

大跨度桥梁设计要点及优化措施分析

陈柚君

武汉科铁人才发展有限公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：大跨度桥梁作为现代交通基础设施的关键构成，服役环境复杂、受力体系庞大，结构适配、荷载匹配与材料贴合等问题制约着工程质量与长期安全。本文聚焦核心设计短板，从结构形式、荷载计算、材料优选三方面构建优化路径，细化空间架构排布及构件组合方式，完善荷载取值标准与受力校核体系，建立工况适配选材和综合性能管控机制。优化可提升结构稳定性、强化承载性能、提高材料利用效能，为大跨度桥梁绿色化、精细化设计提供技术支撑。

【关键词】：大跨度桥梁；结构优化；荷载计算；材料优选；设计效能

DOI:10.12417/2811-0528.26.15.074

引言

交通强国战略推进下，大跨度桥梁朝超大跨径、轻量化和耐久化迈进，安全、经济、美观与环保构成核心理念。复杂地形与极端工况对结构体系、受力分配及材料性能提出更高要求，传统设计模式暴露结构适配不足、荷载匹配偏差及材料贴合欠缺等短板，制约服役可靠性与综合效益。立足工程实际并聚焦设计短板，整合结构、荷载、材料三方面优化方法，构建系统性设计体系，推动大跨度桥梁设计从经验型向精准型转变，契合绿色低碳与高质量发展需求，为同类工程提供理论与实践参考。

1 大跨度桥梁设计基础概况

大跨度桥梁作为跨越江海、衔接复杂地形的重要交通载体，构成现代交通基础设施体系的核心，其设计融合力学、材料、地质及美学等多领域技术，需统筹安全、经济、美观与环保四大维度。当前主流桥型涵盖悬索桥、斜拉桥与拱桥，适配跨度从数百米至千米级不等，悬索桥适用于超千米级跨径，斜拉桥多用于200-1000米中等跨度，拱桥则在300-500米跨度中兼具结构稳定与景观优势^[1]。设计以极限状态设计法为核心，精细考量恒载、活载、风荷载、地震荷载等多工况组合，依托精细化力学分析及地质勘察数据，开展主梁、塔柱、拉索与基础等关键构件设计，同时兼顾全生命周期成本控制与绿色建造需求，保障桥梁长期安全稳定运行。

2 大跨度桥梁核心设计存在的短板

2.1 整体结构适配性不足

大跨度桥梁结构体系设计常存在与桥址环境、跨度需求及受力特征适配不足的问题，部分设计在桥型选择阶段缺少对地形地质、跨度规模的综合研判，盲目套用通用结构形式，导致悬索桥塔柱刚度欠缺、斜拉桥主梁抗扭性能偏弱、拱桥推力传递路径不合理等状况。结构空间架构排布缺乏精细化考量，构

件衔接处易发生刚度突变，横隔板、风撑等辅助结构布置失当，无法有效约束主梁竖向挠曲与横向扭转。塔柱、锚碇及基础的协同设计不够充分，结构整体稳定性冗余偏低，难以满足复杂工况下的变形协调需求，由此制约桥梁长期服役性能。

2.2 荷载受力匹配度偏差

大跨度桥梁荷载受力计算与实际工况匹配度不足，构成设计阶段的突出短板，荷载取值常简化规范标准，对风荷载、温度荷载、车辆冲击荷载等动态作用的时空分布特性考量欠缺，取值偏于经验化，难以覆盖极端工况。受力分析多依赖简化模型，忽视主梁与拉索、塔柱的耦合效应，节点区域应力集中现象无法被精准识别，导致局部构件应力超标。施工阶段临时荷载与运营期永久荷载的叠加效应校核不充分，拉索初始张力分配不均，主梁受力分布失衡，易引发构件疲劳损伤及结构变形超限，影响桥梁整体安全储备。

2.3 工程材料贴合度欠缺

大跨度桥梁材料选用与结构受力、环境工况的贴合度普遍欠缺，传统设计多依赖常规钢材与普通混凝土，未根据关键构件受力特性差异化选材，拉索、主梁等高应力部位抗拉及抗疲劳性能不足，基础、塔柱等外露结构抗腐蚀与抗渗能力偏弱。材料性能与服役环境适配性较差，潮湿或盐雾条件下普通钢材易锈蚀、混凝土易碳化，加速结构老化^[2]。材料组合设计缺乏协同性，不同材质构件衔接处力学性能差异明显，变形不协调易诱发附加应力，同时未充分利用碳纤维、超高性能混凝土等材料优势，造成材料利用率偏低，难以兼顾结构性能与全生命周期耐久性。

3 大跨度桥梁核心设计优化路径

3.1 改良桥梁整体结构形式

(1) 调整空间架构排布：空间架构排布构成大跨度桥梁

结构设计的核心环节，直接决定整体刚度、受力传递效率与服役稳定性，优化时需立足桥址地形、地质条件及跨度需求，摒弃传统单一化排布模式，构建与实际工况高度适配的三维空间受力体系。针对悬索桥应重点优化主缆垂跨比，平衡塔柱竖向荷载与水平拉力并减小主梁竖向挠度；斜拉桥则合理规划桥塔高度与拉索空间倾角，优化拉索在主梁上的锚固间距，强化横向抗扭刚度以降低风致振动影响。拱桥需调整拱肋矢跨比与拱脚布置位置，增强水平推力传递效率并提升整体抗倾覆能力。统筹主梁线形设计，用平滑曲线过渡替代折线处理以减少应力突变，合理布置横隔板、风撑等辅助结构，优化空间传力路径，实现竖向、横向及纵向受力协同，确保架构排布兼具力学合理性与环境适应性，为结构长期稳定提供基础保障。如图1。

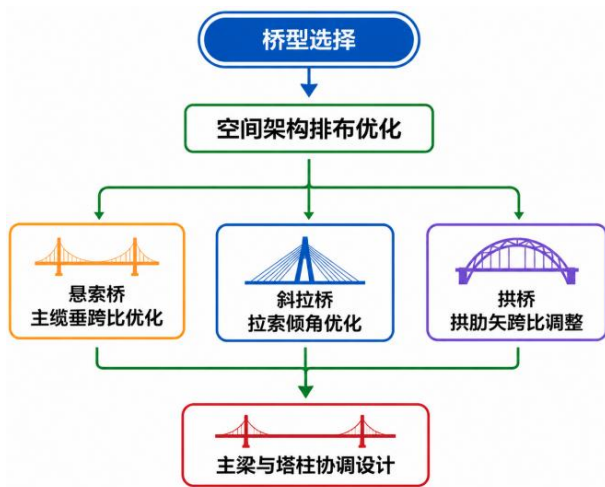


图1 大跨度桥梁空间架构排布优化流程图

(2) 优化构件组合方式：构件组合方式优化聚焦于提升各部件协同受力能力、消除衔接缺陷并强化整体结构效能，设计中需打破独立设计的局限，以整体受力需求为导向，实现主梁、塔柱、拉索、基础等核心构件的参数匹配与构造协同。主梁与塔柱衔接处采用圆弧过渡设计，消除尖角及突变截面等应力集中隐患，保障荷载均匀传递；拉索与主梁、塔柱的连接节点选用高强度连接件，优化构造以提升抗疲劳性能，避免局部损伤扩散。锚碇与基础组合需结合地质条件，重力式锚碇优化体积与配筋布局，自锚式锚碇强化与主梁的锚固衔接，确保主缆拉力有效传导至基础。构件材料组合兼顾力学性能与耐久性，关键部位采用高强材料，次要构件选用轻质材料，平衡自重与承载能力。优化装配顺序与连接工艺，减少施工偏差对组合效果的影响，形成受力均衡、衔接稳固且性能协同的构件体系，全面提升整体可靠性。

3.2 完善荷载受力计算体系

(1) 细化荷载取值标准：荷载取值标准细化构成大跨度桥梁受力精准计算的前提，需结合结构特性、运营环境与服役

周期构建分层化取值体系，恒载应精准核算主梁、塔柱、拉索等构件自重及附属设施重量，避免粗略估算引发的基础荷载偏差。活载需区分车辆、人群等不同类型，充分考虑多车道并行、车辆冲击效应及横向分布系数影响，按实际通行工况确定取值幅度^[3]。风荷载则依据桥址地貌、高度及结构外形，细化基本风压、风振系数与风攻角参数，覆盖强风与阵风等极端风况。地震荷载匹配场地抗震设防烈度，考虑地震动峰值、频谱特性及结构动力响应差异，温度荷载计入整体升降温与局部温差效应，明确梯度温度分布模式。通过细化各类荷载取值边界并形成多工况组合方案，确保荷载输入贴合实际运营条件，为后续受力计算提供可靠基础。

(2) 校核受力分布状态：受力分布状态校核旨在精准把控荷载传递路径、消除应力异常并保障结构受力均衡，采用精细化有限元建模技术还原主梁、塔柱、拉索及基础的空间受力关系，模拟恒载、活载、风荷载、地震荷载等多工况耦合作用下的应力、应变及位移分布。重点校核拉索张力分配，确保各索受力均匀从而避免局部索力过大引发疲劳损伤；核查主梁跨中、支点及变截面处的应力水平，防止弯曲应力与剪应力叠加超标；验算塔柱轴向压力与弯矩分布以控制偏心受力幅度，保障塔柱稳定；评估锚碇抗滑移、抗拔承载力及基础沉降变形，确保荷载有效传递至地基。针对应力集中区域优化构造细节并重新校核，通过多轮迭代分析实现全桥受力状态均匀合理，提升结构整体安全冗余与服役耐久性。

3.3 优选桥梁适配工程材料

(1) 依照工况甄选材质：工况适配构成大跨度桥梁材料甄选的核心准则，需依据构件受力特征、环境侵蚀等级与功能需求精准匹配材料类型，主梁等受弯为主的构件优先选用兼具高强度与高韧性的超高性能混凝土或高强度钢材，以此抵御车辆冲击及反复荷载作用并降低疲劳损伤风险。拉索、吊杆等受拉构件采用碳纤维增强复合材料或高强度合金钢材，充分发挥其轻质高强、抗拉性能优异的特性，同时减少结构自重对整体受力带来的负担^[4]。塔柱、锚碇及基础等承压构件则选用高强度等级混凝土，必要时掺入矿物掺合料提升密实度，从而增强抗压与抗渗能力。针对沿海或工业区等强腐蚀环境，外露构件选用耐候钢材或高性能防腐涂层材料，低温严寒地区则选择抗冻性能优异的材料以规避冻融破坏。通过工况与材质的精准对应，实现材料性能与构件需求之间的高度契合。

(2) 把控材料综合性能：材料综合性能把控需兼顾力学性能、耐久性能与协同适配性，构建全生命周期质量管控体系，力学性能方面严格控制材料强度、刚度、延性及抗疲劳指标，确保钢材屈服强度、混凝土抗压强度等核心参数满足设计要求，避免因性能不足引发结构变形或断裂。耐久性能层面重点

强化材料抗腐蚀、抗碳化、抗渗及抗老化能力,混凝土需控制氯离子扩散系数与碳化深度,钢材需保证防腐层附着力与耐候性,以此延缓环境侵蚀导致的性能衰减。协同适配性上注重不同材料间的力学相容性与变形协调性,避免钢材与混凝土、复合材料与传统材料衔接处因弹性模量差异产生附加应力。建立材料进场检验、过程监测与长期性能跟踪机制,确保材料在生产、施工及运营阶段保持性能稳定,充分发挥材料效能并保障桥梁长期安全服役。

4 大跨度桥梁设计优化综合成效

4.1 提升桥梁整体结构稳定性

结构形式改良、空间架构合理排布及构件组合方式优化,使大跨度桥梁整体结构稳定性获得系统性提升,优化后的空间受力体系可有效分散竖向荷载、水平风荷载及温度作用,明显降低主梁竖向挠度与横向扭转变形幅度,减少结构在动荷载作用下的振动响应。桥塔、主梁、拉索与基础之间的传力路径更加顺畅,节点衔接处构造平滑,消除局部应力集中隐患并增强结构整体刚度与抗倾覆能力^[5]。对高烈度地震区及强风多发区而言,结构动力特性优化后自振周期更趋合理,抗震与抗风性能显著增强,足以抵御极端工况下的外部扰动。合理的结构冗余设计进一步提升安全储备,降低长期运营中因局部损伤可能引发的连锁失效风险,使桥梁在全生命周期内保持稳定可靠的受力状态,有效延长结构服役年限。

4.2 强化桥梁荷载承载性能

荷载取值标准细化与受力分布状态校核,从计算源头及受力分配两个层面强化桥梁整体荷载承载性能,通过精准划分荷载类型、细化各类荷载取值边界并完善多工况组合方案,使设计荷载更贴近实际运营条件,避免因荷载低估导致的承载力不足或荷载高估造成的资源浪费。精细化受力分析可精准识别高应力区域,优化构件截面尺寸与内力分配,让主梁、塔柱、拉

索等关键构件的承载能力得到充分发挥,整体承载极限随之显著提升;拉索张力分配均匀后各构件受力更趋均衡,有效缓解局部过载问题并降低疲劳应力累积速率。基础与地基受力匹配度提高,沉降变形得到有效控制,上部结构承载性能得以稳定发挥。优化后的承载体系能够满足大流量及重荷载通行需求,在保证安全冗余的前提下提升桥梁通行效率与承载潜力,从而适应现代交通发展对重载、大跨度桥梁提出的性能要求。

4.3 增强工程材料利用效能

依据工况甄选适配材料并严格把控材料综合性能,能够从选型与质量两个方向提升工程材料利用效能,材料与构件受力特性及服役环境精准匹配后,高强、耐久类材料应用于关键受力部位而普通材料用于次要构件,避免性能过剩或不足,实现材料性能与结构需求的高度契合。高性能材料如超高性能混凝土、碳纤维复合材料等合理应用,在减轻结构自重的同时显著提升构件强度、刚度与耐久性,并减少材料用量;材料综合性能管控贯穿设计、施工与运营全过程,确保材料力学、耐久及抗疲劳等核心指标稳定,降低因性能衰减引发的维修更换频率,减少后期材料投入。不同材料间的协同适配设计能够消除衔接部位性能差异带来的附加损耗,充分发挥材料组合优势,材料利用率提升直接降低工程全生命周期成本并减少资源消耗,兼顾经济性与绿色环保要求,实现材料价值最大化。

5 结语

大跨度桥梁设计作为融合结构力学、材料工程与环境适配的系统工程,直接关乎工程安全、服役寿命与综合效益,围绕结构适配、荷载匹配及材料贴合三大核心短板,从空间架构、受力计算与材料甄选等维度实施优化,能够有效提升结构稳定性、强化承载性能并提高材料利用效能。优化路径兼顾安全性、经济性与环保性,契合高质量发展与绿色建造理念,为大跨度桥梁精细化设计提供可行方案,同时助力基础设施工程实现安全耐久、经济高效及生态友好的综合目标。

参考文献:

- [1] 刘昱彤,杨天翔.大跨度桥梁设计要点及优化措施研究[J].汽车周刊,2025,(11):80-82.
- [2] 张蕾,吕柯南.大跨度桥梁特殊结构的施工难点与技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(20):125-127.
- [3] 徐新帅.高速公路大跨度桥梁设计阶段工程造价控制[J].黑龙江交通科技,2024,47(12):177-181.
- [4] 付迎春,张龙,范一娜,等.基于有限元与深度学习的大跨度桥梁智能设计方法[J].福建交通科技,2024,(02):27-30.
- [5] 禹壮壮,舒英杰,陆粤,等.基于成桥施工偏差的大跨度铁路桥梁线路纵断面设计适应性分析[J].铁道标准设计,2023,67(03):61-67+73.