

Research on the Investment Composition and Economic Evaluation of Hualong One Unit

Jie Ji

Guangxi Fangchenggang Nuclear Power Co., Ltd., Fangchenggang, Guangxi, 538000, China

Abstract

This paper takes the third-generation nuclear power technology “Hualong One” nuclear power unit in China as the research object. By deeply analyzing the core components of the full life cycle cost such as construction investment, financing cost, operation cost and decommissioning cost, it reveals the cost structure characteristics of the heavy asset industry of Hualong One units. The research has constructed an economic evaluation framework integrating profitability, debt-paying ability and sustainability, and based on the background of power marketization, has proposed a corresponding evaluation model. The practical application of a Hualong One nuclear power project along China's coast has shown that through the optimization of the design, construction and operation links, costs can be effectively controlled and the economic efficiency of the project can be improved. This has verified the model's ability to identify benefit sensitive points, providing theoretical references and practical basis for the investment decision-making, lean management and adaptation to the trend of power marketization of China's third-generation nuclear power projects.

Keywords

Nuclear power; Hualong One; Investment composition; economic evaluation

华龙一号机组投资构成与经济评价研究

吉杰

广西防城港核电有限公司, 中国·广西防城港 538000

摘要

本文以中国三代核电技术“华龙一号”核电机组作为研究对象,通过深入解析建设投资、融资成本、运营成本及退役成本等全生命周期成本的核心构成要素,揭示了华龙一号机组重资产行业特性的成本结构特点。研究构建了集盈利能力、偿债能力与可持续性于一体的经济评价框架,并基于电力市场化背景,提出了相适应的评价模型。通过中国沿海某华龙一号核电项目的实践应用表明,通过设计、建造和运营环节的优化,可有效控制成本、提升项目经济性,验证了本模型对效益敏感点的识别能力,为中国三代核电项目的投资决策、精益化管理及适应电力市场化趋势提供理论参考与实践依据。

关键词

核电; 华龙一号; 投资构成; 经济评价

1 引言

作为中国第三代核电技术的自主化成果,“华龙一号”核电机组采用177堆芯设计与“能动+非能动”双重安全系统,双层安全壳,反应堆堆芯功率较二代机组提升9%,设计寿命达60年,电厂可用率高达90%,安全性与经济性均达到国际顶尖水平^[1]。其投资构成既体现了三代核电的共性特征,又因技术升级呈现独特性。

随着“双碳”目标的推进和电力市场化改革的深入,核电项目的经济性评价日益受到重视。本文通过解析华龙一号项目的投资构成与经济评价逻辑,构建全面的经济评价框架,为核电项目投资决策和运营管理提供参考。对中国核电

批量建设与“走出去”战略实施具有重要实践意义。

2 华龙一号机组投资构成

华龙一号机组投资遵循“建设主导、全周期覆盖”的特征,具有投资规模大、建设周期长、预期收益稳定、安全性要求高的显著特点,按投资阶段可分为建设投资、融资成本、运营成本和退役成本四大板块,各板块占比与构成呈现出显著的重资产行业特性。

2.1 建设投资: 占比最高的核心支出

建设投资通常占核电机组全生命周期总成本的60%以上,是前期投入的核心部分,涵盖从施工准备到机组并网前的所有资本性支出,主要包括六大类^[2]:

设备购置费: 占建设投资的33%以上,主要包括核岛设备及配套系统、常规岛及配套系统设备两大类。其中核岛设备占设备总成本的65%以上;常规岛设备占设备总成本

【作者简介】吉杰(1984-),男,中国河南扶沟人,本科,会计师,从事财务管理研究。

的21%。

建筑工程费用: 约占建设投资的21%, 涵盖反应堆厂房、汽轮机厂房、冷却水泵房等生产性辅助厂房的大型建构筑物施工, 因需满足抗地震、防辐射等特殊要求, 工程规模大、技术标准高, 材料与施工成本显著高于普通工业建筑。

安装工程费用与调试成本: 占建设投资的19%左右, 涉及设备吊装、管线连接、系统集成及并网前的联合调试, 需专业技术团队操作, 对精度和安全性要求严苛, 成本占比居高不下。

工程其他费用: 约占建设投资的16%, 包括建设场地征用及清理、设计研发、许可证申请、监理费、项目管理费、生产准备费等。首堆工程因技术验证需求, 设计研发费用占比更高, 批量化建设后可通过技术复用降低该部分成本。

2/3 首炉核燃料费: 约占建设投资的4%, 指首次装入核燃料所需的费用, 其中列入建设投资额的部分根据换料设计模式不同确定为 n/m 首炉核燃料费。

预备费用: 为应对建设中的不确定性(如工期延误、设备价格波动)记取的风险准备金, 包括基本预备费和涨价预备费, 通常占建设投资的7%左右。

2.2 融资成本: 债务驱动的财务支出

“华龙一号”核电机组采用“20% 资本金 + 80% 银团贷款”的融资模式, 融资规模高导致融资成本成为重要支出项, 贷款利息占全周期总成本费用的13%, 需通过充分利用贷款政策优化融资利率, 有效控制财务费用。

2.3 运营成本: 全周期的持续性支出

运维费用: 核电厂从商业运行开始至退役前, 为维持机组安全稳定运行、保障核安全, 在日常运营与设备维护过程中发生的全部费用, 约占总成本费用的25%, 是运营期最主要的变动成本。

核燃料费用: 核燃料费用受换料周期、燃耗深度、循环方式、燃料组件价格等影响较大, 约占总成本费用的25%, 可通过签订长期协议实现价格稳定, 变动性显著低于火电燃料成本。

折旧费用: 按综合折旧年限计算, 折旧费占总成本费用的23%, 是运营期最主要的固定成本。

保险费: 包括核物质损失险、核第三者责任险、雇主责任险、安全责任险等, 可按固定资产净值和保险费率计算, 运行的前5-10年与最后5-10年保险费率较高, 整体呈U形。

专项计提费用: 包括核事故应急准备金、乏燃料处理处置基金和退役费用, 合计占总成本费用的11%, 体现了核电的全生命周期责任。

税金附加: 包括增值税及附加、房产税、印花税、城镇土地使用税、车船使用税等, 约占总成本费用的1%。

其他运营成本: 包括销售费用、管理费用、研发费用等, 占总成本的1%, 相对占比低且稳定性强。

2.4 退役成本: 全生命周期的末端支出

核电站在退役拆除阶段会产生大量费用, 包括核设施

拆除、放射性废物处理、场地恢复等。根据行业惯例, 退役费用通常按照电站形成固定资产原值的10%提取, 作为退役基金列入各年成本。

3 华龙一号机组经济评价框架

随着电力市场化改革进程的加快, 区域市场电价显著影响核电项目经济性, 传统的“根据给定收益率反算上网电价”的评价方式已难以匹配当前实际情况, 探索“依据项目所在区域的市场电价情况与项目成本情况, 正算收益率等关键指标”的评价方式更贴近核电项目当前情况, 提升经营决策的科学性。同时, 结合核电项目“投资规模大、建设周期长、现金流稳定”的特点, 构建“盈利能力为核心、偿债能力为支撑、可持续性为延伸”的三维经济评价框架^[1], 显得必不可少。

3.1 财务经济评价的核心步骤

市场预测, 选取财务分析的基础数据与参数。

编制财务分析报表, 估算各期现金流量。

计算财务评价指标。

进行盈利能力、偿债能力、财务生存能力三大分析。

初步评价结论。

进行不确定性分析。

得出评价结论。

3.2 基础数据的测算及其估算表

建设期投资测算: 主要是项目投资估算表、分年投资计划与资金筹措表。

收入、税金及附加的测算: 主要包括营业收入的测算(营业收入 = 上网电量 × 平均电价(不含13% 增值税))、根据增值税退税优惠政策测算补贴收入、税金及附加的测算。

总成本费用的测算:

总成本费用估算采用生产要素估算法, 具体包括15项成本, 其中主要的成本包括折旧与摊销费、核燃料费、修理费、材料费、人工成本、财务费用。

借款还本付息估算及其计划表

借款还本付息估算表反映项目在运营期内各年应还本金和利息的情况。通常采用等额还本方式, 需充分考虑项目投产初期的现金流特点, 合理安排还款计划。

3.3 财务评价核心指标

盈利能力分析是财务评价的核心, 以项目投资财务内部收益率(FIRR)、项目资本金财务内部收益率(EIRR)、项目投资回收期(Pt)、项目投资财务净现值(FNPV)和净资产收益率(ROE)为主要指标^[4]:

投资收益率是最关键的指标, 是FNPV等于零时的折现率。当收益率 ≥ 要求回报率时(FIRR ≥ 行业基准收益率, EIRR ≥ 项目资本金期望收益率), 表明其盈利能力满足了最低要求。

项目投资财务净现值(FNPV)是按行业基准收益率计算项目净现金流量的现值总额。FNPV ≥ 0 是项目可行的直

接判据。

项目投资回收期(Pt)分为静态与动态两种,反映了回收全部投资所需的时间。

净资产收益率(ROE)是股东重点关注指标,它直接反映了资本金的增值能力。

偿债能力分析是项目稳健运营的基石,主要考察项目偿还债务本息的能力,对华龙一号这种前期高负债的项目至关重要。以利息备付率(ICR)、偿债备付率(DSCR)和资产负债率为主要指标。

利息备付率(ICR)通过对比项目在还款期所产生的息税前利润与利息,来衡量项目偿付利息的保障程度。该指标一般为1.5~2,若ICR过低,则表明项目付息压力较大,存在较高的债务风险。

偿债备付率(DSCR)通过对比项目在还款期用于还本付息的资金与应还本付息金额,来衡量项目偿付本息的保障程度,通常要求不低于1.3。

资产负债率反映了项目的财务结构及长期偿债风险。对于建设期的核电项目,该比率因大量借款而较高,但随着机组投产运营和还本付息,该比率逐步下降至合理水平。

财务生存能力分析通过考察项目全周期内的资金平衡状况,评估净现金流量是否能够维持正常运营和偿债。

不确定性分析一般采用盈亏平衡分析和敏感性分析。其中盈亏平衡分析通过计算项目盈亏平衡时的生产能力利用率来衡量其抗风险能力。由于核电固定成本占比高,盈亏平衡点通常较高,凸显了保障电网消纳和稳定运行的重要性。敏感性分析通过分析不同因素的变动对项目收益率指标的影响,从而找出最敏感的因素。本研究采用单因素敏感性分析法,根据核电工程项目特点,敏感性因子主要选取负荷因子、建设投资、核燃料价格。

4 应用实践

以中国沿海某华龙一号核电项目为例,通过构建并应用上述评价模型进行测算与分析,有效地辅助了公司在工程投资控制与经营管理方面的决策,验证了模型的有效性。

在当前电力市场化改革深化、市场电价整体下行的严峻背景下,核电项目的经济性面临着前所未有的挑战,该模型的敏感性分析提示“控制建设投资是保障基准收益的前提,降低全生命周期运营成本是提升收益的关键”,指引了提升“华龙一号”经济性的三大路径,为项目的精益化管理指明了方向:

一是设计优化,在源头进行设计优化,能同时实现建设成本和运营成本的降低。例如通过系统设计优化,在确保安全的前提下减少冗余,可直接降低设备购置和安装费用;积极研发并应用先进燃料技术、进行厂房布置优化,可以提升机组热效率和输出功率,增加全生命周期发电收入,降低

单位千瓦时的物耗与能耗。

二是建造优化,核电项目建造期长,期间的资金成本和时间成本极高。工期每延迟一天,将带来数以百万计的利息支出和发电收入损失。可以采用模块化技术、实施精细化的工程项目管理、优化资源配置和施工逻辑等缩短工期,降低建造成本。

三是运营优化,在全生命周期中,燃料成本和修理费用是运营成本主要部分,因此运营优化的重点在于:通过高性能燃料组件的研发与应用,提高燃料燃耗;通过精益化管理优化大修流程,缩短大修工期;利用大数据、人工智能等数字化技术,实现设备状态预测性维护,提升设备可靠性,降低检修费用。

在实例中,这些优化措施已得到应用,并初见成效,验证了本模型对效益敏感点的识别能力,为公司经营决策提供了量化依据。

5 结语

华龙一号机组作为中国自主三代核电技术的重要示范项目,其投资构成与经济性研究对中国核电产业发展具有深远意义。本文通过系统分析华龙一号机组的投资结构和经济评价方法,得出以下结论:

一是华龙一号机组具有典型的重资产特征,建设投资高,其中设备购置费占比最大。随着后续机组的批量化建设、供应链的成熟以及设备国产化率的进一步提高,有望进一步降低。

二是随着“双碳目标”深入推进和电力市场改革深化,核电项目的竞争力不再仅仅依赖于技术参数,更取决于其在全生命周期内的综合成本竞争力与市场适应能力。核电项目经济评价方法需要更加关注当地电力市场情况和项目在全生命周期内的成本情况。

三是华龙一号机组的经济性可通过设计优化、建造优化和运营优化进一步提升,有效降低建设成本和运营成本,提升市场竞争力。

未来,随着华龙一号技术不断成熟和批量化建设推进,通过持续的技术迭代、精细化的成本管控和前瞻性的市场策略,其经济性将进一步提升,为中国能源结构转型和“核电走出去”战略实施提供有力支撑。

参考文献

- [1] 谭功理.全球主要核电供应国及其三代核电技术概述[J].中国核工业,2024(04).
- [2] 国家能源局.核电厂建设项目建设预算编制方法:NB/T 20024-2010[S].北京:原子能出版社,2010.
- [3] 国家能源局.核电厂建设项目经济评价方法:NB/T 20048-2011[S].北京:原子能出版社,2011.
- [4] 杨锦之.国有企业高质量发展的财务评价体系构建研究[J].会计之友,2025(08).