

# 装配式技术在高速公路涵洞施工中的应用与成本效益分析

李明航

湖北交通工程检测中心有限公司 湖北 武汉 430074

**摘要：**装配式技术凭借构件预制与现场快速装配的优势，革新了传统高速公路涵洞施工模式。通过标准化构件设计、工厂化生产、精准运输装配及高效防水处理，实现施工效率与质量的双重提升。成本效益分析显示，该技术在降低人工与时间成本、提升经济效益的同时，兼具减少现场污染、缩短施工周期等社会效益与环境效益，为高速公路涵洞工程建设提供了可持续发展的创新路径，有力推动交通基础设施建造技术的转型升级。

**关键词：**装配式技术；高速公路涵洞施工；应用；成本效益

## 引言

随着我国高速公路建设规模持续扩大，传统涵洞施工面临工期长、质量波动大、环境影响显著等挑战。装配式技术以其工业化生产、模块化安装的特性，成为提升工程质量与建造效率的关键突破点。本文聚焦装配式技术在高速公路涵洞施工中的应用，系统阐述构件设计、预制生产、现场装配及防水处理等环节的技术要点，并深入剖析其成本构成、经济效益、社会效益与环境效益，为该技术的推广应用提供理论依据与实践参考。

## 1 装配式技术概述

装配式技术是以建筑工业化理念为核心，通过工厂化生产、现场装配化施工实现建筑产品高效建造的集成技术体系。在这一体系中，建筑构件如梁、板、柱、墙体等在预制工厂内，依托高精度模具与自动化生产线完成标准化生产，经过蒸汽养护、质量检测等工序后，运输至施工现场通过可靠连接方式进行装配。这种建造模式突破传统现浇施工的局限，将大量湿作业转移至工厂，有效减少现场扬尘、噪声及建筑垃圾产生，显著改善施工环境与城市生态负荷。装配式技术的核心优势体现在其对建筑全生命周期的优化。构件在工厂生产过程中，混凝土浇筑、钢筋绑扎等工序通过机械臂与自动化设备精准执行，配合严格的质量监控体系，能有效控制尺寸偏差与外观质量，相较传统施工可将构件尺寸误差缩小至毫米级。现场装配环节采用的套筒灌浆连接、螺栓连接等技术，通过科学的节点设计与施工工艺，确保结构整体性与抗震性能满足规范要求。装配式技术借助BIM技术进行全流程数字化管理，从设计阶段的三维建模与碰撞检测，到生产阶段的构件编码与进度追踪，再到施工阶段的装配模拟与质量追溯，实现各环节信息无缝流转，提升建造效率与管理水平。随着新材料与新技术的融合发展，装配式技术已拓展至多种建筑类型。在住

宅领域，预制夹心保温墙体、集成式卫生间等部品部件的应用，大幅缩短施工周期并提升居住品质；在公共建筑与桥梁工程中，装配式钢结构、预制节段拼装技术凭借高强度、轻量化优势，实现复杂造型与大跨度结构的快速建造。这种技术革新不仅推动建筑产业转型升级，更为实现建筑领域绿色低碳发展目标提供了重要支撑。

## 2 装配式技术在高速公路涵洞施工中的应用

### 2.1 构件设计与标准化

在高速公路涵洞施工中，构件设计与标准化是装配式技术应用的关键起始环节。涵洞的结构被精细分解为标准预制构件，如常见的1-2×2m箱涵、1-4×3m等不同规格的箱涵，都有着明确的结构形式划分。以4m跨径装配式涵洞为例，为便于施工，将整截面拆分为3块，由顶板、侧板与底板组合拼装而成。其中，顶板和侧板采用预制方式，底板则现浇施工，且顶板与侧板采用铰接连接，底板钢筋与侧板预留钢筋通过机械连接或焊接实现稳固的整体连接。这种设计并非随意为之，而是经过精密考量。合理设置预制长度意义重大，第一，它能灵活方便地调节涵长，以适应不同路段的实际需求；第二，可将节段吊装重量精准控制在20t左右，此重量范围极大地便利了后续的运输和吊装作业，确保施工流程的顺畅性与安全性。标准化的设计为工厂化预制生产奠定了坚实基础，不同规格的构件有着统一、规范的设计标准，减少了施工过程中的不确定性，提升了整体施工效率与质量把控的精准度<sup>[1]</sup>。

### 2.2 工厂化预制生产

工厂化预制生产是装配式技术高效实施的核心环节。在预制厂内，构建起两线六区的科学布局，即盖板生产线、侧墙生产线以及钢筋绑扎区、构件预制区、构件养生区、构件展示区、构件存放区、试拼区。各区域分工明确且协同作业，极大地提升了生产效率与质量。

构件预制模板选用6mm定型复合钢模板,其设计充分考虑了施工实际需求,具备足够的刚度、强度及精度。模板设计为侧移式和铰接式,这种巧妙的设计使得模板合拢、构件脱模等关键施工步骤变得更加便捷高效,减少了施工过程中的阻碍与风险。在钢筋绑扎环节,鉴于构件基本为规则结构的特性,采用自制定位胎架。在胎架上精心设置卡槽及定位管,能够精准控制钢筋骨架间距,确保钢筋绑扎的质量与精度,为后续的混凝土浇筑提供稳固的支撑结构。混凝土浇筑完成后,覆盖土工布并采用喷淋养生,当构件达到吊装强度时,吊运至养生池进行全方位的浸泡养生。这种养生方式能够确保混凝土构件在适宜的湿度与温度环境下充分凝固,提升构件的强度与耐久性,保证每一个出厂的预制构件都符合高质量标准,为高速公路涵洞的稳固建设提供坚实保障。

### 2.3 运输与现场装配

运输与现场装配环节紧密相连,直接关系到装配式涵洞施工的进度与质量。运输过程中,选用大型平板车作为运输工具,并使用倒链进行稳固固定,同时采用橡胶垫支垫,这些措施全方位确保了运输过程中构件不被损坏,维持构件的完整性与原有质量。根据构件最大重量及安装作业等实际情况,精准配置一台80t履带吊车,为现场装配提供有力的吊装支持。在节段安装时,遵循从低处向高处逐节安装的原则,对于4m跨径涵洞,先左右对称拼装侧墙,而后再拼装盖板。拼装作业时,吊车起吊提供主要动力,人工牵引辅助,同时使用撬棍引导构件缓慢对齐拼装线就位。在拼装过程中,严格控制拼装施工缝为1cm,沉降缝也符合设计标准。若发现垫层不平整,及时采用高强砂浆进行调平,确保涵节拼装整体线型的顺畅与准确,为后续的防水等工序奠定良好基础,保障涵洞整体结构的稳定性与功能性<sup>[2]</sup>。

### 2.4 防水与密封处理

防水与密封处理是高速公路涵洞施工中不容忽视的关键环节,直接关系到涵洞的使用寿命与性能。涵身部分填塞泡沫板,内侧四周边缘填塞5cm厚双组份聚硫密封胶,这种密封胶具有良好的粘结性与耐候性,能够有效填充缝隙,阻止水分渗入。涵身外侧、顶面边缘同样填塞5cm厚双组份聚硫密封胶,并粘贴500mm宽防水卷材,进一步增强防水效果。预制节段之间采用双层防水构造,内部挤压20mm×15mm遇水膨胀止水条,遇水后止水条迅速膨胀,填充缝隙,实现高效止水;外部铺设防水卷材,形成双重防水屏障。在施工过程中,对防水与密封处理的每一个步骤都严格把控。例如,止水条妥善保存,保持干燥,使用时才拆除密封包装;内防水拼接

缝先使用清水清洗干净,而后用热风机使其干燥无水,确保无湿润后方可进行注胶施工;外防水粘贴时,仔细擦抹干净结构物表面,保证无杂物尘土,粘贴过程自上而下,使用热风枪左右横摆加热防水卷材,加热一段粘贴一段,并使用滚刷左右滚动密实,确保防水与密封处理的质量,有效防止涵洞漏水,保障高速公路涵洞在复杂环境下的长期稳定运行。

## 3 装配式技术在高速公路涵洞施工中的成本效益分析

### 3.1 成本构成分析

(1) 装配式技术在高速公路涵洞施工中的直接成本涵盖预制构件生产、运输及现场装配三大部分。预制构件生产时,模具设计与制造初始投入高,高精度钢模具成本是传统木模3-5倍,不过可重复使用超200次,分摊后单位成本降低。构件运输成本受运输距离、尺寸和设备影响,超大型构件要定制专用车,物流成本增加。现场装配阶段,虽减少人工与设备投入,但高精度吊装设备租赁和人员薪酬占比仍大。(2) 间接成本方面,装配式施工技术对施工场地要求较低,减少了场地平整、临时设施搭建等费用。由于预制构件在工厂标准化生产,现场施工周期大幅缩短,间接降低了施工管理成本,包括水电费、设备维护费及管理费等。预制构件生产工厂的建设或租赁成本,以及与供应商沟通协调的成本,成为新的间接成本构成要素。(3) 不可预见成本中,装配式技术虽能有效规避传统施工中因天气、地质条件等因素导致的工期延误成本,但构件运输途中的损坏风险、现场装配时的尺寸偏差修正成本等,仍是成本管控需重点关注的内容。通过采用先进的运输保护措施来保障货物安全,运用高精度测量技术把控质量,能减少损耗,可在一定程度上降低此类成本。

### 3.2 经济效益对比

(1) 与传统现浇施工技术相比,装配式技术在短期经济效益方面呈现出独特特征。传统现浇施工前期设备与人工投入分散,而装配式技术初期模具购置与构件生产设备投入集中,资金压力较大。随着项目规模扩大,装配式技术的规模效应显现,当涵洞构件生产数量超过一定阈值,单位构件成本将低于传统现浇方式。以某10公里高速公路涵洞项目为例,装配式技术在构件生产达到300件后,单件成本较传统工艺降低约15%。(2) 从长期经济效益来看,装配式涵洞施工的优势更为明显。由于预制构件质量稳定,耐久性强,可减少后期维护成本。装配式涵洞因构件抗渗性、抗裂性更佳,10-15年内仅需进行常规检查,维护成本降低60%以上。装配式施工缩短的工期,使得高速公路能够提前通车,带来的通行

费收入增加进一步提升了项目长期经济效益。(3)在资金周转效率上,装配式技术凭借其标准化、流水线式生产模式,可实现构件生产与现场施工的并行作业,有效缩短项目整体建设周期。相比传统施工方式,资金回笼速度加快,降低了资金占用成本,提升了项目的财务内部收益率与净现值,增强了项目的经济可行性<sup>[3]</sup>。

### 3.3 社会效益分析

(1)装配式技术显著提升了高速公路涵洞施工的安全性。传统现浇施工中,高空作业、模板支撑系统搭建等环节存在较高安全风险,而装配式施工将大部分作业转移至工厂,现场主要为构件装配,减少了70%以上的高空作业量,降低了施工人员的安全隐患。预制构件的质量可控性高,避免了因现场施工质量不稳定导致的涵洞结构安全问题,保障了高速公路长期安全运营。(2)施工效率的提升是装配式技术社会效益的重要体现。通过工厂预制与现场装配的协同作业,涵洞施工周期可缩短30%-50%。这不仅减少了施工对周边交通的影响,降低了交通拥堵带来的社会成本,还能使高速公路提前投入使用,缓解区域交通压力,提升交通运输效率,促进区域经济发展与人员物资流动。(3)装配式技术的应用推动了建筑产业的技术革新与人才培养。其对设计、生产、运输、装配等环节的一体化提出了极高要求,这促使相关企业加大技术研发投入,提升数字化设计、智能化生产水平。培养了一批掌握装配式施工技术的专业人才,带动了建筑行业整体技术水平的提升,为行业可持续发展奠定基础。

### 3.4 环境效益分析

(1)装配式技术在高速公路涵洞施工中大幅减少了施工现场的环境污染。传统现浇施工产生的大量建筑垃圾、扬尘、噪声等问题,对周边生态环境与居民生活造成严重影响。装配式施工现场湿作业少,建筑垃圾产生量可减少80%以上,扬尘污染降低60%,噪声污染也因作

业时间缩短和施工方式改变得到有效控制,改善了施工区域的生态环境质量。(2)预制构件工厂化生产模式,通过集中管理与资源优化配置,提高了资源利用效率。在原材料使用上,工厂可采用自动化计量设备,精准控制砂石、水泥等材料用量,减少材料浪费;在能源消耗方面,工厂可配备先进的节能设备与回收系统,降低生产过程中的能耗与废弃物排放。相比传统现场搅拌,装配式施工可降低混凝土损耗率10%-15%,节约水资源20%以上。(3)装配式涵洞的长寿命周期特性,减少了涵洞重建与大规模维修带来的环境影响。由于构件耐久性提升,减少了后期维修过程中的材料运输、施工机械使用等活动,降低了碳排放。预制构件生产过程中可采用绿色环保材料与工艺,进一步提升项目的环境友好性,助力实现建筑行业的低碳发展目标<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述,装配式技术在高速公路涵洞施工中展现出显著的技术优势与综合效益。其标准化设计与工业化生产模式有效保障工程质量,缩短施工周期;成本效益分析表明,该技术在降低全生命周期成本的同时,实现了经济、社会与环境效益的协同发展。然而,技术应用仍面临标准化体系完善、运输成本控制等挑战。未来需进一步优化技术流程,加强产学研合作,推动装配式技术在高速公路涵洞施工中的广泛应用与创新发展。

### 参考文献

- [1]万以海.高速公路装配式涵洞施工技术及其成效分析[J].建筑与装饰,2021(9):177,180.
- [2]王光里.高速公路预制装配式涵洞应用[J].低碳世界,2024,14(6):151-153.
- [3]龚景森.山区高速公路装配式涵洞施工关键技术[J].中国新技术新产品,2021(14):93-96.
- [4]康建晓.高速公路装配式涵洞防水施工技术[J].建筑工程技术与设计,2021(16):363.