

水预应力混凝土箱梁预制施工工艺关键技术研究

贾光华

河北建设集团股份有限公司, 河北 保定 071000

[摘要]由于预应力混凝土箱梁具有良好的结构特性,在当今的各种桥梁建设中已经成为最主要的上部构造形式,而预制的质量又关系到整个桥梁的安全以及寿命问题。本文对预应力混凝土箱梁的整个预制工艺进行了总结归纳,针对其中的模板工程、钢筋及波纹管安设工程、浇筑混凝土工程和预应力体系施工四个方面分别进行关键技术分析。通过研究发现,推广整体液压模板的应用、钢筋胎架绑扎法、波纹管精确定位、砼配合比的合理设计、智能养生技术以及智能张拉与真空充填压浆方法的结合是目前提高预制箱梁施工质量的关键技术手段。

[关键词]预应力混凝土箱梁; 预制施工; 整体式液压模板; 智能张拉

DOI: 10.64635/ja.2026.1118

中图分类号: U445.4

文献标识码: A

Research on Key Technologies for the Prefabrication Construction Process of Prestressed Concrete Box Girders

Jia Guanghua

Hebei Construction Group Co., Ltd., Baoding 071000, Hebei, China

Abstract: Owing to their favorable structural characteristics, prestressed concrete box girders have become the predominant form of superstructure in various bridge projects today, and the quality of prefabrication is directly related to the safety and service life of the entire bridge. This paper summarizes the whole prefabrication process of prestressed concrete box girders and analyzes the key technologies involved in four aspects: formwork engineering, installation of reinforcement and corrugated ducts, concrete pouring, and construction of the prestressing system. The study shows that the promotion of integral hydraulic formwork, the reinforcement cage binding method using assembly jigs, precise positioning of corrugated ducts, rational design of concrete mix proportions, intelligent curing technology, and the combined application of intelligent tensioning with vacuum grouting are currently the key technical means for improving the construction quality of prefabricated box girders.

Keywords: prestressed concrete box girder; prefabrication construction; integral hydraulic formwork; intelligent tensioning

引言

预应力混凝土箱梁以其截面抗扭刚度好、承载力强、跨越能力强等特点,在大型桥梁上部结构选择中已经成为常用的技术方案之一。伴随桥梁工程建设向着标准化、装配化发展趋势,“预制件”式的装配化施工方式因其可大大减少建设时间并保障产品质量而被广泛采用。预制混凝土箱梁的施工技术是桥梁工业建造过程中的重点内容,它的技术水平直接影响着整个工程的安全稳定性和使用寿命。但是工程应用过程中仍然存在模板安装精度低、预应力管道定位不精确、混凝土收缩开裂以及孔道压浆不饱满等问题的质量通病。所以,深入探讨预应力混凝土箱梁预制施工的主要施工技术对提高预制梁生产工艺水平、确保桥梁安全稳定服役有着重要的工程应用价值。

1 预应力混凝土箱梁预制施工工艺总体流程

预应力混凝土箱梁预制施工就是在预制场内一次性完成了箱梁混凝土浇筑、施加预应力等工艺之后再吧成型好的箱梁运送到桥上进行安装的施工工艺。预制施工的整体过程可以分为五个步骤:第一步就是施工准备。包括预制台座的搭建验收、底模打磨清洗以及测量放样;台座表面平整度以及硬度会影响箱梁底部几何形状的准确程度,是整个预制施工的关键之一;第二步是钢筋结构以及预应力装置的安装,主要指钢筋骨架在胎架上的焊接绑扎、波纹管道的定位安装、预应力钢丝绳或者预留孔道的布置;第三步是模板工程施工,主要是对箱梁外侧模板的拼接安放、内模的提升固定、端模的安装固定等。第四步是混凝土工程包括混凝土搅拌和运输、分层分段浇筑、振捣密实

及后期养护。第五步是预应力工序,在混凝土强度满足设计要求后进行钢绞线穿束、预应力张拉、孔道压浆、端部封锚等施工工序最终形成成品梁进行移运存放。以上工序之间环环相扣互相影响,一旦其中某项出现误差就会影响到下一个工序,所以对于一些主要工序的技术管理更为重要。

2 预制施工核心工序关键技术

2.1 模板工程关键技术

模板工程是预制箱梁施工第一道工序,在很大程度上决定了预制箱梁构件的几何尺寸及外表面的质量。传统的模板施工方法采用钢结构拼装,各节段之间存在竖向接缝,不仅外观看上去不整齐,而且由于多次吊装、安装会造成模板的变形损坏,甚至造成接触不良等问题。整体液压滑动模板应用于箱梁预制施工具有布设轨道简单、占地面积小、龙门吊使用强度低、反复拼装工作量小以及拼缝少等特点。其由轨道、行走小车、模板三部分构成,由液压泵站驱动脱模油缸、顶升油缸和水平横移油缸从而使其能够独立进行纵向移动、水平移动乃至竖直运动。与传统的拼装模板相比较,在拆模后运送到下一墩台只需两名工人在十分钟左右的时间即可搬移至下一墩台处,而传统的拆模后搬移到下一墩台最少需要八名工人的八个小时的工作时间,工作效率大大提高,同时液压模板之间的接缝焊接打磨之后整个梁体腹板都是一块完整的平面,没有拼缝,外观效果也有了很大进步。预拱度的设置是模板工程的一个重要控制内容,必须考虑到梁体自身重量以及预应力施加之后所出现的反拱现象等影响因素来设置好底模的预先起拱程度。

2.2 钢筋与预应力管道安装技术

钢筋骨架制作质量直接影响着箱梁的承重能力,预应力管道的定位准确性又直接影响着预应力的作用效果,对于预应力箱梁预制过程的复杂难处来说,钢筋绑扎以及预应力管道预留就属于重点控制部位,在钢筋胎架上做好明显的定位标识,使钢筋骨架钢筋的位置、间距精确无误。通过高精度钢筋胎架对底层和腹板钢筋进行分段绑扎,大幅度提升了钢筋间距符合率和保护层厚度的控制精度,预应力波纹管的定位为施工难点,要在钢筋骨架上合理布置预应力管道定位筋,使预应力波纹管保持圆顺状态,当波纹管与骨架发生矛盾的时候,则需要调整骨架和横梁钢筋的位置。近年来,定制波纹管定位筋焊接工作台开始推广使用,本装置采用机床上精准打孔配以标准螺杆现场组装的方式,使腹板钢筋安放于装置相应部位后进行波纹管

定位钢筋焊接,大大降低工人对底板钢筋的踩踏扰动及对接对波纹管的破坏。波纹管安装完毕之后还要进行坐标校核,保证曲线平滑,定位精确,在砼浇筑之前还要对波纹管做密封性试验,避免因漏浆导致孔道堵塞的情况。

3 混凝土工程施工关键技术

3.1 混凝土配合比设计与制备

箱梁混凝土配合比应从满足强度的要求出发而兼顾工作性能及抗裂性能,因为箱梁整体体积较大,在浇筑过程中容易产生较大的水化热引起温度应力从而造成开裂问题,这就要求我们进行混凝土配合比的时候要特别注意这个问题。同时大剂量地添加复合粉煤灰以及矿粉作为掺合料可以有效地减少超大面积混凝土的水化热温升,在掺有适当比例矿物掺合料的基础上保证后期强度的前提下降低初期水化热的尖锐程度。同时在配合比设计时还要考虑水泥的数量,选择低水化热水泥品种并加入高效减水剂以减少用水量,从而达到减小水胶比,增强其密实度及防水性的目的^[1]。混凝土生产中要准确把控原材料的测量准确度以及搅拌时长,保证出料砼的坍落度、含气量及温度等参数符合施工规定。

3.2 混凝土浇筑与振捣工艺

箱梁混凝土浇筑须遵守“分层分段、对称连续”,即底板—腹板—顶板由下至上逐段浇筑的原则,底板浇筑宜用一段一段地向前推进的方法,腹板对称浇筑,按一层一层来浇筑,每层厚度30~40cm左右,上下两层之间间隔时间不大于混凝土初凝时间。浇筑过程中要注意不能使混凝土出现自由下落的高度过大,一般情况下不宜大于2m,如果大于2m就需要设置串筒或是溜槽,以免出现混凝土离析问题,箱梁混凝土浇筑采取高频附着式振动棒及插入式振动棒共同进行振动,两者联合使用是保证混凝土密实度的重要措施。附着式振动棒主要用于腹板和底板部位,一般在垂直模板面的方向上每隔1.5~2m安装一个,振动频率大于等于120Hz,用高频率震动使混凝土流动并排出空气。插入式振动棒用于钢筋密集处和波纹管周围的小范围加强密实度,其间距不大于振动有效半径的1.5倍,振动过程中尽量不要碰到波纹管还有预应力筋,以防移动或损坏,每次振动持续的时间为20~30s,混凝土表面开始泛浆,不再明显下沉并且没有气泡出现就可以停止振动了,如果振动过度的话会造成分层现象,而不足量的振动会导致蜂窝麻面。腹板位置的混凝土浇筑完成后,在静置30~60min之后再行顶板的浇筑,这样可以保证有足够的时间让里面空气完全排出来。

3.3 混凝土养护工艺

保养对于混凝土强度的发展与防止早期出现裂纹有着重要的作用,混凝土材料质量和搅拌、运输、浇筑、保养等一系列的施工工艺都会直接影响到高强高性能混凝土的质量好坏,必须实施严格的品质监管制度。箱梁混凝土灌注后要及时进行盖毯保湿的保养,保养期不能少于七天,如果需要抗渗性的箱梁则要在灌注完毕之后进行至少十四天以上的保养,在保养的过程中混凝土的表层应该一直处于潮湿的状态之下,保持在百分之九十以上的相对湿度^[2]。冬季施工需要做好保暖防寒工作,若气温低于五度就要使用蒸汽养护或者加铺设保温毯并注意温升速率不得超过每小时十摄氏度,降速不得超过每小时五摄氏度以防剧烈降温造成开裂现象。自动喷淋养护装置已经广泛应用于大型预制场,采用在箱梁两边及上方设置喷淋管路,并配合安装时间继电器、电磁阀实行定时定量喷淋,每隔半小时喷水 5min,保证箱梁混凝土表面始终处于湿润状态,解决了传统人工洒水养护出现的洒水不到位、不够均匀及时等缺点;养护过程中要检测混凝土温度变化情况,在混凝土内外温差大于 20℃的情况下,应当及时进行覆盖保温措施来减少因温差带来的温度应力;脱模之后要尽快给箱梁两端及外漏钢筋做好防锈工作。

3.4 施工缝处理技术

如果箱梁混凝土分次浇筑,则施工接头的质量将直接影响到桥梁结构整体性和耐久性的强弱程度,在设计中施工接头的位置应当选择在剪力较小的地方,对于箱梁来说,水平施工缝应该设置在腹板与顶板相交处或者底板之上 30~50cm 左右的地方,尽量避免设置在最大弯矩截面处。再进行第二次浇注之前要对已硬化的混凝土表面进行凿毛处理,清除掉浮浆、松散骨粒,暴露出新浇的密实水泥砂浆,凿毛深度通常保持在 3~5mm 左右,点数不低于 80 个/dm²,凿毛完毕以后要清扫表面灰尘用高压水枪将表面冲刷干净,再经浸湿养护不少于 24h 的时间,但严禁有积水现象产生。浇筑混凝土之前在施工缝面上涂抹界面处理剂或者铺设 10~20mm 厚与混凝土相同的同质水泥砂浆,加强新老混凝土之间的粘结力,在重要构件部位应增加施工缝处抗剪钢筋或者用环氧树脂涂层加以防护,使其接缝处具有更好的抗渗性以及抗剪强度。浇筑新混凝土时时候注意振捣工作,使新老交界面处密实相接。

4 预应力体系施工关键技术

4.1 预应力钢绞线穿束技术

预应力钢绞线的穿索质量影响张拉效果以及构件受

力均衡情况,钢绞线的下料应该用砂轮机切割,不能用电弧焊接或者氧炔焰切割,这样会损坏钢绞线表面的质量以及力学性能,穿索之前对波纹管孔道要清洗干净并且验收合格才能进行下一步工作,保证预应力筋束的穿索整齐排列有序,对于多束钢绞线要严格按设计图中所示的顺序依次进入,并标明序号以防混淆,穿索过程要防止出现绞丝扭结打结的现象,在弯折部位、长孔道等地方可以用穿索器或者卷扬机进行拉拽,但是力度适中,别扯坏波纹管。

4.2 预应力张拉工艺与控制

预应力张拉为形成有效预压应力的关键环节,预应力张拉的质量直接影响着箱梁的抗裂性和承载力,在现场传统的手工张拉存在着随意性大、记录不完备、两端同步度难控等诸多缺陷。智能型张拉系统由计算机软件操控并指挥预应力张拉全过程,可以精准调控有效的预应力值的大小,使整个张拉过程达到智能化控制的效果从而避免了人为因素所带来的误差,应力控制精度能够达到±1%^[3]。智能型张拉系统可以对张拉力,伸长量,持荷时长等相关指标随时进行监测并将之全部记录下来并且保存起来。张拉应当在混凝土强度满足设计要求以后再开展,而且要严格按照设计方案所规定的过程以及张拉控制应力逐级施张。张拉时必须做到双控管理,就是通过张拉应力为主、伸长量复核为次,实际伸长量和计算伸长量之差若超出了±6%,就要暂停张拉检查原因。

4.3 孔道压浆技术

孔道压浆是防止预应力钢筋锈蚀的最后一道防线,在保证预应力钢筋同混凝土共同承载方面起着至关重要的作用。预应力管道真空辅助压浆是在传统的压力灌浆的基础上增加了真空负压技术,以“先抽真空后压浆”的双控制手段,大大提升了浆体在管道内的饱满程度以及密实度要求。浇筑前利用真空泵对波纹管抽取真空,通常控制为 0.08~0.10MPa 左右,在将波纹管内空气及水分抽出后建立起稳定的负压状态,同时在抽空端仍维持住负压的状态下,在另一端以 0.5~0.7MPa 稳压状态下持续性的注浆直到填满为止。真空压力灌浆可以很好地解决传统的灌浆经常出现的气囊、离析、疏松等问题,极大的加强了浆液同钢绞线、砼的粘接力。灌浆浆液的水胶比不应该高于 0.26,流动性在 14~18s 之间,而且 30min 以后失流度不能超过 2s, 24h 内的自然沉水率为 0%。

4.4 封锚与端部处理技术

封锚为预应力施工最后一道工序目的在于防止锚具受到外界环境侵害以及传递端头受力。封锚前要先进行切

割锚外多余的钢绞线,使用砂轮锯切割,预留长度不少于30mm。封锚用混凝土配合比率需经过实验来确认,使用无收缩性混凝土作为材料,避免混凝土因自身收缩裂缝造成封堵不当进水漏气情况的发生。封锚过程中需要预留排气孔以便于浆体压注过程中的排气^[4]。现阶段一些项目使用可反复利用的灌浆帽代替传统的封锚混凝土,这种设备依靠密封环紧密接触锚垫板,在压浆结束后可以拆卸再利用,缩短了养护周期并且增强了密封效果。封锚后需对外观进行观测,保证无裂纹、无漏水,按规定进行防锈处理。

5 结束语

预应力混凝土箱型梁预制施工是一个复杂的多层次联动的技术综合,各个工序相互关联密切。整体式液压模板的应用大大提高了模板工程的工作效率以及成品外观的质量,精准化的钢筋胎模以及波纹管定位装置保证钢筋骨架及预应力管道安装空间位置的准确性,科学的配合比设计以及混凝土智能化养生措施控制了混凝土的水化热效应以及早期开裂的可能性,智能张拉与真空辅助压浆系

统提高了预应力结构施工质量和稳定性。这些先进的技术的应用使我们能够对预制箱梁的施工进行全面把控,对促进桥梁工程预制装配化标准化,智能化、精细化的发展有着积极的作用。

[参考文献]

- [1]蒋焘.预应力混凝土连续箱梁支架悬浇施工工艺研究[J].混凝土世界,2024(07):57-60.
- [2]谢迪.高速公路预应力混凝土箱梁预制关键技术与精智化施工实践研究[J].工程质量,2026,44(02):89-93.
- [3]王俊强.预应力混凝土连续箱梁挂篮施工工艺[J].交通世界,2022(34):143-145.
- [4]李志腾.预应力混凝土现浇箱梁施工工艺及质量控制[J].交通世界,2025(23):124-127.

作者简介:贾光华(1986.02—),毕业院校:青海大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:河北建设集团股份有限公司,职务:文安洼五标项目生产经理,现职称级别:高级工程师,要评:正高级工程师。