

55
30-1

钢筋混凝土桁架拱桥

《钢筋混凝土桁架拱桥》三结合编写组

农林部设计院
图书资料

人民交通出版社

钢筋混凝土桁架拱桥

《钢筋混凝土桁架拱桥》三结合编写组

人 民 交 通 出 版 社

1977年·北京

内 容 提 要

本书简要地介绍桁架拱桥的发展情况、结构形式、主要特点和经济指标,斜杆式桁架拱桥的设计计算和施工方法等,以及一些试验研究资料。此外,在附录中提供了一座净跨45米的桁架拱桥设计计算实例和四座已建成桁架拱桥的设计图。

本书可供公路、城市桥梁设计、施工部门技术人员及有关院校教师及工农兵学员参考。

钢筋混凝土桁架拱桥

《钢筋混凝土桁架拱桥》三结合编写组

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 5.5 插页: 4 字数: 122千

1977年4月 第1版

1977年4月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—21,000册 定价(科三): 0.70元

毛主席语录

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

钢筋混凝土桁架拱桥是无产阶级文化大革命期间发展起来的一种新桥型。它具有结构轻巧、施工快、造价低等特点，适应在软土地基上建造。

桁架拱桥最初在上海郊区的农桥中采用，后在金山县和浙江省等地用之试建公路桥也获得成功。由于这种桥型具有上述特点，故受到许多省、市和地区的重视和采用。几年来该桥型发展十分迅速，各地对其设计施工资料的需要也日益迫切。为适应这种需要和进一步总结交流经验，我们受人民交通出版社的委托，由同济大学公路工程研究所、浙江省交通局、上海市金山县农桥工程队共同组成三结合编写组，根据近年来在上海郊区、浙江、江苏等省所建造桁架拱桥的资料和所做的一些试验研究工作编写了本书。

本书第一章介绍了桁架拱桥的发展概况、结构形式和主要特点、技术经济指标。第二、三章分别介绍斜杆式桁架拱桥目前一般采用的设计计算方法和已采用过的一些施工方法。第四章简单地介绍了试验研究的一些资料和结论。最后，在附录中提供了一座净跨45米的桁架拱桥设计计算实例和四座已建桥的图纸。由于桁架拱桥的下部构造与一般拱桥相同，故本书未作叙述。

由于我们对各地建造桁架拱桥的情况了解得不够全面，实践经验和写作水平有限，错误之处希望广大革命读者指正。

本书编写过程中得到不少地区和单位的大力支持，为本书提供资料，对初稿提出不少宝贵的修改意见，在此谨表谢意。

《钢筋混凝土桁架拱桥》三结合编写组

目 录

第一章 概 述	1
第一节 钢筋混凝土桁架拱桥发展概况.....	1
第二节 结构形式.....	2
第三节 主要特点和经济指标.....	6
第二章 设计计算	8
第一节 结构构造.....	8
第二节 主要尺寸及截面拟定.....	11
第三节 受力分析及计算要点.....	15
第四节 一些问题的说明.....	22
第三章 施 工	24
第一节 桁架拱片的预制.....	24
第二节 桁架拱片的分段和接头.....	28
第三节 桁架拱片的运输和安装.....	31
第四节 桥面施工.....	41
第四章 试验研究	42
第一节 结构形式的对比试验.....	42
第二节 推力和结构承载能力测定.....	45
第三节 桁架结点次应力测定.....	46
第四节 结构刚度测定和裂缝观测.....	48
第五节 结构动力性施测定.....	51
第六节 桥面参加结构共同作用问题的试验.....	53
第七节 荷载的横向分布规律测定.....	54
第八节 桥面微弯板试验.....	56
附录一 设计计算示例.....	58
附录二 参考图纸.....	80

第一章 概 述

第一节 钢筋混凝土桁架拱桥发展概况

桁架拱桥是一种具有水平推力的拱形桁架桥。

在无产阶级文化大革命中，我国广大建桥职工，在毛主席革命路线的指引下，“抓革命，促生产”，掀起了社会主义革命和社会主义建设的高潮，发扬了敢想敢干的革命精神，大胆地进行革新，采用新的桥梁结构、新的桥型。在这个大好形势下，钢筋混凝土桁架拱桥（以后简称桁架拱桥）在国内首次建成并得到迅速的发展，成为交通建设中受到欢迎的又一种新的桥梁形式。桁架拱桥作为一种新生事物，是革命群众在三大革命运动实践中的产物，是工农兵登上桥梁科学技术舞台后取得的又一胜利成果。

桁架拱桥是在学习双曲拱桥建设经验的基础上发展起来的。1964年江苏省无锡县建桥职工首创双曲拱桥，为在软土地基上建造拱式桥梁开辟了新的途径。上海市郊区和浙江省沿海及平原地区在建造双曲拱桥的实践中体会到，在软土地基上建造拱桥，这是一个突破；同时又体会到，对于如上海地区这样的地基来说，这种双曲拱桥的自重仍然较大，往往导致基础变位和结构开裂。为了在承载力更差的软土地基上建造拱桥，还需进一步减轻桥梁自重，加强结构整体性，以防开裂和提高桥梁承载能力。基于这样的认识，建桥职工们进行了各种尝试和改革。总的说来，从两方面作了努力：一方面是在保持双曲拱结构形式基本不变的情况下设法减轻自重。例如建造了以立柱代替横墙、以微弯板或空心板梁代替腹孔拱波的轻型双曲拱桥。另一方面是从根本上改变结构形式，取消拱波，并使拱上建筑与主拱承重结构结合成整体，使之共同受力。例如，上海市嘉定、金山等县试建了具有拱波形桥面的变截面坦拱桥和拱形桁架桥等桥型。在这些桥型中，变截面坦拱桥的推力较大，限制了它的应用范围，而拱形桁架桥即桁架拱桥，具有整体性强、结构轻巧等特点，比较更符合在软土地基上建造的要求，具有较广的适应性。随着试建实践的开展，桁架拱桥的优越性愈加明显地反映出来。

1966年7月，上海市金山县首次建成一座跨径21米的斜杆式桁架拱农桥。1970年，金山县又试建成一座跨径26米的桁架拱公路桥，并对它进行了静载试验。试验结果表明，桁架拱是能适应公路桥梁要求的，性能和经济指标良好。1968年，浙江省开始在农桥中采用桁架拱。1971年，浙江省交通建设部门在公路上采用桁架拱结构，先后修建了跨径达40~50米的桁架拱桥多座，并对其中三座做了静载或动载试验。通过这些实践，逐渐加深了对桁架拱桥的认识，积累了设计和施工经验，为进一步研究和推广这种桥梁提供了资料。在同一时期内，在江苏及其它省、市，也因地制宜地试建桁架拱桥，均获成功。

几年来，通过各地的大量试建，桁架拱桥在结构形式上有所发展变化，出现了斜杆式、竖杆式（即空腹式）、桁架肋拱式和圆孔拱片式等形式（见本章第二节）。其中竖杆式桁架

拱结构，由于结构更加轻巧，预制时结点处布筋也较方便，因此初期曾得到较多的采用，在一些地区至今仍广为采用。但在对一些桁架拱桥的调查和鉴定试验中发现，竖杆式桥的竖杆两端均有开裂，而斜杆式却很少有裂缝。同时，跨径10米的斜杆式和竖杆式桁架拱片的静载试验也表明，斜杆式比竖杆式有更大的承载能力。因此，后来在公路桥上修建的桁架拱桥主要是斜杆式。但其它形式的桁架拱桥也各具特点，各有其一定的适用场合，因而也获得相应的发展。

桁架拱桥的发展过程，也是贯彻执行毛主席的无产阶级革命路线，批判修正主义路线的过程。在这个过程中，实行了设计、施工、科研相结合，工人、干部、技术人员相结合。在党的领导下，依靠这两个三结合，攻克了设计上、施工上一个又一个的难点，使桁架拱桥在短短的一段时期内得到迅速的发展。

近年来各地相继修建桁架拱桥。桁架拱桥不但已从最初的未经确切计算的小跨径单孔农桥发展到公路桥，而且已出现了多孔连拱桥。就跨径来说，1971年浙江建成跨径50米的公路桥，1972年金山县又建成了跨径80米的农桥。目前，一些地方正拟建造跨径大于50米的公路桥。就施工方法来说，不单是采用有支架施工，而且已发展到无支架施工。

各地修建桁架拱桥的大量实践和对一些桥梁的静载或动载试验表明，桁架拱桥的承载性能良好而用钢量和混凝土量都较少，自重轻，推力小，施工快，不但在地基条件好的地区宜于建造，而且在地基条件较差的地区也能适应。因此，它是适合于我国当前具体条件，有利于多快好省地进行桥梁建设的又一种新桥型，正在受到越来越多的地区和单位的重视和采用。

第二节 结构形式

现将桁架拱桥的几种主要形式：斜杆式、竖杆式、桁架肋拱式和圆孔拱片式，简单介绍于后。

一、斜杆式

这种形式的腹杆中有斜杆，桁架各杆件主要承受轴向力，承载能力较大，是目前较为广泛采用的桁架拱形式。本书所叙述的桁架拱桥，主要是指这种形式。

斜杆式桁架拱桥又可分为斜压杆式、斜拉杆式和三角形三种（图 1-1）。

二、竖杆式

这种形式的腹杆只有竖杆，没有斜杆，竖杆与上、下弦杆组成四边形框架（图 1-2）。这种结构也称空腹桁架拱。它的优点是腹杆少，重量轻，结点上只有三根杆件相交，钢筋布置和混凝土浇筑均较方便，外形也较整齐。缺点是：由于框架杆件以受弯为主，因此钢筋用量较大，超载潜力和刚度较小，在竖杆的两端容易开裂。

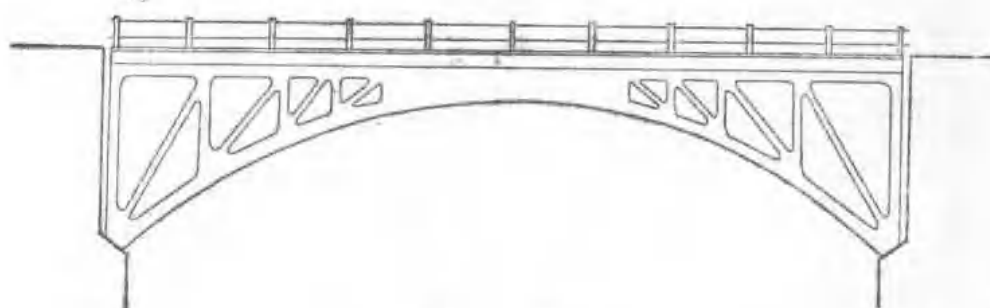
三、桁架肋拱式

这种形式是将肋拱桥的拱肋做成桁架结构，而拱上建筑仍保留（图 1-3）。这种桁架拱桥是在探索双曲拱无支架施工中发展起来的。由于无支架施工要求双曲拱桥的拱肋具有较大的刚度，因此将拱肋做成桁架形式。由于桁架的刚度大，就没有必要再设置拱波，这样就出现了桁架肋拱桥。这种形式的优点是桁架高度小，吊装方便，适宜于无支架施工和较大跨径

a)



a')

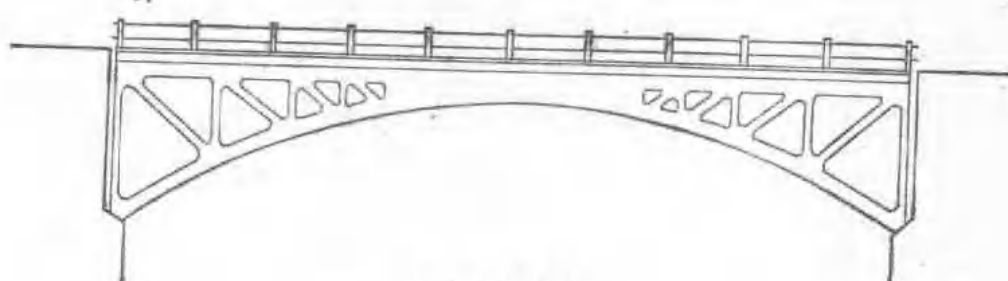


a)、a') 斜压杆式；

b)



b')



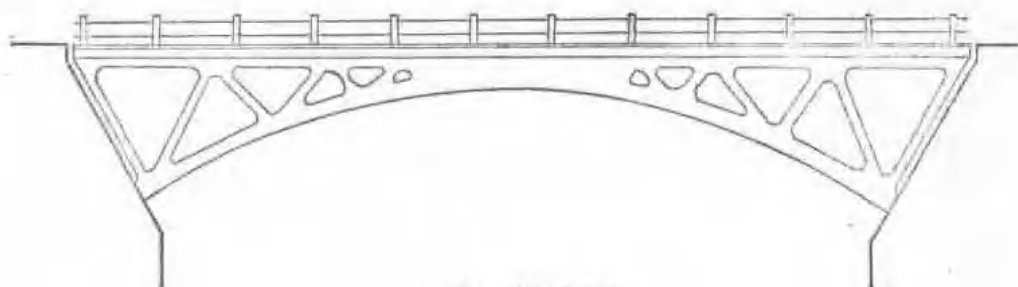
b)、b') 斜拉杆式；

图1-1 斜杆式桁架拱桥

a)



c)



c), c') 三角形式
图1-1 斜杆式桁架拱桥

a)



b)

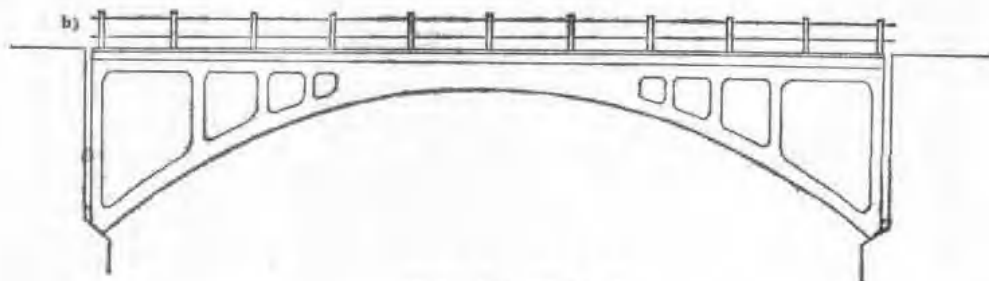


图1-2 竖杆式桁架拱桥

的桥上采用。缺点是没有发挥拱上建筑的结构作用，施工程序较多，而且目前这种桥的支承处是做成固结的，这样因基础位移、温度变化和混凝土徐变等引起的内力较大，在上弦杆根部附近易于开裂。今后如在软土地基上采用，宜改为两铰或三铰结构，也可采用临时铰，待基础变位和混凝土徐变稳定后再封铰。

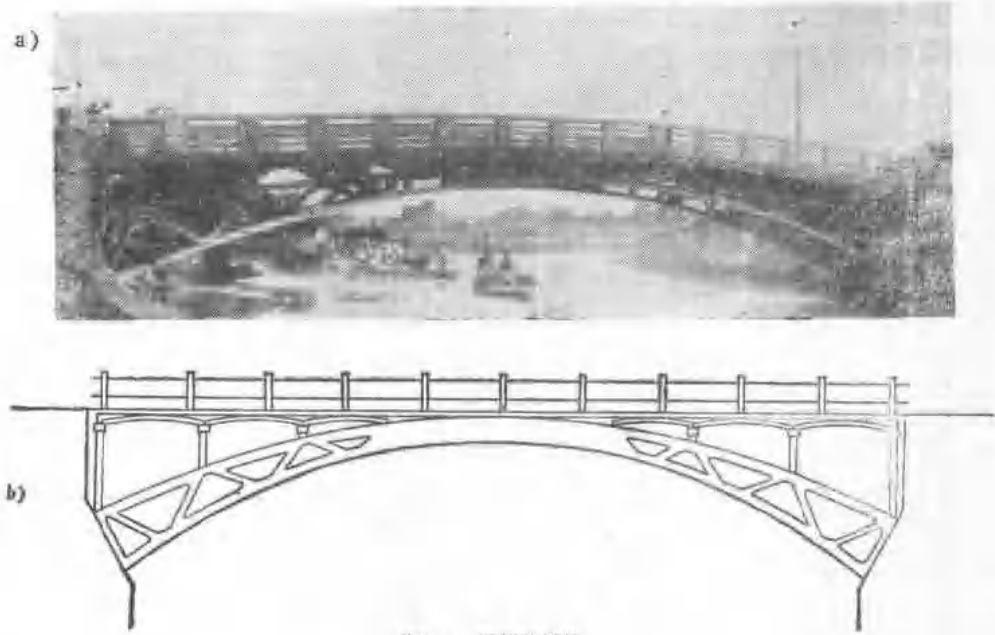


图1-3 桁架肋拱桥

四、圆孔拱片式

在拱片上设置几个大小不同的圆孔，以代替桁架拱的多边形空间，就成为圆孔拱片桥（图1-4）。这种形式的桥施工方便，节省钢筋，在中小跨径的桥梁中常被采用。

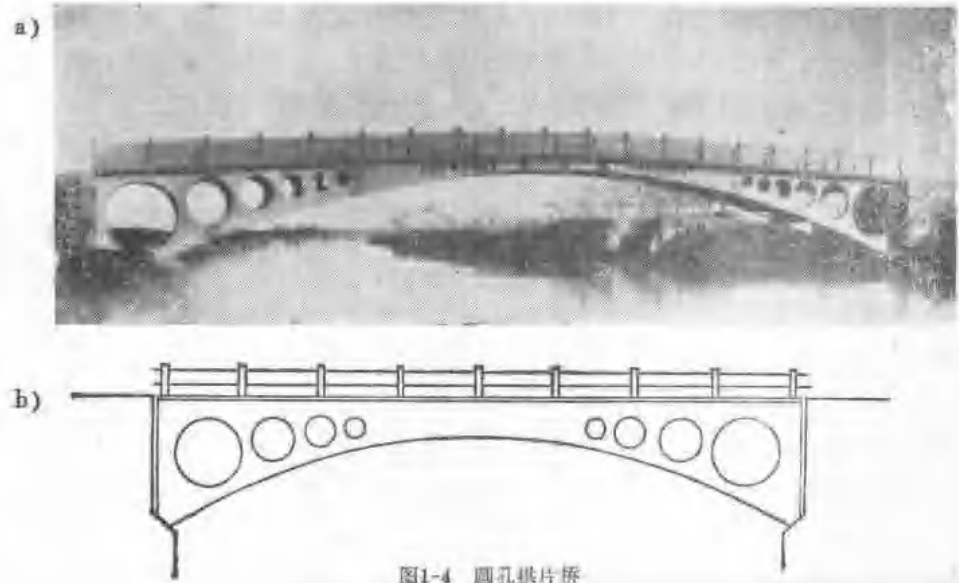


图1-4 圆孔拱片桥

第三节 主要特点和经济指标

现将斜杆式桁架拱桥的主要特点说明于下。

一、结构整体受力，能充分发挥材料的作用

桁架拱桥的承重结构是桁架拱片。它如同肋拱桥的主拱圈与拱上建筑的组合，两者联成整体，共同受力。一般圬工拱桥的承重结构是主拱圈，而拱上建筑只是局部传力构件，不考虑其参加共同作用。桁架拱桥则将这两部分结合起来，做到了整体受力，共同作用。因此，桁架拱桥充分地利用了各部构件的结构作用来整体受力，从而提高了桥梁的承载能力，这是桁架拱桥优越于其它拱桥的突出之点。

由于桁架拱是有推力的桁架结构，故它兼具桁架和拱的性能。桁架结构的特点是各部杆件主要地是承受轴向力，拱式结构的特点是利用支座的水平反力来减小跨间弯矩。综合利用了这两种有利作用的桁架拱结构，也就具有跨中弯矩小和桁架杆件以承受轴向力为主的特点，这就能比较充分地发挥全截面材料的作用。

二、结构自重小，比其它圬工拱桥更适应于软土地基

桁架拱桥由于结构整体受力，充分发挥了各部构件的结构作用，就有可能采用截面积很小的“主拱圈”（即下弦杆）和很轻的恒载重量。桁架拱桥上部构造的混凝土量，与轻型的双曲拱桥相比较，也还要减少三分之一左右，而用钢量相近或稍多。这样，不但大大地节约了上部构造的混凝土量，而且对基础的垂直压力和水平推力也显著减小，使基础工程得以简化。因此，桁架拱桥比其它形式的圬工拱桥，对软土地基有更好的适应性。

三、结构整体性好，装配化程度高，施工工序少，工期短

桁架拱桥作为主要承重结构的桁架拱片，具有整体的钢筋骨架，施工时或者是整片预制安装，或者是分段预制，吊装就位后用接头联成整体。因此，桁架拱片具有较强的整体性。

桁架拱桥的组成部件——桁架拱片、横向联结系构件和桥面结构中的微弯板等，都是预制安装的。上部构造按混凝土体积计算的装配率（预制构件体积/上部构造总体积）达百分之七十左右，其余的百分之三十主要是现浇桥面混凝土层。而且由于桁架拱片的竖向刚度大，桥面部分施工并不严格要求分段对称地进行，因此工作条件也较好。

桁架拱桥的施工工序比双曲拱桥为少。桁架拱桥的混凝土工程量和预制构件的品种也少。这些均使桁架拱桥的施工进度较快。

毛主席教导说：“我们必须学会全面地看问题，不但要看到事物的正面，也要看到它的反面”。对桁架拱桥也应有全面的认识和评价，以免陷入盲目性。在了解桁架拱桥上述特点的同时，还须注意到存在着的一些应予重视的问题。例如，桁架拱桥的自重轻、推力小，相对于其它圬工拱桥来说是一个宝贵的优点，但它毕竟是一种有推力的超静定结构，对软土地基的适应能力总是不及静定结构。此外，桁架拱片的吊装，要求有一定的吊装设备，一般地说来，中等跨度的桁架拱片分二至三段预制，每段重十余吨。对于这个吊装重量，一般的施工单位是能够适应的。但如吊装能力薄弱，不能适应这样的吊装重量，则桁架拱片的分段数势必增加，甚至将下弦杆与腹杆、上弦杆分开预制，这样就会增加安装的块件，延长工期。

现将几座已建成的单孔斜杆式桁架拱桥的主要经济指标列于表 1-1；桁架拱桥与双曲拱

桥的用料比较列于表 1-2。表 1-2 中的数据系来自浙江的塘栖某桥和善糠山某桥。这两座桥原设计为净跨50米的双曲拱，后改为同跨径的桁架拱。

已建的斜杆式桁架拱桥上部构造主要经济指标

表1-1

桥 名	腹杆形式	设计荷载	孔数	净跨径 (m)	矢跨比	桥面长度 (m)	桥 宽 (m)	钢筋用量 (Kg)	混凝土 用 量 (m ³)	每平方米 桥面用钢量 (Kg)	每平方米桥面 混凝土用量 (m ³)
浙江塘栖某桥	斜拉杆式	汽车-15级 拖-60	1	50	$\frac{1}{8}$	49.76	7+2×0.25	11,885	134	33.3	0.38
浙江三门某桥	斜拉杆式	汽车-13级 拖-60	2	44.80	$\frac{1}{10}$	93.91	7.50	21,837	373	31.1	0.53
浙江海宁 1号桥	三角形式	汽车-15级 拖-60	1	21	$\frac{1}{8}$	24.0	6.00	3,319	48	23.0	0.33
上海金山某桥	三角形式	汽车-10级 拖-30	1	26	$\frac{1}{9}$	29.0	4.50	2,721	38	20.8	0.29
浙江海宁 2号桥	三角形式	汽车-15 拖-60	1	26	$\frac{1}{9}$	29.0	6.00	3,796	60	21.8	0.35
浙江嘉兴 1号桥	三角形式	汽车-6级	1	50	$\frac{1}{10}$	53.80	3.50	2,598	56	13.8	0.30
浙江嘉兴 2号桥	三角形式	汽车-10级	1	34	$\frac{1}{8}$	34.48	5.00	2,213	40	12.8	0.26

50米跨径桁架拱与双曲拱材料用量比较

表1-2

结 构 名 称 材 料 用 量	桁 架 拱		双 曲 拱
	斜 杆 式	竖 杆 式	
钢 材 (t)	11.87	12.78	12.80
混 凝 土 (m ³)	134	129	213

第二章 设计计算

本章介绍斜杆式桁架拱桥的结构构造、尺寸和截面拟定以及计算方法。对于横向分布、冲击系数以及附加力等问题，只作简要说明

第一节 结构构造

桁架拱桥的上部构造由桁架拱片、横向联结系和桥面三部分组成（图 2-1）。

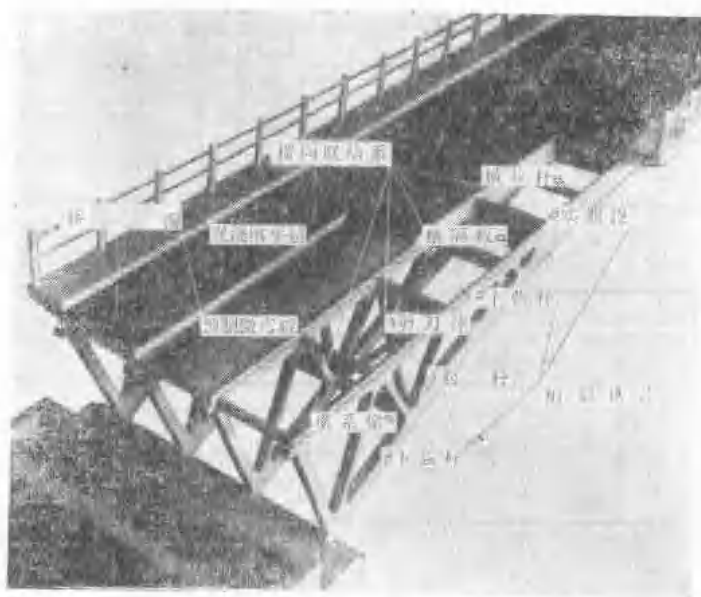


图2-1 桁架拱桥的组成

一、桁架拱片

桁架拱片是桁架拱桥的主要承重结构，承受上部构造的自重，并与桥面结构一起承受活荷载，把恒、活载作用力传递到墩台上去。它由上弦杆、下弦杆、腹杆和实腹段组成（图 2-2）。

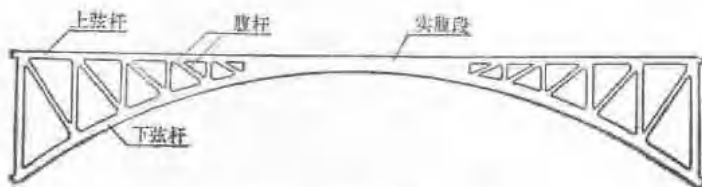


图2-2 桁架拱片的构造

上弦杆和实腹段的上缘构成桁架拱片的上边缘，它与桥面的纵向平行。上弦杆的轴线平行于桁架拱片的上边缘线。桁架拱片的下边缘线是拱形的，目前采用的有圆弧曲线、二次抛物线和悬链线三种。由于圆弧曲线的计算和施工放样都较方便，因此较为常用。下弦杆的轴线平行于桁架拱片的下边缘线。上、下弦杆在跨径中部汇成实腹段。

腹杆包括斜杆和竖杆。根据斜杆的不同布置情况，可分为斜压杆式、斜拉杆式和三角形形式三种（图 2-3）。

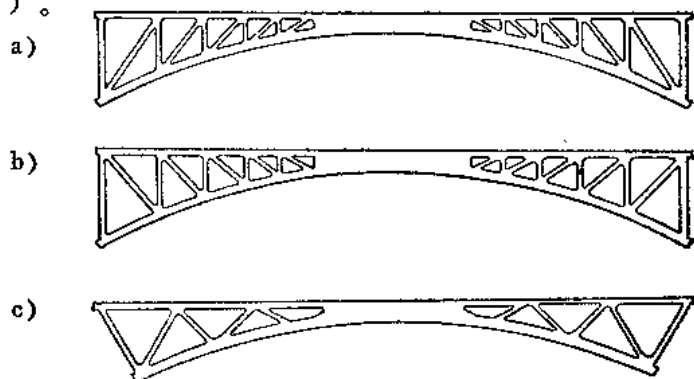


图2-3 桁架拱片的腹杆形式
a) 斜压杆式；b) 斜拉杆式；c) 三角形形式

斜压杆式和斜拉杆式的区别在于斜杆的倾斜方向不同，因此它们的受力也不同。在恒载作用下，斜压杆式的斜杆受压，竖杆受拉；斜拉杆式则相反。三角形形式的腹杆由不同方向的斜杆组成，没有竖杆。三角形形式的腹杆根数要比斜压杆、斜拉杆式为少，因此杆件总长度也较短，腹杆用料较省。但是，当桥的跨径和矢跨比均较大时，上弦杆节间长度也就较大，为承受局部弯曲所需的配筋也增加。

桁架拱片各杆件的轴线在结点处应相交于一点，否则在杆件内会产生附加弯矩。上弦杆的轴线应是考虑桥面参加共同作用的截面重心线。各杆件边缘线在交角处宜用圆弧线连接，以避免应力集中。

二、横向联结系

为把各桁架拱片联成整体，使之共同受力，并保证其横向稳定，需在桁架拱片之间设置横向联结系。桁架拱片的横向联结系包括拉杆、横系梁、横隔板和剪刀撑（图 2-4）。

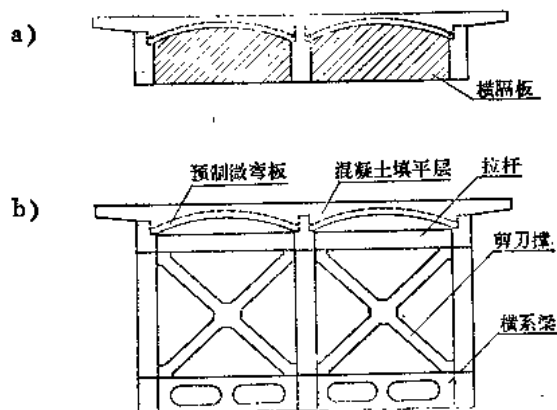


图2-4 横向联结系布置和桥面组成
a) 跨中断面；b) 端部或L/4断面

拉杆和横系梁分别设置在上、下弦杆的结点处，实腹段部分每隔 3~5 米也应设置横系梁。当跨径较小时，横系梁亦可用拉杆代替。

横隔板设置在实腹段与桁架部分交界处及跨中。板在高度方向上一般都直抵桥面。

剪刀撑一般设置在四分之一跨径附近的上下结点之间及跨径端部。较小跨径的桁架拱桥可以不设端部剪刀撑。对于大跨径桁架拱桥，除设置竖向剪刀撑外，还可以在下弦杆平面内设置一些平剪撑，以加强桥梁的横向刚度。

三、桥 面

桁架拱桥的桥面通常是由预制微弯板和现浇混凝土填平层两部分组成。预制微弯板沿桥横向搁置在桁架拱片的上弦杆和实腹段上。为了加强微弯板与桁架拱片的联结，一般将上弦杆和实腹段截面设计成凸字形，并伸出锚固钢筋。

桁架拱桥的桥面也可把混凝土填平层和微弯板合在一起预制，然后直接搁在上弦杆和实腹段上，如同少筋微弯板组合梁桥的桥面一样。

四、桥跨结构与墩台的连接

桥跨结构与墩台的连接包括：下部的支承处连接和上部的桥面部分连接。

桥跨结构下部与墩台的连接，目前通常的做法是在墩台帽上预留槽孔，将下弦杆的端头插入槽孔，深 10 厘米左右，四周用砂浆填塞，对于中小跨径桁架拱桥都可采用这种方式。但当跨径较大时，由于墩台位移等原因，往往造成支承面局部接触，引起反力偏心和结构内力改变。因此，对于较大跨径的桁架拱桥，下弦杆端头与墩台的连接宜采用较完善的铰，铰的构造可参照一般钢筋混凝土铰结构，采用平面铰或弧面铰。

桥跨结构上部与桥台的连接，目前采用的有过梁式和伸入式两种（图 2-5）。过梁式就是在桥跨结构与桥台之间用过梁连接，形成桥台腹孔。过梁一般采用简支板形式。伸入式就是把上弦杆的端部直接伸入到桥台顶面的槽内；使能伸缩而又不致左右摆动。

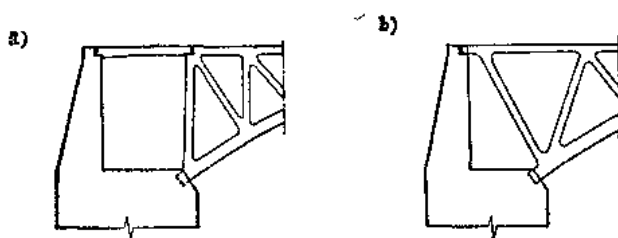


图2-5 桥跨结构与桥台的连接
a) 过梁式 b) 伸入式

多孔桁架拱桥桥跨结构之间的连接，目前采用的有悬臂式、过梁式和伸入式三种（图 2-6）。

悬臂式就是将相邻两跨桁架拱桥的上弦杆悬臂伸出，端面之间留有伸缩缝。过梁式就是在相邻两跨的上部结构之间搁置过梁。过梁一般也用简支板。伸入式与桥跨结构和桥台之间的伸入式连接相同。

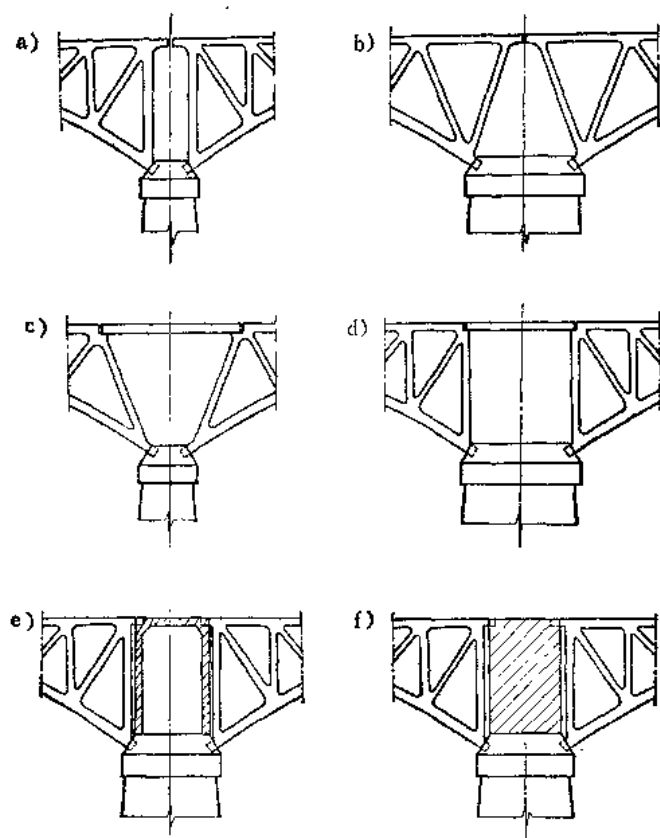


图2-6 多孔桁架拱桥桥跨结构之间的连接
a)、b) 悬臂式；c)、d) 过梁式；e)、f) 伸入式

第二节 主要尺寸及截面拟定

桁架拱桥的孔径划分和净矢高等的确定与一般拱桥相同，主要决定于桥址的地形和地质条件、桥下净空要求以及技术经济比较等。桁架拱桥的净矢跨比一般为 $\frac{f_0}{L_0} = \frac{1}{6} \sim \frac{1}{10}$ 。当跨径和矢跨比确定之后，需要确定的其它主要尺寸和要素有：桁架拱片的形式、片数和间距，桁架节间划分和各部分截面尺寸等。下面，根据目前一些已建桥梁的资料和一些单位的设计经验，介绍拟定上述各部尺寸的方法。

一、桁架拱片的片数及间距

桁架拱片的片数应根据桥梁的宽度、跨径、设计荷载等级及经济比较等方面因素考虑确定。当桥宽一定时，桁架拱片片数愈多，桁架拱片的总用料量和预制安装的工作量愈大，但桥面根跨径就较小，桥面用料也减少；反之，如桁架拱片片数减少，桁架拱片的总用料量也减少，桥面板跨径则相应增大，桥面用料量也增加。然而桥跨愈大，因桁架拱片增多而增加的每延米桥长的桁架拱片材料用量愈多，而因桥面板跨径缩小而减少的每延米桥长材料用量却与跨径无关。因此，桥跨较大时，宜采用较少的桁架拱片片数。