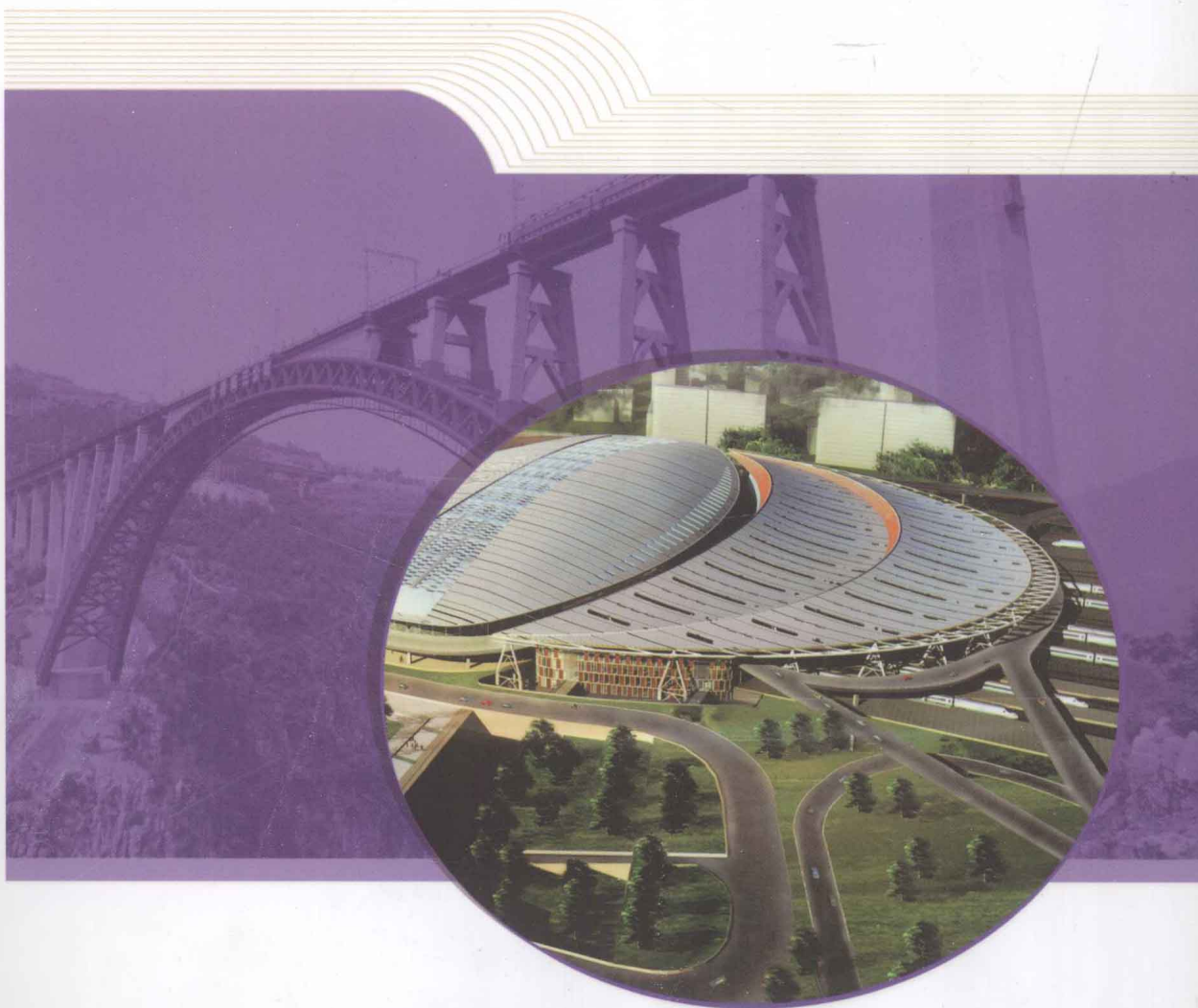




普通高等教育铁道部规划教材

铁路桥梁施工

季文玉 主编 许克宾 主审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书为普通高等教育铁道部规划教材。全书共分十三章,主要有:绪论,常备式结构和常用机具设备,基本施工技术,桥梁基础施工,桥梁墩台施工,钢筋混凝土简支梁制造,混凝土连续梁施工,混凝土拱桥施工,钢梁制造及架设,斜拉桥和悬索桥施工,铁路桥梁改扩建施工技术,桥梁施工控制技术简介,桥梁施工组织设计。

本教材适用于道路、铁路工程及土木工程的本科生和研究生使用,也可供高职院校铁道工程及土木工程专业使用,以及从事铁路桥梁设计、施工、建设管理和养护维修的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁路桥梁施工/季文玉主编. —北京:中国铁道出版社,2012.2

ISBN 978-7-113-13706-9

I. ①铁… II. ①季… III. ①铁路桥—桥梁工程—工程施工—高等学校—教材 IV. ①U448.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 203801 号

书名:铁路桥梁施工

作者:季文玉 主编 李亚东 副主编

策 划:刘红梅 电话:010-51873133 电子信箱:mm2005td@126.com 读者热线:400-668-0820
责任编辑:刘红梅
编辑助理:谢宛廷
封面设计:崔丽芳
责任校对:孙 玫
责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.edusources.net>

印 刷:三河市华丰印刷厂

版 次:2012年2月第1版 2012年2月第1次印刷

开 本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:19.25 字数:485千

印 数:1~3 000册

书 号:ISBN 978-7-113-13706-9

定 价:38.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)63549504

前 言

本书是普通高等教育铁道部规划教材,是由铁道部教材开发领导小组组织编写,并经铁道部相关业务部门审定,适用于高等院校铁路特色专业教学以及铁路专业技术人员使用。本书为铁道工程系列教材之一。

开设桥梁施工课程的目的,是使学生通过学习了解桥梁施工的基本方法和关键技术,初步具有拟订桥梁施工方案的能力以及掌握施工技术、施工组织,为毕业后从事桥梁设计、施工和管理等工作奠定基础。加强实践知识环节,避免理论脱离实际,防止知识的片面性,使学生能够成为懂理论、会设计、会制造的工程技术人才。

桥梁施工包括基础、墩台和上部结构施工,内容繁多,且施工技术不断发展,日新月异。本书编写中力求抓住重点,体现“少而精”的原则,突出各部分施工的基本原理和方法,使学生在有限的学时内能够获得必要的施工基础知识。同时,力求紧密结合生产实际,反映当前桥梁施工技术及组织管理水平,融入最新科技成果和现行有关施工技术规范,以培养学生的创新思维、规范意识和独立工作能力。

本书由北京交通大学季文玉教授担任主编,西南交通大学李亚东教授担任副主编,北京交通大学许克宾教授担任主审。

全书共十三章。其中第一、七章由季文玉编写;第二、十二章由季文玉、李亚东、姚昌荣共同编写;第三、四、十三章由姚锦宝编写;第五、六章由卢文良编写;第八、九、十章由韩冰编写;第十一章由姚昌荣、李亚东共同编写。

感谢铁路施工单位为本教材提供了许多宝贵的资料。感谢北京交通大学土木建筑工程学院、西南交通大学土木工程学院领导对本书编写的指导。同时感谢中国铁道出版社对本书编写和出版给予大力支持。

在本书编写过程中,参考了大量参考文献,未能一一同原作者联系,在此一并表示感谢。

由于编写水平有限,教材中难免存在谬误之处,敬请读者批评指正,以便再版时予以修正。来函请寄北京交通大学土木建筑工程学院(邮编 100044)。

编 者
2011 年 12 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 施工技术在桥梁工程中的作用与地位	1
第二节 桥梁工程施工技术的发展	1
第三节 桥梁施工方法和选择	10
复习思考题	12
第二章 常备式结构和常用机具设备	13
第一节 概述	13
第二节 常备式结构	13
第三节 常用的起重机具设备	21
第四节 混凝土设备	30
第五节 预应力张拉设备	34
第六节 其他常用机具及设备	39
复习思考题	41
第三章 基本施工技术	42
第一节 模板工程	42
第二节 钢筋工程	53
第三节 混凝土工程	63
第四节 预应力混凝土工程	78
复习思考题	88
第四章 桥梁基础施工	89
第一节 明挖基础施工	89
第二节 桩基础施工	102
第三节 沉井与沉箱基础施工	122
复习思考题	135
第五章 桥梁墩台的施工	136
第一节 墩台施工的基本要求	136
第二节 高桥墩的施工	137
第三节 石砌墩台施工	144
第四节 墩台顶帽施工	145
第五节 拼装式墩台施工	146
复习思考题	150
第六章 混凝土简支梁的制造与架设	151
第一节 钢筋混凝土简支梁的制造	151
第二节 预应力混凝土简支梁的制造	153



第三节 混凝土简支梁的整孔(片)架设	157
复习思考题	166
第七章 混凝土连续梁施工	168
第一节 悬臂法施工	168
第二节 逐孔施工法	185
第三节 顶推施工法	188
复习思考题	195
第八章 混凝土拱桥施工	196
第一节 拱桥的有支架施工方法	197
第二节 拱桥的无支架施工方法	203
复习思考题	208
第九章 钢梁制造及架设	209
第一节 钢构件的制作及拼装	209
第二节 钢梁架设方法	215
复习思考题	227
第十章 斜拉桥和悬索桥的施工	228
第一节 桥塔的施工	229
第二节 悬索桥锚碇的施工	232
第三节 拉索/缆索施工	233
第四节 主梁/加劲梁的施工	249
复习思考题	257
第十一章 铁路桥梁改扩建施工技术	258
第一节 铁路桥梁既有线施工	258
第二节 顶桥(涵、管)施工	262
第三节 增建二线桥的施工	266
复习思考题	267
第十二章 桥梁施工控制技术简介	268
第一节 桥梁施工控制的任务与内容	268
第二节 桥梁施工控制方法	269
第三节 各种桥型施工控制特点	273
第四节 施工监测方法与仪器	275
复习思考题	278
第十三章 桥梁工程施工组织设计	279
第一节 概述	279
第二节 桥梁工程施工组织设计的编制	283
复习思考题	301
参考文献	302

第一章

绪论

第一节 施工技术在桥梁工程中的作用与地位

桥梁是交通行业中的重要设施之一,就是供车辆(汽车、列车)和行人等跨越障碍(河流、山谷、海湾或其他线路等)的工程建筑物。桥梁建设一般要经过规划、勘察、设计和施工等阶段。一座功能完善、设计优良、美观而协调的桥梁,需要施工来完成。因而施工阶段的任务是,具体实现桥梁设计思想和设计意图,把图纸变为现实。其成果是提供一座能够满足功能要求的桥梁建筑物。

桥梁施工主要包括桥梁的施工技术和施工组织。其中,施工技术水平的高低,对桥梁工程建设常常起着举足轻重的作用。特别是对于结构复杂、处于恶劣环境的桥梁,设计意图能否真正得以实现,在很大程度上取决于建设者采用的施工技术。因此,即使在设计阶段,也必须充分考虑采用的施工方法,要求施工技术必须能够保证设计的可行性。另一方面,桥梁施工技术的发展,为实现桥梁设计意图,提供了灵活多样强有力的手段,也为增大桥梁跨度,改进结构形式以及采用新材料,提供了必要的条件。所以说,先进的施工技术,能够影响和促进桥梁设计水平的提高和发展。

此外,采用先进合理的施工技术,对于降低工程造价,保证工程质量,加快施工进度和实现安全生产也是十分重要的。

随着科学技术的进步,施工机具、设备和建筑材料的更新与发展,对于桥梁施工技术的要求也越来越高。

第二节 桥梁工程施工技术的发展

现代的桥梁施工技术,是在原始施工方法的基础上,经过不断改进、提高,逐步发展起来的。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。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、造型和功能又有所提高,在桥梁施工方面充分展现了我国古代工匠的智慧和艺术水平,为我国桥梁建造史积累了宝贵财富。一千多年前所建的安济桥(又称赵州桥)就是其中的一个杰作,它是当今世界上跨径最大、建造最早的单孔敞肩型石拱桥。宋代的卢沟桥(1189~1192年)、清代颐和园内的玉带桥(1750年)和十七孔桥(1795年)等,也均在世界桥梁建设史上留下了光辉的一页。建造难度大、施工技术复杂的泉州洛阳桥(1053年),是一座濒临海湾的大石桥。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,泉州洛阳桥的建设开创了现代称为筏形基础的桥基,采用抛石技术并巧妙地利用生生不息的牡蛎使筏形基础固结成整体。漳州虎渡桥(1240年),石梁重达200 t,当时采用何种方法将其安装就位,至今仍无从考证。泉州万安桥(1059年)的石梁共300余根,每根重20~30 t,在当时采用“激浪以涨舟,悬机以弦牵”的方法架设,据分析是为了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。古代工匠仅利用人工、简单工具并借助自然力建造大桥,这也是现代浮运架桥的原始雏形。这些足见我国古代桥梁建筑技术的高超。

然而,封建制度的长期统治,大大束缚了生产力的发展。近代中国在桥梁建筑方面,大部分是外国投资、洋人设计、外商承包、技术落后、进展缓慢。我国自行设计施工的京张铁路桥梁(1905~1909年),钢梁的最大跨度仅达33.5 m。全线最长的怀来桥,墩身采用的是木桩基础,施工时用农田灌溉水车抽水,人力拉拽落锤打桩。钢梁杆件用骡车运达工地组拼。至于浙赣线杭州钱塘江桥,虽为国人自行设计,但正桥墩台基础和钢梁工程,则分由外国公司承包施工。

新中国成立后,随着交通运输业的发展,我国桥梁施工技术水平迅速提高,特别是改革开放以来,我国桥梁建设进入了一个辉煌的时期,建成了一大批结构新颖、技术复杂、设计和施工难度大的桥梁,建设水平已跻身于世界先进行列。

一、中小跨度预应力混凝土梁的制造与架设

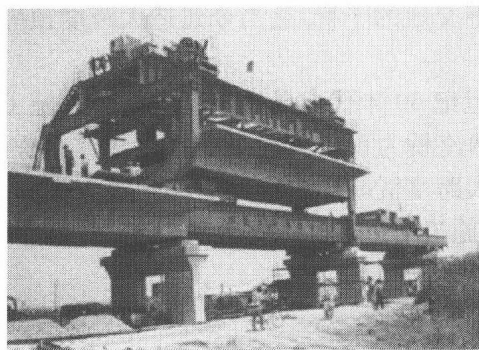
20世纪50年代,我国开始对预应力混凝土技术进行研究。1955年,在丰台桥梁厂试制了一孔跨度12 m的试验梁。次年,在陇海线新沂河上建成我国第一座预应力混凝土铁路桥,跨度23.8 m。由此开始,预应力混凝土梁得到广泛的应用,跨度在32 m以下时逐步取代钢梁,对节约钢材,发挥了重要作用。钢筋混凝土梁和预应力混凝土梁,大量采用工厂预制,运送工地使用架桥机架设,梁体质量好,工程进度快,成本低,为新线铁路桥梁施工的基本形式。

20世纪50年代,我国开始使用双悬臂式架桥机架设混凝土梁,其中最大吊重为130 t,可分片架设跨度32 m预应力混凝土梁。20世纪60年代以后,我国发展应用简支式架桥机架梁,显著提高了架梁的安全性。在2002年建成的秦沈铁路客运专线上,大量使用了单、双线跨度16~32 m预应力梁,配套使用多种形式的架桥机,其中JQ600架桥机额定起重量达600 t,如图1-1(a)所示。在近几年高速发展的铁路客运专线的建设中,大量地采用了24 m、32 m整孔式预应力混凝土箱梁,所采用的架桥机起重高达900 t以上,如图1-1(b)所示,我国自主研发的这套设备,打破了国外的垄断,实现了重大机械设备的自主创新。这套设备由dcy900型连杆转向运梁车和df900型导梁式定点起吊架桥机组成。dcy900型连杆转向运梁车和df900型导梁式定点起吊架桥机相互配合,可以完成时速250~350 km的铁路客运专线所需箱梁的运输和铺架。整套设备长103 m,宽17 m,高12 m,体积比一架大型飞机还大,仅自身重量就高达780 t,相当于13节火车车皮的载重量。

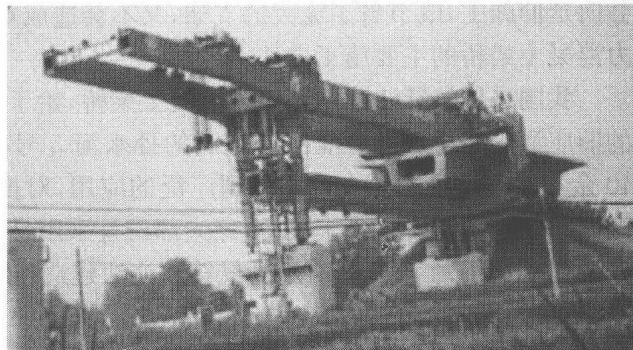
公路装配式混凝土梁桥,由于构件较轻,广泛采用简易、灵活多样的设备安装方法。

二、桁式拱架配合缆索吊机施工混凝土拱桥

20世纪50年代,为了节约钢材,扩大钢筋混凝土桥的使用范围,增大其跨度,我国先后修建了多座跨度53 m以上的铁路空腹式钢筋混凝土拱桥,使我国拱桥施工技术水平显著提高。1956年在包兰线上建成的东岗镇黄河桥,把我国混凝土拱桥的跨度从40 m发展到了53 m。从此施工中开始采用常备式钢拱架,以取代以往采用的木制满布式拱架。作为主要起吊、运输



(a)



(b)

图 1-1 架桥机

(a)JQ600 型架桥机;(b)6DF900D 导梁式定点起吊架桥机

设备,两台 1.7 t 的缆索吊车(塔距 300 m),悬臂安装钢拱架并完成拱架上混凝土灌注等。1959 年建成的太焦线丹河桥,将跨度增大到 88 m,成为 20 世纪 50 年代我国最大跨度的钢筋混凝土拱桥。钢拱架仍然采用悬臂安装,使用两台 3 t 缆索吊机。在这个基础上,1960 年开工兴建了当前我国最大跨度 150 m 的钢筋混凝土铁路拱桥。施工中采用箱形拱,拱肋分层拼装,使先装的拱肋底板与拱架共同受力。钢拱架由原来需要的 14 片,减少为 8 片,从而节省了大量钢材。构件安装采用两台吊重 25 t 的缆索吊机,跨度 480 m。拱肋合龙前,在拱顶进行千斤顶应力调整,以改善拱肋的受力状态。

除缆索吊机作为拱桥施工常用的起重机具外,缆索吊装法施工,也作为我国公路装配式拱桥无支架施工的主要方法被普遍采用。目前其吊装能力已达 420 t(重庆菜园坝长江大桥 2007 年 10 月),能够顺利地吊装跨度 420 m 的公路和轨道交通两用钢箱提篮拱特大桥的预制钢箱拱段,节段最大重量达 360 t。

在桁式拱架基础上发展起来的劲性骨架施工法,在我国公路拱桥中有较广泛的应用。1990 年建成通车的宜宾小南门金沙江大桥,系主跨 240 m 中承式拱桥,采用了型钢构件组拼桁架式劲性骨架施工。施工中利用缆索吊机分 7 段伸臂吊装劲性骨架成拱,然后在钢骨架上挂模、分环现浇箱拱混凝土。接着 1996 年广西邕江大桥骨架采用钢管混凝土,使这种方法又跨上了一个新台阶。1997 年采用同样方法建成的重庆万州长江大桥(主跨 420 m),为目前世界上最大跨度的混凝土拱桥。图 1-2 为万州长江大桥劲性骨架吊装。2004 年建成的赣龙铁路吊钟岩大桥主跨 140 m,是我国跨度最大的铁路劲性骨架钢筋混凝土拱桥。

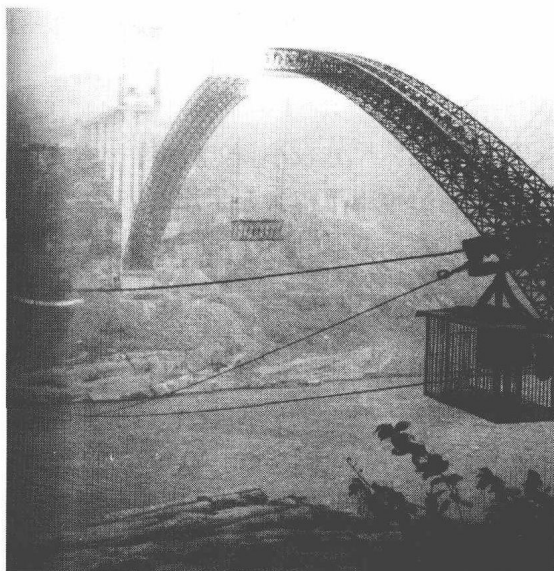
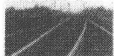


图 1-2 混凝土拱桥劲性骨架吊装

三、悬臂法施工混凝土桥梁

悬臂法施工预应力混凝土梁桥,勿需在桥下搭设支架,直接从已建桥墩顶部,逐段向跨中



方向延伸施工,既节省了庞大的支架,又不会造成对桥下交通的干扰,是当今建造大跨度预应力混凝土梁桥的主要施工方法。

我国采用悬臂法建造预应力混凝土梁桥,始于 20 世纪 60 年代成昆铁路悬臂拼装法施工的旧庄河 1 号桥和悬臂灌注法施工的孙水河 5 号桥,两座桥为预应力混凝土铰接悬臂梁桥。40 余年来悬臂施工法在我国得到广泛的应用,对推动大跨度混凝土梁的发展起到很大作用。国内建成的大跨度混凝土梁桥,绝大部分是采用悬臂法施工的。最大跨度达 270 m(虎门公路大桥副航道桥)。图 1-3 所示为悬臂灌注法建造连续体系梁桥。

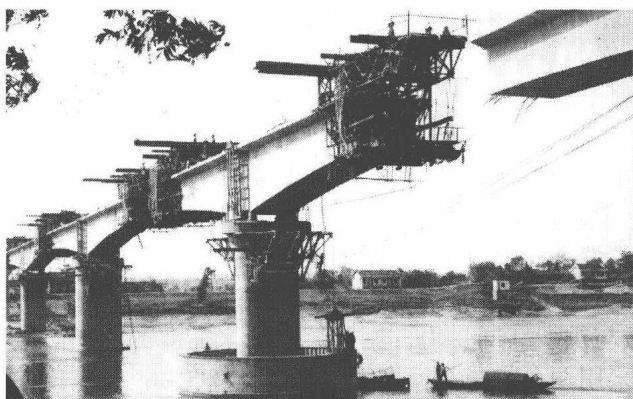


图 1-3 悬臂灌注法施工

钢筋混凝土拱桥采用悬臂法施工建造,大大提高了它与其他桥型的竞争能力。1974 年日本首先采用悬臂灌注法,修建了跨度 170 m 的外津桥。1980 年前南斯拉夫用悬臂拼装法,建成当时世界上最大跨度 390 m 的 KRK 大桥。20 世纪 80 年代以来,在我国南方用悬臂拼装法,修建了多座大跨度悬臂桁架拱桥。如 1981 年贵州长岩大桥,单孔跨度 75 m;1995 年建成的贵州江界河大桥,为上承式混凝土桁式组合拱桥,跨度 330 m,同类桥梁单孔跨度居世界第一。

斜拉桥梁体尺寸较小,各节间有拉索支承,索塔还可用来设置辅助拉索,因此悬臂施工法是混凝土斜拉桥施工中普遍采用的方法。我国混凝土斜拉桥,除跨度较小者外,基本上都是用悬臂灌注法施工的,从而在施工技术、施工控制等方面,积累了丰富的经验。

四、顶推法架设

顶推法架设预应力混凝土梁,在 1959 ~1962 年施工的奥地利 Ager 桥中首先应用。我国最早采用顶推法架设的铁路桥梁是狄家河桥(1977 年,跨度 4×40 m),公路桥梁是万江桥(1978 年,跨度 40 m + 54 m + 40 m)。这种方法的优点是,桥跨顶推施工时,不受桥下深水、峡谷和交通的阻碍,同时梁段在桥头工厂制造,质量易得到保证。在我国,顶推法施工得到了较为广泛的应用。其中最长的桥为广东九江大桥引桥,跨度为 40 m + 10×50 m。

钱塘江二桥的铁路引桥,采用了单点顶推法施工,重达 3 000 t 以上的梁体,在桥位上总共向前推进了 800 m 的距离。汾水河公路桥(1980 年,跨度 6×38 m),是我国第一座采用多点顶推架设的桥梁。

佛山平胜桥有着全新的桥型。全桥采用独塔不对称、四索面单主跨自锚式悬索桥方案,该结构形式为世界独创。其单跨跨径(主跨 350 m 钢箱梁)即使与技术相对成熟的双塔自锚式



悬索桥相比,也是世界最大的。该桥主跨加劲梁采用顶推法架设。

石武客运专线郑州黄河两用桥,主桥总长 1 684 m。纵桥向分两联布置,第一联采用 $120\text{ m}+5\times 168\text{ m}+120\text{ m}$ 六塔部分斜拉连续钢桁结合梁结构;第二联采用 $120\text{ m}+3\times 120\text{ m}+120\text{ m}$ 连续钢桁结合梁结构。采用多点顶推架设施工技术。

五、逐孔施工法建造预应力混凝土梁

逐孔施工法适用于多孔中小跨度长桥,是从桥梁一端开始,采用一套施工设备或一、二孔施工支架逐孔施工,周期循环,直到桥梁的另一端。逐孔施工法从 20 世纪 50 年代末期以来,首先在德国、法国、瑞士等国采用,后普及西欧,今已推广到全世界。

逐孔施工法,可分为移动支架法和移动模架法两类。1994 年宁夏灵武支线黄河大桥(图 1-4),用移动支架法成功架设了 10 孔跨度 46 m 铁路预应力混凝土箱形截面简支梁,为我国中等跨度混凝土梁的架设开辟了新途径。移动支架法拼装混凝土梁施工,是在桥墩上逐孔拖拉移动支架,在支架上逐孔拼装混凝土梁段,完成架梁任务。1995 年在南昆线打梗桥和白水河桥,采用这种方法架设了跨度 56 m 预应力混凝土铁路简支梁桥。2000 年在包西线秃尾河桥用同样的方法架设了目前国内最大跨度 64 m 预应力混凝土铁路简支梁。2009 年建成的温福客运专线白马河特大桥是目前世界上有着最大行车速度最大跨度 64 m 的双线预应力混凝土铁路简支梁,预制梁段最大重量 136 t,也是采用移动支架的形式实现的。

移动支架法架梁的另一种形式,是采用一套高架桁梁吊挂梁段拼装。石长铁路长沙湘江大桥,采用这种俗称造桥机的设备,首次架设了 9 孔 96 m 预应力混凝土连续梁。造桥机全长 244.6 m,吊装预制梁段最大重量 150 t。



图 1-4 移动支架法架梁

移动模架法始于 1959 年克钦卡汉桥的施工中,后迅速在西欧推广应用。它是快速修建中小跨度预应力混凝土长桥的有效施工方法。它可在移动的拼装式支架模板上,完成一孔梁的全部工序。混凝土脱模后,支架连同模板移至前方,逐孔施工。我国 1990 年施工的厦门高集海峡大桥,全长 2 070 m,为 46 孔跨度 45 m 等跨公路预应力混凝土箱梁。施工所用的移动模架,由西德 P-z 公司研制,亦称 P-z 法。2003 年建成的秦沈客运专线上,采用移动模架(MZ32)法逐孔施工,建成一座 49 孔跨度 32 m 双线混凝土简支箱梁小凌河特大桥。目前,国内客运专



线大量采用移动模架法逐孔建造中小跨度预应力混凝土简支梁。

六、转体法架设大跨度拱桥

转体施工是 19 世纪 40 年以后发展起来的一种架桥工艺,多用于大跨度拱桥的施工,对于斜拉桥、钢桁架桥等也有采用。转体法施工,可减少大量高处作业和临时支架,可不干扰桥下交通,是一种具有明显技术经济效益的桥梁施工方法。

我国研究转体法施工始于 1975 年,并于 1977 年首创平面转体,建成了净跨 70 m 的公路箱形肋拱桥,转体重量 1 200 t。二十多年来,转体施工法在我国桥梁施工中得到广泛的应用和发展。迄今,我国采用转体法建成的桥梁约 50 座,是转体施工发展速度最快的国家。目前无平衡重转体施工的混凝土箱形拱桥,最大跨度达 200 m,(四川涪陵乌江桥,1990 年)如图 1-6 所示。近年来,转体施工技术在钢管混凝土拱桥的架设中,也得到很好的应用。如 2000 年建成的广州丫髻沙珠江大桥跨度达 360 m。我国目前唯一一座铁路钢管混凝土拱桥,贵州水柏铁路北盘江大桥,跨度 236 m,2001 年建成。其主拱肋采用单铰平转法施工,六盘水岸平转 135° ,柏果岸平转 180° ,转体时,半拱钢结构自重 12 014 kN。

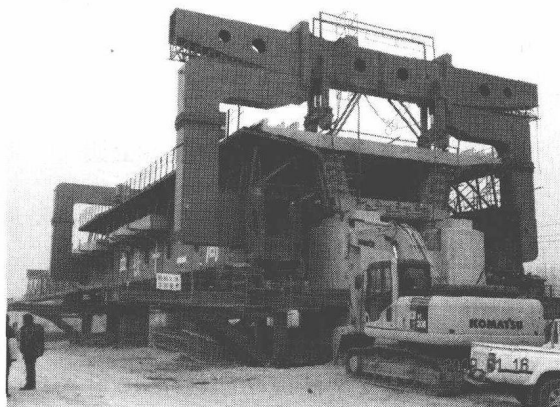


图 1-5 移动模架法架梁

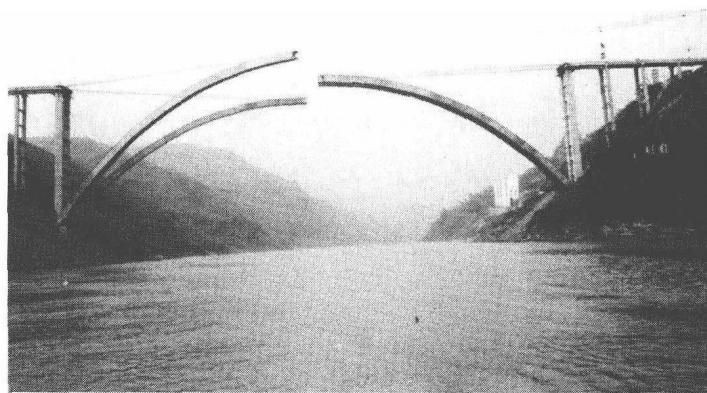


图 1-6 无平衡重转体施工

七、伸臂法架设大跨度钢梁

20 世纪 50 年代以前,我国在桥梁施工中架设钢梁多采用支架法。搭设脚手架,费工、费料、费时,而且阻碍桥下交通,目前已很少采用。在宽阔和较平稳的河面上,一些钢梁采用了浮运法架梁。例如 1936 年浙赣线杭州钱塘江桥,由于江底有流砂,跨中布置脚手架的费用甚贵,因此,江中 15 孔跨度 65.84 m,简支钢桁梁的架设,都采用了浮运法。1950 年我国开始采用拖拉法架梁。湘桂线雒容桥,12 孔跨度 48.29 m 简支钢桁梁,在我国第一次采用了 3 孔拖拉法架设,为钢梁安装积累了新的经验。钢桁梁拖拉施工的跨度,多在 64 m~80 m 之间。1972 年建成的侯西线禹门口黄河桥单孔下承式钢梁跨度 144 m,是拖拉法施工跨度最长、重量最大



(2 076 t)的一座钢梁桥。在我国伸臂安装法架设钢梁,始于1957年建成的武汉长江大桥。20世纪50年代以后,随着钢梁跨度的加大,钢梁制造质量的提高,梁上拼装走行吊机的改进,伸臂法架设钢梁逐步发展成为我国架设大跨度钢梁应用较广的一种方法。伸臂法安装钢梁质量好、工期短、费用少、不受河水涨落的影响,也不妨碍航运。我国长江上的几座大桥的钢梁,都是采用这种方法安装的。当钢梁跨度很大,从一个方向单向悬臂安装有困难时,可从两个方向同时向跨中悬臂安装,以减少悬臂长度。由于要在跨中合龙,这时需要精确的设计计算和完善的施工技术措施。我国采用跨中合龙施工技术安装的钢梁,先后有宜宾金沙江大桥(112 m+176 m+112 m连续梁),三堆子金沙江大桥(192 m简支梁),成昆铁路雅砻江大桥(176 m简支梁)和九江长江大桥(180 m+216 m+180 m连续梁)等。为了在高处安装时增加钢梁伸出时的刚度,减小下垂度,九江大桥还采用了独特的双层吊索架设的方法,使钢梁悬出长度达180 m,是我国架设钢梁历史上的一次创举。2003年建成的渝怀线长江特大桥,钢梁悬拼跨度达192 m,为国内第一。2005年建成的万州长江大桥(168.7 m+360 m+168.7 m)的刚性拱柔性梁的钢桁拱桥,是目前国内跨度最大的铁路桥梁,也是目前世界上同类型跨度最大的铁路拱桥。钢梁悬出长度也达180 m,如图1-7所示。

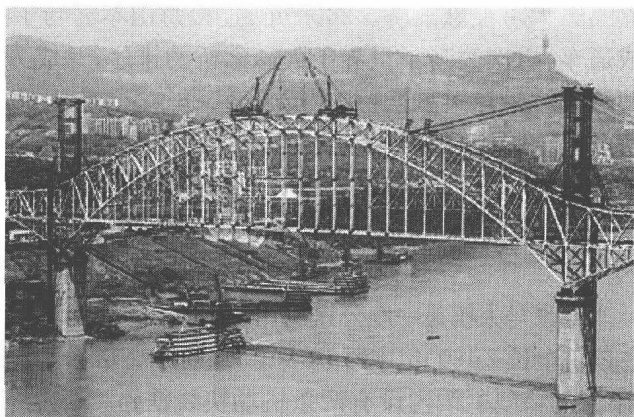


图 1-7 伸臂法架设钢梁

八、斜拉桥、悬索桥施工技术突飞猛进

世界上第一座现代公路斜拉桥于1955年在瑞典建成。历经半个世纪,斜拉桥技术得到空前发展,迄今全球已建成各类斜拉桥达300多座。我国斜拉桥起步比欧美整整晚了20年,但发展突飞猛进,至今已建成100多座,其中跨度大于200 m的就有50多座,已成为斜拉桥数量最多的国家。

在世界十大著名斜拉桥排名榜上,我国占有8座,跨度均在600 m以上。1993年建成的上海杨浦大桥(图1-8),主跨602 m,是当时世界上跨度最大的结合梁斜拉桥。香港昂船洲大桥2009年4月7日合龙,2009年12月20日上午7时正式通车。该桥全长1 596 m,主跨长度1 018 m,桥面距水面73.5 m,因而不仅是全球第二长的斜拉桥,也是世界上最高的桥梁之一。2009年4月2日建成通车的苏通大桥全长2 088 m的双塔双索面钢箱梁斜拉桥创造了四项“世界记录”,成为当今“世界第一斜拉桥”:主桥跨径1 088 m,列世界第一;主塔高度300.4 m,列斜拉桥世界第一;最长斜拉索长达577 m,列世界第一;主墩基础由131根长约120 m、直径2.5~2.8 m的群桩组成,承台长114 m、宽48 m,是在40 m水深以下厚达3 000 m的软土地基上建起来的,是世界上规模最大、入土最深的群桩基础。该桥采用超大型钢吊箱水上整体拼装、下放的施工方法。

2009年9月建成并试通车的武汉天兴洲桥,目前是世界上跨度最大的公铁两用斜拉桥,也是世界上铁路列车通行速度最快的桥梁,创下了公铁两用斜拉桥跨度第一、列车速度第一、

荷载重量第一、主梁宽度第一“四项世界第一”。该桥是新建武广客运专线及武汉枢纽的过江通道,也是武汉市中环线的过江通道之一。主桥为 $98\text{ m}+196\text{ m}+504\text{ m}+196\text{ m}+98\text{ m}$ 双塔三索面公铁两用钢桁梁斜拉桥,上层公路为六车道,宽 27 m ,下层铁路为四线,其中两线为一级干线,两线为客运专线,设计列车速度为 250 km/h 。斜拉桥主桥为板桁结合钢桁梁,三片主桁,桁宽 $2\text{ m}\times 15\text{ m}$,主塔采用钢筋混凝土结构,倒 Y 形,承台以上高度为 188.5 m ,每塔两侧各有 3×16 根斜拉索,索最大截面为 451 根直径 7 mm 镀锌平行钢丝,最大索力约 $12\,500\text{ kN}$ 。钢梁架设采用桁段架设新技术。

20 世纪 90 年代以来,我国在悬索桥建设方面犹如异军突起。在世界十大著名悬索桥排名榜上,我国占有 5 座。2005 建成的润扬长江大桥,悬索桥主跨 $1\,490\text{ m}$,成为当时中国第一世界第三大跨径悬索桥。2009 年,连接舟山本岛与宁波的舟山连岛工程的西堠门公路大桥的建成通车,再次改写了世界十大悬索桥的排序,并成为我国跨度最大的桥梁。西堠门大桥主桥为两跨连续钢箱梁悬索桥,主桥长 $2\,588\text{ m}$,主跨 $1\,650\text{ m}$,是目前世界上最大跨度的钢箱梁悬索桥,全长在悬索桥中居世界第二,但钢箱梁悬索长度为世界第一。该桥按双向四车道高速公路标准设计,设计速度 80 km/h ,全宽 36 m ,桥面净宽 23 m ,通航标准 $30\,000\text{ t}$ 级,主航孔通航净宽 630 m ,通航净高 49.5 m 。1999 年建成的江阴长江大桥主跨 $1\,385\text{ m}$,排在中国第三世界第六位。

香港青马大桥是一座公铁两用悬索桥,1997 年建成通车,是当今世界上跨度最大的公铁两用桥。该桥全长 $2\,160\text{ m}$,主跨 $1\,377\text{ m}$,通航净高 62 m ,主塔高 206 m 。大桥上层为双线六车道快速公路,下层的箱型主梁内设有两条机场快线铁路。桥上车辆的设计速度,公路为 100 km/h ,铁路为 135 km/h 。下层还设有两条工作通道,可用作强风或紧急情况下的临时通道。

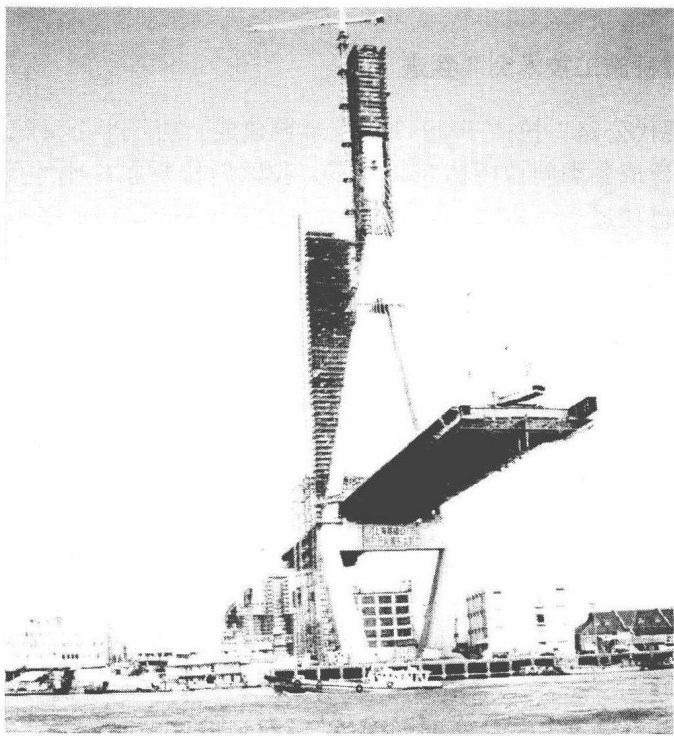


图 1-8 施工中的杨浦大桥



九、深水基础施工技术的进步

20 世纪 50 年代以前,我国桥梁工程中对水深流急、覆盖层厚、基底岩石起伏不平、或下沉中有各种障碍物的墩台基础,一般都采用沉箱基础。这种施工方法的主要缺点,是对施工人员身体有害,工效很低。一般人体仅能承受 3.5 个大气压力,也就是最深只能在 35 m 左右深水中工作。并且每次工作时间要缩短在 1 小时以内。

1953~1957 年武汉长江大桥施工中,首创了一种先进的基础形式——管柱基础。随后在黄河、长江等的许多大桥上得到成功应用。钢筋混凝土管柱可为单根或多根的形式,采用强力振动或配合管柱内外高压射水(如图 1-9 所示)和管柱内吸泥等方法,下沉到较密实的土层或岩面上。管柱基础作为深水基础,克服了沉箱基础施工中的困难避免了对施工人员人身安全的危害。所以,自从管柱基础出现以后,在我国桥梁工程中就基本不再采用沉箱基础。

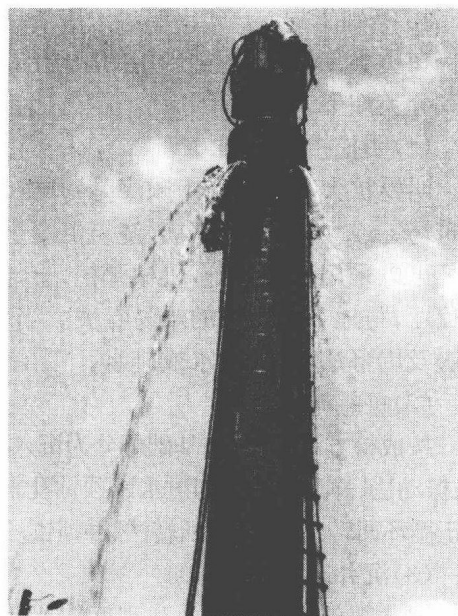


图 1-9 振动打桩机及射水下沉管柱

钻孔灌注桩基础始于 20 世纪 60 年代,是一种不用大型打桩机械却能完成直径和承载能力都很大的深桩基础。由于它的施工工艺比较简易,设备简单,在我国得到迅速推广。目前已成为使用最多的一种桥梁基础形式。几十年来成孔工艺不断发展,从人工转动钻孔成孔开始,发展到冲抓锥,冲击锥,正反循环回转钻,潜水电钻,以及套管法施工等各种成孔方法,以适应不同的土层条件。其中,常备式套管法是各种施工方法中比较可靠的一种方法,它完全排除了坍孔的危险。

沉井基础是我国桥梁应用较早的基础类型之一。近 30 年来沉井基础进步较快。20 世纪 60 年代开始采用触变泥浆套。20 世纪 70 年代开始采用空气幕等措施,以减小沉井下沉阻力。1965 年修建通让线嫩江桥时,首次采用泥浆套法下沉,以减少土壤对井壁的摩擦力,从而达到减轻沉井自重、下沉快和容易纠偏的目的。1975 年合淝线九江长江桥引桥,采用空气幕下沉试验性沉井基础。实践证明,采用空气幕下沉沉井是一种下沉量容易控制,下沉后井壁摩擦力容易恢复的施工方法。

在九江长江大桥施工中,第一次采用“双壁钢围堰”基础,克服了过去在修建深水基础时,洪水期间被迫停工的缺点。

十、高桥墩施工模板的发展

1949 年以前我国铁路多在平原或丘陵地区修建,一般桥墩高多在 10 m 以内,30 m 以上高的桥墩极少,一般均采用固定式模板施工。20 世纪 60 年代我国开始普遍推广应用空心桥墩。1966 年在成昆线安宁河 3 号桥,首先使用滑升钢模板灌注钢筋混凝土空心墩,获得成功,为修建高桥墩开创了新的途径。20 世纪 80 年代后期,应用于桥墩施工的爬升模板,和 20 世纪 90 年代初开始采用的翻升模板技术,对促进我国高桥墩的发展,起到十分重要的作用。迄



今墩高大于 60 m 的铁路桥梁,国内有近 20 座。2001 年建成的内昆线花土坡大桥,墩高达 110 m,为钢筋混凝土圆端形空心墩,采用液压提升平台翻模施工。

第三节 桥梁施工方法和选择

一、桥梁下部结构

1. 基础工程

在桥梁工程中,通常采用的基础形式有明挖扩大基础、桩基础、沉井基础等,其施工方法可大致分类如下。

(1) 明挖扩大基础

明挖扩大基础的施工顺序是:开挖基坑、对基底处理(当地基承载力不满足设计要求时)、砌筑圬工或立模、绑扎钢筋、浇筑混凝土。其中开挖基坑是明挖扩大基础施工中的一项主要工作。可以采用人工开挖,机械开挖,土与石围堰开挖和板桩围堰开挖。明挖扩大基础施工的难易程度,与地下水处理的难易有关。当地下水位较高时,则需采取排水措施,也可采用化学灌浆法及围幕法,进行止水或排水。

(2) 桩基础

按成桩方法不同,桩基础可分为沉入桩和灌注桩两类。沉入桩也称打入桩,沉入的方法有锤击法、振动法、静力压桩法和射水或预钻孔辅助沉桩法等。灌注桩施工因成孔机械不同,常用的方法有正循环回转法、反循环回转法、冲抓锥法、潜水钻法、套管法(也称沉管法)及人工挖孔法等。

(3) 沉井基础

沉井基础是一种断面和刚度均比较大的筒状结构,沉井可采用筑岛法在墩位制造,通过井内取土,清除刃脚阻力和沉井内壁摩擦阻力,靠自重下沉。当下沉困难时,可采取压重,高压射水,降低井内水位减小浮力等。也可采用泥浆润滑套、空气幕等措施辅助下沉。在深水中建造时,可采用浮式沉井,浮运至墩位处下沉施工。

(4) 管柱基础

管柱下沉必须要有导向装置。浅水时可用导向架,深水中则用整体钢围圈。管柱大多采用振动打桩机强力振动,或辅以射水、吸泥等措施强迫其下沉。

2. 承台

位于旱地或浅水河中的承台施工方法与明挖扩大基础的施工方法相类似。对于深水中的承台,一般采用钢板桩围堰、钢管桩围堰、整体套箱围堰或双壁钢围堰(如图 1-10)等止水,以实现承台的避水施工。钢板桩和钢管桩围堰实际上是同一类型的围堰形式,只是所用材料不同;双壁钢围堰通常是将桩基和承台的施工一并考虑;整体套箱围堰分为有底或无底形式,根据受力情况不同也可设计成单壁或双壁。

3. 墩(台)身

墩(台)身的施工方法根据结构形式的不同而不同。对结构形式较简单,高度不大的中小桥墩(台)身,通常采用传统的方法立模现浇施工。高桥墩施工多采用缆索吊机进行水平和竖向运输。少量工地采用了置于墩旁或空心墩内的井架进行施工。高桥墩施工的模板近年来多采用爬升式模板、翻板式模板和滑升式模板,其共同特点是将墩身分成若干段,从下往上逐段进行施工。

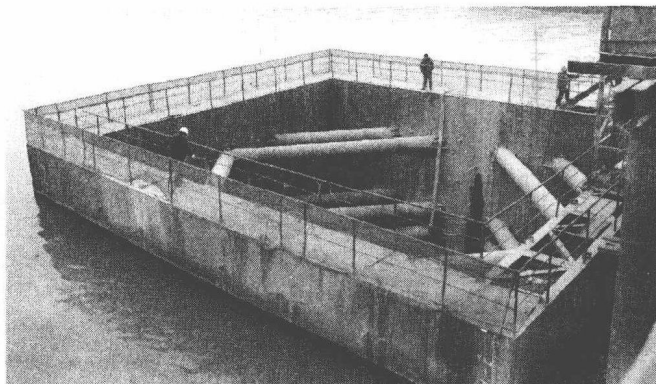


图 1-10 双壁钢围堰

二、桥梁上部结构

桥梁上部结构除一些特殊的施工方法外,大致可分为预制安装和现场灌注两大类。

(1) 预制安装法

预制安装可分为预制梁整孔安装和预制节段式块件拼装两种类型。预制梁整孔安装方法有:架桥机安装法,跨墩龙门安装法,自行式吊车安装法和浮运整孔架设法等。预制节段式块件拼装法有:悬臂拼装法,逐孔拼装法,扒杆吊装法,缆索吊装法和提升法。另外,浮吊架设法,根据情况可整孔架设,也可进行节段式块件拼装。2003 年 9 月底,中铁大桥局利用我国自行研制的、起重能力达 2 500 t 的大型浮吊,架设了首片长 70 m,宽 15.25 m,重达 2 100 t 的预制混凝土箱梁。

(2) 现场灌注法

现场灌注法包括支架法、悬臂灌注法、逐孔现浇法、顶推法等。

作为桥梁上部结构施工的特殊方法尚有转体施工法和劲性骨架法等。

三、桥梁施工方法的选择

选择桥梁施工方法的原则,应当是切实可行,安全有效。首先根据桥梁结构的类型,跨度大小,墩身高低,基础深浅,以及总体规模情况,有针对性的提出若干可行的施工方法。然后,充分考虑施工场地的自然环境、地形、地理条件、地质水文条件及交通运输条件,权衡所提各种施工方法的适用性,进行筛选。

选择确定桥梁施工方法的一个重要因素,是施工单位对类似工程的施工经验和设备条件。一般地说,具有成熟经验和充足机具设备,是桥梁工程顺利建成的基本保证。先进的施工方法一般能带来良好的效益,对于加快施工进度,降低材料消耗,提高工程质量是一个重要途径。但在决定取舍时,也要充分考虑采用新技术,同时,缺乏经验也会带来一定的风险,所以需要慎重。

桥梁工程施工工期的要求,有时对施工方法的选择、确定,会产生较大的影响。例如 1966 年修建成昆铁路时,采用了大量跨度 32 m 以下混凝土梁,若全部用架桥机整孔架设,则工期将全部用在架梁上,不得已,只得将部分混凝土梁改成分节段,汽车短途运输、串联拼装,或桥位处施工。

最后,社会环境影响,也是在选择确定施工方法时必须考虑的因素。应当考虑施工过程对环境的污染,对景观的破坏,对交通的干扰以及对周围生态的影响等。所以,在选择桥梁施工方法时,必须综合考虑各种因素的影响,通过比选确定一个最佳的施工方案。



复习思考题

1. 简要说明施工技术在桥梁工程中的作用与地位。
2. 简要说明桥梁工程施工技术的发展。
3. 简述桥梁上部结构施工方法的分类。
4. 简要说明桥梁通常采用的基础形式及其施工方法。
5. 简要说明桥梁施工方法的选择原则。