

单县生物发电示范项目燃料系统设计研究

吴 伟 谢忠泉 孙培福

山东鲁能工程有限责任公司鲁能电力设计院 济南市 250013

摘 要:从原理上来讲,燃烧生物质燃料获取电能和燃烧煤等矿石燃料所使用的技术是基本相同的,最大的不同点是燃料不一样,秸秆发电技术的主要难点是锅炉制造部分和秸秆燃料的输送,而燃料系统又是生物发电极其重要的一环。结合山东鲁能工程有限责任公司鲁能电力设计院完成的国内第 1 个生物质发电示范项目——山东单县生物发电工程,在国内外调研的基础上对燃料系统进行较系统的设计研究。

关键词:生物发电 单县工程 燃料系统 设计研究

中图分类号:TK6,TK16 **文献标识码:**B **文章编号:**1000-7229(2006)12-0064-04

当前,我国可再生能源的利用率极低,生物质发电基础较差,大力推广生物质发电对保护矿产资源、保障国家能源安全、实现 CO₂ 减排、保持国家经济可持续发展有着重大意义,今后发展生物质发电已是迫在眉睫。生物质不但数量巨大,而且种类繁多,植物类中最主要也是我们经常见到的有林业废弃物、农作物废弃物(稻草、麦秸、玉米秸、豆秸、棉花秸、谷壳、甘蔗废料)杂草、藻类等。山东单县生物发电示范工程是国内第 1 个真正意义的“秸秆发电”项目,其燃料为纯棉花秸秆。

1 生物质燃料概况

从生物学的角度来看,生物质的构成是木质素、纤维素和半纤维素。生物质的主要成分是碳、氢和氧,它们占生物质总量的 95%以上,生物质的成分与煤的成分有很大区别。生物质的一些物理特性,如密度、流动性等对生物质燃烧效果也有较大影响。

1.1 密度和堆积密度

密度是指单位体积生物质的质量。固体颗粒状物料有 2 种衡量其密度的方法:(1)物料的真实密度,即通常所说的物质的密度,它是指颗粒间空隙不作物质所占有的体积时计算物质的密度;(2)堆积密度,即把颗粒间空隙算作物质的体积所计算的物质密度,一般在自然堆积的状态下测量,它反映了单位体积物料的质量,生物质原料的堆积密度差别较大,棉花秸秆的堆积密度为 200~350kg/m³。

1.2 自然堆积角

当物料自然堆积时会形成一个锥体,锥体母线与底面的夹角叫做自然堆积角。自然堆积角反映了物料的流动特性,流动性好的物料颗粒在很小的坡度时就会滚落,只能形成很矮的锥体,因此自然堆积角很小;而流动性不好的物料会形成很高的锥体,自然堆积角较大。棉花秸秆一类原料的自然堆积角一般在 45°左右。

1.3 生物质燃料的共性

如果生物质原料作为燃料来看,与煤相比有如下几个特点:

(1)挥发分高,固定碳低。煤的挥发分一般在 30%左右,固定碳在 60%左右。而生物质,特别是秸秆类生物质,固定碳在 20%左右,而挥发分则高达 70%左右。

(2)生物质原料中氧含量高,因此在干馏或气化过程中都有大量的 CO 产生,不像煤在干馏气化过程产生低 CO 的煤气。

(3)木质类生物质含灰分极低,只有 1%~3%,秸秆类生物质含量会稍多一些,但是同煤相比,生物质的灰含量是较低的。

(4)生物质的发热值明显低于煤,一般只相当于煤的 1/2~2/3。

(5) 生物质的硫含量极低，有的生物质甚至不含硫，对环境保护非常有利。

(6) 生物质堆积比重较小。

1.4 棉花秸秆的特点

棉花秸秆属于硬木类秸秆，含有叶、细枝、枝杈、秆体，并具有较强的纤维性、韧性，对旋转设备易于缠绕、挤塞。若含水量较高，堆积物料内部易于发热、腐朽、叶枝粘连，物理特性差异较大。另外，本物料易吸水，干态容重约 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，湿态容重可达 $600\text{kg}/\text{m}^3$ ，干、湿状态下运行物料的空气阻力、抛物线状态差别迥异，并直接影响相关设备的主参数的选取。搞清棉花秸秆的特性对单县生物发电厂燃料输送系统的研究是非常重要的。

2 单县工程燃料输送系统设备的研究

2.1 工程概况

单县生物发电工程装机容量为 1 台 25MW 单级抽凝式汽轮发电机配 1 台 130t/h 振动炉排高温高压锅炉，是国内第 1 个纯烧秸秆发电厂。锅炉岛为北京龙基电力科技有限公司引进丹麦 BWE 公司技术、国内制造的秸秆锅炉。燃料为破碎后的棉花秸秆，小时耗秸秆量 22t，日耗量 440t，年耗量 $12.1 \times 10^4\text{t}$ ，该工程计划 2006 年 9 月投产发电。

2.2 物料输送系统研究的关键环节

由于本工程燃料为棉花秸秆，物料特性与煤存在较大差异，国内目前尚无类似工程与成熟技术可以借鉴，为此我们做了大量艰苦细致的前期调研论证工作。从 2004 年初，通过去丹麦等发达国家调研、与国内设备制造厂共同探讨、去相关企业收集资料，初步确定了燃料系统方案。由于国内没有成熟设备可供选择，因此卸料和给料设备的选型是确定输送系统的关键环节。

通过到国内造纸行业收资以及到欧洲调研，最终确定卸料设备采用刮板机、给料设备采用螺旋给料机的方案，基本思路是“研发相关产品，国内制造，降低工程造价”。

刮板机和螺旋给料机国内已有生产，但通常只是用来输送矿石、煤炭、建材等大比重物料，常规刮板机和螺旋给料机已经不能适应输送棉花秸秆这种小比重物料，需要重新开发适合输送棉花秸秆的刮板机和螺旋给料机。目前类似设备多为国外进口，国内没成熟设备可供选择，因此，设备选型面临国内研制或国外进口的局面。进口类似设备价格高、周期长，无法满足工期要求，最终确定国内研制，以替代进口设备。

为了减少设备投资，降低工程造价，我院联合山东矿山机械有限公司共同研发刮板机和螺旋给料机等设备，使燃料系统设备国产化走出了第一步，为以后更多的生物发电工程积累了经验。

2.3 系统设备要点分析

2.3.1 带式输送机

本工程有 6 条带式输送机和 1 条移动配料带式输送机，仓前带式输送机 $B=1000\text{mm}$ ， $Q=400\text{m}^3/\text{h}$ ，仓后带式输送机 $B=800\text{mm}$ ， $Q=200\text{m}^3/\text{h}$ 。

由于所输送物料容重较小，且干、湿状态下抛离特性差异较大，因此带式输送机带速宜选取小值，即 $V=1.25\text{m}/\text{s}$ 。根据本工程工艺布置要求及设备的相互转接关系，带式输送机头部驱动与传动滚筒空心轴轴连接，并配有电磁内制动，采用浮动支撑，以便于安装及维护，头部驱动站简单。

2.3.2 斗式提升机

斗式提升机共 3 台，1 台安装在料仓前，出力 $100 \sim 400\text{m}^3/\text{h}$ ，提升高度 34m；2 台安装在锅炉前，出力 $50 \sim 200\text{m}^3/\text{h}$ ，提升高度 35.8m，均为带式输送机给料。

由于所提升物料容重较小，提升速度必须较慢，即取 $V=0.55\text{m}/\text{s}$ ，且干、湿状态下抛离特性差异较大，因此，为了能够适应不同物料提升输送的要求，驱动部分采用变频器调速。

为使斗式提升机便于调整，利于设备维护，减少故障率，斗式提升机牵引构件采用 EP

聚酯输送带，驱动采用齿轮马达，马达空心轴直接套装在主轴轴头上，省去了传动平台、联轴器等，使结构紧凑、重量轻，而且齿轮马达内部带有逆止器，逆止可靠。该驱动装置噪音低，运转平稳，并随主轴浮动，可消除安装应力。

2.3.3 螺旋给料机

螺旋给料机共 3 台，1 台安装在事故料斗出料口，额定出力 $Q=200\text{m}^3/\text{h}$ ， $L=5000\text{mm}$ ；2 台安装在炉前料斗上方主厂房 21.00m 层上，额定出力 $Q=200\text{m}^3/\text{h}$ ， $L=11500\text{mm}$ 。

本工程用螺旋给料机采用变频器调速，以满足定量给料及漏斗物料及时清空的要求，驱动装置采用直联式摆线针轮减速器，该驱动马达效率高，抗过载能力强（500%），摆线滚动啮合大大地降低了噪音及振动。减速器与螺旋体之间采用硬齿面链式联轴器连接，以便安装与维护。

由于螺旋给料机所输送的物料具有较强的纤维性、韧性，对旋转的螺旋叶片易于缠绕，物料在螺旋叶片与壳体之间易于挤塞，摩擦阻力加剧，甚至发生闷车现象，严重影响正常的设备运行，因此，螺旋体拟采用变径螺旋体结构。

2.3.4 双列板式给料机（图 1）

本设备安装在汽车卸料沟中，卸料系统出力为 $Q=400\text{m}^3/\text{h}$ ， $B=2000\text{mm}$ ， $L=20\text{m}$ 。

为满足来料变化的要求，启动平稳，同时有可能负荷启动，本设备采用变频器调速，配以直联式摆线针轮减速器，减速器与传动主轴之间采用硬齿面链式联轴器连接，这样，既能满足设备驱动、启动要求，又便于安装与维护。

由于所输送物料容重较小，给料机链速速度必须较低，即取 $V=0.40\text{m/s}$ ，物料间摩擦系数较大，链板高度取 $h=120\text{mm}$ 。



图 1 双列板式给料机

2.3.5 直线螺旋给料机（图 2）

本设备的功能是将料仓内的物料输送至传送带上，安装在料仓两侧下端，仓底对头布置 2 台直线型螺旋给料机，系统出力为 $Q=200\text{m}^3/\text{h}$ ，螺旋臂长 $L=11\text{m}$ ，行走长度 72m。

目前，直线螺旋给料机设备在国内电厂几乎没有使用业绩，但是在木浆厂料仓应用非常广泛，并已是成熟定型设备，大多输送物料为木片及杂木块，物料容重约 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，离散性、流动性较好。



图 2 直线螺旋给料机

本设备安装在长方形料仓下底部，通过螺旋杆的旋转，将物料从料仓中旋转取出，转入布置在其下部的带式输送机上，将物料转运出去；另外，通过行走机构，将螺旋杆沿料仓长度方向行走，实现料仓底部均匀出料，并通过变频器调速，来满足定量给料的要求。通过传动变换机构，实现螺旋杆空负荷快速移动。

本工程用直线螺旋给料机结构，主要由以下部分组成：

(1) 主驱动单元：本单元由 Y 系列电动机、梅花弹性联轴器、硬齿面直角轴减速器等组成。

(2) 螺旋体单元：本单元由螺旋体本体、轴承组合、链传动组合等组成。

(3) 行走单元：本单元由齿轮马达、传动齿轮组、传动齿条、快速行走传动组、传动变换机构组等组成。

(4) 机身单元：本单元由主机机身、滚轮装置、拨挡装置、悬挂机构等组成。

(5) 导流单元：本单元由防护罩体、检视组件、导料拦板组等组成。

(6) 润滑单元：本单元由电动润滑泵、递进分配器、干油过滤器、各种管阀等组成。

(7) 变频控制及拖缆单元：本单元由主传动变频器、行走变频器、主传动控制柜、行走控制柜、集中润滑控制柜、接近开关、动力电缆、控制电缆、电缆滑车、电缆花车轨道等组成。

直线螺旋给料机工作原理为：主驱动电动机通电旋转，通过梅花弹性联轴器传递到减速器，由装在减速器低速轴的小链轮通过链条带动装有大链轮的螺旋体旋转，通过螺旋体的叶片把物料输送出来，实现给料的目的。同时，通过行走齿轮马达带动行走齿轮旋转，齿轮沿着固定的齿条移动，来实现设备的整体移动。当需要空负荷快速行走时，安装在主传动减速器上的传动变换机构动作，由链传动组带动行走传动机构旋转，从而实现快速移动。主传动电动机的供电由装有变频器的控制柜来实现，通过调整电动机的转速来满足负荷启动及定量给料的要求，行走齿轮马达的供电由装有变频器、闭环控制器的控制柜来实现，通过调整齿轮马达的转速来满足负荷启动及均匀给料的要求，动力及控制电缆由电缆小车拖动来实现移动。

通过对物料特性的分析，结合设备的规范要求，吸收以往设计和生产经验，并与同类设备参数的对比，对螺旋给料机的主参数最终设定为：直线型螺旋给料机型号：GLZB900/300-11；出力：30~200m³/h；螺旋臂长：L=11000mm；螺旋体旋转速度：V=3~16r/min；螺旋直径：D=300~900mm；螺距：S=200~500mm；给料行走速度：V=0~50mm/min；快速行走速度：V=0~30m/min；物料体积计算容重：ρ=175kg/m³；螺旋体受力计算容重：ρ=200kg/m³；物料、螺旋体间摩擦系数：μ=0.5。

3 单县工程燃料输送系统方案设计

3.1 卸料系统

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，汽车卸料沟长 26.6m、宽 4.1m、深 4.8m，共设 4 个卸车位，每车位宽 4m。卸料沟内设双列刮板输送机用于物料的输送，双列刮板输送机额定出 400m³/h。燃料经双列刮板输送机落至 1 号带后经斗式提升机提升至储料仓内，带式输送机带宽 1000mm，带速 1.25m/s，出力 400m³/h，斗式提升机额定出力 400m³/h。

3.2 储料系统

厂内设秸秆储料仓 1 座，长 66m、宽 31m、高 25.2m，共能存料 14000m³，能够满足锅炉连续 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，移动配仓带带宽

1000mm, 带速 1.25m/s, 出力 400m³/h。仓底对头布置两台直线型螺旋给料机用于给料, 每台出力 40~200m³/h。

3.3 上料系统

储料仓内的秸秆通过仓底直线型螺旋给料机给至 3 号带式输送机上, 经 3 号带式输送机转运后, 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。带式输送机带宽 800mm, 带速 1.25m/s, 出力 200m³/h, 斗式提升机出力 200m³/h, 螺旋给料机出力 200m³/h。

3.4 事故料斗

厂内在 3 号甲带尾部设置事故料斗 1 处, 用于储料仓给料设备维修或其他紧急情况下的上料。事故料斗内设螺旋给料机 1 台用于给料, 螺旋给料机出力 200m³/h。

4 结语

生物发电工程中燃料输送系统是一个极其重要的环节, 由于煤与秸秆在物理特性方面有很大差异, 而且在我国尚属首例, 在系统设计、设备选型上没有成熟经验可以借鉴, 在上述系统设计中肯定还有许多不足, 如果我们所做的工作能起到抛砖引玉的作用, 我们将会感到非常欣慰。我们将结合工程应用情况不断优化, 完善输送系统的设计, 为生物发电事业的推广应用做出贡献。

注: 本文发表在《电力建设》2006 年第 12 期