

5514
7221

677345

预应力T型刚构式桥

刘作霖 徐兴玉 等编著

成都科学技术大学图书馆
基本藏书



人民交通出版社

预应力T型刚构式桥

刘作霖 徐兴玉 等编著

人 民 交 通 出 版 社

内 容 简 介

T型刚构式桥是指桥墩与上部结构固结或临时固结,用悬臂法施工的预应力钢筋混凝土桥,它是包括多种结构型式的桥梁,计有:铰接T型刚构、T型刚构加吊梁、多孔连续T构、悬臂梁加中间铰、 π 型刚构、连续梁等,统称为T型刚构式桥。

本书从我国设计实践出发,以实用为目的,着重对预应力T型刚构加吊梁体系的设计加以系统论述,兼及预应力超静定结构,如连续梁、铰接T构,并附有详细例题。在第三章还介绍了颇有发展前途的部分预应力混凝土结构。

本书可供桥梁工程技术人员阅读,大专院校师生参考。

预应力T型刚构式桥

刘作霖 徐兴玉 等编著

责任编辑 王应荣

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京通县里二泗印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 26.25 字数: 611千

1982年10月 第1版

1982年10月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3,460册 定价: 4.00元

前 言

预应力T型刚构桥在我国推广修建已有十余年历史，积累了不少设计和施工经验。这种型式的桥梁与悬臂施工方法的发展有密切的关联，以悬臂施工方法（包括现浇和预制拼装）为基础，发展了多种结构形式的桥梁，其中有：铰接T型刚构、T型刚构加吊梁、多孔连续T构、悬臂梁加中间铰、Π型刚构、连续梁等，统称为T型刚构式桥。这种类型的桥梁跨越能力可从40~50米直到250~300米，在条件适合时具有较好的竞争能力。

本书从我国设计实践出发，以实用为目的，着重对预应力T型刚构加吊梁体系的设计加以系统论述，兼及预应力超静定结构，如连续梁、铰接T构，并附有详细例题，希望对从事预应力桥梁设计施工的技术人员能有所帮助，对学校教学方面也会有帮助。部分预应力结构是一种颇有前途的预应力结构，书中在第三章专门作了介绍、关于徐变考虑可恢复部分的计算本书第四章未及收入，拟留待今后再补述。

书中各章分由各同志编写，其分工如下：第一章、张福绵、第二章、杨祖东、徐兴玉、第三章、詹蓓蓓、章曾焕、黎宝松、何灏基、高荣强、第四章、胡克治、金成棣、第五章、金成棣、曹焕发、第六章、李臻、侯引程、第七章、胡哲章、刘钟福、第八章、黎宝松、章曾焕、郑樟龙。

全书由刘作霖、徐兴玉总审校。

参加编写的同志都是上海市政工程设计院从事桥梁设计的工作同志，值此建院30周年之际，把多年来的一些心得体会编写成书，希望对我国桥梁建设有些裨益。

由于水平所限书中如有不当之处请读者指正。

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 国内外发展情况简介	2
一、预应力混凝土桥的发展	2
二、预应力 T 型刚构桥的发展	5
三、悬臂浇筑法施工	8
四、悬臂拼装法施工	9
第二节 典型桥梁介绍	11
一、西德科布伦茨、莫塞尔桥	11
二、英国麦德威桥	11
三、西德本多夫桥	13
四、日本浦户大桥	14
五、台湾省圆山桥	16
六、广西壮族自治区柳州大桥	17
七、综述	18
第三节 材料	20
一、混凝土	20
二、钢筋	22
三、环氧树脂	24
第四节 预应力施工设备	25
一、预应力张拉设备	25
二、预应力锚具	27
第二章 桥梁方案选择	33
第一节 桥梁勘测工作和资料调研	33
一、桥梁勘测工作的任务和内容	33
二、调查和资料搜集	33
三、工程测量	35
四、实船通航试验	36
五、地质勘探	36
第二节 桥梁方案比较	37
一、方案比较的重要性	37
二、各种桥型的特点与技术经济指标	38
三、桥梁分孔的基本因素	64
四、桥型方案选择	70

第三章 预应力混凝土设计原理	72
第一节 预应力混凝土	72
一、概述	72
二、预应力混凝土设计的基本理论	72
三、预应力的加力方式与方法和锚固原理	76
第二节 预应力损失计算	77
一、预应力钢筋(钢束)应力减少原因	77
二、各项预应力损失的计算方法	78
三、减少各项预应力损失的措施及张拉值选用	82
四、预应力钢筋(钢束)引伸量计算	83
第三节 预应力钢筋的估算	85
一、按极限破坏阶段安全系数估算所需钢筋	86
二、按抗裂性估算所需钢筋	86
三、按弹性阶段估算所需钢筋	87
四、预应力钢筋的布置	95
第四节 截面强度验算	96
一、一般规定	96
二、正截面强度计算	98
三、截面正应力验算	100
四、截面的剪应力和主应力验算	102
五、斜截面强度验算	107
六、锚下局部应力验算	107
第五节 超静定结构体系内力计算	110
一、概述	110
二、恒载及活载所产生的内力计算	111
三、预应力引起的内力计算	111
四、混凝土徐变引起的内力重分布	118
五、超静定结构体系的人工调整	119
六、混凝土收缩对超静定结构引起的内力计算	122
七、墩台沉降引起的超静定结构体系内力计算	123
八、温度变化在超静定结构中引起的内力计算	124
九、结构的温度差引起的内力计算	124
十、支座摩阻力引起的内力计算	127
第六节 部分预应力混凝土	127
一、概述	127
二、部分预应力率 PPR 和抗弯设计标准	128
三、裂缝宽度的估算公式	129
四、疲劳的应力限界	130
五、拱度和挠度	131
六、部分预应力构件的抗弯设计	132

七、使用荷载下的断面分析	134
八、设计算例	137
九、“预应力钢筋混凝土(PRC)”	139
第四章 混凝土的徐变和收缩	149
第一节 混凝土的徐变	149
一、徐变系数的计算	149
二、常用的徐变系数的计算	150
三、徐变理论	152
第二节 混凝土收缩	155
一、直接查表(乌里茨基表)	156
二、用乌里茨基公式和利用(CH200-62)附录15中表	156
三、照第六届国际预应力混凝土会议“混凝土结构设计施工建议中 R12.32收缩”计算	157
第三节 徐变及收缩对截面应力影响	158
一、混凝土徐变和收缩对单筋截面中应力的影响	159
二、混凝土徐变对任意配筋截面应力的影响	165
第四节 在超静定结构中由于徐变、收缩引起的约束力(赘余力)的变化	171
一、混凝土徐变影响下的赘余力计算	171
二、换算弹性模量 E_c 法	173
三、有限单元法	174
四、例题	176
第五节 由于徐变、收缩引起的变形计算	183
一、考虑钢筋影响的变形计算	183
二、不计钢筋影响的变形计算	183
第六节 T型刚构悬臂梁挠度的近似简化计算	184
一、简化假定	184
二、计算公式	185
三、几点说明	186
第五章 箱梁横截面设计	187
第一节 主要尺寸拟定与构造	187
一、箱梁横截面的形式和选择	187
二、箱梁各部分尺寸的拟定	192
三、箱梁横截面普通钢筋的配置	195
四、桥面横向预应力	196
五、箱梁横截面构造设计中的几个问题	197
第二节 横截面内力分析	199
一、内力分析原理	199
二、计算方法	201
第三节 牛腿设计	218
一、牛腿和牛腿横梁构造	218

二、牛腿计算.....	220
第六章 预应力混凝土T型刚构式桥的施工与施工机具.....	222
第一节 概述.....	222
第二节 纵向逐段浇筑法.....	222
一、挂篮悬臂浇筑法.....	223
二、移动式连续桁架浇筑法和固定式连续桁架浇筑法.....	232
三、挂篮——纵移桁架联合逐段浇筑法.....	233
四、纵移托架浇筑法.....	235
第三节 纵向逐段拼装法.....	235
一、悬臂吊机拼装法.....	235
二、移动式和固定式连续桁架拼装法.....	236
三、起重机拼装法.....	237
四、悬臂拼装施工要点.....	239
第四节 纵向逐孔浇筑法.....	239
一、逐孔梁式浇筑机浇筑法.....	239
二、逐孔活动支架浇筑机浇筑法.....	242
第五节 纵向逐孔拼装法.....	242
第六节 预制架设法.....	243
一、浮吊架设法.....	244
二、龙门起重机架设法.....	244
三、导梁架设法.....	244
四、浮运架设法.....	246
第七节 施工方法的选择.....	246
第七章 伸缩缝与支座.....	247
第一节 伸缩缝.....	247
一、概述.....	247
二、大伸缩量的常用伸缩缝形式.....	247
三、伸缩量的计算.....	249
四、伸缩缝构造设计的几个问题.....	258
第二节 支座.....	258
一、概况.....	258
二、支座的选择.....	259
三、支座的构造原理.....	262
四、设计计算.....	264
第八章 设计实例.....	277
第一节 T型刚构悬臂梁的设计实例.....	277
一、设计依据.....	277
二、悬臂梁外形及构造尺寸.....	278
三、运营荷载作用下的内力计算.....	281
四、纵向预应力钢束的估算.....	285

五、纵向预应力钢束的布置	288
六、钢束预应力损失计算及各截面钢束的永存应力	298
七、各阶段各计算截面的混凝土应力及强度安全系数	306
八、竖向预应力设计和钢束引伸量计算	309
九、徐变预拱度的设置	313
十、牛腿应力计算分析	315
第二节 预应力连续梁设计实例	320
一、说明	320
二、总体布置与结构尺寸	320
三、绘制内力影响线	320
四、静载和活载引起的内力计算	330
五、桥面板日照温度差引起的附加力矩计算	331
六、由沉降差引起的二次力矩计算	335
七、支座摩阻力引起的内力计算	338
八、恒载、活载内力组合	341
九、预应力钢束的配置	341
十、预应力钢束张拉引起的二次力矩计算	347
十一、施工阶段内力计算	356
十二、混凝土徐变引起的内力重分布计算	360
十三、各截面应力及安全度验算	367
十四、挠度计算及预拱度设置	367
第三节 铰接T 构设计实例	367
一、基本数据	368
二、结构内力计算	370
三、预应力钢束估算与布置	385
四、混凝土徐变对恒载内力的影响和预加应力产生的附加内力	388
五、截面应力和强度验算	405
主要参考书目	410

第一章 概 论

T型刚构式桥梁是指桥墩与上部结构固结或临时固结，用悬臂法施工的预应力钢筋混凝土桥。它包括跨中带铰的、设置吊梁的或连续的等形式。

在世界各国桥梁建筑中，预应力T型刚构桥在近三十年间得到了较快的发展，成为大跨度桥梁中广泛采用的结构形式之一，它的跨度从100米左右发展到240米以上。在已建成的预应力T型刚构桥中，跨度超过200米者已较多见，如六十年代建成的西德本多夫桥（Bendorf），跨度为208米（见图1-1）（见图1-2）。七十年代建成的日本滨名大桥，跨度为240米。

我国于1964年建成预应力T型刚构试验桥——盐河桥，1967年又建成广西柳州大桥，跨度为124米（见图1-3），目前我国最大跨度的预应力T型刚构桥重庆长江大桥，跨度为174米也已通车。

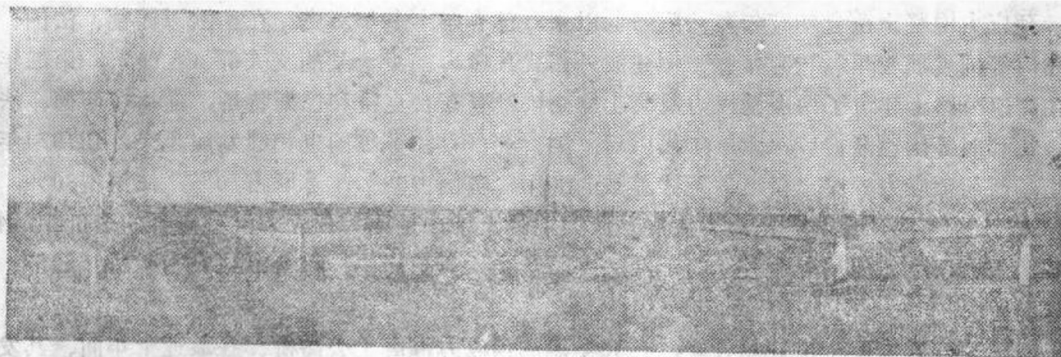


图1-1 西德本多夫桥

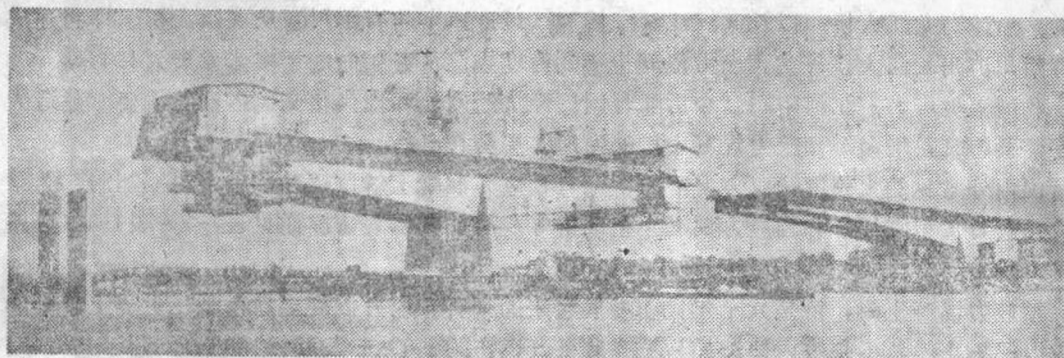


图1-2 西德本多夫桥悬臂施工

预应力T型刚构桥与其它桥型相比，在一定条件下具有用料省、施工简便、养护费用低、行车平稳等优点。并且宜于采用悬臂法施工，这就为在海湾、深谷、大江、大河上建造大跨度桥梁提供了一种较理想的桥梁结构。

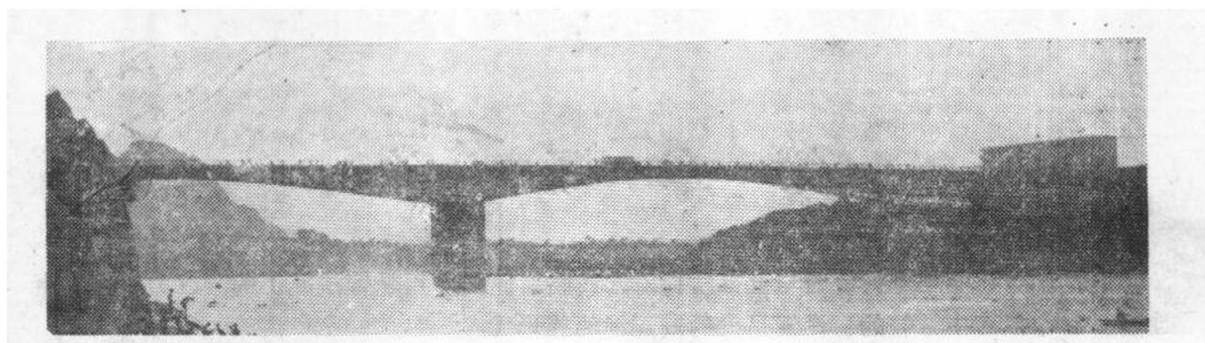


图1-3 广西柳州大桥

今后随着材料和工艺的发展,这种类型桥梁的跨越能力还将进一步加大,至于在更大跨度范围则将让位于斜拉桥和悬索桥。

第一节 国内外发展情况简介

一、预应力混凝土桥的发展

预应力混凝土桥自1937年在德国问世以来,已有四十多年历史,在西欧以西德、法国、比利时等国发展较早。1937年在德国建成外露式预应力混凝土梁的艾夫桥(AVe),第二年又在高速公路上建造了两座预应力混凝土立交桥维登布台克桥和巴斯特桥,随后在西德、法国、比利时等国逐渐推广。六十年代以后,美、英、日、苏等国也相继发展起来,到1974年为止,西德预应力混凝土桥已占桥梁总数的60%,英国占52%,苏联占70%,法国占80%,美国占27%(注1),世界各国大力发展预应力混凝土桥,是因为预应力混凝土桥的造价比钢桥省,用钢量少,使用寿命长,行车舒适,噪音小,养护简便,符合对结构物适用、经济、美观的要求。

我国预应力混凝土桥开始较晚,1956年建成预应力混凝土公路桥,在最近十年间,其发展较快。先后建成了十余座大跨度预应力混凝土桥,其中在国内领先和较著名的有广西柳州大桥、福建乌龙江大桥,以及武汉江汉二桥等,最近通车的有四川重庆长江大桥、即将建成的有四川泸州长江大桥等。预应力混凝土桥的跨度也已从开始时的十多米发展到174米。

我国幅员广大、江河密布、今后随着国民经济的发展和现代化交通运输的需要,建造大跨度桥梁将日益增多,预应力混凝土桥的发展实属势在必行。

国内外常见的大跨度预应力混凝土桥梁有预应力混凝土斜拉桥,预应力混凝土连续梁桥,预应力T型刚构桥和预应力混凝土桁架桥等。有关其发展情况详见表1-1~表1-4(公路及城市桥)。

预应力混凝土斜拉桥是六十年代初发展起来的一种预应力混凝土新桥型,世界上较早的预应力混凝土斜拉桥是委内瑞拉的马拉开波桥(桥跨为 $160+5\times 235+160$ 米),建于1962年。随后在各国发展起来,1977年在美国建成了哥伦比亚桥,主跨长300米,桥跨为 $124+300+124$ 米。1978年在法国建成了布罗顿桥,主跨长320米,是目前世界上跨度较大的预应力混凝土斜拉桥。

(注1) 1975年美国加利福尼亚州桥梁类型比重统计数字,预应力混凝土桥已占78%——见Civil Eng. ASCE oct. 1977。

大跨度预应力混凝土斜拉桥的优点，目前还刚刚为人们所认识，今后随着大跨度预应力混凝土斜拉桥在世界各国的广泛实践、不久的将来，它必将成为大跨度预应力混凝土桥梁中较为理想的桥型方案之一。

我国于1975年首次建成预应力混凝土斜拉桥——云阳桥，后来发展较快，到目前为止，已相继建成了十余座大跨度预应力混凝土斜拉桥，其中最大跨度已达220米。

预应力混凝土连续梁桥最早出现在五十年代中期，但开始时跨度都不大，真正大跨度预应力混凝土连续梁桥的出现还是在六十年代初期，当时在世界各国桥梁建筑中现代化的悬臂施工技术已得到普遍的发展，在悬臂施工的基础上，为了进一步改善行车性能，减少伸缩缝和挠度，增强其结构的抗震性，减轻上部结构对下部结构的影响等，曾设想当悬臂施工结束后，最后将上部结构连为一体，成为大跨度预应力混凝土连续梁桥。

现在，世界上较大跨度的预应力混凝土连续梁桥为西德的摩萨尔桥，主孔跨度为192米；世界上较长的预应力混凝土连续梁桥为西德的跨峡谷弯道桥、全长约一公里左右。

我国的预应力混凝土连续梁桥，已建成的有十余座，其中较著名的有北京首都机场桥、上海曹阳路桥以及兰州黄河桥等，其跨度也已发展到70米以上。

大跨度预应力混凝土桥，当其跨度发展到一定范围以后，因其自重过大，将会给构造和施工带来不少困难。为了减轻自重，目前国外正在研究用预应力混凝土桁架桥来代替预应力混凝土梁桥。世界上较大跨度的预应力混凝土桁架桥为1974年在澳大利亚新南群尔斯建成的新南群尔斯桥、主跨长为183米。我国预应力混凝土桁架桥于1976年在四川省江津县建成，主跨长为80米的沱江大桥。

此外，为了减轻自重，在国外还在研制和发展轻质高强混凝土（单位重为1.6吨/米³~2.0吨/米³），1966年在英国较早建成预应力轻质混凝土简支梁桥（跨度为16.8米的北·姆教尔特桥），混凝土单位重为1.9吨/米³，混凝土强度为480公斤/厘米²。此后在日本，美国，西德等国又相继建造了数十座预应力轻质混凝土桥，目前世界上较大跨度的预应力轻质混凝土桥为1972年在荷兰建成的藤根倍琪桥（主孔112.2米）。

预应力T型刚构式桥在国外发展一览表

表1-1

序号	桥名	国名	主跨长 (米)	建造年月	备注
1	柯罗·巴拜尔皂帕桥 (Koror Babelthuap bridge)	美国	240.8	1978	带铰T构
2	浜名大桥	日本	240.0	1976	带铰T构
3	彦岛大桥	日本	236.0	1975	带铰T构
4	浦户大桥	日本	230.0	1972	带铰T构
5	三姐妹桥	美国	229.0	正在施工	带铰T构
6	本多夫桥 (Bendorf)	西德	208.0	1965	带铰T构
7	塔特娜桥 (Tatarna)	尼日利亚	196.0	1970	带铰T构
8	加登普因德桥	澳大利亚	183.0	正在施工	带铰T构
9	布里斯班奥特桥	澳大利亚	183.0	正在施工	带吊梁T构
10	名古屋大桥	日本	176.0	1967	带铰T构
11	天草8号桥	日本	160.0	1966	带铰T构
12	麦德威桥	英国	152.0	1963	带吊梁T构
13	内卡苏尔姆桥	西德	151.0	1968	带铰T构
14	凯特瓦尔桥 (Katerval)	荷兰	150.5	1971	带铰T构

其它预应力混凝土桥在国外发展一览表

表1-2

序号	桥 名	国 名	主 跨 (米)	建 造 年 月	备 注
1	布罗顿桥 (Brotonne)	法 国	320.0	1977	斜拉桥
2	哥伦比亚桥 (Columbia)	美 国	300.0	1976	斜拉桥
3	帕斯克肯威尼克桥	美 国	299.0	1978	斜拉桥
4	瓦的库夫桥 (Wadikuf)	利 比 亚	282.0	1971	斜拉桥
5	铁 耳 桥 (Tiel)	荷 兰	267.0	1973	斜拉桥
6	科连特斯桥 (Corrientes)	阿 根 庭	248.0	1973	斜拉桥
7	马拉开波桥 (Maracaibo)	委内瑞拉	235.0	1962	斜拉桥
8	弗依列桥 (Foyle)	北爱尔兰	210.0	正在施工	斜拉桥
9	波尔捷维娅桥 (Polceveya)	意 大 利	208.0	1966	斜拉桥
10	美 因 桥 (Main)	西 德	148.2	1972	斜拉桥
11	马格雷阿娜桥 (Magliana)	意 大 利	145.0	1968	斜拉桥
12	摩 萨 尔 桥	西 德	192.0	—	连续梁
13	塞纳河垫那维利叶桥	法 国	172.0	1976	连续梁
14	长 里 克 桥	法 国	156.0	1975	连续梁
15	莫斯科河桥	苏 联	148.0	1957	连续梁
16	派因瓦利桥	美 国	137.0	正在施工	连续梁
17	努 萨 桥	捷 克	115.0	正在施工	连续梁
18	齐 拉 坦 桥	西 德	105.0	1969	连续梁
19	奇隆迪克桥	瑞 士	104.0	1973	连续梁
20	库夫施太恩桥	奥 地 利	102.4	—	连续梁
21	卡罗尼河桥	委内瑞拉	96.0	—	连续梁
22	维也纳亚叶尔桥	奥 地 利	85.0	—	连续梁
23	新南群尔斯桥	澳大利亚	183.0	1974	桁架桥
24	曼 福 桥 (Mangfall)	西 德	108.0	1960	桁架桥

预应力 T 型刚构式桥在国内发展一览表

表1-3

序号	桥 名	地 名	主 跨 (米)	建 造 年 月	备 注
1	重庆长江大桥	四 川	174.0	1980	带吊梁 T 构
2	泸州长江大桥	四 川	170.0	1982	带吊梁 T 构
3	乌龙江大桥	福 建	144.0	1971	带吊梁 T 构
4	武汉江汉二桥	湖 北	135.0	1978	带吊梁 T 构
5	柳州大桥	广 西	124.0	1967	带吊梁 T 构
6	五河大桥	安 徽	90.0	1977	带吊梁 T 构
7	石棉大桥	四 川	84.0	1968	带铰 T 构
8	彭坑大桥	广 东	80.0	1974	带吊梁 T 构
9	人民大桥	广 东	74.0	1967	带吊梁 T 构
10	丹江口大桥	湖 北	71.0	1970	带吊梁 T 构
11	井岗山大桥	江 西	71.0	1970	带吊梁 T 构
12	保德黄河大桥	山 西	60.0	1973	带铰 T 构
13	闽江大桥	福 建	50.0	1971	带吊梁 T 构
14	前扶松花江桥	吉 林	40.0	1974	带吊梁 T 构
15	盐 河 桥	江 苏	33.0	1964	带铰 T 构

其它预应力混凝土桥在国内发展一览表

表1-4

序号	桥 名	地 名	主 跨 (米)	建 造 年 月	备 注
1	济南黄河桥	山 东	220.0	正在施工	斜拉桥
2	浏港大桥	上 海	200.0	正在施工	斜拉桥
3	长兴岛桥	辽 宁	176.0	1978	斜拉桥
4	曙光大桥	辽 宁	142.0	1978	斜拉桥
5	三台桥	四 川	128.0	1978	斜拉桥
6	安康江汉桥	陕 西	120.0	1978	斜拉桥
7	大沽河桥	山 东	104.0	1977	斜拉桥
8	东风桥	云 南	100.0	1978	斜拉桥
9	云阳桥	四 川	75.84	1975	斜拉桥
10	新五桥	上 海	54.0	1975	斜拉桥
11	兰州黄河大桥	甘 肃	70.0	1979	连续梁
12	包头黄河桥	内 蒙	65.0	正在施工	连续梁
13	曹阳路桥	上 海	46.0	1978	连续梁
14	滦河大桥	河 北	40.0	1977	连续梁
15	莲西大桥	上 海	40.0	正在施工	连续梁
16	复兴门立交桥	北 京	25.0	1976	连续梁
17	彭浦立交桥	上 海	20.0	1977	连续梁

回顾大跨度预应力混凝土桥在国内国外发展过程，可以清楚地看到，影响其发展的因素是多方面的，比如材料(钢筋与混凝土)的性质、施工方法、预应力工艺以及电子计算技术的发展等。但是在上述多种因素中必有一个起主导作用的因素，那就是现代化悬臂施工技术的发展，其次是材料和预应力工艺的发展。只需观察一下，在最近一、二十年建成的大跨度预应力混凝土桥，便不难发现，多种多样桥型结构的问世和发展，并非仅仅是由于力学体系上的发明和创造，而更重要的是取决于现代化施工技术的发展水平和材料与预应力工艺的改进情况。

二、预应力T型刚构桥的发展

桥梁中最简单的形式是简支梁，但它的跨越能力不大，就其结构性质而言，最大弯矩截面发生在跨中、最小弯矩截面发生在支点，要抵抗梁的自重弯矩就要加大截面，要加大截面就势必引起自重的增加，如此恶性循环下去，以致造成截面材料的绝大部分都用来抵偿因其自身的重量而引起的内力，从而跨径受到限制。这就告诉我们，要想增大跨度，必须合理地选择结构，使得最大弯矩截面发生在其自重对于整个结构体系总的自重弯矩影响最小的地方，这便可以得出当今各种各样的大跨径预应力混凝土桥梁结构形式，T型刚构就是符合于这种特点的结构形式之一。

但事情还远远不止于此，仅有较好的结构形式还不能完全解决大跨径的问题，因为支点负弯矩过大带来了桥面裂缝，从而影响结构寿命，同时如何解决施工上满堂支架的困难也是极其重要的一个方面，预应力混凝土结构的发展，解决了第一个问题。随后五十年代中期，在西欧出现了预应力混凝土桥的悬臂施工法，顺利地解决了第二个问题，从此大跨径预应力T形刚构桥发展起来了。

用悬臂施工法建造木桥早在远古时代就有之，世界上首次用悬臂施工法建造的钢筋混凝土桥是1930年在巴西建成的佩希河刚构桥(Riordo Peixe)，主跨为68.5米。用悬臂施工法建造预应力混凝土桥是在1950年由西德 Finsterwalder 首先采用。悬臂施工法自第二次世界

大战以后，在西德得到了空前发展，用该方法建造的第一座预应力混凝土桥是1950年建成的跨径为62米的兰桥（Lahn）；接着1951年又建成71米跨径的门式框架桥（Neckar），1953年又建成窝尔姆斯、莱茵河桥（Worms Nibelungen），这是世界上较早用悬臂施工法建造的大跨径预应力T型刚构桥，主跨长为114米（见图1-4）。1960年又建成了跨越曼恩河，主跨为130米的大跨径预应力T型刚构桥（Hochst）（见图1-5）。接着悬臂施工法在西欧和世界各国普遍地发展起来了。

悬臂施工法的特点是从两个桥墩利用可移动的悬吊支架（挂篮）向两侧分段施工，水平推进，直至跨中合拢。施工时用预应力钢筋将每一梁段与前一梁段紧密地联接在一起。

西德悬臂施工法所采用的预应力体系是由Dyckerhoff与Widmann公司发展起来的迪维达格体系（Dywidag），它利用端部带有丝扣的高强钢筋对混凝土施加预应力，在初期桥梁结构中所用的钢筋大部分为直径26毫米，80/105型钢筋（极限强度为105公斤/厘米²，弹限为80公斤/厘米²），预应力钢筋端部的螺纹是在高压下轧制的，其中一半螺纹被压入钢筋直径内，另一半螺纹被挤出钢筋直径之外，经轧压后使螺纹变硬，足以承受与原来直径相同的荷载。预应力通过钢筋、钢锚板和拧在钢筋端部的螺帽传递至混凝土上，并且钢筋可通过连接器逐段接长（见图1-6）。



图1-4 西德窝尔姆斯莱茵河桥

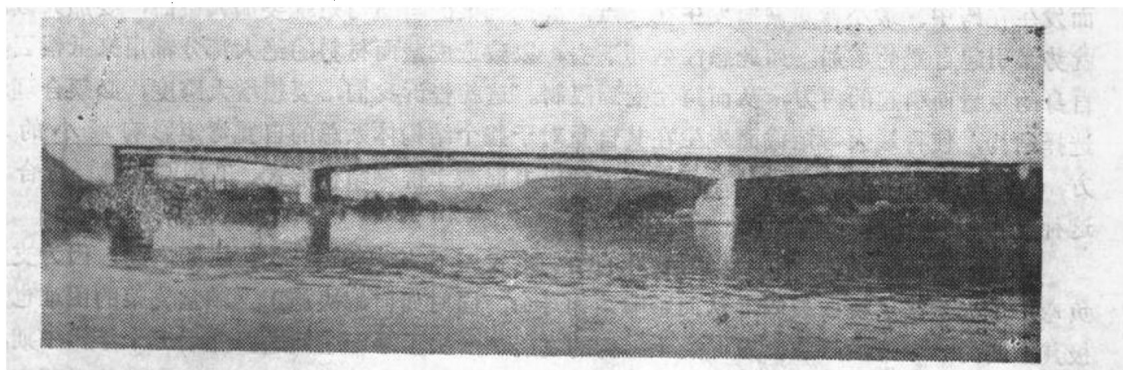


图1-5 西德Hochst 曼恩河桥

悬臂施工法的最大优点是施工时可不设支架，对于深水、大跨、通航、洪峰河流以及深谷高墩桥梁尤为适用，可大大缩短工期和降低造价。

下面简要介绍预应力T型刚构桥的发展概况。

预应力 T 型刚构桥的发展一般认为可分作两个阶段，即早期的（包括五十年代初至六十年代中）与现代的（包括六十年代末至七十年代末）。早期的有代表性的桥梁是西德的科布伦茨、莫塞尔桥（见图 1-7），英国的麦德威桥和西德的本道夫桥等。现代的有代表性的桥梁是日本的浜名大桥、浦户大桥等。

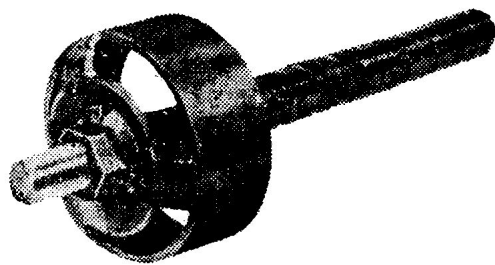


图1-6 迪维达格锚具

五十年代初期建造的预应力 T 型刚构桥，从结构形式看，其中大多数是多跨的且在跨中都没有铰。铰的作用是用以传递剪力与保证梁的自由伸缩，从理论的力学图式看比较简单，无论在静载与预应力作用下，结构都保持静定状态，唯有在活载作用下，结构才呈超静定状

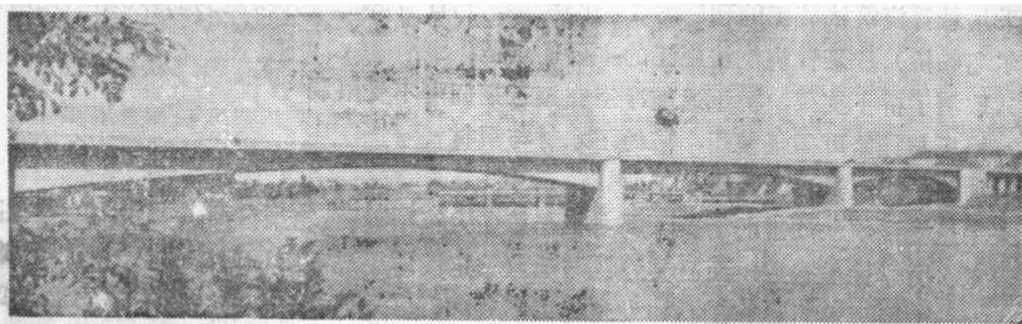


图1-7 西德科布伦茨莫塞尔桥

态。后来，人们逐渐发现，这类结构由于铰的设置，使造价提高，构造变得复杂，施工也带来不便。从结构受力看，在混凝土差异徐变和日照温差影响下，铰内会产生经常的剪力，梁内也会引起相应的附加内力，结构受力不利。从使用性能看，由于铰的设置，使路面在铰处断开，当预拱度设置稍有不当时，桥上纵坡会因此呈折线变形，更由于多跨的原故使桥梁纵断面呈波浪形，对外观与使用均带来不利影响，甚至造成结构物不能继续使用。后来到了五十年代末期，这类跨中带铰的预应力 T 型刚构逐渐减少，而跨中带吊梁的预应力 T 型刚构则逐渐增多起来。吊梁代替铰后，避免了铰接 T 构的许多缺点，而且使恒载弯矩降低。尤为重要的是大大缓和了由于预拱度设置不当带来的桥上纵坡折线形变化，同时因为悬臂减短也相应地减少了徐变挠度，而带吊梁的 T 型刚构的缺点是需要增加一套架梁设备。

到了六十年代末期、预应力 T 型刚构桥在结构形式方面的变化，除了主孔仍旧采用过去的方法在跨中设铰或设吊梁外，边孔大多布置成连续的或部分连续的形式，主孔成为单跨的 T 型刚构。发生这类变化的原因与跨度的增大有关，随着跨度的不断增大，早期的预应力 T 型刚构桥，活载挠度将明显地增加，这会给使用带来不利。为了克服上述的缺点，将边孔做成连续的形式，用以减少主孔跨中挠度值，满足使用上的要求，同时将桥的纵断面布置成弓背式，将纵坡的顶点设在主孔中间铰处，以便即使徐变挠度超出预计值也不会影响使用。

从施工方法看，早期的预应力 T 型刚构桥多采用悬臂浇筑法施工，用两套挂篮分段浇筑，从墩顶向两侧平行推进，墩顶段采用现浇。后来发展到悬臂拼装，或部分预制部分现浇，到目前为止，在世界各地预应力 T 型刚构桥的施工中仍旧采用上述几种方法进行。最近在我国

重庆长江大桥的施工中，将滑模施工技术应用到箱梁现浇上来是又一显著的施工工艺改进。

值得指出的是，在悬臂拼装法施工中，采用明槽布筋的方法，存在着使预应力钢筋的锈蚀问题。如在法国早在三十多年前采用悬臂拼装法施工的预应力 T 型刚构桥中，采用明槽布置预应力钢筋的均已大量锈蚀，以致不得不采取必要的补救措施予以加固。

目前，世界各国预应力 T 型刚构桥中，跨中带铰者最大跨度已发展到 240.8 米（美国柯罗·巴拜尔皂帕桥）；跨中带吊梁者最大跨度也已发展到 183 米（澳大利亚布里斯班澳特桥）。

我国自 1964 年以来，相继建造了十余座大跨度预应力 T 形刚构桥，其中跨度最大的为重庆长江大桥（主孔 174 米），系采用悬臂浇筑法施工，跨中设吊梁的预应力 T 形刚构桥，主梁为箱型截面，采用弗莱西奈式预应力体系，铁皮管道、三向布置预应力（纵、横、竖向预应力）。

三、悬臂浇筑法施工

采用悬臂浇筑法施工的预应力 T 型刚构桥，目前世界上最大跨度为 240.8 米（美国柯罗·巴拜尔皂帕桥）。悬臂浇筑法施工的主要优点是：

1. 取消了桥下支架，桥下通航净空在施工期间可不受限制
2. 模板与挂篮可重复使用，节约了木材与钢材
3. 加快了施工进度、提高了工效

采用悬臂浇筑法施工的桥梁，其主梁一般多为箱型截面、箱型截面具有较大的抗扭刚度、底板较宽、力学性能较好，而且其弹性与动力稳定性均超过其它任何截面。当采用悬臂浇筑法施工时，一般要求对称施工、如发生施工不对称时可采取增设临时支墩的办法予以调正。

预应力 T 型刚构桥采用悬臂浇筑法施工时，其施工程序大致可分为以下几个步骤：

1. 在桥墩处搭设临时支架（或扇形支架），在支架上现浇少数梁段做为拼装挂篮的场地。

2. 拼装挂篮，在挂篮上悬臂浇筑其余各梁段，逐段前进。

3. 边孔靠近岸边梁段，在支架上浇筑

悬臂浇筑的梁段、通常分成每 3~4 米一段，每一梁段均在挂篮上浇筑，待新浇梁段混凝土达到要求的强度后张拉预应力钢筋与上一梁段联为一体。挂篮支承在已浇筑和张拉的梁段上，每套挂篮由两片或多片纵梁组成，可沿顺桥向移动。

为确保挂篮的施工稳定性，通常是在挂篮后端压重或将挂篮临时锚固在前面已张拉梁段上。在挂篮设计方面，有的采用重型挂篮，如法国的瓦赛尔桥，挂篮重约 110 吨；也有采用轻型挂篮的，轻型挂篮是目前悬臂施工中应用最普遍的一种，轻型挂篮重一般约为最重梁段的一半左右。

在国外挂篮设计中，有的正在研究用模板代替挂篮的方法，即视模板为挂篮的一部分，目的是用以减轻挂篮的自重。在国内挂篮设计中多采用轻型挂篮，箱梁内模已开始采用滑模施工，这就大大节约了模板并确保了混凝土的浇筑质量。

采用悬臂浇筑法施工时，每一浇筑梁段的施工程序大致可分为以下几个阶段：

1. 移动挂篮
2. 安装底模与普通钢筋及竖向预应力钢筋
3. 浇筑底板混凝土
4. 安装侧模与腹板钢筋及纵向预应力管道