

“十二五”国家重点图书出版规划项目

Serial Handbooks of Highway-bridge Construction

公路桥梁施工系列手册

Arched Bridge

拱 桥

四川公路桥梁建设集团有限公司

四川路桥建设股份有限公司

主编



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

《公路桥梁施工系列手册》共八册,分别为:《基本作业与临时设施》、《施工组织设计》、《墩台与基础》、《桥梁钢结构》、《梁桥》、《拱桥》、《斜拉桥》、《悬索桥》。本书为《拱桥》分册,全面介绍了圬工拱桥、装配式钢筋混凝土拱桥、桁架拱桥、钢管混凝土拱桥、劲性骨架钢筋混凝土拱桥、钢箱拱桥、悬臂浇筑拱桥、刚架拱桥、转体施工拱桥、混凝土拱圈支架现浇、顶推施工拱桥、垂直提升施工拱桥施工技术。

本书主要作为桥梁施工、设计等技术人员的参考用书,也可供大专院校相关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

公路桥梁施工系列手册. 拱桥 / 四川公路桥梁建设集团有限公司, 四川路桥建设股份有限公司主编. —北京:人民交通出版社, 2014. 5

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-114-10460-2

I. ①公… II. ①四… ②四… III. ①公路桥—桥梁施工—技术手册②拱桥—桥梁施工—技术手册 IV. ①U448.145.1-62②U448.255.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 050273 号

“十二五”国家重点图书出版规划项目

书 名:公路桥梁施工系列手册 拱桥

著 者:四川公路桥梁建设集团有限公司 四川路桥建设股份有限公司

责任编辑:曲乐 李喆 周宇

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京天宇万达印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:15.25

字 数:360千

版 次:2014年5月 第1版

印 次:2014年5月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10460-2

定 价:46.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《公路桥梁施工系列手册 拱桥》

编 委 会

编写领导小组：孙 云 熊国斌 甘 洪 马青云

主要编写人员：卢 伟 曹 瑞 董武斌 邓运祥
邓亨长 倪 红 陈明凯 汪捍东
王 芳 秦桂芳

前言

Preface

随着我国经济的高速发展,交通建设事业突飞猛进,特别是桥梁建设的速度和规模更是举世瞩目。2000年由原交通部第一公路工程总公司主编的《公路施工手册 桥涵》,其涵盖的内容和技术指标已远远满足不了现在桥梁施工的需要,为此人民交通出版社在广泛征求相关单位的意见后,决定组织编写新一版的《公路桥梁施工系列手册》。

《公路桥梁施工系列手册》是由人民交通出版社组织国内知名桥梁施工单位参与编写的实用手册,其中《公路桥梁施工系列手册 拱桥》是其中的一册,由四川公路桥梁建设集团有限公司和四川路桥建设股份有限公司主持编写,贵州桥梁建设集团有限责任公司和中交第二航务工程局有限公司等单位提供了宝贵的第一手基础资料。

在编写过程中,本书编写组进行了广泛的资料收集、现场调查研究和专题讨论,并在总结近年来拱桥施工的成功经验以及相关的科研成果的基础上,吸纳了其中成熟的技术和工艺以及新材料、新设备的应用实例,同时也借鉴了西方国家先进的技术标准和规范,体现了安全、环保、耐久、节能的拱桥建设理念。

本次编写重点突出了技术的先进性,在《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)的基础上,新增了箱形拱桥的悬臂浇筑施工方法和拱桥的顶推施工方法,并附上工程施工实例,可供读者参考。

《公路桥梁施工系列手册 拱桥》与2000年《公路施工手册 桥涵》中的拱桥部分相比,不仅内容更丰富、详细,而且为了读者有更直观的感受,本手册附注了拱桥施工不同部位的现场图片及工程实例,以帮助读者阅读理解。

拱桥作为一种古老的桥型,以其跨越能力大、承载能力强、造价经济、养护维修费用少、造型美观等特有的技术优势而成为建筑历史最悠久、竞争力较强的桥型。它能适用于大、中、小跨径的公路或铁路桥,又因其造型美观,也常用于城市、风景区的桥梁建筑;古今中外名桥遍布各地,拱桥在桥梁建筑中占有重要地位,并且长盛不衰,成为不断发展的桥梁形式,特别是随着我国建材工业的高速发展和建桥技术的不断创新,拱桥的形式越来越多,因此拱桥的分类很复杂,无法单独用某一种方式将其全面概括。

本手册为了更全面的概括,采取了以拱桥的建筑材料和施工方法相结合的分类方式,将拱桥划分成十三章进行编写,基本上概

括了各种拱桥类型。如按照建筑材料划分为:圬工拱桥、钢筋混凝土拱桥、钢箱拱桥和钢管混凝土拱桥等;按施工方法划分为:现浇施工拱桥、缆索吊装施工拱桥、转体施工拱桥、悬臂施工拱桥、顶推施工拱桥、垂直提升施工拱桥等。

本手册编写参考了现行的国家标准、规范和规程。随着拱桥技术的不断发展,各类标准、规范和规程今后还会进行新的修订,因此,读者在使用本手册时,应注意以最新的标准规范作为依据。

本手册得到贵州桥梁建设集团有限责任公司和中交第二航务工程局有限公司的大力协助,第七章、第十章、第十三章由贵州桥梁建设集团有限责任公司提供基础资料;第十二章由中交第二航务工程局提供基础资料。在此深表感谢!

编 者

2013 年 12 月于成都

目 录
contents

第一章 概述	1
第一节 拱桥的发展.....	1
第二节 拱桥的主要形式.....	4
第三节 拱桥的主要施工方式.....	5
第二章 圬工拱桥	9
第一节 概述.....	9
第二节 砌筑程序	13
第三节 拱圈砌筑	15
第四节 拱上建筑砌筑	16
第五节 养护	16
第六节 圬工体积计算	17
第三章 装配式钢筋混凝土拱桥	23
第一节 概述	23
第二节 构件的预制、堆放与运输.....	23
第三节 少支架施工	27
第四节 无支架施工	28
第五节 悬砌拱安砌	39
第六节 拱上构件吊装	40
第七节 施工验算	41
第八节 工程实例——西藏昌都八宿县怒江大桥	43
第四章 桁架拱桥	55
第一节 概述	55
第二节 一般桁架拱桥	55
第三节 预应力混凝土桁式组合拱桥	59
第五章 钢管混凝土拱桥	71
第一节 钢管拱肋加工与制作	71
第二节 钢管拱肋防腐	76

第三节	钢管拱肋安装	78
第四节	钢管拱内混凝土浇筑	85
第五节	钢管混凝土拱桥安装实例	89
第六章	劲性骨架钢筋混凝土拱桥	101
第一节	概述	101
第二节	劲性骨架混凝土浇筑分环、分段长度的确定	101
第三节	线形与稳定控制	102
第四节	多工作面法浇筑拱圈混凝土	104
第五节	斜拉扣挂法连续浇筑拱圈混凝土	107
第六节	拱圈混凝土运输	109
第七节	拱圈混凝土浇筑过程中的变形观测与控制	110
第七章	钢箱拱桥	111
第一节	概述	111
第二节	箱形拱肋安装及合龙	111
第三节	工程实例——重庆巫山大宁河大桥	115
第八章	悬臂浇筑拱桥	123
第一节	概述	123
第二节	主要工序	124
第三节	关键设备——挂篮的设计与制作	124
第四节	拱圈悬臂浇筑及合龙工艺	125
第五节	工程实例——西攀高速公路白沙沟大桥	128
第九章	刚架拱桥	149
第一节	概述	149
第二节	有支架施工	149
第三节	少支架施工	150
第四节	无支架施工	151
第五节	转体施工	152
第十章	转体施工拱桥	153
第一节	概述	153
第二节	平转(有平衡重平转、无平衡重平转)工艺	154
第三节	竖转工艺	161
第四节	工程实例——广州丫髻沙大桥	162

第十一章 混凝土拱圈支架现浇	180
第一节 概述	180
第二节 拱架构造及安装	180
第三节 在拱架上现浇拱圈	184
第四节 在拱架上组拼和现浇拱圈	184
第五节 拱上建筑施工	185
第十二章 顶推施工拱桥	186
第一节 概述	186
第二节 顶推设备及工艺要求	186
第三节 顶推施工的辅助设施	186
第四节 顶推方式	186
第五节 施工步骤	187
第六节 工程实例——杭州钱塘江九堡大桥	188
第十三章 垂直提升施工拱桥	204
第一节 概述	204
第二节 拱圈节段拼装	204
第三节 拱圈节段提升就位	206
第四节 工程实例——新光大桥	210
参考文献	231

第一节 拱桥的发展

拱桥作为一种古老的桥型,以其跨越能力大、承载力高、造价经济、养护维修费用少、造型美观等特有的技术优势而成为建筑历史最悠久、竞争力较强的桥型。它能适用于大、中、小跨跨越峡谷的公路或铁路桥,又因其造型美观,也常用于城市、风景区的桥梁建筑;古今中外名拱桥遍布各地,在桥梁建筑中占有重要地位,并且长盛不衰,成为不断发展的桥梁形式之一。

以承受轴向压力为主的拱圈或拱肋作为主要承重构件,其拱结构由拱圈(拱肋)及其支座组成。拱桥可用砖、石、混凝土等抗压性能良好的材料建造;大跨度拱桥则用钢筋混凝土或钢材建造,以承受发生的力矩。按拱圈的静力体系分为无铰拱、双铰拱、三铰拱。前两者为超静定结构,后者为静定结构。无铰拱的拱圈两端固结于桥台,结构最为刚劲,变形小,比有铰拱经济,结构简单,施工方便,是普遍采用的形式,但修建无铰拱桥要求有坚实的地基基础。双铰拱是在拱圈两端设置可转动的铰支承,结构虽不如无铰拱刚劲,但可减弱桥台位移等因素的不利影响,在地基条件较差和不宜修建无铰拱的地方,可采用双铰拱桥。三铰拱则是在双铰拱的拱顶再增设一铰,结构的刚度更差些,拱顶铰的构造和维护也较复杂,一般不宜作主拱圈。拱桥按拱圈的结构形式可分为板拱、肋拱、双曲拱、箱形拱、桁架拱。拱桥为桥梁基本体系之一,是大跨径桥梁的主要形式。

我国公路拱桥的发展,可粗略地分为五个阶段。

第一阶段是20世纪50年代至60年代中期,绝大多数是中小石拱桥,也有少量片石混凝土拱桥。该阶段最大跨度拱桥是1961年建成的云南南盘江上的单跨112.5m的空腹式石拱桥——长虹桥(图1-1)。

第二阶段是20世纪60年代中期至70年代,主导桥型是低配筋双曲拱桥。由于双曲拱桥耗用钢材少,施工中能化整为零,需要的起重设备少,由于当时倡导群众运动,因而发展较快,最大跨度是1968年建成的河南嵩县跨度150m的前河大桥(图1-2)。

第三阶段是20世纪70年代末至80年代,主导桥型

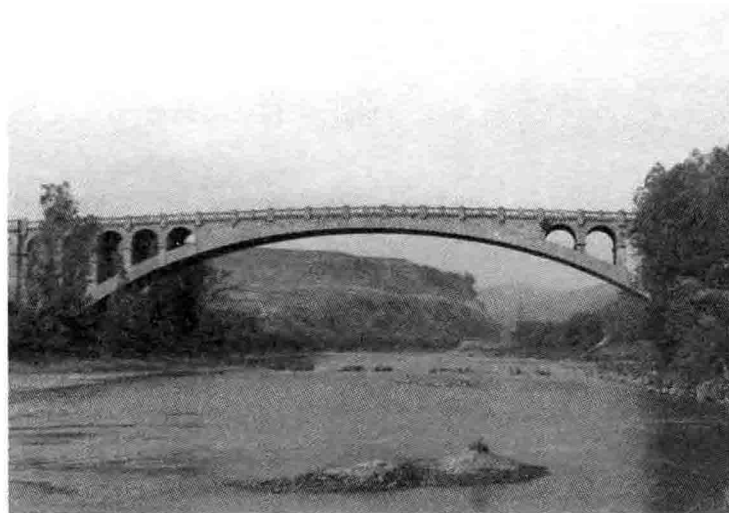


图 1-1 云南南盘江长虹桥



图 1-2 河南嵩县前河大桥

是大中跨预制钢筋混凝土箱(肋)形拱桥。采用无支架吊装架设法建成的最大跨度桥为四川宜宾马鸣溪金沙江大桥(1979 年建成,跨度 150m)(图 1-3)。在这个时期,国外钢筋混凝土拱桥的最大跨度已达 390m(前南斯拉夫克尔克 I 桥 KrK I,1980 年建成)。

第四阶段是 20 世纪 90 年代,采用劲性骨架法施工,使拱桥在跨度方面取得很大突破。1990 年建成了跨度 240m 的宜宾小南门金沙江大桥;1996 年建成了跨度 312m 的广西邕宁邕江大桥,1997 年建成的跨度 420m 的万县长江大桥,居世界混凝土拱桥第一(图 1-4)。

第五阶段是 21 世纪至今,其特点是突破钢筋混凝土的局限,采用钢结构或者半钢结构,使跨度更大。2003 年建成的跨度 550m 的上海卢浦大桥,主肋为钢箱拱;2005 年建成的跨度 460m 的巫山长江大桥,主拱为钢管混凝土拱桥(图 1-5);2009 年建成的跨度 552m 的重庆朝天门大桥,为钢桁架系杆拱桥。



图 1-3 四川宜宾马鸣溪金沙江大桥



图 1-4 万县长江大桥



图 1-5 巫山长江大桥

拱桥将来的发展,在结构方面将以减轻自重为主要目标,可减轻对吊装能力的要求,节省上、下部构造工程量,节省造价。在减轻拱圈自重方面,一是使用高强混凝土材料。二是向宽箱、少箱发展,以减少腹板体积。大部分箱形拱,腹板多而厚,其体积可占主拱圈的20%~25%,但对受力的贡献极小。三是采用变截面,使其受力合理。四是普遍采用钢—混组合结构或全钢结构。在施工方面,悬臂施工还将是主要的选择。对于大跨径拱桥,将采用组合施工法。由于跨度大,施工中的稳定,特别是肋拱的平面外稳定问题突出,因此将采取特殊措施保证稳定。

第二节 拱桥的主要形式

(1)按照行车道的位置,拱桥可分为上承式拱桥、下承式拱桥、中承式拱桥。

①上承式拱桥:桥面系设置在拱圈之上的拱桥。优点是桥面系构造简单,拱圈与墩台的宽度较小,桥上视野开阔,施工方便;缺点是桥梁的建筑高度大,纵坡大和引桥长。一般用在跨度较大的桥梁,如图1-6所示。

②中承式拱桥:桥面系设置在拱肋中部的拱桥。优点是建筑高度较小,引道较短;缺点是桥梁宽度大,构造较复杂,施工也较麻烦,如图1-7所示。

③下承式拱桥:桥面系设置在拱圈之下的拱桥。优点是桥梁建筑高度很小,纵坡小,可节省引道长度;缺点是构造复杂,拱肋施工麻烦。一般用于地基差的桥位上,如图1-8所示。

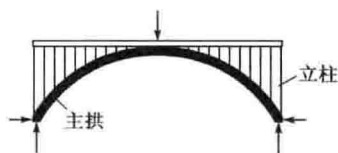


图1-6 上承式拱桥

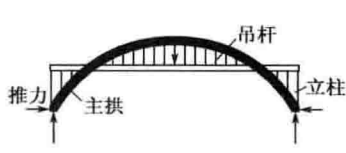


图1-7 中承式拱桥

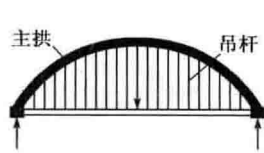


图1-8 下承式拱桥

(2)按照建筑材料的不同,拱桥可分为石拱桥、钢筋混凝土拱桥、钢拱桥和钢管混凝土拱桥等。

①石拱桥:用石料建造的拱桥,外形美观,养护简便,并可以就地取材,以减低造价。缺点是自重大,跨越能力有限,石料的开采、加工和砌筑均需要较多的劳动力,且工期较长。一般用于小跨径桥梁。

②混凝土拱桥:用混凝土建造的拱桥,包括素混凝土和钢筋混凝土两类。其优点是加工和制造较石拱桥方便,工期短。缺点是由于混凝土抗拉强度很低,故其跨越能力小,一般用于小跨径桥梁。

③钢拱桥和钢管混凝土拱桥:上部结构用钢材或者组合材料建造的拱桥类型。其优点是跨越能力大,自重轻,适用于大跨度桥梁。缺点是结构复杂,造价和维护费用高。

(3)按照有无水平推力,拱桥可分为有推力拱桥、无推力拱桥。

①无推力拱桥:在竖向荷载作用下拱脚对墩台无水平推力作用的拱桥。其推力由刚性梁或柔性杆件承受,属于内部超静定、外部静定的组合体系拱桥。适用于地质不良的桥位处,墩台与梁式桥基本相似,体积较大,只能做成下承式桥,建筑高度很小,桥面高程可

设计的很低,降低纵坡,减小引桥长度,因此可以节约材料,但是,结构的施工比较复杂。

②有推力拱桥:在竖向荷载作用下拱脚对墩台有水平推力作用的拱桥。水平推力可减小跨中弯矩,能建成大跨度的桥梁。造型美观,城市桥梁一般优先选用,可做成上承式、中承式桥。缺点是对地质要求很高,为防止墩台移动或转动,墩台形体须设计很大,施工较麻烦。

(4)按照拱上建筑的形式,拱桥可以分为实腹式拱桥、空腹式拱桥及组合体系拱桥。

①实腹式拱桥:是指拱上建筑做成实体结构,拱圈和主梁之间用石料或砌块填充的拱桥形式,如图 1-9 所示。优点是刚度比较大,构造简单,施工方便;缺点是随着桥梁跨径的增大,拱桥的自重迅速加大,无法做成较大跨径的拱桥。一般用在跨径较小的拱桥中,常用跨径为 20 ~ 30m。

②空腹式拱桥:是指拱圈和主梁之间用立柱支撑,如图 1-10 所示。其优点是较实腹式拱桥轻巧,节省材料,外形美观,还有助于泄洪;缺点是施工比较麻烦,受力较复杂。一般用在大跨径的桥梁中。

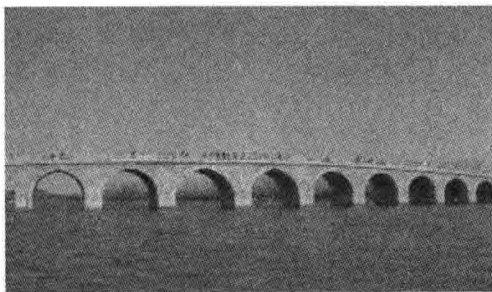


图 1-9 实腹式拱桥

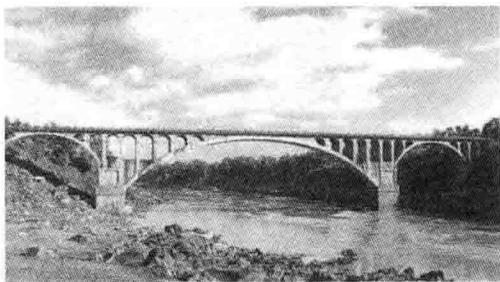


图 1-10 空腹式拱桥

③组合体系拱桥:由拱和梁组成主要承重结构的拱桥。通常用钢筋混凝土或钢材建造。兼有实腹式拱桥和空腹式拱桥的优点,跨越能力较大,一般用在大、中跨度的桥梁中。

(5)按照拱轴线的形式,拱桥可分为圆弧拱桥、抛物线拱桥、悬链线拱桥。

①圆弧拱桥:拱圈轴线按部分圆弧线设置的拱桥。优点是构造简单,石料规格最少,备料、放样、施工都很简便;缺点是受荷时拱内压力线偏离拱轴线较大,受力不均匀。一般适用于跨度小于 20m 的石拱桥。

②抛物线拱桥:拱圈轴线按抛物线设置的拱桥,是悬链线拱桥的一种特例。优点是弯矩小,材料省,跨越能力较大;缺点是构造较复杂,如果是石拱桥则料石的规格较多,施工较不方便。

③悬链线拱桥:拱圈轴线按悬链线设置的拱桥。优点是受力均匀,弯矩不大,节省材料。多适用于实腹拱桥,大跨度的空腹拱桥中也常常采用这种线形布置。

第三节 拱桥的主要施工方式

拱桥的施工方法多种多样,有较多的选择余地。选择适当施工方法是拱桥顺利建成的关键。目前我国拱桥主要施工方法有:

一、拱架施工法

主要利用钢管脚手架、贝雷梁、六四式军用梁等形成拱架,在其上完成拱圈的施工。拱架的形式有落地式拱架和拱式拱架(图 1-11 和图 1-12)。

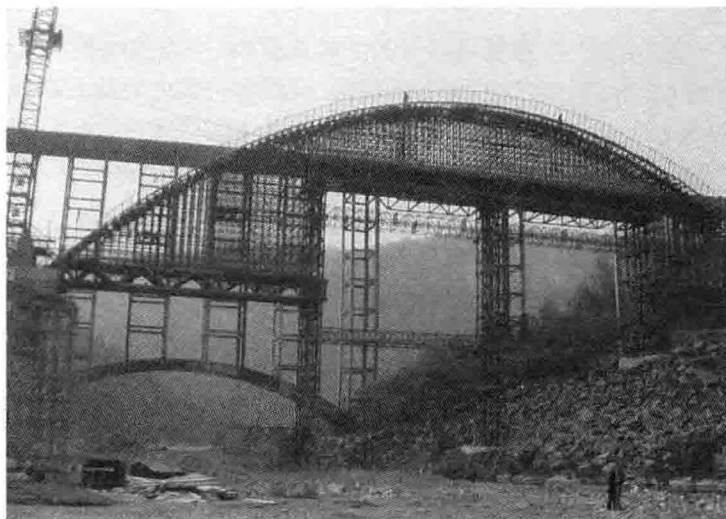


图 1-11 落地式拱架



图 1-12 拱式拱架

二、缆索吊装法

缆索吊装施工方法是我国修建大跨度拱桥的主要方法之一。将拱圈分段制作,利用塔架、缆索分别起吊,用扣索扣挂悬臂拱段,直至合龙(图 1-13)。一般采用 3~7 段悬拼,有时多达 11 段,而且可以用于多孔桥中。

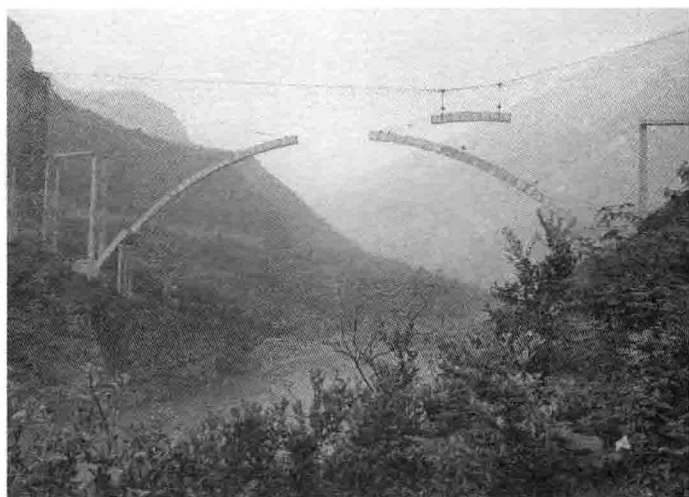


图 1-13 缆索吊装箱形拱桥

三、转体施工法

利用桥梁两边的地形,采用支架将主梁对称、分段在两边现场浇筑或制作,然后借助铺有四氟乙烯板和不锈钢板的环形滑道,采用千斤顶的推力,绕拱座作水平或竖直旋转合龙(图 1-14 和图 1-15)。该方法在不中断车辆通行的公路与铁路上以及不允许断航的河道上特别适用。

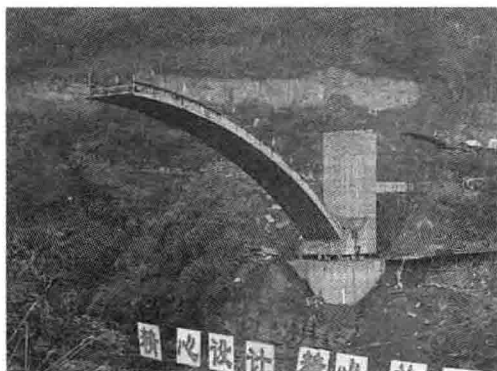


图 1-14 拱桥平转施工

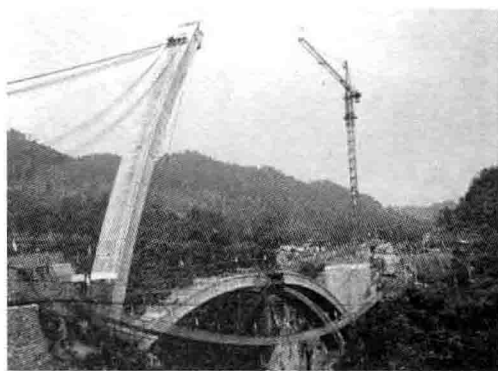


图 1-15 拱桥竖转施工

四、劲性骨架法

用型钢分节段做成拱形骨架,用缆索吊机吊装形成拱圈,围绕骨架浇筑外包混凝土形成拱圈(图 1-16)。根据骨架受力情况,一般分底、腹、顶板三层,自拱脚向拱顶或间隔跳跃浇筑混凝土。

五、悬臂桁架法

该方法适用于桁架拱桥。将桁架分别预制,用专用吊机悬臂吊装就位直至合龙

(图 1-17)。

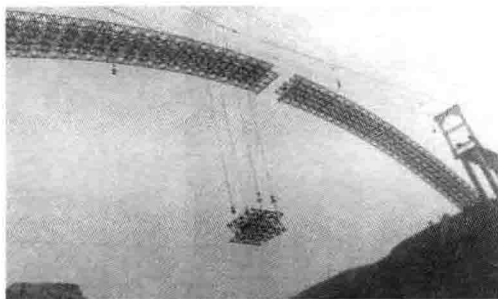


图 1-16 吊装劲性骨架



图 1-17 悬臂桁架法施工

六、悬臂浇筑法

采用特殊的挂篮设备配合扣索系统,分节段悬臂浇筑拱圈直至合龙。该方法在无预制场地、不能布设缆索吊机的条件下特别适用(图 1-18)。

七、顶推施工法

采用梁拱新型组合结构体系,即钢拱、钢梁在岸上先期组拼为一体,利用顶推设备进行钢拱和钢梁整体顶推就位的施工方法(图 1-19)。



图 1-18 悬臂浇筑拱桥



图 1-19 顶推法施工拱桥