

航空委員會

航空研究院

研究報告第二十八號

中國木材之力學及其相關性質(一)

西南木材一〇一種

余 仲 奎

黃 鵬 章

陳 啓 嶺

三十五年二月

中國木材之力學及其相關性質(一)

目 錄

	頁數
一. 引言.....	1
二. 試材之來源.....	2
三. 試材採集之方法.....	2
四. 試材之處理.....	3
五. 力學性質及其試驗方法.....	3
(一) 靜曲試驗.....	6
1. 比例限度應力.....	6
2. 破壞係數.....	6
3. 彈性係數.....	6
4. 最大荷重之工作.....	7
(二) 韌性試驗.....	7
(三) 簡卡氏抗凹硬度試驗.....	7
(四) 順紋剪力試驗.....	8
(五) 順紋壓縮試驗.....	8
1. 比例限度應力.....	8
2. 最大抗壓強度.....	9
(六) 橫紋壓縮試驗.....	9
六. 物理性質.....	10
(一) 含水量.....	10

	頁數
(二) 比重	11
(三) 收縮	12
(四) 生長率	12
七 • 影響木材力學性質之因子	13
(一) 比重與力學性質之關係	13
(二) 生長率與力學性質之關係	14
(三) 含水量與力學性質之關係	14
(四) 缺點	16
1. 節	16
2. 斜紋	17
3. 被壓木	17
4. 壓傷	18
5. 腐朽與邊材變色	18
6. 虫害	19
7. 脂囊	19
8. 乾裂與輪裂	19
(五) 木材性質之變異性	19
附錄一 • 航空木材設計值	21
附錄二 • 計算公式	21

一 引 言

木材爲工業上重要材料之一，用途至廣。我國在抗戰前由外國輸入之木材，數量甚多，據海關所公佈24年1月至12月間之木材入口總價值爲34,768,193元，佔該年全國輸入各種材料中之第一位。⁽⁹⁾ 抗戰期間，木材輸入中斷，國人對於國產木材之研究與利用，乃加以重視。

28年7月，本院基於實際之需要，設立木材試驗室，30年8月，因工作增加，復擴大爲木竹試驗組，從事木竹之研究。工作進行迄今，將達七載，先後在川、康、黔、桂各省林區，調查十餘次，並採得試材百餘種，作各項強度試驗及物理試驗九萬次。其中曾作詳盡之研討者有22種，研究結果之已發表者10種，分別載於本院研究報告第4,5,12,13及14等號。^(1,2,3,4,5)

茲值我國建設事業正在加緊進行之際，關於國產木材性質與利用之參攷資料，誠爲各界人士所需要，同人等特將數年來所獲得之研究結果，包含已發表及未發表者，彙集而成此篇，以供參攷。

本篇所包含之樹種計101種，分別記述其力學性質，相關之物理性質及用途等項，又載有20種木材之飛機設計用數據，此外關於選取試材之方法，試驗之方法，各種性質之意義，影響力學性質之諸因子均一一述及。惟在初期所採集之樹種，因當時急須解決航空木材之供應與選擇問題，乃先就各種作初步之試驗，然後再作詳細之研究，是以初期所採得每種樹木之試材甚少，而未能逐項舉行試驗，然所得之結果，尙可供一般之參攷。

有關國產木材之各項問題，待研究者尙多；就材性試驗而言，吾人茲所涉及者僅爲西南部之一隅，故本篇特名「中國木材之力學及其相關性質(一)」，西南木材101種」。中國幅員廣大，樹種繁多，材性試驗工作，誠更應積極進行，前瞻中國之木材研究事業及木材工業，同人等抱有無限殷切之期望，深盼國人

共同努力以促其進展。

七年來曾參加或協助試驗工作之人員，除已分誌於本院以前所出版有關木材之各研究報告中者外，尚有方文培教授，周光榮，潘長弼及石明章諸君，分別參加峨眉，峨邊，天全及成都木材之採集；楊緒嶸君參加天全及成都木材之物理試驗，特此誌銘。

二 試材之來源

我國林木種類繁多，分佈之區域甚廣，全國重要木材之材性研究——尤其飛機製造上適用木材之研究，雖為本院之計劃，然此項工作自非短期內可以完成；因限於戰時情形，乃先就西南所產木材進行有系統的材性試驗，以期樹立國產木材大規模試驗之初基，然後漸及其餘。

本篇包含之樹種，係採自四川之岷江上游一帶，灌縣，成都盆地，峨邊及峨眉，西康之天全，越嶲，貴州之大定及廣西沿湘桂鐵路附近等地，其中岷江上游之理縣，曾經三次採集，峨邊，天全均經二次採集，成都盆地經四次採集。茲將所試驗樹種之名稱，產地，試驗樹株數及試樣數列如第一表A。

三 試材採集之方法

木材試驗室成立之初，即派員分赴西南各林區勘查，並採集試材。當時因欲就一般之林木，先作一初步之材性試驗，且由于交通之困難，故一部分樹種，選得試樣不多，及後釐定木材力學試驗標準，即依照所規定之採集方法，繼續選取試材。⁽⁶⁾ 茲將採集試材之要點，記述于下：

1. 在同一地域，每種樹木至少選採五株，各樹均為近乎中等年齡而且可以代表該樹種在林中之標準模式者。同種樹木，不於生長靠近處採伐二株以上。

2. 在同一地域所採之同種樹木，依照下述方法選鋸木筒：

- (a) 第一株樹，由離地一公尺處起，連續鋸取一公尺長之木筒四筒。
- (b) 其他各株樹，由離地三公尺處起，連續鋸取一公尺長之木筒二筒。
- (c) 無特別困難時，每株樹就幹之全長，由樹基起鋸成一公尺長之各木筒，全部運回試驗室。

3. 採集時每樹予以明確之野外編號，每一木筒上記明樹株號數及木筒號數，並在朝北方向作一記號。

4. 一切可能影響樹木生長之因子均詳載於野外記載表。

5. 運輸時各木筒之樹皮均保留之。木筒兩端，塗以油漆並加以包護，以防乾燥及開裂。

6. 每株樹木均採其蜡葉標本以憑鑑定正確之學名。

四 試材之處理

木筒運抵試驗室時，即放置于墊架上，不使受濕熱之影響或日光之照射。在最短時間內，將一公尺長之木筒橫鋸成兩段，各長半公尺，上段用作含水量與強度關係之試驗，下段則用作普通之試驗。

各木段之上端按東南西北方向依圖1劃成許多 28×28 公分之方格，並依所劃之線，鋸成切面 28×28 公分之木條，又在木條上端編號以辨別木條所屬之樹株，所屬之木筒，及在樹中之方位。

供普通試驗用之木條，取半數在生材狀態時試驗，半數在氣乾後試驗，其分配必須適當。

供生材試驗之木條，於試驗前緊密堆列，蓋以木屑，妥為儲藏，以保持生

材狀態。準備試驗時，取出刨成切面 2×2 公分之試條，以濕布蓋之，儲於不透氣之容器中，保持 70°F 之溫度。

準備氣乾之木條，兩端塗刷桐油，然後排列於通風且不受陽光、雨、雪及地濕影響之處架上。各木條間至少留半寸之空隙，俾空氣流通。每隔一星期取數根木條秤其重量，直至重量趨於一定時，乃視該同堆木條為完全氣乾。此時取少數木條，切取2公分長之試樣，測其真正之含水量。氣乾後，即刨成 2×2 公分之試條，以備試驗。

試驗含水量與強度之關係，係由每樹鋸取木筒兩筒，依圖 1 劃線並鋸成試條後，分為七組，以一組在生材時試驗，其他各組，俟分別乾至近於20，15，12，8及5%含水量時試驗之。分組時妥為配合以使各組試條之性質相近。

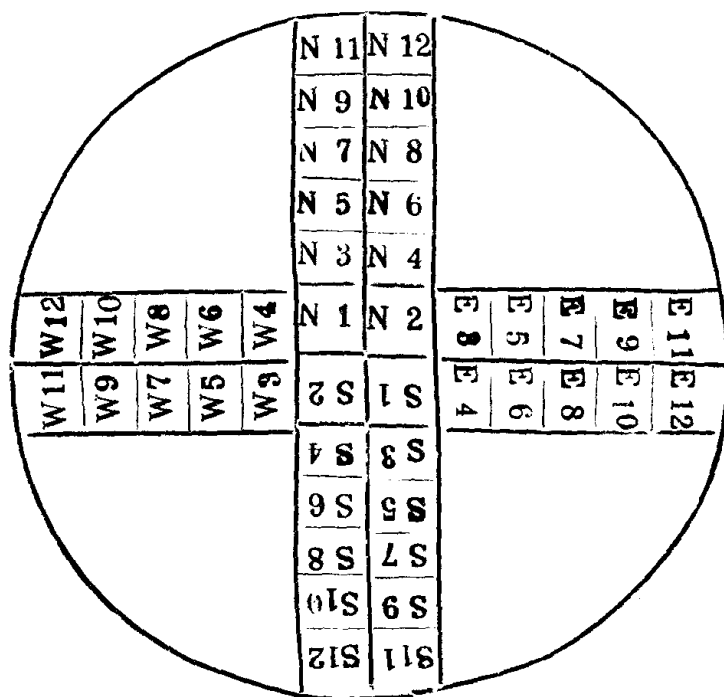


圖 1. 木筒鋸取試條劃線法

五 力學性質及其試驗

主要之力學試驗及所得之性質如次：

(一) 靜曲試驗 (Static bending) 。由此試驗求得：

1. 比例限度應力 (Stress at proportional limit) 。
2. 破壞係數 (Modulus of rupture) 。
3. 彈性係數之近似值或堅性係數 (Approximate modulus of elasticity or Coefficient of stiffness) 。
4. 最大荷重之工作 (Work to maximum load) 。

(二) 韌性試驗 (Toughness test) 。由此項試驗求得木材吸收之能量。

(三) 簡卡氏抗凹硬度試驗 (Janka indentation test) 。由此試驗求得木材之抗凹硬度 (Indentation hardness) 。

(四) 順紋剪力試驗 (Shear parallel to grain) 。由此試驗求得抗剪強度 (Shearing strength) 。

(五) 順紋壓縮試驗 (Compression perpendicular to grain) 。由此試驗求得：

1. 比例限度力。
2. 最大抗壓強度 (Maximum crushing strength) 。

(六) 橫紋壓縮試驗 (Compression perpendicular to grain) 。由此試驗求得比例限度應力。

上述各性質之數字，統載于第一表 C。

茲將各項試驗之程序及所得各性質之意義簡述于下：

(一) 靜 曲 試 驗

自每一木筒之每對木條(指與髓相等距離之二相隣木條),取一靜曲試條,創成 2×2 公分之切面,長為36公分。試驗時用中央加力法,跨間長24公分。加力用之壓塊,半徑為1.5公分。自試驗開始直至最大荷重,用自動記錄器記錄其荷重與彎曲度之關係曲線(load-deflection curve)。

茲更將由此試驗所得之各性質,加以解釋。

1. 比 例 限 度 應 力

比例限度係指試驗時荷重(或應力)與變形(或應變)間互成比例之限度;在此限度內,倘荷重增加一定之百分率,則其變形亦作等量之增加;將荷重釋去,則變形回復原狀,但逾此限度,倘荷重增加,則變形之增加量大于荷重者。靜曲試驗之比例限度應力,為加荷重至比例限度時存于樑之頂部及底部纖維之應力。

2. 破 壞 係 數

破壞係數為在最大荷重時存于靜曲試條(樑)之頂部及底部纖維之計算應力,乃用以測量該樑在短時間內所支持緩慢加與之荷重之能力。其計算之公式與比例限度應力者相同,惟用最大荷重以代替比例限度荷重。

本來,此公式僅對於比例限度以內之應力始屬正確,故由此式所求得之破壞係數,並非真正應力,然「破壞係數」已為普遍採用之名詞,其數值可供比較各樹種抗彎強度(bending strength)之用。

3. 彈 性 係 數

彈性係數為材料之堅性(stiffness)或剛性(rigidity)之計量。當樑荷重時,其彎曲度(deflection)與彈性係數成反比例,即彈性係數愈大,其彎曲度愈小。故彈性係數可用以計算樑或桁等因荷重而發生之比例限度以內之彎曲度

；又可用以計算長柱所能載之荷重，因其荷重視堅性而定，非視順紋壓力而定也。

惟用中央加力法作靜曲試驗時，木樑之一部分彎曲度係由于剪力變形而發生，故求得之彈性係數並非真正之彈性係數，可視之為近似值，或稱之為堅性係數。⁽⁶⁾

4. 最大荷重之工作

靜曲試驗最大荷重時所做之工作，係表示該材料吸收震動 (shock) 之能力，此震動係指能引起比例限度以外之應力並足以使材料發生一部分永久變形及損傷者；此性質可計量木材受彎曲時之強度及韌性。

計算最大荷重時所做之工作，係以荷重彎曲度曲綫下由原點至最大荷重之面積，除以試材之寬與厚與跨間之乘積而得，其單位為公分一公斤/立方公分或吋一磅/立方呎。此項性質，可供相互比較之用。

(二) 韌性試驗

由每一木筒所製得之木條，取四分之一以供韌性試驗。試條長度為30公分，橫切面為2×2公分（±1%），跨間長度為24公分。所用試驗機為Alfred J. Amsler擺式衝擊試驗機，擺錘之能量為10公尺一公斤。加力之擊塊為金屬製，端面為圓柱形，半徑15公厘。每一試條破壞時所吸收之能量 (energy absorbed) 直接由試驗機讀出之，其單位為公尺一公斤/試樣或吋一磅/試樣。韌性對於需要耐動性之構材如飛機用材，螺旋槳，運動器具，工具柄等，極為重要。蓋質脆之木材，可因突然之衝擊而折斷，事前並無徵象。故選材時須注意擇取韌性大之種類，此項性質與最大荷重之工作相同，其數值僅作比較用。

(三) 簡卡氏抗凹硬度試驗

此項試驗之試樣，係取自供彎曲試驗之木條之未破壞部分，試時用一半

徑5.624公厘(0.222吋)之圓球(圓面積為1平方公分)，以每分鐘6.3公厘(0.25吋)之速率，壓入木材，至圓球半徑之深度止，此時之荷重，即為抗凹硬度，其單位為公斤或磅，試材之徑切面及弦切面各壓須入一次。

比較各塊材料或各樹種之抗凹硬度值，可知其抵抗磨損之能力，故對於地板，枕木，鋪路木塊，傢具等需耐磨損之用途，至為重要。

(四) 順紋剪力試驗

由每一木筒，取所鋸得木條之四分之一，製作順紋剪力試樣，每一木條製試樣兩個，一試徑面剪力(破壞面為徑向)，一試弦面剪力(破壞面為弦向)。試樣之大小為 $2 \times 2 \times 2.5$ 公分，試樣受荷重之面，為與紋理垂直之端面——即荷重以平行紋理之方向施於試樣，被支承之面亦然。

試驗時之加力速率為每分鐘0.38公厘(0.015吋)。

順紋抗剪強度，係木材抗抵其一部分沿紋理方向滑動於其他一部分時之能力。在樑與各種接合(joints)之設計上，甚為重要。

應用此種剪力試驗方法，其所得之結果，常受垂直於紋理之抗張分力之影響，惟試驗之結果，可以互相比較。

(五) 順紋壓縮試驗

由每一木筒之每對木條，取一順紋壓縮試樣，其橫切面為 2×2 公分，長為8公分，試驗時加力速率為每分鐘0.43公厘(0.017吋)，荷重與壓縮之關係曲線，由自動記錄器記錄之。

由此試驗求得之性質如下：

1. 比例限度應力

順紋壓縮試驗之比例限度應力，為壓縮之荷重與試樣之變形(縮短)，保持

比例時之最大應力；超過此限度，則試樣變形增加之百分率，較荷重者為大。

順紋壓縮試驗之比例限度應力，可以計算無缺點之柱(column)承受壓縮之應力，惟此柱之長度與其橫切面上之最小尺度之比，係不超過 11:1 者。決定短柱或其他受壓縮之材料之安全荷重時，即以比例限度值為極限值，比例限度應力在針葉樹平均為最大抗壓強度之 80%，闊葉樹為 75%。

2. 最大抗壓強度

順紋最大抗壓強度為短柱對於在短時間內緩緩施於其端部之最大荷重之最大抵抗力。其計算公式與比例限度應力公式相同，惟以最大荷重代比例限度荷重。

此項性質可用以估計木材端部承受壓力時，與用螺釘接合時之安全應力。

(六) 橫紋壓縮試驗

由每對木條，取一橫紋壓縮試樣，其大小為 $2 \times 2 \times 2$ 公分。試驗時，荷重由直徑 3 公分之金屬圓柱體，以每分鐘 0.4 公厘 (0.157 吋) 之速率施於試樣之全面。試樣之半數係試驗徑面的橫紋壓力，其餘半數試驗弦面的壓力，荷重與壓縮之關係曲綫，由自動記錄器記錄之。由此試驗求得比例限度應力，即垂直於紋理之壓縮荷重與其變形保持比例時之最大應力。

比例限度之橫紋壓縮應力，用以估計材料受橫紋壓縮時之安全工作應力，在計算梁、桁與接頭之接觸面及比較枕木之樹種時，甚為重要。

試驗橫紋壓縮時，木材並不顯現真正之最大強度，惟荷重將繼續增加，直至試樣壓裂或壓平為止，故不能如順紋壓縮試驗可以獲得其最大強度之數值。尚須注意者，倘試驗時生長輪之方向不與施力方向平行或垂直，而成一角度時，則所得數值較低，尤其成 45° 角時，其值更低。

六 物理性質

木材之物理性質包含頗廣，茲將其最重要而與強度或利用有關者分述如下。

(一) 含水量

木材所含水分有三類：(1)存在於生活細胞之原形質（木質線薄膜組織【ray parenchyma】及邊材之木薄膜組織【wood parenchyma】）中者，含量甚微，無關重要。(2)存在於細胞腔內之游離水分（free water），其含量之增減，不影響於木材之體積及強度；當木材乾燥時，此項水分即先行蒸發。(3)存在於細胞壁之吸着水分（absorbed or hygroscopic water），對於木材之力學性質及多種物理性質，甚為重要。在理論上，木材之游離水分已經失去，而細胞壁仍飽充水分之一點，稱為纖維飽和點，此點隨樹種而不同。木材之水分到達此點後，倘繼續蒸發，則多種強度即因而增加，收縮亦形顯著。

初伐之木材或木材細胞腔中充滿水分者，稱為生材（green wood）。生材置空氣中，則所含水分逐漸蒸發；當木材繼續蒸發其水分至與周圍之大氣情況成近於平衡之狀態時，稱為氣乾材（air-dried wood）。達氣乾狀態之木材，其含水量視地域與樹種而略有不同，一般採用12%代表其平均值。據本院之試驗，⁽⁷⁾成都之木材平衡含水量平均為16%，全國木材平衡含水量之平均值，依推算為13%。

倘將木材置於100°—110°C之乾燥爐中，行人工乾燥至水分不再失去之狀態，稱為爐乾材（oven dried wood）。

木材含水量，通常係以木材爐乾時重量之百分數示之。

採用木材爐乾時之重量即木材物質（wood substance）之重量為計算含水量之標準而不用木材之全重者，蓋因前者係不變的，而木材之全重則時有變動。

測定含水量之試樣，係由每根合格試條鋸下一塊，其大小為 $2 \times 2 \times 2$ 公分。試樣取得後，即秤其重量，然後置於烘爐中，在 100°C 溫度下乾燥之，至重量不變為止。隨即測定爐乾之重量，即可依公式(見附錄二)求得試樣之含水量。

(二) 比 重

木材通常均含有水分，故求木材之比重宜先確定數量及體積在何種含水情況，普通係以木材無水分時——爐乾時——之重量及試時之體積為標準。

第一表B中載有下列比重：

1. 依據爐乾時之重量及試樣在水中浸透後之最大體積而算出者，此項比重稱為基本比重(basic specific gravity)。
2. 依據爐乾時之重量及調整至15%含水量時之體積而算出者。
3. 依據爐乾時之重量及調整至12%含水量時之體積而算出者。
4. 依據爐乾時之重量及爐乾時之體積而算出者。

基本比重為一理想數值，然因爐乾時之重量與胞壁充滿水分時之體積，均不復變動，故計算得之比重值，最適於供比較之用。

依據爐乾重量及胞壁充滿水分時之體積所得之比重，適用於纖維飽和點以上之任何含水量值，而不論所含之水分若干。然當木材乾燥時，每單位體積內之爐乾木材重量，隨纖維飽和點下失去水分之量而作比例的增加，此蓋由於木材發生收縮且因而使每單位體積內所含之木材物質增加所致。因此，在纖維飽和點下當木材水分減少時，木材之比重即隨而增加，而任何兩含水量值間比重之相差，視收縮之程度而定。由是可知吾人如言木材之比重而不說明所根據之體積係任何種情形之下時，實失其意義矣。

木材物質之比重，即爐乾木材面無任何空隙及水分時之比重，在各樹種間

，約略相等，平均為1.55，⁽¹⁹⁾此種比重，不可與普通所述之比重相混，蓋後者乃指具有正常細胞結構之木材之比重也。

本院用以測定含水量之試樣，同時即用以測定比重，自每根試條鋸取一塊，大小為 $2 \times 2 \times 2$ 公分。試樣於取得後並於烘乾後，均須用水銀測容器測定其體積。

(三) 收 縮

當細胞壁之水分開始減少時，木材即發生顯著之收縮。反之，乾燥之木材浸入水中或吸收空氣中之水份時，即起膨脹。垂直於紋理方向之收縮（橫向收縮 linear shrinkage）可分為弦向收縮（tangential shrinkage）與徑向收縮（radial shrinkage）兩種，前者較後者為大。至於正常木材平行於紋理方向之收縮（縱向收縮 longitudinal shrinkage），為量甚微，在一般木材應用上，殊無足重要。

第一表 B 中列有：(1)徑向，(2)弦向及(3)體積三種收縮率數值，均指自生材狀態至爐乾狀態之收縮而言，故其值大於木材通常在乾燥時所生之收縮甚多；自生材至平均之氣乾情況（12—15%含水量）所生之收縮，約為自生材至爐乾者之半。

測定徑向及弦向收縮之試樣，正常之大小為 $2.5 \times 2.5 \times 10$ 公分，10公分長之面，為欲測收縮之面，第一表 B 中雲杉，麥吊杉，鉄杉，法氏冷杉，光皮樺，青皮白楊及泡桐之數值，均根據此種試樣測定而得，其他樹種，則用 $2 \times 3 \times 2$ 公分之試樣，3公分長之面為測定收縮之面。

(四) 生 長 率 (Rate of Growth)

樹木在每一生長季節內，由形成層（cambium）增生木材一層，稱為生長層（growth layer），在橫切面上現多數同心圈，稱為生長輪（growth ring）

- 每一生長層中早期生長之部分，質較軟，細胞較大，稱為早材(early wood)，晚期生長之部分，質較硬，細胞較小，稱為晚材(late wood)。

生長輪之寬度，表示木材之直徑^生長率。生長率在各樹種間有差異。在各樹間，復受溫度，陽光，水分及養料等因子之影響。測量生長率，係就每一試樣之橫切面上沿半徑方向量其每2公分之生長輪數，輪數少者表示生長迅速，多者表示生長遲緩。

七 影響木材力學性質之因子

木材之力學性質，受多種因子之影響。故試驗木材之力學性質，除特別之試驗外，均用小而無缺點之試樣，依標準之方法進行，以避免此類有關之因子。

惟利用與選擇木材時，所取材料往往與試驗所用者有異，應用之情況亦與試驗時不同，故吾人對於試驗數據，須有適當之了解，而對於各種影響力學性質之因子，尤不可不有充分之認識。

茲就數種重要之因子，加以論述。

(一) 比重與力學性質之關係

木材之比重為力學性質最佳之指標，蓋因比重與力學性質，均視個別細胞壁之厚薄而定，且視各種組織之比例而定。構成細胞壁之木材物質，其比重在各樹種間約略相同，已於前章述及。木材之細胞壁厚者，其木材物質與細胞腔之比率亦大，故比重大。至於不同組織之比例，亦甚重要，例如，纖維之胞壁較之柔膜細胞為厚，故纖維含量多之木塊，比重亦大。

木材比重與力學性質之關係，在各樹種間及在同一樹種間之各塊木材，均示同一趨勢，即比重太則強度大，此關係在同一種間，尤為密切。

以木材之比重作為強度之指標，尚受二種因子之影響，即細胞之排列及細胞壁之化學成分是也。例如有一木塊，就整塊而言，其比重甚大，然倘柔膜細胞作寬帶狀之分佈，則沿此部分之剪力必弱，又因細胞壁之化學成分之不同，能使比重相同之樹種，有相異之強度。

圖2示中國各樹種之破壞係數與基本比重之關係（根據47種樹木之試驗結果），圖3示順紋抗壓強度與基本比重之關係（根據55種樹木試驗之結果）。各點頗為疏散，故此項關係，乃表示一種普通之趨勢，而非一完全之定律也。

(二) 生長率與力學性質之關係

樹木之生長率，可以生長輪之寬度表之，已於前章言及。生長率與木材之物理性質及力學性質往往無確定之關係，故在選材上雖可供參考，而不能作為良好之標準。

生長率與強度之一般關係，可由其與比重之關係而推知。生長率與比重之關係，隨樹種而有甚大之差異，大略可分為數類。試觀圖4可知各樹種之比重，有隨生長率之減少（即生長遲緩）而增加，但至某一限度又隨而減少者，此類樹種，如馬尾松，麻柳，響葉楊等是；有隨生長率之減少而減少者，如方氏波羅樹，丁木，核桃是，此類樹種，大都為比重較大之闊葉樹；有隨生長率之減少而增加者，如化香樹，威爾遜木薑子，梓葉槭，銀杏等是；亦有受生長率之影響極微者，如杉木，七裂槭是。

由此可知生長率致比重之關係，並無一共同之曲線可適用於各樹種者。又在實際上，各樹種可能發現許多變異，此亦須注意也。

(三) 含水量與力學性質之關係

本院曾將各種重要木材，在不同之含水量下，分別試驗各項強度，結