

公路桥涵设计手册

Gong qiao
拱 桥

(上 册)

顾懋清 石绍甫 主编
陈祥宝 主审

人民交通出版社

前 言

公路桥涵设计手册《拱桥》上册，内容是最常用的上承式拱桥为主，有关其它类型的拱式桥梁将在《拱桥》下册中叙述。

本手册是公路桥涵设计手册中的一个分册——《拱桥》上册。手册编写以拱桥设计的实际应用为主，重点介绍拱桥的结构、构造、设计程序、设计方法，给出必要的理论计算式，进行查表计算。对常用的中、小跨径的圆弧拱桥上、下部构造，给出大量的图表，只要条件基本符合，就能应用；对大跨径拱桥、连拱作用等，则辅以算例，并对其进行经济、技术分析，以供设计人员参考。

本手册对从事公路桥梁工作的专业人员，将是一本实际应用的必备书籍；对大、专院校的学生，也可以从中获得对有关拱桥具体的设计内容、步骤和方法等方面的知识；对从事铁路、水利、农林等桥梁工程专业人员也有一定的参考价值。

本手册第一、三、五章由顾懋清编写，第二章由王金鲁、顾懋清编写，第四章由石绍甫编写，第六章由胡大琳编写，第七章由章瑞文、石绍甫编写，附录由石绍甫整编。全书由顾懋清、石绍甫主编，陈祥宝教授主审。

1991年7月

(京)新登字 091 号

内 容 提 要

近十几年来,我国公路桥梁建设事业发展迅速,原来的《公路设计手册》已不适用,为此,我社重新组织编写了《公路桥涵设计手册》,共11个分册;基本资料、涵洞、梁桥(上)、梁桥(下)、拱桥(上)、拱桥(下)、刚架桥、墩台与基础、桥梁附属构造与支座、斜拉桥与吊桥、桥位设计。

《拱桥》(上册)内容以最常用的上承式拱桥为主,其它类型拱式桥梁将在《拱桥》(下册)中叙述。

公路桥涵设计手册

拱 桥

(上 册)

顾懋清 石绍甫 主编

陈祥宝 主审

插图设计:汪萍 正文设计:乔文平 责任校对:张莹

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经售

通县曙光印刷厂印刷

开本: $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张: 37.125 插页: 4 字数: 987千

1994年6月 第1版

1994年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—6500 册 定价: 40.00 元

ISBN 7-114-01648-4

U · 01096

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

王建瑶

1991.12

“公路桥涵设计手册”

编委会名单

主任委员：王建瑤

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	王建瑤	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	李选龙	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

目 录

第一章 拱桥的构造	1
第一节 拱桥的受力特点及适用范围.....	1
第二节 拱桥的立面型式及选择.....	13
一、拱桥的立面型式.....	13
二、型式的选择.....	15
第三节 主拱圈的构造.....	16
一、实体板拱.....	16
二、空心(卡砌)板拱.....	24
三、板肋拱.....	26
四、肋拱.....	29
五、箱形拱.....	33
六、双曲拱.....	46
第四节 拱上结构构造.....	58
一、实腹式拱上结构.....	58
二、空腹式拱上结构.....	59
三、其它细部构造.....	63
第五节 弯、坡、斜拱桥构造特点.....	72
一、弯拱桥.....	73
二、坡拱桥.....	93
三、斜拱桥.....	106
第二章 拱桥的设计	131
第一节 拱桥的总体设计.....	131
一、桥长及分孔.....	131
二、设计标高及矢跨比.....	132
三、不等跨的处理.....	134
第二节 拱轴线的选择及拱上建筑的布置.....	135
第三节 拱桥各部尺寸的拟定.....	138

一、上部结构各部尺寸的拟定	138
二、主拱圈截面尺寸的拟定	142
三、下部结构主要尺寸的拟定	146
第三章 等截面圆弧线无铰拱内力计算	149
第一节 圆弧线无铰拱桥的常用尺寸及工程数量	149
第二节 圆拱拱的计算公式及其用表	234
一、圆拱拱的几何性质	234
二、基本结构与弹性中心	234
三、恒载内力计算	237
四、影响线及活载内力	238
五、温度作用下拱的内力计算	240
六、拱脚位移引起的内力	241
第三节 不同荷载作用下拱弹性中心处的内力	242
第四章 悬链线无铰拱内力计算	251
第一节 几何性质的计算公式及用表	251
一、拱轴线坐标	251
二、拱轴线水平倾角及函数	252
三、变截面悬链线拱的拱厚变换系数	252
四、弹性中心	253
第二节 拱轴系数 m 的确定	254
一、用无矩法确定 m	254
二、拱轴线的调整	256
三、用内力优化确定 m	256
第三节 主拱圈内力计算公式及计算用表	257
一、用无矩法计算恒载作用下的内力	257
二、恒载压力线偏离拱轴线引起的内力	257
三、弹性压缩引起的内力	259
四、内力影响线	261
五、用影响线加载法计算恒载内力	265
六、活载作用下的内力	270

七、温度变化和混凝土收缩引起的内力·····	272
八、拱脚位移引起的内力·····	273
九、地震力、风力、离心力、浮力引起的内力·····	275
第四节 主拱圈的强度及稳定性验算·····	277
一、荷载组合·····	277
二、强度验算·····	278
三、稳定性验算·····	282
第五节 内力调整·····	285
一、假载法调整内力·····	285
二、千斤顶法调整内力·····	287
第六节 拱上结构的计算·····	288
一、拱上结构与主拱各自独立计算·····	288
二、拱上结构与主拱联合作用的测试数据汇编·····	288
第七节 等截面悬链线无铰拱设计例题·····	290
一、用无矩法计算恒载内力——方法之一·····	290
二、用影响线加载法计算恒载内力——方法之二·····	342
第八节 等截面悬链线无铰拱桥技术经济指标·····	342
一、横置桥面板双肋拱桥技术经济指标·····	342
二、缆索吊装箱形拱桥技术经济指标·····	342
第五章 双铰拱及三铰拱内力计算·····	343
第一节 等截面圆弧线双铰拱内力计算·····	343
一、常变位·····	343
二、载变位·····	345
三、恒载推力·····	345
四、活载推力影响线·····	345
五、温度影响力·····	349
六、内力计算·····	349
第二节 等截面抛物线双铰拱内力计算·····	350
一、拱轴线方程及拱轴线斜率·····	350
二、恒载推力·····	351

三、活载推力	354
第三节 等截面悬链线双铰拱内力计算	356
一、活载水平推力计算	357
二、拱圈自重作用下水平推力的计算	358
三、温度影响力	359
四、内力计算	359
第四节 三铰拱内力计算	359
一、等截面圆弧线三铰拱	360
二、悬链线三铰拱	364
第五节 拱铰计算	370
第六章 连拱计算	373
第一节 基本概念	373
一、连拱受力的基本概念	373
二、符号规定	374
三、拱和墩的弹性常数	375
四、杆端力与拱脚位移的关系	388
第二节 第一种简化计算方法——按拱墩的抗推刚度比简化算法	389
一、简化计算的依据及假定	389
二、连拱简化计算图式	390
三、三孔连拱简化计算	391
四、考虑连拱作用的内力计算	395
第三节 第二种简化算法—— Σ 法	396
一、两铰连拱的三推力方程	396
二、无铰连拱的三推力方程	397
第四节 第三种简化算法——换算刚度法	400
一、换算刚度法的基本概念	400
二、换算刚度计算	401
第五节 四孔等跨等墩高双曲拱计算示例(Σ 法)	407
一、资料与计算内容	407

二、固端拱内力	408
三、弹性常数计算	409
四、拱、墩水平推力计算	412
五、拱、墩内力	413
第七章 主拱圈无支架施工的阶段验算	415
第一节 预制拱肋在成拱前的验算	415
一、预制拱肋起吊时吊点位置和内力计算	415
二、吊运过程中的拱肋内力计算	417
三、安装过程中的拱肋内力计算	418
四、裸肋强度和稳定性验算	421
第二节 裸拱内力计算	421
第三节 主拱圈的加载程序	422
一、施工加载程序的目的和意义	422
二、施工加载程序的一般原则和经验	423
三、施工加载计算	425
第四节 拱桥无支架施工计算示例	426
一、设计资料及基本数据	426
二、槽形箱肋吊运内力计算	433
三、箱肋安装过程内力计算	433
四、箱肋吊运、安装过程中的强度验算	438
五、裸拱强度及稳定性验算	440
第五节 转体施工法主拱圈内力计算	452
一、概述	452
二、转体施工中主拱内力计算	454
三、主拱转体过程的变形计算	455
附录	456
附录 (I) 等截面圆弧无铰拱计算用表	456
附录 (II) 变截面悬链线无铰拱计算用表	522
附录 (III) 等截面悬链线无铰拱计算用表	573
附录 (IV) 双铰拱计算用表	1158

第一章 拱桥的构造

第一节 拱桥的受力特点及适用范围

拱桥是我国公路上使用广泛且历史悠久的一种桥梁结构型式。它外形宏伟壮观,且经久耐用。拱桥与梁桥不仅外形上不同,而且在受力性能上有着本质的区别。梁式桥梁在竖向荷载作用下,梁体内主要产生弯矩,且在支承处仅产生竖向支反力,而拱式桥梁在竖向荷载作用下,支承处不仅有竖向反力,还有水平推力。由于这个水平推力,使拱体内的弯矩大为减小。

现以荷载、跨径相同的简支梁与三铰拱作受力分析(图 1-1),比较其同一跨径处任意截面的内力有什么区别。

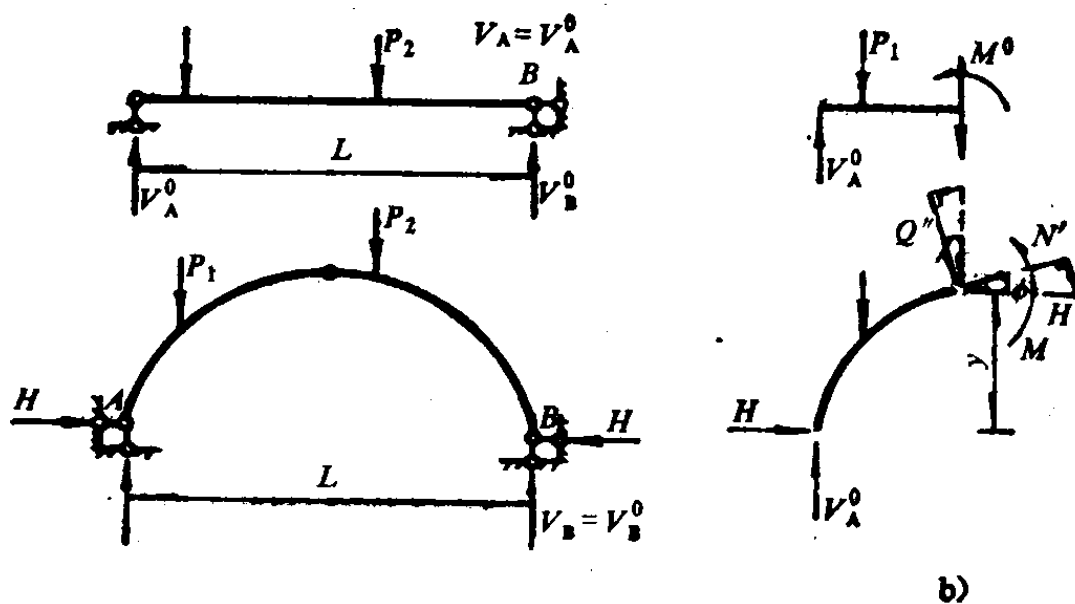


图 1-1 拱与梁的受力

图中: H ——拱的水平推力;
 y ——水平推力距主截面形心的距离;
 V_A^0 、 Q^0 、 M^0 ——梁的竖向反力和任意截面处的剪力、弯矩。
 而拱的弯矩为: $M = M^0 - Hy$

国外上承式大跨径钢

顺序	桥名	竣工年份	类别	结构	桥跨 (m)	桥宽 (m)	拱宽 (m)
1	前南斯拉夫 KRK 铁托大桥	1980	公路	空腹无铰 空腹无铰	390 244 (付跨)	11.4 11.4	13 8
2	澳大利亚 Gladesville 桥	1964	公路	空腹无铰	304.8	25.66	4根拱肋 每根6.1
3	巴西 Parana 桥	1962	公路	空腹无铰	290	13.5	拱顶11 拱脚13
4	葡萄牙 Arrabida 桥	1964	公路	空腹无铰	270	26.5	两根拱肋 每根8
5	瑞典 Sandö 桥	1943	公路	空腹无铰	264	12	9.5
6	前南斯拉夫 Шибенский 桥	1963	公路	空腹无铰	246.4	10.76	7.5
7	意大利 Fiumarella 桥	1961			231		
8	前苏联 Днепр 河桥	1952	公铁两用	空腹无铰	228		11.4
9	南非 Stormo 河桥	1955	公路	空腹无铰	113	8.2	拱顶6.3 拱脚7
10	南非 Van Studens 桥	1971	公路	空腹无铰	200	26	14.6
11	前南斯拉夫 Пешехни́й 桥	1966	公路	空腹无铰	193.2	9.25	7

钢筋混凝土拱桥一览

表 1-1

矢高 (m)	矢跨比	拱圈高度(m)		横截面	简况	附注
		拱顶	拱脚			
60 47	$\frac{1}{6.5}$ $\frac{1}{5.2}$	6.5 4.0	6.5 4.0	三室箱 三室箱	用悬臂桁架法施工, 预制块拼装, 每段 5 m。先合拢中室箱。中室箱拱块由四块预制板组成。起重能力主跨 $2 \times 10^3 \text{kN}$, 副跨 10^3kN 。用千斤顶调整拱内力。50 号混凝土	
40.3	$\frac{1}{7.5}$	4.26	7	4 个单室箱肋	用有支承的钢拱架, 宽为一个拱肋, 三次横移拱架。预制块重 $5 \times 10^3 \text{kN}$ 以下。四分点设千斤顶, 脱架和调整拱内力	
53	$\frac{1}{5.5}$	3.2	4.8	三室箱	钢拱架上浇筑	
51.8	$\frac{1}{5.2}$	3	4	两个三室箱肋	拱形钢拱架上浇筑	有的资料拱脚高 4.5 m
39.5	$\frac{1}{6.7}$	2.66	4.5	三室箱	先在无中间支撑的木拱架上浇筑, 因木材湿度过大而破坏。后在有支撑的木拱架上浇筑	有的资料中, 拱圈宽 10.1 m, 拱顶高 2.9 m, 拱脚高 5.0 m
30.8	$\frac{1}{8}$	3.7	2.7	三室箱	用塔架斜拉索法施工, 悬浇拱圈, 每次一节间。拱顶高度比拱脚大, 为镰刀型截面	
66.1	$\frac{1}{3.5}$					
34	$\frac{1}{6.7}$	6	7	三室箱	双层式。用常备式钢拱架分层浇筑	
20.1	$\frac{1}{5.7}$	1.21	2.55	双室箱	将木模设置成垂直于地面, 在上浇筑腹板和横隔板, 下部设铰。然后将木模放倒, 使腹板合拢, 以此已浇腹板作拱架浇顶、底板	
		2.75	2.75	三室箱	用塔架斜拉索法施工, 悬浇拱圈, 每段长 6.5 m。用千斤顶调整拱内力	
27.6	$\frac{1}{7}$	3	2.3	三室箱	用塔架斜拉索法施工, 悬浇拱圈, 每次一个节间。镰刀型截面	

顺序	桥名	竣工年份	类别	结构	桥跨 (m)	桥宽 (m)	拱宽 (m)
12	捷克和斯洛伐克 Senoraby 桥	1946	公路	空腹无铰	120	25	两根拱肋 每根 6.5
13	瑞典 Traneberg 桥	1934	公铁两用	空腹无铰	181	27.5	两根拱肋 每根 9
14	法国 Plougastel 桥	1930	公铁两用	空腹无铰	3×180	8	7.5
15	日本外津桥	1974	公路	空腹双铰	170 全长 252.0	10.1	拱顶 8 拱脚 16
16	美国 Selah 河桥	1971	公路	空腹无铰	167.5	每座 12.04	每座 9.75
17	瑞典、挪威 Suinesund 桥	1942	公路	空腹无铰	155.18	9.45	
18	德国 Neckar 河桥	1977	公路	空腹无铰	154.4	31	两根拱肋 每根 6.5
19	德国 Echelbach 桥	1929	公路	空腹双铰	130	8.3	1.5
20	委内瑞拉 Caracas 桥	1953	公路	空腹双铰	152	24.5	三根拱肋 每根 3.2
21	捷克和斯洛伐克 Podolsko 桥	1942	公路	空腹无铰	150	8.5	拱顶 7.5 拱脚 9.5

续上表

矢高 (m)	矢跨比	拱圈高度(m)		横截面	简况	附注
		拱顶	拱脚			
25.5	$\frac{1}{4.7}$	1.2	1.8	两矩形肋	桥面梁较刚,高1.75m。考虑共同受力,拱圈承受全桥荷载60%,梁40%,32号混凝土	
26.2	$\frac{1}{6.9}$	3	5	两个三室箱肋	钢拱架上分两层浇筑。用千斤顶调整拱内力。45号混凝土	
27.5	$\frac{1}{6.5}$	4.97		三室箱	无中间支撑的木拱架上浇筑。分层浇筑,下层混凝土与拱架共同承重。整孔拱架用驳船运输,多孔使用。用千斤顶调整内力。35号混凝土	
26.5	$\frac{1}{6.4}$	2.4	3	双室箱	拱轴为四次抛物线。悬臂桁架法施工。浇筑,每段3.5m。立柱节间拱圈用预应力钢筋。实际拱轴误差3cm。50号混凝土	
54.6	$\frac{1}{3.1}$	2.13	3.35	三室箱	钢拱架上分三层浇筑。35号混凝土。上下行桥,第一个桥完成后,整孔拱架移动32.6m供第二个桥使用	
39.95	$\frac{1}{3.9}$				木拱架施工	有的资料认为是石拱桥,实际是钢筋混凝土拱桥
49.85	$\frac{1}{3.1}$	3	3	两个双室箱肋	用塔架斜拉索法施工,浇筑每段6m。拱上建筑的桥面箱梁由一侧以顶推法施工	
31.8	$\frac{1}{4.1}$	2	3.2	两单室箱肋	钢拱架埋入拱圈混凝土,作为骨架。钢拱架用悬臂桁架法架设,立柱、桥面均用钢骨架	
33	$\frac{1}{4.6}$	2.9		三个单室箱肋	拱架分三段,两边段用斜拉索扣在塔架上,浇筑一部分混凝土。然后将地面上安装好的带水平拉杆的81m长,2.24×10 ⁴ kg重的中段拱架提升,合拢拱架,再浇其余混凝土	
41.8	$\frac{1}{3.6}$	2	2	矩形	拱轴由两种抛物线连接。拱上建筑为跨径35.65m的双铰拱。用木拱架施工。40号混凝土	

顺序	桥名	竣工年份	类别	结构	桥跨 (m)	桥宽 (m)	拱宽 (m)
22	日本宇佐川桥	1982	公路	空腹无铰	204 全长 332.5	21.9	17.8
23	委内瑞拉 Caracas 桥	1953	公路	空腹双铰	146	24.5	三根拱肋 每根 3.2
24	日本帝释桥	1978	公路	空腹无铰	145	9.9	9.9
25	前苏联 新 Днепр 河桥	1952	公铁两用	空腹无铰	140	11	
26	法国 Caille 桥	1928	公铁两用 铁路窄轨	空腹无铰	139.8	8.28	7.4
27	德国 Teufelstal 桥	1938	公路	空腹无铰	138	22.4	两根拱肋 每根 7.05
28	英国 Tweed 桥	1928	公路	空腹无铰	110	14.3	
29	葡萄牙 Fozde Sousa 桥	1952	公路	空腹无铰	115	9	两根拱肋 每根 4.38
30	土耳其 Enphrates 桥	1932	公路	空腹无铰	108		
31	法国 Vienne 桥	1947	城市	空腹无铰	108		
32	德国 Mosel 桥	1934	公路	空腹三铰	107	18	两根拱肋 每根 6.6
33	瑞士 Hundwiler Tobel 桥	1925	公路	空腹无铰	105	7.8	
34	法国 Saint Julien 桥	1951	公路	空腹无铰	101	6.3	
35	法国 Oise 桥	1951	公路	空腹无铰	101		9.7

续上表

矢高 (m)	矢跨比	拱圈高度(m)		横截面	简况	附注
		拱顶	拱脚			
38.677 20.677		3.6	4.4	三室箱	不对称拱, 拱轴为 $m=1.5$ 及 $m=2.0$ 的组合悬链线, 用塔架斜拉索与刚性骨架组合法施工。施工时拱圈施加预应力。每次悬浇 4~6m	
		2.9		三个单室箱肋	同 20	
30	$\frac{1}{4.8}$	2.4	3.8	双室箱	拱轴为 $m=2.5$ 的悬链线, 用塔架斜拉索与刚性骨架组合法施工, 边段支架作为悬臂架, 至跨中合拢, 再作为埋入式拱架。37.5 号混凝土。施工过程中拱圈加预应力	
29	$\frac{1}{4.8}$	5	6	箱	用常备式钢拱架浇筑	
27	$\frac{1}{5.2}$	2.8	4.6	三室箱	拱轴近四次曲线, 用千斤顶整拱内力	
26.04	$\frac{1}{5.3}$	1.3	2.8	两矩形肋	拱架施工。一条拱肋完后, 横移再用	
13.9	$\frac{1}{7.7}$			四个矩形肋		
14.75	$\frac{1}{12.8}$	1.6		两 I 形肋	木拱架施工, 拱肋作成三铰拱后封拱	
23.9	$\frac{1}{4.5}$	1.4	2.2	箱		
9.5	$\frac{1}{11.3}$	1.18		两矩形肋		
8.12	$\frac{1}{13.2}$	1.7	1.24	两个双室箱肋	外观实腹式	
36.2	$\frac{1}{2.9}$			矩形		
12.25	$\frac{1}{8.3}$	1.5	2.4	箱		
9.6	$\frac{1}{10.6}$	1.4	1.0	下开口箱	木拱架。拱脚处有调整应力设施。镰刀型截面	