

木材压缩与弯曲

胡赫良斯基著

农业出版社

木材壓縮与弯曲

胡赫良斯基 著

申宗圻 譯

农业出版社

П. Н. ХУХРЯНСКИЙ

ПРЕССОВАНИЕ И ГНУТЬЕ
ДРЕВЕСИНЫ

Гослесбумиздат

Москва 1956 Ленинград

根据苏联森林工业与造纸工业出版社1956年

莫斯科、列宁格勒俄文版本译出

木材压缩与弯曲

〔苏〕胡赫良斯基著
申宗圻译

农业出版社出版

北京老钱局一号

(北京市书刊出版业营业许可証出字第106号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

农业出版社印刷厂印刷装订

统一书号 15144.410

1965年1月北京制型

1965年2月初版

1965年2月北京第一次印刷

印数 1—2,600册

开本 850×1168毫米

三十二分之一

字数 210千字

印张 九

定价 (料七)一元五角

譯 序

在近代的木材工業中，改性木材的生產已是一個重要的組成部分。目前這種產品已廣泛地用於各個工業部門作為珍貴硬質木材、有色金屬等的代用品。在改性木材中以木材層積塑料和壓縮木應用得最為普遍，在我國則以木材層積塑料的生產最多，至於壓縮木直到最近幾年才開始生產。這兩種最普通的改性木材，各有其優缺點和一定的使用範圍，但壓縮木的生產較比簡單，通常不需要特殊的化工原料和設備，在木材綜合加工廠內易於投產，成本也較低廉，所以在我國目前的木材加工工業中發展壓縮木的生產是有一定的現實意義的。

壓縮木（包括壓縮—彎曲木）的組織結構，物理力學性質，乃至化學性質都不同於天然木材。它具有較高的力學強度，低的摩擦系數和良好的耐磨耗性能。容積重 1.4 克/立方厘米的壓縮木與天然木材相比較，橫紋理的抗壓強度可以增加 14 倍，順紋理的抗壓強度可以增加 1 倍，硬度可以增加 2 倍（端面）到 6—7 倍（側面），耐磨耗性可以增加 17 倍（樺木）乃至 30 倍（楊木）。所以壓縮木的許多性能勝過木材層積塑料和膠布塑料，並且不遜於有色金屬的巴氏合金和青銅等等。而且它的成本還很低，每公斤壓縮木可以代替 8—10 公斤青銅，而成本低 1—4 倍。現在國內外各個工礦企業部門已廣泛地用來作為紡織木梭、打梭板、球磨机中的磨球、齒輪、滑輪、軸瓦、軸套、滑塊、凸輪等等。壓縮木在其壓制過程中，木材的彈性變形轉化為塑性變形，同時儲存了許多能量；如果改變了介質的

条件,它原有的塑性变形又可以轉化为彈性变形,而釋放出很大的膨脹压力,所以压縮木又是一种很好的挤紧材料。

近年来从事压縮木的研究与生产的单位日益增多,并且在高等林业院校的木材加工工艺学的教学大綱中,也将木材的压力加工列为一項重要的内容。但是关于这方面的專門科技书籍国内还很少。И. Н. 胡赫良斯基教授所著的《木材压縮与弯曲》是一本較好的专著。它既着重于理論的闡述,又概括了生产实际方面的内容。著者从事木材压縮的研究已有三十多年,书中有許多資料是著者第一手材料,例如回形压縮法等等,具有很多独到的見解,是广大工程技术人員和高等院校师生很好的参考书。

木材的弯曲工艺与木材的压縮有密切的关系,因为在木材弯曲过程中,木材要进行不同程度的压縮,例如針叶树材和軟闊叶树材都必須借橫紋理的压縮,增加弯曲木的剛性,才能避免弯曲时由于側面发生臃凸而破坏的現象。著者将木材的压縮与弯曲結合編著在一起是很合理的,它們实际上都属于木材压力加工的范畴。

这本书是著者根据他1949年出版的《木材的压縮》一书重写的,不但增添許多新内容,而且还提出了很多新見解,例如木材的弯曲—压縮法,解决了过去认为針叶树材和軟闊叶树材不适于弯曲的問題。現在这本原著虽然也是早在1956年出版的,但是它的理論部分是成熟的,并未失去时效。在生产工艺方面,当时有些未肯定的問題,現在經過試驗研究,已較比明确。书中提到高频率电流在压縮木与弯曲木生产中的应用問題,由于研究得还不够充分,所以目前还没有在工业上得到发展的条件,而且它需要較比复杂的設備。关于在高压釜中进行流体靜力压縮法,經過近几年的試驗研究証明,它在經濟上不是很合理的,因为这种方法只能生产均匀压縮密实的木块。想以石蜡油和矿物油加热木材的方式,代替蒸煮方式,迄今尚未得到完滿的結果。試驗証明,在石蜡油中加热,用

回形壓縮方法只能將木材壓縮到容積重 1.0 克/立方厘米，要得到容積重更大的壓縮木，年輪層就會發生剪切和裂紋。用這種方法所制得的壓縮木比預先蒸煮回形壓縮，再在烘爐中干燥所制成的壓縮木質量低，例如硬度、抗壓強度與耐磨耗性等較低。而用後一種壓縮法則可以制成容積重 1.35 克/立方厘米的壓縮木。所以用石蠟油加热的回形壓縮法在生產上不宜採用。

過去壓縮木的用途只局限於小尺寸的零件，最近已成功地壓制了尺寸較大的零件，長度達到 1.8 米。關於利用壓縮木作為擠緊材料，充分利用壓縮木吸濕後的膨脹壓力問題，現在生產上有了新的发展。因此，對於壓縮木的膨脹壓力的測定，最近國內外研究較多，並且已有一定的成果。

壓縮木雖然已有四十來年的歷史，但是它的特性還未充分加以利用。鑑於各方面的需要，故將該書譯成中文。唯限於譯者的水平，在業務上和文字上，錯誤在所難免，謹希讀者指正。

申宗圻

1964年5月

目 录

序	1
---------	---

第一篇 木材的压缩

第一章 木材压缩的理论	5
一、基本原理	5
二、木材横纹理压缩时的应力—变形 ($\sigma-E$) 线图	12
第二章 基本概念与定义	25
一、压缩方法的分类	25
二、压缩程度的测定	27
三、最大可能的压缩程度	29
四、压缩时的横向变形	33
第三章 均匀的单轴压缩	35
一、均匀压缩的方式	35
二、预先加热压缩法	35
三、预先蒸煮压缩法	40
四、压缩所需要的力	43
五、横向单轴压缩时木块断面的木材密实程度	46
第四章 不均匀的单轴压缩	53
一、不均匀的单轴压缩法	53
二、不均匀压缩时变形的特点	54
三、不均匀压缩时所需要的力	58
第五章 木材的回形压缩 (抽拔法)	62

一、回形压缩的工艺	62
二、压缩程度在圆柱体木块半径的变化	67
三、回形挤压时木材的变形	70
四、封闭回形压缩时所需要的力	72
第六章 压缩木的构造与物理性质	79
一、压缩木的构造	79
二、压缩木的物理性质	81
三、用润滑油和其他液体浸注木材	94
四、木材结构的变化	95
第七章 压缩木的力学性质与工艺性质	99
一、概述	99
二、影响压缩木力学性质的条件	100
三、不均匀压缩木的强度	113
四、回形压缩木的强度	116
五、压缩木的工艺性质	118

第二篇 木材的弯曲

第八章 木材弯曲的理论	121
一、弯曲的方式	121
二、筒式弯曲的轴向变形	123
三、筒式弯曲时轮箍的作用	132
四、复式弯曲的横向变形	139
五、弯曲所需要的力矩	145
第九章 木材筒式弯曲	152
一、筒式弯曲工艺	152
二、影响筒式弯曲的条件	155
三、冷法横向弯曲	159
四、加热弯曲的木材	160
第十章 木材的复式弯曲	164

一、复式横向弯曲工艺	164
二、影响复式横向弯曲的条件	166
三、复式端向弯曲工艺	169
第十一章 弯曲木的物理力学性质	172
一、弯曲木的微观构造	172
二、容积重	173
三、弯曲木的含水率与变形特点	175
四、弯曲木的强度	176
五、加热弯曲的木材	181

第三篇 压缩木和弯曲木——胶布塑料、有色金属、 黑色金属和硬质木材的代用品

第十二章 轴承	185
一、概述	185
二、制作轴承的压缩木的选择	187
三、压缩木的摩擦与磨损	188
四、压缩木在工业和农业上的应用	192
第十三章 齿轮	213
一、概述	213
二、压缩木锥形齿轮的结构	214
三、压缩木齿轮的生产工艺过程	217
第十四章 接缝和衬片的挤紧材料	220
一、概述	220
二、上、下水道接缝的挤紧作用	221
三、用于泵的衬片	223
四、汽车水泵挤紧装置的垫圈	224
第十五章 纺织机器零件	225
一、梭子	225
二、打梭板	232

三、条卷机的筒管·····	233
第十六章 車輪和弯曲木椅子·····	238
一、概述·····	238
二、馬車車輪·····	238
三、弯曲木椅子·····	246
第十七章 用压缩木制的各种結構零件和机器零件·····	252
一、铁路运输与城市运输·····	252
二、建筑业·····	254
三、机器制造业·····	256
第十八章 木材压缩与弯曲的生产組織·····	267
一、概述·····	267
二、木材的蒸煮·····	268
三、压缩·····	269
四、弯曲·····	272
五、干燥·····	272
六、木材的消耗量·····	273
第十九章 輾压式和抽拔式的木材压缩法·····	274
参考文献·····	277

序

木材千余年来一直用来作为各个工业部門的 建筑和 結構材料,这主要是由于它的强度高,重量小,而且易于加工的緣故。

木材是各向异性材料,也就是它的力学性质取决于力的作用方向。木材順紋理抗拉与抗压强度比橫紋理抗拉与抗压强度大得多。而木材順紋理的抗剪强度(剪切),却比橫紋理的抗剪强度(剪断)要低好几倍。

木材的抗剪切与抗扭强度小,是它作为建筑和結構材料的重要缺点。因此,用它作承受順紋拉力以及有时候承受弯曲的結構部件,就显得复杂起来。如果把重量相等的木軸杆与鋼軸杆作一比較,便能够更好地說明这一点。就某些树种的木材与鋼的物理力学性质來說,如果木軸杆与鋼軸杆的强度相等,則木軸杆的重量應該比鋼軸杆輕 $4/5-5/6$ 。但实际上并不是这样。木制拉杆通常要比鋼制拉杆的重量大得多。

拉杆的理論强度与实际强度不相符合,这是因为木材的抗扭强度与順紋抗剪强度太小的緣故。在拉杆中木材的破坏往往不是由于順紋理抗拉应力造成的,而只是由于在施加外力的地点受到扭曲或剪切造成的。剪切与扭曲在其他荷重方式下也是决定性的因素。

木材的各向异性可以用它的构造特点來說明。研究証明,木材的构造和作为独特的植物結構的树干的功用有着密切的关系。

树干如同建筑物一样,一方面可視為下端固定着并处在水平

风力作用下的柱子；另一方面則可視為，在自身重量与树冠重量的作用下，承受着纵向弯曲力的軸杆。作用在树干上的力可以認為是平均分布的，或是在树冠范围内按照一定的規律分布的，只有在树冠各个枝条着生的地方，每一个枝条承受的力才集中地传递給树干。

木质部是树干的主要物质，在树木整个生活时期都处于应力状态下，而且应力的大小与特点随时不断地在改变。

在风力、树干自重和树冠重量的作用下，树干中的木质部承受着压力、拉力和順紋剪力。由于經過了几百万年的过程，适应了周围的环境，树干获得了合理的形状，它的力学性质随着树干的高度而具有最合理的变化。

就机械强度而論，树干形状和木材质量之間具有密切的关系，这种关系可保証树干以最少的木材消耗获得最大的强度。在应力最大的断面上，树干的直径最大，而木质部的力学性质的指标最高。在树枝着生的地方，树干局部增粗，同时木材的橫紋抗压与抗剪强度也大为增加。

树干具有高的抗剪切强度，主要是由于它的多节性，有时是因为木材的紋理交錯。

在从树干鋸解下来的任何形状の木块上，适应一定工作条件的树干形状和木材品质的天然配合会遭到破坏。用来作工程結構或机器軸杆的这些木块通常是处于与木材构造不大适应的应力状态下。此外，特別重要的是在工程結構或机器的部件結合处会发生与天然条件不同的外力传递。树枝着生范围以外（換言之，节子之外）的木材对承受集中的荷重是不大适应的。这一点可以借木材在不大的压力下由于橫紋理压縮而易于变形得到証实。

总而言之，利用天然的木材作为結構材料，不能保証其所有的特性得到充分的利用。要使木材得到較比充分利用，就必须預先以

相应的方式进行加工，而且这种加工首先应该保证提高木材的抗扭强度。

长久以来，木材加工在建筑业和其他工业部门中只限于制成某一种形状的材料，而借干燥除去其中多余的水分。

在个别的生产部门中，往往要求木材具有特殊的性质，例如，美丽的外形（结构），耐磨损性，等等。因此，要求选择具有这种性质的特殊树种。

由于各工业部门的迅速发展，于是迫切地提出了关于制定新的工艺学问题，以便赋予木材必要的物理力学性质。而木材压缩便是这些新方法之一。

在苏联，1932年初便已制定出两种改善木材力学性质的压缩方法：(1)中央林产化学科学研究所（ЦНИЛХИ）法，是该所一些科学工作者（B. Г. 马特维耶夫等）创造的，或称为炉中加热压缩法；(2)首先在布良斯克机械制造工厂应用的 И. И. 胡赫良斯基法，或称为预蒸煮压缩法。

И. И. 胡赫良斯基循着他自己思想的发展，在1933年进一步制定了不均匀压缩法。这种方法对机械制造工业以及把材料的重量与其强度看作同样重要的一些特殊的生产部门具有很大的意义。

从1932/1933年起，用苏联习见树种（主要为阔叶树种）制造的压缩木和硬材树种一样具有同等的价值，在许多生产部门的应用中获得很大的成效。

1935年 A. X. 佩夫佐夫教授和 И. B. 科诺年科工程师一起，在弯曲木材时采取了压缩方法。

这个方法解决了针叶树种与软阔叶树种的木材弯曲问题，这些树种曾被认为是不能弯曲的。

1932年、1933年、1935年和1936年在莫斯科和布良斯克先后举行的木材压缩问题的科学技术会议，对压缩木的发展也起了很

大的作用。参加这几次会议的有许多科学研究机关从事木材研究的代表，以及机械制造工厂的代表。

1935/1936 年，Н. С. 謝柳金和 С. Н. 阿勃拉明科首先在苏联采用了他們制定的，压缩前在高频率电场中加热木材的方法。С. Н. 阿勃拉明科和 Л. М. 別列雷金在 1935—1938 年曾研究过天然木材和压缩木的物理力学性质。Я. С. 加拉伊工程师和 А. И. 扎伊切夫教授曾研究过压缩木的摩擦系数和用压缩木制的轴承在重型机器结构中的工作情况。В. Г. 馬特維耶夫所作的研究工作促进了压缩木在紡織机器制造业中的广泛推广。С. И. 瓦宁教授曾研究过腐朽木材的压缩，以便将其用作修飾材料。

中央木材机械加工研究所(ЦНИИМОД)曾詳細地研究过压缩木的物理性质与解剖性质。

1946 年胡赫良斯基創造了木材的回形或抽拔压缩法。利用这种方法可以制造完整的及实心的圆柱形压缩木块。

П. Н. 日特科夫和 Л. И. 康德拉托夫除了詳細研究过回形压缩木的力学性质外，在他們的許多著作中(1952)还闡述了回形压缩的理論。

В. И. 奥加尔科夫和 В. Г. 波波夫(1950)曾研究过不均匀压缩时木材的变形。П. Н. 日特科夫制定了用不均匀压缩木制成的构件的計算理論。

А. Н. 耶弗列莫夫創造了(1950)薄板的端向弯曲法。最近(1951) В. Г. 波波夫和 И. В. 鮑奇卡列夫又以橫向压缩充实了端向弯曲法。目前，又提出了用軋制方法压缩木材的問題。

第一篇

木材的壓縮

第一章

木材壓縮的理論

一、基本原理

就結構而言,木材是一种复杂的层次状和管状构造(針叶材和闊叶树环孔材)的材料,或是一种简单的管状构造(闊叶树散孔材)的材料。在年輪的晚材(夏材)部分聚集着厚壁的細胞,在早材(春材)部分聚集着薄壁的細胞和导管。年輪的管状細胞都是順着树干的纵軸延伸着。

髓射綫把年輪联接起来,形成一个具有很大刚性的复杂的空間体系,当纵向受压时特別能体现出这一特点来。

細胞壁的基本組織成分是:細小的纖維絲,以一定的方位排列成的骨架;纖維素胶粒、木素与半纖維素是骨架的填充物。半纖維素將纖維素的骨架胶着起来。当湿的木材加热时,一部分細胞壁的胶着物质(即半纖維素)被溶解掉,于是木材的刚性变小。

纖維素和木素的物理性质显著地不同:纖維素的特点是有弹性,抗破裂强度高;木素的特点則相反,质脆而抗压强度高。

在纖維素胶粒之間的空隙中有薄的水膜,称之为吸着水或附

着水。附着水在木材中的最大含量为絕干材重量的 30%。当含水率为 30% 时, 纖維达到饱和状态。木材中超过 30% 的水分称之为自由水或毛細管水。这种水份位于木材的細胞和导管的胞腔內。

改变附着水的含量, 木材的綫尺寸便会随之改变: 含量增加則湿胀, 含量减少則干縮。木材由于湿胀或干縮而产生的变形, 其絕對数值大致等于附着水增加或减少的絕對数量。

这些尺寸上的变化說明, 附着水的水膜厚度是与木材的含水率成比例地变化。当含水率为 30% 时, 水膜的厚度最大。

各种树种的木材, 其組成細胞壁的木材物质的比重 (1.56 克/立方厘米) 和絕干材的热容量 (0.324 卡/克·度) 都是常数。絕干材細胞壁的基本化学成分总是一样的。

不管木材的解剖构造多么复杂, 其容积重与强度之間却具有密切的关系: 在同一含水率下, 木材的强度随着容积重的增加而提高。

容积重和木材强度之間的关系可用下列方程式表示:

$$\sigma = A + B\gamma \quad (1)$$

式中:

σ —— 木材的强度;

A 和 B —— 常数;

γ —— 木材的容积重。

这种关系对于所有的树种都是确切的。任何树种的解剖构造特点只能使这种关系发生极微小的变化。

木材压縮的第一个原理就是根据这种关系提出的。

1. 各种树种的木材强度可以借木材的密实作用来提高, 也就是靠增加单位体积內木材的物质来提高, 如果这种密实作用不致引起細胞壁的破裂。

木材解剖分子的强度是不一样的。胞壁厚的分子其强度就高,

例如，針叶树的晚材管胞，其順紋理抗拉强度就比早材管胞大2—3倍。这便是由于細胞壁厚度不同的緣故。假如比較一下闊叶材导管与韌型纖維的强度也有同样的情况。

由于各个分子的密度不同，致使年輪的早材和晚材的强度也不同。由紧密的胞壁厚度的細胞构成的晚材要比主要由壁薄的細胞所构成的早材的强度高得多。

当木材順紋理压缩时，其各个分子，不論厚壁的或薄壁的都会在同样的程度上被密实。自然，用这种方法压缩时，天然木材所固有的各个分子在密度上和强度上的差别在压缩之后仍然保持着。因此，期望通过順紋理压缩取得巨大的成效（在增加木材强度方面）是没有根据的。

把各种树种横紋理加压时的曲綫〔參見变形(E%)—应力(σ 公斤/平方厘米)綫图〕(图1)作一比較，便可以看到樺木在发生某些变形之后其曲綫特点很近似白蜡木的曲綫，甚至近似黃楊木的曲綫。

显而易见，軟材树种的木材在横紋理加压的初期就变形，同时由于年輪的薄壁分子受压而被密实。只是在这以后，变形—应力曲綫才显著地上升，并且从这段开始其形状近似硬材树种的曲綫。

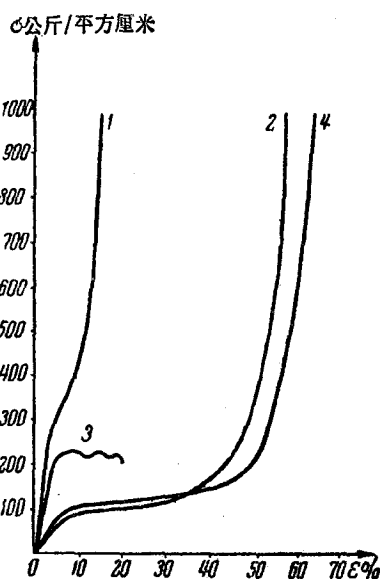


图1 各种树种的干木材横紋理压缩时变形(E%)—应力(σ 公斤/平方厘米)綫图

- 1—黃楊，徑向橫壓 2—白蜡，徑向橫壓
3—白蜡，弦向橫壓 4—樺木，徑向橫壓