

# 特大桥连续梁悬臂现浇施工技术

刘 巍

中铁路安工程咨询有限公司 天津 300250

**摘要:** 桥梁的数量日益增多, 并且作用日益凸显, 施工技术的好坏已然成为决定桥梁工程质量的关键因素, 故针对应用广泛的悬臂现浇法施工技术进行研究。本文以跨秦淮河特大桥为工程依托, 首先对该工程的重难点进行了分析并制定相应对策, 其次对连续梁0#段以及悬臂段的施工环节和关键技术进行了详细阐述, 旨在通过具体的工程内容为相关工程提供参考。

**关键词:** 特大桥连续梁; 悬臂现浇法; 工程重难点; 施工技术

## 引言

特大桥梁的施工过程非常复杂, 目前悬臂现浇法是应用最为广泛的施工技术之一。本文以跨秦淮河特大桥为背景, 分析了悬臂现浇法施工技术、工程的重难点并制定相应对策, 对悬臂现浇法施工技术进行详细阐述, 达到了高质量、高效益、低成本的施工目标, 为类似工程的施工提供参考。

## 1 工程概况

跨秦淮河特大桥(72+128+72)m连续梁69#-72#墩位于南京市江宁区, 起止里程DK2+877.67~DK3+151.67, 线路与秦淮河交角为105°, 70#主墩为水中墩。该连续梁上跨规划地铁5号线、210m宽的秦淮河、河堤路及前淹儿巷。

梁体结构为单箱单室, 箱室的高度沿弧线逐渐变化, 腹板直立且厚度不一。箱梁上部宽度为12.2~12.879m, 下部宽度为7.0m, 全梁顶板厚度为45cm至65cm, 腹板厚度在64cm至80cm和80cm至110cm范围内呈折线变化, 腹板在70#和71#墩处厚度变为130cm, 底板厚度52~120cm, 全联总共设置4个横隔板, 分别在边支座和中支点处, 厚度分为1.65m和3.0m。该梁总长为272m, 直线部分存在于跨中和边跨, 分别为9m和13.35m, 截面中心梁高在中支点和边跨处分别为9.386m和5.586m。全梁利用悬臂现浇法施工, 在0#段和悬臂段施工完毕后, 进行边跨和跨中的合拢施工, 最终形成连续的整体。连续箱梁立面图如图1所示。

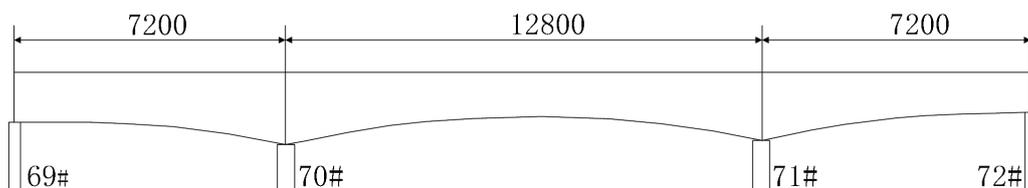


图1 (72+128+72)m连续箱梁立面图

## 2 悬臂现浇法施工概述

悬臂现浇法施工是特大桥梁施工过程的关键环节, 一对以0#块对称放置的挂篮是施工所必备的设备。施工过程分两部分, 首先在0#段和边跨现浇段搭设螺旋钢管支架施工, 其次是在1#~17#段、跨中段采用挂篮悬臂浇筑混凝土施工。某一节段张拉锚固完成后, 挂篮向前行走至下一节段, 调平和预压完成后施工该段, 如此重复, 最终实现全梁悬臂的浇筑施工。

## 3 工程重难点分析及应对措施

### 3.1 工程重难点分析

首先0#段采用螺旋钢管支架法施工, 对称预压, 计算支架变形量, 保证支架的稳定。

其次梁体线型的控制是施工难点, 要达到线型完美, 需考虑多方面因素, 如: 混凝土的自重与变形、钢支架和挂篮的变形情况、温度变化情况、预应力筋张拉情况、地基承载力变化等, 对各种因素准确估计才能保证线型的准确。

然后混凝土裂缝是影响连续梁工程质量的重要方面, 裂缝除了受自身影响外, 还受外界环境条件及施工工艺的影响, 须提前制定方案预防裂缝产生<sup>[1]</sup>。

最后预应力筋张拉和管道压浆是悬臂段施工的关键工序, 张拉和压浆质量直接影响到桥梁的承载能力, 因此必须对施工设备和工序、材料质量等加强控制。

### 3.2 应对措施

针对上述各项内容制定相应的对策，如下表所示。

表1 工程重点、难点施工对策表

序号	工程重难点项目	对策要点
1	支架搭设及预压	1.支架设计方案满足要求后进行支架布设。 2.支架下部与墩身连接，设置连墙件；施工前对支架进行对称预压，计算支架变形量，确保支架整体稳定、整体受力。
2	线型控制	利用支架及挂篮预压得到的竖向弹性变形量确定梁体的预拱度，以此调节模板标高并实时监测施工的各个阶段并进行数据分析。
3	混凝土浇筑	不间断浇筑混凝土，边浇筑边振捣，并实时检查，保证一次浇筑成型。
4	混凝土裂缝防治	1.在保证强度的前提下优化混凝土配合比，精选原材料，提高混凝土性能。 2.浇筑过程中要不断振捣，防止出现不均匀裂缝。 3.实时监测环境、结构表面及结构内部的温度，温差过大或混凝土表面温度过高时不得拆模。
5	张拉、压浆	1.使用前校验张拉及压浆设备， 2.严格控制张拉顺序和张拉力，并通过试验测量相关参数。 3.张拉完毕后尽快压浆，时间不得大于2d，浆体材料和性能要符合规范要求。

#### 4 悬臂现浇法施工技术

本部分主要从0#段施工和悬臂段施工流程等方面对施工技术进行详细阐述。

##### 4.1 0#段施工

连续梁0#段采用采用螺旋钢管支架法现浇施工，施工流程为：施工准备→支座安装、临时固结支墩→支架安装→支架验收合格→0#段底模和侧模安装→支架预压→0#底模和侧模调节→铺设底板、腹板以及隔墙钢筋，安装纵向预应力管道→拼装内模→铺设顶板钢筋，安装横向预应力管道→浇筑并养护0#段混凝土，强度、弹模达到设计要求→预应力张拉压浆→模板拆除→进入悬臂浇筑工序。

##### 4.1.1 支座安装

悬臂梁每个墩位采用2个TJQZ-I型球型钢支座，并在大里程侧主墩靠线路左侧。根据图纸预留支座预偏量，确保支座位置准确。安装前检查桥墩顶面支承压石的水平标高，任何两个位置高差不得大于2mm。支座安装采用重力式灌浆法。

##### 4.1.2 墩梁固结措施

支座难以单独承受施工过程中产生的力和不平衡力矩，需增加墩梁固结措施来分担支座压力。本工程在70#墩和71#墩垫石两侧对称布置四个钢筋混凝土立柱作为竖向受力支柱，4个钢筋混凝土立柱均采用Φ32精轧螺纹钢，钢筋下端锚入墩身2.1m，上口锚入梁体1.7m。

##### 4.1.3 支架施工

支架包括立柱、横向分配梁和纵向分配梁，主体立柱采用24根直径529mm、厚度8mm的螺旋钢管，与承台通过焊接连接，横、纵向分配梁均使用工字钢，型号分别为

I45a和I32a，支架搭设完毕以后铺设10#槽钢和底模，然后铺设脚手板施工。为确保支架的整体稳定，横向工字钢和钢管立柱以及横、纵向工字钢之间均满焊连接。

支架预压是检验支架稳定性、获得非弹性变形量及连续梁线型准确、美观的关键步骤。腹板的荷载较大，底板上的荷载较小，根据连续梁实际情况放置荷载，使预压结果更可靠。依据预压得到的竖向弹性和非弹性变形量确定梁体的预拱度，从而确定模板标高。支架预压过程中，如出现支架变形失稳、基础有明显的沉降等，立即停止加载并分析原因<sup>[2]</sup>。

##### 4.1.4 模板施工

###### (1) 底模、侧模安装

0#块的底模和侧模均采用厚度为6mm钢模板，以纵向工字钢为主要支撑。在腹板和内外模处模板顺桥向背楞采用2[10槽钢，其竖向间距为0.3m。底模夹在两侧模中间且底端相差10cm，根据预压结果调节模板最终标高。

侧模设置φ25mm精轧螺纹钢的对拉杆，梁体腹板内模安装完成后，安装对拉杆将两侧侧模固定，拉杆纵、竖向间距分别为0.7m、1.0m。

###### (2) 内模、端模安装

0#块的腹板内模采用厚度为15mm的竹胶板，次楞采用截面为边长10cm的正方形的方木，间距30cm，利用铁钉固定竹胶板和次楞，用精轧螺纹钢对拉紧固。端模应根据悬臂段横截面单独制作并安装，模板采用4mm厚钢板，采用φ16钢筋加固与外模及钢筋连接。

##### 4.1.5 钢筋加工及安装

###### (1) 钢筋加工

梁段的钢筋连接时采用搭接的方式，接头存在的位

置应考虑梁体的受力情况,接头应交错分布,不能在同一截面连续存在。梁体受拉部位的钢筋接头的面积不得超过该截面钢筋总面积的50%。

## (2) 钢筋安装

### 底板钢筋安装

底板钢筋的安装顺序为:下层横向分布钢筋→下层纵向分布钢筋→上下两层之间的支撑钢筋→上层纵向分布钢筋→上层横向分布钢筋→倒角钢筋。支撑钢筋按照梅花型布置。

## (3) 腹板钢筋安装

腹板钢筋主要有竖向分布的箍筋、水平钢筋以及内外层之间的联系钢筋。箍筋布置时需要布设几道水平钢筋进行固定,其布设间距与底板横向钢筋一致。水平钢筋参照端模预留孔道进行布设。腹板内外层钢筋之间需设置联系钢筋且按[型梅花形布置<sup>[3]</sup>。

## (4) 中横梁钢筋安装

中横梁的钢筋安装比较复杂,该处的钢筋和底板以及腹板的钢筋交错相连,钢筋位置会发生冲突。在安装过程中分别对底板、支座、腹板和顶板的钢筋进行同时铺设,按照施工顺序有序进行。

### 顶板钢筋安装

除倒角钢筋的安装外,顶板钢筋与底板钢筋的安装顺序基本一致,铺设过程中要严格按照绑扎顺序以及设计要求进行。

### 挡砟墙预埋筋安装

挡砟墙预埋钢筋必须定位准确,钢筋间距、数量和高度按设计要求布置,当其与横向预应力管道的空间位置有重叠时,可在顺桥向上对其进行相应调整,但不能横向进行调整。

### 钢筋安装注意事项

在绑扎过程中准确定位钢筋间距,利用保护层垫块来确保钢筋混凝土保护层的厚度。垫块有序布置,每平方米至少为4个。垫块和结构的混凝土型号一致。在变截面、倒角部位,垫块数量可适当加密,绑定垫块的扎丝头应弯折向结构内部方向。

本连续梁在三个方向均施加预应力,预应力管道和钢筋数量较多,二者在空间位置上可能会重叠。当位置上发生冲突时,应遵循先调整钢筋,再调整预应力管道的原则,纵向预应力管道在任何情况下均不可移动。若普通钢筋被截断,预应力筋安装完毕后,进行等强恢复。

钢筋绑扎后不得将扎丝尾部置于保护层内。腹板预留孔位置和纵向预应力管道的间距不满足规范要求,应调整预留孔位置。通过安装架立筋的方式协助进行腹

板、顶板以及底板钢筋的定位。

预埋件和钢筋的空间位置发生重叠时,对钢筋的位置进行调节,保证预埋件的位置准确。

## 4.1.6 混凝土施工

分层浇筑混凝土,严格按照腹板根部、底板和腹板上部、顶板的顺序对称进行,并不间断浇筑和振捣,保证0#段最终形成连续的整体。

## 4.1.7 预应力筋张拉

连续梁在三个方向均施加预应力,管道应选用金属波纹管。预应力筋采用高强度钢绞线,竖向预应力筋为精轧螺纹钢。

后张法利用公式 $\Delta L = PL/Ay/Eg$ 计算预应力筋的伸长值。总伸长量为千斤顶的实际张拉量和达到初拉力之前的计算伸长量两部分之和。

严格张拉顺序,对称张拉纵向预应力筋,保持左右平衡。

张拉力从零增加至初应力,再逐渐增加至张拉控制应力,持荷一段时间达到稳定后锚固。

竖向预应力筋张拉一次张拉至控制应力,维持两分钟左右,量测螺纹钢的伸长量并记录,采用双螺帽拧紧锚固。

预施应力以张拉设备读数和预应力筋伸长量两个参数进行把控,前者作为主要参数,利用后者进行校核,两端千斤顶的张拉量应基本一致。

## 4.1.8 管道压浆

张拉完后要尽快进行预应力管道压浆,时间不得大于 $2d$ 。压浆应先纵向、后横向,浆体从管道最低的口进入,由另一孔排出,孔道内的气体或水由排气孔排出。浆体的温度处于 $5^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、梁体温度不得低于 $5^{\circ}\text{C}$ 。管道压浆的最大压力为 $0.6\text{MPa}$ ,特殊情况下最大压力为 $1.0\text{MPa}$ 。出浆口出现均匀流动的浆体时,关闭出浆口,稳压几分钟后停止压浆。

## 4.2 1#~17#悬臂段施工关键技术

连续梁1#~17#悬臂段利用挂篮法进行施工,施工内容与0#段基本一致,本部分突出阐述挂篮应用,具体各项工序如图2所示。

### 4.2.1 挂篮制作

本连续梁悬臂段选择菱形挂篮施工,挂篮由主体承重桁架、行走轨道及固定装置、底篮及调整装置、封闭梁体的模板四部分组成。

挂篮加工制作完毕以后,应检查各部分构件是否符合规范要求,如焊缝是否饱满,有无空洞;螺栓连接口是否对应以及有无裂纹,保证细节处的强度符合要求<sup>[4]</sup>。

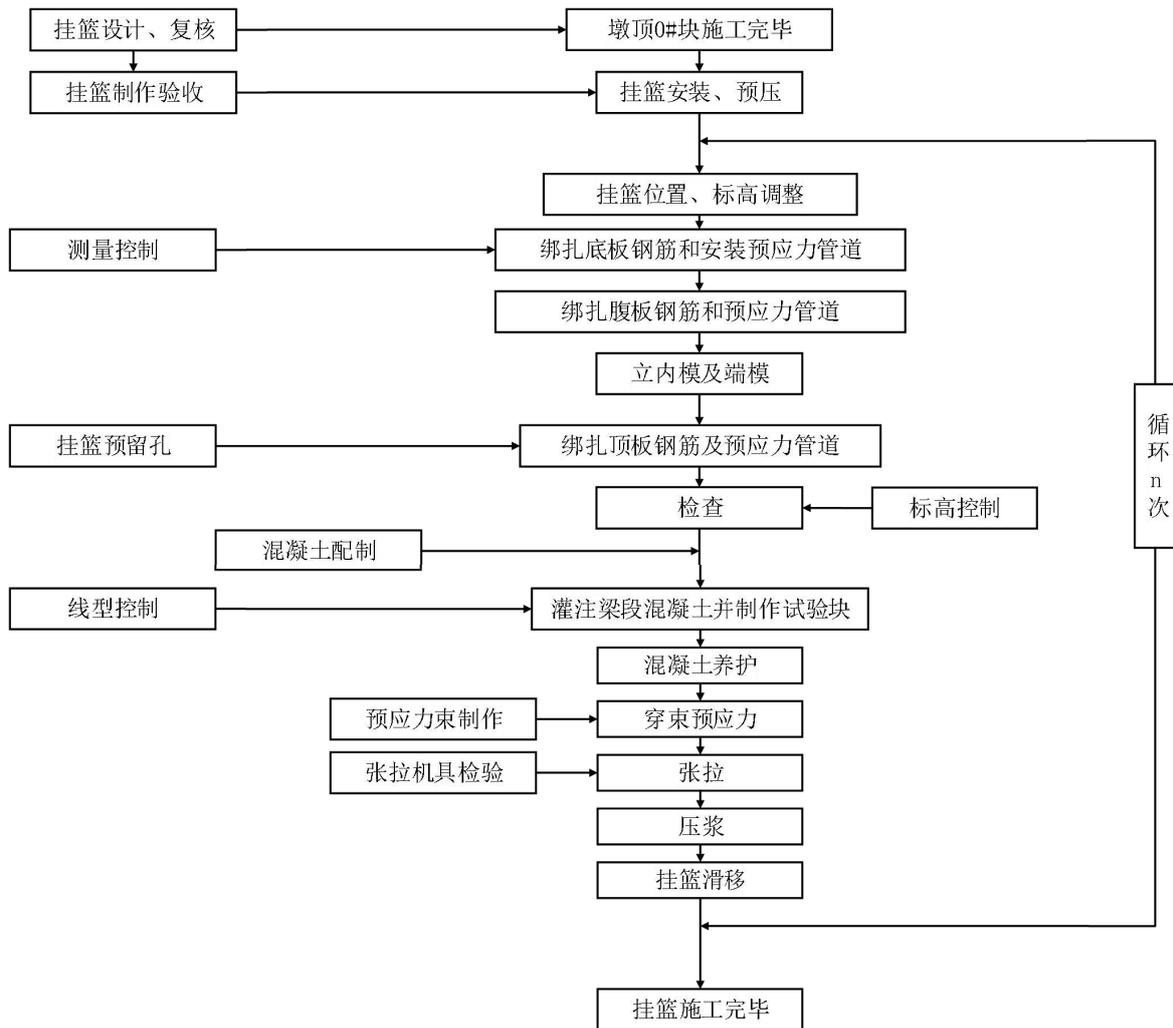


图2 挂篮悬臂灌注施工工艺流程图

#### 4.2.2 挂篮预压

挂篮预压试验来检验其承受荷载的能力以及稳定性状况，利用预压得到的竖向弹性变形量确定梁段的预拱度，以此调节模板标高。

必须按照实际受荷情况进行模拟，以确保结果准确。采用方形混凝土预压块，进行三级加载预压，最大施加荷载为梁段自身重量的1.2倍。

预压后测量和记录挂篮的受力和变形情况，变形监测点的位置分布在底模周围，数量不少于5个。各级加载以后，快速全面检查挂篮各部分的工作情况，确定能否继续施加荷载，预压后总结预压试验的过程和结果并作为后续施工的参考。

#### 4.2.3 挂篮前移

挂篮向前行走步骤如下：模板脱模→主桁前移→模板前移→主桁后锚前移→模板定位。放松内、外模滑梁，使模板脱离混凝土，在主体桁架向前移动的同时模

板也向前移动，移动就位以后，拧紧后锚和箱梁后下横梁吊杆，再根据设计要求和挂篮预压情况确定模板最终位置。

#### 4.2.4 挂篮拆除

挂篮拆除按照与挂篮安装时相反的顺序进行，挂篮拆除时会涉及到挂篮的后退操作，此操作与挂篮向前移动的步骤相同，在后退时要挂篮在两条轨道上的速度一致且不宜过大。

#### 4.2.5 合拢段施工

合拢段施工是连续梁施工的关键一步，合拢段利用吊架法进行施工。合拢段施工过程中容易受到多种因素的影响，如混凝土自重、温度，外界温度、外部施工荷载等，这些因素可能导致混凝土裂纹的产生，影响悬臂段和合拢段形成一个连续的整体。在施工中通常采用增设刚性支撑的方法来避免裂缝的出现。

1) 对合拢段两端的梁体加设劲性骨架进行临时连

接,保证两端梁体没有相对位移,避免在混凝土浇筑以后产生裂缝。

2)合拢段利用劲性骨架进行临时连接后,尽快对临时钢束进行张拉施工。混凝土浇筑在一天温度最低时尽快完成浇筑。在合拢段混凝土浇筑时,要在浇筑对称的位置放置同等重量的配重进行平衡。

3)合拢段混凝土浇筑完成后,其强度和弹性模量符合要求后拆除临时连接,再将墩梁固结措施拆除,使永久支座承受梁体自重,再按要求进行预应力筋的张拉和孔道压浆,最终完成合拢段施工。

### 5 结语

本文以跨秦淮河特大桥为工程依托所介绍的悬臂现浇法施工技术对悬臂现浇法在0#段和悬臂段的施工环节

以及关键技术进行了详细阐述,对于这一方法的应用应根据具体工程具体分析,在进行方法创新的同时还应兼顾实现高质量、高效益、高安全和低成本的工程目标。

### 参考文献

[1]易有森,樊少彻.港珠澳大桥青州航道桥钢箱梁施工关键技术[J].桥梁建设,2021,51(03):138-144.

[2]娄松,王戒躁,江湧,吴芳.南京长江大桥公路正桥功能提升改造关键技术[J].中外公路,2021,41(02):208-213.

[3]青藏铁路清水河大桥工程进展顺利[J].铁道标准设计,2002(10):53.

[4]郑乃金.哈萨尔桥连续梁合拢段施工分析[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2014(09):124.