

木材弯曲技術

鄭止善編著

科學技術出版社

木 弓 曲 技 術

鄭 止 善 編 著

科 学 ~~技 術~~ 出 版 社

內 容 提 要

本書介紹木材彎曲技術,包括實體木材的彎曲、膠合板的彎曲、膠合木的彎曲、夾心配件的彎曲,可供製造船舶、車輛、農具、家具、模型等器材時作為參考。

木 材 彎 曲 技 術

編 著 者 鄭 止 善

*

科 學 技 術 出 版 社 出 版

(上海建國西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可証出〇七九號

中 科 藝 文 聯 合 印 刷 廠 印 刷 新 華 書 店 上 海 發 行 所 總 經 售

*

統一書號: 15119·265

開本 787×1092 1/32·印張 3 3/16·62,000 字

一九五六年七月第一版

一九五六年七月第一次印刷·印數 1—3,500

定價: (10) 四角六分

前 言

木材弯曲是利用木材时的一种加工技术，在制造船舶、車輛、農具、家具、箱、桶、模型等物件时，确有其重要性。木材弯曲技术主要的贡献是節省原材料、減免榫接头、改善外形、增加美观，并且可以增加表面的光滑度，减少船舶構件与水之間的阻力，提高模型的精密度。

在我國利用木、竹材料加工时，木材的弯曲技术早經采用，例如竹材的挖空弯曲、鋸口弯曲，木板的焦炙洒水弯曲，籃筐的火烤弯曲等，都具有科学理論，只是在操作方法上还停滯在粗放階段，有待改善。

木材弯曲技术除了一般实体木材的弯曲外，还有膠合板的弯曲、膠合木的弯曲和夾心配件的弯曲。本書旨在就各种木料的弯曲方法作一綜合介紹，以供有关方面参考。惟限于資料，挂漏难免，敬希讀者指正是幸。

編者謹識

一九五六年三月

目 次

前 言

第一章 木材的弯曲	1
一 总說	1
二 木材的弯曲特性	1
三 弯曲木材的选择	4
四 弯曲木料的干燥	7
五 弯曲木料的加工	9
六 木料的塑化处理	11
1. 蒸汽或热水軟化处理	11
2. 药剂塑化处理	16
七 木材的弯曲技术	20
1. 加用端面压力的弯曲技术	20
2. 弯曲破坏的类型	27
3. 弯曲木材的变色消除	31
4. 受伤弯曲木件的修补	32
八 弯曲木件的干燥和固定(定型)	33
1. 干燥和固定的作用	34
2. 弯曲木料的干燥条件	37
3. 弯曲構件的性态	38
九 木材的弯曲力学	39

第二章 膠合板的弯曲	50
一 总說	50
二 弯曲半徑	51
三 安全因数	55
四 單式弯曲	56
五 复式弯曲	57
六 鑄模膠合板	58
1. 鑄模方法	59
(一) 泄气抽空袋模法	59
(二) 外方充气压力袋模法	60
(三) 內方充气压力袋模法	61
(四) 內涵泄气压力袋模法	62
2. 袋模的鑄型設備	64
(一) 木模型	64
(二) 金屬模型	66
(三) 混凝土模型	67
3. 模袋或模毯	67
4. 压力和溫度的裝備	69
5. 袋模用的膠剂	70
6. 袋模的技術	71
(一) 袋模材料的大小、形狀和厚度	71
(二) 薄木的含水量	72
(三) 薄木的系集	73
7. 加热媒介	74
8. 压力量	75
9. 加热周期	75
第三章 膠合板的小半徑弯曲	77

一 总說	77
二 一般的原理	78
三 二層薄木的膠合板的曲度半徑的限度	79
四 材料的选择	80
五 平式膠合系集法	81
六 系集的弯曲	83
七 系集的定型	84
第四章 膠合木的弯曲	86
一 中庸曲度的構件的型成	86
二 大曲度的構件的型成	88
三 环形、管形和圓柱体的型成	90
第五章 苏联的木材弯曲技術	93

第一章 木材的弯曲

一 总 說

木材弯曲是一种技巧,在現時工業上,特別是船舶、農具、家具、工具柄和运动器材等極為重要。就一般所用的几种木材弯曲方法來說,木材弯曲在木材加工上是最便宜、浪費材料最少,而成品弯曲部分的强度又是最有效的。

这类木材弯曲方法虽然有着長远的实用歷史和肯定的优越性,但是还没有一种方法能保証絕對的成功。实际的弯曲技術以及运用这种技術的人員都是从操作經驗中產生的。实际操作者在弯曲操作中或是在弯曲以后的固定过程中每每遇到嚴重的損失。因此,木材工藝学者認為:如果(1)弯曲材料的选择,(2)木材在准备弯曲前的干燥和塑化处理,(3)弯曲操作上的有效机械,(4)弯曲部分的干燥和固定成为需要的形狀,以及(5)弯曲对于木材强度的影响等問題能够得到進一步的解答,那末木材弯曲操作当可随之提高。

本文旨在就國外木材弯曲的研究報告作一介紹。但是,資料搜集不多,挂漏当然难免,衷心希望讀者提供意見,借以补正。

二 木材的弯曲特性

大家知道,極薄的木片容易用手弯曲到很尖銳的曲度。薄

木片实际上就是这样弯曲为各种成品，把它們交織成为一定的形狀或是膠附在其他部分上。这种弯曲無須对木材進行軟化或塑化处理。

厚的实心木材的弯曲須用蒸汽和热水軟化，或用藥品塑化。軟化容許木材本身在弯曲操作时適應所承担的弯曲变形。

当一件木材弯曲时，它沿着弯曲部分的外側或凸边伸張，而沿着內側或凹边压縮。因此，弯曲木材的变形是它的凸面比凹面为長。凸面是在伸張状态，凹面則在压縮状态。这类变形随伴着应力，有使弯曲木材回复到它原來直形的趨勢。主要的应力是沿着外側的伸張力和沿着內側的压縮力。

依靠水分和热力或是依靠塑化葯剂的作用使木材軟化的目的乃在限制这类应力的發展。木材經如此处理后能够大量压縮，但伸張則很少。因此，弯曲的目的是压縮木材并約束它沿凸面的伸張。進行这一工作的一般方法是圍繞木材的凸面放一金屬条鋸，而在兩端放置压力擋塊和裝具；金屬条鋸和压力擋塊的功用是在施加弯曲力时能防止或至少大大地减低木材凸面的伸張。

圖 1 說明弯曲一件木材时所發生的作用。采用一件伸張的金屬条鋸和端面裝具可以防止伸張。关于弯曲的作用和反作用的数学分析容后加以分析說明。首先要指出的是木材在弯曲时所發展的和基本上影响弯曲操作的一些作用中的矛盾。

木材本身对于和弯曲模型相接触点（圖 1 中 O 点）的弯曲力的抵抗，在弯曲進行的整个時間內是近乎一定不变的。当施加弯曲力时，未弯曲的木材部分实际上是一种杠杆，而 O 点为

支点。当这一杠杆臂（由距离 $L+X$ 代表）变短时，弯曲负载 P 需要增加。但是，在同时对于端面的压力或推力的抵抗（由 P'' 代表）亦是一定不变的，结果 PX 必须保持不变。由于 X 代表端面装具的长度是一个常数，所以负载 P 必须保持不变。因此，虽然弯曲作用的特性需要增加弯曲负载，端面的压力作用则需要负载保持不变。

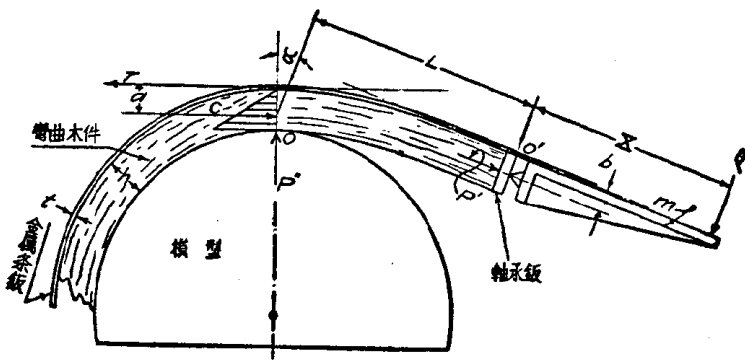


圖1 木材在端面压力下弯曲时的力学图示

对于在增加中的弯曲负载所引起的较高端面压力的一种自动补偿的简单机械如图2所示。这种机械叫做反向杠杆，对于木材的伸张面施加压力时，能限制木材在过分端面压力下的变形。这种反向杠杆必须向后伸展到木材和模型之间的最后接触点；否则端面压力将不能适当地调节，而在木材端面可能发生反向的弯曲。

木材的弯曲机械的操作效率大致可根据它能否满足下列两个要求来判定：(1) 必须避免伸张而依靠压缩来达成木材的变形，(2) 木材在弯曲进程中必须调节端面压力。满足这两个要求

的两种有效方法是(1)端面装置配合伸张条板 and (2)反向杠杆。

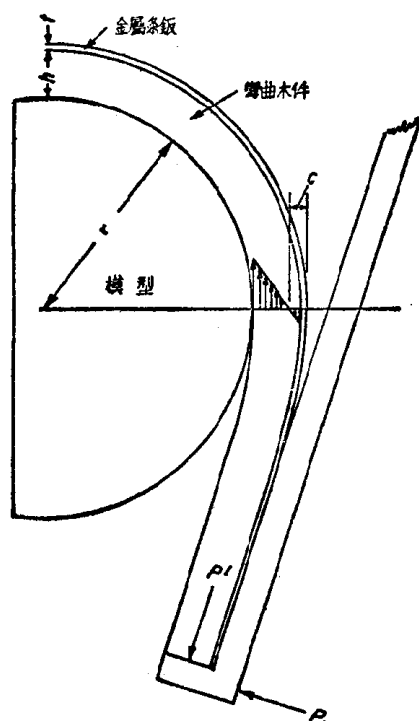


圖2 依靠反向杠杆自动調整端面压力

三 弯曲木材的选择

弯曲材料的选择主要由材种來決定。但是，如果弯曲材料的曲度很剧烈时，所用材料必須主要地按照它的弯曲品質來选定。

木材的弯曲品質变异很大，不僅在不同材种中如此，即在同一材种中亦复如此。大体說來，闊叶材的弯曲品質比針叶材的

弯曲品質为好，而有些闊叶材比他种具有較佳的弯曲品質。各种木材的弯曲品質尚未正确了解。國外学者曾經用蒸汽处理过的厚 2.54 厘米的木料，按照它在端面压力下弯曲时不超过 5% 破裂的曲率半徑，研究各种木材的相对弯曲品質。具备良好的弯曲品質的木材是：榆、白櫟、洋槐、水青岡、黄櫟和紅櫟。

按照不加端部压力而在一致的弯曲試驗下的破坏率來說，各材种的弯曲品質順序是：朴樹、白櫟、紅櫟、栗櫟、木蘭、山核桃、黑胡桃、薄壳山核桃、水青岡、榆、柳、樺木、楓香、軟槭、鵝掌楸、硬槭、栗、紫樹、楊、桃花心木、懸鈴木、七叶樹和假木。工業上常用的弯曲材料的樹种是白櫟、紅櫟、榆、山核桃、白蜡、水青岡、樺木、槭、胡桃、桃花心木和楓香。

一般地說，針叶樹材的弯曲品質不好，在弯曲作業上不常采用。紫杉是例外，可用作弯曲的椅子部分。洋松、黄松和側柏、肖楠、圓柏等用作船舶板料，經蒸汽或浸浴处理后常可弯曲到中庸的曲度。

从一种材种鋸取的木材并不具备一致的弯曲品質。不同地方生長的同种木材的弯曲品質固然不同，即从同一地方的同一材种所鋸出的木材的弯曲品質大都亦有变异。弯曲品質与比重、生長率（按每厘米半徑內年輪数目决定）、弯曲时所發生的端部压力和标准的韌度数值之間并無密切关系。事实上，弯曲品質最高的木材在比重和生長率方面几与弯曲品質最低的木材相同。

木材的物理性和弯曲品質之間虽無密切关系，但材料經過選擇可以保証到相当弯曲时不致發生意外破裂的程度。主要的

預防措施首先在于保證木材不具有減低強度的缺陷。這類缺陷就是腐敗、錯紋理、節疤、輪裂、髓心、表面隙裂和脆性木材。

初期腐敗的木材在微量的伸張應力下就行破壞，並且不能壓縮到象正常木材所能有的程度。圖3表示彎曲的椅子部分因

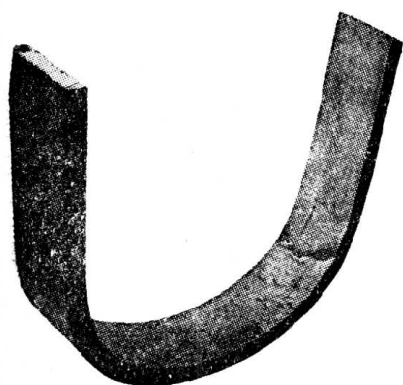


圖3 初期腐敗的榆木所彎曲成的椅子部分。這種削弱強度性質的病害使木材在彎曲時發生突然綑裂的壓縮破壞

端向壓縮而發生許多綑裂；這塊木材是有初期腐敗存在的。

通常，直紋理木材在彎曲時遠比錯紋理木材難于破裂。紋理的傾斜沿木材長度方向每15厘米不可超過1厘米。局部的錯紋理亦應加以避免，因為它在彎曲負載下是一個弱點。

不允許節疤存在的原因主要是因為它必隨伴着扭曲

的紋理，並且因為它抗拒壓縮。

輪裂是平行于年輪的縱向分離，經受彎曲操作時會引起切面破壞；髓心亦導致同樣的弱綫面。表面隙裂是垂直于年輪的裂縫，如果位置在彎曲的凹側將引起壓縮破壞；在凸側則並不嚴重。表面隙裂結合了錯紋理時，會促使角錐形木材在壓縮下發生脫角，而在微量的伸張下將發牛角隅割裂。異常輕質的木材在彎曲時往往有脆裂破壞的傾向，即使它能成功地彎曲，在使用上亦不具備必要的強度。

次要缺陷容許存在于弯曲部分的凸側或弯曲部分以外的地位。次要缺陷像小形樹脂条、潜芽、髓紋和小隙裂可容許存在于緩和弯曲的凹側，但在剧烈弯曲下，这类缺陷每致發生压缩破坏，因为它们使应力集中。

四 弯曲木料的干燥

單从弯曲操作的立場來說，多数弯曲構件可从湿材或細胞腔中含有多量自由水的木材做成。大量自由水存在于很湿木材中只是在尖銳角度的弯曲以及必須剧烈压缩的木材中才是一种阻碍。木材在弯曲操作中受压缩时将到达使細胞含水量过多而难容胞壁变形的一点。在这种状态之下，由于流体靜压力关系，木材可能沿凹面發生綫縮。

不过，多数湿材含有大量的空間体積。白櫟湿材在含水量 65% 时細胞腔中空間体積占 22%；紅櫟木材在含水量 85% 时細胞腔中空間体積約有 15%；翅榆木材在含水量 65% 时細胞腔中空間体積約有 19%。直到木料的一部分压缩到它的空間程度时方有流体靜压力發生。木材压缩到 15~22% 可以承受適度的剧烈弯曲；多数木材加工上的弯曲并不需要这許多压缩。而且，湿材还有一个优点，那便是不發生隙裂。

但是，弯曲木料的含水量必須適當，这不僅为了適于弯曲，而且为了使弯曲木料適于干燥和固定，以及适应干燥方法的需要使它干燥到成品的適當含水量。由于这些原因，湿的或部分湿的木料是不適于許多項目的弯曲的。采用湿材所產生的困难可以用船舶構件中的弯曲構件來說明。当湿材干燥时，可能發

生应力而使船身構架扭歪，并使弯曲部分發生隙裂和扯裂。一件木材在湿的时候弯曲，当干燥时，甚至在裝配以前即有發生隙裂和扯裂的情形。家具部分常在热鋸压机下弯曲，当它們仍旧处在压机的缺鋸中时就行干燥并固定了它的曲度；若事前干燥程度不够，則在热鋸的剧烈干燥状态下可能發生隙裂。湿材在模型上弯曲时更將形成同样的隙裂，然若在弯曲前加以調制使吻合鑄模或模型，則又可能过分收縮，致变成不適于它的預定用途。

从理論观点來說，木材含水量在纖維飽和点約30%时可能最适于弯曲。木材在此状态下乃是水脹到了它的最大程度，但細胞腔是空的，可以在沒有流体靜压力的状态下進行弯曲。木材含水量在纖維飽和点以下时，在干燥和固定过程中仍將發生隙裂、扯裂并有很大的收縮。

在另一方面，木材过分干燥，例如多数窑干木材，則不適于弯曲。干燥木材比較倔强，甚至热到高温时亦难有充分塑性，因此不能良好弯曲。干木材必須經過充分蒸汽和沸煮处理，吸收必需的水分并加以充分塑化后方能良好弯曲。

为了防止采用过湿木材以及过干木材所引起的困难，必須采用折衷办法。例如，用热鋸压机弯曲时，曲度比較緩和而干燥状态剧烈，弯曲木料的适当含水量应比采用手工或机械在模型中弯曲者低些。研究报告指出，櫟材做的椅子背柱在热鋸压机中弯曲时的适当含水量是12~15%。含水量較高的木材当干燥时就發生隙裂，而含水量較低的木料需要長期的蒸汽处理，否則在弯曲时就难成功。就椅子的扶手和条板來說，它的曲度比

背柱的曲度稍为缓和,适当含水量约为12%。家具部分在模型中弯曲时宜采用含水量15~20%的木料。

弯曲木料最好应先行气干,并放在控制的状态下。木材在 $21^{\circ}\sim 26.7^{\circ}\text{C}$ 温度和80%相对湿度下保持15~16%的含水量。在这种相同的温度和65%相对湿度下木材将保持约12%的含水量。

若弯曲木料在干燥前截成一定长度,加用端面涂剂后可以减少端面隙裂和扯裂。端面涂剂在蒸汽处理时将阻止端面过分吸收水分。它又能减少木料弯曲后在干燥和固定过程中的端面隙裂和扯裂。

五 弯曲木料的加工

木料在弯曲以前宜进行适当加工;对于直形木料的锯解、刨光和定形应当事前尽量做好。但是,进行这项加工时必须考虑下列数种因子:(1)木料的最小厚度,加上它弯曲后的变形和收缩的让与量;(2)木料正确锯成一定长度,使它在弯曲器械中紧密吻合;(3)木料表面刨光使它具有一致的厚度并消除可能引起弯曲破坏的锯痕;(4)可能时,注意材料加工,以期使木料定形而便于弯曲——这就是说,应当考虑生长轮方向与弯曲面的关系,并保持木料的宽度大于它的厚度。

由于薄的木料比厚的木料较易弯曲,良好的措施是在弯曲前尽可能减少弯曲木料的厚度。不过,这是有限度的;木料不能调制到配件部分的最后尺度,因为在弯曲操作时它是要经受压缩的,同时弯曲木料定型时亦要发生一些收缩的。即使气干木

材的含水量为 20%，經弯曲后，如果制作家具或其他室内用的木器，在使用期中干燥到 6~8% 含水量时亦將有很大的收縮。在另一方面，充分气干的船身構架在弯曲前可以將它截到近似使用时的厚度，也就是說，使它在最后刨光时，作出消除弯曲中所發生的微量不規則面的讓与量即可。

將木料鋸成正确長度以便在弯曲設備中保証緊密吻合的重要性主要是在弯曲操作上需要穩定和均匀分布的端面压力。木料和弯曲器械都应当有充分長度，以便容許木件弯曲后修短端部。如果几根木料在一个單模型中同时弯曲，例如在热鋸压机中的許多家具部分，所有各木料都应有同一的長度。采用等距鋸可以很便当地將这些木料的長度正确地鋸出。

在弯曲前仔細地刨光木材表面具有好几个优点。首先，直的木板通过刨光机或起槽机比之整平弯曲木材較為方便。扫除木料表面的粗糙鋸痕可以減免很多次要的弯曲破坏；在弯曲前使木料先經過刨光机能保証一致的厚度，这在木料成組在热鋸压机中弯曲时特別重要。即使表面刨光在最后成品部分的使用上并非必要时，例如被板壁和天花板所遮蔽的船身構架，亦宜將木料与模型相接触的一面加以刨光。船舶構架在弯曲前常加以粗放鑄模。家具部分在弯曲前常將榫头和圓角做出。但木材不可在弯曲前先行鑽孔或起槽。

从木板鋸截弯曲木料时，如果能適当地做出粗料常可便利弯曲而减少破裂。在这一方面，年生長輪与弯曲面的方位有着实际的重要性。凡需要劇烈弯曲的部分，木料鋸成弦面板(紋理垂直于弯曲面)比之与弯曲模型呈徑面紋理者較少弯曲破裂。