

专题情报资料

国外预应力拱桁体系桥梁

交通部科学研究院重庆分院

1975.8.

毛主席语录

洋为中用。

独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

预应力拱桁体系桥梁也可看作拱梁组合体系桥梁，它既具有拱式体系桥梁的优点（刚度大，耐久性好，造型美观），又具有梁式体系桥梁的一些优点（跨越能力大，没有水平推力，可以悬臂拼装）。

预应力拱桁体系桥梁由于上部结构为格构桁架，能够根据吊装能力，按单根构件逐渐拼装，或组装成较大单元进行安装。拼装后，再进行张拉，最后形成两个半拱。两个半拱之间可以封死，可以设铰，可设挂梁。也有叫这种桥为桁架梁桥。它和T型刚构是同类体系，只不过可以把它看作T型刚构挖空了而已。

遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，批判地吸收国外的经验，为我国社会主义建设事业服务，我们认为在大跨径桥梁方案中，预应力拱桁桥梁也是值得推荐研究的一种桥型。

交通部给我院下达了“探讨大跨径钢筋混凝土桥梁合理结构型式”这一课题任务，为此我院组成了专门的小组，作了一些调查和研究工作。

情报室配合这一课题，收集了一些有关国外预应力拱桁体系桥梁的发展、设计、施工、试验及节点计算的资料，汇编成这一专题情报资料供有关人员参考。

本资料在组稿、译校过程中得到交通部公路规划设计院、四川省交通局设计院及重庆建工学院的大力帮助，特在此致谢。

由于我们政治业务水平有限，错误和缺点一定不少，敬请读者提出宝贵意见。

目 录

一、钢筋混凝土桥梁建筑的主要总结和进一步发展方向·····	(1—5)
二、格构桁架和组合体系预应力钢筋混凝土上部构造·····	(6—20)
三、桁式跨构钢筋混凝土桥的修建经验·····	(21—25)
四、伏尔加河的装配式预应力桥·····	(26—33)
五、悬臂拱桥的静动载试验·····	(33—38)
六、有关节点计算问题·····	(39—44)
七、钢筋混凝土桁式悬臂桥梁·····	(45—50)
八、桥梁桁构的定型化·····	(50—52)

钢筋混凝土桥梁建筑的主要总结 和进一步发展的方向

Д-Р техн. наук, проф. Н. М. Колокалов

在苏维埃政权的50年里，特别是在近10年内，钢筋混凝土的桥梁建筑得到了一定的发展。在铁路运输线上，目前跨经为33米的中、小桥大部分都是采用装配式钢筋混凝土的结构型式。在修建公路桥和城市桥梁时，从小桥到大桥，其主要材料都是采用装配式预应力钢筋混凝土。采用预应力结构的数量增加特别大。1958年是18000米³，到1966年就增加到90000米³。

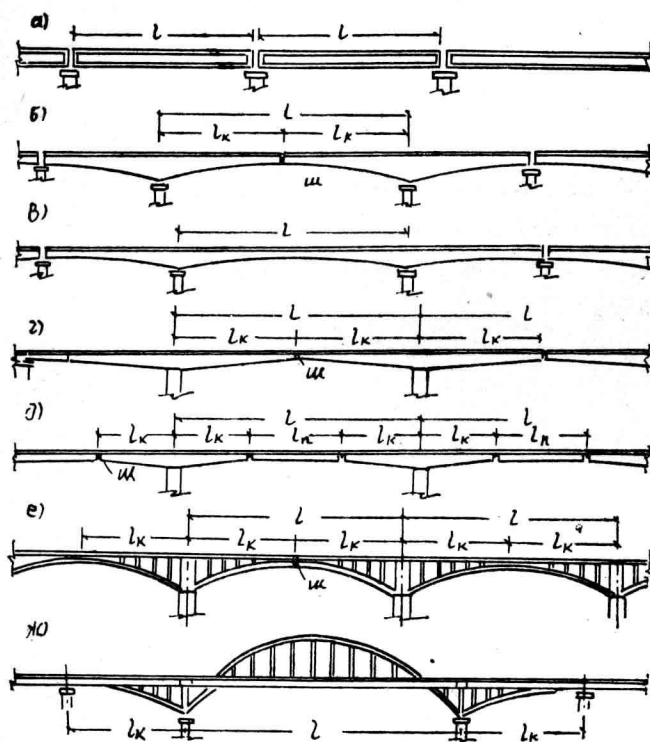


图1. 大型公路桥和城市桥钢筋混凝土上部构造图式

- а—简支梁: $L=70$ 米; (译注: 原文为700米, 有误).
 б—悬臂梁: $l=148$ 米; $L_K=74$ 米;
 в—连续梁: $L=166$ 米;
 г—带中心铰的框架式悬臂梁: $L=84$ 米; $L_K=42$ 米;
 д—带挂孔的框架式悬臂梁: $L=148$ 米; $L_K=57$ 米; $L_n=33$ 米;
 е—悬臂拱式: $L=126$ 米; $L_K=63$ 米;
 ж—拱梁组合体系: $L=110$ 米; $L_K=45$ 米。

图1为苏联国内的公路桥和城市桥首先采用的钢筋混凝土上部构造的一些新结构型式。

跨度为33米的中、小桥都采用简支梁，伏尔加河上的一座市内大桥也采用简支梁结构，跨经为70米。

在1962年到1964年期间，莫斯科市内修建了两座世界上最早的悬臂体系上部构造，跨经为148米和128米（如图1、6）。

公路桥和城市桥梁也经常采用框架悬臂体系的钢筋混凝土上部构造，跨经为64米—148米（图1、2、п）。跨越伏尔加河、德聂伯河、额尔齐斯河、卡马河以及奥卡等河上的一些大桥，跨经最大的结构也采用此类桥型（如图3）。

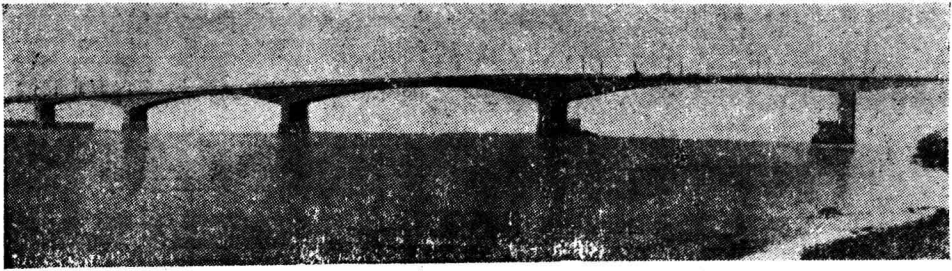


图3. 跨经为148米的框架悬臂梁式上部构造的装配式钢筋混凝土桥

与此同时，又采用连续梁和组合体系的钢筋混凝土上部构造。其中特别值得注意的是跨越伏尔加河的大型公路桥，通航部分是五孔连续多跨体系，总长超过700米（译注：原文为700毫米，有误），中跨为166米（如图4）。列宁格勒的涅瓦河上一座桥也采用连续梁结构，跨经为123米。

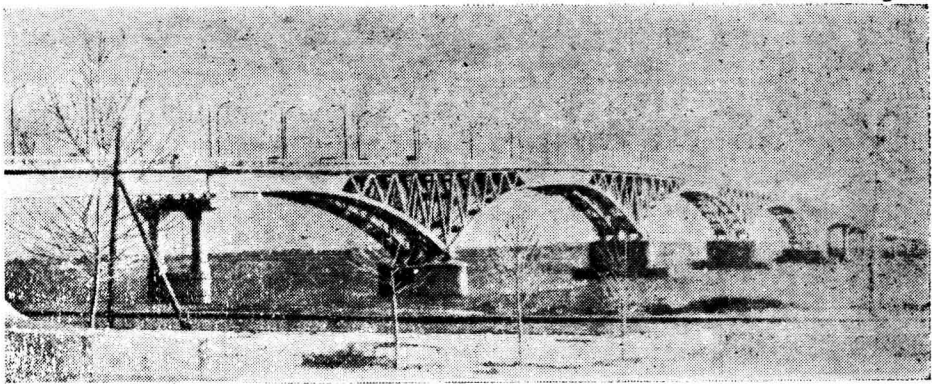


图4. 中跨为166米的装配式钢筋混凝土连续多跨体系

莫斯科河上，在 ЛУЖНИК 区有一座著名的装配式钢筋混凝土桥，其上部构造采用组合式体系，这座桥在施工工艺上广泛采用装配式预应力结构。该桥特点为双层车道，设计和施工期限非常短（一年半），是装配式钢筋混凝土优点的典范。在伏尔加、涅瓦和莫斯科三条河上的三座桥梁，所有上部构造的各个大型块件都是采用浮动支架进行安装，而浮

动支架装在 KC 型万能浮船上。一个块件重量达到5500吨（译注：原文如此，可能有误，应为550吨）（如图 5）。

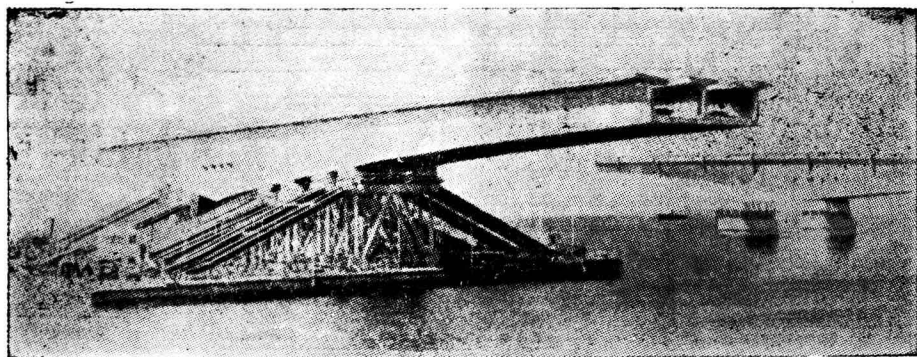


图5. 用浮动支架运送重量为3000吨的钢筋混凝土块件

悬臂拱结构是近几年来装配式上部构造新体系中最令人感兴趣的结构之一（如图 1、9）。从美学观点看，拱式上部构造是城市构造物中最适宜的一种形式。最初修建悬臂拱桥梁是全部用脚手架拼装。以后就先进了，采用悬臂吊装新工艺（如图 6）。

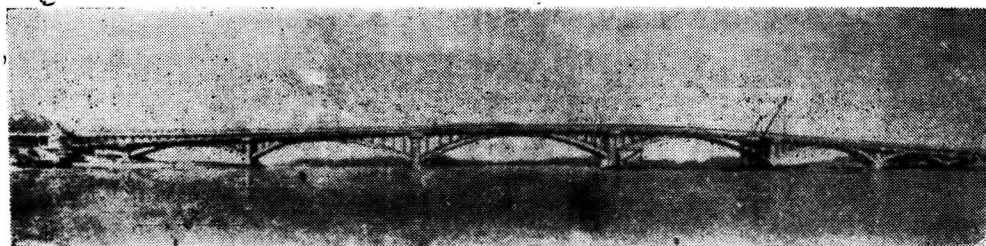


图6. 跨越德聂伯河的多孔悬臂拱桥

早在试验修建和研究钢筋混凝土桥梁阶段，铁路桥就采用装配式预应力钢筋混凝土。图 7 为 4 种不同体系的钢筋混凝土上部结构，其结构类型为多孔下承式。其中有系杆拱的组合结构。斜杆式桁架格构梁式体系，跨径为 55 米；三角形的格构梁式体系，跨径为 55 米。第四种体系是最近的，上部结构是三角形格式桁架，构件是采用离心式混凝土（此种形式的混凝土是国家桥梁运输设计院根据 ЦНИИС. 方案研究制定的）。经验说明，上述上部构造的所有体系都能完全可靠的达到标准要求。ЦНИИС. 的离心式钢筋混凝土结构在技术经济指标上是最优越的。

运输工业部组织力量成立了大型起重机的专门停机场：载重量为 130 吨的悬臂式起重机，用于安装33米长的铁路桥整体运送钢筋混凝土块件；载重量为 100 吨的悬臂开闸式起重机和载重量为 200 吨的起重机组，用于悬挂安装公路桥梁（如图 8）。为要在深桩上修建桥墩而建立了一个有各种不同马力的振动打桩机场，扰动力为20—250吨。

装配式钢筋混凝土在已有成绩的基础上又取得了进一步的发展。无论是桥墩，或是上

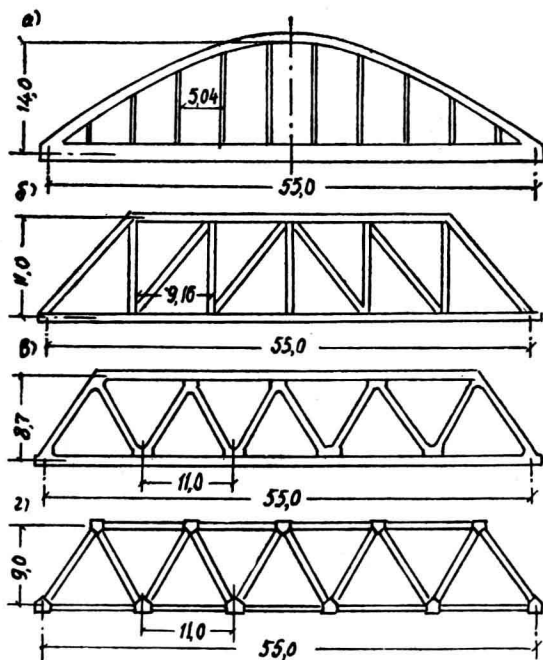


图7. 钢筋混凝土铁路桥上部构造试验图式

- a—组合体系（系杆拱）；
- b—斜杆体系；
- c—三角形体系；
- d—离心式构件的三角形体系

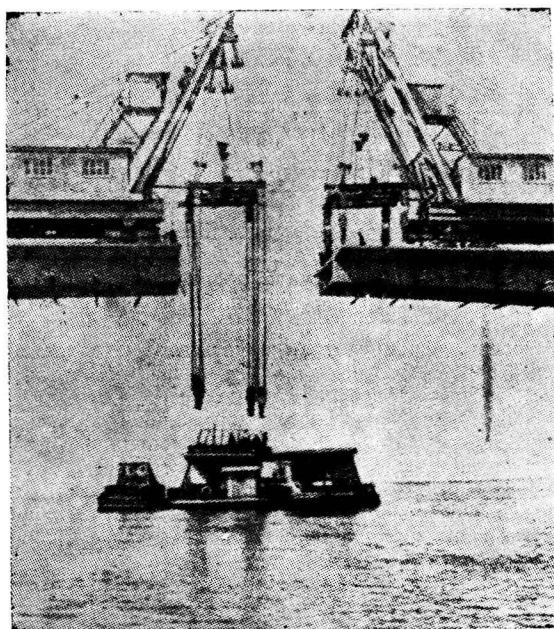


图8. 在装配悬臂桥最后阶段时用的载重量为200吨的专门起重机组

部构造尽都采用装配式钢筋混凝土。钢筋混凝土桥墩基础内主要采用的是预应力钢筋混凝土棱型桩和管桩，装配式钢筋混凝土管桩基础（直径为0.4—3米），在冲刷线和水面范围内采用钢筋混凝土管桩式组合基础，而其下用钻孔灌注桩。

桥墩装配程度的提高问题，不仅是与创造技术上合理和经济上有利的结构有关，而且是与保证桥墩应有的耐久性有关。要考虑抗裂结构，在浮冰地区还要很好考虑抗磨强度以及抗冻结构。

在上部构造方面，根据新结构工艺方案试验研究所取得的成绩看，钢筋混凝土装配式结构桥梁在苏联国内今后的建设中将会更广泛地采用。

在修建中，小桥以及大桥的引桥时，苏联国内大部分地区（除气候严寒不易通过的地带外）优先采用长度为33米的预应力钢筋混凝土上部构造。

结构将采用整体运送或拼装予应力块件分段式上部构造。对于大量采用跨径为6—15米的桥梁来说，用A—IV、AT—VI和AT—VII型号的高强钢筋板式结构，无论在劳动消耗量和预制造价方面，或是在提高耐久性方面都证明是最合理的。而跨径在20米以上的则采用钢丝束肋形梁式结构。

根据经验证明，采用预应力钢筋混凝土的范围可以在跨径长为100米内的桥梁是认为最合理而正确的。因此，对于标准尺寸的跨径42米、63米和84米的桥梁应该采用标准结构：框架悬臂式上部构造和连续梁式上部构造，其主梁高度不变，腹板是实体的。

在采用装配式结构时，对于苏联国内欧洲和中亚部分气候温暖和中适度气候地区，采用悬吊浇灌混凝土证明是完全正确的。

在修建城市桥梁时，按照建筑物的美学观点看，在与连续梁和框架悬臂梁的同时，采用标准悬臂拱结构是完全合理的。所有这些体系都可能采用最有效的悬吊安装法。

在修建大型钢筋混凝土桥梁时，应该坚决采用600—700号混凝土代替到目前为止所采用的400—500号混凝土。采用直径为5—8米（译注：原文如此，可能有误，应为5—8公分）的高强钢丝束和封闭断面钢缆绳作为高强钢筋是证明有效的。

为了进一步提高高强钢筋构件的耐久性和安全性，应该制定提高钢筋防锈的专门措施。其中为了考虑穿过列宁格勒涅瓦河桥的钢缆所暴露的严重缺陷，对于下撑杆系的预应力钢筋混凝土钢丝束应采用混凝土封闭。同时应注意可拆卸的装配式锚头和压入式楔形套管锚头的防锈。

对于通航跨度大于100—120米的等外公路桥和城市桥梁，根据钢筋混凝土结构，钢屑混凝土结构和钢结构的方案比较时，应按照最好的技术经济指标和美学观点来选择方案。

在总结钢筋混凝土桥梁已取得的成绩和预定桥梁建设发展的远景时，应当指出必须充分利用苏联国内外的设计和施工经验。在这个基础上再来进一步提高钢筋混凝土桥梁的质量及其经济性。

赵美灵摘译自“Бетон и железобетон” 1967, №7, стр. 1—6 (俄文)

格构桁架及组合体系的预应力 钢筋混凝土上部构造

ЕГРΑΦΟΒ 等

采用预应力可以增加钢筋混凝土桥梁的跨径，同时也扩大了梁式及无推力体系桥梁的建造范围，又可降低造价。继实体梁之后，又出现了预应力钢筋混凝土桁架以及预应力钢筋混凝土的系杆拱组合体系。本文仅对上述几种桥型作简要介绍。

采用系杆拱可以建造大跨径无推力钢筋混凝土桥梁，如采用预应力系杆拱又可大大提高受拉构件的抗拉性能，结构本身也得到了改进。

1962年苏联对这类桥型上部构造设计了一些统一标准的装配式构件，跨径有44.8米的，55.8米和67米的。经研究证明，采用刚性拱和刚性拉杆为好，因此在标准设计中采用了这种方案。拉杆设计成两个方案：①使用大拉杆，对应44.8米，55.8米和67米的三种跨，拉杆长分别为21.6米，27.1米和32.7米。②使用小拉杆，其长度为5.48—9.99米。采用第一方案时，用悬臂吊机并辅以中间安装支架进行吊装或是用80—100吨的门架吊机将已装配好的上部构造纵向滚动进行安装。采用第二方案时，在跨中的脚手架上拼装刚性梁，也可以事先将上部构造在桥头装配好，然后移动就位，此时只用30吨的吊机就够了。

预制大型刚性梁块件时，钢筋采用先张法，预制小块件时（第二方案）用后张法。图1为这类铁路桥的统一标准形式。

上部构造的所有构件（除刚性梁）的结构对于两种方案都是一样的。用跨径44.8米铁

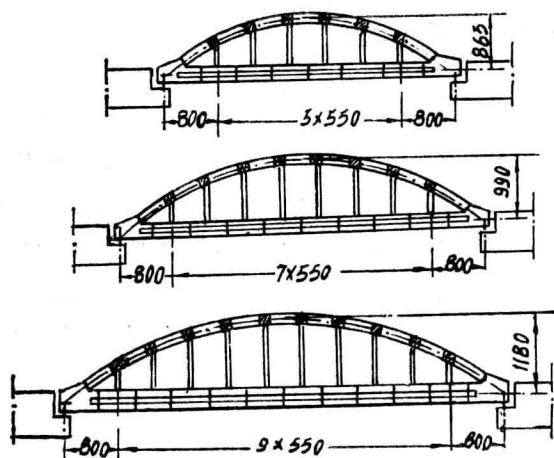


图1. 通行铁道荷载的跨长为44.8米，55.8米和67米系杆拱标准上部构造形式的类型。

路桥上部构造的刚性梁及拱圈可装配成车道净宽为 $\Gamma-8$ ，跨径为66.8米的上部构造，同样用55.8米的可装配成83.3米的，用67米的可装配成105.5米的。

图 2 为这类公路桥上上部构造的一般形式。

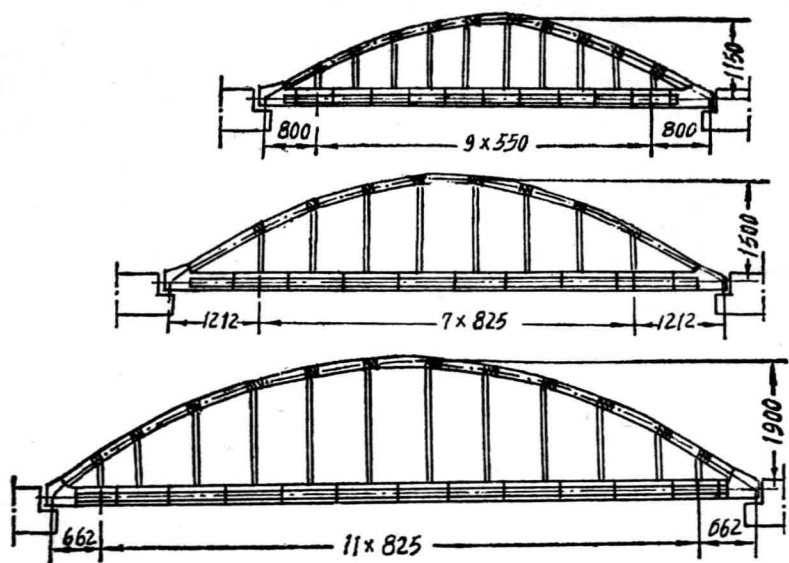


图2. 跨长为66.8米, 83.3米和105.5米装配式公路上部构造的一般型式

行车道的结构，刚性梁及拱圈构件的接头结构以及拉杆与拱圈和刚性梁的连接都是根据施工经验和理论试验结果而定。刚性梁构件用先张法连接时，用平面液压千斤顶较为合适。除上面介绍的系杆拱上部构造外，又提出了88米的上部构造方案，它的刚性梁采用了高为3.46米的无斜撑桁架，如图 3 。

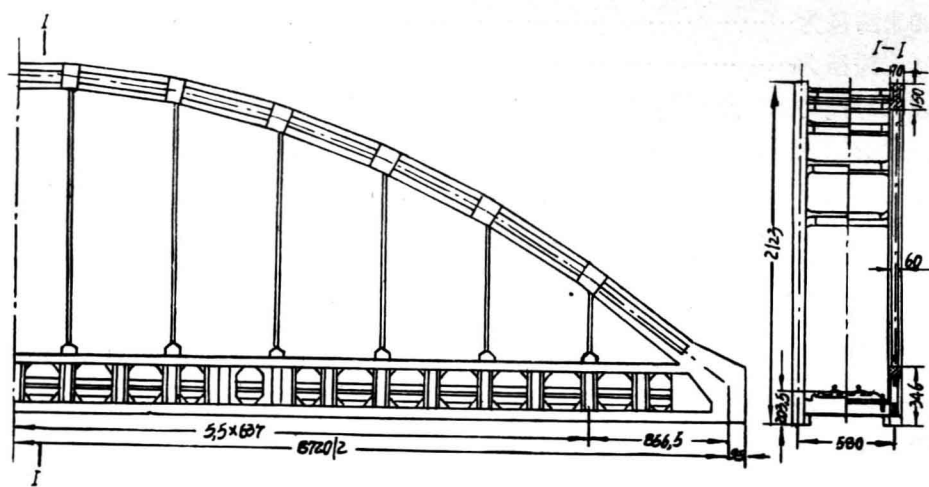


图3. 通行铁道荷载的跨长88米无斜撑加劲桁架系杆拱上部构造

对 1/4 梁长的模型进行了试验，之后在一座铁路桥上试作了一个无斜撑刚度桁架的上部构造。此种系杆拱上部构造的主要指标如表 1 所示。

表 1

工 程 项 目	单 位	先 张 法				后 张 法		
		跨 径 (米)						
		44.8	55.8	67.0	88.0	44.8	55.8	67.0
装配式钢筋混凝土	米 ³	174	221	311	502	176	223	305
整体式 ”	”	25	32	43	58	21	29	40
总 计	”	199	253	354	560	197	252	345
钢筋及敷设件	吨	32.8	48.2	60.4	149	31.7	43.1	58.4
高强钢丝	”	13.1	20.6	26.7	37	11.3	18.3	23.8
总 计	”	45.9	68.8	87.1	202	43.0	61.4	82.2

表 2 为每平方米有效面积 (总长×4.9米的栏杆间距) 内, 混凝土和钢筋的用量。

表 2

材 料	跨 径 (米)			
	44.8	55.8	67.0	88.0
混 凝 土 米 ³ /米 ²	0.90	0.92	1.06	1.28
钢 材 公斤/米 ²	$\frac{200}{596}$	$\frac{237}{550}$	$\frac{257}{600}$	$\frac{462}{810}$
分母表示系杆拱钢桥上部构造的钢材用量				

一立方米混凝土的钢材用量:

44.8米跨径为……………230公斤

55.8米跨径为……………255公斤

67.0米跨径为……………235公斤

88.0米跨径为……………362公斤

55.8米跨径的钢材用量要多一些, 原因是其建筑高度要与钢桥的上部构造取得平衡, 所以刚性梁的最佳高度略有降低。

表 3 是用铁路桥构件装配公路桥上部构造的主要指标。

表 3

工 程 项 目	单 位	跨 径 (米)		
		65.5	82.0	104.0
装配式钢筋混凝土	米 ³	330	413	565
整体式 ”	”	34	40	56
总 计	”	364	453	621
钢筋及敷设件	吨	58.1	79.7	117.2
高强钢筋	”	21.08	28.4	42.2
总 计	”	97.18	108.1	159.4

跨径在 44—88 米或以上时，可用弦杆格构桁架。桁架的受压构件用普通钢筋混凝土的，受拉或受规律变化应力作用的构件用预应力钢筋混凝土的。

钢筋混凝土桁架有多种形式：带并联弦杆的，带多角上弦的（下承式），等腰三角形格构的（图 4.a），吊杆加斜撑的（图 4.6），带刚性下弦的（图 4.b），由离心管做的刚性下弦（图 4.a）的形式。

现就常用的两种作一介绍。这种都属铁路桥，桁架的计算跨径是 55 米。其中之一为图 4.6 的形式，桁架高 11.0 米，节间长 9.17 米。行车道由纵横梁及道渣槽板组成（图 5）

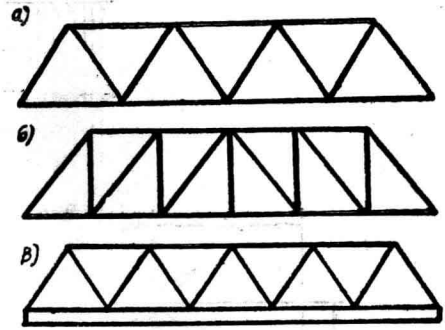


图 4. 下承式预应力钢筋混凝土桁架图式

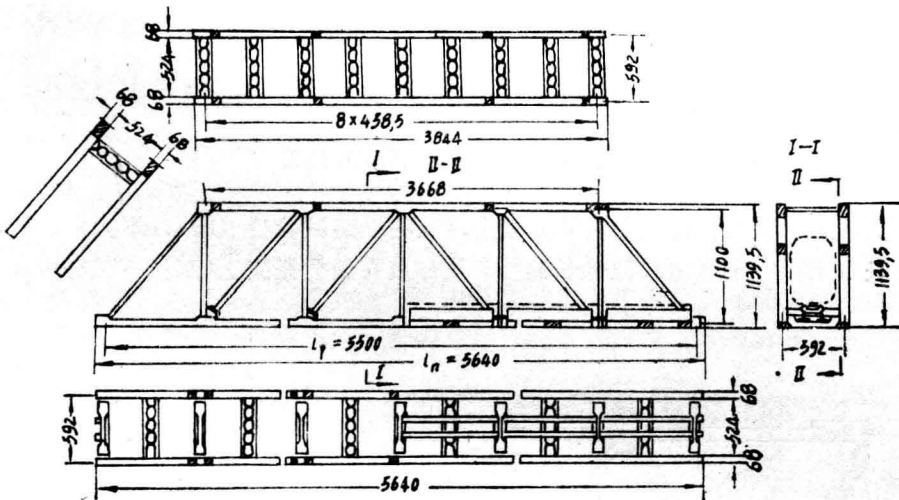


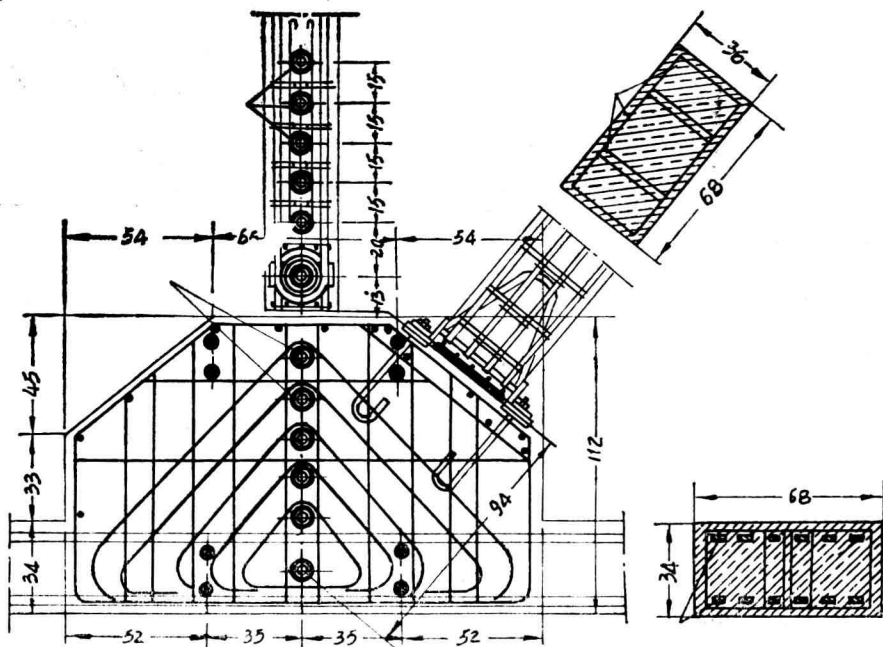
图 5. 用钢盖板连接接缝的上部构造图式

受拉和受压构件（下弦杆、吊杆、行车道梁）都是预应力的。下弦杆和吊杆内的预应力钢筋束是管式锚锭的。桁架的下弦杆分成双桁格块件，这些块件的接头露出节点部件的外部。受拉构件（吊杆，节点和下弦杆）之间用鱼尾板联结，鱼尾板的钻孔直径比螺栓大 10 毫米，以调整此板的正确位置（图 6）

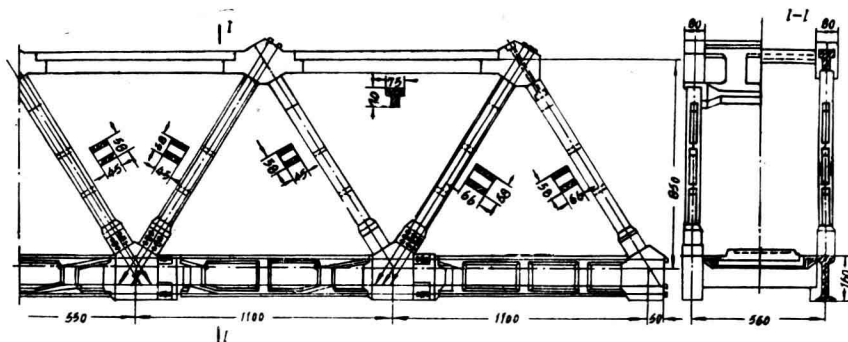
斜撑与节点之间用锚固螺栓联结，其间再用混凝土灌缝，接缝内事先铺上金属网。整个上部构造均在脚手架上安装。

建一座计算跨径 55 米的这种上部构造，要用：500 号混凝土 246.1 米³，其中安装混凝土占 11.2 米³；钢材 92.7 吨，其中钢丝束（ $R=15000$ 公斤/厘米²），占 14.9 吨，其它钢筋 47 吨，锚固用钢，钢管、螺栓等 30.8 吨。每一米³混凝土的钢筋用量为 252 公斤。钢材总用量 375 公斤/米³。

受拉构件在试验室内所得结果很好，但在实际的试验桥上却发现有很大的剩余挠度，节点上的鱼尾板也有位移。



另外又造了一座同样跨径的钢筋混凝土桁架的铁路试验桥(图4.B形式),桁架高8.5米,节间长11米,行车道由2.73米长的Π形块件放在悬臂托架上(刚性下弦杆内侧)组成,图7。



这种桁架的特点是钢丝束采取**套管连接法**。**套管**为柱形，一端有卡环，另一端有三个**卡块**（图8）。钢丝束的尾端放于**锚头**内，其中一个**锚头卡**在**套管的卡环**上，另一**锚头**则**嵌入套管的另一端**，以**卡块顶住**，然后**套管转动60度**，**锚头与套管即可完全卡紧**。

下弦杆和斜撑中的预应力钢筋用 5 毫米的 28 根到 42 根的钢丝束 ($R=17000$ 公斤/厘米²)。钢丝束穿过受拉构件的暗槽, 尾端固定在锚头上。在安装时钢丝束采取套管连接, 然后用千斤顶张拉, 以使桁架构件的混凝土、下弦杆整体接头混凝土及斜撑和节点整体接头混凝土得到挤压。拼装这种上部构造的方法与系杆拱的拼装方法类似。

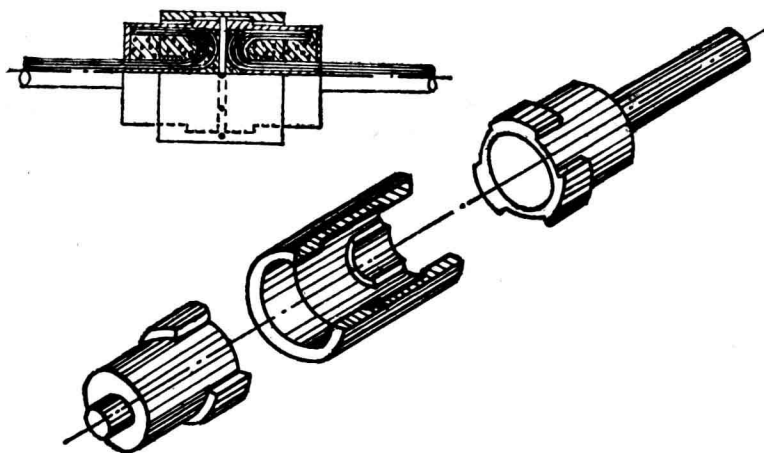


图8. 金属锭钢筋束连接构造

主要材料的用量:

混凝土.....	240.1米 ³
ГОСТ7348—55高强钢丝.....	10.5吨
СТ. 3, СТ. 5 号钢筋.....	61.0吨
其它钢材 (不计墩、支座)	17.1吨

在国外也建造了一些格构桁架的钢筋混凝土桥。现介绍其中之一的慕尼黑——萨尔茨堡公路的曼格法利桥。该桥为三跨 90+108+90 米，上部构造是钢筋混凝土连续式十字格构桁架（图 9），桁架中距是12.5米，桁架高是7.34米（1/14.7平均跨度）。

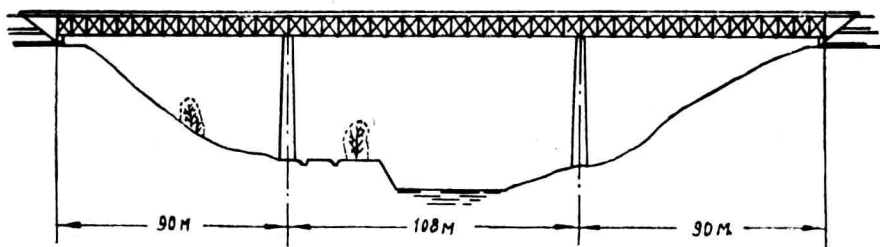


图9. 曼格法利桥梁图式

图10为该桥上部构造的横截面，预应力钢筋用直径26毫米的Сигма80/105号钢。钢筋由下弦杆弯曲通过受拉斜撑而锚固在上弦杆内。（图11）

在主跨的跨中截面内，下弦杆里有 116 根钢筋，上弦杆里有43根钢筋。而在墩部截面内共有243根钢筋，其中上弦杆有100根，上板中部有78根，板的悬臂有65根。

桁架的钢筋布置好之后，进行悬臂浇注混凝土。用临时支架进行悬臂浇注混凝土时，浇注部分的自由悬臂长可达50米。一个 6 米长的节间分两次浇完（图12）

此桥竣工后如图 13 所示。行车道的每一平方米面积（包括栏杆间）用钢筋混凝土0.9米³，钢材158公斤。

在国外，还有一种钢筋混凝土梁式桁架桥，梁的腹板为格构，刚性斜撑为交叉连接。莱

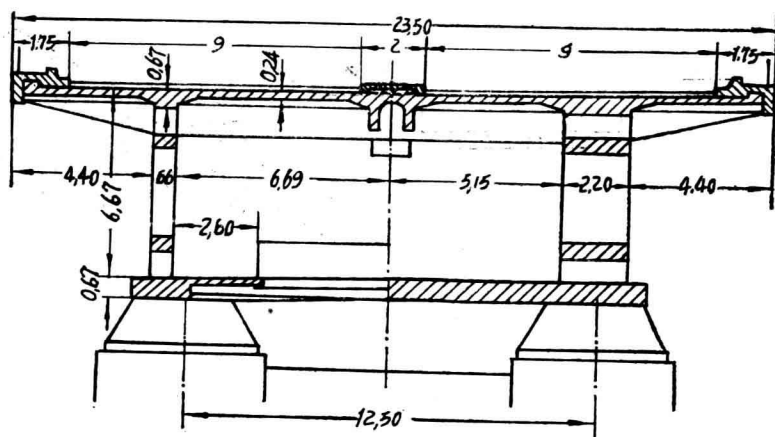


图10. 曼格法利桥横断面

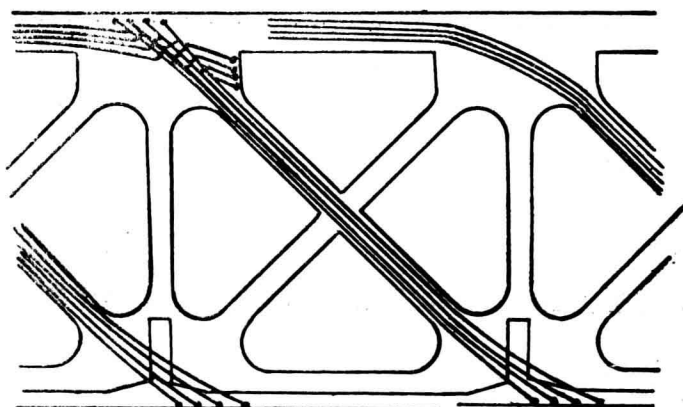


图11. 曼格法利桥桁架中构件配筋

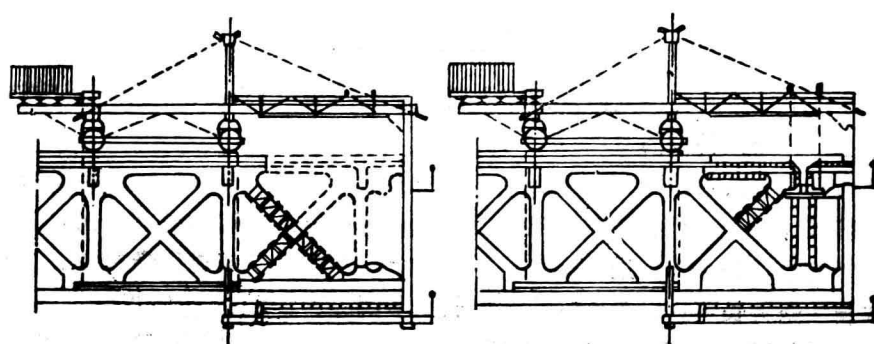


图12. 曼格法利桥桁架悬臂浇注混凝土

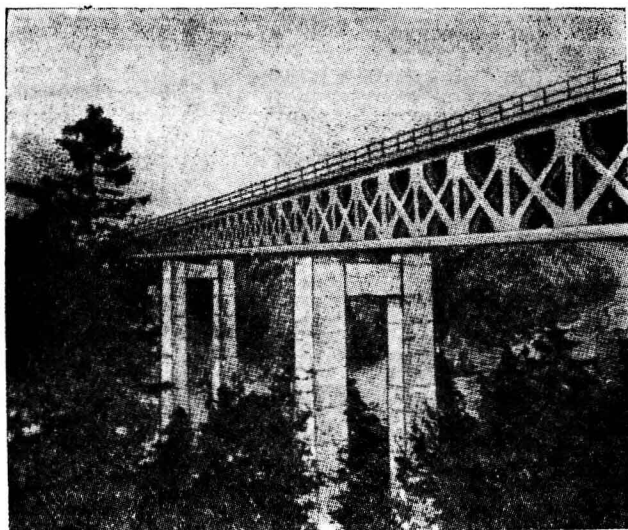


图13. 曼格法利桥建成的全貌。

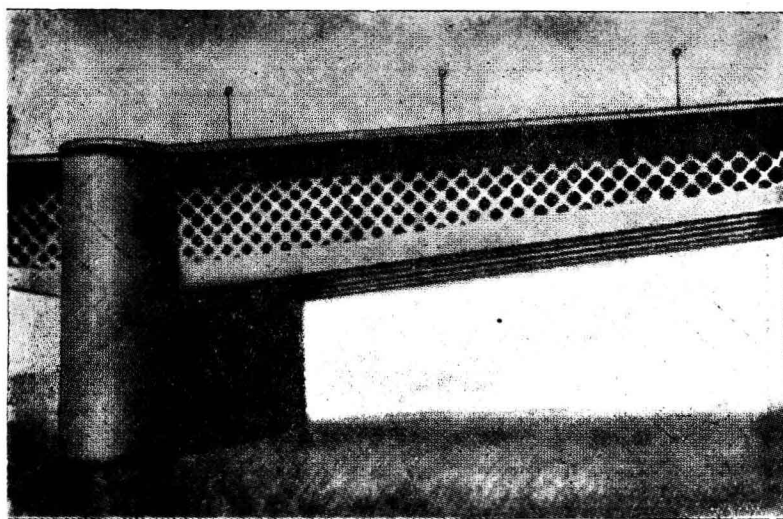


图14. 莱茵河十字格构桁架谢威恩桥