

航空委員會
航空研究院

研究報告第五號

四川理番六種木材之性質

余仲奎 黃鵬章
陳啓嶺 羅裕英

三十三年七月



航空研究院出版刊物

研究報告

- 第一號 林致平：偏心圓管之扭力問題
- 第二號 錢學森：高速度氣流突變之測定
- 第三號 林致平，談篤生：正向薄板之彈性穩定問題
- 第四號 余仲全，黃鵬章：川產雲杉之性質
陳啓嶺，羅裕英
- 第五號 余仲全，黃鵬章：四川理番六種木材之性質
陳啓嶺，羅裕英
- 第六號 林致平，王培生：平板環列圓孔之應力分析
- 第七號 林致平，談篤生，黃克梁：月形柱體之扭力問題

技術叢編

- 第一號 王士偉，徐舜壽：飛機性能之捷算法
- 第二號 飛機修理要領
- 第三號 飛機木材之處置與使用
- 第四號 木材力學試驗標準草案

航空委員會
航空研究院

研究報告第五號

四川理番六種木材之性質

余仲奎 黃鵬章

陳啓嶺 羅裕英

三十二年七月成都

四川理番六種木材之性質

目次

一、緒言	1
二、形態	2
1. 雲杉	2
2. 麥吊杉	2
3. 法氏冷杉	3
4. 鐵杉	3
5. 光皮樺	3
6. 青皮白楊	4
三、物理性質之研究	11
1. 含水量	11
a. 生材含水量	11
b. 纖維飽和點	11
2. 比重	12
a. 依據爐乾重量及爐乾體積之比重	12
(1) 平均值	12
(2) 最大值	12
(3) 最小值	12
(4) 最低容許值	12
b. 依據爐乾重量及生材體積之比重	12
c. 依據爐乾重量及氣乾材(12%含水量)體積之比重	12
d. 依據爐乾重量及15%含水量時體積之比重	12
3. 重量	12

4. 徑向與弦向收縮	12
5. 體積收縮	13
四、力學性質之研究	15
1. 生材力學性質	15
2. 氣乾材力學性質	15
3. 強度與含水量之關係	15
a. 各強度與含水量之關係公式	16
b. 12%含水量時之各強度值	16
c. 15%含水量時之各強度值	16
4. 強度之變異	16
5. 加力時間與強度之關係	19
6. 飛機設計應用值之計算	20
五、結論	21

插 圖 目 次

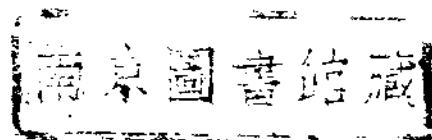
1. 雲杉	5
2. 麥吊杉	6
3. 法氏冷杉	7
4. 鉄杉	8
5. 光皮樺	9
6. 青皮白楊	10
7. 四川理番雲杉爐乾比重變化圖	14
8. 四川理番雲杉之強度與含水關係圖	17
9. 四川理番雲杉靜曲試驗所得破壞係數之變異性圖	18
10. 四川理番雲杉靜曲試驗所得彈性係數之變異性圖	18

一、緒言

四川之天然林，以西北部岷江上游一帶，蘊蓄較富，其中又以理番所產為特盛。該區林木，針葉樹以雲杉（*Picea*），鐵杉（*Tsuga*），冷杉（*Abies*）等為主要，闊葉樹以樺木（*Betula*），白楊（*Populus*）等為主要。三十年秋，本院特派丁衍疇君，前往該處調查，並採得下列各種樹木，作材性試驗之用。

中名	土名	學名	科名
雲杉	字杉	<i>Picea asperata</i> Masters	松柏科 (Pinaceae)
麥吊杉	糠麥吊杉	<i>Picea brachytyla</i> Pritz. var. <i>complanata</i> Cheng	松柏科
麥吊杉	油麥吊杉	<i>Picea brachytyla</i> Pritz. var. <i>complanata</i> Cheng	松柏科
鐵杉	鐵杉	<i>Tsuga chinensis</i> Pritz. et Wilson	松柏科
法氏冷杉	泡杉	<i>Abies Faxoniana</i> Rehder et Wilson	松柏科
光皮樺	牛皮樺	<i>Betula lummifera</i> Winkler	樺木科 (Betulaceae)
青皮白楊	青皮白楊	<i>Populus Cathayana</i> Rehder	楊柳科 (Salicaceae)

各種樹木之採選，標本之製作，及試驗之方法，均依照本院技術叢編第四號『木材力學試驗標準草案』進行。試驗工作開始於三十一年一月，經試驗，計算，及整理結果等，歷時一年有半。今是項工作已告一段落，爰將研究結果彙集成篇。進行期間，承王助副院長之指示，本篇脫稿時復承審核，乃告完成。



二、形 態

1. 雲杉 (*Picea asperata* Masters) 土名「字杉」

喬木，高達35公尺，具塔形之樹冠。樹幹端直，樹皮灰褐色，成不規則之薄片狀脫落。枝平伸或稍下垂，枝端上彎，小枝黃灰色；芽圓錐形，具稍貼着之薄鱗片，其頂端開展或稍反曲。葉截面四角形，稍彎曲，短尖，四側有白色氣孔線，長20公厘。球果圓柱狀長橢圓形，長達13公分，褐色，果鱗貼着，形狀不一，頂端圓形，菱形，或截頭狀，種子有翅(參閱第1圖)。

木材淺黃褐色，心材與邊材之區別不顯明，紋理直，結構細，質輕。乾燥狀況良好，易施工，亦易膠合。

年輪明晰，甚狹以至寬。早材(Early Wood)與邊材(Late Wood)之區別顯明，遲材帶狹以至略寬，為黃褐色。木質線細，樹脂管略多。

產中國西部，在川西岷江上游高山，常與他種雲杉混生。

2. 麥吊杉 (*Picea brachytyla* Pritzels var. *complanata* Cheng)

喬木，高達40公尺，直徑達1公尺，樹冠尖塔形，樹幹端直。樹皮灰褐色或暗褐色，作不規則之片裂。芽卵形，褐色，鱗片貼着。枝多平展，小枝下垂，黃褐或淺褐色，禿淨或具短柔毛，具短葉柄。葉直，短尖狀，扁平，表面暗綠色，背面白色，長達15公厘。球果圓柱狀長橢圓形，兩端漸合，長6—9公分，寬2—4公分，暗褐或紫褐色，常富油脂，果鱗倒卵形，頂端圓或短尖狀，種子具翅(參閱第2圖)。

木材黃褐色，心材與邊材之區別不顯明。紋理直，結構細以至中。質略輕，乾燥狀況良好，施工及膠合容易。

年輪甚顯明，甚狹以至略寬。遲材帶明晰，深黃褐色，略寬。木質線細以至甚細，樹脂管略多，濕以水後明晰。

產中國西部。在川西康東之高山，常與他種樹木成混交林。

3. 法氏冷杉 (*Abies Faxoniana* Rehder et Wilson) 土名「泡杉」

喬木，高達35公尺，樹冠尖塔形，樹幹直，樹皮灰褐色，緊貼，平滑，有時具縱長之淺裂。枝淺黃褐或灰褐色，具柔毛，平伸或上伸。葉長達27公厘，邊緣反捲，頂端有缺凹，表面暗綠色，底面青白色。球果暗紫色，長橢圓形，長5—6公分，具樹脂(參閱第3圖)。

心材與邊材之區別不顯明，材色淡黃褐。紋理直，結構細。質輕而柔。乾燥之狀況良好。

年輪明晰，狹以至寬，每吋 16—6 輪，通常均勻，遲材帶微呈紫褐色，狹。早材與遲材之區別顯明。木質線細，在肉眼下僅得見之。

4. 鐵杉 (*Tsuga chinensis* Fritzel)

喬木，高達50公尺，直徑達1.3公尺。樹皮紅褐或灰褐，作薄片脫落，老樹有深縱條裂紋。枝粗，斜上伸，小枝細，尖端微下垂，灰褐色，稍具柔毛；芽卵形，禿淨；葉長達28公厘，線形，頂端圓而凹入，表面暗綠，有凹溝，底面有白色氣孔腺。球果卵形，長15—26公厘，寬12—16公厘，有短柄，果鱗淺黃褐色，禿淨(參閱第4圖)。

心材與邊材之區別不顯明，材黃褐色。紋理直，結構細。質硬，乾燥之狀況尚佳，施工性質次於雲杉。

年輪顯明，甚狹以至略寬，每吋50—14輪。早材與遲材之區別略顯明，遲材帶狹至寬。遲材密度較早材甚大，木質線細以至甚細。

此樹在川康高山，極為習見，常與他種樹木成混交林。

5. 光皮樺 (*Betula luminifera* Winkler) 土名「牛皮樺」

落葉喬木，高30公尺，樹冠為不規則廣圓形。樹皮暗灰色，緊貼，具有多數長形皮孔，枝條暗紫紅色，具有多數白色之腺。芽卵形，頂端短尖，長約6公厘。葉紙質，卵形或廣卵形，頂端短尖狀，基部圓形或稍呈圓狀斜形，長達

8公分，寬達5公分，邊緣具不等之雙鋸齒，表面深綠色，背面淺綠，背面總脈及側脈具柔毛，葉梗長約2公分，具柔毛。雌花序單生，長約7公分，厚約9公厘，花梗長約12公厘，苞三裂，兩旁裂片甚小，較正中裂片小五位，正中裂片頂端尖，邊緣及基部具柔毛；雄花序三四朵成一邊，無柄，苞圓形，盾形，禿淨；小蕊短，黃褐色，稜具絲狀毛（參閱第5圖）。

心材與邊材之區別稍顯明，邊材淡黃褐色而帶紅；心材色稍深。紋理直，結構細。乾燥之狀況良好，施工易，膠合上之性質甚優。

年輪不甚明顯，狹，每吋12—17輪。木質線細。為散孔材，管孔小，數多，多數單溝。木薄膜組織不見。

此樹常分佈於針葉林之下，且常與其他樹種成混交林。

6. 青皮白楊 (*Populus Cathayana* Rehder)

喬木，高達30公尺，樹皮灰綠色，老幹暗色而開裂，具菱形皮孔。小枝平滑，淺灰或灰黃色。冬芽紡錘狀圓錐形，具樹脂。葉卵形或長橢圓狀卵形，頂端短尖或漸尖，基部圓形，長達8公分，寬達7公分，表面光綠色，背面淡綠色，邊緣密生腺質鈍鋸齒，但在基部全緣或疏生鋸齒，側脈5—7對，稍彎曲，總脈在表面微凸，在背面隆起，網脈在背面顯明，葉柄圓筒形，長3—5公分。果疏生，具短柄或無柄。朔果卵狀，頂端尖，具3—5瓣，或罕為2瓣，頂端尖而反曲（參閱第6圖）。

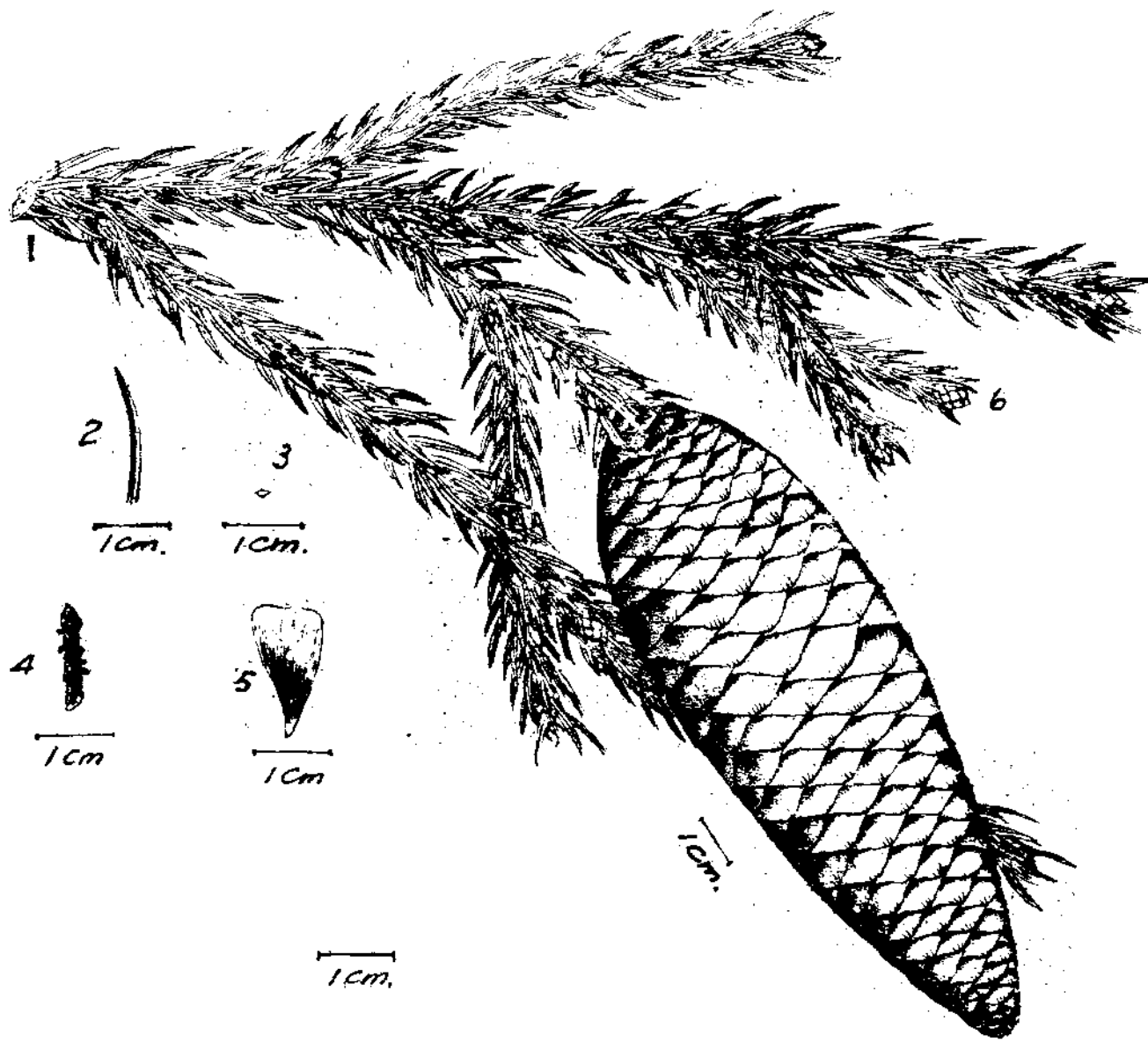
心材與邊材之區別不顯明，材黃褐色，常雜以灰黑色之花斑。紋理直行，結構細。質輕柔，疏鬆。施工容易，乾燥狀況良好。

年輪略明顯，狹以至略寬，每吋7—23輪。早材與遲材之區別顯明，遲材帶狹至略寬。木質線細以至甚細。為散孔材，管孔甚小，木薄膜組織不見。

此樹在岷江上游林中，常生於河岸或河邊山地。

第 1 圖

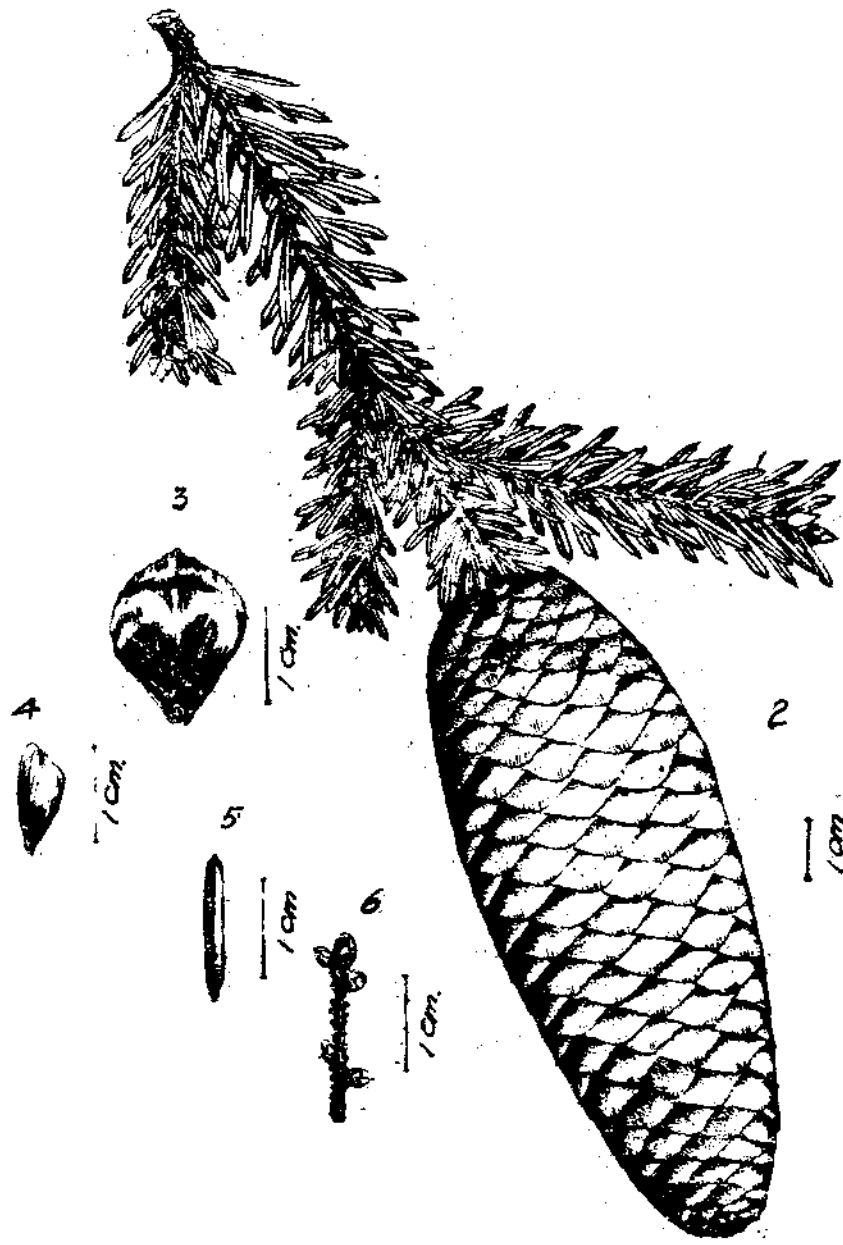
Picea asperata Masters



1. 枝 (縮小 2/3). 2. 針葉 (原大). 3. 葉之橫斷面 (原大).
4. 小枝 (原大). 5. 種子 (原大). 6. 頂芽 (縮小 2/3)

第2圖 麥吊杉

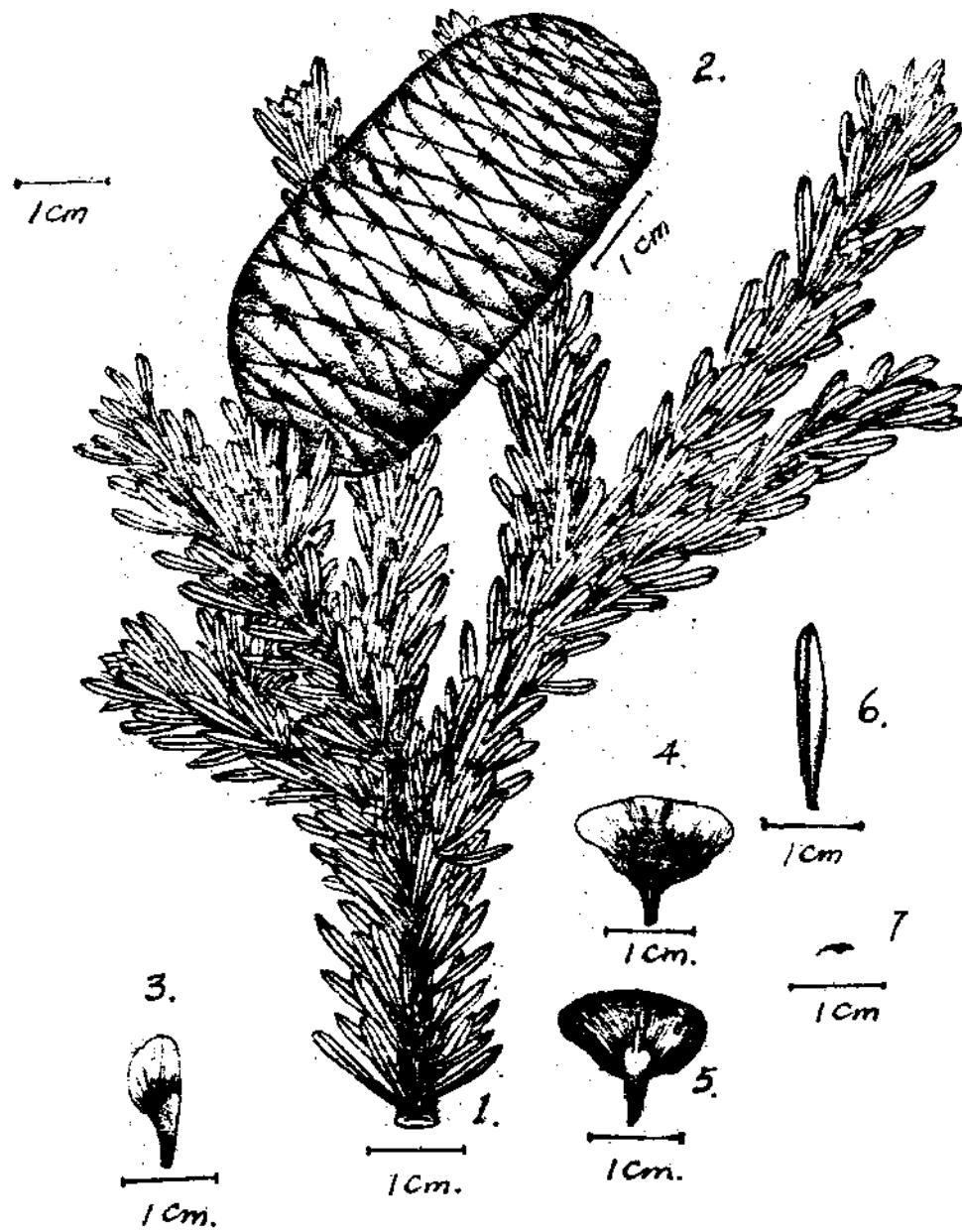
Picea brachtyla pritzel Var. *Complanata* Cheng



1. 着果之枝 (縮小 $\frac{2}{3}$) 2. 果 (縮小 $\frac{2}{3}$) 3. 鱗片 (原大) 4. 種子 (原大)
5. 葉 (原大) 6. 頂芽 (原大)

第 3 圖

法氏冷杉, *Abies Faxoniana* Rehder and Wilson

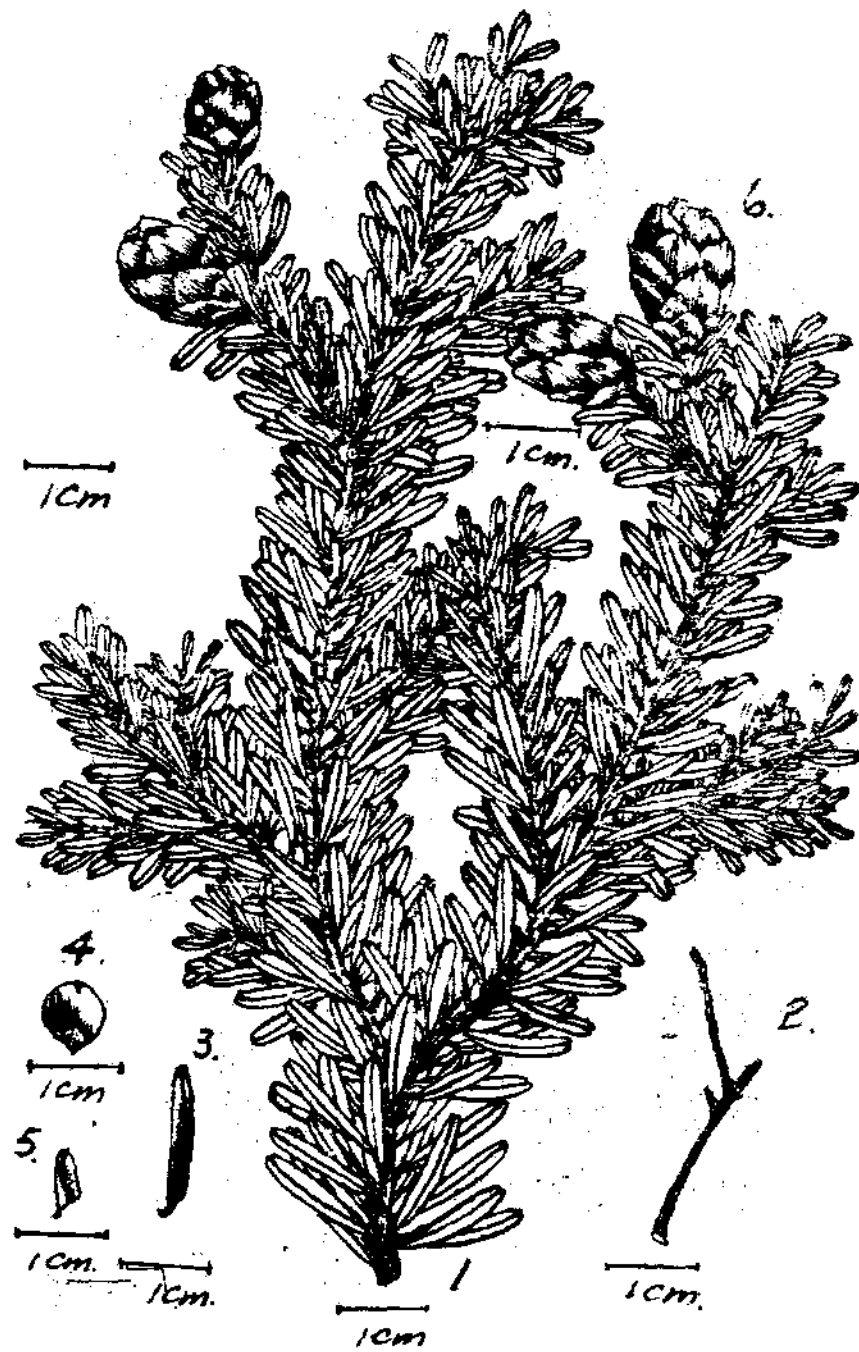


1. 着果之枝(原大) 2. 果(原大) 3. 種子(原大) 4. 5. 鱗片之正反面(原大),
6. 葉(原大) 7. 葉之橫断面(原大).

航研院木竹組繪
32-4-5

第 4 圖

鐵杉 *Tsuga. Chinensis* Pritzal



1. 着果之枝 (原大) 2. 小枝 (原大) 3. 葉 (原大) 4. 鱗片
5. 種子 (原大) 6. 果 (原大).

航研院木竹組繪
32-4-5

第 5 圖

光皮樺 *Betula Luminifera* Winkler

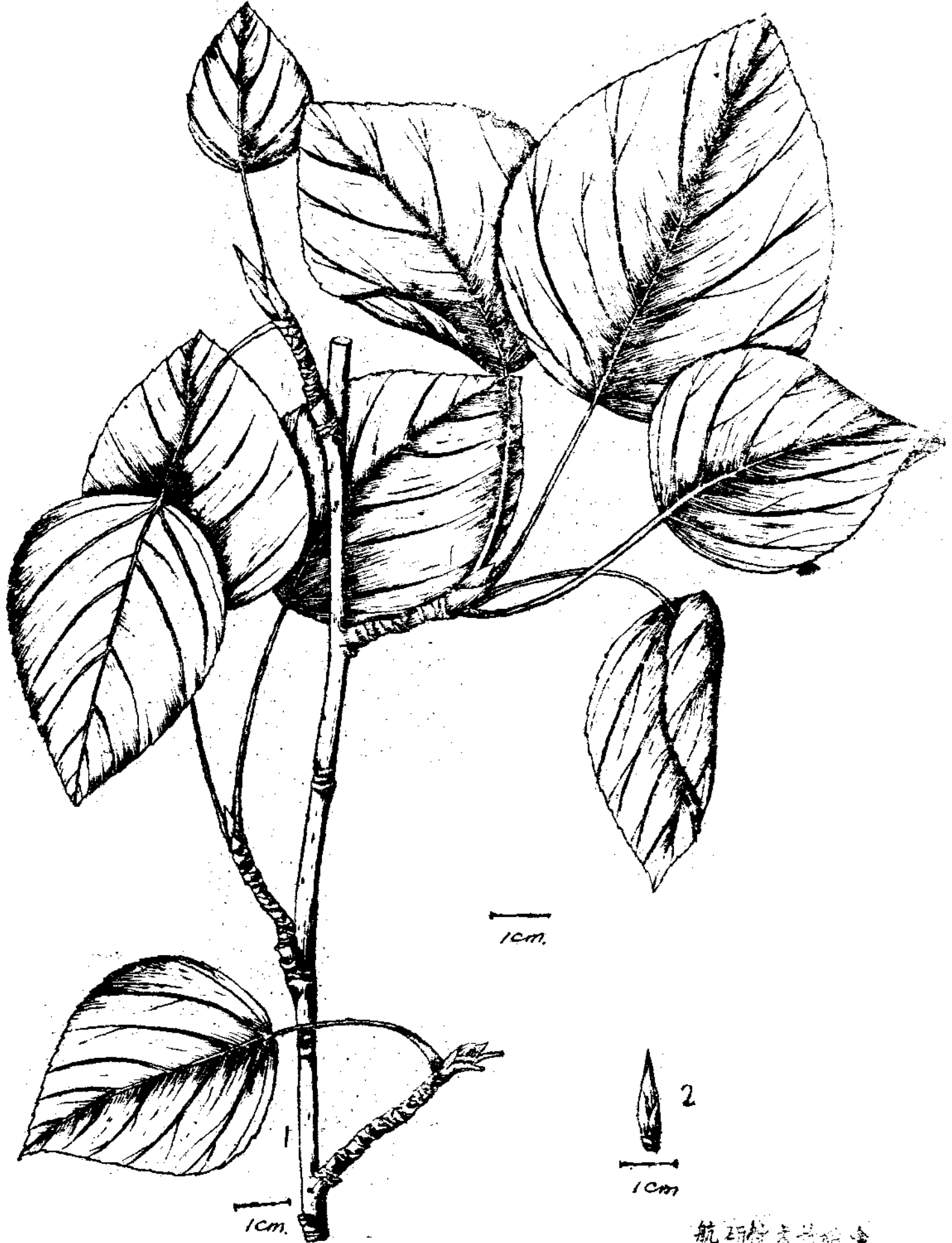


1. 着花之枝 (縮小 $\frac{1}{2}$) 2. 花序 (原大) 3. 葉 (原大)
4. 種子 (放大二倍) 5, 6. 果苞正反面 (放大二倍)

航研院木竹組繪
32-4-5

第 6 圖

青皮白楊 *Populus cathayana* Fehder



1. 着葉之枝 (原大) 2 芽 (原大)

航研院未刊稿
32-4-5

三、物理性質之研究

木材之主要物理性質，通常包含含水量，比重，重量及收縮等，與力學性質有密切之關係。茲將各種性質分述如次：

1. 含水量

木材之含水量，與周圍大氣情況關係至大，隨相對濕度及溫度而常變動。生材狀態時，木材含有多量水分，在大氣中，木材水分逐漸蒸發，至纖維飽和點(見本節 b 款)以下，水分減少，即引起強度之增加。當木材繼續乾燥至本身之重量趨於一定時，乃達氣乾狀態。

木材之含水量，通常係以所含水分之重量，作為爐乾木材重量之百分數而表示之。此次測定含水量之標本，大小為 $2 \times 2 \times 2$ 公分，由每根力學試驗之試條，切下一塊供用。

A 生材含水量 生材 (Green Wood) 含水量之多少，不特因樹種而有差別，即同種之各株，同株之邊材與心材，或同株之不同高度，亦各有不同。此次測定含水量，所用標本，係取自各不同部位，而求得其平均值(參閱第一表)。

B. 纖維飽和點 (Fiber Saturation Point) 生材狀態之木材乾燥時，細胞腔 (Cell Cavities) 之水分，先行蒸發，至細胞腔內之水分已全失去，但細胞壁 (Cell Walls) 之水分仍在飽和狀態時，稱為「纖維飽和點」。通常木材之含水量，在此點以外，與力學性質及收縮率，均無關係。但一至此點，倘水份繼續蒸發，則木材強度及收縮率有顯然之變化。此項理論，乃美國林產研究所首先倡議⁽¹⁾。各種木材之纖維飽和點，係由各強度與含水量之關係試驗決定之(參閱第二表)。

(1) 參閱 Wilson, T. R. C.: "Strength-Moisture Relations for Wood." Tech. Bull. No. 232, 1932. P. 9. U. S. Dept. of Agriculture.

2. 比 重

此次所求各種木材之比重，有下列各數值(參閱第一表)。

A 依據爐乾重量及爐乾體積之比重 測定時，先將木材標本置乾燥爐中，使水份漸漸蒸發，俟重量一定時，即測量其體積與重量，而求出比重。此項比重，有下列數值：

- (1) 平均值 為所有比重之總和除以試驗次數所得之值。
- (2) 最大值 為比重值中之最大者。
- (3) 最小值 為比重值中之最小者。
- (4) 最低容許值 比重值中佔標本數之最多者，為最低容許值(參閱第七圖)。

B 依據爐乾重量及生材體積之比重

C 依據爐乾重量及氣乾材(12%含水量)體積之比重 為重量在爐乾狀態而體積調整至12%含水量時之比重。

D 依據爐乾重量及15%含水量時體積之比重 為重量在爐乾狀態而體積調整至15%含水量時之比重。

3. 重 量

木材之重量，不特因樹種而有異，即同種之各株，或同株之各部位，亦有不同。又同種同株同部位之木材，其重量亦須視其含水量而定。茲求得各種木材在生材，12%與15%含水量及爐乾時之平均重量列如第一表。

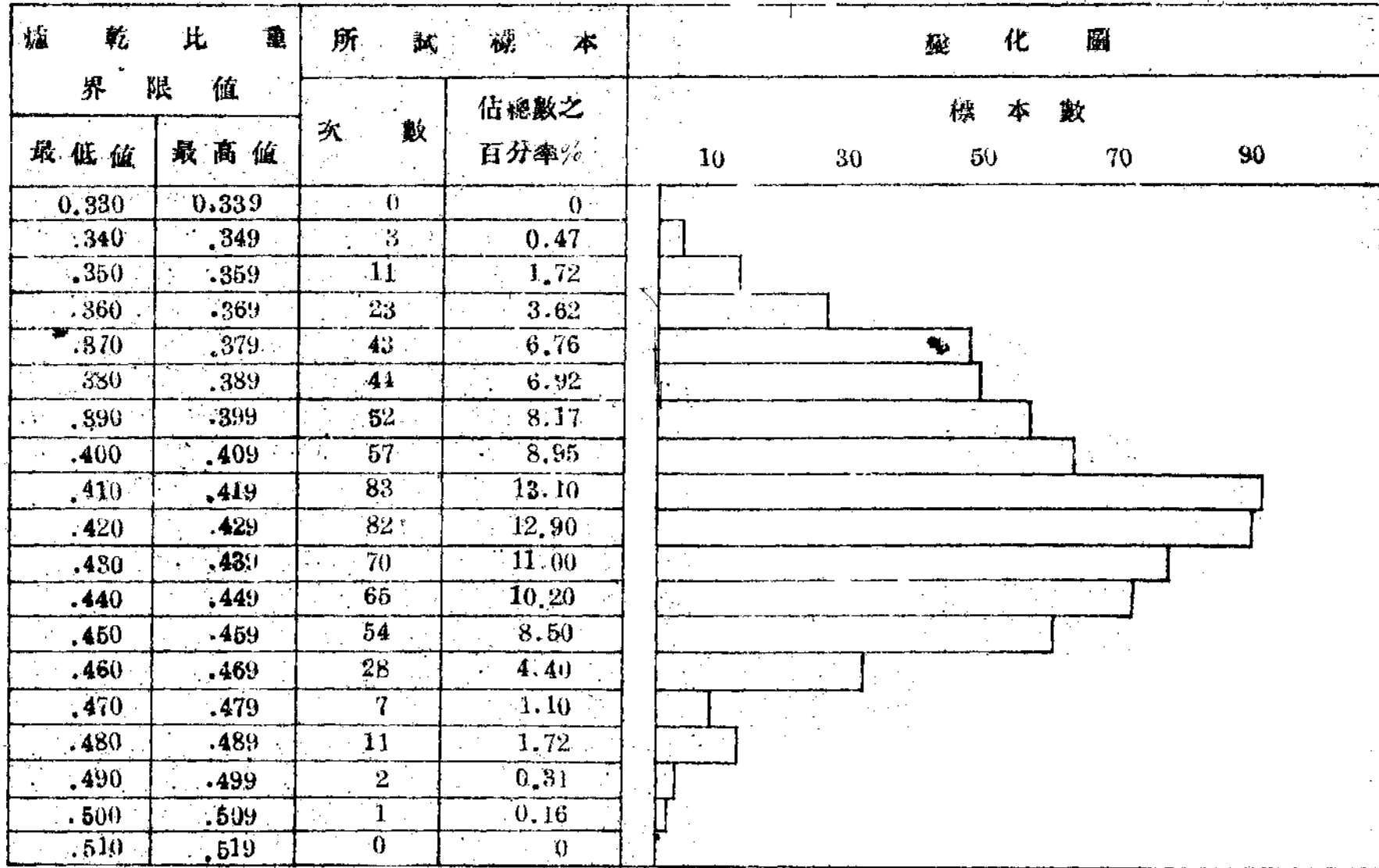
4. 徑向及弦向收縮率

通常，木材之水分，蒸發至纖維飽和點時，收縮即行開始。木材之收縮，徑向弦向及縱向，各有不同。縱向收縮甚微，與實用無甚關係，故未作測定。此次試驗徑向及弦向收縮之標本，大小為 $2.5 \times 2.5 \times 10$ 公分。徑向收縮標本，10公分寬之面，係沿半徑方向，弦向收縮標本，10公分寬之面則與生長輪平行，各收縮率乃指生材至爐乾之收縮率，而以生材之原寬為標準者(參閱第一表)。

5 體積收縮

木材之體積，在細胞壁充滿水分時為最大，細胞壁水分全部消失時為最小。此次試驗所得各種木材由生材至爐乾之平均體積收縮率（以生材之體積為標準）均列於第一表。

第 7 圖
四川理番雲杉, 爐乾比重變化圖



註：上圖乃根據 636 次試驗結果。
爐乾比重之平均值為 0.414。
爐乾比重之最低容許值為 0.410。

航空研究院木竹試驗組

第一表

四川理番六種木材之物理性質

樹種	比重, 依據爐乾重量及生材體積		比重, 依據生材重量		比重, 依據爐乾重量及爐乾體積					生材含水量		重 量				徑向及弦向收縮			體積收縮		每二公分之平均年輪數
	試驗標本數	平均值	及15%含水量時之體積	及12%含水量時之體積	試驗標本數	平均值	最大	最小	最低容許值	試驗標本數	平均值	生材	15%含水量	12%含水量	爐乾	試驗標本數	徑向	弦向	試驗標本數	平均值	
雲杉(字杉)	208	0.363	0.388	0.392	636	0.414	0.500	0.341	0.410	208	36.9	31	28	27	26	52	4.4	8.3	210	11.1	17
麥吊杉(蘇麥吊)	126	0.393	0.419	0.425	437	0.450	0.669	0.209	0.400	126	57.6	39	30	30	28	48	4.0	6.5	120	11.6	18
麥吊杉(油麥吊)	152	0.400	0.417	0.423	542	0.441	0.609	0.350	0.430	152	59.1	40	30	30	23	48	4.5	7.1	155	9.3	22
法氏冷杉	120	0.354	0.369	0.374	470	0.394	0.599	0.280	0.400	120	46.7	32	27	25	25	48	4.7	6.9	121	10.0	12
鐵杉	123	0.456	0.470	0.473	405	0.491	0.649	0.390	0.450	123	34.7	33	34	33	31	48	3.2	5.7	133	7.1	15
光皮樺	230	0.480	0.508	0.516	665	0.550	0.719	0.420	0.560	230	53.9	46	36	36	34	48	6.0	7.8	220	12.7	9
青皮白楊	196	0.328	0.338	0.342	483	0.358	0.509	0.270	0.330	196	104.0	42	24	24	22	48	3.2	7.1	139	8.4	7

註：各木材之纖維飽和點見第二表。

航空研究院木竹試驗組

第二表 四川理番六種木材各強度之纖維飽和點含水量(%)。

樹種	試驗 條 標本數	靜 曲 試 驗				韌 性	順 紋 最大抗 壓強度	橫 紋 比 例 限度壓 縮應力	順紋抗剪強度		簡卡氏抗凹硬度		纖維飽 和點之 平均值
		比例限 度應力	破 壞 係 數	彈 性 係 數	最大荷 重工作				徑 向	弦 向	徑 向	弦 向	
雲 杉 (字杉)	244	26.5	26.0	27.0	27.5	24.0	26.0	26.5	27.0	27.5	23.5	25.0	26
麥吊杉(棟麥吊)	202	24.0	25.0	25.0	24.5	21.0	25.0	25.5	25.0	25.0	25.0	25.0	25
麥吊杉(油麥吊)	212	26.0	27.0	27.5	22.5	20.0	27.5	29.0	27.0	27.5	26.0	29.5	27
法 氏 冷 杉	200	22.5	22.5	24.0	21.0	22.0	23.5	25.0	23.0	22.5	28.0	23.0	24
鐵 杉	145	22.5	22.0	23.0	22.0	23.0	25.0	25.0	22.5	24.0	22.5	22.5	23
光 皮 樺	228	27.0	26.0	22.0	24.0	27.5	27.0	25.0	27.5	26.0	21.0	22.5	25
白 湯(青皮白湯)	161	20.0	23.0	22.5	22.5	20.0	23.0	21.5	23.0	27.5	21.0	22.0	23

航空研究院木竹試驗組

第三表 四川理番六種木材之生材強度值

材種	試驗 標本 條數	比重, 依據 乾重 及生材 體積	含水量 %	靜 曲 試 驗				韌 性 公斤公分/ 標本	順 紋 壓 縮 試 驗		橫 紋 比 例 限 度 壓 縮 應 力	順 紋 抗 剪 強 度		簡卡氏抗凹硬度	
				比 例 限 度 應 力	破 壞 係 數	彈 性 係 數	最 大 荷 重 之 工 作		比 例 限 度 應 力	最 大 抗 壓 強 度		徑 向	弦 向	徑 面	弦 面
				公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 公 分 / 立 方 公 分		公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 / 平 方 公 分		公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 / 平 方 公 分
雲杉(字杉)	208	0.368	36.9	305	520	68000	0.92	188	192	240	23.6	56.0	61.4	140	150
麥吊杉(糠麥吊)	126	0.396	57.6	354	565	68600	0.95	159	198	247	32.8	60.0	69.4	177	188
麥吊杉(油麥吊)	152	0.400	59.1	320	540	71000	0.95	187	198	248	30.5	62.0	69.0	181	194
法氏冷杉	120	0.354	46.7	320	510	60000	0.88	140	195	244	25.3	59.0	69.0	142	151
鐵杉	123	0.456	24.7	420	720	70000	1.30	240	260	325	45.5	80.0	89.0	270	276
光皮樺	230	0.480	53.9	372	695	84000	1.07	200	208	278	53.0	87.5	103.0	290	287
青皮白楊	196	0.322	104.0	260	375	44000	0.71	144	133	177	18.8	45.0	55.5	123	127

註：韌性試驗標本之大小為 2×2×30 公分，跨間 24 公分。

重慶研究院木竹試驗室

— 第四表 四川理番產雲杉含水量與強度關係試驗結果

試驗 條 標本數	含水量 %	靜 曲 試 驗				韌 性	順 紋 最 大 抗 壓 強 度	橫 紋 比 例 限 度 壓 縮 應 力	順 紋 抗 剪 強 度		簡 卡 氏 抗 凹 度	
		比 例 限 度 應 力	破 壞 係 數	彈 性 係 數	最 大 荷 重 之 工 作				徑 向	弦 向	徑 面	弦 面
		公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 / 平 方 公 分	公 分 公 斤 / 立 方 公 分				公 分 公 斤 / 標 本	公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 / 平 方 公 分	公 斤 / 平 方 公 分
14	21.0	382	620	72000	1.09	205	283	28.7	57.0	63.0	145	161
24	18.0	445	684	77000	1.06	196	318	32.5	63.0	68.0	154	172
21	16.0	503	765	85000	1.22	200	332	33.2	74.0	72.3	168	195
15	13.0	575	835	85000	1.12	195	445	36.0	73.3	72.2	178	192
24	12.0	624	860	87000	1.23	254	470	42.6	64.1	66.4	182	200
22	11.0	650	890	85000	1.29	260	464	46.0	66.2	64.0	177	196

航空研究院木竹試驗組

第五表

四川理番六種木材之強度與含水量關係公式

		單位	雲杉 (字杉)	麥吊杉 (糖麥吊)	麥吊杉 (油麥吊)	法冷 氏杉	鐵杉	光皮樺	青皮白楊
靜 曲 試 驗	比例限度應力	公斤 / 平方公分	1080 × 10 ^{-0.022M}	1550 × 10 ^{-0.027M}	1280 × 10 ^{-0.023M}	1040 × 10 ^{-0.023M}	1390 × 10 ^{-0.021M}	1300 × 10 ^{-0.02M}	700 × 10 ^{-0.022M}
	破壞係數	公斤 / 平方公分	1360 × 10 ^{-0.016M}	1700 × 10 ^{-0.02M}	1750 × 10 ^{-0.02M}	1480 × 10 ^{-0.02M}	1860 × 10 ^{-0.018M}	1550 × 10 ^{-0.014M}	1070 × 10 ^{-0.02M}
	彈性係數	公斤 / 平方公分	105000 × 10 ^{-0.058M}	123000 × 10 ^{-0.01M}	115000 × 10 ^{-0.0076M}	95000 × 10 ^{-0.0079M}	130000 × 10 ^{-0.012M}	152000 × 10 ^{-0.004M}	81000 × 10 ^{-0.012M}
	最大荷重之工作	公分公斤 / 平方公分	1.5 × 10 ^{-0.0077M}	1.95 × 10 ^{-0.012M}	1.75 × 10 ^{-0.011M}	1.68 × 10 ^{-0.013M}	1.78 × 10 ^{-0.0057M}	2.3 × 10 ^{-0.014M}	1.34 × 10 ^{-0.015M}
韌性	公分公斤 / 標本	280 × 10 ^{-0.0073M}	270 × 10 ^{-0.011M}	210 × 10 ^{-0.0095M}	270 × 10 ^{-0.013M}	180 × 10 ^{+0.005M}	290 × 10 ^{-0.0057M}	187 × 10 ^{-0.009M}	
順紋最大抗壓強度		公斤 / 平方公分	740 × 10 ^{-0.0194M}	930 × 10 ^{-0.023M}	750 × 10 ^{-0.017M}	750 × 10 ^{-0.02M}	880 × 10 ^{-0.0173M}	880 × 10 ^{-0.013M}	580 × 10 ^{-0.022M}
橫紋比例限度壓縮應力		公斤 / 平方公分	65 × 10 ^{-0.017M}	116 × 10 ^{-0.021M}	89 × 10 ^{-0.016M}	75 × 10 ^{-0.0185M}	117 × 10 ^{-0.016M}	130 × 10 ^{-0.016M}	44 × 10 ^{-0.02M}
順紋 剪力 試驗	徑向抗剪強度	公斤 / 平方公分	80 × 10 ^{-0.006M}	140 × 10 ^{-0.015M}	99 × 10 ^{-0.0067M}	85 × 10 ^{-0.0067M}	101 × 10 ^{-0.0043M}	144 × 10 ^{-0.0079M}	56 × 10 ^{-0.0042M}
	弦向抗剪強度	公斤 / 平方公分	85 × 10 ^{-0.0056M}	130 × 10 ^{-0.011M}	102 × 10 ^{-0.0063M}	97 × 10 ^{-0.0067M}	110 × 10 ^{-0.004M}	160 × 10 ^{-0.0072M}	98 × 10 ^{-0.0091M}
簡卡 氏抗 凹硬 度	徑面抗凹硬度	公 斤	225 × 10 ^{-0.0088M}	370 × 10 ^{-0.013M}	290 × 10 ^{-0.0084M}	230 × 10 ^{-0.0078M}	330 × 10 ^{-0.0042M}	470 × 10 ^{-0.011M}	175 × 10 ^{-0.0073M}
	弦面抗凹硬度	公 斤	160 × 10 ^{-0.0095M}	400 × 10 ^{-0.012M}	310 × 10 ^{-0.0066M}	250 × 10 ^{-0.0079M}	350 × 10 ^{-0.0043M}	510 × 10 ^{-0.011M}	178 × 10 ^{-0.0063M}

註 M代表含水量百分數

航空研究院木竹試驗組

第六表 四川理番六種木材在12%含水量時之各強度值

樹種	靜曲試驗				韌性	順紋壓縮試驗		橫紋 比例限 度壓縮 應力	順紋抗剪強度		簡卡氏硬度	
	比例限 度應力	破壞 係數	彈性 係數	最大荷 重之工作		比例限 度應力	最大抗 壓強度		徑向	弦向	徑面	弦面
	公斤/ 平方公分	公斤/ 平方公分	公斤/ 平方公分	公斤公分/ 立方公分		公分公斤/ 標本	公斤/ 平方公分		公斤/ 平方公分	公斤/ 平方公分	公斤/ 平方公分	公斤/ 平方公分
雲杉(字杉)	610	860	87000	1.24	232	360	450	42	68	73	175	200
麥吊杉(糠麥吊)	750	1000	92000	1.35	200	330	480	64	91	95	260	280
麥吊杉(油麥吊)	670	1000	92000	1.26	190	330	470	58	81	85	233	255
法氏冷杉	550	820	75000	1.17	185	330	470	45	70	81	190	203
檫杉	780	1100	95000	1.50	210	440	550	73	89	100	297	310
光皮樺	750	1100	100000	1.55	245	430	540	85	110	130	355	375
青皮白楊	390	610	58000	0.96	160	240	320	31	50	76	142	148

航空研究院木竹試驗組

第七表 四川理番六種木材在15%含水量時之各強度值

樹種	靜曲試驗				韌性	順紋壓縮試驗		橫紋 比例限 度壓縮 應力	順紋抗剪強度		簡卡氏抗凹硬度	
	比例限 度應力	破壞 係數	彈性 係數	最大荷 重工作		比例限 度應力	最大抗 壓強度		徑向	弦向	徑面	弦面
	公斤 /平方公分	公斤 /平方公分	公斤 /平方公分	公分公斤 /立方公分		公分公斤 /標本	公斤 /平方公分		公斤 /平方公分	公斤 /平方公分	公斤 /平方公分	公斤 /平方公分
雲杉(字杉)	500	750	82000	1.18	220	300	380	36	65	70	166	188
麥吊杉(糠麥吊)	600	840	85000	1.20	180	320	400	53	84	89	240	250
麥吊杉(油麥吊)	550	830	88000	1.17	185	320	400	50	77	82	220	245
法氏冷杉	460	680	79000	1.06	170	280	350	38	57	77	180	190
杉	660	930	87000	1.12	220	380	480	63	86	97	290	300
光皮樺	630	960	95000	1.40	235	340	460	73	102	123	330	350
白楊(青皮白楊)	320	520	54000	0.88	150	210	260	28	49	71	135	140

航空研究院木竹試驗組

四、力學性質之研究

木材之本身，乃為一有機體，其性質之變異頗大。此次試驗理番產六種木材之力學性質時，試材均盡量多取，以作較詳盡之試驗。茲將所得之結果及相關之性質，分述於后：

1. 生材力學性質

將每種木材生材狀態合格標本之三分之一，逐一作靜曲，韌性，順紋壓縮，橫紋壓縮，順紋剪力，簡卡氏抗壓硬度等試驗，其結果見第三表。

2. 氣乾材力學性質

將每種木材合格標本之三分之一，置於空氣流通之架上，約經四五月，俟其含水量與空氣濕度呈平衡狀態時（即標本之含水量無大變化時），即用以試驗各強度，再將試驗結果調整為平均氣乾含水量（12%）時之強度值⁽¹⁾（參閱下節B款）。

3. 強度與含水量之關係

水分之影響木材強度，已於前章述及。惟同種木材中之各強度，所受含水量之影響，亦各有差異，為探討其確切之關係起見，曾將所選得之木段之三分之一，在不同含水狀態下作力學試驗，並將試驗結果，繪成關係圖（參閱第8圖——本圖祇表示雲杉之試驗結果，他種木材圖式亦示同一趨勢）。試驗結果，列於第四表。由此項試驗，可決定含水量與強度之關係公式，並求出12%含水量時及15%含水量時之強度值。

(1) 木材在氣乾狀態時之平均安定含水量，因地域，季節，及貯存方法等不同而變異，美國林產研究所，對一般木材之試驗結果，調整而為氣乾材之數值時，係採用12%含水量為標準，此12%值乃代表美國大部份區域中木材氣乾狀態之安定含水量（參閱Markwardt, L. J and Wilson, T. R. C. "Strength and Related Properties of Woods Grown in the United States," P. b.）。茲為便於比較，亦將試驗結果調整為12%時之強度值。

A 各強度與含水量之關係公式 由含水量與強度關係曲線所計算得之各關係公式，見第五表。

B. 12%含水量時之各強度值 由氣乾材試驗結果，會同生材試驗結果及不同含水狀態試材之試驗結果，所繪成之含水量與強度關係曲線，可求出其在12%含水量時之各強度值(參閱第六表)。

C. 15%含水量時之各強度值 15%含水量時之各強度值，亦根據各強度與含水量之關係曲線而得之(參閱第七表)。由此等數值，可求得飛機設計應用值⁽²⁾。

按韌性試驗所得之各數值，差異頗大，尤以韌性與不同含水量之關係試驗為然。此次試驗之六種木材中，鐵杉之韌性與含水量之關係，有異於一般之情形，即在纖維飽和點下，其韌性與含水量成正比是也。

4. 強度之變異

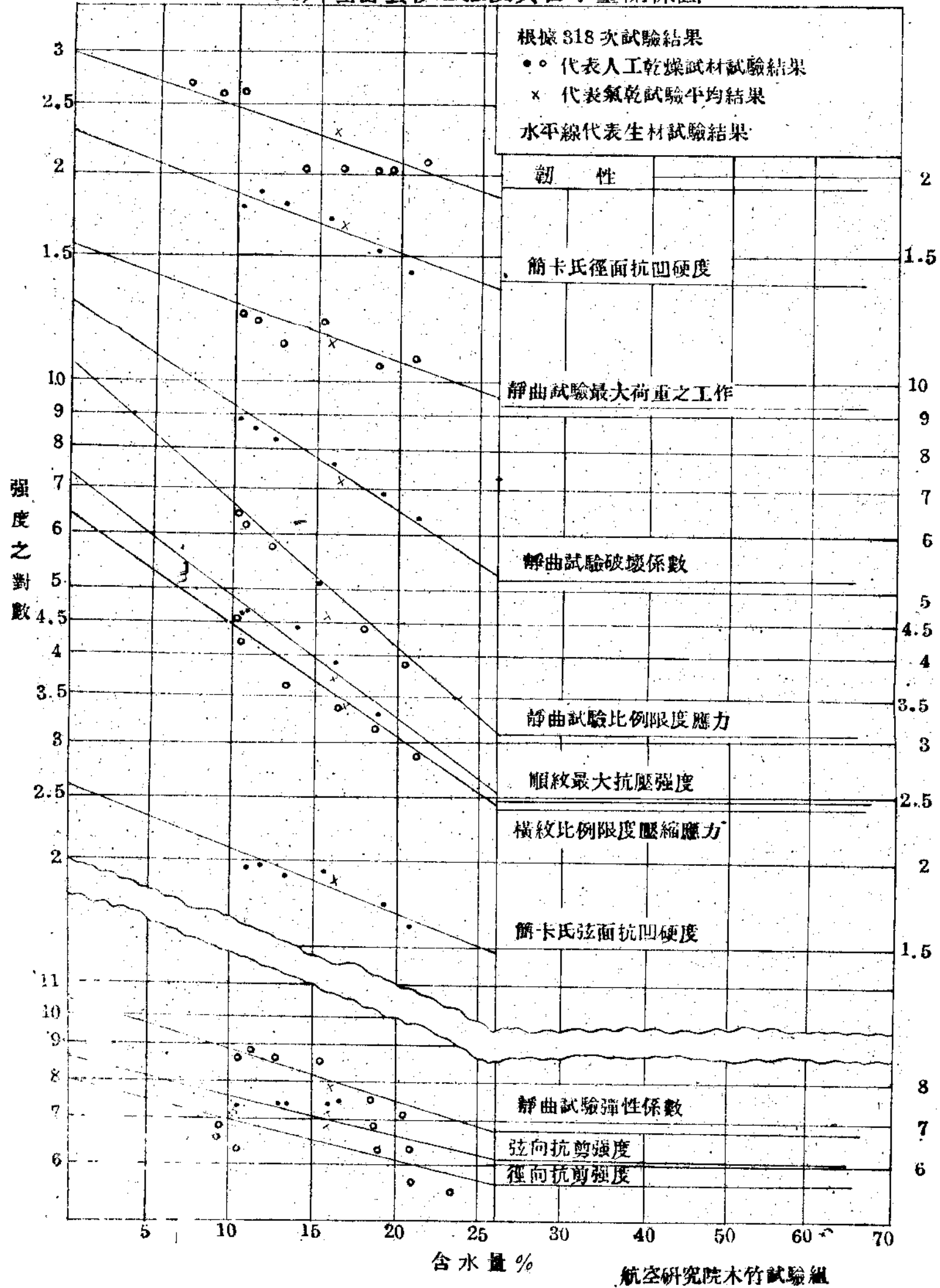
此次力學試驗，全取經過嚴格選擇之無缺點之木材為標本，並依一定之方式進行，以冀盡量減少影響木材力學性質之因子，此等因子，除上述之含水量外，尚有木材之紋理，取材之位置，木材生長之遲速與處理之方法等項，均甚重要。為應用時之安全許，曾將各種木材之生材強度值(破壞係數與彈性係數)，繪製變異圖(參閱第9,第10圖)，並求得「變異因數」(見第八表)，藉以調整各強度之算術平均值。

第八表 四川理番六種木材生材強度之變異因數

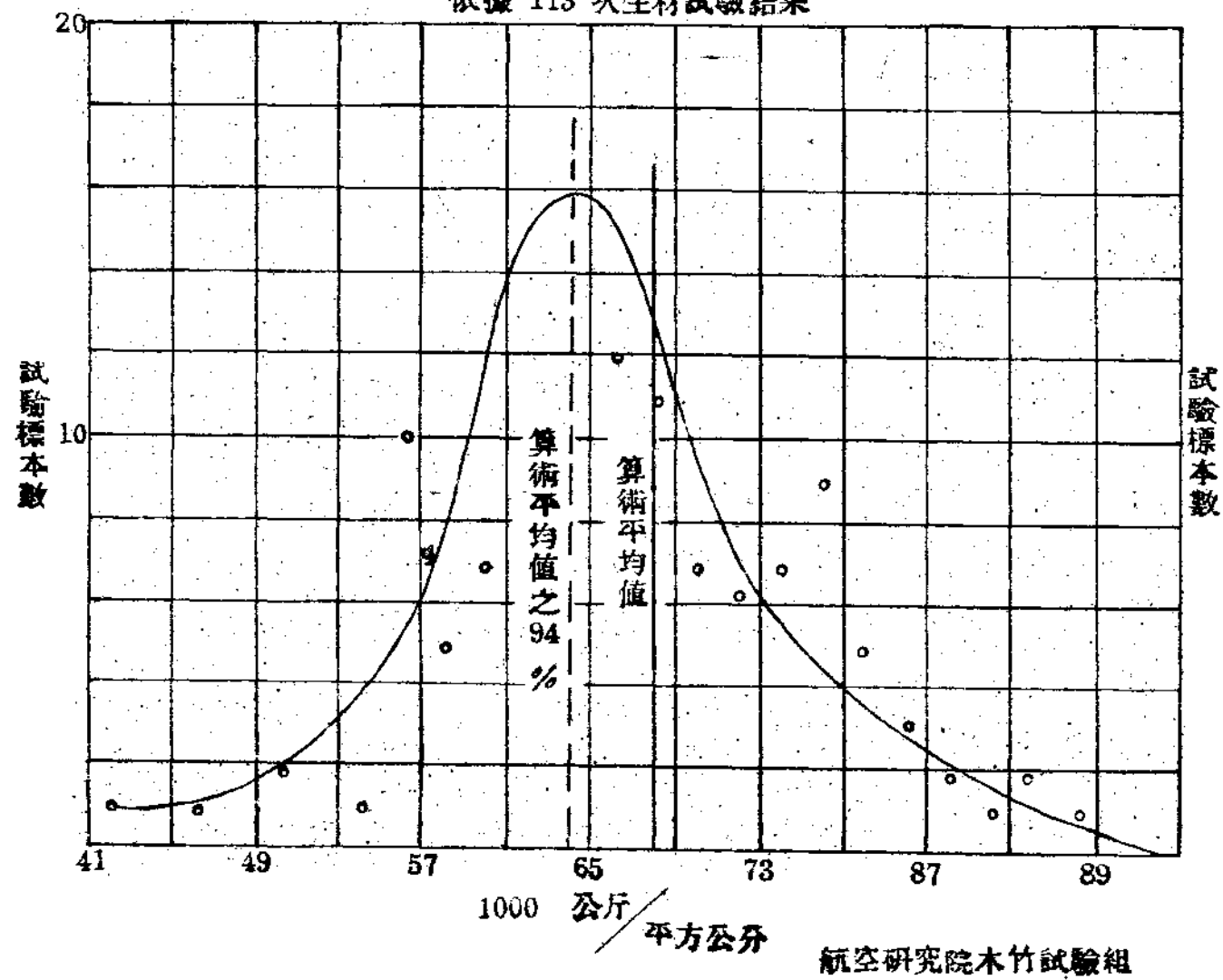
樹種	雲杉(字杉)	麥吊杉(蕪麥吊)	杉麥吊(油麥吊)	法氏冷杉(泡杉)	鐵杉	光皮樺(牛皮樺)	青皮白楊
破壞係數	0.96	0.92	0.91	0.95	0.93	0.95	0.96
彈性係數	0.94	0.90	0.90	0.93	0.90	0.94	0.95

(2) 美國陸海軍航空署採用15%為飛機設計應用值中木材之安定含水量，此為代表美國各地及屬地之木材在應用上所遇之安定含水量之最大值(參閱 Trayer G W. "Wood in Aircraft Construction" P 47)。我國各地木材平均安定含水量，尚未有正確之決定(此項工作，本院正在進行中)。茲為便於與美國飛機木材設計應用值比較，亦將各強度調整為15%時之值。

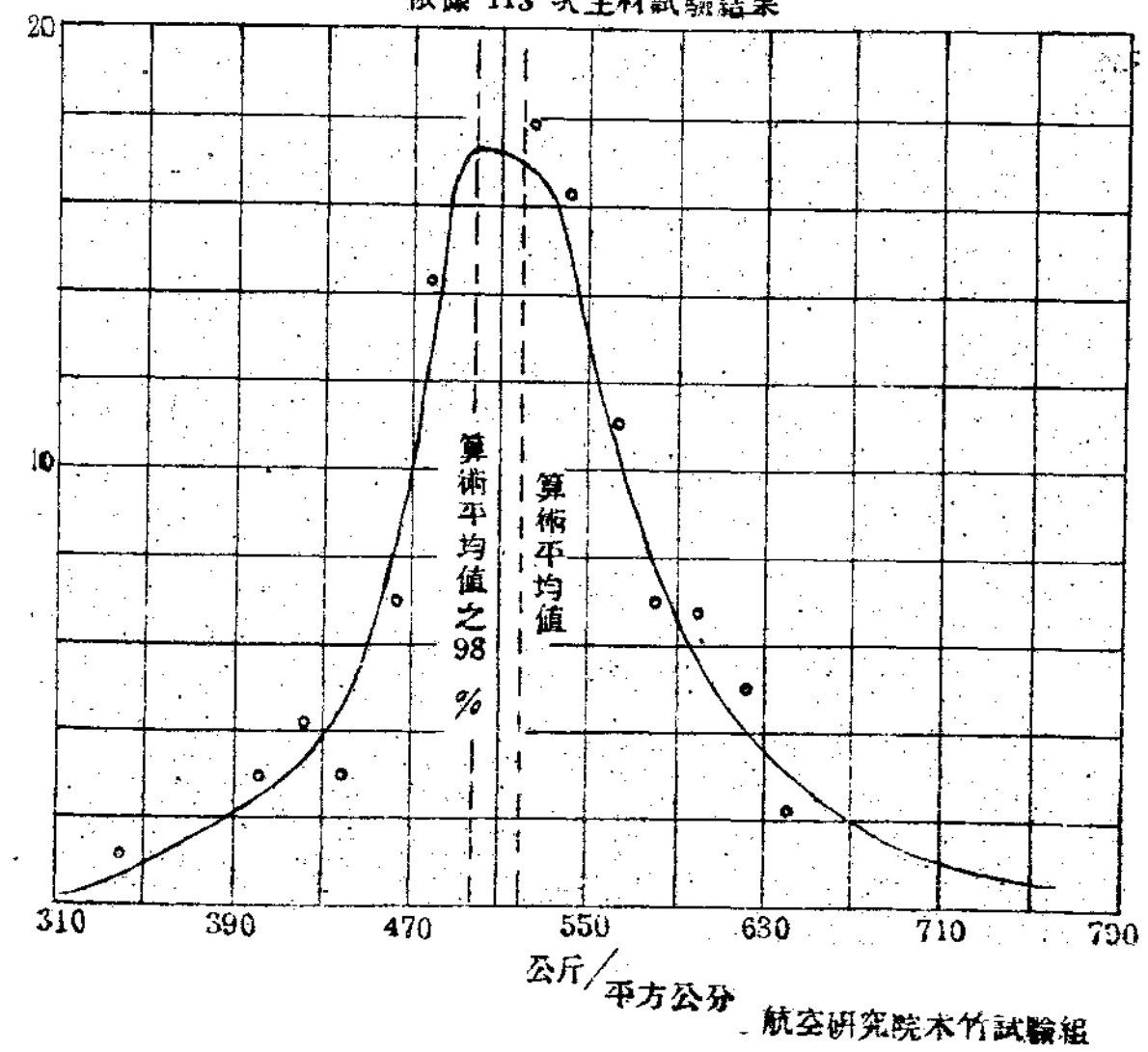
第 8 圖
四川理番雲杉之強度與含水量關係圖

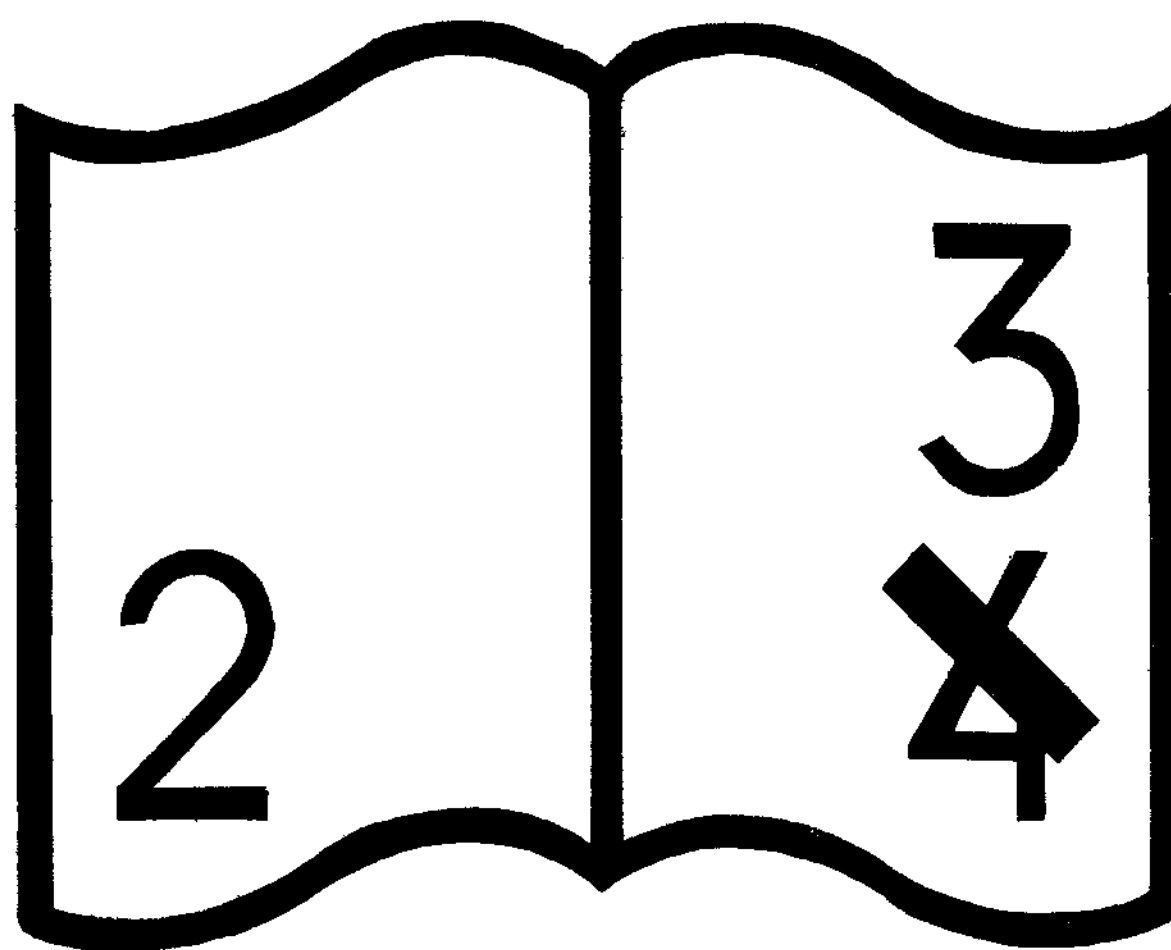


第 10 圖
 四川理番雲杉靜曲試驗所得彈性係數之變異性圖
 依據 113 次生材試驗結果



第 9 圖
 四川理番雲杉靜曲試驗所得破壞係數之變異性圖
 依據 113 次生材試驗結果





应为P17-20

5. 加力時間與強度之關係

依普通標準於試驗室舉行力學試驗時，如在靜曲試驗，自加力開始以迄最大荷重到達之前，需時數分鐘。而飛機上之主要結構材料所支持最大應力之時間，則僅為數秒鐘。在飛機製造上，通常係採用三秒鐘之受力時間為設計之標準。美國林產研究所，曾求出強度與加力時間之關係，並決定由一般試驗所用之加力時間調整為三秒鐘之加力時間，其所用之因數，為 1.17⁽³⁾

6. 飛機設計應用值之計算

將15%含水量時之各平均強度值，用各因數依下述方法調整之，即得其飛機設計值(見第十表)。

A. 靜曲試驗

(1) 比例限度應力 將每種木材在15%含水量時之平均值，乘以該種木材破壞係數之變異因數，並乘以時間修正因數 1.17。

(2) 破壞係數 將每種木材在15%含水量時之平均值，乘以破壞係數之變異因數，並乘以時間修正因數 1.17。

(3) 彈性係數 將每種木材在15%含水量時之平均值，乘以彈性係數之變異因數。

B. 順紋抗壓試驗

(1) 最大抗壓強度 將每種木材在15%含水量時之平均值，乘以破壞係數之變異因數，並乘以時間修正因數 1.17。

(2) 比例限度壓縮應力 針葉樹由最大抗壓強度，乘以0.80，闊葉樹乘以 0.75⁽⁴⁾。

(3) 此次各項強度試驗所用之加力時間，均依據「木材力學試驗標準草案」之規定，前本院研究報告第四號中所應用之加力時間因數(1.14)，係由當時試驗之加力時間計算而得。

(4) 按順紋壓縮試驗，本院過去未有繪製荷重應變曲線，近曾取針葉樹中之雲杉(字杉)，作114次試驗，闊葉樹中之光皮樺，作111次試驗，求得由抗壓強度計算比例限度應力所用之因數，較美國試驗所得者為小(雲杉為0.78，光皮樺為0.71)。因試驗樹種與次數不多，故仍引用美國林產研究所所用之因數，以供計算順紋壓縮試驗之比例限度應力之用。

C 橫紋抗壓強度

將每種木材在 15% 含水量時之平均比例限度應力，乘以 1.33⁽⁵⁾，並乘以加力時間之修正因數 1.17。

D. 順紋抗剪強度

將每種木材在 15% 含水量時之平均值，乘以 0.75⁽⁶⁾。

此次計算各種木材之飛機設計值所應用之變異因數，乃就各種木材分別求得，美國林產研究所，則取同一因數（由銀雲杉 Sitka spruce, 洋松 Douglas fir 與白臘樹 White ash 三種木材決定者），供各種木材一般修正之用。

(5) 參照 N. A. C. A Tech Report No. 354.

(6) 參閱註解 5。

第九表

四川理番六種木材之強度及其相關性質表

樹種	學名	試驗樹株數	每一公分生長輪數	纖維飽和點	含水狀態	含水量	比重，依據		重量	收縮率 (由生材至爐乾)			靜曲試驗				韌性		順紋試驗		橫紋壓縮試驗		硬度試驗， 簡卡氏抗凹硬度		順紋剪力試驗， 最大抗剪強度												
							試時體積及爐乾重量	爐乾體積及爐乾重量		體積	徑向	弦向	比例限度	破壞係數	堅性係數	最大荷重之工作	圖示	比例限度	最大抗壓強度	圖示	徑面	弦面	徑向	弦向													
																									公斤/立方公尺	磅/立方呎	%	%	%	公斤/平方公分	磅/平方吋	公斤/平方公分	磅/平方吋	公分/公分	吋/吋	公分/公分	吋/吋
針葉材																																					
雲杉(字杉)	<i>Picea asperata</i> Mest.	5	17	26	生材	36.9	0.368	0.414	50	31	11.1	4.4	8.3	305	4330	320	7380	68000	0.97×10^6	0.92	13.1	188	168	192	2720	240	3410	23.6	335	140	308	150	330	56.0	795	61.4	872
						氣乾	12.0	0.592	—	43	27				650	8660	860	12200	87000	1.24×10^6	1.24	17.6	232	202	360	5120	450	6380	42.0	596	175	385	200	440	68.0	965	73.0
麥吊杉(糖麥吊杉)	<i>Picea brachytyla</i> Pritz. var. <i>complanata</i> Cheng	5	18	27	生材	57.6	0.398	0.450	63	39	11.6	4.0	6.5	354	5020	565	8020	68500	0.97×10^6	0.95	13.5	159	138	198	2810	247	3510	32.9	466	177	389	188	413	60.0	852	69.4	987
						氣乾	12.0	0.423	—	48	30				750	10600	1000	14200	92000	1.30×10^6	1.35	19.2	200	174	380	5400	480	6820	58.0	823	233	512	288	633	91.0	1290	95.0
麥吊杉(油麥吊杉)	<i>Picea brachytyla</i> Pritz. var. <i>complanata</i> Cheng	5	22	28	生材	59.1	0.400	0.441	64	40	9.3	4.5	7.1	330	4680	540	7670	71000	1.01×10^6	0.95	13.5	187	162	198	2810	248	3520	30.5	433	181	398	194	427	62.0	880	69.0	980
						氣乾	12.0	0.425	—	48	30				670	9510	1000	14200	93000	1.30×10^6	1.26	17.9	190	165	330	5400	470	6670	64.0	908	260	572	255	562	81.0	1130	85.0
法氏冷杉(泡杉)	<i>Abies Faxoniiana</i> Rehd. et Wils.	5	12	24	生材	46.7	0.354	0.394	52	32	10.0	4.7	6.9	320	4540	510	7240	60000	0.85×10^6	0.88	12.5	140	123	195	2770	244	3470	25.3	360	142	312	151	332	59.0	837	69.0	980
						氣乾	12.0	0.374	—	42	26				550	7810	820	11600	75000	1.06×10^6	1.17	16.6	185	161	380	5400	470	6670	45.0	638	190	418	203	447	70.0	993	81.0
鐵杉	<i>Tsuga chinensis</i> Pritz.	5	15	23	生材	34.7	0.456	0.491	61	38	7.1	3.2	5.7	480	6820	720	10200	70000	0.99×10^6	1.30	18.4	240	208	260	3690	325	4610	45.5	646	270	594	276	607	80.0	1120	89.0	1260
						氣乾	12.0	0.473	—	54	34				780	11100	1100	15800	95000	1.35×10^6	1.50	21.3	210	182	440	6250	550	7810	78.0	1020	297	652	310	682	89.0	1260	100.0
闊葉材																																					
光皮樺(牛皮樺)	<i>Betula luminifera</i> Winkl.	5	9	25	生材	53.9	0.480	0.550	74	46	12.7	6.0	7.8	372	5280	695	9870	84000	1.19×10^6	1.07	15.2	200	174	208	2960	278	3940	53.0	752	290	638	287	632	87.5	1240	103.0	1460
						氣乾	12.0	0.516	—	58	36				750	10600	1100	15600	100000	1.42×10^6	1.55	22.0	245	213	430	6110	540	7670	85.0	1220	355	781	375	825	110.0	1560	130.0
青皮白樺	<i>Populus cathayana</i> Rehd.	5	7	23	生材	104.0	0.328	0.358	67	42	8.4	3.2	7.1	260	3690	375	5320	44000	0.63×10^6	0.71	10.1	144	125	133	1890	177	2510	18.8	267	123	271	127	279	45.0	638	55.5	788
						氣乾	12.0	0.342	—	38	24				390	5540	610	8660	58000	0.82×10^6	0.96	15.1	160	139	240	3410	320	4540	31.0	470	142	312	148	310	50.0	710	76.0

註：力學試驗標本切面 2x2 公分，彎曲試驗跨間 24 公分。

航空研究院木竹組

第十表

四川理番六種木材在15%含水量時之飛機設計應用值表

樹種	學名	每二公分生長輪數	比重: 依據 濕乾重量及 爐體乾積		重		收 縮 率 (由生材至爐乾)			靜 曲 試 驗				順 紋 壓 縮 試 驗				橫 紋 壓 縮 試 驗;		順 紋 剪 力 試 驗;				硬 度 試 驗;									
			平均值	最低容 許值	量	量	體積	徑向	弦向	比 例 限 度 應 力	破 壞 係 數	彈 性 係 數	最 大 荷 重 工 作	比 例 限 度 應 力	最 大 抗 壓 強 度	比 例 限 度 應 力	最 大 抗 剪 強 度	徑 向	弦 向	徑 面	弦 面												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20														
		輪			公斤/ 立方 公尺	磅/ 立方呎	%	%	%	公斤/ 平方 公分	磅/ 平方吋	公斤/ 平方 公分	磅/ 平方吋	公斤/ 平方 公分	磅/ 平方吋	公分/ 立方 公分	吋磅/ 立方吋	公斤/ 平方 公分	磅/ 平方吋	公斤/ 平方 公分	磅/ 平方吋	公斤/ 平方 公分	磅/ 平方吋	公斤/ 平方 公分	磅/ 平方吋	公斤/ 平方 公分	磅/ 平方吋	公斤	磅	公斤	磅		
針 葉 材																																	
雲 杉 (字 杉)	<i>Picea asperata</i> Mast.	17	0.414	0.410	45	28	11.1	4.4	8.3	590	8400	860	12200	73000	1.04×10 ⁶	1.04	14.8	340	4800	430	6100	56	800	49	700	52	740	168	376	188	410		
麥 吊 杉 (糖 麥 吊)	<i>Picea brachytyla</i> Pritz. var. <i>complanata</i> Cheng	18	0.450	0.400	48	30	11.6	4.0	5.5	650	9200	920	13100	78000	1.10×10 ⁶	1.20	17.0	340	4800	430	6100	78	1110	63	890	66	940	241	530	246	540		
麥 吊 杉 (油 麥 吊)	<i>Picea brachytyla</i> Pritz. var. <i>complanata</i> Cheng	22	0.441	0.430	48	30	9.3	4.5	7.7	590	8400	900	12800	78000	1.10×10 ⁶	1.17	16.6	340	4800	420	6000	79	1120	58	820	61	870	218	480	250	530		
法 氏 冷 杉	<i>Abies Faxoniana</i> Rehd. et Wils.	12	0.394	0.400	43	27	10.0	4.7	6.9	520	7400	760	10800	66000	0.94×10 ⁶	1.06	15.0	310	4400	390	5500	58.5	830	50	710	58	820	182	400	191	420		
鐵 杉	<i>Tsuga chinensis</i> Pritz.	15	0.491	0.450	54	34	7.1	3.2	5.7	720	10200	1010	14300	78000	1.10×10 ⁶	1.41	20.0	390	5500	520	7400	99	1410	65	920	73	1040	291	640	300	660		
闊 葉 材																																	
光 皮 樺 (牛 皮 樺)	<i>Betula luminifera</i> Winkl.	9	0.550	0.560	58	36	12.7	6.0	7.8	700	9900	1070	15200	92000	1.30×10 ⁶	1.41	20.0	390	5500	570	7900	113	1600	77	1090	92	1310	330	730	350	770		
青 皮 白 楊	<i>Populus cathayana</i> Rehd.	7	0.358	0.330	38	24	8.4	3.2	7.1	370	5300	590	8400	52000	0.74×10 ⁶	0.88	12.5	230	3300	390	5500	44	620	37	520	54	770	136	300	218	480		

五、結 論

依本院之研究，發現四川理番所產各種木材中，雲杉(字杉)，麥吊杉，光皮樺，冷杉及青皮白楊，在飛機製造上，各有其應用之優點及缺點，茲分述之如下：

雲杉土名「字杉」，由臘葉標本，鑑定其學名為 *Picea asperata* Masters⁽¹⁾ 與本院前次試驗之四川雲杉，土名「白果泡」者為同種，惟產地不同，材質亦稍有差異。⁽²⁾字杉之強度值，較前次試驗之「白果泡」優良，甚適於飛機製造之用。

麥吊杉亦為雲杉屬中之一種，當地有「油麥吊杉」與「糠麥吊杉」之分，此次兩者曾分別採集，由臘葉標本，鑑定為同種，學名為 *Picea brachytyla* Pritzelsk. *complanata* Cheng。兩者之力學性質相若，比重較字杉為大，惟各強度值，亦高於字杉。麥吊杉之樹幹較字杉粗大，在川康一帶，產量亦較豐，故為主要之國產航空木材。

鐵杉 (*Tsuga chinensis* Pritzelsk.) 材質較雲杉為重，惟強度甚優，僅稍乏韌性，且樹幹枝節稍多，施工性質亦不及雲杉。此種樹木，在我國西南分佈甚廣，於雲杉缺乏時，可採其材質佳者代用。

法氏冷杉土名「泡杉」，學名 *Abies Faxoniana* Rehder。質甚輕，強度次於雲杉，材料缺乏時，亦可選質佳者作雲杉之代用材。惟節稍多，是其缺點。

光皮樺在理番之土名為「牛皮樺」，學名 *Betula luminifera* Winkler，材質重而甚堅硬，強度優良，堪與美國樺木 (*Betula lenta* 與 *B. lutea*) 相比，可以製層板，螺旋槳等，為國產闊葉樹中之重要航空用材。

青皮白楊 (*Populus cathayana* Rehder)，質甚輕，重量較雲杉稍小，力學性質亦低，可用為層板之心層，及飛機上受力較小之部份。

(1) 此次在理番所採臘葉標本之一部份，承鄭萬鈞博士鑑定，謹此致謝。

(2) 參閱本院研究報告第四號。

附 註

本報告第二第三及第四表中之「試驗標本條數」一項，係指已試驗之試條總數，而非各種試體之總數。蓋每一試條，均用以作數種試驗，其分配如下：靜曲、抗凹硬度，順紋壓縮，橫紋壓縮，徑向及弦向剪力試驗標本，各佔試條總數之半，韌性試驗標本，佔試條總數之四分之一，比重及含水量試驗標本，則由每一試條取下一塊。故試驗總次數，應為各種試驗次數之和。

勘 誤 表

頁 行 誤 正

15 25 P.b. P.6.

21 10 Vor. Var.