

# 三峡漂浮物分布式供能系统研究

李年君<sup>1,2</sup>

(1. 武汉理工大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 润天川(北京)能源科技有限公司, 北京 100101)

**[摘要]** 长江漂浮物是威胁三峡电站运行安全的重要问题。在对三峡漂浮物数量和特点的调查和分析基础上,提出了以漂浮物资源化利用为主线,污染物治理和资源回收为两翼的三峡漂浮物生态能源系统路线,通过利用分布式能源技术系统可以为用户侧提供更可靠、清洁的高品质能源服务。研究表明,充分利用三峡漂浮物进行冷热电联供,可以在实现三峡库区污染治理的同时,对三峡漂浮物进行资源化利用,分布式供能系统年处理漂浮物  $4.7 \times 10^4 \sim 9.5 \times 10^4$  t, 节能  $1.3 \times 10^4 \sim 3.6 \times 10^4$  t 标煤,投资回收期 4.5~8 年,具有良好的技术经济性能。

**[关键词]** 三峡漂浮物;污染;分布式供能

**[中图分类号]** O657.31 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)06-0099-05

## 1 前言

长江漂浮物问题由来已久,每年汛初和主汛期,江水携带上游大量漂浮物顺流而下,在三峡电站的坝前聚集,对枢纽电站和船闸的安全运行构成极大威胁,同时也污染了坝前环境。三峡水库蓄水后,漂浮物问题突出,引人关注<sup>[1,2]</sup>。目前可能的处理方式主要包括卫生填埋、资源回收、焚烧利用几种技术途径。其中卫生填埋具有成本低、技术难度低、适用范围广等特点,但由于填埋法资源的再利用低,而且对土壤、水源、空气等造成立体污染,因此只适用于处理无法利用的沙石、炉渣等组分。资源回收是对废弃物中可资利用的物质分离、处理之后再利用的方法。但现阶段,生物质气化、塑料制油、泡沫回收造粒等方法在技术、经济等方面存在诸多“门槛”。因此,在对三峡漂浮物的组成复杂及来量不确定性充分调研基础上,文章重点围绕其资源化利用问题开展研究。

## 2 资源情况

水库漂浮物大致可以分为三类:树木和农作物

秸秆(一类),如原木、树枝、稻草、秸秆、灌木等;生活垃圾及工业垃圾(二类),如塑料、泡沫及各种用具、产品;灾害类漂浮物(三类),如木料、失控航标、船舶等。参照葛洲坝二十多年的运行经验和对漂浮物研究的统计结果,预测三峡漂浮物聚集大体呈如下规律:“桃花汛”将堆积在江边的工业及生活垃圾带入长江;初汛的第一次暴雨,将大量的第一、二类漂浮物冲入长江,一般情况下构成坝前漂浮物高峰;首次大洪水时,由于长江水位上涨幅度较大,沿江城镇生活垃圾被带入长江,工业及生活垃圾的“白色漂流物”涌向坝前;由特大暴雨将林场的木料及第三类漂浮物冲至坝前的现象也时有发生;非汛期漂浮物较少,主要以船舶及港湾垃圾即俗称的白色污染物为主;每年 11—12 月份坝区水位调整至全年最高,且 2007 年后蓄水水位逐年增加,至 2009 年达到设计水位值 175 m,随着蓄水期清漂水位的逐年上涨,也会产生一类和二类漂浮物。三峡电站运行后,随着自然汛期和由水库调度引起的坝区水位调整,每年来漂时间将在 6—11 月持续半年,其中在七八月份汛期和 10 月份水库蓄水水位升高,可能形成两次大的漂浮物高峰。

**[收稿日期]** 2009-12-10

**[作者简介]** 李年君(1961-),男,湖北荆州市人,中南财经政法大学客座教授,武汉理工大学环境工程博士研究生,高级工程师,主要从事清洁能源开发及环境影响方面的研究工作;E-mail:208610@163.com

### 3 三峡漂浮物资源化利用的原则与思路

三峡漂浮物生态能源系统的集成原则为:实现三峡库区漂浮物污染治理;对三峡漂浮物进行资源化、无害化利用;按照能的梯级利用原理实现能量的高效转换和利用。贯彻资源再利用和能的梯级利用理念,构建三峡库区漂浮物治理的循环经济新模式。

三峡漂浮物生态能源系统方案总体思路是以漂浮物资源化利用为主线,填埋和资源化利用为两翼。将三峡漂浮物分拣为树枝秸秆等可燃漂浮物、可回收的泡沫塑料以及无法回收的泥沙炉渣等三类,分别处理。

三峡漂浮物对于能源系统而言,总量不大,适合为分布式能源系统提供能源。分布式能源系统是一种新型的能源系统,它一般建于用户附近,减少了输配系统投资和能量损失,能够为单幢建筑或建筑群,也可以为小型园区提供更高品质、可靠性和更加清洁环保的能源服务。分布式能源系统因其在安全可靠、能源效率高、环境友好、社会效益、经济性等方面出色的特点受到世界范围的广泛重视。分布式冷热电联产系统是分布式能源系统中前景最为明朗,最具实用性和发展活力的技术<sup>[3-5]</sup>。树枝秸秆及少量其他可燃物作为分布式能源系统的燃料,燃烧产生的高温发电,利用系统的中低温余热供热和制冷,实现能源的梯级利用;对于泡沫塑料,可与生物质一道焚烧,也可以提供给专门的泡沫回收处理厂处理;泥沙炉渣等填埋。处理流程见图1。

通过现场多次取样分析,漂浮物以白色污染物、树枝和秸秆、炉渣等为主,三者干物组成分别占总量的36.2%:39.8%:24%,年来漂量湿重达 $22 \times 10^4$  t,干重 $10.5 \times 10^4$  t。白色污染物主要是快餐盒、绝缘包装等废弃的泡沫塑料,主要成分是聚氨酯(PU)、发泡聚苯乙烯(EPS)、聚乙烯等。此外还存在极少量非泡沫类塑料、玻璃瓶、打火机、鞋等生活废弃物。在坝前电站机坑内也有打捞上来的沉积漂浮物,主要成分为泡沫塑料、树木秸秆、泥沙炉渣,三者分别占总干重质量的23%:11.3%:65.7%,每年机坑沉积物打捞总量 $20 \times 10^4$  m<sup>3</sup>,湿重 $7 \times 10^4$  t,干重 $4.4 \times 10^4$  t,其中泡沫 $1 \times 10^4$  t,树木秸秆 $0.5 \times 10^4$  t。综上所述,方案设计中每年可资利用的可燃漂浮物中含有:树枝秸秆 $4.7 \times 10^4$  t,泡沫塑料 $4.8 \times 10^4$  t,总计 $9.5 \times 10^4$  t。其他每年无法利用的泥沙炉渣等打捞物 $2.5 \times 10^4$  t,机坑打捞物 $2.9 \times 10^4$  t,合计 $5.4 \times 10^4$  t/年(2007年三峡漂浮物分布式能源系统调研报告)。

此外,湖北宜昌与其相邻的枝江、当阳等地区是重要的果木、粮棉产区,每年果树剪枝、农作物秸秆等生物质资源丰富。初步调研宜昌开发区猷亭园方圆50 km内的部分地上生物质资源,如树枝、棉梗、玉米梗等,作为三峡漂浮物来量不足时的补充。根据上述不完全统计,地面上可收集利用的树枝、秸秆量超过 $25 \times 10^4$  t/年。这些生物质能源可以与三峡漂浮物一道进行资源化利用。

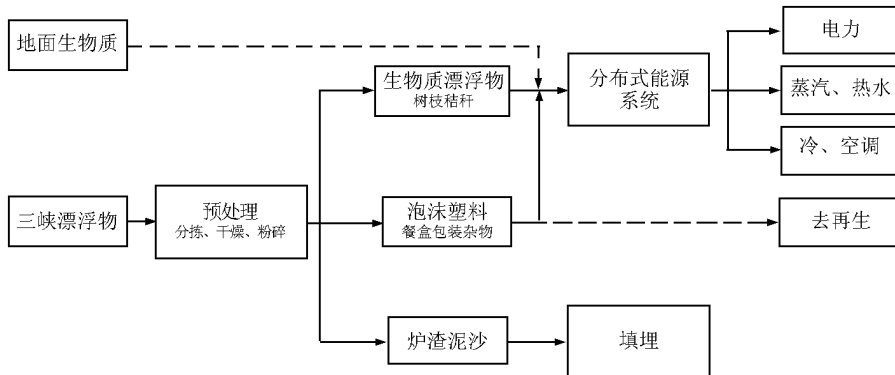


图1 三峡漂浮物处理流程图

Fig.1 The treatment procedure for the Three Gorges floaters

## 4 技术方案分析与比较

### 4.1 三峡漂浮物宜昌市内能源化治理方案

本技术方案(简称方案1)拟在葛洲坝打捞三峡

漂浮物,并在宜昌市选择适宜场地进行处理、储存,为分布式能源系统提供燃料,为沿江建筑、工业或区域用户提供电、冷、热等能源供应。

系统流程示意如图2所示。该系统中循环流化

床的作用是将三峡漂浮物高效、清洁的焚烧,生产中温中压蒸汽,也可联产生活热水;汽轮机的作用是利用蒸汽膨胀做功、发电,蒸汽机组设中间抽汽,为吸收机提供制冷和热泵的热源,也可用于满足特殊供热需要;吸收式制冷/热泵机组由汽轮机中间抽汽驱动,夏季制冷工况利用环境水源作为机组冷却水,冬季制热工况环境水源作为热泵机组低温热源,经热泵提升温度后用于供热,实现大幅度节能。上述系统具有安全可靠、能源效率高、环境友好等优点。

本技术方案分为两种情况,一是分布式能源系统只利用三峡漂浮物中的树枝秸秆,泡沫塑料等其他漂浮物进行分拣加以回收利用(方案1-1),二是以三峡漂浮物中的树枝秸秆和泡沫塑料一同作为分布式能源系统的燃料(方案1-2)。

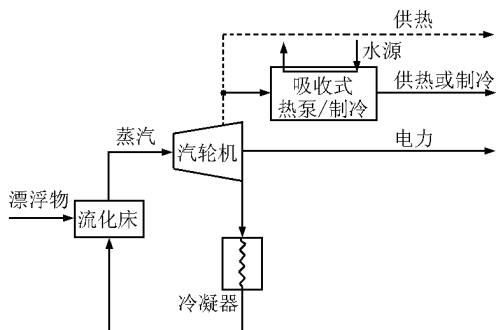


图2 三峡漂浮物生态能源系统示意图  
Fig. 2 The Three Gorges floaters zoology energy system

方案依据为:可作为燃料的三峡漂浮物中树枝秸秆为  $4.7 \times 10^4$  t/年,泡沫塑料为  $4.8 \times 10^4$  t/年,初期来漂量较大时运行 7 200 h(考虑到库区打捞量随

上游治理力度加大,来漂量下降时,运行时间可适当减少)。

由于漂浮物中含氯在 0.02 % 以下,低于特低氯煤的氯含量,加之有效控制锅炉近 1 000 °C 的燃烧工作温度,本技术方案烟气排放完全可以满足有关环境排放标准。

#### 4.2 三峡漂浮物三峡库区能源化治理方案

本技术方案(简称方案2)拟在三峡大坝前打捞漂浮物,并选择适宜场地进行处理、储存,为分布式能源系统提供燃料,为库区酒店、办公楼等用户提供冷、热等能源供应,同时上网发电。本技术方案也按照只利用生物质和利用全部可燃物分为两种情况,分别作为方案2-1和方案2-2,分布式能源系统流程与方案1相同。方案依据同方案1,冷、热负荷以三峡库区调研的实际负荷为准,选择相应机组容量。

#### 4.3 三峡漂浮物与地面生物质联合的能源化治理方案

若考虑利用三峡漂浮物为较大规模工业用户提供能源,则仅靠漂浮物尚不足够,需要与地上废弃的生物质资源共同构建生物质分布式能源系统。根据调研的可补充的地面生物质资源情况,在猊亭、当阳、枝江、夷陵 4 区市根据农民居住和生物质分布状况建立 10 个收集加工储存点,就地收集加工储存秸秆和树枝。按计划每天向电厂运送燃料,电厂存储量 5 ~ 10 d。考虑工业热、电负荷的存在,采用 2 台 75 t/h 循环流化床锅炉和 33 000 kW 蒸汽机组,年处理漂浮物和地面生物质共  $30 \times 10^4$  t。

上述 3 个技术方案的主要特点和技术参数汇总于表 1。

表 1 技术方案汇总表  
Table 1 Technology solution summary

项目	方案 1(宜昌)		方案 2(三峡库区)		方案 3(开发区)
	1-1	1-2	2-1	2-2	
燃料	漂浮生物质	漂浮可燃物	漂浮生物质	漂浮可燃物	漂浮可燃物 + 地面生物质
循环流化床锅炉/(t·h <sup>-1</sup> )	35	75	35	75	2 × 75
汽轮机容量/kW	3 000(N型) + 3 000(CN型)	12 000(N型) + 3 000(CN型)	3 000(N型) + 3 000(CN型)	12 000(N型) + 3 000(CN型)	2 × 15 760(N型) + 1 500(B型)
抽汽压力/MPa	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
最大供热量/kW	4 580	4 580	4 580	4 580	15 700
制冷机组容量/kW	1 900	1 900	3 800	3 800	0

3 个方案中,方案 1 和方案 2 仅依靠三峡漂浮物,可就近寻找负荷,为建筑物或小型能源用户提供能源服务,方案 3 为与地面生物质结合的较大规模

“生物质分布式能源系统”,需要兼顾较大规模的能源用户,以及该用户周边一定运输半径内可提供的地面生物质量。

#### 4.4 方案技术经济比较分析

技术方案的初步技术和环保指标见表2。方案1和方案2利用三峡漂浮物的分布式冷热电系统,每年可在满足建筑物 $2.6 \times 10^4$  GJ热量和 $0.9 \times$

$10^4$  GJ冷量的前提下,发电 $3\,000 \times 10^4$  kW·h,并回收 $4 \times 10^4$  t泡沫塑料,或全部发电 $9\,000 \times 10^4$  kW·h;方案3采用三峡漂浮物与地面生物质互补方式,起到良好的替煤和减少污染物排放的作用。

表2 方案技术指标

Table 2 The technical parameters of the solution

项目	方案1(宜昌)		方案2(三峡库区)		方案3(开发区)
	1-1	1-2	2-1	2-2	
处理物	漂浮生物质	漂浮可燃物	漂浮生物质	漂浮可燃物	漂浮可燃物+地面生物质
处理量/( $\times 10^4$ t·年 <sup>-1</sup> )	4.7	9.5	4.7	9.5	9.5+20.5
发电量/( $\times 10^4$ kW·h·年 <sup>-1</sup> )	3 128	9 234	3 128	9 234	17 100
供热量/(GJ·年 <sup>-1</sup> )	26 411	26 411	26 411	26 411	984 960
制冷量/(GJ·年 <sup>-1</sup> )	4 690	4 690	9 379	9 379	0
节能量/( $\times 10^4$ t标煤·年 <sup>-1</sup> )	1.3	3.6	1.3	3.6	11.2
减排CO <sub>2</sub> /( $\times 10^4$ t·年 <sup>-1</sup> )	3.9	11.1	3.9	11.1	34.5

经济性分析条件如下:考虑三峡漂浮物在脱水、晾晒、分捡、破碎、储存等环节的投入,漂浮物价格拟定为165元/t;假定30%自有资金,70%贷款;上网电价:0.617元/kW·h;供冷价格:60元/GJ;供蒸汽价格:80元/t;地面生物质价格:360元/t(含每吨收

购价200元、加工费30元、存储费50元和运输费80元);增值税率:17%;所得税率:33%;固定资产折旧:15年5%残值;贷款利率为:6.14%。3个方案的经济性测算结果见表3。

表3 方案经济性指标

Table 3 The economic performance parameters of the solution

项目	方案1(宜昌)		方案2(三峡库区)		方案3(开发区)
	1-1	1-2	2-1	2-2	
项目总投资/万元	4 277	9 800	4 435	9 947	14 064
项目内部收益率/%	11.32	20.28	11.03	20.1	19
项目投资回收期/年	7.84	4.81	7.99	4.86	5.11

表3数据表明,方案1和方案2的经济性比较接近,其中只利用漂浮生物质的方案投资约达到4 200万~4 400万元,回收期近8年;而利用全部漂浮可燃物的情况投资约为1亿元,投资回收期不到5年。方案3投资约1.4亿元,回收期近10年。因此选址在宜昌市或三峡库区,利用全部漂浮可燃物方案的经济性最好。在不考虑回收泡沫塑料和CDM交易盈利情况下,该技术仍显示出很好的经济性。如果考虑漂浮物享受100元/t的补贴,即价格为65元/t,各方案投资回收期将缩短20%~40%,回收期约为3~5年,将具有更好的经济性。

## 5 结语

1)技术方案实现三峡库区漂浮物的治理同时,实现漂浮物的资源再利用和分布式冷热电供应。贯彻资源再利用和能的梯级利用理念,树立了三峡漂浮物治理、生物质利用与分布式能源相结合的循环经济典范。

2)技术方案从漂浮物总量和组成特点出发,确定了以漂浮物资源化利用为主线,填埋和资源化利用为两翼的技术路线。构建分布式能源系统,采用循环流化床锅炉、小型汽轮机、吸收式制冷/热泵等技术和设备,通过系统集成,组成现代高环保型能源

系统。通过该系统,可以为三峡库区、宜昌市内、周边开发区等地的建筑、区域或工业用户提供空调、采暖、生活热水的同时,根据可再生能源政策发电上网。

3)推荐采用利用全部漂浮可燃物的方案1-2和方案2-2。初步技术经济分析表明,技术方案年处理漂浮物量可达到 $4.7 \times 10^4$  t、 $9.5 \times 10^4$  t和 $30 \times 10^4$  t(含地上生物质废弃物),方案1和方案2的两种情况可实现年节能 $1.3 \times 10^4$  t和 $3.6 \times 10^4$  t标煤,方案3可节煤 $11.2 \times 10^4$  t,并相应产生CO<sub>2</sub>等大气污染物减排效果。技术方案具有很好的经济性,初步分析各方案投资回收期约为4.5~8年,考虑漂浮物价格补贴投资回收期将缩短为3~5年。

**致谢** 文章得到了中科院徐建中院士,金红光、吕清刚研究员,隋军、负小银、韩巍、冯志兵博士,中

国节能投资公司韩直副总经理、孙建国主任,三峡总公司曹广晶副总、环保部孙志禹博士的指导和帮助,在此一并致谢!

#### 参考文献

- [1] 张彦春,王孟钧,戴若林.三峡库区水环境安全分析与战略对策[J].长江流域资源与环境,2007,16(6):801-804
- [2] 张代钧,许丹宇,任宏洋.长江三峡水库水污染控制若干问题[J].长江流域资源与环境,2005,14(5):605-609
- [3] 徐建中.科学用能与分布式能源系统[J].中国能源,2005,27(8):10-13
- [4] Onovwiona H I, Ugursal V I. Residential cogeneration systems: review of the current technology[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2006,10(5):389-431
- [5] Dentice d'Accadia M, Sasso M, Sibilio S, et al. Micro-combined heat and power in residential and light commercial applications[J]. Applied Thermal Engineering,2003,23:1247-1259

## Research on the distributed power supply system of the Three Gorges floaters

Li Nianjun<sup>1,2</sup>

- (1. The School of Resource and Environment, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;
2. Jiantianchuan (Beijing) Energy Science and Technology Co., Ltd., Beijing 100101, China)

**[Abstract]** The Long River floater is an important threat to the operation security of the Three Gorges Hydropower station. This passage is based on the investigation and analysis of the Three Gorges floaters' amount and character, which proposes an ecological power systematic route of the Three Gorges floaters, taking the floaters' power generation as its major route, the treatment of contamination and the reclaim of resources as its two side routes. It can provide more reliable, cleaner high quality power service for the clients through the usage of distributed power technology system. The result of this research shows that the complete usage of the Three Gorges floaters for the combined supply of cold and thermoelectricity can realize the treatment of pollution in the Three Gorges reservoir area, meanwhile, the usage of the Three Gorges floaters as resources, the distributed power supply system can deal with  $4.7 \times 10^4 \sim 9.5 \times 10^4$  t of floaters annually, which can save the power as the same amount of  $1.3 \times 10^4 \sim 3.6 \times 10^4$  t of standard coal, and the capital investment recovery period for this project lasts for 4.5~8 years, which has favorable technology and economic performance.

**[Key words]** the Three Gorge floaters; pollution; distributed power supply