

## 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點時，木材開始收縮。樹種不同纖維飽和點因之亦異，一般介於25%(或以下)至35%(或以上)之間，平均約為30%(U.S.F.P.L, 1955)。在此臨界點以上，木材失去的水分是存在於胞腔及胞間隙內，稱自由水(胞腔水、吸收水或毛管水)，其得失一般不致影響木材的形狀、大小及其強度等；但木材水分減低至臨界點時，存在於胞壁中的水分所謂吸著水(胞壁水或吸濕水)(U.S.F.P.L, 1944; Hartwig, 1959)如有喪失，就會引起木材的物理(如干縮)、力學性質等的變化。

木材水分在纖維飽和點範圍內，其得失直接影響於木材的脹縮；而木材干縮率的大小與含水率的減低，其關係可視作正比例(U.S.F.P.L, 1947; Brown, etc., 1952)。假如木材各個方向的干縮一致，問題就很簡單了，只是木材體積的縮小而已；可是事實上遠不止此，而是縱向干縮微不足道，弦向干縮又比徑向者約大2倍左右，結果除體積縮小外，主要是還產生各式各樣的變形和沿着射綫或在射綫內或胞間道處的開裂等缺陷(Peck, 1957)。

本試驗的目的在於求得木材干縮與水分喪失的關係，以及不同解鋸方法所得板材的干縮率；這對於制材和細木工工業在考慮預留板材干縮後備量(即干縮余量)和計算板間鑄縫松緊時，均具有實際應用價值。

\* 1、本文所指木材干縮以生材尺寸為準，木材含水率以木材絕干重為準。

2、本試驗由成俊卿負責編寫研究報告，何定華、李元哲負責結果整理，力學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體，吸著水即存在於微晶體束之間（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，微晶體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，因此微晶體束之間的距離縮小，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著水，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、应压木的纤维与细胞长轴所成的斜度大, 与正常木比, 横向干縮減少, 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, 布別等(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。作者等认为这不是单纯的原因, 除与木材的宏观解剖构造, 特别是木射线有关外, 而与细胞壁的显微构造和成分, 及超显微构造尚有关系, 同时又因树种而异, 如能研究出其主导原因, 则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、木射线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, 木射线的寬度亦可能有关系。射线本身仍然是徑縮大(比纖維和木材为小, 但雷泰等(1952)未发现射线与纖維的徑縮有別); 縱縮小(Clark, 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)认为由于射线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、晚材带的干縮率不同(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)又修改其前述假說, 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线內含有較多的木素和較少的纖維素, 白櫟射线的中层比纖維所有者厚, 因为寬射线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，并与中層的木化程度有关，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，認為射綫一如纖維一有大的徑向干縮，不起限制干縮的作用；而Barkas (1941)却以為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 $30^{\circ}$ — $50^{\circ}$ 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，均自北京市場上。一为紅松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)，为我国主要商用針叶樹材，木材輕軟；一为水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)，为我国主要商用闊叶樹材，木材略重略硬。这两种樹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(屬7株樹)，大头直徑約50厘米，長2.5—3米，木材正常，无腐朽。測定時原木含水率紅松为40—60%，水曲柳平均約为70%。

每一樹种各以5段原木鋸解成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(圖1及2)。

每一樹种又各以2段原木按与年輪成 $0^{\circ}$ ， $30^{\circ}$ ， $45^{\circ}$ ， $60^{\circ}$ ， $90^{\circ}$ 的角度鋸解成 $150(\text{寬}) \times 30 \times 400(\text{毫米})$ 的木板(試件)，每一角度各取5—12块，两种樹种共50—120块，用作不同角度的木板干縮率或干縮量的測定(圖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。在實用上，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時，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弯曲或开裂，制就后两端立即浸蜡。在每块試件材面

的两端(100毫米处)和中部划上三条线,每次均用 $\frac{1}{20}$ 毫米游标卡尺沿线测量材面的宽度,記載其平均值;同时用重量0.5毫克的台秤称重。紅松在一年另三个月中测量并称重20次,水曲柳在約近一年内测量并称重約15次左右。

最后在每块試件的中部及任一端的划线处(测量处)各鋸取木条一条,并稱其重量;伊干之,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,則每次测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、板材宽度(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%)隨宽度減小而增大,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%)則隨板面寬的增加而增大,且極規則。紅松干縮率自含水率達到40%后逐漸顯著,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 $Y_T = 8.9 \times 10^{-6} \cdot 0.4x$ 及 $Y_T = 6.46 - 0.27x$ (图4), $Y_R = 3.57 \times 10^{-6} \cdot 0.41x$ 及 $Y_R = 2.52 - 0.105x$ (图5)。

水曲柳弦鋸板板面宽度不同时,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 $Y_T = 8.43 \times 10^{-6} \cdot 0.25x$ (图6),徑鋸板为 $Y_R = 5.17 \times 10^{-6} \cdot 0.23x$ (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 $Y_T' = 8.6 \times 10^{-6} \cdot 0.34x$ 及 $Y_T' = 6.99 - 0.27x$ (图8), $Y_R' = 2.85 \times 10^{-6} \cdot 0.27x$ 及 $Y_R' = 2.61 - 0.096x$ (图9)。水曲柳者,其平均干縮率比前項略小,但开始干縮时较大,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  $Y_{R'} = 4.68 \times 10^{-0.0182x}$  (图10),  $Y_{R'} = 6.87 \times 10^{-0.0122x}$  (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(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  $Y_{30} = 5.33 - 0.21x$ ,

$$Y_{30} = 4.2 \times 10^{-0.022x};$$

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

毫米的小試樣(物理性質標準試樣)為例,無論是紅松或水曲柳,小試樣的寬面(弦面和徑面)干縮率均比板材者為大:紅松者相差小,弦面干縮率約差0.9%(圖18),徑面者僅差0.25%(圖19);水曲柳者徑面相差很小(約0.3%),但弦面相差大(約3%)。木材在干縮時,內層和外層的水分含量不同,大板者相差更大,常因受應力的影響而使實際材料的干縮率小於真正的干縮率;因此本試驗小試樣的干縮率較板材大。

6、年輪寬度對干縮的影響:同一樹種中木材干縮隨容重的增加而加大(Brown, etc., 1952)。具寬生長輪的水曲柳比生長輪窄者容重大,其干縮率亦大。以 $30 \times 150 \times 400$ 毫米的水曲柳板材為例,5株中徑鋸板的生長輪平均寬度各為0.9, 1.5, 1.5, 1.8, 2.2毫米,含水率為10%時,其干縮率各為2.7%, 2.9%, 2.4%, 3%, 3.3%;弦鋸板生長輪平均寬度為0.8, 1, 1.3, 1.8, 2.5毫米,含水率為10%,其干縮率則各為4.4%, 5.8%, 4.9%, 5.5%, 6.3%(圖22)。根據在30毫米厚的木板上切取的小試樣( $20 \times 20 \times 30$ 毫米)所測得的結果,亦證明水曲柳的生長輪愈寬者干縮率愈大(圖23)。

7、木材干縮余量(即干縮後各量):木材干燥時,其干縮率因受許多因子的影響而不同,要精確地規定板材的干縮余量是不可能的;但制材工業和細木工工業為了要保證板材在干燥後得到名義尺寸,仍應規定干縮余量的近似值。但在規定余量的大小时,應該估計到若留過多和過少的干縮余量都會浪費木材或影響產品的質量。茲就紅松和水曲柳不同寬度和厚度時弦鋸板和徑鋸板在不同含水率時的干縮余量列出於表1—6,並圖示於圖24—28,供木材工廠參考。

### (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倍有餘。

2、水曲柳木材中的水分移動比紅松困難,即干燥較難;因此在圖6—7及圖10—11表明,無論是弦鋸板或徑鋸板在含水率很高(60%)時,其干縮率即相當顯著。換言之,板材外層已到纖維飽和點以下而內層還很潮濕。通常所謂木材干至纖維飽和點才開始收縮,是指很薄的材料,是理論上的根據,在實際應用的材料中不可能或很難達到。

3、無論是大板材或小試樣,特別是紅松,均表明木材含水率約在20%範圍內与干縮的關係才約成正比例,其理由亦与上同。雖然在纖維飽和點範圍內木材干縮數量与水分喪失率成正比例是一近似數值,在實際應用中,例如計算纖維飽和點以下任何含水率時的木材干縮數值時,將二者的關係作為正比例考慮是必要的。

- 4、生长轮切线与板面所形成的角度， $0^{\circ} - 90^{\circ}$ ，其板材干缩率依次减小。
- 5、弦锯板愈宽，则板材外面部分愈接近径面，与窄的弦锯板相比其干缩率较小。
- 6、水曲柳系环孔材，生长轮宽时其晚材率增大，容重增加，干缩率亦相应加大。
- 7、无论是径锯板或弦锯板，若厚度增加时均会影响其干缩率。
- 8、了解木材材面与生长轮所成各种角度时的干缩率和不同含水率时的干缩率，对节约木材和合理利用木材有实际意义。



紅松板鋸板厚度干縮余量

表 1

干縮余量 (毫米)	含水率 (%)	鋸板厚度 (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
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
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
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	0.8	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	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
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
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	0.2	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
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
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
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
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	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3

紅松板鋸板厚度干縮余量

表 2

干縮余量 (毫米)	含水率 (%)	鋸板厚度 (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	0.28	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
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
60		1.34	1.22	1.10	0.99	0.89	0.76	0.65	0.56	0.49	0.44	0.38	0.34	0.30	0.26	0.23	0.21	0.19	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.06
80		1.78	1.63	1.48	1.32	1.17	1.02	0.86	0.74	0.66	0.59	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

紅松板厚度干縮余量

表 1

干縮余量 (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	
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	0.2	0.2	0.2	0.1	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	0.3	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	0.1	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	12.9	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	3.8	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	0.3	0.3

紅松板厚度干縮余量

表 2

干縮余量 (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	
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	0.30	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	0.05	0.05
60	1.34	1.22	1.10	0.99	0.89	0.78	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	1.49	1.32	1.17	1.02	0.86	0.74	0.60	0.56	0.51	0.45	0.40	0.35	0.31	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.13	0.12	0.11	0.11

水曲柳弦鋸板寬度干縮余量

干縮余量 (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
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	0.6
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	2.8	2.6	2.3	2.1	1.8	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8

水曲柳望盤板寬度干縮量表

表 6

干縮率 含水分 (%)	徑 盤 板 寬 (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	52	54	56	58	60
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
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
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
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	0.5	0.4	0.4	0.3
180	7.5	6.7	6.0	5.4	4.9	4.4	4.0	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
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
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
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	2.6	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	0.6	0.5
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	0.6	0.5
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	0.6
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

## 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, 梁世鐘译. 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, I. 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, I.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.I.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 I. 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.
- Morschauer, 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.