

多箱室宽幅长联连续梁施工技术

林晓旭, 范道林, 黄艳梅

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘要:随着预应力混凝土技术的不断进步以及高强材料和高性能混凝土在桥梁工程中的广泛应用,连续箱梁已逐步向多箱室、宽幅、大跨度长联的方向发展。但对于 3 箱以上的多箱室、20 m 的宽幅、长度为 169 m 的多跨连续梁的施工却鲜有经验可供借鉴。结合某市政工程桥梁的特性,阐述了采用大量先进的设计、施工技术和监控监测手段解决大体积、薄壁混凝土施工质量控制难度大、梁体养护控制难度大、预应力张拉压浆安全质量控制难度大、预应力穿束施工困难等难题的研究与应用过程。

关键词:多箱室;连续梁;薄壁;预应力

中图分类号:U445;U443.32

文献标志码:B

文章编号:1001-2184(2024)05-0071-05

Construction Technology of Multi-box Wide and Long Continuous Girders

LIN Xiaoxu, FAN Daolin, HUANG Yanmei

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: With the continuous advancement of prestressed concrete technology and the widespread application of high-strength materials and high-performance concrete in bridge engineering, continuous box girders are gradually moving towards the direction of multi box compartments with large spans and long connections. However, there is little experience in the construction of multi box compartments with more than 3 boxes, 20 m width, and 169 m length multi span continuous girders. Combined with the characteristics of a municipal engineering bridge, this paper describes the research and application process of using a large number of advanced design, construction techniques, and monitoring methods to solve the difficulties in quality control of large volume thin-walled concrete construction, girder maintenance control, safety quality control of prestressed tensioning and grouting, and difficulties in prestressed girder penetration construction.

Key words: Multi box; Continuous beam; Thin-walled; Prestress

1 概述

某市政桥梁位于三河流汇合的上游 600 m 处,全长 1 644 m,其中桥梁长度为 1 297 m,引道长度 347 m,是市目前正在建的、跨度最大的双塔双索面钢箱梁斜拉桥。该桥连续梁分左右两幅,呈单幅单厢三室箱型截面,其顶板厚度为 250 mm,底板厚度在一般梁段为 250 mm,在渐变段其厚度为 250~450 mm,边、中腹板的厚度在一般梁段为 450 mm,在渐变梁段其厚度为 450~650 mm,翼缘板厚度为 220~500 mm,长 2.5 m。

鉴于该桥的特殊性,在其修建过程中主要遇到以下施工难点:

(1)其连续梁为薄壁结构,钢筋密集,预应力

钢束多且工期紧张;单幅采用一次性整体浇筑方式,其浇筑方量达 2 700 m³,浇筑时间长达 24~30 h;梁体顶面积达 3 400 m²,其拉毛工作量大,浇筑过程中混凝土难以振捣密实。

(2)梁体养护控制难度大。该连续梁单幅为 12 个箱室,且每个箱室互不相连,养护面积大。

(3)连续梁预应力束多且单束长、弯道多,张拉应力大,孔道摩阻力大,施工工作面窄;采用传统张拉法施工其数据读取误差率高。因此,如何提高其张拉精度和效率是施工中的难点;而确保浆液配比准确、孔道压浆密实、压力和保压时间可控则是压浆施工中的重点。

2 连续梁大体积薄壁混凝土施工技术

2.1 支架系统

收稿日期:2024-06-26

(1) 支架基础采用“砂卵石换填地基+C30 混凝土垫层”;支架系统采用“盘扣式钢管支架+20 b 工字钢横梁+10 cm×10 cm 方木+2 cm 厚木模板”;盘扣式钢管支架立杆的横向间距为 0.6 m,局部加密为 0.3 m,立杆纵向间距为 0.6 m,步距为 0.9 m,搭设高度为 7 m。

(2) 支架搭设的施工工艺流程:立杆定位放线→铺设底座→安装立杆→各步纵、横向水平杆→安装斜杆→逐步检查垂直度、步距、纵横间距→设置剪刀撑→放置顶托→检查、验收。

(3) 支架预压:支架预压在安装箱梁底模和侧模之前进行。在工字钢横梁上设置观测点用于测量支架预压的沉降量。通过预压消除支架的非弹性变形量,了解其弹性变形量、支架基础的沉降量以及稳定期所需时间等参数。支架的预压按梁体荷载的 1.2 倍进行。加载和卸载顺序为:0→60%→80%→100%→80%→60%→0。在各级荷载下测量观测点的变形值,每间隔 12 h 对支架进行检测,当支架顶部 12 h 内的沉降量平均值小于 2 mm 时,进行下一级加载。将观测点设置在每跨的 1/2、1/4 跨长及墩位处,每组分左、中、右设置观测点;对于地面沉降同样设 15 个测点。在全部预压荷载施加完毕后每间隔 24 h 检测并记录各检测点的标高,直到支架沉降在连续 72 h 内的平均沉降量小于 5 mm 为止。加载沉降稳定后,即可进行卸载。

2.2 模板施工

该连续梁底模、侧模均为定型钢模板,其底模定型钢支架的间距同承重支架的间距,利用顶托调整底模高程。

连续梁模板的安装顺序:先安装箱梁底模,再安装外侧模,待底板、腹板钢筋安装完成后,再安装内模。外模使用 15 mm 厚的竹胶板,内模使用 12 mm 厚的胶合板。

2.3 钢筋施工

该连续梁使用的钢筋型号多且密集,单幅钢筋的总量约为 300 t。为此,项目部新建了数控钢筋加工厂以确保钢筋加工的精度、质量及效率;运用 BIM 技术建立模型,对于碰撞位置提前做出预警以指导钢筋的加工及现场安装。

钢筋安装的流程:底腹板钢筋→横梁钢筋(包括挡块、调平块钢筋)→底板锚固块钢筋→横梁、

底腹板波纹管→横梁、底板钢绞线→内模→顶板钢筋(部分)→顶板锚固块钢筋→顶板波纹管→腹板钢绞线→顶板钢绞线→顶板钢筋。

2.4 混凝土施工

该连续梁的混凝土浇筑采用单幅一次性整体分层浇筑,从两端向中间推进,在跨中 1/4 处进行合拢。为此,项目部在现场配备了 5 台天泵(包括 1 台备用)以及 20 台罐车。梁体浇筑的顺序为先浇筑底板和腹板根部,然后是下腹板和上腹板,最后浇筑顶板和翼板。浇筑从两端开始,按照左右对称、斜向分段、水平分层、逐层升高的方式进行。

首先从箱梁腹板开始下料并通过腹板和底板对混凝土进行振捣,混凝土从腹板流入底板。当腹板混凝土的高度超过底板混凝土厚度至少 30 cm 且振捣密实后,停止对腹板混凝土的振捣,同时振动棒不应插入过深,以防止扰动底板混凝土而导致腹板混凝土从底板漏出。在浇筑腹板混凝土时,用小锤敲击内模以检查其填充是否密实。在钢筋和预应力管道密集的横梁部位采用小型插入式振动器进行施工,尤其对于支座上方和锚具位置应反复加强振捣。顶板混凝土的下料和振捣需一次完成。混凝土振捣平整后,先由人工进行粗略整平,再用刮尺精确找坡,接着进行初步抹面。

为了保证梁体混凝土的浇筑质量,项目部针对腹板钢筋和波纹管密集区振捣棒插入困难的问题,研发了专利“一种伸缩式混凝土振捣辅助装置”。此外,为了提高拉毛效率,还研发了专利“一种现浇混凝土自动拉毛装置”。

3 多箱室宽幅长联连续梁梁体养护施工技术

3.1 现状与问题

多箱式宽幅长联连续梁的每个箱室互不相连,养护面积大,而且在混凝土浇筑完成后箱室内的温升最高可达 60℃,这是传统的人工洒水养护无法解决的问题^[3]。因此,如何实现各箱室内外同时进行养护是施工中的难点之一。

3.2 养护施工技术

该工程施工时,应用了一种混凝土智能养护系统,其主要包含智能养护仪主机、无线测温测湿度终端、养护终端三个部分^[4]。单个无线测试终端传感器可以监测到的区域范围为 20 m,布置完成后,无线测试终端开始实时监测梁体表面的温度、湿度数据并将其传输至传感接收器;喷淋养护

管路由喷淋主管路(PPR 给水管)和喷淋头组成,养护设备采用橡胶水管作为吸水管与出水管,进水管接梁面水箱,水箱由水车注水,出水管用于连接智能养护仪器与养护管路。使用一台主机同时监测多个混凝土构件的环境温湿度,能够进行及时喷淋多个混凝土结构的养护,自动完成全周期养护;无线网络化技术与高精传感技术相结合,能够合理控制喷淋时间,在不同的养护龄期内调整养护频率与喷淋强度以达到养护效果;该系统可自动记录养护过程中的技术数据,以便于质量管理与积累工程实践经验。

在该工程施工过程中,项目部研发了一项名为“一种连续梁智能养护喷淋装置”的专利。该装置通过采用 1.5~2.0 m 长的 PP-R 管(具体长度根据梁的高度确定),通过软管与养护设备的喷淋主管道进行连接和延伸。该装置的一端通过横向撑杆固定在梁面预留的检修人孔上方,而另一端则伸入箱室内部并通过一个 U 型弯头与出水喷头连接。

养护作业时,水流通过喷淋主管道进入喷头接长管道,最终到达箱室内部的 U 型弯头处。水流通过出水喷头以 360° 旋转的方式均匀洒水到箱室内部,可使箱室内部全面湿润。这种设计能够有效覆盖箱室内部的每一个角落,确保所有部位均能得到充分养护。

该智能养护喷淋装置的开发,极大地提高了连续梁的养护效率和效果。通过自动化和智能化的喷淋技术,避免了传统手工养护方法存在的局限和不足。传统方法往往由于人为操作的不可控因素容易造成养护不均匀或某些区域养护不到位等问题发生,而该装置通过全自动化控制和精准的洒水系统确保了水流量的均匀分布和充分覆盖,大幅度提升了养护的质量。

此外,该喷淋装置的设计考虑到了施工现场的实际情况,使用了耐用且高效的 PP-R 管材料,确保了其在不同环境下的长时间稳定运行。软管连接的方式使得该装置的安装和拆卸更加便捷,同时,横向撑杆的使用保证了该装置在作业过程中的稳定性,不易移位或松动。

4 多箱室宽幅长联连续梁张拉压浆施工技术

4.1 现状与问题

鉴于多箱室宽幅长联连续梁预应力束多、单

束长、纵向腹板束曲线型布置、施工工作面窄,其控制张拉应力达 395 MPa;而传统的张拉施工方法采用人工读取张拉数据误差率高,且因传统的压浆技术水泥浆液的配制存在很大的人为因素,所配制出的浆液设备亦不标准,难以达到试验室配合比的要求;由于浆液自流排气难以保证将孔道内的空气排除干净,因此,提高张拉精度和效率以及确保浆液配比准确、孔道压浆密实、压力和保压时间的质量保证均是施工中的难点。

4.2 多箱室宽幅长联连续梁张拉压浆施工技术

4.2.1 智能张拉技术

多箱室宽幅长联连续梁引桥连续梁预应力采用高强度低松弛钢绞线,其钢束采用直径为 15.2 mm 的钢绞线,组成三种不同规格(每孔分别为 9 束、12 束、15 束)的钢束,采用夹片锚固体系,预应力钢束的张拉按分级进行后张法施工。预施应力采用 4 台 YCW400B 型内卡式千斤顶两端同步、对称张拉;待连续梁混凝土强度达到 85% 的设计强度以上并满足不少于 7 d 龄期时即可进行张拉。引桥连续梁预应力束的张拉顺序为:横梁束 N2→连续梁腹板束→横梁束 N1、N3→连续梁顶板束→连续梁底板束。张拉控制采用双控法,其以应力控制为主,伸长量作为校核,并将实际伸长值与理论伸长值的误差控制在±6% 范围内。

为了保证张拉质量和效率,项目部引入了“一种智能张拉设备”。该设备包含多个关键组件,包括编程控制器、工业计算机、继电器、位移传感器、执行器件、操作面板、张拉主副泵站、张拉油缸以及千斤顶等。这些组件通过精密协作实现了张拉操作的高度自动化和精确控制。主泵与副泵之间采用无线连接,其连接距离不超过 300 m,确保了远程操作的便捷性和可靠性。

在具体操作过程中,副泵将位移和压力信号传输到主泵,主泵接收到这些信号后进行处理,然后再将处理后的控制信号传回副泵以调节千斤顶的供油、停止和回油等操作。这种双向通信机制保证了操作的实时性和精确性。

智能张拉设备能够精确控制千斤顶施加的预应力值,将其误差缩小至 1%。这种高精度的控制显著降低了因预应力施加不当引起的安全风险,从而有效地保障了结构的安全性,延长了结构的使用寿命并减少了其后期的养护和维修成本。

此外,系统中的传感器能够实时采集钢绞线的延伸量数据,并将这些数据实时传输到主机系统。主机系统通过自动计算延伸量并审核其是否在规定的范围内,实现了对预应力值的双重把控,提高了操作的安全性。整个操作过程简单、安全、快捷,用户只需在控制面板上输入相应的张拉设备编号和张拉日期即可以方便地查询和下载张拉参数,显著提高了张拉效率。

综上所述,智能张拉设备的引入不仅提升了张拉操作的质量和效率,还通过精确的控制和实时的数据监测确保了施工过程的安全和可靠,延长了结构的使用寿命,降低了养护维修成本,体现了现代施工技术具有的优势和创新。

4.2.2 智能真空压浆技术

引桥连续梁的预应力孔道压浆采用强度不低于 50 MPa 的水泥压浆料,并使用了先进的抽真空压浆工艺进行施工以确保管道内的压浆达到高度的密实效果。由于多箱室宽幅长联连续梁的预应力管道长度较长且数量较多,且因压浆的质量直接关系到梁体的使用寿命,因此,针对这一环节的控制尤为关键。

传统的压浆方法是在 0.5~1.0 MPa 的压力下将混合浆料压入预应力孔道。然而,由于传统压浆方法所使用的浆料较为稀薄,施工过程中容易出现混合料离析、析水以及干硬性收缩等问题,这些问题导致孔道内预应力钢绞线与结构物的粘结强度不足,存在一定的质量隐患,进而影响到梁体的整体性能和使用寿命。

为了有效解决这一问题,项目部引进了“一种智能真空压浆设备”。该设备包括多个关键系统:自动上料系统、自动称重系统、抽吸真空系统、微电脑自动控制系统、高低速搅拌系统、供水系统和行走系统。这些系统协同工作,通过精密的控制和操作确保了压浆过程的每一个环节都能够达到最佳效果。

在其操作过程中,通过在智能压浆设备的控制面板上输入预先设定的浆液配比、压浆压力和保压时间,该设备即能够根据这些参数自动进行称量和搅拌;高低速搅拌系统能够根据需要调整搅拌速度以确保浆液的均匀性和适当的稠度。随后,设备会按照设定的压力自动输送浆液完成预应力管道的压浆施工。这种精确的自动化操作不

仅提高了施工效率,还大大降低了人为操作带来的误差和风险。

此外,抽吸真空系统在整个压浆过程中起到了关键作用。通过抽真空的方式确保了浆液能够充分填充管道内部的每一个空隙,防止出现空洞或不密实的情况,从而提高了孔道内浆液的密实度和粘结强度。

所引入的智能真空压浆设备不仅提升了压浆施工的质量和效率,亦通过自动化、智能化的控制系统确保了整个压浆过程的高度稳定性和可靠性,不仅有效地保障了梁体结构的安全性和耐久性,亦为延长梁体的使用寿命、降低后期的维护和维修成本打下了坚实的基础。

综上所述,智能真空压浆设备的应用在很大程度上解决了传统压浆方法存在的问题,通过先进的技术手段和科学的施工流程为引桥连续梁的预应力孔道压浆提供了强有力的技术支持和保障。

5 多箱室宽幅长联连续梁钢绞线穿束技术

5.1 现状与问题

在长束预应力穿束过程中,通常会遇到波纹管起伏或弯曲位置的钢绞线穿破波纹管、扭折、弯曲堵塞等情况,进而造成摩擦力大、穿束效率低等问题,而且施工过程中穿束人员的安全也难以保证^[5]。在该项目建设过程中,预应力钢束多达 190 束,其线型曲折起伏,钢筋、波纹管密集,钢绞线穿束困难。而传统的穿束方式多采用人工穿束或机械穿束进行施工,但其穿束长度大多在 100 m 以内。而该工程中最长的预应力束长达 169 m。钢绞线穿束安装时单束钢绞线根数较多(常见为 6~17 束不等),在每次钢绞线穿束过程中,由于作业空间的限制,钢绞线在穿束过程中往往处于弯曲、扭折状态而造成钢绞线穿束时顺直困难、摩擦力大、钢绞线头易破坏波纹管等,穿束效率低。

5.2 多箱室宽幅长联连续梁钢绞线穿束技术

项目部针对该工程建设中出现的问题研发了“一种预应力钢绞线穿束端头辅助安装装置”的专利设备,旨在优化钢绞线的穿束操作。该装置设计精巧,其包含两个主要系统:纵向滑移系统和横向调节系统。纵向滑移系统负责钳合与固定钢绞线的穿束端头并完成其移动;而横向调节系统则用于支撑和调节纵向滑移系统以确保整个装置运

行顺畅。纵向滑移系统由沿钢绞线安装槽纵向布置的滑移架及其端部的液压驱动机构和环形液压钳组成。滑移架设计精密,其能够沿着钢绞线的安装槽纵向滑动,使钢绞线在其安装过程中保持平直,进而减少了因钢绞线在入槽口前可能出现的弯曲和扭折情况。液压驱动机构能够提供强大的动力确保滑移架平稳移动,而环形液压钳则可以牢固地钳合钢绞线,保证其在滑移过程中的稳定性。

为了进一步减少穿束操作中出现的摩擦,该装置配备了“井”字形限位架,该限位架可以有效地限制钢绞线的运动范围,确保其始终处于最佳位置,从而降低了端头穿束时的摩擦力。所使用的安装装置同时具备纵向和横向移动结构,使其能够在钢绞线安装固定过程中进行灵活的调节。无论是纵向的微调,还是横向的定位调整都可以通过该系统轻松实现,极大地提高了安装的精度和效率。

此外,该装置采用了一个液压驱动机构,通过并联的方式分别驱动纵向、横向及其钢绞线环形液压钳。这种设计不仅使驱动结构更加紧凑,而且简化了控制系统,使各系统在移动和安装操作时更加快捷和稳定。液压驱动的高效性和稳定性保证了该装置在复杂施工环境中的可靠性和操作简便性。

该专利装置的研发与应用极大地提升了钢绞线穿束的效率和质量,不仅有效地减少了施工过程中可能出现的误差和问题,还提高了施工的整体

安全性和可靠性。通过对钢绞线穿束操作进行优化,该装置为预应力混凝土结构的建设提供了强有力的技术支持,确保了工程质量稳步提升。

6 结 语

笔者通过对多箱室宽幅长联连续梁施工过程中的大方量薄壁混凝土浇筑质量采用的控制、养护、张拉、压浆及钢绞线穿束等施工措施进行研究,解决了所存在的施工难点,探索出智能设备在多箱室宽幅长联连续梁施工中的应用,确保了施工质量,有效地助力了企业实现精细化、智能化、数字化的工程建设管理。

参考文献:

- [1] 辛瑞. 预应力混凝土连续箱梁特大桥系梁施工技术[J]. 山西建筑, 2013, 39(31): 183-185.
- [2] 刘殿元, 张乃计. 多跨长联预应力混凝土连续梁桥线形控制技术[J]. 公路交通科技, 2012, 29(12): 35-37.
- [3] 杨基好. 桥梁预制梁全自动喷淋养护技术的创新与应用[J]. 科学中国人, 2017, 23(1): 13-14.
- [4] 李建安, 毛久海, 韩特. 预制梁板全自动喷淋养生质量控制研究[J]. 科技创新与应用, 2014, 4(7): 196-197.
- [5] 王文建. 桥梁预应力智能张拉与压浆系统原理及施工技术[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2015, 43(4): 328-331.

作者简介:

林晓旭(1986-),女,四川资中人,副高级工程师,从事市政、水电、铁路工程施工技术与管理工作;
范道林(1978-),男,黑龙江齐齐哈尔人,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
黄艳梅(1979-),女,四川仁寿人,副高级工程师,从事市政、水电、建筑工程工程施工技术与管理工作。 (编辑:李燕辉)

(上接第 41 页)

随着压力的增加而增大,随着泡沫掺比先减小、后增大。当其掺比为 20% 时,各级渗透压力下的渗漏量最小。由此可以认为:泡沫的堵漏作用是吸附特性、低失水特性、流变特性和泡沫黏弹可压缩特性共同作用的结果。

参考文献:

- [1] 宗敦峰, 刘建发, 肖恩尚, 等. 水工建筑物防渗墙技术 60 年 I: 成墙技术和工艺[J]. 水利学报, 2016, 47(3): 455-462.
- [2] 罗守成. 对深厚覆盖层地质问题的认识[J]. 水力发电,

1995, 16(4): 21-24, 58.

- [3] 黄卫东. 泡沫泥浆在我队钻探中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 1982, 25(4): 65-66, 15.
- [4] 赵留运. 高性能欠平衡泡沫钻井液体体系的研究[J]. 钻井液与完井液, 2007, 41(3): 7-9, 87.
- [5] 朱文茜, 郑秀华. 抗温可循环微泡沫钻井液的研究进展与应用现状[J]. 应用化工, 2021, 50(6): 1594-1599, 1606.

作者简介:

李万洲(1988-),男,重庆万州人,项目经理,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
周建(1990-),男,重庆合川人,项目副总工程师,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。 (编辑:李燕辉)