

雷俊卿 主编

QIAOLIANG
XUANBI
SHIGONG
YU
SHEJI

桥梁悬臂 施工与设计

QIAOLIANG
XUANBI
SHIGONG
YU
SHEJI

人民交通出版社



桥梁悬臂施工与设计

Qiaoliang Xuanbi Shigong Yu Sheji

雷俊卿 主编

人民交通出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

桥梁悬臂施工与设计/雷俊卿主编.-北京:人民交通出版社, 2000.4
ISBN 7-114-03617-5

I. 桥… II. 雷… III. ①悬臂架桥-工程施工②悬臂架桥-技术设计 IV. U445.466

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 23445 号

桥梁悬臂施工与设计

雷俊卿 主编

版式设计: 刘晓方 责任校对: 梁秀青 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 17.75 插页: 1 字数: 438 千

2000 年 5 月第 1 版

2000 年 5 月第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001~8000 册 定价: 34.00 元

ISBN 7-114-03617-5

U • 02614

内 容 提 要

本书系统论述了桥梁悬臂施工与设计的基本理论和方法。内容包括：建桥材料与施工设备，悬浇与悬拼桥梁的设计与施工工艺及监控方法，混凝土梁桥、钢梁桥、拱桥、斜拉桥的悬臂施工与设计等。书中还列举了大量的桥梁悬臂施工案例，理论与实践相结合，便于读者学习参考。

本书可供从事桥梁工程科研、设计、施工、监理、养护的技术人员阅读参考，也可作为高等院校土木工程专业教材或教学参考书。

本书各章编写人员

第一、三、四、七、九章	雷俊卿	西安公路交通大学教授
第二章	白青侠	西安公路交通大学讲师
第五章	王武勤	中国路桥（集团）总公司教授级高工
第六章	陈万春	西安公路交通大学讲师
第八章	刘来君	西安公路交通大学副教授

前 言

随着我国公路交通事业的迅猛发展,桥梁工程设计理论与施工技术也发展很快。我国桥梁无论是在结构类型、建桥材料、理论分析与电算,还是在施工技术与控制、施工机械与设备及管理等各方面都积累了丰富的经验。特别是从20世纪60年代起,将桥梁悬臂施工与设计从钢桥推广到预应力混凝土桥梁,为预应力混凝土悬臂梁桥、连续梁桥、连续刚构桥、拱桥和斜拉桥等大跨径桥梁的发展,提供了有力的施工技术保障,彻底改变了60年代以前用满堂支架修建桥梁的传统施工方法,既加快工期、节省材料和费用,又因悬臂施工方法的应用,开创了现代大跨度桥梁发展的新时代,使桥梁结构体系也得以发展和完善。本书以桥梁的悬臂施工为主,对悬臂施工的原理与设计理论、施工工艺、施工过程的可靠性控制进行了阐述,并分别论述了预应力混凝土梁桥、钢梁桥、拱桥、斜拉桥等桥型的悬臂施工与设计。

本书编写时,注意将理论密切联系工程实践,结合了许多座国内外的桥梁悬臂施工与设计的实例,突出了桥梁悬臂施工的特色。同时也注意利用图表对复杂的桥梁施工进行直观的介绍。

参加本书编写的有多年从事桥梁工程和桥梁施工技术与管理教学的教师,也有多年从事桥梁施工的教授级高工,他们将多年积累的教学和工程经验悉心总结,几易其稿编著成书。本书由西安公路交通大学雷俊卿编著第一、三、四、七、九章,白青侠编著第二章,陈万春编著第六章,刘来君编著第八章;中国路桥(集团)总公司王武勤编著第五章。全书由雷俊卿主编并修改定稿。

本书的编写工作得到了西南交通大学谢幼藩教授、西安公路交通大学徐光辉教授、徐岳教授的关心和鼓励,在此谨向他们表示诚挚的感谢。本书在编写过程中,得到中国路桥(集团)总公司、中交公路规划设计院、中交第一、第二勘测设计院、河南省交通勘察设计院,中铁第一工程局、中铁大桥工程局,中交第一、第二工程局及各省路桥公司等设计与施工单位的热情帮助,并提供了许多宝贵资料,人民交通出版社的领导及同仁予以通力合作,在此一并表示诚挚的感谢。同时,作者在编写本书时,参考了许多桥梁设计和施工的技术文献,对于文献作者和桥梁建设者们为推进我国桥梁事业的发展所作的贡献表示钦佩,也借此机会向他们表示感谢和敬意。

我们期望本书的出版既能反映国内桥梁悬臂施工与设计的成功经验,又能展望国内外发展状况及前景,从而对桥梁教学、科研、设计、施工及监理工作有所帮助。但因以桥梁悬臂施工与设计为一完整体系进行编写尚属首次,疏漏与错误之处在所难免,敬请读者批评指正,并将意见和建议寄西安公路交通大学公路工程学院(邮编:710064),以便修订改正。

编著者 1999年9月于西安

目 录

第一章 概论	1
第一节 桥梁悬臂施工与设计的发展	1
第二节 桥梁悬臂施工与设计的原理及特点	6
第二章 悬臂施工与设计的桥梁的材料与施工设备	11
第一节 钢材	11
第二节 混凝土	19
第三节 预加应力工艺及设备	23
第四节 悬臂施工的常备构件与机具设备	35
第三章 悬臂施工桥梁的设计	42
第一节 桥梁设计的车辆活载	43
第二节 悬臂施工桥梁的类型	49
第三节 悬臂施工桥梁的墩台设计	52
第四节 桥梁上部结构的设计	59
第五节 梁体预应力束的设计	67
第六节 结构体系转换与内力调整	81
第四章 悬臂施工中桥梁的稳定性与可靠性控制	91
第一节 悬臂施工桥梁墩台和梁部支承的稳定性与可靠性控制	91
第二节 悬臂施工中梁的稳定性与可靠性控制	102
第三节 悬臂施工的挠度控制与预拱度设置	113
第五章 分段现浇桥梁的悬臂施工与设计	120
第一节 移动式挂篮悬臂施工与设计	120
第二节 连续梁移动式桁梁悬吊模架法现浇施工与设计	136
第三节 分段悬臂现浇施工的其它方法	142
第四节 悬臂现浇挂篮设计及施工实例	146
第六章 混凝土桥梁预制悬拼施工与设计	155
第一节 预制拼装桥梁的原理及优势	155
第二节 分段预制混凝土梁的类型和方法	156
第三节 分段吊装系统的设计	158
第四节 悬臂拼装接缝的设计与施工	165
第五节 分段预制拼装方法存在的问题与发展	168
第七章 钢梁桥的悬臂施工与设计	176
第一节 悬臂安装钢梁的设计	176
第二节 钢桥的制造	192
第三节 悬臂安装钢梁的施工	194
第四节 悬臂安装钢梁的施工监控	203
第八章 拱桥悬臂施工与设计	209
第一节 悬臂施工的拱桥设计	209

第二节	拱桥悬臂施工的类型与方法·····	214
第三节	拱桥悬臂施工应注意的几个问题·····	225
第九章	斜拉桥的施工与设计·····	228
第一节	斜拉桥的结构构造与设计要点·····	228
第二节	悬臂梁桥与斜拉桥的异同点·····	238
第三节	斜拉桥的悬臂施工·····	243
第四节	斜拉桥悬臂施工的监控·····	262
第五节	斜拉桥的几个特殊问题探讨·····	267
参考文献	·····	269

第一章 概 论

桥梁结构依据其结构构造和受力体系，可将其分类为：梁桥体系、拱桥体系、索桥体系（包括悬索桥和斜拉桥）。从桥梁承载结构的材料划分又可分为：木桥、石桥、钢桥、混凝土桥等；从桥梁的使用用途划分可分为：公路桥、铁路桥、公铁两用桥、农桥、人行桥、管道桥等。从桥梁的施工技术与方法分类可分为：顶推与拖拉法，满堂固定支架法，移动支架法，预制装配法，悬臂灌注与悬臂拼装法。本书重点论述与桥梁悬臂施工法建造桥梁相关的设计理论，施工过程的桥梁结构及临时结构强度、刚度、稳定性控制、施工机械设备及工艺等。下面就桥梁悬臂施工的发展历史予以论述。

第一节 桥梁悬臂施工与设计的发展

桥梁是一个国家历史与文化的象征。我国是世界上文明发达最早的国家之一，自远古以来，我国在桥梁建造技术上有着光辉的成就及灿烂的历史篇章，所建桥梁不计其数，其中多有划时代的杰作，对全人类的文明进步做出了巨大贡献。桥梁悬臂施工与设计不是最近才有的，它的发展与其它桥梁的建造方法一样，有着悠久的历史。

一、伸臂木梁桥

据史料考证，我国伸臂木梁桥的最早建造年代，最迟在距今一千七百年前的公元三世纪初。当时在甘肃与新疆交界地区（现今甘肃安西县到新疆吐鲁番县），由羌族人民在河上建造了“两岸垒石作基陞，节节相次，大木纵横更相镇压两边俱来，相去三丈丛木材，以板横次之”的伸臂木梁桥，“长一百五十步，当地人称其为河厉”。因桥中无墩柱，在险谷陡崖处走过伸臂木梁桥好似飞渡，故有“飞桥”之称。后来这种“飞桥”得以推广建造，如青海扎麻隆桥，见图 1-1 所示。



图 1-1 青海扎麻隆桥

因为木、石材料抗弯拉强度的限制，单跨简支桥梁跨度只能达8m左右。在山区峡谷处谷深流急，很难修筑桥墩，且桥墩不利于泄洪；在一些水运繁忙的较大河流中，8m跨度难以满足船只航运和筏排通过的要求。因此，我国古代桥工们为了增大木梁桥的跨径，在河谷中少建或不建桥墩，在实践中创造出了伸臂木梁桥，见图1-2所示。从图1-2可以看出，伸臂木梁桥的建造施工方法是用圆木或方木，纵横相间叠起，层层向河中心挑出，每层排出数尺或丈余，每层纵木（几乎全用圆木）的前端稍向上昂，以便桥梁受荷变形后，桥能平直而不向河心凹曲。两端向河中靠拢到只留下五、六米空缺时，用简支木（竹）梁搭接成桥。东晋义熙（公元405~418年）时，在袍罕（今甘肃临夏）附近宽40m的河上修筑过伸臂木梁桥，桥高为五十丈，建造施工了三年才完工，在当时来说其建造规模是极为宏大的。在南北朝时，伸臂木梁桥盛行于我国西北一带。而在江浙、湖南及西藏等西南地区，也有许多伸臂木梁桥修建。

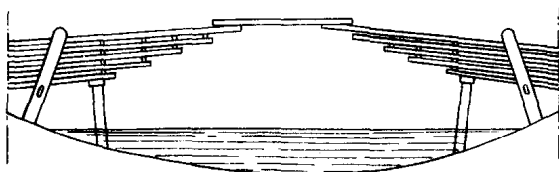


图1-2 伸臂木梁桥示意图

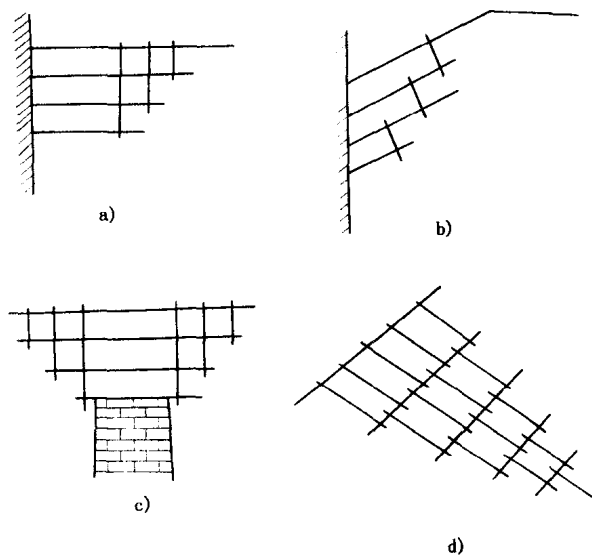


图1-3 伸臂木梁桥几种型式示意图

伸臂木梁桥大致有以下几种构造及设计型式，详见图1-3所示。由图1-3可看出，每一种伸臂木梁桥大都使用圆木，层层向跨中挑出，不用或很少用钉子与铁件。比较可知，图1-3a)为从桥台处层层叠出向河中心伸出；图1-3b)为折线型，近似于伸臂梁与拱之间的刚架式；图1-3c)为从河中桥墩处对称向两侧伸臂修建，其刚度及稳定性较好；图1-3d)的伸臂梁桥在新疆的山区常可见到，有的跨中只留一根圆木走人，留有二根圆木的可以过牲畜，但这种桥的刚度较差，受荷载后变形很大。新疆伊力喀什河上曾有这种结构形式的伸臂木梁桥一座，主孔跨径为23m，一端支承在岩石上，

一端悬插在木笼中，用穿梁梢木穿插并配用少量铁件。

要想将伸臂木梁桥的跨径增大，挑梁挑出的长度就必须愈长；挑出的层次愈多，桥的跨度就愈大，桥墩台上受的力亦愈大。这就必须用大量的石木块在挑梁底部填实压住，以免挑梁在跨中受力后，如翘翘板一样，在另一头翘起。为了使桥中荷载逐层传递到桥台上来，须用铁条或立柱等构件，把上、下排挑梁及横压木扎牢固成为一个整体。因此，为了避免桥梁可能产生过大的倾向河心的变形或破坏，我国桥工又创造发明了桥台上修阁，桥墩上建亭的办法，既起到重力平衡的作用，又使桥梁更加美观。例如兰州的屋桥，就是这类伸臂木梁桥的一个代表。它座落在兰州城西、跨越阿干河。最早建于唐代，屡坏屡修，最后一次修复是在清光绪三十年（公元1904年）。据1952年兰州市建设局对屋桥的实测，桥净跨度达22.5m，全长27m，桥高4.85m，桥宽4.6m见图1-4所示。后来为了进一步增大伸臂木梁桥的跨径，并增大其刚度和稳定性，我国桥工在建桥实践中又创造了木撑架桥，即把撑木一

头插入桥台墩两侧的预留孔眼里，一头顶托在挑梁的顶端。这样又增加了一个承托，使挑梁受力减小，变形减少，结构稳定性增加，如湖南澧陵绿江桥以及云南墨江八字撑架桥等。

因为木桥的使用寿命较短，加之木材的缺乏，国内外已很少修建木桥，但木桥的修建曾在我国历史上发挥过重要的作用。

二、钢桥悬臂施工与设计的发展

20 世纪前半叶的中国江河上已有钢桥，但大部分是由外国人投资、设计及承包施工。中国钢桥的建设是从 20 世纪 50 年代才开始逐步发展和建设，并在建桥史写下了辉煌的篇章。1957 年，武汉长江大桥的胜利建成，结束了我国万里长江无大桥的历史，也标志着我国修建大跨度钢桥的现代化桥梁技术水平的新起点。武汉长江大桥为公铁两用桥，正桥为 $3 \times 128\text{m}$ 的连续钢桁梁，梁高 16m，桥梁全长 1670.4m。全部工程自办，全部钢梁自造悬拼。1969 年又胜利建成的南京长江大桥，是举世瞩目的巨大工程，已被列为世界上最宏伟的结构之一，是我国桥梁史上极其光辉的篇章。它向世人表明：中国人民从此可以完全依靠自己的技术力量，自行设计、制造、施工国产高强钢材的现代化大型桥梁。这标志着中国桥梁工程技术已达到了国际新水平。南京长江大桥正桥除北岸第一孔为 128m 简支钢桁梁外，其余为 3 联 9 孔，每联为 $3 \times 160\text{m}$ 的连续钢桁梁。上层为公路桥，包括引桥在内公路桥全长为 4589m；下层为铁路桥，全长为 6772m。该桥除攻克了桥址处水深流急，河床地质极为复杂的桥墩基础施工的道道难关外，还在钢梁的设计和施工中首次采用了国产的 16Mn 低合金钢材，在钢梁的悬臂拼装施工中，纵梁的连接第一次采用高强螺栓代替铆钉，同时也试验研究并制造了一系列关键性的施工机具设备和采用了有效的施工工艺，保证了大桥工程的高质量完工。随后我国在成昆铁路线上及其它大江大河上，使用悬臂施工方法，修建了多座铁路钢桥和公路钢桥。如 1992 年建成的九江长江大桥(图 1-5 所示)，是一座主桥跨度为 $180\text{m} + 216\text{m} + 180\text{m}$ 的中承钢拱桥，创造了同类桥梁悬臂拼装与吊装的单跨记录。我国现有用悬臂法施工的钢桥其中最大跨径为：

铁路简支钢桁梁桥 四川成昆线金沙江三堆子桥 $l = 192\text{m}$ ，1969 年；

铁路连续钢桁梁桥 四川宜宾金沙江桥， $l = 176\text{m}$ ，1968 年；

铁路斜腿刚架桥 陕西安康汉江桥， $l = 176\text{m}$ ，1982 年；

铁路中承钢拱桥 九江长江大桥， $l = 216\text{m}$ ，1992 年；

公路连续钢桁梁桥 山东北镇黄河大桥， $l = 120\text{m}$ ，1971 年；

公路钢桁拱桥 四川渡口金沙江桥， $l = 180\text{m}$ ，1996 年；

公路钢斜拉桥 山东东营黄河斜拉桥， $l = 288\text{m}$ ，1987 年；

公路钢主梁与混凝土桥面板结合斜拉桥，上海杨浦大桥， $l = 602\text{m}$ ，1993 年。

国内外的钢斜拉桥与结合梁斜拉桥正在向 1000m 大关挺进，如日本的多多罗 (Tatara) 斜拉桥主跨已达 890m。本世纪，用悬臂施工法修建 1000m 以上特大跨径的钢斜拉桥完全可

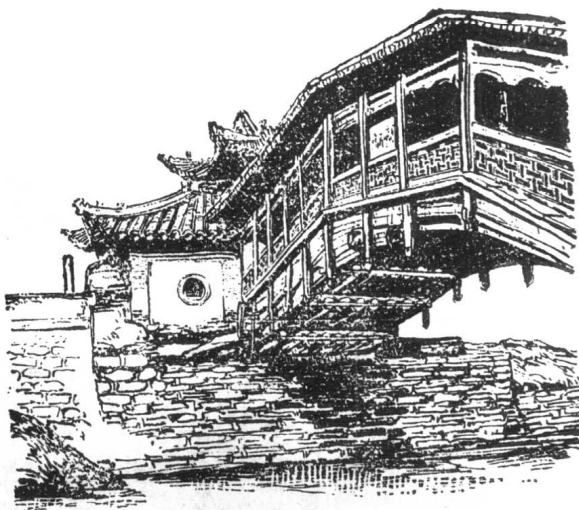


图 1-4 兰州屋桥

以实现。

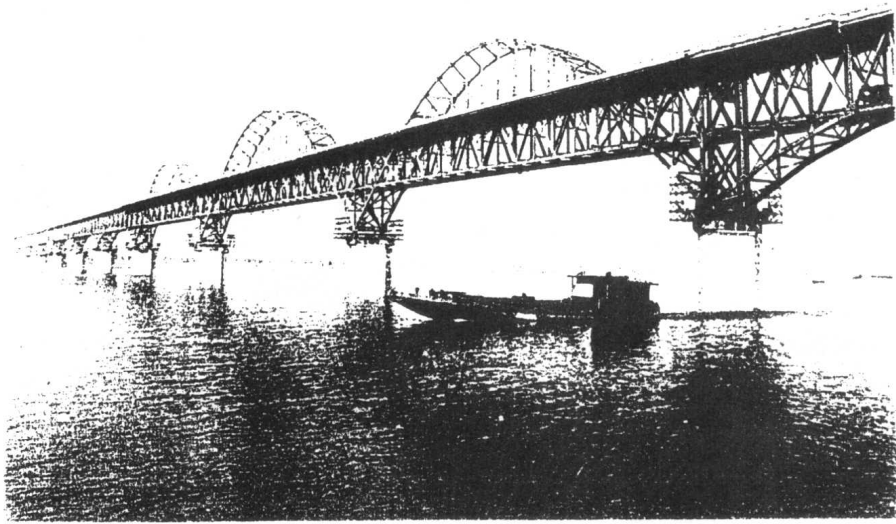


图 1-5 九江长江大桥（公铁两用钢桥）

三、预应力混凝土桥梁的悬臂施工与设计的发展

自从 1824 年水泥研制生产以后，混凝土材料已广泛用于土木工程之中。混凝土桥梁和钢筋混凝土桥梁都相继在国际上建成。到 1928 年，Freyssinet 已用悬臂施工方法建造了主跨为 185m 的钢筋混凝土大跨径拱桥，1930 年又由 E. Baumgart 用悬臂施工法建造了 68m 主跨的钢筋混凝土大跨径梁桥，但由于钢筋混凝土结构容易开裂的材料特性，使其在悬臂施工中造成钢筋的浪费，后来较少采用。国外从 20 世纪 40 年代末开始又将悬臂施工方法用于建造预应力混凝土桥梁，其中拱桥当属南斯拉夫的克拉克桥，最大跨径为 390m。我国是从 20 世纪 60 年代中期，将悬臂施工方法，从钢桥引入到预应力混凝土桥梁施工后，打破了建造预应力混凝土桥梁只能采用预制装配和在支架上现浇施工的单一局面，使预应力混凝土桥梁结构的设计与施工得以全面发展，出现了预应力混凝土 T 型悬臂梁桥，连续梁桥，连续刚构桥，桁架拱桥和斜拉桥等各种新结构。从而使预应力混凝土桥梁成为我国桥梁工程的主要类型，并且在 100~500m 范围内的大跨桥的建设中，打破了钢桥一统天下的局面，在竞标及经济利益比较下，预应力混凝土大跨度桥梁使用悬臂施工方法的方案，往往优于钢桥方案。

我国第一座预应力混凝土桥梁采用悬臂施工的方法是在 20 世纪 60 年代中期建成的第一座 T 型刚构桥。70 年代以后修建了几十座大中跨径的预应力混凝土 T 型刚构桥，如 1971 年建成的福建乌龙江公路大桥，主孔跨为 $3 \times 144\text{m}$ ；1980 年建成的重庆长江公路大桥，该桥共 8 孔，总长为 1000m，最大跨径为 174m。随后使用悬臂施工法还建造了预应力混凝土连续梁桥，连续刚构桥，桁架拱桥，斜拉桥等，图 1-6 示出了武汉长江二桥。这些桥梁各自的代表作分列如下。

1. 预应力混凝土连续梁桥

1983 年，广东容奇大桥，主跨为： $73.3\text{m} + 3 \times 90\text{m} + 73.3\text{m}$ ；

1983 年，常德沅水大桥， $84.7\text{m} + 3 \times 120\text{m} + 84.7\text{m}$ ；

1983 年，黑龙江松花江大桥， $59\text{m} + 7 \times 90\text{m} + 59\text{m}$ ；

1984 年，广州珠海三桥，主跨为 $80\text{m} + 110\text{m} + 80\text{m}$ ；
1985 年，湖北沙洋汉江大桥，主跨为 $62.4\text{m} + 6 \times 111\text{m} + 62.4\text{m}$ （连续长度近 800m ）；
1990 年，云南六库怒江大桥，主跨 154m ；
1992 年，湖北襄樊汉江长虹大桥： $65.8\text{m} + 85\text{m} + 10 \times 100\text{m} + 85\text{m} + 65.8\text{m}$ （连续长度为 1308.2m ）；

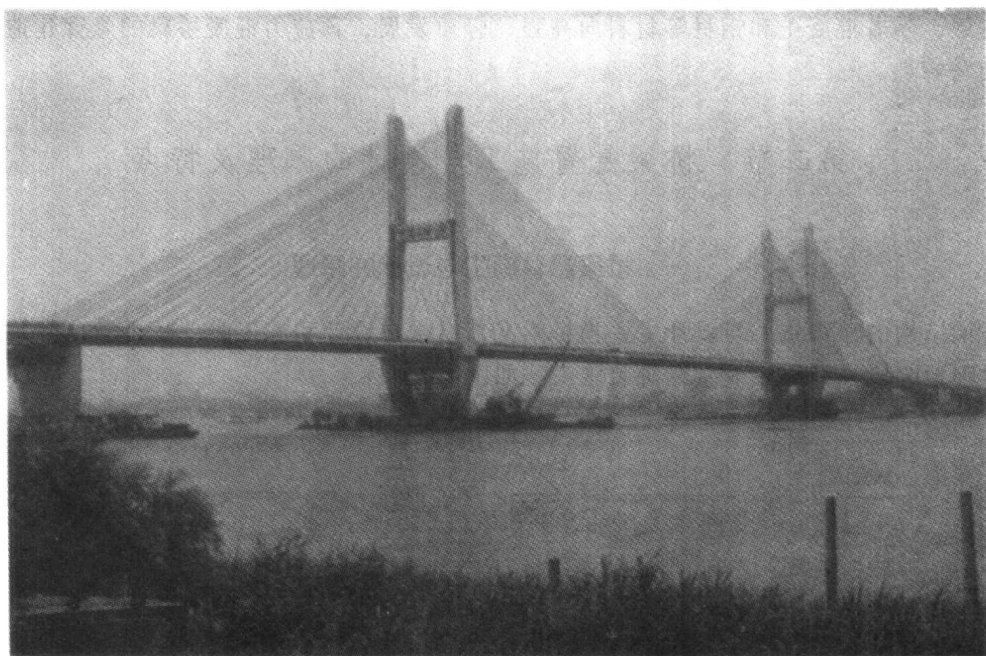
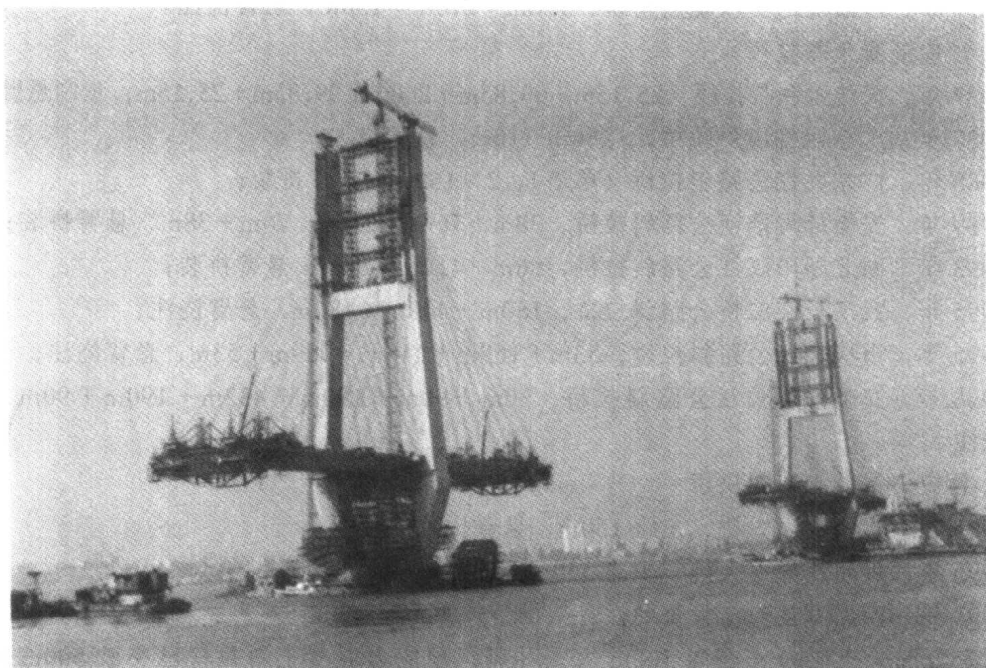


图 1-6 武汉长江二桥公路斜拉桥正桥

1993 年（山西）凤陵渡黄河公路大桥 $5 \times 87\text{m} + 87\text{m} + 7 \times 114\text{m} + 87\text{m}$ 。

2. 预应力混凝土连续刚构桥

1988 年，广东洛溪大桥， $65\text{m} + 125\text{m} + 180\text{m} + 110\text{m}$ ，悬臂浇注；

1993 年，东明黄河大桥， $75\text{m} + 7 \times 120\text{m} + 75\text{m}$ ，悬臂浇注；

1994 年，三门峡黄河公路大桥， $105\text{m} + 4 \times 160\text{m} + 105\text{m}$ ，悬臂浇注；

1995 年，黄石长江公路大桥， $162.5\text{m} + 3 \times 245\text{m} + 62.55\text{m}$ ，悬臂浇注；

1997 年，广东虎门大桥辅航道桥， $150\text{m} + 270\text{m} + 150\text{m}$ ，悬臂浇注。

3. 预应力混凝土斜拉桥

1987 年，天津永和斜拉桥， $25.15\text{m} + 99.85\text{m} + 260\text{m} + 99.85\text{m} + 25.15\text{m}$ ，预制悬臂拼装；

1987 年，广东西樵山斜拉桥， $125\text{m} + 110\text{m}$ ，悬臂浇注；

1988 年，广东九江公路斜拉桥（单塔）， $2 \times 160\text{m}$ ，悬臂拼装；

1989 年，安徽蚌埠淮河公路斜拉桥， $38\text{m} + 76\text{m} + 224\text{m} + 76\text{m} + 38\text{m}$ ，悬臂拼装；

1993 年，湖北鄖阳汉江公路斜拉桥， $86\text{m} + 414\text{m} + 86\text{m}$ ，悬臂拼装；

1995 年，武汉长江二桥公路斜拉桥， $180\text{m} + 400\text{m} + 180\text{m}$ ，悬臂浇注；

1995 年，重庆长江公路斜拉桥， $53\text{m} + 169\text{m} + 444\text{m} + 169\text{m} + 53\text{m}$ ，悬臂浇注；

1996 年，安徽铜陵长江公路斜拉桥， $80\text{m} + 90\text{m} + 190\text{m} + 432\text{m} + 190\text{m} + 90\text{m} + 80\text{m}$ ，悬臂浇注。

4. 预应力混凝土桁架拱桥

1985 年，贵州剑河大桥，主跨 150m ，悬臂拼装；

1995 年，贵州江界河大桥，主跨 330m ，悬臂拼装。

1997 年，四川万县长江大桥劲性骨架拱桥，主跨达 420m 。

预应力混凝土梁桥正在向 300m 大关冲刺；预应力混凝土斜拉桥已突破 500m 跨径向 600m 大关挺进；预应力混凝土桁架拱桥正向 400m 以上大跨发展。可以预计本世纪的世界桥梁发展，随着混凝土和钢材等材料向高强、轻质发展，预应力混凝土桥梁的悬臂建造将会更加繁荣与辉煌。

第二节 桥梁悬臂施工与设计的原理及特点

一、桥梁悬臂施工与设计的原理

桥梁结构的悬臂施工与设计主要指桥梁上部结构在设计和施工时，从桥墩顶开始，对称或不对称地分段悬臂浇注或悬臂拼装施工。如图 1-7 所示。

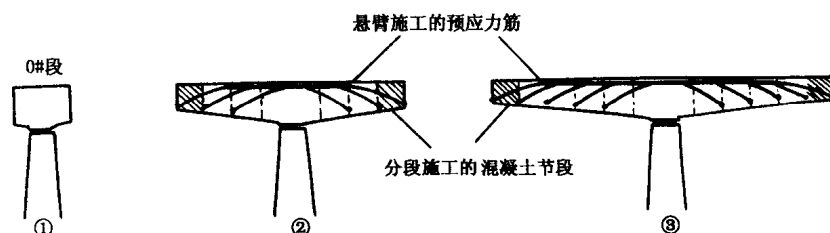


图 1-7 悬臂施工桥梁的原理示意图

悬臂施工适合于梁的上翼缘承受拉应力的桥梁形式，如悬臂梁、连续梁、连续刚构、拱桥及斜拉桥等。悬臂浇筑法是用挂篮就地分段现浇，待每段混凝土养护并张拉预应力后，再将挂篮前移，以浇筑下一节段之用。悬臂浇筑的每一段将要承受随后浇筑段的结构自重及施工机具人员等荷载，并要保持悬臂对称和平衡及安全稳定。一般悬臂浇筑的一个节段长3~8m，不宜超过8m。节段太长，将会增加结构与挂篮的静载，也会引起前面节段太大的施工内力。悬臂浇筑法施工的桥梁见图1-8所示。

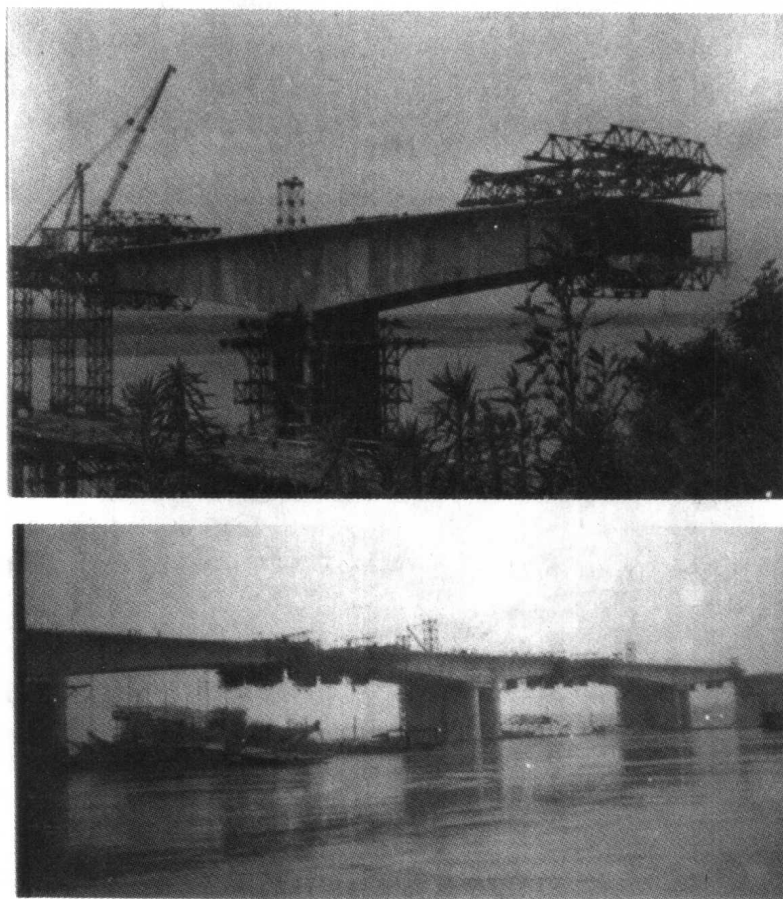


图 1-8 桥梁悬臂浇筑施工

悬臂拼装是用已制造好的钢梁杆件或制好的预应力梁节段，用悬拼吊机悬吊于上部结构上将杆件或节段梁逐一拼装。一个节段拼装牢固后，再拼装下一个节段，形成向桥跨中部逐渐增大的悬臂，直至跨中合拢或拼至下一个墩台上去。对于预应力混凝土上部结构的拼装，以及悬臂拼装节段的长度设计，主要取决于悬拼吊机的起重能力，一般为2~5m较合适，若节段过长则块件静载大，需要庞大的起重设备，节段过短则拼装接缝多，对结构受力不利并使工期延长。一般在悬臂根部，因梁较高，体积大静载大，可将节段分短，随悬臂伸展可将节段加长。预应力混凝土斜拉桥的悬臂拼装见图1-9所示。对于钢梁的拼装，也可据杆件受力及静载采用半悬臂拼装至跨中合拢或全悬臂拼装至下一个墩台上。



图 1-9 桥梁悬臂拼装施工

二、桥梁悬臂施工与设计的特点

桥梁在设计阶段除了对成桥的强度、刚度、稳定性进行设计外，还要根据悬臂施工的需要，进行一系列施工阶段的结构构造设计与计算，以满足悬臂施工及桥梁结构和受力需要。因此，现代化的悬臂施工方法最早主要用于修建钢桥和预应力混凝土 T 型刚构桥。随着悬臂施工技术的进步和完善，施工机械化程度的提高，加上使用电子计算机辅助进行桥梁结构内力分析计算及施工控制，使悬臂施工法成为现代大跨度桥梁建造的主要施工方法。这推动了桥梁进一步向高强、轻型、大跨方向发展。悬臂施工发展的主要特点，是淘汰了满堂固定脚手架的施工方法，给桥下以宽敞的净空。其优点是可减少施工设备，简化施工工序，如减少所使用的模板数量且能高效周转循环利用。由于实现机械化和循环重复作业，可改进工艺并提高工程质量，容易实现连接及跨中合拢。

桥梁悬臂施工主要适用于下列情况

1. 桥梁位于大江大河之上, 桥下水深流急, 有通航要求, 或有流冰或有较多木排的河流, 要求桥梁跨度较大, 可考虑用悬臂施工。

2. 桥梁位于深山峡谷之间, 桥墩很高, 不可能用满布式膺架, 或用支架法很不经济时, 可考虑用悬臂施工。

3. 桥梁属于立交桥, 在施工中不能中断桥下交通, 即不能妨碍桥下净空的使用, 也应考虑用悬臂施工。

4. 桥梁的上部结构形式有利于悬臂施工时, 即悬臂施工的受力与桥梁建成后受力较接近, 如悬臂梁桥、连续梁桥、连续刚构桥、斜拉桥等, 可考虑用悬臂施工。

5. 当大跨度桥梁施工工期要求很紧时, 为加快施工进度, 多孔上部结构可同时施工。如预应力混凝土预制梁悬臂拼装施工, 每天可悬拼 10m 以上, 可考虑用悬臂施工。

6. 为投标竞标节省施工费用, 降低工程造价, 提高工程质量, 可考虑悬臂施工。

三、悬臂施工法适用范围

悬臂施工桥梁的跨度范围为 60~600m, 最常用的跨度为 70~200m, 具体适用跨径见表 1-1 所示。我国最大跨度的悬臂施工桥梁: 预应力混凝土悬臂梁桥为重庆长江公路大桥, 主跨为 174m; 预应力混凝土连续梁桥最大跨径为云南六库怒江公路大桥, 主跨为 154m; 预应力混凝土连续刚构桥最大跨径为广东虎门大桥的辅航道桥, 主跨为 270m; 预应力混凝土桁架拱桥为 330m; 预应力混凝土斜拉桥最大跨度为 500m; 钢梁桥最大跨径为 176m; 钢拱桥最大跨径为 216m; 钢斜拉桥为南京长江二桥最大跨径为 628m; 钢与混凝土结合梁斜拉桥最大跨径为 602m。

悬臂施工方法适用的跨径

表 1-1

施工方法	跨径 (m)	施工方法	跨径 (m)
悬空模架逐跨施工法	30~50	变高度梁平衡悬臂节段拼装法	60~200
从某墩向两侧逐跨施工法	50~180	平衡悬臂浇注法	60~300
节段拼装法	30~90	悬臂施工的拱桥	90~450
等高度梁平衡悬臂节段拼装法	30~90	悬臂节段施工的斜拉桥	60~600

四、悬臂浇注与悬臂拼装的比较

预应力混凝土桥梁采用平衡悬臂施工, 一般是从一个中间墩开始, 向两侧对称分段施工, 各梁段之间用预应力筋相连接。梁段可以是现浇的, 也可以是预制的, 两种方法均能取得良好效果。究竟是用悬臂浇注还是悬臂拼装, 取决于建桥处的实际情况。现将两种施工方法比较如下。

1. 从设计角度看, 两种施工方法需要的混凝土与钢筋的材料用量大致相等, 成桥后受力及结构行为基本相同, 主要区别在于施工阶段的内力与变形不同。

2. 从施工进度方面看, 采用预制梁段的施工速度比现浇快得多, 上部结构的梁段预制与桥梁基础及下部工程可平行作业, 梁段在预制场提前预制, 拼装时仅占用施工周期的运输吊装定位和穿束张拉等工序。一个梁段的施工周期仅 1~1.5 天, 每月平均速度可达 200~400m。而悬臂浇注施工要等到桥墩建好后才可进行梁部施工, 且梁部施工速度又取决于混凝土的养护时间, 每个梁段的施工周期为 5~7 天, 每月平均速度可达 40~60m。

3. 从施工机具设备方面看, 悬臂拼装施工需要预制场地和运输及架桥设备, 一般需要