

波黑某高效环保机组的设计要求及特点

白建基, 张鹏

(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: 波黑属于东南欧中褐煤资源丰富的国家, 且一直在为加入欧盟而努力, 因此对电厂的效率、环保排放有很高要求。介绍了波黑电厂的招标要求及投标经验, 对我国企业进入东南欧市场有一定的借鉴作用。

关键词: 高效环保; 褐煤发电; 波黑

中图分类号: TM621.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)01-0118-05

Design Requirement and Characteristic of Environmental Protection and High-efficient Unit in BIH

BAI Jianji, ZHANG Peng

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

Abstract: Bosnia and Herzegovina is a country which has rich lignite resource in southeast Europe, and always strive to join the European Union. So it has a high standard about environmental protection and high-efficient for the new fossil power plants. This article describes the tender requirements and bidding design experience for Bosnia and Herzegovina power plant. This article will be a reference for the enterprise our country entered the southeast Europe market.

Key words: environmental protection and high-efficient; lignite; Bosnia and Herzegovina.

波黑加入欧盟的愿望强烈, 迫切需要发展清洁能源以满足欧盟新的环境标准。2014 年 1 月底, 欧洲委员会发布了 2030 年欧洲气候能源包计划, 该计划指出到 2030 年, 欧洲温室气体的排放与 1990 年相比, 要下降 40%。同时欧盟地区的新能源在能源消耗总量所占的比重要达到 27%。由于历史原因, 波黑多年财政赤字, 基础能源设备普遍呈现落后老化的现状, 火电在波黑整个国家的能源中所占比例较大, 因而波黑的环境问题一直是欧盟特别关心的议题之一^[1]。同时波黑国内褐煤资源丰富, 其中煤炭蕴藏量达 38 亿吨, 能源结构也以火电为主。因此, 波黑迫切需要发展新的高效洁净的燃煤电站。

随着国家“一带一路”政策的持续发展, 中国与波黑双边合作不断深化, 两国在电站基础设施产业领域的合作潜力较大。电力出口是波黑重要的出口

行业之一, 传统悠久, 开发潜力大, 投资前景广阔。中国企业在电站基础设施建设方面有较强实力和丰富经验, 且相对欧洲承建商有较大的成本优势。目前陆续有中国企业以 EPC 方式为波黑新建或扩建电厂。

1 项目背景

2013 年起, 广东院与葛洲坝联合体, 参与了两个波黑项目的 EPC 投标。一个是 450 MW 等级的超超临界机组, 一个是 350 MW 等级的超临界机组。第一个项目投标方案的主机采用 Alstom 超超临界、一次再热、塔式锅炉, Alstom 生产(四缸四排汽)的一次再热抽凝式汽轮发电机。第二个项目投标方案的主机采用上海锅炉厂超临界、一次再热、循环流化床锅炉, 上海汽机厂(三缸两排汽)的一次再热抽凝式汽轮发电机。为了叙述方便, 本文仅对第一个 EPC 投标进行介绍。

波黑电站项目往往聘请来自欧盟国家的设计咨询单位做可行性研究报告, 因此很多技术要求及条款都

收稿日期: 2015-11-19

作者简介: 白建基(1979), 男, 广东深圳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事火力发电厂热机设计工作(e-mail) baijianji@gedi.com.cn。

与欧盟国家一脉相承。电站基本上使用欧洲标准, 业主也认可少数美国标准。对于中国标准的使用, 需要得到业主的认可, 需要证明等同甚至严格于欧洲标准。这对习惯国标或美标设计的设计单位来说是个不小的挑战。另外, 所有进入波黑的设备均需要 CE 认证, 压力设备(管道)还需要满足 PED 指令。

主燃料来自当地的褐煤煤矿。启动燃料为轻油。吸附剂为石灰石。气候条件为: 全年平均气温 11.2 °C; 相对湿度 75%; 相对气压为 981.7 毫巴。地震烈度, 主厂房为 8 级, 其他附属设施为 7 级。

2 性能保证要求

波黑使用欧盟的排放标准, 对于烟气排放以及转动机械噪音、厂界噪音、振动、废水水质、石膏白度、灰渣品质等都有严格的要求, 本文仅对烟气排放要求进行介绍。欧盟指令 DIRECTIVE2010/75/EU 根据额定输入量的大小, 将燃烧固态或液态机组(燃机除外)分为三类: 50 ~ 100 MW、100 ~ 300 MW、>300 MW。同时将固态燃料划分为 3 类: 煤、褐煤及其他; 泥煤; 生物质。我院做的两个投标均为输入量大于 300 MW 的褐煤电厂。

表 1 组别 A 保证技术参数
Table 1 Group A Guaranteed Technical Parameters

序号	组别 A 保证技术参数	单位	值
1	烟气脱硫装置下游烟气中的污染物排放(合同条件, 干烟气转换成 6% 含氧量, 氮氧化物 NO _x 转换成 NO ₂)		
1.1.	二氧化硫浓度 (SO ₂)	mg/ Nm ³	≤150
1.2.	氮氧化物浓度 (NO _x)	mg/ Nm ³	≤150
1.3.	颗粒物浓度	mg/ Nm ³	≤10
2	设备/系统处的噪声 (在距离设备/系统 1 米处测量)	dB(A)	≤85 - 用于风扇磨煤机和送风机 (FD), 噪音允许增至 95dB(A)
3	电厂周围须进行声保护区界限处的噪音	dB(A)	≤70 - 用于白天 (从 6.00 至 22.00) ≤70 - 用于夜间 (从 22: 00 至 6: 00)
4	设备的振动值		
4.1	设备的绝对振动值		满足 ISO 10816 的 A 类, 磨煤机使用 B 类
4.2	设备的相对振动值		满足 ISO 7919 的 A 类

注: Nm³ 代表在 273.15 K 温度和 101.3 kPa 绝对压力时烟气的标准立方米(Nm³); 6% 含氧量的干烟气。

波黑业主往往对性能保证值分为两大类, 一大

类是必须保证的, 在试运行期间进行性能试验时满足组别 A 的保证技术参数并应在整个保质期内保持达到组别 A 保证技术参数, 见表 1。

上述的烟气指标中二氧化硫和氮氧化物同国内的《火力发电厂大气污染物排放标准》(GB13223—2011)不相上下(国标新建机组二氧化硫浓度限值为 100 ~ 200 mg/Nm³; 所有机组氮氧化物浓度限值为 100 ~ 200 mg/Nm³), 烟尘浓度(额定输入量大于 300 MW 的烟尘浓度指标为 10 毫克, 见表 1 的 1.3)比国标(GB13223—2011)的限额 30 毫克小。随着 2014 年 11 月国家发改委、环保部、国家能源局三部委联合下发《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014 ~ 2020 年)》, 某些排放限值中国甚至比欧盟更为严格。这个增强了我国进入欧洲电力设计市场的信心。

另外一类是经过边界参数修正后需要保证的, 在性能试验过程中满足组别 B 保证技术参数并应保持达到组别 B 保证技术参数直至保质期结束, 将汽轮发电机组主设备校正曲线列入考虑。见表 2:

表 2 组别 B 保证技术参数
Table 2 Group B Guaranteed Technical Parameters

序号	组别 B 保证技术参数	单位	值
1	机组净出力	MW	410 ~ 450
2	机组净效率	%	≥ 42
3	机组可靠率		
3.1	保质期第一年期间	%	≥88
3.2	保质期第二年期间	%	≥90

2.1 机组净额定效率

机组净额定出力的计算公式采用 EN 12952—15 标准“水管锅炉和辅助系统—第 15 部分验收试验”的规定。

$$\eta_{zn\ net} = P_{zn\ net} / [m \times (H_{NCV} + h_{Br})] \times 100\% \quad (1)$$

$$M = (Q_N + Q_{BL} - Q_{FGC} - Q_{Air} - P_M - P_{FD}) / (H_{NCV} + h_{Br}) \quad (2)$$

式中: $\eta_{zn\ net}$ 为机组净额定效率, %; $P_{zn\ net}$ 为机组净额定功率, MWe; H_{NCV} 为燃料发热值, MJ/kg; m 为主燃料消耗, kg/s; h_{Br} 为褐煤显热, 温度折算至 25 °C, kJ/kg; Q_N 为有效热—锅炉中传至水和蒸汽的总能量, MWt; Q_{BL} 为按照 EN 12952—15 标准“水管锅炉和辅助系统第 15 部分验收试验”计算锅

炉损失和,按照 EN 12952 标准条款温度折算至 25℃, MWt; Q_{FGC} 为低温省煤器吸收的热量(如果采用低温省煤器的话), MWt; Q_{Air} 为用于送风机上游锅炉的环境助燃空气热量, 温度折算至 25℃, MWt; P_{FD} 为送风机轴功率, MW; PM 为运行风扇磨煤机轴功率, MW; h_{Br} 为褐煤显热, 温度折算至 25℃, kJ/kg。

机组净效率的计算公式与国内有很大不同,上述公式是从锅炉侧角度考虑能量利用比例来计算,即发电机侧对外输出功率与燃煤输入量的比例。国内一般根据用三大主机的内在效率连乘,考虑管道效率,厂用电率的因子来计算机组净效率。国内的算法简单,但是精确度有待商榷。这主要取决于合同双方达成一致的计算公式及边界条件。褐煤具有水分大、热值低等特点,直接燃烧时,会降低燃烧温度,增加排烟热损失,降低锅炉效率,增加煤耗量。由于投标工程的褐煤塔式炉的锅炉效率不到 90%,从表 2 可以看出,机组净效率要求挺高的。投标的进口汽机厂汽机热耗率已达到 7 100 kJ/kWh 水平。国内的三大主机厂一次再热机组做不了这么低的热耗率。

2.2 机组可用率

发电机组利用率(机组利用率系数)按公式(3)确定:

$$AF = (T_k - T_{\text{plan}} - T_a) / T_k \times 100\% \quad (3)$$

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

波黑业主对机组可用率的计算定义的很细,清楚定义了计划停机时间和非计划停机时间。同时非计划停机时间有分为两种,一种是从发电机紧急停机至发电机重新并网或机组无法满足本表 1 中规定的排放要求期间的的时间;另外一种是由于其一台主要设备(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所致系统无法达到其额定功率期间的的时间。

2.3 电网调频要求

波黑业主还对机组的一次和二次调频能力有具体要求。一次调频在负荷 40% ~ 100% 范围内,一次调频能力是每 30 s 改变 5% 的额定负荷且不允许

只用主汽调节阀方式调节。二次调频在负荷 40% ~ 100% 范围内,二次调频能力是每分钟改变 4% ~ 8% 的额定负荷。调频性能比国内的要求高,需要满足欧洲电网的频率要求。这对于三大主机还有辅机设备都要求有很高的调节性能,对总包方来说是个不小的挑战,在执行合同前,必须要调研当地的电网调度要求,做到有针对性的设计。据初步了解,欧洲电网的调频会预先通知电站做好准备,并且会有对电厂的补偿措施;而国内都是强制性要求,且是即时发生的调频指令。总包方如果根据国内的调频方式来设计会有重大风险。

2.4 小岛运行要求

对带厂用电负荷的小岛运行,波黑业主也是提出推荐要求,即能够承受最少 6 h。这对总包方实现 100% FCB(Fast Cut Back)甩负荷至厂用电负荷工况的持续时间能力提出较高要求。

2.5 大修间隔要求

至于维修间隔,波黑业主往往倾向于 10 年或等效时间 10 000 h 大修一次。这对国内主机厂挑战极大,国内一般承诺至少 6 年大修。因此,唯有进口主机能满足此项要求。

2.6 其他热力参数等要求

除此之外,业主一般对主机参数提出推荐值,汽机入口参数为 27.5 MPa(a)/600℃/610℃;国内已经投运的一批 1 000 MW 等级机组多采用 26.25(25)MPa(a)/600℃/600℃的蒸汽参数,新建的机组已有再热蒸汽采用 610℃或 620℃的合同业绩。给水温度 290℃;机组净热耗 8 442 kJ/kWh;机组寿命一般要求为 40 年,采用烟塔合一技术,接入系统为 400 kV。重视规划,项目预留二氧化碳捕集场地。

3 主要系统配置

3.1 热力系统

同国内常规配置相比,波黑业主方更重视全厂的供电功率和供电效率,且对设备的可靠性要求高。其热力系统同国内的配置主要有以下不同:

主汽/再热及旁路系统,波黑往往使用烧褐煤的塔式炉,高压旁路选择带安全阀功能的 100% 高压旁路。为了便于锅炉侧的水压试验,业主标书要求在主汽双路支管设置电动关断阀。

九级回热系统,3 个高加(含一个外置蒸冷

器), 一个除氧器, 5 个低加。高加推荐立式, 卧式也可接受。低加推荐卧式。

辅汽系统根据使用侧压力需求一般设置高、低压辅汽母管。

给水泵推荐一台 100% 容量汽泵 + 两台 50% 容量电泵, 业主考虑万一汽泵故障停运了, 其余电泵维持机组 100% 负荷。其中电泵采用行星齿轮调速机构。

3 台 50% 容量凝结水泵; 低加往往并联烟气余热利用换热器提高机组的热效率。

波黑是内陆国家, 江河资源丰富。年平均温度 11℃, 采用带冷却塔的二次循环冷却水系统。厂房辅机冷却水业主推荐全闭式系统。为了防止闭冷水泵失电时不影响用户的冷却水供应, 在厂房高位设置一个 200 m³ 的水箱, 可以在事故状态下靠重力自流, 保证必须用户冷却水量, 这点跟国内不同。

小汽机配独立凝汽器, 小机凝汽器配射汽抽气器两台, 小机凝汽器配 3 台 50% 容量凝结水泵。

区域供热系统, 电厂在冬季往往都需要对外供热, 大概为 270 MW。业主往往要求多级热网加热器, 例如 450 MW 等级电厂就需要设三级热网加热器(350 MW 等级电厂需要设两级), 加热蒸汽来自主机的抽汽系统。加热完的蒸汽疏水通过疏水泵打回主凝结水系统, 循环利用。另外, 最低压力级热网加热器前往往串联一个锅炉烟气回热吸收装置, 充分利用锅炉余热。而且该锅炉烟气回热吸收装置与凝结水侧低加并联的余热利用换热器可以根据季节切换, 夏季时锅炉烟气余热通过凝结水吸收, 冬季供暖时锅炉烟气余热切换至被热网水吸收。整个热网水系统是闭式系统, 同时设有补水设备, 补水加热也来自于主机抽汽。除了常规的 270 MW 对外供热, 对于冬季外界极寒温度需要更多的供热, 额外设计了燃油锅炉, 作为备用, 可以多发 50 MW 的热量。供热最大负荷时的主机负荷不低于 70%。

3.2 燃烧制粉系统

锅炉为 Alstom 超超临界、一次再热、塔式锅炉。主燃料为褐煤, 点火采用轻油。锅炉沿圆周方向配 8 台风扇磨煤机, 7 运 1 备。制粉系统为风扇磨直吹式三介质(热一次风, 热烟, 冷烟)干燥制粉系统。锅炉烟风系统配置为 1 台 100% 的回转空预器, 两台 55% 的送风机, 两台 55% 的引风机和两台 100% 的冷烟再循环风机。另外, 波黑业主方对

锅炉在额定功率下的燃料吸热量有所限制, 结合在性能考核中还有净出力的要求, 这就迫使总包方需要优化自己设备的效率才能满足机组净效率的要求(机组两端限制, 锅炉进口侧有燃料输入量限制, 发电机侧出口也有净出力限制)。

4 主厂房布置要求

同国内燃煤发电机组相比, 波黑项目主厂房布置有如下特点:

为了节省机炉间昂贵的四大管管材, 业主往往倾向于汽机机头向着锅炉, 即汽机横向布置。不过这需要核算主机长度能否在汽机房的横向布置, 而且需考虑发电机抽芯的长度。

波黑业主对汽机房设备检修有特殊要求, 一般在汽机房端头设置铁路轨道, 便于对主厂房的主要设备可以通过铁路进行运输检修。汽机房除了大行车外, 一般也要求设 5 t 左右的小行车, 方便零米设备的起吊检修。

波黑业主也倾向于设置庞大的地下室。地下室可以设置系统上需要低位布置的设备和泵类。从汽机房断面来看, 汽机房分为 4 层, 运转层、中间层、零米层、地下室层, 均为大平台。

凝汽器进、出水方式, 在波黑业主招标书方案中一般推荐单背压双路单流程(即进水在凝汽器前侧进, 出水从凝汽器后侧出), 这对汽机房布置影响较大。但是凝汽器使用双背压的串联的单流程(进出水均为凝汽器前侧)也可以接受, 这与国内的常规布置相似。

对于 100% 汽泵, 波黑业主招标书方案也倾向于与小汽机同轴布置于汽机房零米, 因为可以节省厂用电。

汽轮发电机组往往是弹性基础, 基础柱相对国内刚性基础柱要小一些, 利于基础下设备及管道布置, 但是对于土建专业有更高的要求。

汽机房柱业主往往倾向于用钢结构, 钢结构柱截面比混凝土小一些, 但是钢结构不可避免的设置一些横向或纵向的垂直斜撑, 设备和管道布置, 检修通道要注意合理规划, 避免与斜撑碰撞。

由于波黑的全年气温比较低, 室外考虑防冻因素, 汽机房外不放置设备。国内南方电厂一般室外布置的除盐水箱、水水交换器等均室内布置。

汽机房与除氧间无特别的界限, 设备根据功能

合理分组。热网首站的设备也在汽机房里面，汽机纯凝设备与热网设备组团布置。无特别设置的除氧器层，主机除氧器与热网除氧器均放置于运转层，分居汽机的两侧。

高加或高压热网加热器往往采用立式，且并排布置，集中利用汽机大行车检修起吊，节省空间。

零米的电泵及同轴的汽泵由大行车检修起吊，运转层及中间层平台设置检修孔。零米汽泵的凝汽器放置于地下室，地下室附近是小机凝汽器配套的凝泵等设备。

中、低压热网加热器可以上下叠式布置，便于优化布置空间。

润滑油箱及冷油器，油净化装置组团布置于汽机房中间层靠近机头侧，同时四周设置围墙。

业主往往一次建一台机组，预留下一台机组的空间。

5 结论

波黑作为巴尔干半岛国家，在90年代的战乱中经济逐渐恢复。另外，邻国克罗地亚已经成功进入欧盟，让波黑进入欧盟看到了希望。而要进入欧盟，很重要的一点是要满足欧盟的排放标准，因此，所有新建燃煤机组都需要高效节能，尽量减少污染物排放。波黑的很多设计理念与西欧国家一脉相承，这对我们国家EPC承包商或单纯设计单位来说，具有不少挑战。波黑业主方的高技术标准 and 长远规划考虑，对我们有以下启示：

机组的供电效率高，目前国内三大主机厂一次再热机组达不到这么高的要求。波黑的额定功率在国内是非标设计，国内应该逐渐改变机组容量档次少的问题，向定制化方向发展。同时努力提高制造

工艺水平。

欧盟环保排放要求严，尽管我国目前环保要求排放指标基本与欧盟相当，甚至优于欧盟，但是欧盟对过程控制的更严，包括各指标的严格执行以及指标的全程控制等^[2]。另外，欧盟对电厂机组大小、燃料类别的划分较为细致。

设备可靠性要求高，同时系统上考虑充足的备用余量。

有长远的建设规划，尤其对机组寿命有更长时间要求。同时对厂房内设备的检修有所规划，并预留建设CCS系统的场地。同国内经常建设完成就需要改造相比，非常值得我们借鉴。

波黑，作为我国进入欧盟的桥头堡，可以慢慢“试水”我国的设计和总承包能力。相信我们国家能源建设企业在国家的“一带一路”战略引领下能“走出去”更远，更稳，并经由中东欧国家进入欧美发达国家市场。

参考文献：

- [1] 叶奎，张沐芝，刘洋. 波黑营商环境及工程承包市场概况[J]. 国际工程与劳务, 2014(10): 25.
YE Kui, ZHANG Muzhi, LIU Yang. Bosnia and Herzegovina Business Environment and Engineering Contracting Market Profile[J]. International Project Contracting & Labour Service, 2014(10): 25.
- [2] 冯琰磊，余佳琳，林磊，等. 波兰某1000 MW等级机组的设计要求及特点[J]. 电力勘测设计, 2015(1): 27-31.
FENG Yanlei, YU Jialin, LIN Lei, et al. Character and Design Requirement for Some 1000 MW Ultra-supercritical Units in Poland[J]. Electric Power Survey & Design, 2015(1): 27-31.

(责任编辑 高春萌)

中国能建广东院海外首个内部EPC联合体总承包项目通过验收

2016年1月29日，《南方能源建设》主办单位中国能建广东院海外首个以内部EPC联合体总承包模式承建的沿海火力发电厂一期工程通过越南国家验收委员会验收。据悉，越南沿海火力发电厂为2台62.2万千瓦机组，是越南国家规划的南部区域电力中心，其中一期工程是目前越南国内单机容量最大的火力发电机组。在国家“一带一路”战略引领下，中国能建广东院正一步一个脚印，装载中国技术和装备扬帆远航，为建设具有国际竞争力的工程公司而努力探索和奋斗。

(中国能建广东院)