

# 基于TRNSYS的太阳能与生物质能互补供热系统性能模拟分析

袁喜鹏<sup>1</sup>, 强巴索朗<sup>1</sup>, 董晓冬<sup>1</sup>, 冯静恒<sup>2</sup>, 赵斌<sup>1,2</sup>

(1.西藏自治区能源研究示范中心, 西藏拉萨850001; 2.华北理工大学冶金与能源学院, 河北唐山063210)

**摘要:** 利用TRNSYS软件, 对西藏地区太阳能与生物质能互补供热系统的两种典型方案进行了数值模拟, 并采用系统能量效率和效率两个评价指标来分析两种典型方案的热力学性能。结果表明: 生物质锅炉接入到冷水旁通管为最优方案, 其能量效率高达75.63%、效率达37.59%。由最优方案的适用性和经济性分析得知, 该最优方案能够满足用户的供热需求且在经济上是可行的。

目前西藏地区城市除了热电联产集中供热外, 仍存在大量的小锅炉房供热。而农村冬季采暖主要是以单户小炉灶燃烧牛粪为主, 并没有实现集中供热。这种粗放的能源利用方式导致能源利用效率低, 生态环境污染严重。由于西藏地区生态环境脆弱, 能源的清洁利用已受到高度重视。西藏属于太阳能应用的一类地区, 太阳能供热已取得初步应用。此外, 西藏地区作物秸秆211.57万t, 蕴藏能量约102万tce/a, 将生物质用于供热较一次能源具有显著的现实意义。由于太阳能具有不能连续供能等特点, 结合西藏部分地区生物质资源相对丰富的优势, 在西藏地区构建太阳能与生物质能互补供热系统是节能减排的有效手段。

近年来, 太阳能与生物质能互补供暖的研究备受学者们的关注。在太阳能与生物质能集成技术方面, 国内外众多学者做了大量研究, 为多能互补系统的建立奠定了理论基础。但普遍分析都是针对太阳能与生物质能单体建筑供热采暖的研究, 关于太阳能与生物质能互补区域供热(小区热力站)的研究很少。

文章以日喀则市扎西岗乡某一新型城镇化小区冬季供热为研究对象, 为满足其供热需求, 利用TRNSYS软件对太阳能与生物质能互补供热系统的两种典型方案进行仿真模拟, 通过系统能量效率及效率指标对两种方案进行方案评优对比分析, 并对互补供热系统进行了经济性分析, 从而得出太阳能与生物质能互补供热系统在西藏地区的适用性与可行性。

## 1 互补供热系统设计

### 1.1 仿真模型

以日喀则市扎西岗乡某一新型城镇化小区为模拟对象。此小区共有5栋4层单体住宅楼, 每栋住宅楼有3个单元, 每个单元一层两户, 每户建筑面积为100m<sup>2</sup>, 总建筑面积为12000m<sup>2</sup>。设定采暖期室内设计温度为16℃, 采暖供回水温度为45/35℃。以TRNSYS瞬时模拟软件为平台, 对太阳能和生物质能互补供热系统进行仿真模拟, 建立包括太阳能集热器、热水循环泵、生物质锅炉及蓄热水箱等部件在内的互补供热系统模型。这些部件在TRNSYS中对应的类型如表1所示。

经TRNSYS计算得到的该小区供热采暖系统热量计算参数如表2所示。

**表 1 仿真系统模型主要部件**

部件类型	部件名称	部件说明
Type109	Weather	气象条件
Type73	Collectors	太阳能集热器
Type3b	Pump	热水循环泵
Type4	Tank	蓄热水箱
Type659	AH1-3	生物质锅炉
Type39	HW1	生活水箱
Type502	Tc	温度感应器

**表 2 供热采暖系统热量计算参数**

计算参数/单位	数值	计算参数/单位	数值
采暖季采暖日耗热量/MJ	18144	采暖季生活热水日耗热量/MJ	1480
采暖季采暖耗热量/MJ	2703456	采暖季生活热水耗热量/MJ	220520
采暖季日总耗热量/MJ	19624	非采暖季日生活热水耗热量/MJ	1480
采暖季总耗热量/MJ	2923976	非采暖季生活热水耗热量/MJ	319680
全年生活热水耗热量/MJ	540200	全年总耗热量/MJ	3243656

## 1.2 部件选型

由对互补供热系统主要部件选型计算可得互补供热系统设计计算参数如表 3 所示。

**表 3 互补供热系统设计参数**

计算参数/单位	参数值	计算参数/单位	参数值
集热器面积/m <sup>2</sup>	1232	生物质锅炉供热量/MJ	877193
蓄热水箱容积/m <sup>3</sup>	92.4	生活水箱容积/m <sup>3</sup>	9.8

### 1.3评价指标

采用系统能量效率和效率两个评价指标对系统热力性能进行分析。

1.3.1 能量效率。能量效率定义为系统有效输出的能量与输入的能量之比,是衡量系统热力学性能的重要指标。

$$\eta_p = \frac{Q_0}{Q_b + Q_s} \quad (1)$$

式中： $Q_0$  为建筑供热所需的能量， $Q_b$  为生物质锅炉提供的能量， $Q_s$  为太阳能系统提供的能量。

1.3.2 焓效率。焓效率在数值上等于收益焓与代价焓的比值。对整个系统来说,收益焓是供热系统输出的焓,代价焓是生物质燃料焓和太阳能热水焓的总和。焓效率更能反映系统对输入能量的利用情况。

$$\eta_p^e = \frac{E_0}{E_b + E_s} = \frac{E_0}{E_b + Q_s(1 - T_0/T_s)} \quad (2)$$

式中： $E_0$  为供热系统输出的焓， $E_b$  为生物质锅炉输入焓， $E_s$  太阳能集热系统输入焓， $T_0$  为建筑环境温度， $T_s$  为集热温度。

### 2互补供热系统方案

根据生物质锅炉在采暖系统中通常放置的两种位置,文章设计了太阳能与生物质能互补供热系统的两种典型方案即方案一、方案二。

方案一 是将生物质锅炉接入到供水管,当太阳能集热器的出水温度能满足采暖用户的热舒适要求时,生物质锅炉停用。否则,生物质锅炉将供水温度加热到预定温度。太阳能与生物质能互补供热系统流程如图1所示,仿真模拟如图2所示。

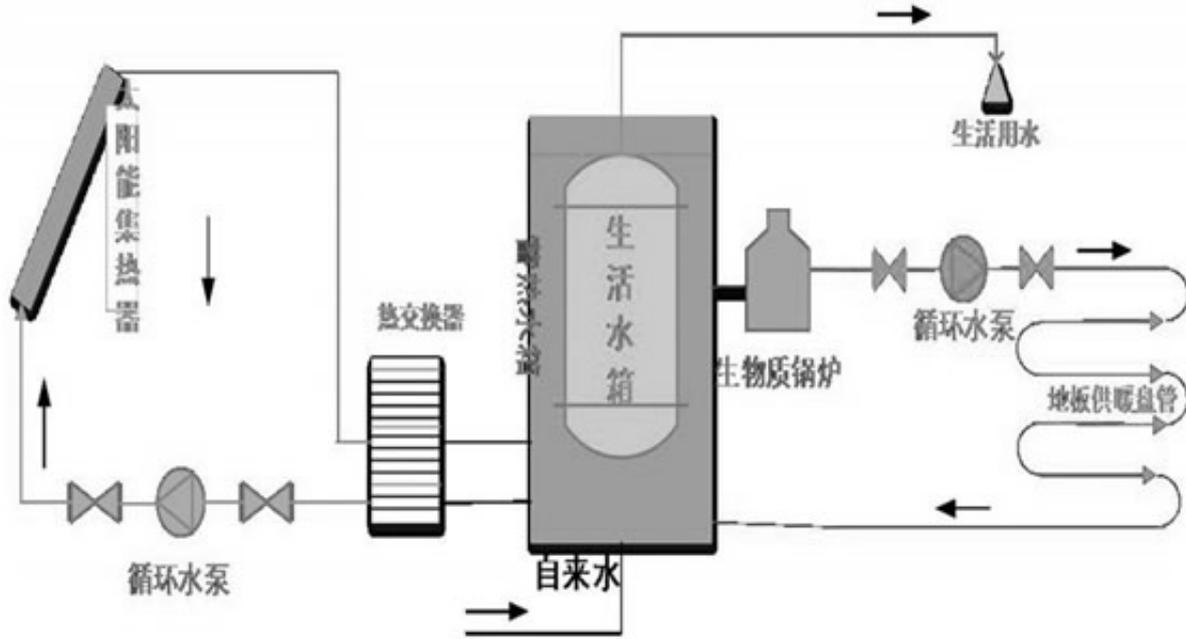


图1 互补供热系统方案 I 流程

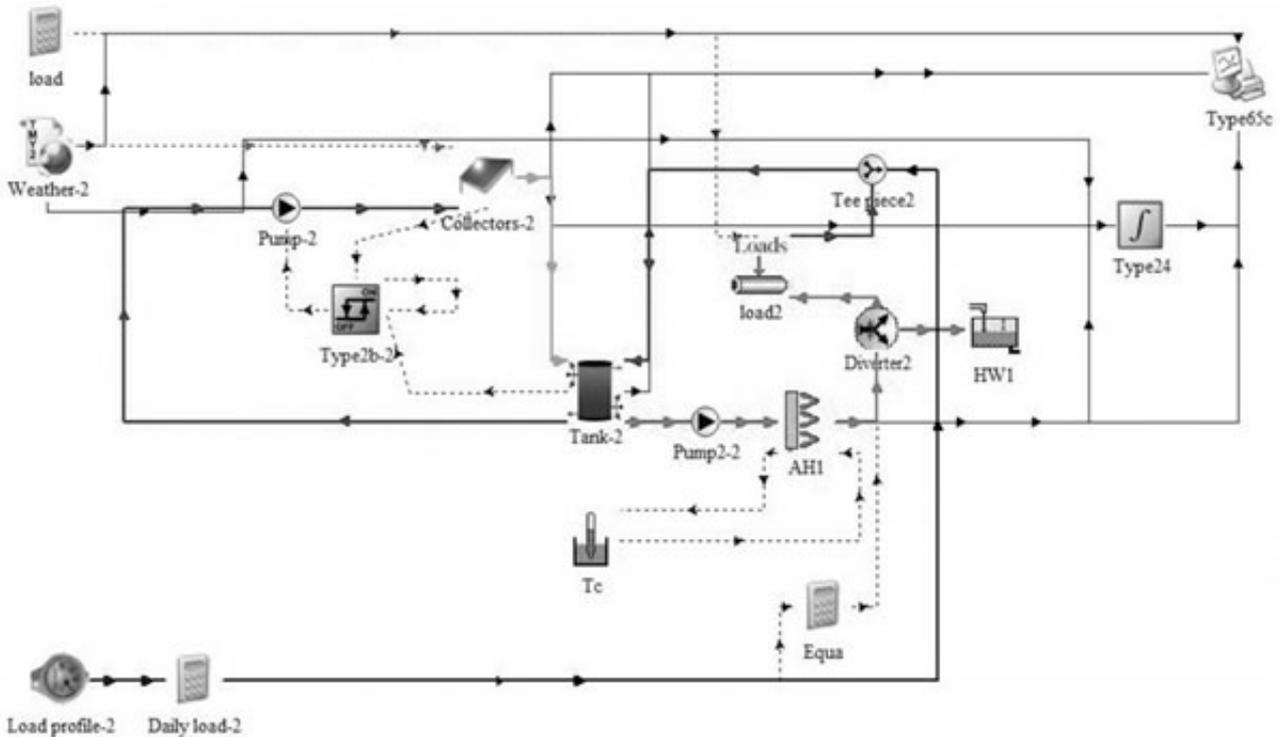


图2 互补供热系统方案 I 仿真模拟

方案 是将生物质锅炉接入到冷水旁通管，根据集热器出水温度的变化进行三种运行模式切换。太阳能与生物质能互补供热系统的流程图如图3所示，仿真模拟图如图4所示。

- (1) 当集热器出水温度或储热水箱的出水温度高于45（设计供水温度）时，可实现太阳能系统独立运行，回水全部经过太阳能集热系统换热器，不经过生物质锅炉，太阳能集热系统承担系统全部负荷。
- (2) 当集热器出水温度在35（设计回水温度）和45之间时，回水通过太阳能系统换热器预热后进入生物质锅炉，即可将供水温度提高到45，此时生物质锅炉起补充作用。
- (3) 当集热器出水温度低于35以下时，生物质锅炉承担全部负荷，回水不经过太阳能系统换热器，直接进入生物质锅炉。

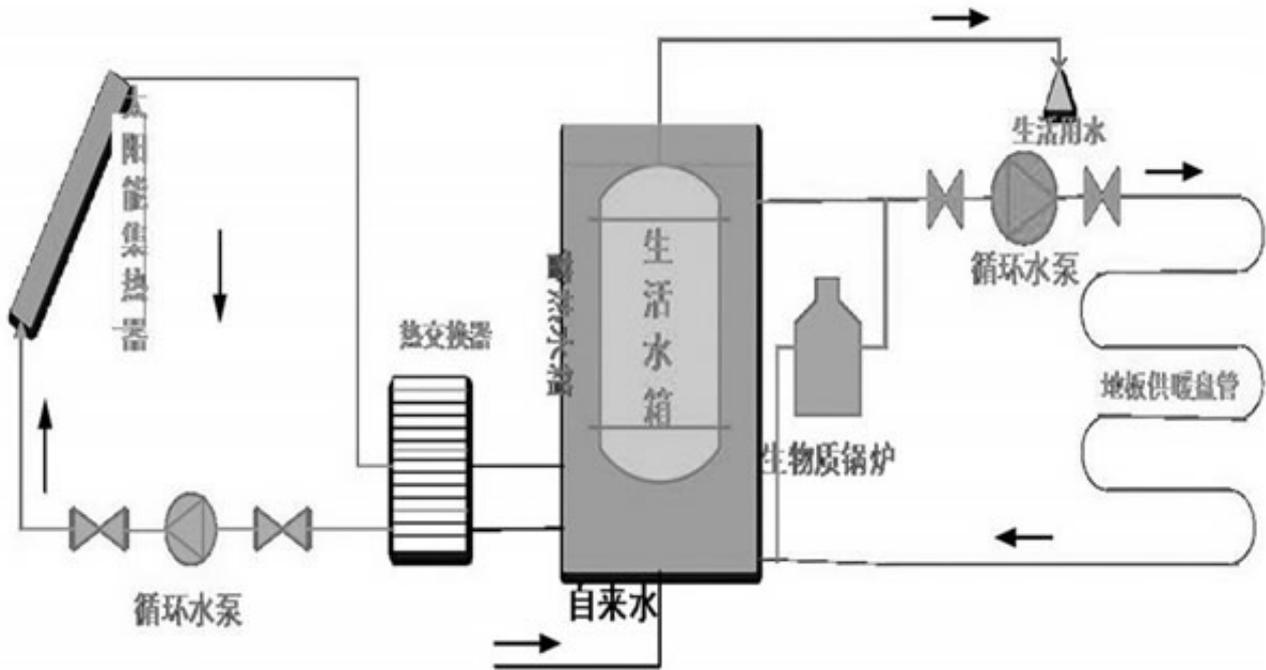


图3 互补供热系统方案 II 流程图

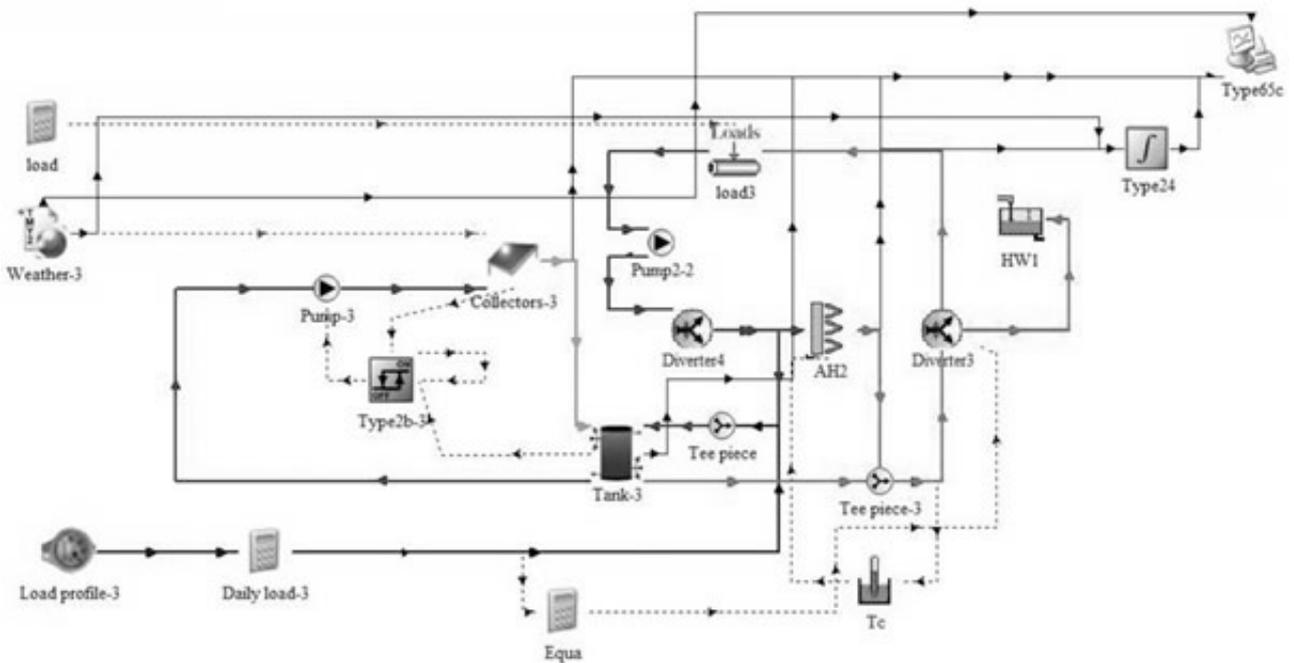


图4 互补供热系统方案 II 仿真模拟图

3系统最佳方案优选

选一个工作日（典型设计日）为研究对象，当建筑物温度为16℃时，经TRNSYS模拟可得建筑日耗热量即整个系统

的输出能量，不足的能量由生物质锅炉补充。太阳能热水品位取0.199，生物质燃料品位取0.87。根据文献计算可得方案 与方案 的能量效率和效率。其中，系统热力性能如表4所示，系统平衡表如表5所示。

**表 4 系统热力性能**

参数/单位	方案 I	方案 II
输入太阳能/MJ	19274.3	18163
输入生物质能/MJ	8260.4	7784.2
总输入能/MJ	27534.7	25947.2
能量输出/MJ	19624	19624
能量效率/%	71.26	75.63

**表 5 系统焓平衡表**

参数/单位	方案 I	方案 II
太阳能/MJ	3835.6	3614.4
生物质能/MJ	7447.5	6772.3
总输入焓/MJ	11283.1	10386.7
焓输出/MJ	3905.1	3905.1
焓效率/%	34.61	37.59

由系统热力性能表4可知能量效率为方案 >方案 ；由系统平衡表5可知效率为方案 >方案 。

方案 是将生物质锅炉接入到供水管，可将太阳能集热器用作预热器，从而减少输入热量，缺点就是没有将太阳能供热系统和生物质锅炉供热子系统隔开，当回水温度低于集热温度时，此时循环水仍通过集热管道，势必造成能量的损失。与方案 相比，方案 是一种比较有利的方案，既具备方案 的优点，又可将太阳能供热系统和生物质锅炉供热子系统隔开，当回水温度低于集热温度时，循环水不通过集热器，生物质锅炉可以像普通的中心供热系统一样。

#### 4系统经济性分析

##### 4.1投入生产费用

投入生产费用主要包括系统初投资费用和系统每年的运行维护费用，系统投入生产费用见表6，本系统经济寿命为20年。其中所选生物质燃料为日喀则市来源广泛的青稞秸秆，根据市场调研，青稞秸秆的低位发热量为13.95MJ/kg，生物质锅炉的效率为0.85，秸秆的价格为0.6元/kg。

**表6 系统投入生产费用**

	项目	费用
系统初投资	太阳能集热器	140万元
	生物质锅炉	4.5万元
	蓄热水箱和生活水箱	9.6万元
	地板采暖管及敷设	120万
	循环泵	5万元
	人工安装费用	7.8万元
	其他设施	2万元
	系统初投资费用总和	288.9万元
系统运行维护	青稞秸秆	4.5万元/a
	秸秆收集劳工	0.5万元/a
	集热系统维修及其他设备耗电	2.4万元/a
	年系统运行维护费用总和	7.4万元/a

注：以上数据均来自实际工程调研

#### 4.2年节约燃煤和节能费用

对于太阳能与生物质能互补供热系统，经济性主要体现在项目实施后每年节约的常规能源费用。

相对于煤，标准煤的低位发热量为29.3MJ/kg，燃煤锅炉热效率取0.60，标准煤价格为2.1元/kg。年节能量折合标准煤： $3243656 / (29.3 \cdot 0.6) = 184508.3 \text{kgce}$ ，年节标煤184.5吨，每年节约燃煤费用为38.8万元。系统每年需要消耗的玉米秸秆燃料的费用为4.5万元，年节能费用为每年节约燃煤费用与每年需要消耗的玉米秸秆费用的差值，即年节能费用为34.3万元。

#### 4.3经济性分析

采用益本比、静态投资回收期、净现值三个经济性指标衡量太阳能和生物质能互补供热系统的经济性能，见表7。

**表 7 净现值计算**

项目	第一年	第t年
收益	38.8万元	38.8万元
系统每年投资成本	296.3万元	7.4万元
现金流	-257.5万元	31.4万元
投资净现值NPV	4.68万元	

根据上述数据,计算得到经济性指标见表 8。由表 8 可知,该系统的益本比 $>1$ ,投资回收期 $<10$ 年,净现值 $>0$ ,表明该项目在经济上是可行的。

**表 8 系统经济性指标**

益本比	投资回收期/a	净现值/万元
1.78	9.20	4.68

#### 5结论

互补供热系统方案 能量效率和效率都较高。文章具体模拟并分析了两种典型太阳能与生物质能互补供暖方案的热力学性能,其中方案 的能量效率为75.63%、效率为37.59%,高于方案 。

系统经济性好。该系统的益本比 $>1$ ,净现值 $>0$ ,投资回收期 $<10$ 年,表明该项目在经济上是可行的。

系统推广性强。太阳能和生物质能互补供暖系统特别适合太阳能和生物质能丰富的新型城镇化小区,例如我国的西藏地区,文章为中国西藏地区的新型城镇化小区的供热提供了一种新思路。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/148503.html>