

文章编号:1001-4179(2023) S2-0220-06

引用本文:陈启民,张杨,何婧.海上风电全生命周期成本构成及控制措施[J].人民长江,2023,54(增2):220-225.

海上风电全生命周期成本构成及控制措施

陈 启 民^{1,2}, 张 扬^{1,2}, 何 婧^{1,2}

(1. 上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200434; 2. 中国长江三峡集团有限公司 工程造价中心, 上海 200434)

摘要:海上风电场建设运营管理是一项集经济、技术、管理为一体的综合性工作,成本管理作为最为重要的内容之一,伴随项目规划直至拆除退役的全生命周期。目前,投资主体获取国内海上风电资源开发权已全部要求通过竞争性配置方式进行,降本增效是推动海上风电行业可持续发展的关键点,各大发电集团已逐步将风电场成本管理模式从事后算账向事前算赢转变、从被动反映设计和施工向主动影响设计和施工转变、从只关注建设阶段的成本管理控制向全生命周期成本管理控制理念转变。由于海上风电开发具有投资规模大、建设施工难度高、运营时间长等特点,发电企业需要从建设成本、运维成本、财务成本、退役成本 4 个维度分别采取成本前置控制管理措施,以确保实现项目原定投资效益目标。

关 键 词:海上风电; 成本构成; 成本控制; 全生命周期

中图法分类号: F284

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2023.S2.050

0 引 言

相较欧洲,中国海上风电开发起步较晚,自 2004 年东海大桥海上风电场启动规划至今,经过近 20 a 的发展,尤其是近 8 a 的高速发展,取得了举世瞩目的成就。2022 年新增装机容量 5.9 GW,截至 2022 年底累计装机容量已达 26.5 GW,占全球累计装机容量的 44%,位居全球首位。

中国海上风电行业发展经历了研究示范、政策扶持、电价退坡 3 个阶段。自 2019 年国家部委发文明确所有新增海上风电资源开发权全部通过竞争性配置方式获得以来,在激烈的市场竞争环境下,国内海上风电项目开发成本迅速下降,竞配电价在短短 6 a 不到的时间里从 0.738 8 元/kWh 下降至 0.207 元/kWh,降幅超过 70%,部分区域项目已基本实现平价上网目标^[1]。

由于中国南北海域资源禀赋差异较大,建设环境相对复杂,部分施工技术装备相较欧洲先进国家还有

一定差距,风电场运营周期长不确定性较大,为尽可能实现项目全生命周期投资收益目标,发电企业需要转变“重建设、轻运维”的传统思想,从建设成本、运维成本、财务成本、退役成本 4 个维度分别采取成本前置控制管理措施持续做好风电场全生命周期成本管理。

1 全生命周期成本及其构成

从发电企业角度,海上风电工程全生命周期成本是指从规划、设计、建造、运营直到退役所花费的所有成本,主要包括建设成本、运维成本、财务成本、退役成本等。全生命周期单位千瓦成本、平准化度电成本是衡量风电场全生命周期成本两个关键指标。以 2023 年国内某拟建海上风电场为例,其全生命周期成本构成如表 1 所列。

1.1 建设成本

建设成本主要指投资人为了完成工程项目建设并达到生产条件从项目前期研究论证直到风电机组全部投产期间所预计或实际投入的各项费用总和,包括购

收稿日期:2023-04-28

作者简介:陈启民,男,工程师,研究方向为工程造价。E-mail:chen-qimin@ctg.com.cn

买工程项目所包含设备购置成本、建筑施工和安装施工成本、勘察设计成本、征地征海成本、投资人自身进行项目筹建和项目管理所花费的成本、建设期利息等。本文所示项目建设成本折算全生命周期单位千瓦成本 9 992 元/kW,平准化度电成本 0.126 7 元/kW · h, 占全生命周期成本比例超过 50%。

表 1 某海上风电场全生命周期成本指标

名称	单位千瓦成本/ (元 · kW ⁻¹)	平准化度电成本/ [元 · (k · Wh) ⁻¹]
建设成本	9992	0.1267
运维成本	4904	0.0447
财务成本	5002	0.0628
拆除成本	182	0.0008
合计	20080	0.2350

1.2 运维成本

运维成本主要指项目运营期间为保证风电场正常运行所发生的运行及维护费用。按照费用性质划分,由风电场运行期间发生的所有人工费、材料费、修理费、保险费、其他费用等组成。其中人工费指风电场运营和管理人员工资、职工福利费以及企业缴纳的社会保障费用等;材料费指风电场运行、维护等所耗用的材料、事故备品、低值易耗品等费用;修理费指为保持风电场项目固定资产的正常运转和使用、提高发电效率而发生的必要的修理费用;保险费指风电场生产运行期间为了降低经济损失风险而购买的财产险、机械损毁险及商业中断险等;其他费用包括风电场运营期发生的海域使用金、土地租金、发电企业公司管理成本等。本文中所示项目运维成本折算全生命周期单位千瓦成本 4 904 元/kW,平准化度电成本 0.044 7 元/kW · h,占比超过 20%。

1.3 财务成本

财务成本主要指发电企业筹集生产建设和运营所需资金等而发生的费用,具体包括利息支出、汇兑损失、税费、金融机构手续费以及筹集生产经营资金发生的其他费用等。本文所示项目财务及税费成本折算全生命周期单位千瓦成本 5 002 元/kW,平准化度电成本 0.062 8 元/kW · h,占全生命周期成本比超过 20%。

1.4 退役成本

风电场退役是指一次性拆解风电机组后拆除风电场全部设施,包括但不限于风机及塔筒、风机基础、升压站、海缆及保护措施等,并对场址进行生态修复^[1]。由于目前国内尚无海上风电场退出运行实际案例,根据《风电场改造升级和退役管理办法(征求意见稿)》以及国内某项目因台风原因导致机组机位损毁拆除的案例分析,笔者认为风电场退役成本可由风电场拆除工程费、增(验)寿评估费、生态修复费用、固定资产残

值回收等构成。由于本文所示项目暂按风电场经济评价规范的标准测算,项目拆除成本折算全生命周期单位千瓦成本 182 元/kW,平准化度电成本 0.000 8 元/kW · h,占比仅 1%。

2 全生命周期成本控制措施

“平价”时代,对于发电企业而言,对海上风电场全生命周期成本进行事前管控是促进项目降本增效、提升企业价值创造能力、实现国有资产保值增值的重要途径。对于为建设单位提供规划设计服务的勘察设计单位或咨询公司而言,能准确预测项目全生命周期成本水平,合理分析项目投资效益,是为建设单位提供高质量咨询服务所需要具备的核心能力。笔者认为可从以下 8 个方面完善项目全生命周期成本控制措施。

2.1 完善项目评估和决策指标体系

平准化度电成本(LCOE)就是对项目生命周期内的建设成本、运维成本、财务成本、税费、固定资产残值等全部成本和发电量进行平准化计算得到的发电成本,即生命周期内的成本现值/生命周期内发电量现值,可理解为满足投资人最低期望回报的单位度电成本价或盈亏平衡价。它是国际通用且普遍采用的一项能源项目经济评价指标。LCOE 作为国际能源行业通用的经济竞争力分析指标,在国际市场得到了广泛应用,在欧美国家能源革命的发展过程中呈现出多种应用场景,包括对各类能源价格竞争力对标、分析发电项目全生命周期成本结构、辨识“降本增效”的关键因素、辅助投资决策及开发排序、市场竞价、项目技术经济分析、各类能源产品价格发展路线及变化趋势等方面。

2.2 加快建立企业定额管理机制

海上风电场开发建设不同阶段需要编制不同类型的经济文件,如投资估算、设计概算、招标控制价、执行概算或业主预算、施工图预算等,这些经济文件是建设单位进行项目投资论证、开发排序、工程造价管理的重要工具,分别构成了发电项目处于规划建设不同阶段的项目建设成本控制目标。

这些投资及造价控制目标文件一般采用定额计价法由工程造价专业技术人员编制,而定额计价是建立在以政府定价为主导的计划经济管理基础上的价格管理模式,通常是以不同设计阶段的设计方案为依据,按照行业主管部门发布的工程定额、价格信息、费用标准等,对建设项目从筹建至竣工交付使用所需全部费用及其构成进行概略计算。由于定额效率反映的一定时期、一定范围的社会平均生产率、装备技术能力、费用

标准,带有地域性、时效性、更新速度慢等特点。但是海上风电建设成本与地质、水文、气象、装备等因素密切相关。近年来,国内海上风电行业发展迅猛,风机大型化趋势显著、由近海快速走向深远海、技术方案不断创新、装备能力不断提升、浮式基础应用逐渐增多,现行行业定额及配套费用标准出现了缺项、无法反映当前市场价格水平等问题,且行业主管部门暂未明确对现行定额的修订计划。由于定额是工程造价专业技术人员开展计价活动的主要依据之一,若没有定额将导致国内绝大多数从事海上风电场工程计价工作的专业技术人员丧失工作能力。所以有必要进一步加强落实企业关于造价管理的主体责任,尽快开展企业定额测量工作,以建立企业定额管理机制,为行业快速发展提供数据支持。

2.3 加快建立工程造价数据库、指标库

当前,中国正在出台一系列措施不断推进工程造价市场化改革,不断强化市场在资源配置中的决定性作用。拟通过改进工程计量和计价规则、完善工程计价依据发布机制、加强工程造价数据积累、强化建设单位造价管控责任、严格施工合同履行管理等措施,进一步推行清单计量、市场询价、自主报价、竞争定价的工程计价方式,即工程量清单计价模式,进一步完善工程造价市场形成机制。将加快转变政府职能,优化概算定额、估算指标编制发布和动态管理机制,取消最高投标限价按定额计价的规定,逐步停止发布预算定额。将进一步搭建市场价格信息发布平台,统一信息发布标准和规则,鼓励企事业单位通过信息平台发布各自的人工、材料、机械台班市场价格信息,供市场主体选择。

如此以来,建设单位若要落实造价管理主体责任,就必须采取措施加强自身造价管理能力建设。一是需注重加强工程造价数据积累,挖掘数据价值,建立工程造价数据库,按地区、工程类型、建筑结构、价格时点等分类构建人工、材料、设备、项目等造价指标、指数体系,为造价文件的编审提供依据。可围绕项目投资估算、设计概算、业主预算、施工图预算和竣工结算等环节加强工程建设项目全过程造价数据统计、整理,利用大数据、人工智能等信息化技术整合工程造价数据资产。二是需组建专业化团队加强对供应链市场行情分析,发挥“人员集中、能力集中、数据集中”的优势,对价格形成机制、变化机制进行深入研究,加强对供应链宏观政策、市场供需关系、工艺技术发展、原材料价格等信息的跟踪、收集和分析,密切关注、跟踪各版块从生产要素到设备成品全链条的市场价格行情,总结规律、构建分析预测模型,提升对市场价格水平的研判能力。

2.4 加强合同变更索赔管理

变更索赔风险存在于项目建设的全过程当中。造成风险的原因包括:决策阶段方案勘测设计深度不足;招标筹划阶段招标文件缺陷、合同文件漏洞;实施阶段的设计方案调整、甲供设备供货延误、现场条件制约等,这将导致承包人成本增加,终将会在施工阶段以变更索赔的形式体现,给项目的投资控制、发电效益、质量、进度甚至安全带来不同程度的影响。

由于当前国内海上风电行业的造价及合同管理经验尚欠,计价体系不完善,造价管理专业人才队伍不健全,对合同、法律、计价、计量规范认识不一致等因素,工程实施过程中,变更索赔处理往往成为合同争议的焦点,成为发承包双方合同管理能力的博弈较量,笔者认为建设单位做好变更索赔管理需要从以下几个方面入手:

(1) 树立全员合同管理意识。工程现场无论是关于工程内容、技术标准、工程质量、工程进度,还是工程安全的任何一条指令或者方案变化,背后都牵动着工程造价,而现场变更索赔管理的依据和边界取决于合同约定,所以合同管理是工程造价控制的重要手段,贯穿于整个实施阶段,所有的建设管理人员都应了解合同管理的工作内容、合同变更索赔的适用范围、工程价款调整的基本原则,树立全员合同管理意识。遇到突发事件或问题,应首先明确事件是否与合同有关,识别是否是合同约定的适用变更索赔事件,应当依据合同条款中的哪些约定程序来解决问题。

(2) 树立全员证据管理意识。承包人通常只会留存对其有利的证据资料,随着承包人越来越强大的证据索赔及法律意识,建设单位亦应建立相应的证据意识,摒除凡事都依赖承包人提供资料、依据的做法。需建立证据管理思维、证据管理体系,用完善的证据链条指引变更索赔管理。

(3) 堵塞合同漏洞、修订完善合同范本。工程风险主要分为两种,可预见风险和不可预见风险。当不可预见的风险发生,发承包双方均无法合理预见,法律和合同就赋予承包人额外获得工期延长以及费用弥补的权利,赋予合同双方终止合同的权利。由于人的有限理性和工程建设的复杂性和不确定性,建设单位在招投标阶段不可能对建设项目所涉风险穷尽考虑,工程建设无论事先对合同考虑多么细致缜密,由于履行期间的影响因素太多,合同变更在所难免,合同双方都不应该指望一项大型的建设工程中不发生合同变更。合同管理是一个动态过程,绝对不变的合同是不存在的,所以建设单位期望通过合同条款将合同变更风险全部转移给承包商不切实际;承包商期望通过合同变

更索赔来实现超额利润也不切实际。有效的合同管理并非一味的风险转移,而是把风险公平合理分配到可有效管理此风险的一方。这样可以在最大程度上减少由于信息不对称、争议增加所带来的间接成本。

笔者在多个变更索赔事项的梳理过程中发现合同条款的不尽完善之处,尤其是类似“无限风险包干”合同条款为现场变更索赔事项的处理带来极大困难。这类条款让现场发生了变更、索赔事项无据可依,若死守合同约定拒不调整,将导致合同目的不能实现,无法实现按期并网的要求。若进行调整,由于合同对计价依据无约定或约定不明,导致发承包双方争议巨大,极大程度影响工程顺利推进,还为建设单位后续接受工程审计带来巨大隐患。故建议建设单位对范本使用过程中约定不明确、合同争议较大、涉及金额较大、疑似无限风险的合同条款进行动态跟踪、定期评价,及时进行补充修订、填补合同漏洞。对在建项目已发生的变更索赔原因进行分析总结,帮助建设单位有效识别可预见风险,在后续工程中,完善进入合同条款,最大程度体现变更索赔管理的公平效率原则。

(4) 加强造价管理人员文字报告撰写能力、造价分析能力的培养,重视咨询顾问团队建设。工程造价管理是一门集技术、经济、管理、法律为一身的复合型学科。需要造价专业技术人员综合运用管理学、经济学、工程技术、法律法规等方面的知识,对建设项目费用进行预测、计划、控制、核算、分析、评价。海上风电行业属于新兴行业,当前工程计价体系尚不完善、工程造价管理体系尚不健全,属于市场化程度高、完全竞争、由市场决定造价的行业。在工作实践中笔者发现,海上风电变更索赔管理通常执行承包商申报、监理审核、建设单位审核的管理流程。按照“谁主张、谁举证”的原则,均要求承包商在提出变更索赔主张时应提供完整的、详实的书面材料,但是由于申报单位造价管理人才队伍的专业技术水平参差不齐,常常因承包商提供的变更索赔申请材料中缺少事项背景描述、变更必要性分析、技术可行性分析、经济合理性分析、申请变更索赔的依据等内容,导致审核人员无法客观、真实掌握事件发生来龙去脉,出现理解偏差。另外,当前行业里从事计价工作的造价专业技术人员普遍缺乏对海上风电工程计价方法理论体系的了解,不熟悉补充单价分析表的编制方法,变更索赔管理过程中承包商普遍采用简单粗放的财务成本核算的方法向建设单位申请“报销”费用,通常不符合合同中关于工程价款调整的相关约定,致使审核、谈判工作反复、效率低,缺少共同语言,承包商合理诉求无法得到及时解决,给发承包双方均增加了冗余的管理成本,所以加强造价管理

专业化团队的建设对参建各方均十分重要。

2.5 探索实物量计价方法体系

当前,欧洲咨询机构在计算海上风电场施工造价时一般采用“实物量”计价。首先根据主体及附属结构工程量分析计算材料数量;再根据项目规模、地质条件、气象条件、基础形式、装备条件等因素,结合已确定的资源计划、船机理论生产率、天气因素系数等数据,分析计算完成整个风电场主体及附属结构施工所需的人工、船机作业时间;最后按照通过市场调查确定的人工、材料、船机单价,并考虑一定的间接费用、管理费等计算得到施工总造价。“实物量计价”可体现项目规模、复杂程度、地质条件、气象条件、供求关系等不同情况下建设成本差异。

国内海上风电场建设规划设计阶段、招标阶段造价体系采用的是“定额计价”来测算建设投资,测算时主要以国家能源局发布的《海上风电场设计概算编制规定及费用标准》《海上风电场工程概算定额》为依据。此类计价方式是由前苏联引入的定额体系演化而来,是原“计划经济”时代的产物,编制出来的工程造价一般用于项目核准、总体投资规模的预测使用,定额数据一般根据大量的施工数据积累分析总结形成,在中国海上风电产业链尚不成熟、供求关系不断变化的市场环境下,简单套用施工定额而不考虑项目规模、特殊地质条件、气象条件、供求关系、装备条件对工程造价的影响编制出来的造价水平,通常与项目最终实施完成的造价水平存在较大差异。

2.6 探索运行维护费用标准及体系

中国风电场运维工作一般采取运检分离的模式,风电场运行管理维护工作的主要任务是提高设备利用率、供电可靠性,保证风电场的安全经济运行和工作人员的人身安全,保持输出电能符合电网质量标准,降低各种损耗。影响风电场运维成本的关键因素主要包括设备的可靠性、部件更换成本、发电场的可达性、运维策略的预见性及合理性、发电场水文气象预报的准确性、运维人员的技术及管理水平、运维服务市场的成熟度、运维装备的价格水平等。可以按照工作性质或工作结构划分,将风电场运维成本划分为运行管理成本和风电场运行维护成本。另外,欧洲国家还提出了将运维成本按照成本变化的相对幅度划分的概念,分为固定运维成本、变动运维成本,固定运维成本是指与发电量的多少无关而必须发生的运维成本,变动运维成本是指随着发电量的增减而成比例变化的运维成本。

随着近几年海上风电场投产数量的快速增长,国

内海上风电运维服务市场已经初具规模。当前国内海上风电场运行维护具有技术要求高、机组可靠性差异大、安全风险高、受自然因素干扰明显、交通成本高、大部件更换成本大、运维数据及经验相对匮乏、新技术新装备不断出现、运维模式不断创新、市场主体不断增多、供应链尚不成熟、运维服务计费体系尚未建立、智能化水平不高等特点。从工程造价专业角度出发,当前建议开展的就是运维费用计算及监测体系的构建工作,通过挖掘数据资产价值寻找有效控制运维成本的措施,具体思路如下:

(1) 对海上风电运维工作内容及结构、运维模式与策略进行全面了解,结合国内风场的实际情况,形成符合规模化、深远海发展趋势的海上风场运维工作分解结构。

(2) 对运维费用结构进行分解并逐项分析,构建运维成本分解结构,将技术与经济相结合,识别对运维成本影响较大的关键因素,规划实现“降本增效”的主要途径。

(3) 从降低全生命周期平准化度电成本(LCOE)的角度出发,分析机制、政策、市场、气象、装备、技术等与运维成本、机组可利用率间的关系,尝试将各因素对运维成本的影响程度进行量化,为精细化运维管理、优化运维策略提供支持。

(4) 通过研究分析国外风场的运维方案和运维费用计算过程,厘清国内外运维费用的范围、计算方法、运维成本管理机制等方面的差异,将运维方案和费用对标,实现与国际惯例接轨,促进国际间技术经济交流。

(5) 探索高效、标准化的运维费用动态监测机制,及时掌握海上风电项目运维成本主要驱动因素的价格变化趋势,提高成本预测、分析能力。

2.7 优化资金结构降低财务成本

对于发电企业而言,项目开发财务成本中最主要的部分就是资金成本及税费,相对比例关系大约为3:2。目前,中国海上风电项目开发主体以国有大型发电集团为主,少量的风机制造企业为辅,项目开发的融资方式以向国有银行贷款为主,企业对国有银行高度依赖。由于海上风电固定资产投入比例巨大,资金运行周期长,国家规定的资本金比例仅为20%,导致项目财务成本中占比最大的部分是固定资产投资贷款利息,其次是企业应缴纳的税费。在国家宏观政策调控背景下,降低融资成本的主要途径,还是通过优化企业资金结构、提高企业信用评级、争取优惠的信贷政策支持、合理确定贷款年限、降低信贷利率水平、利用好增值税即征即退政策等方式实现。另外,合理调整融资

结构也可能对降低资金成本有促进作用,其中融资租赁模式在市场经济环境下的出现,对于传统企业单一通过银行进行融资的方式起到了补充作用,且受到当前国家支持政策的影响,有可能对降低融资成本、税费成本起到一定的促进作用。例如:目前税法规定融资性售后回租属于按照“贷款服务”计算缴纳增值税,该业务取得的租赁利息专用发票的进项税额不得从销项税额中抵扣,但是采用这种方式可以起到减少资金占用、增加资产流动性的作用,还可以不占用银行授信,起到享受加速折旧、调节利润和企业中短期税费负担的作用。其余的融资租赁业务按照“租赁服务”计算缴纳增值税,其取得的租赁利息专用发票的进项税额可以从销项税额中抵扣,对于降低税费成本有一定的促进作用。不同的融资结构会带来项目财务成本水平的变化,需要构建灵活的财务模型加以分类分析找到最优组合方案。

2.8 将拆除成本纳入到项目投资效益评价体系

由于国内海上风电设备的设计使用寿命通常为20~25 a,风机基础等结构的设计使用寿命一般与风电机组设计使用寿命相匹配(极端环境荷载采用50 a设计基准期),海上升压站钢结构平台设计使用年限通常为50 a,海底电缆的设计年限通常在30 a左右,所以对于即将退役的风场,除了一次性解列的方式外,还可采取增(延)寿方式实现项目继续发电。做出以上何种判断取决于风电场延寿评估结论、各种方案的经济性评估结果。

2021年,国家能源局组织五大发电集团和整机设备商的代表,召开了风电机组退役和更新管理政策座谈会,研究解决风机退役机制等问题,并研究制订了《风电场改造升级和退役管理办法(征求意见稿)》。该办法规定风电场退役应充分尊重企业意愿,不得强制实施。风电机组运行达到设计使用年限时,开发企业应委托第三方专业机构开展安全性评估,评估结果报当地能源主管部门、派出能源监管机构和电网企业。经评估不符合安全运行条件且不愿意进行改造升级的风电场,开发企业应及时拆除,并按有关要求修复生态环境。

根据欧洲某专业机构的研究和预估,欧洲海上风电场的退役成本大约在20万~50万欧元/MW,相当于施工成本的60%~70%,按照当前汇率折算人民币金额约1500~3700元/kW。目前,由于欧洲海上风电场的退役成本高昂,各国在审批项目时都要求投资方提供完整的拆除方案,要求开发商提供财务担保,比如在风场寿命期内支付退役担保金、债券或信用证等,作为审批通过的前置条件,并且需要随着政策的变化、

技术进步和成本情况作出调整,但是目前中国海上风电开发尚未在规划论证阶段就此提出相关要求。据公开资料,目前国内仅有少量风电场因为建设过程中遇到事故导致需要对场址内部分机位进行拆除的情况,尚无完整的海上风电场退役案例。如福建平潭长江澳海上风电场(185 MW,37台×5 MW,6桩混凝土承台基础)涉及了11个机位基础钢管桩拆除、1套嵌岩平台打捞、2套钢套箱打捞作业内容,施工中标金额3300万元,折算单座基础钢管桩(6根)拆除成本约200万~300万元,因缺乏规模效益,折算单价水平高昂。由于目前国内退役的风场比较少,退役项目废旧物资的循环利用及处置费用尚无标准,项目增(延)寿的经济性评价尚未建立系统的评估体系。所以笔者认为,目前国内海上风电场退役成本普遍存在被低估的风险,有必要将退役成本估算纳入项目投资效益评价体系。

3 结语

本文从工程造价专业视角,对海上风电场全生命

周期成本的构成进行了结构化分解,用定性与定量相结合的方式识别了影响项目全生命周期成本的关键环节。结合海上风电开发具有投资规模大、建设施工难度高、运营时间长等特点,呼吁行业进一步转变“重建建设、轻运维”的思想,提出了发电企业需要从建设成本、运维成本、财务成本、退役成本4个维度,分别采取成本前置控制管理措施的建议,包括但不限于完善项目评估和决策指标体系、加快建立企业定额管理机制、加快建立工程造价数据库和指标库、加强合同变更索赔管理、探索实物量计价方法体系、探索运维费用标准及体系、优化资金结构减低财务成本、将退役成本纳入到项目投资效益评价体系等措施建议,为工程投资方如何实现项目全生命周期成本最优管控、工程建设方如何强化建设阶段造价管控、工程咨询方如何培育全生命周期咨询业务提出新的思路。

参考文献:

[1] 戴璐,张文平.海上风电场延长运营年限经济评价分析[J].风能,2020(12):44-48.

(编辑:黄文晋)

(上接第210页)

表3 下主梁后翼缘跨中测点3回归分析及仿真结果比较

设计水位/m	回归分析结果/MPa	仿真结果/MPa
22.266	99.82	95.00

5 结语

结合水工钢闸门在实际荷载的检测数据,采用一元线性回归分析方法对水工钢闸门构件承载时应力特性及工作状况的相互关系进行推算,可以解决实际水工钢闸门测试中测试工况不能达到设计工况的难题,为水工钢闸门的安全评估提供了更科学准确的手段。

参考文献:

[1] 杨斌,马颖,张松涛,等.海河口水工钢闸门防腐浅析[J].海河水利,2009(6):15-17.
[2] 魏敏.水工钢闸门腐蚀状况评估及防腐蚀技术[J].水利技术监督,2006(6):51-53,56.
[3] 郭建斌,郑圣义.钢闸门腐蚀安全研究[J].腐蚀科学与防护技术,2006,18(1):72-75.

[4] 刘毅,张晓辉,曹琛,等.大气环境腐蚀下钢结构力学性能研究综述[J].材料导报,2020(11):804-810.
[5] 中华人民共和国水利部.水利水电工程钢闸门设计规范:SL 74-2019[S].北京:中国水利水电出版社,2020.
[6] 中华人民共和国水利部.水工钢闸门和启闭机安全检测技术规范:SL 101-2014[S].北京:中国水利水电出版社,2014.
[7] 王启广,陈军.测试技术与实验方法[M].北京:中国矿业大学出版社,2009:132-139.
[8] 刘鸿文.材料力学[M].北京:高等教育出版社,2017:221-260.
[9] 韦来生.数理统计(第二版)[M].北京:科学出版社,2015:127-141.
[10] 茆诗松.回归分析及其试验设计[M].北京:华东师范大学出版社,1981:1-11.
[11] 水电站机电设计手册编写组.水电站机电设计手册(一)[M].北京:水利电力出版社,1988:248-288.
[12] 张如一,陆健楨.实验应力分析[M].北京:机械工业出版社,1981:117-120.

(编辑:胡旭东)