

И. В. 索柯洛夫著

木材干燥学

梁世鎮譯

苏联森林工業部教育司批准为
中等木材机械加工專業学校教科書

森林工業出版社

一九五七年·北京

Доцент П. В. Соколов

СУШКА ДРЕВЕСИНЫ

Утверждено Управлением учебных заведений Министерства
лесной промышленности СССР в качестве учебника
для техникумов по механической обработке древесины

ГОСЛЕСБУМИЗДАТ

Москва

1955

Ленинград

版权所有 不准翻印
木材干燥学
П. В. 索柯洛夫著
梁世鑑译

森林工业出版社出版
(北京安定门外和平里)

北京市书刊出版营业许可証出字第 103 号
北京崇文印刷厂印刷 新华书店发行

31" × 43" / 25 • 18 3/8 印張 • 380,000 字
1957年10月第1版

1957年10月第1次印刷

印数: 0001—1,500册 定价: (10)2.50元

統一書号: 15133·26

中 文 版 序

在本書用俄文版和中文版出版之前的兩年間，木材干燥技术已有了进一步的进展。著者認為应当向中國讀者們報告一些基本情况，以使对于木材干燥技术与工艺学在苏联的进一步發展中的傾向与实况有所了解。

第一，应当完成对老式窑进行现代化的改建工作，使这些窑的气流，由自然循环轉換为强制的快速可逆循环，从而提高现有干燥車間的生产量。

噴气可逆循环窑，由于其装备与使用的簡易，已获得極广泛的应用；关于这一类窑最适用的型式与裝置等問題，著者在1956年出版的專門論文“木材快速干燥法”中已作了詳細的說明。

但是，应当預防这样的情况，即噴气可逆循环窑在改建后正式啟用时，在生产量与干燥質量（均匀性）上往往不能产生应有的效果。产生这种現象的原因主要是噴气通風系統安裝的草率，即：尺寸和原計算設計的不相符合，通風道与噴嘴的構型和預定的有所出入和压气道裝置的接合处不够紧密等等。例如有这样一家工厂的干燥窑，在剛改建不久之后，即發現由通風机傳送来的空气总量中只有三分之一压到噴嘴中，而其余的三分之二則从压气道的不密实处白白消失掉了。这种情况使得噴气的功效薄弱，材堆內的循环速度微小；結果必然是干燥窑生产量显著的降低。考虑到工業上进行干燥窑现代化工作的經驗，我們的意見可以归納如下：在对干燥窑进行现代化的改建之前，应当有把握获得与加大后的干燥量相适应的帶热介質（蒸汽）的供应量，应当对窑的气密性特別加以注意；在进行改建时，必須仔細注意通風与热力裝置的安裝工程；在安裝后进行檢驗时，必須注意沿材堆的空气循环是否够强与是否均匀。

第二. 一般的趋势是使通过材堆的干燥介质的循环速度由每秒 1 米加大到每秒 2—2.5 米, 而在逆向循环的連續式干燥窑内甚至加大到每秒 4—5 米, 其目的在于提高干燥的均匀度与速度。

第三. 用高温度 (超过 100°C) 基准对某些材种进行干燥的方法在工业中已获得更普遍的推广。我們的試驗証实, 例如, 在环流的空气蒸汽窑中用 115° 的温度处理厚 25 毫米的松板, 只需 6—7 小时即可使含水率由 90% 降到 15—17%, 而不致产生废品。由此可以得出结论, 即在设计与建造新窑 (特别是用来处理薄针叶树材的窑) 时, 必须考虑安装功率大的加热器与通风机, 气密的与热絕緣的窑壳, 能保証薄材料快速干燥。

第四. 值班干燥工不应进入正在进行干燥处理的窑内。为了貫徹这一規定, 应安設远程檢查干燥基燥的设备、檢視窗与推拉檢驗板的设备。

第五. 使用廢木料或天然气体作燃料的气体干燥窑, 不論从資金支出方面, 或是从燃料消耗方面来看都应该認为是最經濟的。为要大量干燥厚度达 50 毫米的针叶树材, 采用气体干燥窑为最适宜。我們的意見是, 对于气体干燥窑仍須配置蒸汽设备, 以便能灵活調整干燥介质的湿度。

第六. 有些薄材种可以在傳送帶上用高温度基准进行干燥: 例如: 木絲的干燥 (3 至 5 分鐘), 薄乐器板的干燥, 薄箱板的干燥等。这样一来, 就可能安排生产过程的自动傳送綫, 使干燥工序成为傳送綫中的一环。

本書是作教科書用, 因而內容有限, 作者不可能引述詳尽的資料, 特别是有关技术設計問題的資料。

作者的任務, 是力求以簡明易懂的方式为广大的讀者們介紹干燥过程的物理技术原理与詳細演繹关于木材干燥设备的計算与設計的过程。

毫無疑問, 中华人民共和国在木材干燥技术与工艺学方面是有其固有的情况与傳統, 这是不可能在本書内反映出来的。但是, 倘若我們各把自己的情况彙集起来, 那就能較容易和較快地使干燥工業达到

完善的境地。

这一平凡的著作，若能对中国的木材加工工业有所帮助，著者将感到极大的满足。

本书之所以有广大读者的可能性，是南京林学院梁世镇副教授的中文翻译所造成的。梁世镇同志以其特有的勤勉与细心，在短暂时期内完成这一为量颇巨而质量极高的工作，著者为此向他表示深切的谢意。

著 者

譯 者 的 話

本書經蘇聯森林工業部指定作為木材機械加工中等技術學校的教科書。它比較全面地反映了蘇聯在木材干燥方面的科學技術成就，尤其是第三屆全蘇木材干燥會議（1951年）以後的成就。對於干燥理論、實施技術以及建築設備方面，本書都敘述得比較簡明扼要，而且示例多、容易懂。對於干燥窖的設計計算，在本書中專門列為一章敘述，計算的程序很分明，而且有例子說明，極便於學習與應用。書中引載有基本上够用的圖表與數字資料，因此，也適合作為實際干燥工作的參考。譯者認為，國內也已經開始大規模進行木材干燥事業，因此，這本書是值得推薦的。

著者索柯洛夫同志是列寧格勒基洛夫林業技術學院的副教授，對於木材干燥的理論與實踐造詣精深，他是蘇聯在這方面的有數的專家之一。索柯洛夫同志不僅是良好的教師和專家，而且是社會的活動家與國際主義者。他對於中國的社會主義建設經常表示熱切的關懷。譯者之所以翻譯這本書，一部分就是由於索柯洛夫同志翹盼以此書幫助中國建設的願望所促成的。

索柯洛夫同志特為中文版寫了序言，介紹在此書出版後木材干燥在蘇聯進展的方向與實況，以使中國讀者們在發展自己的木材干燥事業時得到更多的參考，這是索柯洛夫同志關懷中國的具体表現。

譯者正在從索柯洛夫副教授學習木材干燥。在翻譯本書的過程中得到他的熱情的鼓勵和幫助，特在此表示謝意。

譯者

序 言

在偉大的十月社会主义革命之后，在苏联兴起了大規模的工業性的木材干燥事業。但是，木材干燥尽管已有了巨大的成就，却仍然存在許多缺点。

鑒于党和政府的关于大量扩充制材与木材加工工業的指示，木材干燥業務所面临的任務是，大大地增加干成材的生产。要完成这一任务，首先是必須加强現有干燥窑的作用和对其进行改建。

第三屆全苏木材干燥會議（1951年）注意到广泛培养干燥技術員与干燥工的必要性，希望中等林業技术学校培养一些能全面掌握复杂的木材干燥工艺的專門人才。

本教科書是根据苏联森林工業部与造纸及木材加工工業部所批准的大綱編写的。

Н·С·西留金与И·В·克利切托夫編著的兩本高等学校用的木材干燥教科書，以及国家木材加工企业設計院（Гипродрев）、中央木材机械加工科学研究所（ЦНИИМОД）、列宁格勒基洛夫林業技术学院、烏克蘭木材机械加工科学研究所（УкрНИИМОД）、苏联森林工業部的森林采伐、水运与木材加工工業設計院与其它科学研究机关及專科學校的关于木材干燥技术最新成就的报告，对本書的編写有着極大的帮助。

著者在整个課程中力求介紹这样的材料，以引起讀者願積極地成为促进木材干燥技术进步的合理化建議者与技术革新者的願望。

著者將接受教师們、学生們、实际生产工作者們及其它讀者們对本書提出的批評与要求，并对此表示感謝。

目 录

中文版序	1
譯者的話	4
序言	5
第一章 木材干燥的意义及木材干燥技术在苏联的發展	1
1. 木材干燥对于国民經济的意义	1
2. 木材干燥技术在苏联的發展	2
3. 木材干燥法	4
4. 进一步發展木材干燥的途徑	6
第二章 湿空气和爐气体的特性。Id-圖表及其在木材干燥技术中的应用	9
5. 湿空气的性質	9
6. 拉姆津教授的 Id-圖表	14
7. 根据 Id-圖表确定空气的参数	18
8. 空气的加热与冷却过程	19
9. 用空气蒸發水分的过程	20
10. 两种或几种状态的空气相混合的过程	24
11. 湿空气的比重和比容	29
12. Id-圖表上的蒸發过程。蒸發 1 公斤水分所消耗的 空气和热量	31
13. 木材干燥用的爐气体	36
14. 木材干燥技术对爐气体提出的要求	38
15. Id α - 圖表及其在木材干燥技术中的应用	39

第三章	木材中的水分	45
	16. 木材含水率的測定.....	45
	17. 木材含水率的数值与等級.....	49
	18. 木材中水分的状态.....	51
	19. 木材的吸湿性与平衡含水率.....	52
	20. 木材的干縮与容积重.....	57
第四章	木材干燥过程中的物理現象	65
	21. 木材干燥过程中所發生的物理現象的本質 (概論).....	65
	22. 水分从水面和木材表面的蒸發.....	68
	23. 干燥过程的圖解.....	70
	24. 干燥时在木材中發生的应力与变形.....	72
	25. 木材在干燥时所产生的缺陷。缺陷的預防.....	78
第五章	木材干燥窑的类型	83
	26. 木材干燥窑的分类.....	83
	27. 对木材干燥窑提出的要求.....	87
	28. 具有自然循环的周期式空气干燥窑.....	88
	29. 具有强制循环的周期式空气干燥窑.....	94
	30. 具有自然循环的連續式空气干燥窑.....	104
	31. 具有强制循环的連續式干燥窑.....	108
	32. 周期式气体干燥窑.....	113
	33. 連續式气体干燥窑.....	119
	34. 气体火力联合干燥窑与过热蒸汽窑.....	122
	35. 各种木材干燥窑的性能及应用範圍.....	125
	36. 改进干燥窑的途徑与窑干的發展.....	129
第六章	木材干燥窑的構件、設備与結構的类型	134
	37. 窑壳.....	134
	38. 干燥窑的門.....	137
	39. 加热器与噴蒸管.....	142

	40. 汽管綫与凝結水綫	153
	41. 凝結水排除管	156
	42. 木材干燥窑的爐灶、气体通道	161
	43. 木材干燥窑的通風道	165
	44. 通風机，通風装置与噴气装置	166
	45. 干燥窑結構类型	187
第七章	測定和自动調节空气（气体）溫度与湿度的仪器	194
	46. 水銀溫度計，烘箱中温度的自动調节	194
	47. 可移动的与固定的湿度計	195
	48. 具有电阻溫度計的遙測湿度計	200
	49. 热电偶高溫計	204
	50. 气压溫度計与湿度計	205
	51. 干燥窑內空气温度与湿度的自动調节	207
第八章	干燥車間內材料的运输、材料的堆积与拆卸	213
	52. 干燥車間的鉄路綫	213
	53. 單綫車与台車	215
	54. 轉运車	216
	55. 干燥車間內材堆轉运的机械化	218
	56. 窑干的材堆堆积法，材堆的外廓尺寸与容量	219
	57. 堆置板材与毛坯的規則	222
	58. 材堆堆置与拆卸的机械化	224
第九章	成材窑干的过程和基准	230
	59. 干燥窑工作前准备情况的檢查	230
	60. 干燥前材料的准备，最初含水率与現有含水率 的測定，檢驗板的選擇与排置	231
	61. 根据分層含水率試驗片与应力試驗片測定材料 的状态	235
	62. 窑的开动，材料的初步处理（預热）	238
	63. 关于干燥基准及其編制的概念	240

	64. 标准的干燥基准	242
	65. 木材快速干燥的基准	254
	66. 被干材料的中間处理	257
	67. 干燥窑的管理与干燥时期内各种观察的记录	259
	68. 成材的終了含水率与干燥质量的指标	267
	69. 終了处理与窑干的結束. 干燥后干材料的儲存	270
第十章	干燥車間的生产量和工作組織	273
	70. 成材窑干的延續期	273
	71. 干燥窑的生产量	278
	72. 干燥窑的实际生产量折成以标准材料計的 生产量的換算	282
	73. 干燥車間的规划与統計	284
	74. 干燥車間的編制. 实验室与輔助房舍	288
	75. 干燥車間內的劳动衛生与安全技術	290
	76. 干燥成本与技術經濟指标	293
第十一章	木材干燥窑的生产試驗	299
	77. 試驗的目的	299
	78. 窑和干燥車間的說明書	300
	79. 气流的压力和速度的測定	305
	80. 通風机与噴气裝置的檢查	310
	81. 沿着窑身分布的空气温度和湿度的檢查	313
	82. 材料在窑內干燥的均匀性的研究	313
	83. 干燥窑控制能力的檢查	314
	84. 在窑的試驗期中对燃料、蒸汽和电能消耗的檢查	315
第十二章	成材干燥窑的計算	316
	85. 干燥窑設計的一般問題	316
	86. 干燥方法的选择. 干燥窑类型的选择和窑数 的計算. 干燥車間的設計	318
	87. 周期式蒸汽干燥窑的热力計算	320

88. 連續式干燥窑的热力計算的特点	332
89. 气体窑的热力計算的特点	336
90. 通風机-噴气裝置的計算	342
91. 进气-排气道的計算	352
92. 裝有內軸流通風机的ВИАМ- II型(ЦНИИМОД-23) 周期式蒸汽干燥窑的計算的示例	353
93. 噴气可逆周期式窑的計算的示例	370
94. 气体干燥窑热力計算的示例	374
第十三章 成材的大气干燥	378
95. 成材大气干燥的技术条件	378
96. 板院場地的区划与养护	380
97. 大气干燥的材堆的結構与成材的堆置	382
98. 板院的容量. 成材大气干燥的延續期与对成材 状态的檢查	387
99. 闊叶树成材与特种材料的大气干燥的特点	389
100. 大气干燥时堆置的机械化与运输	392
第十四章 特种的木材干燥法	393
101. 在高頻率电流电場中的木材干燥	393
102. 輻射干燥(紅內綫干燥)	404
103. 在液体中干燥	409
104. 木絲的干燥	414
105. 鋸末与气体發生器用的燃料的干燥	416
結束語	419
附录1. 干飽和水蒸汽表(根据М·Ю·Лурьё)	
附录2. 气候速度超过2米/每秒时的湿度表	
附录3. 气候簡表(温度°C)	
附录4. 湿空气的Id-圖表(湿含量在500克/公斤以下)	
附录5. 爐气体的Idα-圖表(湿含量在400克/公斤以下)	

第一章 木材干燥的意义及木材干燥技术在苏联的发展

1. 木材干燥对于国民经济的意义

工業上常需要根据木材的用途把它的含水率降低到一定的程度。用木材本身重量的百分率来表示其中所含水分的数量，叫做木材含水率。

剛伐倒的木材或制材厂中剛鋸解开的木材常有很高的含水率。

水分以蒸發的方式由木材中排出的过程，叫做干燥。

干木材的質量大大高于湿材的質量。

下列各項是木材干燥的主要技术目的：

提高木建筑物与制品的强度与耐久性；

防止变質与腐朽；

减少或消灭木材的变形、变尺寸、翹曲或开裂；

改善膠合質量与裝飾質量；

减小重量。

进行干燥时，使水分由木材中排出是相当困难的。原因是材料的厚度大和在含水率下降时木材的尺寸發生变化。干燥过程若进行得不正确，則被干材料尺寸的变化就会引起材料的开裂、翹曲与其它缺陷。

因此，干燥的基本任务，是使全批材料与每塊板材各按其断面与長度在保持所要求的材料質量条件下均匀地减小含水率。

由未干透的木材制成的制品与建筑物是極不耐久的，它們容易损坏或腐爛。湿木材制成的家具往往用不上几个月就“坏了”，而同时用干燥得很好的木材制成的同样家具，則可以多年使用。由未干透的

木材制成的建筑零件（窗欄、門、地板、天花板）会翹曲、歪斜、裂开。地板与天花板会形成裂縫，使得灰泥脫落。这样的房屋，往往在建筑完工之后立即需要大規模的修理。

我国每年有成千百万立方米的成材由北部木材生产地区运到中部与南部地区。如果这些成材在产地（即制材厂）受干燥处理，那末被运输的木材的重量就可减少30—40%以上，而且防止了木材在途中变质，节约了装卸作业所费的资金和减少了运输的费用。

干燥过程若进行得不正确，材料将产生裂紋与翹曲，而在被干材料的进一步加工时将降低出材率，从而引起相当大的损失。只有在正确組織干燥过程的情况下，才可能保证木材加工所得的制品具有高等質量。

由此可见，正确的木材干燥对于国民經济有多么重要的意义。

应当补充說明，干燥过程在木材加工工艺中是最長的过程和最貴的过程之一。因此，干燥部分是需要特別加以注意的与配置熟練干燥工作人員的一个極重要的部分。

2. 木材干燥技术在苏联的發展

作为家具、箱匣、木工、小車、大桶及其它行業的手工式的木材加工，在俄罗斯十五世紀就業已得到巨大發展。此时，我們的手工業者已創立了俄国的艺术風格。巴勒赫城的小箱盒、花赫洛城的家具等都是博得声誉的木制品。

从前，木材是在开曠空地中或是在手工业作坊的“木床”上干燥的。直到第十六世紀，某些軌道制造厂、兵工厂与机器厂才开始建造干燥窑。

如所周知，沙俄时代的木材加工工业是手工业式的。因此，木材干燥沒有工业技术基础；干燥实施的方式是極簡陋的，只有几年曾在某些生产中（例如乐器生产）引起注意。但俄国工程師們与生产者們在当时就已成功地和創造性地解决了干燥技术上的一些复杂問題。远在1875年，布雷金就拟制了可以采用热空气、过热蒸汽、爐气体等

作干燥介质的干燥窑。

在1875年彼得堡实用工艺学院的教授A·B·加多林写出了第一篇关于干燥时木材翘曲的分析研究的论文。

1895年出版的A·A·普列斯工程师著的“木材人工干燥”中，讲到在车箱制造与机器制造工厂中使用的空气自然与强制循环的各种类型的干燥窑。

所有这些都证实了俄国技术思想在木材干燥部门中的优先地位。

但是，在十月革命之后，在从1928年开始的工业化时期内，旧的干燥方法已不能使蓬勃发展的森林与木材加工工业满意。为了满足增长着的社会主义工业在干成材方面的需要，必须组织大规模的木材人工干燥与广泛地建造干燥窑。

目前，干燥技术发展的主导作用是属于苏联。在苏联提出了许多有原则性的新干燥法；拟制和采用了许多最新式而经济的快速干燥装置；设计和制造了许多为干燥设备用的较好型式的通风热力装置；详细拟定了干燥基准和编纂了全部主要树种的干燥实施规程。这一切都是在对干燥过程中的物理现象有了深刻了解和对干燥理论有了深入研究的基础上作出来的。

在木材干燥技术中之所以能获得这些成就，是出于社会主义计划经济远远优越于资本主义的结果。

在我们国家里有许多科学研究机构、设计院与巨大的工程师和先进工作者的集体，都在从事发展木材干燥技术的工作。

有许多重要的干燥技术方面的问题，都是苏联学者们最先解决的。

П·К·拉姆津教授利用他自己提出的Id-图表在1918年创制了计算湿空气参数的图解法。

气体的水力学理论的创始人B·E·格鲁姆-格尔瑞马罗应用这一理论拟制了新的干燥窑的方案。这些干燥窑已在工业中广泛采用。

A·B·雷柯夫在1950年完成了荣获斯大林奖金的巨著“干燥理论”：这是关于干燥的物理数学理论的著述。

科学博士H·H·楚李茨基及其他学者们对于木材干燥过程进行了许多重要的研究工作。

科学博士H·C·謝留金(基洛夫林業技术学院)在1936年首創編著了为高等林業学校用的詳細、完整的“木材干燥”教課書。他是世界上应用高頻率电流电場于木材干燥的創始人。

經濟的气体木材干燥窑的拟制及其在生产企業中的推广运用是科学發明家H·B·克列切多夫、B·A·包斯諾夫、H·H·別奇、A·A·达拉連柯以及全苏热力工程研究所的特殊功績。

中央膠合板与家具科学研究所(D·M·斯捷尔金)在單板与膠合板干燥方面进行了广泛的工作。

全苏热力工程研究所,中央木材机械加工科学研究所,烏克蘭木材机械加工科学研究所,中央膠合板与家具科学研究所,基洛夫林業技术学院,莫斯科林業技术学院,国家木材加工企業設計院,国家森林工業設計院——是研究过和正在研究木材干燥問題的各个主要机构。

为了討論有关木材干燥技术的重大問題,曾举行过三次全苏會議:第一次在1929年,第二次在1936年,第三次在1951年。

全体从事木材干燥的專家們、工長与干燥工們及生产革新者們的共同任务,在于通曉新的干燥技术,以取得技术过程上的进步与大規模工業上的木材干燥的發展,来适应我們的国民經济的要求。

3. 木材干燥法

目前采用下列各种木材干燥法: 1)帶冠立干法; 2)大气(自然)干燥法; 3)窑內干燥法; 4)接触干燥法; 5)高頻率电流电場干燥法; 6)紅外綫干燥法(輻射干燥法); 7)液体干燥法。第三至第七的各种方法可以統名为人工干燥。

目前,木材干燥的主要方法是,大气(自然)干燥法和窑內干燥法两种。

帶冠立干法 帶冠立干法用来使落叶松木材便于流送、以减少新伐木材因容积重过大而沉沒的百分率。此种方法,主要是利用树冠的蒸發能力来排除木材中的水分。方式是这样:在預定將伐倒的树木的树干上砍去一圈木材,使边材全被切斷,由根部上升的水分被断絕,

而樹干的木材內含有的水分則部分地上升入樹冠而蒸發掉。在兩到三月的期間內，木材約失掉其所含全部水分的15%。

除了便于流送外，這種干燥法沒有其它意義。

若在冬季采伐，樹干上的環應在七月中旬砍出，不得超出蠹蟲飛出終了期的前十天，以免蠹蟲危害受帶冠立于法處理的木材；若在夏季采伐，則環應在針葉開放后立即砍出，以便在蠹蟲起飛前伐木。

大氣干燥法 木材的大氣（自然）干燥，如名稱所示，是把木材堆放於空曠板院內或棚舍下，使在大氣條件下進行的干燥。在低溫度下空氣由於極易飽和，其吸收水蒸氣的能力極為薄弱。因此，在大氣干燥時，特別重要的事項是被干燥材料表面附近的空氣須繼續不斷地流動。稀疏堆積的材堆就可以達到這一目的。

大氣干燥的強度依當地的气候條件與季節而異。干燥強度可用變動材堆堆積密實度的方式加以調節，不過作用頗小。大氣干燥儘管有一些缺點，但由於簡單與經濟，直到目前為止還是有其重大的意義。

窯內干燥法 此種方法是木材人工干燥的基本形式。干燥在特建的干燥窯內用高溫度空氣（或氣體的混合物）進行。

在窯內干燥的條件下，有可能根據被干材料的狀態輕易地調節空氣（氣體）的溫度、濕度與循環速度。在操作技術很熟練的條件下，可利用此種方法獲得一定質量的與任何終了含水率的干木材。

接觸干燥法 在進行接觸干燥時，熱力由烘熱的平板傳給直接和它相貼合的被干材料。接觸干燥法通常用來處理薄而平的材料，即用來干燥單板與膠合板，有時也用來干燥彎曲零件（在烘熱的樣板內處理）。

高頻率電流電場干燥法 此種方法與其它各法都不相同。被干的材料放置在高頻率電流發生器的容電器內。為蒸發水分所必需的熱力不是由外部傳入，而產生於被干材料的內部。

在大氣干燥與窯內干燥時，木材的溫度在全部斷面幾乎是一樣的。而在高頻率電流電場內干燥時，則沿着材料的厚度由內而外發生相當大的溫度落差。這種溫度落差使得由材料內部諸層到外部諸層的水分的移動能夠極其強烈，從而大大地縮短了干燥的延續期。