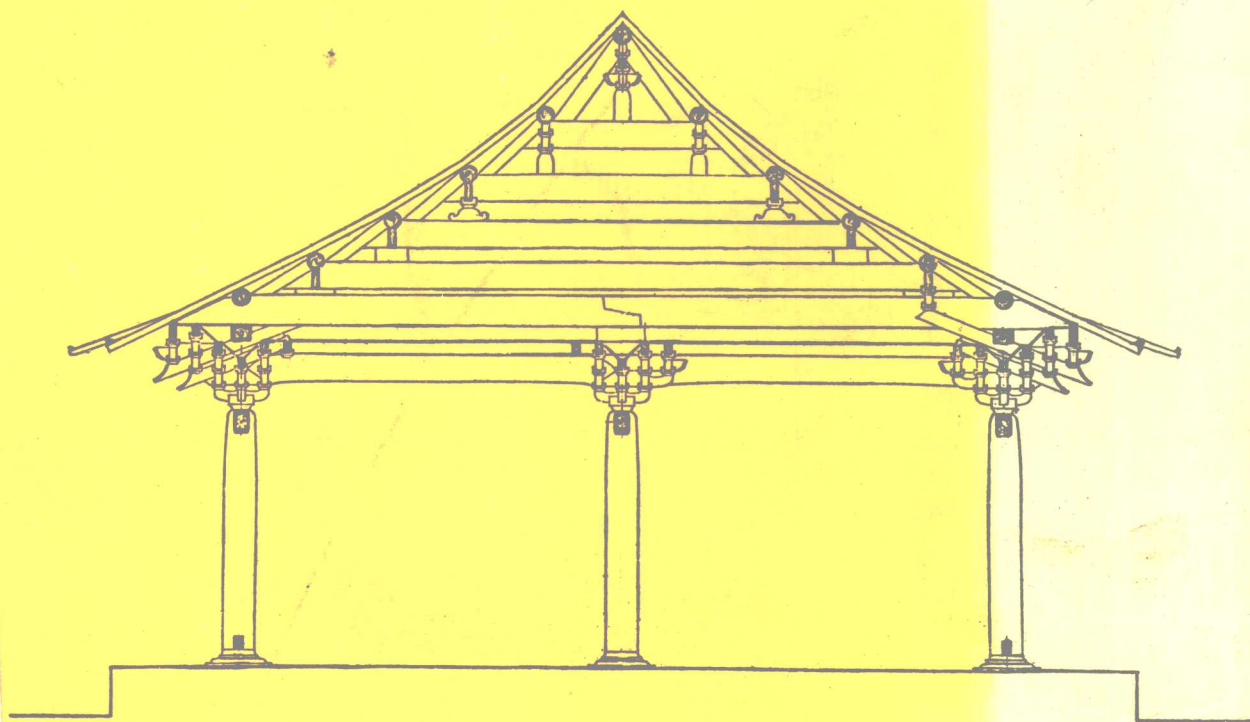


木材的結構與設計



明文書局

木材的結構與設計

哈 重 福 編

明 文 書 局 印 行

有 所 權 版
究 必 印 翻

174

木材的結構與設計

平裝一冊定價新台幣二〇〇元

編 者：哈 重 福

發 行 所：明 文 書 局

發 行 人：李 潤 海

出 版 者：明 文 書 局

地址：台北市重慶南路一段49號7樓

電話：三六一九一〇一・三三一八四四七

郵撥：〇一四三六七八四號

行政院新聞局局版台字一九九三號
中華民國七十六年七月初版

Ming Wen Book Co., Ltd.

7F No.49, 1 Sec., Chungking South Road,
Taipei, Taiwan, R.O.C.

基本符號

1 內外力和變形：

M ——彎矩；

N ——軸向力；

Q ——剪力；

T ——聯結物每一剪面的剪力；

f ——受彎構件的撓度；

g ——恒載、自重；

p ——活荷載；

q ——單位長度的均布荷載；

P ——集中荷載

2 計算指標：

E ——木材順紋彈性模量；

G ——木材的剪切模量；

σ ——正應力；

$[\sigma]$ ——材料的容許應力；

$[\sigma_a]$ ——木材順紋受壓或承壓容許應力；

$[\sigma_{a.h}]$ ——木材橫紋承壓容許應力；

$[\sigma_{a.\alpha}]$ ——木材斜紋承壓容許應力；

$[\sigma_t]$ ——木材順紋受拉容許應力；

$[\sigma_w]$ ——木材受彎容許應力；

$[\sigma_{a.k.}]$ ——銷槽承壓容許應力；

τ ——剪應力；

$[\tau]$ ——木材順紋受剪容許應力；

$[T]$ ——聯結每一剪面的容許承載力；

$[f]$ ——受彎構件的容許撓度值；

R ——材料的強度極限，支反力。

3 幾何特徵：

A ——截面面積；

A_m ——截面毛面積；

A_f ——截面淨面積；

$A_{y.t.}$ ——計算所需截面面積；

A_0 —— 壓杆驗算穩定時截面的計算面積；
 b —— 截面寬度；
 h —— 截面高度、屋架的矢高；
 d —— 直徑；
 W —— 截面抵抗矩；
 I —— 截面慣性矩；
 S —— 中和軸以上截面面積對中和軸的面積矩；
 l —— 構件長度、梁或屋架的跨度；
 l_0 —— 壓杆的計算長度；
 r —— 截面回轉半徑；
 λ —— 構件長細比；
 e —— 偏心矩；
 t —— 鋼板厚度。

4 計算係數

φ —— 縱向彎曲係數；
 γ —— 容重；
 K_j —— 齒聯結沿剪面長度剪應力分布不均勻的降低係數；
 K_b —— 螺栓或釘聯結承載力的計算係數；
 K_a —— 螺栓聯結中考慮木材斜紋承壓的換算係數。

目 錄

緒 言	1
第一章 結構用木材	5
1—1 我國結構用木材的種類和規格	5
1—1—1 結構用木材的種類	5
1—1—2 結構用木材的規格	5
1—2 木材構造	6
1—2—1 研究木材性能的主要切面和方向	6
1—2—2 粗視構造	6
1—2—3 顯微構造	7
1—3 木材缺陷	8
1—4 木材的物理性能	8
1—4—1 含水率	8
1—4—2 木材的濕脹、乾縮、開裂和翹曲	10
1—4—3 容重	11
1—5 木材的力學性能	11
1—5—1 受拉工作	11
1—5—2 順紋受壓工作	12
1—5—3 受彎工作	13
1—5—4 承壓工作	14
1—5—5 受剪工作	16
1—5—6 長期強度	17
1—5—7 含水率對木材強度的影響	19
1—5—8 溫度對木材強度的影響	19
1—6 承重結構構件對木材質量和含水率的要求	19
1—6—1 選材要求	19
1—6—2 結構用材對含水率的要求	20
1—7 木結構的防腐、防蟲、防火和防化學腐蝕	21
1—7—1 木材的腐朽	21
1—7—2 蟲害	21
1—7—3 防腐、防蟲藥劑及處理方法	22

1—7—4 木結構的防火·····	24
1—7—5 木結構的防化學腐蝕·····	25
第二章 木結構基本構件的計算·····	26
2—1 木結構的計算方法·····	26
2—1—1 結構的極限狀態·····	26
2—1—2 承載能力的驗算和木材的容許應力·····	26
2—1—3 變形驗算·····	29
2—2 軸心受拉構件的計算·····	29
2—3 軸心受壓構件的計算·····	30
2—4 受彎構件的計算·····	33
2—5 偏心受壓構件的計算·····	37
2—6 偏心受拉構件的計算·····	38
第三章 木結構構件的聯結·····	39
3—1 聯結的種類和對它們的基本要求·····	39
3—1—1 聯結的種類·····	39
3—1—2 聯結的基本要求·····	39
3—2 齒聯結·····	40
3—2—1 單齒聯結的構造及計算·····	40
3—2—2 雙齒聯結的構造及計算·····	44
3—3 銷聯結·····	46
3—3—1 概述·····	46
3—3—2 銷聯結的計算·····	47
3—3—3 螺栓聯結和釘聯結的設計要求·····	55
3—4 鋼鍵聯結·····	59
3—4—1 裂環聯結·····	59
3—4—2 剪盤聯結·····	60
3—4—3 齒板聯結·····	60
3—5 圓鋼拉杆和緊緊螺栓·····	61
3—5—1 圓鋼拉杆·····	61
3—5—2 緊緊螺栓·····	62
第四章 木屋蓋的組成和屋面、吊頂的設計·····	63
4—1 木屋蓋的組成和各部分的作用·····	63
4—2 屋面構造·····	63

4—3	屋面荷載	65
4—4	屋面承重構件的設計計算	65
4—4—1	掛瓦條、屋面板、瓦桶和椽條	65
4—4—2	檁條	66
4—5	吊頂構造及其構件的計算要點	68
4—6	木屋蓋防腐的構造措施	69
第五章	屋架	78
5—1	屋架形式及結構布置	78
5—1—1	屋架形式及其選擇	78
5—1—2	屋蓋承重結構的布置	79
5—2	木屋架設計的基本原則	83
5—2—1	屋架的高跨比 (h/l)	83
5—2—2	木屋架的變形和預先起拱	83
5—2—3	屋架節間的劃分	84
5—2—4	屋架自重的估算	84
5—2—5	荷載及其組合	84
5—2—6	內力計算	84
5—2—7	壓杆的計算長度	84
5—2—8	上弦的計算	85
5—2—9	杆件的最小截面	85
5—2—10	節點設計	85
5—2—11	採用半乾材、濕材時應採取的措施及其容許應力的取值	86
5—3	木屋架	86
5—3—1	概述	86
5—3—2	三角形豪式木屋架	86
5—3—3	梯形豪式木屋架	92
5—4	鋼木屋架	93
5—4—1	採用鋼木屋架的意義	93
5—4—2	鋼木屋架設計要點	93
5—4—3	下弦的設計	94
5—4—4	下弦節點設計	94
5—4—5	偏心抵承方木上弦的構造和計算	97
5—4—6	原木三角形芬克式鋼木屋架的特點	99

5—4—7 上弦偏心抵承的梯形和多邊形鋼木屋架·····	99
5—5 天窗·····	103
5—6 木屋架吊裝時的驗算和加固·····	105
第六章 木屋蓋的空間穩定·····	107
6—1 保證木屋蓋空間穩定的基本要求·····	107
6—2 支撐的種類及布置原則·····	108
6—2—1 木屋蓋支撐的種類·····	108
6—2—2 木屋蓋支撐的布置原則·····	109
6—2—3 支撐的構造·····	110
6—3 地震區加強空間穩定性的措施·····	111
6—3—1 屋架設計的原則·····	111
6—3—2 支撐布置的原則·····	111
6—3—3 構造措施·····	112
6—4 颱風地區及風口地段加強木屋蓋空間穩定的措施·····	113
第七章 木結構的維護和加固·····	114
第八章 膠合木結構·····	116
8—1 概述·····	116
8—1—1 膠合木結構的優點·····	116
8—1—2 膠合木結構的分類·····	116
8—2 木結構用膠·····	117
8—2—1 簡單膠結原理·····	117
8—2—2 結構用膠的要求·····	118
8—2—3 結構用膠·····	118
8—3 層板膠合結構·····	119
8—3—1 層板膠合構件的接頭·····	119
8—3—2 等高層板膠合直梁·····	120
8—3—3 層板膠合木屋架·····	123
8—3—4 層板膠合框架、拱和網架·····	125
8—4 膠合板結構·····	125
8—4—1 膠合板結構的優點·····	125
8—4—2 膠合板結構的分類·····	125
8—5 膠合板梁的設計·····	126
8—5—1 梁承彎承載能力的確定·····	126

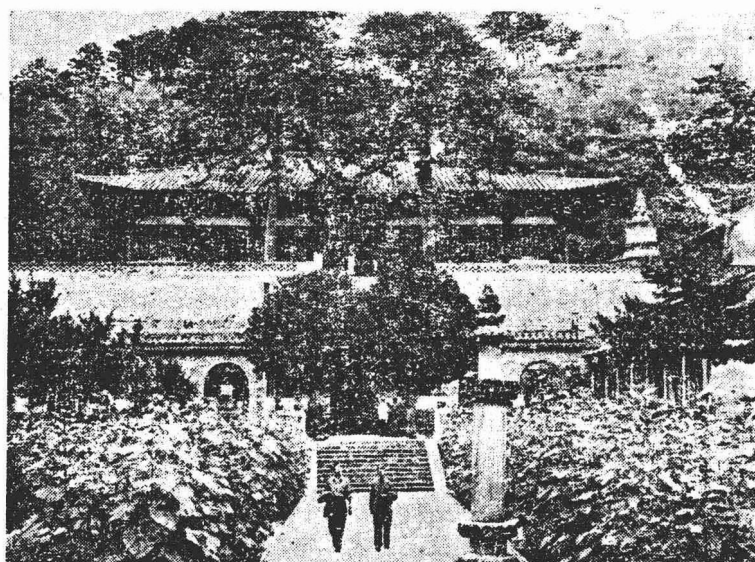
8—5—2	腹板剪切應力的驗算	126
8—5—3	腹板與翼緣膠合強度的驗算	127
8—5—4	滾動剪切應力的驗算	127
8—5—5	梁的腹板局部穩定和平面外總穩定	127
8—5—6	膠合板梁的撓度	128
8—6	層板膠合構件的製造	128
8—6—1	膠合木結構對木材含水率的要求	129
8—6—2	層板厚度	129
8—6—3	層板的加工和放置	129
8—6—4	層板膠合梁的接頭形式和布置	129
8—6—5	塗膠和加壓	129
設計例題		130
一、三角形原木豪式屋架設計		130
二、三角形豪式鋼木屋架設計		139
附錄		149
1.	承重結構用板、方材和原木的選材標準	149
2.	常用木材的計算容重表	150
3.	板方材規格表	151
4.	原木一面切割的面積、抵抗矩、慣性矩及切割面寬度的計算圖表	152
5.	圓鋼拉杆、拉力螺栓容許拉力及鋼墊板尺寸表	152
6.	圓釘（公製）規格表	153
7.	扒釘（馬釘）規格及重量表	153

緒 言

木材能有效地抗壓、抗彎和抗拉，特別是抗壓和抗彎時有很好的塑性。由於木材的容重小，因而具有相當高的強度—容重比，所以木結構有自重輕的優點。乾燥的木材對侵蝕性介質具有較高的化學穩定性。因為木材有結構材料必具的優良性能，並且加工簡便，能就地取材，所以在世界各國應用於建築結構歷數千年而不衰。

木材的彈性模量低，載荷時有明顯的時間效應，其長期強度遠低於短期強度。木節、斜紋和裂縫等天然缺陷對木材的力學性能有較大的影響。木材砍伐後在乾燥過程中體積收縮而易於開裂、翹曲，若長期處於潮濕狀態將遭致腐朽，在熱帶、亞熱帶地區白蟻、蠹蟲、家天牛等對木結構的危害頗大。木材本身易燃，若長期存高溫作用下會變質而強度降低。在設計和施工中應採取有效的措施克服木材的這些缺點。

我國歷代沿用的木構建築別具一格。從保存至今已達千年之久的川西佛光寺正殿（圖 0—1）可以看到，遠溯至唐代已形成完整的體系。高達66米蔚然壯觀的山西應縣木塔（圖 0—2），集中地反映了我國古代木構建築的高超水平。



（圖 0—1 山西佛光寺正殿，建於公元 857 年）

宋代著名的建築家李明仲在所著的《營造法式》一書中，從建築、結構到施工全面而系統地總結了我國友人在木構建築方面的寶貴經驗。

我國的木構建築是以梁柱組成的構架承重（圖 0—3），磚牆僅起填充作用，跨度有限且需用木料甚多。所以，隨著西方科學技術的傳入，磚木房屋逐漸採用承重磚牆支承木桁架的結構體系。



(圖 0—2 山西應縣木塔，建於公元 1056 年)

木結構非但用於民用和公共建築，並且大量地應用於中小型工業廠房。雖然我國森林資源比較缺乏，但木材作為一種地方材料，取材較易，故在不少地區，特別是林區和林區附近的地方，木結構在建築結構中占相當的比重。由於我國木材工業和建築業的技術水平不高，主要還是採用方木或原木結構。經過二十多年的工程實踐，在這方面已經基本形成一整套符合我國具情況的體系。

我國自己的《木結構設計規範》(GBJ—73)就是在這個基礎上製訂出來的。他對提高我國木結構的質量起了促進的作用。

針對符合下弦材質標準的木材不易獲得和消除開裂對下弦的危害等問題，近年來鋼木桁架在我國有很大的發展。根據各地區的特點，採用了各種比較經濟合理的形式(圖 0—4 和 0—5)。提高了木結構安全可靠的程度，擴大了木結構的應用範圍。

膠合木結構使木構件不再受木材天然尺寸的限制，而製成各種合理的截面形狀和結構形式，並且在相當大的程度上減小天然缺陷的影響。近年來在一些技術發達的國家膠合木結構發展較快，特別是大跨度結構(圖 0—6)充分發揮了木結構自重輕的優點。

木結構能有效地用於宿舍、學校、辦公樓、倉庫、食堂、影劇院、市場、體育館及展覽館等民用和公共建築，以及溫濕度正常的工業廠房。此外，木結構還用於塔架、桅桿、棧橋、橋樑及一些輔助性或臨時性的建築中。

為了保證耐久性，在下述情況下不應採用木結構：空氣的相對濕度大於 70 % 的房屋；

大木作制度圖樣

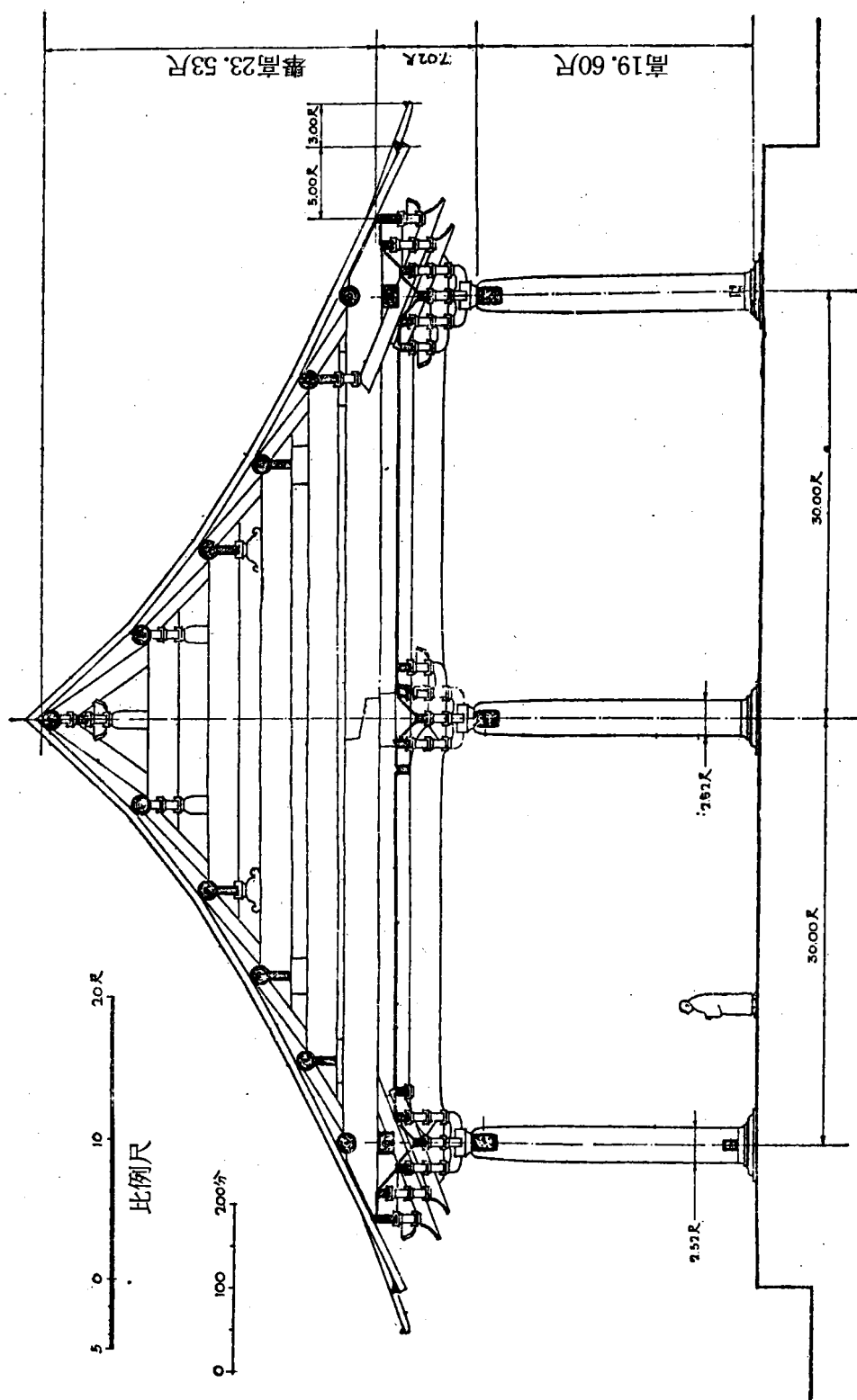
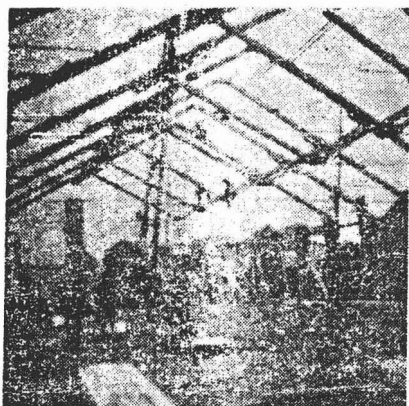
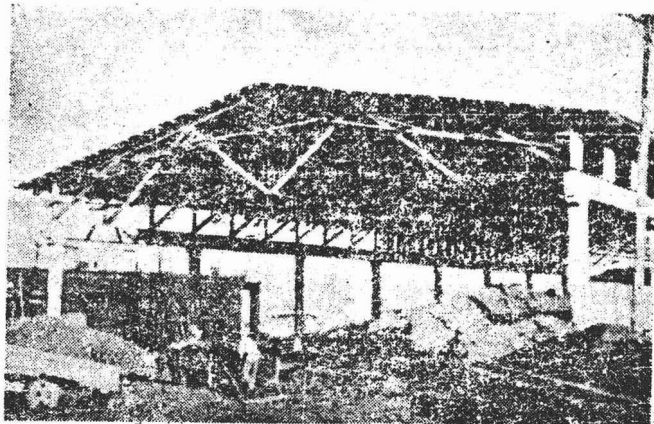


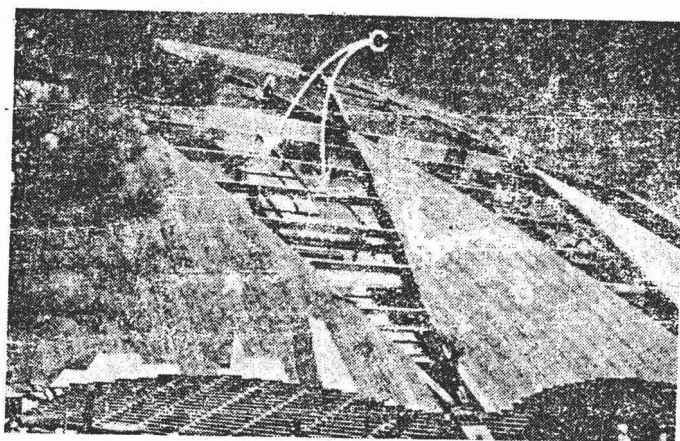
圖0-3 木構築的構造 (摘自《宋營造法式圖註》)



(圖 0-4 成都市新型建材廠鋼筋車間
18m跨度三角形鋼木桁架)



(圖 0-5 黑河發電廠乾煤棚
22.5m梯形鋼木桁架)



(圖 0-6 直徑為 153m 的膠合圓頂)
(A、B 一為加強圓頂在施工時的穩定性而提前安裝的屋面木基層；C 一檁條)

有直接火源和生產或儲存易燃品的車間或倉庫；木構件表面溫度高達 50°C 的高溫車間。

我國當前，林業方面，速生樹種的培植增長，將逐漸解決我國森林資源不足的問題。隨着木材工業和化學工業的發展，經過乾燥的板材和耐水膠的生產將要增長。在建築業本身逐步工業化的條件下，膠合木結構必將得到應用和推廣。預計在不遠的將來，木結構將會進入一個新的發展階段。

第一章 結構用木材

1-1 我國結構用木材的種類和規格

1-1-1 結構用木材的種類

木材分爲針葉樹材和闊葉樹材兩類。針葉樹材樹幹長直、紋理平順、材質均勻、木質較軟而易加工，一般乾燥較易而少開裂、變形，耐腐性又較強，適於作結構用材。

我國過去在建築中常用的皆爲優質針葉樹材，如紅松、杉木、雲杉、冷杉等。這些樹種受生長條件的限制、資源集中、蘊藏量較小，且爲各類木構建設各方面所亟需的原材料。因此，目前國家調撥給建築部門的木材中，這些樹種所占的比例很小。

我國森林的覆蓋率僅爲全國面積的12%，但樹種很多。根據這一特點，若要解決建築結構用材的供應問題，必須擴大樹種的利用。因此，近年來我國在以下三個方面作了一些努力：第一是對一些蘊藏量較大但有某些缺點的針葉樹材（例如易開裂的雲南松、東北落葉松^①和易受白蟻蛀害和腐朽的馬尾松）開展了研究，並已獲得成果，而提出了有效的防裂、防腐及防蟲措施，使其能可靠地應用於各種跨度的房屋；第二是根據科學試驗結果和各地使用的經驗，建議擴大利用一些闊葉樹材，並列入了《木結構設計規範》的附錄，便於各地能就地取材，解決小跨度房屋的結構用材；第三是對一些規劃後種植的速生闊葉樹材（例如木麻黃、桉樹和楊木）進行較爲系統的研究。其中對木麻黃防蟲和防腐的研究已獲得成果，並擴大了應用範圍。解決我國森林資源不足的根本途徑就在於擴大種植速生樹種。目前我國大面積種植的是速生的楊木，估計在不久的將來，楊木在木材產量中所占的比例將越來越大，所以也是當前研究的重點。

1-1-2 結構用木材的規格

結構用木材分爲原木（圓木）、方木及板材三種。

樹幹在生長過程中其直徑由根部到梢部逐漸減小，形成平緩的圓錐體。原木徑級以梢部爲依據，稱爲梢徑。結構用原木的梢徑一般爲8~20厘米，其長度一般爲4~8米。原木直徑沿長度的變化率稱爲天然傾斜率，現行設計規範規定在計算時取0.9%，即在每米長度上直徑改變0.9厘米。

當原木徑級在20厘米以上時，一般皆鋸成板、方材。凡寬度爲厚度的三倍以上者爲板材，不足三倍者爲方材。板材常用的厚度爲1.5~8厘米；方材常用的尺寸爲6~24厘米。針葉材的長度爲1~8米，闊葉材爲1~6米。板方材的具體尺寸可查附錄3。

① 東北落葉松包括興安落葉松和長白落葉松。

1-2 木材構造

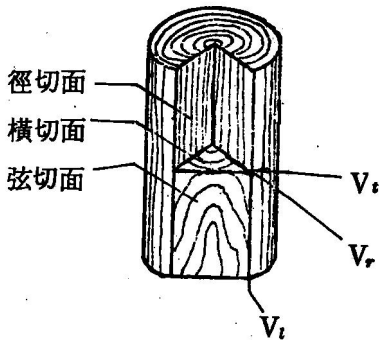
1-2-1 研究木材性能的主要切面和方向

木材為各向異性的材料。順紋方向與橫紋方向的性能有根本的差別；且橫紋徑向與橫紋切向之間也有差別。在上述三個主要方向性能的差別決定於木材的構造。因此必須根據橫切面（即橫截面）、徑切面和弦切面的特徵剖析木材的構造。

爲了搞清木材的結構，除了剖析肉眼或放大鏡下可見的粗視構造（或稱宏觀構結）外，尚需研究在顯微鏡下才能看到的顯微構造（或稱微觀構造）。

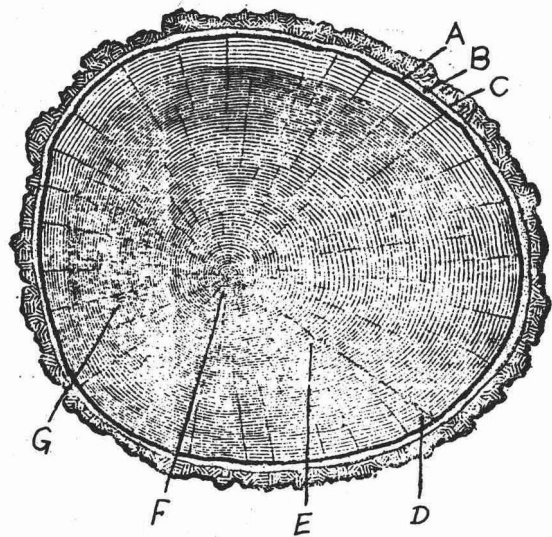
1-2-2 粗視構造

樹幹的主要部分爲樹皮、木質部和髓心。在樹皮和木質部中間爲肉眼看不見的形成層。它是生長木材的母細胞組織。



（圖 1—1 木材的主要切面和方向）

〔 V_l —順紋方向； V_r —橫紋切向； V_t —橫紋徑向〕



（圖 1—2 樹幹的橫切面）

〔A—形成層；B—內樹皮；C—外樹皮；D—邊材；E—心材；F—髓心；G—木射線〕

1-2-2-1 心材和邊材 某些樹種木質部靠近樹皮部分材色較淺，且在樹木伐倒時，含水率較大，稱邊材；在髓心周圍材色較深、含水率較小的部分，稱心材。心材係邊材老化而成，二者的強度幾無差別，但心材的耐腐性較強。有些樹種的木質部材色一致，但中心部分含水率較小，稱隱心材樹種，如雲杉、冷杉。還有些樹種木質部的材色和含水率都一致，稱邊材樹種，如樺木、白楊。

1-2-2-2 年輪、早材和晚材 木材在生長季節初期形成的，色淺而質鬆，稱早材（或春材）；後期形成的，色深而質密，稱晚材（或夏材）。每一生長季節在橫截面上增加一個深淺相間的圓環，稱生長輪。在熱帶、亞熱帶樹木的生長期與雨季和旱季相適應，一年之內能形成數輪；而在溫帶、寒帶的生長期則與一年相符，一年形成一輪，通稱年輪。

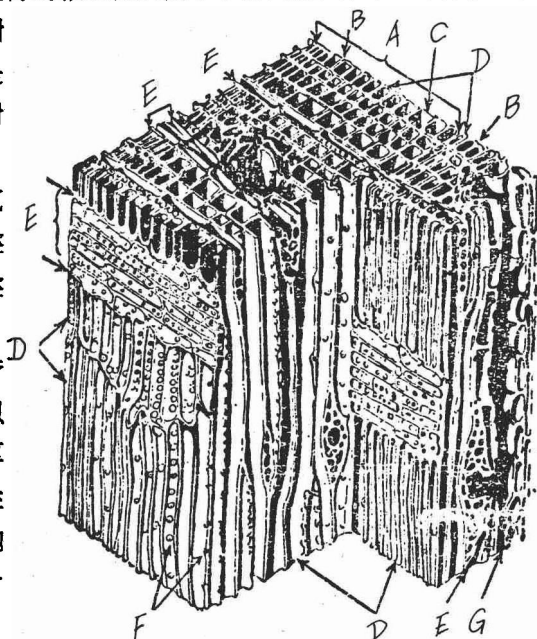
1-2-2-3 髓心 髓心位於樹幹中央，爲第一年的初生木質，常呈褐色或淡褐色，由薄壁細胞組成，質軟而強度低、易開裂。

1-2-2-4 木射線 從髓心向樹皮或斷續穿過數個年輪呈輻射狀的條紋稱木射線。木射線在樹木生長時起橫向輸送和貯藏養分的作用，是由薄壁細胞組成，質軟強度低；木材乾燥時，常沿木射線開裂。

1-2-3 顯微構造

1-2-3-1 木材的細胞組成 針葉樹材的細胞組成簡單、排列規則，因此材質均勻。主要分子為縱向管胞、木射線、薄壁組織及樹脂道等。縱向管胞占總體積的90%以上，是決定針葉樹材物理力學性能的主要因素。木射線約占7%。管胞的形狀細長，兩端呈尖削形，平均長度為3~5毫米，其長為寬的75~200倍。早材管胞細胞壁薄而腔大呈正方形；晚材細胞壁比早材厚約一倍而腔小呈矩形（圖1-3）。

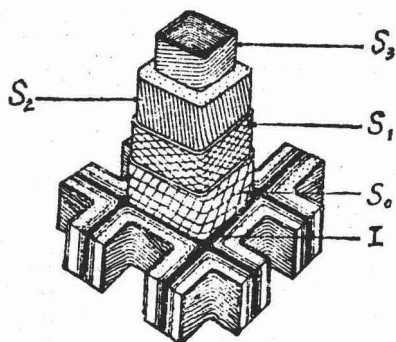
闊葉樹材的組成分子為木纖維、導管、管胞、木射線和薄壁細胞等。其中以木纖維為主，占總體積的50%，是一種厚壁細胞。它是決定闊葉樹材物理力學性質的主要因素。導管是縱向一連串細胞組成的管狀構結，約占總體積的20%，木射線約占17%。



1-2-3-2 木材細胞壁的紋孔 木材（圖1-3 針葉樹材的顯微構造）

細胞壁上有不少紋孔。這是縱向細胞之間，及[A一年輪；B—晚材；C—早材；D—假導管；其與橫向的木射線細胞之間水分和養分的通道 E—木射線；F—紋孔；C—縱向樹脂道]；也是木材乾燥、防腐藥劑處理及膠合時，水分、藥劑及膠料滲透的通道。

1-2-3-3 木材細胞的成分 木材細胞的主要成分為纖維素、木素和半纖維素。其中以纖維素為主，在針葉樹材中約含53%。纖維素的化學性質很穩定，不溶於水和有機溶劑，弱鹼對纖維素幾乎不起作用。這就是木材本身化學性質穩定的原因。



（圖1-4 木材細胞壁的構結）

[S₁—次生壁外層；S₂—次生壁中層；S₃—次生壁內層；S₀—初生壁；I—細胞間層]

針葉樹材的木素含量約為25%，半纖維素含量約為22%。它們的化學穩定性較低。

闊葉樹材的纖維素和木素含量較少，而半纖維素較多。

木材細胞基本元素的平均含量幾乎與樹種無關，其中碳約49.5%，氫約6.3%，氧約44.1%，氮約0.1%。

1-2-3-4 木材細胞壁的構結 纖維素分子能聚集成束，形成細胞壁的骨架，而木素和半纖維素一起構成結殼物質，包圍在纖維素外邊。