

海外火电投资平衡点的研究

介绍一种便于量化投资收益的评估方法，具体涉及一种海外电站投资热耗煤耗建模评估方法。从电力投资平衡点着手，通过不同工况中平衡点及燃料付款收益表的分析，揭示海外电力系统投资中的关键问题，在我国现阶段调整供需侧结构、电力产能过剩以及环境保护问题日益严重情况下，分析上述问题对电力系统全产业链有重要意义。以发展的思路和创新意识来研究海外电力投资中的平衡点，实践证明可预判投资收益，且反馈于全产业链各环节，并获得最大收益。

陈 伟/中国电建集团国际工程有限公司

0 引言

随着政府鼓励更多企业实施“国际产能合作”的战略，以及目前国内电力投资及产能过剩，很多企业在海外以BOT模式投资火电等能源项目。煤电联动与投资平衡点及厂网调度系统联动，是电力系统投资、运行收益的市场化及环保化重要特征，表征关联与成本电价、上网电价及电量与电价的市场化互动。平衡点是燃料付款项中最关键的概念，机组性能高于平衡点，则煤价上涨对收益是正影响，低于平衡点煤价上涨负收益扩大化，其中火电厂的热耗率、煤价和运行方式等因子是影响项目投资收益的重要因素之一，也是购电协议（PPA）中非常重要的一部分^[1]。本课题为企业境内外BOT开发火电项目提供参考和借鉴价值，同时为电力全产业链提供指导，并对投资、运行收益和调度模型做了重点的关联研究^[2]。

1 项目背景及主要研究内容

1.1 项目背景^[3]

海外工程投资及建设中经常遇到问

题是：因机组效率不佳，影响投资资金回收率，特别是当煤价上涨时，应收电费中燃料付款存在很大风险。从投资、谈判、建设和运行等方面来阐述合同谈判、实施等过程中的关键点和难点，并通过两个海外项目关于燃料付款部分的差异对比，揭示海外投资中的资金风险和机遇。

常规海外投资电站评估收益方法是：根据国外电网的要求提供适合设备，然后根据电网的热耗表来自我评估设备是否能达到系统总的热耗率。首先分析各汽轮机、锅炉和电力系统的热耗率和效率，得到机组各系统的热耗，再通过煤耗和热耗的公式考虑各系统损耗后折算煤耗。简单地说，常规电站中采用单向递推的方法。

相比于传统电站围绕着热耗和煤耗的单纯计算，本项目考虑热耗和煤耗的关联性，同时围绕热耗、煤耗投资收益平衡点进行研究。平衡点分析表生成来源于PPA购电协议中煤电联动关系和电价计算公式中的关系，因热耗谈判的不确定性以及印尼C厂合同采用煤高位发热值来计算电价中燃料付款，必须将各种工况以及相互之间的关系建立数学模型，讨论煤价（PM）波动及煤的高位发热值（Q_{gr, ad}）、实际工况煤耗变化对总燃料收支平衡所起的关键作用。挖掘出合同隐藏的风险，提前为热耗谈判布局并控制风险。而这种煤电联动关系和电价计算关系在实际投资决策中难以对其细化和量化建模方法。在海外投资电站决策过程中，如何建模量化和控制投资风



陈 伟/高级工程师

关键词/Keywords

平衡点 ·
煤电联动 ·
燃料付款 ·
电价 ·

险尤为重要。

综上所述,找到一种投资海外电站建模并量化和控制投资收益,将技术中机组经济性和投资收益关联起来,使其能更好地贯穿投资、采购、施工、调试和运行全过程是亟待解决的问题。

1.2 项目总体思路及主要研究内容

系统性:从设备到电厂建立了相互关联作用,从电厂到电网建立了相互关联作用,从技术和经济两方面,以电量和电价市场化为主导,通过上网电价、成本电价、煤耗容许值、实际煤耗和环保等研究关联性,在煤电联动、平衡点和调度模型中体现^[4],如图1所示。

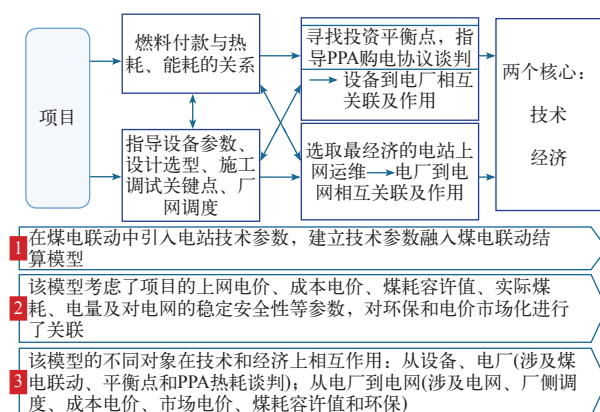


图1 煤电联动、平衡点调度系统关联图

- 1 在煤电联动中引入电站技术参数,建立技术参数融入煤电联动结算模型
- 2 该模型考虑了项目的上网电价、成本电价、煤耗容许值、实际煤耗、电量及对电网的稳定安全性等参数,对环保和电价市场化进行了关联
- 3 该模型的不同对象在技术和经济上相互作用:从设备、电厂(涉及煤电联动、平衡点和PPA热耗谈判);从电厂到电网(涉及电网、厂侧调度、成本电价、市场电价、煤耗容许值和环保)

平衡点实现火电投资谈判的底线,技术和经济的结合需要更深层面地研究煤电联动。

火电机组热耗谈判计算平衡点流程如图2所示。根据煤种及边界条件来计算不同系统的热耗情况,以此来判断热耗谈判的底线及发掘电气、锅炉和汽轮机系统是否满足煤耗要求,电气厂用电率是一个非常重要的因素,必须采取措施控制厂用电率在合理范围内,并确定在设计阶段是否用汽动给水泵等。

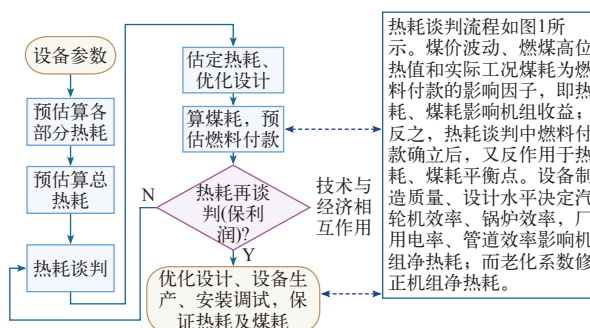


图2 火电机组热耗谈判计算平衡点流程

由于厂用电率对机组热耗影响很大,在设计、运行阶段采取如下措施来降低厂用电,如表1所示。

- 1) 考虑实施汽动给水泵,节省厂用电。
- 2) 部分实施调频运行循环水泵及锅炉部分电

表1 计算热耗情况

状态	描述	锅炉效率 (HHV, %)	汽轮机热耗率 (kJ/kW·h)	汽轮机热耗 (kcal/kW·h)	管道效率 (%)	厂用电率 (%)	EPC热耗率 (kJ/kW·h)	EPC热耗率 (kcal/kW·h)	净出力 (MW)
Case A	机组1在线	0.853 2	8 326.7	1988.80	99.00	11.73	11 167.70	2 667.36	125.347
Case B	机组1&2 在线	0.853 2	8 326.7	1988.80	99.00	11.46	11 133.40	2 659.17	251.464
Case C	机组1&2&3在线	0.853 2	8 326.7	1988.80	99.00	10.80	11 051.27	2 639.55	380.01

机,节省厂用电。

3) 运行中调整各厂用电系统运行方式,节省厂用电。

2 项目研究内容的创新方法

为了实现上述目的,采用海外电站投资热耗煤耗建模评估方法,包括如下步骤:

1) 设计国外电站投资的机组热耗谈判影响流程图,表示出国外电站投资机组热耗谈判各步骤

的相互关系、连接关系和信息流向。

2) BOT项目电价构成模式分析。

3) 设计BOT项目C厂热耗谈判关键点分析,热耗谈判中的关键点表象是各工况的热耗状态表,其实质是与之关联技术参数反映的电价计算公式,首先分析关键因素的相互影响关系,该图将谈判前和谈判后的状态进行对比,反映出相关谈判中最关键的因素,取得的谈判各部分成果及总热耗的总体成果。

4) 设计BOT项目C厂燃料收支平衡动态分析, 本燃料收支动态分析是技术和经济关联关系建模表现的最核心部分, 煤价波动、燃煤高位热值以及实际工况煤耗为燃料付款的影响因子, 即热耗、煤耗影响机组收益; 反之, 热耗谈判中燃料付款确立后, 又反作用于热耗、煤耗平衡点; 设备性能为影响机组热耗和煤耗的因素, 常规影响因素有锅炉效率、汽轮机热耗率、管道效率、厂用电率和机组长时间运行老化; 非常规影响因素有煤场煤损耗、自燃、汽轮机汽封间隙、汽轮机真空度、锅炉燃烧调整、排气温度和煤粉细度。

设备制造质量、设计水平决定汽轮机效率、锅炉效率, 厂用电率和管道效率影响机组净热耗; 而老化系数修正机组净热耗; 入厂煤品质决定煤的高、低热值; 煤发热值、热耗和单位电量煤耗等作为燃煤付款计算因子; 根据这些参数及老化因子算出热耗率SHRCC, 后和买电方商务谈判, 使风险降到最低。

5) 通过对国外BOT项目多个电厂的合同进行对比分析, 其关键因素包括燃料相关中的煤、燃料付款、热耗和煤耗以及奖罚项目; 对其进行合理性分析, 总体在合同角度来分析系统风险和投资风险。

6) 设计机组热耗主要影响因素及各阶段目标控制: 通过各系统汽轮机、锅炉和电气技术中的热耗影响关键点分析来指导采购、安装、调试和运行中的各种风险控制和技术把握, 从而为国外投资电厂取得好的热耗和煤耗在各阶段控制树立目标。

燃料付款和热耗、煤耗关联在谈判前应策划好, 在源头做好, 从技术上提高机组净热耗及供电煤耗; 然后从设计、采购、监造、施工、调试和合同处理等方面协调控制; 最后做好运行、煤采购及管理等工作。整个过程复杂多变、相互影响, 处理好就能建成海外高性能、高收益节能BOT电厂; 模型所涉及的技术和经济参数都是由基本参数组合和转化而来, 最终在投资动态平衡表中得以量化归集, 创新点是引入投资煤耗热耗平衡点概念、模型归一化投资谈判步骤、量化归集技术指标和购电协议经济参数。

3 项目研究内容的实例

3.1 基本流程

首先, 收集购电协议中的谈判电价计算热耗率、技术和经济公式及其设备参数; 然后, 按发明海外电站投资的机组热耗谈判影响流程图来准备和组织热耗谈判: 其中分别宏观总结出所在国家BOT项目电价构成模式、调研同个国家不同项目电站合同对比和细化电站热耗谈判关键点, 再进一步量化深入研究电站燃料收支平衡动态; 最后过程控制机组热耗主要影响因素及各阶段目标。

对上面部分之间的关系进行如下详细描述:

1) 收集购电协议中的谈判电价计算热耗率、技术和经济公式及其设备参数, 其目的是为海外投资电站热耗谈判影响流程图中的预算各部分热耗及预算总热耗做充分准备; 并纵横比较发现各部分参数的优越、不足及需要改进的地方。

2) 海外电站投资的机组热耗谈判影响流程图的关键是通过不断地收集和谈判来反馈传递技术和机组收益经济层面的信息。方法是通过流程步骤找出投资的难点、协议双方的重点以及在技术和经济收益上的关联点, 从对内设备厂家性能要求和对外热耗谈判了解双方底线, 以便在谈判中占据主动, 规避风险, 实现投资收益最大化。其中BOT项目电价构成模式、调研同个国家不同项目电站合同对比以及细化分析热耗谈判关键点, 为热耗谈判中我方立论的依据, 对判断对方底线有重要作用。

3) 量化深入研究电站燃料收支平衡动态。

4) 过程控制机组热耗主要影响因素及各阶段目标。

3.2 国外投资电站实例

国外电站投资的热耗煤耗建模评估方法及技术和经济关联影响研究方法, 用于投资海外电站决策和热耗谈判的控制, 过程控制机组热耗主要影响因素及各阶段、核心在建热耗煤耗建模评估量化研究电站燃料收支平衡动态, 从而实现技术和经济收益的结合, 并揭示了其相互关联作用。

实现了国外投资电站的热耗煤耗评估,并量化和揭示了其技术和经济收益关联关系。

4 项目主要技术创新及技术指标

主要创新技术实现的功能如图3所示。主要创新技术的特点对比如表2所示。

通过研究该平衡点实现调度上网,煤耗容许大调电量、电价市场化小调电量等实现电力供给侧的结构调整。

基于节能减排的电网侧调度流程如图4所示。

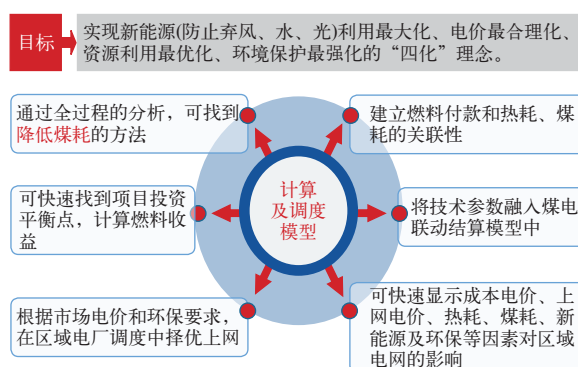


图3 主要创新技术实现的功能

表2 主要技术创新与其他国内技术对比

序号	知识产权证明目录	本技术	国内其他技术
	项目名称	知识产权类别	总述：对全产业链，有技术和经济的关联及相互作用
1	一种海外电站投资热耗煤耗建模评估方法	发明专利	总述：无全局技术和经济关联
			找到热耗、煤耗及上网电价、成本电价的平衡点
2	国外火电站投资热耗煤耗建模评估系统	计算机软件著作权	无平衡点（对比属国内首创）
			从设备到电厂的递推法

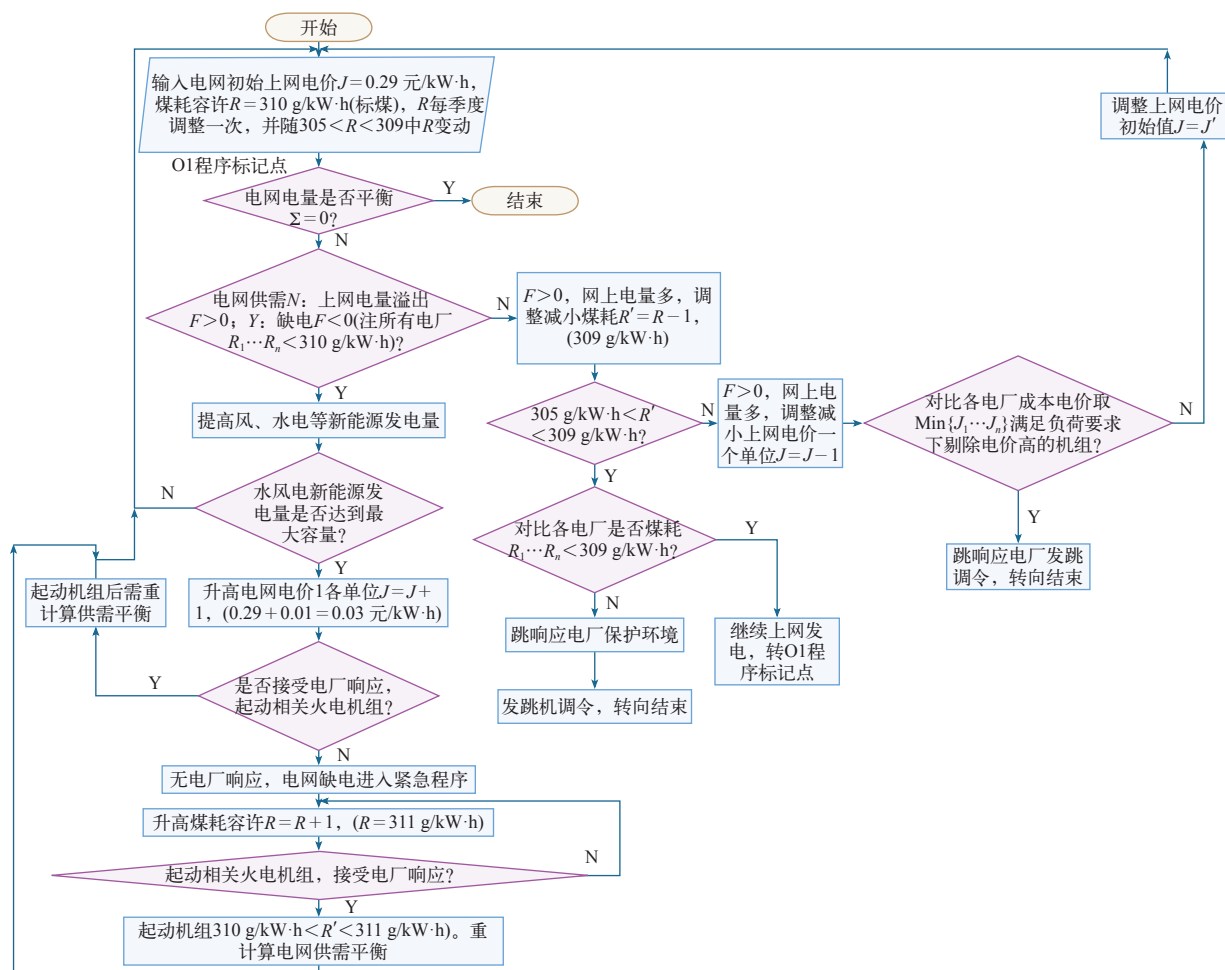


图4 基于节能减排的电网侧调度流程

基于煤耗及稳定性电厂调度策略流程如图5所示。

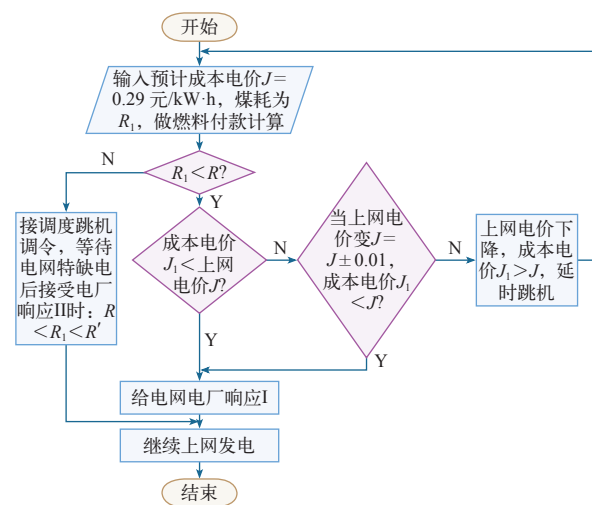


图5 基于煤耗及稳定性电厂调度策略流程

具体步骤如下:

- 1) 通过该模型找到热耗、煤耗及上网电价、成本电价的平衡点, 指导商务谈判和设计。
- 2) 该模型中煤电联动部分可指导电厂权衡上网电价、成本电价; 国内成本电价未充分灵活地建立煤电联动与煤种和煤价的量化关系。
- 3) 该模型的煤耗容许值使各项目市场化竞价上网、节能减排, 优化电力供给侧结构。节能减排对火电厂的经济效益影响, 通过引入“煤耗容许值”中“滑尺技术”及电网、厂侧调度程序对上网电价、成本电价、煤耗容许值、实际煤耗、电量及电网稳定安全等因素进行分析, 以实现项目环保和市场化电力机制。
- 4) 该模型可在全产业链甚至运行时的工况融入计算, 使技术数据完全量化。国内设计从设备到电厂递推法不能将优化运行及煤价和煤种等关键因素同时量化考虑, 本模型是在海外装机容量 3×142 MW 机组上应用, 揭示平衡点对投资的量

化作用。

5) 该模型可分析海外电厂投资的关键点, 以电价为源头来分析全产业链技术及商务因素, 从而控制投资方风险, 实现中国企业“国际产能合作”的战略。

5 结束语

本文主要研究投资平衡点来决策热耗率对火电厂的经济效益影响、上网竞价电价的模型及选取策略影响, 解决了国内外电力系统全产业链多方面的重要问题和技术创新。国家现阶段电力系统的诸多方面(如调整供需侧结构、市场化上网竞价、节能减排环境问题、电价和调度问题以及新能源利用等)关键问题亟待解决^[6]。

参考文献

- [1] 张森林. 不承诺最低净输出电量的BOT电源项目PPA协议两部制上网电价模式设计[J]. 华东电力, 2007, 35(11): 82-83.
- [2] 龙云, 等. BOT发电项目中购售电合同谈判关键要素研究[J]. 能源技术经济, 2011, 23(6): 53-55.
- [3] 张森林. 基于“照付不义”BOT电源项目PPA协议上网电量单一制电量电价模式设计[J]. 华东电力, 2007, 35(10): 30-31.
- [4] 杨满成, 陈伟. 热耗因素对境外BOT火电项目经济性的影响[J]. 华电技术, 2013, 35(6): 69-71.
- [5] 陈伟. 海外工程中燃料付款与热耗率及煤耗的关联研究[J]. 华电技术, 2013, 35(9): 69-70.
- [6] 崔芳芳, 等. 电力系统自动切负荷控制仿真研究[J]. 电气应用, 2008, 27(9): 10-12.

(收稿日期: 2016-07-17) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告