

核电厂战略备件采购决策模型 及其应用

王华

摘要：现役核电站都面临库存高、备件使用率低的问题，其中的战略备件因其占据企业大量的流动资金，管理矛盾尤为突出。在采购决策阶段就开展控制是降低库存的有效手段。本文构建的战略备件采购决策模型综合考虑了设备故障概率、备件采购成本以及货币时间价值等因素，从经济角度给出战略备件是否要采购以及采购时间的建议。

关键词：核电厂；战略备件；采购决策模型

核电厂运行技术规范对机组运行有严格规定，一旦重要设备出现故障，就要求机组降功率甚至停机、停堆。为减少因设备故障造成的发电损失，核电厂往往都会采购战略备件，以便在设备出现严重故障后及时替换。战略备件价值高，占用的流动资金大，增加了企业的运营成本。因此，在采购决策阶段开展经济分析，论证战略备件是否需要采购以及什么时候采购最为经济，可以提高决策的科学性和合理性。而以往核电站备件采购经济分析研究，要么没有考虑设备故障概率、货币时间价值等因素，只是简单地将故障损失与备件采购成本比较；要么只针对个案，设计的分析方法和计算过程复杂，未解决经济分析通用性问题。本文提出的核电厂战略备件采购决策模型，只需针对具体备件修改变动参数，就可解决模型通用性问题。

一、建模思路

战略备件的经济价值体现在设备出现故障后，可以在最短的时间内进行整体更换，减少设备故障带来的经济损

失。另一方面，储备战略备件需要占用大量的流动资金，如果设备故障概率过低，采购战略备件就不符合经济性原则。因此，可以通过对比有无备件两种情况下设备发生故障造成的经济损失来评价采购战略备件决策是否合理。

一旦决定需要采购战略备件后则会面对采购时机问题。一方面，越早采购备件，因设备故障引起的发电损失越少；另一方面，考虑货币的时间价值，越早采购备件成本越高。因此，设备故障损失与采购成本之和最小的时间点，就是采购最佳时机。

二、参数选择

1. 固定参数。固定参数包括机组参数和财务参数两类。机组参数主要包括机组功率、厂用电率和负荷因子等，用于计算一定时期内的上网电量。固定的财务参数折现率、不含税上网电价、平均发电成本、单位变动成本比例等。

2. 变动参数。针对不同的战略备件，需要重新设定的参数有设备故障概率、采购成本、年维护成本、更换成本、更换工期、等效停机天数、故障发生比例。

三、采购决策基本模型

基本模型通过对比是否采购备件两种方案下的经济支出，从经济角度判断采购备件是否合理。模型中， p 为设备故障概率， i 为折现率， N 为机组运行总年限；采购备件的经济支出净值为 $L_{1(p)}$ ，现值为 $L_{1(p,i)}$ ；不采购备件经济支出净值为 $L_{2(p)}$ ，现值为 $L_{2(p,i)}$ 。

(一) 采购备件方案

采购备件方案下，经济支出 $L_{1(p)}$ 包括发电收入损失 I_1 、备件采购成本 C 、备件维护成本 M 、更换成本 R_1 、资金成本 F 和库存战略备件折旧抵税产生的收入 Q ；现值分别为 $I_{1(i)}$ 、 $C_{(i)}$ 、 $M_{(i)}$ 、 $R_{1(i)}$ 、 $F_{(i)}$ 和 $Q_{(i)}$ ，经济支出净现值 $L_{1(p,i)} = I_{1(i)} + C_{(i)} + M_{(i)} + R_{1(i)} + F_{(i)} - Q_{(i)}$ 。

1. 发电收入损失 I_1 。有备件的情况下， $I_1 = [\text{因设备故障减少的税后发电收入} - \text{相应的变动成本}] = [\sum (\text{每类故障发生次数} \times \text{该类故障维修工期}) \times \text{每天上网电量} \times \text{上网电价} - \text{单位变动成本}] \times (1 - \text{企业所得税率})$ ；其中：每类故障发生次数 = 设备故障概率 \times 该

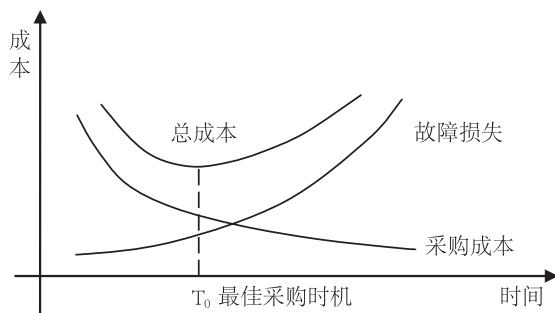


图1 战略备件最佳采购时机示意图

类故障发生比例 × 设备运行总小时数；该类故障维修工期 = Min(该类故障等效停机天数、设备更换工期)。 $I_{1(t)} = \sum [(I_1/N) / (1+i)^n]$ ；(n 从 1 到 N, 下同)。

2. 采购总成本 C。包括备件价格, 订货、运输、保险等费用。 $C_{(t)} = C / (1+i)^t$, 采购发生在决策当年, 即 $C_{(t)} = C$ 。

3. 维护成本 M。新购入备件以及修缮后的设备重新入库, 每年都会发生维护和管理费用, m 为年维护成本。则 $M = m \times N$ ； $M_{(t)} = \sum [m / (1+i)^n]$ 。

4. 更换成本 R_1 。在有备件的情况下, 当在线维修工期超过设备更换工期时, 会用备件进行更换。设每次更换成本为 r, 维修工期超过更换工期的故障次数为 s, 则 $R_1 = r \times s$ ； $R_{1(t)} = \sum [(R_1 / N) / (1+i)^n]$ 。

5. 资金成本 F。资金成本为采购备件而专门借款的利息费用扣除抵税收入。 F_n 为第 n 年的利息费用, 还款年限 N, 企业所得税率 T, 则 $F = \sum F_n (1-T)$ ； $F_{(t)} = \sum [F_n (1-T) / (1+i)^n]$ 。

6. 库存战略备件折旧抵税收入 Q。 Q_n 为第 n 年的折旧额, 则 $Q = \sum Q_n (1-T)$ ； $Q(t) = \sum [Q_n (1-T) / (1+i)^n]$ 。

(二) 不采购备件方案

不采购备件方案下, 经济支出 $L_{2(p)}$ 包括因设备故障带来的发电损失 I_2 以及需要拆卸、更换成本 R_2 , 所以: 经济支出净值 $L_{2(p)} = I + R$; 经济支出现值

$$L_{2(p,t)} = I_{(t)} + R_{(t)}$$

1. 发电收入损失 I_2 。在没有备件的情况下, 故障维修工期为其等效停机天数。 I_2 = 减少的税后发电收入 - 相应的变动成本 = $[\sum (\text{每类故障次数} \times \text{故障等效停机天数}) \times \text{每天上网电量} \times (\text{上网电价} - \text{单位变成本})] \times (1 - \text{企业所得税率})$ ； $I_{2(t)} = \sum [(I_1/N) / (1+i)^n]$ 。

2. 更换成本 R_2 。没有备件的情况下, 设备需要拆卸、更换的次数为返厂维修故障与不可维修故障次数之和 n, 这个次数与有备件的情况不同, r 为每次更换成本, 则 $R_2 = r \times n$ ； $R_{2(t)} = R_2 / (1+i)^t$ 。

(三) 采购决策

如前所述, 评价采购某项战略备件是否经济, 只需要对比两种方案下经济支出。即在确实的参数条件下, 比较 $L_{1(p,t)}$ 和 $L_{2(p,t)}$ 的大小, 只有当 $L_{1(p,t)} < L_{2(p,t)}$ 时, 采购备件才符合经济性原则。

(四) 敏感性分析

从上述计算公式可以看出, 经济损失 $L_{(p,t)}$ 是设备故障概率 p 和故障发生年份 t 的函数。令 $L_{1(p,t)} = L_{2(p,t)}$, 只变动 p 或 t 时, 通过迭代计算, 可以分别测算出设备故障概率临界点 P_0 和故障年份临界点 T_0 。其经济涵义分别为: 预期设备故障概率大于 P_0 , 采购备件是经济的, 反之则不经济; 预期故障在第 T_0 年以前发生, 采购备件是经济的, 反之则不经济。

四、采购时机决策模型

一旦确定了要采购备件, 就会面对什么时候采购最为经济的问题。根据上述建模思路, 采购最佳时机点为故障损失与采购成本之和最小的时间点。假设 T 为采购年份, 则:

0 至 T 年, 经济支出现值适用于无备件模型 $L_{2(p,t)}$ ； T 至 N 年, 经济支出净值适用于有备件模型 $L_{1(p,t)}$, 现值为 $L_{1(p,t)} / (1+i)^t$ ； T 年采购备件总支出现值 $L_{(T)} = L_{2(p,t)} + L_{1(p,t)} / (1+i)^t$ 。

由基本模型可知, T 越大 (即越晚采购), 故障损失越大, 即故障损失是采购时间的增函数; 同时, 越晚采购, 设备的采购、维护和资金成本的现值越小, 即采购成本是时间的减函数。总成本最小时对应的采购年份 T_0 , 即为最佳采购时机 (如图 1 所示)。

特别是, 当 T_0 等于 0 时, 表示应立即采购备件; 当 T_0 大于 N 时, 表示不需要采购备件。

五、模型的实际应用

实际应用模型时需要综合考虑企业的税收优惠政策、群堆管理、备件供货周期等因素。其中的设备故障概率, 需要建立在大量实际运行数据基础上。而我国在运、在建核电机组的堆型种类较多, 影响同款设备运行数据的收集与统计, 在一定程度上会影响测算结果的准确性。

为了提高模型的通用性, 实际应用时可利用 EXCEL 表中的宏语言将上述计算过程固化。另外, 模型经过适应性修改, 也适用于其他有战略备件管理的行业。需要指出的是, 本模型只是从经济角度给出采购建议, 在实际决策时, 要综合考虑核安全、设备可替代性、技术更新换代等因素。■

(作者单位: 广东核电合营有限公司)

责任编辑 王雅涵