

# 规模化生物质热电联产沼气发电系统工程管理应用研究

——以某生物质热电联产沼气发电工程为例

房志阳

(上海齐耀动力技术有限公司, 上海 201203)

**摘要:** 规模化生物质热电联产沼气发电系统目前在国内逐渐增多, 规模大小不一, 但是国内超过 10 MW 的生物质沼气发电系统还是较少, 在此规模上的沼气发电工程, 设计体量及计算量更多, 施工过程的管理更要注意协调及风险控制。以上海市 2021 年度重点工程——某生物质热电联产沼气发电工程为案例, 分别从成本、进度、质量、安全和干系人管理方面总结工程经验, 着重讨论施工阶段控制重点, 如成本控制、进度计划的编制及控制、质量控制的要求及质量管理的要点、危险源的识别及管控、干系人识别管理的整理。

**关键词:** 沼气发电; 热电联产; 工程管理; 施工管理; 干系人管理

**中图分类号:** S216.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1166(2023)03-0079-06

**DOI:** 10.20022/j.cnki.1000-1166.2023030079

**Research on the Application of Engineering Management of Large-scale Biomass CHP Biogas Power Station System—Take a Biomass CHP Biogas Power Station Project as an Example / FANG Zhiyang / (Shanghai Micropowers Ltd, Shanghai 201203, China)**

**Abstract:** Large-scale biomass CHP biogas power station system is gradually increasing in China, the scale is different, but the biomass biogas power station system of more than 10 MW in China is still few, the biogas power station project of this scale, the design volume and calculation amount are more, and the management of the construction process should pay more attention to coordination and risk control. The author presided over the 2021 key project of Shanghai—a biomass CHP biogas power station project, this paper uses this as a case study to summarize the project experience from the aspects of cost, schedule, quality, safety and stakeholder management, focusing on the key points of control in the construction stage, such as cost control, preparation and control of schedule plans, requirements for quality control and key points of quality management, identification and control of hazards, and collation of stakeholder identification and management.

**Key words:** biogas power station; CHP; engineering management; construction management; stakeholder management

## 1 上海市某二期热电联产沼气发电项目简介

上海市某二期热电联产沼气发电工程是上海市 2021 年度重点项目, 项目为某生物质热电联产沼气发电工程, 采用了 4 台 3.3 MW 沼气发电机组, 并配套了隔音、散热、脱硝、余热锅炉以及高低压配电装置。湿垃圾设计处理量达  $1500 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ , 建成后将成为华东地区最大的湿垃圾处理项目。沼气热电联产系统解决方案, 包括沼气预处理、沼气发电机组、烟气脱硝处理等。该项目投运后, 每年可发绿电约 1 亿 kWh, 相当于 3 万多个家庭 1 整年的用电量。每年可处置湿垃圾 52.7 万 t, 减排二氧化碳 45 万 t, 实现餐厨垃圾生物资源全利用, 以废养废, 显著提升上

海全市湿垃圾处理能力。目前项目已经全面竣工, 调试与试运行顺利完成, 正交予客户方进行试生产, 已发电量超 7000 万 kWh。

## 2 热电联产沼气发电项目施工管理

### 2.1 成本控制

#### 2.1.1 成本控制需全过程关注

##### 2.1.1.1 方案阶段

在方案流程图基本确定后, 根据投标方案和价格确定预算计划。

##### 2.1.1.2 设计阶段

从设计着手节约成本是最为核心的行为, 包括:

(1) 设计参数优化, 尽量避免过度设计, 避免人

收稿日期: 2023-02-07 修回日期: 2023-03-14

作者简介: 房志阳(1989-), 男, 江苏淮安人, 中级工程师, 主要从事新能源领域及沼气发电行业工程管理等各方面的工作, E-mail: fzycivil@163.com

为原因造成设计浪费;

(2) 工艺系统上进行优化, 能够有更好的系统流程, 可以避免浪费。

### 2.1.1.3 施工阶段

(1) 施工材料避免浪费, 主材按照清单量购买, 发放; 辅材采用包干制, 定额计算比例; 耗材进行灵活购买, 根据实际量, 核实后签署购买;

(2) 施工过程中虽需根据图纸施工, 也需要根据现场环境灵活布置, 比如利用墙体, 基础, 梁, 柱做支架布置管线, 节约电缆线。

本项目的成本预算分析见表 1。

表 1 成本预算分析表

序号	内容	占总预算比例/%
1	材料费(原材料、辅助材料、外购成品、元器件等费用)	92.83
1.1	发电机组	75.11
1.2	发电机组隔音罩	2.54
1.3	SCR 脱硝系统	3.86
1.4	余热锅炉	2.27
1.5	空冷器	1.93
1.6	发电机组高压并网开关柜(含综合保护)	1.25
1.7	发电机组备品备件	1.25
1.8	低压配电柜(MCC 柜)	1.02
1.9	阀门	0.57
1.1	仪表	0.57
1.11	烟囱	0.40
1.12	尿素溶液制备系统	0.34
1.13	冷干机	0.34
1.14	辅机 PLC 控制柜	0.34
1.15	排烟消音器	0.28
1.16	电缆及桥架	0.28
1.17	沼气流量计	0.23
1.18	润滑油自动补油装置	0.11
1.19	浪涌保护柜(避雷柜)	0.08
1.20	就地上位机	0.06
2	外协费(外单位协作加工费用)	3.65
3	专用费(专用仪器、工艺装备、零星技措费用)	0.20
4	燃料动力费(润滑油, 防冻液等消耗品等费用)	1.04
5	管理费(差旅费, 事务费等费用)	0.28

### 2.1.2 成本控制注意点

(1) 从预算分析表中可以明确看出发电机组的成本占总预算比超过 75%, 既是行业现状也是急需改变的问题, 一直以来规模化热电联产沼气发电项目的发电机组均以国外进口品牌为主, 造成了成本居高不下, 且服务也受制于人, 既不利于国内行业的发展, 也不利于成本的节约和技术的提高。目前国内的燃气机组大于 1 MW 并可靠运行的有数家可供

选择, 大于 2 MW 暂未见有长期可靠运行经验的机组, 大于 3 MW 的没有国产机组可替代;

(2) 发电机组、隔音罩、脱硝设备、空冷器、余热锅炉和高压系统是成本占比最高的几项, 也是需要密切关注成本的几项。这几项内容成本费用较高, 在设计阶段合理优化或者在采购阶段适当控制, 将会显著降低整个项目成本;

(3) 安全文明费、差旅费和资料费等需要按需预算, 片面追求低价格将会不利于项目的执行。

## 2.2 进度控制

### 2.2.1 进度计划甘特图

进度计划使用电脑软件 MS-Project 绘制成甘特图, 可以便于管理跟踪以及随时修订。每周在图上跟进绘制实际进度, 与原计划相比较, 如有偏差需要及时纠偏。

### 2.2.2 进度控制要点

(1) 片面的追求进度不可取, 通过放任质量管理, 或者忽视安全管理冒进施工, 整改时间将远远超出正常施工时间;

(2) 进度需要管控在合理范围内, 一方面可以通过增加施工人员, 加班倒班, 投入较多的机械或者设备来加快进度; 另一方面也可以合理安排各专业之间的进场顺序, 减少空余时间。

(3) 在有限空间内的交叉作业, 极其影响进度以及安全。中间要有合理的协调, 进出场顺序, 机械物料的抬升, 以及强电、弱电的先后顺序;

(4) 设备安装顺序如下图 1 所示。



图 1 设备安装顺序

## 2.3 质量控制

### 2.3.1 工程质量管理特点

为保证项目质量一次验收合格率 100%, 工程质量管理要进行全过程管理。规模化生物质热电联产沼气发电系统工程的质量管理有以下几个特殊点:

(1) 沼气发电机组及配套设备质量及体积大, 安装难度及要求高;

(2) 大功率机组相比中小型机组燃烧原理相同, 但诸如燃气的冷凝、进排风的噪音控制等设计参数有很大不同, 需要逐个确认并谨慎反复验证;

(3) 脱硝系统因为烟气温度要求严格、不得有冷凝水以及结合环保要求不能设置旁通, 不能在前期大量不稳定烟气下损坏催化剂, 所以安装及调试顺序需要紧凑;

(4) 余热回收系统因为采用锅炉系统, 进水及

排污与燃气锅炉类似,但是烟气调节系统的电气化控制需要可靠;

(5) 与土建单位配合紧密,预留孔洞、设备基础、接地点需要验收后方可进行安装。

### 2.3.2 质量关键点设置

(1) 沼气发电机组、SCR 设备、余热锅炉,隔音罩及灭火系统,电气柜的设计参数及安装;

(2) 发电机组本体机械和电气部分完好性检查确认;

(3) 采购设备的质量控制及工厂验收;

(4) 国内配套设备品牌及技术参数确认;

(5) 机电设备安装控制及质量验收;

(6) 管路安装及电气接线质量控制及验收;

(7) 管路清洗、水压试验;

(8) 辅助动力柜、并网开关柜通电测试;

(9) 发电机控制柜柜内检查,是否元器件丢失,主开关整定值检查;

(10) 电缆接线检查,是否牢固,电缆对地及相间绝缘检查;

(11) 电机通电前绝缘检查,通电后电机转向检查;

(12) 设备接地检查,是否满足规范要求,线径达到规范标准。

(13) 设备单体试验;

(14) 系统整体调试及验收;

(15) 土建基础及预留基础尺寸、平整度、预埋螺栓、强度验收;

(16) 土建预留接地网电阻测试。

### 2.3.3 质量管理

(1) 设计质量控制。设计确定各设备尺寸后,以尽可能实现最佳的布置方案,尽量做到布置紧凑、合理,减少管路长度,并力争将设计周期缩短,为后续现场施工留下充足时间;

详细技术参数需要与厂家逐项落实,反复计算落实,预留一定冗余空间;

电气控制节点需要落实方案及走线,每一个信号点都需要逐个落实设计,不能遗漏。线缆注意设计时防屏蔽设置;

(2) 设备采购。做好所有设备和材料的采购工作,编制采购需求计划,并做好货物跟踪及货物质量验收管理,及时组织并协助做好缺损件的补货及其它国内配套设备的采购工作;

(3) 施工单位的选择。本工程项目机电安装施工,挑选满足本项目施工能力的施工队伍,确保施工

工期和质量满足业主要求同时,要尽量降低施工成本。因此,在施工进场之前,选好施工单位,签订符合项目施工要求的合同;

(4) 系统安装前明确安装质量验收标准。明确竣工资料的编制、管理要求;编制、整理质量划分表以及质量检验记录表格;编制施工组织设计、主要施工方案;

(5) 系统安装过程中施工前须进行技术交底,形成交底记录;施工过程中,确保按图施工,形成相关记录;对不符合项进行返工;及时做好质量检验记录;

(6) 电气试验必须由有资质的电气试验单位和试验人员进行,并提供单位和人员资质证书复印件归档;试验结束后,试验单位提供满足要求的完整的试验报告;

(7) 系统的调试包括调试和试运行两个阶段,调试前组织对整个系统进行检查,所有分项工程必须已经完工并完成了相应的水压试验、电气试验等,且电气接入系统建设完成并通过验收。所有检验项目达到可以投入运行的条件情况下,依据调试大纲要求进行调试;

(8) 项目调试之前还须编制好运营人员培训教材,调试阶段是最好的培训时机,通过实践操作,可以产生良好的培训效果;

(9) 工程结尾阶段做好工程竣工质量检验并做好相应质量验收资料收集、整理;编制、收集、整理、保管、归档竣工资料。

## 2.4 安全管理

安全管理是最为关键的重点管理,在沼气工程中由于可燃气体危险性大,物体打击也较多,所以第一步需要整理危险源。

### 2.4.1 危险源评价

危险源评价方法采用直接判断法(a、b、c、d、e)及作业条件风险性评价法(f)相结合的方法,先直接判断是否重大风险,属于 a、b、c、d、e 任意一条的就是重大风险;如不能判定,采用作业条件风险性评价法 f,如评价得出风险为 3 级及以上,为重大风险。

a. 不符合法律、法规和其它要求的; b. 相关方有合理抱怨和要求的; c. 曾经发生过事故,且未采取有效防范、控制措施的; d. 直接观察到可能导致事故的风险,且无适当控制措施的; e. 为有关法律、法规及其它要求规定的重大风险源; f. 依据作业条件风险性评价的结果,属于显著风险(三级)及其以上级别的风险。

作业条件风险性评价法(简称  $D = LEC$ ),用与

系统风险率有关的三种因素指标值之积来衡量风险大小。

这 3 种因素是: L 表示发生事故的可能性大小; E 表示人体暴露在这种风险环境中的频繁程度; C 表示一旦发生事故会造成的损失后果; D 表示作业

条件危险性, D 值大, 说明该系统风险性大, 需要增加安全措施, 或改变发生事故的可能性, 或减少人体暴露于风险环境中的频繁程度, 或减轻事故损失, 直至调整到允许范围。

各因素分数值及程度对应见表 2 所示。

表 2 作业条件风险性评价法因数表

事故发生的可能性(L)		暴露于危险的频繁程度(E)		后果(C)		风险(D)		风险级别
分数值	可能性	分数值	暴露频繁程度	分数值	后果严重程度	分数值	风险程度	
10	完全可以预料	10	连续暴露	100	大灾难, 许多人死亡(10人以上含10人)	320	极其危险, 不能继续作业	1
6	相当可能	6	每天工作时间内暴露	40	灾难, 数人死亡(3-9人)	160~320	高度危险, 需要立即整改	2
3	可能, 但不经常	3	每周一次, 或偶然暴露	15	非常严重, 1-2人死亡	70~160	显著危险, 需要整改	3
1	可能性小, 完全意外	2	每月一次暴露	7	重伤	20~70	一般危险, 需要注意	4
0.5	很不可能, 可以设想	1	每年几次暴露	3	轻伤	20	稍有危险, 可以接受	5
0.2	极不可能	0.5	非常罕见地暴露	1	轻微伤害			
0.1	实际不可能							

由此可以整理出本项目的危险源辨识与风险评价结果, 本项目部分风险评价结果如下表 3 所示。

表 3 本项目部分危险源辨识与风险评价结果一览表

序号	危险源	可能导致事故	现有风险控制措施	风险评价方式				风险级别	
				a - e	作业条件风险性评价法 f				
					L	E	C		D
1	安全技术措施施工方案	各种伤害	按规定进行编制、审批	a					1
2	安全设备、设施及防护用品等未检查经验收擅自使用	各种伤害	严格执行验收制度		3	2	15	<20	5
3	氧气、乙炔管混在一起或混用	火灾、爆炸	安全教育、安全交底、严格执行工作票制度		1	1	40	<70	4
4	夜间作业时在大功率照明前放易燃物品	火灾、爆炸	安全教育、安全交底、严格执行工作票制度		1	1	40	<70	4
5	焊机地线搭接在生产设备或可燃介质管道上	火灾、爆炸	安全教育、安全交底、严格执行工作票制度		1	1	40	<70	4
6	吊装无方案或吊装方案未通过审批	起重伤害	安全技术交底、专项安全检查、应急措施		1	1	15	<20	5
7	电焊机未设“一机一闸”, 无漏电保护器	触电、火灾	安全技术交底、安全检查		1	3	15	<20	5
8	乙炔瓶在使用时倒置	火灾、爆炸	安全技术交底、安全检查		1	1	15	<20	5
9	熔焊铜、锌、锡、铅及其合金时无排尘设备	中毒尘肺病	安全技术交底、安全检查		1	1	15	<20	5
10	未经许可在运行中的高温设备、管道上作业	爆炸、灼伤	安全技术交底、安全检查		1	1	15	<20	5
10	保温作业人员未戴口罩, 工作服不符合要求	尘肺病皮肤病	安全技术交底、定期体检		1	1	15	<20	5
11	未严格按照要求进行试压, 升压、降压速度过快	各种伤害	安全技术交底、专项安全检查、办理工作票、应急措施		1	1	40	<70	4
12	试压过程中未按要求进行阶段性巡查, 或发现变形、渗漏或异响等未及时停止试压	各种伤害	安全技术交底、专项安全检查、办理工作票、应急措施		1	1	40	<70	4
13	无调试方案或方案未审批	各种伤害	严格按相关制度流程执行		1	1	15	<20	5
14	发电机组运行保温破损或不符合要求	灼(烫)伤	严格按相关制度流程执行		3	1	15	<20	5
15	未按规定程序试压导致可燃气体泄露	中毒	严格按相关制度流程执行		3	1	15	<20	5

### 2.4.2 危险源检测与管理

施工中使用一些仪器对环境中的有毒有害气体、高温、噪声环境等进行监测(见图2~3)。如果一旦超标需要及时暂停施工。



图2 沼气分析仪监测可燃物及硫化氢含量



图3 红外测温枪监测物体表面温度

## 3 干系人管理协调

### 3.1 识别内外部干系人

第1步: 尽量完整且全面地从各个角度识别出

项目有关的全部干系人;

第2步: 根据识别出的干系人, 整理基本信息: 姓名, 级别, 权利范围, 职能范围, 影响力, 个人性格, 邮箱电话等;

第3步: 分析每个干系人对于项目的影 响, 积极或者不积极, 有利或者有害;

第4步: 对于不同的干系人做不同的干系人管理方案。

干系人识别样表请见表4。

表4 干系人识别样表

客户类别	部门/职务/姓名	背景信息	电话	E-mail
外部 A	最终用户运行主管	负责全厂运行, 此工作岗位数十年, 沟通成本较大。	***	***
外部 B	最终用户设备主管	负责全厂设备维护, 在岗时间约3年, 人脉关系简单, 有足够专业知识, 特别是电气方面。	***	***
外部 C	最终用户运行人员	共计4班组各2人, 人员多为本地人, 知识水平一般, 操作经验一般, 多注重简单表面问题。	***	***
外部 D	总包项目经理	施工管理数十年, 以前主要从事土建行业, 沼气系统专业知识不足, 主要在沟通协调解决问题, 话语权大。	***	***
外部 E	总包设计经理	专业知识丰富, 人脉也较多, 与最终用户及我司人员, 专家组等认识较多。	***	***
外部 F	总包施工管理人员	安装, 电气管理人员各一人, 不懂本专业, 管理粗放。	***	***
内部 A	设计人员	工艺设计师与电气设计师人员均有十年以上从业经验, 沟通方面尚可。	***	***
内部 B	施工人员	管理经验足, 持证上岗, 沟通些能力强, 有大项目管理经验。	***	***
内部 C	财务及各部门管理人员	均在岗多年, 对公司制度深入自己内心, 难以变通。	***	***

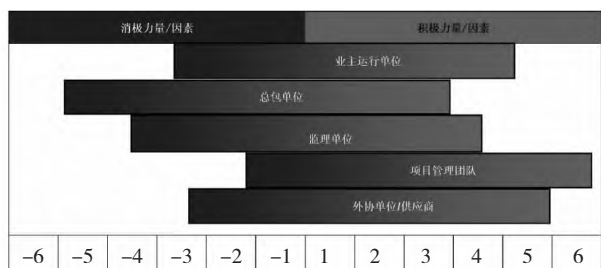


图4 正负力道分析图

结合干系人识别及干系人的实际影响, 分析可得到正负力道分析图, 见图4所示。

### 3.2 干系人分析矩阵

干系人的识别及正负力道的分析后, 需要进一步对干系人进行分析, 列出干系人分析矩阵如表5所示。

### 3.3 干系人沟通管理计划(5W原则)

不同的干系人, 根据起到的作用大小以及正负

力道,需要有独特的跟进沟通方式,对每个干系人的沟通管理可见干系人沟通管理计划表6。

表5 干系人分析矩阵

干系人	干系人在项目中的利益	影响评估	策略:建立互信、友好的合作关系,减少沟通阻力,提升项目支持
外部 A	在合同中约定的时间和投资目标下完成	高	使其对我方工程能力认可,减少他们内部因素对我们的干扰,支持有利我方变更申请,影响服务满意度评判。
外部 B	在合同中约定的时间和投资目标下完成,项目按进度交付,按合同规定履约,完成工作指标。	高	无障碍沟通,获得项目总体进度及关键节点支持与推动,赢得项目变更支持,影响服务满意度评判。
外部 C	保证后期正常使用设备,不喜欢设备经常损坏,减少他们的操作。	中	使其对我方面设备满意,减少对方的投诉,尽量小问题对方自己解决。
外部 D	设备满足合同要求,所选设备得到其认可,主要技术方案得到其认可;按节点收到进度款。	高	施工方案充分与其沟通,首先得到其认可,有关现场方案,包括变更等,主要通过他与其他相关人员沟通;充分评估工程需要及成本,以决定是否需要租赁该卡车,保持良好沟通。
外部 E	设备满足合同要求,所选设备得到其认可,主要设计方案得到其认可,选型设备及运行符合要求。	高	让其相信我司所选设备完成满足业主单位现有技术标准和运行要求,提供最优的技术方案;按时、按节点向其支付进度款。
外部 F	符合项目管理流程,方案满足合同要求,项目管理无纰漏,在规定的时间内完工。	中	合理按时汇报工作,适时沟通,加强双方的信任感。
内部 A	项目激励+客户满意度	高	督促检查设计图纸,提高主观能动性,让其相信这个项目的重要性,为工作生涯带来新的光彩点。
内部 B	项目激励+客户满意度	中	督促检查施工管理工作,提高主观能动性,让其相信这个项目的重要性,为工作生涯带来新的光彩点。
内部 C	完成项目目标	中	以亲切沟通为主,不轻易通过领导层解决问题,尽量配合对方,也提请对方项目执行的困难,请求变通配合。

表6 干系人沟通管理计划

干系人员 (Who)	事件 (What)	阶段 (When)	方式 (How)	原因 (Why)
外部 A	项目进度状态及项目目标、项目计划、进度,异常处理,需要业主方协助完成的工作。	全阶段	所有方式	对项目重大决策和变更有决定性因素,影响项目利润的最大化,影响后期项目获得,对项目整体满意度有评判权。
外部 B	项目进度状态及项目目标、项目计划、进度,异常处理,需要业主方协助完成的工作。	全阶段	所有方式	获得项目总体进度及关键节点支持与推动,推动变更发展的主要因,影响项目利润的最大化,对项目整体满意度有评判权。
外部 C	项目完工审批	试运行阶段	口头	主要影响施工进度、成本
外部 D	项目进度状态及项目目标、项目计划、进度异常处理;项目技术方案,设备等。	全阶段	所有方式	影响项目技术方案、设备审批
外部 E	项目设计及执行要求	全阶段	所有方式	对合同执行流程、图纸、设计有决定权,影响到项目全过程进度及成本。
外部 F	项目完工审批	施工开始至工程结束	口头	影响项目执行过程中,与当地社区的关系维持。
内部 A	设计方案满足性及方案的优化、设计难点、质量安全策划。	全阶段	所有方式	影响设计方案经济和工程质量、影响技术文件审批时间、影响项目进度。
内部 B	现场施工及安装符合标准要求,确保现场所有工作正确进行。	施工阶段	所有方式	影响工程质量及减少二次返工风险,保证高标准,高质量交付工程。
内部 C	项目目标、计划、利润、风险	全阶段	口头	影响项目决策,能决定公司资源投入支持。

#### 4 结论与建议

综上所述,规模化生物质热电联产沼气发电系统工程管理不同于单台小机组的安装,因为不管是设计量、安装量都不比寻常。尤其是超过 3 MW 的单台开放式机组的安装,需要结合很多的现有经验来管理。体量大的同时带来了余热回路、散热、电气控制等方面的问题,尤其是沼气环境下,对于腐蚀、

冷凝、温湿度问题需要格外注意。在施工阶段合理组织,提高检查手段以及方式方法。

规模化生物质热电联产沼气发电系统工程管理既有一些通用的管理难关,比如成本、进度、质量、安全的平衡问题,也有一些新的问题比如安全管理更为复杂,进度安装不得强抢工期、交叉作业更多等问题。尊重科学,也要善于利用科学管理的手段,不断完善项目管理的水平。