

浅析海外电力总承包项目的厂用电量计算方法

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: 电厂厂用电量, 既关联机组净出力又关联机组净效率, 是衡量火力发电机组的重要技术经济指标。特别对海外电力总承包工程而言, 在工程投标与建成移交阶段, 厂用电量及其关联指标是考量电力总承包工程的重要性能指标。为此, 通过国际惯例来诠释海外电力总承包项目厂用电量的意义、常见罚则, 并给出适用的估算厂用电量的方法及投标阶段常用应对措施。研究成果将对越来越多走出国门的电力总承包企业有很好的指导作用。

关键词: 厂用电量; 厂用电率; 换算系数法; 轴功率法

中图分类号: TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)03-0131-05

Analysis of Calculation Method of Auxiliary Power Consumption for Oversea Power Plant Project

LIN Youhui

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

Abstract: Auxiliary power consumption is related to the unit net output and the unit net efficiency, which is an important technical and economical index of fossil fuel power plants. Especially for overseas turnkey project, auxiliary power consumption is a key performance index to be judged during the bidding stage and tested during the acceptance certificate stage. International common practice is used to illustrate the meaning and the common penalty about the auxiliary power consumption. Applicable calculation method of the auxiliary power consumption is given and also the measurement during the bidding stage. The conclusion of this paper will give an guidance for more and more Chinese enterprises which go abroad.

Key words: auxiliary power consumption; auxiliary power consumption rate; conversion factor method; shaft power method

电厂厂用电量是指电厂发电过程中自身消耗的电能, 厂用电率是厂用电量与毛发电量的比值。厂用电量是衡量火力发电机组重要技术经济指标之一, 它与电厂运行经济效益直接相关, 因此是总承包电厂项目投标阶段和性能移交时的重要考核指标。

在发电机输出功率一定的前提下, 保证电厂净出力值的方法是严格控制厂用电量, 因此要建立更贴近电厂实际工况的厂用电量计算方法。按照国内设计规范, 厂用电量计算有换算系数法和轴功率法

两种。理论上讲, 轴功率法更为精确, 但在投标阶段, 由于辅机选型较为初步, 实际计算所得的轴功率法厂用电数值未必精确。因此, 前期投标时, 需要综合轴功率法和换算系数法, 以保证电厂在 EPC 投标阶段有一定的竞争性, 同时保证电厂在性能试验时可以通过考核。

厂用电率是既关联机组净出力, 又关联机组净热耗率的重要指标, 特别对于 IPP (Independent Power Plant) 独立投资电厂项目, 业主与电网公司签订了 PPA (Power Purchase Agreement) 购电协议的情况下, 电网对合同约定的机组热耗、净出力指标考核严格、惩罚重, 罚款计算方法是考虑机组 35 年寿命期, 按照保证的年等效运行小时数, 折算由此产生的煤耗增加总量及少上网电量, 按照 PPA 签订的上网电价, 并考虑燃料的涨价因素及各种财务

收稿日期: 2015-07-01

作者简介: 林幼晖(1973), 女, 广东大埔人, 高级工程师, 硕士, 注册咨询工程师, 一级建造师, 优秀 FIDIC 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。

费用。由此计算出的罚款费用对 EPC 承包商具有很大的惩罚风险,致使单位热耗、净出力指标因不达标而引起的罚款通常为非 IPP 项目的 10 倍左右^[1]。

因此,投标阶段对于厂用电量或厂用电率这个指标的提交,需要慎重考虑。

1 海外 EPC 项目与厂用电率相关的考核条件与罚则

海外电力总承包工程,在达到初步移交 PAC (Preliminary Acceptance Certificate)之前,一般都需要经过机组性能测试,承包商只有通过性能测试,提供一份正式的检验报告(Certified Report)后,业主才会颁发接受证书并将工程移交给业主接收(Take Over),之后进入质保期^[2]。

电厂性能测试有很多指标,大致可以分为三类。第一类:环境保护类如烟气中的 NO_x 、 SO_x 、粉尘等、噪音,这类指标一般必须达标,不达标将拒收;第二类:性能指标中的净出力与净效率,这两个指标超出一定限值(CAP)将拒收或协商惩罚措施,超标但还在限值之内的话,按照合同约定的罚则罚款;第三类:其他性能指标,如最少稳燃负荷率、石灰石耗量和石膏的品质等。

1.1 考核条件

海外电力总承包项目性能考核工况一般基于 TMCR(Turbine Maximum Continue Rate)汽轮机最大连续处理工况,按照约定的考核条件、测试标准及修正方法或曲线进行。

有些合同会将性能考核指向相关标准,例如 ASME;有些合同会列明做某试验的具体边界与时间,这样就更方便工艺专业在提出性能考核工况下的工艺负荷资料。

1.2 罚则

对于机组净出力,由于毛出力一般是主机厂保证的,一般较准确,所以厂用电量估算如果不准确,将直接导致机组净出力受罚。不同国家不同项目罚款额不同,通常净出力每少 1 kW 罚 500 ~ 3 600 USD。

机组净效率,一般按照每低于保证值 0.1%,罚合同额的 0.1% ~ 0.6%;或者按照每 kCal/kWh,罚 350 000 ~ 800 000 USD。

由此可以看出,厂用电量及厂用电率指标是双刃剑。取激进指标,在投标评标中有竞争力,但在

性能移交考核时要面对巨额的罚款风险,因此需要慎重并有科学的计算及风险应对措施。

2 关于厂用电率的定义与影响因素

研究分析厂用电率可以从厂用电率设计值(设计估算所得)、机组调试后考核试验实测厂用电量性能考核值、运行期厂用电率均值 3 个方面进行。

对比已经投运的机组,一般厂用电率性能考核值低于厂用电率设计值,年平均运行厂用电率又高于厂用电率性能考核值^[3]。主要原因是厂用电率性能考核值是机组带额定负荷考核时实测厂用电率,而年平均运行厂用电率是该年运行时间内平均厂用电率,与电厂的等效可用系数或者负荷系数有关。

表 1 国内部分 600 MW 级电厂机组厂用电率
Table 1 Auxiliary Power Consumption Rate of 600 MW Class Domestic Unit

机组类型	电厂名称	机号	制造厂商		厂用电率/%		
			汽轮机	锅炉	设计值	考核值	年平均
国产	上海吴泾第二发电厂	1	上海汽轮机厂	上海锅炉厂	4.9	4.19	5.57
	亚临界机组	3	哈尔滨汽轮机厂	哈尔滨锅炉有限责任公司	5.9	5.33	5.42
		4	哈尔滨汽轮机厂	哈尔滨锅炉有限责任公司	5.18		
进口	北仑发电有限公司	3	日本东芝公司	美国 CE 公司	5.6	4.51	4.37
		2	法国 Alstom 公司	加拿大 BW 公司	3.99	3.64	3.51
	亚临界机组	5	日立公司	美国 FW 公司	5.16	4.95	5.58
		6	东方公司	美国 FW 公司	5.16	5.09	5.54

国内已投运 1 000 MW 机组项目的厂用电率性能考核值普遍低于设计值,且不同电厂的设计值相差也较大^[4]。性能考核试验所处的气候、工艺、运行条件的不同,都会造成厂用电率性能考核值的不同。

由表 2 可见,已完成设计的 18 个工程 38 台机组厂用电率设计值均值为 5.19%,上下变动范围 - 36.9% ~ 21.5%,波动较大;已投运的 9 个工程 20 台机组的厂用电率性能考核值均值为 4.19%,变动范围 - 10.2% ~ 9.9%,相对接近;运行时间较长的 5 个电厂 12 台机组的运行均值为 4.72%。可见厂用电设计均值较性能考核均值高出约 23.9%,较运行均值高出 9.7%。对于新投产的电厂,由于设备新、效率高、保温和密封好,运行值优于设计值

可以理解，但偏差较大，需要对厂用电率的计算方法进行分析改进。

表2 国内部分1 000 MW级电厂机组厂用电率
Table 2 Auxiliary Power Consumption Rate of 1 000 MW Class Domestic Unit

项目名称	机组 厂用电率		偏差		厂用电率	
	台数	设计值/%	/%	考核值/%	/%	运行值/%
华能玉环	4	6	15.7	4.45	6.3	4.76
国华邹县	2	4.28	-17.5	4.53	8.2	5.22
国电泰州	2	6.3	21.5	4.14	-1.1	4.93
外高桥三期	2	4.7	-9.4	3.81	-9.0	3.95
北仑三期	2	5.6	8.0	3.76	-10.2	4.74
国投北疆	2	6.2	19.6	3.82	-8.7	
绥中二期	2	5.25	1.2	4.1	-2.0	
华能海门	2	4.48	-13.6	4.19	0.1	
国华宁海	2	5.38	3.7	4.6	9.9	
华润彭城	2	5.8	11.8			
华能金陵	2	4.68	-9.8			
上海漕泾	2	5.38	3.7			
国电谏壁	2	5	-3.6			
河南新密	2	5.15	-0.7			
嘉兴三期	2	5.3	2.2			
华润常熟	2	5.8	11.8			
天生港	2	3.96	-23.6			
华能南通	2	3.27	-36.9			
厂用电率均值		5.19		4.19		4.72

厂用电率是个综合指标，它与机组等级、煤质、蒸汽压力(亚临界、超临界)、辅助系统配置、辅机选型、运行管理等因素有关。

辅机选型方面，例如风机是锅炉部分的两大耗电设备之一，根据统计资料，国内风机设计出力往往是其实际运行出力的130%，甚至更大。按《火力发电厂设计技术规程》^[5]设计，送风机的风量裕度宜为5%~15%，压头裕度宜为10%~30%，送风机的设计裕度系数为1.155~1.495，而实际设计时往往取上限，使得风机裕度系数过大。因此应该采用轴功率法来估算大型电动机的厂用电消耗，比系数法更加贴近考核值。

厂用电率=厂用电量/发电量，但是厂用电量和发电量是同样在变化的，不是函数关系而是相关关系^[6]。按照TMCR工况进行考核设计时，当机组接近额定出力时，机组的整体效率最高，厂用电率最低。

机组负荷系数是影响厂用电率的最大因素，随

着机组出力的变化，机组的厂用电量随之变化^[7]。国内某机组厂用电率与机组负荷率的测算关系见下图1。

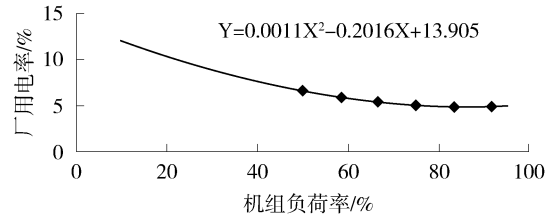


图1 机组厂用电率与机组负荷率的测算关系

Fig. 1 Relation Between Auxiliary Power Consumption Rate and Unit Generation Rate

厂用电率对于机组供电煤耗指标具有不容忽视的影响^[8]，目前所投运的超(超)临界机组的厂用电率差异较大，在相同发电煤耗(取285 g/kWh)条件下，厂用电率为3.2%的先进机组与平均厂用电率为5.3%的机组(不含脱硫)相比，两者的供电煤耗差值可高达6.5 g/kWh，几乎相当于提高一个蒸汽参数等级热经济效益的30%~40%。因此，在降低设计和运行厂用电率及优化厂用电率与机组负荷率之间的特性关系都存在较大的空间。

3 海外电力总承包项目适用的厂用电计算方法

根据《火力发电厂厂用电设计技术规定》^[9]，对厂用电量的计算方法有换算系数法及轴功率法。

换算系数法是国内厂用电量计算时常用方法，是基于概率统计基础提出的一种电负荷统计方法，主要用于各级厂用变压器容量选择提供依据，并通过大量的工程时间证明上述方法满足工程设计要求。该方法的特点是简单方便，容易计算，仅关联电动机的额定功率，缺点是偏保守，作为长期定性分析可以，如果全面采用，与性能考核值相差较大，不具有竞争力。

换算系数法的算式为：

$$S_c = \sum (K) \quad (1)$$

式中： S_c 为计算负荷(kVA)； K 为换算系数，对于200 MW及以上机组，给水泵、循环水泵及凝结水泵电动机取1，其他高压电动机取0.85，其他低压电动机取0.7。

轴功率法是国外厂用电量计算时常用方法。这种方法通过对每台电动机都依据轴功率及电机效率计算电机吸收的厂用电量。这种计算方法需要电动

机方面的准确参数,工作量较大。

轴功率法的算式为:

$$S_c = K_t \cdot \sum (P_z / \eta / \cos\varphi) \quad (2)$$

式中: S_c 为计算负荷(kVA); K_t 为同时率,对新
建电厂取 0.9, 扩建电厂取 0.95; P_z 为运行轴功率
(kW); η 对应于轴功率的电动机效率; $\cos\varphi$ 对应
于轴功率的电动机功率因素。

以印度某 2×300 MW 火力发电厂的 BTG 项目
为例^[10], 选取该项目主要是因为主机岛的厂用电
占全厂的 70% 以上, 有足够的代表性。而且, 这个
项目有设计值、性能考核值与运行实测值, 比较清
楚地对比出同样的系统配置与选型, 由于计算方法
选取的不同, 导致的厂用电设计值之间的差异, 而且
对比实测值看出各种计算值与实际的偏差程度,
详见表 3。通过与现场实测数据的对比, 可以得出
以下结论:

1) 对于高压电动机, 采用轴功率法计算值比换
算系数法小 2 319 kW (约少 12%), 比实测值大 446
kW (约大 3%), 估算值略高于性能考核值, 但远
小于换算系数法得出的计算值。说明对于高压电动
机用轴功率法计算厂用电量是合适有效的, 既略大
于实际值 (约大 3%), 又没有换算系数法那么保守
(约少 12%), 这样既能保证厂用电量的合理性,
以避免高额的商务罚款, 降低工程风险, 又能有效
提高标书的竞争力。

2) 对于静电除尘器、低压电动机及其他低压负
荷, 采用换算系数法比实测值大 (大 15% ~ 20%),

但由于低压负荷整体在厂用电量中的占比不大, 而
且低压负荷数量众多, 难以都用轴功率法进行负荷
计算。因此对于低压电动机和负荷采用换算系数法
简洁有效。

4 海外电力总承包项目投标阶段常用应对措施

投标阶段提交的厂用电量是设计估算值, 是根
据工艺专业对设备的选型, 依据规程规范, 结合电
动机功率和设备运行情况计算所得。厂用电量性能
考核值是实测值, 是根据合同约定, 对纳入考核范
围的设备利用测试设备进行实际测量, 从而得出的
厂用电量。如何准确估算厂用电量, 对于提高标书
的竞争力, 降低工程风险呢? 经过多个海外项目的
投标, 总结出应对措施如下:

4.1 第一步应对措施

研究合同, 清晰厂用电量考核条件:

1) 研究合同考核指标是厂用电量还是厂用电
率, 以及与厂用电量相关的机组出力及效率。

2) 研究合同性能考核试验持续的时间, 例如:
2 h、8 h、24 h、168 h 还是 30 天, 多数合同不是
对厂用电直接考核, 而是通过净出力、净效率两个
指标考核。这两个指标都有对应的测试时间。

3) 研究 BOP 系统、公用系统、老厂原有系统
等是否纳入考核。对于 BOP 系统特别应关注脱硫
系统、输煤系统、水处理系统在考核条件下的运行
状况。

4) 研究考核条件是实际测量所得还是经计算修正

表 3 轴功率法、换算系数法与实测值对比

Table 3 Conversion Factor Method Data, Shaft Power Method Data and Performance Data

设备名称	额定功率 /kW	轴功率 /kW	电机效率	功率因素	工作系数	工作台数	轴功率法 /kW	换算系数法 /kW	实测 1 号机 /kW	实测 2 号机 /kW
凝结水泵	630	525	0.947	0.8	1	2	998	1 008	1 018	984
电动给水泵	5 600	4 667	0.97	0.8	1	2	8 660	8 960	7 747	8 094
一次风机	2 500	1 230	0.963	0.8	0.85	2	2 299	3 400	2 675	2 879
送风机	800	385	0.955	0.8	0.85	2	726	1 088	461	476
引风机	2 240	1 241	0.961	0.8	0.85	2	2 324	3 046	2 063	2 581
磨煤机	560	450	0.953	0.8	0.85	4	1 700	1 523	1 563	1 247
高压电机之和							16 707	19 026	15 527	16 261
静电除尘器							2 823	2 823	2 329	2 435
其他低压负荷							416	416	338	337
BTG 负荷之和							19 946	22 265	18 194	19 033
BTG 厂用电率							6.65	7.42	6.06	6.34

所得,实际测量点是主变高压侧还是厂变高压侧等。

4.2 第二步应对措施

1) 工艺专业向电气专业提资

所有用电专业结合上述合同性能考核条件向电气专业提用电负荷资料。对于高压电机,特别是在厂用电中占比较大的电动给水泵、循环水泵、凝结水泵、三大风机、磨煤机等提供轴功率;对于低压电机及静态负荷,提供额定功率。

2) 电气专业进行厂用电量统计

对于高压电机,电气专业考虑电机效率后采用轴功率法计算厂用电量;对于低压电机及静态负荷,采用换算系数法计算。

3) 检查励磁与主变压器损耗是否计入厂用电量考核范围

4) 计算厂用电率

厂用电量及厂用电率是电气专业进行最后的汇总计算,但是最终取决于用电的源头工艺专业对工艺系统的设计和辅机的选型,这需要各专业间的紧密配合,统筹考虑电耗、煤耗、热耗这一系列性能保证值。

4.3 第三步应对措施

将计算厂用电率与已投运电厂值做对比。

4.4 第四步应对措施

根据项目对厂用电量相关指标罚则及对项目竞争环境判断,决策厂用电率报出值。

5 结论

1) 厂用电量考核是关联机组出力与效率的重要指标,是海外火力发电厂 EPC 项目完工的必考项,海外业主对这项考核非常重视与严格。因此,承包商应非常重视性能考核条款,例如考核的条件与罚则,充分评估其风险及应对措施。

2) 降低厂用电量的本质是工艺系统配置与设备选型,需仔细分析性能考核指标、考核条件,明确计入厂用电量的工艺设备范围与运行工况是厂用电量计算的基础。

3) 采取合适的计算方法对厂用电量的汇总估算非常重要。这样既能保证厂用电量的合理性,以避免高额的商务罚款,降低工程风险,又能有效提高标书的竞争力。

4) 厂用电量估算方法应采取抓大放小的策略。对于厂用电量贡献大的大型高压电机,应采用轴功

率法进行厂用电量计算;对于功率小的低压负荷,采用换算系数法进行计算。经实践检验,这样的综合算法简洁有效。

5) 估算厂用电量即要做到投标有竞争力又保证能通过性能验收考核,是把双刃剑。

参考文献:

- [1] 刘卫,胡丹云,栗树果.泰国电厂总承包商项目投标技术特点及对策[J].上海电气技术,2013,6(1):57-62.
LIU Wei, HU Danyun, LI Shuguo. Technical Characteristics and Countermeasure Analysis During Bidding Stage for EPC Power Plant Project in Thailand [J]. Journal of Shanghai Electric Technology, 2013, 6(1): 57-62.
- [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[M].陈彪,译.石家庄:中国兵器工业第六设计研究院,1997.
- [3] 龙辉,董银柱.煤质和锅炉辅助系统对600 MW 机组厂用电率的影响[J].吉林电力,2003(6):39-41.
LONG Hui, DONG Yinzhu. Effect of Coal and Auxiliary Systems on Station Service Power Consumption Rate of 600 MW Unit [J]. Jilin Electric Power, 2003(6): 39-41.
- [4] 刘慧军,胡建忠,袁军.1000 MW 机组循环水泵厂用电率计算方法的探讨[J].电力建设,2011,32(2):76-79.
LIU Huijun, HU Jianzhong, YUAN Jun. Estimation Method for Auxiliary Power Consumption Rate of Circulating Water Pump in 1000 MW Unit [J]. Electric Power Construction, 2011, 32(2): 76-79.
- [5] GB 50660—2011,火力发电厂设计技术规程[S].
- [6] 孙和.关于厂用电率和发电量的回归分析[J].云南电力技术.1999,27(1):12-13.
SUN He. Recursive Analysis on the Auxiliary Power Consumption Rate with Power Generation [J]. Yunnan Electric Power, 1999, 27(1): 12-13.
- [7] 吴文杰.国产630 MW 超临界机组厂用电率煤耗水耗指标测算模型[J].电力技术,2009(12):34-40,51.
WU Wenjie. Calculation Model of Auxiliary Power Consumption Rate and Coal Consumption and Water Consumption of 630 MW Supercritical Unit [J]. Electric Power Technology, 2009(12): 34-40, 51.
- [8] 张建中.我国超(超)临界火电机组实际投运水平评述[J].电力建设,2009,30(4):1-9.
ZHANG Jianzhong. Review of Actual Operation Level of China's SC/USC Thermal Unit [J]. Electric Power Construction, 2009, 30(4): 1-9.
- [9] DL/T 5153—2014,火力发电厂厂用电设计技术规定[S].
- [10] 徐静. BTG 项目中的厂用电量计算方法分析[J].上海电气技术,2011,4(3):50-53.
XU Jing. Analysis on the Method of Auxiliary Power Consumption for BTG Program [J]. Journal of Shanghai Electric Technology, 2011, 4(3): 50-53.