

土木工程结构的设计与施工策略分析

周太郎

中煤科工重庆设计研究院(集团)有限公司 重庆 402360

摘要: 本文系统性地探讨了现代土木工程结构从设计到施工全过程的核心要素与前沿策略。在设计层面,文章剖析了方案设计的落地性、场地地质条件、细部节点做法、专业间配合协同等方面,在施工层面,论文重点论述了涵盖施工组织设计、关键技术管理、信息化协同平台构建、全生命周期质量与安全管理和绿色文明施工在内的综合策略体系。研究表明,将先进的设计理念与精细化、智能化的施工管理深度融合,是应对当前复杂工程挑战、推动行业高质量发展的必由之路。未来,土木工程将更加注重智能建造、韧性提升与碳中和目标的实现。

关键词: 土木工程; 结构设计; 施工策略; BIM技术; 绿色施工

引言

土木工程是人类文明的重要载体,从古代长城、都江堰到现代港珠澳大桥、上海中心大厦,无不体现时代技术与智慧。进入21世纪,面对城市化加速、极端气候频发及“双碳”目标,土木工程迎来新机遇与挑战:一方面,超高层、大跨度、深埋隧道等复杂结构对安全性、功能性和美学提出更高要求;另一方面,资源紧张与环境压力倒逼行业向绿色、低碳、可持续转型。传统割裂的设计与施工模式已难适应新时代需求。亟需通过科学设计理念与先进施工策略,实现工程全生命周期的安全、高效、经济与环保。本文系统梳理土木工程在设计与施工两大关键阶段的理论基础、技术方法与管理策略,探讨二者协同机制,以期提升我国土木工程建设水平提供参考。

1 土木工程结构设计的关键考量因素

1.1 方案设计的落地性:从概念到现实的桥梁

设计方案的落地性是衡量其价值的根本标准。脱离施工实际的理想化设计,往往会导致成本超支、工期延误甚至安全隐患。在超高层建筑中,“核心筒+外框筒”体系虽性能优越,但施工复杂度极高,需与施工方共同评估是否采用爬模或滑模技术建造核心筒,并对外框巨柱的吊装顺序、临时支撑设置进行详细规划。例如,某300米高的项目通过引入顶升模架系统(Jump Form),不仅保障了核心筒垂直度,还为外框钢结构同步安装提供了稳定平台,显著缩短关键线路工期。此外,材料选择应优先考虑本地市场供应充足、施工队伍熟悉的类型。若在偏远地区强行采用需特殊焊接工艺的高强钢,可能因合格焊工稀缺而带来质量风险。因此,设计阶段即应开展本地化资源调研。同时,施工模拟也应前置化,利用BIM和4D/5D技术对大型构件吊装、复杂模板支设等关键工序进

行动态模拟,提前暴露空间冲突或工序逻辑错误,从而优化结构布置。例如,通过模拟发现转换梁下方净高不足无法容纳大型吊车作业后,及时调整梁高或吊点位置,避免后期昂贵变更。

1.2 场地地质条件:一切设计的根基

地质条件是结构设计不可逾越的物理边界,任何忽视地质报告的设计都如同沙上筑塔。面对软弱地基,不能简单套用“桩基础”这一笼统概念,而应依据详细的岩土工程勘察报告,精确判断持力层深度、土层分布及地下水特性,进而选择最经济有效的处理方案。例如,在深厚淤泥质土层上建造工业厂房,可采用PHC管桩穿透软土至砂层;而在存在液化风险的粉细砂层,则需结合碎石桩复合地基进行加固,并验算地震作用下的抗液化能力。在城市密集区,基坑开挖对邻近建筑的影响尤为关键,设计阶段须与岩土工程师紧密合作,确定合理的支护形式如地下连续墙或钻孔灌注桩加内支撑,并预设自动化监测点,对支护位移、周边沉降及水位变化进行实时监控,制定预警阈值和应急预案。例如,在紧邻地铁隧道的项目中,严格限制降水深度并设置回灌井以维持地下水位平衡,防止隧道结构变形。在山区或地震带,还需额外考虑滑坡、崩塌等地质灾害,结构基础不仅要满足承载力,还应具备避让或抗冲击能力,如在潜在滑坡体后缘设置抗滑桩,并将主体基础置于稳定基岩上,形成双重保障。

1.3 细部节点做法:决定成败的毫米级精度

结构的整体性能最终由无数个节点的可靠性构成。精细化的节点设计是连接理论计算与实体建造的关键纽带。在钢筋混凝土梁柱核心区,密集的纵筋和箍筋常导致混凝土难以充分振捣密实,设计师应主动优化配筋,如采用并筋技术减少钢筋数量,或在箍筋上开设过浆孔以确

保浇筑质量；对于超长结构的后浇带，需明确止水钢板搭接长度、钢筋连接方式（直螺纹套筒优于焊接）以及新旧混凝土界面的凿毛处理标准。钢结构方面，复杂的铸钢或相贯线焊接节点必须提供详尽的深化加工图，包括空间坐标、坡口形式和焊缝等级，并与加工厂沟通确保构造便于预制与拼装。例如，大型桁架的球形节点需明确分段铸造的工艺缝位置，并预留足够焊接操作空间。在装配式建筑中，节点是保证结构整体性的核心，设计应遵循少规格、多组合原则，对套筒灌浆、浆锚搭接、后浇区等连接方式进行标准化，并明确灌浆料强度发展曲线、饱满度检测方法等验收标准，确保“等同现浇”的性能目标得以实现。

1.4 专业间的配合与协同：打破壁垒的交响乐

现代工程项目是多专业精密协作的结果，结构设计师必须扮演好“协调者”的角色。利用BIM模型进行全专业碰撞检查是协同设计的基础，结构专业需主动预留机电管线穿梁套管、设备基础预埋件、幕墙埋板等位置。例如，在地下室顶板设计时，应与暖通专业协调为大型风管预留足够空间，避免因净高不足被迫增加层高造成浪费。结构施工图中的预留洞、预埋件信息必须清晰无歧义，设计师应编制详细图册并与机电、幕墙、精装修等专业逐一核对；在复杂的核心筒区域，可制作三维剖面示意图，直观展示各类管线、套管与钢筋的相对位置关系，指导现场精准施工。此外，建立定期的多专业协调会制度至关重要，在方案、初设、施工图各关键节点组织面对面沟通，解决接口问题。例如，在屋面结构设计时，需与建筑专业确认排水坡度、与光伏专业确认支架荷载、与泛光照明专业确认灯具安装点，确保所有需求在结构设计中得到一体化整合^[1]。

2 土木工程的核心策略与管理体制

2.1 科学的施工组织与策划

施工组织设计是指导整个施工过程的纲领性文件。它需要统筹考虑工期、质量、安全、成本四大目标，对施工方案、进度计划、资源配置、现场平面布置等进行系统规划。尤其对于大型复杂项目，采用关键路径法（CPM）或计划评审技术（PERT）来编制详细的进度网络图，并利用Primavera P6等专业软件进行动态管控，是确保工期目标实现的有效手段。施工组织设计还需充分考虑现场的交通、水电、通讯等外部条件，制定周密的应急预案。

2.2 关键技术的精细化管理

2.2.1 深基坑与地下工程

针对城市密集区的深基坑开挖，需综合运用排桩、地下连续墙、内支撑或锚索等支护技术，并通过自动化

监测系统实时监控支护结构的位移、应力及周边环境的变化，做到信息化施工，动态调整方案。例如，在邻近既有建筑的基坑施工中，需严格控制降水速率和开挖顺序，以防止对周边建筑造成不均匀沉降。

2.2.2 大体积混凝土施工

为防止因水化热导致的温度裂缝，需从原材料选择、配合比优化、浇筑工艺到养护措施进行全过程温控管理。以湖北双桥枢纽船闸工程为例，项目团队采用了多项创新措施：选用低热水泥并掺加大量粉煤灰和矿粉以降低水化热峰值；优化配合比，减少单位水泥用量；在混凝土内部预埋 $\phi 25\text{mm}$ 的冷却水管，通入循环冷水进行主动降温；在浇筑后覆盖保温保湿材料，并利用物联网技术植入“智能体温计”，对混凝土内部不同深度的温度进行24小时不间断监测，确保内外温差始终控制在 25°C 的安全阈值以内^[3]。这种信息化、精细化的温控策略，成功实现了关键结构“内实外光”，为打造“百年品质工程”奠定了坚实基础。

2.2.3 钢结构安装

对于超高层或大跨钢结构，其吊装、测量校正、高强螺栓连接或焊接等工序精度要求极高。常采用GPS、全站仪等先进测量技术进行三维坐标精确定位，并利用有限元分析模拟施工过程中的受力状态，确保安装安全与精度。例如，在大型体育场馆的网架结构安装中，常采用“整体提升”或“滑移”等特殊工法，以减少高空作业风险并提高安装效率。

2.3 信息化协同平台的构建

借鉴设计阶段的BIM理念，施工阶段同样需要一个强大的信息化管理平台。该平台集成进度、质量、安全、成本、物料等模块，通过移动终端、物联网传感器、无人机巡检等手段，实现现场数据的实时采集与共享。管理人员可以在平台上直观地看到项目的“数字孪生”体，及时发现偏差并做出决策，极大地提升了管理效率和透明度。例如，通过将BIM模型与施工进度计划关联，可以生成4D（3D+时间）施工模拟，提前发现工序冲突和资源瓶颈；进一步关联成本信息，则可形成5D（4D+成本）模型，实现对项目投资的动态监控和预警^[2]。

2.4 全生命周期的质量与安全管理

质量管理应贯穿于人、机、料、法、环五大要素的全过程控制。严格执行材料进场检验、工序交接验收、隐蔽工程验收等制度，推行样板引路，是保证工程质量的基础。安全管理则需建立完善的责任体系，针对高空作业、起重吊装、临时用电等重大危险源，制定专项方案和应急预案，并加强日常的安全教育与隐患排查，坚决

杜绝重大安全事故的发生。近年来,“智慧工地”建设方兴未艾,通过人脸识别门禁、AI视频监控、智能安全帽等技术,实现了对人员、机械、环境的全方位、无死角监管。

2.5 绿色文明施工策略

响应国家“双碳”战略,绿色施工已成为行业共识。具体策略包括:采用节能型施工设备,推广太阳能、风能等清洁能源;实施水资源循环利用,如收集雨水用于降尘和养护;对建筑垃圾进行分类处理和资源化再利用,目标是实现“零废弃”;采用装配式建筑技术,减少现场湿作业和扬尘噪音污染;加强施工现场的围挡、绿化和扬尘控制,最大限度地减少对周边环境和居民的影响^[4]。住建部发布的《绿色施工导则》为这些实践提供了明确的指导和评价标准。

3 设计与施工的协同融合:迈向一体化建造

3.1 IPD (Integrated Project Delivery) 模式

该模式的核心在于打破组织壁垒,在项目立项初期即由业主、设计方、总承包商、主要分包商乃至关键供应商共同组建一个目标一致、风险共担、收益共享的联合体。各方基于BIM平台进行早期协同,共同参与方案比选、成本估算和施工策划。这种前置化的深度合作,使得施工经验能够反哺设计优化,例如在结构布置阶段就考虑大型构件的吊装空间和运输路径,从而显著提升方案的可建造性与经济性。

3.2 设计施工一体化 (Design-Build)

在此模式下,业主仅与一个责任主体签约,由其全面负责项目的设计与施工。这从根本上简化了合同关系,消除了设计与施工方之间的推诿扯皮。总承包商凭借其丰富的现场经验,能够在设计阶段就提出诸多建设性意见,如优化混凝土配筋以方便现场绑扎、调整管线走向以避

开结构主筋等,使设计方案从源头上更贴合实际施工需求,有效缩短建设周期并控制总投资^[3]。

3.3 基于BIM的协同 workflow

BIM模型作为唯一的、权威的信息源,贯穿项目始终。设计师在模型中完成深化设计后,施工方可直接从中提取工程量、生成预制加工图、进行施工模拟(4D/5D BIM),真正实现了“所见即所得”,极大地减少了信息传递中的损耗和误解。例如,在机电安装工程中,通过BIM模型进行管线综合排布,可以提前解决成千上万处碰撞点,避免了大量现场拆改,节约了工期和成本^[4]。

4 结语

土木工程结构的设计与施工是一个高度复杂的系统工程,二者相辅相成,不可分割。卓越的设计为施工提供了清晰的方向和坚实的基础,而先进的施工策略则是设计意图得以精准落地的保障。面对新时代的挑战,未来的土木工程必将朝着更加集成化、智能化、绿色化的方向发展。通过深化设计与施工的协同融合,广泛应用BIM、物联网、人工智能等新一代信息技术,并将韧性、低碳、可持续的理念融入每一个环节,我们才能建造出更多安全、高效、绿色、智慧的百年工程,为社会的繁荣发展和人民的美好生活提供坚实的物质基础。

参考文献

- [1]唐伟桓.土木工程结构的设计与施工策略在土木工程技术上的应用[J].中华建设,2023,(02):149-151.
- [2]杨震,黄立辉.土木工程结构设计与施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(21):183-185.
- [3]李亮.关于土木工程结构设计与施工技术关系的研究[J].砖瓦,2022,(12):57-59.
- [4]高建常.土木工程设计绿色施工的可持续发展研究[J].科技资讯,2024,22(15):129-131.