

预 应 力 钢 结 构

钟 善 桐 编 著



哈 尔 滨 工 业 大 学 出 版 社

预 应 力 钢 结 构

钟 善 桐 编 著

哈 尔 滨 工 业 大 学 出 版 社

内 容 提 要

全书共八章。第一章叙述预应力钢结构的基本原理和计算方法；第二章介绍材料、锚具和施工方法；第三、四、五、六章分别阐述受拉构件、受压构件、梁和桁架采用加预应力的原理、设计方法和实验研究成果；第七章简略地介绍预应力用于拱、框架和空间体系的原理；最后一章则列举了一些工程范例。

本书可供有关科研、设计和工程技术人员参考，也可作为大专院校工业与民用建筑专业的选修课教材。

预 应 力 钢 结 构

钟善桐 编著

*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张14.5 字数333,000

1986年12月第1版 1986年12月第1次印刷

印数 1—3,000

书号 15341.38 定价 2.45元

前 言

随着社会主义建设的发展，钢结构已作为重要的建筑结构之一，在国内外获得日益广泛的应用，并正在进入一个新的发展时期。

钢材在国民经济的各个部门里都是不可缺少的重要材料。为了加速社会主义建设，在建筑工程中尽量节约钢材是从事建筑事业的工作者们最重要的任务之一。

在钢结构中采用加预应力的方法，是节约钢材降低造价的有效途径之一，此方法可以省钢20%~30%，具有很好的经济效果。

为了促进我国社会主义建设事业的更快发展，编者试图将国内外近年来的最新科研成果，及一些新的工程实例纳入本书，供从事钢结构教学、科研、设计和施工工作的同志们参考。由于水平所限，可能有不妥甚至错误之处，望读者提出宝贵意见。

哈尔滨建筑工程学院

钟 善 桐

一九八五年五月

基本符号

内外力

- $M(M_p)$ ——设计荷载引起的弯矩；
 M_0 ——预加应力时引起的反弯矩；
 M_1 ——加预应力前，构件中因部分荷载引起的弯矩；
 M_2 ——加预应力后，构件中因续加荷载引起的弯矩；
 N ——设计荷载引起的轴心力；
 N_1 ——加预应力前，构件中因部分荷载引起的轴心力；
 N_2 ——加预应力后，构件中因续加荷载引起的轴心力；
 N_0 ——加预张力计算值；
 Q ——设计荷载引起的剪力；
 E 和 E_K ——分别为普通钢材和高强度钢材的弹性模量。

几何尺寸

- A ——普通钢构件的毛截面面积；
 A_0 ——普通钢构件的净截面面积；
 A_K ——高强度钢构件的截面面积；
 A_{sp} ——钢梁的毛截面面积；
 A_{HT} ——钢梁的净截面面积；
 W_{sp} ——梁毛截面的抵抗矩；
 W_{HT} ——梁净截面的抵抗矩；
 e ——预应力构件的偏心距。

计算系数

- φ ——轴心受压构件的稳定系数；

应力应变

- σ_1^H 和 σ_1^C ——加预应力前，构件中因部分荷载引起的净截面应力和毛截面应力；
 σ_0^H 和 σ_0^C ——加预应力时，引起构件中的净截面应力和毛截面应力；
 σ_2^H 和 σ_2^C ——加预应力后，构件中因续加荷载引起的净截面应力和毛截面应力；
 σ_H 和 σ_C ——构件中净截面应力和毛截面应力的总和；
 σ_1^K 和 σ_2^K ——加预应力前和后，高强度钢构件中因荷载引起的截面应力；
 σ_0^K ——加预应力时，引起的高强度钢构件中的截面应力；
 σ_K ——高强度钢构件截面应力的总和；
 ε_1 ——加预应力前，构件中因部分荷载引起的应变；
 ε_0 ——加预应力时，构件的应变；
 ε_2 ——加预应力后，构件中因续加荷载引起的应变；
 w_p ——静定梁受全部荷载时梁的挠度；

目 录

绪 论	(1)
第一章 预应力钢结构的种类和基本原理	(9)
§ 1.1 预应力钢结构的种类	(9)
§ 1.2 同钢种预应力钢结构的基本原理	(12)
§ 1.3 异钢种预应力钢结构的基本原理	(14)
§ 1.4 预应力结构的计算方法	(19)
第二章 材料和锚具	(24)
§ 2.1 预应力构件的材料	(24)
§ 2.2 高强度钢丝和钢绞线	(26)
§ 2.3 粗钢筋和钢丝束的锚具	(28)
§ 2.4 钢绞线的锚具	(29)
§ 2.5 预应力筋的张拉	(31)
第三章 轴心受拉构件	(38)
§ 3.1 基本原理	(38)
§ 3.2 预应力拉杆的计算	(40)
§ 3.3 预应力拉杆的经济分析	(46)
§ 3.4 预应力拉杆的应用和构造	(51)
§ 3.5 预应力拉杆的实验研究	(52)
第四章 轴心受压构件	(54)
§ 4.1 基本原理	(54)
§ 4.2 预应力撑杆柱的计算	(56)
§ 4.3 预应力撑杆柱的计算实例	(59)
§ 4.4 预应力撑杆柱的实验研究	(61)
第五章 预应力梁	(64)
§ 5.1 预应力梁的构造	(64)
§ 5.2 预应力钢梁的计算	(71)
§ 5.3 预应力钢梁的设计步骤	(74)
§ 5.4 预应力钢梁经济参数的确定	(81)
§ 5.5 考虑塑性发展时预应力梁的计算	(89)
§ 5.6 预应力梁的刚度计算	(91)
§ 5.7 施加预应力阶段梁的总稳定	(93)
§ 5.8 预应力钢梁腹板的局部稳定	(95)
§ 5.9 锚固处的局部应力	(98)

§ 5.10 预应力梁设计实例..... (99)

§ 5.11 预应力吊车梁的计算.....(104)

§ 5.12 下撑式预应力梁的设计.....(109)

§ 5.13 装配式预应力梁.....(110)

§ 5.14 预应力钢梁的实验研究.....(136)

第六章 预应力桁架.....(144)

§ 6.1 预应力桁架的型式.....(144)

§ 6.2 预应力桁架的计算.....(147)

§ 6.3 预应力桁架的构造.....(150)

§ 6.4 预应力桁架的实验研究.....(151)

第七章 拱、框架和空间体系预应力结构.....(170)

§ 7.1 拱体系.....(170)

§ 7.2 厂房屋盖体系.....(171)

§ 7.3 框架体系.....(175)

§ 7.4 网架体系.....(180)

§ 7.5 预应力偏心压杆.....(181)

§ 7.6 预应力罐.....(188)

第八章 预应力钢结构的应用.....(192)

§ 8.1 预应力钢结构在世界各国的应用.....(192)

§ 8.2 预应力钢结构在我国的应用.....(200)

§ 8.3 预应力钢结构在加固工程中的应用.....(204)

附录一 对称工字形截面几何特性表.....(206)

附录二 不对称工字形截面几何特性表.....(211)

附录三 槽钢组合截面几何特性表.....(216)

附录四 焊接工字截面几何特性表.....(218)

附录五 回转半径近似值.....(220)

附录六 钢材重量表.....(221)

参考文献.....(223)

绪 论

自五十年代以来全国修建了大量的工程建筑物，其中钢结构的应用，特别是在重工业建设中的应用更为广泛。但是由于国民经济的各个部门都需大量钢材，为了加速祖国社会主义工业化的建设，每一个建筑工作者都应考虑如何在建筑中尽可能地节约钢材，也就是要遵守只有在必需用钢的建筑物中才采用钢结构的规定。

尽管如此，在一些重要的经济部门里，例如：冶金工业、化学工业、重型机器制造工业、石油工业、造船工业、电力工业以及国防交通等工业部门中，由于生产性质的要求或建筑技术的限制，仍必须大量采用钢结构。同时，各项工业还在不断地发展。例如：高炉和平炉容量的不断加大，单机组发电量的不断增高，重型和特重型的机械设备的不断增大等，都需要采用钢结构。因而钢结构的应用，不但不因节约钢材的要求而减少，相反地却由于建设事业和各项工业生产的发展而增加。特别是一九七八年十二月党的十一届三中全会，作出了把工作重点转移到社会主义现代化建设上来的战略决策，号召全党和全国各族人民：为把我国建设成为一个具有四个现代化的社会主义国家而努力奋斗。因此，在今后的规模宏大的社会主义工业化的建设事业中，钢结构的应用将进入一个新的发展阶段。

综上所述，一方面建设要求扩大钢结构的应用，而另一方面又应该尽量节约钢材。解决这一矛盾的主要途径是：不断研究和改进现有钢结构的型式和设计理论，在应该采用钢结构的建筑物中尽可能节约钢材。

预应力钢结构就是符合这种发展要求的途径之一。因为在钢结构中采用预加应力的方法，可以增加构件的承载能力，达到节约钢材和降低造价的目的。多年来，我国、苏联以及英、美、德各国的科学家们都在从事这方面的研究工作。

预应力的概念出现很早，因为它可以扩大材料的弹性工作范围，提高结构的承载力和减少结构的变形。例如，火车车箱的底梁，很早就采用了加预应力撑杆的办法，以提高承载力并减少变形（图1）。此外，如人们日常使用的雨伞，就是利用了预应力，使薄薄的油纸或绸布，张紧后形成薄膜而能承受横向力的作用。

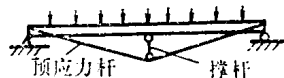


图 1

在钢结构中采用加预应力的方法，于十九世纪末就已出现。图2是1897年茹霍夫（В.Г. Шухова）设计的莫斯科百货商场（ГЮМа）的拱形屋盖结构，这是最早的预应力结构之一。

德国狄兴格（Dischinger）教授首先在钢桥中采用高强度钢索加预应力的方法（1935年），获得了显著的效果。

此后，在各国从事预应力钢结构的研究工作者有：G.马涅尔（比），F.J.萨莫雷（英），B.弗列茨（德），R.A.詹根斯（英），Ю.Б.格依达罗夫（苏），H.A.斯洛

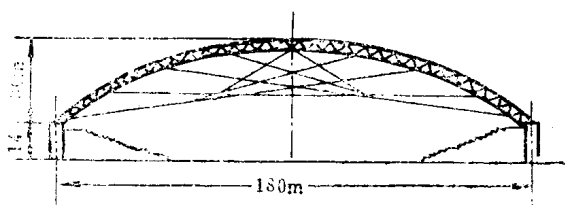


图 2

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. 阿什统 (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 年设计并建造了基辅市中的一个高架桥, 采用了梁式刚架混合体系。该桥由十个间距为 3m 的预应力刚架组成, 跨度为 28.4m, 两端各有 6.5m 的悬臂。当柱和横梁安装好后, 先铺设悬臂梁部分的桥面, 使横梁产生变形 (图 3 中 b)。这时安设柔性撑杆, 然后再铺设中部桥面, 这样使撑杆得到预拉力。并且当桥在承受活荷作用时, 撑杆中永远不出现压力, 成为悬臂端的支座。

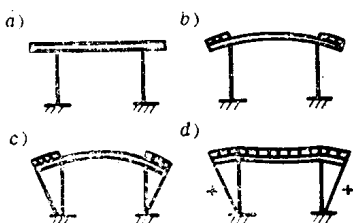


图 3



图 4

改用这种体系的优点如下:

1) 使用时悬臂梁端部几乎不产生垂直位移 ($w = 7\text{mm}$, 约为 $l/1000$), 有利于桥面结构构造。

2) 减少了横梁中部的截面高度, 增加了桥梁下的净空 (梁中部因活荷而引起的最大挠度为 20mm, 约为 $l/1420$)。

3) 由原设计的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 , 同时还降低造价 25%。

1953 年在列宁格勒又修建了一座与上述结构类似的预应力公路桥, 跨度 21m。

苏联科学技术副博士 Ю.Б. 格依达罗夫曾在 1949 年作了一个双槽钢组成的箱形截面梁加预应力的试验。先将二槽钢连接, 施加和使用荷载相反方向的荷载, 然后将二者焊接, 焊接后释去荷载, 截面中就建立了预应力, 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能降低造价 (图 4)。

比利时 G. 马涅尔教授对预应力钢结构的设计原理及应用也有很大的贡献。1950 年他曾对 — 14.33m (47 呎) 跨度的预应力钢桁架进行了实验研究, 发表了关于钢桁架加预应力问题的论文, 引起了工程技术界的极大兴趣和注意。1953 年他曾设计了布鲁塞尔的一个飞机库屋盖, 宽 153m (502 呎), 长 66m (215 呎)。主桁架采用了二跨连续桁

架，并应用了预应力原理进行设计（见图5、6），于1953年建成。由于系初次首创，设计中考虑不够周到，因而经济效果不够显著。与不加预应力的设计相比，省钢12%，降低造价6%。

约在同时，德意志联邦共和国也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（Montabaur）公路桥（1953年），钢材的节省达到了33%。

G.马涅尔教授还设计了一个跨度达100m的飞机库屋架，采用平行弦的桁架（图7a），省钢26%。后来R.A.詹根斯改变了他的设计，采用实体式截面，并用双重配索法，省钢率可达42%（图7b）。

此后，F.J.萨莫雷教授也进行了很多研究工作，并在威刚（Wigan）市用预应力钢结构设计建造了一些车库，取得了降

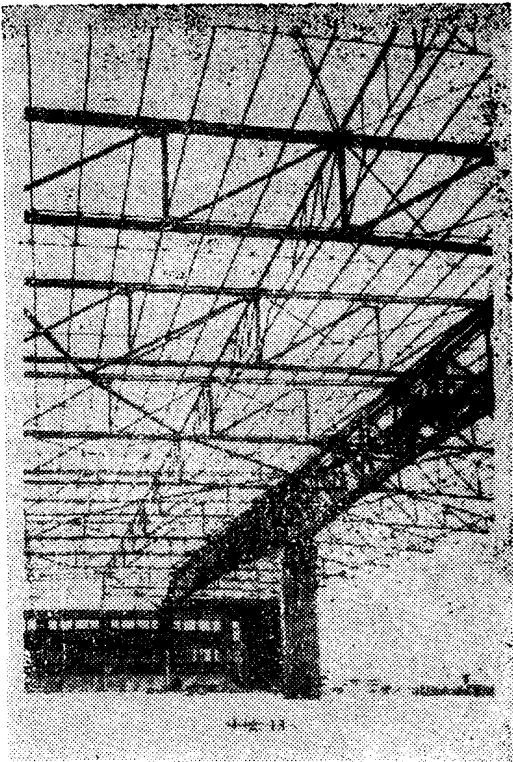


图 5 照片

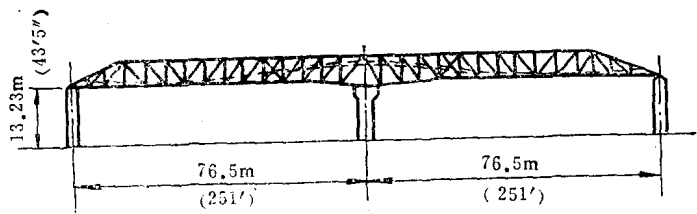


图 6

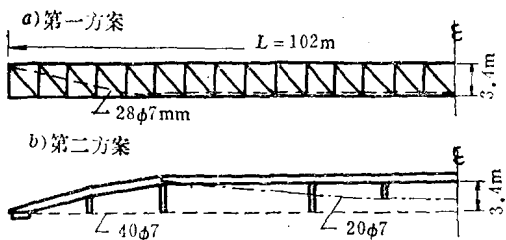


图 7

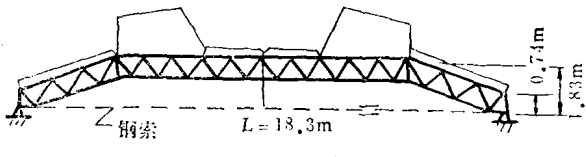


图 8

低造价约20%的效果。英国哈罗新城某工厂的屋盖（图8）也采用了预应力钢桁架。南美有一五跨桥梁曾采用加预应力的方法，将高强度钢缆锚固在钢筋混凝土的桥面板上。

六十年代，在美国各地陆续兴建了一批公共汽车车库，在屋盖体系中，很多采用了预应力钢桁架。例如，纽约就建造了三个大跨度公共汽车停车场，屋架跨度为60.96m

(200呎)，间距15.24m (50呎)，在下弦位置布置了高强度预应力钢丝索。

美国还生产一种预应力工字钢 (ГРЭТ型)。在工字钢的受拉翼缘上事先挖出小沟，嵌入高强度钢丝并张拉它，使受拉翼缘受到预压力，这时加温到200℃左右，用辊轧方法将小沟封闭。这样可使张力钢丝与梁的翼缘间获得很大的粘着力，容许将这种预应力工字梁任意切断使用。经过多次计算，证明此法可使梁的承载力提高36%，从而得到很大的经济效益 (图9)。

1977年苏联在伏尔斯克 (Волжск) 城修建了一个商业中心。平面尺寸72×72m，柱距6m，挑檐6m，采用了网架结构，网格尺寸3×3m。在安装完屋面后，顺二对角线方向布置了两根高强度预应力杆施加预应力，通过四个立柱各以196kN(20t)的力作用于整个网架结构。由于采用了预应力网架体系，使网架高度减小到2m。如果采用平面桁架体系，高为6m。虽然这两种体系耗钢量相同，但因降低了建筑物高度，造价和采暖费用却大为降低 (图10)。

总之，预应力钢结构具有节约钢材，减轻自重等优点。一般情况下，可比普通钢结构省钢20~25%，但制造和施工比较费工。对于资本主义国家来说，生产利润起决定性作用，只有在这种结构的造价低于普通钢结构时才能获得采用。尽管如此，钢产量占世



图 9

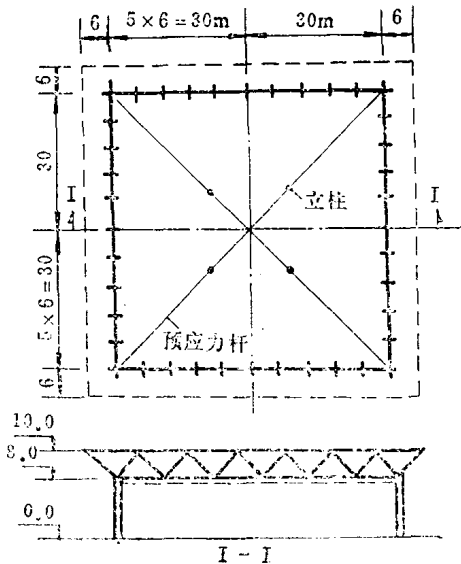


图 10

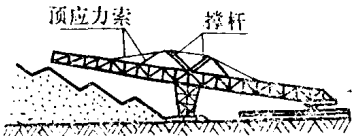


图 11

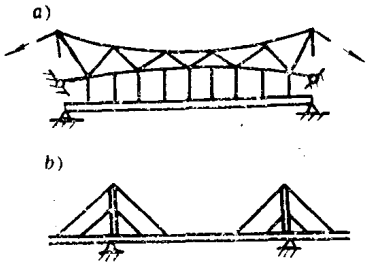


图 12

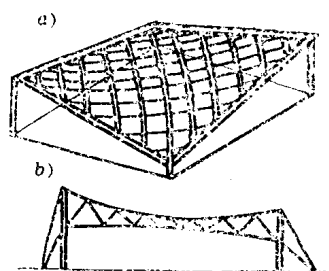


图 13

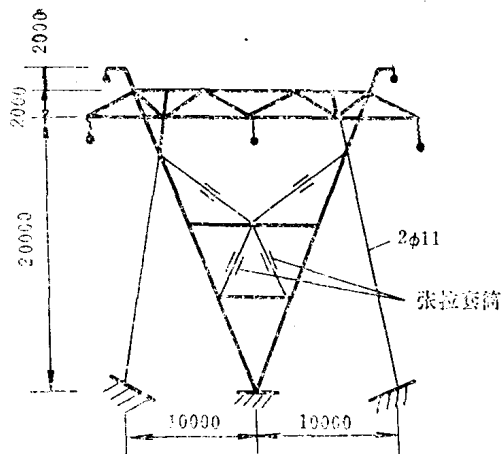


图 14

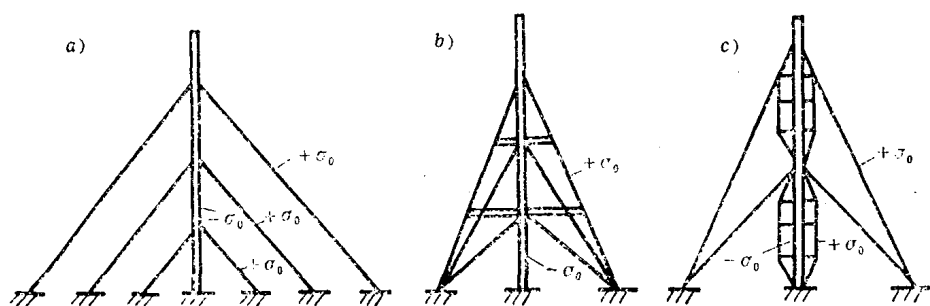


图 15

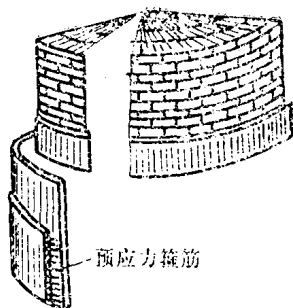


图 16

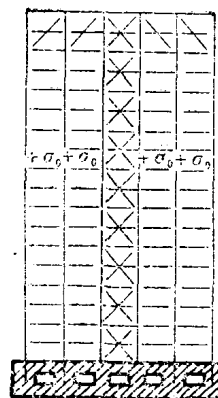


图 17

界首位的美国，在预应力钢结构的应用范围和数量方面都占世界第一位。其次是苏联和英国等。到七十年代为止，在欧洲曾经举行过三次国际学术讨论会。第一次是1963年在德意志民主共和国，第二次是1967年在捷克，第三次是1971年在苏联。在美国也经常举行预应力钢结构的学术讨论会，如1969年2月美国土木工程学会和联邦公路局联合举行了第三次预应力钢结构学术讨论会。会议提出了很多有价值的科研论文，对促进这一新结构的推广应用起了很大的作用。

预应力钢结构的用途很广。从结构体系来说,可用于轴心受力(拉杆和压杆)杆件、受弯杆件(实腹梁和桁架)、拱和刚架、静定结构和超静定结构。从结构种类来说,可用于普通房屋结构、桥梁结构(图12)、悬索结构(图13)、网架结构和塔桅结构(图14、15)及栈桥结构(图11)等。一些应用实例参见本书第八章。

国外,这种结构广泛用于公路和城市桥梁、大跨度屋盖结构及楼盖和平台结构中。

我国对预应力钢结构的研究是从1954年开始的。最早参加这项工作的有:哈尔滨工业大学土木系(现哈尔滨建筑工程学院),冶金部建筑科学研究院,清华大学,西安冶金建筑学院及天津大学等。作者从1954年开始,先后进行了一系列的预应力实腹梁和预应力桁架的实验研究。1956年国家基本建设委员会制定的科学规划中,正式确定了预应力钢结构为我国的科学研究项目之一。冶金工业部建筑科学研究院设计了一个12m 预应力钢桁架,在作者参加下于1957年8月在哈尔滨工业大学完成了实验研究工作,证明了设计正确,这是国内第一个预应力钢结构的模型试验。

1958年作者为哈尔滨电机厂设计了 $L=30\text{m}$ 预应力拱形屋盖梁,采用钢丝束作预应力筋,比原设计的钢屋架节约钢材约18%。这种结构的特点是作为拱拉杆的预应力筋,在使用荷载作用下,由于应力高而变形大,因而在柱端应设置滚动支座,以免对柱产生很大的推力。因车间基本已建成,柱端构造无法改变,同时只能在整个车间中采用三个这种预应力拱形屋盖梁,在荷载作用下,这种结构的挠度比其他普通钢屋架的大很多,构造也难处理。因此设计并未实现(图18)。

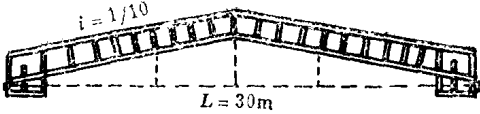


图 18

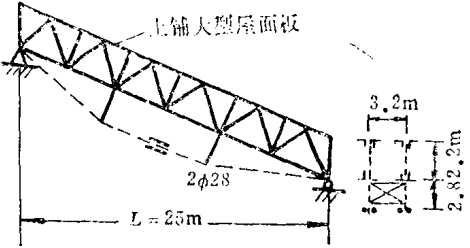


图 19

国内第一个预应力钢结构是山西大同煤矿四老沟矿的输煤栈桥, $L=25\text{m}$, 1958年9月建成。系冶金部建筑科学研究院设计,施工时与哈工大合作进行了设计荷载的试压试验,整体吊装。钢材采用3号钢,用正反丝扣加预应力。耗钢量 1.88kN/m ,总重 653.7kN (66.7t),由于取消了原设计中的中间柱,因而省钢率达51%(图19)。

第二个预应力钢结构是太原钢铁厂焦化厂的输煤栈桥, $L=53\text{m}$, 1959年9月建成。也是冶金部建筑科学研究院设计的,结构型式和四老沟矿采用的相同。节约钢材35%,降低造价30%,采用了 25FC 螺纹钢筋作预应力筋,用正反螺丝扣加预应力。由于焦化厂腐蚀性气体的长期侵蚀,预应力筋锈蚀很严重,因而于1979年进行了加固。对预应力筋作了除锈和防腐处理,并将走道板改用木板以减轻结构的恒荷载。

以后,在全国各大矿山、工厂中相继采用并建成了不同跨度的输送栈桥,跨度由25m起,逐渐超过50m,使用良好。例如,鞍山焦化耐火材料设计研究院设计,并于1975年建成的本钢焦化厂的输煤栈桥,跨度分别为36m和49m,采用预应力配筋的平行弦桁架,节约钢材20%。还有1977年建成的山西洪桐县焦化厂49m跨度预应力钢栈桥。化工

部还编制了定型设计图纸。到目前为止，全国范围已建成的预应力钢栈桥不下三、四十处。此外1960年西安冶金建筑学院为太原钢铁厂钢坯库车间设计并使用了四根 $L=12\text{m}$ 的下撑式预应力钢吊车梁。吊车起重量 $Q=75\text{t}(735\text{kN})$ ，为重级工作制，采用 $\phi 4$ 高强度钢丝作预应力筋，用楔形锚具。迄今使用良好。

应该指出的是，1982年，西北电力设计院为宁夏石咀山市大武口电厂设计了 $L=60\text{m}$ 的输煤预应力钢栈桥。这一结构的特点是：跨度和荷载都很大，因而首次采用钢绞线作预应力筋，用铰JM12—6锚具进行锚固。众所周知，在此以前，国内几乎所有建成的预应力钢结构都采用二级或三级粗钢筋作预应力筋，只有太原钢铁厂的吊车梁例外。由于这些钢筋的强度不太高，因而经济效果不大，且限制了这种结构向更大跨度和更大荷载方向发展。大武口电厂的预应力钢栈桥采用了强度很高的钢绞线作预应力筋，将促使这类结构的进一步发展和推广应用。为了取得经验，于1982年4月，在哈尔滨建筑工程学院作了 $1/\sqrt{12}$ 的静载和动力特性的模型试验，结果正常，上弦压杆屈曲破坏，安全度达1.866（图21）。

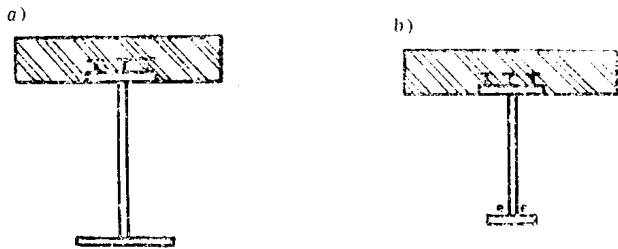


图 20

总之，预应力钢结构可以节约钢材和降低造价。其应用范围很广，不但广泛用于新建工程，还可用于旧结构的加固，是一种值得研究、有发展前途的新结构。

此外，还有一种预应力组合结构，即钢梁和混凝土板用抗剪件可靠地连接成整体，同时施加预应力，如图20b所示。这种结构适用于楼盖、重型平台及桥面结构，不但能节约钢材，而且可降低结构高度，且减小挠度。图20a示非预应力组合梁。

在欧美，高层建筑中普遍采用的是钢结构楼盖，因而广泛采用钢梁和混凝土板共同工作的组合结构。在这类建筑物中，减小楼盖结构所占的空间具有很大的经济意义，因而发展趋势是采用高强度钢梁，尽可能减少梁高。但由于梁高的减小，使用时挠度将增加，不能满足使用要求。为了解决这一矛盾，1952年在美国出现了一种预应力组合梁，如图22所示。

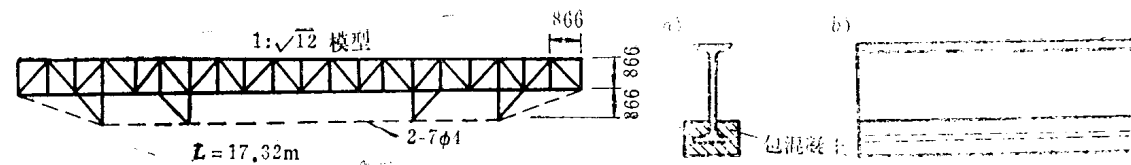


图 21

图 22

这种预应力梁的原理是把钢梁按使用荷载方向加荷预弯曲，使应力至少等于钢梁的容许应力，这时将受拉翼缘包以高标号混凝土，待混凝土硬化后卸除外力，梁下翼

缘的拉力传给混凝土，使混凝土受压，而梁截面获得了预应力。

为了消除预制梁的弯曲变形，要求钢梁事先做成上拱形，加预应力后成为平直形。

制成的这种预应力组合梁作为成品构件出厂，运到现场进行安装。两端可和混凝土柱或钢柱简支，形成铰接排架；也可以加强连接做成刚接的多层框架。当采用后一种体系时，这种预应力梁可只在两个反弯点之间采用预弯施加预应力。

安装就位后，再在腹板两侧和上翼缘包灌混凝土。可以和桥面板一起整浇，也可在现场安装前先把腹板包上混凝土，安装后再装预制楼板。

这种预应力钢梁将和楼板一起承受使用荷载的作用。由于已有预应力，外荷载（包括楼板自重等）引起的截面应力主要起着取代预应力的作用，处于下翼缘的混凝土始终受压，不开裂，因而提高了结构刚度，减小了挠度。

英、美、法等国对预应力组合梁都进行了一系列的理论和实验研究工作，包括设计原理、混凝土的徐变和收缩、疲劳及施工制造等问题。还对更高强度钢材的使用问题进行了研究。这类结构主要用于高层建筑物的楼盖结构中，也有用于公路桥梁结构中的实例。它的优点是采用高强度钢材，节省了钢材，降低了梁高而避免了过大的变形。

预应力组合梁将在组合结构中介绍。其他如悬索屋盖结构及加预应力的杆塔结构等，本书皆不涉及。

第一章 预应力钢结构的种类和基本原理

§ 1.1 预应力钢结构的种类

根据采用的材料不同,预应力钢结构可分为:同钢种预应力钢结构和异钢种预应力钢结构两类。

1. 同钢种预应力钢结构:

如绪论中已经提到的将两个槽钢迭接,施加和使用荷载反向的弯曲(图1.1、1.8),然后将二者焊连,焊连成整体后释去反向荷载,截面中就建立了预应力。在使用荷载作用下受弯时,由于上下边缘处获得了反号的预应力而提高了构件的承载力。

这种建立预应力的方法只适用于内力分布不均匀的结构体系,例如,按弹性设计的实腹钢梁及连续梁体系等。施加预应力的作用是调整结构的内力分布,充分发挥材料的承载力。

2. 异钢种预应力钢结构:

在受弯体系中,增设一些高强度钢材的构件,张拉这些构件,在体系中建立一种和使用时反号的预应力,从而提高了体系的承载力。这种方法可应用于各种结构体系。

如图1.2所示的简支架,使用时的M图如图中a所示。

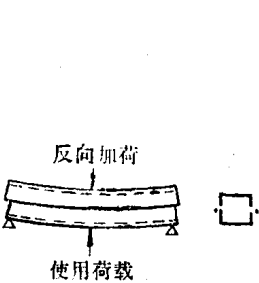


图 1.1

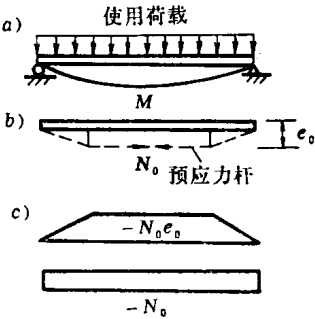


图 1.2

在梁下方设一预应力杆,并张拉之(图b),梁内建立了预应力,包括反向弯矩 $N_0 e_0$ 及轴心压力 N_0 。由于抵消了一些使用荷载作用下的正弯矩,因而提高了梁的承载力。

这种预应力钢结构的特点是增设了预应力杆件。这些预应力杆件必须采用强度较高的钢材,才能取得经济效益。实质是采用一些高强度钢材取代一些普通钢材,成为混合钢种结构。不过结构中使用两种不同强度的钢材时,一般情况下,高强度钢材的强度不能充分利用,唯有采用预应力的方法,才能得到充分利用。

显然，这种在结构体系中增加异钢种构件，建立预应力的方法，主要适用于内力分布较为均匀的结构体系。

根据使用目的的不同，预应力钢结构又可分为提高承载能力和提高刚度两种。有时既提高了承载力，也提高了刚度。

上面介绍的同钢种预应力和异钢种预应力的结构都属于提高承载力的一种。此外，还有为增加结构的刚度而采用预应力的结构。例如，张紧的柔性圆钢筋可以承受压力作用。如图1.3所示。

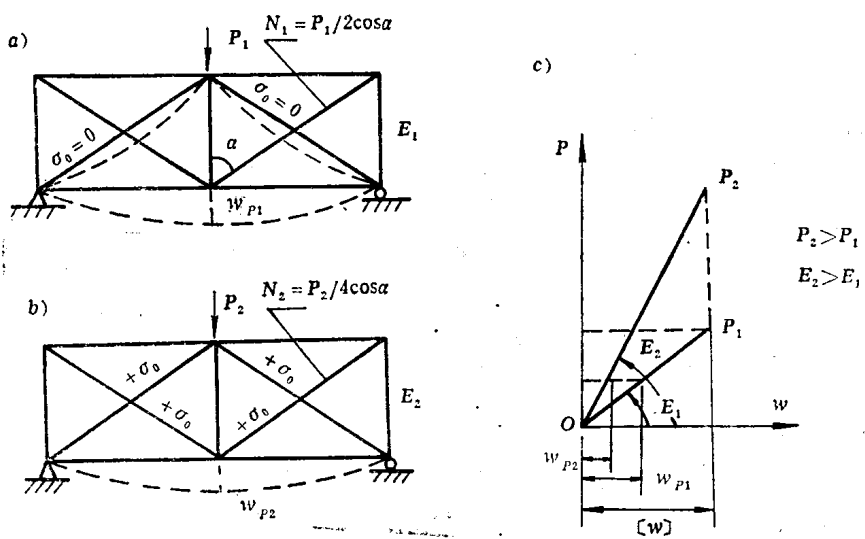


图 1.3

四根斜杆采用了柔性的圆钢筋。图a是未加预应力的情况($\sigma_0 = 0$)，受荷载 P_1 作用时，压杆退出工作，拉杆的拉力为 $N_1 = P_1 / (2 \cos \alpha)$ 。图b示对腹杆加一定的预拉力 $+\sigma_0$ ，其值稍大于荷载作用下产生的压力，因而能保持劲性而抗压，在荷载 P_2 作用下，四根腹杆皆参加受力，内力为 $N_2 = \pm P_2 / (4 \cos \alpha)$ 。显然， N_2 只有 N_1 的一半。当荷载相同时， $w_{P2} < w_{P1}$ ，提高了结构的刚度。如果控制在允许值 $[w]$ 以内，则承载力 $P_2 > P_1$ ，见图c。这说明，圆钢筋由于长细比太大，不能承受压力。但如果事先施加预拉力，只要使用时的压力不超过此预拉力，杆件就能承受压力。这就是说：由于预加应力的作用，使柔性杆件变成劲性杆，提高了结构体系的刚度。这种方法广泛用于悬索结构、支撑体系和塔桅结构中。例如，1956年建成的广州电视塔，除平台梁以外，全部构件都由圆钢组成，同时采用了预应力交叉腹杆体系。

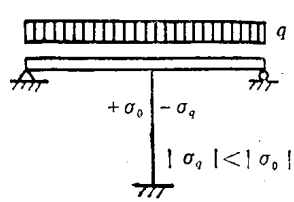


图 1.4

图1.4示一简支梁，如果条件允许在跨中向下引一根钢筋，加临时荷载或设法拉紧钢筋，使它产生预拉力 $+\sigma_0$ ，它就可以承受不超过此预拉力的压力。当在荷载 q 作用下，钢筋获得压力 $-\sigma_q$ ，因为 $|\sigma_q| < |\sigma_0|$ ，钢筋就起着梁的弹性支座的作用。此法并不提高梁的承载力，但却大大减小了使用时梁的挠度变化，提高了