

公路桥涵设计手册

拱桥

(下册)

顾安邦

主编

孙国柱

张继尧

主审

人民交通出版社

《公路桥涵设计手册》

拱 桥

Gong Qiao

(下 册)

顾安邦 孙国柱 主编
张继尧 主审

人民交通出版社

(京)新登字091号

内 容 提 要

本书主要介绍钢筋混凝土和预应力混凝土桁架拱桥, 钢筋混凝土刚架拱桥, 钢筋混凝土中、下承式拱桥, 预应力混凝土桁式组合拱桥和钢筋混凝土拱式组合体系桥的设计。各种桥型均列有构造实例, 有的桥型还附有计算示例。

本书可供从事桥梁设计与施工人员使用。

公路桥涵设计手册

拱 桥

(下册)

顾安邦 孙国柱 主编

张继尧 主审

插图设计: 王惠茹 正文设计: 崔凤莲 责任校对: 杨 杰

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

开本: 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张: 25 插页: 5 字数: 661 千

1994年10月 第1版

1994年10月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—6100册 定价: 36.00 元

ISBN7-114-01853-3

U·01229

《公路桥涵设计手册》

编委会名单

主任委员：王建瑶

副主任委员：陈祥宝、胡明义

委员：（按姓氏笔画为序）

丁香云	王崇礼	王建瑶	毛家安	毛瑞祥
石绍甫	冯郁芬	孙国柱	江祖铭	刘效尧
刘德进	朱维峰	李逸龙	何福照	吴德心
苏清洪	陈祥宝	陈文沧	胡明义	张叔辉
张继尧	杨高中	周义武	金吉寅	赵立成
赵嘉行	项海帆	洪德昌	姚玲森	钱天锡
徐光辉	顾安邦	顾克明	顾懋清	高冬光
黄文机	郭永琛	程翔云	鲍钟岳	樊仕成

序 言

《公路桥涵设计手册》(以下简称《手册》)是在70年代出版的《公路设计手册》的基础上,根据交通部1985年颁发的桥涵设计规范和近代桥涵结构、新理论、新材料、新工艺发展的需要,由人民交通出版社组织编写的。1987年11月正式成立《手册》编写委员会,并确定编写《基本资料》、《涵洞》、《梁桥》(上册)、《梁桥》(下册)、《拱桥》(上册)、《拱桥》(下册)、《刚架桥》、《斜拉桥与吊桥》、《墩台与基础》、《桥梁附属构造与支座》、《桥位设计》等11个分册。

《手册》编委会历次召开的编写工作会议,得到了交通部工程管理司(原公路局)、西安公路学院、广东省公路勘测设计院、安徽省公路局、安徽省公路勘测设计院、福建省公路局、福建省交通规划设计院、厦门市交通局、新疆维吾尔自治区公路勘察设计院等主办会议单位在人力和财力上的支持与帮助,同时得到了编委所在单位和领导的关心与支持,谨在此表示衷心感谢。

《手册》编写工作会议,主要讨论了各册的编写大纲,制定了《手册》编写和审稿要求,示范性交流了有代表性的分册的编写经验,以求各分册在资料取舍、材料编排和体例格局方面能取得大体的统一。历次会议反复强调了《手册》是工具书,不同于教科书,也不同于专著,有它完整性、成熟性、系统性、示范性、图表化、简捷化和时代化等独特的要求。

本《手册》内容多、覆盖面宽,为便于广大读者查阅和保持

各分册的完整性、系统性的格局，内容上尚存在一定的重复，虽经分编、主编、主审和编委会的终审等层层把关，但限于我们的水平，缺点和错误在所难免，希广大读者提出批评和意见，并将意见径寄北京市和平里人民交通出版社。

《公路桥涵设计手册》编委会主任 王建瑤

1991年12月

前 言

本书主要介绍钢筋混凝土和预应力混凝土桁架拱桥，钢筋混凝土刚架拱桥，钢筋混凝土中、下承式拱桥，预应力混凝土桁式组合拱桥和钢筋混凝土拱式组合体系桥的设计。这些桥型有的是国内近年来发展起来的新桥型，有的是结构较复杂的桥型，因此，除了着重介绍它们的构造、设计计算方法和必要的施工计算外，对一些探讨性的问题亦作了扼要介绍。对各种桥型均列有构造实例，对其中较成熟的桥型，例如桁架拱、刚架拱、中承式拱和系杆拱均附有算例，还附有刚架拱和桁架拱两个电算程序，供参考使用。

本书以介绍桥梁上部结构的构造和设计计算为主，有关荷载、材料、预应力锚具、墩台和基础、施工方法、栏杆、伸缩缝和截面几何特性等内容本书不作详细介绍，可见有关“分册”。

本书读者对象主要是中、高级公路桥梁技术人员和有关院校的师生。

全书由顾安邦、孙国柱主编，张继尧主审。参加编写的人员有：顾安邦（第一章）、左智飞（第二章）、周履、孙国柱（第三章）、徐君兰（第四章）、杨渡年（第五章）。第二章第二节中连拱计算部分由张继尧整理，第一章中的计算示例(二)和电算程序分别由单成林、周水兴编写，第二章中的电算程序由娄有原整理。在编写过程中，得到了同济大学郑信光教授、贵州省交通厅陈天本高工、江苏省交通科研所夏永明高工、北京公路科学研究所楼庄鸿高工、福建省交通设计院黄文机高工、四川省公路局徐君默工程师和交通部第二公路勘察设计院等个人和单位的热情帮助，特此感谢。

由于编者水平有限，难免有不足之处，望读者批评指正。

目 录

第一章 钢筋混凝土和预应力混凝土桁架拱桥.....	1
第一节 桁架拱桥的特点、主要类型及经济指标.....	1
一、桁架拱桥的特点.....	1
二、桁架拱桥的主要类型及分析.....	2
三、桁架拱桥一览表.....	6
第二节 桁架拱桥的构造.....	7
一、桁架拱桥的总体布置及尺寸拟定.....	7
二、下弦杆、上弦杆、腹杆的截面型式、尺寸及 配筋.....	11
三、节点构造.....	17
四、桥面结构型式及尺寸.....	19
五、横向联结系构造.....	21
六、桥跨结构与墩台的连接.....	23
七、预应力混凝土桁架拱桥的构造.....	25
八、桁架拱片的分段和接头构造.....	31
九、钢筋混凝土桁架拱桥、预应力混凝土桁架拱 桥构造实例.....	36
第三节 桁架拱桥的设计计算.....	76
一、基本假定及计算图式.....	77
二、水平推力影响线计算.....	79
三、结构内力.....	83
四、其它内力.....	87
五、桥面微弯板计算.....	90
六、配筋验算.....	90
七、桁架拱桥的简化计算.....	105
八、桁架拱桥计算示例.....	114
第四节 桁架拱桥的电算.....	196

一、程序说明与计算框图	197
二、输入文件	198
三、举例	202
四、源程序及算例	204
参考文献	240
第二章 钢筋混凝土刚架拱桥	242
第一节 钢筋混凝土刚架拱桥的特点和经济指标	242
一、刚架拱桥的特点	242
二、刚架拱桥的经济指标	245
第二节 钢筋混凝土刚架拱桥的构造	245
一、刚架拱桥的基本组成	245
二、刚架拱桥的总体布置及尺寸拟定	246
三、刚架拱片各部分的构造	251
四、桥面系、横向联结系的构造	254
五、构件的划分及接头	259
六、支座	261
七、构造实例	267
第三节 钢筋混凝土刚架拱的计算	268
一、基本假定及计算图式	268
二、各阶段内力、变形及稳定计算	268
三、连拱计算	281
四、配筋计算	331
五、刚架拱电算程序	375
参考文献	448
第三章 中、下承式钢筋混凝土拱桥（简单体系）	449
第一节 中、下承式钢筋混凝土拱桥的适用场合及 施工特点	449
一、适用场合	449
二、主要经济指标	452
三、国内已建成的中、下承式拱桥	452

四、施工特点	452
五、中、下承式钢筋混凝土拱桥施工实例	454
第二节 中、下承式钢筋混凝土拱桥的构造	468
一、中、下承式钢筋混凝土拱桥的总体布置	468
二、中、下承式钢筋混凝土拱桥的构造	471
三、中、下承式拱桥的构造实例	492
第三节 中、下承式钢筋混凝土拱桥的计算	505
一、主拱的强度及稳定计算	505
二、主拱采用劲性骨架施工时的构造及计算特点	515
三、吊杆及桥面系的计算	531
四、中承式拱桥计算示例	552
附录 关于劲性骨架混凝土拱肋强度计算公式的 说明	566
参考文献	569
第四章 预应力混凝土桁式组合拱桥	571
第一节 预应力混凝土桁式组合拱桥的特点、类型和 组成	571
一、预应力混凝土桁式组合拱桥的特点	571
二、预应力混凝土桁式组合拱桥的类型	572
三、预应力混凝土桁式组合拱桥的组成	575
四、预应力混凝土桁式组合拱的受力、构造及施 工要点	576
五、预应力混凝土桁式组合拱桥的经济指标	585
第二节 预应力混凝土桁式组合拱桥的构造	586
一、总体布置及尺寸的拟定	586
二、上下弦杆、腹杆和实腹段的截面形式及构造	592
三、横向联系	602
四、桥面构造	602
五、下部结构	602
六、构造实例(四川牛佛大桥)	606

第三节	预应力混凝土桁式组合拱桥的计算	609
一、	计算简图、计算方法及主要计算假定	609
二、	营运阶段受力计算	611
三、	施工过程受力计算	614
四、	预应力混凝土构件应力和强度计算	616
五、	钢筋混凝土构件计算	617
六、	稳定分析	618
七、	算例分析	618
参考文献		634
第五章	拱式组合体系桥	635
第一节	主要类型及构造、施工特点	635
一、	柔性系杆刚性拱	636
二、	刚性系杆柔性拱	638
三、	刚性系杆刚性拱	640
四、	拱式组合体系的其它结构类型简介	641
第二节	拱式组合体系桥的构造	646
一、	无推力拱式组合体系桥的基本构成	646
二、	拱式组合体系桥的总体布置及尺寸拟定	647
三、	拱肋截面形式、尺寸及配筋	648
四、	系杆构造、配筋及预应力张拉工艺	651
五、	系杆与拱肋的连接构造	655
六、	吊杆及其节点构造	661
七、	横向联结系构造	664
八、	桥面系	665
九、	构造实例	666
第三节	系杆拱的设计计算	702
一、	柔性系杆刚性拱的内力分析及算例	702
二、	刚性系杆柔性拱内力分析	714
三、	刚性系杆刚性拱的内力分析与算例	729
参考文献		787

第一章 钢筋混凝土和预应力

混凝土桁架拱桥

第一节 桁架拱桥的特点、主要类型及经济指标

一、桁架拱桥的特点

桁架拱桥的上部结构一般是由桁架拱片、横向联结系和桥面三部分组成，如图1-1所示。其主要承重结构是桁架拱片。桁架

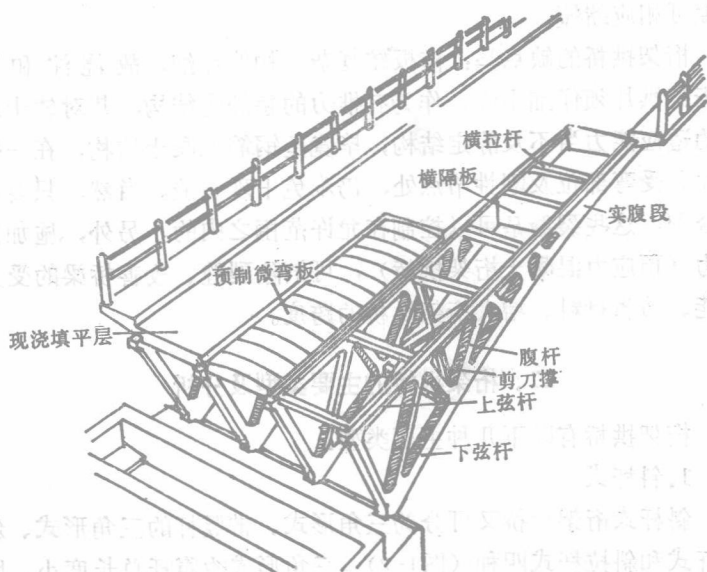


图1-1 桁架拱桥上部构造

拱桥是由拱和桁架两种结构体系组合而成，因此兼具有桁架和拱的受力特点。即：由于受有推力作用，跨间弯矩得以大大减少；由于把一般拱桥的传力构件（拱上建筑）与承重构件（拱肋）联成整体桁架，结构整体受力，能充分发挥各部分构件的作用。结构刚度大、自重小、用钢量省。桁架拱桥与一般双曲拱桥相比，在用钢量方面相差不多，但上部结构自重却能减少约三分之一。这样不但大大地节约了上部结构的混凝土量，而且支座反力也显著减小，基础工程可以节省。同时，桁架拱片外部通常采用两铰结构，因此基础位移、温差等造成的附加力要比固端拱小。这些都使桁架拱桥较能适应于软土地基。

桁架拱片一般都用整体的钢筋骨架，而且，构件接头可靠，混凝土龄期差别小。因此，结构整体性强，抗震性能好。

桁架拱桥的大部分构件是预制安装的，上部结构以混凝土体积计算的装配率达70%~80%，同时，施工工序少，对吊装能力的适应性强，且桁架拱片构件预制可与下部结构施工平行作业，工期可相应缩短。

桁架拱桥的缺点是：模板较复杂，构件纤细，故浇注和运输桁架拱片须仔细小心；作为有推力的超静定结构，其对软土地基的适应能力当不及静定结构；毕竟是钢筋混凝土结构，在一些受拉、受弯部位及刚性节点处，仍难免出现裂缝。当然，只要设计合理，这些裂缝是可以控制在允许范围之内的。另外，施加预应力（预应力混凝土桁架拱桥），可消除裂缝、改善桥梁的受力性能、节省材料、增大桁架拱桥的跨度。

二、桁架拱桥的主要类型及分析

桁架拱桥有以下几种主要类型：

1. 斜杆式

斜杆式桁架拱桥又可分为三角形形式、带竖杆的三角形形式、斜压杆式和斜拉杆式四种（图1-2）。三角形形式的腹杆总长度小，因而重量较轻，但上弦节间较长，局部荷载下的弯矩较大。带竖杆

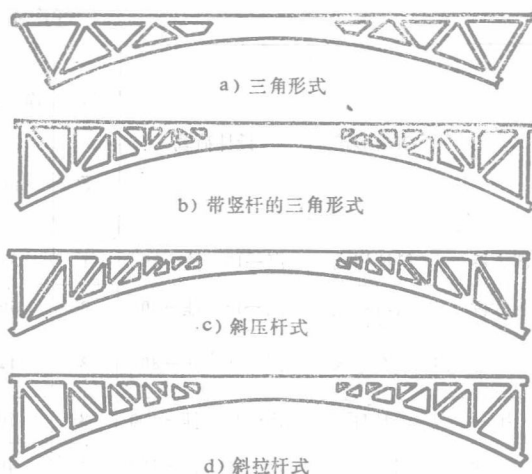


图1-2 斜杆式桁架拱桥

的三角形形式是在三角形形式的基础上加上竖杆，这样，缩短了节间长度，但有五根杆件交会的节点，那里钢筋布置复杂，外观上也显得杆多而乱，故较少采用。斜压杆式消除了竖杆三角形形式存在的缺点，所有斜杆均为压杆，竖杆均为拉杆，当需对受拉竖杆施加预应力时，预应力筋及锚头较易布置。其缺点是受压斜杆较长。斜拉杆式则斜杆受拉，竖杆受压，受拉的斜杆处于节间的短对角线上，故减少了腹杆的总长度，且因拉杆主要由钢筋受力，斜杆截面可尽量减小，这也使桁架拱片重量减轻。

斜杆式桁架拱片，承载能力较大，是较为广泛采用的桁架拱型式，其中尤以斜拉杆式采用较多。

2. 竖杆式

竖杆式的腹杆只有竖杆，没有斜杆，竖杆与上、下弦杆组成多个四边形连续框架（图1-3），这种结构也称空腹桁架拱。这种型式腹杆少，重量轻，节点上只有三根杆件相交，钢筋布置较为简单，混凝土浇筑方便，外形也较整齐美观。其受力特点是框架

20座桁架拱公路桥

序 号	桥 名	结构形式	设计荷载	孔 数	净 跨 (m)	矢跨比
1	越溪大桥	斜拉杆式	汽—15 挂—80	1	75	1/9
2	嵩县大桥	斜拉杆式	汽—15 挂—80	9	50	1/7
3	吴松江大桥	三角形	汽—15 挂—80	8	44.50	1/9、 1/9.5、 1/9
4	东 山 桥	斜拉杆式	汽—10 挂—100	3	50	1/8
5	马 公 桥	斜拉杆式	汽—20 挂—100	1	40	1/8
6	北 环 桥	斜拉杆式	汽—20 挂—100	1	40	1/10
7	六合大桥	斜拉杆式	汽—20 挂—100	7	40	1/7
8	正 阳 桥	三角形	林—40	1	40	1/8
9	武宜1号桥	斜拉杆式	汽—15 挂—80	1	36	1/8
10	勤 业 桥	斜拉杆式	汽—20 挂—100	1	36	1/8
11	谏 壁 桥	斜拉杆式	汽—20 挂—100	3	35	1/5
12	墩 尚 桥	斜拉杆式	汽—15 挂—80	24	32	1/8
13	南高营桥	斜拉杆式	汽—20 挂—100	1	31.6	1/9
14	钜 野 桥	三角形	汽—15 挂—80	1	30	1/10
15	运 港 桥	三角形	汽—20 挂—100	1	30	1/10
16	团山子9公里桥	三角形	森—22	1	30	1/10
17	蟒蛇河桥	斜拉杆式	汽—15 挂—80	4	25.6	1/5
18	新 丰 桥	斜拉杆式	汽—20 挂—100	1	24.86	1/10
19	曾家港桥	斜拉杆式	汽—20 挂—100	1	20	1/10
20	工 农 桥	斜拉杆式	汽—15 挂—80	3	19.84	1/8

上部结构经济指标

表1-1

桥面长度 (m)	桥 宽 (m)	桥面面积 (m ²)	钢筋用量 (t)	混凝土 用 量 (m ³)	每平米桥面 钢筋用量 (kg/m ²)	每平米桥面 混凝土用量 (m ³ /m ²)
75.6	7+2×0.5	613	29.82	310.20	49.3	0.53
466	7+2×0.70	3910	118.30	1603.50	30.2	0.41
148	7+2×0.75	1258	50.00	545.10	39.8	0.43
167.6	9+2×2.25	2260	71.97	—	31.9	—
40.0	12+2×3.0	720	27.09	350	37.6	0.49
40.0	9+2×1.5	480	17.12	226	35.7	0.47
304	12+2×2	4930	204	3233	41.4	0.66
46.3	7.5+2×1.5	487	11.47	181.90	23.5	0.37
37.17	14+2×3	745	24.35	328.0	32.7	0.44
36	9+2×1.5	432	15.92	207.0	36.8	0.48
118	10+2×1.5	1534	70.8	644.7	46.2	0.42
864	7+2×0.75	7340	215	3303	29.3	0.45
40.56	12+2×0.25	610	22.92	238.3	37.75	0.391
32	7	224	3.39	91.17	15.1	0.41
40.0	10.5+2×1	500	15.32	208	30.7	0.42
29.6	33+2×0.3	155	5.48	60.15	47.5	0.52
102.4	7+2×0.25	768	28.3	338	36.9	0.44
25.5	7+2×0.5	204	7.11	58.3	34.9	0.32
20	7+2×0.5	150	4.952	54.89	33.1	0.37
86.43	7+2×0.25	648	20	208.3	30.4	0.32

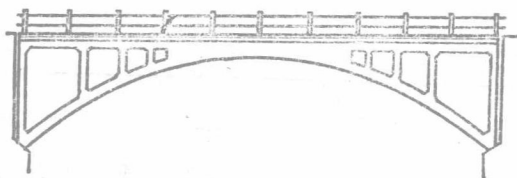


图1-3 竖杆式桁架拱桥

杆件以受弯为主，故需配筋较多。在弹性压缩和桥台水平位移的影响下，竖杆两端易产生裂缝，故常有采用增大竖杆两端截面的变截面竖杆的型式。与斜杆式桁架拱相比，竖杆式桁架拱的变形要大些，承载能力要小些。通常，竖杆式桁架拱适用于活载较轻的中小跨径（ $l \leq 40 \sim 50\text{m}$ ）公路桥梁和城市桥梁。

3. 桁架肋拱式

这种型式相当于将肋拱桥的拱肋做成桁架结构，而拱上建筑仍保留（图1-4）。施工时先将桁架形拱肋合拢，再安装拱上建筑。桁架肋拱的桁架高度小，吊装方便，适宜于无支架施工和较大跨径的桥采用。由于桁架在支承处固结程度大，由基础变位、温变和混凝土徐变引起的内力较大，在上弦杆根部附近容易开裂。

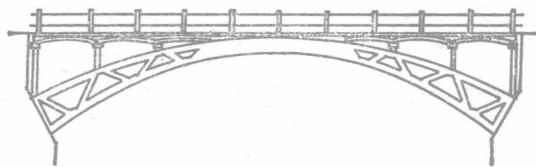


图1-4 桁架肋拱桥

三、桁架拱桥一览表

表1-1列出已建成的20座公路桁架拱桥上部结构的主要尺寸和钢筋、混凝土用量。从表中可见，每平方米桥面用钢量大部在30~40kg范围内，平均为35kg，为双曲拱的90%、箱形拱的