

# 如何利用流水生产线预制小箱梁

姜凤田

中铁二十一局集团第三工程有限公司

**摘要：**随着经济高速发展，高速公路项目工程体量越来越大，市政桥梁工程工期越来越紧，预制小箱梁被普遍应用，智慧梁厂应运而生，并采用流水生产线预制小箱梁，效率更高、质量更可控。本文以海盐射线项目为例，从流水生产线预制小箱梁施工工艺、施工控制要点及智慧梁厂与传统梁场的经济效益对比分析三方面进行论述，为类似项目推广应用流水生产线预制小箱梁提供经验支撑。

**关键词：**流水生产线；智慧梁厂；预制小箱梁；蒸汽养护

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.24.061

## 引言

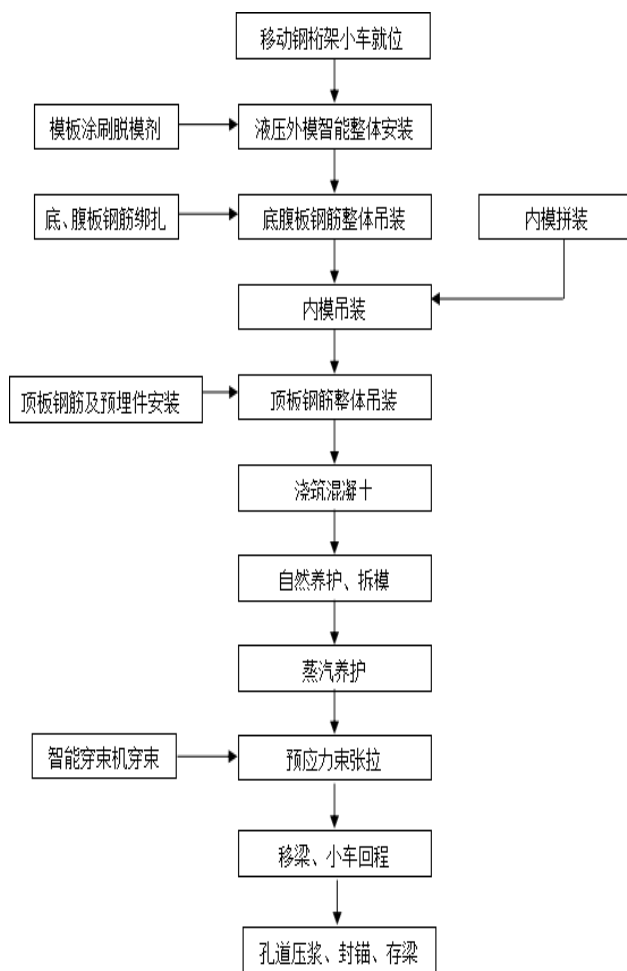
随着经济发展，我国高速路网的逐渐完善及城镇化率不断提高，土地资源日见稀缺，因此高速公路减少路基大填大挖增加桥隧比例，城市道路为扩容建造高架桥梁。目前全国桥梁结构应用最多的仍然是预制小箱梁，传统梁场为满足工期要求需建造数量较多的台座，占地面积比较大，很多高速公路项目也没有合适的场地来建设预制梁场；市政快速路、高架桥位于城区梁场临时用地稀缺，传统梁场选址困难、规模不能达到总体工期要求，预制梁施工进度难于保证施工工期要求；并且传统梁场制梁周期普遍在10天/片。因此催生出流水化智慧梁厂，较传统梁场节约用地28.4%，制梁效率缩短至3天/片，施工效率提高333%。本文结合浙江省嘉兴市海盐射线公路项目，介绍智慧梁厂利用流水生产线预制小箱梁的施工工艺、施工控制要点及其经济效益。

## 一、流水生产线预制小箱梁施工工艺

### （一）流水生产线预制小箱梁施工工艺介绍

智慧梁厂将制梁台座设计为钢结构形式并通过轨道实现纵向移动；钢筋骨架由桁吊分底腹板、顶板整体吊装入模，利用平板电脑控制附着式振动器配合振动棒浇筑混凝土。脱模后立即启动移动台座行走系统将小箱梁送入蒸养房蒸养，蒸养工艺开始前应根据当地项目特点进行蒸养工艺试验，嘉兴地区智慧梁厂平均蒸养18h-22h箱梁混凝土便可达到设计张拉条件，即设计强度、弹性模量的90%。张拉完成后用36m跨径龙门吊横移箱梁至压浆区压浆、封锚，然后吊运至存梁区，移动台座则通过龙门吊放至回程线自动返回制梁区，然后通过桁吊就位进入下一循环施工。

### （二）流水生产线预制小箱梁施工工艺流程



施工工艺流程图

### （三）流水生产线预制小箱梁施工工艺特点

通过数控钢筋加工设备将钢筋加工成设计尺寸，在标准胎模上集中绑扎预制箱梁钢筋，通过吊架整体吊装入模，实现钢筋装配化施工。钢筋加工区、胎架绑扎区、制梁区均采用钢结构大棚全覆盖，不受天气影响，可实现24小时流水线施工。

箱梁外模采用液压智能整体模板系统，由大刚度整体模板+智能液压力控制单元组成，可实现整体化自动安拆。通过先进的位移传感器与同步控制系统配合，实时感知模板脱模状态，自动协调各部位动作，配合大刚度整体模板，模板不易“卡死”，无须敲、打、撬脱模，避免梁体损伤，克服了传统梁场采用龙门吊来回吊装模板造成模板变形、消耗大量人工、长期占用龙门吊

等弊端；充分发挥生产线按固定“节拍”生产的优势。

信息系统采集并反馈模板开合状态、维持时长等信息，帮助现场技术员指导调整生产、固化振捣数据，最终实现标准化施工。

移动台座采用智慧化移动钢桁架小车，箱梁预制完成后可迅速运输至蒸养房蒸养，可实现预制箱梁3天快速张拉。智慧梁厂每条生产线配备4个移动钢桁架小车，每条线每天可生产一片箱梁，生产线建设数量极少，海盐射线项目2985片箱梁建7条生产线即可按期完成生产任务，可节约梁场临时用地及场地硬化等建设费用。

预制箱梁拆模后采用数控蒸养房蒸养，智能温控系统可实现箱梁匀速升温、定时恒温、匀速降温，同时可节约蒸养用气量。采用智能蒸养可以确保箱梁全方位养护到位，混凝土强度均匀确保工程实体质量。

张拉采用智能张拉并可上传张拉数据；箱梁张拉、压浆完成后采用回程线系统控制移动台座自动返回制梁区域。

## 二、流水生产线预制小箱梁施工控制要点

### （一）施工准备

施工人员对移动台座、液压模板进行打磨清理，之后使用抹布对模板进行擦拭保证模板的洁净，涂刷脱模剂后启动外模液压系统，自动安装箱梁外模。

### （二）钢筋加工及安装

在钢筋加工厂使用数控钢筋弯曲中心、锯切一体机、调直机等数控设备加工箱梁钢筋，采用底腹板钢筋胎架、顶板钢筋胎架绑扎箱梁钢筋。胎架设置有不同钢筋定位装置，用以控制钢筋骨架尺寸、钢筋间距等。其中底腹板胎架上有定位坐标对波纹管进行定位，顶板胎架设有桥面铺装预埋筋定位台车；钢筋绑扎完成后通过吊架整体吊装入模。

钢筋在下料前认真阅读设计图纸，对各种规格的钢筋长度进行认真核对，保证钢筋表面清洁、平直，对钢筋的下料长度进行核算再输入数控设备，做到最合理的配料方式，减少浪费。

### （三）内模、端模安装

在钢抽拉式内模为单节模板整体脱模，脱拉内模采用卷扬机及导向滑轮，防止内模割伤箱内混凝土。单节模板长度控制在4m左右，通过抽拉连杆机构使模板脱模。传统梁场采用压杠固定内模防止上浮，智慧梁厂通过精轧螺纹将内模与移动台座锚固、连成整体防止内模上浮，浇筑混凝土时没有压杠干扰，大幅度提高混凝土浇筑功效及顶板混凝土平整度。

智慧梁厂通过精轧螺纹钢调节钢端模位置及固定钢端模，可有效控制预制梁长度及斜交角度。克服了传统

梁场采用电焊固定钢端模梁长、斜交角度难于控制，且电焊伤害外模，不利于钢端模拆除等弊端。

### （四）预制小箱梁混凝土浇筑

预制箱梁混凝土采用矩形长口料斗、桁吊配合入模分层浇筑。混凝土振捣采用智能数控系统附着式高频振动器及插入式振捣棒配合进行振捣，底腹板部分混凝土浇筑采用附着式高频振捣器振捣；翼缘板、顶板部分则采用50型插入式振捣棒进行振捣。

智能数控系统可同步控制60个高频振动器的振捣时间、频率，从而有序振捣；也可单独启动关键部位单独振捣，确保各部位混凝土振捣密实，并加快混凝土浇筑速度。

### （五）预制梁模板拆除、移梁

通过外模液压系统整体式拆除外模，启动移动台座行走系统，将预制箱梁移送至数控蒸养房蒸养。移动台座采用变频调速+无线技术，电机柔性启停，避免台座启动与停止过程的冲击造成的梁体断裂的情况发生。

移动台座具有位置信息采集功能，台座移动系统记录台座的行走状态、停靠时间、感知位置信息，根据预设的参数，及时发出相关指令，提醒工作人员进行台座上梁体的循环作业。

### （六）预制箱梁蒸汽养护

流水线预制小箱梁的核心工序便是蒸汽养护。蒸汽养护时间直接决定生产线能否正常运转。箱梁混凝土蒸汽养护打破了传统自然养护龄期的限制，因此在开始蒸养前须进行蒸养工艺试验并得到最优恒温温度及恒温蒸养时间，然后再进行大规模蒸汽养护。

蒸养系统配置蒸养房、生物质蒸汽发生器、智能温控系统。蒸养棚采用试验恒温养护室标准建设，外包隔热保温层。预制箱梁蒸汽养护工艺流程为：静置→升温→恒温→降温。其中，静置时间夏季不小于6h，冬季不小于8h；升温 $\leq 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，降温 $\leq 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，以防止混凝土表面产生裂缝；恒温加热阶段保持 $\geq 95\%$ 的相对湿度。并且不得将蒸汽直接对准混凝土表面，防止局部温度过高。整个蒸汽养护过程采用智能蒸汽养护系统对温度、湿度进行监控。

梁体进入蒸养房后，一键启动，无须人工监控温度、手动调节阀门，系统根据设置的温度曲线，自动调节棚内温度，高效节能、快速提升混凝土强度及弹性模量。

### （七）预制梁张拉、移梁、小车返回预制区域

张拉采用智能数控张拉数据上传系统，压浆采用配有螺旋泵且可调搅拌线速度的智能压浆机压浆；箱梁张拉压浆完成后采用回程线系统控制移动台座返回制梁区域。

### 三、流水生产线预制小箱梁经济效益分析

下面以浙江省嘉兴市海盐射线智慧梁厂为例与传统梁场进行经济效益对比分析。

#### (一) 梁厂占地面积、用地成本对比

根据项目预制梁数量、工期要求，每天至少需生产6片箱梁。均考虑在齐家水泥厂旧址建梁场：建传统梁场需建设72个台座，智慧梁厂建设7条生产线。传统梁场钢筋加工厂12.7亩，预制区28.5亩，存梁区28.2亩。智慧梁厂钢筋加工厂13.8亩，预制区18亩，存梁区18亩，智慧梁厂节约用地19.6亩，节约比例28.4%，节约租地费用94.7万元。建智慧梁厂用地成本分摊到10.5万方C50混凝土，平均每方混凝土比传统梁场节约 $(3333000\text{元}-2386000\text{元})/105000=9.0\text{元}$ 。

#### (二) 场地建设费用对比

传统梁场场地建设费用为471.15万元，智慧梁厂场地建设费用为351.62万元，智慧梁厂场地建设费用比传统梁场节约119.53万元。建智慧梁厂场地建设成本分摊到10.5万方C50混凝土，平均每方预制梁混凝土比传统梁场节约11.4元。

#### (三) 工装投入对比

传统梁场配置12套外模，8套\*2次内模（考虑中途更换一次），传统梁场配置7台10吨龙门吊、4台80吨龙门吊。传统梁场工装费用为1307.02万元，折旧费用为604.17万元，折旧后项目成本为702.85万元。

智慧梁厂配置7套液压外模，7套\*2次内模（考虑中途更换一次），28套底模行走小车，智慧梁厂配置6台10吨桁吊、6台80吨龙门吊。智慧梁厂工装费用为2661.87万元，折旧费用为1347.62万元，折旧后项目成本为1314.25万元。

智慧梁厂前期一次性投入比传统梁场多1354.85万元，折旧后比传统梁场多投入611.4万元。建智慧梁厂工装投入成本分摊到10.5万方C50混凝土，平均每方预制梁混凝土比传统梁场多58.2元。

#### (四) 施工人员投入对比

传统梁场需要投入模板工36人、养护人员2人及杂工6人，共计44人，智慧梁厂外模采用液压移动模板，模板工24人；采用数字化蒸汽养护且采用工厂化生产，场地面积较小、场站整洁，养护人员及杂工配4人，共计28人，减少用工16人。工期按18个月计算，智慧梁厂比传统梁场可节约172.8万元人工费，每方混凝土可节约16.5元。

#### (五) 工期效益对比

传统梁场雨天不能施工，每月可施工天数只有22天

左右，智慧梁厂不受天气影响，每天均可施工。

传统梁场工期： $2984\text{片}\div 6\text{片}/\text{天}\div 22\text{天}/\text{月}=22.6\text{月}$ ；智慧梁厂工期： $2984\text{片}\div 6\text{片}/\text{天}\div 30\text{天}/\text{月}=16.6\text{月}$ 。智慧梁厂可以节约6个月工期。智慧梁厂比传统梁场可节约工期成本195.04万元，每方混凝土可节约18.6元。

#### (六) 工效对比

传统梁场6台10吨龙门吊需覆盖钢筋加工区、预制区312米施工需要，且预制台座分散，需要龙门吊转运外模及拼装外模，钢筋在胎架上绑扎成型后吊运入模区域距离较远，龙门吊使用效率较低。

智慧梁厂6台10吨桁吊需覆盖钢筋加工区、预制区222米施工需要，液压生产区相对集中，钢筋绑扎胎架位于液压生产区附近，钢筋在胎架上绑扎成型后吊运距离短能快速入模。采用液压模板施工外模安拆不需要利用桁吊，能将桁吊提供给钢筋加工及绑扎班组使用，加快钢筋加工及绑扎效率。

传统梁场在提梁过程中会出现大门吊与小门吊相互干扰现象。智慧梁厂各功能区相对独立，大门吊从张拉区集中提梁，提梁过程中不影响生产区施工生产。

采用智慧梁厂采用工厂化生产，在大棚内进行钢筋绑扎及箱梁预制，不受下雨天气影响，24小时具备生产条件。

#### (七) 质量控制、标准化施工方面的优势

智慧梁厂采用工厂化生产，模板不受雨水、露水影响，预制梁外观颜色均匀；采用智能蒸养房蒸汽养护，确保箱梁各部位养护到位，梁体混凝土强度均匀；智慧梁厂标准化程度高，各功能区划分明确，便于项目管理，确保梁体施工质量。

### 四、结束语

综上所述，流水生产线预制小箱梁在本项目取得了较好成果，同时为今后类似工程的施工积累了宝贵经验。

#### 参考文献

- [1] 张丽娟. 蒸汽养生技术在箱梁预制中的应用[J]. 中国科技纵横, 2019.
- [2] 吴庆雄, 陈荣刚, 杨益伦. 蒸汽养生下预制箱梁预应力张拉控制条件研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2019.
- [3] 《预制梁板工厂化生产线建设和预制生产技术指南》(浙江省交通建设指南ZJ/ZN 2022-05)
- [4] 《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650-2020)