

木组合杆件 计算原理

И. Ф. 普列什科夫著

建筑工程出版社

木組合杆件計算原理

唐宗煌 譯

建筑工程出版社出版

• 1956 •

內容提要 本書敘述木組合杆件在不同組合下的工作原理。組合杆件在這裡作為單一的杆件研究，它的應力狀態是以它的變形軸的一個微分方程式來計算，並列舉了一些實際例子加以說明。木組合杆件在建築中採用已久，但到現在還沒有創立完全正確和便利的計算理論。本書作者就蘇聯各種已有的組合杆件的計算理論加以整理而成，是一本比較系統的關於木組合杆件的專著，可供我國建築部門的設計工作者，科學研究工作者及研究生的參考。

原本說明

書 名 ТЕОРИЯ РАСЧЕТА ДЕРЕВЯННЫХ СОСТАВНЫХ СТЕРЖНЕЙ

著 者 П. Ф. Илешков

出版者 Государственное издательство литературы
построительству и архитектуре

出版地點 及 日期 Ленинград 1952 Москва

木 組 合 杆 件 計 算 原 理

唐宗煌 譯

*

建築工程出版社出版（北京市阜成門外南風土路）

（北京市書刊出版業營業許可證出字第052號）

建築工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號 418 字數140千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 6 $\frac{1}{8}$

1956年12月第1版 1956年12月第1次印刷

印數：1—8,000冊 定價（10）0.95元

目 录

序 言	5
第一章 組合杆件弯曲理論的基本原則	10
1. 建立理論的前提	10
2. 組合杆件的弯曲軸	15
3. 約制条件	20
4. 組合杆件構件中內力的計算	27
第二章 木組合杆件的縱弯曲	29
1. 中心受压杆件弯曲軸的方程式	29
2. 端头上無附加联結系的杆件	30
3. 端头上有附加联結系的杆件	35
4. 組合杆件肢杆不均匀受力对其穩定性的影响	50
5. 帶有短垫板的杆件	64
6. 各縫帶有同样彈性模数的杆件	68
第三章 偏心受压和受压受弯杆件	75
1. 偏心受压杆件	75
2. 受压受弯杆件	79
3. 節点联結系中非彈性移动对受压組合杆件工作的影响	86
第四章 木組合梁的橫向弯曲	103
1. 組合梁弯曲理論的一般原則	103
2. 梁弯曲的個別情况	103
3. 行动載荷时組合梁中联結系的工作	125
4. 采用三角級数計算組合梁	131
5. 構造的拱度对組合梁工作的影响	137

第五章 在平行于縫平面中的組合梁的工作	141
1. 一般原則	141
2. 受压杆件的穩定性	147
3. 橫向載荷杆件的彎曲	163
第六章 复杂的組合杆件	175
1. 复雜組合杆件的概念	175
2. 复雜組合杆件工作的原理	175
第七章 鋼杆件計算中基本理論原則的利用	182
1. 金屬結構組合杆件的特点	182
2. 帶鋼板的通透杆件	183
3. 通透的格子杆件	187
参考書籍	195

序 言

木組合杆件在建筑實踐中采用已久，但到現在 還沒有創立完全正确的与便利的計算理論。

通常所見的过去所采用的組合杆件主要是用楔子的，其組合梁强度与同样断面整体梁的强度并無很大的差別。关于組合梁產生的大撓曲，其有害的影响在很大程度上由于給予梁以拱度而減輕了。所以建筑實踐中，組合梁采用整体方木計算的理論，用加入經驗的修正系数于抵抗力矩，以考虑其降低的强度。

但是，由于木結構的发展，特别是由于建筑實踐中木結構的运用，有必要深刻研究受压組合杆件穩定性的計算方法。已經发现受压組合杆件比整体杆件具有急剧降低的穩定性，探求这种現象的原因推动了比較完善的計算方法的研究工作。

起初考虑降低受压組合杆件穩定性的假定方法，在大部情况中得到的結論完全不能使人滿意。例如組合梁上的容許載荷，按照1931及1934年設計木結構的技術規範与标准〔1〕^①，确定与所放置在鏈中連結系的数量無關，这是沒有考虑到影响組合杆件穩定性的主要因素—連結系的彈性—的結果。

中心受压組合杆件中，若其所有肢杆是均匀的受力，連結系在它保持其最初直線形以前不发生作用。同时，若某种“偶然的”力引起其弯曲时，連結系將促进最初的直線組合梁的复原。因此，在受压組合杆件中，連結系的作用是予防其可能性，这些可能性取决

① 譯者注：文中方括弧內的數字是原著所列參考書符號，以下同。

于縫的彈性程度。

聯結系彈性順從性對受壓木組合杆件穩定性的影響，在1934年就已首先由本書作者指出^①。當時也研究了在1935年發表的問題解算的近似法〔2〕。

在1935及1936年皮斯奇科夫(В.Г. Писчиков)發表了對於木組合杆件縱向與橫向彎曲的研究結果〔3〕，〔4〕。在皮斯奇科夫的著作中，受壓組合杆件的穩定性是根據在計算正弦綫載荷的橫向彎曲時比較整體杆件與組合杆件撓曲所決定。

彼納德讓(В.В. Пинаджан)在1936~1937年所出版的著作〔5〕、〔6〕，是按照查烏立耶夫(К.С. Завриев)以前所編的適用於整個杆件的邊緣應力法〔7〕、〔8〕，來計算受壓和受壓彎曲木組合杆件問題。彼納德讓著作的主要缺點是杆件縫彈性順從性的影響，他僅以加入校正系數於組合杆件橫斷面慣性力矩來估計，沒有考慮到組合杆件與整體杆件橫斷面中原則上不同的應力分配。

1938年賈特洛夫(А.В. Дятлов)發表了關於組合杆件穩定性的詳細著作〔9〕，其中敘述的用位能方法來精確的解算問題已成為普通的形式。對於對稱輪廓的杆件橫斷面(用兩個構件或三個構件)的兩個個別問題已得到最後的結果。

1937~1947年魯讓尼秦(А.Р. Ржаницын)發表了一系列闡明組合杆件的研究結果〔10〕、〔11〕、〔12〕，在魯讓尼秦的著作中組合杆件的應力狀態是用二次直綫微分方程式系來表示，其數目等於杆件縫之數。問題解算最後的結果，也僅是供兩種對稱輪廓橫斷面之用(用兩個構件及用三個構件構成的)。

谷別科(А.Б. Губенко)〔13〕在他1940年發表的研究結果中，

^① 1934年9月作者在列寧格勒建築工作者科學工程技術協會的木結構擴大會議上曾作了“關於木組合杆件縱彎曲”的報告。在1935年2月，在關於木結構的第一屆列寧格勒省代表會議上重複作了這個報告。

在一些变形的斯文齐茨基 (Г. В. Свенцицкий) [15] 形式中試驗了采用赫瓦耳 (Хвал) 的方法 [14], 以分析偏心受压組合杆件的工作, 这方法僅研究了整体的木杆件, 提出研究整体杆件的力学轉移方法, 对組合杆件問題谷別科造成了不能令人相信的与比較严格研究的結果不符的結果。

組合杆件工作的个别問題庫舍列夫 (Н. Ю. Кушелев) 曾經研究过 [16]。

关于組合杆件中縫的彈性順从性 对应力影响的一些資料, 可以在闡明金屬梁焊接縫研究的著作中 [17] 找得。但是由于焊接縫与木組合杆件中的联結系的剛性中大量的差異, 从这些著作中很难得到对我們有价值的結果。

在大致正确的研究方法的实验工作中, 应该指出 中央工业建筑科学研究院在1934年至1937年时期在木結構實驗室中所进行的組合杆件的試驗, 这些研究的結果发表在柯且諾夫 (В. М. Коченов) 的著作 [18] 中。中央工业建筑科学研究院对实验工作予以特别注意, 因为他們有对当时所知的普列士科夫 (П. ф. Плешков), 皮斯奇科夫的理論研究的試驗加以核对并証明其正确性及其他的目的。从而联結系的彈性順从性对受压組合杆件的影响得到了証明与实验。

1938 年末苏联建筑科学委员会 (СНК) 建筑事业委员会曾出版了木結構設計新标准 (全苏标准 [ОСТ] 90001—38) [19], 其中对受压組合構件的計算, 建議考虑联結系的彈性順从性來进行, 其中所引用的計算公式为簡化的形式是正确的。

这些标准規定了組合受压杆件联結系所謂标准数量。在組合杆件中, 当联結系的实际数量不少于标准时, 标准公式对于許多橫断面的形式求得滿意的結果。但所謂“标准”联結系数数量, 在实际上是过多的。同时, 当联結系数大大地少于“标准”时, 标准的公

式是不适用的，标准建議如同完全沒有联結系固結那样的杆件來研究。

1938年标准的第二个缺点是，它們沒有考虑到杆件兩端各种不同約制条件的影响，同时如木結構的組合構件大部分不是孤立的，有鉸鏈支持端头的杆件。構件节点的固結，主要是节点的联結系造成特有的，严重地影响其穩定性的約制条件。

1940年在刊物中发表了作者的論文〔20〕，其中載有1938年标准計算受压組合杆件部分情况的批評，並指出了正确解決問題的方針。

1947年木結構設計标准与技术規範(H及TV-2-47)〔21〕在本質上与1938年标准沒有区别，僅所載受压組合杆件計算的公式是革新的形式和特別說明了受压組合杆件中联結系“标准”数量。

上述理論著作中無論在对問題态度的严格上或是对研究的深入上，最可注意的是賈特洛夫和魯讓尼秦的研究。皮斯奇科夫的著作同样也值得注意，但在研究方法方面，这本著作不是完美無缺的，它发表在賈特洛夫与魯讓尼秦著作之前，在了解受压組合杆件联結系意义方面該書及时地予以很大的注意。

但是这些研究者的著作並沒有消除根本的缺点。主要的缺点在于对組合杆件工作复杂的論述，对組合構件他們視為复杂的、多次的超靜定的、互相彈性固結的構件方式，解决組合杆件問題的方法是以每个个别情况解算的，特別在采用不同的建筑力学的方法时是如此。

由于这里多余的未知数不是集中力，而是內力或应力的函数，使問題的解算增加了困难。

这些著作的缺点是他們沒有注意当这些杆件是結構的構件时，杆件中所特有的約制条件。他們忽略这些条件的存在，便造成了不正确的总结。簡要的叙述問題的历史和其目前的狀況，指出建

立組合杆件的一般理論任务,即做出切合建筑实践的有效理論,还没有得到应有的解决。

上述的著作是建立这种理論的嘗試。这里所論的組合杆件,其構成部分和复杂的超靜定的構件方式不同,而是如單一的杆件,其应力状态可以用其变形軸的一个微分方程式來表示。

組合杆件变形軸的微分方程式与相当的整体杆件微分方程式为同类,并具有复杂的組織。由于这种规律性的研究方法在組合杆件工作中是突出的并容易揭露,組合杆件縫端头上的約制条件也能观察到,因为在計算弯曲軸基本微分方程式的积分常数时,我們不得不注意到它。

組合杆件的工作不僅是第一至第四章所述的正交于縫的平面研究,而且也研究其肢杆受力不同时在平行于縫的平面,这問題在第五章說明。

第六章中研究了由連接不断的垫板互相固結的組合肢杆構成的杆件。木弓形桁架的上弦便是用这样杆件的例子,这个問題到現在沒有經過相当严格的理論研究。

最后,必須指出,我們所研究的木組合杆件工作的理論,对于金屬杆件也同样适用。这种研究通过运用木組合杆件的原因是由于木組合杆件中联結系順从性大,組合杆件工作的规律性一般比較突出和容易揭露。

木組合杆件理論在金屬杆件上的采用于第七章中闡述。

第一章 組合杆件弯曲理論的基本原則

1. 建立理論的前提

組合杆件的特点。由彈性固結的几个肢杆構成的与整体杆件不同的杆件称为組合杆件。組合杆件在木結構与金屬結構中已广泛地采用。

木結構中組合杆件各肢杆 互相間的固 結采用銷釘、螺栓、鉄釘、楔及其他形式的联結系，以及用粘貼的方法。在后一种 情形中，若杆件的肢杆互相間是在全部長度上以連續縫粘貼时，这杆件将是整体的。但当肢杆間有縫隙而肢杆是用短的垫板粘貼时，这样粘貼的杆件就是組合杆件。

在金屬結構中，組合杆件的單独肢杆用垫钣，簿钣或格子固結——鉚釘、螺栓或焊接的接合。

某些鋼筋混凝土建筑物的構件也可看成組合杆件，例如 在工业建筑中广泛采用的成对的柱。

組合的杆件与同样横断面整体的杆件比較，具有較低的强度，特别是剛度。这說明了当組合杆件弯曲时，由于联結系的彈性順从性的作用，其單独的構件彼此相对彈性地移动。同时，彈性的移动造成在組合杆件横断面中正交应力特有的分布，与在整体 杆件中的应力分布有原則的不同。縫中彈性移动的大小視联結系彈性順从性的程度而定，联結系的順从性愈小，移动亦愈小，而組合杆件則愈接近于整体。反之，联結系順从性愈大，移动亦愈大，而組合杆件則愈接近于沒有联結系固結的杆件。

基本的假定。每个組合杆件的肢杆是整体的杆件，所以在叙

述組合杆件肢杆的工作時，採用一切整體杆件 彎曲初步理論的假定（簡單斷面的假說；按照平面定理在橫斷面中正交應力的分布；由移動產生的變形等於零）。

聯結系的工作假定為杆件縫中移動力 T 與移動 δ 間的直線關係，即

$$T = G\delta, \quad (1)$$

式中 G 為縫的彈性係數，以後我們稱它為縫的彈性模數。

表示移動力與移動變形間的直線關係的圖形只是近似的。在一般情況下，這關係不是直線的。但是，在很大的範圍內，甚至超過聯結系上容許的載荷，它是近於直線的（圖 1）。而對於假設為

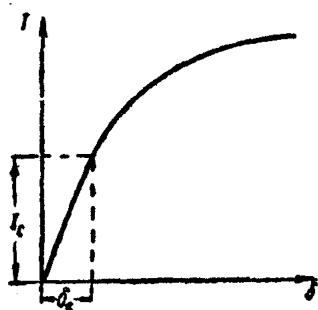


圖 1

非直線的關係，則提出的問題就非常複雜了。在所有過去組合杆件的著作中，按同樣的觀點，這關係也假設為直線的。

縫彈性模數 G 是依聯結系種類與其在單位長度縫上的數量而定。若放置在縫單位長度上聯結系的數以 n_c 表示，發生在一個聯結系上的內力以 T_c 表示，而在縫中絕對的移動值當聯結

系上這些內力時以 δ_c 表示（圖 1），則縫的彈性模數 G ，以公斤/平方公分表示，可由下式計算：

$$G = \frac{n_c T_c}{\delta_c} \quad (2)$$

為了簡化問題，這裡僅研究在橫斷面中有正交於縫的對稱軸的杆件（圖 2）。假定外力作用在對稱的平面上，在相反的情形時，彎曲將伴隨著扭轉，這樣已不在所設的問題之列了。

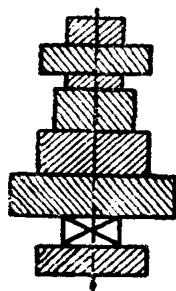


圖 2

組合杆件縫中移动力与隣接縫的纖維中的正交应力間的关系。試考察弯曲的組合杆件，不难看出在变形前所取位在一个平面上，正交于纖維方向的，杆件的隣接肢杆的断面，在变形后彼此間相对地移动(图3)。

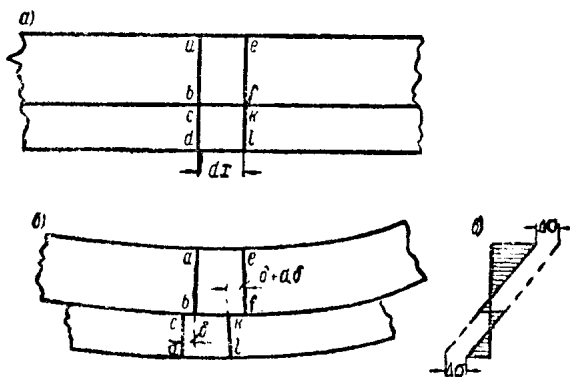


圖 3

取两个組合杆件的横断面，在变形前互相距离为 dx (图3, a)，变形后構件左边的断面移动为 δ ，右边的断面移动为 $\delta + d\delta$ (图3, b)。增加移动 $d\delta$ 將等于位在彈性縫的一边与其他一边的組合杆件纖維伸長差的增加。

根据虎克定律可写成：

$$\Delta\sigma = -E \frac{d\delta}{dx} \quad (3)$$

式中 $\Delta\sigma$ 为位在縫的一边与其他一边与縫鄰接的纖維正交应力差(图3, b)， E 为杆件材料的彈性模数。

由公式(1)与(3)得：

$$\frac{dT}{dx} = -\frac{G}{E} \Delta\sigma \quad (4)$$

配置联结系中的规律性。取有任意数目的任何断面构件与有一个对称轴的杆件(图4, a)。

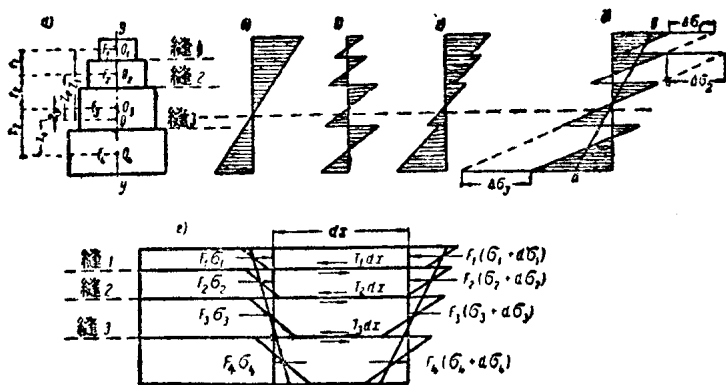


圖 4

外力作用在杆件对称的平面 $y-y$, 杆件横断面的重心在 o 点, 而其肢杆的重心在 $o_1, o_2, o_3, \dots$ 点, 若杆件是整体的, 则其横断面中正交应力的图形限于通过重心 o , 並正交于对称的平面 (图4, b)。若在杆件缝中完全没有联结系, 则正交应力的图形限于通过构件重心 $o_1, o_2, o_3, \dots$ 平行的平面 (图4, c)。在缝中有弹性联结系时, 应力图形將占中間的情况, 且也將限于平行的平面 (图4, d)。調整各缝的刚度, 把它作为图4, d 所表示的图形式样, 永远可以修正組合杆件横断面中正交应力的图形 (图4, e)。图4, d 的图形可以作为两个图形: 限于通过組合杆件重心 o 的平面的整体杆件应力图形与限于通过肢杆重心 $o_1, o_2, o_3, \dots$ 的平行平面, 沒有联结系固結的每个单独肢杆中的应力图形的总和。現在計算在配置联结系中, 当什么规律时產生这图形。

在杆件任何的第 K 缝中的移动力 T_k , 当规定的正交应力图

形(图4, δ)时,按下列公式計算:

$$T_k = AS_k,$$

式中 S_k 为杆件横断面移动部分对其中和軸的靜力矩,而 A 为与縫的号数無关並僅依杆件長度而变更的系数。

利用方程式(4),可以写为:

$$S_k \frac{dA}{dx} = -\frac{G_k}{E} \Delta\sigma_k$$

式中 G_k 为第 K 縫的彈性模数, $\Delta\sigma_k$ 为位在其一边与另一边的纖維中正交应力差。由此得:

$$G_k = -E \frac{dA}{dx} \times \frac{S_k}{\Delta\sigma_k} = B \frac{S_k}{\Delta\sigma_k}$$

式中 B 也与縫的号数無关。

考虑到 $\Delta\sigma_k$ 是与杆件的構件第 K 縫相鄰接的横断面重心間距离 r_k 成正比例,可以写为:

$$G_k = D \frac{S_k}{r_k} \quad (5)$$

式中 D 也与縫的号数無关。

这样,我們得到在图4, δ 上所示的組合杆件横断面中正交应力的图形,是在縫的彈性模数 G_k 与靜力矩 S_k 为正比例及与構件縫鄰接的重心間距离 r_k 为反比例的时候发生的。

若杆件是用这样的方法構成的,其中对于所有縫的 r_k 一样(例如杆件是由一样厚度的小木板構成),則条件(5)可以改写为这样的形式:

$$G_k = \Psi S_k \quad (5')$$

即縫的彈性模数 G_k 應該与靜力矩 S_k 为正比例,这样便符合于等强度或所有縫相等的变形度,而后者需要在每一个縫中裝置不同数量的联結系。

这里应该指出配置联结系的限制，僅对于 構件或肢杆数大于二的杆件是必要的，而对于 横断面中有两个对称軸構件或肢杆数大于三的杆件，僅在木結構中遇到。这样，对于金屬杆件，以及对于許多木杆件，在联结系配置中不需限制。

2. 組合杆件的彎曲軸

彎曲軸的微分方程式。以下取(5)式的条件，因此，也需要取图4, d 所載的由于組合杆件弯曲的正交 应力 图形，那么可以假設在杆件每个断面中內的弯曲力矩是由兩部分組成的：有共同中和軸 $x-x$ 的整体杆件在弯曲时內力的力矩，这力矩以 $M_1 = f_1(x)$ 表示，及在其單独肢杆由于在縫中移动增加弯曲时內力的力矩，这力矩以 $M_2 = f_2(x)$ 表示。后者是單独肢杆中力矩的和 $M_2 = \sum m_k$ 。在杆件每个横断面中力矩 $M_1 + M_2$ 的和將等于作用于它的外力矩 $M = F(x)$ ，即

$$M = M_1 + \sum m_k \quad (6)$$

同样的情形，組合杆件的撓曲 y 也分为兩部分：

$$y = y_1 + y_2 \quad (7)$$

式中 $y_1 = f_1(x)$ 为杆件在其受 M_1 作用共同中和軸弯曲时的撓曲（自然，在作用力矩 M 时， y_1 永远將小于整体杆件的撓曲）； $y_2 = f_2(x)$ 为受力矩 $M_2 = \sum m_k$ 作用杆件的肢杆弯曲时的附加撓曲。

应该注意，組合杆件的全撓曲 y 永远大于受同样全弯曲力矩 M 作用的整体杆件的撓曲。

由整体杆件弯曲理論可知以下弯曲力矩与撓曲間一般的关系：

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M$$

所以在所研究的情形中，彎曲力矩 M 和 m_k 可以用相当的撓曲 y_1 和 y_2 來表示：

$$M_1 = -EI \frac{d^2 y_1}{dx^2}$$

$$m_k = -Ei_k \frac{d^2 y_2}{dx^2}$$

而公式(6)可以改寫為這樣的形式：

$$EI \frac{d^2 y_1}{dx^2} + E \sum i_k \frac{d^2 y_2}{dx^2} = -M_1 - \sum m_k = -M \quad (8)$$

式中 I 為杆件橫斷面對其主軸的慣矩，而 $\sum i_k$ 為杆件肢杆橫斷面對本身軸的慣矩和。

為了確定組合的撓曲 y_1 與 y_2 間的關係，試考察兩個正交於杆件軸彼此相距無窮小 dx 的平面所切的杆件構件的平衡（圖4,e）。杆件縫中的移動力與肢桿重心的正交應力由以下的關係聯繫：

$$\left. \begin{aligned} T_1 dx &= F_1 d\sigma_1 \\ T_1 dx &= F_1 d\sigma_1 + F_2 d\sigma_2 \\ T_2 dx &= F_1 d\sigma_1 + F_2 d\sigma_2 + F_3 d\sigma_3 \\ &\dots\dots\dots \\ T_n dx &= F_1 d\sigma_1 + F_2 d\sigma_2 + F_3 d\sigma_3 + \dots\dots + F_n d\sigma_n \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

杆件的單獨肢杆在重心中的正交應力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots\dots$ 在圖4,e中可知與撓曲 y_2 無關，它們僅關係於撓曲 y_1 。

大家知道，在彎曲杆件任何纖維中的應力可以用其軸的變形表示為以下的形式：

$$\sigma = \frac{M}{I} z = -Ez \frac{d^2 y}{dx^2}$$

式中 z 為由所考察的纖維至杆件橫斷面中和軸的距離。