

大跨径钢桁架连续梁桥施工关键技术研究

刘培俊

中交基础设施养护工程有限公司 北京 100000

摘要: 在现代桥梁工程技术不断进步的背景下,大跨度钢桁架连续梁桥已经成为了现代交通建设当中不可缺少的一个重要环节。这种桥梁由于结构形式特殊,跨越能力超强而在公路,铁路及其他交通干线中占有决定性地位。但大跨度钢桁架连续梁桥施工工序繁杂、技术难度大、施工质量要求极其苛刻。所以,对其施工关键技术进行深入的研究与探讨对保证桥梁建设安全,质量与效益有着非常重要的作用,文章就此展开了探讨。

关键词: 大跨径钢桁架;连续梁桥;施工技术

一、大跨径钢桁架连续梁桥概述

(一) 大跨径钢桁架连续梁桥的定义与特点

大跨度钢桁架连续梁桥结构形式比较复杂,跨度比较大,一般用于需穿越宽阔河流和峡谷等阻碍因素的桥梁工程(图1)。这类桥梁最大的特点是它的主梁为钢桁架,它是由若干个桁架单元以节点相连而成,可以有效地分散并传递荷载。钢桁架结构强度高,抗压性能好等特点,使得钢桁架结构在大跨度桥梁施工方面有着显著优势。大跨径的钢桁架连续梁桥通常具有超过100米的跨径,甚至有可能超过500米,其桥梁的高度和宽度是根据具体的工程需求来设计的。



图1 银西高铁跨黄河特大桥

这类桥梁结构刚度大,稳定性高,可承受动静荷载大,适合各种交通方式,如公路,铁路。另外钢桁架结构抗风、抗震性能较好,能够在复杂自然环境下稳定工作。施工时,钢桁架构件可进行工厂预制和现场装配,不仅提高施工效率而且确保施工质量。

该桥施工难度大,技术要求高,需要使用大型吊装设备,精密焊接技术以及严格施工监测手段等先进施工设备与工艺。总体上看,大跨度钢桁架连续梁桥是现代桥梁工程的重要组成部分,它的高效,安全和经济等特性为现代交通基础设施的建设提供可靠保证。

(二) 常见设计类型与结构形式

大跨度钢桁架连续梁桥的设计类型及结构形式可供选择,常用的有平行弦桁架,拱形桁架及斜弦桁架。这些设计类型是依据不同工程需求及地理条件来选择与运用。平行弦桁架是一种桥梁上,下弦杆间始终保持平行的结构形式,它适合跨度比较大的桥梁使用,具有施工简便,受力清晰等特点,被广泛地应用到铁路和公路等桥梁施工中。拱形桁架结构通过采用弧形设计方法,显著提升了桥梁的抗压性能,使其在承受垂直荷载方面表现得尤为出色,特别适合于需要高强度和高刚度的桥梁工程项目。

斜弦桁架结构是通过将桁架弦杆斜向布置来实现的,这一设计有效地优化了力的传输路径,从而提升了整体结构的刚度和稳定性,特别适用于需要跨越复杂地形和大跨度桥梁的场合。结构设计时主桁架高度,跨度及节点间距随桥梁特定功能及环境条件变化而优化,一般桁架高度在跨度十分之一至十分之一之间,根据桥梁的功能性需求,其跨度有可能超过数百米。

这几种结构形式都需综合考虑荷载分布,风荷载及地震作用,并通过对桁架节点及构件尺寸的合理设计来保证桥梁安全稳定运行。大跨度钢桁架连续梁桥多样化的设计与结构形式,为适应不同工程需要提供了灵活多样的解决方法,使得该结构被广泛地应用于现代桥梁工程。

二、关键施工技术

(一) 桁架制造与预拼装技术

大跨度钢桁架连续梁桥桁架制作及预拼装技术在施工中处于关键地位,对桥梁整体质量及施工效率有直接影响。桁架在制作时,钢材选择非常关键,通常选用高强度钢材如Q345, Q420来保证桁架有较好的力学性能及耐久性。在钢材进入加工阶段之前,必须进行严格的质

量检查，这包括化学成分的分析及力学性能的测试，以确保其满足设计的要求。

制作时，桁架构件切割成形使用数控切割设备及大型折弯机来确保构件尺寸精度及表面质量。该焊接工艺为桁架制造核心技术，使用埋弧焊，气体保护焊及其他先进的焊接方法对焊接参数及环境条件进行了严格的控制，以避免出现焊接缺陷。焊后焊缝经超声波探伤及X射线检测以保证焊接质量达标。

桁架构件制作好以后，需预先拼装，预先拼装过程在厂房中完成，每个桁架单元都按照设计图纸装配好，并对每个节点及构件尺寸精度及连接进行检验。预拼装既可以对构件加工精度及安装工艺进行验证，又可以发现和解决可能存在的安装难题，确保现场安装工作的顺利开展。预拼装结束后对桁架单元编号并标注，便于现场快速辨认与安装。

预拼装时需要对桁架几何尺寸、节点位置及连接质量等进行综合测试，并使用激光测距仪，全站仪等高精度测量设备保证各参数满足设计要求。预拼装后的桁架构件分段运输到施工现场，并在施工现场利用大型起重设备起吊安装并逐段拼装成一个整体桥梁结构。桁架制造及预拼装技术经过严格质量控制及精密施工工艺，保证了大跨度钢桁架连续梁桥结构安全及使用性能，大大提高施工效率及工程质量。

（二）桥梁架设与提升技术

桥梁架设及提升技术作为大跨度钢桁架连续梁桥建设过程中至关重要的一环，其决定着桥梁整体结构精度及稳定性。桥梁架设采取分段施工，预制桁架构件运抵场地并由大型起重设备提升。吊装设备选型视桥梁跨度及构件重量而定，一般用大型履带吊和浮吊。起吊时要准确地计算出构件重心位置及吊点位置，确保起吊时的均衡与安全。

提升技术，通常采用整体提升法、分段提升法等。对于小跨度的桥梁，整体提升法是适用的，而对于大跨度的桥梁，分段提升法则更为合适。整体升降法中通过设置于桥墩内的升降设备使整个桁架结构同步进行升降到设计高度，升降过程中需要对桁架应力及变形情况进行实时监控以保证结构的稳定性。在采用分段提升方法时，桁架被分段提升至预定的设计高度，然后进行逐段的拼接。通过使用临时支撑结构和连接部件，确保了各个桁架段能够精确地对接和连接。

计算提升力是提升技术中的核心，假设提升构件的重量为 W ，提升高度为 h ，提升设备的效率为 η ，需克服的重力势能为 mgh ，其中 m 为构件质量， g 为重力加速

度，提升所需功率 $P=W*h/\eta$ 。在实际运行时还要考虑风荷载和动载荷的作用，并利用结构力学分析软件模拟升降过程，以优化升降方案。

在桥梁架设时，桁架安装精度需要严格控制，利用全站仪、激光测距仪以及其他高精度测量设备对各个节点及构件的位置进行实时监控与调整，以保证桁架几何尺寸与设计保持一致。起吊时还需要对结构进行健康监测，并通过设置应变片，加速度传感器及其他监测设备对桁架应力及振动进行实时监控，以保证起吊过程安全平稳地进行。

（三）焊接与连接技术

焊接与连接技术是大跨度钢桁架连续梁桥建设的关键，它直接关系到桥梁结构的强度及耐久性。在焊接技术方面，使用如埋弧焊（SAW）、气体保护焊（GMAW）以及手工电弧焊（SMAW）等众多前沿焊接技术，并根据焊接的具体部位和部件来选择最适宜的焊接方法。在焊接过程中需对焊接电流，电压，速度以及焊接顺序进行严格的控制，防止焊接应力及变形。

为确保焊缝的高质量，要对焊缝进行多次焊接，并实施预热和后续的热处理，目的是降低热影响区（HAZ）的硬化和脆性。焊前检查焊接材料及母材化学成分及力学性能，以保证满足设计要求。在焊接时采用超声波探伤、射线等无损检测技术来检测焊缝的内部缺陷以保证焊接质量。

在连接技术上，使用高强度螺栓与焊接相结合。高强度螺栓连接因其施工方便，拆装容易，承载能力大而常被用于桁架节点与大型构件之间。高强度螺栓规格及数量以节点受力情况及设计要求为依据，螺栓预紧力需要达到设计标准以避免松动滑移。

连接节点在设计时需要充分考虑荷载传递与应力集中，并通过节点板与加劲肋的合理配置来优化受力传递路径以降低应力集中。节点板厚度及焊缝尺寸依据结构受力情况及材料性能设计以保证节点承载能力及稳定性。为加强连接节点整体刚度，常在节点上布置加劲肋、横隔板等构件，并采用焊接或者螺栓连接等方式与主桁架构件连接，以确保其刚度及强度。

（四）施工安全与监测技术

大跨度钢桁架连续梁桥的施工安全及监测技术非常关键，保证了施工过程安全及桥梁结构长期稳定。在施工安全上，需要构建综合安全管理体系，主要有施工现场安全防护措施、工人安全培训等。施工现场安装防护栏杆、警示标志及安全网，杜绝高空坠落及物体打击事故。职工需要穿戴安全帽，安全带及其他防护装备，定

期接受安全教育与训练,增强安全意识与应急处理能力。

在监测技术领域,我们采用了结构健康监测系统(SHM)来对桥梁建设过程中的应力、形变和震动进行实时的观测。在重点部位设置应变片,加速度传感器及位移传感器监测装置,并利用无线传输技术传输到监测中心。实时数据分析可以及时发现结构异常及潜在问题并采取相应防治措施,保证施工安全。

在施工时需要特别注意大跨度桁架应力与变形,并采用有限元分析结合现场监测等手段对桁架结构实施全方位监控。在桥梁提升及架设时,采用激光测距仪、全站仪及其他高精度测量设备准确控制构件的位置及姿态,以避免施工误差及结构偏移。风荷载与动荷载同时作为重要监测参数,采用加装风速计与振动传感器的方式实时监测环境荷载作用在结构上的情况。

三、案例分析

(一) 工程概况

某大跨径钢桁架连续梁桥总长度为1500米,主跨长度为500米,采用三跨连续钢桁架结构。桥梁设计为双层结构,上层为公路,下层为轻轨,具有较高的承载要求和复杂的荷载分布。桥梁的桁架高度为50米,节点间距为12米,整体结构刚度高、稳定性强,适用于大跨度桥梁施工。

(二) 桁架制造与预拼装

桁架制造时钢材选用Q420高强度钢以保证构件有足够承载能力及耐久性。在工厂中,桁架构件采用数控切割和自动化焊接技术。这种焊接方法结合了埋弧焊和气体保护焊,确保焊接电流维持在350-400A的范围内,并且焊接速度控制在25-30cm/min,以确保焊缝的质量和强度。焊接完成后,对焊缝进行了超声波探伤和X射线检查,检测的合格率高达98%以上,确保焊缝没有裂纹或其他缺陷。

预拼装的工艺流程是在工厂内部完成的,预拼装的场地面积达到了5000平方米,确保了足够的空间和设备条件。根据设计图纸装配桁架构件,并对各节点及连接部位做了细致的检验,以保证尺寸精度及连接质量。在预拼装后对桁架单元编号并标注,方便现场的快速鉴定与安装。在预拼装时采用全站仪及激光测距仪准确测量桁架构件的几何尺寸,保证几何尺寸与设计相符。

(三) 桥梁架设与提升

在桥梁的架设过程中,我们选择了分段吊装的方法。桁架单元会通过公路被运送到施工地点,而现场所使用的吊装工具是两台2500吨级的履带吊车,其吊装的最大高度能够达到100米,确保吊装的速度不超过0.5米/分

钟,以保障整个吊装过程的安全性和稳定性。起吊时通过对起吊构件应力及变形的实时监控,保证桁架构件起吊时不会扭曲变形。

在提升的过程中,我们使用了分段提升的方法,将桁架单元分段提升到设计的高度,然后进行逐段拼接,每段提升的高度是20米,提升的设备是液压提升系统,提升力是500吨,提升的速度控制在0.3米/分钟。在吊装时,利用激光测距仪及全站仪实时监控并调节桁架位置,保证了各截面桁架准确对接与衔接。

(四) 焊接与连接技术

在桁架构件的现场焊接过程中,我们采用了气体保护焊与手工电弧焊相结合的技术。焊接电流被控制在250-300A的范围内,而焊接速度则控制在20-25cm/min之间,以确保现场焊缝的质量和强度。焊前将焊区预热到150℃,焊后再经过后热处理并慢慢冷却到室温,以避免焊区的应力增大及热影响区的脆性。在焊接时,实时监控并检验焊缝以保证焊缝质量达标。

连接技术上,通过高强度螺栓连接与焊接相结合,高强度螺栓规范M30,预紧力保持在250kN以内,保证了连接节点稳定及承载能力。在节点设计时,布置加劲肋及横隔板并与主桁架构件采用焊接及螺栓连接等方式进行连接,加强了节点整体刚度及强度。

结束语

总之,运用科学合理的施工技术与管理方法不仅能有效地提升施工质量与施工效率,而且能保证桥梁结构安全与长期使用性能。在今后的桥梁建设当中,伴随着科学技术的进步与工程实践的进一步发展,将会出现更多的创新施工技术与方法,对我国的基础设施建设起到较大的促进作用。

参考文献

- [1]王铭,高燕梅,周志祥,等.钢桁-砼组合连续刚构桥墩梁固结构造及分析[J].公路工程,2015,40(4):67-73.
- [2]公新.跨越已运营高速公路变高度预应力连续箱梁施工技术研究[J].公路,2018,63(3):97-100.
- [3]尹云厅.装配式钢桁-砼组合连续刚构桥施工技术及管理方法研究[D].重庆:重庆交通大学,2017.
- [4]荣子豪.空间管桁架结构施工阶段及使用阶段连续性倒塌分析[D].兰州:兰州理工大学,2017.
- [5]诸志强.大跨度钢桁架斜拉桥理想成桥状态和施工阶段力学行为分析[D].成都:西南交通大学,2013.