

计算开销^[3]。在网格划分过程中应结合流体力学和结构工程力学基本原理进行网格划分,同时还应注意到风荷载所在的空间位置(风荷载施加方向、风速随空间变化情况)、风荷载作用下固体力学行为对网格划分的影响(风荷载作用下的结构扭转、几何结构变形情况、所考虑结构阻尼类型与程度、动力性模拟的附加减法),也就是说,网格划分除要考虑风荷载位置情况(空间位置、风荷载施加方向、风荷载施加时间)及在结构上产生的支承方式、对不同位置支架网格数量的选择外,同时对支架在这些位置的结构组成以及响应也应该有针对性地划分不同的网格密度,最后,在保证精度且较为高效的计算开销前提下,应使用自适应网格划分,进行网格密度的调整与优化。

4.3 边界条件设置

边界条件在风荷载数值模拟中的应用是影响模拟结果真实的最主要的因素之一。对于边界条件的设置不仅要影响风流流动的趋势和风速分布,同时对计算风荷载体型系数的结果也具有重要影响,所以要正确设置边界条件是计算太阳能光伏支架风荷载体型系数的中心环节。一方面,要对支架表面的风速情况予以设置,一般情况下风速的分布符合一定的风速剖面形式。风速的剖面是指在某一点处,风速随垂直距离的变化关系,不同的气候情况,不同的地区分布对应不同的风速剖面形状。而典型的风速剖面形式有对数风速剖面和幂律风速剖面等,其对某一点的高度给出了相应的风速值。对风速剖面的正确设置,能够保证模拟过程中得到的实际的风荷载分布,特别是在进行大风、突变风速的模拟时,正确的风速情况是十分重要的。另一方面,要对光伏支架四周的流体域进行设置,即流体的入口、出口以及流体边界面等都要设置相应的流体特性。而常见的流体特性有自由流边界、压力边界等。在自由流的边界条件下,流体可以自由的运动,这样就可以模拟在风力作用下的敞开区域。而压力边界设置了相应的流体某一物理量的特定值,一般在自由流的入口设置相应的风压值,而在出口则会设置一定的流速值,流体的作用就是和物体的表面相互作用,影响风荷载的分布。

4.4 模拟结果分析

第一,模拟结果关键的数据结果为风荷载大小分布,通过模拟分析得到的结果的风压分布云图,设计人员可以直

观地明确不同部位风荷载大小,比如支架表面、不同连接处等。风荷载大小分布直接影响到支架的稳定性,风荷载体型系数直接决定了支架的安全性大小。分析不同风速、风向向下风荷载分布的变化情况,从不同风速和不同风向向下支架的承载情况,明确支架实际使用过程中的使用效果,在下一步优化设计时做出相关的设计改进。第二,风荷载体型系数的大小变化规律直接决定了风荷载体型系数变化特性,风荷载体型系数反应的是作用于支架上的气动力大小的变化情况。在不同结构设计形式下,支架体型系数也会出现大小明显的差异。对比不同结构设计下的风荷载体型系数的大小变化情况,直接反映不同形式设计对风荷载体型系数大小的影响变化规律。比如支架高度、支架倾斜角度、支架支撑方式、支脚形式等会直接作用于不同支架下风荷载体型系数的大小分布变化情况。第三,不同结构的动态响应效应也是分析数值模拟结果时需要注意的另一部分特性结果。在风速较大的情况下,风速变化率较大时支架的动态响应对风荷载体型系数大小的作用比较明显。风荷载导致的支架变形、摆动等运动状态特性变化,作用在结构受力上,放大风荷载的作用。支架表面会形成不同频率的摆动响应形式,诱发共振效应时,在支架顶部极易产生明显响应效果,增大受力情况^[4]。

5 结语

在本文中,通过计算太阳能光伏支架体型系数并分析结构复杂程度、表面形状与动态响应对风荷载的作用影响,从数值模拟的角度对结构复杂和不同表面形状的光伏支架结构在风荷载作用下的气动行为进行模拟和分析,为光伏支架结构的研究提供设计理论支撑。后续研究可以对支架结构进行进一步试验验证和不同风力地区的风洞试验分析优化,提升光伏支架的抗风性能,以确保光伏系统安全性。

参考文献

- [1] 肖江奇.太阳能光伏支架风荷载体型系数研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2017(3):00278-00278.
- [2] 马靖云,陈作钢,冯榆坤.船用太阳能光伏柔性支架风荷载数值模拟[J].船舶工程,2024,46(7):66-73.
- [3] 赵岩,蒋永前.基于CFD的光伏面板风荷载体型系数研究[J].科技通报,2024,40(7):46-52113.
- [4] 马文勇,孙高健,刘小兵,邢克勇,刘庆宽.太阳能光伏板风荷载分布模型试验研究[J].振动与冲击,2017,36(7):8-13.

The Strategic Mission and Operational Practice of Ziyun Railway in Solving the “Intestinal Obstruction” of the Three Gorges Dam

Haitao Jia

Hubei Railway Group, Yichang, Hubei, 443000, China

Abstract

Guided by General Secretary Xi Jinping's important instruction of “to step up conservation of the Yangtze River and stop its over-development” and the strategy for the high-quality development of the Yangtze River Economic Belt, the saturated handling capacity of the Three Gorges Project Navigation Lock has become a critical bottleneck restricting the coordinated regional development. Relying on the port-connecting railway of Yichang Baiyang Port, Ziyun Railway under Hubei Railway Group has established an intermodal transport system featuring “large-scale diversion and small-volume transfer”, innovatively implemented the “direct transfer between ships and trains” mode, and smoothed the “last mile” of water-rail intermodal transport. In 2024, it achieved a maximum daily marshalling of 400 wagons and a total annual cargo volume of 300,000 tons transferred from water to rail. Among its projects, the bulk-to-container transformation project for corn transported from Northeast China has become a national model. This paper systematically elaborates on how Ziyun Railway, through the triple coordination of technology, institution and ecology, provides a replicable and promotable “Three Gorges Solution” for the high-quality development of the Yangtze River Economic Belt, and offers decision-making references for the upgrading of regional logistics hubs and their transition towards green and low-carbon development.

Keywords

Yangtze River Economic Belt; Three Gorges Navigation Lock; Ziyun Railway; direct transfer between ships and trains; intermodal transport

紫云铁路在破解三峡大坝“肠梗阻”中的战略使命与运营实践

贾海涛

湖北铁路集团, 中国·湖北 宜昌 443000

摘要

在习近平总书记“共抓大保护、不搞大开发”重要指示和长江经济带高质量发展战略指引下, 三峡大坝船闸通过能力饱和已成为制约区域协调发展的“肠梗阻”。湖北铁路集团紫云铁路依托宜昌白洋港疏港铁路, 构建“大分流、小转运”多式联运体系, 创新实施“车船直取”模式, 打通水铁联运“最后一公里”。2024年实现单日最大编组400车、全年“水转铁”30万吨, 其中东北玉米“散改集”项目成为全国示范标杆。本文系统阐述紫云铁路如何通过技术、制度与生态三重协同, 为长江经济带高质量发展提供可复制、可推广的“三峡方案”, 为区域物流枢纽升级与绿色低碳转型提供决策参考。

关键词

长江经济带; 三峡船闸; 紫云铁路; 车船直取; 多式联运

1 引言

2018年4月, 习近平总书记在湖北视察时指出: “要把修复长江生态环境摆在压倒性位置, 共抓大保护、不搞大开发”, 为长江经济带发展明确了生态优先的基本方针。近年来, 三峡船闸年货运量从初期的3400万吨增至1.69亿吨,

超设计能力近70%, 船舶平均待闸时间长达15天, 成为制约“黄金水道”畅通的“卡脖子”问题。紫云铁路作为一条36.7公里的地方铁路, 凭借其区位优势, 以“绕坝运输”替代传统“过坝运输”, 推动绿色多式联运发展, 实现数字化调度与低碳运营。2024年, 紫云铁路单日最大编组达400车, 全年完成“水转铁”30万吨, 为破解三峡“肠梗阻”提供了有效路径, 成为推动长江经济带高质量发展的生动实践。

【作者简介】贾海涛(1973-), 男, 中国山西长治人, 本科, 政工师、助理经济师, 从事铁路建设和运输研究。

2 国家战略背景与枢纽定位

长江经济带覆盖全国11个省市,面积占全国21%,经济总量占比达46%,是我国生态文明建设与高质量发展的核心区域。2016年发布的《长江经济带发展规划纲要》提出构建“一轴、两翼、三极、多点”的空间格局,明确以长江黄金水道为轴,推动区域协同发展,统筹开发与保护的关系。宜昌作为长江上中游分界点,地处东经111°15′-112°04′、北纬29°56′-31°34′,东接武汉、西连重庆、北通中原、南达长沙,是长江经济带“Y”字形交汇的“黄金十字”枢纽。2018年,宜昌被列为港口型国家物流枢纽承载城市;2020年,国家发改委批复“宜昌港口型国家物流枢纽”,明确其“承东启西、连南接北”的战略职能。枢纽核心区包括白洋港、茅坪港与紫云铁路编组站,总面积12.4平方公里,设计年吞吐能力1.2亿吨、集装箱200万TEU、商品车150万辆,形成“铁水空管”多式联运体系。

然而,三峡枢纽面临多重瓶颈。生态方面,柴油货车翻坝运输导致宜昌市PM_{2.5}中柴油车贡献率达37%,NO_x排放占比45%,年CO₂排放约560万吨,与“双碳”目标严重冲突。经济方面,川渝地区年均1.2亿吨货物需东向出海,传统公路翻坝成本达120元/吨,时效7-15天,汛期或检修期间成本与时效进一步上升,严重影响企业库存与产业链安全。安全方面,三峡船闸设计通过能力为1亿吨,2024年实际过闸1.69亿吨,超负荷近70%,加之年均大修30天与极端天气禁航15天,年通行缺口约2500万吨,亟需构建应急替代通道。

在此背景下,紫云铁路被列为《长江三峡枢纽“大分流、小转运”水铁公多式联运示范工程实施方案》中的关键控制性工程,承担三大战略功能:生态方面,以铁路替代柴油货车,预计年减排CO₂120万吨,占宜昌交通领域减排总量21%;经济方面,将川渝货物东向物流成本降至82元/吨,时效压缩至7天,提升区域产业竞争力;安全方面,构建“船闸大修+极端天气”双场景应急通道,保障2500万吨级战略备份能力。紫云铁路以“车船直取”模式打通水铁联运“最后一公里”,为长江经济带提供“枢纽—通道—网络”一体化解决方案,推动宜昌由“区域性枢纽”向“国际性门户”跃升。

3 运输体系演进与紫云铁路的实践

三峡大坝自2003年投运以来,过闸需求持续攀升,区域运输体系经历了三次重要跃迁。2004-2012年为公路翻坝阶段(1.0版),年均过闸需求超7000万吨,设计能力仅5000万吨,缺口依赖公路运输。宜昌城区至坝上、坝下日均柴油货车达1.2万辆次,年运量700万吨,成本120元/吨,带来严重环境污染,PM_{2.5}浓度由42μg/m³升至61μg/m³。2013-2019年进入水水过驳阶段(2.0版),通过浮式平台与滚装码头实现“大船换小船”,年均过驳量1200万吨,但作业效率低、粮损率高,综合成本105元/吨,安全风险突出。

2020年起,紫云铁路推动“车船直取”模式(3.0版),实现系统重构。2020年12月,白洋港疏港铁路专用线贯通,采用“上跨桥+移动式牵引车”方案,实现集装箱“不落地”水铁联运。2024年累计完成粮食“水铁联运”33.6万吨,占三峡过闸粮食总量12.4%。运营效益显著提升:水铁联运全程成本163.75元/吨,较公路下降31.8%;营口—成都全程时间由15天压缩至7天;年减少柴油货车2.4万辆次,减排CO₂1.19万吨;铁路破损率降至0.02%,事故率下降90%。三次跃升体现了运输体系从“高碳—低效—高风险”向“低碳—高效—高韧性”的转型,为长江经济带其他节点提供了可复制的系统解决方案。

4 基础设施一体化布局

紫云铁路—白洋港—茅坪港一体化枢纽是三峡坝区多式联运体系的核心载体,总投资72.4亿元,涵盖紫云铁路正线、白洋港作业区、茅坪港作业区及配套集疏运工程,形成“坝上坝下”双港联动格局。紫云铁路正线全长36.7公里,限制坡度6‰,最小曲线半径600米,到发线有效长850米,可一次集结400辆、2.8万吨列车;疏解线5.6公里,采用CTC区域集中控制,最小追踪间隔10分钟,年通过能力3000万吨。

白洋港一期建成4个5000吨级泊位,年设计吞吐能力400万吨;二期规划6个泊位,远期总能力1000万吨。码头前沿水深-12米,满足5000-7000吨级江海直达船舶全天候靠泊。后方设尽端式装卸线,有效长4150米,配备2台40吨桥吊与1台60吨门吊,昼夜装卸能力2400TEU;移动式牵引车实现散粮“边卸边装”,单箱作业循环时间18分钟,效率提升80%。国内首创“上跨桥+AGV”水平转运方案,桥长1.2公里,桥下双向AGV通道水平运距80米,单程3分钟,实现列车直抵码头前沿。

茅坪港滚装系统布置3000车位/昼夜,设12条滚装通道,2023年完成商品车吞吐87万辆,其中35%通过铁路分流。疏港铁路二期自宜昌南站引出,止于秭归港区,全长42.56公里,设计时速80公里,设站3座,概算投资36.7亿元,计划2026年建成,届时将形成坝上一坝下“双枢纽”格局,新增年通过能力1500万吨。2024年,枢纽累计完成“水转铁”33.6万吨、集装箱9.8万TEU、商品车滚装72万辆,综合能耗下降8%,为破解三峡“肠梗阻”提供了坚实的硬件支撑。

5 技术—制度协同创新

紫云铁路“车船直取”模式依托物理接口、数字孪生与制度创新三维协同,实现作业效率全面提升。物理层面,白洋港研制全国首台移动式装箱机,集成皮带机、称重与除尘功能,在码头前沿完成“边卸船、边装箱”,单箱作业时间由90分钟缩短至18分钟,散粮破损率由0.35%降至0.05%,年减损粮食1008吨。数字层面,构建数字孪生调