

# 旅馆建筑分布式能源系统的经济性分析

□ 同济大学机械与能源工程学院 (201804) 娄志标 秦朝葵

**摘 要:** 使用动态负荷软件对北京的一个旅馆建筑计算了逐时电力、采暖、制冷、卫生热水负荷,分析了负荷特性并与国内外的负荷指标进行对比。为该建筑配置了6种天然气分布式能源方案和1个传统供能方案,计算了对应的年运行费用与设备初投资;通过经济性分析,得出结论:传统方案初投资比分布式能源系统方案低,但运行费用较高。微燃机配置为2台C65时投资回收期最短。在3种微燃机配置情况下,余热优先供热比制冷的经济性要好。

**关键词:** 天然气 分布式能源系统 旅馆 微燃机 烟气型溴冷机 部分负荷

## Economic Benefits of Distributed Energy System for Hotels

Tong Ji University Lou Zhibiao, Qin Chaokui

**Abstract:** Hourly electricity, heating, cooling and water demand were calculated for a hotel in Beijing. Resultant designing indexes were compared with some recommended values. 6 set of DES (Distributed Energy System) schemes and 1 conventional scheme were configured for the target building. Annual operation costs and initial costs for the proposed 7 schemes were calculated according to hourly demands. Economic analyses show that conventional scheme has a lower initial cost and a higher operation cost, and DES scheme incorporating 2 sets of C65 micro-turbines has shortest pay-back period. Economic benefits for hot water priority turned out to be better than chilling priority, under all the three DES configurations.

**Keywords:** Natural gas distributed energy system hotel micro-turbine flue gas absorption chiller part-load

### 1 概述

天然气分布式能源系统(Distributed Energy System, 以下简称DES)以微燃机、内燃机、燃气轮机等为原动机,发电的同时回收余热、进行综合利用<sup>[1]</sup>。与常规供能方式相比,DES的设备布置于终端用户处,传输损失少,可同时提供电力、热水、冷水等的生产、存储与转换<sup>[2,3]</sup>。DES具有整体利用率高、

环保效果好等优点,在发达国家已获得广泛运用<sup>[4,5]</sup>。反观国内,在关键设备的低成本化、综合利用技术的优化、电力部门的政策等方面均存在问题,在现有的电力并网政策和价格下,其广泛应用的前景尚不明朗,已建成并长期稳定使用的项目不多,且基本以研究示范为主<sup>[6,7]</sup>。

本文使用动态负荷软件对北京一个旅馆建筑进行逐时负荷模拟,统计了空调、采暖、电力、卫生热水

(以下简称热水)4项负荷,并据此匹配了6种DES系统和1套常规的分供系统,比较了运行费用和设备初投资,分析了DES配置和优化的方法。

## 2 目标建筑负荷特性分析

### 2.1 建立模型

为确保所选旅馆有一定的代表性,建筑模型选用DOE Commercial Building Benchmark - Large Hotel<sup>[8]</sup>,外形如图1所示,总建筑面积11 345m<sup>2</sup>,全为空调区域。共6层、195个房间,根据功能细分为客房、大厅、咖啡屋、设备间、储物间、走廊、洗衣房、宴会厅、厨房等。具体的房间类型、个数、面积见表1。

考虑国内的实际情况,根据文献<sup>[9]</sup>对上述模型做如下修正:

设定地点为北京,导入气象参数文件CHN\_Beijing\_Beijing.545110\_CSWD.epw(其数据以中国气象信息中心气象资料室收集的全国270个地面气象站1971年~2003年的实测气象数据为基础编制)。设置建筑外墙传热系数为0.59W/(m<sup>2</sup>·K),屋面传热系数为0.35W/(m<sup>2</sup>·K),外窗传热系数为3.24W/(m<sup>2</sup>·K),无外遮阳。

由于国内外的热水负荷、电力负荷差别较大,按客房平均居住1.5人,设置热水110L/(d·人),供水温度43℃,设置客房电器设备功率为20W/m<sup>2</sup>,照明设备功率为15W/m<sup>2</sup>。人员、热水、电器设备、照明设备

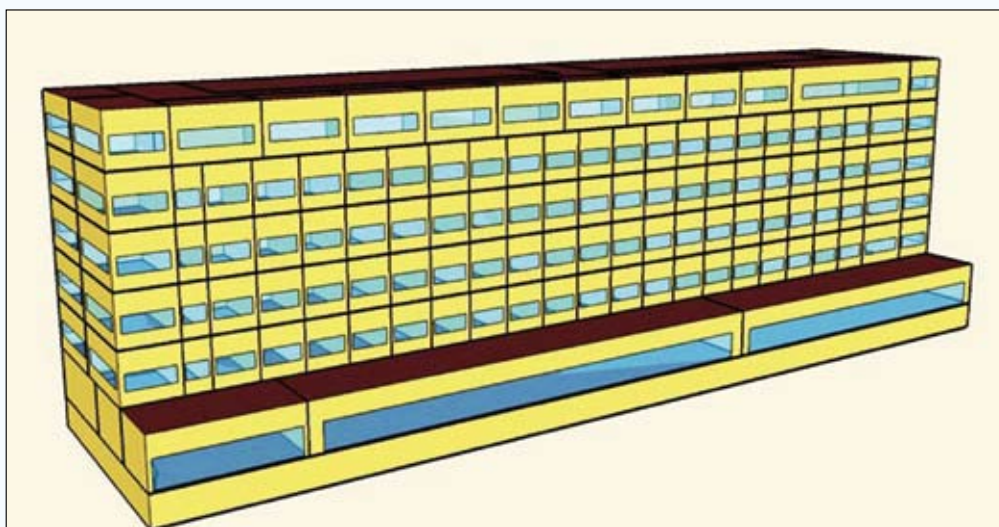


图1 建筑模型外形图

表1 建筑模型功能分区汇总

房间名称	相同房间数	面积 (m <sup>2</sup> )	房间名称	相同房间数	面积 (m <sup>2</sup> )
储物间	1	1 979	大客房 (2-5楼)	16	39
一楼商店1	1	67	小客房 (2-5楼)	152	25
一楼商店2	1	78	走廊 (2-5楼)	4	389
一楼设备间	1	164	大客房 (6楼)	2	39
一楼储物间	1	95	小客房 (6楼)	9	25
一楼洗衣房	1	78	宴会厅 (6楼)	1	332
一楼咖啡间	1	189	餐厅 (6楼)	1	332
一楼大厅	1	1 308	厨房 (6楼)	1	103
			走廊 (6楼)	1	412

等的作息表未做修改。

### 2.2 负荷分析比较

在上述设置前提下，计算全年8 760h的逐时负荷（见图2）。统计采暖、制冷、热水、电力4项负荷。由于电力、热水负荷全年变化较平稳，仅给出7月1日的负荷变化曲线作为参考。

将电力、采暖、制冷、热水4项负荷的单位面积平均值进行统计，并与文献[10]中给出的《日本京都设计指导纲要》指标（以下简称文献[10]指标一）及日本住宅·建筑节能机构（IBCE）指标（以下简称文

献[10]指标二）进行比较。对比可知，由于以上两个指标分别是基于两个不同样本库的归纳统计，本身就存在差异。本文计算的结果相比两个指标，制冷负荷与采暖负荷相差小，而电力负荷与热水负荷相差大。

热水负荷与旅馆的星级、热水系统的完善程度关联甚密。两个指标是基于日本多个旅馆样本的统计值，而本模型是针对北京地区某一旅馆的计算值，所以三者存在一定差别实属正常。差异原因可归结如下：本旅馆模型中有洗衣房、厨房和餐厅等功能房间，其用水量很大，会在一定程度上增加热水负荷。

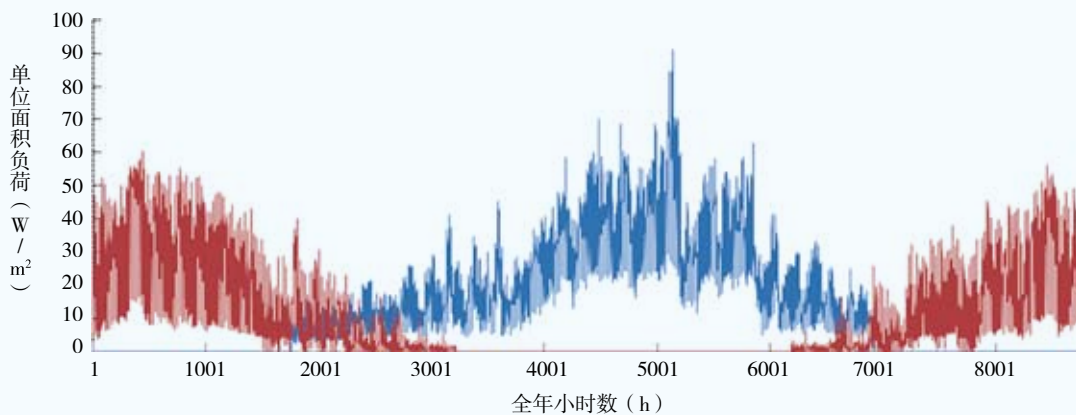


图2 全年逐时采暖、制冷负荷曲线

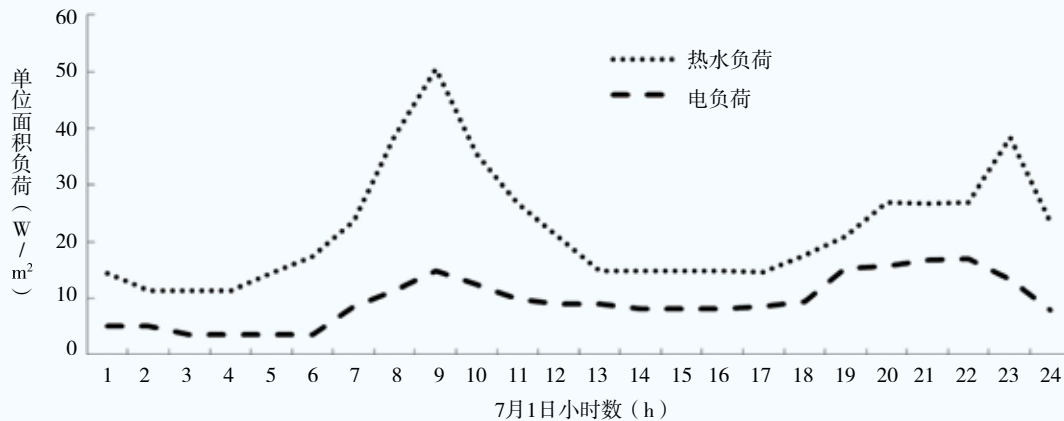


图3 7月1日逐时热水负荷、电负荷曲线

表2 分项负荷单位面积计算值与指标对比

	计算值	文献[10]指标一	文献[10]指标二
电力 (W/m <sup>2</sup> )	18.3		45
采暖 (W/m <sup>2</sup> )	60.6	50~87	93
制冷 (W/m <sup>2</sup> )	90.9	56~84	70
热水 (W/m <sup>2</sup> )	70.1	15~30	29

比较《建筑给水排水设计规范》GB50015-2003中的热水供应指标与实际软件设置情况（见表3）发现，软件设置值基本符合规范要求。

同理，电力负荷与旅馆的星级、灯具是否为节能灯具关联甚密。比较《公共建筑节能设计标准》GB50189-2005中的电器设备及照明功率指标与实际软件设置情况（见表4）发现，软件设置值基本符合规范要求。

综上所述，本文选用DOE商业建筑大型旅馆基准模型为原型，具有旅馆建筑的普遍特征，通过修改，模型符合《国内公共建筑节能设计标准》和《建筑给水排水设计规范》，最终计算结果的电力、采暖、制

冷、热水单位面积负荷与日本纲要指标和IBCE指标的统计结果有一定的可对比性。

### 3 方案配置和费用计算

#### 3.1 方案配置

本文根据微燃机的台数配置不同，分为A、B、C 3组方案；又根据微燃机的余热利用方法不同，分为1、2两类方案，与传统冷热电分供方案0对比。7组方案的设备配置情况如表5所示。

在目前的电网政策下，自发电力无法以合理价格并网<sup>[4]</sup>，故上述DES方案皆“以电定热”，并以10kW

表3 《建筑给水排水设计规范》与负荷软件设置中热水用量及时间情况对比

建筑名称	单位	来自《建筑给排水设计规范》		来自负荷软件设置	
		最高日用量 (L)	用水时间 (h)	最高日用量 (L)	用水时间 (h)
宾馆客房 (旅客)	每床位每日	120~160	24	110	24
宾馆客房 (员工)	每人每日	40~50	24		
洗衣房	每千克干衣	15~30	8	30	8
营业餐厅	每顾客每次	15~20	10~12	25	9
快餐店, 职工食堂	每顾客每次	7~10	11		

表4 《公共建筑节能设计标准》与负荷软件设置中电器、照明功率情况对比

建筑名称	来自《公共建筑节能设计标准》		来自负荷软件设置	
	电器设备功率	照明功率	电器设备功率	照明功率
普通客房 (W/m <sup>2</sup> )	20	15	20	15
高档客房 (W/m <sup>2</sup> )	13			

表5 冷热电分供方案与分布式能源系统配置对比

	方案0	方案A.1	方案A.2	方案B.1	方案B.2	方案C.1	方案C.2
微燃机	无	3台C65	3台C65	2台C65	2台C65	1台C200	1台C200
余热利用	无	优先供热	优先制冷	优先供热	优先制冷	优先供热	优先制冷
		换热器	BDE-20烟气型溴冷机	换热器	BDE-20烟气型溴冷机	换热器	BDE-20烟气型溴冷机
供热锅炉	SK845- 1 750kW	SK845- 14 000kW	SK845- 14 000kW	SK845- 14 000kW	SK845- 14 000kW	SK845- 14 000kW	SK845- 14 000kW
供电电机	2台WSC 471kW	2台WSC 471kW	2台WSC 471kW	2台WSC 471kW	2台WSC 471kW	2台WSC 471kW	2台WSC 471kW

为最小购电量保证供电安全，用微燃机满足最小购电量以外的电力负荷需求。当余热优先供热时，将微燃机的余热优先满足热水负荷，其次满足采暖负荷，再次满足制冷负荷。当余热优先制冷时，将微燃机的余热优先满足制冷负荷，其次满足热水负荷，再次满足采暖负荷。热水负荷及采暖负荷不足部分由供热锅炉补充，制冷负荷不足部分由电动冷水机组补充。

### 3.2 计算约束条件

DES方案中，有关设备的部分负荷运行特性如下：

(1) 微燃机部分负荷特性由厂家样本描述，根据发电功率、发电效率计算燃气耗量、烟气流量和温度，确定烟气焓值。

烟气型溴冷机的部分负荷性能，由厂家样本，拟合COP与部分负荷的关系式(1)进行计算，忽略烟气温度，冷冻水供回水温度变化对其部分负荷特性的影响。

$$y_1 = -0.05x + 0.84 \quad (1)$$

其中 $y_1$ 为BDE-20烟气型溴冷机机组COP， $x$ 为部分负荷率。

(2) 供热锅炉的部分负荷特性由负荷软件自带数据库关联式(2)确定：

$$y_2 = 0.912 * (0.839 + 0.133 * x - 0.170 * x^2 + 0.0475 * x^3) \quad (2)$$

其中 $y_2$ 为SK845-14 000kW锅炉热效率， $x$ 为部分负荷率。

(3) 电动冷水机组的部分负荷特性由负荷软件自带数据库关联式(3)计算：

$$y_3 = 5.89 * (0.278 + 0.234 * x - 0.488 * x^2) \quad (3)$$

其中 $y_3$ 为WSC 471kW电动冷水机组热效率， $x$ 为部分负荷率。

(4) 换热器效率一律按90%计算。

(5) 气电价格根据北京市现行气、电价格计算。气价按商业用气2.84元/m<sup>3</sup>计算。分时电价按表6计算。

本文设备报价来自厂商直接报价。

### 3.3 方案对比结论

将上述7个方案在以上计算边界情况下，计算运行费和设备费：

在上述7个方案中，有3组对比，分别是：传统方案与天然气分布式能源方案的对比，分布式能源方案中微燃机控制台数的对比，及微燃机余热优先满足制冷还是优先满足供热的策略对比。通过对运行费用、设备费用、投资回收期的分析可以得到3组不同的结论。

### 3.4 方案对比分析

#### 3.4.1 传统方案与分布式方案对比

传统方案与分布式方案相比，由于未配置费用昂贵的微燃机，设备初投资费用仅为各分布式方案的28%~43%不等。但是传统方案的运行费用相对较

表6 北京市现行商业用电分时电价

时间(整点)	0~6	7~9	10~14	15~17	18~20	21~22	23~24
电价(元/kWh)	0.391	0.781	1.194	0.781	1.194	0.781	0.391

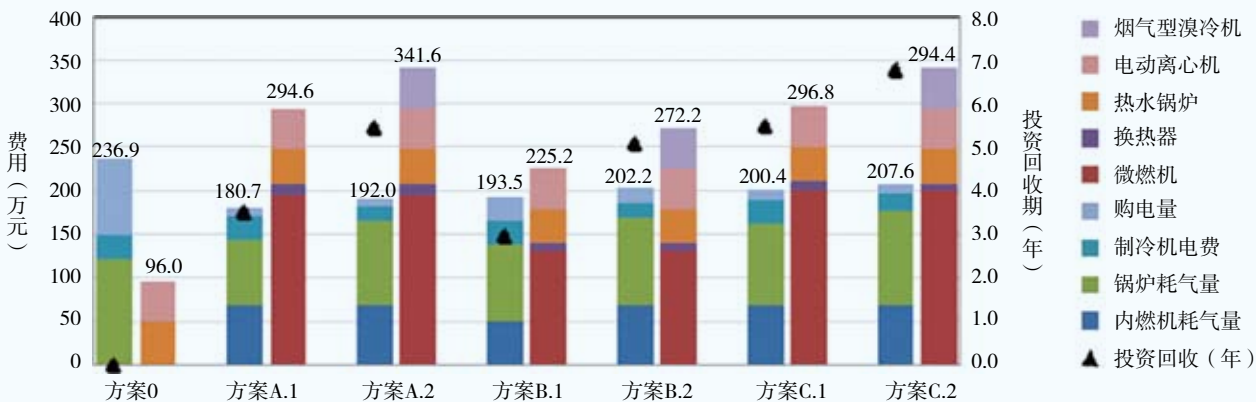


图4 各方案运行费、设备费及投资回收期

高，为各分布式方案的1.1倍~1.3倍不等。通过静态投资回收期的分析可知，各分布式方案的投资回收期为3.0年~6.8年不等。

### 3.4.2 微燃机台数不同对比

在本文中由于余热利用方式优先采暖和优先制冷的控制策略不同，最终形成了1、2两组方案。但从两组方案中都可以得出2台C65优于3台C65优于1台C200的方案，投资回收期呈现渐增的趋势。

为分析原因，选取同一时间段的100h（见图5）对比机组启停情况可知：3台C65相对2台C65而言，启停不均匀，且3台同时开启时间非常少，只用于满足几个尖峰负荷，但由于微燃机价格昂贵，3台机组初投资大，经济性不好。而1台C200非开即关，关闭时间相对多，需要从电网大量购电，且开启的时段C200大部分时间在部分负荷工况下运行，效率低，经

济性也不好。因此，2台C65的方案即能覆盖大部分的负荷时刻，又能将购买的微燃机充分开启，总体经济性最佳。

### 3.4.3 余热利用方式不同对比

在本文中由于微燃机台数的控制策略不同，最终形成了A、B、C 3组方案。但3组方案都可以得出余热优先采暖优于余热优先制冷的结论。

通过设备初投资的各项对比后发现，余热优先制冷方案主要比余热优先采暖方案多出了溴冷机的初投资费用，其它设备投资相当。

而通过运行费用上的对比，发现余热优先制冷的方案也低于余热优先采暖的方案，原因主要是因为溴冷机的COP太低，在旅店建筑热水负荷大，废热能够被利用的前提下，基于北京市现行的气电价格可以得出，余热制冷不经济。

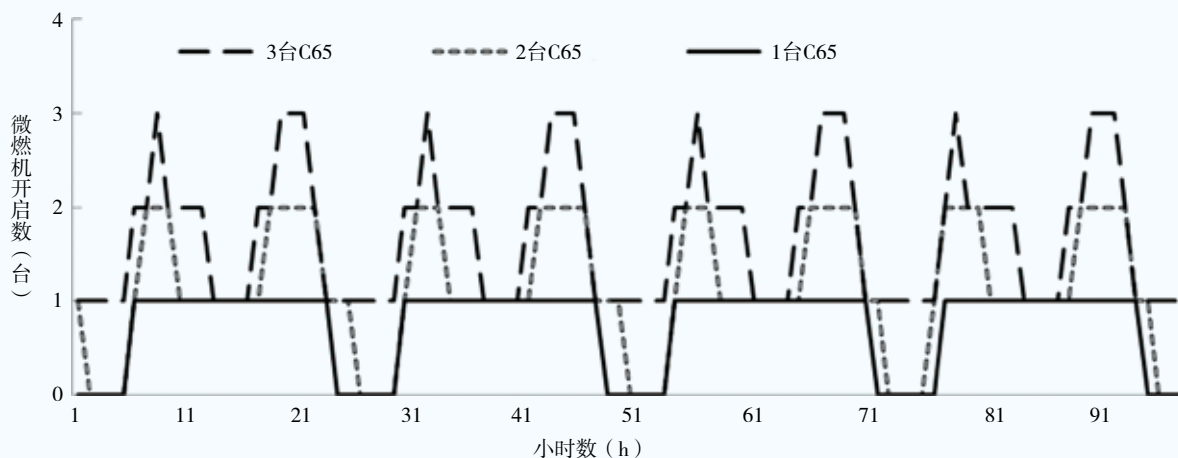


图5 3台C65、2台C65和1台C200的启停表（以100h为例）

表7 各方案费用比较明细表

	方案0	方案A.1	方案A.2	方案B.1	方案B.2	方案C.1	方案C.2
微燃机（万元）	0.0	195.0	195.0	130.0	130.0	200.0	200.0
换热器（万元）	0.0	13.6	13.6	9.2	9.2	10.8	8.4
热水锅炉（万元）	50.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
电动离心机（万元）	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
烟气型溴冷机（万元）	0.0	0.0	47.0	0.0	47.0	0.0	47.0
设备费用（万元）	96.0	294.6	341.6	225.2	272.2	296.8	294.4
运行费用（万元/年）	236.9	180.7	192.0	193.5	202.2	200.4	207.6
投资回收期（年）	0.0	3.5	5.5	3.0	5.1	5.5	6.8

## 4 结论

通过上述的方案对比分析可得出结论:传统方案初投资比分布式能源系统方案低,但运行费用较高。微燃机配置为2台C65时投资回收期最短。在3种微燃机配置情况下,余热优先供热比余热制冷的经济性要好。

### 参考文献

- 1 张雪梅,李伟奇,秦朝葵等.微燃机分布式能源系统的热力学分析[J].热力发电,2008;37(2):48-51
- 2 王丽,魏敦崧.天然气分布式能源系统的应用[J].煤气与热力,2006;1
- 3 王松岭,论立勇,谢英柏等.天然气在分布式能源系统中的应用[J].天然气工业,2006;26(1):146-148

- 4 冯江华.在中国发展天然气分布式能源的战略意义[J].城市燃气,2011;(8):41-45
- 5 Shipley M A, Hampson A, Hedman M B, et al. Combined heat and power: Effective energy solutions for a sustainable future[R]. Oak Ridge National Laboratory (ORNL), 2008
- 6 王振铭.我国天然气分布式能源站的发展与建议[J].热电技术,2011;(1):1-4
- 7 郭韶萍,林奇峰,伍成和.热电联产技术和分布式能源站技术的现状与发展[J].中国新技术新产品,2009;13:128
- 8 [http://www1.eere.energy.gov/buildings/commercial\\_initiative/new\\_construction.html](http://www1.eere.energy.gov/buildings/commercial_initiative/new_construction.html)
- 9 2005 G B.公共建筑节能设计标准[S][D],2005
- 10 夏令操.浅析日本区域供冷供热的负荷预测[J].暖通空调,2009;39:93-95
- 11 财政部.关于发展天然气分布式能源的指导意见[R][D].2011

## 工程信息

### 港华集团多企业燃气工程完工

2013年12月26日,马鞍山郑蒲港新区天然气利用工程通气点火仪式举行,标志着郑蒲港新区从此迈入“天然气时代”。区副主任高度赞扬了马鞍山江北港华在新区天然气建设方面所做的各项工作,并表示使用上安全、环保、高效的天然气,必将改善新区工商业及人民生活的能源结构和生产生活条件,对新区的经济发展、城乡一体化建设具有深远意义。

2013年12月26日,经过近5个月的紧张有序施工,总长超过10km的齐齐哈尔南苑新城区的12条天然气主干线竣工,南苑新城实现天然气管网全覆盖,满足了未来新城30万客户的生产、生活需求。继中汇城会所、市公安指挥中心、新能源汽车等南苑新城工商业项目陆续使用天然气作为生产、餐饮能源,三合小镇棚改回迁小区也将

于2014年中旬实现天然气入户。

2013年12月26日,铜陵港华LNG储气站项目正式竣工并投入使用。项目位于铜陵县顺安镇陶山村,建设规模为4个150m<sup>3</sup>LNG储罐及气化能力为每小时8 000m<sup>3</sup>天然气的标准气化装置一套。总储气规模为36万m<sup>3</sup>气态天然气。这一项目建成将极大缓解铜陵市目前的用气供需矛盾。也将进一步保障全市燃气供应系统的稳定运行,满足生产调度需要。



(胡凯)