

紅松和水曲柳的板材干縮研究*

木材含水率通常減至纖維飽和点时，木材开始收縮。树种不同纖維飽和点因之亦異，一般介于25%(或以下)至35%(或以上)之間，平均約为30%(U.S.F.P.L, 1955)。在此临界点以上，木材失去的水分是存在于胞腔及胞間隙內，称自由水(胞腔水、吸收水或毛管水)，其得失一般不致影响木材的形状、大小及其强度等；但木材水分減低至临界点时，存在于胞壁中的水分所謂吸着水(胞壁水或吸湿水)(U.S.F.P.L, 1944; Hartwig, 1959)如有丧失，就会引起木材的物理(如干縮)、力学性質等的变化。

木材水分在纖維飽和点範圍內，其得失直接影响于木材的脹縮；而木材干縮率的大小与含水率的減低，其关系可視作正比例(U.S.F.P.L, 1947; Brown, etc., 1952)。假如木材各个方向的干縮一致，問題就很簡單了，只是木材体积的縮小而已；可是事实上远不止此，而是纵向干縮微不足道，弦向干縮又比徑向者約大2倍左右，結果除体积縮小外，主要是还产生各式各样的变形和沿着射綫或在射綫內或胞間道处的开裂等缺陷(Peck, 1957)。

本試驗的目的在于求得木材干縮与水分丧失的关系，以及不同解鋸方法所得板材的干縮率；这对于制材和細木工工业在考虑預留板材干縮后备量(即干縮余量)和計算板間鑲縫松紧时，均具有实际应用价值。

* 1、本文所指木材于縮以生材尺寸为准，木材含水率以木材絕干重为准。

2、本試驗由成俊卿負責編写研究報告，何定华、李元哲負責結果整理，力学組及干燥組一部分同志參加試驗工作。

一、木材干縮理論

(一)木材干縮的原因

次生壁內中壁的構造對木材的脹縮有很大的關係。正常木的中壁其纖維通常與樹軸幾乎平行，而纖維則由纖維素的長鏈狀分子所組成。分子鏈的平行排列部分稱微晶体，吸着水即存在於微晶体束之間（Jane, 1956; Hale, 1957），與纖維素分子鏈的亲和力極大，因此遠不如自由水那樣容易蒸發。在纖維飽和點以上時，微晶体束之間的水分呈飽和狀態，胞壁因而為膨脹狀態。當其間的水分蒸發時，則產生空隙，壓力減小，因此微晶体束之間的距離縮小，以填補原來水分所佔據的空隙。假如此類水分繼續蒸發時，胞壁亦繼續收縮，直至木材達到絕干時為止。

(二)影響木材干縮的因子

1、木材干縮因方向不同而異。縱縮（0.1—0.2%）比橫縮小得多，弦縮約為徑縮的2倍（弦縮平均4.3—14%，徑縮平均2.1—8.5%）。

2、容重大的木材其細胞壁內含有較多的吸着水，其體積干縮通常較質輕的木材為大。這個關係可以公式來表示：體積收縮 = 容重 × 纖維飽和點（Stamm, 1935, 1942; Brown, etc., 1952）。胞壁脹縮時，胞腔體積固定不變（Ritter, 1933; Stamm, 1953）。

3、樹種不同其干縮的大小亦異。

4、軟材一般比硬材干縮小。

5、同一樹種中，木材質輕者的縱縮比質重者大（Peck, 1957）。

6、同一斷面上，靠近髓心部分的木材，其纖維與樹軸所成的角度較大（Dadswell and Wardrop, 1959），因此其縱縮比外面部分的木材為大；邊材的體積干縮一般比心材者小（Peck, 1957），但某些硬材的縱縮卻較大（U.S.F.P.L., 1942）。

7、同一年輪內，早材與晚材比，前者次生壁的中壁較薄，影響干縮的程度減弱，因之橫向干縮較小，縱向者較大（U.S.F.P.L., 1942; Hale, 1957; Peck, 1957）。

8、早材的弦徑向差異干縮（T/R）比晚材者大（McIntosh, 1957）。

9、纖維飽和點低者體積干縮小（與萃取物含量或胞壁成分有關）（Nearn, 1955）。

10、用人工干燥的木材，其干縮率比天然氣干（低溫）者大（Peck, 1957）；但在干燥室內高溫下的快速干燥，由於木材產生內應力而引起永久塑性變形，使木材的正常

干縮受到阻碍(索柯洛夫, 1957中譯本), 因而其干縮率比低溫室干者小。

11、应压木的纖維与細胞长軸所成的斜度大, 与正常木比, 橫向干縮減少, 縱縮很大(5—6%); 应張木的縱縮亦同样特別大, 弦縮比应压木者小, 徑縮与之无差別(Brown, etc., 1952)。

12、同种环孔材, 生长輪寬者晚材率含量大, 容重大, 与生长輪窄者比其干縮亦大。

(三)弦向干縮为何比徑向者大?

木材的弦向与徑向干縮差異(T/R)通常平均为2, 布朗等(1952)記載为: 軟材, 1.86; 环孔材, 1.77; 散孔材, 1.8。产生差異的原因各說不一, 迄无定論。作者等认为这不是單純的原因, 除与木材的巨觀解剖构造, 特别是木射綫有关外, 而与細胞壁的显微构造和成分及超显微构造尚有关系, 同时又因树种而異; 如能研究出其主导原因, 則对木材加工定有贡献。

茲就这方面已有的研究結果和假說簡介于后, 供我們未来从事研究者的参考。

1、木射綫对限制木材徑向干縮有影响(Kollmann (1936)对此有異議)。但在不同树种中而有相当大的变化, 木射綫的寬度亦可能有关系。射綫本身仍然是徑縮大(比纖維和木材均小, 但雷泰等(1952)未发现射綫与纖維的徑縮有別), 縱縮小(Clarks, 1930; Ritter and Mitchell, 1939; Greenhill, 1944; Lindsay and Chalk, 1954; Morschauer, 1954; Chalk, 1955; McIntosh, 1954, 1955, 1957; Kelsey, 1957; Wijesinghe, 1959)。Schniewind (1959)认为由于射綫具有低的徑向干縮和高的徑向堅性, 結果則抑制了銳端細胞的徑向干縮, 因波生比影响而增大了銳端細胞的弦向干縮。

2、早、晚材帶的干縮率不同(Wagner, 1917; Vintila, 1939; Pentoney, 1953; Schniewind, 1959)。早材橫縮比晚材者小, 早材弦縮因受晚材較大的弦縮的影响而增大(Vintila, 1939; McIntosh, 1957)。

3、細胞壁的徑壁上多紋孔, 可設想为微晶体与纖維間的斜度減緩, 結果使徑向干縮比弦向者小(Frey-Wyssling, 1940; Ritter and Mitchell, 1952)。此后Frey-Wyssling (1943)又修改其前述假設, 將不等干縮的重要原因归源于徑壁上的中层比弦壁上者厚, 而中层則大部由收縮大的蛋白酶物質所組成; 但有許多不同意見。Matsumoto (1950)认为中层系由木素組成, 細胞壁的脹縮不在中层, 而发生于次生壁。

Harlow同Wise (1928)曾經报导木麻黃与白櫟的寬木射綫內含有較多的木素和較少的纖維素, 白櫟射綫的中层比纖維所有者厚, 因为寬射綫的化学成分与縱向組織所有

者不同，二者不等干縮的特性可能与纖維的排列无关 (Mc Intosh, 1957)；最近 Bosshard (1956) 亦強調不等干縮的原因不但与中層的厚度有关，并与中層の木化程度有关，在試材中除去一部分木素后則干縮增加。

4、雷泰和密歇尔(1939)用偏光研究出木射綫与纖維的纖維的方向均与树軸平行，认为射綫一如纖維一样有大的徑向干縮，不起限制干縮的作用；而 Barkas (1941) 却以木射綫与纖維成直角相交，因而木射綫对木材干縮有影响；最近 Wardrop 同 Dadswell (1952) 測得射綫次生壁微晶体的排列与射綫細胞的長軸介于 30° — 50° 之間。

二、紅松及水曲柳板材干縮試驗

(一) 材料及方法

試材共两种，产东北，购自北京市場上。一为紅松 (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)，为我国主要商用針叶树材，木材輕軟；一为水曲柳 (*Fraxinus mandshurica* Rupr.)，为我国主要商用闊叶树材，木材略重略硬。这两种树种的原木在基建中多用以鋸解板材，尤其是紅松。每种試材用原木 7 段 (属 7 株树)，大头直徑約 50 厘米，長 2.5—3 米，木材正常，无腐朽。測定时原木含水率紅松为 40—60%，水曲柳平均約为 70%。

每一树种各以 5 段原木解鋸成 16 种不同寬度和厚度的木板 (試件)，每种又分弦鋸板和徑鋸板两类，均長 40 厘米。試件的寬度和厚度如下 (毫米)： $\frac{15}{100}$ ， $\frac{15}{150}$ ， $\frac{15}{200}$ ， $\frac{15}{250}$ ， $\frac{30}{100}$ ， $\frac{30}{150}$ ， $\frac{30}{200}$ ， $\frac{30}{250}$ ， $\frac{50}{100}$ ， $\frac{50}{150}$ ， $\frac{50}{200}$ ， $\frac{50}{250}$ ， $\frac{70}{100}$ ， $\frac{70}{150}$ ， $\frac{70}{200}$ ， $\frac{70}{250}$ 。每一种尺寸各取弦、徑鋸板 5 块，因此用作測定不同寬度和厚度的弦鋸板和徑鋸板的干縮率 (%) 或干縮量 (毫米) 的試件是 320 块 (图 1 及 2)。

每一树种又各以 2 段原木按与年輪成 0° ， 30° ， 45° ， 60° ， 90° 的角度解鋸成 150 (寬) $\times$ 30×400 (毫米) 的木板 (試件)，每一角度各取 5—12 块，两种树种共 50—120 块，用作不同角度的木板干縮率或干縮量的測定 (图 3)。

正常木的長度干縮率極微，一般可以不計算，为此本試驗未作測定。在实用上，木材之所以留后备長度，主要是由于木材端裂的緣故。

另外，在鋸取上述試件的同时，又取一套同等數目的小試件，尺寸为 $20 \times 20 \times 30$ (毫米)，作对比用。

为避免試件在干縮过程中发生翹曲或开裂，制就后两端立即浸蜡。在每块試件材面

的两端(100毫米处)和中部划上三条綫,每次均用 $\frac{1}{20}$ 毫米游标卡尺沿綫測量材面的寬度,記載其平均值;同时用感量0.5毫克的台秤称重。紅松在一年另三个月中測量并称重20次,水曲柳在約近一年内測量并称重約15次左右。

最后在每块試件的中部及任一端的划綫处(測量处)各鋸取木条一条,并稱其重量;烘干之,称其絕干重,以其均值作为木条的絕干重,用比例計算出該試件的絕干重。各試件的絕干重求得后,則每次測量干縮时的含水率即可算出,即

$$W(\%) = \frac{G - G_0}{G_0} \times 100.$$

(二) 結果及討論

1、板材寬度(板面)平均干縮率与含水率:紅松弦鋸板除板寬250毫米試样外,其余板材的干縮率(最小5.7%,最大7.15%,平均6.45%)随寬度減小而增大,由于板愈窄則愈接近真正弦面,干縮愈大;徑鋸板的干縮率(最小約2.1%,最大3.2%,平均2.55%)則随板面寬的增加而增大,且极規則。紅松干縮率自含水率達到40%后逐漸显著,弦鋸板的平均干縮率比徑鋸板大2倍多。含水率40—18%与干縮率呈曲綫关系,18%以下則呈直綫关系,其相关方程弦、徑鋸板各为 $Y_T = 8.9 \times 10^{-0.06x}$ 及 $Y_T = 6.46 - 0.27x$ (图4), $Y_R = 3.57 \times 10^{-0.041x}$ 及 $Y_R = 2.52 - 0.105x$ (图5)。

水曲柳弦鋸板板面寬度不同时,其干縮率(最小約7.7%,最大約9.2%,平均約8.5%)的差異不規則;徑鋸板者与紅松的趨勢相同(最小4.4%,最大約6.4%,平均5.2%)。水曲柳板材含水率在60%时其干縮現象即开始显著,弦鋸板的干縮率与徑鋸板比尚不及2倍。含水率与平均干縮率略呈曲綫关系,其相关方程弦鋸板为 $Y_T = 8.43 \times 10^{-0.025x}$ (图6),徑鋸板为 $Y_R = 5.17 \times 10^{-0.023x}$ (图7)。

水曲柳木材的容重大,結果干縮率比紅松大,此与Stamm(1935)等的意見一致。水曲柳与紅松比,木材中的水分移动較难,外表与内层的含水率梯度較大,外表已干至纖維飽和点以下,但内部仍然很湿;因此在总含水率很高时即开始收縮。

2、板材厚度(板边)平均干縮率与含水率:板边的弦面和徑面相当于板面的徑面和弦面。其值(最小6.1%,最大7.2%,平均7%)与前項接近,但略高。同样,弦、徑鋸板含水率在40—18%时与干縮率呈曲綫关系,18%以下者則呈直綫关系,其相关方程各为 $Y_T' = 8.6 \times 10^{-0.032x}$ 及 $Y_T' = 6.99 - 0.27x$ (图8), $Y_R' = 2.85 \times 10^{-0.027x}$ 及 $Y_R' = 2.61 - 0.096x$ (图9)。水曲柳者,其平均干縮率比前項略小,但开始干縮时較大,尤其是弦面干縮,在含水率10—5%范围时,几乎一致;含水率与干縮仍略呈曲綫关系,其

相关方程分别为 $Y_{r'} = 4.68 \times 10^{-0.0162x}$ (图10), $Y_{R'} = 6.87 \times 10^{-0.0125x}$ (图11)。

图4——11,特别是图4,表示含水率自20%附近以下,与木材干缩略呈正比例关系。因为试材厚,内层和外层的水分含量差异大,所以含水率在20%以上时与干缩呈曲线关系,与在纤维饱和点范围内木材干缩数值与水分丧失百分率成正比例(Brown, etc., 1949; 索柯洛夫, 1959)关系的理论,在应用上只能是近似。

3、以板宽150毫米为例,在4种不同厚度中,红松径锯板以薄板(15及30毫米)干缩大(最大为8.1%),厚板(50及70毫米)干缩小(最小约为6.15%)(图12);弦锯板则不一致,基本上是以50, 70, 30毫米厚的木板干缩大(最大为3.1%), 15毫米者干缩最小(但至含水率10%时干缩率增大,此可能由于变形关系)(图13)。水曲柳径锯板(干缩最小为6.6%)和弦锯板(干缩最小约为4.4%,最大约为6%)的干缩情形恰与红松者相反(图14及15)。

4、与年轮成不同角度时所解锯木板,其板面干缩率随角度的增加(由0°至90°)而减小。除水曲柳的弦锯板外,红松的弦、径锯板及水曲柳的径锯板其板面宽度干缩率与相应的图4, 5, 7很接近。红松含水率在18%以下时,与干缩率呈直线关系,40—18%时呈曲线关系(图16),其相应的相关方程为:

年轮与板面成0°时,相关方程为 $Y_0 = 6.12 - 0.25x$,

$$Y_0 = 4.4 \times 10^{-0.021x};$$

年轮与板面成30°时,相关方程为 $Y_{30} = 5.33 - 0.21x$,

$$Y_{30} = 4.2 \times 10^{-0.02x};$$

年轮与板面成60°时,相关方程为 $Y_{60} = 4.59 - 0.19x$,

$$Y_{60} = 3.14 \times 10^{-0.019x};$$

年轮与板面成90°时,相关方程为 $Y_{90} = 2.18 - 0.09x$,

$$Y_{90} = 1.61 \times 10^{-0.01x};$$

水曲柳的干缩率与含水率略呈曲线关系(图17),其相关方程为:

年轮与板面成0°时,相关方程为 $Y_0 = 9.7 \times 10^{-0.027x}$;

年轮与板面成30°时,相关方程为 $Y_{30} = 8.0 \times 10^{-0.025x}$;

年轮与板面成60°时,相关方程为 $Y_{60} = 6.22 \times 10^{-0.022x}$;

年轮与板面成90°时,相关方程为 $Y_{90} = 4.97 \times 10^{-0.024x}$;

5、板材与小试样干缩比较:以30×150×400毫米的弦锯板和径锯板与20×20×30

毫米的小試样(物理性質标准試样)为例,無論是紅松或水曲柳,小試样的寬面(弦面和徑面)干縮率均比板材者为大:紅松者相差小,弦面干縮率約差0.9%(图18),徑面者仅差0.25%(图19);水曲柳者徑面相差很小(約0.3%),但弦面相差大(約3%)。木材在干縮时,内层和外层的水分含量不同,大木板者相差更大,常因受应力的影响而使实际材料的干縮率小于真正的干縮率;因此本試驗小試样的干縮率較板材大。

6、年輪寬度对干縮的影响:同一树种中木材干縮随容重的增加而加大(Brown, etc., 1952)。具寬生长輪的水曲柳比生长輪窄者容重大,其干縮率亦大。以 $30 \times 150 \times 400$ 毫米的水曲柳板材为例,5株中徑鋸板的生长輪平均寬度各为0.9, 1.5, 1.5, 1.8, 2.2毫米,含水率为10%时,其干縮率各为2.7%, 2.9%, 2.4%, 3%, 3.3%;弦鋸板生长輪平均寬度为0.8, 1, 1.3, 1.8, 2.5毫米,含水率为10%,其干縮率則各为4.4%, 5.8%, 4.9%, 5.5%, 6.3%(图22)。根据在30毫米厚的木板上切取的小試样($20 \times 20 \times 30$ 毫米)所測得的结果,亦証明水曲柳的生长輪愈寬者干縮率愈大(图23)。

7、木材干縮余量(即干縮后备量):木材干燥时,其干縮率因受許多因子的影响而不同,要精确地規定板材的干縮余量是不可能的;但制材工业和細木工工业为了要保証板材在干燥后得到名义尺寸,仍应規定干縮余量的近似值。但在規定余量的大小时,應該估計到若留过多和过少的干縮余量都会浪費木材或影响产品的质量。茲就紅松和水曲柳不同寬度和厚度时弦鋸板和徑鋸板在不同含水率时的干縮余量列出于表1——6,并图示于图24——28,供木材工厂参考。

(三) 結 論

1、紅松干縮率(弦鋸板6.45%,徑鋸板2.55%)比水曲柳(弦鋸板8.5%,徑鋸板5.2%)小,特別是徑縮前者比后者小2倍有余。

2、水曲柳木材中的水分移动比紅松困难,即干燥較难;因此在图6—7及图10—11表明,無論是弦鋸板或徑鋸板在含水率很高(60%)时,其干縮率即相当显著。換言之,板材外层已到纖維飽和点以下而内层还很潮湿。通常所謂木材干至纖維飽和点才开始收縮,是指很薄的材料,是理論上的根据,在实际应用的材料中不可能或很难碰到。

3、無論是大板材或小試样,特別是紅松,均表明木材含水率約在20%範圍内与干縮的关系才約成正比例,其理由亦与上同。虽然在纖維飽和点範圍内木材干縮數量与水分喪失率成正比例是一近似數值,在实际应用中,例如計算纖維飽和点以下任何含水率时的木材干縮數量时,将二者的关系作为正比例考慮是必要的。

- 4、生长輪切綫与板面所形成的角度， $0^{\circ}-90^{\circ}$ ，其板材干縮率依次减小。
- 5、弦鋸板愈寬，則板材外面部分愈接近徑面，与窄的弦鋸板相比其干縮率較小。
- 6、水曲柳系环孔材，生长輪寬时其晚材率增大，容重增加，干縮率亦相应加大。
- 7、无論是徑鋸板或弦鋸板，若厚度增加时均会影响其干縮率。
- 8、了解木材材面与生长輪所成各种角度时的干縮率和不同含水率时的干縮率，对节约木材和合理利用木材有实际意义。

紅松弦鋸板寬度干縮余量

表 1

干縮余量 (毫米)	含水率 (%)																													
	弦鋸板	板寬	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50				
100	5.4	4.9	4.3	3.8	3.3	2.7	2.2	1.8	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1				
120	6.5	5.8	5.2	4.6	3.9	3.3	2.6	2.1	1.7	1.6	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1				
140	7.6	6.8	6.1	5.3	4.6	3.8	3.1	2.5	2.0	1.9	1.3	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1				
160	8.6	7.8	6.9	6.1	5.2	4.4	3.5	2.8	2.2	2.1	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1				
180	9.7	8.7	7.8	6.8	5.9	4.9	3.9	3.2	2.5	2.3	1.7	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
200	10.8	9.7	8.7	7.6	6.5	5.5	4.4	3.5	2.8	2.6	1.9	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2				
220	11.9	10.7	9.5	8.3	7.2	6.0	4.8	3.9	3.1	2.8	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2				
240	12.9	11.7	10.4	9.1	7.8	6.5	5.3	4.2	3.4	3.0	2.3	1.9	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2				
260	14.0	12.0	11.3	9.7	8.5	7.1	5.7	4.6	3.6	3.3	2.5	2.1	1.7	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2				
280	15.1	13.6	12.1	10.6	9.1	7.6	6.1	4.9	3.9	3.5	2.7	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2				
300	16.2	14.6	13.0	11.4	9.8	8.2	6.6	5.3	4.2	3.7	2.9	2.4	2.0	1.7	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2				

紅松弦鋸板厚度干縮余量

表 2

干縮余量 (毫米)	含水率 (%)																													
	弦鋸板 板厚 (毫米)		4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50				
20	0.45	0.41	0.37	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.16	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03			
40	0.89	0.82	0.74	0.66	0.59	0.51	0.43	0.37	0.33	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06			
60	1.34	1.22	1.10	0.99	0.88	0.76	0.65	0.56	0.49	0.44	0.38	0.34	0.30	0.26	0.23	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08			
80	1.78	1.63	1.48	1.32	1.17	1.02	0.86	0.74	0.66	0.58	0.51	0.45	0.40	0.35	0.31	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10			

量 余 縮 干 度 寬 板 鋪 弦 松 杠

表 1

干縮余量 弦鋸板 板寬		含水率 (%)																									
		4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50		
100		5.4	4.9	4.3	3.8	3.3	2.7	2.2	1.8	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	
120		6.5	5.8	5.2	4.6	3.9	3.3	2.6	2.1	1.7	1.6	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	
140		7.6	6.8	6.1	5.3	4.6	3.8	3.1	2.5	2.0	1.8	1.3	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	
160		8.6	7.8	6.9	6.1	5.2	4.4	3.5	2.8	2.2	2.1	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	
180		9.7	8.7	7.8	6.8	5.9	4.9	3.9	3.2	2.5	2.3	1.7	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	
200		10.8	9.7	8.7	7.6	6.5	5.5	4.4	3.3	2.8	2.6	1.9	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	
220		11.9	10.7	9.5	8.3	7.2	6.0	4.8	3.9	3.1	2.8	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	
240		12.9	11.7	10.4	9.1	7.8	6.5	5.3	4.2	3.4	3.0	2.3	1.9	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	
260		14.0	12.0	11.3	9.7	8.5	7.1	5.7	4.6	3.6	3.3	2.5	2.1	1.7	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	
280		15.1	13.6	12.1	10.6	9.1	7.6	6.1	4.9	3.9	3.5	2.7	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	
300		16.2	14.6	13.0	11.4	9.8	8.2	6.6	5.3	4.2	3.7	2.9	2.4	2.0	1.7	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	

紅松弦綳板厚度、干縮余量

2 疫

干缩余量 (毫米)	含水率 (%)		干缩余量 (毫米)																							
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50		
20	0.45	0.41	0.37	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.16	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	
40	0.89	0.82	0.74	0.66	0.59	0.51	0.43	0.37	0.33	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	
60	1.34	1.22	1.10	0.99	0.88	0.76	0.65	0.56	0.49	0.44	0.38	0.34	0.30	0.26	0.23	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	
80	1.78	1.63	1.48	1.32	1.17	1.02	0.86	0.74	0.66	0.58	0.51	0.45	0.40	0.35	0.31	0.26	0.24	0.21	0.18	0.17	0.16	0.13	0.12	0.10	0.10	

水曲柳弦锯板宽度干缩余量

干缩余量 (毫米)	含水率 (%)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
弦锯板 (毫米)																														
100		6.7	6.0	5.4	4.8	4.3	3.8	3.4	3.0	2.7	2.4	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
120		8.1	7.2	6.4	5.7	5.1	4.6	4.1	3.6	3.2	2.9	2.6	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
140		9.4	8.4	7.5	6.7	6.0	5.3	4.7	4.2	3.8	3.4	3.0	2.7	2.4	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
160		10.7	9.6	8.6	7.6	6.8	6.1	5.4	4.8	4.3	3.9	3.4	3.1	2.7	2.4	2.2	2.0	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4
180		12.1	10.8	9.6	8.6	7.7	6.8	6.1	5.5	4.9	4.3	3.9	3.5	3.1	2.8	2.4	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
200		13.4	12.0	10.7	9.5	8.5	7.6	6.8	6.1	5.4	4.8	4.3	3.8	3.4	3.1	2.7	2.4	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
220		14.8	13.2	11.8	10.5	9.4	8.4	7.5	6.7	5.9	5.3	4.7	4.2	3.8	3.4	3.0	2.7	2.4	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	0.9	0.9	0.7	0.7	0.6
240		16.1	14.4	12.8	11.4	10.2	9.1	8.1	7.3	6.5	5.8	5.2	4.6	4.1	3.7	3.3	2.9	2.6	2.3	2.1	1.8	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
260		17.4	15.6	13.9	12.4	11.1	9.9	8.8	7.9	7.0	6.3	5.6	5.0	4.4	4.0	3.5	3.2	2.8	2.5	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7
280		18.8	16.8	15.0	13.4	11.9	10.6	9.5	8.5	7.6	6.7	6.0	5.4	4.8	4.3	3.8	3.4	3.0	2.7	2.4	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8
300		20.1	18.0	16.1	14.3	12.8	11.4	10.2	9.1	8.1	7.2	6.5	5.8	5.1	4.6	4.1	3.7	3.2	2.9	2.6	2.3	2.1	1.8	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8

水曲柳徑鋸板寬度千縮量表

表 6

千縮率 鋸板寬 (毫米)	含水率 (%)		4		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
	徑鋸板寬 (毫米)		100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680
100	4.2	3.7	3.4	3.0	2.7	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
120	5.0	4.5	4.0	3.6	3.3	2.9	2.6	2.4	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
140	5.8	5.2	4.7	4.2	3.8	3.4	3.1	2.8	2.5	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
160	6.7	6.0	5.4	4.8	4.4	3.9	3.5	3.2	2.8	2.6	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
180	7.5	6.7	6.0	5.4	4.9	4.4	4.0	3.5	3.2	2.9	2.6	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
200	8.0	7.5	6.7	6.0	5.4	4.9	4.4	3.9	3.6	3.2	2.9	2.6	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
220	9.2	8.2	7.4	6.6	6.0	5.4	4.8	4.3	3.9	3.5	3.1	2.8	2.6	2.3	2.1	1.8	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
240	10.0	9.0	8.1	7.2	6.5	5.9	5.3	4.7	4.3	3.8	3.4	3.1	2.8	2.5	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
260	10.8	9.7	8.7	7.9	7.1	6.3	5.7	5.1	4.6	4.2	3.7	3.4	3.0	2.7	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
280	11.6	10.5	9.4	8.5	7.6	6.8	6.2	5.5	5.0	4.5	4.0	3.6	3.2	2.9	2.6	2.4	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3
300	12.5	11.2	10.1	9.1	8.2	7.3	6.6	5.9	5.3	4.8	4.3	3.9	3.5	3.1	2.8	2.5	2.3	2.0	1.8	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3

参 考 文 献

- 区熾南等. 1959. 制材学(初稿). 林业出版社。
- N·B·索柯洛夫著, 梁世鎔译. 1957. 木材干燥学(1955年原著). 森林工业出版社。
- Barkas, W.M. 1941. Wood-water relationships: VI. The influence of ray cells on shrinkage of wood. Trans. Faraday Soc. 37: 535-48.
- Bosshard, H.H. 1956. über Die Anisotropie der Holz-schwindung(On the anisotropy of wood shrinkage). Holz a. Roh-u. Werkst. 14: 8: 285-95.
- Brown, H.P., A.J. Panshin and C.C. Forsaith. 1952. Textbook of wood technology, Vol. II. McGraw-Hill Book Co., Inc.
- Chalk, L. 1955. Ray volume in hardwoods. Tropical Woods 101: 1-10.
- Clarke, S.H. 1930. The differential shrinkage of wood. Forestry. iv: 93-104.
- Dadswell, H.E. and A.B. Wardrop. 1959. Growing trees with wood properties desirable for paper manufacture. Appita 129-36.
- Espenas, L.D. 1947. Some wood-moisture relations. U.S.F.P.I., No. R1648.
- Frey-Wyssling, A. 1940. Die anisotropie des schwindmasses auf dem holz-quer-schnitt. Holz als Roh-und Werkstoff 3: 43-5.
- Frey-Wyssling, A. 1943. Weitere untersuchungin uber die schwindungs anosotropie des holzes. Holz als Roh-und Werkstoff 6: 197-8.
- Greenhill, W.J. 1944. The differential shrinkage of wood. Trans. ASME 66: 152-4.
- Hale, J.D. 1957. The anatomical basis of dimensional changes of wood in response to changes in M.C. For. Prod. Journ. 7: 4: 140-4
- Harlow, W.M. and L.E. Wise. 1928. The chemistry of wood: 1-Analysis of wood rays in two hardwoods. Ind. and Eng. Chem. 20: 7: 720-2.
- Hartwig, G.L.F. 1959. The equilibrium moisture content of wood-1. Timber Tech. 67: 2241: 284-6.
- Jane, F.W. 1956. The structure of wood. Adam and Charles Black, London.
- Kelsey, K.E. 1957. The effect of rays on the shrinkage of *Casuarina inophloia*. Progress Report No. 1.
- Kollmann, F. 1936. Technologie des holzes. vol. 1, Julius Springer.
- Lindsay, F.W. and L. Chalk. 1954. The influence of rays on the shrinkage of wood. Forestry 27(1): 16.

- Matsumoto, T. 1950. The anisotropic shrinkage of wood. Miroka Coll. Agr. For., Iwate Univ., Bull. No. 26.
- McIntosh, D. C. 1954. Some aspects of the influence of rays on the shrinkage of wood. J. For. Prod. Res. Soc. iv : 39-42.
- McIntosh, D.C. 1955. The effect of rays on the radial shrinkage of Beech. For. Prod. J. v : 67-71.
- McIntosh, D.C. 1957. Transverse shrinkage of Red Oak and Beech. For. Prod. Jour. 7 : 3 : 114-20.
- Morschauser, C.R. 1954. Jour. For. Prod. Res. Soc. 4 : 1 : 39-42.
- Nearn, W.T. 1955. Effect of water soluble extractive on the volumetric shrinkage and e.m.c. of eleven tropical and domestic woods. Bull. Pa. Agric. Exp. Sta. No. 598.
- Peck, E.C. 1957. How wood shrinks and swells. For. Prod. Jour. 7 : 7 : 235-44.
- Pentoney, R.E. 1953. Mechanism affecting tangential vs. radial shrinkage. Jour. For. Prod. Res. Soc. 3 (2) : 27.
- Ritter, G.J. 1933. Paper Trade Journal 101 (18) : 93.
- Ritter, G.J. and R.L. Mitchell. 1939. Crystal arrangement and swelling properties of fibers and ray cells in basswood holocellulose. Paper Trade J. 108:6:33-37.
- Ritter, G.J. and R.L. Mitchell. 1952. Fiber studies contributing to the differential shrinkage of cellulose. Paper Trade Industry 33 : 10 : 1189-93.
- Stamm, A.J. 1935. Ind. Eng. Chem. 27 : 401.
- Stamm, A.J. 1953. Physics 6 : 334.
- Stamm, A.J. and W.K. Loughborough. 1942. A.S.H.E. Transactions 55(4).
- U.S.F.P.L. 1940. Wood handbook. U.S. Dept. Agr.
- U.S.F.P.L. 1942. Longitudinal shrinkage of wood. Tech. Note 234.
- U.S.F.P.L. 1944. The fiber-saturation point of wood. Tech. Note No. 252.
- U.S.F.P.L. 1955. Wood handbook.
- Vintila, E. 1939. Untersuchungen über Rauminhalt und Schwindmass von Früh- und Spätholz bei Nadelhölzern. Holz als Roh- und Werkstoff 2 : 345.
- Wagner, J.B. 1917. Seasoning of Wood. D. Van Nostrand Co., New York.
- Wardrop, A.B. and H.E. Dadswell. 1952. The cell wall structure of xylem Parenchyma. Aust. J. Sci. Res., Ser. B., 5 : 2 : 223-36.
- Wijesinghe, L.C.A. de S. 1959. The shrinkage of rays and fibers in wood. Forestry 32 : 1 : 31-8.