



预制拼装桥

尹德兰 编著

中国建筑工业出版社

预制拼装桥

尹德兰 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

预制拼装桥/尹德兰编著. —北京: 中国建筑工业出版社,
2016. 11

ISBN 978-7-112-19924-2

I. ①预… II. ①尹… III. ①桥梁设计 IV. ①U442.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 231071 号

预制拼装桥

尹德兰 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

唐山龙达图文制作有限公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 5¼ 字数: 154 千字

2017 年 3 月第一版 2017 年 3 月第一次印刷

定价: 22.00 元

ISBN 978-7-112-19924-2
(29404)

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)

这是为桥梁工程师编写的书。本书不是系统的桥梁理论，不是具体的计算步骤，也不对桥梁结构和预制拼装的基本概念做详细的介绍。本书的内容是作者收集整理预制拼装桥梁的设计方法、构造细节、施工工艺的成果集成。在面对一个实际的桥梁设计项目时，从事桥梁设计的工程师可以根据本书介绍的内容，为业主选择合适的结构形式，从而缩短工地施工的时间；从事桥梁施工的工程师可在本书中找到合适的施工工艺，降低整体施工成本；从事桥梁制造的生产商，可参考本书的某些内容与施工承包商联手开发特殊的桥梁预制单元，实现业主的特殊要求。

责任编辑：张伯熙

责任设计：李志立

责任校对：王宇枢 张 颖

前 言

桥梁是基础设施建设中，必不可少的基本组成部分。无论是城市还是乡村，只要修路，就必定要架桥。大跨度、特殊结构形式的桥梁，是工程师关注最多的桥；针对某些特定环境设计的景观桥梁，是吸引大众眼光最多的桥。而普通的中小跨度桥梁，是连接城市与乡村的不同等级公路上最为常见的桥梁。这些桥梁无论是数量，还是总长度，都是桥梁中的绝对多数。这些桥梁结构形式和施工方法的模块化和标准化，对于桥梁整体的建设、管理和养护，都有不可忽视的影响。

中小跨度桥梁设计的标准化，也是桥梁设计精细化的一个必要手段。美国于 20 世纪 50 年代开始，启动“乡村到市场”（Farm to Market）的公路建设计划。这个计划也开启了桥梁的标准化和精细化设计管理，形成了中小跨度桥梁从设计、制造、施工、养护和管理的一整条产业链。简化了桥梁设计过程，也使得众多的小型设计公司得以生存和发展；标准化和精细化的产业流程，有效地保证了建设管理的质量。“他山之石，可以攻玉”，发达国家成熟的工程经验，可以为我们提供借鉴和参考。

标准化和精细化的设计，不必是高深的计算分析，不必是前沿的科研成果，而是一丝不苟的构造细节，准确细致的尺寸控制，环环相扣的施工步骤。这些将体现在本书介绍的构件设计和接头构造中。在 BIM 技术的协助下，构件设计和接头设计都可以借助计算机的帮助，实现构造和施工流程最大程度的“仿真”。

新型城镇化进程，不是将乡村、原生态的郊外变成高楼林立，道路拥堵的城市，而是将城市的教育、文化娱乐、医疗服务延伸到乡村。这种延伸可以使得乡村远离都市的喧嚣，保持大自然的宁静，又享有都市文明的便利丰富。便捷通畅的道路是要实现城镇化最基本的保证。在这样的道路上架设桥梁，最重要的功能就是快

捷、低价、易维护更换。预制拼装桥将作为最合适的结构，在中国的深层次城镇化建设中，发挥不可忽视的作用。

工程实践是灵活多变的，尽管预制拼装技术中十分强调模块化、标准化，但具体到每一个项目，都需要工程师因时因地、创造性地利用本书介绍的知识。本书的最后部分是参考文献的列表，对某些具体工艺有兴趣的读者，可以通过参考文献获取更多、更详细的资料。

建筑产品供应商也可以从本书中了解预制拼装桥梁的特殊要求，例如适合在工厂配置浇筑的高性能混凝土、用于工地构件拼装的钢筋机械接头等，从而有针对性地开发产品。

本书介绍的案例都有特定的设计、制造和架设条件，在参考使用这些案例时，需要工程师根据实际情况进行核算。

在网络电子时代，书中的照片许多取自电子文档和网页。其中，很多图表资料来自参考文献中提及的研究报告。在这些报告的扉页，有英文字样：Reproduction of completed pages authorized（授权允许文档的复制）。在此，笔者对于这些研究机构允许无限制使用成果资源的慷慨表示深深的敬意和由衷的感谢。

本书附录中的计算实例由桥梁工程师李瑞超完成。书中的文字和插图等诸多烦琐事务是请李岳高级工程师协助完善，笔者在此一并致谢。

本书的出版得到了重庆市自然科学基金重点项目（项目号：cstc2012jjys3003）资助。

尹德兰
2017年2月

目 录

前言

1 历史回顾	1
1.1 预制混凝土桥	1
1.2 节段混凝土桥	5
1.3 中国的混凝土桥	6
1.4 预制拼装钢桥	10
1.5 预制拼装结合梁桥	13
1.6 小结	13
2 应用概述	14
2.1 优势	14
2.2 预制单元	19
2.3 应用	24
2.4 景观考虑	26
2.5 经济效益评估与决策	27
2.6 招标管理	31
2.7 小结	37
3 材料	38
3.1 概述	38
3.2 混凝土	38
3.3 预应力材料和结构钢筋	42
3.4 接头材料	45
3.5 小结	50
4 上部结构构件	51
4.1 概述	51
4.2 决定桥跨布置的因素	51
4.3 常用的主梁截面	52

4.4	整体性考虑	61
4.5	AASHTO LRFD 活荷载与中国公路 I 级活荷载	63
4.6	预制钢梁	66
4.7	预制混凝土桥面板	69
4.8	上部结构整体单元	70
4.9	上部结构单元模块的研发	72
4.10	小结	74
5	下部结构构件	75
5.1	概述	75
5.2	桥台	75
5.3	桥墩	77
5.4	预制拼装墩柱模块化	82
5.5	钢结构盖梁	84
5.6	预制拼装结构的抗震性能	85
5.7	预制拼装墩柱的两个实例	86
5.8	小结	89
6	上部结构构件的连接构造	90
6.1	概述	90
6.2	桥面板系统	90
6.3	桥面板与主梁的连接	96
6.4	主梁沿纵向的连接	104
6.5	主梁与横向连接系的接头	107
6.6	主梁的对接接头	109
6.7	预制组合单元的连接	111
6.8	小结	112
7	下部结构构件的连接构造	114
7.1	概述	114
7.2	墩柱节段的接头	114
7.3	盖梁节段的接头	116
7.4	墩柱与盖梁的接头	118
7.5	墩柱与基础的接头	121

7.6	桥台的接头	122
7.7	连接设计要点	124
7.8	小结	127
附录 A	手算算例	128
A1	预应力混凝土 X 箱梁桥的总体描述	128
A1.1	截面尺寸	128
A1.2	路面宽度及斜交角度	128
A1.3	桥梁跨径	129
A2	标准跨径主梁计算	129
A2.1	截面及跨度信息	129
A2.2	横向分布系数计算	131
A2.3	冲击系数计算	131
A2.4	恒荷载计算	132
A2.5	活荷载计算	132
A2.6	承载能力极限状态计算	133
A2.7	正常使用极限状态计算	134
A2.8	结论	137
附录 B	软件计算算例	138
B1	计算参数	138
B1.1	主要技术指标	138
B1.2	主要材料及力学参数	138
B2	计算荷载取值	139
B2.1	永久作用	139
B2.2	可变作用	139
B3	结构静力分析结果	140
B3.1	横向分布系数计算	140
B3.2	结构分析模型	141
B3.3	结构静力分析结果	142
B3.4	结论	149
名词、名称索引和翻译		150
参考文献		155

1 历史回顾

无论是中文的“预制”，还是英文的 Prefabricated 一词，使用频率最多的是在土木工程文献中。“预制”是一种建造方式，即事先在构筑物现场之外的场地制造结构部件，运至构筑物现场进行拼装。换言之，在“预制”施工过程中，大批量运送到构筑物工地现场的是“构件”（Elements, Components）而非“材料”（Materials）。用通俗的语言来描述，就是：“将工地的事放到工厂做，将空中的事放到地上做”。

1.1 预制混凝土桥

预制构件通常用于混凝土结构，与“现浇”（cast in place，即 CIP）相对应。“预制”混凝土桥梁和预应力混凝土桥梁几乎是同时出现的。当桥梁的主要构件——主梁是采用先张法施加预应力时，通常的做法是在工地之外另设主梁预制场，主梁的制造是一系列的标准化作业，即：

平场——立模——预应力钢筋张拉——浇混凝土——养护至拆模

将预应力混凝土主梁的截面模块化、标准化，选择一个原材料供应丰富、具备良好运输条件且用地相对便宜的地方，建造固定的预制场地，就成为与钢桥制造厂类似的混凝土桥梁厂。

普遍认为，预制混凝土桥始于二战前期的英国。在 1943 年，当时的英国战时运输部分别为伦敦地区和苏格兰铁路公司（London, Midland and Scottish Railway，即 LMSR）以及伦敦和东北铁路公司（The London & North Eastern Railway，即 LNER）制造了一批混凝土标准截面梁（305mm×700mm 的 I 形梁，和 470mm×686mm 的箱形梁）。从 1948 年起至今的几十年间，预制混凝土桥的工厂化规模发展，在欧洲大陆和北美洲大陆有

着相似的轨迹。

在英国,自 1948 年至 1973 年间可以称为“百花齐放”时期。这期间多家混凝土构件制造商竞相开发生产了近 10 种标准混凝土桥的主梁截面,这些截面基本是倒 T 形、工形、箱型和 U 形四种,以及在此基础上的一些变体。主梁截面高度是 250~560mm,跨度是 3.35~41.5m。

1973 年,英国成立预应力混凝土协会(the Prestressed Concrete Association, PCA),开始了预制混凝土桥梁的标准化时期,预制混凝土桥梁的标准化进程又可以分为两个主要内容:标准化的预制混凝土主梁和标准化的预制桥梁。以 PCA 为主体,联合材料供应商、构件制造厂、研究机构和设计机构等,共同推广包括设计、制造、施工和材料等一系列的标准化规范,达到经济、可靠、快捷的设计成果。值得一提的是,这个时期所采用的标准截面梁还得到了英国皇家艺术委员会在美观方面的认可。

在这一期间,英国的预制混凝土主梁截面增加了一种 Y 形截面,是较原有的 M 形截面在设计、制造和耐久性方面有所改善的一种可以适用于不同跨长的新型截面,其梁高范围是 550~2000mm,跨越能力从 7.5m 增加至 45m。

大规模的建设完成后,桥梁的使用养护成为重点,全寿命使用性能开始在业界得到重视。工程师从“如何设计经济的桥梁”转变为“如何使桥梁持续保持良好的使用性能”。业界逐渐认识到采用整体连续的桥梁构件设计,能有效减小大量使用化雪盐和重载车辆导致的桥梁病害。因此桥梁构件的整体连续特性也成为这个时期预制混凝土桥的一个主要特征。

欧洲大陆其他国家的预制混凝土桥标准梁截面与英国所采用的截面十分接近。德国相对独特,预制混凝土桥梁大多采用后张法。

预制预应力混凝土在 1949 年进入美国,迅速成为桥梁建造最为常用的材料。美国的第一座预应力混凝土桥诞生于 1949 年,由比利时工程师古斯塔夫·马哥奈尔(Gustave Magnel)设计,位于宾夕法尼亚州的费城,主梁是 I 形截面,后张法施加预应力,跨度 47m。遗憾的是施工时预应力梁灌浆不足,几年后不得不拆除。

20 世纪 50 年代是美国预制混凝土构件发展日新月异的时期。作为当时的新材料、新工艺, 7 丝钢绞线、化学添加剂、早强混凝土、工厂化的预应力张拉技术、蒸汽养护流程等得到广泛应用, 混凝土预制工业在美国随之迅速发展壮大。据统计, 到 1958 年, 美国已拥有超过 200 家混凝土预制工厂。

与此同时, 配合由美国国家高速公路和交通运输协会 (AASHTO), 预制/预应力混凝土协会 (PCI) 主导研发标准化预应力主梁截面, 美国各州交通厅都结合当地的需求, 联合研发机构、制造商等, 开发出一系列的标准化主梁截面, 以适应不同的跨度、上部结构高度、运输条件等的桥梁设计。美国各州交通厅在采用标准梁截面设计方面做了许多努力。例如, 针对标准梁截面开发特定的计算软件, 提交给所有为交通厅设计桥梁的咨询工程师使用; 研发标准图, 保证所有的咨询工程师提交给预制预应力混凝土构件制造厂的设计信息完全一致。同时交通厅也负责根据 AASHTO 规范的修订, 及时修改标准梁的计算软件和图纸尺寸、配筋细节等。受运输条件的限制, 这些预制预应力梁的跨度一般不超过 45m。见图 1-1。

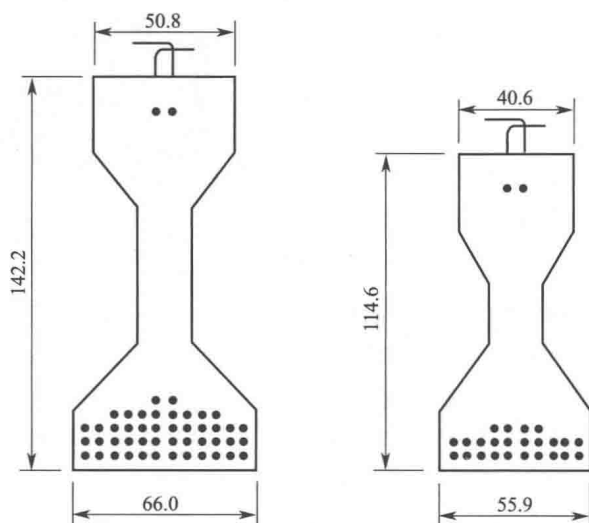


图 1-1a I 形预制梁桥 (典型截面)

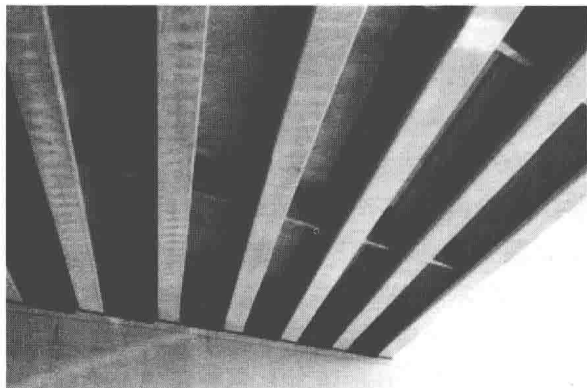


图 1-1b 预制 I 形梁桥（仰视）

自 1990 年起，美国全国范围内的大多数桥梁都已服役近 40 年，许多结构都面临更新换代，日益增多的交通又使得旧桥改建的交通疏导成为大问题。为了解决这一问题，美国联邦公路署（FHWA）和 AASHTO 大力推广桥梁的工厂预制、工地拼装这一施工技术，其目的是加速现场施工过程，减少现场施工对道路交通的干扰。

同时，桥梁构件的工厂化制作有利于构件的质量控制和高性能混凝土的应用；易于制作轻质、高强的构件，从而改善结构的耐久性，获得整体的经济效益。预制构件包括预应力混凝土桩、预应力主梁（通常截面为工字形、空心矩形）、空心或实心板梁、桥面板单元等。同时，桥梁构件的预制从最普遍的上部结构

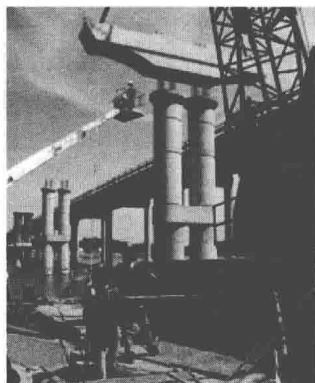


图 1-2 预制混凝土盖梁
(来源: [http://www.fhwa.
dot.gov/hfl/ralls.cfm](http://www.fhwa.dot.gov/hfl/ralls.cfm))

延伸至上部结构。在美国各州出现了采用预制承台、预制盖梁（图 1-2）、预制墩柱（图 1-3）、预制桥面板乃至整座桥预制的工程案例。预制构件的连接件、运输机械和吊装机械等相关行业也得到

了相应的发展。



图 1-3 预制混凝土墩柱 (来源: <http://www.fhwa.dot.gov/hfl/ralls.cfm>)

1.2 节段混凝土桥

节段 (segmental) 混凝土桥是箱形截面混凝土梁桥的另一个名字。与前面提到的截面通常不超过 2m、而长度可达 45m 的预制主梁相比, 箱形混凝土主梁施工时, 其浇筑单元是长、宽、高三维尺寸相差不大的节段, 因而常常称为节段混凝土桥。当浇筑节段集中在现场之外的异地完成, 梁节段经由运输和吊装就位时, 就成为混凝土节段预拼桥。节段预拼桥的各部分吊装就位后, 用后张法施加预应力。

以主梁为预制单元的混凝土桥梁, 由于受运输条件的限制, 通常跨度在 45m 左右, 混凝土节段预拼桥梁的跨度可以超过 100m。与多片工字梁相比, 箱形梁由于上部结构的封闭性和整体性, 具有很好的景观效果, 见图 1-4。

世界上第一座节段混凝土桥梁建于 1950 年, 当时的联邦德国在巴尔杜因施泰因 (Balduinstein) 的兰河 (Lahn River) 采用分段现浇施工, 建成主跨为 62m 的预应力混凝土桥。

在 1962 年, 法国在塞纳河上建成三跨连续预应力混凝土箱梁桥, 它是第一座混凝土节段预拼桥, 跨度布置为 $34.8\text{m} + 61.4\text{m} +$

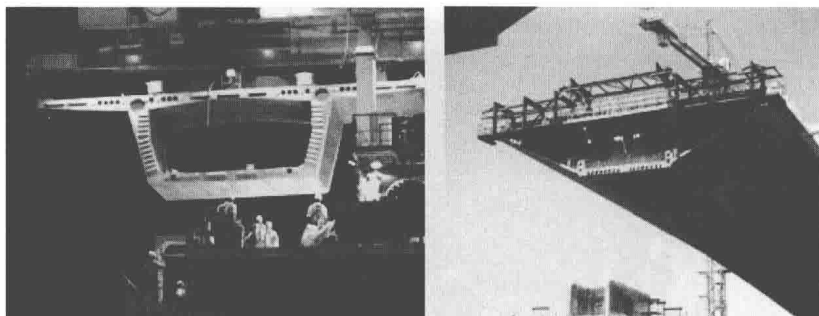


图 1-4 混凝土箱梁节段预制

34.8m，采用节段预拼施工方法，成功缩短了施工工期。

习惯上，节段桥梁是指上部结构箱梁节段。实际上，沿着构件轴线，将构件分割成若干的部分，都可以称为“节段”。例如，下部结构墩柱也可以分段预制，成为预制节段。

1.3 中国的混凝土桥

中国的第一座预制混凝土桥梁是陇海铁路线上的新沂河桥，于 1956 年建成。新沂河桥全长 691.7m，由每跨 23.9m 的等跨度 T 形简支梁构成，共 28 跨。所有的 T 形梁都在位于当时尚属北京近郊的丰台桥梁厂生产，经铁路运至现场，用悬臂式架桥机架设。这是中国铁路桥梁工厂化和标准化的开端，丰台桥梁厂也成为当时铁道部预应力混凝土桥标准化主梁最重要的生产基地。随后开发的 32m 预应力混凝土简支梁成为铁路建设中应用最为广泛的标准梁，见图 1-5。

典型的 32m 标准 T 形梁单线铁路桥由两片预制 T 形梁构成。梁高 190cm，梁的外侧上翼缘向上突出，形成道砟槽。腹板内侧沿着梁纵向设置横隔板，待主梁架设就位，连接两片梁的横隔板使之成为整体，以保证结构的整体稳定。

在早期的小跨径（6~12m）铁路桥中，也常见到 II 形梁。这种截面形式的梁有很好的整体稳定性能，在预制、运输、堆放、安

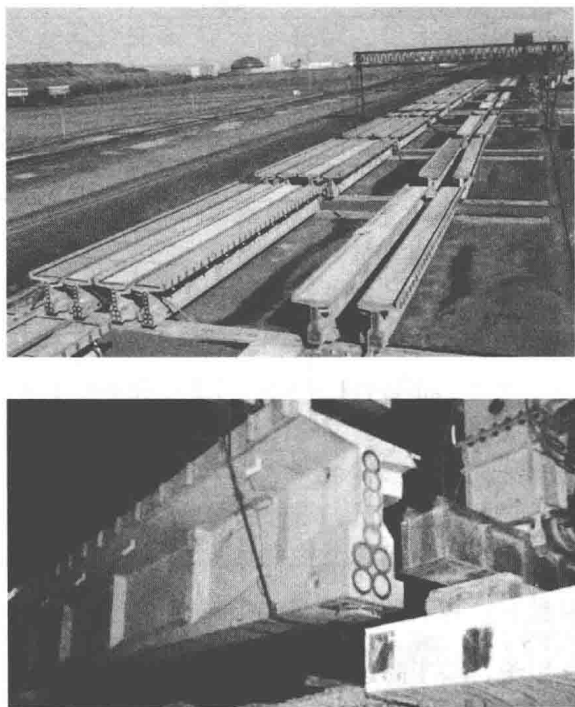


图 1-5 预制混凝土 T 形梁（上：预制厂；下：吊装就位）

装等方面都较 T 形梁方便。但是 II 形梁的制造相对复杂，另外与 T 形梁的简支梁桥相比，单线 II 形梁桥有四片腹板，梁端有四个支点，对支座的安装精度要求很高。因为支座的安装精度必须保证同一片梁的四个支点反力均匀，否则会在梁内产生附加力。

长期以来，中国铁路 T 形梁一直采用定型设计产品，每个跨度的梁外形尺寸是确定的。在 20 世纪末，为适应高速铁路和铁路客运专线的建设需要，相关部门经过多年的设计经验和工程实践的积累，进一步对原有的标准设计进行修改完善，以适应中国铁路列车行车速度提速的要求。目前正在使用的标准图有《时速 160km 客货共线铁路预制后张法简支 T 形梁》和《时速 200km 客货共线铁路 T 形梁》，跨度有 32、24、20、16、12m 5 种，梁体混凝土强度等级为 C55。

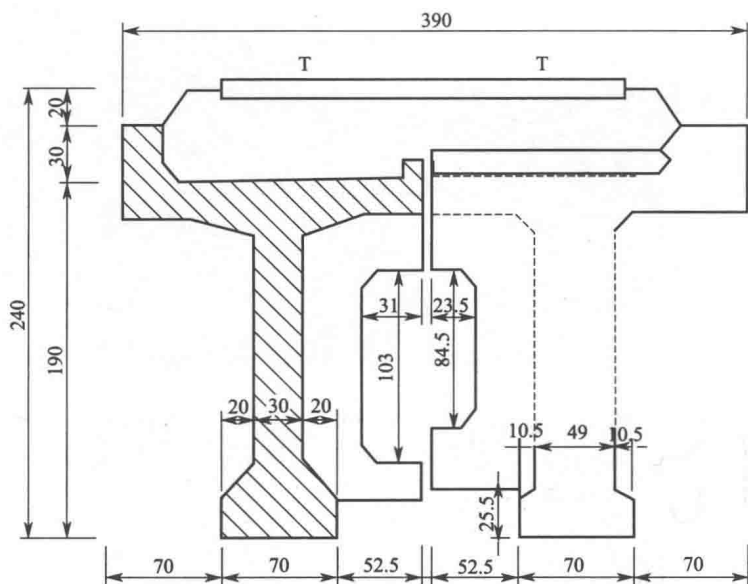


图 1-6 用于单线铁路桥截面预制混凝土 T 形梁

进入 21 世纪，基于高速铁路客运专线对建设工期，列车运行的平稳、乘车舒适度等要求，简支箱梁以其优良的竖向刚度、横向刚度和抗扭刚度而在高速铁路中得到广泛应用。

用于高铁客运专线的预应力混凝土箱梁，大部分桥梁的施工都采用大型架桥机整跨吊装，如图 1-7 所示。

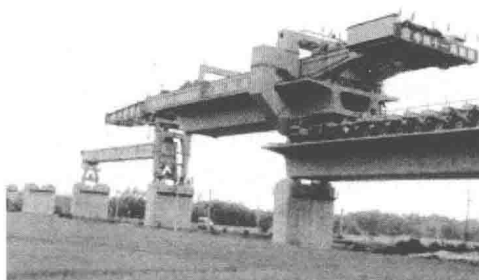


图 1-7 架桥机整跨架设预制混凝土箱梁

(来源: <http://szb.peoplerrail.com/>)