

# 跨河预应力连续刚构桥梁设计与施工探讨

马亚林

中冶京诚工程技术有限公司

**摘要:**结合九渡溪大桥主桥实际情况,分析了跨河预应力连续刚构桥梁设计与施工要点,分析结果表明,连续钢构桥梁具有跨度大、平顺性好、伸缩性小等特点,但对设计和施工的要求比较高,这就要求结合桥梁特点,选择合适的设计参数,并加强每个细节的施工把控,才能创建出高质量、高品质的连续钢构桥梁工程。

**关键词:**跨河预应力连续钢构桥梁;设计要点;施工要点;挂篮

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.01.101

## 引言

预应力连续刚构桥梁和传统钢筋混凝土桥梁相比,具有墩梁固结、桥面伸缩缝少、行车舒适度好、横桥向抗扭刚度和纵桥向抗弯刚度大、抗震性稳定、外形美观等优势,被广泛应用在桥梁工程建设领域。但从预应力连续刚构桥梁的结构组成上来看,是一种墩梁同时参与工作的超静定结构,墩、梁、桩基础之间存在比较明显的相关影响关系,且受力比较复杂,墩台的不均匀沉降和预应力会对预应力连续刚构桥梁整体结构造成附加应力,附加应力严重时会影响到桥梁工程的总体稳定性。基于此,根据预应力连续刚构桥梁受力的特殊性,有必要以实际案例为背景,探讨跨河预应力连续刚构桥梁设计与施工。

## 一、案例分析

### (一) 工程概述

K8+542九渡溪高架桥位于张家界市慈利县里湾附近,分左右幅,右幅中心里程桩号为K8+542,跨径 $(2 \times 30) + (65 + 120 + 65) + 30 + 10\text{m}$ ,交叉角度90度,桥梁全长350m;左幅中心桩号 Z2K8+565.274,桥跨布置: $(2 \times 30) + (65 + 120 + 65) + (2 \times 30)$ ,交叉角度90度,桥梁全长370m。上部结构采用悬浇变截面预应力混凝土连续刚构桥、预应力混凝土先简支后连续T梁,下部结构主墩采用双肢薄壁墩,主桥与引桥交接墩采用空心薄壁墩,基础采用承台桩基础,引桥其他下部结构采用柱式墩,基础采用钻孔灌注桩。上部结构分左、右两个半幅桥,每幅桥宽12.75m。左幅桥梁中心桩号Z2K8+565.274,起点桩号Z2K8+380.274,终点桩号Z2K8+750.274;右幅桥梁中心桩号K8+542.000,起点桩号K8+367.000,终点桩号K8+717.000。

### (二) 地质水文

该桥位于张家界市慈利县里湾附近,属侵蚀剥蚀丘陵地貌单元。桥位沿丘坡、丘顶展布,并跨越九渡溪河,地形纵向起伏较大,两端桥台落于沟谷两侧山体上,两侧丘坡坡度约为 $40 \sim 65^\circ$ ,植被较发育,覆盖层厚度一般较薄,局部基岩裸露。桥位区地面高程约253~360m,桥台地面高程340~347m左右。

桥位跨越丘间冲沟九渡河,桥位区地表水系主要为河水,河水面宽度约80m,水深约为0.5~3m,水量丰富,常年流水,其水位变化幅度主要受季节性降雨影响,据调查,桥位区最高洪水位262.1m,河流冲刷深度3.5m。桥位的地下水类型主要为松散岩类孔隙水、基岩裂隙水两大类。

## 二、跨河预应力连续刚构桥梁设计要点

### (一) 总体结构设计

1)本工程上部结构第一联采用预应力混凝土变截面连续刚构桥,主梁根部中心梁的最大高度为7.9m,跨中和边跨现浇段中心梁高达到3.2m,梁底曲线按照1.8次抛物线变化。

2)下部结构主墩采用壁厚为2.0m的双肢薄壁墩,箱梁墩身间距5.0m,基础采用了承台桩基础,桩径为2.0m,边墩则采用了墩身厚度为2.8m的空心薄壁墩,基础亦是承台桩基础,桩径为1.8m。本工程连续刚构桥梁边支点采用GPZ(2019)4.0-10%-DX(SX) $\pm 150$ -C盆式橡胶支座,引桥T梁则采用ZTP-II 2000ZX-100自调坡橡胶支座,桥梁伸缩缝采用D240型伸缩缝。

3)在箱梁梁段分块长度选择设计中,0号块的长度设计时需要综合考虑挂篮施工所需的实际工作空间,结合类似工程桥梁挂篮施工工艺,0号块的长度不宜太长,否则会增加支架现浇的难度,一般控制在9~12m之间即可。箱梁梁段分块设计时应能够最大限度上模拟出施工进度,与此同时还要考虑各个梁段重量趋于均衡,且梁段分块种类也不宜过多,通常分为2~3类即可。

### (二) 预应力钢束布置设计要点

在进行预应力钢束布置设计中需要严格遵循以下原则:①顶板和底板纵向预应力钢束在布置时应当尽量靠近腹板,通过平弯或者竖弯牢牢锚固在顶板和腹板的交界位置;②腹板预应力钢束布置时应当对称于腹板布置,且锚固点需要布置在距离箱梁顶面 $2/3H$ ( $H$ 为箱梁的高度)以下的位置;③横向和竖向预应力钢束布置时,应当布置在纵向预应力不交叉,并且满足空间距离要求的位置;④在进行预应力钢束布置时,应保证钢束和箍筋不交叉碰撞,若无法避免,交叉应当紧靠剪力零点位置;⑤本工程箱梁结构采用纵向、横向、竖向三向预应力体系设计,在预应力钢束布置设计中需要严格按照每个施工阶段的结构体系和荷载情况,合理确定出预应力的预期目标,而且还需要保证能够在使用节段结构受力达到理想状态,科学合理的优化预应力设计,既能很好的减轻桥梁结构自重,又能促使桥梁结构美观轻巧。

### (三) 桥墩设计

本工程主墩和主梁全部采用了墩梁固结形式,此种设计方式具有的优点体现在两个方面,其一是在竖向作用下能够大幅度减少跨中正弯矩,减小跨中截面。其二墩梁固结具有良好的整体性,抗震和抗风能力强,而且

不存在复杂的结构体系转换，可进一步降低后期施工的难度。连续刚构桥梁的主墩高度通常需要大于主跨跨径的十分之一，并采用双肢薄壁墩。若墩高比较大，墩身亦可以采用箱型截面，此种设计方式，可在满足抗弯和稳定性的基础上，以降低温度应力、混凝土收缩以及地震力对桥墩造成的影响。

(四) 细节设计

跨河预应力连续刚构桥梁设计具有很强的复杂性、技术性，难度比较大，为保证设计效果，更好的指导后期施工，在实际设计中还需高度重视细节设计。在本工程设计中严控以下几个细节，取得了良好的设计效果，值得类似工程借鉴和参考。

1) 桥梁基础设计：跨河桥梁的基础设计需要考虑到河流的水流、水深、地质条件等因素，以确保桥梁的稳定性和安全性。一般来说，桥梁基础需要采用深基础，例如钢筋混凝土桩、钢管桩等。

2) 预应力混凝土设计：预应力混凝土是跨河桥梁的主要结构材料，其设计需要考虑到桥梁的荷载、跨径、温度变化等因素，以确保混凝土的强度和耐久性。预应力混凝土的设计需要满足国家标准和相关规范的要求。

3) 连续刚构设计：连续刚构是跨河桥梁的主要结构形式，其设计需要考虑到桥梁的整体性和稳定性。在设计过程中，需注意桥梁的几何形状、连接方式、支座形式等因素，以确保桥梁的整体稳定性和承载能力。

4) 防护措施设计：跨河桥梁的防护措施设计是保证桥梁安全运行的关键因素。防护措施包括桥梁护栏、防护网、警示标志等。在设计过程中，需要根据桥梁的实际情况和使用要求，选择合适的防护措施，并确保其符合相关标准和规范的要求。

(五) 计算和分析

为验证跨河预应力连续刚构桥梁设计效果，设计完成后还需进行有针对性的计算分析，主要包括以下三方面的内容，其一是正常使用极限状况验算，其二是持久状况承载力能力极限黄土验算，其三是应力验算。

正常使用极限状态验算分析：在短期作用组合之下，跨河预应力连续刚构桥梁结构正截面都没有出现拉应力，满足规范对要求（短期荷载组合状态不允许出现拉应力）<sup>[1]</sup>。在短期作用组合下，结构斜截面抗裂验算，最大主拉应力为-0.67MPa，满足规范要求（C55短期荷载组合下允许最大主拉应力为-1.644MPa）。

持久状况承载力能力极限状态验算：主要是对正截面抗弯验算，本工程持久状况正截面抗弯验算包络图如图1所示：

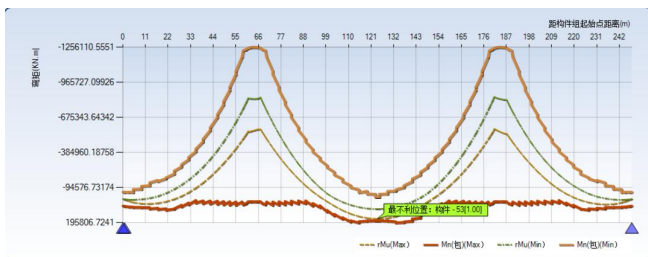


图1 持久状况正截面抗弯验算包络图

按照《桥规》第5.1.2-1条  $\gamma_0 S \leq R$  验算，结构的重要性系数\*作用效应的组合设计最大值  $\leq$  构件承载力设计值，满足规范要求。

应力验算：最大压力为13.14MPa，满足规范要求（C55持续状态下允许最大压应力为17.75MPa）。持久状况最大主应力为13.36MPa，满足规范要求（C55持续状态下允许最大主应力为21.3MPa）。

三、跨河预应力连续刚构桥梁施工要点

(一) 制定科学的施工方案

本桥梁工程施工中基础采用了强度大、承载力强的嵌岩桩，主墩位于水流中，水深在0.5~3m之间，水中嵌岩桩施工难度比较大，宜采用添加筑岛围堰的方法进行施工。主桥箱梁通过挂篮悬臂施工，箱梁纵向分块施工，分块示意图如图2所示：

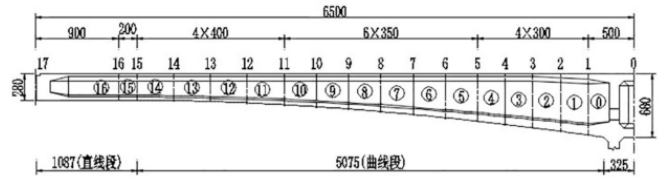


图2 主梁边跨分块立面（cm）

(二) 规范挂篮悬浇施工过程

悬浇梁段采用挂篮悬臂施工的方式进行，挂篮及施工机具的重量必须严格控制在设计规定的范围内。在各“T”浇筑至最大悬臂状态后，先浇筑边跨合拢段，接着解除墩顶的临时固结，并拆除中墩及边墩的全部托架或支架。之后，再浇筑中跨合拢段，实现体系转换，构成三跨连续刚构桥。在进行合拢钢束的张拉时，应遵循先张拉长束后张拉短束的顺序进行。针对箱梁墩顶块件混凝土的浇筑及其余梁段混凝土的浇筑，应尽可能在一次浇筑中完成。各梁段的结合部位需根据施工缝的要求进行处理，以确保牢固连接。在施工中，必须精准定位预应力管道，把控好混凝土的震捣密实度，尤其是在锚下、齿板等部位，以确保混凝土的施工质量。在浇筑混凝土的过程中，应采取有效措施以控制水化热的影响，避免因温度收缩而产生裂缝。悬浇施工的全部过程应严格遵照平衡、对称的原则进行。此外，应严控各浇筑梁段混凝土的实际方量，任一梁段实际浇筑的混凝土重量不超过该梁段理论重量的3%。箱梁顶板顶面浇筑混凝土的不平整度控制在5mm内，且严控箱梁底板厚度。

(三) 加强预应力施工

在钢绞线进入现场后，必须按照相关规定进行严格的质量控制，包括对其强度、尺寸、物理和力学性能进行试验。此外，为确保其质量，锚头应通过裂缝探伤检验测评，夹片则应进行硬度检验，且锚具应通过与钢绞线组装件的锚固性能试验测评。在具体操作中，还需要根据实际测得的弹性模量和截面积修正计算引伸量。在安装纵向预应力钢束管道的过程中，务必确保弯曲坐标及弯曲角度的准确性。这一点可以通过“井”字型定位架进行精准定位，且此定位架在直线段和曲线段的设置间距有所不同，分别为0.5m和0.25m。另外，曲线段预应力束应设置“U”型防崩钢筋，控制间距不大于

30cm。通过点焊连接定位架与箱梁纵横向钢筋以确保其稳定性<sup>[2]</sup>。管道的制作、安装及连接务必确保质量，当焊接工作在预应力管道附近时，需采取保护措施以避免管道因高温受损而造成预应力管道堵塞。

在进行预应力钢束的张拉操作时，应严格遵循设计张拉顺序、张拉控制应力及工艺要求。特别需要强调的是，应保持对称、均匀和同步的张拉状态。只有当箱梁混凝土实测立方体强度达到混凝土强度等级的95%并且养生时间不少于7天时，才可以进行预应力钢束的张拉工作。箱梁竖向预应力钢筋张拉示意图如图3所示：

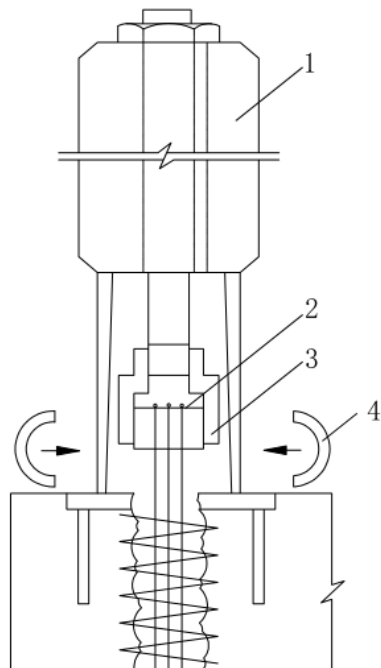


图3 箱梁竖向预应力钢筋张拉示意图

图3中1表示千斤顶，2表示锚板式墩头锚具，3表示张拉套筒，4表示半圆环垫片。

总之，跨河预应力连续刚构桥梁的预应力施工是桥梁建设中的关键环节，其施工要点如下：

**材料准备：**预应力混凝土的材料应符合国家标准和相关规范的要求，并在施工前进行检验和试验，确保材料质量符合要求。

**预应力张拉设备：**预应力张拉设备应符合国家标准和相关规范的要求，并在施工前进行检验和试验，确保设备运行正常。

**预应力张拉工艺：**预应力张拉工艺应严格按照设计要求进行，具体为张拉顺序、张拉力值、张拉时间等。

**预应力管道布置：**预应力管道应按照设计要求布置，管道的位置、数量和布置方式应满足桥梁的结构要求和受力状态<sup>[3]</sup>。

**预应力锚固：**预应力锚固应按照设计要求进行，包括锚固方式、锚固深度、锚固数量等。

**施工监测：**施工过程中应进行预应力混凝土的施工监测，包括张拉过程中的伸长量、应力等参数的监测，以及施工后的变形、裂缝等监测。

#### (四) 注重下部结构的施工

在进行桥梁下部结构施工时，必须严格遵循下部结构图中的所有相关说明。在施工之前，设计师和工程师需要深入分析设计图纸，仔细复核坐标，并且根据图纸的精确要求来准确地进行放样定位，避免出现中心位置的偏差。这种偏差可能会导致严重的质量问题，因此，未经复核的盲目施工是绝对不允许的。墩台帽顶的支座垫块需要根据实际厚度进行微调，以确保支撑总高度保持不变。同时，支座顶面必须保持水平且清洁，以确保桥梁结构的稳定性和安全性。在钻孔桩施工期间，沉淀层的厚度是需要严格控制的。工程师们需要按照规范要求进行检测，确保沉淀层的厚度在规定的范围内，以防止因厚度过大而影响桥梁结构的稳定性<sup>[4]</sup>。对于桥梁施工中的各个特征点，标高的控制是至关重要的。水准点应该采用相邻路基施工控制高程用水准点或联测校核的方式，以确保桥梁和道路的高程一致，避免因高程不一致而引起的质量问题。在活动支座施工期间，防尘措施是非常必要的。因为灰尘和杂质可能会对支座造成损坏，影响其功能。最后，桥梁桩基础必须设置声测管。这种管子采用外径50mm、壁厚2.5mm的钢管制成，需要牢固地焊接或绑扎在钢筋笼内侧，并埋设至桩底且高出桩顶面50cm。承台和墩身等大体积混凝土结构应采取有效措施减少水化热以避免温度收缩裂缝，从而确保桥梁结构的完整性和稳定性。

#### 四、结束语

综上所述，通过实际案例探讨了跨河预应力连续刚构桥梁的设计与施工。研究表明，连续刚构桥具有显著的特点。墩梁固结使其施工过程无须进行体系转换，方便施工。其顺桥向抗弯刚度和横桥向抗扭刚度均较大，受力性能良好。但其结构比较复杂，在设计中需要按照国家现行相关标准和规范，同时应考虑到地质、水文、气象等自然条件的影响。并考虑桥梁设计中应充分考虑桥梁的安全性、耐久性和经济性，选择适当的材料和构造形式。施工前应制定详细的施工方案和安全措施，确保施工过程中的安全和质量。预应力混凝土连续梁的施工应按照设计要求进行张拉、压浆和封孔等工序，确保预应力的有效性和稳定性。在施工过程中应注意现场管理和质量控制，及时发现和处理问题，确保施工质量和工期进度。施工完成后应对桥梁进行全面检查和试验，确保桥梁的安全性和稳定性。

#### 参考文献

- [1] 黎翔. 连续刚构桥建设中的体外预应力施工技术[J]. 智能城市, 2021, 7(23): 155-156.
- [2] 陈虎. 大跨度预应力连续刚构桥梁零号块的开裂劣化分析[J]. 武汉船舶职业技术学院学报, 2021, 20(02): 98-101.
- [3] 曾智鸿. 高墩大跨预应力混凝土连续刚构桥梁施工工艺研究[J]. 交通世界, 2020(31): 85-86+108.
- [4] 青志俭, 青志刚. 预应力连续刚构桥梁挂篮施工管理研究[J]. 西部交通科技, 2020(07): 110-112+117.

作者简介：马亚林（1983-），男，硕士，高级工程师，研究方向：公路、市政桥梁设计。