

预施应力钢筋混凝土 在桥梁上的应用

技术科学副博士 B.B.雅庫包夫斯基著

張乙銘 蕭慶羽 过沛淵合譯

人民交通出版社

預施应力鋼筋混凝土 在桥梁上的应用

技术科学副博士 B. B. 雅庫包夫斯基著

張乙銘 蕭庆羽 过沛淵合譯

人民交通出版社

本書系統地敘述了預施应力鋼筋混凝土結構的一般概念，其計算與構造的基本原理，以及預施应力鋼筋混凝土上部構造大型公路桥梁的建造經驗與設計資料等。

本書可供研究应力—加強鋼筋混凝土構築物的設計與建造問題的工程師、設計人員和施工人員參考。

統一書號: 15044·1159—京

預施应力鋼筋混凝土在桥梁上的应用

Б. В. ЯКУБОВСКИЙ

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО
НАПРЯЖЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В МОСТАХ
ДОРИЗДАТ
МОСКВА—1950

本書根據蘇聯道路出版社1950年莫斯科俄文版本譯出

張乙銘 蕭庆羽 过沛淵合譯

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

新华書店發行

机械工業出版社印刷厂排版

公私合營慈成印刷工厂印刷

1956年12月北京第一版 1956年12月北京第一次印刷

開本: 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張: 7 $\frac{1}{4}$ 張 插頁1頁

全書: 177,000字 印數: 1—3,600冊

定價(11): 1.80元

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號)

目 录

序.....	2
第一章 預施应力鋼筋混凝土結構.....	4
§1 預施应力鋼筋混凝土結構的一般概念.....	4
§2 預施应力鋼筋混凝土結構基本式样的概述.....	42
§3 預施应力結構在苏联的發展.....	61
第二章 具有預施应力鋼筋混凝土上部構造的大型公路	
桥梁的設計.....	71
§4 桥梁方案与結構的选择.....	71
§5 上部構造的結構.....	77
§6 上部構造的計算.....	92
第三章 建桥工程的施工与組織.....	113
§7 施工組織設計.....	113
§8 桥头路基的建造.....	115
§9 墩台的建造.....	117
§10 上部構造的木模和鋼筋在鋼筋混凝土 結構 基地	
上的制备	120
§11 上部構造鋼筋混凝土梁的制造	145
§12 鋼筋混凝土梁在桥孔上的安裝	175
§13 裝配式結構在桥孔上进行整体化	182
§14 建筑工程的完成期限	185
第四章 工作總結.....	188
§15 应力加强結構的試驗資料	188
§16 应力配筋桥梁新結構的研究	205
§17 結論	222
計算中所采用的符号.....	228

序

苏联工业和建筑业正沿着技术进步和提高生产技艺的途径稳步地发展着。建筑装备以先进的技术,不断地提高生产技术水平,扩大了广泛应用科学成就的可能。

应力—加强钢筋混凝土的应用的日益发展,是建筑结构方面技术进步的表现之一。

预施应力钢筋混凝土的主要优点是其抗裂性高,承重构件重量减轻,以及易于达到装配式结构的广泛应用、建筑工业化和应用快速的施工方法。

应力—加强钢筋混凝土的抗裂性,在遭受对金属起破坏作用的侵蚀因素影响,以及需要高度气密性能和水密性能的结构中应用,是特殊合理的。在混凝土中没有裂缝,能保证钢筋可靠地防止外界的有害影响和延长建筑物的使用年限。

高强度混凝土和钢筋的合理应用,能使结构减轻、建筑高度缩小和材料消耗降低。

公路桥梁为预施应力结构获得应用的方面之一。

战后斯大林五年计划的最初年代中,苏联桥梁建筑中出现了新的结构——在铁路桥梁建筑中获得应用的 A. П. 柯罗夫金工程师式的预施应力钢筋混凝土梁式上部构造。

1949年,苏联内务部公路建筑者按这种式样设计并建造了大型公路桥梁。应力—加强构件组成的装配式结构的大量应用,其制造方面的工业化方法和建筑这种桥梁时所采用的拼装方法,指出了这类构筑物在桥梁建筑技术上的许多优点。

在目前,用应力—加强钢筋混凝土制成的跨越结构的、孔径更大的桥梁工程,已为公路建设者——建筑家们所实现。

这些桥梁的设计与建造经验,可以有助于建造更完善的构筑物。

为了深入研究和交流已有的預施应力桥梁結構的建造經驗，特写此書。

本書可供面临着应力—加强鋼筋混凝土構造物設計与建造問題的工程师、設計人員和施工人員参考。因为本書基本上敘述了預施应力鋼筋混凝土上部構造的第一座大型公路桥梁的建造經驗，至於其設計和建造的資料，在本書中亦尽可能合理詳尽地引述了。

为使以前未从事預施应力結構的工程师們易於了解此書，以及为了有助於創造性地拟定新的、更完善的結構，在本書第一章內引述了預施应力結構的一般概念及其計算与構造的基本原理。

採用应力—加强結構的第一座大型公路桥梁的建成，是很多設計工作人員和苏联内务部公路总局公路機構的建筑者們工作的成果。

在本書适当的章节內提出了許多精通这种先进技术且對本書選擇資料方面給予很大幫助的工程师的名字。在初步审核和商討全書及其个别章节的原稿时，这些同志以其批評的意見幫助作者改正了許多已發現的錯誤。

对所有这些同人，以及为上部構造（第二章§6^①）計算准备資料的 M. П. 富維金斯基工程师和审核原稿並提出許多寶貴意見的 E. E. 紀卜西曼教授，著者謹向他們深致謝忱。

著 者

① 原文錯印为 §8 ——譯者。

第一章 預施应力鋼筋混凝土結構

§1 預施应力鋼筋混凝土結構的一般概念

1 普通形式鋼筋混凝土結構的缺点

上世紀末期，作为一种新建築材料的鋼筋混凝土的出現，在相当程度上促进了建築結構的快速發展。

鋼筋混凝土構築物具有整体性、耐火性、較木質和金屬結構大的抵抗气体影响的稳定性。

在建造鋼筋混凝土構築物时，可广泛地利用当地材料——砂、礫石，碎石，还需要比較少量的鋼筋。

鋼筋混凝土在工業建築、水工建築中以及在建造桥梁时，获得了特別广泛的应用。

現時，已用鋼筋混凝土建造了大量拱桥、桁架桥、梁式桥，無論以其跨度的大小或合理的構造方式来講，都是很特出的。

可是除了許多优点以外，作为建築材料的鋼筋混凝土亦具有很多缺点。其中最重要的是混凝土的引伸性很小，引起裂縫过早出現。同时混凝土的極限抗拉强度仅为其抗压强度的 0.1。

各标号混凝土的極限引伸，即混凝土接近破損时的最大变形，約为每公尺 0.10~0.16 公厘。此时，普通鋼筋的引伸量当最大容許应力时約为 0.6 公厘，而在屈伏点时則为每公尺 1~1.2 公厘。事实上，当鋼筋应力仅达 200~400 公斤/平方公分时，受拉区混凝土內就出現了裂縫，而当鋼筋內的应力为 1200~1300 公斤/平方公分时，裂縫能达 0.25~0.30 公厘的开口。这种裂縫的寬度，就可能使潮湿气体侵蝕鋼筋。

混凝土引伸性小，使得鋼筋混凝土受拉和受弯構件的截面不能完全利用。就是由於此一原因而採用高强度鋼的鋼筋和高标号混凝土，所得的效果亦不大。

鋼筋混凝土受弯構件最普通的截面——矩形和 T 形截面示如

圖 1。在計算結構構件的強度時，僅考慮混凝土陰影部承受壓力。在截面未划綫部分，承受了剪應力的混凝土，基本上僅為聯系鋼筋並使其不受外界有害的影響。

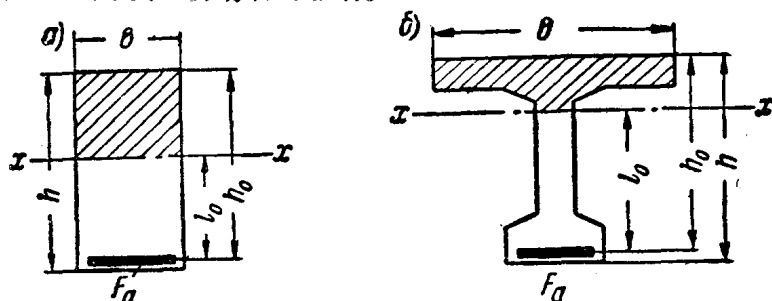


圖 1 鋼筋混凝土受彎構件的普通截面

因此，這部分混凝土，並非有效地參加構件的工作，承受實際外力的作用，而是增加構筑物本身重量的附加荷載。

所以在鋼筋混凝土梁式結構中，由於本身重量的荷載特別大，結果其截面很高，並很笨重，且採用梁式結構時的跨度却又是比較小的。

公路桥梁定型梁式上部構造的建筑
高度与鋼筋混凝土的体积

表 1

名 称	淨 跨 度 (公尺)		
	9	12	16
建筑高度(公尺)	1.28	1.68	1.98
上部構造鋼筋混凝土的体积(立方公尺)	32.15	48.07	75.68

从表 1 得出，跨度从 9 公尺增到 16 公尺，即增加了 0.72 倍时（按計算跨度值），在鋼筋混凝土梁式上部構造中，鋼筋用量增加了 1.35 倍。同时在装配式鋼筋混凝土結構中，个别構件的重量达到很大的数值，因此限制了装配式結構应用的可能。

混凝土在受拉区对鋼筋的保护作用不很可靠，因为潮湿气体穿通混凝土裂縫，引起了鋼筋的銹蝕。此外，裂縫的出現能导致鋼筋混凝土結構剛性的部分損失和降低構筑物的使用質量。因此，在設計鋼筋混凝土結構時，必須採取選擇和安置鋼筋的特殊

方法，以限制裂縫开展的程度。为此目的，通常採用規律變形鋼筋。但这样还不能避免混凝土裂縫的过早出現，只不过改变抗裂的性質而已。当使用規律變形鋼筋时，虽減少了个别裂縫开展的程度，但增加了構件單位長度上裂縫的数量。

当普通鋼筋混凝土採用高强度的材料时所得的經濟效果不大，这也可以用混凝土受拉的作用不佳來說明。

高强度鋼筋不能应用高的容許应力，因为此时在混凝土中，裂縫的开口將會很大。

在受压区应用高强度混凝土，很少能提高結構的承載能力，因为后者是取決於鋼筋內的应力。此外，混凝土提高标号后的引伸量亦增加不大。

可指出下述事实作为例証：当比較二个具有等量3号鋼的鋼筋（3%），由《140》和《350》号的混凝土所制就的矩形梁时（按破損荷重法），混凝土的强度增至 $2\frac{1}{2}$ 倍，而梁的承載能力不过增加22%。

此时充分利用高标号混凝土和高極限强度的鋼筋，按理論計算，截面能予減小，因而也就降低了混凝土結構的重量。

在鋼筋混凝土中採用高强度材料能产生显著的經濟效果，还是因为在材料質量提高时，其强度增加的程度比价格增加的程度要大得多。

例如：在鋼筋混凝土中，普通应用極限强度約为3800公斤/平方公分和屈伏限度2500公斤/平方公分的3号鋼的鋼筋，每吨价550~650盧布，而直徑5公厘、極限强度10000~12000公斤/平方公分的光面鋼繩鋼絲，每吨价1050~1320盧布^①。

以这些材料比价的关系（材料單位重量的价格对單位强度之比），能大致估出由於应用高强度鋼所得的節約值。對於3号鋼的鋼筋和鋼繩鋼絲价格的平均值來說，其單价之比約为1.5。

当应用提高标号的混凝土时，能获得更高的經濟指标。例如，以140号的混凝土改为350号，混凝土的單价就降低了約42.86%。

① 此价格和下面所列举的价格是根据1950年的市价表採用的。

因此，提高混凝土受拉的強度並增高其引伸性，也許會導致更為完全地利用受彎構件的截面和能够合理地使用高標號鋼筋與高標號混凝土。可是企圖得到具有這種性質的混凝土，到現在還未有顯著的成果。新型膨脹水泥亦未提供解決這種問題的可能。

應用預施應力鋼筋混凝土，是現時消除普通鋼筋混凝土的上述缺點和提高受拉及受彎構件的質量與達到節約的現實和合宜的方法。

2 預施應力鋼筋混凝土結構的受力性質

預施應力在鋼筋混凝土結構中產生的概念，就是主要的承重鋼筋混凝土構件在承受工作情形中的全部靜載和活載以前，已處於應力狀態。即在使用情形下發生拉應力區域的混凝土中，預先施加壓應力。

混凝土受拉區域預先施加的壓應力值，須使得結構在使用時由於靜載和活載（拉應力）以及預施力（壓應力）所產生的總應力不引起混凝土受拉，或不超过混凝土受拉的容許應力。

在調整受拉區域應力的同時，在結構預加應力過程中可以稍許降低混凝土受壓區域的應力。為此，在鋼筋混凝土構件預先進入應力狀態時，在荷載下將承受壓力的區域上加以這種數值的拉應力，使混凝土不致有破壞其整體性的裂縫出現的應力。

鋼筋混凝土構件必要的應力狀態，實際上為鋼筋混凝土截面中的預拉鋼筋所產生。所以預施應力鋼筋混凝土結構亦稱為應力——加強的或具有人為應力鋼筋的結構。

預拉鋼筋待其固定於結構中的混凝土後，便從張拉鋼筋的握緊器中放鬆。鋼筋趨向縮短，緊壓着混凝土構件，因而使周圍混凝土產生了預壓應力。

如果預拉鋼筋均勻地佈置在截面上或放置在鋼筋混凝土構件截面的重心處，則預壓應力將均勻地作用於截面上（圖2，a）。

在受彎構件中鋼筋這樣佈置是不利的，因為在以後承受使用荷載時僅將發生壓應力的區域上，同時也出現了預壓應力。

所以，在受弯构件中将应力钢筋如图2, 6所示的那样来放置。

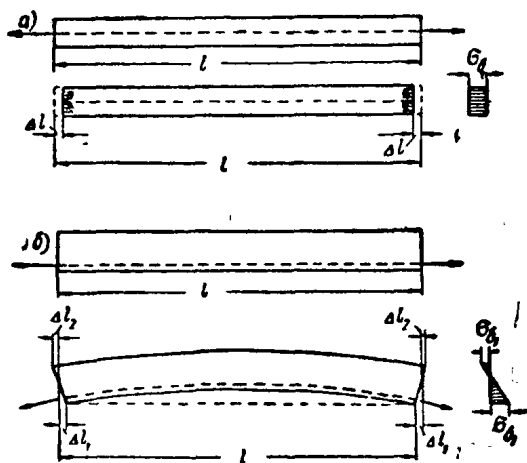


圖2 鋼筋混凝土桿件的預施应力:

a—中心和 b—偏心配置的預拉鋼筋

这样，如果讓我們来研究一下預施应力受弯构件中部的計算截面，就可以得出这截面上示於圖3的应力分佈圖形。

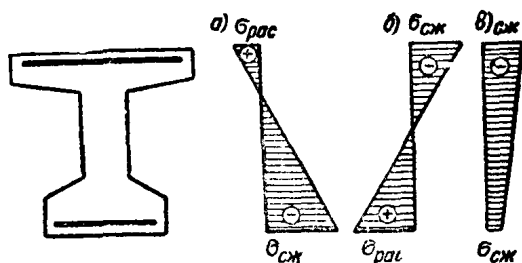


圖3 受弯梁中部截面的应力圖形:

a—由於鋼筋的預施应力; б—由於計算的靜載和活載; в—应力的总合圖

截面上因預施力作用的应力分佈圖形如圖3, a所示, 当考虑靜載和活載时由於弯矩作用所产生的如圖3, б所示。

計算截面上以上述二圖坐标之和所得的应力总圖，有如圖3, в所示的形式。

如果由於預拉鋼筋在計算截面底緣纖維处产生的压应力等於由計算荷載所产生的最大拉应力，則当活載最不利的佈置时，截

面底緣上的应力等於零，而在截面底緣以上的其余各点將發生压应力。

因此，用鋼筋混凝土結構預施应力的方法，能使鋼筋混凝土構件的整个截面承受外力，且能获得更輕的和抗裂的結構。

所需的預压力大小，能以特殊的計算決定，这种計算的基本原理敘述如下。

3 建造預施应力鋼筋混凝土構築物的基本原理

將預施应力鋼筋置放在結構物中混凝土通常是受拉的区域內，这是合理的。在混凝土受压区置放預施应力鋼筋是有 害的，虽說如此，但有时有此必要。例如，在發生正負弯矩的截面上。当鋼筋混凝土結構受拉構件进行預施应力时，可以得到最大的利益。

例如，在承受压力的圓管內（圖4，a），沿管壁軸綫放置預施应力鋼筋是合理的。应力鋼筋將引起混凝土压縮，而由於压力作用在管中的內力，將引起混凝土拉伸。因此，在应力一加强的管壁內，混凝土会發生較小的应力，或者在同样大小的外力作用下，可以減小管壁截面。

应力加强的原理，在擋土牆（圖4，b）、拉桿加强的悬拱（圖4，c）中，特别是在当前工作中作为研究对象的梁式結構（圖4，d）中，同样可以利用。

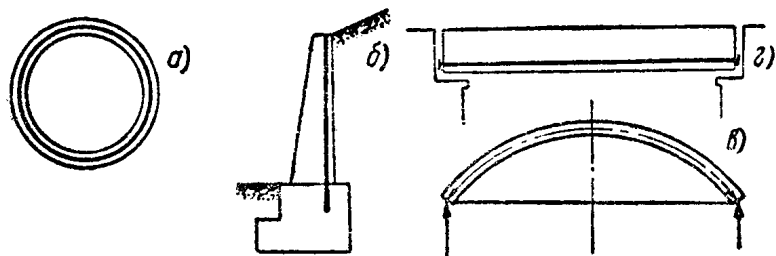


圖4 鋼筋混凝土結構的应力加强圖：

a—压力管；b—擋土牆；c—悬拱；d—梁式上部構造

在简支的自由搁置梁中，預施应力鋼筋可以水平地佈置成直綫形（圖5，a）、曲綫形（圖5，b）或直曲綫形綜合而成的 桿件形式（圖5，c）。

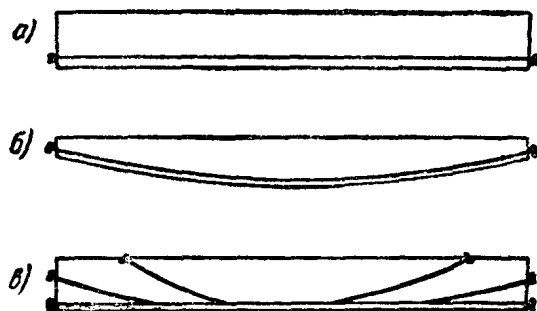


圖5 預拉鋼筋在简支梁中的佈置圖

曲綫形的鋼筋能減低靠近支座处梁頂緣的拉应力，此种拉应力系在張拉水平鋼筋时發生的，並能改进結構承受剪应力和主拉应力的功用。

应力鋼筋加强的悬臂結構和連續梁式結構的合理圖如圖6所示。这些应力一加强的梁式結構可以是板形的、肋形的、箱形的，同时根据制造的方法又可以是整体的或裝配式的。

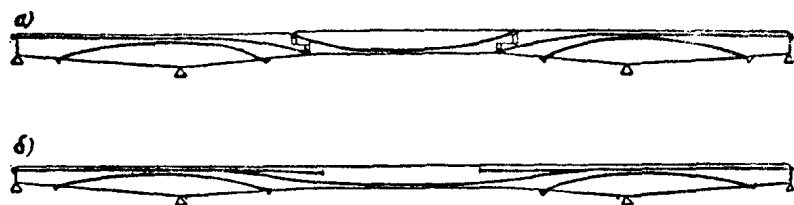


圖6 預拉鋼筋的合理佈置圖：

a—在悬臂結構中；b—在連續梁式結構中

在結構中承受拉力的主要鋼筋，可全部或仅局部是預施应力的。在后者的情形中，鋼筋混凝土結構可以称为具有合成或局部預施应力鋼筋的結構。

当設計預施应力梁时，应解决的主要問題为：

1. 最有利的梁橫截面選擇，使梁的鋼筋用量为最小。

2. 預施应力鋼筋最合理的佈置，能減小或抵消混凝土中的拉应力。

3. 預拉鋼筋均匀張拉的保証。

4. 最簡單設備的構造，能錨住預施应力鋼筋，並可靠而極為合理地使受拉鋼筋產生的力量傳遞到混凝土中。

設計应力-加强鋼筋混凝土結構，較之其他形式的結構，要涉及更多的施工方法的設計問題。

預施应力鋼筋的配置情形，受拉鋼筋所產生的力量在混凝土中傳遞的程序以及張拉設備的構造，視整個設計中所採用的施工方法而定。应力-加强的梁，應就其制造过程中各个工作阶段而用計算予以檢驗。

梁式結構的鋼筋預拉法，原則上分为二种。

按第一法，鋼筋进行預拉在先，梁澆筑混凝土在后。此时，張拉和固定鋼筋的設備配置在特別的裝置上，此种裝置位於正在进行制造的結構外。模板結構也可以作为張拉設備的支座。用第一法預拉鋼筋的情形示於圖7。在梁澆筑混凝土时，以及混凝土硬化的全部期間內，鋼筋应處於应力状态。此后，当混凝土硬化到受拉鋼筋產生的力量可以在其内部傳遞时，便將張拉鋼筋的設備去掉，此时鋼筋或有賴於与梁內混凝土的粘着作用，或借助特殊的錨植得以錨住，这种錨植將鋼筋產生的力量傳遞在梁端上，同时梁的長度便有所減小。

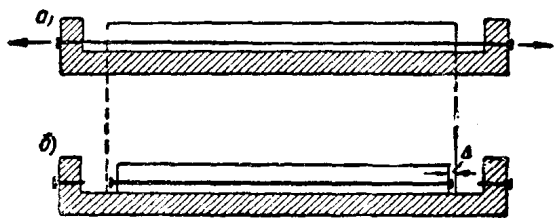


圖7 梁澆筑混凝土前鋼筋产生預应力的情形

預施应力鋼筋从混凝土灌注时便与混凝土联系，在这种情形下所以这类結構有时被称为具有联系鋼筋的鋼筋混凝土結構。

在鋼筋內产生預施应力的第二法，就是將結構在鋼筋張拉前

进行浇筑混凝土。同时钢筋与混凝土間应沒有粘着力，为此，便将钢筋配置在埋入混凝土体内的特别管子或套管中（圖8，a）。

当混凝土已硬化並已达設計强度后，才进行張拉钢筋。張拉設備此时系支於梁已硬化的混凝土上（圖8，b）。

受拉钢筋固定在梁的端部可以用这种方法实现：在梁端与钢筋端的錨榿裝置間加以垫板，或者用特別的裝置楔住，然后将張拉設備放松。由於受拉钢筋产生的力量傳遞到混凝土上，梁因而縮短（圖8，c）。这种結構有时便称为具有自由钢筋的結構。可是这种定义並非完全正确，因为钢筋进行張拉后，通常在配置钢筋的管子或套管壁間压入了水泥砂漿，以保証钢筋与混凝土的粘着作用。

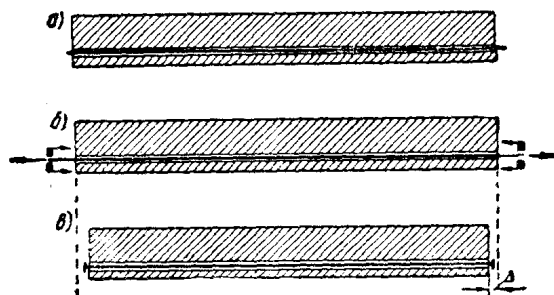


圖8 梁浇筑混凝土后，钢筋与混凝土产生預施应力的情形

钢筋的預先張拉，可以用不同的方法实行。所採用的有：端部固定的钢筋的橫向拉伸；利用張力的作用延長钢筋；用加热法使钢筋延長；利用膨脹水泥在钢筋內产生預施力。

钢筋的橫向拉伸，無論在水平向或在垂直向均可进行。在水平向用橫向拉伸法的預施应力钢筋的箱式上部構造示意圖如圖9所示。

在垂直向用拉伸法張拉钢筋，可以用

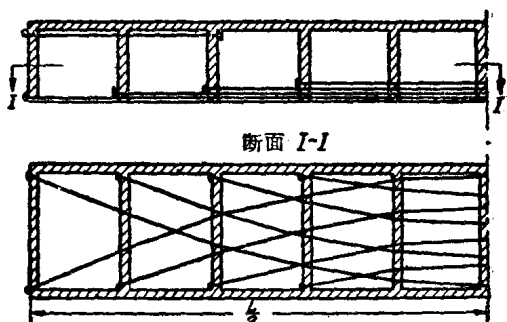


圖9 用橫向拉伸法的預施应力钢筋的上部構造示意圖

等距离內使鋼筋懸以等重，借助支在特別的起重梁上或梁式上部構造板上的千斤頂，或利用已分成小段的梁的自重等方法進行。

用施以拉力的方法來直接張拉鋼筋，可以用不同的方法實現，其中最簡單的是用槓桿。

這種方法僅適宜張拉直徑很小的個別鋼筋。

在許多場合下，鋼筋可用拉筋螺母進行預先張拉。

在圖10中所示的張拉設備，具有為固定和張拉個別鋼筋用的夾板。

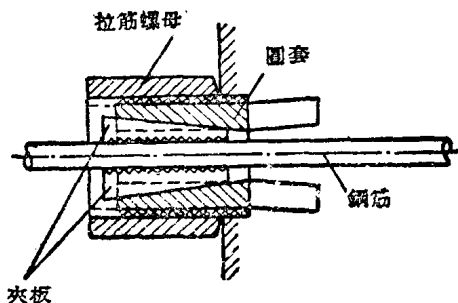


圖10 具有夾板的張拉設備

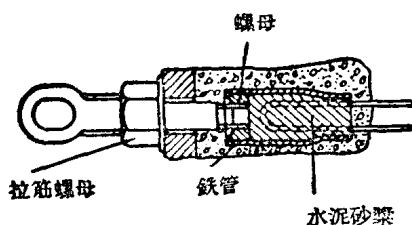


圖11 鋼筋束的張拉設備

千斤頂或液壓千斤頂。千斤頂產生的力量經過特別的拉筋套筒或其他設備再傳遞到鋼筋上。張拉鋼筋最完善的方法是將所有的鋼筋同時張拉。

這種肖釘是為固定和張拉鋼筋束用的。

張拉成組排成一列的鋼絲，可採用圖12所示的型式的張拉設備。

為了傳遞很大的張力到鋼筋上，可應用螺紋千

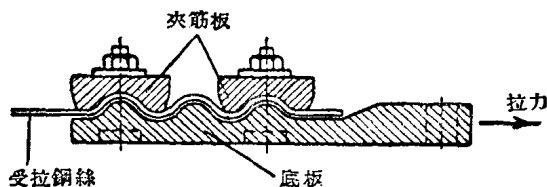


圖12 排成一列的鋼絲所用的張拉設備

用加熱法預拉鋼筋，就是將鋼筋的溫度升高，使其延長到需要的程度後，再鉗住。當鋼筋冷卻並收縮時，其內部便產生了拉應力，而在混凝土中則產生了壓應力。

在具有联系鋼筋的結構中，被热鋼筋应塗上一層塗料，当鋼筋的溫度昇高时，这种塗料是沒有粘着性的。当鋼筋冷却后，塗料同鋼筋和混凝土的粘着性应得以恢复。硫磺、易溶合金和用特殊方法配制的膠粘体可以用作塗料。

用电流使鋼筋产生預应力的优点在於可以不需要特殊的張拉設備。但並非在所有的場合下都可以得到强大的电流。此外，安裝一整套能保證工作安全的电气裝置，又是相当困难的。同时必須注意到以后当电流通过鋼筋时，鋼筋會發生很高的溫度。为了要在鋼筋內产生預应力 7000 公斤/平方公分，就必須將鋼筋加热到 270° 。但高溫能有害地影响到混凝土的質量。此外，以电流来加热由很多直徑小的鋼絲所組成的鋼筋束是很难获得必要的效果的，因为所有个别鋼絲的延長是不均匀的。在某些場合下，鋼筋的加热能以火盆或特殊的烘灯間接加热来实现。这种方法当桁構鋼筋露在外面或鋼筋配置在鋼筋混凝土結構的表面时可以应用。

使鋼筋延長的加热法，在用千斤頂或其他張拉設備張拉鋼筋或鋼筋束时，也可以用来作为一种輔助的方法。將蒸汽或熾热的液体通过放置鋼筋束的套管，便能把穿过混凝土結構体内的自由鋼筋加热。

用鋼筋加热法来克服安置在封閉管中的鋼筋延長时所产生的摩擦力是很合适的。这首先可用於曲綫形鋼筋和悬臂梁以及連續梁中稍具弯折的鋼筋。由於鋼筋或鋼筋束有了弯折，在其表面能發生很大的摩擦力，为了克服这种摩擦力，就需要施以很大的外加拉力。

用膨脹水泥制成混凝土使鋼筋預先張拉的方法，在目前極少研究。当膨脹水泥的应用及其制造技术有进一步發展时，这种方法可能是合理的^①。

預施应力的鋼筋構件，在其埋入混凝土中时已處於应力状态的产生概念，同样是值得注意的。

① 關於应用膨脹混凝土以修复桥梁的若干資料，見作者所著“桥梁基本修复”一書，道路出版社，1949年。中譯本人民交通出版社1955年出版。