

# 铁路先张法预应力混凝土梁设计与制造

平复强 李开基 王振华 编著  
应飞龙 吴仁友  
李铁岩 审

中 国 铁 道 出 版 社

1993年·北京

# 铁路先张法预应力混凝土梁设计与制造

平复强 李开基 王振华 编著  
应飞龙 吴仁友  
李铁岩 审

中 国 铁 道 出 版 社

1993年·北京

(京)新登字063号

内 容 简 介

本书在总结先张梁实践经验的基础上系统地介绍了先张梁的设计、施工工艺及设备、产品试验和运用条件以及技术经济比较,全面反映了铁路先张梁的新技术。该书图文并茂,叙述简捷、准确,重点突出,系统性强。

可供铁路、公路桥梁设计、施工管理技术人员及高等院校有关专业师生参考。

铁路先张法预应力混凝土梁设计与制造

平复强 李开基 王振华 编著  
应飞龙 吴仁友  
李铁岩 审

中国铁道出版社出版、发行  
(北京市东单三条14号)

责任编辑 冯秉明  
各地新华书店经售  
中国铁道出版社印刷厂印

---

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 7.25 字数: 178千  
1993年12月 第1版 第1次印刷  
印数: 1—1000册

---

ISBN7-113-01473-9/TU·314 定价: 8.35元

## 序 言

《铁路先张法预应力混凝土梁设计与制造》是我国铁路第一本关于先张法预应力混凝土梁的书，它无论是对总结过去还是对开创未来都是很有意义的，我为此深感欣慰。

1928年法国的E·弗莱索(Ereyssinet)用高强度钢丝(极限强度1760mpa)来预加应力，尝试不用锚具而掌握裹力把钢丝和混凝土结合在一起的先张法。这就是先张法预应力混凝土的开始。

我国铁路预应力混凝土梁的制造工艺是从后张法开始的，经过两年多的生产实践之后，人们认为后张法预应力混凝土梁制梁工艺复杂，而用先张法制梁可省去预成孔用的铁皮管(我国50年代生产的后张梁，埋在梁内的套管用的是镀锌铁皮，用量很大)和锚固预应力钢丝束用的锚具。在制梁工艺上可免去孔道压浆和封堵头等后期工艺，还可免掉因孔道摩擦而引起的预应力损失，故1958年开始进行先张法预应力混凝土梁的研制，工艺上学习国外经验，采用高强度钢丝连续配筋的制梁台车流水机组法。在梁的构造上，由于预应力钢丝不能自锚，采取了在钢丝束需要切断的地方设置埋入式锚头(MT锚)，锚头以外的钢丝束用沥青麻布包裹后形成与梁体混凝土的隔离层以放松该区段的预应力，同时为保证梁的抗弯性能，在跨中区段以外加设预应力钢筋。1958~1963年共试制了20余孔跨度24m、32m的先张法预应力混凝土梁，由于其制造工艺和梁体构造上都还存在些问题，因而没有得到发展。

1968年以后，在推动先张梁发展的技术路线上突出了三个问题：一、抓住国产预应力钢材的发展，利用预应力筋自锚的可能，简化梁体构造；二、抓住预应力体系的发展，开创新的制造工艺体系，简化工装，立足推广；三、科学地确定铁路先张法预

应力混凝土梁适用于跨度为20m以下的合理范围。

在梁的构造上,1969年研制一孔跨度16米以65MnSiV $\Phi$ 16mm)粗钢筋为预应力筋的跨度16米梁用于津浦线上;1973年以7 $\Phi$ 5钢绞线为预应力筋的跨度16米梁试制成功后,1975年开始编制跨度10m、12m、16m、20米的供全路使用的铁路先张法预应力混凝土梁标准图,在工艺不断更新、完善的情况下,得到了较大范围的推广应用,1981年以45MnSi2V精轧螺旋钢筋为预应力筋的先张法预应力混凝土梁研制成功后,为先张梁的发展,改善结构和简化工艺提供了新的途径,但限于材料供应,目前我国铁路先张梁使用的预应力筋还是以7 $\Phi$ 5钢绞线为主。

在工艺工装上,先张法制梁的主要特点是在设备上要有一个能提供高吨位预张力的张拉台座,继框架型的中心压柱式台座之后,1975年建成了张拉吨位为1200t的偏心压柱式固定台座和与整拉整放工艺配套的工装取得成功,1978年又建成了张拉吨位850t的端部平衡重下卧式的中心压柱式台座,既方便施工又大大减少了固定式台座的混凝土圪工量;1981年又试用成功了小横梁梭式台座。进而1985年提出发展现场流动制梁的目标之后,拆装式台座型式有了较大的发展,使台座结构型式进入了新的发展阶段,继箱型断面压柱式台座之后,发展钢管混凝土的偏心压柱式台,即做到了使台座各部位受力合理,又便于施工作业,同时作到了轻型和拆装灵活。以张拉台座为主的工装轻型化、装配化和制梁工艺的标准化,解决了先张法预应力混凝土梁推广使用的主要矛盾。放张模块的研制成功简化了放张工艺,以及“QM”锚具的引用,实现单拉整放工艺,使预施应力工艺更简单、更准确、更安全、更可靠了。还应指出,工具拉杆及工具钢丝束的改进,钢绞线连接器的改进及高强度螺旋钢筋的应用等都为节约钢材,提高工效等起了重要的作用。

先张法预应力梁的推广工作,得到铁道部各级领导的重视,在《铁路主要技术政策》中,明确提出了“中小跨度桥梁优先采用预应力混凝土结构”的要求。到目前为止据不完全统计,全路

# 目 录

序 言	
第一章 概 述	(1)
第二章 铁路先张法预应力混凝土筒支梁的设计	(8)
第一节 一般说明	(8)
第二节 基本规定及截面尺寸	(10)
第三节 抗裂性计算	(35)
第四节 使用阶段计算	(35)
第五节 运输及架设阶段计算	(39)
第六节 跨度16m梁算例	(43)
第三章 流动制梁场设计	(52)
第一节 场地选择及规模	(52)
第二节 场地平面布置	(58)
第三节 制梁设备和劳力组织	(62)
第四节 制梁场建设各类指标	(64)
第四章 先张梁张拉台座的设计与施工	(67)
第一节 台座的类型	(67)
第二节 台座的构造	(73)
第三节 台座的设计原则	(85)
第四节 台座的计算	(93)
第五节 先张梁台座的施工	(133)
第五章 预施应力	(138)
第一节 张拉机具	(138)

第二节	张拉机具校验	·····	(165)
第三节	张拉工艺	·····	(170)
第六章	模    板	·····	(179)
第一节	模板的基本要求	·····	(179)
第二节	模板的结构与制造	·····	(180)
第三节	模板的安装与拆模	·····	(187)
第四节	胶囊的应用	·····	(192)
第七章	混    凝    土	·····	(195)
第一节	混凝土的搅拌和灌注设备	·····	(195)
第二节	混凝土的配制与灌注	·····	(197)
第三节	混凝土的冬季养护	·····	(203)
第八章	产品验收和静载试验	·····	(206)
第一节	产品验收	·····	(206)
第二节	静载试验	·····	(208)
第九章	桥梁存放与装车	·····	(215)
第一节	移梁与存放	·····	(215)
第二节	装    车	·····	(217)

# 第一章 概 述

铁路先张法预应力混凝土梁较之后张法预应力混凝土梁发展是比较晚的。50和60年代主要是研究、试制阶段。到了70年代在跨度为20m以下的简支梁领域先张法预应力混凝土梁从设计到施工工艺取得了一系列实用性成果，并得到了推广和应用。

## 一、先张法预应力混凝土梁的特点

钢筋混凝土梁，由于混凝土的抗拉强度低受拉极限变形小，与钢筋工作状态不相适应，以致过早地出现裂缝。这是钢筋混凝土梁的一个根本弱点。混凝土出现裂缝时的受拉极限变形值在 $0.1 \times 10^{-3}$ 左右，在正常工作状态下，钢筋应力达到容许应力时的相应变为 $1.0 \times 10^{-3}$ 左右，大大超过混凝土的受拉极限变形值，因此钢筋混凝土梁是按受拉区混凝土开裂不承受拉力但限制裂缝开展宽度（主力时小于或等于0.2mm，主力加附加力时小于或等于0.25mm）进行设计的。在钢筋混凝土梁中无法采用高强度钢筋而采用高强度钢筋却是节省钢材降低造价的有效措施。预应力混凝土梁的出现就是为了解决这一矛盾。利用混凝土抗压强度较高而抗拉强度低的特点，采用高强度钢筋在混凝土梁的受拉区预先施加压力，造成人为的应力状态，当荷载作用时，利用此种抗压应力去平衡由于荷载引起的大部分或全部拉应力，从而使梁在荷载作用下保持全截面受压状态或拉应力受限定的开裂。这样就能充分发挥高强度钢筋和混凝土的材料性能。

预应力混凝土由于施工方法的不同主要分为先张法与后张法两种。先张拉钢筋而后浇筑混凝土称为先张法。先浇筑混凝土而



后张拉钢筋称为后张法。用两种张拉方法生产的梁与普通混凝土梁相比具有共同的优点，也分别具有不同的特点。总的说来。先张法预应力混凝土梁与普通混凝土梁相比有以下优点：

1. 能够提高并控制梁体的抗裂度，提高了梁的耐久性。对于钢筋混凝土梁，它只能用限制钢筋应力或者再进一步采用变形钢筋等办法，消极限制裂缝的开展。而预应力混凝土梁却能够按照人们的要求，通过施加大小不同的预应力，控制开裂度。

2. 由于采用高强度钢筋，对于同样跨度的梁预应力混凝土梁可比普通钢筋混凝土梁节约钢材20~40%。

3. 提高了梁的刚度。通过对梁体预加一定的应力，使整个截面在使用荷载下都参加工作。所以刚度比只有截面中部分混凝土参加工作的钢筋混凝土大；在承受重复荷载时，应力变化幅度也小，抵抗疲劳的性能也随之提高。

4. 材料强度高，截面小，自重减轻，有利于运输和架设。

5. 在预加应力时，相当于梁体经受一次高应力状态的检验，能够预先检验梁体材料和施工的质量。

6. 由于先张法工艺需要一个专门的台座。一个台座通常按一次生产两片梁设计，必要时也可再长一些，因此如生产先张梁首先要对台座投资。但先张法的施工工序比较简单，它与后张法比较，可以减少形成管道，管道压浆以及梁体封端等工序，可以缩短梁体制造周期。同时由于先张法使用的锚具是工具锚，可以在一定次数内重复使用，节约了后张法预应力混凝土的锚具和垫板。

先张法的工艺限制了它的应用范围，它不如后张法那样对各类桥梁具有更良好的适应性。在大跨度桥梁和连续梁及其他结构形式目前都采用后张法工艺。而先张法仅限于中小跨度简支梁这一范围。

## 二、先张法预应力混凝土梁的设计

1958年当时后张法预应力混凝土梁的生产遇到两个比较麻烦

的问题，一是白铁皮管材料供应比较困难，二是担心这种管道在结构上会遗留下缺陷，为此在研究解决后张法工艺的同时研究、试制先张法预应力混凝土梁才提到了议事日程。设计工作针对跨度23.8m和31.7m的梁。1958年7月在丰台桥梁厂制造出第一片直线配筋的23.8m先张梁。以后在这方面科研、设计、生产单位做了大量工作。但是由于在流水机组台车上生产先张梁，下缘是先张法，上缘还要配后张法预应力筋工艺复杂加之出现一些裂纹，所以这种先张梁没有得到推广。双向预应力直线配筋的先张法预应力混凝土梁，在当时技术条件下因预应力箍筋的预应力值不能保证，也没有得到推广。至于折线配筋的先张法预应力混凝土梁，施工比较困难也没有推广。

1967年铁道部下达了援坦的小跨度混凝土梁的设计任务。68年8月铁路专业设计院编制了直线配筋的先张法预应力混凝土梁设计图。该图预应力主筋采用热轧高强度 $\phi 16\text{mm}$ 的65MnSiV粗钢筋。1969年6月在津浦线固镇大桥上架设了第一孔梁。为我国小跨度铁路桥梁采用长线法生产工艺生产先张法预应力混凝土梁打下了基础。但是由于原材料的原因，没有大量推广。

1973年由专业设计院，北京铁路局昌平构件厂，铁道科学研究院铁建所，北方交通大学建筑系组成的三结合组，采用7 $\phi 5$ 钢绞线作为预应力筋设计的16m先张梁通过了静载抗裂及破坏试验。1975年开始编制先张梁的标准设计图，在全路推广。1981年铁道科学研究院铁建所、铁道部第三设计院、铁道兵6012厂、铁道兵科研所重新试制出主筋采用45SiMnV精轧螺旋钢筋的先张梁，并正式投产。路内一些其他单位也自行设计了不同类型的小跨度先张梁。

目前所使用的设计图均为直线配置预应力筋，而且都布置在梁下翼。为逐步减少梁端的预加应力值，采取措施使梁端一定长度上的预应力筋与混凝土相隔离。预应力的传递均靠预应力筋与混凝土的握裹力来实现。用于工程实践的梁已有十余种型号，常

先张法预应力混凝土梁的主要技术参数

表 1-1

图号	梁别	梁高 cm	混凝土		钢筋总用量 t	每孔梁重 t/孔	张拉总吨位 t	注
			标号	数量				
专桥 2082	8m 直 8m 曲	55	50	14.01	0.758 0.883	2.341 2.595	39.8	1650
专桥 2082	10m 直 10m 曲	70	50	17.66	0.9898 1.037	4.228 4.377	50.73	1580
专桥 2082	12m 直 12m 曲	85	50	22.14	1.117 1.229	0.979 1.031	63	1580
专桥 2080	16m 直 16m 曲	110	50	32.2	1.686 1.906	6.753 7.217	90.2	1870
专桥 2081	8m 直 8m 曲	125	40	14.64	0.192 0.230	2.589 2.743	41.4	430
专桥 2081	10m 直 10m 曲	140	40	19.15	0.330 0.377	4.328 4.533	54.6	580
专桥 2081	12m 直 12m 曲	155	40	23.85	0.503 0.559	5.017 5.250	67.4	720
专桥 2066	16m 直 16m 曲	190	40	35.57	0.88 0.953	6.594 6.908	98.8	940
叁标桥 2020	16m 直 16m 曲	160	40 50	31.93	1.131 1.282	5.035 5.344	88.6	1150
叁标桥 2024	20m 直 20m 曲	135	50	47.7	2.814 3.190	9.852 10.363	131.4	2290
专桥 2043	16m 直	110	50	32.2	1.433	5.416	90.2	部分预应力
专桥 2078	16m 直	190	40	35.57	0.733	4.895	98.8	部分预应力
充石桥通 (粗钢筋)	16m	110	50	34.2	IV级钢筋3.43	6.85	96	

用的见表 1—1。

### 三、先张梁制作

先张法预应力混凝土梁需要在专门的制梁台座上制作。而且这种台座都十分笨重。在先张梁大批量生产的早期，多采用固定的钢筋混凝土台座。故当时先张梁除生产工艺与厂制后张梁不同外，都需要经由铁路运到架梁现场。只有当一次制梁次数足够多时，在靠近桥位的地点先做一个制梁台座，再就地生产先张梁在经济上才是可行的。由于台座一次投资较大，又不能拆迁在一定程度上限制了先张梁的推广。为疏解铁路运输压力，也为先张梁自身的发展，使其更能替代普通钢筋混凝土梁，设计、施工部门曾不断研究各种制梁台座的结构形式。但都限于在长线法生产（每个台座一次生产两片以上）和下翼直线配筋这个范围。折线配筋工艺和高度机械化生产的短线法生产工艺在国外已在采用，但是在我国铁路系统尚未做这方面的尝试。

先张梁大量的应用在20m以下跨度的简支梁，尤其以16m，12m为最多。按常规24m以上的梁都是工厂制作，由工厂运到工地架梁。20m以下多为在现场就地浇筑普通钢筋混凝土梁。在用先张梁替代普通钢筋混凝土梁的初期，由于没有拆迁式制梁台座所有的先张梁都需要在固定制梁厂制造。这无疑增加了运输量和造桥费用。经过多年的努力1980年由铁道部第三工程局首先制出了拼装式钢台座，并在广一深线实现了流动制梁，取得了相当大的社会、经济效益。以后相继推出了拼装式钢管混凝土台座等其他适于现场条件的制梁设备。现场制作先张梁需要设置制梁厂。制梁厂的设置取决于多种条件和因素。在孔数很少的桥址设一个制梁厂从经济上往往是不合理的，多大范围内设一个制梁厂？最佳运梁半径是多少？以及建厂的规模和设备都是大家所关心的课题，这一工作也取得了一些科研成果，本书给出的求最佳运输半径的公式可提供如何分析和处理这一问题的思路。

除制梁台座外，在先张梁制作中，张拉设备和张拉工艺占十分重要的地位。常用的几种张拉方式见表 1—2。

常用张拉方式比较表

表 1—2

顺号	张拉方式	主要程序	优缺点
1	单 调 整 拉 整 放	YC-60顶单束初调 320t大顶整体张拉 大顶整体放松	张拉次数少； 放张时需先超拉，再放松
2	单 拉 千 斤 顶 放 松	YC-60顶单束张拉 大顶整体放松	设备同①，张拉次数比①多；不用大顶张拉，相对较安全。
3	单拉（或部分整拉） 模块放松加千斤顶放 松	YC-60顶单束张拉（或大 顶先拉出一部分伸长值） 先用模块放松一小部份应 力，再由大顶放松余下的 应力。	增加了模块设备， 放张时不需超顶。 适于模块放张量不足的 台座。
4	单拉 模块放松	YC-60顶单束张拉， 用模块放松全部应力。	用模块代替大千斤顶设 备少。无超顶放张问题

注：YC-60顶可用YC-70顶或其他型号代替。

对于用精轧螺旋钢筋做预应力筋，需先进行钢筋冷拉，以提高其屈服强度。表中所给的各种方法都是可行的。可按本单位现有设备情况和台座设计，工期等因素全面比选。

先张梁生产的各种主要生产工艺流程基本相同，如制定模板、绑钢筋，灌筑混凝土等。主要流程如下：

安设支座板<sup>立端模</sup>→预制钢筋骨架和塑料管就位<sup>立端模</sup>→设置预应力筋<sup>回到0.5f<sub>y</sub></sup>→预应力筋超拉至 $0.8R_{f_y}$ →立侧模→绑桥面筋→立档渣墙模板，安装泄水孔管<sup>立模端</sup>→预应力筋张拉到 $\sigma_k$ →灌

筑混凝土 → 养生  $R_s > 30 \text{MPa}$  → 拆侧模  $R_s > 0.85R$  → 放松张拉力，切断预应力筋 → 移梁到存梁场 → 梁部封端，做防水层。

但因为采用的张拉设备不同，在预施应力的方法上各有区别。

## 第二章 铁路先张法预应力混凝土简支梁的设计

### 第一节 一般说明

为便于制造及养护维修，先张法预应力混凝土梁的梁高与钢筋混凝土梁一样都采用普高系列、中高系列以及低高系列，以便于与钢筋混凝土梁互换。目前小跨度梁标准设计仍采用分片式结构，整孔梁对制造、运输和架设都较分片式有优点，但整孔梁存在着道碴槽宽度处理问题，而且对先张梁而言，制梁时所需的张拉力要比分片式大一倍，因此台座设备要加强，目前尚未普遍推广使用。先张梁的型式、跨度及梁高情况见图2—1及表2—1。另外铁路先张法预应力混凝土梁有“全”预应力与部分预应力两种。

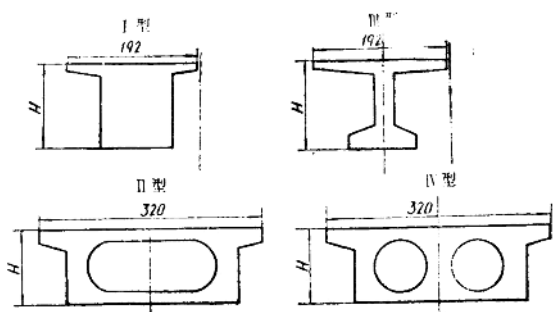


图2—1 先张梁的各种截面型式图。

道碴桥面先张法预应力混凝土梁类别表

表 2—1

图 名	专桥 2081	专桥 2081	专桥 2081	专桥 2066	盆 桥 2020	专桥 2082	专桥 2082	专桥 2082	专桥 2080	专桥 2033 2056	专桥 2027	专桥 2094	专桥 2043	专桥 2078
高度系列	普高系列				中高 系列	低高系列				低高 系列	低高 系列	低高 系列	低高 系列	普高 系列
预应力 类别	“全”预应力				“全” 预应力	“全”预应力				“全” 预应力	“全” 预应力	“全” 预应力	部分 预应力	部分 预应力
跨度 $L$ (m)	8	10	12	16	16	8	10	12	16	16	16	20	16	16
梁全长 $L_0$ (m)	8.5	10.5	12.5	16.5	16.5	8.5	10.5	12.5	16.5	16.5	16.5	20.6	16.5	16.5
类 型	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	I	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
梁高 $H$ (cm)	125	140	155	190	160	55	70	85	110	110	110	135	110	190

铁路的梁都是按照承受同一个活载，即中活载进行设计，并分直线梁和曲线梁两类。其中曲线梁：低高度梁适用半径  $R \geq 600\text{m}$ ，普通高度梁适用半径  $R \geq 300\text{m}$ ，但也考虑在特殊困难地段上  $R \geq 250\text{m}$  的要求。曲线梁的梁上线路可按平分中矢法  $f_1 = \frac{f}{2}$  或切线法  $f_1 = 0$  进行布置。曲线上最大超高不大于  $150\text{mm}$ 。

预应力筋的配置：预应力筋的配置可以有直线配筋和折线配筋两种方法。从结构的合理性来讲以折线配筋为宜，折线配筋可以使接近梁端的部分混凝土接受预剪力，不但有效地控制斜裂缝的出现，而且可以使为承担主拉应力或为提高斜截面抗弯抗剪强度而设置的普通钢筋大为减少。但是折线配筋梁有一个最大的问题就是使张拉设备复杂化，并增加了施工操作上的麻烦。先张梁的施工不应当一次只打一片梁，否则会很不经济。纵使是一片梁，如采用折线配筋，力筋也要经过几次转折，对预应力的损失和准确性都会带来较多的技术难题。这些问题有待于施工技术的发展逐步解决。目前标准设计采用直线配筋。

采用直线配筋的先张梁，由于梁上翼缘未设预应力钢筋，因此梁上翼缘的拉应力往往成为设计的控制条件，尤其是跨度  $1/4$



左右至梁端这一段《桥规》规定在传力锚固时梁上缘拉应力  $\sigma_{st} \leq 0.7R_1'$ ，运送及安装阶段  $\sigma_{st} \leq 0.8R_1$ ，因此要求逐渐减少梁端部分的预加应力值。采取绝缘的办法可以使梁端一定长度上的预应力钢筋的预加应力由于钢筋与混凝土相隔离失去粘结作用而消失。“绝缘”可以有几种办法，经过比较从绝缘效果上和从经济指标上看，以采用塑料套管为宜（标准设计中采用的塑料管的规格是内径 $\phi 19\text{mm}$ ，外径 $\phi 25\text{mm}$ 的硬质塑料管）。

根据以上介绍的特点，本书设计部分仅限于以钢绞线及冷拉Ⅳ级钢筋为主筋、直线配筋、“全”预应力及部分预应力的简支式铁路先张法预应力混凝土梁的主梁设计（未含桥面板的计算，因它与钢筋混凝土梁是一样的），也未介绍主拉应力、剪应力及斜截面计算（仅介绍正截面），也未包括端部局部应力计算及端块应力计算等，对架桥机仅介绍架设吊点也未介绍各种架桥机吊梁产生的轴重、架桥机所在梁的允许拨道量以及允许轴重等项目计算。

## 第二节 基本规定及截面尺寸

### 一、先张法预应力混凝土梁的混凝土标号

一般不宜低于 C38号混凝土的标号、极限强度及弹性模量应按表 2—2 及表 2—3 采用。

混凝土的极限强度MPa

表 2—2

强度种类	符 号	混 凝 土 标 号				
		C58	C53	C48	C43	C38
抗压（棱柱体强度）	$R_c$	42	38.5	35	31.5	28
拉 抗	$R_t$	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6

### 二、在先张法预应力混凝土梁中，宜采用下列类型的预应力