

交通电视中等专业学校教材

# 公路桥梁施工与养护

GONGLU QIAOLIANG SHIGONGYU YANGHU

交通部电视中专教材编审委员会 编

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书共十章, 主要介绍桥梁、涵洞上下部结构的各种施工和养护方法, 并对桥梁施工中的主要施工机具、设备以及桥梁抗震作了简要介绍。

本书为交通部电视中专公路施工与养护专业必修课教材和公路与桥梁专业选修课教材。同时, 本书可供公路工程技术人员学习和参考, 也可作为职工培训的选用教材。

交通电视中等专业学校教材

公路桥梁施工与养护

交通部电视中专教材编审委员会 编

插图设计: 高静芳 版式设计: 刘晓方 责任校对: 尹 静

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092  $\frac{1}{16}$  印张: 字数: 千

1998年8月 第1版

1998年8月 第1版 第1次印刷

印数: 0001-4000册 定价: 元

ISBN 7-114- -

U ·

## 交通部电视中专教材编审委员会

主任委员 李作敏  
副主任委员 王文标 黄志平  
委员 (按姓氏笔画序)  
王锦俞 田津麒 向传祖 李卫平 周青国  
顾 锴 麻孟海 韩 敏  
本书主编 张丽华 邓人庆  
主 审 田津麒

# 序

在交通部教育司的关怀领导下,交通部电视中等专业教育走过了十年的历程。它主要利用远距离教学手段开展教学,属于成人中等职业教育范畴,最显著的特点是能够大规模培养交通事业急需的中等专业人才。十年来,毕业生已逾三万人,他们大都成为生产和管理工作的骨干。与此同步,教材建设也取得了很大成绩,组织编写了大量教材和教学辅导材料,制做了许多教学录像带,连同选用其他院校编录的教材,较好地满足了各专业教学的需要。但是,随着我国社会主义市场经济体制逐步建立,交通事业的发展对人才培养提出了新的要求,各种法规、制度、规范和标准也有很大的变化,原有教材有许多已不相适应。为了跟上交通事业发展的步伐,加快教材改革进度,编写出版适合电视中专使用的新教材,成为交通电视中专教育改革的当务之急。

电视中专的教材改革,首先要改革某些传统观念,克服造成电视中专教育普通中专化的思路,摆脱传统中专模式的影响,积极探索融成人教育和职业教育为一体的电视中专教育规律,才能建设具有交通电视特色的教材体系。

编写新一轮电视中专教材,要求内容与培养目标相适应。培养目标是应用型中等人才,具有一定的专业或工种技能、较强的动手能力和岗位工作所需的文化基础。应突出教材内容的职业性、实用性和应用性。此外,还要求教材具有行业性,即与当前交通行业的生产实际紧密结合,把行业生产实际所急需的内容编进去。生产实际处于不断进步的动态变化中,一劳永逸的教材是不存在的。紧密联系生产实际,对生产实际的新要求能做出灵活反应,是我们编写教材的努力方向。电视中专利用远距离教学手段,编写教材还要考虑适应于它所特有的教学方法,尽可能使教材的结构形式与教学方法相辅相成,才有利于取得良好的教学效果。

交通部电视中专教材编审委员会  
一九九五年四月十八日

# 前 言

本书是根据交通部电视中专公路施工与养护专业教学计划及教学大纲编写的。

随着桥梁工程技术的发展,桥梁在结构形式、施工技术、建桥材料和机具设备等方面都有了较大发展,积累了丰富的经验。《公路桥梁施工与养护》系统地介绍了桥梁上、下部结构的各种施工方法和桥梁、涵洞各部位的养护方法,并对主要施工机具、设备、桥梁抗震加固作了简要介绍。由于桥梁类型多,施工方法各异,养护范围广,为了便于叙述和学生学习,遵循少而精的原则,本教材以常用的钢筋混凝土及预应力混凝土桥为主,按桥梁的施工顺序分章编写,最后着重叙述了桥梁养护加固内容,力求符合电视中专学生的特点及要求。

本教材在编写过程中,尽量注意到结合国内外的桥梁施工实例,以及规范规定和要求,但由于篇幅的限制,同时,施工、养护技术也因人、因时、因地千变万化,本教材只能以讲述桥梁施工技术、养护技术的基本内容和基本方法为主,在实际教学中可结合具体实例,运用电化教学手段予以补充提高。

本书由新疆公路干部学校王廷武同志编写,北京交通管理干部学院邢凤岐副教授主审。新疆交通厅质监站工程师陈文、赵尔胜、卢晓鹤、闫希君,路桥总公司侯延奎和公路局的许多工程技术人员对本书的内容提出了很多宝贵意见,对编好本书起了很大的作用,在此表示衷心地谢意。限于编者水平,书中的缺点和错误在所难免,敬请读者提出宝贵意见,以便再版时修改。

编 者

一九九八年元月

# 目 录

第一章 绪论.....	1
第一节 桥梁施工的发展简史.....	1
第二节 桥梁施工与各有关因素的关系.....	3
第三节 桥梁施工方法概述及施工方法的选择.....	6
第二章 施工准备和施工测量 .....	11
第一节 施工准备 .....	11
第二节 墩台中心测量 .....	16
第三节 桥涵水准测量 .....	20
第三章 基础施工 .....	30
第一节 概述 .....	30
第二节 明挖扩大基础的施工 .....	31
第三节 沉入桩基础施工 .....	44
第四节 就地灌注混凝土桩基础施工 .....	51
第五节 沉井的施工 .....	59
第四章 桥梁墩台施工 .....	64
第一节 概述 .....	64
第二节 桥墩的类型与构造 .....	65
第三节 桥台的类型与构造 .....	74
第四节 混凝土墩台、石砌墩台施工.....	79
第五节 装配式墩台施工 .....	84
第六节 滑动模板施工 .....	89
第七节 V 型墩施工要点 .....	96
第八节 墩台附属工程 .....	97
第五章 钢筋混凝土桥施工 .....	99
第一节 概述 .....	99
第二节 模板.....	103
第三节 钢筋.....	108
第四节 混凝土.....	114
第五节 装配式构件的起吊、运输和安装 .....	121
第六章 预应力混凝土桥施工.....	133
第一节 概述.....	133
第二节 预加应力的方法.....	136
第三节 先张法施工.....	137
第四节 后张法施工.....	141

第五节	悬臂施工法.....	145
第六节	悬臂浇筑施工.....	153
第七节	顶推法施工.....	156
第七章	拱桥施工.....	159
第一节	石拱桥施工.....	159
第二节	双曲拱桥施工.....	169
第三节	其它类型的拱桥施工特点.....	176
第八章	涵洞施工.....	180
第一节	涵洞的分类.....	180
第二节	洞身和洞口构造.....	181
第三节	涵洞设计.....	188
第四节	涵洞长度计算.....	189
第五节	洞口建筑工程数量计算.....	192
第六节	钢筋混凝土管涵施工.....	195
第七节	拱涵及盖板涵.....	206
第八节	涵洞的防水层、沉降缝、缺口填土及进出水口.....	218
第九章	桥梁抗震.....	222
第一节	抗震设防标准.....	222
第二节	地震波对桥梁的作用和震害.....	223
第三节	桥梁抗震加固.....	224
第十章	桥梁、涵洞养护.....	235
第一节	概述.....	235
第二节	桥梁检查与评价.....	235
第三节	桥面系的养护.....	245
第四节	各种桥梁的养护.....	250
第五节	桥梁支座养护.....	256
第六节	桥梁下部结构及调治构造物的养护.....	260
第七节	涵洞养护.....	267
	主要参考文献.....	284

# 第一章 绪 论

## 第一节 桥梁施工的发展简史

### 一、桥梁施工具有悠久的历史

随着科学技术的进步,施工机具、设备和建筑材料的发展,桥梁施工技术不断改进、提高而逐步发展和丰富起来的。了解施工技术的发展进程对掌握施工规律,不断总结、改进和创造新的施工技术是十分有益的。

我国在桥梁建造技术上有着悠久的历史 and 光辉的成就。根据史料考证,在三千年前的周文王朝代,就有在渭河上架设浮桥和建造粗石桥的文字记载。隋、唐时期,是我国古代桥梁的兴盛年代,其间在桥梁形式、结构构造方面有着很多创新,可谓“精心构思,丰富多姿”。宋代之后,建桥数量大增,桥梁的跨越能力、造型和功能也有所提高。在桥梁施工方面充分表现了我国古代工匠的智慧和力量,成为我国桥梁建造史上的宝贵财富。

一千多年前所建的赵州桥就是其中的一个杰作。该桥采用纵向并列砌筑,将大拱圈纵分为28圈,每圈由43块拱石组成,这样每块拱石重在1t左右,用石灰浆砌筑。为了提高拱圈的强度和整体性,在拱石表面凿有斜纹,沿拱桥纵向在拱石间安放一对腰铁(铁箍),在主拱跨中拱背上设置5根铁拉杆,并在拱顶石砌筑时采用刹尖方法使拱石挤压紧密。仅从赵州桥的施工技术来分析,也不难看出古代工匠是十分熟悉拱桥的受力特性,其施工技术完全符合现代科学理论,这也是赵州桥能完好保存至今的一个重要原因。

泉州洛阳桥(万安桥),是濒临海湾的大石桥,始建于宋皇岭五年(1053年),该桥全长834m,有46个桥墩,气势极为壮观。在海湾上建造大桥,最大的困难是桥梁基础,在当时尚无现代施工设备的情况下,在浪涛汹涌的海口,首创采用现代称为筏形基础的桥基。这种基础是沿桥中线满抛大石块,并巧妙地用牡蛎使筏形基础加固成整体,再在稳固的石基上建造桥墩。这一抛石技术在建造鹰厦铁路海堤工程中也得到了继承和应用。

万安桥的石梁共300余根,每根重20t~30t,这样重的梁在当时采用“激浪以涨舟,悬机以弦牵”的方法架设,据分析就是利用潮汐的涨落控制船只的高低位置,使石梁浮运、起落,并以“悬机”牵引就位。古代工匠仅用人工、简单工具和借助自然力建造大桥,这也是现代浮运架设的原始雏型。

解放后,我国的公路、城建部门在恢复、改造和新建公路与城市道路上改建和新建了数量可观的桥梁,使公路通车里程比解放前有了成倍的增长。由于起重设备的限制,装配式桥仅在简支梁桥上使用,其他类型桥梁的施工仍多采用土牛胎、竹木支架、拱架现浇或砌筑施工。

### 二、现代桥梁施工技术的发展促进了桥梁结构的迅猛发展

从武汉长江大桥到南京长江大桥,在我国桥梁工程技术发展史上是一个大进步。南京长江

大桥的基础在施工水位以下深达 70 余米,水文地质极为复杂,施工时从实际出发,采用了四种不同的基础形式和不同的施工方法,特别是在急流中,在流速和流向不断变化的情况下,克服了定位中的摆动问题。在钢梁的设计和施工中采用了国产的 16 锰低合金钢,纵梁的连接第一次采用高强螺栓代替铆钉;在公路桥面上首次采用了陶粒轻质混凝土等当时的先进技术和工艺。同时在桥梁施工中,通过试验研究并设计制造了一系列关键性的施工机具设备和施工工艺,如管柱下沉、钻孔洗壁、循环压浆、悬拼调整、高强螺栓安装等,保证了工程按质量要求完成。在特大型工程的科学组织和管理方面也取得了一定的经验。

南京长江大桥是我国最大的、最复杂的、能够标志着我国桥梁工程技术水平的一座桥,是新中国建设中的一个举世瞩目的巨大工程。它已被列为世界上最宏伟的结构之一。南京长江大桥的建成标志着中国桥梁工程已达到了一个新的水平。

60 年代中期,悬臂施工的方法从钢桥施工引入到预应力混凝土桥施工以后,摆脱了建造预应力混凝土梁桥只能采用预制装配和在支架上现浇施工的单一局面,促进了预应力混凝土桥梁结构的发展。预应力混凝土 T 型刚构桥、连续梁桥、斜拉桥等结构如雨后春笋般地在全国各地出现,从而使预应力混凝土桥成为我国桥梁工程的主要类型,桥梁的跨越能力超过了 200m,如在 1988 年建成的广东洛溪大桥,为主跨 180m 的双薄壁墩连续一刚构桥梁,以及 1987 年通车的天津永和大桥,主跨为 260m 预应力混凝土斜拉桥。这些工程已跨入了世界较为先进的行列。

在鸦片战争古战场上崛起的广东虎门大桥,于 1997 年 5 月 1 日试通车后,从香港、深圳至珠海、中山等地的陆路交通自此缩短了 120km。虎门大桥东连广深高速公路,西接广珠东线高速公路,全长 15.76km,工程总投资 29.4 亿元,主桥长 4.6km,桥面双向六车道,设计昼夜通车量为 12 万车次。大桥中最引人注目的是主桥——跨径 888m 的悬索桥,是国内目前已建成的跨径最大的悬索桥。大桥辅航道桥是 270m 连续钢结构桥,居同类桥型世界第一;主跨净空高 60m,桥下可通航 10 万吨巨轮。这座具有世界一流水平的现代化特大型桥梁,堪称是迄今中国公路桥梁工程规模第一的桥梁。

在拱桥施工中引入悬臂施工方法,打破了以往由于施工因素而使拱桥发展迟迟不前的状况,,为钢筋混凝土拱桥的发展开辟了广阔的前景,并且大大地提高了拱桥的跨越能力。值得一提的是:结合我国的实际情况,在钢筋混凝土桁架拱桥建造的基础上,采用悬臂施工的方法,综合考虑预应力混凝土桁架拱桥与桁架 T 构的受力特点,取其所长,于 1985 年建成了主跨 150m 的贵州剑河桥。

桥梁的其他施工方法,如转体法、顶推法、逐孔施工法、横移及浮运法等都在近些年中得到应用。如转体法施工,不仅用于拱桥施工,而且在刚构桥、T 构桥、斜拉桥等结构体系中使用,施工的桥梁跨径超过了 200m。顶推法和逐孔施工法较多地在预应力混凝土连续梁桥中使用,它扩大了预应力混凝土连续梁桥的适用范围,为中等跨径的多跨长桥提供了与之相适应的施工方法。

### 三、国内外桥梁施工发展概述

随着世界各国技术、经济的进步,交通事业有了很大的发展。由于交通量的猛增和人们物质文化要求的提高,对道路和桥梁的要求也越来越高。就桥梁而言主要表现为:

1. 对桥梁功能的要求越来越高,如桥梁的跨越能力、通过能力、承载能力等;
2. 对桥梁造型的艺术要求越来越高,特别是城市桥梁,往往作为城市的特征,其建筑造型

成为重要的评定条件;

3. 对桥梁的环保要求越来越高, 如对行车污染和噪声限制等;

4. 对桥梁的施工速度、施工质量和管理水平的要求有所提高, 施工中普遍采用大型机具设备快速施工。

不同的国家和地区对桥梁会提出不同的要求, 但共同的目的是使桥梁工程应尽量达到经济实效、技术先进、安全舒适、美观实用、快速质好的要求。

在桥梁的经济指标与施工技术和施工管理水平之间更加密切的今天, 各国把研究桥梁施工技术放到了相当重要的位置, 而“最少用料”的问题已退居为次要的位置。为此, 施工技术的发展和进步表现在以下几个方面:

1. 对于中小跨桥梁构件更多的是首先要考虑工厂(场)预制, 采用装配式结构。我国的铁路部门, 在全国各地已建成不少具有一定生产规模的桥梁预制工厂, 向用户提供桥梁构件产品, 与之相对应的架桥机械有胜利—130型、红旗—130型、长征—160型架桥机, 可以架设跨径33.7m及40m的预应力混凝土筒支梁。由施工单位自制的架桥机可以具有更大的起重能力。在公路和城建部门, 对先张法预应力混凝土梁、板大多采用工厂预制生产, 后张法梁和大型预制节段大多采用在工地预制场预制, 可以避免大型构件的运输困难。在国外, 预制梁的架设能力更高些, 因此可采取全宽整孔梁架设或采用大型预制构件架设。沙特阿拉伯—巴林道堤工程, 采用14 000kN的浮吊架设60余米长的大型预制构件。

2. 悬臂施工技术在建造大跨径桥梁中应用最多, 其施工效率较高。特别是预应力混凝土桥梁, 由于充分利用了预应力结构的受力特点, 而得以迅速发展。目前采用悬臂施工的预应力混凝土梁式桥的跨径达270m, 钢筋混凝土拱桥的跨径达390m, 钢桥的悬臂施工跨径已超高了500m。

3. 桥梁机具设备向着大功能、高效率 and 自动控制的方向发展, 尤其是深水基础的施工机具, 大型起吊设备, 长大构件的运输装置, 高吨位的预应力设备, 大型移动模架等等。这些施工设备对加快施工速度和提高施工效率起着重要的作用。此外, 在模板、支架和一些附属设备中, 广泛采用钢结构和常备式钢构件, 提高了这些设备的使用功效。

4. 依据桥梁结构的体系、跨径、材料和结构的受力状况可以更方便、更合理地选取最适合的施工方法。换句话说, 桥梁施工技术的发展, 能更好地满足结构设计的要求。随着桥梁技术的发展, 桥梁设计与施工之间的相互制约和关系更加密切。

## 第二节 桥梁施工与各有关因素的关系

桥梁施工应包括选择施工方法, 进行必要的施工验算, 选择或设计、制作施工机具设备, 选购与运输建筑材料, 安排水、电、动力、生活设施以及施工计划, 组织与管理等方面的事务。施工是一项复杂而涉及面很广的工作, 上自天文、气象, 下至工程地质、水文、地貌、机械、电器、电子、管理等各领域, 同时与人的因素, 与地方政府的关系密切。因此, 现代的大型工程施工, 应由多种行业的技术人员和工人协力完成。

### 一、施工与设计的关系

桥梁施工与设计有着十分密切的关系, 特别是对于体系复杂的桥梁, 往往不能一次按图完成结构施工, 如连续梁桥的施工常需要经历若干次结构体系的转换。因此, 在考虑设计方案时,

要考虑施工的可能性、经济性与合理性；在技术设计中要计算施工各阶段的强度(应力)、变形和稳定性,桥梁设计要同时满足施工阶段与营运阶段的各项要求。在施工中,通过各种途径和方式来校核与验证设计的准确性,形成设计与施工互相配合、相互约束、不断发展的关系。

桥梁结构的施工应忠实地按设计要求完成。在施工之前,施工人员需要对设计图纸、说明书、工程预算和施工计划,主要施工阶段的强度、应力、挠度等有关文件和图纸进行详细地研究,掌握设计的内容与要求,进行必要的复算,按照设计要求处理施工方法的一些细节,编制施工计划、购置施工设备和材料进行施工。而在进行桥梁设计时,必须根据实际情况,确定施工方法和步骤。由于设计与施工的不可分割关系,在我国当前的工程招标中,很多部门已经实行设计与施工单位结合起来作为一个投标实体,互相合作,共同制定投标方案。这样的标书能较全面地反映设计思想,可用性强,工程设计也更有实际意义。

## 二、施工与工程造价

近年来,在国内外的桥梁工程建设中,材料费用在整个工程造价的比例有所下降,而施工费用和劳动力的工资所占的比例在上升,特别是对于特大跨径和结构比较复杂的桥梁更是如此,因此,施工费用对工程造价有着举足轻重的影响。表 1-1 示出日本的几座桥梁的主要材料费、制造费、运输费和架设费在总工程费用中所占的比例,从中可以看出施工费用要占有相当大的比重。我国建造的桥梁施工费用虽然没有这样高的比例,但近些年来施工费用上升得相当可观。以后张法预应力混凝土简支梁的制造为例,1972 年的材料费用占 82%,人工与机械费用占 18%;而在 1987 年的材料费用下降到占 79%,人工与机械的费用上升为占 21%。据不完全统计,跨径 30m 的先张预应力简支梁桥的施工,其材料费占 58%,制造费占 25%;运输费占 3.5%;架设费占 13.5%。

工程费用的分项比例

表 1-1

序号	桥名	结构	跨径(m)	主要材料费 (%)	制造费 (%)	运输费 (%)	架设费 (%)
1	关门桥	三跨悬索桥	178+ 712+ 178	33	40	3	24
2	若户大桥	三跨悬索桥	89+ 367+ 89	43	35	3	19
3	港大桥	三跨悬臂桁梁桥	235+ 510+ 235	22	41	4	33
4	大岛大桥	三跨连续桁梁桥	200+ 325+ 200	22	46	1	31
5	平户大桥	单跨悬索桥	139+ 465.4+ 105	33	28	5	34

影响桥梁施工费用的主要因素是构件制作费用、架设费用和工期。桥梁工程要将相当数量的钢材和混凝土材料进行运输、制作和组装,要使用大量的劳动力和多种机具设备,并且要长时间地在野外条件下进行作业。为了尽量缩短工期,确保经济而又安全地施工,在桥梁设计中要充分考虑到便于制作和架设的结构,制定周密的施工计划,缩短工期,减少施工管理费用,降低桥梁造价。我国近年来建造的某些预应力混凝土斜拉桥,按照其跨越能力和材料用量指标是相当经济的,但在相应的施工总造价上要比其他类型的经济指标高,其原因主要在于施工技术和施工管理方面。

当前,缩短工期、尽早通车所带来的经济效益和社会效益越来越受到重视。如广珠公路的四座大桥,是连接广州市和珠海市的主要通道,原四处均为渡口,通车常受阻。广珠公路的全线通车在对外开放,发展经济,方便人民,缩短行车时间等方面带来了很高的社会效益。从经济上看,每天即可从公路上回收 3~4 万元。所以认真研究施工问题是十分必要的,它愈来愈受到建

桥工作者的重视。结合我国当前的施工水平,在桥梁施工中的主要问题有:

1. 提高施工队伍的素质,要培养一批技术熟练、应变能力强的施工技术专业人员;
2. 提高施工机械化的程度,做到机具设备配套,达到机具使用的较高效率;
3. 组织专业化施工,使技术力量、机具设备得到充分的使用;
4. 加强施工的科学管理,使工程质量、施工期限、工程造价处于最优状态。

### 三、桥梁施工与组织管理

桥梁施工主要是指桥梁的施工技术。在进行桥梁初步设计时就应确定工程的基本施工方法;在工程施工中,结合已有的机具设备和施工能力,制定各施工阶段的施工程序和施工文件。组织管理是从施工管理上制定周密的施工计划,确保在规定的工期内优质、安全地完成设计图纸所要求的工程内容。桥梁工程的组织管理大致可分为以下几个方面:

#### (一) 确认工程项目,进行现场布置

工程的建设单位、设计部门和施工承包单位具有生效的承包合同,包括确定工期、工程数量、工程费用等。施工单位进场后要明确施工现场,了解现场地理位置、水电资源、工程地点的气象条件等,用以确定施工现场的生产场地和生活设施,并进行合理布局。

#### (二) 制定工程进度计划

根据施工技术要求,依照完工期限和气象、水文等条件,制定分项工程进度计划和整体工程进度计划,它是施工组织管理的总纲领。

#### (三) 安排人事劳务计划

根据各施工阶段的进度和施工内容,确定各阶段所需的技术人员、技工及劳务工的计划;同时确定工程管理机构 and 职能干部,负责各方面的事务。

#### (四) 临时设施计划

工程施工中所需的生产性和非生产性的临时设施的类别、数量和所需时间;生产性临时设施包括构件预制场、栈桥、便道、运输线、临时墩等;非生产性临时设施包括办公室、仓库、宿舍等。

#### (五) 机具设备使用计划

依据各施工阶段所需机具设备的种类、数量、使用时间等,制定机具设备的购置、制作和调拨计划。

#### (六) 材料及运输计划

根据计划编制材料供应计划,安排材料、设备和物资的运输计划。

#### (七) 工程财务管理

包括工程的施工预算、资金的使用计划、各种承包合同、施工定额、消耗定额等方面的管理。

#### (八) 安全、质量与卫生管理

包括各种作业的安全措施,安全检查与监督,工地现场保卫,施工质量验收制度,工程监理和环境卫生,生活区的卫生等。

桥梁的施工技术与组织管理在内容上是有区别的,但在实际工作中关系是密切的。施工技术保证工程能按设计进行施工,而只有严格的组织管理才能圆满地按照承包合同完成工程施工任务。桥梁施工组织管理是一门重要的管理科学,以往常被施工单位忽视而采取放任自流的态度。今天不少工程重视了科学管理,讲求经济核算,提高效益。运筹管理、微机管理、网络

管理等先进管理方法必将在工程中不断得到应用和完善。桥梁组织管理的内容在《公路工程管理》课程中有详细论述。

### 第三节 桥梁施工方法概述及施工方法的选择

#### 一、桥梁基础施工

基础工程问题往往不能用理论的数学方法来处理,正象美国的 R. B. Peck 在国际土协第十一届国际大会(1985 年)上引述泰沙基看法所说的那样:“有效地处理基础工程问题的唯一方法,在于首先找出以前有过的类似性质的工程中曾发生的问题,其次查明工程地点的土质类型,最后查清某种施工方法为何导致某种结果。通过系统地知识积累,将经验数据加以仔细地表达和确定,那么基础工程就可发展成为半经验的科学”。数十年来,正是经验的积累和研究的深入和及时地交流经验,促使各国的基础工程技术不断地发展。

一般来说,桥梁基础工程发展到今天,已经不受水文、地质条件的控制,突出的是工程结构本身和经济效益。目前国内已经形成了合乎我国国情的一整套施工工艺及相应的设备。而特大桥梁基础已经向“组合基础”发展。扩大基础、桩基和沉井三大类在各自的发展中又彼此“联合”。这种联合就是根据不同的水文、地质来发挥各类形式的特点组成的一个整体,故出现了很多基础形式。

桥梁基础工程由于在地面以下或在水中,涉及水和岩土的问题,从而增加了它的复杂程度,使桥梁基础的施工无法采用统一的模式。但是根据桥梁基础工程的形式大致可以归纳为扩大基础、桩和管柱基础、沉井基础和组合基础几大类。

#### 二、桥梁上部结构的施工

桥梁上部结构的施工方法从 70 年代以后,随着预应力混凝土的广泛应用,到今天已经得到了迅速发展,发生了重大的变革。

在钢筋混凝土桥梁的时代,可以说主要是现场浇筑的施工方法。由于桥梁类型与跨径幅度增加,构件生产的预制化、结构设计方法的进步、机械设备的的发展,由此而引起施工方法的进步和发展,形成了多种多样的施工方法。下面将介绍桥梁上部结构的施工方法,并概述各种方法的施工特点。

##### (一)就地浇筑法

就地浇筑法是在桥位处搭设支架,在支架上浇筑桥体混凝土,达到强度后拆除模板、支架。

就地浇筑法施工无需预制场地,而且不需要大型起吊、运输设备,梁体的主筋可不中断,桥梁整体性好。它的缺点主要是工期长,施工质量不容易控制;对预应力混凝土梁由于混凝土的收缩、徐变引起的应力损失比较大;施工中的支架、模板耗用量大,施工费用高;搭设支架影响排洪、通航,施工期间可能受到洪水和漂流物的威胁。

##### (二)预制安装法

预制安装法是在预制工厂或在运输方便的桥址附近设置预制场进行梁的预制工作,然后采用一定的架设方法进行安装。预制安装法施工一般是指钢筋混凝土或预应力混凝土简支梁的预制安装。

预制构件安装的方法很多,各需不同的安装设备,可根据施工的实际情况合理选择。

预制安装法施工的主要特点:

1. 由于是工场生产制作, 构件质量好, 有利于确保构件的质量和尺寸精度。
2. 上下部结构可以平行作业, 因而可缩短现场工期。
3. 能有效地利用劳动力, 并由此而降低工程造价。
4. 由于施工速度快, 可适用于紧急施工工程。
5. 构件预制后由于要存放一段时间, 因此在安装时已有一定龄期, 可减少混凝土收缩、徐变引起的变形。

### (三) 悬臂施工法

悬臂施工法是从桥墩开始, 两侧对称进行现浇梁段或将预制节段对称进行拼装。前者称悬臂浇筑施工, 后者为悬臂拼装施工。

悬臂施工的主要特点:

1. 桥梁在施工过程中产生负弯矩, 桥墩也要承受由施工而产生的弯矩, 因此悬臂施工宜在营运状态的结构受力与施工阶段的受力状态比较接近的桥梁中选用, 如预应力混凝土 T 型钢构桥、变截面连续梁桥和斜拉桥等。
2. 非墩梁固接的预应力混凝土梁桥, 采用悬臂施工时应采取措施, 使墩、梁临时固结, 因而在施工过程中有结构体系的转换。
3. 采用悬臂施工的机具设备种类很多, 就挂篮而言, 也有桁架式、斜拉式等多种形式, 可根据实际情况选用。
4. 悬臂浇筑施工简便, 结构整体性好, 施工中可不断调整位置, 常在跨径大于 100m 的桥梁上选用。悬臂拼装法施工速度快、桥梁上、下部结构可平行作业, 但施工精度要求比较高, 可在跨径 100m 以下的大桥中选用。
5. 悬臂施工法可不用或少用支架, 施工不影响通航和桥下交通。

### (四) 转体施工法

转体施工是将桥梁构件先在桥位处岸边(或路边及适当位置)进行预制, 待混凝土达到设计强度后旋转构件就位的施工方法。转体施工其静力组合不变, 它的支座位置就是施工时的旋转支架和旋转轴, 桥梁完工后, 按设计要求改变支承情况。

转体施工的主要特点:

1. 可以利用地形, 方便预制构件。
2. 施工期间不断航, 不影响桥下交通, 并可在跨越通车线路上进行桥梁施工。
3. 施工设备少, 装置简单, 容易制作并便于掌握。
4. 节省木材, 节省施工用料。采用转体施工与缆索无支架施工比较, 可节省木材 80%, 施工用钢 60%。
5. 减少高空作业, 施工工序简单, 施工迅速。当主要结构先期合拢后, 给以后施工带来方便。
6. 转体施工适合于单跨和三跨桥梁, 可在深水、峡谷中建桥采用, 同时也适应在平原区以及用于城市跨线桥。
7. 大跨径桥梁采用转体施工将会取得较好的技术经济效益, 转体重量轻型化、多种工艺综合利用, 是大跨及特大跨桥的施工关键所在。

### (五) 顶推法施工

顶推施工是在沿桥纵轴方向的台后设置预制场地, 分节段预制, 并用纵向预应力筋将预制

节段与施工完成的梁体联成整体,然后通过水平千斤顶施力,将梁体向前顶推出预制场地,之后继续在预制场进行下一节段梁的预制,循环操作直至全桥施工完毕。

顶推法施工的特点:

1. 顶推法可以使用简单的设备建造长大桥梁,施工费用低,施工平稳无噪声,可在水深、山谷和高桥墩上采用,也可在曲率相同的弯桥和坡桥上使用。
2. 主梁分段预制,连续作业,结构整体性好;由于不需要大型起重设备,所以施工节段的长度一般可取用 10m ~ 20m。
3. 桥梁节段固定在一个场地预制,便于施工管理,改善施工条件,避免高空作业。同时,模板、设备可多次周转使用,在正常情况下,节段的预制周期 7d ~ 10d。
4. 顶推施工时,梁的受力状态变化很大,施工阶段梁的受力状态与营运时期的受力状态差别较大,因此在梁截面设计和布索时要同时满足施工与营运的受力要求,因此用钢量较高。在施工时也可采取加设临时墩、设置前导梁和其他措施,用以减小施工内力。
5. 顶推法宜在等截面梁上使用。但当桥梁跨径过大时,选用等截面梁会造成材料用量的不经济,也增加施工难度,因此以中等跨径的桥梁为宜,桥梁的总长也在 500m ~ 600m 为宜。

#### (六) 移动模架逐孔施工法

逐孔施工是中等跨径预应力混凝土连续梁中的一种施工方法,它使用一套设备从桥梁的一端逐孔施工,直到对岸。

采用移动模架逐孔施工的主要特点:

1. 移动模架法不需设置地面支架,不影响通航和桥下交通,施工安全、可靠。
2. 有良好的施工环境,保证施工质量,一套模架可多次周转使用,具有在预制场生产的优点。
3. 机械化、自动化程度高,节省劳力,降低劳动强度;上下部结构可以平行作业,缩短工期。
4. 通常每一施工梁段的长度取用一孔梁长,接头位置一般可选在桥梁受力较小的部位。
5. 移动模架设备投资大,施工准备和操作都较复杂。
6. 移动模架逐孔施工宜在桥梁跨径小于 50m 的多跨长桥上使用。

#### (七) 横移法施工

横移施工是在拟待安置结构的位置旁预制该结构物,并横向移动该结构物,将它安置在规定的位上。

横移法施工的主要特点是在整个操作期间,与该结构有关的支座位置保持不变,即没有改变梁的结构体系。反之,在横向移动期间,临时支座需要支承该结构的施工重量。

横向位移施工多用于正常通车线路上的桥梁工程的换梁。为了尽量减少交通的中断时间,可在原桥位旁预制并横移施工。

横移施工也可与其他施工方法配合使用。如一座分离式箱梁桥,可先采用顶推法按单箱完成,再采用横移法就位,之后在原位置上继续进行另一单箱梁顶推施工,这样可以使用一套顶推设备完成桥的施工。

横移施工多采用卷扬机、液压装置并配以千斤顶操作。由于混凝土桥具有较大的自重,横移法施工常在钢桥上使用。

#### (八) 提升与浮运施工

这是一种采用竖向移动梁体就位的方法。提升施工是在未来安置结构物以下的地面上预制该结构并把它提升就位。浮运施工是将桥梁在岸上预制,通过大型浮船移运至桥位,利用船的上下起落安装就位的方法。

采用提升和浮运的方法常选取整体结构,重达数千吨。使用该法的要求是:

1. 在该结构下面需要有一个适宜的地面;
2. 在被提升结构下面要有一定的承载力;
3. 拥有一台支承在一定基础上的提升设备;
4. 该结构应该是平衡的,至少在提升操作期间;
5. 采用浮运法要有一系列的大型浮运设备。

### 三、施工方法的选择

选择确定桥梁的施工方法,需要充分考虑桥位的地形、环境、安装方法的安全性、经济性、施工速度等。因此在桥梁设计时就要对桥位条件进行详细的调查,掌握现场的地理环境、地质条件及气象条件。施工场地处在市区内、平原、山区、跨河道、跨海湾等,其各方面的条件差别很大,运输条件和环境约束也不相同。这些条件除作为选择施工方法的依据外,同时也涉及到设计方案的考虑、桥跨及结构形式的选定。

在选择施工方法时,桥梁的类型、跨径、施工的技术水平、机具设备条件也是应考虑的重要因素。虽然桥梁的施工方法很多,但对于不同的桥梁类型,有的适合,有的就不适合,有的则在特定的条件下可以使用。表 1-2 所列各种桥型可选择的主要施工方法及表 1-3 所列桥梁施工方法适用的桥梁跨径范围,可作施工方法选择的参考。

各种类型桥梁可选择的主要施工方法

表 1-2

桥 型	筒 支 梁 桥	悬 臂 梁 桥 T 型 刚 构	连 续 梁 桥	刚 架 桥	拱 桥	组 合 体 系 桥	斜 拉 桥	吊 桥
施工方法								
现场浇筑法								
预制安装法								
悬臂施工法								
转体施工法								
顶推施工法								
逐孔施工法								
横移施工法								
提升与浮运施工法								

各种施工方法的适用跨径

表 1-3

跨 径 (m)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	300	400	500
施工方法														
现场浇筑法			——	-----										
预制安装法			——	-----										
悬臂施工法														
转体施工法			——	-----										
顶推施工法			——	-----										
逐孔施工法			——	-----										
横移施工法			——	-----										
提升与浮运施工法			——	-----										

注:桥梁跨径主要指混凝土桥——常用跨径 - - - - 施工达到跨径

桥梁施工方法的选定,可根据下列条件综合考虑。

(一) 使用条件

桥梁的类型、使用跨径、墩高、梁下空间的限制、平面场地的限制、桥墩的形状等。

(二) 施工条件

工期要求、起重能力和机具设备要求、架设时是否封闭交通、架设时所需的临时设施、材料可供情况、架设施工的经济核算等。

(三) 自然环境条件

山区或平原、地质条件及软弱层状况、对河道的影响、运输线路的限制等。

(四) 社会环境影响

对施工现场环境的影响,如公害、景观、污染、架设孔下的障碍、道路交通的阻碍、公共道路的使用及建筑限界等。

### 复习思考题

1. 桥梁施工与哪些因素有关?
2. 简述桥梁施工的方法及适用范围。