

# 城市道路桥梁 U 型梁吊装作业安全风险识别与控制措施研究

张志芳

上海景铭建设发展有限公司 上海 201108

**【摘要】**：城市道路桥梁工程中，U 型梁凭借自重轻、截面受力合理、施工速度快等优势，在城市支路及小型跨河桥梁中应用广泛。但 U 型梁单体重吨位、大跨度的特点，加之城市施工现场场地受限、周边环境复杂，吊装作业安全风险突出，一旦管控不当易引发机械倾覆、构件坠落、人员伤亡等安全事故。本文以上海龙腾大道道路新建工程 U 型梁吊装施工为实例，系统梳理大吨位 U 型梁双机抬吊作业全过程的安全风险，完成风险分级辨识，结合工程实际制定针对性防控与应急措施，为同类城市道路桥梁 U 型梁吊装作业安全管控提供参考，保障施工全过程安全有序推进。本文研究成果可为同类城市道路桥梁预制构件吊装作业提供标准化的安全管控参考。

**【关键词】**：城市道路；U 型梁；吊装作业；安全风险；风险控制；双机抬吊

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.031

随着城市基础设施建设提质提速，装配式桥梁施工技术凭借其工业化程度高、环境干扰小等优势，已成为市政工程领域的重要技术路径<sup>[1-2]</sup>。预制 U 型梁作为一种典型的装配式构件，广泛应用于城市跨河桥梁、道路交叉口节点工程中，对于缩短施工周期、降低对区域经济社会发展的负面影响具有显著作用。然而，U 型梁吊装作业作为施工过程中的核心风险点，被列入危险性较大的分部分项工程范畴。尤其是大跨径（如 33m）、大吨位（单重 85t）的 U 型梁，在采用大型汽车吊双机抬吊施工时，涉及起重设备选型、地基承载力加固、吊装信号指挥及人员协同操作等多个复杂环节<sup>[3]</sup>。加之当前城市更新进程中，施工环境常处于建成区腹地，面临作业面狭促、地下管线错综复杂、社会交通流密集等多重约束效应，致使吊装作业的安全管控压力呈指数级增长。调研发现，部分施工现场仍存在安全风险识别深度不足、防控措施针对性不强、现场违规操作频发等突出课题，极易引发生产安全事故，进而干扰城市交通高效运行，甚至造成不可挽回的经济损失<sup>[4-5]</sup>。

因此，针对城市道路桥梁 U 型梁吊装作业的特殊性与复杂性，开展系统化的安全风险识别与全流程分级管控体系研究意义重大。本文依托龙腾大道（徐梅路—华展路）道路新建工程实例，旨在通过对大吨位 U 型梁吊装风险因子的深度剖析，提出配套控制措施，以期推动吊装施工安全管理向标准化、精细化转型。

## 2 工程概况

### 2.1 工程基本情况

龙腾大道（徐梅路—华展路）道路新建工程位于上海市徐汇区（或其他所属区域），地理位置北起徐梅路，南至华展路与望月路交叉口。该工程规划等级为城市支路，断面设计采用双向四快两慢布置形式，计算行车速度为 30km/h。



图 1 地理位置图

本工程建设范围涵盖道路工程、桥梁工程、排水工程及绿化、合杆、交通设施等附属设施。其中，桥梁工程作为核心分部工程，包含新建跨华泾港桥梁及跨原水渠护管桥各一座。两座桥梁均设计采用 33m 跨径后张法预应力超高性能混凝土（UHPC）U 型梁，单体结构高度 1.3m，腹板厚度 0.19~0.32m，底板厚度 0.2~0.3m，具体横断面示意图如图 2 所示。全线共需预制并吊装 18 片 U 型梁，单片构件重量约 85t，属于典型的大吨位、非对称薄壁预制构件（图 3）。

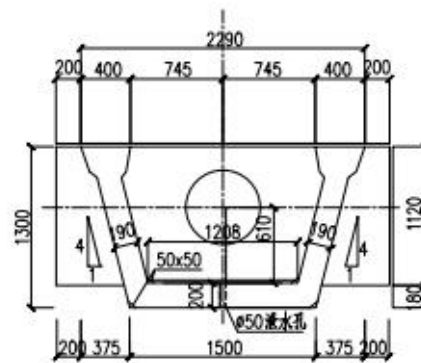


图 2 单片 U 形梁横断面示意图

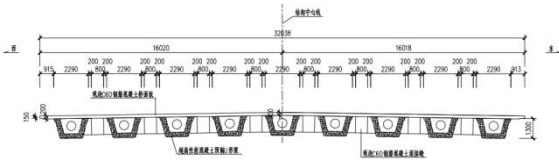


图3 U形梁总体横断面图

从施工组织与环境约束来看，本工程计划总工期为406d，其中关键节点U型梁吊装作业分别安排于2025年9月27日与10月18日进行。由于施工区域位于建成区腹地，北起徐梅路至南端交叉口范围涉及多处既有道路交通流，现场施工作业面极其狭促，地下管线错综复杂，导致大型吊装设备的展位与转运受限。此外，单次吊装任务被要求在单个工作日内集中完成，作业强度极高且工期窗口紧张。在吊装过程中，需在确保起重机械稳定性与构件结构安全的前提下，同步兼顾社会交通的动态疏导，对施工组织协调能力提出了极高要求。

### 2.2 吊装施工核心条件

本工程U型梁采用构件厂预制、现场吊装的施工模式，吊装选用800吨与600吨汽车吊进行双机抬吊，配套专用运输车辆完成构件转运。桥台周边场地经前期清理平整，可满足运梁车及汽车吊站位要求，吊车站位区域采用水泥搅拌桩加固，上方二灰回填处理，地基承载力特征值达1.2Mpa，支腿下方铺设专用路基箱，保障地基承载能力。U型梁运输路线明确如图4所示，华泾港桥构件由北侧徐梅路路口进场，护管桥构件由东侧华济路进场，运输路线提前排查清理，确保道路畅通。吊装作业实行专项方案管理，方案经专家评审、多方审批后实施，项目组建专项管理团队，明确岗位职责，为吊装作业安全开展奠定基础。



图4 运输路线

## 3 U型梁吊装作业安全风险识别与分级

U型梁吊装作业风险贯穿施工全过程，涵盖前期准备、设备就位、构件吊装、双机抬吊、就位安装等全流程，结合工程实际与行业规范，将风险划分为机械伤害、高处坠落、物体打击、地基失稳、操作失误五大类，依据风险危害程度、发生概率，划分为重大风险、较大风险、一般风险、低风险四个等级，具体风险辨识与分级结果如下表所示。

表1 具体风险辨识与分级结果

风险类型	风险等级	风险具体表现	责任岗位
机械伤害	重大风险	吊车选型不当导致起重能力不足；支腿地基承载力不足引发沉降、吊车倾覆；吊臂、钢丝绳、吊钩等部件破损断裂；液压与电气系统故障失控	技术负责人、安全总监
高处坠落	较大风险	高空作业人员未规范佩戴安全防护用具；安全绳与棱角接触未做防护；作业平台防护不到位；高空抛物引发次生坠落	生产经理、安全工程师
物体打击	一般风险	作业区域未封闭警戒，无关人员误入；构件绑扎不牢脱落；工具物料高空坠落；指挥信号混乱引发碰撞	生产经理、安全员
操作失误	较大风险	双机抬吊负荷分配不均；动作不同步导致构件偏摆；单机超载作业；指挥人员信号失误；操作人员无证上岗	技术负责人、生产经理
环境风险	一般风险	大风、降雨等恶劣天气违规作业；场地光线不足影响操作；周边障碍物未清理引发碰撞	生产经理、现场工程师

### 3.1 核心风险重点分析

(1) 机械失稳与倾覆风险：机械倾覆被列为本工程U型梁吊装作业中的首要重大风险。鉴于本工程采用超大吨位汽车起重机进行作业，若地基承载力加固措施未达设计标高或支腿铺设承压面积不足，极易在重载状态下诱发局部非均匀沉降，进而导致起重机抗倾覆稳定性失衡。此外，若起重设备选型未

基于工作半径与臂长进行精准动力学核算,或在双机抬吊过程中出现负荷分配不均,将导致整机重心偏离安全包络线。同时,钢丝绳疲劳断丝、索具锈蚀、吊钩防脱装置失效及液压系统内泄等设备隐患,均会形成安全风险的叠加效应,直接制约吊装作业的本质安全。

(2) 双机抬吊协同作业风险: 双机抬吊涉及两台起重设备的动态耦合,具有较高的系统复杂性。根据规范要求, 85t U型梁吊装时,总起重量需严格受控于两机允许额定起重量总和的75%以内,且单机负荷率不得超过80%。风险核心在于两机动作的同步性偏差: 若起升速率失调或回转角速度不一致,将引发构件在空中产生剧烈摆动或偏转,导致内力在两机起吊设备间发生瞬时重分配。这种动态冲击荷载极易造成一台起重机失重而另一台起重机严重超载的极端工况,进而引发构件坠落或设备连续倾覆的连锁反应。

吊机及梁板运输车站位如下图:

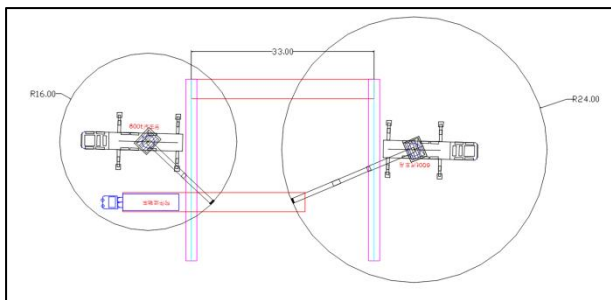


图5 平面站位图

(3) 人员操作与管理控制风险: 吊装作业的高度危险性对现场起重司机、信号指挥、司索工及高空作业人员的协同能力提出了严苛要求。人员层面的风险主要体现为: 特种作业人员资质缺失、岗前安全技术交底流于形式、操作技能熟练度不足等因素导致的响应迟滞。在作业过程中,若现场指挥信号传递模糊或警戒管控区存在监管盲点,极易因人为误判导致安全事故。此外,针对高空作业环节,若安全防护用品(如安全带、生命绳)未严格执行“高挂低用”及规范佩戴要求,将大幅增加坠落伤亡的概率,属于管控层面的重点。

(4) 现场环境与场地约束风险: 城市建成区施工环境的复杂性为吊装作业引入了诸多不稳定变量。周边社会交通流量密集,若作业区域围封不严或导行措施不当,无关人员与车辆的误入将面临物体打击等次生灾害威胁。此外,气象条件的动态演变亦是不可忽视的诱因: 大风荷载会导致大体积U型梁受风面积增大,产生难以控制的晃动;强降雨则会导致地面摩擦系数降低及地基承载力瞬时劣化。若违规强行开展起吊作业,环境负面效应与施工载荷相互耦合,将导致事故发生的概

率呈指数级攀升。

## 4 U型梁吊装作业安全风险控制措施

针对上述风险辨识与分级结果,遵循“源头防控、过程管控、分级负责、应急兜底”的原则,从前期准备、设备管控、人员管理、过程操作、现场防护五个维度,制定全方位安全风险控制措施,落实专人负责,确保风险可控、在控。

### 4.1 设备选型与地基加固控制措施

设备选型实行精准计算复核制度,由项目技术负责人牵头,结合U型梁重量、吊装半径、臂长、作业高度等参数,完成吊车起重能力专项验算,选用800吨与600吨汽车吊配套作业,严禁超负荷、超规格选型。吊车进场前核查出厂合格证、检测报告、备案证明,确保设备性能达标,严禁带病设备进场。地基加固严格按照设计方案实施,吊车站位区域提前完成水泥搅拌桩加固与二灰回填压实,检测地基承载力达到1.2Mpa后方可进行站位布置。吊车支腿下方统一铺设2.4\*3.5\*0.24m专用路基箱,扩大受力面积,避免局部应力集中。作业前再次复核地基平整度与承载能力,发现沉降隐患立即停工整改,杜绝地基失稳风险。

### 4.2 吊索具与设备检查控制措施

吊索具选用符合规范要求的专用构件,本工程采用6X37S+FC型纤维芯 $\phi$ 60mm钢丝绳,每片梁配备4根受力钢丝绳,吊绳与梁顶面夹角保持 $60^\circ$ ,确保受力均匀。建立吊索具专项检查制度,作业前由专人检查钢丝绳断丝、锈蚀、磨损情况,一个捻距内断丝数超标、直径减小超过7%、出现松股死弯等问题,立即报废更换;检查吊钩保险、液压系统、电气线路、制动装置,确保各部件运行正常,限位装置灵敏有效。每次吊装前开展吊车试运转,检查回转、起升、制动性能,双机抬吊前进行空载协同调试,确保动作同步。严禁使用不合格吊索具与设备,所有检查环节做好书面记录,实现全程可追溯。

### 4.3 人员管理与技术交底控制措施

严格落实特种作业人员持证上岗制度,起重司机、信号指挥、司索工等岗位人员必须持有效证件上岗,严禁无证操作。岗前组织专项安全教育培训,内容涵盖吊装流程、安全规程、应急处置、风险隐患等,考核合格后方可参与作业。

实行分级技术交底制度,由项目技术负责人向全体作业人员进行书面交底,明确U型梁参数、吊装流程、双机抬吊负荷要求、安全注意事项;作业前由现场指挥人员进行班前交底,细化各岗位操作要点。交底过程留存书面记录,交底人与被交底人双向签字确认,确保全员熟知作业要求与风险防控要点。

#### 4.4 吊装过程协同操作控制措施

吊装作业实行专人统一指挥,采用对讲机加口哨的指挥方式,确保信号清晰、传递通畅,严禁多人指挥、信号混乱。双机抬吊严格执行负荷分配标准,总吊重控制在两机额定起重量总和的75%以内,单机负荷不超过自身额定起重量的80%,作业过程实时监测负荷数据,严禁超载作业。吊装全过程遵循“试吊后正式起吊”原则,U型梁吊离运输车30cm后暂停作业,全面检查吊车稳定性、制动可靠性、构件平衡性、吊索具牢固性,确认无异常后继续起吊。起吊、回转、就位过程缓慢平稳,避免急起急停、大幅晃动,两台吊车动作协同一致,保持构件水平,防止偏摆受力不均。构件就位时缓慢放置,严禁强行冲击入槽,就位后及时固定,确认稳固后方可松钩。

#### 4.5 现场防护与环境管控措施

作业现场实行全封闭警戒管理,采用警戒带划分危险作业区域,在周边显眼位置设置警示标识,安排专人值守警戒,严禁无关人员、车辆进入作业半径内。高空作业人员必须规范佩戴安全帽、安全带,安全绳高挂低用,与棱角接触部位加设衬垫,防止切割割损。严格执行恶劣天气禁吊规定,风速超过6级、降雨、光线不足时,立即停止吊装作业,将吊车复位固定,已起吊构件缓慢放置到位。作业前清理场地障碍物,保障运输与吊装路径畅通,同时做好周边交通疏导,避免社会交通干扰施工。

### 5 应急保障措施

为有效应对U型梁吊装过程中的不确定性风险,项目部需构建体系完备的专项应急预案。该预案应紧扣机械倾覆、构件坠落、人员伤亡及重大设备故障等极端工况,逐一明晰从险情上报、初期处置到协同救援的标准化响应流程,并量化落实各级管理岗位的责任分工与救援动员路线。通过在施工现场配置高标准急救箱、折叠担架及冗余通讯终端等保障物资,结合周期性的实战化模拟演练,旨在强化作业人员的风险感知敏锐度与突发状态下的心理韧性,确保应急响应机制具备实质性的执行效能。

在事故处置实务层面,应秉持“首接负责、分级响应”的

#### 参考文献:

- [1] 刘永军,吕长健,王浩鹏.物联网赋能的吊装作业数字化安全管控策略探索[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(11):224-226.
- [2] 张燕超,陈洪良,明阳.起重机械吊装作业区域安全态势感知技术研究[J].起重运输机械,2024,(15):47-52.
- [3] 薛晓彪.事故树分析法在起重吊装作业安全中的运用[J].船舶职业教育,2024,12(03):56-58+62.
- [4] 牛凯.起重吊装作业安全管理研究[J].工程技术研究,2024,9(01):137-139.
- [5] 张润锋.龙门吊吊装作业的安全管理措施[J].建设机械技术与管理,2023,36(06):95-97.

原则。一旦发生机械伤害或高处坠落事故,现场指挥部需立即启动一级响应程序,组织医疗力量实施院前急救,并开通绿色通道确保重伤员迅速转运救治,同时严格履行事故现场保护与证据固定义务,全力配合后续溯源调查。通过建立应急物资定期巡检与维护档案,确保所有救援设施始终处于“随时待命、性能受控”状态,从而构建起“事前深度预防、事中精准处置、事后复盘改进”的风险预防与响应闭环管理模式,为城市复杂环境下大型构件吊装的安全实施提供最后一道坚固屏障。

### 6 小结

城市道路桥梁U型梁吊装作业的安全风险管控,是市政危大工程管理的核心内容,直接关乎工程建设的本质安全与区域交通的稳定运行。本文以龙腾大道道路新建工程为研究对象,针对大跨径、大吨位预制U型梁在复杂城市环境下的吊装课题,开展了系统性的风险识别与控制策略研究,得出以下主要结论:

第一,通过对吊装全流程的深度剖析,识别出机械失稳、双机协同失效、人员操作偏差及环境约束效应为核心风险因子。研究表明,构建风险分级管控体系能够有效量化施工动态中的不确定性,为专项施工方案的精准施策提供科学依据。

第二,本文提出了涵盖“设备精准选型、地基专项加固、人员技术交底、过程协同操作、现场综合防护”五位一体的集成控制体系。工程实践证实,通过800t与600t汽车吊的科学配载,结合地基承载力强化处理及“试吊制度”的严格执行,可显著提升大吨位构件双机抬吊作业的稳定性与容错率。

第三,应急保障机制的体系化建设是规避次生灾害、实现安全闭环的关键防线。通过预案编制、物资储备与实战演练的深度融合,强化了施工团队在极端工况下的响应效能,确保了吊装全过程的安全受控。

综上所述,龙腾大道工程的成功实践为同类城市装配式桥梁施工提供了可借鉴的安全技术范式。未来在类似工程中,应进一步探索智慧工地与数字孪生技术在吊装监测中的深度应用,推动风险管理由“经验依赖”向“数据驱动”转型,持续赋能城市基础设施建设的安全高效推进。