

# U 梁分段式预制拼装工艺

姜涛<sup>1</sup>, 王鹏<sup>2</sup>

(1. 中交第一航务工程局有限公司; 2. 中交一航局第一工程有限公司)

**摘要:**为解决境外工程项目中大跨径 U 梁因交通条件限制而面临的预制运输难题,以印度尼西亚某高速公路项目为例,对大跨径 U 梁的分段预制运输及张拉压浆拼接技术进行了深入分析与研究。采用将单榀 U 梁划分为 5 个节段进行分段预制,然后将各节段分别运输至施工现场,并利用预应力技术将各梁段拼接成整体。实践结果表明,该分段式预制拼装工艺有效降低了施工组织难度、提高了施工效率,确保了施工质量,为类似境外工程提供了一种可行的施工解决方案。

**关键词:** U 梁; 大跨径; 分段预制; 预应力; 拼装工艺; 经济效益

## 0 引言

随着公路建设工程水平的不断提升,大跨径 U 梁在各类桥梁工程中的应用愈发广泛。然而,大跨径 U 梁的运输对现有道路和运输设备提出了较高的要求,尤其是在境外工程项目中,复杂的交通条件限制了 U 梁的预制运输,进而影响了工程的工期和成本。

在现有研究领域中,已有不少文献对构架的预制拼装工艺进行了探讨。叶永康<sup>[1]</sup>在 1974 年的研究中讨论了预应力空心板的长线法生产,为构件的长线法预制生产提供了早期的理论基础。曾祥杰<sup>[2]</sup>和尹学良<sup>[3]</sup>分别对后张法预应力施工技术和预应力智能张拉施工技术进行了探讨,为 U 梁的预制构件施工提供了新的研究参考。然而,现有研究中未见针对跨度大于 40 m 的构件,尤其是 U 梁结构的分段预制拼装工艺的研究。

本文在现有文献的基础上,对大跨径 U 梁的分段预制拼装工艺进行了系统的分析和实践。对印度尼西亚某高速公路项目中 U 梁的分段预制运输及张拉压浆拼接技术进行深入研究。

## 1 工程概况

### 1.1 项目简介

印度尼西亚某高速公路项目位于印尼中爪哇省北部,项目规划路线总长约 27.0 km,设计时速 80.0 km/h。本工程一方面可用于缓解爪哇岛北部沿岸的交通堵塞,另一方面可作为挡浪设施以解决此地区由于土地利用不合理、地下水过度开采导致的地面沉降、海平面上升、城市排水系统排

蓄水能力下降等因素引起的潮汐洪水和海水倒灌问题。

### 1.2 工艺简介

本项目单榀 U 梁长度为 40.80~41.14 m,受当地现有道路条件、运输设备及起重设备的限制,无法进行整榀 U 梁的长距离运输。因此将单榀 U 梁分为 5 段进行节段预制生产,分别运输至安装现场,最后通过预应力将 5 个梁段连接形成整榀 U 梁。

### 1.3 U 梁参数

本项目 U 梁类型为预应力混凝土 U 梁,长度为 40.8~41.14 m,宽度为 1.90 m,高度为 1.85~2.10 m,单榀 U 梁最大重量约 173 t,采用长线法分为 5 个节段进行预制。

## 2 工艺原理

### 2.1 长线法预制

长线法预制可确保 U 梁节段预制后各节段可以准确拼接。预制时各节段间采用 2 cm 厚钢板作为分隔板,根据分隔板处的波纹管设计坐标对分隔板开孔,在进行金属波纹管的预埋定位时将波纹管直接穿过分隔板。为保证预制梁出槽时波纹管可以顺利分离,采用在分隔板处与波纹管套接的方法保证波纹管可以顺利分离且不发生变形。

### 2.2 定位销的应用

U 梁进行分段预制后,保证每节段预制梁在后期张拉过程中的准确拼接是重点工作。为解决这一问题,本工艺采用在相邻 2 节段梁中预埋定位销的方式实现预制梁的准确定位和拼接。定位

销分公母 2 件, 两者使用螺丝连接, 母件中心打直径 10 mm 圆孔, 附带薄垫片和 6 mm 螺杆, 公件中心打直径 6 mm 圆孔, 定位销构造如图 1 所示。为便于定位销分离, 分隔板厚度取 20 mm, 这样在起吊预制梁时, 定位销会顺着变径部分接头滑脱。预埋定位销时在已打好定位孔的分隔板上用螺丝拧紧加固。预制梁起吊出槽时, 先一点起吊对定位销产生水平方向的破断力来破坏薄垫片, 在定位销分离之后将预制梁吊起出槽。

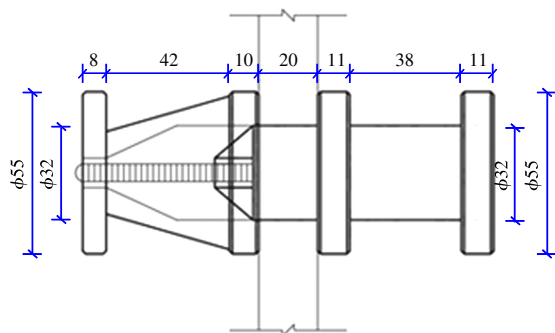


图 1 定位销构造图(mm)

### 3 施工方案及操作要点

#### 3.1 节段 U 梁预制

##### 3.1.1 预制梁台座

根据总体施工进度计划和梁场的生产任务确定预制梁台座数量, 根据 U 梁长度确定预制台座长度。本工程根据 U 梁长度为 40.8~41.14 m, 预制梁台座设计长度为 42.0 m, 台座间距 4.8 m, 以保证在提梁时吊车有足够的操作空间。

##### 3.1.2 钢筋加工及安装

U 梁预制施工中, 钢筋采用绑扎方式连接, 如有搭接情况, 根据图纸要求搭接长度不小于 45 倍钢筋直径。为精确控制 U 梁钢筋骨架间距, 梁场内设置专用于 U 梁钢筋绑扎的胎架。U 梁钢筋绑扎胎架如图 2 所示。

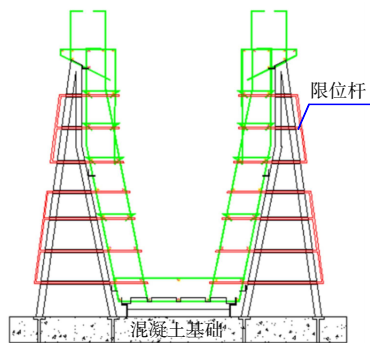


图 2 U 梁钢筋绑扎胎架示意图

先将 U 梁下翼缘水平钢筋放入胎架, 按定位槽口布置好, 依次安装、绑扎下翼缘箍筋; 将腹板水平钢筋放入胎架, 沿定位杆由下至上安装水平筋, 从梁端依次安装、绑扎; 最后绑扎拉筋、加密钢筋和绑扎点。为增加钢筋骨架整体性, 在下翼缘与腹板钢筋交叉部位增加点焊数量。为避免梁中钢筋挠度过大, 上下层主筋间需要放置足够数量的拉筋, 间隔 60 cm 呈梅花形布置。变截面处的钢筋交叉点全部绑扎。钢筋绑扎呈“隔一跳一”的梅花形布置。

##### 3.1.3 预应力管道的制作安装

波纹管采用 0.3 mm 厚镀锌软钢带加工而成, 金属波纹管定位钢筋间距的直线段控制在 80 cm 以内, 曲线段控制在 40 cm 以内, 孔道布置保证坐标准确、管道顺直无扭曲。

预制时相邻 2 个节段间采用 2 cm 厚的钢板作为分隔板, 根据分隔板处的波纹管设计位置对分隔板开孔, 在金属波纹管预埋定位时将波纹管直接穿过分隔板。为保证预制梁出槽时波纹管可以顺利分离且不发生变形, 采用在分隔板处波纹管套接的方法先在分隔板处穿入长 20 cm、内径为 85 mm 的波纹管, 两端也采用内径 85 mm 的波纹管与 20 cm 长波纹管对接, 在内径 85 mm 波纹管对接处用内径 88 mm 的波纹管套接并抵住分隔板, 然后用纸胶布将波纹管套接处缠好密封防止灰浆进入预应力孔道。

分隔板处波纹管的处理如图 3 所示。

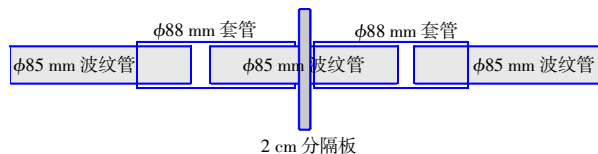


图 3 分隔板处波纹管的处理示意图

预制梁体内波纹管采用坐标法精确安装, 采用定位筋与箍筋焊接固定波纹管, 安装波纹管时穿过定位筋, 确保线形顺直。焊接定位筋时用湿布对波纹管进行保护, 控制焊机电流大小, 不得烧伤烧漏波纹管。

##### 3.1.4 模板安装

模板安装施工顺序如下:

1) 侧模支立前, 对底模平整度进行验收, 在底模上准确标出梁体轴线、横隔板中线和梁端部线; 底模两侧贴 3 cm 宽止浆条。

2) 安装侧模,每节侧模接缝处按线形布设3 cm宽止浆条,依次安装到位后,先安装拧紧接缝螺栓,所有接缝螺栓必须全部拧紧,不得缺失或虚安。侧模安装后落下内外顶丝、旋紧固定螺母,侧模围檩撑脚间隔布置顶丝;安装底口对拉螺杆。测量横坡时,1人负责立尺,1人持千斤顶调整侧模高低,1人调节顶丝螺母升降固定侧模;侧模横坡测量完成后,旋紧上下对拉螺杆。

3) 侧模安装完成后,检查整体模板的长、宽、高及中心线偏离、垂直度尺寸及平整度等,不符合规定的参数及时予以调整。模板安装保证位置准确、连接紧密、侧模与底模接缝密贴且不漏浆。

### 3.1.5 混凝土浇筑及养护

#### 1) 混凝土浇筑顺序

①混凝土灌注采用水平分层的浇筑方法,通过混凝土集料斗从一端开始向另一端分层布料,如此往复,两侧不均匀布料长度不超过1 m。灌注时,混凝土振捣方式采用插入式振捣棒,侧振采用附着式高频振动器。

②混凝土从腹板注入,前2次浇筑厚度均控制在25 cm,沿梁长方向分层布料,使用棒振捣将底板及底板波纹管完全覆盖。

③腹板混凝土分层浇筑,每次浇筑高度控制在30 cm左右,按照水平分层、斜向分段的方式沿梁长方向分层对称连续向上浇筑。在新浇筑完成的下层混凝土初凝前浇筑完成上层混凝土。

#### 2) 混凝土养护

当混凝土初凝后即可在表面覆盖湿土工布进行养护,使用自动喷淋养护系统进行7 d养护,保持混凝土表面湿润,随后使用土工材料包裹混凝土进行保湿养护<sup>[4]</sup>。

### 3.2 节段U梁的运输

由于预制梁场距离预制梁安装施工现场较远,预制完成后需运输至安装现场,预制梁吊运前必须对梁体外形尺寸、混凝土强度进行检验、复查,达到规范要求再进行吊装。

运输过程中U梁梁段底部间用10 cm×10 cm木方衬垫,每1节梁与钢丝绳接触的4个点用橡胶垫加三角铁做好包角,用钢丝绳在转向架上每节段两侧拉牵2个八字形,用紧绳器加固并栓结在车侧丁字铁或支柱槽上。运梁加固措施如图4所示。

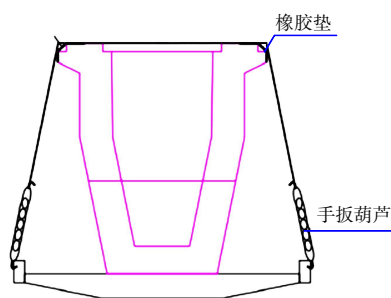


图4 运梁板车运梁加固图

### 3.3 节段U梁的拼接

#### 3.3.1 张拉施工

##### 1) 摆梁

运梁至现场后,使用水平尺检测节段梁拼接处平整度。若有凸起,需将凸起处打磨平整。若无问题,用角磨机打磨节段梁拼接处至粗糙,方便环氧树脂与混凝土黏结。摆梁前,先拉线并根据梁节段长度确定张拉平台位置。根据梁节段重量计算摆梁所用钢丝绳,本工程U梁单节最重37.0 t,选用钢丝绳规格为6×37-φ32 mm。枕块高度为40 cm,每榀梁共需12块混凝土垫墩(1.2 m×0.4 m×0.4 m),12块2 cm厚钢板(1.2 m×0.8 m)。

梁段分节按次序摆放完成后用10 cm×10 cm×300 cm木方加固两侧,每节两端各布置2根,防止倾覆。由于现场存梁场地有限,需提前布置存梁区。并根据提梁门架以及运梁炮车决定各榀梁之间距离。本工程门架宽度4.6 m,2辆炮车长度12 m,为方便施工,2榀梁横向间距3 m,纵向间距15 m。对于多跨桥梁且存梁场地有限的施工工况,需考虑现场存梁空间满足1跨或者多跨并控制好边梁摆放方向,避免出现缺1榀边梁而无法架设过孔的现象。

##### 2) 调平

调平之前,在端节梁一侧放置铅垂线,用千斤顶将端节梁调整竖直并用水平尺检测。用2台千斤顶同时调节,操作步骤需协调一致。千斤顶根据节段U梁重量选择。以端节梁尾部较高处(两端节梁相比)作为调平基准标高并拉设调平线。根据调平线2人在同一节段梁拼接处两侧用千斤顶进行调整,从U梁端向另一端逐节根据梁体预设的反拱数值调整梁体与调平线的高差。调平过程中U梁底部与混凝土垫墩之间的间隙用薄木板填充,薄木板间涂抹润滑油,保证U梁在张拉过程中各节段梁随钢绞线伸长而平稳滑动。

### 3) 张拉

①参照印尼当地施工规范, 预制梁张拉应至少在梁混凝土强度达到 28 d 设计强度的 90% 且浇筑完成后 10 d 才可以张拉<sup>[5-6]</sup>。

②角磨机打磨预应力孔道周边位置混凝土至粗糙, 围绕孔道一圈位置粘贴宽 3 cm、厚 2 cm 止浆圈, 并在拼接接触面满涂环氧树脂(结构胶), 厚度在 3 mm 以内。

③使用穿束机进行钢绞线穿束, 穿束前需将钢绞线端头用胶带包裹, 防止穿束过程中端头分叉; 在钢绞线端头穿出一节梁时, 派专人查看摆梁间距处, 用撬棍及时调整钢绞线前进方向, 避免其缠绕在一起。

④钢绞线穿束完成后, 安装锚具以及夹片, 并搭设张拉所用千斤顶平台。

⑤为保障压浆质量, 在 U 梁拼接缝处涂抹 Sika 品牌环氧树脂胶, 一般提前 0.5 h 涂抹, 不可过早涂抹, 防止环氧树脂胶硬化, 失去拼缝连接作用。

⑥每孔钢束张拉顺序以及伸长量根据设计图纸分析计算, 并上报审核通过后, 按照张拉顺序、伸长量以及控制应力进行张拉。采用钢尺测量油缸外露长度即为钢绞线实际伸长量, 张拉过程中每增长 894.76 kPa(1 000 psi), 记录 1 次读数, 直至拉力达到设计值。

#### 3.3.2 压浆

预应力孔道压浆采用真空辅助压浆工艺。工艺流程为: 孔道口安装阀门→将真空泵连接非压浆口→压浆泵连接压浆口→以串联方式将负压容器、三向阀门和锚垫板压浆孔连接起来, 其中锚垫板压浆孔和阀门之间用透明塑料管连接<sup>[7]</sup>。

压浆前关闭所有的排气阀门(连接真空泵的除外), 启动真空泵抽真空, 使压力达到 0.08 MPa。在真空泵运转的同时, 启动压浆泵开始压浆, 直至压浆端的透明塑料管中出现水泥浆, 打开压浆三向阀门, 当阀门口流出浓浆时关闭阀门, 继续压浆并在 0.7 MPa 压力下保压 2 min。

### 4 人员和机械配置

项目团队的组织管理能力卓越, 操作技能精湛, 且具备高综合素质的技术人员与技术工人, 涵盖钢筋工、模板工、混凝土工等关键工种, 确保了分工明确、责任到人, 从而使得各项准备工作得以高效且有序地推进。此外, 所有投入使用

的设备均应具备优异的工作性能, 并且确保日常的维护和保养得当。

### 5 质量控制标准及效果

本研究遵循了 JTG/T 3650—2020《公路桥涵施工技术规范》<sup>[8]</sup>和 JTG F80/1—2017《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》<sup>[9]</sup>, 对预制梁的各个环节进行了严格的质量控制。

预制梁质量控制标准见表 1<sup>[9]</sup>, 张拉质量控制标准见表 2。

表 1 预制梁质量控制标准

mm			规定值或允许偏差
序号	检查项目		
1	梁长度		+5, -10
2	宽度	梁翼缘	±10
		梁肋	±20
3	梁高度		±5
4	跨径(支座中心至支座中心)		±20
5	支座平整度		2
6	平整度		5
7	预埋件位置		5

表 2 张拉质量控制标准

序号	检查项目		规定值或允许偏差
1	钢绞线束	每束钢绞线断丝或滑丝/丝	1
		每个断面断丝之和不超过该断面钢丝总数的百分比/%	≤1
		实际伸长量与设计伸长量允许误差百分比/%	±7(印尼当地规范)
2	起拱度/mm	实际起拱度与设计起拱度允许误差/mm	±35
3	侧拱值/cm		≤L/1 000=4.08
4	夹片式锚具露出锚具外的长度以及相互间错位/mm		错位≤2 外露长度≤4

经过严格的质量控制, 以上检查项目均在设计及规范允许范围内, 预制 U 梁外观光滑平整, 混凝土结构密实, 无蜂窝、麻面、露筋等缺陷, 边缘线条顺直, 棱角分明, 色泽均匀一致, 全部梁体一次验收合格率均为 100%; 同时也减少了因外观问题导致的修补工作, 提高了施工效率。

### 6 安全生产保证措施

为确保 U 梁预制及运输过程中的安全生产, 本项目采纳了一系列精细化的安全管理措施。首先, 对起重机械执行了全面的预操作检查及定期的维护保养, 以确保设备处于适合作业的状态, 严禁任何设备在存在故障的情况下使用。其次, 依据梁段的重量和尺寸, 选择适宜的吊索具, 且

严格按照设计吊点进行捆扎,以维持吊装过程中的稳定性。在U梁的运输过程中,依照既定的方案实施了梁体的临时加固,防止在运输途中发生倾覆。张拉作业环节坚持统一指挥原则,并严格按照技术交底要求执行,对油压进行严密监控,确保张拉作业的安全性。通过实施这些综合性的安全管理策略,本项目在U梁预制及运输过程中建立了稳固的安全保障体系,有效预防了潜在的安全风险,确保了作业人员的安全及工程质量的可靠性。

### 7 工艺优势及效益分析

采用本工艺后,U梁的预制拼装质量得到了提高,U梁拼接定位精准、压浆饱满充盈,进而提高了预制U梁的使用寿命。经测算,分段式预制单榀U梁可节约机械使用成本约4.75万元,本项目共预制U梁64榀,总共节约机械使用费303.9万元,整体预制施工需对当地现有道路进行维护升级改造,改造费用约为46.8万元。

综上所述,本项目预制U梁共节约成本350.7万元,取得了良好的经济效益。

### 8 结语

印尼某高速公路项目64榀U梁均采用大跨

径U梁分段式预制拼装施工工艺进行施工,施工安全便利。本工艺克服了现有道路条件差、大型运输设备及起重设备稀缺对大跨径U梁预制运输的限制,经工程实践论证,取得了良好的质量效益和经济效益,值得推广应用。

### 参考文献:

- [1] 叶永康. 预应力空心板的长线法生产[J]. 建筑技术通讯,1974(9):65-66.
- [2] 曾祥杰. 桥梁工程项目的后张法预应力施工技术探讨[J]. 交通科技与管理,2024,5(8):62-64.
- [3] 尹学良. 公路桥梁项目预应力智能张拉施工技术的优势与应用[J]. 四川水泥,2024(8):186-188.
- [4] 王军,杨怀勇,赵军,等. 预制混凝土梁智能喷淋养护系统设计及应用[J]. 世界桥梁,2024,52(5):55-60.
- [5] DR. I R, HEDYRAHADIAN, M. SC. General spesification-jalan-bebas hambatan dan jalan tol 2020[Z]. Jakarta: Direktorat jenderal bina marga, 2020.
- [6] HEDY RAHADIAN. Spesifikasi khusus-toll road development of semarang-demak 1B[Z]. Jakarta: Direktorat jenderal bina marga, 2021.
- [7] 李宏基. 公路桥梁施工中预应力技术应用研究[J]. 中华建设, 2024(10):163-165.
- [8] JTG/T 3650—2020,公路桥涵施工技术规范[S].
- [9] JTG F80/1—2017,公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程[S].