国的古建筑在世界上形成了独特的体系。

公元前 11 世纪，西周就已建造重檐大型木结构的宫室建筑。

公元前 2 世纪，秦、汉建成大量木结构宫殿，其中规模庞大的秦阿房宫已毁于战祸。

公元 7~8 世纪，唐代的木结构建筑达到鼎盛时期，而且传到了国外。除兴建宫殿及园林外，还大量建造佛教寺、塔、石窟等。现存建筑中，历史文物有公元 782 年建造的五台南禅寺正殿和稍后建造的佛光寺正殿。

公元 11~12 世纪，宋代不但兴建宫殿，而且大规模地进行园林修建。在东京（今开封）运用大量太湖石建成艮岳园林，又建造了金明池等帝王宫苑。太原现存晋祠的北宋建筑圣母殿是典型的寺庙园林建筑。

公元 984 年兴建蓟县独乐寺观音阁。公元 1056 年兴建山西应县佛宫寺释迦塔。这两座木结构建筑几经地震考验，至今仍然完好。

元朝建大都，至今已有 700 多年历史，除建三座大型宫殿及三海等城市园林外，并建成护国寺、白塔寺、东岳庙等

宗教建筑。北京明、清以来的故宫、天坛、明陵、北海、颐和园等都是著名的历史文物建筑。它们代表了中国木结构建筑的高度水平。

由于我国木结构建筑代表了中国建筑的特征，使得我国古代多种类型的建筑和不同的结构形式，都模仿木结构的建筑外形，如古代墓葬中的石斗拱、明清时代的南京灵谷寺、北京皇室成砖石结构中无梁殿的出檐门、窗等，北京北海的九龙壁及琉璃牌楼的檐头和北京颐和园的铜亭子等。

传统的木结构形式和建筑材料，具有广泛的适应性和较大的灵活性，木材质轻，易加工，规矩统一，建造灵活，形式多样，抗震性好，适应性强。但木材本身也存在着天然的弱点。

木材与砖、石、灰等建筑材料比较，容重最小，而抗弯、抗拉强度相对较高。木材易于手工加工，容易进行预制组装，木材又可因地制宜，就地取材。我国古代建筑木结构在长期发展过程中，形成了各部分具有一定比例的模数制度，如宋代的“营造法式”、清工部的“做法”等，将有代表性的建筑各部比例关系作了明确的规定，使得建筑构件预制和装配有了统一的尺度。

我国木结构建筑采用梁、架、柱、檩、斗拱、雀替，并通过榫卯结合成柔性节点。另外，木材抗冲击性能良好，自重轻，能适应剧烈的摆动，从而具有很高的抗地震能力。

然而木材作为生物材料，又使得木结构存在着天然的弱点，主要是易腐、易蛀（特别是在南方易被白蚁蛀蚀）和易燃。我国文献上记载的木结构建筑是很多的，但现存者仅为其中很少的一部分。建筑物的损坏，除社会因素（战乱、人为破坏）外，自然因素（物理、化学和生物损害等）是重要

的原因。自然因素的破坏往往是木材本身的弱点造成的。因此，在古建筑的保护中木材的保护是一个重要的内容。

在古建文物的保护中，维修工作是中心环节。

古建筑的维修包括了木作、瓦作、石作、油漆作、彩画作和搭材作等不同的行当。而往往古建筑的维修是缘起于木结构的糟朽。因此，在整个维修施工中，木结构的保护和加固成了不容忽视的问题。木材的保护和加固施工又几乎和上述所有行当或多或少地发生着关系。

在研究保护与加固的方案时，常会涉及到物理、化学、力学、木材学、生物学（微生物和昆虫）和气象学等学科。对某一特定环境下的古建筑，要拟定兼顾安全与经济的维修方案，必须因地制宜地综合考虑，妥善处理。

古建筑木结构和木质文物的保护和化学加固，国内尚未见有专门的著述，特别是关于木材的化学加固，因此，本书在系统论述中把侧重点放在了化学加固部分。

1.2 木材保护和化学加固的含义

木材保护，概括地说，就是通过各种方法（物理、化学、生物等）保护木材使其免受损害，以延长使用寿命。其中尤以化学方法更重要，更具实践意义。

木材的化学保护就是以化学物质处理木材，使达到防腐、防虫、阻燃以及增加尺寸稳定性和强度的目的。用有毒药剂处理木材，使达到防腐、防虫的目的，一般被称作“木材防腐”。木材防腐工业已有上百年的发展历史，如今在发达国家已成独立工业体系。近年来，随着药剂和处理工艺的发展，处理效果除了防腐、防虫外，阻燃、尺寸稳定性增加、强度提高等都已成为人们渴望达到的目的。因此，一般把为达此目的而做的努力统称之为“木材保护”（也有称作“木材防护”）。

其中，用化学物质（特别是高分子材料）处理木材，以达到增加尺寸稳定性和提高强度的目的的做法，又特称之为“木材的化学加固”。化学加固技术是近年来古建筑和木质文物维修和保护中常用的有效方法。

1.3 木材保护的历史

从下列大事年表中，可略见木材保护发展的梗概：

约公元前 2000 年，希腊史诗记载，用地沥青浇灌木材。

约公元前 1500 年，印度吠陀（印度最古老的宗教文献和文学作品的总称）中提到，木材一定要适时采伐。

约公元前 700 年，Hesiodos 描述了炉灶冒出的烟对木材的保护作用。

约公元前 551~479 年，我国孔夫子指出，树木只有适时砍伐，才能很好地避免菌、虫危害。这与我们现今树木多在冬天采伐的做法是一致的。

约公元前 450 年，Herodotos 指出用明矾水浸泡木材，可以阻燃。

约公元前 370 年，Theophrastos 著文提供了一些天然耐腐树种，并建议木材在干燥后使用。

公元前 206 年前记载，汉代以前的竹简，书写前先用火烤，烤出“竹油”可长期不腐。

公元前 14 年，Vitruvius Pollio 共发表 10 本有关建筑的书，书中提到，木材经火烤炭化，或用油灰涂抹可以得到保护。

公元 23~24 年，Plinius Secundus 发表了 37 卷的《自然历史》一书，书中提到了大量天然耐久性好的树种。

公元 340 年，葛洪（公元 281~364 年）《抱朴子》内篇中有“铜青涂木，入水不腐”。说明当时已把铜的氧化物用于

木材防腐。

公元 4 世纪, Palladius 用海水浸泡木材, 以使木材不腐。

1445 年, Frankenspiedel 用海水蒸煮, 保护木材。

1447~1506 年, 哥伦布在第 4 次航海日记中记述: “凿船贝将船凿蛀成蜂窝状, 而对此, 我们毫无办法。”

1452~1519 年, 达·芬奇用升汞(HgCl_2)处理画板背面。

1560 年, 法兰克福修道士在牙买加用升汞和氧化砷处理木材, 防治白蚁。

1657 年, Joham Glauber 将木材用火烧焦, 再涂焦油, 然后浸入木醋液, 干燥后用于造船, 以防止海生钻木动物的危害。这一方法一直沿用了 150 多年。

1718 年, Hiarne 发表专著, 书中首次提到“木材防腐剂”的名称。

1731 年, 荷兰堤坝主管人报告: 船蛆给荷兰堤坝造成灾难性破坏(报告题目: “荷兰告急”)。

1735 年, Zedler 的《完全大词典》指出, 防治树皮蛀虫, 可用葡萄酒浸泡胡椒、月桂树皮和没药等, 也可以用公牛的尿和食醋混合处理。

1812 年, Kyan 开始把升汞作为木材防腐剂进行实验。

1832 年, Kyan 用升汞溶液浸泡木材做防腐处理的方法获得专利。标志着近代木材防腐事业的开端。

1835 年, Moll 的木材防腐油获专利。从此, “克里苏油”(杂酚油)出现在木材防腐事业中。最初的方法是用克里苏油的蒸气熏蒸木材。

1838 年, Burnett 以氯化锌(ZnCl_2)作为木材防腐剂获专利。

1858~1860 年, Herbst 用明矾做湿材的保护处理。

1881 年,维也纳的一个文物修复学校用硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 做祭坛背面的防虫处理。

1887 年, Thompson 用硼化物做木材浸注处理的方法获专利。

1888 年, Avenarius 用氯化煤焦油处理木材的方法获专利。

1890 年起,用热胶加防腐剂做木材的加固处理。硝酸纤维素和醋酸纤维素用作木材加固剂。开始将二硫化碳和四氯化碳用于木材杀虫的熏蒸处理。

1921 年,瑞典王宫做消灭窃蠹的氢氰酸熏蒸。丹麦制做大型金属容器用于湿木材的明矾和甘油混合物的浸泡处理。

1929 年,做奥地利中央市场教堂的氢氰酸熏蒸处理。祭坛表面用调入砷化物的达玛树脂清漆涂刷。

1934~1940 年,用甲基纤维素、醇酸树脂和松香等的混合乳液作木材加固剂。

1943~1944 年,唐燿研究了我国 10 余种木材的天然耐久性。

1945 年,梁希在我国高校森林工业专业中开设木材防腐课。

1946 年,郭惠平做我国不同树种枕木防腐实验。

1957 年,我国第一个国营现代化木材防腐厂在武汉建立。

1958 年, Frejdin 等用单体浸注木材,光化学固化法首次制造出聚合木。

1960 年,人造有机木材防腐剂开始大量应用。环氧树脂开始用于木材加固。

1967~1968 年, Munnikendam 研究用甲基丙烯酸甲酯

(MMA) 和 γ 射线做古代木材的保护处理。

1969 年, Beck 等用 γ 射线物理方法杀灭古代木材中的害虫和真菌。

1974~1975 年, 我国蔡润用不饱和聚酯树脂和环氧树脂修复和加固宁波保国寺被白蚁蛀空的柱子和五台山南禅寺大殿严重劈裂垂弯的大梁。

1979 年 Urban 等在捷克斯洛伐克布拉格的波希米亚中央博物馆建立了射线处理木质文物的实验室。

1982 年, 英国 “Mary Rose” 号沉船开始做保护处理。主要船体用聚乙二醇溶液喷洒, 小件残片用聚乙二醇溶液浸泡, 并冷冻干燥。

2 古建筑木结构维修基础知识

2.1 我国古建筑的特点

几千年来, 中国建筑, 大至宫殿、庙宇, 小至仓房、民居, 尽管规模不同, 质量有别, 但从总的发展趋势看, 一直沿用着以木构架为主体的发展方向, 成为我国古建筑的主流, 在世界建筑中堪称独树一帜的建筑体系。

我国古建筑普遍采用木结构, 因地理环境和生活习惯的不同, 发展至今, 有抬梁、穿斗和井干等不同的形式。其中, 抬梁式结构占主要地位。这种抬梁结构的基本形式是用立柱和横梁组成构架。数层重叠的梁架逐层缩小, 逐级加高, 直至最上的一层梁上立脊瓜柱。各层梁头上和脊瓜柱上承托檩条, 又在檩条间密排许多椽子, 构成屋架, 成为完整独特的木构架体系。建筑物屋面的全部重量由木构架承担, 其中任何一种木构件发生损坏都会不同程度地影响到木结构的强度。