

桥梁施工技术与安全

陈从春 主编 袁帅华 陈晓冬 参编

中国建筑工业出版社

桥梁施工技术与安全

陈从春 主编
袁帅华 陈晓冬 参编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁施工技术与安全/陈从春主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012.8

ISBN 978-7-112-14529-4

I. ①桥… II. ①陈… III. ①桥梁施工-安全技术 IV. ①U445

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 167005 号

责任编辑: 石枫华 王 磊

责任设计: 张 虹

责任校对: 陈晶晶 赵 颖

桥梁施工技术与安全

陈从春 主编

袁帅华 陈晓冬 参编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22 $\frac{1}{4}$ 字数: 540 千字

2012 年 11 月第一版 2012 年 11 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-14529-4

(22599)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

我国的建筑行业随着国民经济建设的不断发展和城市化进程的加快有了迅猛的发展，成为国民经济重要的支柱产业。但由于建设管理水平、施工水平及技术水平参差不齐，使得建筑业的伤亡事故一直高居各行业的前列，仅次于交通和采矿业，是高危险行业之一。

为适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要，为促进建筑企业的项目经理、安全员及有关人员学习、执行现行标准，提高施工现场的安全管理水平，减少施工现场安全事故的发生，编者以现行标准为基础，依据安全方面的法律、法规的相关要求，组织编写了本套系列教材。

本书在编写过程中首次将安全技术和桥梁施工技术放在一起编写，并力图将安全理念贯穿其中。本书另外一个特点是按照施工顺序和施工方法来介绍桥梁施工，便于读者更好地理解 and 掌握施工技术，用于实际工程中。本书力求反映当前桥梁施工的最新技术，并帮助读者解决施工生产中出现的安全问题，有较强的指导性和实用性。本书为大学本科教材，也可作为参考书和工具书，供工程技术人员使用。

全书共有 11 章内容，即绪论、桥梁施工的常用设备、桥梁施工测量、桥梁基础施工、桥梁墩台施工、混凝土桥上部结构施工、钢桥上部结构施工、塔与索结构施工、桥面及附属工程施工、桥梁施工安全的危险源辨识与控制、桥梁施工安全与防护等方面的内容。其中第 1、2、3 章、第 6 章第 1、2、3、4、6、7、8 节、第 7 章第 1、3、5 节、第 10、11 章由陈从春编写，第 4、5 章由陈晓冬编写，第 6 章第 5 节、第 7 章第 2、4 节、第 8、9 章由袁帅华编写，胡志坚副教授也参加了部分书稿的编写工作。全书由陈从春组稿，对各章略有增删，并为各章配了习题。

本书在编写过程中得到了中国建筑工业出版社的有关领导和编辑同志们的热心指导，并得到了上海市教委“土木工程本科教育高地建设项目”的大力支持。本书在编写过程中参考了大量文献，引用了有关专家、同行的研究成果，在此一并表示衷心感谢。

限于编写者水平和经验，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者
2012 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 桥梁施工技术的发展概况	2
1.3 桥梁施工的方法	5
1.4 桥梁施工的安全问题	11
第 2 章 桥梁施工的常用设备	14
2.1 概述	14
2.2 桥涵施工常备式结构	14
2.3 混凝土施工设备	19
2.4 预应力张拉及锚固设备	25
2.5 桥梁施工的主要起重机具设备	31
2.6 桥梁架设设备	38
第 3 章 桥梁施工测量	45
3.1 桥梁施工控制网的建立	45
3.2 桥梁施工的高程测量	46
3.3 桥梁中线及墩台定位、放样	47
3.4 桥梁细部施工放样	50
第 4 章 桥梁基础施工	53
4.1 明挖基础施工	53
4.2 桩基础施工	65
4.3 沉井与沉箱基础施工	84
4.4 地下连续墙基础施工	95
第 5 章 桥梁墩台施工	102
5.1 概述	102
5.2 钢筋混凝土墩台施工	102
5.3 高桥墩施工	112
5.4 墩、台帽施工	118
5.5 墩台附属工程	121
第 6 章 混凝土桥上部结构施工	124
6.1 概述	124
6.2 支架浇筑法	125
6.3 预制安装施工法	136
6.4 逐孔施工法	148
6.5 悬臂施工法	154
6.6 顶推施工法	183
6.7 转体施工法	194

6.8	吊车与浮吊提升施工法	209
第7章	钢桥上部结构施工	218
7.1	概述	218
7.2	钢构件的工厂制作工艺	218
7.3	钢梁架设的基本作业	223
7.4	钢梁架设的方法	225
7.5	大跨度桥梁钢构件制作与安装特点	234
第8章	塔与索结构施工	238
8.1	桥塔的施工	238
8.2	斜拉桥索的施工	248
8.3	悬索桥索的施工	260
8.4	施工控制	273
第9章	桥面附属工程施工	280
9.1	桥梁支座的施工	280
9.2	伸缩缝的施工	287
9.3	桥面铺装的施工	292
9.4	其他附属结构的施工	294
第10章	桥梁施工安全的危险源辨识与控制	297
10.1	桥梁施工安全事故成因分类	297
10.2	建设工程安全生产危险因素识别	299
10.3	建设工程危险因素分析评价	303
10.4	危险源控制措施与安全检查	308
第11章	桥梁施工安全与防护	311
11.1	我国桥梁施工事故特点	311
11.2	桥梁施工主要安全事故与防护	315
11.3	桥梁施工过程安全	319
11.4	施工机械设备使用安全	327
11.5	其他施工技术与安全防护	338
11.6	建筑施工职业危害与防护	347
参考文献		350

第1章 绪 论

1.1 概 述

桥梁是供车辆及行人跨越障碍（河流、海湾、湖泊、山谷或建筑等）的人工构筑物，是线路上的关键节点，是交通网络的重要组成部分。桥梁的建设一般要经过规划、工程可行性论证、勘察、设计和施工等几个阶段。其中桥梁施工的内容，就是把一定的建桥材料用机械设备及人力按设计图纸的规格，安装或砌筑成跨越建筑群、交通干线、街道、江河等障碍的构筑物，这是一种实现桥梁设计思想和设计意图的过程。

桥梁施工是一门综合性、技术性很强的课题，其涉及面极为广泛。主要包括：施工方法选择，进行必要的施工演算，施工机具设备选择或设计制作，水、电、动力、生活设施的计划及安排，生产过程及安全管理等。

桥梁施工技术是指桥梁的建造方法，核心内容是施工方案的选择和技术方案的顺利实施。施工人员必须根据桥梁设计构思工期、造价、施工队伍的素质、设备、机具和施工现场的具体条件等多种因素，认真仔细地进行方案比较，从中选取最佳的技术方案。同时，必须在模板、混凝土供应、施工机具、吊装等方面采取相应的技术措施，以保证施工技术方案的实施。

桥梁工程由许多单项工程和单位工程组成。单项工程又称工程项目，这是具有独立的设计文件，竣工后可独立发挥作用或效益的工程。单位工程是单项工程的组成部分，一般是指不能独立发挥作用或效益的工程，例如一个桥墩，一个基础，一片梁等。单位工程又由许多分部工程组成，例如一个墩可划分为基础、墩身、帽梁等分部工程，分部工程又可由若干分项工程组成，如基础工程又可分开挖、支护、垫层、混凝土灌注等。

确定单位工程中各分部、分项工程施工的先后次序，也即施工顺序，是桥梁施工技术的重要内容。确定施工顺序时要考虑工艺顺序和组织关系。工艺顺序是客观规律的反应，无法改变；组织关系是人为的制约的关系，可以调整优化。因此，确定施工顺序时，在保证工程质量和施工安全的前提下，力求做到充分、合理利用空间，争取时间，实现缩短工期，降低成本，提高施工的经济效益。

确定施工顺序时，需要考虑以下因素。

施工工艺的要求。各施工过程之间客观上存在着一定的工艺顺序关系，它随着结构构造、施工方法与施工机械的不同而不同。确定施工顺序时，不能违背而必须遵循这种关系。

施工方法和施工机械的要求。施工顺序与采用的施工方法和施工机械协调一致。例如连续梁施工，满堂支架施工法、顶推法、悬臂施工法，在施工顺序方面就有很大的差异，这种差异不仅表现在梁体预制、预应力钢束布置及张拉顺序等方面，而且施工设备也差别

很大。

施工组织的要求。有时施工顺序有可能有几种方案，应从施工组织的角度进行分析、比较，选择最经济合理、有利于施工和开展工作的方案。

施工质量要求。安排施工顺序时，要以能确保工程质量为前提。当影响工程质量时，要重新安排或采取必要的技术措施，技术措施的改变也就带来施工改变。

水文地质条件要求。桥址处河床水位和流速对基础施工顺序影响较大，甚至影响梁体的安装方法，比如水浅或无水时，适合支架施工法，水深要考虑悬臂施工法等。在南方，应当考虑雨季的特点；在北方，应当考虑冬季的施工特点。

安全技术的要求。合理的施工顺序，必须使各施工过程的衔接不致引起安全事故。

桥梁施工的过程包含了桥梁施工技术的实施和桥梁施工组织管理。桥梁施工技术直接影响桥梁建筑的质量；优秀的桥梁设计必须要有高水平的桥梁施工技术来完成，同时桥梁设计阶段必须充分考虑桥梁的施工方法，这样才能保证设计意图能顺利实施。施工组织管理是根据场地条件、施工工艺，对人员、资金、材料、设备、工期，进行合理分配，科学的管理，其中管理的安全问题，尤为突出。在施工管理组织的全过程中，应自始至终充分贯彻安全细节问题。

1.2 桥梁施工技术的发展概况

现代桥梁的施工技术，是在原始施工方法的基础上，与同时代的技术水平相结合，逐步发展、提高、演变而来的。我国古代桥梁建设的辉煌成就，是世界建桥史的杰出代表。根据史料记载，在距今三千年的周文王时，我国就已在宽阔的渭河上架过大型浮桥。在秦汉时期，我国已广泛修建石梁桥；而后的隋唐时期，石拱桥的建造技术已相当成熟，并逐渐传到日本。在古代优秀的桥梁中，有几座叹为观止的经典之作，凝聚了中华民族的非凡智慧。建于隋朝大业年间（公元 605 年）的赵州桥，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。为了提高拱圈的承载力和整体性，在拱石表面凿有斜纹，在拱石的纵向间安放一对腰铁（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。科学的设计以及精湛的施工使得该桥跨越 1500 多年保存完好。建于宋朝的福建泉州的洛阳桥（公元 1053 年），长达 800m，共 47 孔，位于海口江面上。此桥以磐石遍铺桥位江底，是近代筏形基础的开端，并且独具匠心地用养殖海生牡蛎的方法胶固桥基使成整体，此亦是世界上绝无仅有的造桥方法。建于宋朝的福建漳州虎渡桥（公元 1240 年），总长 335m，石梁重达 200t，古代工匠利用潮水的涨落来浮运架设，足见我国古代建桥技术的高超。其他有代表性的古代桥梁还有宋代的广济桥（公元 1169 年，广东潮州）、卢沟桥（公元 1192 年，北京），清代玉带桥（公元 1750 年，北京）、十七孔桥（公元 1795 年，北京）（图 1-1～图 1-4）。

欧洲的建桥技术在工业革命以后才逐渐赶上并超越我国。19 世纪中后期，钢材的出现并在桥梁结构和施工中的大量使用，使得桥梁建设技术突飞猛进。特别是在铁路桥梁上应用较多，比较有代表性的是跨径 250m 的尼亚加拉瀑布（Niagara Falls）悬索桥、最大跨度为 159m 的圣路易斯（St. Louis）管状钢拱桥，以及主跨为 518.2m 的苏格兰福斯海

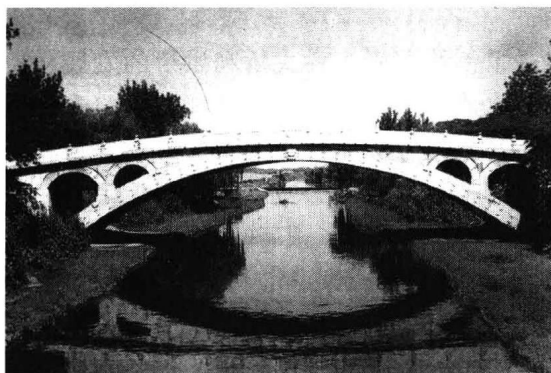


图 1-1 河北赵州桥

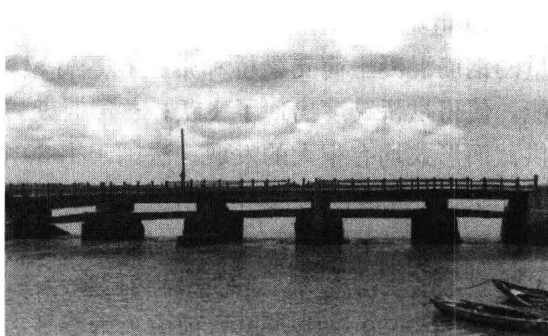


图 1-2 泉州洛阳桥



图 1-3 漳州虎渡桥



图 1-4 潮州广济桥

湾钢悬臂桁架桥 (1889 年) (图 1-5)。



图 1-5 英国福斯海湾桥

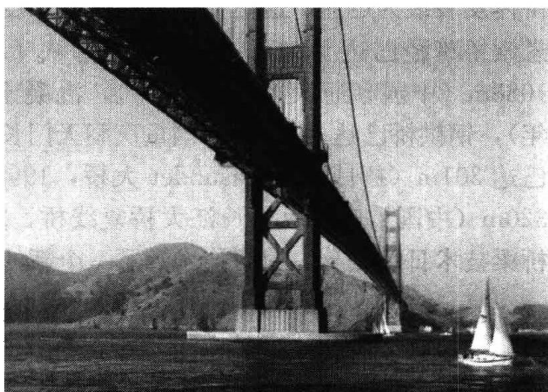


图 1-6 美国金门桥

20 世纪早期, 美国公路桥梁发展迅速, 主跨为 236m 的连续钢桁梁桥诞生, 1931 年又在新泽西建成了 503.5m 的基凡库 (kill-van-kull) 钢拱桥。

钢悬索桥在欧洲出现后, 后在美国得到快速发展。1931 年美国在纽约建成主跨 1067m 的华盛顿桥, 1937 年建成主跨为 1280m 的金门大桥 (图 1-6)。20 世纪 60 年代, 悬索桥的发展达到了顶峰。美国于 19 世纪 70 年代发明了“空中纺线法 (AS 法)”来施工悬索桥主缆, 促进了悬索桥的发展。现代悬索桥中, 多采用工厂预制的平行钢丝束, 其架

设方法（PWS 法）极大地方便了主缆的施工。

19 世纪末期，钢筋混凝土材料的兴起，促进了钢筋混凝土梁式桥和拱桥的发展，大量的钢筋混凝土简支梁桥和带挂孔悬臂梁桥得以修建；而钢筋混凝土以其突出的受压性能，使得拱桥跨度出现了飞跃；这段时期，钢筋混凝土拱桥无论跨越能力、结构体系和主拱截面形式均有很大的发展。法国于 1930 年建成的三孔 186m 普卢加斯泰斯桥（Plougastel bridge）和瑞典于 1940 年建造跨径 264m 的桑独桥，均达到了很高的技术水平。早期拱桥的施工主要采用支架施工法，但也就是在 20 世纪 30 年代，欧洲率先采用钢筋混凝土拱肋悬拼施工法获得成功，这种被称为“米兰法”的无支架施工法，为大跨度拱桥注入了活力。

20 世纪 30 年代兴起的预应力混凝土，充分发挥了高强钢材和混凝土各自的材料特性，使得各种桥型迅速发展，同时很多新的施工方法相继出现，如悬臂施工、顶推施工、逐孔施工、转体施工等，这使得桥梁发展进入一个新的时期。

20 世纪 50 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，相继有预应力混凝土 T 形刚构桥、连续梁桥、斜拉桥等结构如雨后春笋般地在各地出现，从而使预应力混凝土桥大量应用。

20 世纪 50 年代末期，由钢桥的拖拉施工法发展到了顶推施工法，并且首先在奥地利的阿格爾桥上成功采用。此后，顶推法由于施工安全、设备简单等优点，发展迅速，从而推动了连续梁桥的应用，目前连续梁桥的连续长度已超过千米。

也是在 20 世纪 50 年代，由德国首先修建了钢斜拉桥，60 年代后，预应力混凝土斜拉桥开始大量修建，同一时期，逐孔施工法、转体施工法在桥梁中得到应用。

20 世纪 90 年代以来，世界各国的桥梁建设突飞猛进，其中尤以我国为代表的新兴经济体发展最为迅速。这更多体现在施工难度大的大跨深水基础桥梁。在已建成的桥梁中，悬索桥跨径已达 1991m [日本明石海峡（Akashi-kaikyo）大桥，1998 年]，斜拉桥已达 1088m（中国苏通大桥，2007 年），混凝土拱桥已达 420m（中国万县长江大桥，1997 年），钢拱桥已达 552m（中国重庆朝天门长江大桥，2008 年），预应力混凝土连续刚构桥已达 301m（挪威 Stolmasundet 大桥，1998 年），预应力混凝土与钢混合连续梁桥已达 320m（中国重庆石坂坡长江大桥复线桥，2005 年）。这一些大型桥梁工程的完成，表明桥梁技术日臻完善，建桥技术到了一个新的高度（图 1-7～图 1-10）。

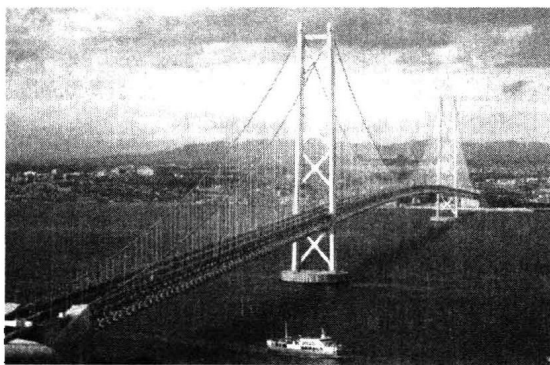


图 1-7 日本明石海峡大桥

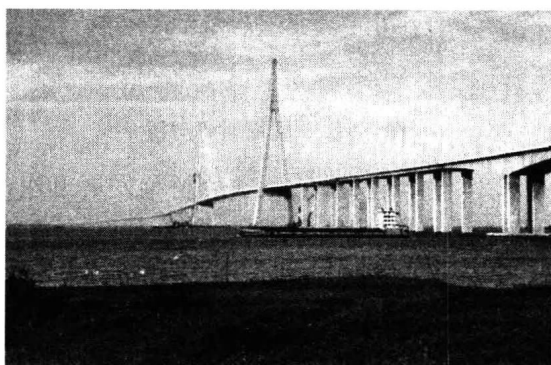


图 1-8 中国苏通长江大桥



图 1-9 中国朝天门大桥

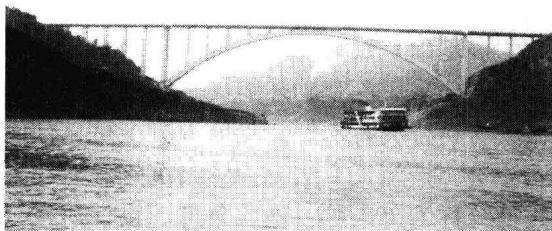


图 1-10 中国万县长江大桥

随着人类开发面向海洋,跨海的桥梁建设越来越多。深水基础和超重梁体架设面向新的挑战。沙特阿拉伯在 1986 年修建巴林水道桥 (Bahrain causeway, 总长约 12.5km) 采用架运一体式浮吊架设了 1800t 的梁体。在 1998 年葡萄牙的第二塔格斯桥 (Second Tauges) 的引桥上采用了自制的双体浮吊进行安装,共计安装 150 孔、平面尺寸为 80m×16m 的预应力混凝土箱梁,每孔重 2400t (吊重为 2750t); 在 1999 年完成的丹麦和瑞典联合建设的长达 16km 的厄勒松 (Oresund) 海峡桥,采用高度整体预制吊装,140m 跨度公铁两用钢桁梁重 8700t,浮吊一次吊运安装。

不久的将来,规划的跨海大桥工程逐步都将成为现实。未来桥梁建设将更注重新技术、新工艺、新材料、新设备等方面的广泛应用,更加工厂化、机械化、智能化的安全施工是发展方向。相应地,桥梁建造技术发展将会更加完善,也将在施工方法和施工工艺上不断创新,推动桥梁结构无论是跨径还是总体性能进一步发展。

1.3 桥梁施工的方法

1.3.1 桥梁基础施工

目前桥梁通常采用的基础有扩大基础、桩基础、管柱基础、沉井基础、连续墙基础等。

1. 扩大基础和明挖基础施工

扩大基础和明挖基础均属于直接基础,是将墩台传递来的荷载通过基础底板直接传递给地基的基础形式,用于地质情况较好地区。扩大基础施工的顺序是开挖基坑,对基底进行处理 (当地基的承载力不满足设计要求时,需对地基进行加固),然后石砌或立模、绑扎钢筋、浇筑混凝土。其中,开挖基坑是施工中的一项主要工作,而在开挖过程中,必须解决挡土与渗水的问题。

当土质较硬时,对基坑的坑壁可不进行支护,仅按一定坡度进行开挖。在采用土、石围堰或土质疏松的情况下,一般应对开挖后的基坑坑壁进行支护加固,以防止坑壁坍塌。支护的方法有挡板支护加固、混凝土及喷射混凝土加固等。

扩大基础施工的难易程度与地下水处理的难易有关。当地下水位高于基础的设计底面标高时,施工时则须采取止水措施,如钢板桩或考虑采用集水坑水泵排水、深井排水及井点法等使地下水位降低至开挖面以下,以使开挖工作能在干燥的状态下进行。还可采用化

学灌浆及帷幕法（冻结法、硅化法、水泥灌浆法和沥青灌浆法等）进行止水或排水。但扩大基础的各种施工方法都有各自特有的制约条件，因此在选择时应特别注意。

2. 桩基础

桩基础是目前采用的最为广泛的基础形式。当地基浅层土质较差，持力土层埋藏较深，需要采用深基础才能满足结构物对地基承载力、变形和稳定要求时，可用桩基础。桩按材料分类有木桩、钢筋混凝土桩、预应力混凝土桩和钢桩。按制作方法分为预制桩和灌注桩。按施工方法分为锤击沉桩、振动沉桩、静力压桩、射水沉桩和钻孔灌注桩等，前四种统称为沉入桩。地质条件、设计荷载、施工设备、场地影响、工期限制等是桩基选择需要考虑的因素。

沉入桩施工前应做好收集、整理工程地质钻探、打桩资料，确定打桩方法、试桩等工作。桩基础轴线的定位点应设置在不受沉桩影响处，施工过程中如发现地质情况与勘测报告有出入时，应进行补充钻探。

灌注桩是现场采用钻孔机械（或人工）将地层钻挖成预定直径和深度的孔后，将绑扎好的钢筋骨架放入孔内，然后在孔内灌入流动的混凝土而形成桩基。灌注桩的关键是成孔，主要有人工成孔和机械成孔。人工成孔即挖孔，适合深度不大的桩基；机械成孔应用最广泛，主要有冲击法、冲抓法和旋转法，根据土质情况确定成孔方式。桩基成孔及混凝土灌注过程中应防止塌孔。水下混凝土多采用垂直导管法灌注，灌注的过程中应避免断桩。

3. 管柱基础施工

管柱基础因其施工的方法和工艺相对来说较复杂，所需的机械设备也较多，一般的桥梁极少采用这种形式的基础，仅当桥址处的水文地区条件十分复杂，常用的基础施工方法不能奏效时，方采用这种基础形式。因此，对于大型的深水或海中基础，特别是深水岩面不平、流速大的地方采用管柱基础是比较适宜的。

管柱施工时可以根据条件决定是否设置防水围堰。管柱基础的施工一般包括管柱预制、围笼拼装浮运和下沉定位、下沉管柱，在管柱底基岩钻孔，在管柱内安放钢筋笼并灌注水下混凝土等内容。管柱有钢筋混凝土、预应力混凝土和钢管三种。其下沉与前述的沉入桩类似，大多采用振动法并辅以射水、吸泥等措施。管柱的下沉必须要有导向装置，浅水时可用导向架，深水时则用整体围笼。

4. 沉井基础施工

沉井基础是一种断面和刚度均比桩要大得多的筒状结构，一般由刃脚、井壁、隔墙、封底混凝土、井孔顶盖板等组成。施工时在现场重复交替进行加长和挖除井内土方，使之沉落到预定的地基上。在岸滩或浅水中建造沉井时，可采用就地浇筑法施工；在深水中建造时，则可采用浮式沉井，先将其浮到运至预定位置，再进行下沉施工。按材料、形状和用途不同，可将沉井分成很多种类型，但各种沉井基础有如下的共同特点：沉井基础的适宜下沉深度一般为10~40m；沉井基础的抗水平力作用能力及竖直支承力均较大，整体性强，稳定性好，刚度大，变形较小。

沉井基础施工的难点在于沉井的下沉，主要是通过从井孔内除土，清除刃脚正面阻力及沉井内壁摩阻力后，依靠其自重下沉。沉井下沉的方法可分为排水开挖下沉和不排水开挖下沉，但其基本施工方法应为不排水开挖下沉，只有在稳定的土层中，而且渗水量不大

时，才采用排水开挖法下沉。另外还有压重、高压射水、炮震（必要时），降低井内水位减少浮力以增加沉井自重，还可采用泥浆润滑套或空气幕等一些沉井下沉的辅助施工方法。

5. 地下连续墙

地下连续墙是用膨润土泥浆护壁，在设计位置开挖一条狭长端圆的深槽，然后将钢筋骨架放入槽内，并灌注水下混凝土，从而在地下形成连续墙体的一种基础形式。地下连续墙可以作为挡土围幕墙，减小对邻近建筑物影响的结构，以及承受竖直荷载等。

地下连续墙的施工工艺包括准备开挖的地下深槽、用专用机械开挖、安放接头管、吊放钢筋笼、下灌注导管并灌注混凝土、拔出接头管和单元墙段完成等几部分。

1.3.2 桥梁墩台施工

1. 承台

位于旱地、浅水河中采用土石筑岛施工桩基础的桥梁，其承台的施工方法与扩大基础的施工方法相类似，可采取明挖基坑、简易围堰后开挖基坑等方法进行施工。

对深水中的承台，施工方法通常有：钢板桩围堰、钢管桩围堰、双壁钢围堰及套箱围堰等，无论何种围堰，其目的都是为了止水，保证承台的施工时无水。钢板桩围堰和钢管桩围堰实际是同一类型的围堰形式，只不过所用材料不同；双壁钢围堰通常是将桩基和承台的施工一并考虑，在桩顶设钻孔平台，桩基施工结束后拆除平台，在堰内进行承台施工；套箱现多采用钢材制作，分有底和无底两种类型，根据受力情况不同又可设计成单壁或双壁结构。

2. 墩（台）施工

墩（台）身的施工方法根据其结构形式的不同而不同。对于石砌墩（台）身，其施工工艺比较简单，但须严格控制砌石工程的质量。对结构形式较简单、高度不大的钢筋混凝土墩（台）身，通常采取传统的方法，立模现浇施工。但对高墩及斜拉桥、悬索桥的索塔，则有较多的可供选择的方法，而施工方法的多样化主要反映在模板结构形式的不同。近年来，滑升模板、爬升模板和翻升模板等在高墩及索塔上应用较多，其共同的特点是：将墩身分成为若干节段，从下至上逐段进行施工。

采用滑升模板（简称滑模）施工，对结构物外形尺寸的控制较准确，施工进度平衡、安全，机械化程度较高，但因多采用液压装置实现滑升，故成本较高，所需的机具设备也较多；爬升模板（简称爬模）一般要在模板外侧设置爬架，因此这种模板相对而言需耗用较多的材料，且需设专门用于提升的起吊设备。高墩的施工，应根据现场的实际情况，进行综合比较后方可选择适宜的施工方案。

1.3.3 桥梁上部结构施工方法

在圬工结构和钢筋混凝土为主要的时代，现场浇筑是主要的施工方法。由于桥梁类型增加与跨径增大，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，并概括各种方法的施工特点。

1. 支架浇筑法

就地支架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；支架影响通航和交通，施工期间可能受到洪水、漂流物、车辆的威胁（图 1-11）。

2. 预制安装法

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。

预制构件安装的方法很多，有汽车吊、龙门吊、架桥机、扒杆吊、缆索吊等，各需不同的安装设备，可根据施工的实际情况合理选择（图 1-12）。

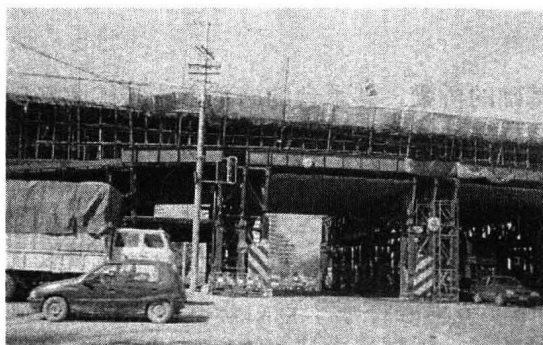


图 1-11 支架整体现浇施工



图 1-12 预制安装法施工

预制安装法施工的主要特点：

（1）由于是工厂生产制作，构件质量好、有利于确保构件的质量和尺寸精度，并尽可能地采用机械化施工；

（2）上下部结构可以平行作业，因而可缩短现场工期；

（3）能有效利用劳动力，并由此而降低了工程造价；

（4）由于施工速度快，可适用于紧急施工工程；

（5）将构件预制后由于要存放一段时间，因此在安装时已有徐变引起的变形。

3. 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。悬臂浇筑施工（图 1-13）利用挂篮作为承重结构来浇筑混凝土，达到一定强度后张拉预应力钢筋，移动挂篮施工下一个节段，直至合拢。悬臂拼装施工则是将预制块件拼装后张拉预应力直至合拢。

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，目前应用桥型比较广，如连续梁桥、连续钢构桥、拱桥和斜拉桥等；

（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 60m

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；

(5) 悬臂施工法可不用或少用支架，施工不影响通航或桥下交通。

4. 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（图 1-14）。转体施工期间内力基本不变，它的支座位置就是施工时的旋转支承和旋转轴，桥梁合龙后，按设计要求改变支承情况。转体施工分为平转和竖转两种施工法，根据平衡类型又可分为有平衡重和无平衡重两种。其主要特点有：

(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%，节省施工用钢 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，为后续施工带来方便；

(6) 转体施工适合于单跨、双跨、三跨桥梁，且无论深水、峡谷还是平原区以及城市桥梁均可采用；

(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，是大跨及特大跨桥施工有力的竞争方案。

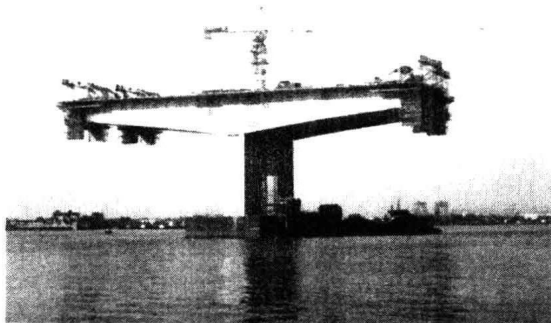


图 1-13 悬臂施工法

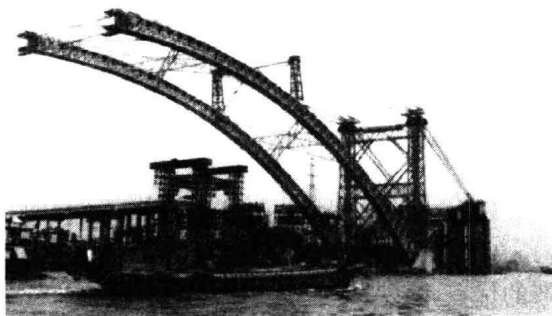


图 1-14 转体施工法

5. 顶推施工法

顶推施工是在沿桥纵轴方向的台后设置预制场地，分节段浇筑梁体，并用纵向预应力筋将预制节段与施工完成的梁体连成整体，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，循环操作直至施工完成（图 1-15）。顶推法最早是 1959 年在奥地利的阿格尔桥上使用，其有如下特点：

(1) 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，节段的预制周期为 7~10d；

(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 10~20m;

(3) 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, 噪声小; 可在高桥墩上采用, 也可在曲率相同的弯桥和坡桥上使用;

(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要求, 由此造成用钢量较高。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, 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, 桥梁的总长也以 500m 以下为宜。



图 1-15 顶推施工法

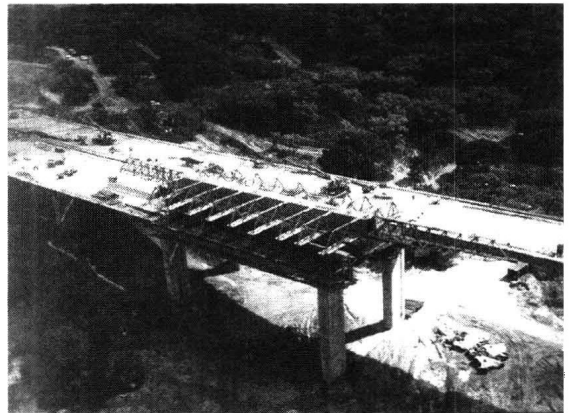


图 1-16 移动模架逐孔施工法

6. 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 (图 1-16)。可分为移动模架逐孔拼装法和移动模架逐孔现浇法。

采用移动模架逐孔施工的主要特点有:

- (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。

7. 浮吊与提升法施工

这是一种采用竖向运动施工就位的方法。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, 适合于整孔架设和节段式块件拼装。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。浮运的架设方法

常选取整体结构，可重达数千吨，所以采用浮运法要有一系列的大型浮运设备（图 1-17、图 1-18）。

在长三角地区相当多的系杆拱桥采用浮吊整体架设拱肋施工，具有一定的优势。

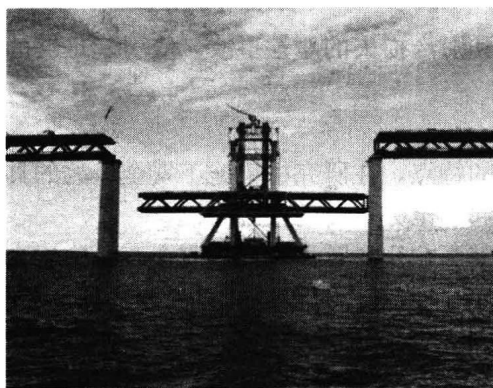


图 1-17 浮运提升法



图 1-18 浮吊架设法

8. 劲性骨架法

劲性骨架法是以钢骨架作为拱圈或梁体的承重部分，采用现浇混凝土包裹骨架，最后形成钢筋混凝土结构（图 1-19、图 1-20）。这种埋入式骨架法在国外称为“米兰拱”。“米兰拱”可采用型钢或钢管等材料制作。



图 1-19 万县长江大桥劲性骨架施工

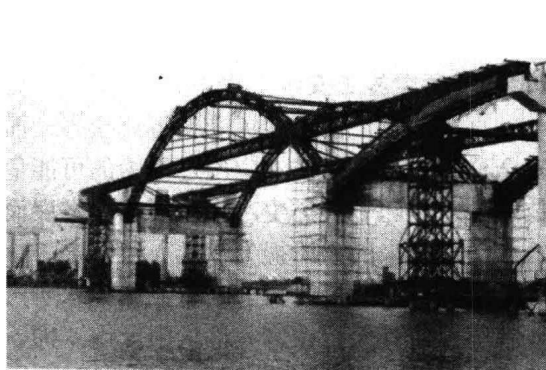


图 1-20 瓯江三桥劲性骨架施工

此外对于钢结构还有横移施工法、拖拉法等。

1.4 桥梁施工的安全问题

桥梁、特别是大跨度桥梁在施工过程中，由于结构尚未形成，整体刚度比较差，是其全寿命过程安全性能最为脆弱的阶段，一些结构形式如拱桥在施工过程中比较容易发生恶性安全事故。

桥梁建筑施工具有施工技术复杂、生产流动性大、露天及高处作业多、作业危险性较高等特点。这些特点导致桥梁施工管理中安全问题突出，管理的难度也较大。避免事故发生、保证桥梁施工安全是贯穿于整个施工过程的指导思想。桥梁施工安全包含两方面的内