

摘自：《中国公路建设指南》2002 版

大型混凝土预制梁桥机械化施工新技术

刘亚滨 BRUNO MOGNON

二零零一年十一月

大型混凝土预制梁桥机械化施工新技术

今天，世界上桥梁技术发展迅速，桥梁的结构也在多样化。特别是由于桥梁架设施工技术的发展，促使各类桥梁的架设质量与速度不断提高，由于近年来高速铁路，高速公路，轻轨交通和城市高架立交的蓬勃发展，大型混凝土预制架桥的建设越来越多。相应的预制梁桥架设和机械化施工技术也日新月异。

预制梁桥的设计构思与架设备的设计紧密结合，使适宜架设备的设计服务于桥梁设计师的要求，或者对已有架设备进行改进，使其适应各种新桥的架设施工，这是当今架桥施工机械与施工技术发展的特点，意大利 PAOLO DE NECOLA 公司在此方面成绩斐然，一些桥梁施工公司借助这些设备和技术成功地以流水作业方式完成许多桥梁的架设。

1. 基本特点

采用预制梁架设桥梁的主要目的是便于机械设备的使用和缩短施工周期。

- 桥梁上部结构施工可做为一个施工段或设一个标段，应单独由一个施工单位承担，并且与预制梁场同为一个施工组织。
- 一座桥设 1 个或 2 个预制梁场，1 个预制梁场供应最佳施工区段单向可达 10 公里，在预制梁场配自动化制梁模板，生产整孔箱梁，工梁或分段梁。
- 当修建桥墩的同时，建造预制梁场，预制梁场设置应考虑运梁设备的出入并能驶上桥梁。一旦预制梁场附近的桥墩完工，则可以开始组织架梁设备进入现场。
- 制梁工作应最先开始，当架设施工开始时，所有工作均可在墩上作业，有时也可从桥下运送预制梁。
- 从钢筋成型，编制网架，浇铸成型，施加预应力，蒸汽养护，脱膜，沿桥上或桥下运梁至架设位置，用架桥机安置梁体到位，各工序连续进行，成为一个不停顿的流水作业工场。
- 当完成一孔架设工作后，架桥设备移至下一工位，而此时制梁和运梁工作仍在连续进行。

整个过程中，几个要素必不可少。

- A. 采用自动化预制梁模板设备，制梁场设在桥上，或桥中。
- B. 使用与架桥机匹配的专用运梁机。
- C. 采用适宜的架桥机。
- D. 采用流水作业法组织施工。

2. 传统预制梁的机械架设技术及设备的多功能化。

至今，人们往往还采用传统 T 梁型或工字型预制梁修建混凝土桥，尽管这种桥已显得有些过时，不甚美观，但毕竟其技术难点少，设计简单。即使如此，与其相配的机械设备，也仍不断寻求完善和多功能化，以适应特种需求和更广泛的应用的价值。

这类架桥机主要特征是双主桁架，且常配有横移导轨，支腿总支架在桥墩部位，图 1. 的 150 吨步进式架桥与传统的架桥机在外型上没有太大的区别，但实际上，它都能满足多种特殊要求，这在中国上海徐浦大桥的施工中得以体现：

- 设计上充分考虑力学的稳定性和结构适应性，纵向架设坡度可达 5%，架桥机可采用两种喂梁方式，即后部喂梁和侧悬吊喂梁；架设施工可以不局限从桥的一端开始，而可分段作业，并且制梁的地点位置可有很大的选择余地（桥的两侧空地或桥头空地等处）。
- 吊梁小车上装有液压微调定位装置，可以保证在最后落梁阶段时，准确落梁，易于控制误差。
- 主桁架携梁前行。架桥机主桁架上的吊梁小车在满负荷时即吊着150吨重梁体时，主桁架能自行向前运动至下一桥墩，架支在新桥墩横移轨道上。在确认主桁架稳固住后，吊梁小车可吊梁运行至下桥孔位置。
- 主桁架水平摆转。在每个横移小车上主桁架基座下有一活动铰接机构，这可以使主桁架能进行水平摆转，与桥的纵轴线形成一个夹角，最大可达7°，因而可满足曲线半径800米的桥梁架设要求。
- 单侧桁架起落梁功能。在特殊情况下能吊起梁体150吨，并可准确落梁。
- 横移轨道支架和前后液压支腿可折叠。以适应横移轨道吊运及主桁架行进能在架好的桥孔上面越过，以保证架桥机可向桥的两个方向进行架设施工。
- 横移轨道支架可沿轨道调整，调整幅度为800毫米。这可以保证支架各锚固位置可以调整，以适应其它一些桥梁设计的锚固位置。

图 2. 为适应这种工字梁或 T 梁架桥方式，专用轮胎跨式运梁设备的使用具有极大优越性：

- 可集中制梁，利于现场制梁，专业化生产。
- 可不用轨道，缩短施工占地周期，操作灵活，利于加快施工速度。

运送工字梁和 T 梁有两种方式。一种为单车式，一台运梁车配上吊具就可运送一片梁，但吨位适于 80 吨以下的梁。另一种是用两台单车跨式运梁车联合运作吊运一片梁。由于运梁车运行性能十分稳定，即使在工地上运行，也一样保证安全可靠。见图 3—图 4。

T 梁和工字梁的预制比较简单，在现场制梁时，如果在预制模板上配上适宜的脱模机构，则会使制梁更具工厂化。

3. 大型整孔箱梁桥的施工技术及其设备发展趋向（50 米以下整孔箱梁）

近些年由于高速铁路，高速公路及轻轨交通的迅速发展，大型混凝土整孔箱梁桥的修建倍受青睐，采用大型整体箱梁架桥的优点在于：

- 结构的连续性。对一个桥孔而言，没有数个梁体组装连接上的技术问题。
- 梁的长高比（孔距与梁高的比值）较大，因而具有美学上的优点和广泛的应用前景。
- 减掉墩上现场浇铸工作，施工速度大大加快，从制梁开始到安装完成，可望每两天架设一孔（注：10米以上桥宽），尤其适用于几十孔以上的桥。
- 有降低混凝土和钢筋最低用量的可能性。
- 预应力结构在一开始就施加在整孔梁上，而不是限制在一部分结构上，（包括上部桥面板的预应力也可以同时施加）。
- 桥梁整体质量高，由于箱梁体和路面一次成型，因此桥梁架设完成后，几乎无需做后续工作就可投入使用。

- 梁的支座极少，仅为四个，可简化施工地的调整工作及日后的检查、维护和保养。

迄今为止，这种方法可适用 25~50 米，6~16 米宽的整体箱梁，桥梁纵向坡度 0.15%~3%，梁吨位最大已达 900 吨。

A. 整体箱梁的现场预制.

在现场附近设置预制梁厂，一般设在桥头或设在桥的中部，预制梁厂的地平面与桥面同一个水平面，以便运梁设备可直接进入预制梁厂，也有考虑预制梁厂的地平面与桥面不在同一个水平面上，但这将增加吊移设备，并且安全风险较大。

为使施工组织合理化，钢筋骨架编制预先进行。编制是在一个符合预制梁形状的特殊台架上进行，台架设在其它场地上。将整个钢筋结构按要求预先制作好，犹如钢筋笼一样，然后整体吊运至制梁模内，这样可大大缩短预制梁的时间。浇铸梁时先浇灌箱梁底板部分，然后将可移动的箱梁液压内模插入箱梁骨架内腔，各活动模板件由液压系统操作就位后，再浇铸整体梁。浇灌过程自始至终是连续进行的，一般为3--5个小时以上。（见图片）

在现场预制时，对此结构即可以施行预张拉也可以施行后张拉，施行一次性张拉时预应力大于2600吨。当然，施行预张拉可以得到最好的效果，能施加准确的力值和避免钢筋的外界腐蚀。因而，相应的端部拉力座装置要有相当的强度。为使拉力座装置的结构不至太庞大，而又避免其横向弯曲，沿拉力座装置的长度方向，相对于混凝土梁床设置许多加固点，并使箱梁的外模与拉力座装置本身相联，不会发生相对运动。

箱梁外模被制成固定的，相应的做一些地基处理，从而省去大量的构架，减少占用空间，以及避免已往外模所需的手动操作。脱外模时使用升降法，即用4个行程2米的千斤顶，顶推箱梁吊架，顶推高度取决于运梁设备能进入箱梁下部的空间，这种方法既简单安全，机械化程度也高，又不占据空间。

箱梁内模是可以运动的，由于梁体浇灌及蒸汽养护后，梁体会出现收缩，故箱梁内模的液压机构控制内模板回缩，而进行脱模。内模板可根据梁的截面特殊要求制成，并保证脱模后，沿梁的纵向从梁的内腔中脱出，即使梁端部的内腔为小截面环状筋板，而梁中部为大截面空腔时，内模也能纵向脱出。

B. 整体箱梁的运送.

巨大的梁体运送过程也是复杂而困难的。利用已架设好桥面运送预制梁显然是最安全、最经济、最简单的方法。但是在已架好的梁上通过，运梁设施及梁本身的重量总和已超过已架好的梁体重量，甚至远大于梁本身的计算动负荷。无限制降低运梁设备的重量是不可能的，如果想使运梁的总负荷低于梁体计算动负荷，这必将使梁体尺寸加大，这显然也不经济。

因而要求这个运梁系统的特征可归结为以下几点：

1. 设备重量要最小。不能在运梁车通过已架好的桥面时，对已架桥梁构成破坏威胁。
2. 尽可能将梁体大负荷分散，以减少作用在已架好的桥面上的集中负荷绝对值。
3. 为了将动态因素引起的负荷增加(动负荷)降至最低，运梁设备需要高弹性吸收能力(缓冲性能)。
4. 在不十分规则平顺的路面或轨道上行驶时，对作用在各轮子上的负荷应具有自动补偿能力。

5. 设备的外形尺寸要尽量小而紧凑，因为运送的巨大梁体要能够与架桥设备匹配，运梁设备越紧凑，架设梁的问题就越容易解决。
 6. 结构应简单，可靠性高，以降低损坏或故障的风险，因为一旦出现问题，将直接影响施工周期。
 7. 整个运动系统要均匀同步地运动，不能有加速、减速等一些危险因素作用在负载上，包括启动、停止、反向运动均需渐渐缓慢均匀地运动。
 8. 设备要能微动，微动的数量级要达到厘米级，这关系到准确进入架桥机和操作上的安全。
 9. 能适应曲线、纵向和横向坡道，纵向坡道甚至可能达到5%。
 10. 在启动和运行中，整个运动系统出现打滑、溜车将十分危险，应具有安全的制动保障系统。
- 为满足上述的这些特征要求，结构设计尤为重要。

采用传统的机械方法和通常的液压平衡系统的代表作是轮胎式大型运梁车(见图片)。其采用液压驱动与制动以保证运动的平稳性，多组轮胎使压强尽量均布，除了轮胎本身的弹性缓冲能力外，液压或橡胶缓冲装置也设计在结构中，以降低动负荷的影响。轮胎数量视情况而定，少则8个，多则30~40个。这种轮胎式的大型运梁车，在使用中相对比较灵活，其轮对转向也由液压系统控制。在运送600吨以下的梁体时，具有相当的优越性。

将运梁与架梁设备相结合构成多功能式的施工设备(见图)，则更具灵活性，施工组织也更易安排。当然这种设备体积及重量也相当可观，其液压系统也较复杂而且要求极高。两端的轮胎组可以自行做360°转动，液压驱动轮对进行前进、后退及转向。在现场制梁工地上，则要求制梁的内外模低于制梁厂的地平面，而制梁厂的地平面与桥面要在一个平面上，这样这台多功能的施工设备则可进行起吊梁体，运送梁体及架设梁体的各项工作。

使用轮轨式运梁车更具实际意义，除了可采用液压系统作为弹性缓冲及负荷补偿装置外，还可用一组橡胶环取代机械系统和弹性负荷补偿装置，犹如在钢轮之上加了一组软垫。各轮对的负荷补偿是自动的瞬间的，不会象机械液压系统那样会出现频繁的停顿动作。如果认定轨道的不规则性是厘米级的，则运梁设备动负荷变化体现在各轮子上时，可忽略不计。橡胶环本身还有较好弹性缓冲吸收能力，使动态因子接近至0。

这种运梁设备的动力驱动装置，或采用内燃动力牵引辅以液压驱动，或使用一组在水平纵向同速交替运动的高速大行程液压缸。由于使用液压缸驱动行进，其运动均匀连续滑顺，停止和启动可十分平稳，反向和小位移功能也可轻而易举获得。至于通过曲线问题，采用一些氯丁橡胶制的可转动支点及Teflon滑板而得以解决。

这个运送系统整体总成的重量很少，运送重量比仅为5:1，体积也很紧凑，其运动空间规范在已架好的箱梁两侧墙的上方。运动方向由轨道控制，运动阻力也相对很小。事实证明，对于运送700吨以上超大型箱梁是一种很理想的方式。

C. 整体箱梁的架设

适用于高速铁路桥，轻轨高架桥和高速公路桥的整体箱梁架设，梁型32~50米、9~16米宽的整体箱梁(无需横移)，纵合工作坡度可达0.15%~3%，梁吨位200~900吨，喂梁方式为后部(液压控制前、后支腿)，操控系统为电气与液压。按此施工方法可以达到一至两天完成一个桥跨的施工。按40米梁计，平均总的施工速度为30米/天，则有可能在三个月内完成一座三公里高架桥的架设任务。

方式1：简支桁架式架桥机

这种桁架式架桥设备设有三个支腿，中部及后部支腿可以自行向上折叠，见图 5。架桥设备能利用自身动力向前运动到下一桥位置。当预制箱梁从架桥机后部，被大型运梁车运到位，进行架设时，后架腿和中支腿交替折叠，使运梁车进入架桥机桁架下，并由架桥机上的吊梁小车将预制箱梁吊装到位。

该类架桥设备目前已可制成能架设 700 吨单箱单室复线梁。在意大利及南朝鲜已成功使用于架设 550~600 吨 25 米~32 米的预制箱梁。见图 6。

架桥机总重	340 吨
总长	70~75 米
总高	14 米
架桥机的横移量	±1 米
可架桥梁坡道	0.5%
最小曲线半径	600 米
吊梁小车 升降速度	5 米/分
运行速度	4 米/分

全液压控制吊梁运行及支腿动作 可架设 20~40 米梁。

这种架桥方式极简单，箱梁制造在预制场可以保证很高质量和精度，而在架设时只需控制落梁和安装的准确，施工速度极快。尤其对架设简支梁桥，则更显优越性。按流水作业方式计算，平均全部完成一孔桥的施工作业时间仅为 1~2 天。

尽管这种架桥机形式简单，但制造商还是对一些结构申请了专有技术保护。

方式 2： 导梁式架桥方式

这种方式设计的极为巧妙，架桥机分成上、下两个梁体，下梁为导梁，上梁为吊装梁。架设时，运梁车从后部行驶到两梁之间，此时上梁的后支腿先向折起，然后落下后支腿于已架好的梁体上。上梁的吊梁小车将梁体吊起，运梁车退出，此后下梁向前运动，让出梁体位置，上梁吊梁小车再将梁体准确放置。见图 7。该类架桥设备已制成能架设 900 吨大型箱梁的设备，在意大利已成功使用于架设 850 吨 25 米~40 米预制箱梁。见图 8。

总重	约 500 吨
总长	80~85 米
总高	约 15 米
两梁间静空高度	约 5 米
可架桥梁坡道	0.15%
最小曲线半径	600 米
吊梁机构采用液压爬升器	
全液压控制吊梁运行及支腿动作	
可架设 25~50 米箱梁。	

这种架桥方式因吊梁时吊梁机构和吊重并不大幅度纵向运动，所以极为安全可靠。且由于使用上下梁变换分担预制箱梁的重量，因此架桥机的承重梁不必很长，从力学角度看更趋合理。箱梁的安装容易控制，施工速度更快。如果按流水作业方式计，平均全部完成一孔桥的施工作业时间仅为 1~2 天。

这种架桥方式由于设计安全独特新颖，且更具有发展生命力，因而制造商已申请专利保护。

方式 3： 运梁架梁一体式吊运法

这种方式的典型设备为多功能架桥机。见图 9。它由两部分组成，一个为吊运架梁机，另一个为导梁。吊运架梁机的两组轮胎轮可以原地 360 转向，因此它可以纵横向任意运动，解决了在预制场内将箱梁从模体上吊出横行的问题。从制梁场（制梁场一般放在桥头或桥中部）到架梁位置的运梁过程，由吊运架梁车完成。吊运架梁车吊着梁体行驶到导梁上的一个小车上，然后，这个导梁小车与吊运架梁车一起向前运动至落梁位置。此时，导梁向前行让出落位置，进而完成准确的吊装。其可以架设双箱梁复线桥，也可架单箱梁单线桥。现在已在意大利用于架设 25~35 米双箱梁高速铁路复线桥。

最大吊运重量	350 吨
--------	-------

吊运架梁车全长	约 46 米
运行速度	5~8 公里/小时
总高	约 7.7 米
导梁全长	35~40 米
可分段横移	6 米以上
导梁高度	3 米
整机总重	约 460 吨
曲线半径	200 米
纵向工作坡道	3%
全液压动力驱动	

这种方式的最大特点是将运梁和吊梁设备合二为一，减少了施工设备的投入，因而使总成本下降了很大幅度。此外吊运架梁机的运动也相当自如，使运用人员倍感方便。但对吊运架梁机的驾驶操作人员要求较高。在施工中，吊运架梁机总是处于紧张工作中，因而也为维护保养工作加大难度。

其架设施工速度最快可达每天 2~3 个箱梁。因此，在正常运转下平均每 1~2 天可完成一孔双箱梁桥梁的全部施工工作。

方式四．双托桁架式架桥设备

此方式的特点是在墩头上设两个临时支托架，用以支承两套动力支腿，而支腿本身不影响梁体沿主桁架吊运（见图 ）。这两套动力支腿能自行移动，所以可迅速架设非等孔径的桥梁距墩。可架梁体的单重相对较小（300 吨以下），箱梁或分段梁的梁长 6~40 米。可架小曲线半径（120 米）的轻轨交通桥和立交桥。其主桁架比较轻巧。

4. 长大分段梁拼装桥的几种架设技术

使用分段梁拼装方法架桥为桥梁的结构形式提供了更宽的想象空间。

在桥梁施工现场预制梁体，使用自动化预制梁设备。钢筋骨架制作完后，吊运至制梁模内，箱梁内模板采用一套可移动的液压模板。内模板由动力装置拉进箱梁骨架内腔，然后各活动模板件由液压系统操控就位，此后浇注、加预应力、蒸汽养护等依次进行。梁被运走后，可将另一个已制好的钢梁骨架吊运入制梁模内，接着制作下一个梁。

由于使用机械化设备制造梁节，梁的尺寸精度和形状可以做得十分精确和美观，并可为分段梁之间结合提供保证。比如：两分梁的结合面采用啮合，搭合等方法，梁节重量也可达 120 吨甚至 300 吨，架桥平均施工速度可达 200 米/天 以上，是悬浇方法的 2~3 倍。

针对不同梁节块的尺寸大小，设计专用运梁车，设备使用灵活，可使施工简洁，方便和安全，工效大增（见图）。专用运梁车多采用单车跨式运梁车，采用四组轮，液压驱动。吨位及尺寸均可根据所运分段梁的大小形状而定，其轮压可控制一定范围内，以适应工地恶劣状况，行驶最大坡道 6%。目前，在城市桥梁施工中为减少现场占地时间，污染和交通压力，运梁车使用更具优越性。甚至部分桥墩的制作，也可采用预制方式。相应的运输车，也应运而生。（见图）

专用运梁车即可用于架桥机后部喂梁，也可进行桥下喂梁。当用后部喂梁方式时，吊梁小车上配备特殊吊具，使梁块在吊运时进行水平 90°转向。

拼装分段梁的架设设备，与分段梁桥的设计施工紧密相关（方案 2）。这可分为两类拼装法：

A. 第一类为单拼法，即将单个梁块安装就位，进行一次张拉预紧后，再进行下一梁块的拼装工作。一般从一个墩头两边同时开始连续拼装，直至与前一个悬臂合拢。当依次逐个安装就位至全孔径后，再进行全孔径二次张拉。单拼法中架桥机有二种方式。

A1. 架桥机的主桁架长于两个桥孔的长度。

在施工中其支腿总是支撑在桥墩的位置。这可以避免处于施工状态下的桥梁附加内应力。并且使桥跨拼装合拢与架桥机自身的位置变换的过程，以及在下一桥跨内分梁块的拼装架设均分开完成。（见图）

这种架桥机突出特点是自重较轻，且可架设孔径较大的桥。一台自重 220 吨的架桥机可拼装 100 吨以上的梁块，或者 200 吨的预制梁。其自身总长 138 米，而架设孔径为 38~65 米。

此外，主桁架可设计成两节，中间铰接两节桁架可水平偏转以架设曲线半径很小的立交桥。曲线半径可达 35 米。（见图）

A2. 架桥机主桁架仅长于一个桥孔的长度。

在施工中只保持一个支腿支撑在桥上，其它支腿可架在已架好的梁段上，或悬臂梁段上，并可伸出支承桥墩在悬臂梁下架设桥梁（见图）。

这往往取决于架桥机应用的场合，如，大型的架桥机架设 40~70 米孔径，分梁块 70 吨重的立交桥，或高架桥。而小型架设机架设 20~40 米孔径，分梁块为 20~50 吨的立交桥。这两个方式中，架桥机的支腿，可以根据使用状况变换位置，从而使架桥机应用于不同的桥梁架设。

B. 第二类为悬吊整体拼装法，即将全孔径的预制分梁块悬吊在主梁上，逐个进行拼装，全孔径梁块拼装后进行 30%~50% 预张拉，然后将拼装好的整体梁进行调整，并就位于桥墩支座上，随后完成剩余张力的张拉。现有三种架桥机应用此法：

B1. 采用双主桁架，双吊梁小车，特别适用于后部喂梁。采用后部喂梁时，当分梁块从后部吊运到叫架设位置后，旋转 90° 悬吊于主桁架上，被依次先悬吊在两个主桁架上。待所有分梁块悬吊完毕后，再依次就位，并穿索施加张力，构成一个整梁，随后架桥机将此整体梁落梁就位。

这个架桥机前后支腿有前后左右调整功能，因此，可以极准确地按照设计要求，将桥梁安装成相应的倾斜度。架桥机的长度是孔径的两倍，受力支腿总是架在桥墩处，可架设桥面宽度大于 14 米，孔径可超过 50 米。

B2. 采用单主桁架，使用一个吊梁小车，较适用于下部喂梁。当架设时，总是从前支腿所在墩上方开始，悬吊梁块依次向后悬吊所有梁块。待所有分梁块悬吊完毕后，再穿索张拉，使其成为整体梁，随后调整落梁就位。

架桥机总长度不超过两个桥孔径，主桁架尺寸略长于一个孔径。在主桁架前端有一段导梁，仅用于协助架桥机前行。其后支腿，落在两条轨道上，当架桥机向前行走时，后支腿在此轨道行进。这种架桥机突出特点是重量轻，可以架设较大跨度的桥梁及变截面桥梁，桥面宽度基本不受限制。架设孔径可超过为 130 米（见图）

B3. 实际也是第二种的变型，基本原理相同在主桁架前端，采用一个导梁，但主桁架为两个，可同时架并行的两组分段梁，不过由于其吊重的限制，架设孔径不能太大，40 米~80 米为宜，其突出优点是一次可完成架设较宽桥面的双箱梁桥。（见图）

五. 其它类型预制梁桥的机械施工。

用预制梁架桥的方式也可在其它一些桥梁建设中使用。

斜拉桥的架设施工也采用预制梁块、横梁及桥面板。一旦主塔完工，则开始拼装工作。在主塔两侧装有吊梁车、桥面吊和托梁行车装置。使用这些设备，按顺序进行梁块组装工作，可大大加快施工速度，提高生产效益。

而其它，如高架水槽（整跨重量超过 1200 吨）；高架混凝土梁轻轨交通桥等，也均可根据具体的施工要求，运用架桥机械进行施工。而梁的预制运送，也将根据梁的设计采用机械设备完成。进而，达到安全、高效且经济地完成桥梁架设任务。

