

木结构与木建筑物

同济大学桥梁教研组

X933.4/1

科学技术出版社

木结构与木建筑物

[苏联] A. П. 巴甫洛夫 著

上海科学技术出版社

木結構与木建筑物

〔苏联〕A. II. 巴甫洛夫 著
同济大学桥隧教研組譯

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书系根据苏联 A. II. 巴甫洛夫教授所著“木结构与木建筑物”一书译出。第一部分叙述木材的物理力学性能, 木结构简单构件、接合、组合构件的计算原理; 第二部分介绍铁路、公路木桥, 流水槽和涵管的构造与计算; 第三部分介绍房屋木结构和特殊用途的木结构。本书主要按容许应力为依据, 与我国目前桥涵准则中所采用的计算方法完全一致, 并在第二章中也按极限状态作了比较性的叙述。全书在计算部分附有必要的数字例题, 对于读者有很大帮助。

本书可供从事桥梁工作的工程师、技术员以及高等学校桥隧专业和铁路、公路专业的学生作为参考。

木 结 构 与 木 建 筑 物

ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И
СООРУЖЕНИЯ

原 著 者 [苏联] A. II. 巴 甫 洛 夫

原 出 版 者 Гостехбумиздат • 1955 年版

译 者 同 济 大 学 桥 隧 教 研 组

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业许可出036号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

上海洪兴印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22 插页 1 字数 520,000

1961年4月第1版 1961年4月第1次印刷

印数 1—3,000

统一书号: 15119·1560

定 价: (十四) 3.10 元

目 录

第一章 木材——工程建筑物的材料

§ 1. 組織和化学成分.....	1	§ 5. 在工程建筑物中木材的計算强度.....	13
§ 2. 木材的物理性质.....	1	§ 6. 木材品类.....	19
§ 3. 各种因素对木材力学性能的影响.....	4	§ 7. 木材腐烂和防腐措施.....	21
§ 4. 依据小試件的試驗室試驗資料的木材力学性能.....	6	§ 8. 木材燃燒和防火措施.....	24

第二章 木結構計算的特点

§ 9. 計算方法的一般概念.....	27	§ 13. 受橫向弯曲作用的构件.....	33
§ 10. 各种計算方法的强度安全系数.....	29	§ 14. 中心受压的实体构件.....	39
§ 11. 木結構的計算方法.....	30	§ 15. 压-弯构件	43
§ 12. 受拉构件.....	32		

第三章 木結構构件接合

§ 16. 概述.....	47	§ 19. 鏈接合.....	59
§ 17. 在木結構的接合中木材的承压与受剪作用.....	47	§ 20. 銷接合.....	67
§ 18. 接榫.....	52	§ 21. 胶接合.....	75
		§ 22. 金属鑄件和扣件.....	80

第四章 組合木杆件的計算

§ 23. 組合梁.....	84	§ 25. 組合压-弯杆件	93
§ 24. 中心受压的組合杆件.....	87		

第五章 桥梁概述

§ 26. 概述.....	94	§ 29. 荷载	104
§ 27. 木桥形式.....	96	§ 30. 地基計算的資料	116
§ 28. 淨空.....	103		

第六章 铁路梁桥及撑架桥

§ 31. 軌距 1524 毫米的铁路梁桥.....	120	§ 34. 軌距 750 毫米的铁路撑架桥	146
§ 32. 軌距 1524 毫米的铁路撑架桥.....	130	§ 35. 梁束	149
§ 33. 軌距 750 毫米的铁路梁桥	136	§ 36. 木籠墩台	154

第七章 小跨度铁路桥梁的设计与计算

§ 37. 编制比较方案的图式	161	§ 39. 铁路梁桥和撑架桥的计算实例	180
§ 38. 铁路梁桥的计算	170		

第八章 公路梁桥和撑架桥

§ 40. 公路梁桥	207	§ 43. 小跨度公路桥梁比较性的指标和方案编制	238
§ 41. 公路撑架桥	215	§ 44. 公路桥梁计算实例	241
§ 42. 公路梁桥和撑架桥的计算	224		

第九章 大跨度桥梁

§ 45. 概述	258	§ 49. 大跨度桥梁墩台和破冰棱	280
§ 46. 钢木桁架桥孔结构	260	§ 50. 桁架桥孔结构的计算	284
§ 47. 钉板梁桥孔结构	273	§ 51. 编制方案和计算实例	290
§ 48. 次梁-斜杆桁架桥孔结构	276		

第十章 流水槽和涵管

§ 52. 铁路和公路流水槽	302	§ 54. 设计和计算	308
§ 53. 涵管	305		

第十一章 房屋木结构

§ 55. 概述	315	§ 58. 设计和计算	340
§ 56. 杆材结构	322	§ 59. 计算实例	351
§ 57. 钉合板条结构	334		

第十二章 特殊用途的结构和建筑物

§ 60. 栈桥	362	§ 62. 斗仓和塔架	369
§ 61. 支架	364		

附录

参考文献

第一章 木材——工程建筑物的材料

§ 1. 組織和化学成分

木材有特別显著的各向异性的組織,因此它的物理性質和力学性質在各个不同的方向是不一样的。在显微镜下或者甚至于用肉眼来观察木材試件,可以看出:木材是植物細胞或細胞組織的組合。木材的細胞無論在橫截面中或是在长度中有不同的尺寸,它决定于細胞在木材中的功用和树木的品种。具有封閉管狀的細胞在橫截面中的大小以百分之一毫米来計量,在大多数的情况下不到0.1毫米。在长度中,細胞通过側壁中的孔眼相連接,长达几毫米到3~5米。細胞的主要質量沿着树干分布在长度方面。細胞与細胞間由細胞間質所粘合。

詳細的研究指出,纖維素与木質素是木材的基本組成部分。这些物質在木材組織中的作用是不一样的。具有高强度的,有某些称作半纖維素的物質伴随着的纖維素是木材构成的基本骨干。木材的木質素和其余的組成部分是填嵌的物質,并且对木材的强度影响很小。因此細长或厚壁的細胞具有最大的强度,因为在此纖維素的百分率含量最高。

主要由木質素組成的細胞間質具有十分小的力学强度,可以举木材順木紋容易劈裂來說明这一点。

木材的組織簡單地可以想作由細胞間質粘合着的管束。这样的概念使得能够容易地說明木材某些物理性質和力学性質。

§ 2. 木材的物理性質

湿度是木材在建筑事业方面特別重要的一个物理性質,因为处在木材中的水分大大地影响到木材的物理和力学性質。

在生长的树木中,水的存在是它生长的必要条件;木材組織的本身适合于輸送水分。因此在新砍伐的木材中含有大量的水,它随着木材的保存条件而改变。如在空气中保存时,木材的湿度逐漸减小,并且它的重量亦为減輕。把不大的試件放在干燥箱中,在溫度100°C下經几小时,給出了这样的情况:試件的重量經反复称量成为常数。这是全部水分消失的証明。在这样的状态下木材称作絕對干燥。

利用絕對干燥的概念,木材的湿度按在木材中含水的重量对木材在絕對干燥状态中本身重量的比值来确定。假使以 G_1 表示干燥前試件的重量,而以 G_0 表示試件在絕對干燥状态中試件的重量,那末湿度 W 将等于:

$$W = \frac{G_1 - G_0}{G_0} \cdot 100\% \quad (I, 1)$$

在新砍的木材中,核心的湿度随着一年的季节而变动为 30 ~ 50%,白木质的湿度达到 150%,并且针叶树类含的湿度比阔叶树类大。如利用浮运的原料,刚锯下的木板的平均湿度的变化为 63 ~ 76%。

干燥的速度决定于蒸发的表面(即木材的尺寸)、温度、周围空气的湿度和流动速度。在苏联北极的气候条件下,冬季锯成厚度达 60 毫米的木板,在仓库中正确地保存到七月达到所谓风干的状态,即湿度大约为 18%。如继续保存在那种条件下,湿度将大约随着空气的湿度而变化。

处在干室中,木材有更大的干缩。在空气的标准湿度下,在暖室中木材的湿度大约等于 10~12%。如提高空气的湿度,具有吸水性的木材重新吸入水分。

用于木建筑物的木材的湿度决定于所采用结构的形式和建筑物运营的条件。现有技术规范要求,用来制造永久用途的结构木材,湿度一般不大于 23%。胶合结构,以及光环键合的结构应该由湿度不大于 18% 的木材制成。键、木销、木钉等的木材应该具有不大于 15% 的湿度。对于浸在水中或潮湿状态中的结构部分,木材的湿度没有限制。

木材容重主要决定于它的湿度,即在其中含水的数量。为了便于对各类木材容重的比较,它们的重量在同一个湿度下(一般在 15% 时)来决定。原来,同样湿度的木材容重也决定于木材种类、年轮层的数量、晚材的百分率含量和许多林业特征。一般说来,在建设中最通用的针叶树类——松、云杉、冷杉,比阔叶树类——橡、山毛榉、桦等为轻。取自大头和核心的试件比取自小头和白木质的试件重。木材的重量随着晚材量的增加而增加。

为了确定结构的自重应该利用列在表 1 的标准指示。

表 1 木材的计算容重

种	类	在结构中木材的容重(公斤/米 ³)	
		防 潮 的	不 防 潮 的
针 叶 树 类			
落叶松		650	800
松、云杉、云松、冷杉		500	600
硬 质 阔 叶 树 类			
橡木、山毛榉、桦、槭、槐、千金榆、榆		700	800
软 质 阔 叶 树 类			
山杨、杨、椴、赤杨		500	500

体积的可变性也属于木材的物理性质,它决定于下列原因:处在木材中的水可以是毛细管现象的、自由的、吸收的和化学附着的。毛细作用的水填满细胞腔内;吸收的水处在细胞壁中;化学附着的水包含在木材的化学物质中。在干燥的时候先失去自由水,而后吸收的水,相应于失去全部自由水的湿度称作纤维的饱和点。在温度 20° 时,各类针叶树的饱和点相当于湿度 28.0~31.5%,并且与温度的升高成反比

变化,当温度增加 1° 时减少0.1%。

在失去吸收的水时,細胞的組織变成紧密,影响到木材的长度和体积的改变。在湿度变化时,在一定范围内改变它本身体积的能力称作干缩和膨胀。

体积的不定性是木材作为建筑材料的巨大缺点。由于組織的特点在各个方向发生不一致的尺寸改变,使这个缺点更加严重。木材干燥到绝对干燥状态时,平均的干缩量为:順木紋0.1%,橫木紋在輻射方向3~5%,橫木紋在切綫方向6~10%。

这样,在各个方向干缩的比值等于1:40:80。

实际上,显然在縱方向的干缩是极小的,仅必需考虑橫截面的干缩。

图1列示了木材的干缩和湿度的关系,从这个图上看,干缩发生在木材被用于建筑上或处在运营中的湿度范围内。

在决定待鋸的湿木料的尺寸时,要考虑木材橫截面尺寸的变化,截面应增加干缩的数值。在确定对干缩的放宽时,可以大概地以下列的直綫尺寸变化(对原来尺寸)作为根据:如湿度由30%变化到23%时为2%,由23%变化到18%为1.5~2%。对各类干缩放宽的明确的数值在专门的标准中给出。

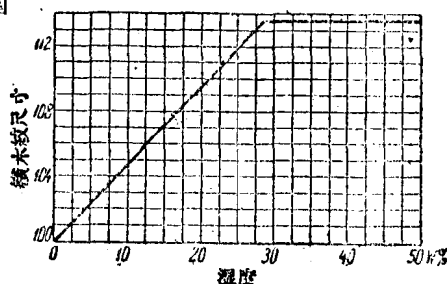


图1 木材的干缩量和湿度的关系

在建筑中很少发生木材的膨胀。这个性质只在采用干透的材料时才被利用。

为了数量上确定在膨胀时木材增加的尺寸,可利用干缩时同样的数字。一般說来,这不仅对于新木材即使对于干木材都是对的。随着木材的硬化,在其中发生着一个过程,它极重要地改善着木材的物理和力学性质。木材成为更硬,更不易受到腐烂和大大失去了膨胀能力,在老的建筑中木材优良的质量就是由于木材的性质逐渐改善,而决不是以前的木材较好。

木材的干燥是十分复杂的过程,在干缩时首先干燥表层,因此在木材中产生了湿度的不均匀分布。因为每一湿度相应于一定的干缩数量,那末在木材中由于干燥的不平均发生引起出现裂缝的内应力。裂缝一般在輻射方向沿着髓綫发生。

假使木材保存在仓库中,在很大的程度上它可以用正确的堆垛、封垛,尽端涂料来预防裂缝。在室内干缩时,采取专门的制度和正确的組織过程,可以避免形成裂缝。由湿木料建成的建筑物很难防止裂缝;因此在結構設計时必须采取专门消除形成裂缝原因的措施。例如,裂缝首先在紧密插入的螺栓、銷和鋼穿釘的孔眼附近开始。为了使这样的裂缝不达到危险的尺寸,应该拒绝沿构件的軸綫設置螺栓,特别是几个螺栓設置在一排中。

在切綫和輻射方向干缩的不均匀性,除此以外会引起木板翘曲,木板离髓心愈远翘曲愈大。

木材的热傳导与其他建筑材料比較是小的。热傳导系数 λ 对針叶树等于:順木

紋 0.33, 橫木紋 0.12~0.13 仟卡/米-小時-°C。

木材的熱傳導性隨着濕度的增加而增加。

木材在溫度作用下的綫膨脹係數決定於木紋方向:木材的膨脹順木紋較小,而在切綫方向最大。綫膨脹數字係數等於:

順木紋	$1.7 \times 10^{-6} \sim 3.6 \times 10^{-6}$
在輻射方向	$24.2 \times 10^{-6} \sim 29.3 \times 10^{-6}$
在切綫方向	$26.7 \times 10^{-6} \sim 41.9 \times 10^{-6}$

因為木材順木紋的膨脹比鋼和混凝土小 3~4 倍,在木結構中就無設置溫度縫的必要,特別是,假使考慮到在一般形式的接頭接合中不可避免的不密實的話。

§ 3. 各種因素對木材力學性能的影響

由於木材的固有的特性,它的力學性能的研究比其他的材料大大地複雜。如組織的各向異性和不均一性、濕度、容重的變化、生長的缺陷、造林的條件等,木材的這一類性質是十分有力地影響於力學性能的因素。因此,在敘述木材實驗的研究結果以前,應該確定強度與所列举的因素之間的關係的特性。

濕度對力學性能最有影響。圖 2 列示了力學性能和濕度的圖解關係。從這些曲綫中看出,例如,在濕度從 30% 降低到 5% 時,受壓強度增長 2 倍以上。濕度對受拉強度影響最小。

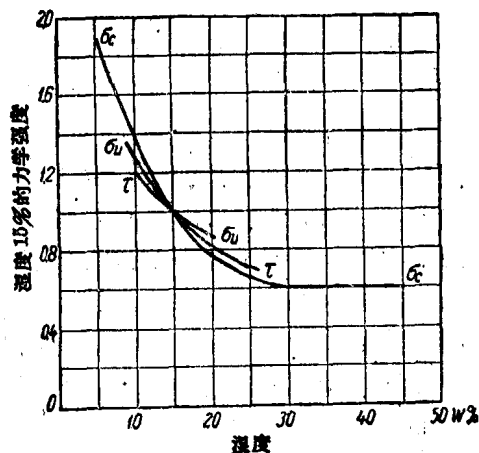


圖 2 折合到單位的木材強度和濕度的關係(在濕度 15% 時)

σ_c —受壓強度; σ_n —彎曲強度; τ —剪力強度

為了確定在標準濕度 15% 和實際上變化於 8~22% 的木材強度極限間的關係,利用公式:

$$\sigma_{15} = \sigma_w [1 + \alpha(W - 15)], \quad (I, 2)$$

式中: σ_{15} ——在濕度 15% 時的強度極限;

σ_w ——在濕度 $W\%$ 時的強度極限;

α ——決定於樹種和材料強度種類的係數:在順木紋受拉時它等於 0.01~0.02,受壓—0.04~0.05,彎曲—0.03~0.04,受剪—0.03 (大的 α 值屬於針葉樹類)。

木材的力學強度在濕度從 15~25% 時變化最劇烈;在建築的條件下正是採用

這種濕度的木材。

木材力學強度與容重的關係,早就知道並由許多研究所証實。一切資料都說明,力學強度隨着容重的增加而增加。但是應該承認各種不同的品種和地區與一般性質有相當大的差別,因此直到現在尚不能成功地求出按容重確定力學指標的公式。圖 3 表示了容重對力學性能影響的曲綫;它是十分接近於直綫。

木材的力学强度和晚材百分率含量間具有关系。因为晚材具有厚壁狭长的細胞,显然,大的晚材百分率具有着大的容重和大的强度。在針叶树类中,晚材的数量相当简单地来确定,并且在一定限度上作为力学质量的指标。

不应该把这些指标与年輪层数量或层次的单薄度混淆起来。普遍的見解认为层次的单薄是高强度的指标,最近的研究并未証实这一点。

由于密实性和容重随着試件在树干中的位置而改变,則它的力学强度与試件的位置一齐改变。年龄50~80年的年輪层具有最高的强度;这样在树干的横方向从髓心到周边观察,强度先提高,而然后降低。木材的髓心管具有最小的强度。

髓心的低强度和它的薄弱的抗腐能力(正在生长的木材的腐烂大都从髓心—树洞开始),使得含髓心管的木板不能用于重要构件。假使使用由半圓木得来的方梁木时不可避免髓心管,則在弯曲时必须这样来布置,使髓心放在受压部分或者经过中和軸。

强度沿着树干高度向頂端减少。較粗的圓木和粗圓木鋸成的寬板强度較高。

树木生长的条件会有力地影响力学性质。对于各类树种都有它合宜的土壤和气候条件,在此种条件下木材会得到最大的强度。脱离这些条件会导致木材和力学性质的恶化。此外,林区树木的位置、种植的稠密、和方位等,所有这些森林学上的因素同时会影响木材的强度。

应该特别注意,影响力学强度的組織的不均一以及生长上木节和斜紋的缺陷。

木节在所有采用于建筑上的木材中是不可避免的。在受拉时木节的影响最大,因为在这样的場合中木节的存在,至少相等于同直径的孔眼削弱。但在靠近木节附近偏离原来木紋方向的斜紋(繞节斜紋)可以更多地削弱构件。木节在受弯构件的受拉区域中同样不利地影响强度。甚至于在含木节的試件受压时,試驗証明强度极限降低。

虽然木节对木材力学强度如此有力的影响,但是关于含木节的木材与清試件比較,强度极限降低的绝对数字只有偶然的和各种形形色色的資料。这可以說明:一方面由于木节的尺寸和位置的非常多样化;而另一方面由于木节在各种不同的品类中不同的作用。假使注意到在构件截面减小而木节直径不变的条件下相对削弱增长时,后一种情况是可以瞭解的。某些研究者推测,在大型品类中,如在圓木中,木节一般不会影响力学强度,或者,在任何情况下,它的影响不大。但是,根据 M. B. 謝尔基也夫在苏联中央工业建筑科学研究所所作的圓錐形夹头試驗的数据,在这些試驗下

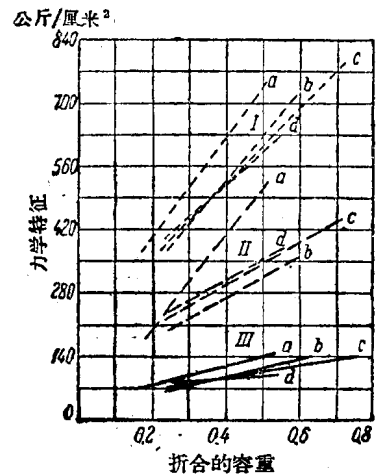


图3 針叶树类木材的力学性能与容重的关系

I—弯曲强度极限; II—弯曲比例极限; III—弯曲弹性模量;
a, b, c, d—各种針叶树

拉断的四根直径 18 厘米的圆木的强度极限平均接近于 200 公斤/厘米²，这给出了与清木材比较大降低的强度。

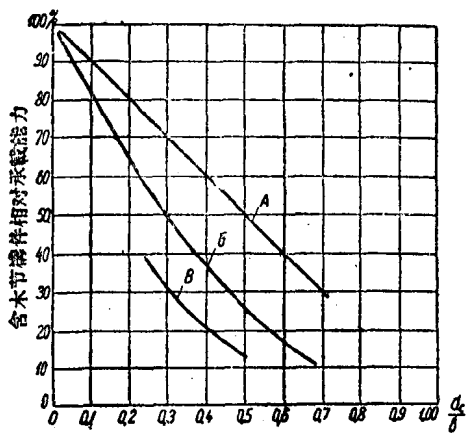


图 4 木节对木构件承载能力的影响

曲线	构件的工作	木节位置
A	压-弯	在全部板面上 在梁的水平板面上；在垂直板面的高度中央
B	弯曲	在边附近垂直板面上
B'	拉伸	在全部板面上

假使木节对圆木强度的影响还不够说明，那末所有带节木板的试验指出：与清试件比较，它的强度大大降低。在苏联中央工业建筑科学研究所于 1934 年所进行的以截面 40×100 毫米的试件的试验中，含木节试件强度比清试件的强度低 3 倍。制成结构的试验数据也证实受拉构件强度的降低与清木材试件试验数据比较大约 2~3 倍。

最近根据苏联中央工业建筑科学研究所的数据作成了木节对木板承载能力影响的图（图 4），该图决定于 d_0/b 的比值，其中 d_0 —在横向木板的木纹方向量得的木节尺寸， b —板面宽，木节位于该板面上。这个图表明地指出，木节是决定木材强度的最重要因素，特别是木板。

斜纹的影响比较容易加以研究，并且具有足够的、斜纹木材对于各种不同的变形试验的数据。

一般说来，强度最大的降低发现在拉伸时。但是在作用力偏斜木纹 $\frac{1}{15} \sim \frac{1}{20}$ 时，强度的降低不大，并且可以不考虑。

人工干燥在缓和的干燥状态下不会对木材力学性能发生危害的影响；随着干燥状况生硬程度的增加力学强度可以降低。

用防腐剂 and 防火剂浸制的影响是类似的，根据试验资料，浸制对力学强度有不良的影响，其强度由于化学影响降低于 5~15% 的范围内。除了化学作用外，同时还发现在浸制过程中压力和高温度的影响、以后的收缩和残余湿度的影响。

§ 4. 依据小试件的试验室试验资料的木材力学性能

木材的力学强度可以借一定尺寸和形状的试件的试验室研究方法、或借实物大小的构件和结构试验来确定。试验室试验由于方便和简单，它是通用的方法；大型截面构件或整个结构的试验，虽然这种研究是十分重要的，但由于这种试验的复杂和价贵较少进行。

为了得到可比较的结果，在试验室研究时，必须除去上一节所述的所有的影响。不然，得到如此不同的力学指标的数字值，根据这些数字值不可能作出概括的结论。因此，试验可以用清木材的、无缺陷的和生长不正常的一种树木的小试件在一定的湿

度下进行,湿度一般为15%。在試驗时应以一定的方式来切取試块;在各种情况下須标明生长条件、地区、土壤的条件和其他可以影响力学强度的情况。用这样的方法得到力学指标的相当稳定的平均数值,这些力学指标可以作为評比一棵树的不同部分或不同树种的木材力学强度的原始資料。

由于缺乏使用于木結構中的那种尺寸和截面的木材試驗的足够資料,不得不利用清木材小試件的試驗資料以確定設計时容許应力的强度安全度。但是此时應該記住还有許多因素,它是在試驗研究时不可能考虑的,但可以降低在实际結構的构件中木材的强度极限。

順紋受压的試驗是木材的基本試驗。用立方形的或柱体形的試件来进行研究,并且各个国家采用不同的尺寸。在苏联采用尺寸为 $2 \times 2 \times 3$ 厘米的小試件,这种試件容易从树木的任意品类中得到。这种試件的順紋受压試驗的图形表示在图5上(曲綫 m)。

比例极限和强度极限属于图形有代表性的点,比例极限是决定于測定准确度的一种条件的数值。針叶树类在順紋受压时比例极限是相当高的,根据某些資料它达到强度极限的0.78;平均約等于0.5。对于闊叶树类比例极限也有高达强度极限的0.84。

試件的破坏由个别纖維局部纵向挠曲和硬的夏材向比較軟的春材一面压入所引起。在順紋受压时,苏联北部松的强度极限的数值根据不同的資料平均值变化于 $350 \sim 500$ 公斤/厘米²,相当稳定的指标为 $400 \sim 450$ 公斤/厘米²。

在对木紋成角度受压时强度极限降低。在角度达 45° 以下发现急剧降低,此后强度降低較为緩慢。大約到角度 $5 \sim 7^\circ$ 时,試件破坏也象順紋受压一样由于木紋纵向挠曲所引起;但是在角度偏斜增加到 45° 时,破坏由剪力引起。在角度大于 60° 时,較弱的春材层发生压碎。

在橫紋受压时,随着試件的加载发生很大的变形(图5,曲綫 n);有时在木材压实的条件下,强度繼續增长而无破坏的显著指标,因此并不是总能确定强度极限。針叶树类的比例极限是十分低的,大約等于强度极限的0.35;在此应力下春材开始压碎。闊叶树的比例极限高达强度极限的0.7。由于在某种情况下缺乏确定强度极限的标准,强度极限往往确定为这样的应力,在此应力下变形达到試件原来高度的 $1/3$,或仅限于确定比例极限,对于松木按照H. A. 別列柳勃斯基的資料,它等于 63 公斤/厘米²。

这样,在木材順紋受压时出現比較小的变形和高的强度极限,在橫紋受压时出現

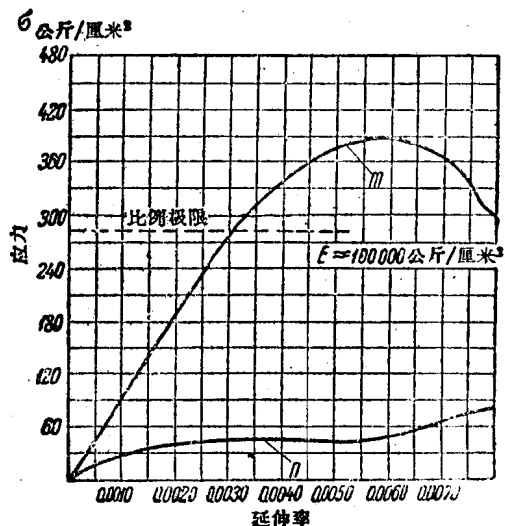


图5 松木受压时相对变形和应力的关系
 m —順紋; n —橫紋

不高的强度和很大的变形,在针叶树类中主要是塑性变形;但这些变形并不危险,因为在这些情况中破坏的标志较缓慢显露。在结构中,在受压垫块中塑性变形是不希望的,必需采用阔叶树类或降低应力。

在试验室的条件下,顺纹受拉的木材试件强度是十分高的。在受拉时强度极限超过顺纹受压时的强度极限,往往大于一倍。在拉断时,高的比例极限和小的伸长是受拉图形(图6)的特点。木材在受拉时作为脆性材料破坏,严重地降低了利用它的高强度的可能性。大家知道,材料很大的塑性变形能力提高了结构强度的实际安全,同时由于提高了耗用于破坏的功的数量,增加了承受冲击荷载的能力,而高的局部应力在很大的塑性变形下会变成平坦。

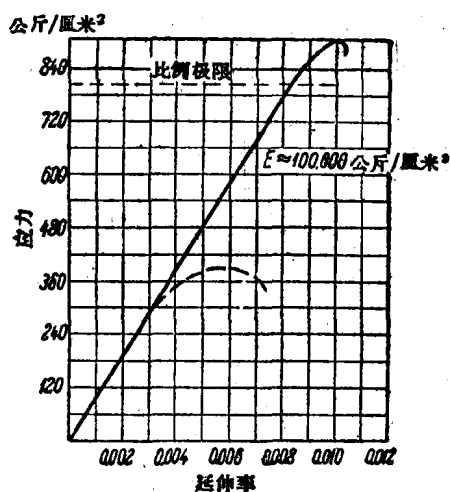


图6 松木拉伸时相对变形和应力的关系
(虚线表示受压曲线)

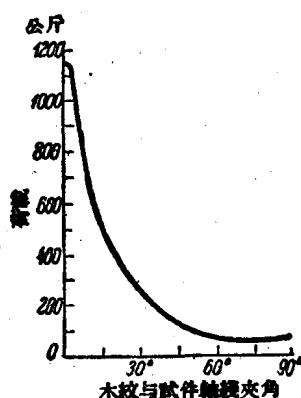


图7 在受拉时强度极限与木纹对试件轴线夹角的关系

在试件对木纹成角度受拉时,它的强度很快降低;图7表示了受拉时强度极限与木纹倾斜角的关系。实际上在对木纹成角度受拉时,破坏由受剪所发生,因而使强度如此快的降落。可以看出,在90°时,即在横纹受拉时,拉力强度是十分小的。这类强度只提供了理论上兴趣,因为在结构中木材的裂缝差不多是无可避免的,在这样的条件下,横向拉断强度的大小应该等于零。

木材有很好抵抗横向弯曲的强度,使得木制弯曲构件广泛采用于结构中。

因为在弯曲时法向应力归结为拉力和压力,那末弯曲强度的大小与受拉和受压时的应力大小有关。因此从弯曲强度极限值出发,可以得到木材相当正确的力学性能的特征。这给予力学性能研究方面很大的简化,因为弯曲或试件的折断试验可以利用简单的装置在野外的环境中进行。

在弯曲时,试件的破坏从受拉纤维方面开始。初看起来,这样说可能是妄诞的,因为受拉强度高于受压强度。但是,恰如实际试验所指出,在试件折断以前,还在受拉纤维拉断以前,开始在梁的受压面的木纹形成皱纹并且鼓出,使得中和轴降低。此外,在很大的应力下逾越虎克定律范围和有时候在受压和受拉时弹性模量的不同数

值都会影响到在木梁中应力的分布。这样,在木梁弯曲时,应力的分布图形与各向同性的弹性材料的应力图形不同(詳見 § 13, 图 19)。

在弯曲时,强度极限一般变化于受压与受拉强度极限之間,对于风干的松木等于 700 公斤/厘米²。对于針叶树类,在弯曲时的比例极限約等于强度极限的 0.7。

受剪强度是木材力学强度的弱点。在这种变形形式下,必須区别下列的情况: 1) 剪面和剪力垂直木紋——切断情况(图 8, a); 2) 剪面和剪力平行木紋——順紋受剪的情况(图 8, б); 3) 剪面平行木紋,而剪力垂直木紋——橫紋受剪的情况(图 8, в); 4) 剪面平行木紋,而剪力对木紋成角度作用——在角度下受剪的情况(图 8, г)。

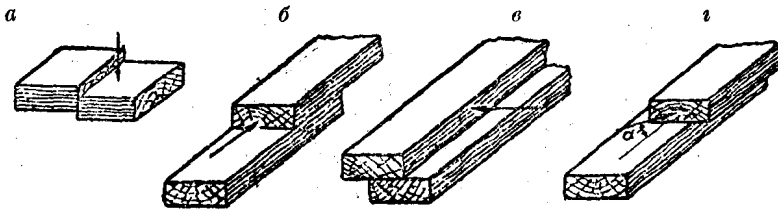


图 8 受剪强度的各种情况

a—切断; б—順紋受剪; в—橫紋受剪; г—对木紋成角度的受剪

試驗研究时,在結構方面未能研究純粹的受剪現象,因为一般随着它有承压和撕裂。特别是关于切断,当橫木紋傳力給木材时同时发生很大的承压变形。因此切断試驗是十分少的,它的試驗方法是不規定的,由于这个緣故現有为数不多的資料彼此极度不同。在文献中遇到的指示,松木的切断强度变化于 340 和 500 公斤/厘米²之間。这些数字沒有实践意义,因为切断和承压作用的接合計算一般必須按承压进行。

順紋和橫紋受剪是比較重要的,因为由于木材十分脆弱的受剪强度,这类变形常常决定着构件的尺寸或接合。柱体形鍵接合(图 9)可以作为木材受剪的实际工作的例子来加以說明,鍵 a 在上面方木对下面方木剪移的企图下受着縱向剪力,而由二块楔組成的鍵 b 受着橫向剪力。



图 9 柱体形鍵接合中木材受剪的不同情况

a—順紋受剪; б—橫紋受剪

一般認為,在順紋受剪时,强度极限值比在橫紋受剪时大。这是由于在橫紋受剪时,除了細胞間的联系破坏以外,还发生纖維承压。但是也还有其他的見解。

在順紋受剪时,变形是微小的,这是脆性破坏特征的先决条件;橫紋受剪随着发生很大的变形。順紋受剪研究得最多。

在受剪时,强度极限值比木材所有其余的力学强度的試驗室資料在更大的程度上是有条件的数值。这种条件由二种原因所决定:第一,在所有各种形状的試件中,弯矩和由弯矩所引起的垂直于剪面的撕裂应力的出現是不可避免的;第二,在确定强

度极限时,应力当作沿受剪的全部面上均匀分布,而实际上并不如此。早在前一世紀中叶 Д. И. 茹拉夫斯基曾确定,受剪平面的应力是不均匀分布的。后来的研究能够确定二种力的作用形式—单边受剪(图 10, a)和夹中受剪(图 10, б)—的剪应力图。从图形上看出,应力分布最大的不均匀发现在第一种情况中。

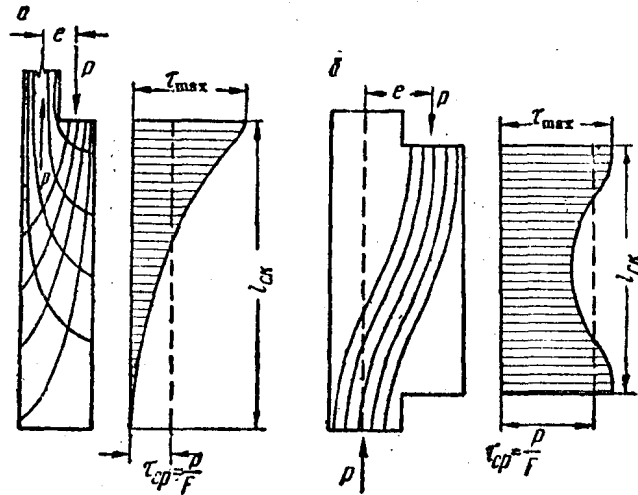


图 10 受剪时应力分布图

a—单边; б—夹中或双边

强度极限与比值 l_{ox}/e —被剪部分的长度对剪力的矩臂之比—的关系表示在图 11 上;从这个图表看出,随着受剪面积长度增加平均强度极限降低。

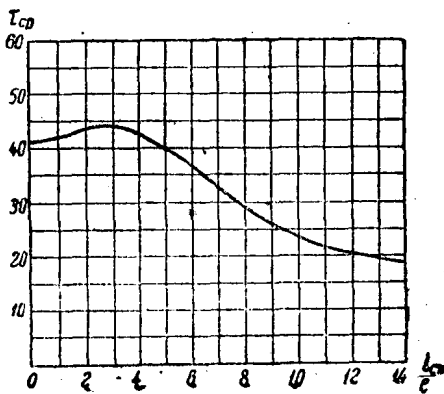


图 11 夹中受剪时(参阅图 10, б)强度极限与比值 $\frac{l_{ox}}{e}$ —被剪部分的长度对剪力的矩臂之比—的关系

强度极限的绝对值,根据试验室资料取决于所指出的比值,对于风干松木变化于 60~70 公斤/厘米²。在切向平面和径向平面中,纵向受剪给出大约相同的强度极限值。

横纹承压强度与受压强度的差别是:压力的传递不是沿被压试件的全部表面发生,而只在它的长度和宽度的一部分上发生。与被压的试件比较,承压面积愈小与承压面积相邻的木材纤维的支撑影响成为愈大,因而承压强度也愈大。在顺木纹方向减小压模的尺寸时这种影响就愈大,因为木材在这个方向更优于抗弯和抗拉。在木材横纹承压时并不破坏,而只发现它的压缩,因此,在试验时只标记比例极限。

在端头与端头承压时,比较密实的晚材纤维压进比较松散的春材层,因此端头与端头承压提供比在受压时稍小的强度。但是用较为刚性的压模在端头承压时它的强度不致与受压强度有差别。

对木紋成角度的承压决定于木紋对作用力的傾斜角,并且根据破坏的性質有时接近于所研討情况中的这一个,时而接近于另一个。承压强度与压力对木紋間的角度关系,按性質与在角度下的受压曲綫并无不同。

松和云杉受各种力影响的强度极限平均值,根据苏联中央工业建筑科学研究所的資料表示在表 2 中。

表 2 松和云杉强度極限的平均值 (公斤/厘米²)

应 力 类 别				絕 对 值	折 算 到 順 紋 受 压
順	紋	受	压	400	1
順	紋	受	拉	1000	2.5
弯			曲	750	1.88
順	紋	受	剪	68	0.17

表 2 的数字是大概的,由于力学性能甚至于在試驗室的条件下,即在同样的湿度下,对于一种树木和清試件將給出不同的数值。

确定各种力学特征的变化极限是十分重要的。显然,这是可以借大量試驗資料的处理来得到。在統計过程中,許多試驗資料平均值的离差通常按下式計算的平方离差值来评价:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}} \quad (\text{I,3})$$

式中: x ——离差,它等于观测值的个别数值与它的算术平均值間的差数。

平均平方离差值对算术平均值的比称为变化系数并可以用百分率表示:

$$\gamma = \frac{\sigma}{M} \cdot 100\% \quad (\text{I,4})$$

式中: M ——算术平均值。

在順紋受压时强度极限的变化系数取 13, 在順紋受拉时取 20, 在靜弯曲时取 15, 在受剪时取 20。

利用这些数据,可以得到力学特征的变化范围。例如,在风干松木受剪时强度极限的平均值,如上所述等于 68 公斤/厘米²。对于这个指标的变化系数等于 20%。在概然率为 99% 时,任何性能的离差不超出 $M + 2.25\sigma$ 的范围。这样,假使

$$\sigma = 68 \times \frac{20}{100} = 13.6 \text{ 公斤/厘米}^2,$$

那末受剪的强度极限变动于 37.5~98.5 公斤/厘米² ($68 \pm 2.25 \times 13.6$)。

以下列举了松和云杉的强度极限的最小值(以公斤/厘米²表示),这些数据乃根据小試件試驗室試驗資料借变化系数的統計处理而得到:

順紋受压	284
順紋受拉	550
弯 曲	496
順紋受剪	37

各向同性弹性体的弹性的特征三个常数：弹性模量（杨氏模量）、剪力模量和波桑系数。这三个常数互相間有密切的关系，因此，为了鉴定各向同性体的弹性只要二个常数已足够。木材具有显著的各向异性的組織，它也影响到弹性。因为木材的弹性在各个方向是不同的，需要的弹性常数的数目比各向同性体多并与各向异性的計算图式的选取有关。假使在木材中采取具有三个对称平面：纵向的、徑向的和切綫向的，那末对于記述它的弹性需要九个常数。但是，考虑到，在工程結構中只区别二个方向——纵向和横向，所以五个常数已足够。

对于解决計算問題，实际上有二个楊氏模量——順紋和橫紋已足够了。对于針叶樹类順紋的平均彈性模量等于 134,000 公斤/厘米²，橫紋等于 7,100 公斤/厘米²。变化系数各等于 22.1 和 24.7%。这样，在同一个受压应力下，順紋变形差不多比橫紋小 18 倍。在拉伸和挤压时，弹性模量相互間无重大的差別。

在木結構設計技术规范和准则中，木材順木紋的弹性模量与树的品种无关，取 100,000 公斤/厘米²。湿度的影响可以按計算湿度对强度的影响的同一个修正系数来計算。

比例极限（即适合虎克定律的那个应力）一般具有相当高的数值。但是在提高測量准确性时发现，所观测到的比例只在第一次近似时才发生，而实际上观测到应力和变形間从最小的应力开始就偏离直綫的关系。但是在計算的准确性范圍内可以假定，对于在一切容許的、相当适度的荷载下发生的应力适合虎克定律。

木材的弹性极限与假設的比例极限并不重合，如金属采用的那样。实际上，在一切有机界出生的材料中，甚至于在不大的应力下，都会产生残余变形。

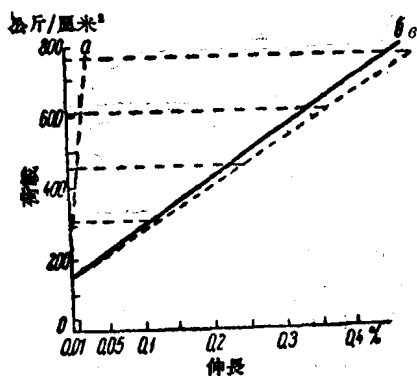


图 12 橡木受拉时的塑性变形
a—残余变形綫；b—弹性变形綫；
c—总的变形綫

图 12 表示了橡木的受拉图形。在該图中字母 a 表示残余变形綫，b 表示弹性变形綫，c 表示总的变形綫。从图形中看出，杆件加荷载后立刻出現残余变形，这样，弹性极限一般是沒有的。对于金属这一种現象用精确的測量也可以确定，但是这在木材中表現得更强烈。这样，木材的弹性是相当有条件的概念。但是因为残余变形的数值是以百分之几的百分率来計量，它在相当大的基本变形下才对桁架挠度发生微小的影响，因此在适度的荷载下可以把木材作为具有弹性的材料。

木材的塑性变形在各种加载的形式下是不同的。在受拉和受剪时，木材作为脆性材料作用，它的塑性变形是十分小的。在受压时塑性变形相当大，并且随着力的方向与木紋間的角度增加而迅速增加。同样的現象在承压时也可見到。

以上所列的木材的力学特征是以試驗室試驗資料为依据的，这种試驗是以一定的、相当大的加载速度（每分鐘 300 公斤/厘米² 以上）而进行，在此加载速度下時間因