

分布式能源在医院和宾馆的应用

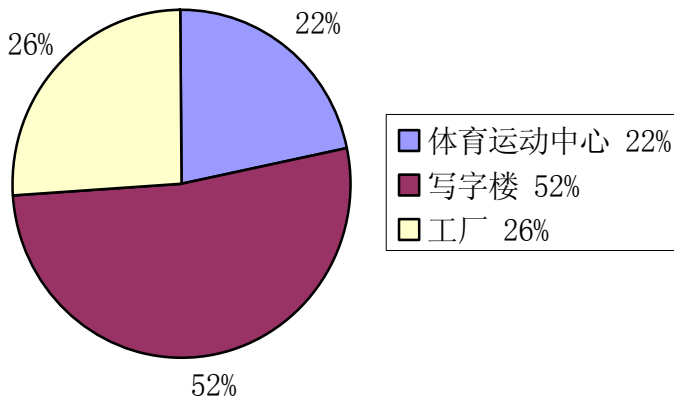
中国建筑科学研究院空调所 李先瑞

一、发展分布式能源的意义

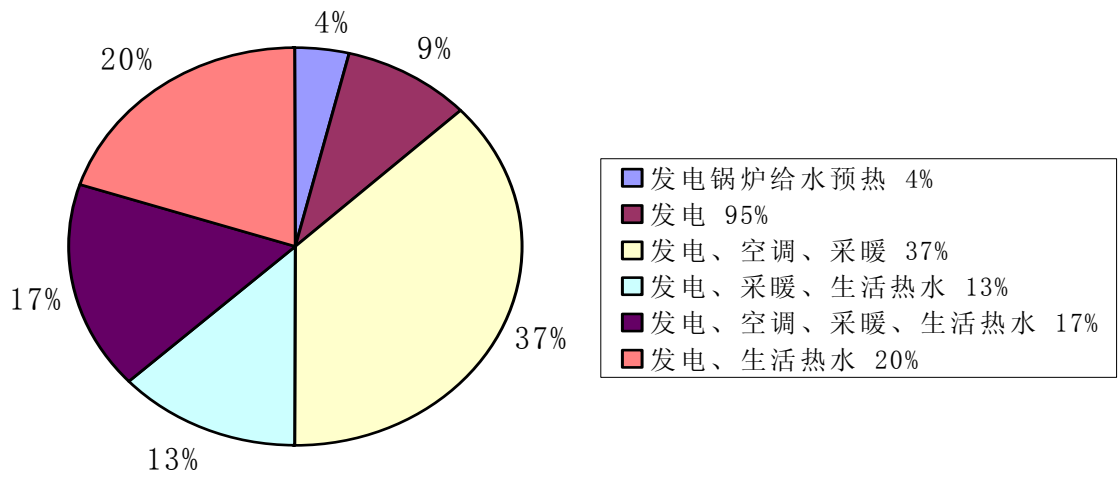
- 节能是国策
- 随着能量持续增长（工业用能有减少倾向，但生活用能有增大的趋势），必须持续地促进能量使用合理化。
- 制冷、空调、采暖、生活热水用能的特点：
 - 占生活用能的比重约为 60%。
 - 要求的温度较低可在 100℃ 以下。
 - 直接用高温的燃烧热制冷、空调、采暖，从热的利用上是不合理的。
- 燃气引擎（燃气透平）发电+用引擎（透平）排热制冷、采暖、生活热水的热电联产系统是能量合理利用的典范，热的综合利用率高。
- 随着今后生活用能的增加和生活水平的提高，为了节能，必须采用燃气分布式能源方式。
 - 采用分布式能源方式时，要解决如下问题：
 - 发电量和需要量之间的平衡
 - 引擎（透平）排热和采暖、制冷、生活热水用量之间的平衡
 - 当平衡不好时，多余的热量只能排出，增大了系统能耗
 - 根据建筑物的用途、规模、所处环境找出最合适的分布式能源系统

二、分布式能源发展概况

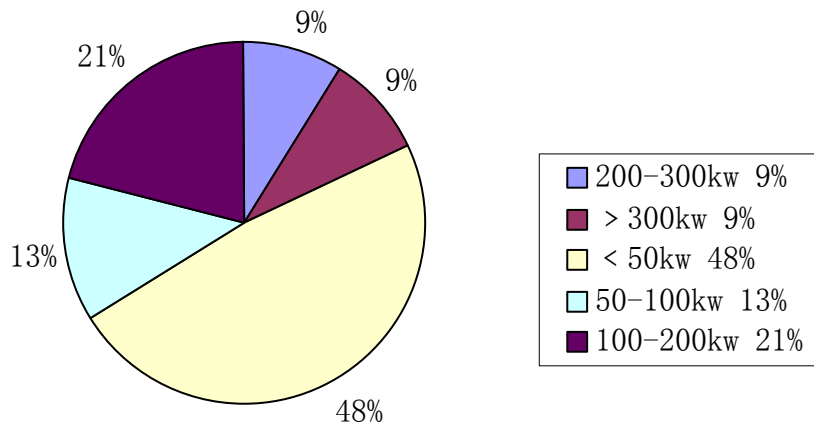
- 适用建筑物 在已建分布式能源系统中写字楼占 50%，其次是工厂、体育运动中心。



• 按负荷用途分类 排热的利用多种多样



• 按发电容量规模分类



三、分布式能源在医院建筑中的应用

• 医院病床数为 390、800、1200 时，峰值负荷和可采用的分布式能源系统如下表所示：

病床数	燃气引擎发电		燃气透平发电		比较系统合同电力	峰值负荷	
	发电机容量×台数	合同电力	发电机容量×台数	合同电力		空调	采暖、蒸气、生活热水
390	100kw×1台	593kw	200kw×1台	508kw	974kw	952.4Mcal/h	2190.2Mcal/h
	200kw×1台	490kw	200kw×2台	328kw			
	200kw×2台	269kw	200kw×1台	503kw			
800	200kw×1台	1194kw	200kw×1台	1179kw	1948kw	1904.8Mcal/h	4380.4Mcal/h
	200kw×2台	943kw	200kw×2台	1003kw			
	200kw×3台	741kw	400kw×1台	982kw			
			400kw×1台*	982kw			
1200	300kw×1台	1789kw	500kw×2台	1089kw	2922kw	2857.2Mcal/h	6570.6Mcal/h
	300kw×2台	1412kw	1000kw×1台	1067kw			
	300kw×3台	1110kw	1000kw×1台*	1067kw			

注：*从燃气透平排气锅炉中的排气中进行热回收时。

• 医院能耗（全年消耗热量 Mcal/m²·a）

种类		平均值	上限	下限
重油	采暖	127.8 (20.3)	165	86.5
	工艺	221.8 (35.4)	301	94
	小计	349.6 (55.7)	466	180.5
电力	制冷	47.0 (7.5)	89	23.5
	一般	207.0 (33)	379	10.5
	小计	254.0 (40.5)	468	128.5
燃气		22.5 (3.6)	43	7.8
合计		625.1 (100)	830	330

注：（）内表示%

• 医院耗热量约比写字楼热耗量大 50%，属多耗热量大楼
 • 工艺、采暖能源为油，工艺用能主要用于生活热水、调理、灭菌、洗濯等医疗业务上，约占总耗热量的 1/3。其中生活热水耗热量最大。

• 使用蒸汽压力与使用机器有关，一般为 7-0.4kg/cm²。

- 除洗衣机、高转速蒸汽灭菌器、干燥机等外，一般使用 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下的低压蒸汽。

- 生活热水用蒸气量的变化冬季大，夏季小，星期六、星期日少，平日多。

- 蒸汽耗量日变化，早晨产生大的峰值，9~10 时第二次产生大的峰值。

- 用电量夏季大，冬季小；平日多，星期六、星期日少。夏季主要用于驱动制冷机。

- 医疗器械太多已电子化，对电压、频率数有严格的要求。而联产供给电力的质量在启动、转换时很难保证它的质量。此外，医院内电灯和万用插座是通用的系统，医疗器械大多和万用插座相联。故必须采用商用电源。

- 单位建筑用电量 (kwh/m^2)

NO	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年间
Δ 001	10.50	10.80	8.27	9.18	8.47	11.07	13.17	15.55	14.19	9.68	10.35	11.47	132.70
002	9.10	10.22	9.08	9.23	8.72	10.54	13.81	17.44	15.98	9.92	9.72	10.05	133.81
004	4.97	4.75	5.08	4.67	4.59	6.56	9.94	10.26	8.49	4.53	4.54	5.07	73.45
005	6.21	6.43	5.74	5.80	5.04	5.81	7.22	9.84	8.56	5.36	5.33	6.04	77.38
006	3.28	4.08	3.85	3.68	2.74	2.86	4.23	7.60	7.20	5.84	2.99	2.94	51.29
007	4.75	4.31	4.33	3.41	3.12	3.49	5.41	5.87	5.17	3.59	3.82	4.83	52.20
008	12.81	12.12	12.88	12.94	15.65	19.16	24.33	26.83	22.86	16.12	13.37	14.10	203.37
009	10.86	8.78	8.85	4.96	3.93	3.70	4.67	8.46	6.06	4.04	4.80	7.70	76.81
010	3.45	2.87	3.17	2.89	2.70	2.92	4.31	7.66	6.14	3.02	2.83	2.86	44.82
011	5.37	5.84	5.26	5.40	4.84	7.56	9.36	15.29	14.78	5.67	5.29	5.74	90.40
012	8.59	7.36	5.14	7.51	7.03	9.71	12.58	17.67	15.94	8.69	7.85	7.89	115.96
014	6.64	5.56	5.53	5.51	5.30	5.12	7.01	12.02	11.88	6.84	4.85	5.33	81.59
015	15.51	14.45	15.83	12.04	9.66	19.45	27.63	30.87	24.08	10.68	12.81	15.69	208.70
016	6.72	6.14	5.89	4.67	4.42	4.04	5.24	12.33	12.51	7.76	4.89	5.42	80.03
017	10.99	12.26	10.95	9.43	7.07	10.14	15.93	18.68	16.15	8.06	10.82	11.97	142.45
Δ 018	4.29	4.36	4.36	4.29	4.58	4.65	6.21	8.87	7.91	4.88	7.31	7.02	68.73
Δ 019	12.11	12.73	13.21	12.90	11.36	17.29	23.47	28.58	24.95	13.03	13.04	12.61	195.28
020	5.45	4.83	4.66	4.58	4.65	4.40	5.62	7.58	7.18	6.02	3.91	4.46	63.34
平均	7.87	7.66	7.34	6.84	6.33	8.25	11.12	14.52	12.78	7.43	7.16	7.84	105.13

- 使用吸收式制冷机，夏季用电量不增加，但冷水泵、冷却水泵和冷却塔需用电。

- 冬季与夏季用电量的差主要为制冷用电量。

- 电灯用灯与季节关系不大。

- 动力夏季最大，其次是冬季，过渡季最小。
- 日用电量，从 6 时开始增加，至 11 时为最初的峰值，下午 2 时为第二峰值。

四、医院建筑采用分布式能源的可行性分析

• 负荷计算

计算全年四个期间及每个期间的平日、星期六、星期日的用电量、用热量

期间	1	2	3	4
月	12, 1, 2	11, 3	4, 5, 6, 10	7, 8, 9

• 热源和补机的电量和热量与冷、热负荷有关，通过模拟方法计算。

• 空调热负荷

- 门诊部、住院部、诊疗部、管理部等用途不同、负荷不同。
- 不同空调时间带、空调负荷不同，但可按 4 个区（住院、门诊、手术、ICU）分类求出负荷。800 床、1200 床分别是 390 床的 2 倍、4 倍。

• 系统和运行方式

- 分为燃气引擎（GE）发电和燃气透平（GT）发电两类，同时考虑与商用电源并联。

• GE 发电的构成

- GE——驱动发电机发电
- 排热回收装置——以热水的形式回收引擎排热供给热水
- 利用排热的吸收式制冷机——用引擎排热驱动，供给冷水
- 燃气吸收式制冷机（直燃机）——用燃气燃烧热驱动，供给冷水或热水。
- 蒸气锅炉——供给工艺用蒸气

• GE 运行方式

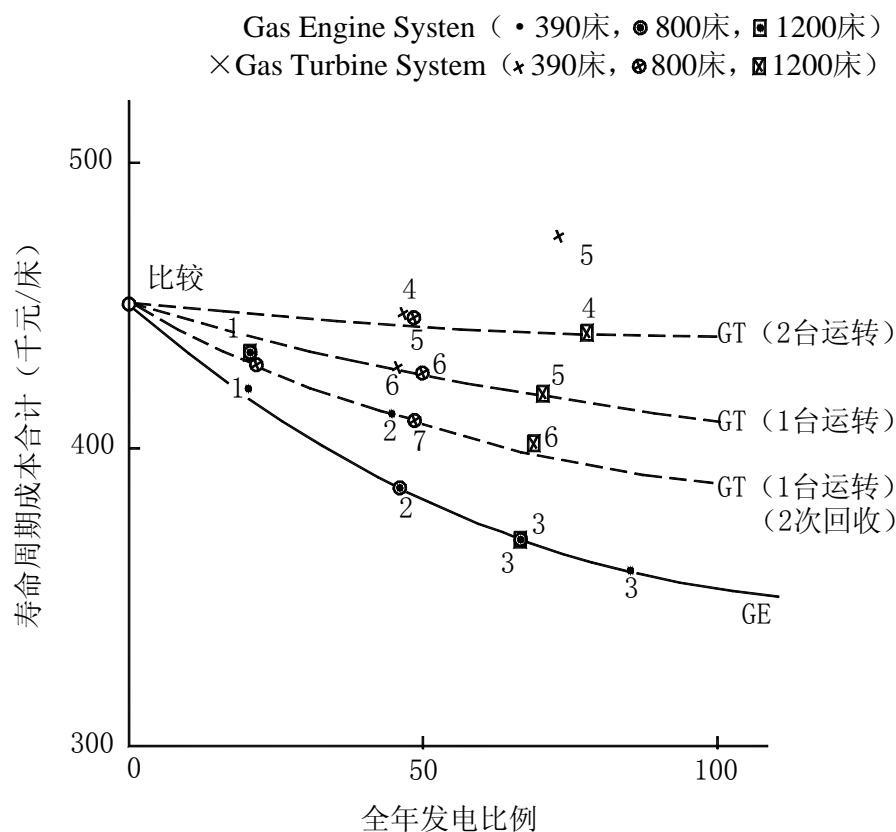
- 耗电量 > 发电能力时，GE 全负荷运行，多余排热向大气放热。
- 耗电量 < 发电能力时，购买电力控制在合同电力内，通过台控制使之在全负荷条件下运行。
- 耗电量 < 合同电力时，原则是提高发电机的运行率。

• GT 发电的构成

- 通过与透平连接的排气锅炉供给工艺、双效吸收式制冷机、

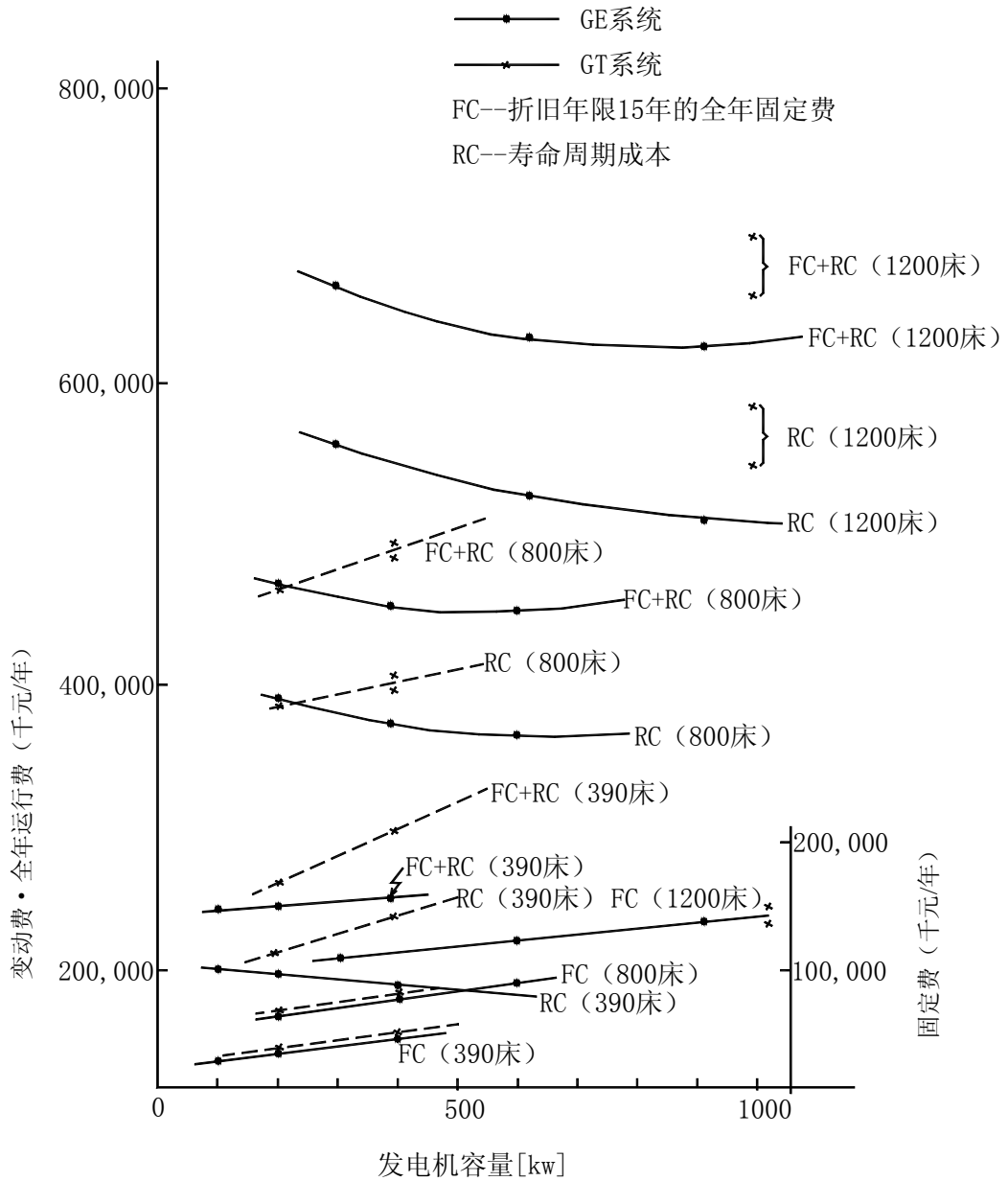
采暖用热水的热交换器和蓄热槽等所需蒸汽。

- 运行方式与 GE 相似。但控制范围的下限：
GE 为 25%，GT 为 50%（GT 部分负荷效率低）
- 从 GE 回收热量：
 - 在期间 1、2 时，排热利用的顺序是吸收式制冷机→生活热水→采暖，若尚有余热则向大气排放。
 - 在期间 3、4 时，排热利用的顺序是采暖→生活热水→吸收式制冷机，若尚有余热则向大气排放。
- 从 GT 回收热量
 - 由于从排气锅炉中回收的是 8.5kgf/cm^2 的蒸汽，故使用顺序可不排序。
- 寿命周期成本
 - 单位床数的寿命周期成本和全年发电比例（相对于全年电力负荷的发电量比例）



- 当发电量比例增加时，全年寿命周期成本降低。
- GE 发电时，全年寿命周期成本与台数无关，但 GT 发电时，该曲线与台数有关。

- 全年固定费、变动费、全年运行费。



- GE 发电时，390 床时，几乎与发电机容量无关，但在 800 床、1200 床时，则在相当于建筑物峰值负荷约 60%，即 500kw、700kw 时，经济性最好。
- 全年电力负荷比，在 800 床、1200 床时均为 0.7。
- 投资回收年数
 - 比较系统：离心式制冷机+蒸汽锅炉
吸收式制冷机+蒸汽锅炉

•投资回收年数——两系统投资额的差除以全年寿命周期成本差即为投资回收年数。

床数	GE 发电回收年数			GT 发电回收年数		
	发电机容量×台数	吸收制冷机+锅炉	比较系统**	发电机容量×台数	吸收制冷机+锅炉	比较系统**
390	①100kw×1台	3.3	0.3	④200kw×1台		
	②200kw×1台	8.9	3.7	⑤200kw×2台		
	③200kw×2台	6.1	4.2	⑥200kw×1台		14.9
800	①200kw×1台		1.3	④200kw×1台	18.9	2.1
	②200kw×2台	3.1	1.6	⑤200kw×2台		
	③200kw×3台	3.7	2.4	⑥400kw×1台		6.6
				⑦*400kw×1台	7.2	3.3
1200	①300kw×1台		1.6	④500kw×2台		
	②300kw×2台	3.3	1.7	⑤1000kw×1台		7.3
	③300kw×3台	4.0	2.5	⑥*1000kw×1台	9.4	4.4

注：*从燃气透平排气锅炉的排气中回收热量。

**（离心制冷机+锅炉）

五、燃气透平分布式能源在宾馆、饭店建筑中的应用

•建筑概况：地下1层，地上14层，屋顶2层；标准层面积1435m²；总建筑面积25270m²，宴会厅等3000m²。

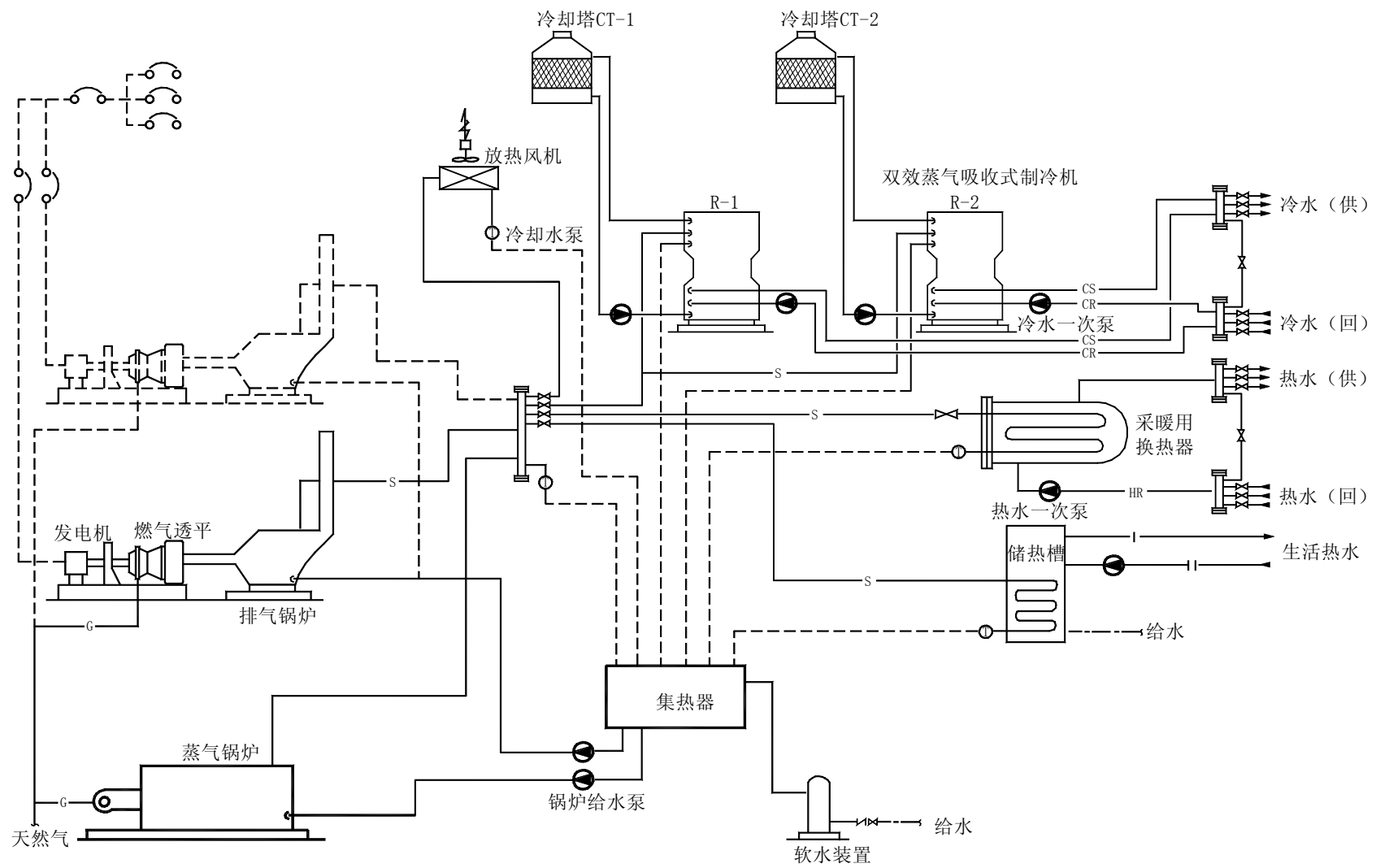
• 峰值负荷

制冷负荷	1909.0 Mcal/h (8/26)
采暖负荷	1709.3 Mcal/h (2/14)
生活热水负荷	719.6 Mcal/h (1月)
电力负荷（热源补机电力除外）	710 kw

• 全年负荷

制冷负荷	2215.3 Gcal
采暖负荷	2415.0 Gcal
生活热水负荷	1996.0 Gcal
电力负荷（热源补机电力除外）	5189.7 kwh

• 可行性研究
燃气透平系统



系统	发电机总容量（容量×台数）	有无二次回收
1	200kw（200kw×1）	×
2	200kw（200kw×1）	○
3	400kw（200kw×2）	×
4	400kw（200kw×2）	○
5	400kw（400kw×1）	×
6	400kw（400kw×1）	○
7	500kw（500kw×1）	×
8	500kw（500kw×1）	○

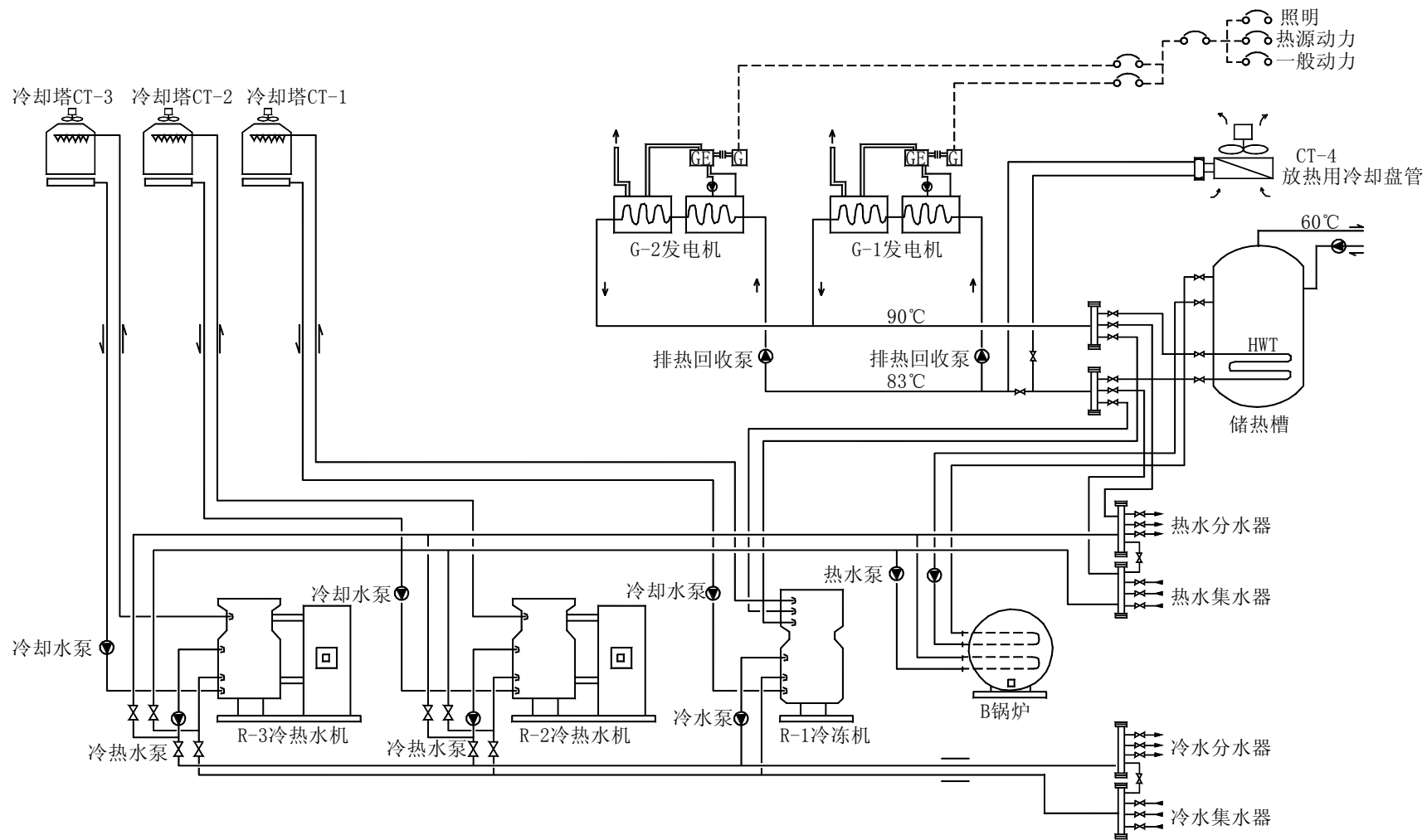
燃气引擎系统

系统	发电机总容量（容量×台数）	有无二次回收
1	100kw（200kw×1）	0
2	200kw（200kw×1）	0
3	300kw（300kw×1）	0
4	400kw（200kw×2）	1
5	600kw（200kw×3）	1
6	600kw（300kw×1）	1
7	400kw（400kw×1）	1
8	500kw（500kw×1）	1

燃气透平系统设备容量

系统	双效吸收式制冷机	蒸气锅炉
1	331USRT（1000 Mcal/h）×2	2704 Mcal/h
2	331USRT（1000 Mcal/h）×2	2575 Mcal/h
3	331USRT（1000 Mcal/h）×2	2301 Mcal/h
4	331USRT（1000 Mcal/h）×2	2044 Mcal/h
5	331USRT（1000 Mcal/h）×2	2356 Mcal/h
6	331USRT（1000 Mcal/h）×2	2142 Mcal/h
7	331USRT（1000 Mcal/h）×2	2194 Mcal/h
8	331USRT（1000 Mcal/h）×2	1938 Mcal/h

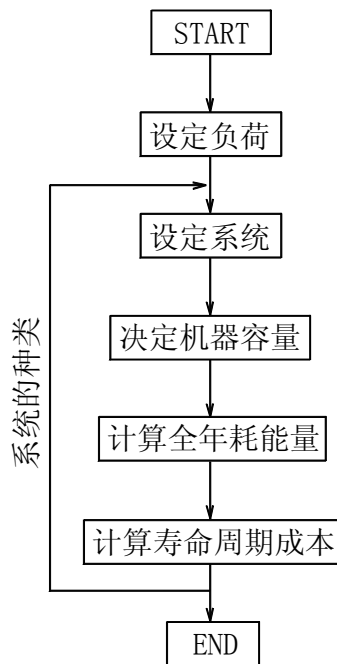
• 系统流程



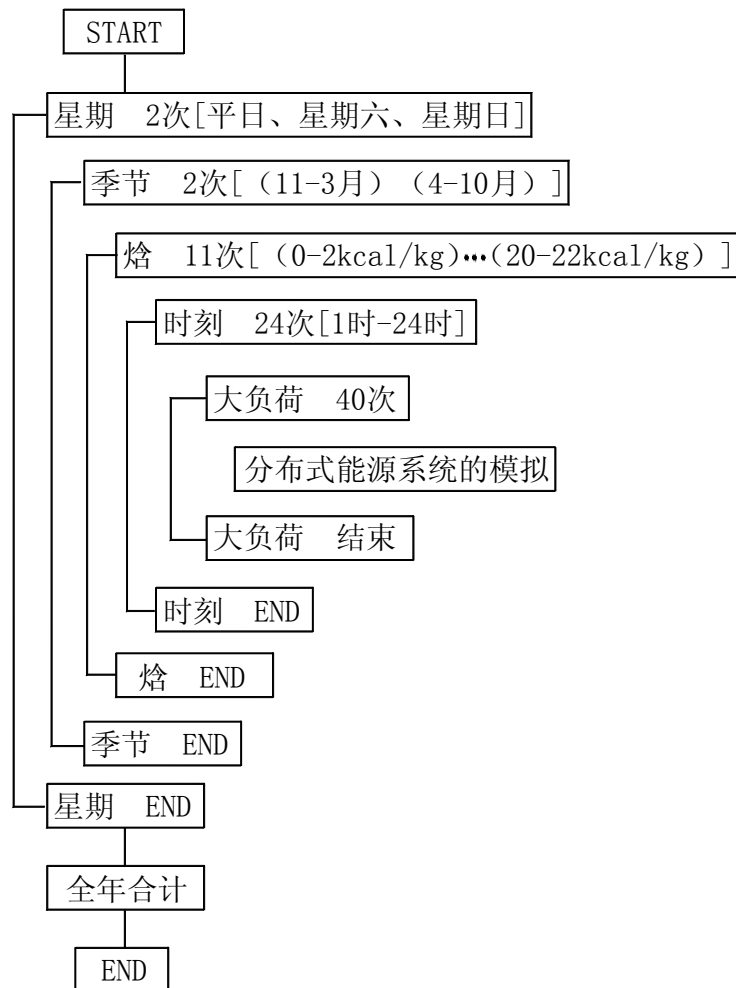
燃气引擎系统设备容量

系统	R-1 排热回收	R-2 双效冷热水机		R-3 双效直燃机	热水锅炉
	吸收式制冷机	制冷能力	加热能力		
1		448USRt (1355Mcal/h)	1143Mcal/h	200USRt (605Mcal/h)	923Mcal/h
2		"	1143Mcal/h	"	833Mcal/h
3		"	1143Mcal/h	"	743Mcal/h
4	99USRT (300Mcal/h)	"	1143Mcal/h	"	653Mcal/h
5	149 USRT (450Mcal/h)	"	1143Mcal/h	"	473Mcal/h
6	149 USRT (450Mcal/h)	"	1143Mcal/h	"	473Mcal/h
7	99USRT (300Mcal/h)	"	1143Mcal/h	"	653Mcal/h
8	124USRT (375Mcal/h)	"	1143Mcal/h	"	563Mcal/h

- 比较系统
 - 直燃机+蒸汽锅炉
 - 离心式制冷机+蒸汽锅炉
- 可行性研究方法
 - 计算方法流程



• 全年耗电量的计算流程



• 发电机运行方法

- 满足电力负荷的运行方式（电主热从运行）
- 满足热负荷的运行方式（热主电从运行）
- 在电动机出力接近 100%的运行方式（符合与商用电力并联，不逆送电的方式）。

即当电力负荷达到 80%时采用断开台数的运行方式，当夜间电力负荷大量减少时，发电机停止运行。

• 可行性研究结果：

热平衡：GT、GE 输入天然气量约 9000Gcal，但，由于原动机效率、排热回收不同，热的利用状态电不同。

GT： 轴功率 17.6%（发电机损失 1.5%，电力 16.1%）

回收排热（蒸汽）42.7%（生活热水 22.6%，采暖 12.6%，制冷）

回收排热（热水）13.7%（制冷 13.1%）

不能回收 26.0%

多余热量 8.1%

GE：轴功率 33.5%（发电机损失 2.8%，电力 30.7%）

回收排热（热水）53.4%（生活热水 20.9%，采暖 12.2%，
制冷 8.3%）

不能回收 12.9%

多余热量 9%

寿命周期费用：

GE：当全年发电比例增加时，寿命周期费用降低

GT：当全年发电比例超过 30%时，寿命周期费用降低。

原因分析：GE 时，即使排热利用率下降，排热量也少，故费用不上升。

GT 时，由于排热量多，不能有效利用排热，故成本上升。

六、今后的发展

- 解决了与商用电源并联问题后将发展更快。
- 使用范围的扩展。
- 解决与商用电源并联时的技术问题。
- 对环境的影响。
- 提高 GE 高温运行时的排热利用率。
- 确立热电联产简易设计方法。
- 热电联产装置标准化的研究。
- 提高可靠性的研究。

以上数据均摘自日本燃气协会燃气引擎总能系统技术研究报告书。