

天然气分布式能源项目装机选型及其经济性分析

陈兴博 (中海海南发电有限公司, 海南 儋州 578001)

摘要: 分布式能源是一种提高能源的有效利用率的能源解决方案, 通过对主机类型比较分析, 经济性分析等方面, 结合洋浦开发区热负荷情况, 提出洋浦天然气分布式能源站项目装机规模与机组选型方案, 并进行比较分析, 并总结推荐最优的装机规模与机组选型方案。

关键词: 分布式能源; 装机规模; 机组选型; 分析

分布式能源, 是指布置在用户附近, 以天然气等一次能源为燃料, 通过热(冷)、电联产方式直接向用户输出热(冷)、电能的能源供应系统, 并配套其他辅助系统及相关设施。相对于传统的集中大型电厂而言, 分布式能源系统不仅能对突如其来的电力中断有更好地掌控, 还可以对能源消耗有更灵活的安排和计划。分布式能源具有稳定、灵活、高效、系统经济性好等特点。通常, 分布式能源站的年综合能源利用效率不低于 70%。

1 主机类型

1.1 50MW 等级的燃机机型

根据调研, 目前厂家生产 50MW 等级的燃机机型有西门子公司 SGT800、GE 公司 6F.01、华电通用公司代理 GELM6000/2500 机型和国产东方电气生产的 50MW 燃机机型。据了解 GE 公司 6F.01 机型是套用技术并非专门研发, 由于市场数量少且事故较多, 目前已不再生产这款机型; 而西门子 SGT-800 机型业绩较多, 仅国内分布式就有 35 套多, 技术成熟, 但由于疫情和生产受限, 供货周期长达 18 个月左右; 华电通用公司代理的 GELM6000/2500 机型, 用于热电式的国内业绩仅有 17 套, 且运行时间很短, 技术不够成熟, 该燃机容量低, 仅 44MW, 且供热量仅有 50t/h 偏低, 效率低, 整体经济性较差; 东方电气生产的 50MW 燃机机型仅有 3 台国内订单, 机组均在生产期未投运, 技术不成熟, 安全性和经济性更无法保障。鉴于以上情况, 如洋浦天然气分布式能源项目按照初可研选择 50MW 等级的燃机机型, 则可能面临厂家机型少, 招标时形不成同等能力有效竞争, 甚至招标时面临流标和反复采办以及最后高价议标的可能。造成主机采办周期长、谈判困难、价格高、供货周期长等采办风险。

1.2 100MW 等级的燃机机型

目前能生产单机容量 100MW 级的机型有 GE 的 6F.03

(燃机 80MW), 安萨尔多的 AE64.3A (燃机 79MW), 三菱日立的 H100 (燃机 100MW) 等, 这些都是成熟的机型, 均有一定商业运行的机组, 其中尤以 GE 公司的 6F.03 机型, 目前为市场上该等级使用的主流产品, 热电运行仅国内就有 50 台业绩。因此 100MW 等级机型有更多可选择性。

2 主机经济性分析

根据从各主机厂家、江苏电力设计院以及中海油阜宁电厂、海南东方凯润电厂等方面沟通、交流情况, 装机规模越大, 单位千瓦造价越低, 100MW 级相比 50MW 级造价低很多, 详见下表 1。

表 1 不同机型项目技术参数对比

| 序号 | 指标 | 国信高邮项目 | 国信仪征项目 | 昆山协鑫项目 | 华电金湖项目 |
|----|-----------------------------|-----------|-----------|---------------|------------|
| 1 | 量和循环出力 (MW) | 2×104.484 | 2×104.484 | 58.898+74.832 | 2×44.75 |
| 2 | 工程静态投资 (万元) | 93085 | 78736 | 88381 | 49846 |
| 3 | 每千瓦造价 (元/kW) | 3822 | 3238 | 6595 | 6396 |
| 4 | 发电气耗率 (m ³ /kWh) | 0.1644 | 0.1644 | 0.151 | 0.159 |
| 5 | 年供热量 (万 GJ) | 251.62 | 261.52 | 358.475 | 67.439 |
| 6 | 年发电量 (亿 kWh) | 11.22 | 11.22 | 7.734 | 2.789 |
| 7 | 年耗气量 (亿 m ³) | 2.748 | 2.686 | 2.333 | 0.6075 |
| 8 | 年运行小时数 (h) | 5500 | 5500 | 6500 | 5500 |
| 9 | 联合循环热效率 | 74.50% | 75.82% | 80.76% | 79.45% |
| 10 | 热电联产热电比 | 62.32% | 64.59% | 76.23% | 69.14% |
| 11 | 主机机型 | GE6F.03 | GE6F.03 | 西门子 SGT-800 | LM2500 +G4 |

从表 1 中看出, SGT0-800 机型单位千瓦造价约 6600 元左右, 6F.03 机型单位千瓦造价约 3200-3800 元左右, LM6000/2500 机型单位千瓦造价约 6400 元左右。LM6000、SGT-800、6F.03、H100 四种机型出力、

效率、最大供热能力、单套燃气价格(详见下表2),其中供热能力最大的是6F.03机型为70t/h,且造价最低。造价最高的是H100机型。

表2 机型预期价格对比

| 参考机型 | ISO 简单循环性能 | | ISO 联合循环性能 | | 最大供热能力 抽凝机 (t/h) | 单套燃机 /发电机 预期价格 (百万元) |
|---------|------------|-----------|------------|-----------|------------------------|-------------------------------|
| | 出力 (MW) | 效率 (%) | 出力 (MW) | 效率 (%) | | |
| LM6000 | 47.5 | 41% | 55 | 53% | 50 | 130 |
| SGT-800 | 56 | 37.50% | 82 | 56.20% | 65 | 132 |
| 6F.03 | 82 | 36.50% | 122 | 56% | 70 | 145 |
| H100 | 112 | 37.90% | 165 | 56% | 50 | 185 |

3 热负荷分析

3.1 近期热负荷(2022-2023年)

洋浦石化功能区近期入驻3个热用户:海南巴陵化工新材料有限公司、海南新傲科化工股份有限公司、山东京博石油化工有限公司一期,3家用户总计低压热负荷153t/h、中压热负荷8t/h。

表3 集中供热热用户近期新增热负荷调查表

| 序号 | 热用户 | 蒸汽 | | | 进展情况 | 计划投产时间 |
|-----------|----------------|-------------|------------|----------------|------|----------|
| | | 压力 (MPa) | 温度 (°C) | 流量 (t/h) | | |
| 低压蒸汽 | | | | | | |
| 1 | 海南巴陵化工新材料有限公司 | 1 | 280 | 110 | 施工建设 | 2022年10月 |
| 2 | 海南新傲科化工股份有限公司 | 1.6 | 200 | 8 | 施工建设 | 2022年5月 |
| 3 | 山东京博石油化工有限公司一期 | 1 | 250 | 35 | 施工建设 | 2022年12月 |
| 中压蒸汽 | | | | | | |
| 4 | 海南新傲科化工股份有限公司 | 4 | 400 | 8 | 施工建设 | 2022年5月 |
| 总计(低压+中压) | | | | 161(低压153+中压8) | | |

3.2 中期热负荷(2024-2025年)

洋浦石化功能区中期拟入驻山东京博石油化工有限公司二期、海化 POSM2 个热用户,将新增低压热负荷56.5t/h、中压热负荷252.4t/h。

表4 集中供热热用户中期新增热负荷调查表

| 序号 | 热用户 | 蒸汽 | | | 进展情况 | 计划投产时间 |
|---------------|----------------|-------------|------------|---------------------------|---------------|--------|
| | | 压力 (MPa) | 温度 (°C) | 流量 (t/h) | | |
| 低压蒸汽 | | | | | | |
| 1 | 山东京博石油化工有限公司二期 | 1 | 250 | 35 | 一期建成后 实施二期 | 2025年 |
| 2 | 海化 POSM | 0.45 | 200 | 10 | 可研完成 | 2025年 |
| | | 0.9 | 200 | 11.5 | | |
| 中压蒸汽 | | | | | | |
| 3 | 海化 POSM | 4.2 | 400 | 252.4 | 可研完成 | 2025年 |
| 总计 (低压+中压) | | | | 308.9 (低压56.5+中压252.4) | | |

3.3 项目供热量测算

洋浦开发区2025年后预计总低压热负荷将到达209.5t/h、中压热负荷将达到260.4t/h。集中供热热源点有华能洋浦热电最大蒸汽供应量400t/h、海南星光化工低压蒸汽60t/h以及洋浦天然气分布式能源项目。估算:华能洋浦热电负责提供低压蒸汽74.5t/h、中压蒸汽160.4t/h。洋浦天然气分布式能源项目负责提供低压蒸汽75t/h、中压蒸汽100t/h。

4 装机方案比较

4.1 装机方案

根据洋浦石化功能区中期热负荷调研情况,洋浦天然气分布式能源项目按照外供1.6MPa/280°C低压蒸汽75t/h,4.2MPa/400°C中压蒸汽100t/h来测算。满足热负荷需求且具备电网调峰能力的装机方案有以下3种:

表5 装机方案对比表

| 序号 | 项目 | 方案1 | 方案2 | 方案3 |
|----|-------|--|--|--|
| 1 | 机型配置 | 4×SGT800 | 2×6F.03 | 3×6F.03 |
| 2 | 型式 | 2套“二拖一”,单套(2×50MW级燃机+2台余热锅炉+1台50MW级高压抽凝式汽轮机) | 2套“一拖一”机组,单套(1×80MW级燃机+1台余热锅炉+1台40MW级高压抽凝式汽轮机) | 3套“一拖一”机组,单套(1×80MW级燃机+1台余热锅炉+1台40MW级高压抽凝式汽轮机) |
| 3 | 总装机容量 | 300MW | 240MW | 360MW |

4.2 技术经济指标研究分析

以西门子50MW级SGT-800型“二拖一”燃气-蒸汽联合循环机组和GE80MW级6F.03型“一拖一”燃气-蒸汽联合循环机组作为对比对象,假设环境参数和天然气组分相同,研究分析两者配置的联合循环机组性能。

表6 主要技术经济指标对比表

| 序号 | 项目 | 单位 | 4×SGT800 | 2×6F.03 | 2×6F.03 |
|----|----------------|---------------------|----------|---------|---------|
| 1 | 最大产汽量 | t/h | 200 | 200 | 300 |
| 2 | 设计热负荷 | t/h | 175 | | |
| | 低压蒸汽 | t/h | 75 | | |
| | 中压蒸汽 | t/h | 100 | | |
| 3 | 总装机容量 | MW | 300 | 240 | 360 |
| 4 | 供热气耗率 | m ³ /GJ | 29.42 | 29.42 | 29.42 |
| 5 | 发电气耗率 | m ³ /kWh | 0.16304 | 0.16087 | 0.17713 |
| 6 | 综合能源利用效率 | % | 71.33 | 73.45 | 65.36 |
| 7 | 热电比 (供热/供电) | % | 64.41 | 79.06 | 49.65 |

| | | | | | |
|----|----------|---------------------|---------|---------|---------|
| 8 | 机组年发电小时数 | h | 6500 | 6500 | 6500 |
| 9 | 年发电量 | 万 kWh/a | 155609 | 126776 | 201848 |
| 10 | 年供热量 | 万 GJ/a | 350.88 | 350.88 | 350.88 |
| 11 | 全厂年耗气 | 万 m ³ /a | 35693 | 30718 | 46076 |
| 12 | 全年标煤耗量 | 万吨 | 43.5760 | 37.5013 | 56.2520 |
| 13 | 静态总投资额 | 亿元 | 约 14.31 | 约 11 | 约 14.63 |

4.2.1 供热可靠性

2×6F.03、4×SGT800、3×6F.03 的最大产汽量分别为, 200t/h、200t/h、300t/h, 满足设计热负荷 175t/h 需求。洋浦石化功能区工业用汽主要以石化高端新材料为支撑的新型制造业等行业, 要求较高的供热可靠性。

3×6F.03 方案可在一台机组停运的条件下, 满足最大热负荷供应, 供热可靠性较高; 而 2×6F.03 和 4×SGT800 方案, 若单套机组发生故障缺陷检修时, 为确保连续不间断供汽, 只能通过应急备用锅炉进行补充。

4.2.2 综合能源利用效率

根据《关于发展天然气分布式能源的指导意见》(发改能源[2011]2196号)“天然气分布式能源综合能源利用效率在 70% 以上”, 2×6F.03、4×SGT800 的综合能源利用效率分别为 73.45%、71.33%, 均高于 70% 满足指导意见要求, 2×6F.03 较 4×SGT800 高出 2.12%; 3×6F.03 的综合能源利用效率为 65.36%, 低于 70% 不满足指导意见要求。

4.2.3 发电气耗率

2×6F.03 的发电气耗率 0.16087m³/kWh 较 4×SGT800 的 0.16304m³/kWh 低 0.00217m³/kWh, 较 3×6F.03 的 0.17713m³/kWh 低 0.01626m³/kWh。边界条件年发电量 126776 万 kWh/a, 天然气价格 2 元/Nm³ 情况下, 每年 2×6F.03 的天然气燃料成本较 4×SGT800 节约 550.21 万元, 较 3×6F.03 节约 4122.76 万元。

4.2.4 热电比

在满足设计热负荷的情况下, 3×6F.03 热电比 49.65% 较 4×SGT800 的 64.41% 低 14.76%, 较 2×6F.03 的 79.06% 低 29.41%。热电比低说明供热少发电多, 3×6F.03 年发电量 201848 万 kWh/a 较 4×SGT800 的 155609 万 kWh/a 高出 46239 万 kWh/a, 较 2×6F.03 的 126776 万 kWh/a 高出 75072 万 kWh/a。洋浦电厂 2021 年发电 150000 万 kWh/a, 通过电量平衡, 2×6F.03 和 4×SGT800 的装机方案较 3×6F.03 更容易获得政府职能部门的核准/备案。

4.2.5 全年标煤耗量

边界条件机组年发电小时数 5500h, 3×6F.03 全年标煤耗量 56.2520 万 t, 较 4×SGT800 的 43.5760 万 t 高出 12.676 万 t, 较 2×6F.03 的 37.5013 万 t 高出 18.7507 万 t。海南省实行碳排放总量和能耗增量控制, 如项目全年标煤耗量大, 项目通过核准/备案的难度越大。

4.2.6 总投资额

2×6F.03 的静态总投资额约 11 亿元; 4×SGT800 的静态总投资额约 14.31 亿元; 3×6F.03 的静态总投资额约 14.63 亿元。

5 结论及建议

①拟外供 1.6MPa/280℃ 低压蒸汽 75t/h、4.2MPa/400℃ 中压蒸汽 100t/h 时, 按照“以热定电”原则, 3×6F.03 仅运行 2 套就满足热力市场需求, 剩余 1 套只能作为备用。2×6F.03 的装机方案满足热力市场需求的同时能够实现全部机组连续稳定运行, 其总投资额、热电比、综合能源效率、全年标煤耗量、年天然气燃料成本以及生产经营等指标较 3×6F.03 的装机方案更具有竞争性, 且内部收益率更好, 投资回收期更短; ②若中期热负荷考虑丙烷脱氢 100t/h 低压蒸汽、100t/h 中压蒸汽, 洋浦天然气分布式能源项目拟外供 1.6MPa/280℃ 低压蒸汽将上升到 125t/h、4.2MPa/400℃ 中压蒸汽上升到 150t/h, 此时 3×6F.03 的装机方案的各项技术经济指标才具有竞争性。

综上所述分析, 考虑洋浦开发区未来化工新材料的大力发展, 将有更多的用热单位入驻, 建议洋浦分布式能源项目按 3×6F.03 的装机方案进行研究设计。

参考文献:

- [1] 徐建中, 邓建玲. 分布式能源定义及其特征 [J]. 华电技术, 2014, 36(1): 3-5, 77.
- [2] DL/T5508-2015. 燃气分布式供能站设计规范 [S]. 北京: 国家能源局, 2015.
- [3] 邵旭峰. 区域式分布式能源燃气轮机机组选型分析 [J]. 华电技术, 2018, 40(01): 65-67+70+80.
- [4] 赵丹. 燃气分布式能源电厂机组选型分析 [J]. 电力与能源, 2014, 35(03): 369-371+374.

作者简介:

陈兴博 (1986-), 男, 民族: 汉, 籍贯: 海南海口, 学历: 大学本科, 职称: 工程师, 研究方向: 从事 LNG 接收站、燃气电厂项目开发、建设、技术、运行等方面的管理。