

钢筋混凝土联合钢 结构设计

E.E.紀卜西曼 著

高偉剛 張成德 譯

程庆国 審校

21-1

人民交通出版社

钢筋混凝土联合钢 结构设计

E.E. 紀卜西曼 著

高偉剛 張成德 譯

程庆国 審校

人民交通出版社

818605

这是一本介绍苏联在钢筋混凝土联合钢结构设计方面的新成就的专著，它系统地叙述了公路及城市联合桥梁的主要体系以及有关的计算、设计和施工方面的知识。此外，并扼要地介绍了采用钢筋混凝土来加固钢桥的方法。

本书可供桥梁工作的工程技术人员参考。

钢筋混凝土联合钢结构设计

Е. Е. ГИШМАН
ПРОЕКТИРОВАНИЕ
СТАЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИИ
ОБЪЕДИНЕННЫХ
СЖЕЛЕЗОБЕТОНОМ
АВТОТРАНСИЗДАТ
МОСКВА—1956

本书根据苏联汽车运输与公路部出版社1956年莫斯科俄文版本译出

高伟刚 张成德 译 程庆国 审校

人民交通出版社出版

(北京安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第〇〇六号

新华书店发行

人民交通出版社印刷厂印刷

1956年12月北京第一版 1959年12月北京第一次印刷

开本：850×1168 1/32 印张：7 张

全书：220,000字 印数：1—2,000 册

统一书号：15044-1273

定价(10)：1.20元

目 录

序 言

第一章 联合梁桥的构造特点	7
§ 1 概述	7
§ 2 联合梁的截面及其工作条件	8
§ 3 钢筋混凝土板与钢梁的连固方法	11
§ 4 简支联合梁桥的构造	19
§ 5 悬臂联合梁及连续联合梁的构造特点	22
在钢筋混凝土板内设置与钢梁共同作用的钢筋	22
在钢筋混凝土板中采用预应力钢筋	24
采用附加底板	25
悬臂和连续的桥梁构造示例	27
§ 6 装配式钢筋混凝土板的联合梁	30
用混凝土连固装配式板与钢梁	30
用电焊连固装配式板与钢梁	36
第二章 计算垂直荷载作用下的联合梁	38
§ 7 计算联合梁截面的受弯	38
一般资料	38
验算联合梁中的法向应力	39
验算联合梁中剪应力和主应力	42
数例 1	44
§ 8 计算钢梁接头与翼缘焊缝	48
计算翼缘焊缝与翼缘铆接	48
计算钢梁接头	49
数例 2	50
§ 9 绘制联合梁材料图形	51
§ 10 计算联合梁的挠度	54

第三章 計算鋼筋混凝土板与鋼梁的连接	55
§ 11 一般資料	55
§ 12 計算用刚性支撑連固的鋼筋混凝土板与鋼梁	56
驗算混凝土承压强度.....	56
数例 3	58
驗算混凝土中的剪应力.....	60
数例 4	62
驗算混凝土中主拉应力.....	63
数例 5	69
驗算刚性支撑强度.....	71
数例 6	75
布置梁长度上的刚性支撑.....	76
§ 13 計算用柔性连接鋼筋連固的板与鋼梁	77
第四章 联合梁中因温度变化产生的应力	81
§ 14 概述.....	81
§ 15 計算靜定梁因溫度差引起的应力.....	82
梁上只有一块板的一般情况.....	83
板和梁的溫度为不变的情况.....	85
数例 7	86
数例 7 a.....	88
有两块鋼筋混凝土板的联合梁.....	90
数例 8	92
§ 16 計算超靜定梁因不同溫度引起的应力	95
数例 9	99
§ 17 精確計算联合梁受溫度变化的影响	103
数例 10	112
第五章 增加鋼筋混凝土板参与联合梁作用的方法	114
§ 18 概述.....	114
§ 19 設置临时支架或支承	115
§ 20 鋼梁預加应力	116
簡支梁的預加应力.....	116

	悬臂梁和連續梁的預加应力	118
§ 21	在鋼筋混凝土板中采用預应力鋼筋	122
	結構預加拉力的第一种方法	122
	数例11	128
	結構預加拉力的第二种方法	130
	数例12	131
	結構預加拉力的第三种方法	132
第六章	混凝土的蠕变和收缩对联合梁作用的影响	135
§ 22	一般資料	135
§ 23	近似計算鋼筋混凝土板的混凝土蠕变現象	136
	数例13	137
§ 24	近似計算鋼筋混凝土板的混凝土收缩影响	140
	数例14	141
§ 25	精确計算靜定联合梁中混凝土蠕变的影响	143
	一般原理	143
	以外力矩表示联合梁各部分內的內力	144
	单鋼筋混凝土板联合梁	144
	双鋼筋混凝土板联合梁	145
	混凝土蠕变对单板截面經常作用荷載引起的 应力的影响	147
	数例15	149
	混凝土蠕变对单板截面混凝土收缩引起的 应力的影响	151
	数例16	153
	混凝土蠕变对单預应力板截面經常作用的荷載 引起的应力的影响	157
§ 26	計算超靜定联合梁混凝土的蠕变影响	159
	数例17	163
第七章	联合梁桥施工上的一些問題	171
§ 27	整体板联合結構桥梁的施工特点	171
§ 28	装配式板联合結構的桥梁施工特点	173
第八章	格构桁架桥的联合結構	174

§ 29	一般資料	174
§ 30	与鋼筋混凝土行車道板相联合的 格构桁架上部构造	175
§ 31	計算板在跨径全长上和上翼緣 相連接时的桁架	178
	确定联合桁架构件的內力	178
	縱向(軸向)力	180
	桁架撓度的曲率在上翼緣中引起的弯矩	180
	在杆件中因固定斜杆与上翼緣的偏心引起的弯矩	181
	因局部弯曲在上翼緣中发生的弯矩	183
	选择联合桁架构件中的截面和驗算应力	184
	計算节点的支撑	184
§ 32	計算板只在节点上与上翼緣相連接的 联合格构桁架	186
	固定斜杆的偏心在上翼緣中引起的弯矩	186
	因局部弯曲引起的弯矩	188
	計算节点的支撑	188
§ 33	增大鋼筋混凝土板参与格构桁架的作用	188
§ 34	受压翼緣围浇混凝土的下承式鋼桁架	190
第九章	用鋼筋混凝土加固鋼桥	193
§ 35	一般資料	193
§ 36	用鋼筋混凝土加固公路桥的鋼梁	195
§ 37	加固格构桁架桥的行車道梁	200
§ 38	用鋼筋混凝土和鋼弦加固鋼梁	204
	数例18	205
§ 39	格构鋼桁架的加固	203
	一般資料	203
	用混凝土加固受压鋼构件	209
	用鋼弦加固受拉鋼构件	212
	数例19	214
	用混凝土和鋼弦加固格构鋼桁架	216
	計算超靜定桁架中鋼弦的張拉力	218
§ 40	用鋼筋混凝土加固鋼拱桥	220

序 言

社会主义建设的不断增长,只有在结构制造和施工的技术不断进步,制造和施工工业化的进一步发展条件下的高度技术基础上才能实现。

保证建成构造物最大经济性的同时,必须进一步改善建筑结构,创制新的结构形式,以满足施工工业化的要求。

苏联的桥梁施工技术正在迅速向前发展。苏联的学者,生产上的先进工程师、革新者和合理化建议者的合作,不断地改善这些技术,深研其科学原理,创造新的、效果更高的构造物体系和结构,及其更有生产成效的施工方法。

在苏联得到广泛采用的、与钢筋混凝土行车道板共同作用的钢上部构造,是桥梁中一种新的合理体系。

在公路和城市桥梁建设中,广泛采用这种体系的上部构造。由于有苏联工程师们创造性的倡议,才大胆创制了这种桥梁的新设计,其中有許多桥跨径都很大。

在现代联合结构的桥梁中常常采用装配式钢筋混凝土板,这就使得这种桥梁的制造和拼装能完全工业化。

联合桥梁的施工和使用的经验完全证实进一步推广这类体系的合理性。

采用上开桥梁体系时,在计算、设计和施工方面遇到一些新问题,由于缺乏有关方面的文献,使设计者和施工者在解决这些问题上,感到困难。1932年作者写的“钢筋混凝土板与钢梁联合梁桥”^①远不能完全阐明全部必需解决的问题。从那时起有許多研究者和设计机关使用联合结构。

除作者在莫斯科道路学院中进行研究外, H. H. 格林卡工程师和 H. И. 波利万诺夫副教授等在新西伯利亚铁道运输工程学院中在 K. K. 亚科勃桑教授的领导下也在进行研究; 在奥姆斯克道路学院中 K. X. 托耳属切夫副教授、H. A. 楚德诺夫斯基技术科学副博士, 在莫斯科建筑工程学院中 M. K. 博罗迪奇工程师, 在列宁格勒运输桥梁设计院中 C. H. 耶尔雷科夫工程师等都在进行研究。在德国也对联合结构进行了大量的研究工作。

許多重要的设计机关广泛采用联合结构,加以改善,使用新的独创性的和进步的方案。

^① 中国本人民交通出版社1953年出版——译者。

鋼結構設計院Г.Д.波波夫工程師，道路橋梁設計院Б.А.科斯塔亞科夫、Б.Г.納烏莫夫工程師等、莫斯科全蘇公路設計院分院А.Я.茹賈夫列夫，運輸橋梁設計院技術科學副博士Л.И.克累里措夫等、列寧格勒運輸橋梁設計院Н.С.巴塔舍夫等等都在這方面起着先進的作用。

本著作中，作者旨在闡明他們對這類橋梁體系的詳細研究結果，概述蘇聯和國外其他研究者的資料，以及聯合結構橋梁的設計和施工經驗。所有這些材料歸納成一種形式，使在設計這種體系的橋梁時便于直接使用。此外，書中還附有有關施工的一些規範。

聯合結構橋梁的計算方法是根據彈性理論和容許應力法來計算的。

如需用分析性的安全系數方法（按極限狀態法）計算橋梁時，本書中所列的計算方法基本上還是有效，只須改變計算驗算的形式。

考慮到在書中所涉及的許多問題系新的課題，作者要求讀者將所有的、在實際運用本書時發生的意見寄給出版社。

第一章 联合梁桥的构造特点

§1 概 述

近年来在公路及城市桥梁建设中，大量采用钢梁与整体或装配式钢筋混凝土行车道板相联合，并共同作用的上部构造。

这种体系的本质是钢筋混凝土行车道板对垂直荷载和钢梁共同起作用，并承受联合结构中因弯矩产生的压应力。

由于钢筋混凝土板与钢梁共同作用，因而大大减小钢梁受压翼缘的需要截面，加大联合截面的刚性，因此能减少钢材的用量。

同时，和一般不用联合结构的板的截面相较，参与钢梁工作的钢筋混凝土板，一般并不要对板作任何加强。

因钢筋混凝土行车道板参与钢梁共同作用，普通简支上部构造所节省的钢材示如图1。

图中曲线表示不同跨径桥梁的耗钢量；曲线B是弯矩全部由钢梁承受时的情形；曲线a是全部弯矩由钢筋混凝土板与钢梁共同承受时的情形。

由图可见，如钢筋混凝土板能参与钢梁共同作用时，则钢材节省很多，如能充分利用联合截面的板，则钢材可节省达20%或20%以上。

在简支的上部构造中整个跨径均受正弯矩时，采用联合结构最为合适（图2-a）。但是在悬臂梁或连续梁中，钢筋混凝土行车道板也可以参与作用。在这两种情况下，板承受钢梁正弯矩地段的弯曲，因而板是处于受压区域中（图2-B中截面2—2）；在负弯矩地段，钢筋混凝土板处于受拉区域中，故不能用以与钢梁共同作用（图2-C中截面3—3），除非采用特殊的人为措施来保证这种共同作用。

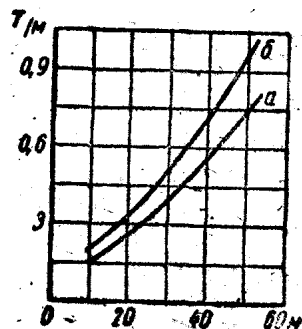


图1 联合结构与非联合结构中主梁的钢材用量
a-钢筋混凝土板全部参与钢梁的工作；
b-钢筋混凝土板不参与钢梁的工作。

同时也可以在此負彎矩地段梁的下翼緣高度上設置特設的鋼筋混凝土板（圖2-B）。這種輔助板與受壓的下翼緣共同作用，因而大大地減小鋼梁的截面。

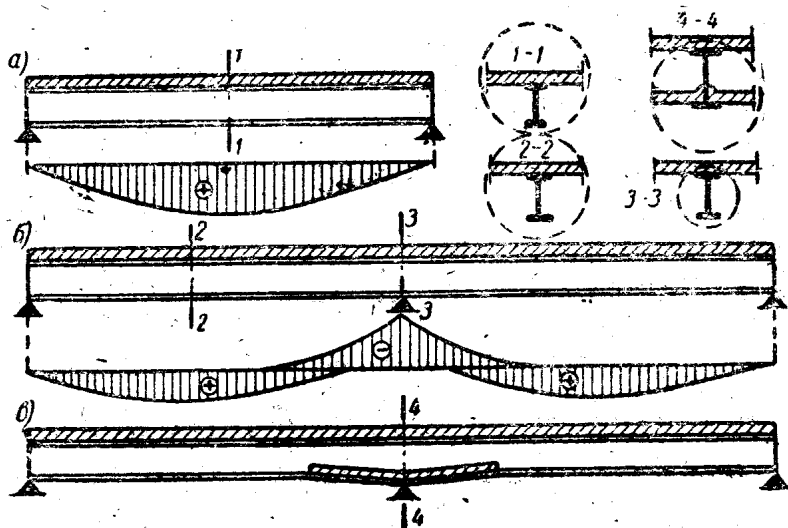


圖2 簡支與連續的聯合梁

§2 聯合梁的截面及其工作條件

由於聯合截面梁在修築時所用施工方法不同，它作用方式也不同。

最簡單的情況是鋼梁先安放在支座上，作為以後澆鋼筋混凝土行車道板以及人行道時的承重結構。

在這種情況下，安放就位的鋼梁起初承受它本身重量、連接系重量以及在其上澆築的鋼筋混凝土板及模板重量引起的荷載。上述荷載我們稱它為恆載的第一部份，它作用於鋼梁上，並在鋼梁中引起某些應力。

板混凝土硬化後，由於板與鋼梁連固的關係，以後的全部恆載（塗層、防水層、保護層、路面鋪裝及欄杆等重量）以及作用於橋上的活載都傳於鋼筋混凝土板與鋼梁共同作用的聯合截面中。

這部份由鋼梁與鋼筋混凝土板聯合截面承受的恆載，我們稱之為恆載的第二部份。

為了更經濟地利用鋼料，選擇鋼梁截面的主要尺寸時，必須使鋼梁上下翼緣中由全部恆載及活載產生的應力總和接近於容許應力。

因为当联合截面起作用时，钢筋混凝土板大大地使钢梁上翼缘卸载，上翼缘由恒载第二部份及活载产生的应力不大，因此它的截面一般应比下翼缘小得多。因此在恒载第一部份作用而生弯曲时，钢梁重心及其中和轴 $O-O$ 的位置低于梁高中点（图3）。在梁上翼缘中由恒载第一部份引起的压应力 σ_{B0} 比梁下翼缘中的拉应力 σ_{H0} 要大得多。

当因恒载第二部份及活载作用而生弯曲时，联合截面重心及其中和轴 $x-x$ 高出梁高中点很多，接近于梁的上翼缘。因此，由于这些荷载在钢梁下翼缘中的发生拉应力 σ_{H1} 较在上翼缘中的压应力 σ_{B1} 大很多。

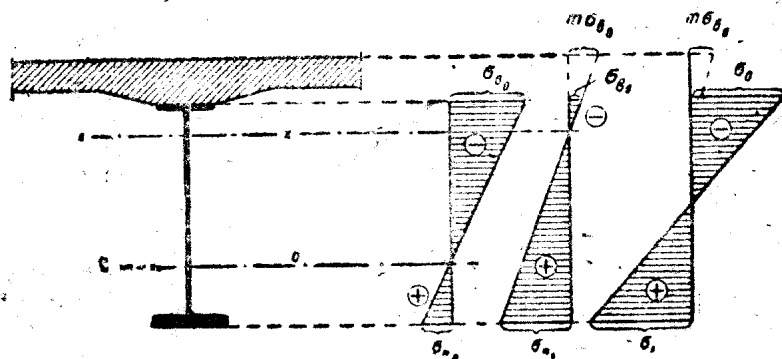


图3 联合梁在两个荷载阶段下的工作情况

为了更完满而有效地使用钢料，最好这样选择钢梁上下翼缘截面面积的关系，使应力的总和 $\sigma_H = \sigma_{H0} + \sigma_{H1}$ 及 $\sigma_B = \sigma_{B0} + \sigma_{B1}$ 接近于所用钢料的容许应力（见图3）。

上述联合截面梁在两个荷载阶段下的作用条件，规定了这种构造体系中钢梁截面的特点。只有在用机制工字钢组成的小跨径梁（行车部分的梁，小桥）中，它的截面才是对称的（图4-a）。

在较厚大的焊接截面的梁中，上翼缘较下翼缘小很多。其上仅用一块水平板（图4-b）或者仅用角钢组成（图4-b）。

在焊成梁中，上翼缘是用最小（按计算）截面的板组成（图4-г），而其下翼缘则是用厚板组成厚大的截面。

在外国的实践中亦有采用如图4-д所示的截面，其特点是利用角钢将翼缘板焊接于垂直腹板上。角钢应使其背边焊于垂直腹板上，而角钢的两肢尖端则焊于水平板上。这种结构的意义是使水平板在其宽度上均匀地以两个焊缝来受力。焊接于角钢的垂直腹板焊缝要稍微离开最大应力区，以减小截面中

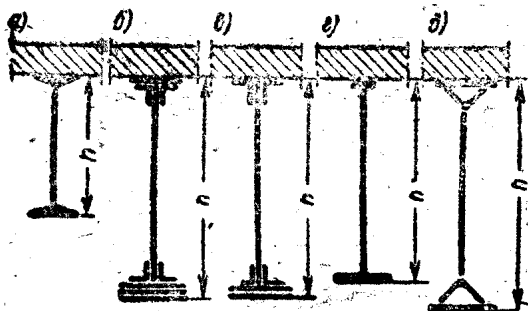


图4 与钢筋混凝土板共用作用的鋼梁截面类型

的主应力。此外，并能提高垂直腹板的翘曲稳定性。这种截面的缺点是在制造上要用很多劳动力，焊缝复杂和在截面中尚存在有封闭的空间。

在苏联的实际建设中未采用这种截面。

与钢筋混凝土板共用作用的鋼梁高度应根据用鋼最少的条件来确定。在莫斯科道路学院中工程师H. H. 格林卡研究的结果证明：钢筋混凝土板联合鋼梁的最合适高度较普通鋼梁小15~20%。

在这里即使联合梁的采用高度比最合理高度差得很小时，用鋼量仍增加得很少。因此在联合结构中不必浪费过多鋼料而能采用最小建筑高度的梁。

为了减少联合梁的鋼料用量，可以采用低鋼梁结构（图5-6）。在这种情况下，鋼梁的高度可以根据安装时的强度决定，而尽可能采用最小的高度。用以連固板与鋼梁的钢筋混凝土垂直肋要計算其剪力和主拉应力。以这些驗算决定其需要寬度。研究的结果表明：从用鋼最少的条件来说，低鋼梁的最宜高度約为联合梁总高度 H 的2/3（见图5-6）。

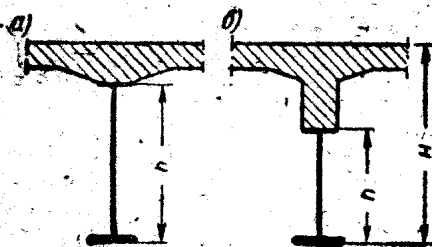


图5 联合梁的截面

图6示联合结构桥梁的横截面图式。图6-a为小径徑桥梁的横截面，主梁采用成对的軋制工字鋼组成，用一个正的連结构件与钢筋混凝土板相結合。

图3-6示轧制钢梁的桥梁横截面，钢梁用钢筋混凝土的肋与行车道板连固。

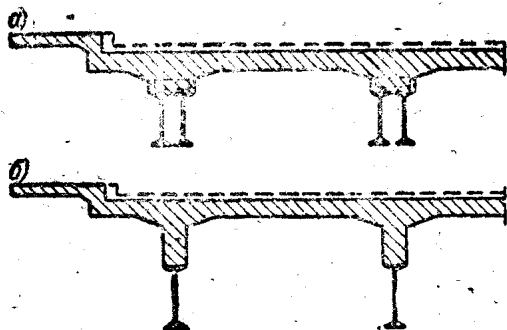


图6 联合结构的上部构造截面

在大跨径悬臂或连续体系桥梁中，主梁在最大负弯矩地段的上翼缘宽度比在正弯矩地段的宽度大（图7-a和b）。在这种情况下，行车道板可用比翼缘板狭的钢筋混凝土肋与钢梁的翼缘连固（图7-a）。

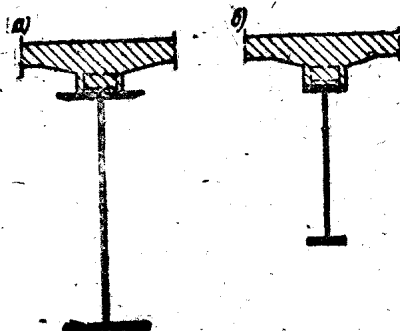


图7 大跨径悬臂和连续联合梁的截面

a-梁在负弯矩地段的截面；b-梁在正弯矩地段的截面。

§3 钢筋混凝土板与钢梁的连固方法

为了保证钢筋混凝土板与钢梁共同作用，其连接必须相当牢固可靠，使足以传递发生在混凝土与钢梁上翼缘接触处的剪力。混凝土板与钢梁上翼缘间的粘着力也可以传递剪力，但在计算联合结构时不计这种粘着力，因为它

在很大的程度上要取决于施工的条件（翼缘钢料除锈去污工作的仔细程度和混凝土的浇筑质量）。

因此，混凝土板与钢梁间的剪力必需完全由特制的连接构件传递。

可以采用刚性的金属支撑或柔性的连接钢筋作为承受板和钢梁间剪力的连接构件。

固结在钢梁上翼缘上的刚性金属支撑，伸到混凝土板中，并阻止板沿钢梁滑动，在联合梁桥中采用的刚性支撑式样很多。为了保证均匀分布挤压应力于混凝土上，支撑一般要尽可能做成刚度较大的结构。

最简单的刚性支撑是用一段段的角钢（图8-a）或槽钢（图8-b）制成，其中的一个肢焊接或铆接在钢梁的上翼缘上。苏联常使用角钢支撑。

为了增强用以传递混凝土压力的角钢竖直肢的刚度，在这一肢上用肋板（图9-a）或特制的斜板（图9-b）加强。斜板

的焊接较肋板为简单。但由于在斜板下的空间很难浇筑混凝土，所以从提高混凝土板质量的观点来看，最好采用肋板而不用斜板加强角钢。在剪力大时可能要加强焊接于钢梁翼缘上的支撑的焊缝，在这种情况下，肋板可以焊在角钢竖直肢的背面（图9-b），用以增长在梁上焊连支撑的焊缝长度。

也很广泛采用竖直焊于钢梁上翼缘上的短段角钢、槽钢或T形钢作的刚性支撑。这些支撑因有足够的刚度不需要再加强。支撑的位置依混凝土传来的剪力方向而定，示如图10。在德国采用有采用短段工字钢（图11-a）或将其斜切成T型短段（图11-b）的刚性支撑；后一种在德国建设中经常采用。

刚性支撑与混凝土接触的表面也有圆柱形的（图12）。用弯曲成圆柱形表面的条钢焊在与梁上翼缘相连固的板上作为支撑，以保证沿支撑内曲面更好地将压力传到混凝土上（图12-a）。

在这一方面来说，用一段段管子造成的支撑（图12-b）不太成功，因为将压力传到混凝土时，这种支撑会对混凝土产生楔裂作用。

刚性支撑传于混凝土相当大的集中力，在混凝土中引起很大的局部压应力和剪应力。在剪应力的作用下，在混凝土中可以产生主拉应力，这些主拉应力在刚性支撑的顶面和侧面（平面上的）达到最大值。

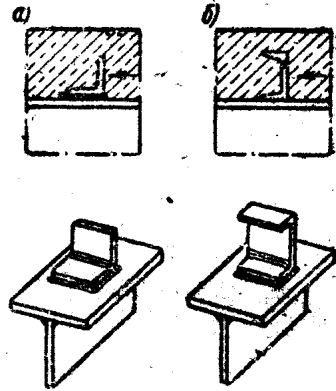


图8 最简单的刚性支撑

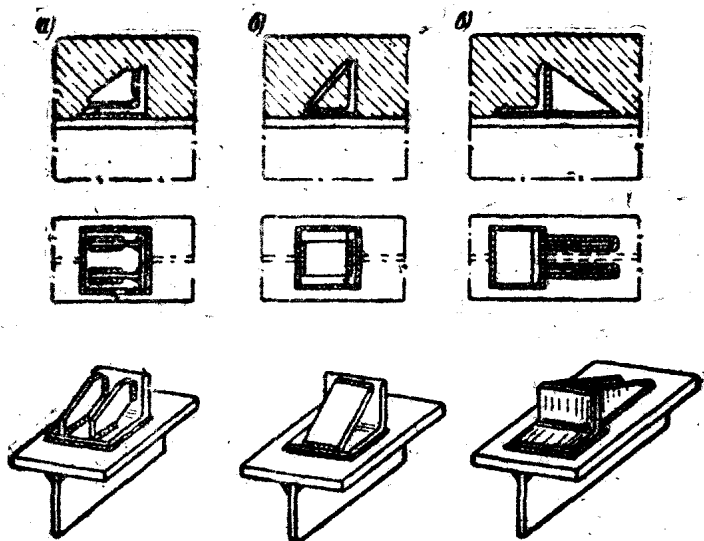


图9 加强角钢做成的刚性支撑

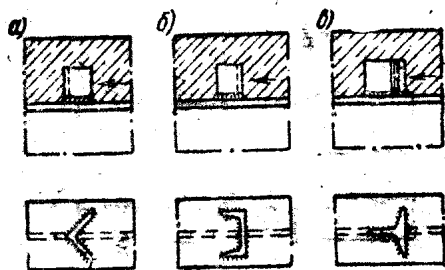


图10 刚性支撑

a-用短段角钢；b-用短段槽钢；c-用短段T型钢；均以截面端部焊于梁上。

此外，支撑传递的内力也会沿混凝土与钢接触处产生局部拉应力，使板与钢梁脱离。

为了承受发生于刚性支撑顶面的主拉应力，在刚性支撑上或钢梁翼缘上直接焊上特制的斜向或竖向钢筋。刚性支撑上焊斜向钢筋以承受主拉应力的构造示于图13。斜向的钢筋一般是焊于刚性支撑的加劲肋上，在平面上看稍向外分开（见图13）。

在外围（德国）有将金属方块焊于钢梁翼缘上而成为矮的刚性支撑。为了承受主拉应力，在方块上焊上斜向钢筋（图14-a）、环圈（图14-b）或

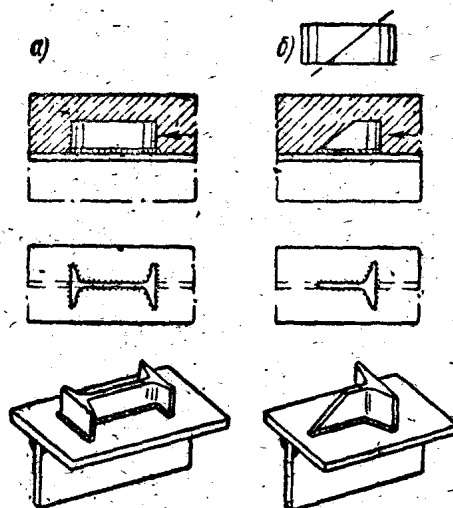


图11 用焊接工字钢造成的刚性支撑



图12 圆柱形的刚性支撑

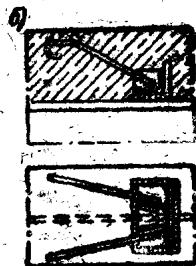
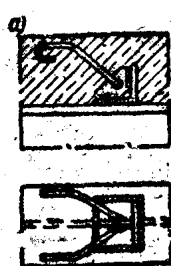


图13 有承受主拉应力斜向钢筋的角钢支撑

垂直的环状钢箍(图14-B)。焊于方块上的钢筋,也可以用作传递支撑上的剪力。图14-r示特制支撑的构造,这种支撑能更好地传递剪力于混凝土;其缺点是制造复杂。

在局部主拉应力作用下混凝土板与钢梁有脱裂的危险,但对能保证加固混凝土构件的支撑(参看图8-6; 9-6和14-r)及焊有钢筋的支撑来说,这种危险是完全不存在的。

支撑在混凝土中埋入很深,且与混凝土的黏结表面很大时(参看图8-a; 图9-a, b; 图10和11),则板与钢梁脱离的危险也不会发生。金属方块形矮支撑对防止板脱裂钢梁的危险是不可靠的,因此在这种支撑上总是要焊上系