

单县龙基生物发电工程秸秆电厂设计研究

高永芬 侯振 胡训栋
山东电力工程咨询院

内容提要：节约能源是目前世界上都在研究的课题，本文结合单县工程实际，研究如何利用生物质 树枝和棉花秸秆作为燃料进行发电的生物质发电厂。

关键词：秸秆发电 系统 设计研究

目前，世界各国，尤其是发达国家，都在致力于开发高效、无污染的生物质能利用技术，以达到保护矿产资源，保障国家能源安全，实现 CO₂ 减排，保持国家经济可持续发展的目的。生物质能源将成为未来持续能源重要部分，单县龙基生物发电工程（以下简称单县工程）是国内首台完全利用生物质 树枝和棉花秸秆作为燃料进行发电的生物质发电厂。

目前国内尚无成熟的秸秆锅炉设计生产技术，单县工程的锅炉是龙基电力有限公司，引进丹麦 BWE 公司技术，由济南锅炉集团有限公司生产的 130t/h 秸秆燃烧锅炉。锅炉本体及其烟风系统等的设计均属第一次，汽轮机本体及其汽水系统等的设计基本与同容量机组相同，因此，本次设计研究主要从以下几方面进行：

- 主厂房布置的研究
- 烟风系统及空气预热器和烟气冷却器水系统的研究
- 给水泵选型的优化研究
- 锅炉给料系统研究。

现将本工程的设计研究总结如下。

1. 概述

工程的主机技术参数如下：

1.1 锅炉

丹麦 BWE 技术

型式：高温高压、自然循环、全钢炉架、燃烧秸秆、振动炉排、汽包炉、全封闭布置。

锅炉最大连续蒸发量：130t/h

过热蒸汽压力：9.2MPa (g)

过热蒸汽温度：540

给水温度：210

锅炉效率：92%

1.2 汽轮机

武汉汽轮机发电厂产品

型号：C30-8.83/0.98 型，高温高压、一级调整抽汽、单缸、单轴、抽凝汽式汽轮机

额定功率（不含励磁功率，下同）：30MW（纯凝工况）

主蒸汽阀前主蒸汽额定压力：8.83MPa (a)

主蒸汽阀前主蒸汽额定温度：535

主蒸汽额定流量：115t/h

冷却水温：设计：20

最高：33

背压：4.90/11.8Pa (a)

额定转速：3000r/min

旋转方向：从机头向发电机端看为顺时针

汽轮机供热抽汽由三级抽汽接出，最大流量按 40t/h 设计（此时锅炉最大蒸发量为 130t/h，汽轮机发电功率为 23715kW）。

冷凝器：NQ25 冷却面积 2500m²

1.3 发电机

武汉汽轮发电机厂产品

型号：QF-30-2 型 空气冷却，自并励静止励磁

额定功率：30MW
额定电压：6.3kV
额定电流：3437A
功率因数：0.8（滞后）
额定转速：3000r/min
频率：50Hz
相数：3
转子重量约：16.3t
定子重量约：42t

2. 主厂房布置的研究

本工程不同于常规电厂（主厂房采用四列式布置，主厂房按汽机房、除氧间、煤仓间、锅炉房顺序排列），考虑到锅炉本身的特点及主厂房占地面积的节省，主厂房采用三列式布置，依次为汽机房、除氧间和锅炉房，且汽机房和除氧间布置在锅炉房的右侧（从炉前看），炉后布置有旋风除尘器、布袋除尘器、送风机和引风机、烟囱。炉前布置秸秆上料库，凝汽器循环冷却水管道经汽机房 A 列柱接进/出。

汽轮发电机采用纵向布置。主厂房除在扩建端处柱距为 7m 外，其它柱距采用 6m，这样增大了零米检修空间，方便机组检修。主厂房的主要尺寸见下表：

车间	名称	单位	数据
汽机房	柱距	m	6×6.0+1×7.0
	跨度	m	18.0
	加热器平台	m	4.30
	运转层标高	m	8.00
	行车轨顶标高	m	15.5
	行车跨度	m	16.5
	屋架下弦标高	m	18.3
	厂房总长度	m	43.0
除氧层	柱距	m	6×6.0+1×7.0
	跨度	m	8.00
	电缆夹层标高	m	4.30
	运转层标高	m	8.00
	管道层标高	m	12.10
	除氧层标高	m	14.0

车间	名称	单位	数据
	厂房总长度	m	43.0
锅炉房	柱距	m	1×8.0+1×4.0+4×6.0
	运转层标高	m	7.0
	厂房总长度	m	36.0

2.1 汽机房布置

根据本工程的特点，进行了一系列的优化和比较，做出了主厂房的两套布置设计方案。两方案的相同之处：

汽机房采用岛式布置，汽轮发电机组为纵向布置，机头朝向固定端，汽轮发电机中心线距 A 列为 7.5m。

汽机房底层扩建端约有 8.5m 宽作为检修场地，汽机房 B 列侧留有 2m 的纵向通道。

空压机布置在扩建端零米靠 A 列，暖通换热站布置在固定端零米靠 B 列，化学取样间布置在固定端 4.3m 靠 A 列。

电动给水泵布置在汽机房底层 B 列柱侧，凝结水泵布置在机头前方。

高压加热器落地布置，低压加热器布置在 4.30m 高的中间层加热器平台。在固定端、扩建端均有从零米至 4.30m 层的扶梯。

主油箱布置在机头侧靠近 A 列柱的平台上，远离高温蒸汽管道，有利于防火。为节约投资，汽机事故油池与电气设备事故油池合并，布置在汽机房固定端 A 排柱外附近地下。润滑油泵和冷油器靠近主油箱布置在零米。

汽机房设行车一台，作汽轮发电机组、高压加热器、低压加热器、给水泵、主油箱、冷油器等检修用。

两方案的不同之处：

方案一：高压加热器与低压加热器纵向同中心线布置在主厂房 B 列，整个加热器 4.3m 平台 柱至 柱全部搭成平台，凝结水管道阀门架空集中布置，并设简易的检修、操作平台。管道疏水扩容器布置在机头前靠 B 列侧，本体疏水扩容器布置在机头前靠 A 列侧。

该方案布置优点是：加热器平台大，检修空间大，还可利用固定端主楼梯到达 4.3m 平台。

该方案布置缺点是：底层采光不好，投资费用大，主蒸汽管道、高压给水管道和凝结水管道的管线长、阻力较大，阀门检修、操作空间较小。

方案二：高压加热器纵向同中心线布置在主厂房 B 列，低压加热器横向同中心线布置在机头前方。加热器 4.3m 平台采用岛式结构， 柱至 柱通过土建加热器平台柱子挑出平台，从主厂房固定端、扩建端、A 列均有到达加热器 4.3m 平台的扶梯。凝结水管道阀门集中布置在 4.3m 平台上。管道疏水扩容器与高压加热器同中心线，布置在高压加热器的右侧（从 A 列向 B 列看），本体疏水扩容器布置在机头前靠 B 列侧。凝结水泵布置位置较方案一向扩建端移动了 2.5m。

该方案布置优点是：底层采光好，投资费用小，主蒸汽管道、高压给水管道、凝结水管道管线短、阻力小，管道布置合理，阀门方便检修、操作。

该方案布置缺点是：低压抽汽管道的管线长。

综合比较后单县工程采用方案二。

2.2 除氧间布置

除氧间与汽机房取齐，零米层布置厂用电和蓄电池室，4.3m 层为电缆夹层和化学取样间，12.1m 层的 柱至 柱、 柱至 柱为管道夹层，为节省投资和方便暖通通风管道的布置，管道夹层仅在在管道布置的柱间处设混凝土楼板，且设防水处理，并在框架梁处设挡水台。14m 层布置除氧器、暖通空调机房。

8m 层 柱至 柱间布置机炉控制室和交接班室， 柱至 柱布置热控工程师站、电子设备间和电气继电器室。

2.3 锅炉房布置

锅炉由丹麦 BWE 设计，采用全封闭布置，由于本工程锅炉为振动炉排、支承式结构不同于常规的悬吊式结构，所以锅炉采用室内布置，使锅炉的风雪荷载由锅炉房承受。

送风机露天布置在除尘器和除氧间之间。

炉后依次布置旋风除尘器、布袋除尘器、吸风机、烟囱。

3. 烟风系统及空气预热器和烟气冷却器水系统的研究

锅炉采用平衡通风系统。选用的送、引风机为离心风机，配调速型液力偶合器，它具有调节范围广、效率高等优点，在机组运行工况变化时仍能保持较高的运行效率。由于锅炉对进入锅炉的空气温度要求较高，所以本工程送风机进口风道采用室内吸风。空气系统由一台 100%容量的送风机和空预器组成。因秸秆成分中含有氯元素，烟气腐蚀性较强，烟气将不通过空预器。空气的预热由给水加热实现。空气预热器由两部分组成，分别为低压给水加热空气预热器和高压给水加热空气预热器。低压给水加热空气预热器的给水由除氧器直接引出，经低压给水输送泵进入低压空气预热器，加热空气后，再进入低压烟气冷却器吸收烟气的热量降低烟气温度，然后再回到除氧器。高压给水加热空气预热器的给水从高压给水操作台后的高压给水管道直接引出，进入低压空气预热器后的高压空气预热器加热空气，将经过低压空气预热器后的空气进一步加热，然后进入低压烟气冷却器前的高压烟气冷却器吸收烟气的热量，最后再回到高压给水管道进入省煤器。预热后的空气主要分为三部分，一部分通过炉膛下部（炉排上部）进入炉膛，一部分通过振动炉排进入锅炉，一部分通过炉前的螺旋给料机和燃料一起进入锅炉。

经炉膛燃烧后产生的高温烟气和飞灰，流经过热器和省煤器，再流经高压烟气冷却器和低压烟气冷却器，以降低锅炉的排烟温度，提高了锅炉效率，同时又加热了烟气冷却器内的给水，提高了给水温度。由于烟气冷却器入口的给水温度较高，又避免了烟气的低温腐蚀，经过烟气冷却器的烟气和飞灰，由一台 100%容量引风机将烟气先吸入旋风除尘器将粗颗粒的粉尘滤除，再进入布袋除尘器净化，最后经 120m 的烟囱排向大气，烟囱出口内径 3m。

本工程由于采用布袋除尘器，所以在低压烟气冷却器出口烟道和引风机入口烟道之间增设了烟道旁路，启动时烟气不经过布袋除尘器，直接经旁路通过引风机进入烟囱，避免了含有油和水的烟气进入布袋除尘器。引风机出口又接出一路烟道接到除尘器的旁路烟道，使旁路烟道在正常运行时保持有一定流量的烟气，避免了旁路烟道正常运行时的积灰。

4. 给水泵选型的优化研究

常规 25MW 机组的给水系统配备给水泵采用 2 台容量各为最大给水量 100%的定速泵，一台运行，一台备用。给水流量的调节通过电动调节阀实现，给水操作台采用两路并联管道，一路为主管线 DN125，配备 100%流量的电动调节阀，供机组在 30%-100%负荷调节用。一路为支路 DN50，配备 30%流量的电动调节阀，用于满足锅炉容量在 0-30%负荷变化调节需要。

单县工程的给水系统设置 2 台容量各为最大给水量 100%的电动调速给水泵，给水泵的转速通过液力耦合器进行调节，2 台给水泵一台运行，一台备用。高压给水主管道上配备电动闸阀，同时配备 30%容量的旁路电动调节阀。锅炉负荷大于 30%时，给水流量通过控制电动给水泵的转速进行调节。机组启动和锅炉负荷<30%时，给水流量由旁路调节阀控制，提高了给水流量调节的灵活性。

5. 锅炉给料系统研究

装载破碎后的棉花秸秆的车辆进厂后，经重车衡上称重后，进入汽车卸料沟卸料，卸料沟内设双列刮板输送机用于物料的输送，燃料经双列刮板输送机落至皮带后经斗式提升机提升至储料仓内。厂内设储料仓 1 座，能够满足锅炉 5 天燃烧需求。储料仓上部设 1 条移动配仓带用于向储料仓布料，仓底对头布置两台直线型螺旋给料机用于给料。储料仓内的秸秆通过仓底直线型螺旋给料机给至带式输送机上，经带式输送机转运后，秸秆由主厂房前的斗式提升机提升至主厂房炉前料仓，炉前料仓上部设有螺旋给料机使秸秆分别落至 2 个仓内。燃料从炉前料仓输送至锅炉主要通过三级螺旋给料实现，首先每座料仓的燃料通过设置在料仓底部的螺旋输送机输送到第一级螺旋给料装置，第一级螺旋给料装置的主要作用是将料仓内的燃料输送至第二级螺旋给料装置，第二级螺旋给料装置的主要作用是将燃料输送和分配到第三级螺旋给料装置，第三级螺旋给料装置将第二级螺旋给料装置分配的燃料再输送至锅炉，同时能对进入锅炉的燃料进行计量。各级输送装置配备的电机均为变频调速，能够满足锅炉在各种工况下对燃料的需求量。炉前给料系统由完全相同且相对独立的两套输送系统组成，每套系统由一座炉前料仓、一台第一级螺旋给料装置、一台第二级螺旋给料装置、三台第三级螺旋给料装置组成。

以上是对本工程设计过程的研究总结，由于此秸秆工程在我国尚属首例，所以还有待于实际运行的考验。

注：本文发表在《热机技术》2006 年第 3 期

