

86.221
HXB

屋頂竹結構

黃 熊 等 編

建 筑 工 程 出 版 社

屋 頂 竹 結 構

黃 熊 等編

建 筑 工 程 出 版 社 出 版

• 1959 •

內 容 提 要

本书主要討論竹結構在屋頂結構中的应用問題。书中除了介紹我国过去使用竹結構的經驗之外，并着重地說明了竹結構的設計原則、計算方法和制造与架設。同时，对于与竹結構設計有关的如竹材的物理力学性能、竹材的防腐、防虫、防火和防裂等方法也都作了叙述。

本书可供建筑工程設計及施工技術人員以及科学研究工作参考。

屋 頂 竹 結 构

黃 龍 等編

1959年 1月第1版

1959年 1月第1次印刷

2,560册

850×1168· $\frac{1}{32}$ ·117千字·印張5 $\frac{1}{16}$ ·插頁2·定價(10)0.85元

建筑工程出版社印刷廠印刷 · 新華書店發行 · 書号 870

建筑工程出版社出版(北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版業營業許可証出字第052号)

言

在建築中充分地利用竹材是節約木材的一个最有效的办法。我国在第一个五年計劃的重点工程中，有許多工地采用了竹結構的临时建筑，根据这些工地的經驗，証明了竹結構房屋有很大的优点——造价低廉，施工架設迅速。为了加速社会主义建設，人們对竹結構提出了更高的要求：有高度的耐久性，有可靠的及高效率的結合方法；提供了更多和更好的新型竹結構方案，使能应用到永久性的建筑中去，并尽量降低竹結構的鋼材及木材用量。

虽然在我国对竹結構的使用已經有了极其悠久的历史，并且近30年来也有不少学者进行了竹材物理力学性能的研究，但是，对于竹結構的研究，还是在全国解放以后1955年才开始的。这门科学与其他科学一样，也是在中国共产党的正确领导下才得到发展的。现在“竹材利用研究”已經列入了我国建筑科学研究规划的中心項目之一。其中包括許多有关竹結構方面的专题，例如，竹結構型式的研究、竹結構基本杆件及各种杆件結合方法的研究，等等。

为了加快竹結構研究的速度，我們認為需要經常总结有关这方面科学研究的經驗并加以推广。在1956年5月，建筑工程部建筑科学研究院曾召开了第一次全国性的竹材技术會議。与会者对竹結構的应用与研究提出了不少的报告、經驗和改进意见。我們参加这个會議之后，認為有必要总结一下从1955至1956这两年間有关竹結構方面的研究成果，以滿足設計及施工部門在目前工作上的迫切需要。这就是我們編写这本书的主要目的。

书中除汇编了1956年以前我国有关单位的科学研究成果以外，并尽量地收集一些外国的和我国民間的資料。但是，由于時間

所限，我們的資料只能以建筑工程部建筑科学研究院、天津大学及清华大学三个单位的科学研究工作为主。我們所提出的問題与看法可能还不够全面，希望讀者們能提出寶貴的意见。

全书編写的分工：第一章及第三章——黃熊；第二章及第六章——智琦；第四章——刘益晟、智琦、黃熊；第五章——黃熊、刘益晟、智琦；主編——黃熊。

編 者 1957年7月

目 錄

序 言	3
第一章 总 論	8
第一节 竹結構在我国的应用	8
第二节 使用竹結構对節約木材与資金的实例	11
第三节 推广竹結構所急待解决的問題	12
第二章 建筑用竹材	14
第一节 建筑用竹材的种类、特性及产地分布	14
第二节 竹材的生理构造	16
(一) 竹材的生长形态	16
(二) 竹材橫断面的构造	20
第三节 竹材的物理力学性能	21
(一) 概 說	21
(二) 竹材的物理性質	23
(1) 含水量	23
(2) 收 縮	24
(3) 容重、比重、爐干比重	25
(三) 竹材的力学性質	26
(1) 順紋拉力	26
(2) 順紋压力	27
(3) 順紋剪力	28
(4) 橫向弯曲	28
(5) 竹材的彈性模量	30
(6) 竹材的持久强度	31
第四节 竹材的容許应力	32
第五节 竹材的防腐、防虫、防火及防裂	36
(一) 竹材的防腐处理	36

(二) 防 虫	37
(三) 防 火	38
(四) 防 裂	40
第三章 竹結構基本杆件的計算	40
第一节 总 則	41
第二节 杆件截面性質的計算公式	41
第三节 軸心受拉杆件的計算	43
第四节 軸心受压杆件的計算	43
第五节 橫向弯曲杆件的計算	45
第六节 压-弯杆件的計算	46
第七节 拉-弯杆件的計算	46
第四章 竹結構杆件的結合	47
第一节 概 說	47
第二节 綁扎結合	48
第三节 鋼梢結合	49
第四节 燒弯結合	56
第五节 胶合竹結構結点构造、用胶及施工方法	60
第六节 槽齿結合	74
第五章 平面桁架竹結構	76
第一节 概 說	76
第二节 屋面构件	77
(一) 屋 面	77
(1) 稻草屋面	78
(2) 船篷式屋面	79
(3) 洋灰瓦屋面	79
(二) 竹 檩 条	80
(三) 椽 子	87
(四) 竹 望 板	87
(五) 竹片組合小檩条	87
第三节 綁扎結合的竹桁架	89
第四节 三角单元装配式竹結構	92
(一) 概 說	92
(二) 构 造	93

(三) 装配式竹框架的架設与制造	98
第五节 螺栓結合竹桁架	100
(一) 概 說	100
(二) 构 造	104
(三) 計算举例	107
第六节 装配式人字屋架	114
(一) 概 說	114
(二) 人字屋架的构造	115
(三) 人字屋架的架設	126
(四) 实 例	128
(五) 承載能力的試驗	128
(六) 經濟比較	133
(七) 人字屋架計算举例	134
第七节 胶木填心竹桁架的設計	145
(一) 概 說	145
(二) 桁架构造	146
(三) 六公尺三角形桁架設計举例	146
第六章 竹結構的制造	153
第一节 竹材的选择及保存	153
第二节 加工工具	154
第三节 竹材加工	154
第四节 样板及模型	156
附录 竹材断面、厚度、面积及其他	
截面性質(J 、 W 、 S 、 S/J 、 i)	158
参考文献	160

第一章 总 論

第一节 竹結構在我国的应用

竹結構的使用在我国已經有了相当悠久的历史。由于竹子中空、質輕、强度高、韌性好、易于加工以及价格低廉等特点，在产竹地区里多广泛地利用竹子做承重的屋架、柱子、檩条、椽子以及围护用的屋面和墙壁等，使用期限一般都能达到5~10年以上。

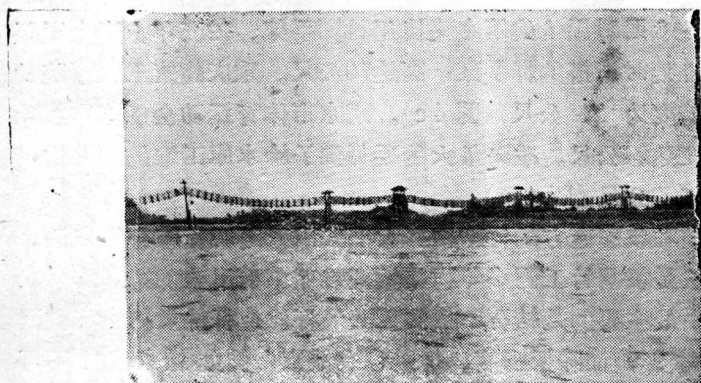
据古記載：由“古文观止”的“黄冈竹楼記”及“馬可波罗行記”等文中，可以推知，約在八、九百年以前，我們的祖先就已經知道如何利用竹材来修建房屋。但是竹材由于受天然尺寸的限制（毛竹的最大直径可达20公分左右，但这种較大的直径为数极少），过去一般只使用在居住建筑中。同时，由于对竹房屋缺乏必要的养护，以及防腐和防火等的科学处理，古代的竹房屋未能保存至今。

但是，由于近代科学的不断发展，竹材在建筑中的应用范围已在日益扩大。因此，在竹坝、水車以及凿井用的塔架等特殊用途的結構中，都广泛使用了竹材。

现存的竹結構以四川汶川县及灌县的竹索桥为最老。由“图书集成”^①一书中推知，汶川竹索桥在清嘉庆（1796~1819年）以前就已建成。这座竹索桥跨越岷江，共有数跨，最大跨度达30公尺左右，桥宽可容四人并行。灌县珠浦竹索桥也是跨越岷江的著名竹索桥，跨长约10余公尺，全长約80公尺（见图1）。

在公园里利用竹亭或竹閣来点綴风景的例子也不少。其中較著名的有西湖竹閣（图2）和天津水上公园的竹閣（图3）。

^① 見参考文献[1]。



遠 景



細 部

图 1 四川灌县珠浦竹索桥



图 2 西湖竹閣

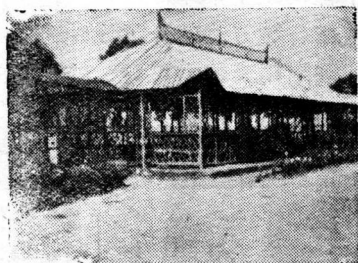


图 3 天津水上公園竹閣

抗日戰爭期間，在曲江、衡陽、桂林等城市中的許多居住建築都廣泛採用竹籬抹灰的間隔牆或竹籬圍牆。現在杭州、南京等地仍有利用竹筴作隔牆和外牆的。此外，利用毛竹作吊頂龍骨的效果也很好。

目前在建築工程中為了節約基本建設的投資，多利用竹材做腳手架以及臨時性的工棚、宿舍、飯廳等暫設工程。在上海和廣

州的5~6层房屋的建筑中多使用竹脚手架。1955年上海中国银行修理外墙时所搭的脚手架，高达70公尺。重庆建筑工程学院的饭厅，跨度为21公尺（图4e）。南京市体育运动会的室内篮球场，跨度达24公尺。净跨最大的要算佛子岭水库工地的大礼堂，净跨为15.2公尺（图4ж）。

目前在我国南方的竹结构，大都采用竹篾绑扎结合的方法。这种方法是根据竹工们多年积累的經驗而創造出来的，有許多优点，其中最主要的是結合不損伤薄壁的杆件，杆件及結点不会因为缺孔的影响而降低强度。但是也有缺点，例如結点传力不可靠、結構型式比較复杂（图4）、无法作准确的应力分析等。同时結点的强度又受到工人技术及气候条件等因素的影响。

在现阶段绑扎竹结构是具有相当的使用价值，应该加以研究、总结和推广。

建筑工业的发展木材供应发生了困难。因此，要求采用竹结构来代替木结构。但是绑扎竹结构很难满足长期使用的要求，所以木结构上所常用的几种杆件結合方法，如螺栓結合、柞木栓結合和榫結合等方法就开始应用到竹结构上来。这些結合方法比竹篾绑扎既耐用又传力可靠。結構型式也都是比較合理的靜定結構（见

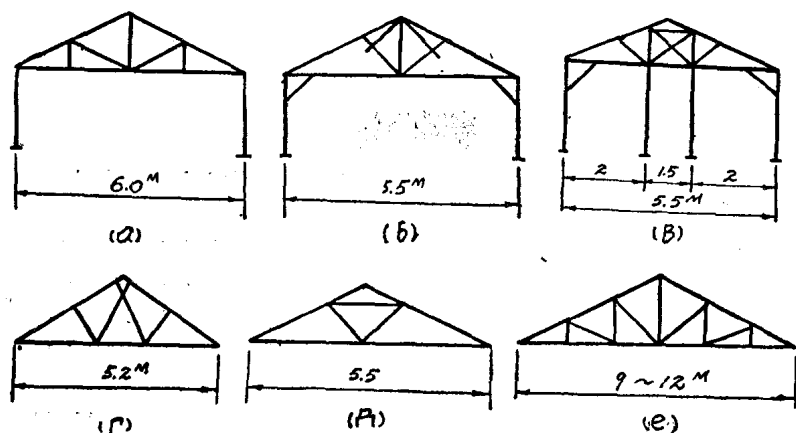


图5 螺栓結合及正榫結合的竹結構型式

图5)，并且可以科学地計算結点的强度。

图5 a、б、B 各型式为北京市建筑工程局設計的，北京有些工地已經使用到五年以上。北京市第一建筑工程公司加工厂所出品的活动竹房屋，就是采用(б)式作为主要承重結構。(r)式为北京市房产管理局所采用，使用在半临时性的单层居住建筑中，屋面用較輕的石棉瓦。(п)式及(e)式为建筑工程部建筑科学研究院設計，在三門峽工地的半永久性建筑中已經获得了大量的使用。

从上述的例子中可以看出，竹結構在建筑工程的应用已日渐增多。但从节约木材的角度看来，在许多建筑中使用竹結構的面还不够广，大部分还局限在临时性建筑中，如果将竹結構的使用范围推广到半永久性和永久性建筑中，那末对国家建設上的经济意义則更为重大。

第二节 使用竹結構对节约木材与资金的实例

竹材强度高、制造省工、架設便利、价格低廉。使用在建筑工程中无疑地可以满足“好、快、省”的原則。这从下面的实例中可以得到証明。根据1954年北京市建筑工程局按照北京市的定額計算的結果，仅竹工棚、竹脚手架、竹脚手板三項，按1,000万平方公尺的建筑面积計算，如使用竹材，即可以节约木材約为60~70万立方公尺。同时可以为国家节省投資6,380万元。

根据上海市的經驗，竹造房屋一般要比砖木混合結構房屋的造价低%。第一拖拉机制造厂工地，由于利用竹結構，就为国家节省了38万元的投資。附属企业各加工厂每平方公尺的造价只需24.7元。一般临时性仓库、宿舍等，每平方公尺的造价也只需14~17元，最低的仅需8元。拖拉机制造厂还利用竹材修建了宿舍、食堂、办公室和工作棚等，給国家节省了将近600万元的投資。根据以往的統計資料，暫設工程的投資，一般都占基本建設投資总額的5%，而拖拉机制造厂的暫設工程投資却只占基本建設投資总額的2.16%。利用竹結構做暫設工程，不但能节约資金与木材，还可以加速施工进度和节省劳动力。修建一座200平方

公尺的临时建筑物，如采用砖木结构，每天要20个劳动力，14天才能完成，而采用竹结构，则每天只需要10个劳动力，5天就可以完工。一座2,000平方公尺的竹结构大饭厅在短短10天之内就可以盖好。

第三节 推广竹结构所急待解决的问题

竹结构在使用上不够广泛的主要原因如下：

(1) 缺乏可靠的毛竹物理力学性能的資料、設計规范和完整的計算理論。

(2) 对竹材的耐久性缺乏研究，并对竹结构能否使用在永久性建筑中尚不肯定。

(3) 竹材不能完全满足建筑构造的要求：例如屋面不平不能随便钉钉子，受潮以后容易生斑点等缺点。

(4) 竹工少，并对竹结构的制造缺乏經驗。

(5) 單純的經濟观点，認為使用竹结构并不一定比木结构經濟。缺乏从节约木材的全面观点来考虑。

因此，要彻底解决上述問題却不是短時間內所能做得到的。从国内及国外的經驗看来，解决临时性竹结构的設計并不困难，只要经过防虫的处理，竹结构就有条件使用到半永久性的建筑中。

按照目前国内外现有的竹材物理力学性能的資料看来，設計資料不足并不是推广竹结构的主要障碍，因为我們可以根据不同的使用情况，暫且采用較高的安全系数，按照容許应力計算的方法来进行計算。其結果将会偏于安全的。

关于竹材的耐久性的問題，許多人由于不够了解，多認為竹材有容易发生腐朽、虫蛀、干裂和易于燃烧等缺点。同时，对于竹材使用若干年以后其强度是否会降低也表示怀疑。从国内外資料看来，竹材的防腐及防火的性能并不比木材差，竹材持久强度的性能也和木材相类似[16]。

据“古文观止”中“黃岡竹樓記”的敘述，单层竹瓦可以使用10

年，双层竹瓦可以使用20年。

建筑工程部建筑科学研究院从广州市洞天茶楼及第七中学已使用 37 年的竹筋混凝土板中取出来的竹筋，其拉力强度仍有 1,100公斤/平方公分。又在某处蠔壳墙中取出之竹片，估計已埋藏了230年之久，其拉力强度还有650公斤/平方公分。

根据日本学者茂庭忠次郎从民居或古寺中将使用年限为 0、10、15、30、90、120……305年的真竹(苦竹)作拉力强度試驗的結果，使用 100~200 年的，其拉力强度仍然很高，使用 300 年的，其拉力强度还能达到1,200公斤/平方公分。

茂庭忠次郎也曾将真竹埋入壁土(粘米70%与砂約30%混合)中，作力学性能的試驗，其結果，埋入 4 周与埋入39周的真竹的拉力强度一样。同时，他又将真竹泡入淡水中，泡了52周的真竹的拉力强度反而比只泡 4 周的真竹的强度为高。因此，可以說在通风良好的正常使用条件下，竹材具有足够的耐久性。如果加以防腐和防虫的处理，其效果当然更好。

竹材的干裂现象严重地影响竹结构的正常使用，但是裂縫的出现对各种杆件工作的影响并不相同，一般說来，对弯曲杆件影响較大，而对拉杆則影响較小。裂縫对結点强度頗有影响。如果栓孔之間出現裂縫，也就等于結合已开始破坏。目前在防裂方面研究得很少，尚未找到有效的防裂方法。为了减少干裂现象，首先应注意不要使竹材受到曝晒及蹲伤。发现有裂縫时，可采用临时加鉄箍的方法来防止裂縫的扩展。

在防虫、防腐、防裂及防火的問題中，防腐及防火一般可以采用构造措施，而防裂則可采用机械的方法。至于防虫，因为竹筒壁薄，杆壁容易被蛀虫蝕穿，所以竹结构所用的竹材最好經過防虫处理。

为了保証竹结构的耐久性，在制造竹结构时，必須选用質地良好、沒有腐朽、沒有虫蛀和沒有开裂的“腊竹”。① 结构制成以

① “腊竹”也稱“冬竹”，系指農曆立冬（約在11月7日前后）到次年春分（約在3月21日前后）期間內所采伐的毛竹。

后要注意保管,使其在儲存及運輸过程中不受到日晒和雨淋。在使用过程中,結構也应有适当的通风条件。能够做到上述要求时,竹結構的使用年限就会延长,甚至不会比木結構短。

关于滿足建筑构造的要求,可以部分地采用木料构件来解决,例如采用木檩条或木椽子的办法。

竹工缺乏时,根据我們的經驗,可以訓練木工来代替。木工虽然对竹子的性能了解較差,但他們在結構的制造技术方面却比竹工的經驗多。

若使竹結構象木結構那样成为一門科学,当然就需要将上述問題一一彻底地加以解决。这个任务就需要木結構科学研究工作者和工程技术人員来共同完成。

第二章 建筑用竹材

第一节 建筑用竹材的种类、特性及产地分布

竹材是我国江南各省盛产的一种植物。其栽培与使用均已有很久的历史。我国竹材之种类就現在已經知道的約有22属 150余种^①。据有些学者的統計,全世界竹材共有50余属 700多种。竹材不但种类繁多,而且直径、高度、性質也各不相同,直径大的可达20公分,小的尚不足1公分,高度从不足1公尺到高达20公尺。其它性質如比重、强度等亦随竹材种类而各异。茲将我国粵产15种竹材的試驗結果^②列于表1。最适合于建筑結構(桁架、檩条)用的竹材,以毛竹为最佳,毛竹的各种性質见表3。毛竹以其尺寸大、产量多、生长集中为其他竹类所不及,所以在建筑中应用最

① 耿伯介:“竹類植物的性狀”。

② “粵產15种竹材性質研究”沈國根、楊緒鏞著,余仲奎指導。

广,如目前正在推广的竹结构和竹筋混凝土中的竹筋皆采用毛竹。

毛竹的特性:

(1) 竹片的强度很大,一般均比木材高出一倍,如以相对强度来与各种建筑材料比较:钢材为 0.53,水泥为0.05,木材为 0.70,而毛竹为0.88,①可见毛竹居最高的数值。

(2) 毛竹生长快,五、六年即可成材,木材则需数十年乃

粤产15种竹材各项性质试验结果

表 1

竹材种类	高度 (公尺)	直径 (公分)	壁厚 (公分)	比重	抗拉强度 (公斤/平方公分)	弹性模量 (公斤/平方公分)	备 注
石 竹	7.4	15.5	1.90	0.866	3130	204000	① 直径、 壁厚系指 第四節間 的部位 ② 試件均 系無節試 件
籐 南 竹	8.5	14.0	1.75	0.727	2090	190000	
泥 竹	5.5	11.5	0.80	0.917	3580	260000	
水 竹	5.5	13.0	0.90	0.841	2820	299000	
畫 竹	8.0	13.5	1.60	0.797	2680	198000	
撑 篙 竹	5.6	11.0	0.80	0.739	2460	192000	
青 皮 竹	4.0	9.0	0.50	0.930	2710	261000	
木 竹	7.0	13.0	2.20	0.931	2920	182000	
觀 音 竹	4.9	13.0	0.25	0.864	2630	323000	
大頭甜竹	9.0	12.5	2.20	0.763	1930	128000	
吊絲球竹	5.5	12.5	0.80	0.796	2190	221000	
大叶甜竹	8.0	10.0	0.90	0.627	1100	129000	
單 竹	5.7	11.5	0.70	0.779	2290	203000	
白粉單竹	5.6	8.0	0.50	0.785	2560	198000	
羅 竹	6.3	10.5	0.40	0.741	3220	244000	

至数百年。

(3) 毛竹产量大,价格低,以江南的浙江、安徽、福建、江西、四川、贵州、广西、广东、湖南、湖北等10个产竹省的统计,估计每年总产量约为5,000 多万根以上,北京每根毛竹的市场价格平均约为两元左右(见表2),而一根普通杉篙则需8元左右。

① 根据苏联资料,以顺纹压力 662公斤/平方公分除以容重为 0.75 克/立方公分所得。

(4) 加工比較容易，用几种简单的工具或木工工具即可。

毛竹除具有上述特性以外，还存在着下列的缺点：

(1) 耐久性不强，有腐朽、开裂、虫蛀的缺陷。

(2) 天然形成的几何形状在使用中受到很大限制，特别是直径随高度的变化率影响很大。

(3) 性柔软、挠曲大，用作压弯构件的长度不能过长。

各省毛竹的历年总销售量表(单位：万根)

表 2

省	名	1953年	1954年	1955年
浙	江	3,036	3,211	1,700
安	徽	180	380	515
福	建	200	200	210
江	西	70	775	759
四	川	—	95	115
贵	州	—	14	19
陕	东	75	97	105
广	西	114	130	260
湖	南	125	474	1,500
湖	北	225	542	303
合	計	4,025	5,918	5,486

第二节 竹材的生理构造

(一)竹材生长形态

竹材属于单子叶植物禾本科，与一般禾草不同，系多年生植物。有些学者主张把它单独列为一竹科，但多数学者仍主张隶属于禾本科的一亚科，即竹亚科^①。竹材与双子叶植物有着本质上的区别，最显著的特征是杆身中空，在生理组织上没有象双子叶植物所具有的形成层，因此，它在生长过程中不向横向发展，只依靠节间基部的细胞纵向分裂而向高伸长。在适宜的环境下，这种生长很为迅速，例如毛竹，在出笋后仅需十数日即可高齐母竹。竹材既无形成层，也无象木材的生长轮，所以在鉴别竹龄时

^① 耿伯介：“竹类植物的性状”。