

# 海外电力总承包项目的可用性风险分析

林幼晖

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 电厂的可用性考核, 是对电厂总体质量的综合性考核, 是系统设备配置合理性、冗余度、质量、安装、调试、运行水平等的综合考核, 这是对 EPC 工程最大、最难、最综合的考核, 也是衡量海外电力总承包项目成败的重要指标, 本文通过国际惯例来诠释海外电力总承包项目可用性的意义、常见罚则, 并给出量化计算可用性风险的方法及应对可用性罚款风险的常用措施。研究成果将对越来越多走出国门的中国企业有很好的指导作用。

**关键词:** 海外, 电力总承包 EPC, 可用性, 可用率, 初步移交, 最终移交

**中图分类号:** F284

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8676(2015)02-0124-05

## Availability Risk Analysis of Oversea Power Plant Project

LIN Youhui

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** Availability test for the power plant is a comprehensive test of total quality, which is a comprehensive test for the rationality and redundancy of plant scheme, quality, installation, commissioning and operation. It is also an key index to judge the successfulness of an oversea EPC power plant project. International common practice is used to illustrate the meaning of availability and the common penalty about the unit availability. Quantitative analysis method of calculation of the risk of availability is given and also the measurement to figure out the penalty of availability. The conclusion of this paper will give an guidance for more and more chinese enterprises which go oversea.

**Key Words:** oversea; EPC; availability; availability factor; PAC; FAC

近年来, 越来越多的中国企业走出国门, 在境外承接 EPC 工程, “走出去”就需适应国际惯例<sup>[1]</sup>。本文针对海外电力总承包工程在两年质保期最难以通过的可用性验收进行详细阐述, 希望同业人员能清晰认识 EPC 工程性能风险中的可用性风险。

针对海外电力总承包工程, 从工程初步移交 PAC 到最终移交 FAC 一般有两年时间, 这两年称为质保期<sup>[2]</sup>。一般业主会要求 EPC 承包商提交 5~10% 合同额的质保金或质保保函, 质保期主要对两方面的性能进行考核, 一是单一设备或元件的质量, 如果某些设备在两年质保期内故障, 必须修复或更换, 否则需从质保金中罚款; 二是电厂整体可

用性, 电厂整体可用性通过电厂在两年质保期的年度发电小时数或发电量进行考核, 达不到规定的指标, 将进行巨额的罚款。

电厂的可用性考核, 是对电厂总体质量的综合性考核, 是系统设备配置合理性、冗余度、质量、安装、调试、运行水平等的综合考核, 这是对 EPC 工程最大最难最综合的考核。能通过可用性考核, 才能最终移交完工, 收回质保金, 否则无法通过质保期考核, 即意味着合同额 5~10% 的质保金无法获取。一般企业做 EPC 工程的利润在合同额的 5%~10%, 也就意味着通过质保期的可用性考核, 拿回质保金, 企业才真正能获取利润。

## 1 国内项目的机组可用性的考核与定义

### 1.1 国内关于机组可用性的相关考核模式

国内电力建设的模式大部分采用国有发电公司投资、设计院设计、项目公司或筹建办采购电厂设

收稿日期: 2014-12-01

作者简介: 林幼晖(1973), 女, 广东大埔人, 高级工程师, 硕士, 一级建造师, 注册咨询工程师, 主要从事海外电力相关项目市场开发与项目管理(e-mail)linyouthui@gedi.com.cn。

备并进行项目管理、施工单位安装调试、最终发电公司运行的模式,即 E-P-C 分离。这种建设模式下,由于不是一家单位对机组 EPC 建设,而机组可用性是设计合理性、设备质量、施工安装质量及运行水平的综合考核指标,因此无法转嫁到任一分包商上进行可用性考核。

国内机组建设对标,一般仅比较能耗指标,主要是供电煤耗、发电水耗、油耗、厂用电率。参加对标机组的供电煤耗、厂用电率、发电综合耗水率、油耗四项能效指标实际值与同类机组标杆值对比,确定是否达标。这几项指标,对于海外 EPC 项目<sup>[2]</sup>,一般在 PAC 验收的机组性能考核中已经进行了检查,超出预期指标,可能拒收或罚款。

## 1.2 国内机组可用性方面的相关数据<sup>[3-8]</sup>

### 1.2.1 平均发电设备利用小时

国内机组以平均设备利用小时表示发电设备利用程度的指标。它是一定时期内平均发电设备容量在满负荷运行条件下的运行小时数,平均发电设备利用小时 = 报告期发电量/报告期的平均发电设备容量,全国 600 MW 机组能效对标数据见表 1。

表 1 全国 600 MW 机组能效对标数据<sup>[9]</sup>

Table 1 Benchmarking Data of 600 MW Unit's Energy Savings

年度	平均等效可用系数/% <sup>[9]</sup>	平均非计划停运次数/次	平均非计划停运小时/h	平均利用小时/h
2008	92.03	0.97	54.6	5 364
2009	92.3	0.76	31.31	5 282
2010	91.92	0.56	46.91	5 395.9
2011	92.87	0.58	34.28	5 906.4
2012	93.26	0.55	31.22	5 434.3
2013	91.69	0.50	23.61	5 455.9
2014	—	—	—	4 521

2014 年度,随着非化石能源电量比重增加(超过 25%),火电发电量负增长,设备利用小数数创新低,全国发电设备(6 000 kW 及以上电厂)利用小时 4 286 h,为 1978 年以来的年度最低水平,同比降低 235 h。

某电厂的 330 MW 机组在 2004 年投运,1 000 MW 机组在 2013 年投运,由于有较长的调停时间,所以较少发生计划外停运的问题。根据电厂运行人员反馈,一般机组投运第一年内的故障率较多,原因主要是设备的成熟度与质量及运行保护定值的设置问题,例如该厂的 330 MW 机组,从设备到运行规程都很成熟,投运后很快就消缺了,但 1 000

MW 机组在国内机组较少,运行经验不足,投运初期一般是一年内故障较多,问题主要出在电气二次与热工保护的整定方面。

表 2 国内某电厂 2014 年实际运行指标

Table 2 Operating Index of General Power Plant in 2014

机组	年利用小时/h	调停小时/h <sup>[10]</sup>	实际检修小时/h
1#330 MW	4 562	2 385.6(共 99.4 天)	441.6(18.4 天小修)
2#330 MW	4 104	2 006.4(共 83.6 天)	1 185.6(49.4 天大修)
3#1 000 MW	4 076	2 318.4(共 96.6 天)	472.8(19.7 天小修)
4#1 000 MW	4 063	2 409.6(共 100.4 天)	655.2(27.3 天小修)

### 1.2.2 机组计划检修停运时间<sup>[3]</sup>

根据《发电企业设备检修导则》(DL/T 838—2003)<sup>[1]</sup>,将发电机组的检修分为 A、B、C、D 四个等级,A 级俗称大修,B 级俗称中修,C 级俗称小修,D 级是对主要设备的附属系统和设备进行消缺。主要设备是指锅炉、汽轮机、发电机、主变压器、机组控制装置,辅助设备是指主要设备以外的生产设备。新机组第一次 A/B 级检修可根据制造厂要求、合同规定以及机组的具体情况决定。若制造厂没有明确规定,一般安排在正式投产后一年左右。一般进口汽轮发电机组 A 级检修间隔年 6~8 年,国产汽轮发电机组 A 级检修间隔年 4~6 年。在两次 A 级检修之间,安排 1 次机组 B 级检修;除有 A、B 级检修年外,每年安排 1 次 C 级检修,并可视情况,每年增加 1 次 D 级检修。

以 600 MW 机组为例,汽轮发电机组标准项目检修停用时间:A 级检修 60~68 天,B 级检修 30~45 天,C 级检修 20~26 天,D 级检修 9~12 天。

### 1.2.3 非计划停运时间<sup>[3]</sup>

根据国内《发电厂并网运行管理规定》<sup>[10]</sup>:每台机组允许的年累计非计划停运时间为 200 h/台·年。非计划停运时间为机组临时停运时间与等效停运时间之和。其中,临时停运时间为计划检修和备用之外停运时间(非电厂原因除外)、计划检修超过批准工期时间、机组未按要求并网而推延的时间之和;等效停运时间为机组处于非停运状态,但发电能力达不到额定功率所持续时间折算成机组全停的时间。

根据统计报告,机组异常停运的原因分析如下:

1) 锅炉原因引起的停运分析:炉管泄漏、送风机动叶调节系统故障、捞渣机故障、运行不当。

2) 汽机原因引起的停运分析:轴承振动、蒸汽

泄漏、油路故障。

3) 热控原因引起的停运分析: 热控卡件故障、设计不合理、定值设置不当、快速减负荷功能不完善、检修维护。

### 1.3 关于国内运行机组可用性方面的经验数据<sup>[3-8]</sup>

1) 年平均利用小时数在 4 500 ~ 5 500 h 之间, 调停时间在 2 500 ~ 4 000 h 之间, 主要是因为国内火力发电装机容量充足, 调停时间较长。

2) 平均非计划停运小时在 30 ~ 50 h 之间。

3) 计划检修时间遵循《发电企业设备检修导则》(DL/T 838—2003), 实际检修时间接近但不超过计划检修时间, 一般小修年的检修时间不超过 20 天。

4) 除了检修及计划外停运时间这些机组自身原因导致的机组不用原因, 机组的可用小时在 7 510 h (大修年) ~ 8 230 h (小修年)。

5) 投运后第一年的故障率最高, 主要是设备的消缺及保护整定的合理性, 第一年磨合好后进入稳定运行期, 第一年的运行维护非常关键。

6) 进入稳定运行期, 发生非计划停运的责任原因中产品质量不良为第一位, 台年平均为 0.16 次和 10.09 h。设备老化引发机组非计划停运上升至第二位主要原因, 且占全部火电非计划停运总时间比例的 13.57%。

## 2 国外项目的机组可用性的考核与定义

### 2.1 国外关于机组可用性考核的意义

国外电厂一般采用 EPC 模式建设, 筹建资金一般需要需要融资解决。贷款期分为宽限期(含提款期)和还款期。宽限期内, 借款人只支付利息, 不偿还本金; 进入还款期, 按贷款协议还本付息。项目在 PAC 之后, 就将电厂移交业主进行运行管理, 进入还款期, PAC 后的稳定发电、售电是业主还款的保证。如果 PAC 后, 电厂的可利用率低, 即需要发电时设备故障导致机组不可用, 业主无法获得预期的收益, 就无法按期偿还贷款, 可能还需承担来自电网及银行的罚款, 因此对电厂投资方及业主而言, 机组可用性是投资成败的重要保证。业主一般通过在 EPC 合同中设置可用性罚款, 将这个风险转嫁给 EPC 承包商。

### 2.2 国外关于机组可用性的相关考核模式

国外电厂考核机组可用性, 一般从 PAC 开始

到质保期结束, 按照年度为单位进行考核。一般分为电量考核或可用率<sup>[8]</sup>考核两种。

#### 2.2.1 方式一: 可发电量考核

即规定每年保证可发电量达到多少千瓦时, 例如对于 300 MW 机组, 要求保证每年可发电量为 2.280 GW·h, 相当于 7 600 h 满功率发电。发电量考核又细分为毛发电量考核还是净发电量考核两种, 净发电量考核即上网电量, 毛发电量减去厂用电量等于净发电量。

罚则: 例如每缺少 1 MW·h 罚 40 USD。对于 300 MW 机组, 假设年度可利用小时数少 100 h 的话, EPC 承包商的质保金将被罚 120 万 USD。

#### 2.2.2 方式二: 可利用率 AF(Availability Factor)考核

发电机组可利用率应在质保期期间每 12 个月机组运行期验证。

发电机组可利用率按下列公式确定:

$$AF = [(T_k - T_{\text{plan}} - T_a) / T_k] \times 100\% \quad (1)$$

式中: AF——利用率系数—发电机组利用率(机组利用率系数), %;  $T_k$ ——每年日历时间, h/a;  $T_{\text{plan}}$ ——每年计划停机时间 ( $T_{\text{plan}} = T_b$ ), h/a;  $T_b$ ——承包商要求的某年例行维护停机时间, h/a;  $T_a$ ——每年故障时间, h/a。

计划停机时间(机组维护停机时间), 从发电机停机时至发电机重新并网进行计算, 确定发电机组利用率仅将例行维护(没有中修和大修)列入考虑。

机组故障时间包括下列:

$T_{a1}$ : 从发电机紧急停机至发电机重新并网或机组无法满足规定的排放要求期间的的时间。

$T_{a2}$ : 由于其一台设备(例如给水泵, 冷却水泵, 风扇磨煤机)故障所致机组或由当前环境参数和燃料参数(将局部负荷系数列入考虑)所致系统无法达到其额定功率期间的的时间。

$$T_{a2} = \sum \frac{(P_{zn, \text{gross}, i} - P_{o, \text{gross}, i}) * T_i}{P_{zn, \text{gross}, i}} \quad (2)$$

式中:  $P_{zn, \text{gross}, i}$ ——在发电机组设备或系统  $i$  次故障期间用于环境参数和燃料参数校正的发电机端子处的总额定功率, MWe;  $P_{o, \text{gross}, i}$ ——在发电机组设备或系统  $i$  次故障期间发电机端子处的平均总功率, MWe;  $T_i$ ——发电机组设备或系统  $i$  次故障的持续时间。

故障时间应使用下列公式计算:

$$T_a = T_{a1} + T_{a2} \quad (3)$$

罚则: 例如每年机组可用率系数每降低 0.1%

(百分之零点一)pp, 对承包商的一般性罚款为合同净价的 0.05% (百分之零点零五)。质保期间, 每 12(十二)个月检查一次机组可用率系数。

哪些情况视同承包商机组可用非常重要, 例如在 EPC 合同中应规定下述因素都视为承包商机组可用:

1) 由于电网原因导致的电厂不发电或未满功率发电视同机组满发。

2) 由于业主运行失误等非承包商原因导致的电厂不发电或未满功率发电视同机组满发。

3) 由于燃料的质量和数量导致的电厂不发电或未满功率发电视同机组满发。

4) 由于非承包商原因的检修时间超过计划时间视同机组满发。

总而言之, 由于非承包商原因的电厂不发电或未满功率发电视同机组满发, 这些小时数应计入机组可用小时数考核中。

## 2.3 关于可用性方面的相关定义<sup>[1-2]</sup>

表3 全年各类小时数的关系:

Table 3 Hour Relations of Different Conditions

运行小时数/ $T_1$	满功率发电小时数/ $T_{11}$	机组按照额定工况满发小时数
		等效运行小时数/ $T_{12}$
全年非计划停运小时数/ $T_2$	等效停运小时数/ $T_{21}$	机组降低出力小时数折合成按铭牌容量计算的停运小时数
	临时停运小时数/ $T_{22}$	为计划检修和备用之外停运时间(非电厂原因除外)、计划检修超过批准工期时间、备用机组未按要求并网而推延的时间之和
计划停运小时数/ $T_3$	计划检修小时数/ $T_{31}$	电厂机组处于计划检修期内的状态, 包括机组的大修、小修、公用系统计划检修
	备用小时数/ $T_{32}$	购电人(电力调度机构)要求的节假日检修、低谷消缺等, 即调停时间

$$1) T = 8\ 760\ \text{h}.$$

$$2) T = T_1 + T_2 + T_3; T_1 = T_{11} + T_{12}; T_2 = T_{21} + T_{22}; T_3 = T_{31} + T_{32}.$$

3) 机组年可利用小时数:

$T_k = T_1 + T_{32} = T - T_{31} - T_2$ , 其中如果不属于承包商原因导致的  $T_2$  时间都视同为  $T_1$  类时间。

4) 可用性系数  $AF = T_k / T$ 。

## 3 海外电力总承包项目可用性风险的定量分析与风险转移措施

### 3.1 机组可利用率风险金计算方法与案例

#### 3.1.1 第一步, 计算机组全年可利用时间(小时数)

1)  $T_b$ ——承包商要求的某年例行维护停机时间,  $h/a$ 。

如果有锅炉、汽机等主要设备的检修维护时间计划, 按供货厂家推荐的检修时间考虑。如果没有则按照国内规程, 每年要安排一次 C 级检修, 一般在 20~26 天。进口机组建议取 20 天(国内规程的下限)进行评估。例行维护时间, 对于进口主机, 一般比国内主机检修间隔时间长, 特别是质保期内, 汽机基本可以不检修。

2)  $T_a$ ——每年故障时间,  $h/a$ 。

例如某项目锅炉厂提供的可用率是 92%, 汽机厂提供的可用率是 95%, 则

$$(1) \text{锅炉非计划停机时间} = 8\ 760 \times (1 - 92\%) = 701\ \text{h}.$$

$$(2) \text{汽机非计划停机时间} = 8\ 760 \times (1 - 95\%) = 438\ \text{h}.$$

(3) 汽机和锅炉的可用性不累加计算, 可按最差值计算, 即锅炉的数值。

(4) BOP 因素的非计划停机时间  $= 8\ 760 \times (1 - 99.8\%) = 18\ \text{h}$ 。

(5) BOP 的不可用时间根据系统配置和冗余度综合考虑, 如果备用多, 设备档次选择中高档的话, 可取 99.8%, 属于国内较好水平。

$$3) \text{全年可利用时间} = 8\ 760 - T_b - T_a = 8\ 760 - 20 \times 24 - (701 + 18) = 7\ 561\ \text{h}$$

若按照最长检修时间, 则应该增加 144 h 不可利用时间, 则全年可利用小时  $= 7\ 417\ \text{h}$ 。

#### 3.1.2 第二步, 计算机组可利用率风险金

1) 根据合同罚则, 计算机组不可用小时数导致的罚金。

例如, 上述案例项目要求机组可用小时数为 7 600 h, 机组为 600 MW 机组, 每缺少 1 MW·h 罚 40 USD, 则:

每年预计罚款额为  $(7\ 600 - 7\ 417) \times 600\ \text{MW} \times 40\ \text{USD/h} \times 6.2 = 2\ 724$  万元人民币。

2) 将可用性罚款风险尽量转移至主机供货商。

例如主机厂背靠背承担供货合同额的百分比 % 罚款, 设置由于主机设备导致的机组不可用的性能罚款金。

3) EPC 承包商自留的可用性罚款风险金。

例如 2 年质保期内的承包商自留的可用性罚款风险金为  $2\ 724 \times 2 - 2\ 480 = 2\ 968$  万人民币。

对应的风险防范措施为:

(1)预留风险金额:2 968 万人民币;

(2)争取在执行阶段要求主机厂提高机组可利用率的罚款上限,可以将上述可用性风险金转化为利润。

### 3.2 应对机组可利用性风险的措施<sup>[3-8]</sup>

1)提升锅炉、汽机的可用性保证值。一般主机厂不愿意在设备可用性系数上有积极的承诺,这需要EPC承包商有较强的谈判能力及对设备运行统计数据熟悉,综合给出设备可用性方面的判断。选择成熟可靠的产品,同时尽可能地提高设备冗余量是提高机组可用性的直接保障措施。

2)提高机组的出力。虽然机组按照额定出力进行设计,对于国外项目,多数是自由竞价上网,在环境温度较低等条件允许情况下,机组允许超发,这样相当于发电量增加或满发小时数增大,也可以降低EPC承包商机组可用性方面罚款的风险。

3)缩短机组在质保期的计划停机检修时间。落实主要设备厂家在质保期的检修需求,对于进口主机,一般比国产主机的检修间隔时间长。争取在PAC之前做好设备的消缺,提高质保期的机组利用率。例如某国外主机供货商在两年质保期只需要1次26天的检修时间,根据经验,第二年的机组利用率将比第一年好,因此可以将此次检修计划安排在质保期第二年或者第一年最后一个月,用以调节保证发电量,以此平衡降低担保发电量带来的风险。

4)在考虑上述措施后,如与业主要求的可用性目标有差距,则项目自留可用性罚款风险金。

5)由于需进行机组可用性考核,就需每日承包商与业主签署当日满功率运行小时数\未滿功率运行小时数与原因分析,最终累计出全年的机组可用小时数或电量。为此,承包商应在EPC合同中明确有以下权利:

(1)承包商应有权对质保期期间机组整定值进行修正,只要这种修正不危及安全运行,并事先通知业主。

(2)机组应由训练有素的合格人员按照操作说明进行操作,修理和维护。

(3)机组质保期间,业主未经承包商签发的书面同意不得自行进行任何修改。

(4)由于业主的原因导致的机组不正常运行,那么这类失效时间应视为准备就绪,机组可利用。

(5)承包商有权查阅各种机组运行维护数据资料,有权使用电厂一些检修维护设施。

## 4 结语

1)可用性考核是海外火电厂EPC项目完工的必考项,这与国内电力建设的评价指标不一样,而且海外业主对这项考核非常重视与严格。因此,在EPC合同签订时,承包商应非常重视与可用性相关的条款,例如考核的条件与罚则,充分评估其风险及应对措施。在整个合同执行过程都应关注是否与最终可用性移交考核相关,做好风险管理,将可用性风险列为影响项目成败的重大风险进行管理。

2)EPC电厂的可用性考核,是对电厂总体质量的综合性考核,是对设计、设备、安装、调试、试运行的综合检验。应充分重视机组可用性的考核,针对这类风险应该量化为风险金,供项目成本、风险、利润分析决策时使用。

3)国外机组质保期对机组可用性的考核是基于对EPC承包商原因导致的机组不可用的罚则,与国内机组利用小时数的概念不同。

4)关注EPC合同中机组可用性的考核方式与罚则,尽量将风险转移给主机供货商,应有具体的风险转移或自留措施。

### 参考文献:

- [1] 何伯森. 工程项目管理的国际惯例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [2] FIDIC 国际咨询工程师联合会, FIDIC 工程设计建造总承包与交钥匙工程合同条件[S].
- [3] DL/T 793—2001, 发电设备可靠性评价规程[S].
- [4] 刘昭. 加强管理, 优化检修, 提高机组的等效可用系数[J]. 河南电力, 2002(3): 62-64.
- [5] 李玉生. 浅析我国发电机组等效可用系数提高的原因[J]. 电力建设, 1999(8): 61-62.
- [6] 孙素兰. 国产300 MW发电机组运行可靠性浅析[J]. 华东电力, 1991(12): 11-15.
- [7] 黄幼茹. 确保可靠性, 任重道远——97 电力可靠性指标分析[J]. 中国电力企业管理, 1998(8): 29-30.
- [8] 张良瑜. 利用可靠性分析探索加速新机稳定的途径[J]. 华北电力技术, 1993(8): 5-30
- [9] 中国电力企业联合会. 全国火电600MW级机组能效指标对标结果(2008—2013)[EB/OL]. <http://www.ccec.org.cn/qghdnxdb.html>.
- [10] 国家电监会, 发电厂并网运行管理规定[S].

(责任编辑 黄肇和)