

公路 40 m 预应力薄壁箱梁现场预制施工工艺

饶雄忠¹, 王志兵¹, 何华春²

(1. 江西省交通设计院, 江西 南昌 330002 2. 抚州市公路局, 江西 抚州 344000)

摘 要: 40 m 预应力薄壁箱梁作为新桥型结构在高速公路中正被广泛应用, 它的预制是施工中的一个重要环节。介绍了现场预制施工工艺流程。

关键词: 预应力薄壁箱梁; 模板; 预应力施工; 混凝土防裂

中图分类号: U448.21+3; TU757.1

文献标识码: A

0 引 言

赣州公路桥主桥结构为 7m × 40 m 预应力混凝土先简支后连续箱形梁, 箱梁断面变化大, 现场预制梁模板型式多种多样。在该桥梁的预制中设计大块组合式整体钢模板, 可根据需要组合拼组成不同断面, 拆装方便; 为确保梁体质量, 有针对性地采取混凝土防裂措施、可节约投资, 取得显著的经效益和社会效益。该工艺适用于后张预应力简支梁的现场生产, 建厂规模视工程需要确定, 可以为一座大桥制梁, 也可邻近几座大桥乃至几条铁路制梁。环境温度要求为 -5℃ 以上。

1 施工工艺

1.1 制梁台座

台座要求下层有足够的刚度, 须置于良好的地基上, 下沉量不超过 2 mm。做法是在地基上用浆砌片石铺底, 再在上面灌注 30 cm 厚的混凝土, 两端加钢筋网。

1.2 模板

40 m 箱形预制梁分两端跨有伸缩缝与两端无伸缩缝两种, 它们的几何尺寸不相同, 每跨又分内梁和左右两侧外梁 3 种, 再加上中跨的无伸缩缝梁, 共有 8 种规格。制作了 3 套适合预制不同类型箱梁的模板, 该模板具有重量轻、拆装方便、通用性强等优点。外模桁架式, 用纵横联杆联成整体大块模板; 内模采用分解的倒梯形环状框架和小块模板组合。1) 底模由 7 mm 厚的钢板加工而成, 直接安装在制梁台座上, 用预埋螺栓与台座连在一起。2) 内模均为小模板, 由侧模、角模、端(中)横隔通孔模板、顶模和底模等组成, 内模架均由几种倒梯形环状模架组成, 每环均可分解拆卸。3) 外模均由大块模板组成, 外模架由桁架式模架、纵横模联杆等组成。外模沿梁长方向分成 11 个节段, 每套侧模由 11 块单元模扇组成, 单元模扇由面板、支撑面板的横肋、竖肋、竖向加肋、支架、顶拉杆、底连接拉杆和安装在侧模上的震动器支架组成。

1.3 震动器的选型与布置

为了保证梁体混凝土的密实度, 采用侧震工艺。1) 使用郑州长城建筑机械石制造的 HZ22-9 型震动器, 震动力为 8 kN, 振动频率为 48 Hz, 功率 1.5 kW, 振幅 1.6 mm。2) 附着式震动器的布置根据梁截面而变化。跨中设 2 排, 梁端减少到 1 排, 沿梁长方向的间隔按计算确定。注意梁体两侧的震动器要交错布置, 以避免震动力互相抵消。考虑到无底震, 梁体下部适当缩短震动器间隔距离。

1.4 材料

1) 水泥选用 525 普通硅酸盐水泥。进料时, 出厂合格证、试验报告必须齐全。出厂超过 3 个月者要作检

收稿日期 2004-03-12

作者简介: 饶雄忠(1974-) 男, 江西东乡人, 助理工程师。

查试验,合格者方可用(条件允许时尽可能使用散装水泥)。

2)天然硬质洁净河砂,细度模数2.81~2.85,视比重2.85~2.92。

3)碎石选用质地坚硬的石灰岩、花岗岩、河卵石,根据梁体不同部位钢筋及波纹管最小间距确定最大粒径和级配,其物理力学性能须满足有关规范要求。

4)外加剂选用FN-2高效减水剂和FND-800缓凝早强剂作为复合外加剂,目的是延缓混凝土的初凝时间,提高梁的早期强度以利于早张拉。

5)高强碳素钢丝选用高强低松弛预应力钢绞线,控制张拉力为1395 MPa。钢绞线应无损伤、无死弯、无锈蚀,有出厂合格证、检验单。使用前逐盘抽样作抗拉、抗弯试验,性能符合预应力规范者方准使用。

6)锚具材质须符合GB699-65标准,制造误差应符合设计要求。

1.5 场地布置

现场预制梁大多受场地限制,合理布置制梁场是现场制梁成功的前提。应充分利用桥头成形路基,布置包括拌合楼、预制台座、运梁轨道、50 kN、650 kN 龙门吊轨道、钢绞线下料及钢筋加工棚、存梁场等。

1.6 施工方法

1)立模 顺序为安装底模→安装侧模→涂脱模剂→贴接缝止浆胶带→吊装钢筋骨架→吊装内模→绑顶板钢筋→安装端模。立模时要注意:(1)模板要洁净,要均匀喷涂含腊量较高的脱模剂;(2)安装底模前,要在台座上准确标出梁的轴线;(3)模板的接缝要严密平顺,且板面局部平整度(用3 m 平尺检查)不能大于1 mm,板面和板侧挠度控制在±1 mm 范围内。

2)拆模 先拆两头端模、内模倒梯形环架,内模分小块从端头送出,最后拆侧模。拆侧模时,要先用倒链将侧模向外拉出20 cm 后,再用50 kN 龙门吊起吊,移到另一台座进行组拼。操作龙门吊时要注意起升不能太快,避免模板向上顶撞翼缘板。

3)钢筋加工 钢筋加工要求:(1)钢筋要调查、除锈,下料、弯制要准确,加工好的半成品钢筋要分类挂牌存放。(2)在相应的台座上绑扎成型钢筋骨架。台座上每隔1 m 放一段25 cm×25 cm×150 cm 的方木,钢筋置于其上绑扎,以利吊装。台座顶面要标出主筋、箍筋、模架、变截面位置及骨架长度。绑扎经核对无误后点焊,点焊节点数大于骨架总节点数的2/3。为保证混凝土保护层厚度,在钢筋笼外侧绑扎水泥砂浆垫块。(3)绑扎好的钢筋骨架经质检人员检查合格后,用φ22 钢管焊制的22 m 的双三角架作扁担,650 kN 龙门吊整体吊装入模。

4)混凝土施工 混凝土施工要求:(1)配合比。主梁混凝土为C50级,梁体薄,腹板厚仅14 cm,加上双层φ8 钢筋网和三层重叠波纹管,混凝土保护层厚度仅1.6 cm,在满足和易性、强度、耐久性及尽可能经济等条件下,比优化试验,选定配合比为水泥:砂:石子:水:NF-2:FND-800=1:1.777:2.283:0.37:0.005:0.005。此组配合比的抗压度 $R_3=43.7$ MPa,的 $R_7=50.2$ MPa,坍落度为7~11 cm^[1,2]。(2)拌合和运输。采用带自动计量装置的强制式拌合楼(机)以分次投料方式拌合混凝土。拌合楼尽量靠近制梁台座设置,拌合好的混凝土直接倾倒入输送泵中,泵送到料斗,然后用50 kN 龙门吊吊着料斗进行浇注。(3)浇注。由于加了缓凝剂,推迟了混凝土的初凝时间,且单片梁的大方量(外梁)达52 m³,浇注时间少(一般在210~240 min),故分3层浇注,先浇底板,再浇腹板,最后浇顶板,分别采用不同的坍落度控制。在浇底、腹板时,在顶板上放置钢板,避免混凝土落到顶板钢筋上影响混凝土的质量。(4)捣固。腹板捣固以附着震动器为主,插入式震动棒为辅。附着式震动器必须两边对称振动,并严格控制振动时间;只能在灌注部位振动,不得空振模板。底板和顶板采用插入式震动棒捣固,要布点均匀,震动棒不能触及波纹管,以免波纹管被振破漏浆,影响张拉。梁体顶板在浇注后要二次收浆,抹面拉毛,以防止出现沉陷裂纹^[2]。(5)养护。浇注完成后1~2 h 往顶板和箱内浇水,使混凝土表面保持绝对湿润,避免时干时湿。针对工地不同气候变化采用不同的养护措施,低温季节灌完混凝土后立即用保温块把梁体包围起来,保持梁体温度。保温块用塑料布来夹稻草制作。

5)预应力施工 预应力施工包括:

(1)预应力孔道成孔 采用预埋金属波纹管成孔工艺。波纹管采用现场卷制的方法,用厚1 mm 的非镀锌铁皮卷制而成,外径为62 mm,要求无损伤、不变形。波纹管加工好后,置于现场的存放棚内,下部每隔2

m 设一方木,使其离地 30 cm 以上,并在四周设排水沟,防止波纹管进水锈蚀因受操作场地限制,只能加工 20 m 左右长的波纹管,而预制梁一股要用长约 41 m 的波纹管,故需接长。接头用内径 63 mm 波纹管套接,套管长 20~30 cm。将待接的两根波纹管从两端对称地拧入套管后,再用胶带缠绕,密封好,以防止制梁时水泥浆进入管内。在绑扎钢筋骨架时,用长 12 cm 的 $\phi 8$ 钢筋焊成 63 mm \times 63 mm 的方形定位骨架。定位架沿梁长方向每 50 cm 设一道,焊在构造钢筋上,使波纹管在浇注混凝土时不会上下左右移动,保证波纹管位置准确。

(2) 钢绞线的下料、编束和穿束 钢绞线进场是用铁皮缠绕的。下料前应先将钢绞线卷放在自制的放线架中,再将铁皮剪断,然后抓住钢绞线一端,将它缓缓拉出,注意不使钢绞线产生有害变形(有害变形的部分必须除掉)。钢绞线下料用砂轮切割机。钢绞线下料长度既要满足使用要求,又要防止下料过长造成浪费。由于预制箱梁采用两端张拉,故每根钢绞线的长度按下式确定:

$$L = L_0 + 2(L_1 + L_2 + L_3 + L_4)$$

式中 L_0 —孔道净长; L_1 —工作锚长度; L_2 —千斤顶长度; L_3 —工具锚长度; L_4 —预留量,取 100 mm。

将下好的钢绞线放在工作台上,每隔 0.5 m 用 $\phi 22$ 号铁丝将 5 股钢绞线扎成一组,然后将 5 组钢绞线捆扎在一起,形成预应力钢丝束。编束一定要绑紧,钢绞线要顺绕,根与根之间不得相扭。穿束前在钢绞线一端焊上 U 型钢筋。电焊前应在钢绞线焊端套上波纹管,防止焊渣掉在钢绞线上。焊好后即可穿束,先在波纹管中穿一根 $\phi 6$ 钢筋,再将此钢筋连接 U 型端头,人拉钢筋即可将钢绞线顺利穿入准确位置。

(3) 预应力钢束的张拉与锚固 ①设置张拉操作架和防护板。制作铁架,张拉前把铁架紧靠在梁两端,千斤顶 1.5~2.0 m 处安设防护板,以防锚具夹片弹出伤人。②张拉机具的检验。在张拉作业之前对千斤顶、油压表及油泵进行标定,并绘制标定曲线,张拉时按标定曲线配套使用。③检查预应力钢束及锚具。检查内容有:预应力钢束与锚具布置有无错误和较大的误差;压浆嘴是否畅通;锚具安装是否正确;钢束前端电焊部分处理情况;梁端钢筋是否影响张拉。

(4) 张拉作业 混凝土强度达到设计强度的 90% 时进行张拉,张拉时两端同时对称进行,步骤如下:千斤顶就位,安装工作锚,用铁管将夹片轻轻地打入锚环,然后安装限位板、千斤顶及工具锚,并用铁管将夹片均匀打入工具锚内,调整锚圈、垫板及千斤顶位置,使孔道、锚具和千斤顶三者轴线吻合。

①张拉。千斤顶充油实施张拉,当两端拉至初应力达到 $0.15\sigma_{con}$ (经拉控制预应力)时静停 3 min,使钢绞线受力调整均匀,然后用钢尺测量活塞伸出量,再张拉至 $0.26\sigma_{con}$ ^[1],量活塞伸长量,之后两端对称张拉至控制吨位 976.5 kN,稳压 5 min,测量两端伸出量,计算实测伸长与理论伸长量之间的误差是否符合要求。若不符合要求,应查明原因予以处理。张拉开始后,应松开倒链,回油时,应拉紧倒链。

②锚固。张拉完毕,一端千斤顶先回油打缸,进行锚固,然后另一端张拉,使油表补至张拉控制读数,回油打缸进行锚固。

③张拉注意事项。对钢绞线认真编束,并尽可以在张拉前预拉钢绞线;使工作锚与锚垫板夹紧,并且夹片安装均匀,打紧;加载卸载时要平稳、缓慢,不可过快,防止产生冲击力;两端、两侧同步张拉,防止梁偏压。

(5) 孔道压浆 预应力张拉后,应在 24 h 内完成孔道压浆。其目的一是保护钢绞线免遭锈蚀,二是使预应力钢绞线与混凝土有效地粘着,三是减轻梁端锚具的负荷。压浆前用水冲小船坞孔道,借以除尘和湿润孔壁,除掉孔内的杂质,便于灰浆流动及孔壁有良好的粘着性。浆液水灰比为 0.42,采用 525 普通硅酸盐水泥配制,并在水泥中掺 0.1% 的铝粉作为膨胀剂。浆液的 $28 > 50$ 的 MPa,并应有较好的流动性,其泌水率为 1%,膨胀率为 2%,稠度为 16 s^[1]。水泥浆从配制到入管,需控制在 40 min 以内,水泥浆要经过 $\phi 1.2$ mm 的筛子再进入料斗,以防止大颗粒进入压浆泵造成堵管。压浆用活塞式压浆泵,从一端向另一端压浆,当另一端冒出浓浆时,关闭出口阀门继续压浆,压力 0.6~0.7 MPa,保压 3 min,关闭阀门,至此,压浆工作完成。

(6) 封端 将自制封端钢模(分上、下和两侧)以及对应的加力架固定于预埋在梁端两侧的 4 个 $\phi 28$ 螺帽上,顶部与底部分别借助于端墙和支座螺栓架固定。为控制制梁长不超限,端部封堵混凝土端面应较设计端面位置内移 50 mm,模板两侧加 T 型胶条,防止漏浆。封端混凝土为 C50 级,使用机支翻斗车运输,人工灌注,插入式震捣器振捣,24 h 后拆模,洒水养护 14 d。

6)移梁 完成压浆后的箱梁,需及时从制梁台座上移至存梁场存放,让出台座再次制梁。存梁场可设置在制梁后台座与0#桥台之间。移梁用2台650 kN龙门起落和横移,用平板车纵移。为保证纵移安全,在运梁轨道的两端各安装1台50 kN卷扬机,前拉后放以保持梁车慢速行进,停放在理想位置,便于龙门吊再次将梁吊起,横移到预定位置存放。

2 质量检验和混凝土防裂措施

2.1 产品试验技术标准

- 1)公路桥涵设计通用规范(JTJ 021-99);
- 2)公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTJ 023-85);
- 3)公路桥涵施工技术规范(JTJ 041-89);
- 4)《大跨径混凝土桥梁的试验方法》(交通部公路物科学研究所)。

2.2 静载试验

鉴定性静载试验主要检测箱梁在等代荷载作用下跨中挠度、跨中混凝土应力,观察加载时是否产生裂缝。受检测箱梁置放于坚固的台座上,箱梁支承中心距离与实桥相同,即39.0 m。

根据箱梁预制场的实际条件及计算的加载重量,用现场存放的钢枕、枕木或砂袋,按加载总重量的50%、100%分2级加载,每级加载就位后,静置15 min,记录各级加载重量下梁的挠度及应变值。

2.3 混凝土施工防裂措施

1)产生裂纹原因分析

(1)收缩裂纹。混凝土的收缩裂纹主要是由于混凝土失去凝胶水和毛细水而引起。失去凝胶水而引起的裂纹称沉陷裂纹,失去毛细水而引起的裂纹称干缩裂纹。防止收缩裂纹的原则是,选择合理的配合比和坍落度,加强早期混凝土的养护,改进浇注、振捣方式。

(2)温度裂纹。水泥进行水化反应时会放出较多热量。混凝土是热的不良导体,散热慢,新浇筑的混凝土中不断产生热量,一定时间内内部温度高,表面温度低,导致梁体表面产生裂纹。防止温度裂纹的原则是选择最佳拆模时间,防止拆模后梁体温度骤变。

(3)预应力裂纹。主要出现在端块锚下应力区。锚头局部应力由泊松效应产生横向环状拉应力,拉应力可导致开裂,其程度与钢束张拉力、混凝土强度、锚下螺旋的配置及其强度、端部横向竖向普通钢筋设置有关。

2)防裂措施

(1)确保顶板横向钢筋的混凝土保护层厚度不小于3 cm,并在浇注后立即用扫帚将混凝土表面拉毛,以增加顶板表面的水分。在炎热季节应特别注意早期养护。

(2)腹板混凝土浇注严格按斜向分层,并保证全部混凝土在3 h内浇注完毕,3 d后拆模。为避免造成混凝土内外温差过大,腹板外模拆完后应有一定的保温时间,最好不要立即洒凉水养护。

(3)梁体混凝土浇注完毕,及时割除台座两端的钢模,并用砂或木条将空隙填实,梁端钢板下用钢板填实;张拉前将梁端的砂或木条清除,使梁在起拱后的集中荷载由梁底钢板承受,以避免梁端锚下混凝土开裂。

(4)每束预应力筋的端部加2层片状钢筋网,并注意将螺旋筋旋至锚板部,同时确保锚下混凝土振捣密实。

(5)严格控制骨架钢筋的相对位置,使其确实起到了阻止混凝土裂纹发展的作用。

3 安全措施

(1)施工期内的电路布置要规范化,电器开关设在防雨防晒的电器箱柜内,距离地面不小于1.5 m。

(2)张位时,严禁非工作人员进场。操作人员不得站在张拉千斤顶后,以防飞锚伤人。高压油管接头要紧密,要随时检查,防止高压油喷出伤人。

(3)压浆人员操作时要戴防护眼镜、口罩和安全帽。

4 工程效果

江西赣州公路大桥全长 528.16 m, 其主桥为 7 m × 40 m 预应力混凝土先简支后连续形梁, 简支梁长 40 m、高 1.9 m、顶宽 2.2 m、底宽 1 m、顶板和底板厚 0.15 m、斜腹板厚 0.14 m, 共 56 片, 全部现场预制。梁部混凝土为 C50 级, 正弯矩钢束设在底板和腹板内, 负弯矩钢丝束设在顶板内, 在箱内张拉。56 片梁全部采用本工法, 平均每月生产梁 9 片, 最高月产 11 片, 工期缩短 1 个月, 节约钢材 30 t、水泥 60 t, 综合节省投资 120 万元, 优良率 100%, 受到业主好评。

(1) 现场制梁建场快(从平整场地至投入生产只需 90 d), 占地少, 见效快, 建厂周期短, 易建、易拆、易搬迁, 节约材料, 减少成本。

(2) 梁的预制、存放、架设形成一条龙, 既能保证施工质量, 又便于施工管理和合理安排机具人力, 从而降低工程造价。

(3) 模板设计新颖, 能保证制梁质量, 节约钢材, 单件重量轻, 便于立、拆、移, 可降低劳动强度、提高工作效率。

(4) 形成了一整套现场制薄壁箱型公路梁施工技术, 对一般桥梁现场施工具有启迪和指导作用。

(5) 研究采用了一系列先进技术, 使 40 m 箱梁混凝土表面无错台, 颜色一致, 内实外美, 无裂纹, 实现了一次成功、一次成优。

参考文献:

- [1] JTJ 401 - 2000, 公路桥梁施工技术规范[S].
- [2] JGJ/T 55, 普通混凝土配合比设计规范[S].

Construction Sequence of Precast Forty-Meter Prestressed Thin-Wall Box Girder Bridge in Highway

RAO Xiong-zhong¹, WANG Zhi-bing¹, HE Hua-chun²

(1. Communications Design Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330002, China;
2. Road Station of Fuzhou City, Fuzhou 344000, China)

Abstract: The forty-meter prestressed thin-wall box girder bridge is being used in our country now, the sequence of precast concrete member is very important, Now the construction sequence of precast forty-meter prestressed thin-wall box girder bridge is introduced.

Key words: prestressed thin-wall box girder bridge ;formal panel ;prestressed construction ;the precautionary measures of concrete bear