

华东华中区高等林学院(校)教学用书

木材干燥学

(初稿)

华东华中区高等林学院(校)教材编审委员会编著

中国林业出版社

华东华中区高等林学院(校)教学用书



木材干燥学

(初稿)

华东华中区高等林学院(校)教材编审委员会编著

中国林业出版社

1959年·北京

华东华中区高等林学院(校)教学用书

木材干燥学

(初稿)

华东华中区高等林学院(校)教材編審委员会編著

*

中國林業出版社出版、發行

(北京安外和平里)

北京市書刊出版營業許可証出字第007号

北京东單印刷厂印刷

850×1168 1/32 12号 印張·302,000字 1959年9月第一版
1959年9月第一次印刷 印數:0001—1,000册 定價:1.95元

書号 (內)87

前 言

木材干燥在木材加工企业中是不可缺少的重要环节。随着生产經驗和科学研究成果的积累与总结，木材干燥学已成为一个独立的科学分支。它所須解决的主要问题是，怎样促使木材迅速干燥、同时又能保持和发揚其优良品質。木材是典型的毛細多孔胶質体，其構造与性質变異多端，因之这问题是复杂的；木材是所有国民經济部門絕不可少的原料，需用量很大，因之这问题又是关系重大的。木材干燥在我国已引起普遍的注意与重視，而且在多种工业中已积累有大量先进經驗。这一切都应当在高等林业学校的木材机械加工专业教材中有充分而恰当的反映。

南京林学院木材机械加工专业的一部分师生1958年秋季起下放在上海木材一厂劳动鍛炼。任务之一是編写几种专业課的教材，木材干燥学是其中的一种。1959年一月在华东、华中七省林业院系协作編写教材的会议上把这一工作納入了总的計劃。以后就在編审委员会和南京林学院党委的领导下逐步展开了討論教学大綱和編写教材的工作。

大綱是在党的领导下师生結合共同討論制訂的。討論時比較充分地考虑了課程的政治思想性、系統性和完整性，理論联系实际的原則，也考虑了避免和其他課程內容重复与脫节的问题。本書基本上是根据这次制訂的新大綱編写的。并且編入了国内的与国外的（尤其是苏联的）近几年來在木材干燥生产实际与科学理論方面的一些新成就。

担任具体編写工作的是南京林学院的教师梁世鎮和江西共产主义劳动大学的教师黄金安。由于時間比較短促，只編写了大綱中最主要的部分——木材的窑干。編者們的理論水平和实际經驗都极为有限，对各木材加工企业、森林工业科学研究所、設計院等处供給我們的宝贵資料鑽研不深，因之書中缺陷必多，錯誤也在所难免。希望讀者們从多方面給以批評和支持，以便改正。

1959年5月

目 錄

緒 言	(1)
-----	-------

第一篇 木材干燥的理論基礎。干燥基準

第一章 干燥过程中木材內水分的移动	(13)
§ 1. 木材是毛細多孔膠体。木材中的水分	(13)
§ 2. 含水率低於纖維飽和點時木材中水分的移動	(17)
§ 3. 含水率高於纖維飽和點時木材中水分的移動	(19)
第二章 木材的热传导	(23)
§ 4. 木材的熱学性質	(23)
§ 5. 木材水熱处理中熱傳遞的規律性	(29)
第三章 木材干燥过程	(42)
§ 6. 干燥曲綫。干燥速度曲綫	(42)
§ 7. 干燥速度曲綫方程式	(45)
§ 8. 干燥曲綫方程式	(47)
§ 9. 關於快速干燥的一般原則	(48)
§ 10. 木材在干燥过程中的应力与变形	(56)
第四章 干燥基準	(61)
§ 11. 關於干燥基準及其編制的概念	(61)
§ 12. 干燥基準	(64)

第二篇 木材的暑干

第五章 几种广泛应用的木材干燥窖	(93)
§ 13. 干燥窖的分類	(93)
§ 14. 自然循环周期式空气干燥窖	(94)
§ 15. 地下室內裝有通风机和加熱器的强制循环周期式干燥窖	(97)

§16. 通风机装置在材堆之上的强制循环周期式干燥窖	(98)
§17. 喷气式强制可逆循环周期式干燥窖	(101)
§18. 通风机与加热器安装在侧面的周期式强制循环干燥窖	(104)
§19. 周期式喷气可逆循环气体干燥窖	(107)
§20. 最近幾年來我國工廠採用的各种簡易干燥窖示例	(109)
§21. 連續式干燥窖	(114)
第六章 干燥窖的建築和設備	(119)
§22. 干燥窖的外壳	(119)
§23. 加热器	(124)
§24. 喷蒸管	(133)
§25. 干燥窖蒸汽的供应和凝結水的排除	(133)
§26. 气体干燥窖的爐灶与烟道	(137)
§27. 木材干燥窖的通风道	(147)
§28. 通风机与喷气装置	(147)
第七章 干燥过程中常用的测量仪表及測定法	(163)
§29. 測定空气、爐气体及木材温度的仪表	(163)
§30. 測定空气湿度的仪表	(170)
§31. 測定空气压力和气流速度的仪表	(174)
§32. 空气流量与水蒸汽流量的測定	(176)
§33. 爐气体成分的測定	(179)
§34. 木材含水率的測定	(179)
第八章 窖干的实施	(181)
§35. 干燥窖工作前准备情况的檢查	(182)
§36. 干燥前材料的堆積	(183)
§37. 在干燥过程中檢驗木材含水率变化与应力变化的方法	(188)
§38. 窖的開動。材料的預熱 (材料的初步处理)	(198)
§39. 木材干燥过程的進行	(202)
§40. 材料的中間处理	(204)
§41. 材料的終了处理与窖干的結束	(206)
§42. 木材在窖干过程中可能產生的缺陷及其預防	(211)
§43. 干燥記錄卡片	(213)

第九章 干燥車間的生产量和工作組織	(222)
§44. 干燥車間生产量的確定	(222)
§45. 干燥車間生产量的規劃与統計	(234)
§46. 干燥成本的分析与核算	(239)
§47. 木材干燥室的技術經濟指标	(243)
§48. 干燥車間的編制, 實驗室与輔助房舍	(244)
§49. 干燥車間的劳动衛生与安全技術	(246)
第十章 干燥室的設計与計算	(249)
§50. 干燥方式与室型的選擇。室數的計算。干燥車間的設計	(249)
§51. 濕空气的性質。I d- 圖表及其应用	(251)
§52. 周期式蒸汽干燥室的熱力計算	(262)
§53. 連續式强制循环蒸汽干燥室的熱力計算	(277)
§54. 气体干燥室所用爐气体的性質及其計算圖表	(281)
§55. 周期式气体干燥室的熱力計算的特點	(295)
§56. 連續式气体干燥室的熱力計算的特點	(301)
§57. 燃燒室的主要参数的確定	(301)
§58. 干燥室的气体動力的計算	(302)
§59. 進气道和排气道的計算	(317)
§60. 連續式噴气之字曲折循环气体干燥室計算示例	(318)
§61. 通风机与加熱器安裝在側面的周期式强制循环干燥室 計算示例	(330)
参考文献	(341)

緒 言

一、木材干燥對國民經濟的意義

随着我国社会主义建設的高速度发展，对木材需要的数量也在相应地增加；在全国农村实现公社化以后，社社亦将举办工业交通，要改善居住条件，所需要木材的数量就更大。同时由于国民经济的全面发展，所需木材的品种又是多种多样的。这就要求森林工业今后必须有更大的发展。

为了适应国家經濟建設日益增长的多种需要，必须大力采取各种措施。而木材干燥是发挥木材优良品质、合理利用木材的关键性措施之一。

在建築工程、机器制造、船舶制造、車輛制造、家具生产及其它类似企业中所使用的木材，不但要求能够經久耐用、保持原形，尤須在最小的重量上具有最大的强度；要能很好地承受加工（鉋削、胶着、裝飾等），具有最小的导热性与导电性等。所有这些性质，虽是木材所固有的，但只有在經過适当干燥之后才能表现出来。

当木材的含水率低于23—20%或高于100—150%時，可以免除病菌与昆虫的危害。經過适当干燥的木材，用以制成木制品，很少发生变形。含水率降低到30%，即降低到纖維飽和点以下，木材的

机械强度将逐步提高，而木材的重量則逐步减小。水分的减少可以增高木材对热对电的阻力，并且能提高木材的发热值(如燃料)。对于須用防腐剂或树脂胶溶液浸注的木材，干燥之后其渗透效果显然較好。

干燥的目的与要求須按照木材的使用条件來分別确定。若木材用于建築工程或車輛制造，則干燥的目的在于預防今后的变形与过早的腐坏，要求在于改良木材的机械性質与預防腐朽。若木材用作燃料，則干燥的目的是提高发热值，对干燥的要求是尽量从木材中排除水分，不須顧慮由于干燥过快而发生裂紋、翘曲等缺陷。

我国的森林工业将逐步着重于結合貯木場进行制材和簡易加工。估計每年将有以千、百万立米計的成材从边远的林区经过长途运输外調外运。假設每个車皮能装载成材为45立米，而新伐新制的成材的含水率为80%，則每个車皮所載的水分量将在18吨以上；全年消耗在运输木材中水分的吨位可能达到几百万吨。設若在各林区的貯木場先把材料干到一定的程度然后外运，每年当可节约大量的运输能力來支援其他建設。

用未經干燥的木料所制成的产品，大多品質低劣，并且很少能适合于使用；可是制作它們須消耗一定数量的原料，輔助材料与人力；若对它們进行修整，則須再度消耗人力、物力，結果仍然不能經久适用。用干燥过的木料制成的木制品，則一般地可以使用很多年。因此，良好的干燥可以节约大量木材和加工中的劳动力。

建築物的門、地板与天花板等，若用未經干燥的成材制成，經過若干时期就会因干縮而开裂，門及門框歪斜，地板翘曲，接榫处松脫，以至发生腐朽。这样的建築物常常在动用不久之后就須要进行大規模修理，从而帶來种种損失。

綜上所述，木材干燥对于国民經濟來說具有很重大的意义。

二、我國木材干燥事業過去的 情況與今後的發展

木材干燥是木材机械加工工艺过程中的一个重要环节。因之木材干燥技术的发展不可能不和木材加工工业的发展密切地相关联。木材加工工业是整个国民经济，尤其是森林工业部门的一个组成部分。旧中国在帝国主义、官僚资本主义与封建主义的压榨、奴役和残酷剥削之下整个国民经济处于崩溃状态，森林工业其中包括木材加工工业萎靡不振，木材干燥事业与技术在这样的情况下自然也是极其落后的。从旧中国的上海来看，虽也有寥寥可数的几家木工厂，但不过是帝国主义分子与官僚资本主义分子勾结起来、用来作为套购外匯、投机倒把的幌子，不会关心到生产业务，不会注意木材的合理利用，更不会讲究木材干燥的业务与技术。上海如此，其它各地的情况可想而知。那时除了在車輛制造、船舶制造、紡織机械制造等工厂中間或具有人工干燥设备外：一般采用气干、烟熏、烘烤、水煮及其他較简单的方法作为促使木材干燥的措施。劳动人民在多少年的生产实际中，关于木材干燥的技术累积有一些宝贵的經驗，解放以后对这些經驗也有收集与整理，但还须进一步地加以科学的总结。有关木材干燥的科学研究在旧中国的少数学术机构，例如在已故的梁希教授所领导的实验室，也做过一些工作。由于没有生产实际可以结合，研究条件极其困难，工作项目侧重于与干燥有关的木材性质的测定。研究范围虽然較小，但当时学者们的努力，对于木材干燥科学研究的开展是起了一定作用的。

解放以后，由于党的重视随着国民经济迅速恢复和发展的同时，我国木材加工工业有了相应的发展。就木材干燥来说，随着木材加工、汽車制造、車輛制造、造船、建築等工业大规模的创办与扩充，几年以来在各地各厂普遍采用窑干方法；新建和扩建的木材

干燥窖多数是按照苏联干燥窖的新型式来进行设计的。干燥过程中的各种工艺规程一般也以苏联的标准与经验为主要参考根据。在有些企业中还试行采用了一些由苏联创始的新干燥法，例如木材在石蜡油中干燥与木材在高频率电流电场中干燥等方法。

在我国木材的快速干燥已订入国家科学技术规划作为重要的研究项目。对于木材干燥的关键问题，如各种主要树种的成材干燥基准，中国林业科学研究院森林工业科学研究所正在大力进行研究，并且已取得显著的成绩。

我国社会主义建设是高速发展的，在使用木材为量较多的各种企业中普遍而急迫地需用质量高的干材料，因而就普遍而急迫地需要修建各种类型与容量的木材干燥窖。在这种形势下完全采用洋法不可能满足当前的急需，而必须根据洋土并举的方针，发挥群众智慧，同时，因地制宜地采取简易有效的措施来解决使企业中木材干燥业务迅速上马的问题。大跃进中我国的工人与技术人员们在这方面已有了不少的创造和发明，例如上海市木材一厂的烟道烘间，上海兆申昌隔音板厂的烘房与上海建筑一公司木材加工厂的烘房都以炉气体为载热体，不需要蒸汽锅炉，便于建造，而又各有其特点。这些闪烁着劳动人民智慧光芒的成果必然会得到进一步的提高和发展。

我国木材干燥的生产工艺与科学研究必须继续向苏联学习。苏联在这方面已累积了丰富的生产经验和建立了完整严密的科学理论系统。根据1959—1965年苏联发展国民经济的控制数字，“木材工业中锯材的生产量要从1958年的6,860万立方米增加到1965年的9,200万到9,500万立方米”。需经过人工干燥处理的木料若仅以锯材生产量的半数计，1965年将在4,600万立方米以上。这样浩大的规模势必促使苏联的木材干燥业务在木材堆积、拆卸与运搬作业上全面机械化，在工艺操作上全面自动化，和采取高温、高湿的快速干燥过程。这也势必促使苏联的木材干燥科学研究迅速地达到空前高昂的水平。

我国木材干燥的生产业务与科学技术都还处于开始的阶段。发展前途是肯定的。存在着的问题虽多，但在党的领导下，通过群众性的技术革命运动和各个部门的社会主义大协作，在生产、技术上碰到的任何难题都必能得到解决。

三、学习木材干燥学的目的和要求

在木材机械加工的生产过程中随时接触到关于木材干燥的问题。例如，制材方面——大量新锯成材在板院中的气干与在干燥窑中的窑干。细木工生产方面——各种规格、各种用途的毛料的干燥。胶合板生产方面——普通单板、涂过树脂胶的单板与浸注过树脂胶的单板的干燥，以及合板的干燥。废材利用方面——纤维板及其他人造板的干燥，木粉的干燥，木丝的干燥，等等。

单板、各种人造板、木丝、木粉等材料较小或较薄，对于干燥工艺的要求不同于尺寸较大的成材与毛料；而且它们的干燥过程和其他生产工序的衔接配合较为密切。考虑到这些特点后，大纲中规定只把成材与毛料的干燥列作本课程的主要学习内容；至于单板、各种人造板与各种细小材料的干燥，则分别列入胶合板学及其他有关课程，以使教学过程更能和生产工艺过程相符合，而提高教学效果。

通过这门课程的学习，学生应能全面地掌握复杂的木材干燥工艺；从理论上阐释在干燥过程中木材与介质间水、热交换现象以及木材中应力的变化；根据生产实际的需要设计干燥设备与整个的干燥车间。

课程中所介绍的各种工艺技术、生产设备、统计数据与理论解释等都来自劳动生产实际；随着社会主义建设高速度的发展，生产中每天都有新的矛盾在发生，每天都有存在着的矛盾被解决。因之，每日每时都有新的经验等待着我们去总结，而教学的内容必然落后于生产实际。今日认为合理的工艺过程明日必然得到更合理的改

进；今日最现代化的设备明日可能已变得陈旧落后；今日的数据资料将不能完全适用于明日的設計計算；今日的科学理論将从明日的劳动經驗中吸取新內容而更完善、更充实。因之，学生只应当把这个課程的教材作为将来在木材加工工业与干燥业务中开展工作的入門鑰匙，决不能把它当作一成不变的教条。从事木材干燥的技術干部必須依靠有实际生产經驗的工人，結合理論知識，才能根据当时当地的条件合理地解决木材干燥中的技術問題。

四、各種木材干燥法

包含在木材中的水分可以用下列方式排除：1. 汽化，即使水分由液态轉化为气态而脫離木材；2. 机械脫水，在此情况下所排除的水分仍呈液态。

用来排除水分的第一种方式叫做干燥；在使水分汽化時須消耗热量。

常压下汽化時的溫度如果等于或超过 100° ，則叫做汽化过程；如果在 100° 以下，則叫做蒸发过程。木材干燥工艺中多采用水分蒸发过程，但現時已倾向于采取汽化过程。

和干燥相反，木材也可从空气中吸收水分而加大其本身的含水率，这一过程叫做吸湿。

材料中水分蒸发所必須的热量或者同时加于木材的整个体积；或者只加給木材的表面，由外表逐步传入内部。前一种叫做透热加热法，需应用电流或高頻率电場来进行。后一种使热量由木材表面传入内部的方式主要地又分为接触传热，对流传热与輻射传热三种。

应用以上干燥方式的具体方法是多种多样的。現時在生产上采用得較普遍的則是：1. 帶冠立枯法；2. 大气（自然）干燥法；3. 窑內干燥法（窑干法）；4. 接触干燥法；5. 高頻率电流电場干燥法；6. 紅外線干燥法（輻射干燥法）；7. 液体內干燥法；8. 離心力干燥

法；9. 真空干燥法。其中3到9的各种方法可以统称为人工干燥。

1. 带冠立枯法 此法可用來使落叶松及其它生材含水率較大的針叶树材便于流送，以減少新伐材因容積重过大而沉沒的百分率。方式是這樣：在适当的高度上环绕树干将边材完全砍断，使由树根上升的水分被断絕，树干木材所含有的水分則部分地上升入树冠而蒸发掉。在两到三个月的期間內，木材約失掉其所含水分的15%。

2. 大气干燥法 此种干燥法又叫做自然干燥法，或簡称为气干法，即把木材堆放在板院內或棚舍下，使在自然条件下进行干燥。特別应当注意的是須要根据当时当地的气候状况使材堆的布置得当，使堆內木材的排列稀密适宜，以收既提高干燥强度，又保持木材質量的效果。

大气干燥的缺点是占地大，需時长，干燥过程中易发生开裂、腐朽等缺陷，而且干燥程度有限。大气干燥尽管有这些缺点，但由于簡單与經濟，直到目前为止还有其重大的意义。

3. 窑內干燥法 此种方法是現代人工干燥法的最主要的形式。将在下节对此法的要点作較詳細的敘述。

4. 接触干燥法 使用此种方法处理木材時热力由烘热的平板或滾筒传给直接和它相貼合的被干材料。接触干燥通常用來处理薄而平的材料，如胶合板与单板，有时也用來干燥弯曲材料。

5. 高频率电流电场干燥法 被干材料放在高频率电流发生器的电容器內。蒸发水分所必需的热力不是由外部传入，而产生于被干材料的內部。在干燥过程中沿着材料的厚度由內而外发生相当大的溫度梯度。这种梯度使得由材料內部諸层到外部諸层的水分的移动能够极其强烈，从而大大地縮短了干燥延續期。

6. 紅外線干燥法 此种利用輻射传热的干燥法在木材加工工艺中主要是用于來干燥油漆过的木材表面。

7. 液体干燥法 此法主要指把木材浸在熔化的石蜡油(或硫黃)內，由于受到高溫而蒸发水分的干燥法。在溫度为120—130°時，此法能使干燥延續期縮短为普通窑干的二十到三十分之一。就建築工

程用木料來說，此法有其发展前途。

8. 离心力干燥法 此法的要义在于使木材在圆盘上旋轉，由于离心力与热力的作用而排出水分。

9. 真空干燥法 木材在真空中的干燥是由于两种因素作用的结果：

- 1) 木材表面由于在真空中的蒸发而冷却，从而发生热扩散。
- 2) 蒸气压力差的作用。

在上述各种干燥方法中在生产上采用得最广泛的是气干法与窖干法，而窖干法尤为重要。

本課程以木材的窖干为教学的重点，以下概括地叙述窖干的特点、要求与应用的范围。使学生在正式学习課程的主要内容与下厂对木材干燥生产实际作初步認識之前，先对此法获得較明确的概念。

五、窖干的特点、要求與应用范围

如前所述，最普遍应用的干燥木材的方法是气干法与窖干法。在气干过程中空气的温度与湿度以及气流速度都不能完全按照人的意志加以控制与调节；干燥只能在不高的气温下进行（以长江流域各地区而論，夏季最热月份的平均气温不过在 30°C 左右）；整个干燥过程中不仅受风日雨雪的干扰，还受昆虫、病菌的侵蚀。因之，气干的缺点：一为干燥延續期长与占地广；二为干燥程度有限，至多只能干到平衡含水率为止；三为在干燥期間常因干裂的形成与腐朽的发生而降等。因此，气干固然是干燥木材的主要方法之一，但为了及时地滿足社会主义建設大跃进中各个国民經济部門对干木材的需要，就必须发展窖干业务。

窖干的特点在于在密閉的特种建築物內或設備內用控制干燥介質（空气，爐气体，过热蒸汽等）的温度、湿度与气流的速度和方向的方式对木材进行干燥处理。这样就可以根据木材与介質間的热

与水分传递的规律性和根据对木材质量的要求来订出最合理的干燥基准。和气干相比，窑干的延续期应当大为缩短；干燥的程度应能达到任何含水率（依用途而异）；应能保证一定的干燥质量。

这样的特种建筑物或设备通常叫做干燥窑，干燥室，干燥炉，干燥洞或烘间。

现代的木材干燥工艺是以在干燥窑内采用高温和高湿的介质（空气、炉气体、过热蒸汽等）为基础的。在干燥较薄的针叶树材时介质的温度可以高到 100° 以上，相对湿度有时须达到100%。采用空气（炉气体）为介质时，欲使介质在高温下形成高湿度，就必须在窑内在正常的气压表压力下维持相当大的水蒸汽分压力 $P_{\text{蒸}}$ （到0.5气压）；采用过热蒸汽为介质时，还须保持过热蒸汽的纯净，以加大其导热系数和减小其温度，因此，现代化干燥窑的窑壳，首先是窑门，应当是不透气的，热量损失也应当是极少的。

对于窑的技术设备所提的主要要求如下：

1. 窑的热力设备应当有足够的力量，以保证温度迅速提高到和维持于一定的程度。在这种情况下，应当保证依需要而调整窑内温度的灵活性。

2. 窑内空气湿度的调整同样地也应当是既方便又灵活。

只有把介质的高湿度和高温相互配合起来，才能迅速烘干成材而又不致于损害它的质量。任何现代化的干燥设备，若不能保持所需要的空气湿度，就不能认为是好的。

应当有控制灵便的排气道和进气道来调节和保持窑内的空气湿度。

3. 应当保证有均匀而足够强大的穿过材堆的空气循环，而且循环方向须能逆转，以使全批被干的材料能干燥得均匀。对于现代的强制循环干燥窑来说，气流穿过材堆的速度一般不低于1米/秒，最好能达到2—3米/秒。由此可见，必须对通风机或喷气装置的功率提出适当的要求，以保证窑内空气的强制循环。

总之木材干燥窑须能满足下列各项要求，即：

- a) 保証沒有缺陷的高品質的干燥；
- b) 保証高的生产率；
- c) 保証运轉簡單和調节容易；不須进入干燥室就能观察和調节生产过程；

d) 窑壳及設備零件牢固和持久；

e) 防火；

f) 建築投資低；

g) 蒸汽（燃料）和电能消耗少；

h) 工作中的机动性大，在干燥多种材料時，这一点特別重要。

在設計干燥室時，首先須了解上述的各项要求。同時必須曉得，虽然設計得很好，但建造和装备得不好的干燥室，在工作時也是不能令人滿意的。

一般型式的木材干燥室以处理成材与毛料为主，也可以用來烘干胶合板。至于单板、木絲、木粉等极薄或极細小的材种，由于可以利用高溫（达200—300°）进行干燥，而不考虑空气溫度，其干燥速度极高，因之須在特制的有传送裝置的設備內处理；在普通干燥室內处理这些材种亦未尝不可，但并不适当。

〔附〕对木材干燥生产实际的初步認識

在对于木材干燥的經濟意义与实施方法已有概括了解之后和在深入进行关于干燥理論与实际的教学工作之前，本着实际—理論—实际的法則，安排一次在木材加工厂的干燥車間或烘間的現場教学，其目的：一在于加深学生已有的关于木材干燥各方面的体会与認識；二在于扩大学生的感性知識，为进一步的学习作好准备。

这一次的現場教学对以后的学习有重要意义，因之有必要提出明确的要求，以加强教学的效果。