

基于智能技术实现用能管理精益化的实践及效益

陆 恣¹, 周 昊¹, 周达洪¹, 钱亚东²

(1.南京供电公司, 江苏 南京 210019; 2.江苏苏源高科技有限公司, 江苏 南京 210008)

摘 要: 着眼于智能电网技术发展整体方向和电力企业发展整体战略的前瞻性考虑, 南京供电公司以生产调度大楼建设为契机, 从节能减排入手, 分别对于微网接入及风光储系统、用能管理系统进行了深入探索和实践。上述系统于 2011 年 3 月正式投运, 实现了清洁能源稳定发电以及配电网与大型电力网并联运行, 从而提高清洁能源在终端能源消费中比重; 同时进行有效负荷预测, 发挥系统平峰填谷调节功能。

关键词: 微网; 风光储; 清洁能源; 用能管理; 节能减排

0 引言

过去 100 多年来工业革命的化石能源的消耗, 造成CO₂为主的温室气体持续排放。地球气候变暖的严重性深刻指出了能源变革的必然性和紧迫性。同时, 世界各国经济社会发展对能源的依赖性、经济发展和能源地域分布的不均匀性以及全球化石能源资源的有限性, 特别是地球气候变化对化石能源利用的限制性从根本上决定了发展“低碳经济”这一必由之路。“低碳经济”实质是高能源利用效率和清洁低碳能源结构^[1]。

作为分布式发电的重要形式之一, 微网既可以通过配电网与大型电力网并联运行, 形成一个大型电网与小型电网的联合运行系统, 也可以独立地为当地提供电力需求。该模式大大提高了负荷侧的供电灵活性, 可靠性。风光储则展示新型能源作为未来电网的一个重要组成部分, 所具备的环保及经济特性。

智能楼宇用能管理系统基于用电信息采集系统与终端功能、技术方案、组网方案、通信规约、安全防护策略等方面的研究, 包括了实时监控主站、超级集中器、区域集中器、采集控制设备。

作为江苏省内首个楼宇实用化风光储项目, 南京供电公司微网接入及风光储系统满足了高起点智能化楼宇分布式新能源应用的要求。2010 年 12 月, “基于微网控制的风光储应用研究”与“精益化楼宇智能管理系统开发与应用”经南京市科委组织的科技成果鉴定, 达到国内先进水平。

1 设计目标以及功能

微网内电源包含有光伏发电、小型风力发电机和储能设备, 构成风光储微网系统。通过微网控制系统监控分布式能源运行数据, 调整运行策略, 控制运行状态。

风光储微网系统独立运行时, 储能设备作为微网独立运行时的主电源。

考虑到微网独立运行的可靠性, 假设光伏发电系统和风力发电系统全部退出运行时, 主电源的功率大于微网内所有负荷的功率时, 微网系统会根据实际情况对所供负载进行容量调节和超限保护。

对于主从控制的微网, 如果其他分布式电源的出力大于负载, 则有可能出现多余功率到送给主电源的情况(如果不允许倒送), 因此在微网独立运行时, 微网控制系统可以根据实际情况调节部分分布式电源出力的控制策略。

用能管理系统通过智能空开回路终端、智能插座、智能用电采集设备, 实现用电量实时/历史数据、环境监测数据、设备运行实时数据、设备运行状态数据、设备故障数据、电能质量数据的实时采集与监测, 以合理用能、集中控制、精细管理为目标, 建设自动化、可量化、可控制的绿色低碳的生态办公楼宇, 实现大楼的实时能效采集, 有效控制大楼能源使用, 倡导节能理念, 推进国网公司坚强智能电网智能用能建设。系统功能包括以下七项:

- (1) 实现大楼各区域实时用电对比分析;
- (2) 实现分量用电实时数据的对比分析;
- (3) 实现重点能耗设备实时用电的对比分析;
- (4) 实现各智能插座实时用电数据的对比分析;
- (5) 通过能效数据分析, 为用能管理提供决策

依据;

(6) 实现环境参数（各房间及公共区域的温度、湿度）实时采集管理;

(7) 实现气象参数（本区域内每天的温度、湿度、天气状况等一系列气候参数）实时采集管理。

2 系统总体结构及原理

2.1 微网接入及风光储系统

原理见图 1。储能设备、光伏发电和风力发电并列接入交流低压母线。微网与外部电网有一个统一的联络开关。控制策略采用主从控制设计，即在并网运行时，主电网作为主电源；在孤网运行时，蓄电池储能设备作为主电源。

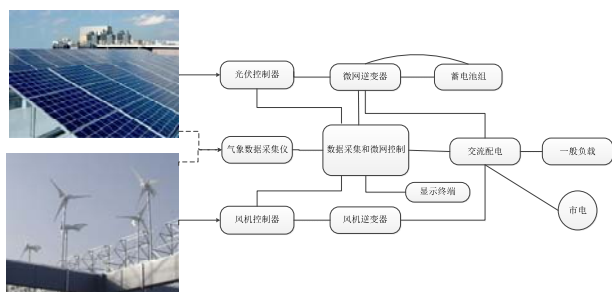


图 1 微网接入及风光储系统原理图

系统结构见图 2。通过微网控制系统监控分布式能源运行数据，调整运行策略，控制运行状态。主电源的功率大于微网内所有负荷的功率时，微网系统会根据实际情况对所供负载进行容量调节和超限保护。在微网独立运行时，微网控制系统可以根据实际情况调节部分分布式电源出力的控制策略，通过基于 3D 技术的微网监测平台，全方位实时展示分布式电源运行状态、风、光信息及微网运行过程。微网系统结构图见图 3。

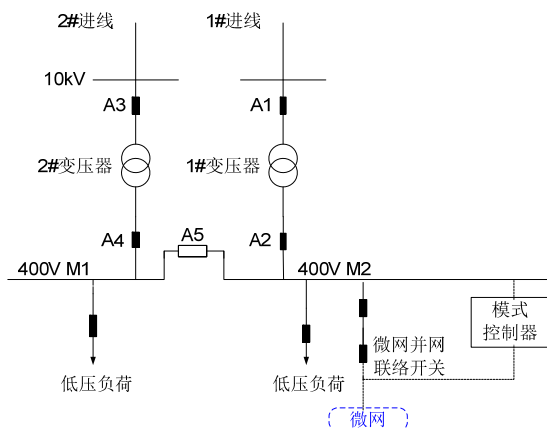


图 2 系统结构设计

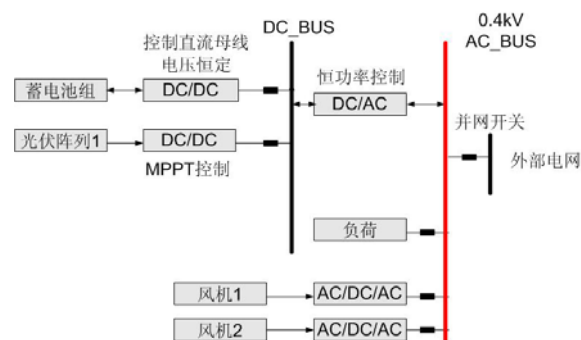


图 3 微网系统结构图

基于微网控制的风光储系统，综合了交直流微网的优点，采用了交直流混合结构方案。系统将风力发电机所发电力，经风机逆变器转变为交流，提供给微网控制器进行离并网控制，蓄电池组和光伏阵列共用一台三相逆变装置，一路 30.6kW 光伏和一路 50kW 储能分别通过两路 DC/DC 电路升压。光伏发电经光伏控制器对蓄电池进行充电，蓄电池充放电管理由控制及数据采集系统统一控制管理。逆变器输出端接入蓄电池输出端，经由蓄电池稳压直接供给微网逆变器。逆变器采用并网与离网逆变器并联运行模式，系统可以方便的在并网与离网之间进行切换，并可以在市电与逆变之间进行切换。当市电发生故障以后，可以自动切换至逆变后离网供电。

2.2 用能管理系统

用能管理系统的逻辑图及数据流转结构图分别见图 4、图 5。

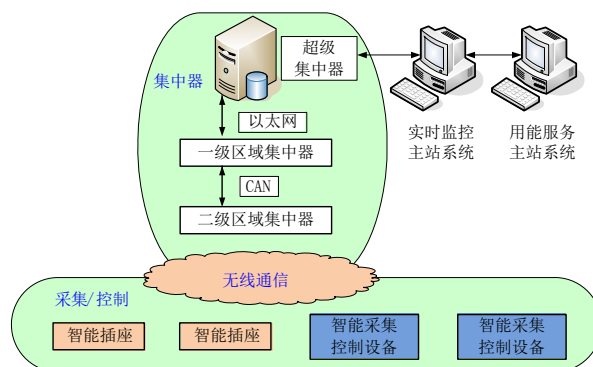


图 4 用能管理系统逻辑图

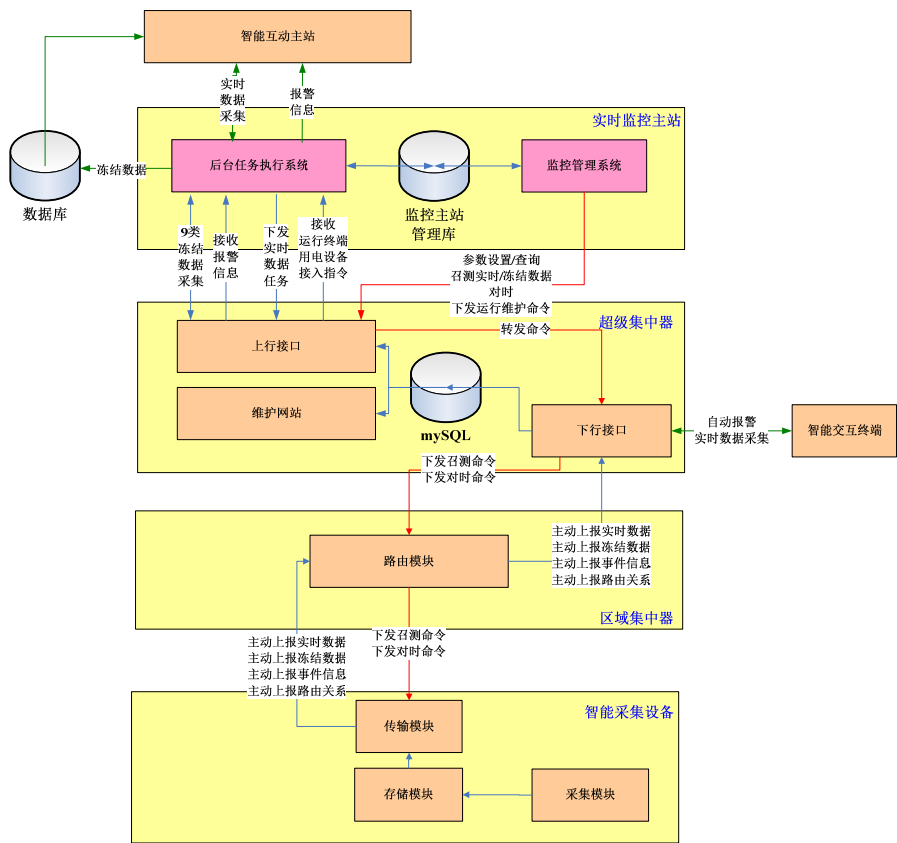


图 5 用能管理系统数据流转结构图

3 建设方案

针对南京供电公司生产调度大楼周边自然环境的实际情况，微网接入及风光储系统包括以下部分（见图 6）：

- 1) 光伏发电系统：本项目包括 30.6kW 光伏发电系统；
- 2) 风力发电系统：本项目包括 15（1*15）kW 屋顶风力发电系统；
- 3) 蓄电池储能系统：本项目包括 50kW 1 小时的铅酸蓄电池储能系统，使微网既可并网运行，也可独立孤网运行；
- 4) 监控系统：系统可以监控分布式能源运行数据，调整运行策略，控制运行状态。

用能管理系统面向楼宇自动化。采用子系统集成模式、集监控与管理系统于一体的平台开发软件。具有使用简单、性能可靠、速度快、系统开放等特点，为大楼智能化建设提供完整的解决方案。用能管理系统相关设备安装情况见表 1。

在统一的系统平台上实现各系统间的有效通信和连接，采用统一的方式实现系统信息交换和共享。

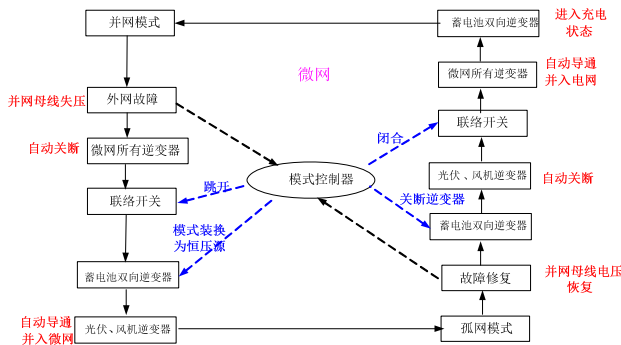


图 6 微网接入及风光储系统运行模式控制示意图

表 1 用能管理系统相关设备安装情况

序号	设备名称	功能	数量/个
1	智能插座	具备能耗计量，远程传输，远程控制功能	40
2	智能空开回路终端	具备能耗计量，远程传输，远程控制功能的智能型空开回路控制终端	1295
3	区域集中器	楼层区域远程采集与传输设备	162
4	超级集中器	集中式数据采集终端	1

4 实践效果与效益分析

4.1 改变用能方式，提高清洁电能在终端能源消费中比重

光伏输出功率可由标准额定条件下的输出功率、光照强度、环境温度得到：

$$P_{PV} = P_{STC} \frac{G_c}{G_{STC}} [1 + k(T_c - T_{STC})] \quad (1)$$

式中： P_{PV} 为工作点的输出功率，标准额定条件 STC（standard test condition，STC）是指太阳辐照度 G_{STC} 为 1000W/m²，电池温度 T_{STC} 为 25℃，相对大气光学质量为 AM1.5 的条件； G_c 为工作点的辐照度； k 为功率温度系数； P_{STC} 为标准额定条件下光伏的额定输出功率； T_c 为工作点的电池温度。

现忽略环境温度的影响，考虑光伏发电的转换效率 η ，以及太阳板倾斜角的影响 α ，最终光伏输出的功率 P ，可表示为：

$$P = \eta \times \alpha \times P_{PV} \quad (2)$$

现有数据为全天每分钟光照和发电量数据，共 24*60=1440 个点。

可先计算出每小时的平均光照强度，进而计算出本小时的发电量，将全天 24 小时发电量相加即得到全天的发电量，可表示为：

$$P = \eta \times \alpha \times P_{STC} \sum_{h=1}^{h=24} \frac{G_{c-h}}{G_{STC}} \quad (3)$$

即

$$P = \eta \times \alpha \times P_{STC} \times \frac{\sum_{t=1}^{1440} G_t}{60G_{STC}} \quad (4)$$

综合实际数据分析，其中 η 取 0.7， α 取 0.9。
表 2 为光伏发电理论值与实际值比对情况。

表 2 光伏发电理论值与实际值比对情况

序号	数据采集日期	光伏发电 实测值/kWh	光伏发电 理论值/kWh	两者百分比 /%
1	2011 年 10 月 4 日	92.4	96.6	95.7
2	2011 年 10 月 5 日	72.4	83.6	86.6
3	2011 年 10 月 6 日	58.8	76.3	77.1
4	2011 年 10 月 7 日	72.2	81.1	89.0
5	2011 年 10 月 8 日	73.8	81.1	91.0

4.2 倡导减排理念，降低温室气体排放量

根据国家发改委提供的数据，目前我国发电煤耗为平均 390 g/kWh 标煤，工业锅炉每减少 1 tce 的燃烧即可减排二氧化碳 2620 kg，二氧化硫 8.5 kg，氮氧化物 7.4 kg（此数据是综合我国能源结构得出的结果）^[2]，本项目清洁能源预计年平均发电量：18274.8 kWh；每年减排二氧化碳 18529.68 kg；本项目与相同发电量的火电厂相比，每年可为电网节约标煤 7126.8 kg，在其经济使用寿命 25 年使用期内，共计节省标煤 178.2 t。表 3 为 2011 年 3~12 月该系统的发电统计。

表 3 风光储系统发电月度统计表(2011 年 3 至 12 月)

时间	清洁能源发电/kWh		节约标准煤/kg		减少CO ₂ 排放/kg		减少SO ₂ 排放/kg		减少NO _x 排放/kg	
	太阳能	风能	太阳能	风能	太阳能	风能	太阳能	风能	太阳能	风能
	发电/kWh	发电/kWh	煤/kg	煤/kg	排放/kg	排放/kg	排放/kg	排放/kg	排放/kg	排放/kg
3 月	906	109	353	43	918	111	3.002	0.361	2.613	0.315
4 月	1047	122	408	48	1062	124	3.471	0.406	3.022	0.353
5 月	1306	63	509	25	1324	64	4.329	0.21	3.769	0.183
6 月	1486	254	580	99	1507	258	4.926	0.842	4.289	0.733
7 月	1548	88	604	34	1570	89	5.132	0.291	4.468	0.253
8 月	1937	35	755	13	1964	35	6.421	0.115	5.59	0.1
9 月	1974	32	770	12	2002	32	6.544	0.106	5.697	0.092
10 月	1879	45	733	18	1905	46	6.229	0.149	5.423	0.13
11 月	867	254	338	99	879	258	2.874	0.842	2.502	0.733
12 月	1199	78	468	30	1216	79	3.975	0.259	3.46	0.226
合计	14149	1080	5518	421	14347	1096	46.903	3.581	40.833	3.118

4.3 有效负荷预测，实现平峰填谷调节功能

基于用能管理系统中的数据对比分析功能，能够进行有效的负荷预测，并在一定程度上实施平峰填谷的调节功能；根据构建的用户用电设备模型及其历史用电特性，通过与实时用电数据进行综合对比及智能化数据分析，可显著提高线路故障定位与报警能力；提高供电效率与供电质量，有效降低供电成本，实现楼宇用电的精益化管理。

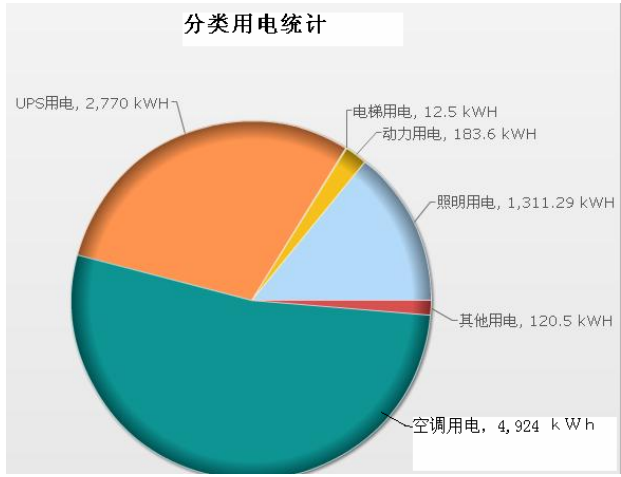


图 7 2011 年 7 月 15 日南京供电公司生产调度大楼用电分类图

以 2011 年 7 月 15 日生产调度大楼分类用电量为例（见图 7），其中(绿色部分)为空调用电量 4924 kWh，占用电总量 52.82%，大楼分类用电统计表也

证明了空调能耗在大楼的整体能耗中占有相当大的比例（见表 4），通过合理支配空调系统的能量消耗降低大楼整体能耗。

表 4 2011 年生产调度大楼分类用电统计表

时间	用电分类/kWh							合计 /kWh	空调用电 当月占比/%	月度用电占 全年比重/%
	照明 用电	动力 用电	厨房 用电	电梯 用电	UPS 用电	空调 用电	其他 用电			
3 月	188974	2011	15038	9587	55196	466479	7018	744303	63	13
4 月	110851	3739	25261	5060	218506	303983	100293	767692	40	11
5 月	103374	7094	15461	1340	46540	105086	4882	283776	37	4
6 月	112895	8929	35496	2002	92878	211759	7481	471439	45	6
7 月	110693	5517	38482	2132	98210	349476	56225	660735	53	9
8 月	117346	6602	26891	4417	118698	362920	14778	651652	56	9
9 月	111155	6320	31783	1629	100272	221242	8600	481001	46	7
10 月	107312	14137	70848	4437	266111	358363	20412	841620	43	12
11 月	138095	5474	20603	1745	154818	159386	8282	488403	33	7
12 月	118095	3376	20602	1408	72107	232756	7095	455438	51	6
合计	1218790	63196	300464	33757	1223336	2771451	235065	5846059		

目前，南京供电公司生产调度大楼物业管理部门通过统一开关机实现 7:30 至 21:00 时开发新风；用能系统中 7 月 1 日至 15 日空调用电量日曲线（见图 8）显示，将空调制冰等高耗能操作安排在夜间进行。根据《江苏省居民客户峰谷分时电价政策实施方案》，城镇以及农村居民高峰时段为早 8 时至晚 21 时，电价为 0.5583 元/kWh；低谷时段为晚 21 时至次日 8 时，电价为 0.3583 元/kWh，从而在节约大楼运营成本的同时，充分利用谷电，平峰填谷，让电于民。

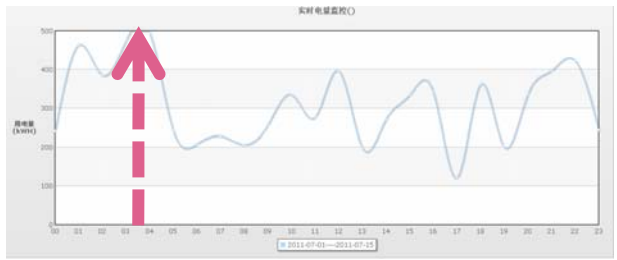


图 8 2011 年 7 月 1 日至 15 日空调累计用电量曲线

5 结束语

通过采集设备运行、负荷电能消耗、报警及历史数据等信息，结合实际运行负荷需求和电价政策，以及新的能源供电模式和新型的用电设备配置，选择和制定能耗控制管理方案，在整体上对供用电设备进行协调控制，以实现楼宇用电的智能化，能够让终端用户直接感受到智能电网带来的经济效益和社会效益。

基于清洁能源开发、供电模式和新型的用电设备配置等智能技术，实现用能管理精益化充分体现了电力企业在智能用电、清洁能源开发、能量综合利用方面的实力。如果所取得的效应在更广泛的社会范围（如广泛应用到小区、写字楼、工厂）内推广，不仅优化了电力企业的资产使用和客户服务，也推动了用户侧的节能环保。这是着眼于智能电网技术发展的整体方向和电力企业发展的整体战略进行的前瞻性考虑。

参考文献：

[1] 吕伟业. 关于中国《智能电网》战略的若干看法[J].中国能源,2009,31(11):9-15.

[2] 李杨. 严寒地区发电厂冷却水余热回收系统的效益分析[J].电力需求侧管理,2011,13(1): 42-45.

[3] 杨仁花. 微网结构和运行控制[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(1):48-55.

[4] 王庆章.光伏发电系统最大功率点跟踪控制方法研究[J].南开大学学报(自然科学版),2005,38(6):74-79.

[5] 左巧安.光伏发电系统最大功率点跟踪控制方法研究[J].电工电气,2010(7):8-12.

[6] 李晶.基于 Saber 的风力发电系统建模及仿真分析[J]. 太阳能学报,2008,29(12):1471-1476.

[7] 郭佳欢.含小型冷热电联产的微电网系统经济运行[J]. 电网与清洁能源,2009,25(10):21-24.

[8] 周伏秋.数据中心节能和优化布局研究[J].电力需求侧管

理,2011,13(3):1-3.

- [9] 任洁.包钢节能减排措施及建议[J].电力需求侧管理, 2011,13(3):42-43.
- [10] 丁宇. 省级电网公司促进用户侧节能减排的思路分析 [J].电力需求侧管理,2011,13(3):10-14.
- [11] 于来福.节能减排: 供电企业的重大责任[J].电力需求侧管理,2008,10(2):53-54.
- [12] STEFAN KRAUTER.太阳能发电—光伏能源系统[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [13] Patel, Mukund:Wind and Solar Power Systems:Design, Analysis, and Operation. [M]Boca Raton:CRC Press, 2005.
- [14] Sao Charles K, Lehn Peter W.Control and Power Management of Converter Fed Microgrids[J].IEEE

Transactions on Power Systems, 2008, 23(3):1088-1098.

作者简介:

陆 恣 (1983-), 女, 江苏无锡人, 硕士研究生, 工程师, 从事电力信息运维及软件系统研发工作;

周 昊 (1981-), 男, 江苏南京人, 工程师, 从事基建工程建设管理工作;

周达洪 (1965-), 男, 江苏兴化人, 高级工程师, 从事电力信息化管理工作;

钱亚东 (1970-), 男, 江苏苏州人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事企业信息化研究。