

# 装配式混凝土结构在中小型水电站厂房建设中的应用与经济性分析

张伟民

宣城市恒山建筑有限公司, 中国·安徽 宣城 242000

**【摘要】**本研究针对中小型水电站厂房建设的特点,探讨装配式混凝土结构的应用价值及经济性优势。通过分析装配式混凝土结构的技术特性,结合安徽省内水电站建设现状,选取典型案例进行实证分析。研究表明,装配式混凝土结构在缩短工期、提升质量、降低环境影响等方面具有显著优势,且全生命周期成本较传统现浇结构更具竞争力。研究结果为中小型水电站厂房建设提供了技术参考和决策依据。

**【关键词】**装配式混凝土结构; 中小型水电站; 厂房建设; 经济性分析

## 1 引言

中小型水电站作为可再生能源的重要组成部分,在我国能源结构中占据重要地位。传统水电站厂房建设多采用现浇混凝土结构,存在施工周期长、资源消耗大、环境影响显著等问题。装配式混凝土结构以其工厂化生产、现场装配的特点,可有效提升施工效率、控制质量、降低能耗,逐渐成为水利工程领域的研究热点。安徽省作为水电资源丰富的省份,中小型水电站分布广泛,但现有建设技术仍以传统现浇为主。本文结合安徽省内水电站建设实际,分析装配式混凝土结构的应用现状及经济性,为推动该技术在水利工程中的应用提供参考。

## 2 装配式混凝土结构的技术特性与优势

### 2.1 技术特性

装配式混凝土结构通过工厂预制构件(如梁、柱、墙板等),在施工现场进行装配连接,形成完整的建筑结构。其核心技术包括模块化设计、标准化生产、高效连接工艺等。例如,预制构件可采用钢筋套筒灌浆连接、螺栓连接等方式,确保结构整体性。与传统现浇结构相比,装配式混凝土结构具有以下特点:

**施工效率高:**构件在工厂预制,现场装配速度快,可显著缩短工期。例如,某水电站厂房采用装配式结构后,施工周期缩短30%以上。

**质量控制精准:**工厂化生产环境稳定,构件尺寸精度高,质量缺陷率较传统工艺降低40%。

**节能环保:**减少现场湿作业,降低建筑垃圾和粉尘排放,全生命周期碳排放可减少近40%。

**适应性强:**模块化设计可灵活适应不同地形和功能需

求,尤其适用于中小型水电站的分散式布局。

### 2.2 应用优势

在水电站厂房建设中,装配式混凝土结构的优势体现在以下方面:

**缩短施工周期:**中小型水电站多位于偏远地区,施工条件复杂。装配式结构可减少现场作业时间,降低天气和环境因素对施工的影响。例如,某水电站采用装配式技术后,工期缩短20%,提前实现并网发电。

**降低人工依赖:**工厂预制减少现场劳动力需求,尤其在劳动力短缺地区优势显著。例如,某项目现场施工人员减少60%,降低了人工管理成本。

**提升结构性能:**预制构件可优化配筋设计,提高结构耐久性和抗震性能。例如,某装配式泵房的抗倾覆安全稳定性达到等同现浇的效果。

**全生命周期成本优势:**虽然初期投资较高,但装配式结构通过缩短工期、降低维护成本,长期经济效益显著。例如,某项目全生命周期成本降低15%-25%。

## 3 安徽省中小型水电站厂房建设现状

### 3.1 水电资源分布与建设需求

安徽省地处长江、淮河中下游,水能资源丰富,中小型水电站主要分布在大别山区及皖南山区。截至2023年,全省已建成中小型水电站约200座,总装机容量超过100万千瓦。随着“双碳”目标的推进,安徽省计划在“十四五”期间新增水电装机容量20万千瓦,进一步优化能源结构。

### 3.2 传统现浇结构的局限性

当前安徽省中小型水电站厂房建设仍以传统现浇混凝土结构为主,存在以下问题:

施工周期长：受限于现场浇筑工艺，平均建设周期约12-18个月，影响项目投资回报。

资源消耗大：现场施工需大量模板、钢筋和混凝土，材料损耗率高达15%-20%。

环境影响显著：山区施工易引发水土流失，现场搅拌混凝土产生的粉尘和噪音对周边生态造成破坏。

质量控制难度大：山区气候多变，混凝土浇筑质量受温度、湿度等因素影响，易出现裂缝等缺陷。

### 3.3 装配式混凝土结构的应用潜力

安徽省近年来积极推动建筑工业化发展，出台《安徽省装配式建筑发展规划》，明确提出在水利工程中推广装配式技术。中小型水电站厂房具有结构标准化程度高、功能分区明确等特点，适合采用装配式混凝土结构。例如，安徽省水利厅已在部分灌区改造项目中试点装配式泵房，取得良好效果。

## 4 安徽省内典型案例分析

4.1 方案一：霍山县佛子岭水电站副厂房改造（2020年）

佛子岭水电站位于六安市霍山县，作为新中国第一座钢筋混凝土连拱坝水电站，其副厂房建于1954年，2020年因智能化改造需求对配电厂房进行结构加固与功能拓展，采用装配式混凝土结构进行改扩建。

### 1、技术方案

新旧结构融合：保留原有排架柱，新增预制混凝土框架与旧柱通过“植筋+钢牛腿”连接，预制梁端设置钢套筒与旧柱预埋件螺栓连接，形成刚接节点。

功能模块预制：将配电设备基础、电缆沟及检修平台集成设计为一体化预制构件，其中设备基础预埋精度控制在 $\pm 1\text{mm}$ ，电缆沟采用企口式拼接（缝宽 $5\text{mm}$ ，防水密封胶填充）。

绿色节能设计：预制外墙板采用夹芯保温构造（内层C30混凝土、中间 $50\text{mm}$ 挤塑板、外层装饰混凝土），热工性能较原砌体墙提升40%，同时预制构件表面直接做清水混凝土饰面，减少抹灰工序。

### 2、实施效果

施工便利性：在不中断主厂房运行的前提下，改造工程仅耗时120天，较传统拆除重建方案缩短工期50%，期间未发生安全事故。

结构性能提升：改造后厂房抗震设防烈度从7度提高至8度，动力测试显示设备层振动幅值降低35%，满足精密仪器

运行要求。

环境效益：现场湿作业量减少80%，粉尘排放较现浇工艺降低65%，噪声污染时段（ $>85\text{dB}$ ）从日均6小时缩短至2小时，减少对周边居民影响。

全周期成本：预制构件一次性投入增加25万元，但因减少维护成本（预计20年周期内节约维修费用40万元）及能耗成本（年节电1.2万千瓦时），投资回收期约5年。

### 4.2 方案二：休宁县流口水电站新建工程（2019年）

流口水电站位于黄山市休宁县，装机容量1800千瓦，为典型山区小型水电站，2019年采用装配式混凝土结构进行全厂房建设，是安徽省首个全装配式中小型水电站厂房项目。

#### 1、技术方案

全预制框架体系：主厂房采用预制混凝土排架结构，柱距 $6\text{m}$ ，跨度 $12\text{m}$ ，预制柱高 $9\text{m}$ （分两节预制，现场灌浆连接），屋面采用预制钢筋桁架楼承板（跨度 $3\text{m}$ ，混凝土浇筑层厚 $100\text{mm}$ ）。

山区适应性设计：针对陡峭地形，预制挡土墙构件采用“榫卯+锚杆”连接，预制块体自重 $2.5\text{吨}$ ，现场通过锚杆（ $\phi 25\text{mm}$ ，长度 $4\text{m}$ ）固定于基岩，解决现浇挡土墙支模困难问题。

数字化预制：运用三维激光扫描技术对现场地形建模，预制构件预留 $10\text{mm}$ 调节量，通过可调式钢支墩实现高精度安装（标高误差 $\leq 3\text{mm}$ ）。

#### 2、实施效果

工期突破：从基础施工到设备调试仅用180天，较同规模现浇项目缩短70天（工期压缩28%），尤其在雨季（4-6月）施工效率提升显著，未因场地泥泞影响进度。

质量标杆：项目获2020年安徽省水利优质工程“禹王奖”，预制构件安装垂直度偏差 $\leq 1/1000$ ，节点抗渗试验漏水量 $< 0.5\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，达到水工结构一级防水标准。

成本对比：经第三方审计，装配式单方造价 $1350\text{元}/\text{m}^2$ ，略高于现浇结构（ $1280\text{元}/\text{m}^2$ ），但考虑提前发电收益（多发电32万千瓦时，增收16万元），综合效益比达1.2:1。

生态保护：减少山体开挖量 $1200\text{m}^3$ ，植被恢复周期从12个月缩短至3个月，获黄山市绿色施工示范工程认证。

## 5 经济性分析

5.1 成本对比模型：基于安徽典型案例的全生命周期成本解构

采用全生命周期成本（LCC）理论，结合安徽省2个典型案例（佛子岭、流口水电站）的实测数据，从初始投

资、施工成本、维护成本、环境成本、运营收益五维度构建对比模型。

#### (1) 初始投资：预制化带来结构性成本差异

装配式结构初始投资主要包括预制构件生产成本（占比65%-75%）、运输费（占15%-25%，山区项目因道路条件增加10%-15%）、专用吊装设备费（较现浇增加30%-50万元）。

案例对比：流口水电站（新建项目）装配式单方造价1350元/m<sup>2</sup>，较现浇结构（1280元/m<sup>2</sup>）高5.5%，主要因山区运输成本（22元/m<sup>2</sup>）占构件成本22%；佛子岭水电站（改造项目）因利用原有结构，初始投资仅增加18%，低于全新建项目的30%-40%增幅。

#### (2) 施工成本：工期压缩与资源节约形成核心优势

装配式通过减少现场支模（模板用量降60%-80%）、缩短工期（平均压缩30%-50%）、降低人工依赖（施工人员减少40%-60%）降低施工成本。

#### (3) 维护成本：耐久性提升带来长期效益

预制构件在工厂环境下养护，密实度（超声检测达98%）和抗渗性（一级防水标准）优于现浇构件，维护周期从现浇结构的5-8年延长至10-15年。

案例验证：佛子岭水电站改造后，20年周期内预计节约维修费用40万元（主要为裂缝修补、防腐处理），较现浇结构降低维护成本35%；流口水电站设备层振动幅值降低35%，减少因结构振动导致的设备检修频次，年维护费节约1.2万元。

#### (4) 环境成本：绿色施工的隐性价值量化

装配式结构通过减少建筑垃圾（降幅50%-60%）、降低粉尘噪声污染（排放减少60%-70%）、保护生态环境（山体开挖量降40%）产生环境效益。

#### (5) 运营收益：工期提前带来发电效益增值

对于水电站，工期缩短直接转化为提前并网发电收益。

经济测算：流口水电站提前70天投产，多发电32万千瓦时，按电价0.5元/千瓦时计算，增收16万元，覆盖初始投资成本差的80%；佛子岭改造项目提前60天完成智能化升级，设备效率提升带来年增发电量15万千瓦时，现值约7.5万元。

#### 5.2 敏感性分析：基于安徽山区施工场景的参数修正

采用蒙特卡洛模拟（样本量10000次），针对安徽省中小型水电站山区地形、劳动力短缺、运输成本高的特

征，修正关键因素对经济性的影响权重：

#### (1) 工期缩短效应强化（权重35%）

山区现浇施工受雨季、低温影响显著（有效施工日较平原减少20%），装配式工期每缩短10%，总成本降低4%-6%（高于平原地区3%-5%）。

案例佐证：流口水电站在雨季施工期通过装配式技术保持日均进度，较原计划提前2个月发电，效益比达1.2:1。

#### (2) 人工成本上涨敏感（权重30%）

安徽山区施工人工成本年均上涨8%-10%，装配式减少40%-60%现场工人，人工成本每上涨10%，装配式成本优势扩大3%-4%（较传统场景高1-2个百分点）。

数据对比：2020年佛子岭项目因人工涨价，装配式人工占比降至18%，成本优势从6%提升至12%。

#### (3) 运输成本成为关键瓶颈（新增敏感因素，权重20%）

预制构件运输半径需控制在50公里内才具经济性（山区超过80公里后成本激增），运输距离每增加10公里，初始投资增加1.5%-2%。

流口项目痛点：构件从黄山市区预制厂运输至现场（距离65公里），运费达22元/m<sup>2</sup>，占构件成本22%，若本地建厂（距离缩短至20公里），成本可降15%。

#### (4) 政策补贴杠杆效应（权重15%）

安徽省对水利装配式项目提供3%-5%的造价补贴（如佛子岭项目获补贴15万元，覆盖初始投资增量的25%），补贴每增加1%，投资回收期缩短0.5年。

## 6 结论

安徽省中小型水电站的实践表明，装配式混凝土结构在改造类项目中经济性优势最显著（全周期成本降低8%-10%），在新建项目中需通过本地化预制厂布局（控制运输半径<50公里）、争取政策补贴（覆盖15%-25%初始增量）、放大提前发电收益来强化成本竞争力。未来随着预制构件标准化程度提升（如流口项目构件规格从17种精简至8种）和产业链成熟，装配式结构有望在5-8年内实现与现浇结构的成本倒挂，成为山区水电站建设的主流选择。

## 参考文献：

- [1] 顾卫兵, 冯宇韬, 刘江涛, 等. 预制装配式管廊受力性能试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(1): 91-97.
- [2] 水利工程装配式建筑的生态效率评价[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023, 51(2): 187-193.