

公路桥涵工人丛书



T型刚构桥

吴昌期 编
李永铎

人民交通出版社

公路桥涵工人丛书

T 型 刚 构 桥

吴昌期 李永铎 编

人 民 交 通 出 版 社

公路桥涵工人丛书

T 型 刚 构 桥

吴昌期 李永铎 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 6.125 字数: 137 千

1981 年 1 月 第 1 版

1981 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3,700 册 定价: 0.66 元

内 容 提 要

本书系统叙述了预应力混凝土T型刚构桥的施工。对桥梁箱形块件的预制、出坑、存放和运输,以及悬臂拼装、预施应力等方面,都有详细介绍。此外,并扼要说明了T型刚构桥悬臂浇筑法施工的要点和安全操作。

编写过程中,参考了五河淮河大桥的施工技术资料和其它有关资料。本书可供公路和城建部门的桥梁技术工人和技术人员使用参考。

目 录

第一章 概说	1
第一节 T型刚构桥的发展过程	1
第二节 T型刚构桥的构造	4
第三节 T型刚构桥的施工方法	9
第二章 块件预制	16
第一节 预制场布置	16
第二节 制梁方法	21
第三节 模板作业	26
第四节 钢筋作业	35
第五节 浇筑混凝土	38
第六节 管道成型	45
第七节 0号块施工	52
第八节 块件养护	57
第三章 块件出坑、存放及运输	62
第一节 定位器与隔离层	62
第二节 出坑吊机	67
第三节 块件出坑	73
第四节 块件的检查与整修	77
第五节 块件运输	79
第四章 悬臂拼装	87
第一节 悬臂吊机	87
第二节 块件拼装工序	97

第三节	湿接缝.....	101
第四节	胶接缝.....	107
第五节	悬拼病害及防治.....	125
第五章	预应力施工.....	138
第一节	预应力锚具及钢材加工.....	138
第二节	预施应力的机具设备.....	147
第三节	施加预应力.....	153
第四节	管道压浆.....	164
第六章	T型刚构桥的悬臂浇筑法施工.....	171
第一节	施工托架.....	171
第二节	施工挂篮.....	173
第三节	施工主要工序.....	184
第七章	安全操作.....	187
第一节	块件吊运的安全要求.....	187
第二节	环氧树脂施工的安全要求.....	188
第三节	预施应力操作的安全要求.....	189

第一章 概 说

第一节 T 型刚构桥的发展过程

T 型刚构桥是五十年代初期发展起来的预应力混凝土桥梁建筑结构。

二十世纪三十年代以后，桥梁的建筑材料与结构性能、施工技术与设计理论等各方面均不断提高，预应力混凝土桥开始出现。首先是一九三七年德国建成了奥厄桥（25.2+69.0+25.2米）。此后，由于实践经验的不断积累和科学试验的广泛展开，这类桥梁越建越多，越来越显示出其优越性。

与二十世纪初期的主要桥型——钢桥相比，预应力混凝土桥不但能节约大量钢材，而且结构性能，如刚度、实际安全系数、行车振动情况等都较为优越。另外，它还具有建筑高度小、行车噪音小、维修工作量少、外形简洁美观等优点，因而得到了迅速的发展。

二十世纪中期以后，预应力混凝土桥从欧洲推广到世界各地。数量由几座发展到十余万座，跨度由几十米发展到二百多米。最近二十年来，国外修建的桥梁中，预应力混凝土桥占了大多数。尤其是非洲、拉丁美洲等一些发展中国家，为了减少从国外输入昂贵的钢材，都优先发展这类桥梁。就是工业发达的国家也在大量采用。初期，德、法、比利时等国发展较早。六十年代以后，美国、日本也加紧赶上。近几年来，日本的桥梁，特别是高速公路的桥和高架桥中，预应

力混凝土桥占桥梁总数的百分之二十以上。由于社会上要求消除噪音及主管部门要求减少日常养护工作量，所以预应力混凝土桥不但数量有了迅速的发展，而且技术水平也有了显著的提高。

大桥施工在深水大河中搭设支架，这是比较复杂而艰难的。为了解决这个问题，五十年代在国外采用了悬臂施工法。悬臂施工中的关键问题是悬臂平衡问题。保持悬臂在桥墩两侧的绝对平衡实际上是办不到的。施工时悬臂的平衡只是使两侧保持一定限额的差距。这样，桥墩就必须具备平衡这一差距的能力，即桥墩必须承受由于悬臂的不平衡而产生的不平衡弯矩。在这种情形下，就产生了悬臂梁与桥墩固结在一起的新桥型——T型刚构桥（图1-1）。

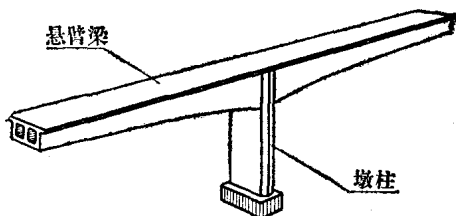


图1-1 T型刚构示意图

T型刚构桥的出现，使得预应力混凝土桥能更好地适应悬臂施工这一先进方法。因此，各国竞相采用。五十年代至六十年代，T型刚构桥在欧洲各国发展很快，风行一时。

但是，T型刚构桥体系也有其缺点，即在营运若干年后，会在铰点处产生折角、变坡，不利于行车。主要原因是日照温差、混凝土徐变、钢筋徐舒等因素所致。另外，这种体系的下部结构承受很大的弯矩，用料较多。因此，近年来，西欧各国已较少采用，而转向连续梁、连续刚构或斜张桥。

当这种体系在欧洲几乎被放弃的时候，相反，日本却建造了很多大跨度的 T 型刚构桥。其中，一九六四年架设了跨度为 160 米的天草二号桥。一九七二年架设了跨度为 230 米的浦户大桥——当时世界上最长跨的预应力混凝土桥。一九七五年和一九七六年又建成了跨度分别为 236 米和 240 米的彦岛大桥与滨名大桥。保持了预应力混凝土桥最大跨度的世界纪录。

为了处理好铰点处产生的折角、变坡，日本的 T 型刚构桥几乎都是在主孔跨中设一剪力铰，而两侧几个边孔则采用连续 T 构。这样做，独铰处的变形可以较小，设计时可以 将桥梁纵坡的变坡点设在铰处，以使变形只反映在纵坡度的减缓上，并不给行车带来不利，也不影响美观。而且跨中设铰，还可以比连续 T 构节省。

我国从一九六五年开始建造预应力混凝土 T 型刚构桥。第一座是跨度为 50 米的河南省五陵桥。一九六五年在江苏省盐河桥进行了 T 构悬臂拼装试验。盐河桥跨度为 33 米，二个 T 型双悬臂，中跨用剪力铰连接，边跨为自由悬臂。每个悬臂分成八段，根部与端部一段为现场浇筑，用以调整预制拼装所产生的误差，其余各段则采用预制悬拼。块件吊装重量为 20 吨。

此后，T 型刚构桥的发展很快，相继建成了二十多座。跨度最大的乌龙江大桥共有四个 T 构。江中两个 T 构双向悬臂均长 55.5 米，端部两个 T 构河向悬臂长 55.5 米，岸向悬臂长 52 米。悬臂之间采用跨径为 33 米的挂梁连接，组成 144 米跨径的主孔。刚构与桥台之间采用跨径为 6 米的搭板连接，组成 58 米的边孔（图 1-2）。乌龙江大桥的建成，为研究和发展预应力混凝土 T 型刚构桥积累了资料。一九七七年建成的五河淮河大桥，主孔跨径 90 米，预应力钢丝束全部采用

暗管，块件预制悬拼。在防止暗管串浆、控制拼装挠度、长管穿钢丝束和低温涂环氧树脂等施工工艺方面，积累了一些经验。

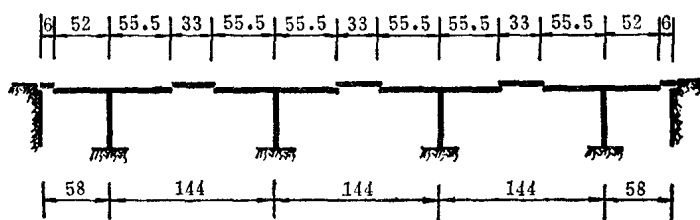


图1-2 乌龙江桥桥型简图

1980年初合拢的重庆长江公路大桥，总长1100米，主孔跨径174米，反映了我国桥梁建设的新水平。

第二节 T型刚构桥的构造

T型刚构桥由悬臂梁与墩身刚性联结组成。

T型刚构桥按各跨之间的连接形式又可分为铰接T构与T型悬臂加吊梁（或称挂孔）两种不同的体系（图1-3）。

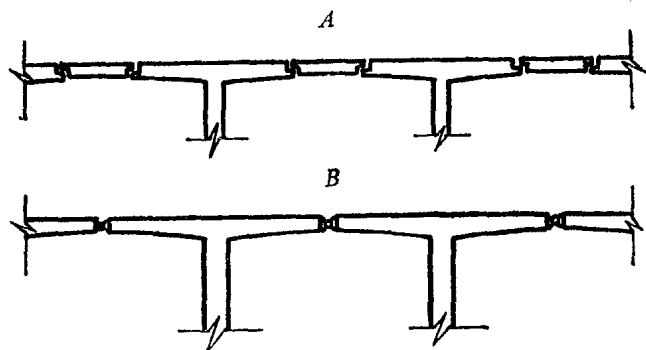


图1-3 两种不同体系的T型刚构
A-T型悬臂加吊梁；B-铰结T型刚构

铰接 T 构属超静定体系。悬臂与悬臂在跨中以剪力铰相连。这种体系的刚度和稳定性都比较好。施工也较方便，仅需一套吊装设备，施工工序少，可以一气呵成，但施工精度要求比较高。否则，易造成中间铰的合拢困难。剪力铰构造亦比较复杂。在缺乏资料和经验的情况下，对于桥梁建成后由于日照、温差、混凝土收缩与徐变等影响而产生的变形和次应力较难准确掌握。材料用量与 T 型悬臂加吊梁体系相比，也不一定经济。

T 型悬臂加吊梁为静定结构体系。虽然在刚度和稳定性方面不如铰接 T 构，但它受力明确、构造简单、施工方便，变形较易控制和调整。我国近年来修建的 T 型刚构桥大多采用这种体系。

T 型悬臂加吊梁体系的吊梁跨径选择是否恰当，对桥梁的经济指标有决定性的影响。选择吊梁的合理长度，必须考虑下列各种因素：

- (一) 全跨主要材料的用量；
- (二) 施工吊装能力及施工技术水平；
- (三) 跨中建筑高度对桥梁纵坡及桥下净空的影响；
- (四) 在可能情况下，尽量做到吊梁与引桥跨径相一致，以利模板周转，简化施工。

根据对悬臂梁与吊梁经济关系的理论分析和已建桥梁的实践，吊梁跨径与总跨径之比 (a/l) 最经济者约为 0.37。而 a/l 在 0.2~0.5 之间时，用料经济指标相差不超过 5% (图 1-4)。

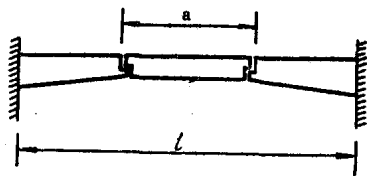


图 1-4 总跨径与吊梁跨径经济比率图
a—吊梁跨径，l—总跨径

通常，当跨径较大时， a/l 的选择倾向于较小值，以免

吊梁过重不便安装；跨径较小时， a/l 则倾向于选择较大值，以使悬臂施工得以简化。

悬臂梁的纵断面主要尺寸是梁体的根部高度、端部高度及梁高的变化方式。悬臂根部的负弯矩最大，适当加大根部的梁高可以节约顶板的预应力钢束。端部的梁高需配合挂梁决定。一般情况下，梁高可参考下列数值选定（图1-5）。

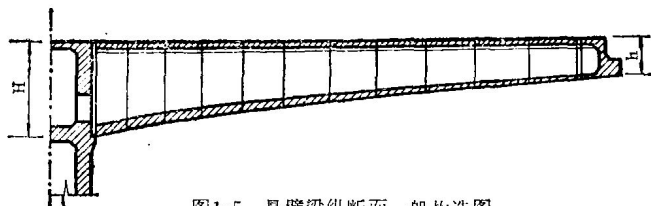


图1-5 悬臂梁纵断面一般构造图

H -根部梁高， h -端部梁高

$$\text{根部} \quad H = \frac{l}{20} \sim \frac{l}{16}$$

$$\text{端部} \quad h = \frac{l}{45} \sim \frac{l}{60}$$

式中： l ——总跨径（米）。

梁底曲线的型式主要考虑受力和外型美观。从理论上分析，箱梁承受均布荷载时，其梁底曲线以直线为宜；变高度梁在其自重作用下的梁底曲线，以二次抛物线为优。由于刚构悬臂梁恒载往往占全部荷载的80%以上，而恒载中又以自重为主，故梁底曲线应以接近直线的凹曲线为好，如半立方抛物线或圆曲线等。

T 构悬臂梁的横截面常采用箱形。箱形截面刚度大，整体受力性能好，且能保证在不大的高度范围内有足够的受压区面积，从而节约钢材。挂孔吊梁一般选择 T 型截面。

悬臂梁箱形横截面根据桥梁宽度的不同，有以下几种（图1-6）：

- (一)单箱单室;
- (二)单箱双室;
- (三)双箱单室;
- (四)双箱双室;
- (五)多箱单室。

对于2~3车道的桥面,多数采用一、二两种形式。双箱单室虽有分块小、吊装重量轻的优点,但整体性较差,桥梁纵向中心线易产生裂缝。

在桥面很宽的情况下,可将箱梁分成两组,互相分离,

如图1-7。此时,施工可以分两组进行,但在人行道和栏杆等静载及活载的偏心作用下所产生的扭矩全部靠各组箱梁本身的抗扭刚度来承担,不能利用桥面板的剪力。双箱分离式的桥面中缝可设置分车带。若分车带高出桥面,对于机动车与非机动车混合行驶的桥梁,特别是城市桥梁,就不能发挥整个行车道的作用。若分车带不高出桥面,仅以漆线表示,则桥梁的纵缝施工精度要求高。因此,对于这种宽桥的两组箱梁,可以在桥面板和端横梁内设置横向预应力筋,构成整体。

确定顶板、底板及肋板的厚度要考虑以下因素(图1-8):



图1-7 两组分离的箱梁布置图
d-两组箱梁间距

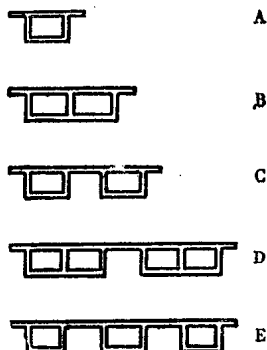


图1-6 悬臂梁横截面形式图

- A-单箱单室; B-单箱双室;
- C-双箱单室; D-双箱双室;
- E-多箱单室

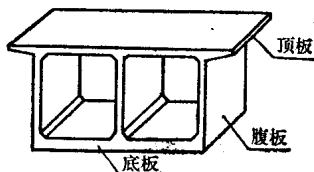


图1-8 箱梁节段

一、顶 板

顶板即车道板。其厚度应根据腹板的间距、有无人行道、所配预应力钢材的种类来确定。为了适应预应力钢束的布置及锚固的需要，顶板厚度要20厘米以上。顶板悬臂长度一般为1~3米。

二、底 板

底板不直接承受荷载，板自身的弯矩、剪力亦很小。底板要有足够的厚度，以承受箱梁下侧受压区的压应力。较厚的底板可以使箱梁断面重心位置下移，加大梁的断面模量。这对受力是有利的。远离根部的底板厚度应逐渐减薄，使端部底板达到最低限度，以减少梁的自重弯矩。

梁体根部底板厚度一般为根部梁高的 $1/10 \sim 1/12$ ，并可参考下式选定。

$$d = \frac{l}{200} + 5$$

式中： d ——梁体根部底板厚度（厘米）；

l ——总跨径（厘米）。

端部底板厚度考虑到构造的要求，一般最少应为15~20厘米。

三、腹板(又称肋板)

腹板厚度由桥的跨径及桥宽等因素决定。当桥的跨度很大时，为减少梁的自重弯矩，要求越薄越好。但 越是大跨径，所需预应力钢束就越多，因而在构造上要求腹板有一定厚度。同时，跨径大，梁高，为了使混凝土灌注密实，对腹板厚度也有一定的要求。但端部腹板的厚度却应尽量减薄，

以减少自重弯矩。因此，常采取腹板从根部至端部逐渐改变厚度的方法来解决这个矛盾。也可以在根部腹板中布置斜钢筋，将主拉应力控制在容许值以内，但这样做，施工比较复杂。

综合考虑上述因素，腹板厚度一般取25~40厘米。

在T构中埋设预应力钢丝束有明槽和暗管两种方式。

我国早期修建的几座T型刚构桥，大多把钢丝束布置在块件顶板上的明槽内，其优点是施工工艺简单，避免了复杂的制孔工序，穿束也很方便，对施工精度要求不高。但是，明槽存在着许多不易克服的缺点，主要是明槽内的混凝土在钢丝束张拉后填筑，没有预压应力。而明槽又处于箱梁的受拉区，所以在营运过程中极易开裂，桥面渗水使钢丝锈蚀，对桥梁的使用寿命有很大影响。此外，明槽施工时，钢丝束长期外露，也易受大气侵蚀生锈。明槽混凝土体积大，加大了桥梁自重，使混凝土和钢材用量要增加10%左右。暗管可以克服明槽的上述缺点，但暗管施工工艺较复杂，在孔道成型、拼装对孔、防止压浆串孔等方面，都存在一些施工技术上的困难。1971年在乌龙江大桥施工中进行了暗管悬拼试验，摸索了一些经验。1977年在五河大桥和盱眙大桥施工中，全面采用暗管悬拼工艺。通过实践，基本上解决了暗管悬拼的工艺技术问题。

第三节 T型刚构桥的施工方法

T型刚构桥一般都采用悬臂法施工。采用悬臂法施工能节约大量支架工程，加速桥梁建设速度，好处很多。因此，不但T型刚构桥施工采用悬臂法，其它桥型如悬臂梁、连续梁、拱、斜张桥等各种体系的桥梁，均可采用悬臂法。近二

十年来，预应力混凝土桥梁飞跃发展，除了由于钢与混凝土材质的提高、结构计算方法的改进、大型电子计算机的出现等多种原因以外，施工方法的改进也是一个重要的原因。现代桥梁施工中采用的膺架、推顶、转体、整体吊装等各种方法中，悬臂法施工采用较为普遍。

悬臂法施工的适用范围很广。如：

- (一)深而宽的河流或山谷；
- (二)桥下的环境不宜设立支架的地方；
- (三)通航频繁，要求施工不中断通航的河流；
- (四)须建高桥墩的平原或水库；
- (五)会发生洪水猛涨的大江大河；
- (六)桥下有建筑物的住宅区或风景区。

使用悬臂法施工，较易建造 100 米以上跨度的桥梁。所以对一般河流或山谷，在绝大多数情况下，皆可省去最困难的深水或深层基础。这样，就可以显著地降低工程造价，减少施工的复杂性。

悬臂法施工近年来发展迅速，不仅是因为它的运用范围广，造价经济，而且其受力性能也比较合理。它充分利用了预应力混凝土能抗拉和承受负弯矩的特点，将跨中正弯矩转移为支点负弯矩。实际施工中，最困难的跨中将通过悬臂法转移至支点，还可以用支点的扩大截面承受施工与运营的最大弯矩。

悬臂法施工，通常又分为悬臂浇筑与悬臂拼装两大类。

悬臂浇筑法是用挂篮（即悬吊模架）就地分段浇筑，待每段混凝土养生并张拉加力后，再将挂篮前移，以供浇筑下一节段之用（图 1-9）。悬臂浇筑的每个节段长度不宜太大，一般 3～4 米，特大桥也不超过 6 米。因为节段太长，一方面将增加混凝土自重与挂篮结构的重量，另一方面还要相应

增加平衡重。当这~~些~~之和过大时，由施工荷重产生的内力可能超过营运时的内力，因而会加大钢筋的用量，这是不符合经济原则的。

悬臂拼装是将预制好的节段，悬吊于梁位上逐段拼装。一个节段张拉锚固后，再拼装下一节段

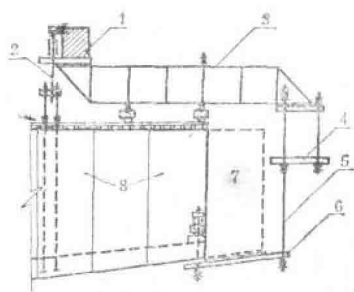


图1-9 悬臂浇筑示意图

1-平衡重；2-锚杆；3-挂篮桁架；4-张拉工作台；5-前吊杆；6-底模架；7-待浇梁段；8-已完成梁段

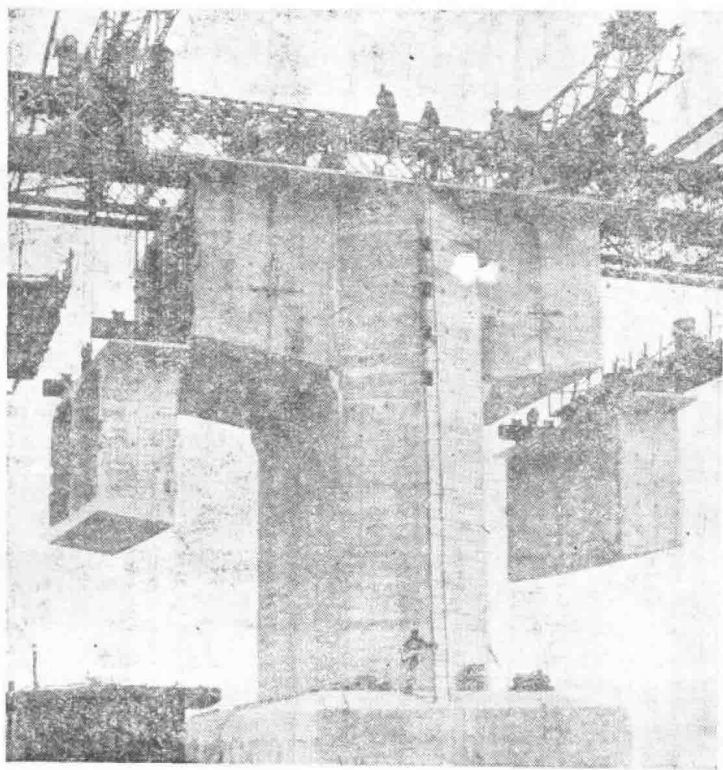


图1-10 悬臂拼装图