

預应力鋼結構

鍾善桐 著

建筑工程出版社

預 应 力 鋼 結 构

鍾 善 桐 著

北京林学院

建筑工程组

六〇.六

建筑工程出版社出版

• 1959 •

內 容 提 要

預应力鋼結構是鋼結構发展的新方向，是節約鋼材最有效的方法。1956年國家建設委員會組織了預应力鋼結構的研究。本書主要系根據作者參加該項研究工作所得的体会并結合國內外有关文獻写成的。

書中共分四章，其主要內容是：第一章敘述鋼結構預应力的基本原理和施工方法；第二章具体地分析拉杆、梁、桁架等構造及其計算原則；第三章敘述作者提出的解決預应力結構施工复杂的装配式預应力鋼結構；最后一章則列举了一些应用范例。

本書可供從事鋼結構設計和施工的技术人員參考，也可作教學參考書。

預 应 力 鋼 結 构

鍾善桐 著

編 輯：黎 鐘

設 計：趙文林

1959年1月第1版

1959年1月第1次印刷

4,500册

787×1092· $\frac{1}{32}$ · 100千字 · 印張 $5\frac{5}{16}$ · 定價(10)0.76元

成都印制厂印刷 · 新华書店發行 · 書号 1037

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)

目 录

序	4
緒 論	5
第一章 基本原理及材料	11
§ 1 預應力鋼結構的基本原理	11
§ 2 材料和預應力的施加方法	21
§ 3 預應力鋼結構的應用範圍	35
第二章 預應力原理在各种构件中的应用	36
§ 1 拉杆	36
§ 2 梁	47
§ 3 桁架	76
§ 4 其他体系	93
第三章 装配式預應力鋼結構	97
§ 1 基本概念	97
§ 2 装配式梁受靜荷載作用時的計算	98
§ 3 装配式梁受行載作用時的計算	128
§ 4 构造特點	153
§ 5 装配式預應力鋼結構在剛架中的應用	155
第四章 預應力鋼結構的应用实例	160

序

由于祖国工业化建设事业的迅速发展，钢结构在祖国社会主义建设事业中占着极重要的地位，特别在优先发展的重工业企业部门里有着十分广阔的应用范围。

钢在国民经济的各个部门里几乎都是不可缺少的贵重材料，为了加速祖国的社会主义建设，因而在建筑工程中如何尽量节约钢材就成为目前从事建筑事业的工作者们最迫切的任务之一。

在钢结构中采用预加应力的方法是节约钢材降低造价的有效途径，可以省钢 30~40%，具有极大的经济效益。然而，到目前为止，世界各国对这种新型结构的研究还很少，因而实际应用还不多。

为了促进祖国社会主义建设事业的大跃进，作者谨将近年来从事预应力钢结构研究工作的些微心得，结合国内外有关文献，写成本书，供从事金属结构设计和施工工作的同志们参考。由于作者才疏学浅，恐有错误之处，尚望阅读本书者不吝指正。

鍾善桐識

一九五八年五月于哈尔滨

緒 論

自从1949年10月中华人民共和国建立以后，我国的建設事业开始获得了飞跃的发展。1954年6月公布的宪法，规定了我国过渡时期的总任务，并确定了优先发展重工业的社会主义建設方針。

随着祖国工业化建設事业的迅速发展，必須修建大量的工程建筑物；而鋼结构在工业建設，特别是重工业建設中应用十分广泛。由于国民經济的各个部門都需要大量的鋼材，为了节约鋼材，加速祖国社会主义工业化的建設，每一个建筑工作者就要考虑如何在建筑中尽可能地节约鋼材，也就是要严格遵守只有在必需用鋼的建筑物中才采用鋼结构的规定。

尽管如此，在一些重要的經济部門里，例如：冶金工业、化学工业、重型机器制造工业以及国防交通等工业部門中，由于生产性质的要求或建筑技术的限制，仍必須采用金屬结构，特别是这些重工业企业正是我国发展工业化的主要方面，因而鋼结构的需要量并未因限制采用而减少。

同时，由于各項工业均在不断蓬勃发展，特别是重型工业的发展，还要求着建筑结构的相应发展；例如：高炉和平炉容量的不断加大，发电电力的不断增高等。这样，更說明了鋼结构的采用还要求相应的扩展。因而鋼结构的应用，不但不因节约鋼材的限制而减少，相反地却由于建設事业和各項生产工业的发展，鋼结构的采用还将逐渐增加。

由于客观建設的需要，一方面要求不断地扩大鋼结构的需要量，而另一方面又要求尽量节约鋼材的使用。解决这一

矛盾的主要途径是：不断地研究和改进现有鋼结构的型式和設計理論，在不得不采用鋼结构的建筑物中尽量节约鋼材。

預应力鋼结构就是符合这种发展要求的新途径。因为在鋼结构中采用預加应力的方法，可以增加构件的承载能力，达到大量节约鋼材和降低造价的目的。目前我国、苏联以及英、美、德各国的科学家們正在从事这方面的研究工作。

在鋼结构中預加应力的方法，約在二十年前就有人建議采用，然而并未获得推广，发展比較緩慢。

德国狄兴格(Dischinger)教授首先提出在鋼桥中采用高强度鋼索預加应力的方法(1935)，可以获得显著的效果。

此后在各国从事預应力鋼结构的研究工作者有：G.馬涅尔(比)，F.J.薩莫雷(英)，B.弗列茨(德)，R.A.詹根斯(英)，Ю.В.格依达罗夫(苏)，H.A.斯洛尔斯基(苏)，E.E.席白斯曼(苏)，B.M.伐虎尔金(苏)，Г.Д.波波夫(苏)及H.阿什統(美)等人。

在苏联，曾在工程师Г.Д.波波夫和B.M.伐虎尔金的指导下，于1948年設計并建造了某城市中的一个高架桥，采用了梁式刚架混合体系。

当柱和横梁安装好后，先鋪設悬臂梁部分的桥面，使横梁产生变形(图16)。这时安設柔性撑杆。然后再鋪設中部桥面，这样使撑杆得到預拉力。并且当桥在承受活荷作用时，撑杆中永远不出现压力。

改用了这种体系后的优点如下：

- 1) 使用时悬臂梁端部几乎不产生垂直位移($f=7mm$ ，

約为 $\frac{1}{1000}l$)有利于桥面結構；

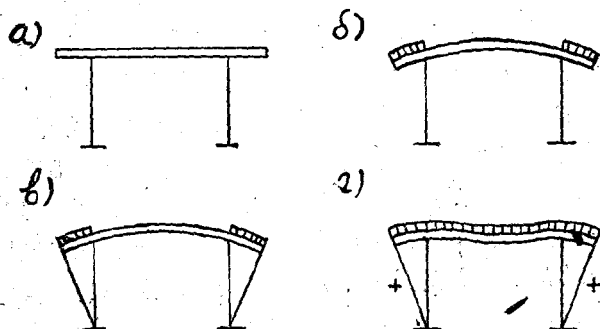


图 1 高架桥施工过程

2) 减小了横梁中部的截面高度,增加了桥下的净空(梁中部因活荷而引起的最大挠度为 20 mm, 约为 $\frac{1}{1420}l$);

3) 由拱式体系改成梁式体系,因而大大减小了桥座尺寸。

结果使支座体积由 3800m^3 减到 800m^3 ,同时还降低了造价 25%。

苏联科学技术副博士 IO. B. 格依达罗夫曾在 1949 年进行了一个双槽钢组成的封闭形截面梁加预应力的试验。先将二槽钢自由叠接,加以和使用荷载相反方向的弯曲,然后将二者焊接;焊合后释去荷载,截面中就存有预应力,提高了使用荷载作用下的承载力。试验结果良好,证明了钢结构中采用预应力可节省钢材并降低造价。不过,到目前为止,在苏联预应力的原理主要用于已有结构的加固中。

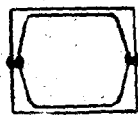


图 2 双槽钢组合梁

比利时人G. 馬涅尔教授对預应力鋼結構的設計原理及应用都有很大的貢獻。1950年他曾对—47英呎跨度的預应力鋼桁架进行了实验研究，并发表了关于鋼桁架加預应力問題的論文，引起了工程技术界的极大兴趣和注意。1953年他曾設計了布魯塞尔(比利时)的一个飞机庫屋盖，宽153m (502呎)，长66m (215呎)。主桁架采用了二跨連續桁架，并应用了預应力原理进行設計(图3及图4)。于1953年建成，是世界上按照預应力原理設計的第一个結構。由于系初次首創，設計

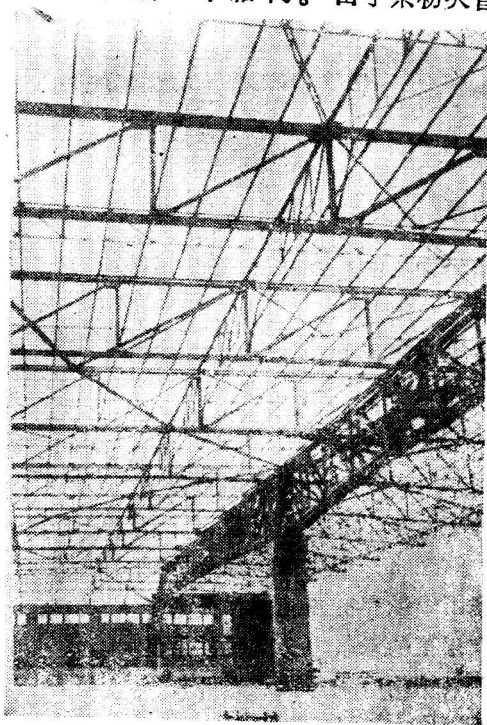


图 3 比利时布魯塞尔飞机庫屋盖

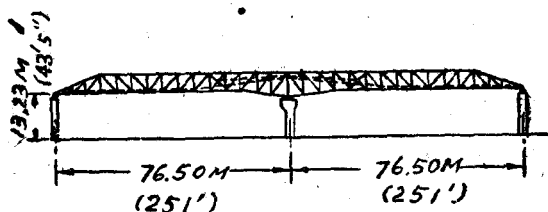
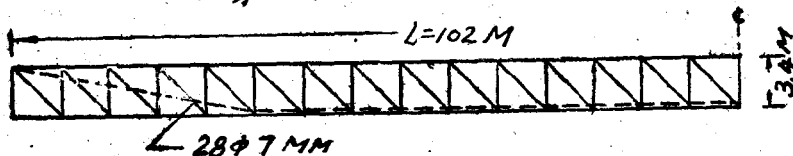


图 4 预应力双跨桁架简图

а) 第一方案



б) 第二方案

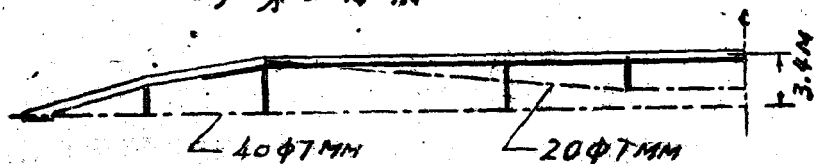


图 5 跨度100m飞机库屋架设计方案

中考虑不够周到，因而经济率不够显著。与不加预应力的设计比较，计省钢12%，造价降低6%。

约在同时，德意志联邦共和国曾在公路钢桥中采用了预应力钢结构。例如第二次世界大战后修复的蒙塔包尔公路桥(1953年)，钢料节省达到了33%。

G. 馬涅尔教授还設計了一个跨度达 100m 的飞机庫屋架，采用平行弦的桁架(图5 a)，計省鋼26%。后来 R.A. 詹根斯改变了他的設計，采用实体式截面，并用双重配索法，省鋼率可达42%。

此后 F.J. 薩莫雷教授也进行了很多研究工作，并在威刚(Wigar)地方应用預应力鋼結構設計建造了一些車庫，并取得了降低造价約20%的效果。英国哈罗新城某工厂的屋盖(图 6)亦采用了預应力鋼桁架。南美有一五跨桥梁曾采用了預加应力的方法，将高强度鋼纜錨固在鋼筋混凝土的桥面板上。

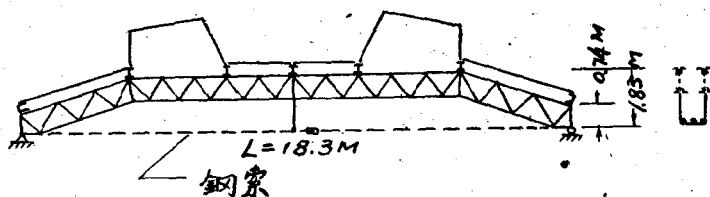


图 6 英国哈罗新城某工厂的預应力鋼屋架簡图

美国曾修建了一座展覽館，屋盖用鋼索及馬鞍形輕鋁板构成，在鋼索中施加預張力，以保証整个屋盖的刚度。

美国还曾生产过一种預应力工字鋼 (ГРЭТ型)，在工字鋼的受拉翼緣上事先挖有小沟，嵌入高强度鋼絲并張拉它使受拉翼緣受到預压力，这时加温到 200°C 左右，用軋軋方法將小沟封閉。这样可使張力鋼絲与梁的翼緣間获得很大的粘着力，可以容許將这种預应力工字梁任意切断使用。經過多次計算，証明此法可使梁的承载力提高36%，并因而得到很大的經濟效果(图 7)。

作者从1954年开始从事預应力鋼結構的研究工作，先后

进行了一系列的預应力实腹梁的实验，并在1957年提出了装配式預应力鋼結構的新型式，以解决这类結構施工复杂的困难。

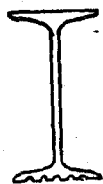


图 7 T_{per} 型工字梁

1956年国家建設委员会制定的科学规划中正式确定了預应力鋼結構为我国的研究项目之一。由冶金工业部建筑科学研究院主持，各高等院校及有关科研部門、設計部門协作进行研究工作。冶金工业部建筑科学研究院并設計了一个12m 預应力鋼桁架，在作者参加领导下于1957年8月完成了实验研究工作，証实了理論設計的正确。由于設計經驗缺乏，該桁架的省鋼率約20%。該項研究工作目前各有关单位正在积极从事研究中。

綜上所述，在鋼結構中采用預应力的方法是节省鋼材降低造价的有效途径，并且給予发展鋼結構的新型式提供了极为广闊的前途。

第一章 基本原理及材料

§ 1 預应力鋼結構的基本原理

預应力是自应力的一种，在任何超靜定（内部或外部超靜定）結構中都可用人為的方法产生一种应力状态，这种应力状态和所有的自应力一样，它的特点是本身自相平衡的力系，与結構的自重及外力无关。

自相平衡的自应力的分布与結構因外力而引起的内力分布并不相同，常在結構的某一部分彼此方向相同，而在另一

部分則方向相反。因而就有可能恰当地选择預應力的分布，調整結構的內力分布，以达到充分發揮构件承載能力的目的，从而获得材料的經濟。

試以二工字鋼組成的横向受弯构件为例，說明应用預应力方法調整內力分布的原理如下。

將二工字鋼自由叠合（图1-1），先在相反方向加外力使之弯曲，由于二者并非整体，截面上应力的分布如图1-16所示。这时將二者彼此焊合。

焊成整体后，卸除外力，梁由于弹性力而产生相反的挠

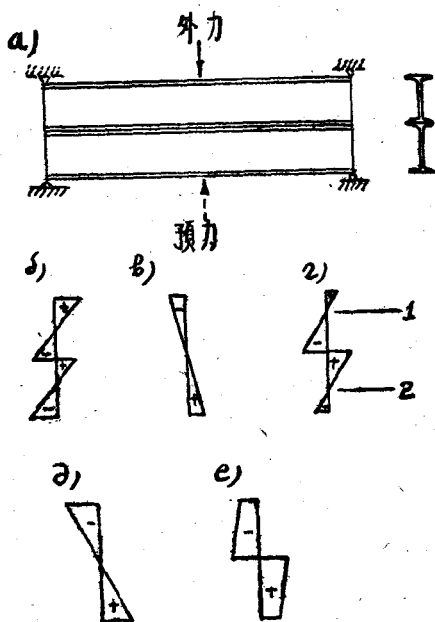


图 1-1 利用預应力調整內力分布的情况

- 曲，引起卸荷应力(图1-1e)，这样就得到卸除預外力后保留在整体梁截面上的預应力，如图1-1e所示。此預应力与外力无关，本身保持平衡；在任何方向的合力为零，且繞截面上任一点的力矩为零：

$$\Sigma X = 0;$$

$$\Sigma M = 0。$$

当此梁开始承受外力作用时，外力将引起截面应力如图1-1d所示。外力引起的应力与預应力叠加的最后应力分布如图1-1e所示。

由图可见，截面中部(1-2之間)区域的預应力与使用应力同号，其他区域則异号。普通梁以纖維流限为承载极限，而在施加預应力后，显然扩大了截面的弹性工作区域，提高了梁的承载能力，从而获得了材料的經濟；同时，由于梁有了預先的反弯曲，还减小了梁在使用时的挠度。

在这种情况下，預应力的作用是調整結構截面上的内力分布。

在連續梁中，可以借支座的升降来創造預应力，以調整内力順梁长的分布，利用梁的多余强度。

图1-2a所示一受均布靜荷載作用的二跨連續梁，弯矩分布如图b所示。显然中間支座的負弯矩 $\frac{1}{8}ql^2$ 比跨中弯矩 $\frac{1}{16}ql^2$ 大一倍；如系定截面梁，則截面需按支座負弯矩設計，这时跨中截面有很大的强度儲备，材料未得到充分利用。如將中間支座降低一适当的距离，即得因支座沉降而产生的内力(图1-2c)，此内力在中間支座附近与外荷引起的内力方向相反，而在其他部分則方向相同。这样，就可达到調整内力順梁长分布的目的；减小了支座弯矩，增加了跨中弯矩，可以使二

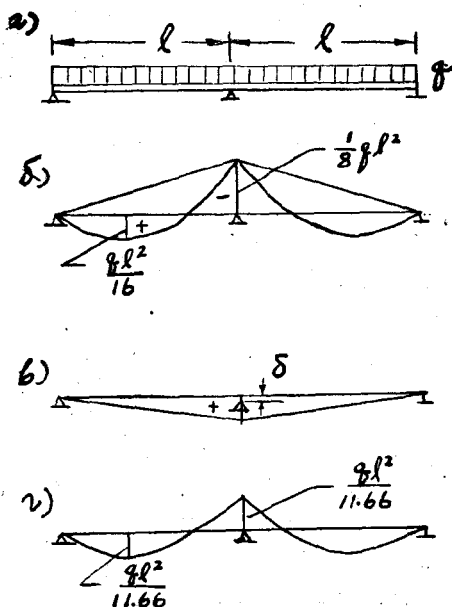


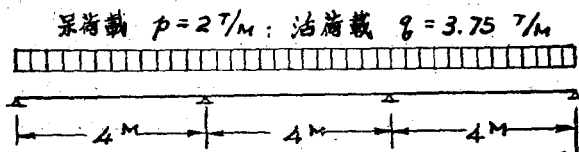
图 1-2 二跨連續梁利用降低支座法以調整
內力順梁长的分布

者皆等于 $\frac{ql^2}{11.66}$ ；減小了定截面梁的多余强度儲备，使材料获得充分的利用。

图1-3 示一受均布动荷载作用的三跨連續梁，最大和最小弯矩包絡图如图1-36所示。由图可见中間支座的最小弯矩比跨中的最大弯矩大。如将中間支座适当下降一距离，亦可达到上述調整內力的目的，使截面可以获得較好的利用。

應該指出，采用預应力来調整內力分布的方法只能用于强度并未充分利用的結構中；对于强度利用較好的結構，例如变截面梁及桁架，則采用此法的效果不大。

a)



b)

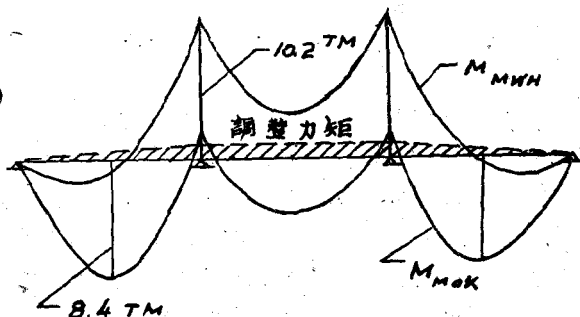


图 1-3 三跨連續梁利用支座升降法調整
內力順梁长的分布

众所周知，鋼材的承載能力决定于其强度，其抗拉强度与抗压强度相等。而普通鋼結構仅利用了鋼材的单向强度。假若設法使結構的某些构件获得与外力作用时方向相反的預应力，則該构件理論上可以承受二倍的外力作用，因而使外力引起的应力可以提高到 $\sigma = 2R$ (R —計算抗力)，使强度提高一倍。但是，正如前面已經提到过的，当結構中的某些构件得到了与外力作用时方向相反的預应力时，則另一些构件必定得到与外力作用时方向相同的預应力。因而利用此法来提高結構的承載力，只在結構某些部分能抵抗更高的內力时才有可能。这就导致在預应力鋼結構中必須采用部分高强度鋼来做构件的必要性。

高强度鋼与普通鋼的弹性模数几乎相同，有时可能还低些。因而单纯用高强度鋼来代替結構中的普通鋼是不經濟的；因为在这种情况下，高强度鋼得不到充分利用强度的条件。假如采用上述預应力的原理，使結構的普通鋼构件获得与外力作用时方向相反的預应力，而使高强度鋼的构件获得方向相同的預应力；那末当外力作用后，普通鋼的构件理論上可以提高强度一倍，而高强度鋼构件也得以充分發揮作用。这样就可获得材料的极大經濟。

茲举一例說明如下。

設在一桁架中加設一根用高强度鋼做的拉条，如 图1-4 所示。在安装鋼拉条以前，桁架已承受了部分設計荷載，然后装上拉条并进行张拉，使桁架得到了反力矩，来抵消桁架中因外荷引起的杆件杆力；使桁架能够繼續承受更大的荷載。当外荷繼續增加时，拉条中的张力也繼續增大。因而在这种情况下，张拉拉条使桁架杆件获得与外力引起的杆力方向相反的預应力，而使拉条获得与外力引起的杆力方向相同的預应力。这既充分發揮了高强度鋼构件的作用，又提高了普通鋼构件的强度利用，因而获得了材料的极大經濟。此法对于强度利用較好的結構是极为有效的。

綜上所述，預应力鋼結構的基本原理可归納成下列二項：

- 1) 单纯調整結構中內力的分布——只能用于强度尚未

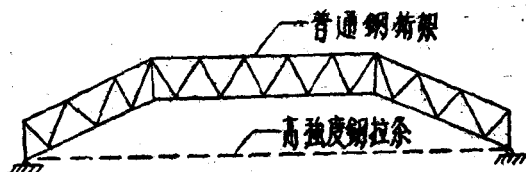


图 1-4 利用高强度鋼的預应力結構