中国农业大学
China Agricultural University

农村综合能源利用与综合能源网建设

杜松怀　教授

中国电机工程学会农村电气化专业委员会科教学组

中国农业大学信息与电气工程学院

2020年4月21日

报告人简介：

中国農業大學 China Agricultural University



MP：13683086789

Tel ：010-62736750

Email:songhuaidu@cau.edu.cn

- 杜松怀，2002年毕业于上海交通大学，工学博士，教授，博士生导师。中国农业大学领军教授&创新团队负责人、“985”平台副主任、工程科学人才委员会委员、科研与社会服务委员会委员、中国农业大学农村电力与新能源发电研究中心主任。
- 主要兼职：教育部农业电气化教指委委员；全国农村电力与自动化技术首席科学传播专家（中国科协）；IEEE PES高级会员；中国电机工程学会农电科教专委会主任、自动化专委会委员、电力市场专委会委员；中国农业工程学会理事、农业电气化与自动化专委会主任；国家能源局/国家电网技术专家。
- 研究成果：长期从事电力系统及其自动化、农业电气化与信息化技术研究。主持国家自然科学基金、国家重点研发计划/科技支撑计划、985/211工程、国家电网、以及教改项目60余项。发表学术论文160多篇，SCI/EI收录60多篇；授权发明专利47项，软件著作权23项；出版专著和教材6部；获省部级教学及科研成果奖4项、校级特等奖1项。

提 纲：

中国農業大學 China Agricultural University

一、农村综合能源利用现状

二、农村综合能源结构、供给与消费模式

三、农村综合能源网建设

四、农业物联网工程

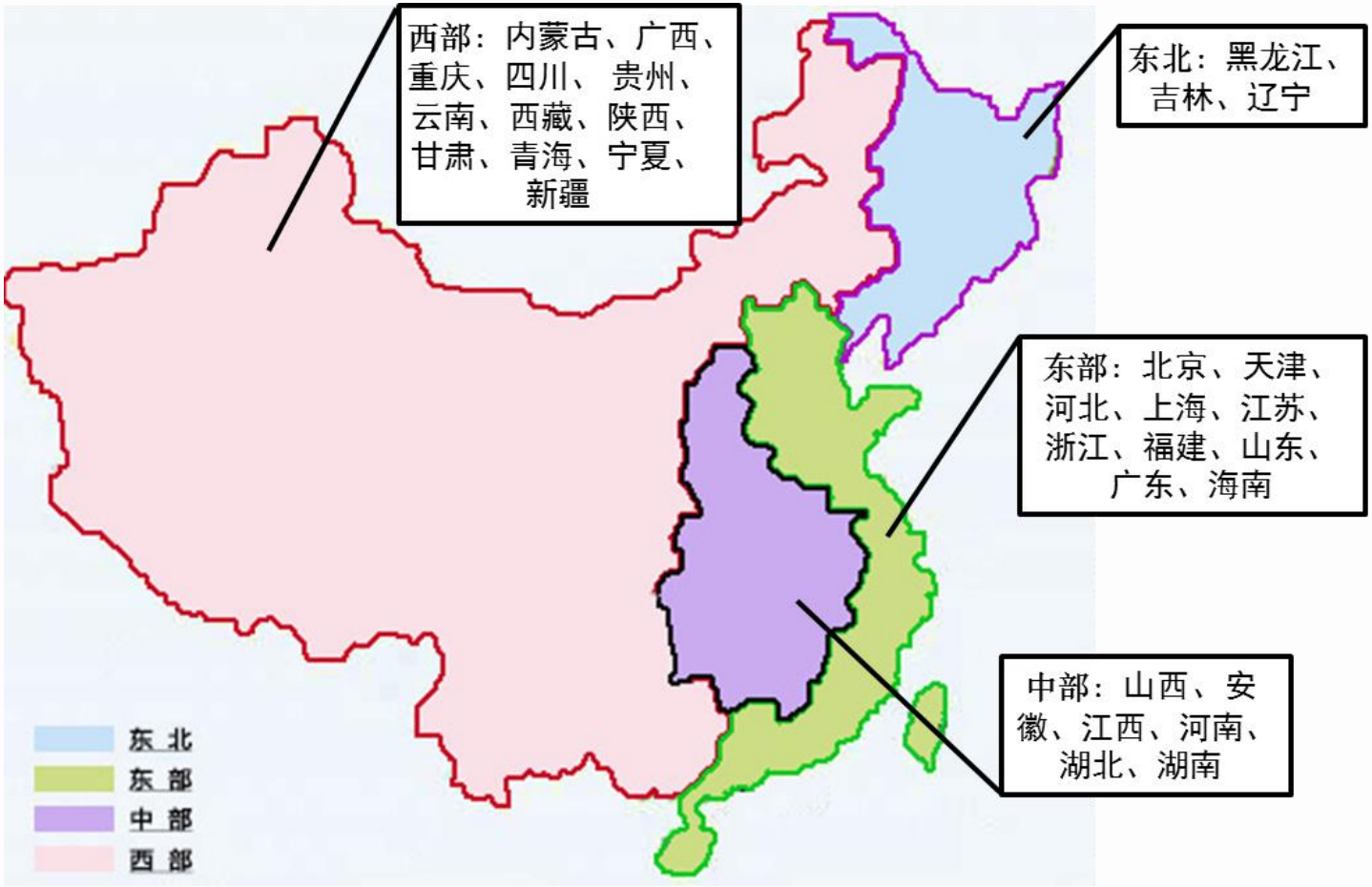
五、微电网工程案例（7）

一、农村综合能源利用现状

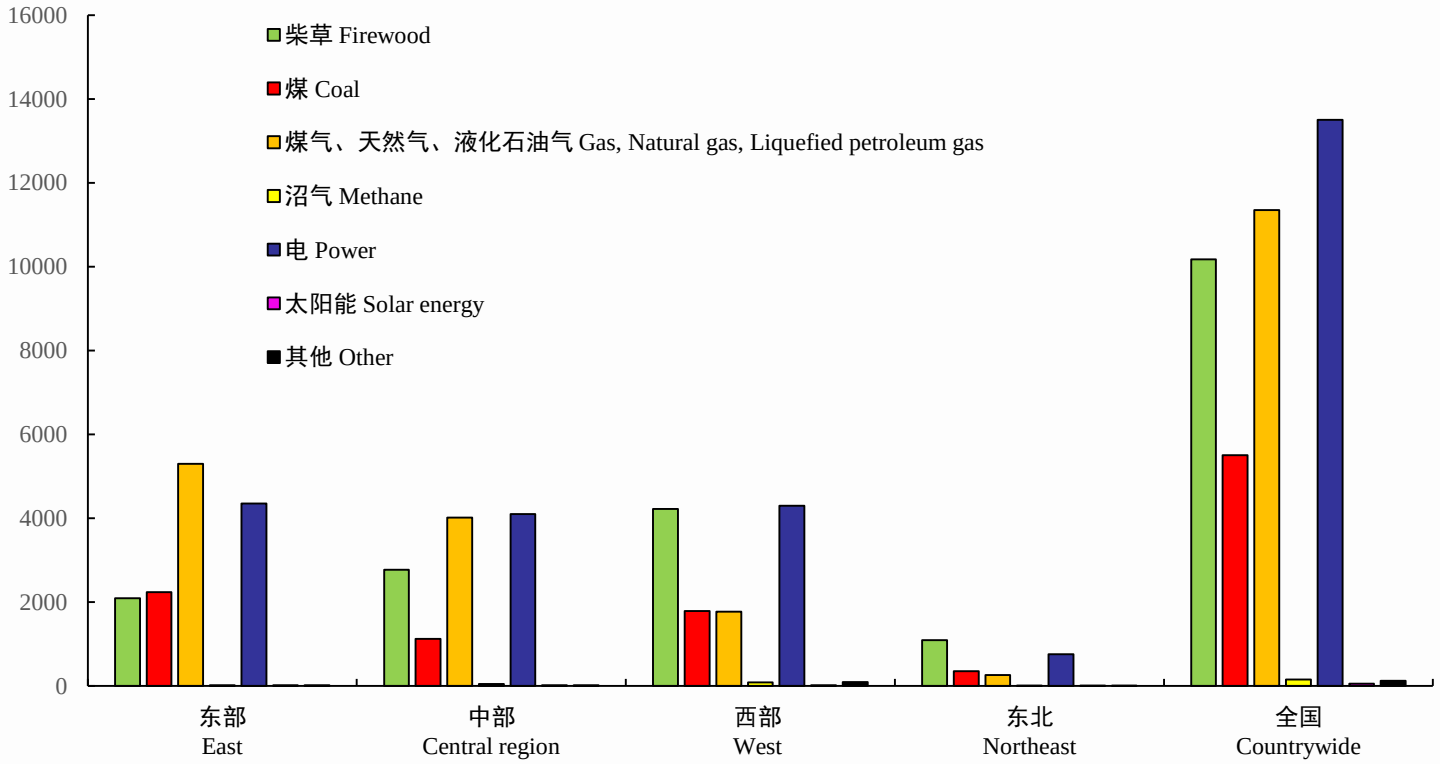
1.1 中国农村区域划分

中国農業大學
China Agricultural University

第三次全国农业普查：四个分区



1.2 各地生活能源种类及农户数量（2016全国农业普查）



东部沿海地区：经济发达，农户多，煤气、天然气、液化石油气

中西部地区：地域辽阔、人口众多，柴草、电力能源

东北地区：温度低、气候严寒，多用柴草

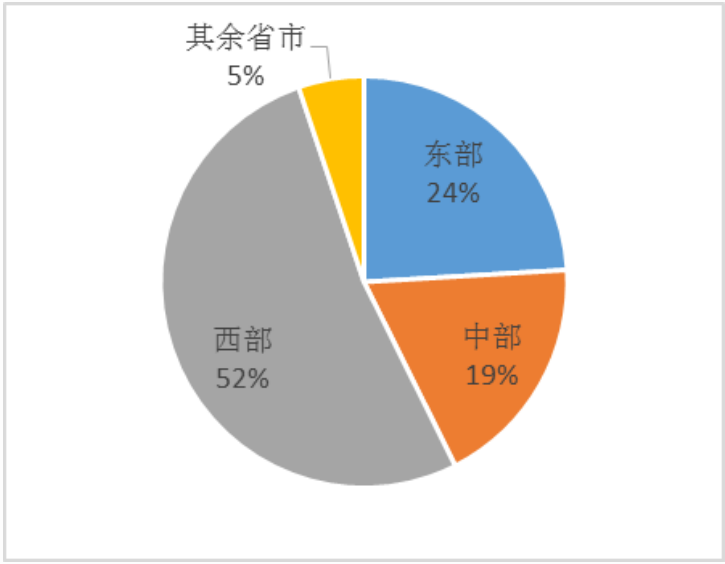
总体排序：电力、煤气、天然气、柴草、煤、沼气、太阳能、其他

1.3 各地区农村能源开发利用现状

（1）农村水电开发建设：

区域	省市	装机容量
东部	广东	760
	福建	742
	浙江	405
中部	湖南	636
	湖北	381
	江西	340
	安徽	111
西部	云南	1198
	四川	1179
	广西	456
	贵州	348
	重庆	267
	甘肃	263
	新疆	164
	陕西	150
	青海	110
其余省市		414

2017年各省市农村水电年末装机容量（单位：万千瓦）



2017年各区域农村水电装机容量占比

农村水电站：

主要分布：西部、中部、东部沿海地区

西部装机：50%以上；云南/四川第1、第2

（2）农村太阳能开发建设：

2015年各地区太阳能利用情况

区域	太阳热水器（万平方米）	太阳灶（台）	太阳房（万平方米）	户用太阳房（万平方米）	太阳能校舍（万平方米）
全国总计	8233	2327106	2549.4	2438.5	62
东部	4147	57540	263.6	243.7	13.9
中部	2286	69435	2.6	1.6	1.2
西部	1510	2197865	927.2	890	14.5
东北	293	2218	1356.1	1303.3	32.5

西部地区：地理位置好，辐射总量大；集中式电站多，装机容量领先；太阳灶、太阳房、太阳能校舍明显多于东部。

东部沿海/西部偏南地区：云雾雨多，用量较少

中东部地区：分布式光伏快速增长，河北、浙江、安徽、湖南增长最快

东北地区：全年日照分布不均，夏季太阳总辐射最大，春季次之，冬季最小，太阳能开发利用尚不普遍。

（3）农村风能开发建设：

近年来各地区小型风力发电：

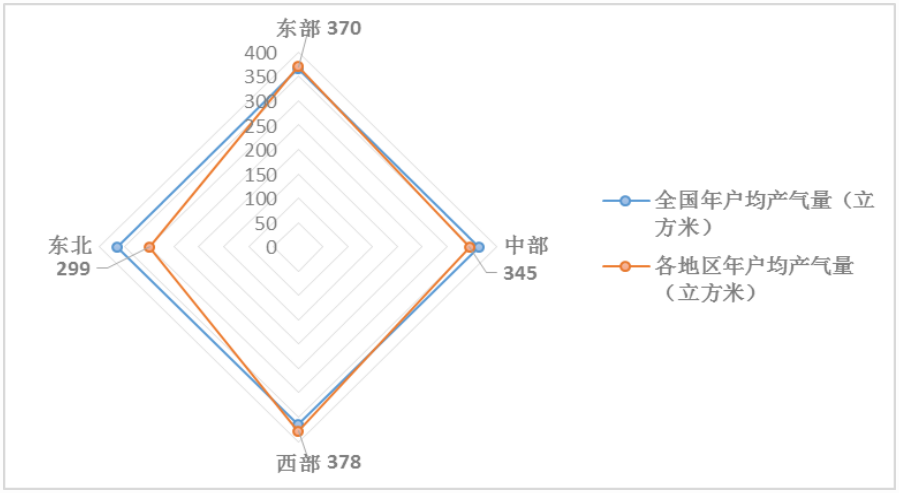
西部地区：内蒙古国内领先；新疆、宁夏、甘肃大型基地；装机大于火电

东部地区：风能资源相对匮乏，火电、水电比重高，补充作用。

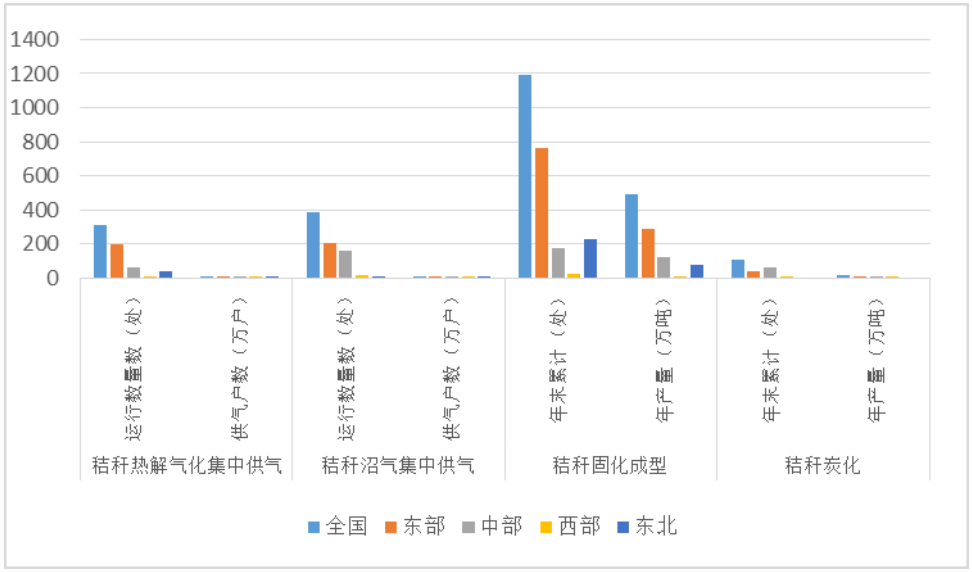
北部地区：吉林、辽宁、黑龙江资源丰富，可开采规模大。

（4）农村生物质能开发建设：

2015年各地区农村年户均产气量



2015年各地区农村秸秆优质化能源利用情况



沼气：

总体分布：东/西部最高，中部略低，东北最少。

适宜沼气工程：粮食主产区--东北，河北、山东，河南、安徽，云南、广西等省，贫困集中连片区，户用沼气需求大。

适度沼气工程：北京、天津、上海、浙江；青海、西藏、宁夏、新疆生态脆弱区及水源保护区。

秸秆：

秸秆资源量：70%以上，集中在包括河南在内的13个粮食主产省（区）。

利用要素：秸秆产量、秸秆利用率、秸秆优质化能源利用率。

1.4 农村综合能源建设面临的四项挑战



能源综合利用效率低，浪费严重；



依赖传统化石能源，污染环境，能源消费支出高；



缺乏先进、实用技术支撑，分布式能源发展受限；



农村经济水平偏低，商品能购买力差。

1.5 农村能源综合利用面临的三大机遇

@1：

2018年中央一号文件公布

全面部署实施乡村振兴战略



《规划》对农村现代能源体系明确要求：

（1）优化农村能源供给结构：大力发展太阳能、浅层地热能、生物质能，因地制宜开发利用水能和风能。

（2）完善农村能源基础设施网络：加快新一轮农村电网升级改造，推动供气设施向农村延伸。

（3）加快推进燃料清洁化工程：生物质热电联产、生物质供热、规模化生物质天然气和规模化大型沼气等

（4）推进农村能源消费升级：大幅提高电能在农村能源消费中的比重，加快实施北方农村地区冬季清洁取暖，积极稳妥推进散煤替代。

大力发展“互联网+”智慧能源；探索建设农村能源革命示范区！

1.5 农村能源综合利用面临的机遇

中国農業大學 China Agricultural University

@2：2015年新电改-[9]号文

- 售电侧改革：售电公司，增量配电网；
- 市场化新机制：辅助服务（备用、调峰/调频、需求响应等）。

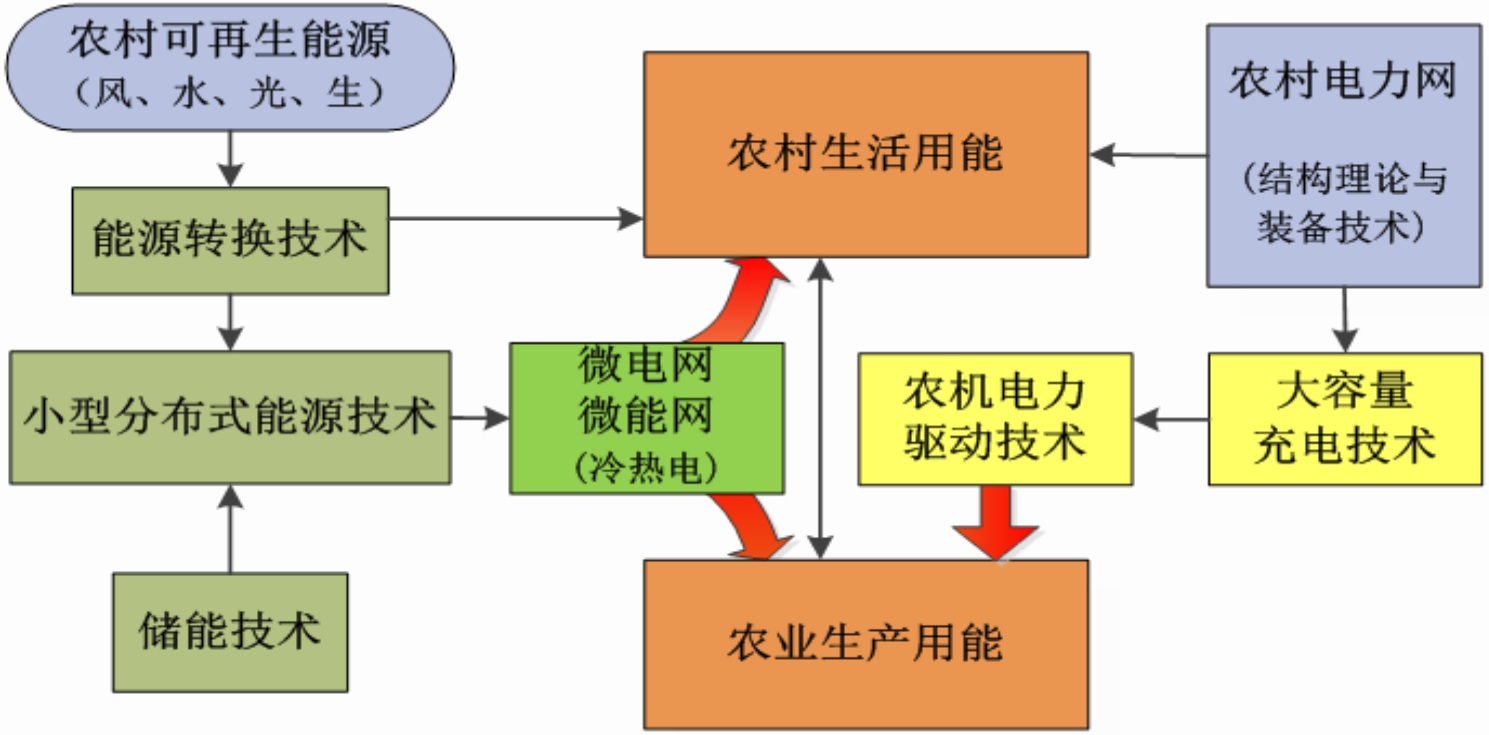
@3：国家能源结构调整&国家电网重大战略调整

- 高比例大规模可再生能源接入配电网；
- 特高压智能电网；
- 智能配电网；
- 再电气化战略（包括电能替代、锅炉升级、烤烟/烤茶等）；
- 泛在电力物联网；
- 综合能源服务:冷、热、电、气（天然气-沼气）、生物质能等；
- 能源互联网；
- ……

二、农村综合能源结构、供给与消费模式

2.1 农村综合能源结构体系--冷/热/电综合能源服务

- **重大需求：**社会主义新农村、新型城镇化、乡村振兴战略…
- **农村能源：**多能互补、分布式电源、微电网/微能网、能源互联网

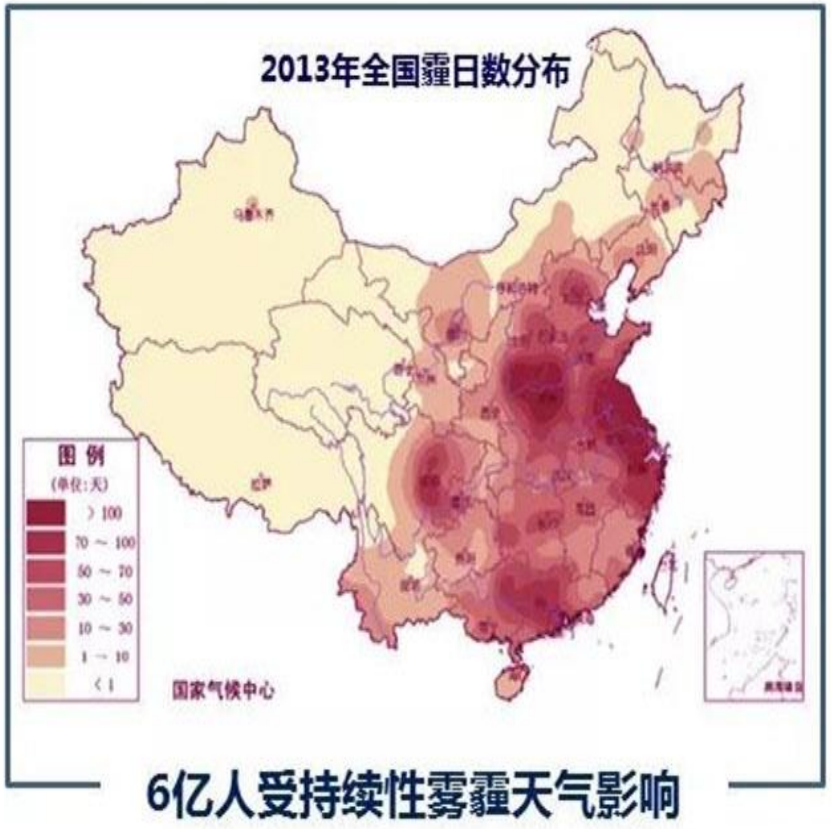


农村电网与新能源综合用能--系统架构

国际能源利用效率对比：差距依然巨大！



我国能源利用率和可再生能源占比均低

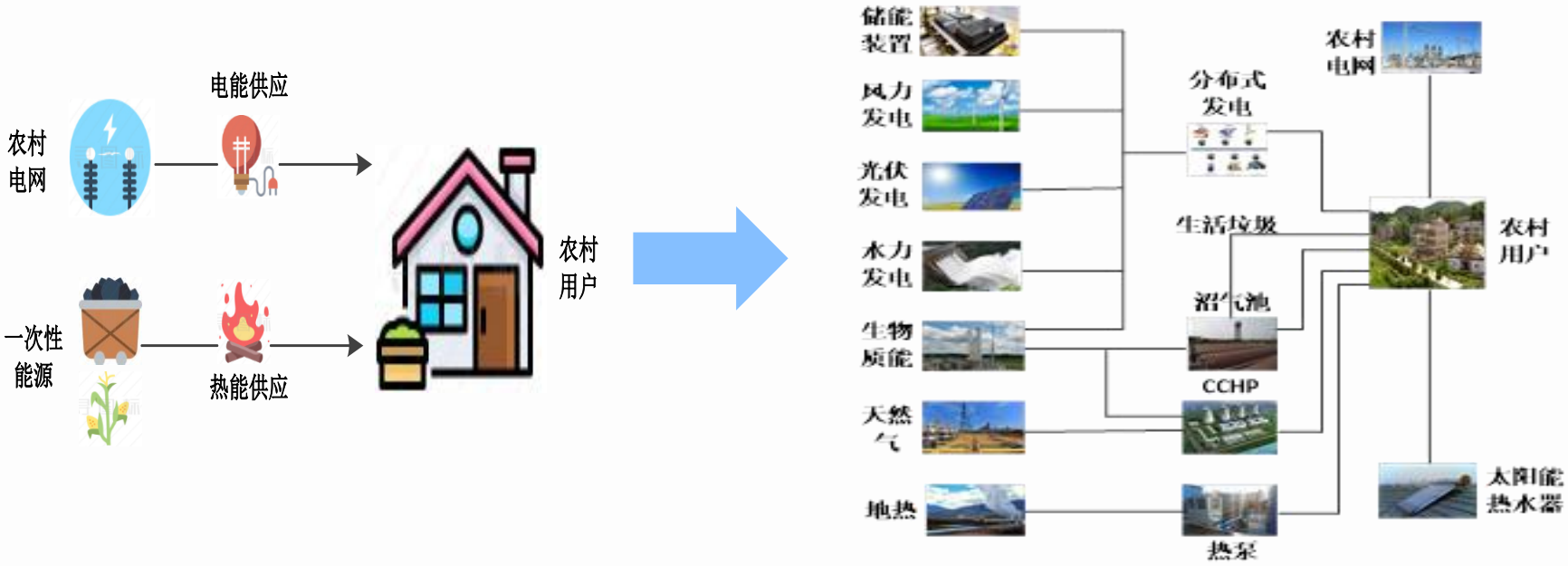


6亿人受持续性雾霾天气影响

我国的能源利用效率亟待提高！

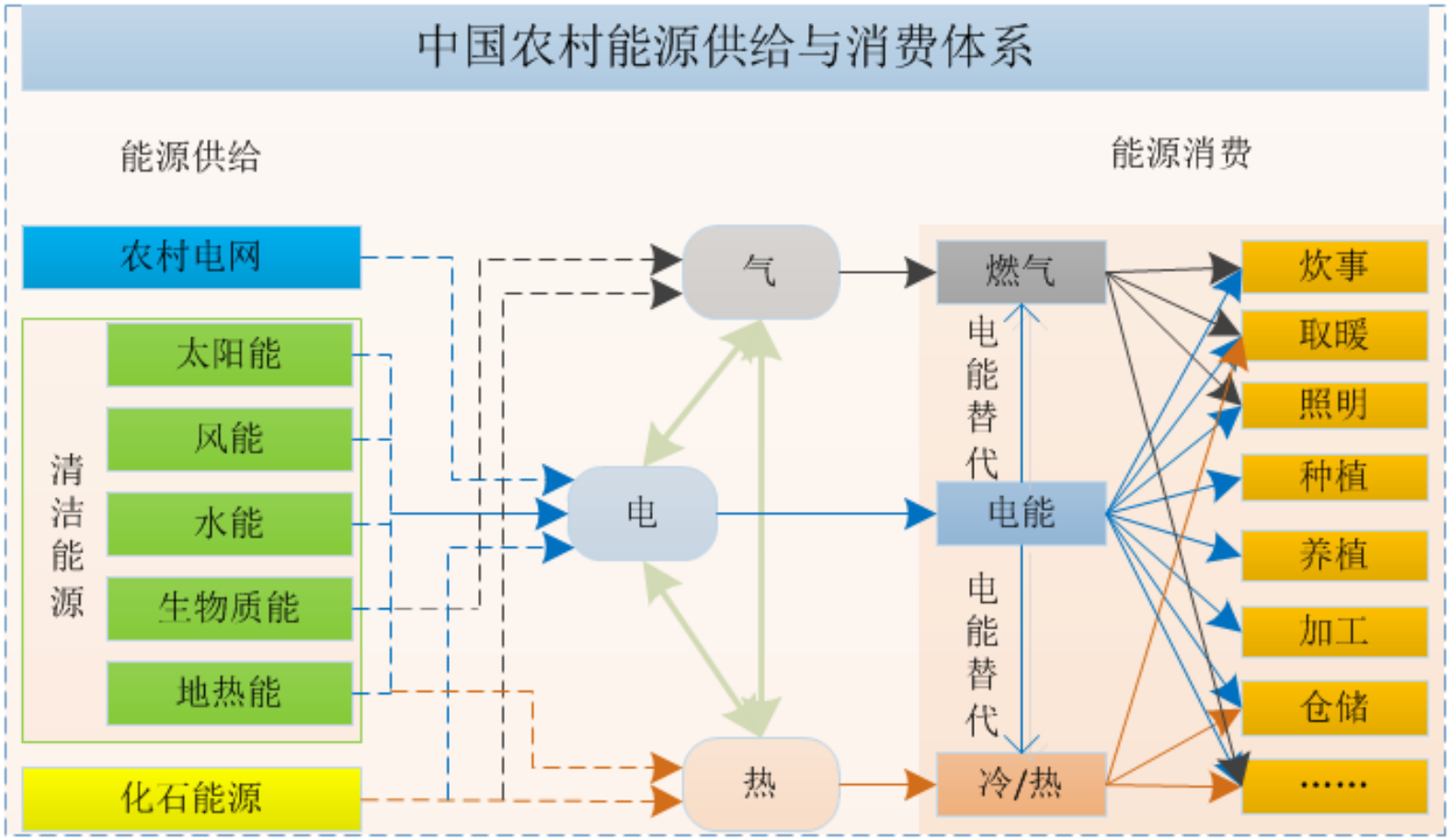
中国电力

2.2 农村综合能源供给与消费模式创新

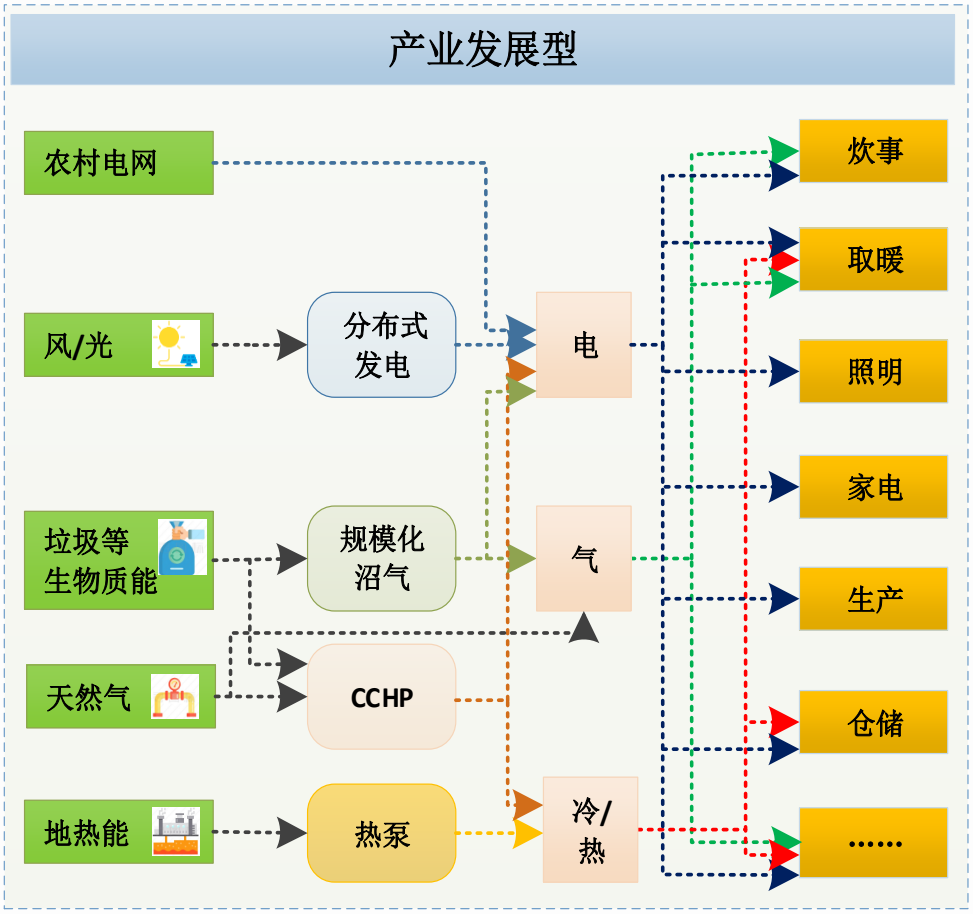


	传统用能	综合用能
电能	农村电网	分布式发电+农村电网+冷热电联产机组
新能源		沼气+天然气
运行时间	全天	白天（分布式发电+冷热电联产机组）+晚上（农村电网+冷热电联产机组）
安全性	依靠农村电网	不依靠农村电网，可独立供能
经济性	电费用高	用能节余并网上网，节约电费
环保性	污染严重	节能减排

■ 农村综合能源总体体系架构：

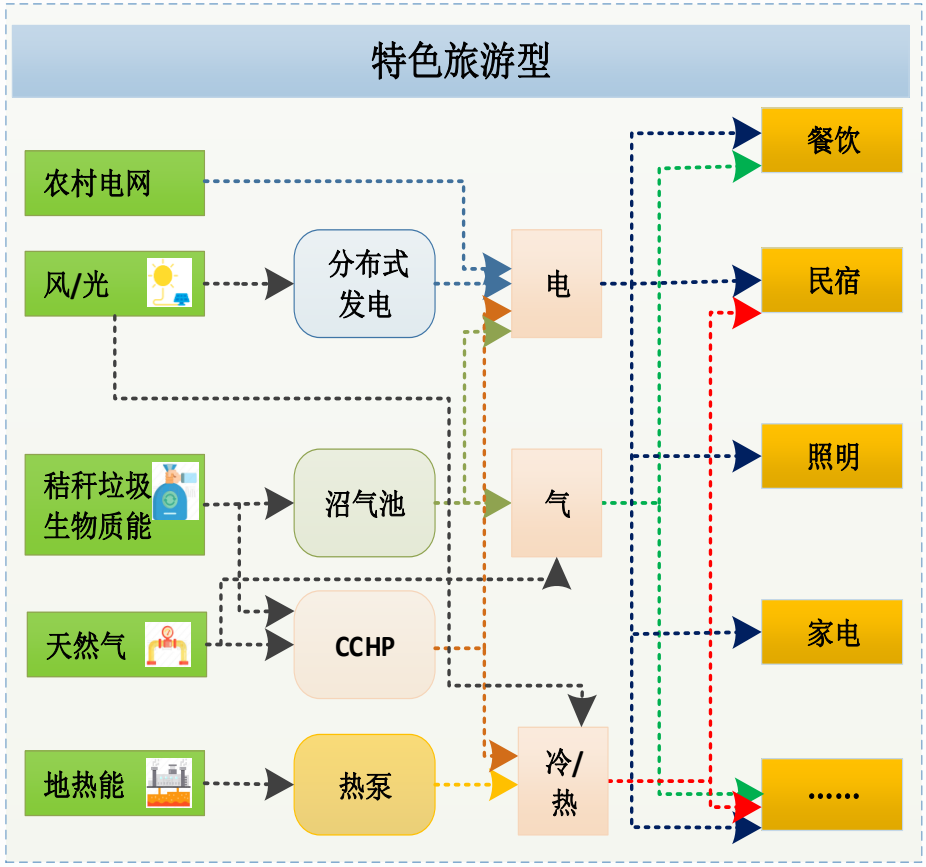


■ 产业发展型模式：



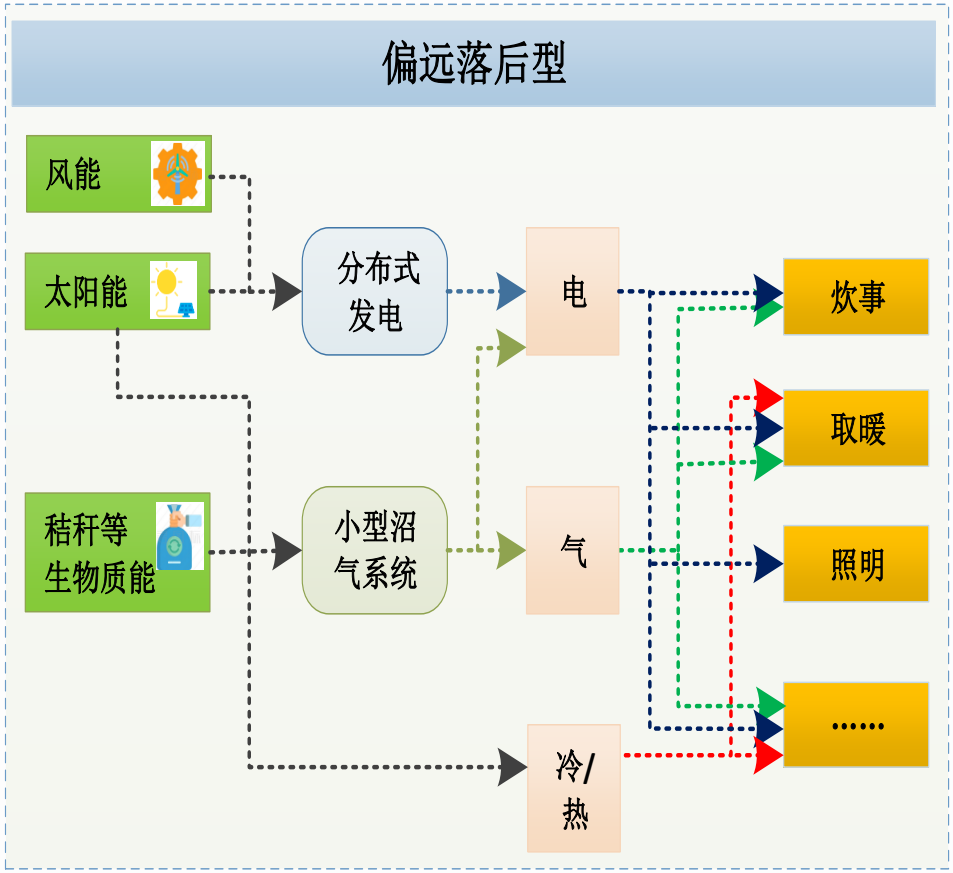
- 经济发达地区：能源需求量大，规模产业
- 提升大电网供电服务能力
- 建设光伏、风电系统，整合天然气、地热资源，经济性良好
- 居住密度大，生活垃圾等生物质能集中处理（上海试点2019）

■ 特色旅游型模式：



- 环境要求严苛，屋顶光伏
- 生物质不直接焚烧，沼气供能
- 餐饮、民宿冷/热需求大，用地区域集中，建设密集光热及地源热泵

■ 偏远落后型模式：



- 偏远地区：能源需求量小，资源利用分散，电网网架不完善
- 大量就地消纳当地丰富的风、光、水等可再生能源，
- 不具备天然气、地热能开发条件
- 大量秸秆等生物质能，用能密度小，可建设小规模沼气池

三、农村综合能源网建设

3.1 农村综合能源网建设

农村综合能源互联网以电为主，建设完善新型农村配电网是构建农村综合能源互联网的核心和关键。

农村配电网建设存在的问题

1）季节性低电压；

2）季节性过负荷；

3）可靠性/自动化较低；

4）大规模DG接入有难度。







建设农村能源互联网

@1 满足用电水平升级的需要

@2 满足大量新能源接入需要

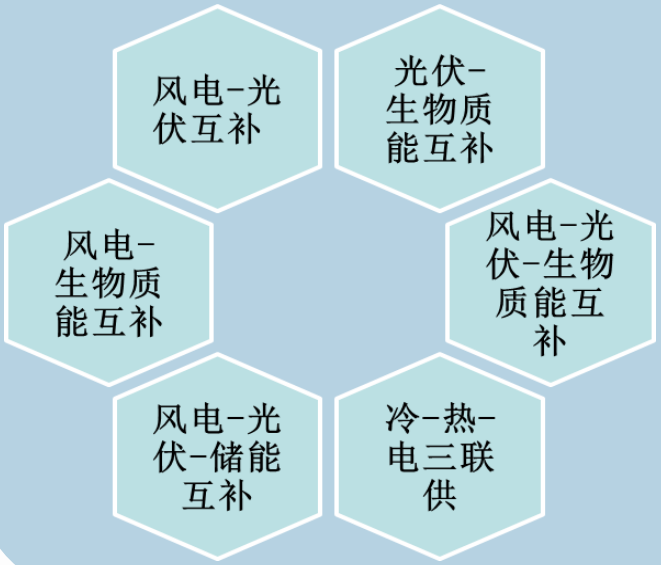
@3 大量充电设备、储能设备接入

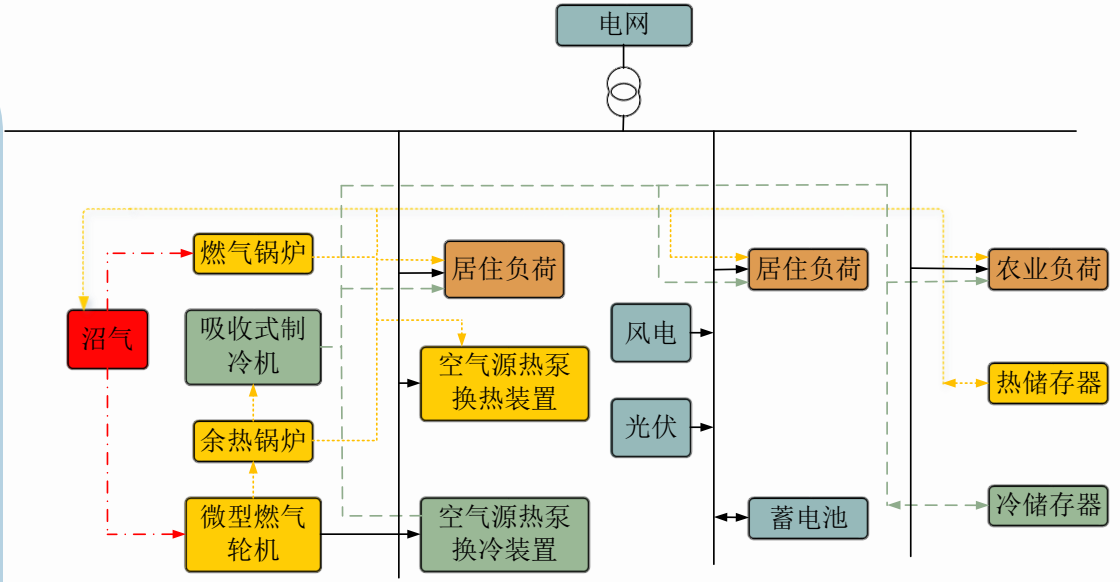
@4 发、供、用并存，源、网、荷、储协调运行

3.2 农村综合能源网多能互补供给模式

中国農業大學 China Agricultural University

多能互补的清洁能源供给模式



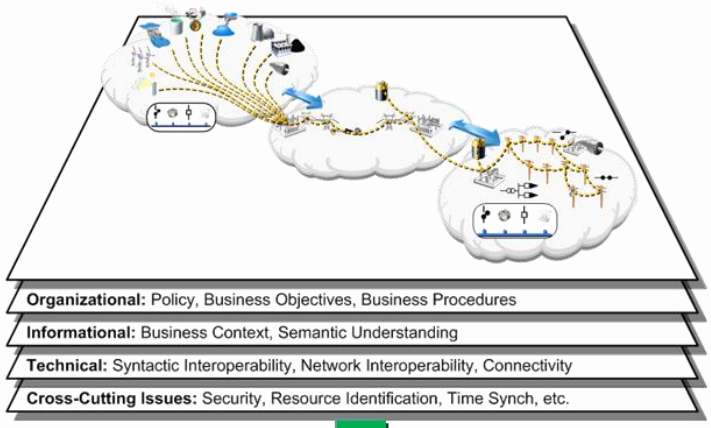


农村微能网供能系统

清洁能源+智慧农业	光伏+智慧农业	清洁能源换电站	风电+光伏	清洁能源+农民生活	分散式电采暖	多能转换消纳	船用岸电
	风电+智慧农业		外部电网		推广电动车		地源热泵
	生物质+智慧农业		物流系统		电磁式厨房		冰蓄冷
			换电部分				
			储能系统				
			后台监控				
			充电部分				

3.3 “大电网+农村新能源”互联网

中国農業大學 China Agricultural University





光伏发
电系统



风力发
电系统

- 先进清洁能源技术
- 先进供配电技术
- 安全用电技术
- 电力监管技术



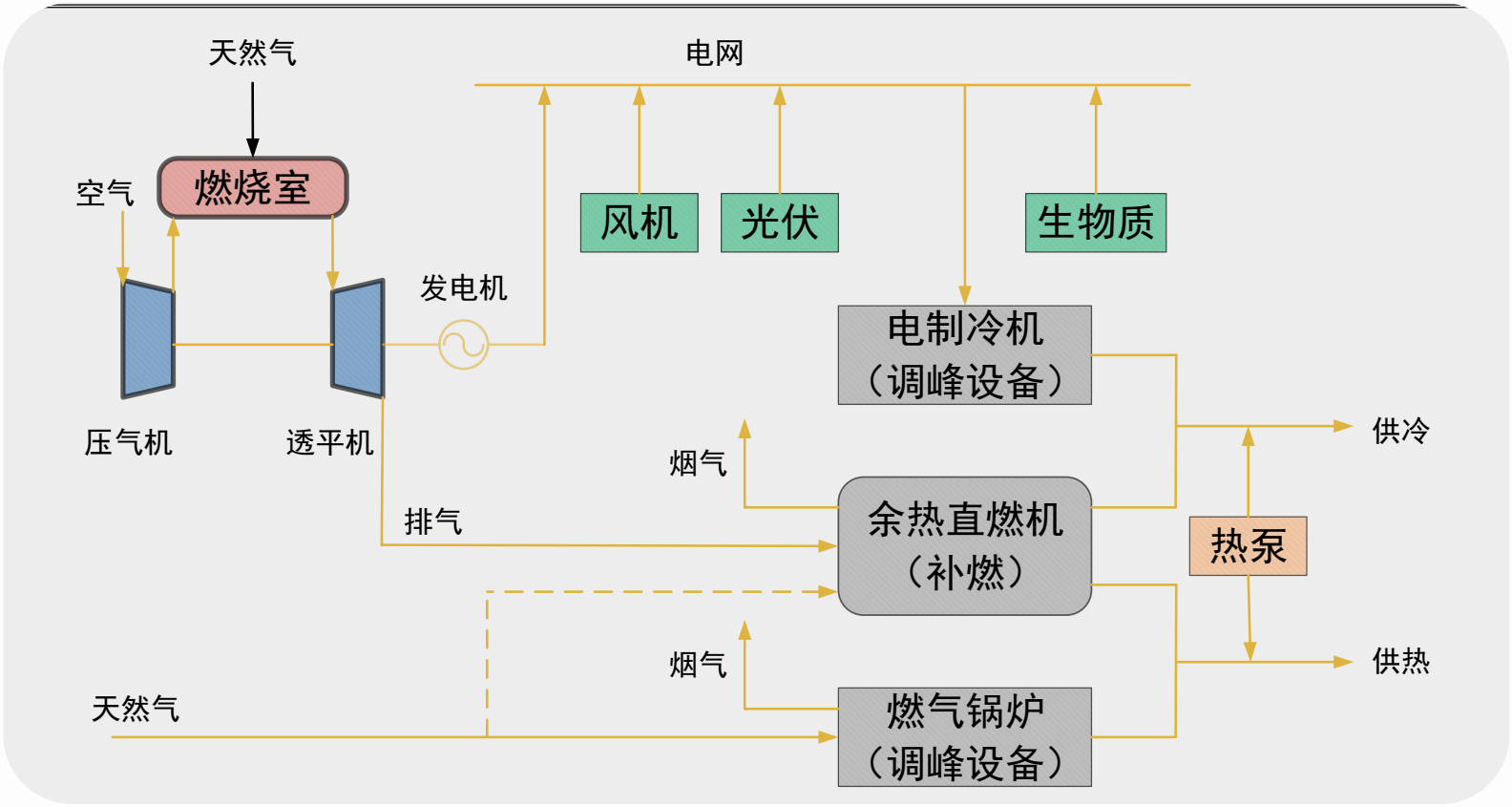
电动汽车
充电站



微电网/微能网+
储能系统

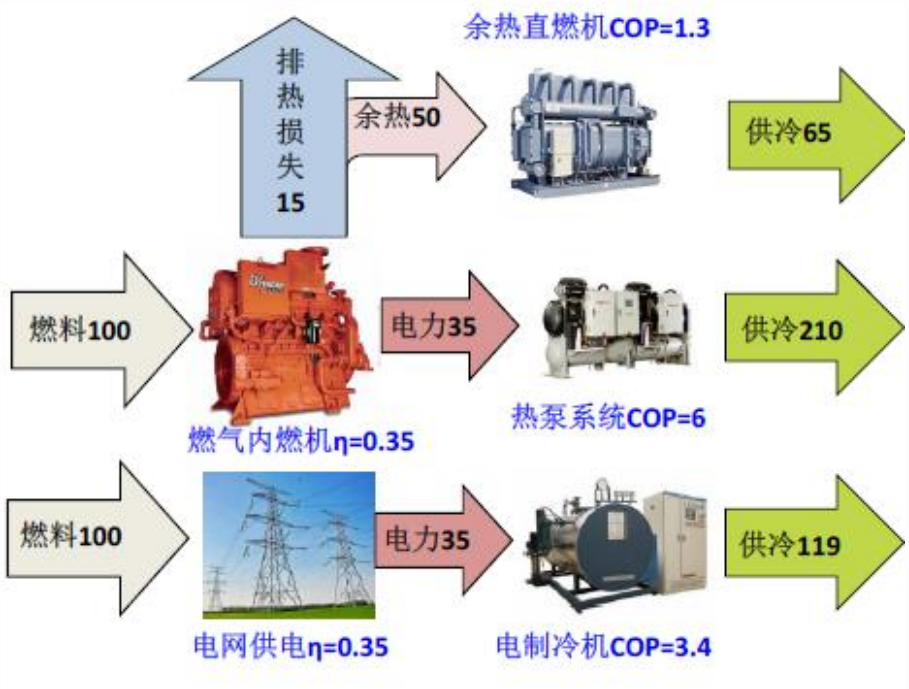
3.4 农业园区典型综合能源网

农业负荷一般可分为种植农业和养殖农业两大类，除了电负荷，大棚等种植农业以及禽类的室内养殖通常需要保持温度在一定的范围内，对温度有要求，所以还存在热能需求。



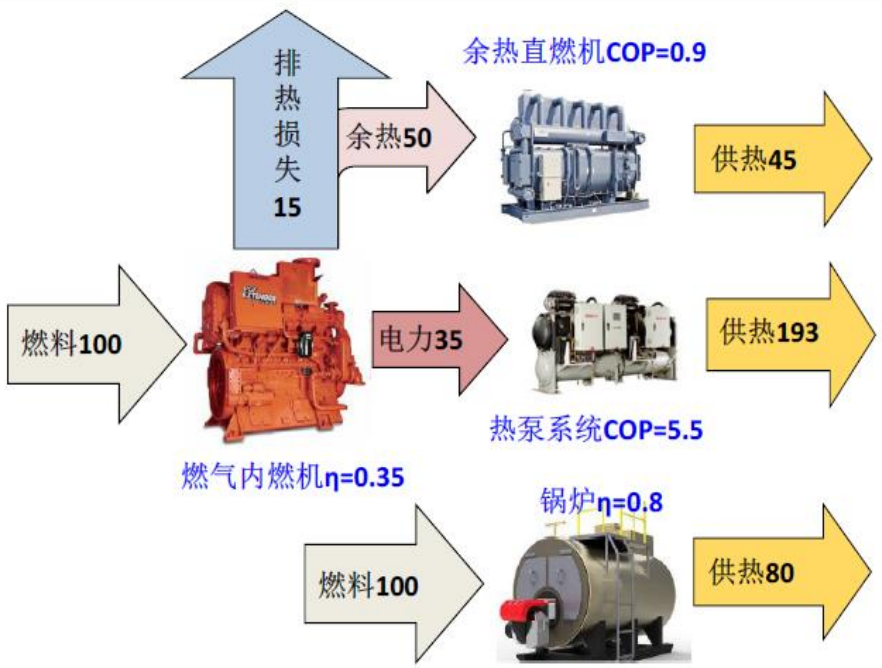
典型农业区功能单元包含：电网供电，燃气轮机冷热电联产、光伏发电、风力发电、生物质发电等。

（1）供冷模式运行特性分析



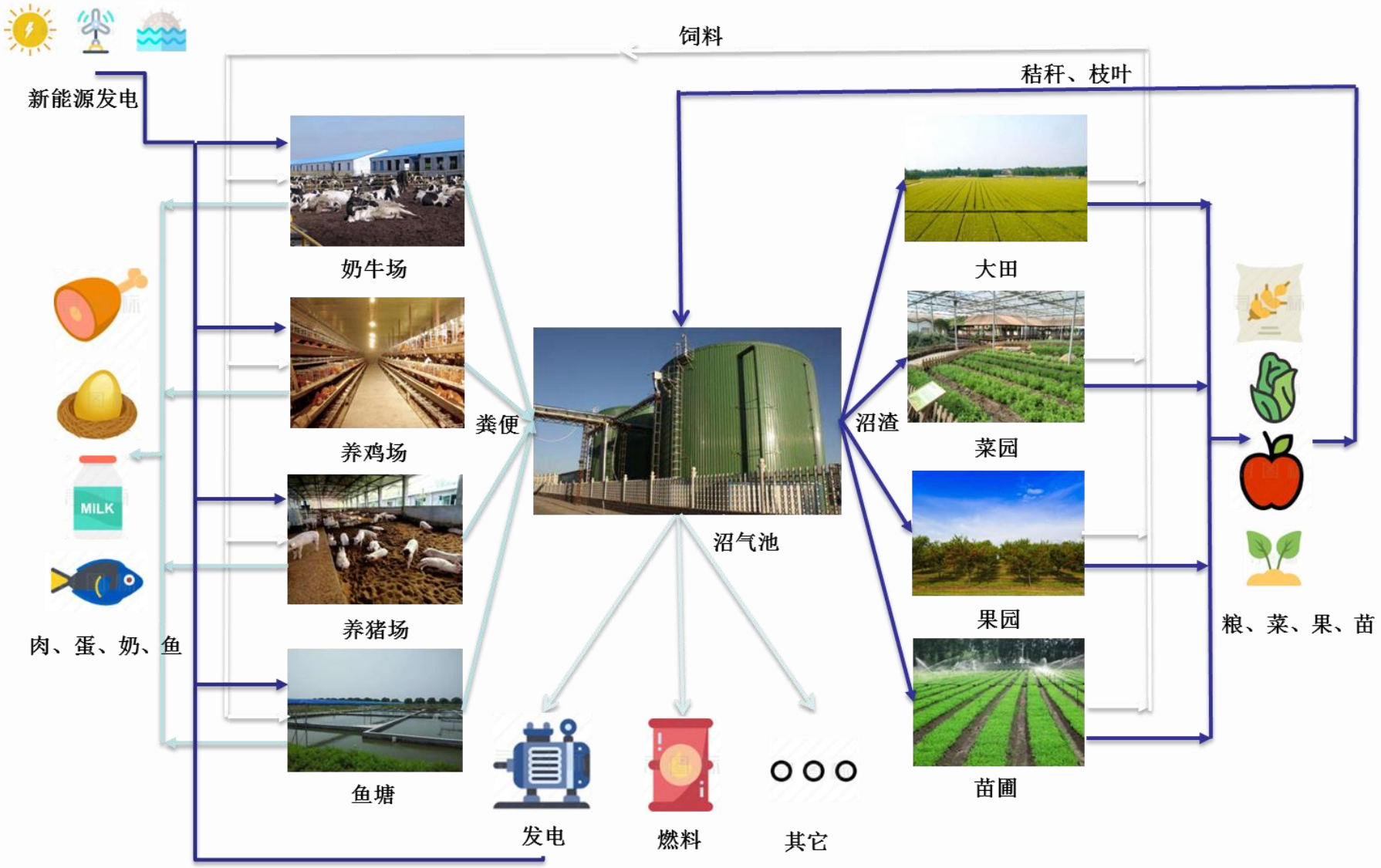
农业园区供冷模式总能效为197%

（2）供热模式运行特性分析

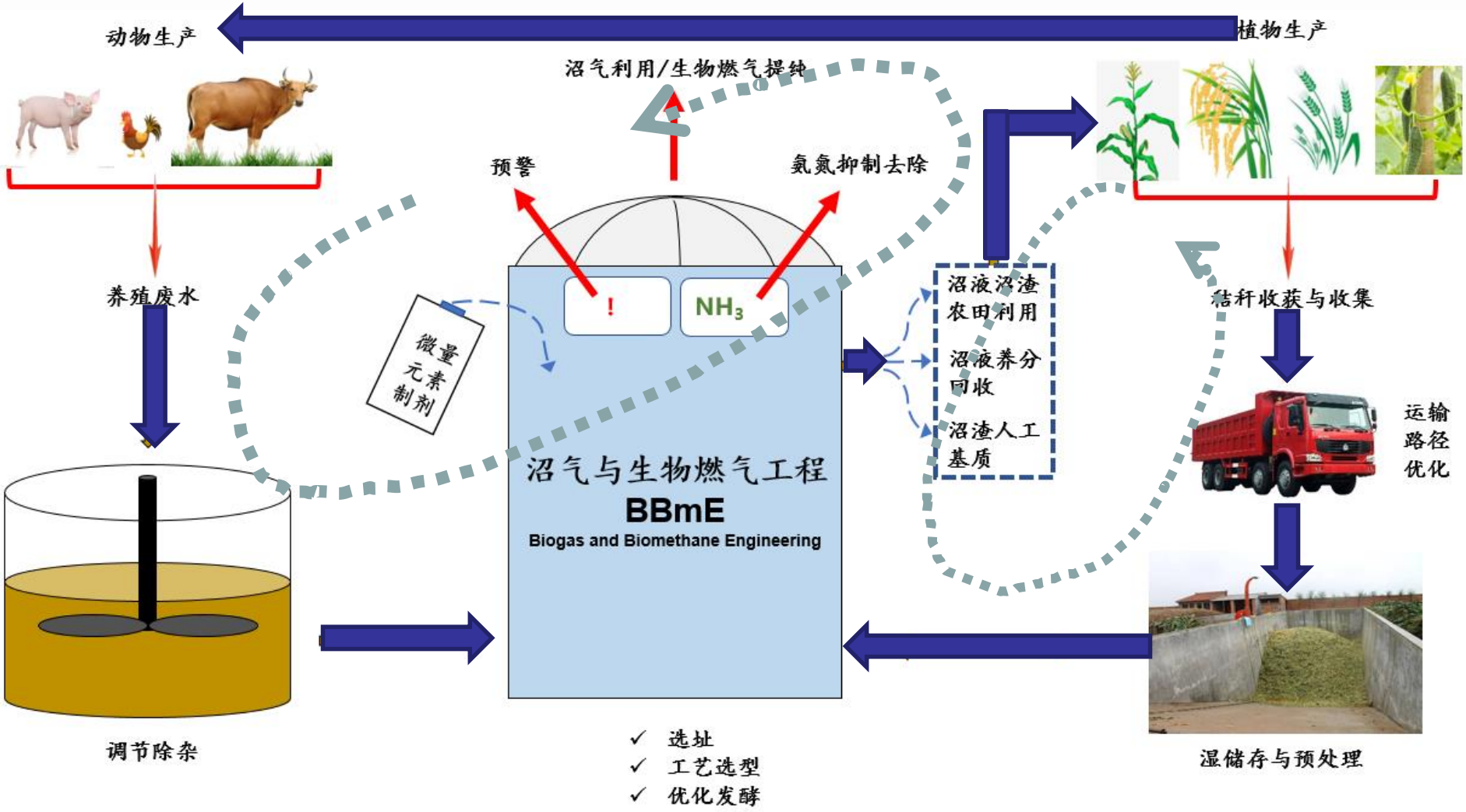


农业园区供热模式总能效为159%

3.5 设施农业综合能源网生态循环模式



生物能源的综合功能–沼气为例



3.6 畜牧场储能-电蓄冰技术利用

中国農業大學 China Agricultural University

■ 原理效益：

- 效益：**1）低谷电蓄冰-避开高峰电价；2）沼气发电蓄冰、余热发电蓄冰！**
- 作用：夏季制冷，替代传统空调；有效减少制冷和空调运行费用。
- 模式：全蓄冰模式；部分蓄冰模式。

■ 技术发展：

- 80年代：欧美、日本等，蓄冰空调技术广泛推广；目前60%以上建筑物…
- 90年代：深圳、广州、上海，引进吸收，{节能+电网消峰}
- 20年代：北京左安门宾馆，国家电网-智能家居-示范工程（冷热电综合用能）
- 21世纪：集中空调技术。1-2nd代：静态蓄冰装置-冰球式、盘管式； 3rd代：动态蓄冰装置。

■ 应用场合：

- 商贸、办公、医院等大型建筑物：每年60天测算，效益显著。
- 体育馆、影剧院等：空调利用率不高场所，经济性欠佳。
- **大中型养殖场：需要研究；{年耗电量，年运行费用}**
- **国家对冰蓄冷技术政策和经济支持：高峰、平段、低谷；农业生产电价….**

电蓄冰技术–冰蓄冷 + 低温大温差供冷/送风技术

中国農業大學 China Agricultural University

■ 优点：

- **降低初期投资和运行费：**
  - ✓ 减少空调/配电设备容量、管网直径、机房管井面积、压低建筑物层高
  - ✓ 采用低温送风，末端风机/水泵功率大幅降低，除湿能力强，空调能效提升
- **分时电价优惠：**
  - ✓ 总体电费支出大幅降低。
- **抑制细菌和病菌繁殖：**
  - ✓ 低温、大温差，有利于抑制细菌。
- **改善室内空气品质和热舒适度**（低温环境）
- **应急功能：**
  - ✓ 提高空调系统可靠性，拉闸限电时更具优势
- **空调系统智能化程度高，可全自动运行。**

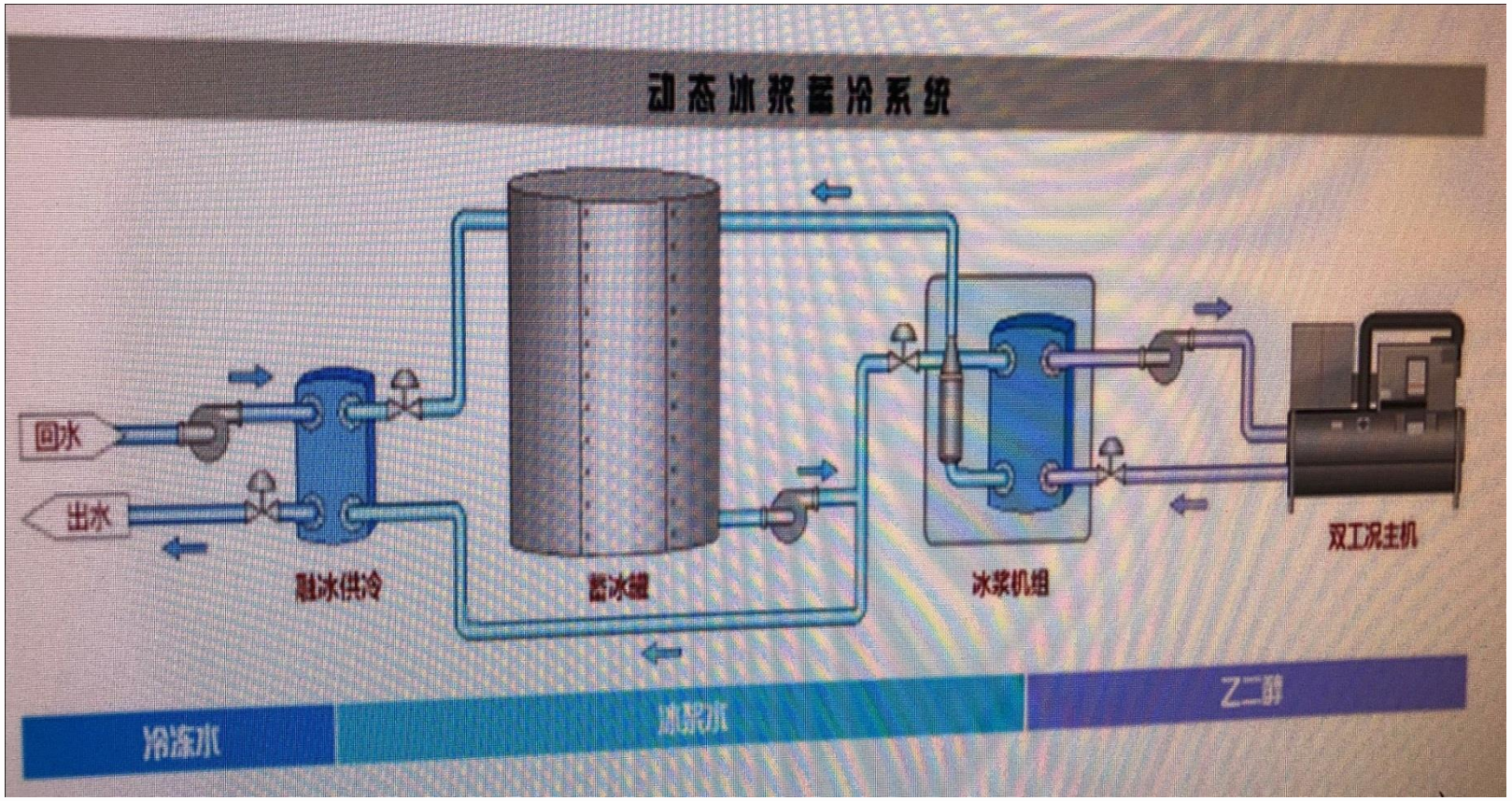
■ 缺点（与常规空调相比）：

- **系统庞大占地：**
  - ✓ 制冷系统、空调；蓄冰罐（槽）、溶液泵、制冰泵、介质、热交换器等。
  - ✓ 占地面积较大
- **蓄冷放冷过程：**
  - ✓ 放冷速度：起始快，后期慢；剩余冷量无法全部利用
  - ✓ 蓄冷速度：起始快，后期慢；全部蓄冰时间较长。
- **引进消化吸收：**
  - ✓ 1995年至今，缺乏高水平国产技术
- **维护要求较高：**
  - ✓ 需要专业人员

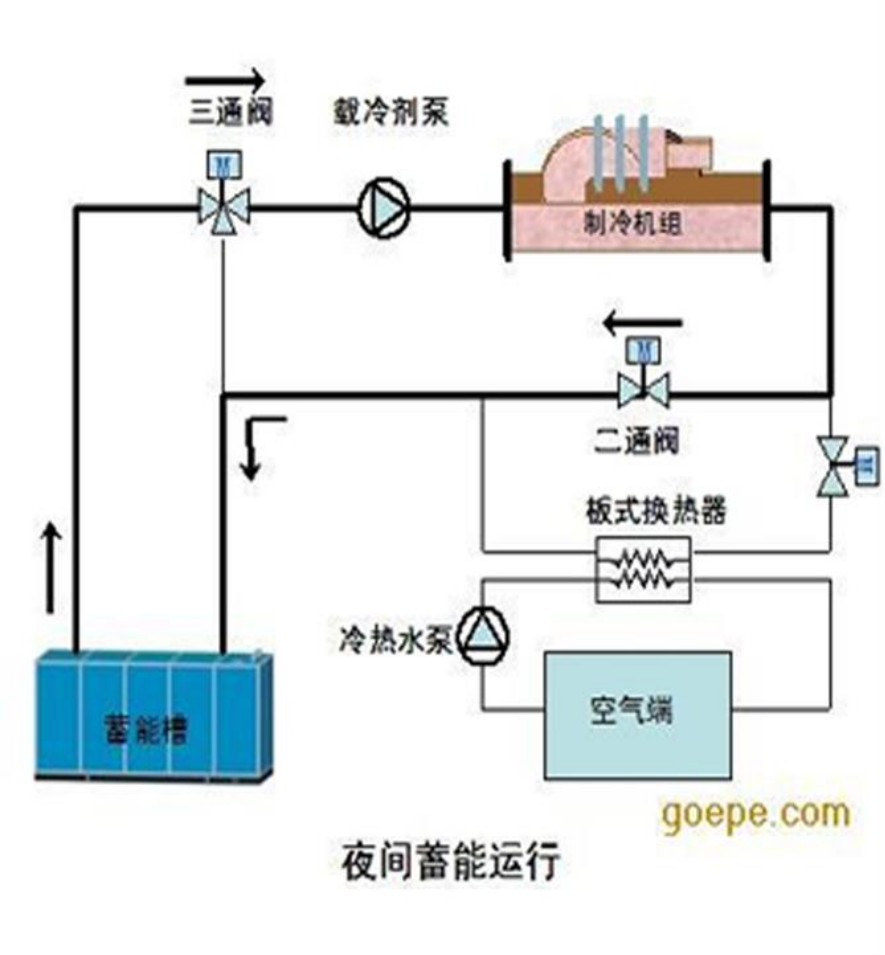
冰蓄冷技术–三代技术发展



■ 动态冰蓄冷系统：



大型商场冰蓄冷系统：







3.7 畜牧场储能-余电采供暖系统

中国農業大學 China Agricultural University

■ 效益-作用-途径：

- 效益：

  1）充分利用政策：低谷电蓄热-降低成本（如：2002年国家邮政总局干部培训中心蓄热蓄冰项目）

  2）充分利用资源：稳定性较差的沼气和余热发电，然后致热…

- **作用：**

  1）冬季供暖，替代传统电风机/热风机；

  2）可稳定持续供热。

- 途径：

  1）利用相变储能技术；

  2）鹅卵石、沙子储热；

  3）热水/热风管路系统。

■ 加温：不同介质（热风/热水）



加温设备



车间暖风机



工业暖风机



工业散热风扇



电加热暖风机



加温设备

■ 加温：各类常规装备



燃油/燃气暖风机



烧水两用燃气取暖器



养殖加温设备



猪舍加温设备



鸡舍加温设备



大棚加温设备

■ 热量缓存技术：



鹅卵石加热器（散热慢+保温好）
风俗设计师Sooeon Kim and Sangyong Park设计



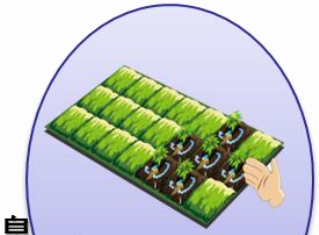
鹅卵石煮鱼/炒鸡蛋/火锅

- 液体盐储存罐--太阳能热电厂：1-2天蓄热效率可达95%
- 空气——沙子热交换器

……

四、农业物联网工程

4.1 农业物联网功能架构（四大板块）



种植业物联网

采集作物生长及环境信息
精准农业调控与决策



设施物联网

温室环境状态监测、
精准调控、科学管理

智能农业应用



养殖物联网

信息采集、分析、追溯
养殖过程信息化自动化



水产物联网

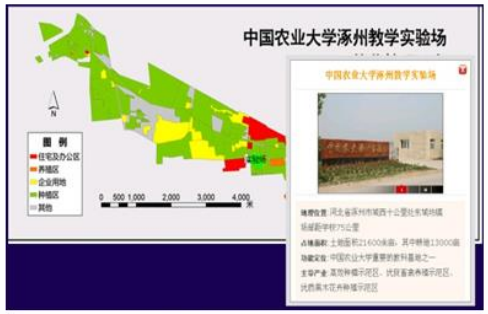
监测生长环境、控制水
质参数、实现科学生产

八大技术模块：


农业物联网
农业生态环境监测与控制系统
精量灌溉测控系统
日光温室自动化控制系统
农业遥感与地理信息系统
养殖监控系统
种子与农产品品质监测系统
能源与节能管理系统
农业智能化管理与决策支持系统
项目涵盖电力、计算机、传感、地信、自动化等多学科研究与应用，对现代农业发展的具有重要的示范推广作用

□ 物联网远程管控平台：





涿州教学实验基地智能监控

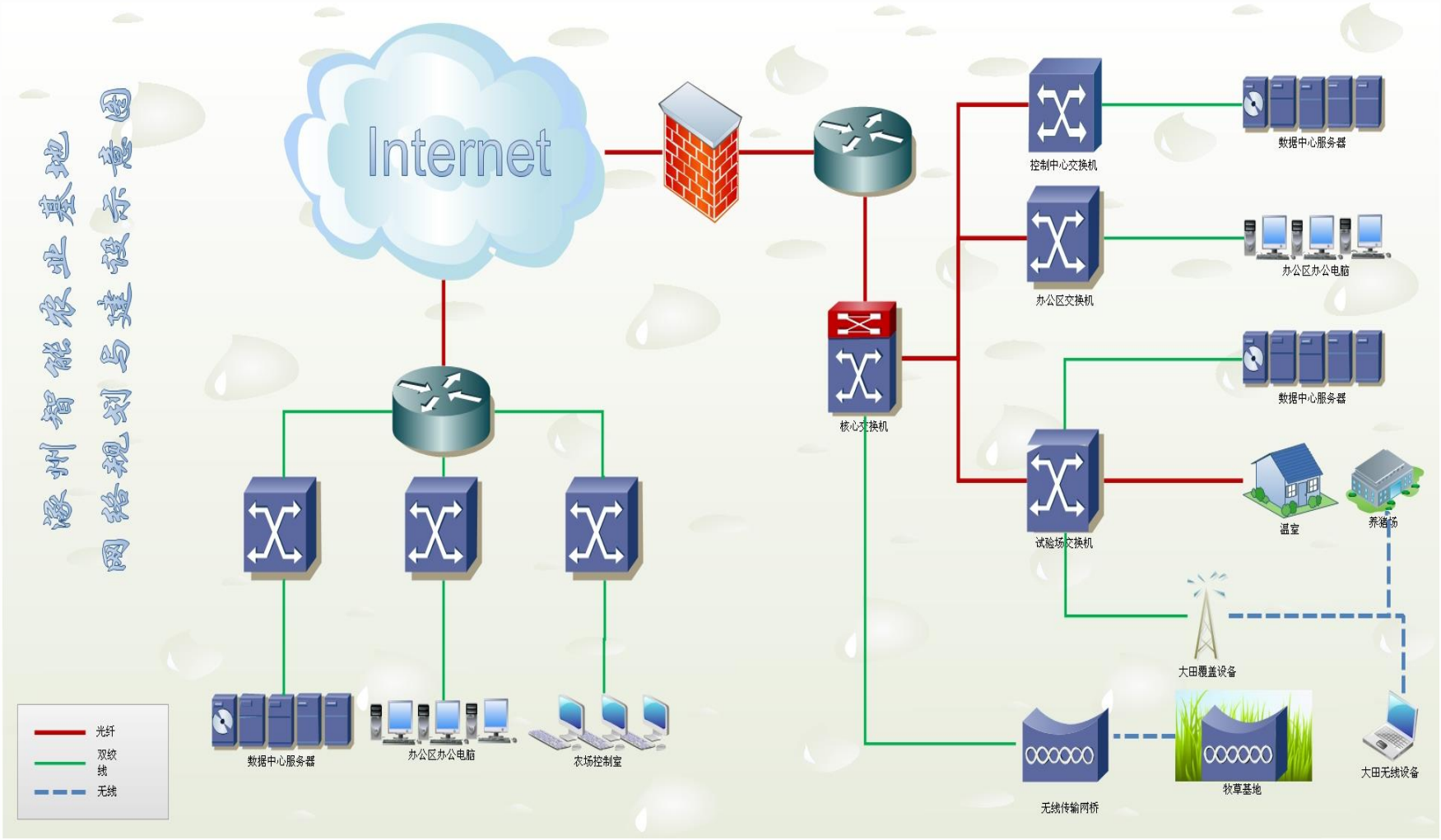


农作物需水监控数据



4.2 农业物联网--远程信息网络系统

基础设施建设——网络覆盖



4.3 “四表合一”畜牧场多能源信息采集与监控系统

中国農業大學 China Agricultural University













智能电表 + 水表 + 气表 + 热力表

“四表合一”畜牧场多能源信息采集与监控系统

中国农业大学 China Agricultural University

■ 应用场景：

- 规模化养殖场--**奶牛场、养猪场、养鸡场、……**

■ 现状分析（水、电、气、热）

- 综合能源信息及管理技术落后、资源化利用程度低
- 各自一体：水、电（电网+沼气发电/生物质发电）、气（沼气/天然气）、热
- 急需建立能源全覆盖型水、电、气、热四表合一综合能源管控系统

■ 核心技术与装备：

- 核心技术：数据采集、通信、互联网、云计算
  - ✓ **用电信息：主站层、远程通信层、采集终端层、本地通信层、电能表层；**
  - ✓ **通信技术：M-BUS、RS-485、微功率无线、无线公网、电力线载波等**
- 核心装备：1）智能电表；2）水表、气表、热力表；3）多场景数据采集传输；4）互联网+云计算平台；5）应用软件。

■ 效益分析：

- 技术含量高；投资强度低；运行维护简便；管理效率提升…

“四表合一”典型技术方案：


Q/GDW 1376.1扩展
I型集中器
PLC或微功率无线
RS485、PLC、微功率无线
RS485
RS485
M-BUS
M-BUS集线器
M-BUS
微功率无线
Q/GDW 1376.1扩展
II型集中器
RS485
RS485
M-BUS
M-BUS集线器
微功率无线

五、微电网工程案例（7个）

5.1 中国农业大学–DG、微网、微网群研发（2011-2018）

中国農業大學 China Agricultural University



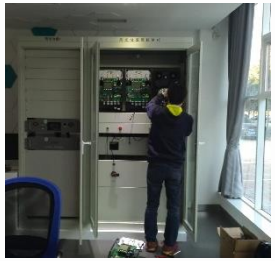
- 华北电网公司“分布式电源/微电网接入试点工程”投运

2011.4

- 国家科技支撑计划“农村户用风水光发电关键技术研究”项目验收



2011.10



- 天津三源园区型光储微电网通过用户试运行考验。

2012.7

- 国网蒙东公司农网微电网接入试点工程顺利投运



2012.9

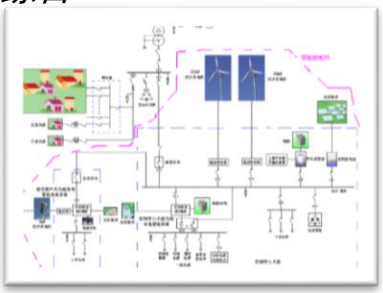


2012.10

- 完成厦门智能小区微电网储能控制系统样机研制

2013.1

- 完成涠洲岛海岛微电网园区的综合设计



研究及应用（续）：

中国農業大學 China Agricultural University



- 微电网运行与控制北京市工程研究中心成立

2013.6



- 华商智能公寓运行控制测试评估项目完成

2013.7



- 甘肃分布式电源与智慧农业协调发展项目启动

2013.11

2014.3

2015.5

2018.7至今

- 完成涿州农场能源与节能管理系统建设，顺利通过试运行



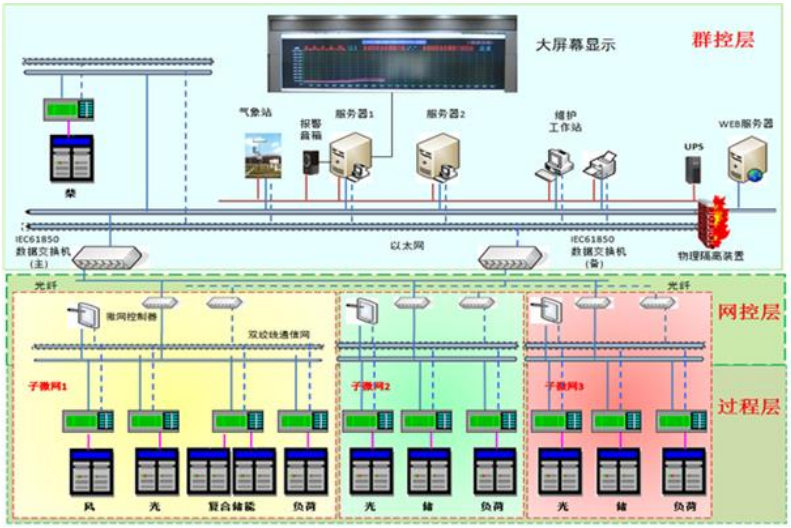
- 完成云南蚌孔农业能源物联网建设



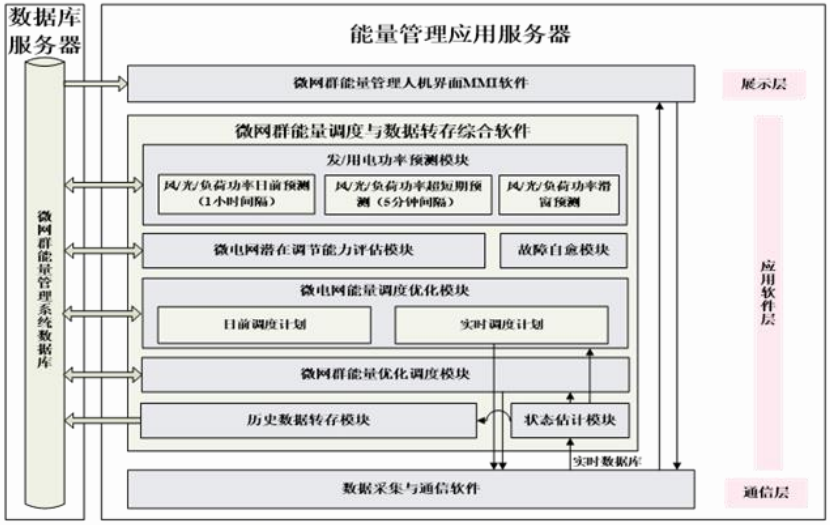
- 国家863计划“微网群高效可靠运行关键技术及示范”顺利通过科技部验收



5.2 微网群EMS系统设计



基于IEC61850的微网群能量管理系统物理架构



微网群能量管理系统软件体系架构

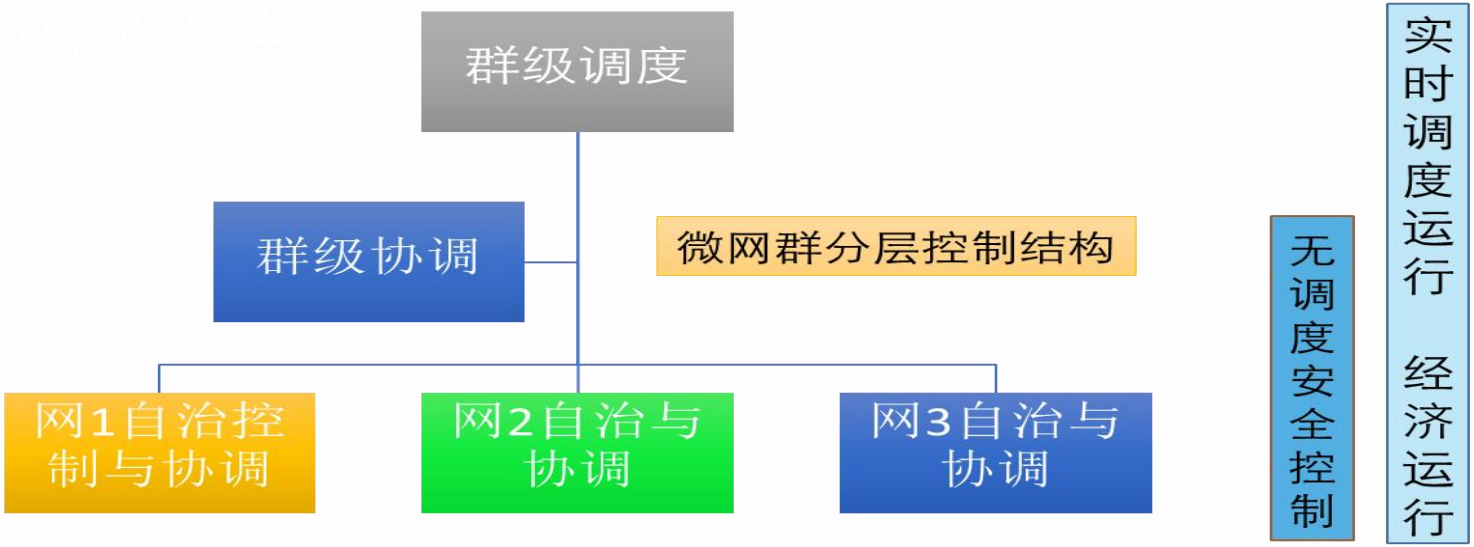


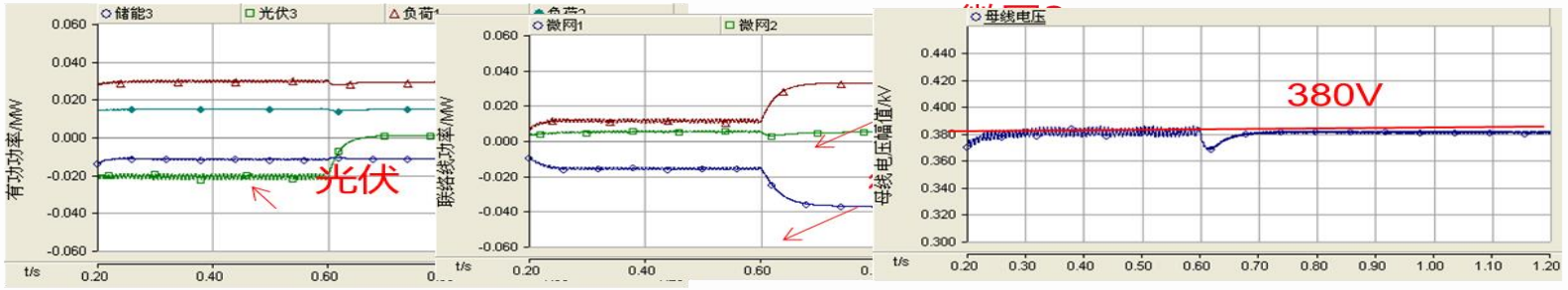
微电网智能测控终端



微网群能量管理系统

5.3 微网群群级协调控制系统





在间歇性电源扰动时， 单元自治控制， 网间协调控制， 电压维持稳定

5.4 中国农业大学典型工程与示范

中国農業大學 China Agricultural University

关键技术

- 户用光伏发电效率提升技术
- 农村户用微型电力系统交直流潮流计算
- ATP/EMTP户用微型PS电磁暂态数值仿真平台
- 风水光发电单元物理仿真平台
- 户用多电源直流汇流微型电力系统拓扑
- 最优能量调度控制策略

示范工程

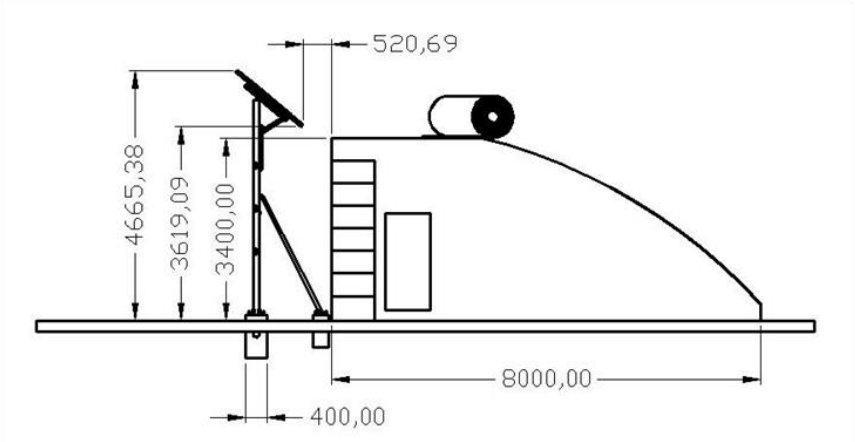
- 农网并网型微电网
- 智能小区微电网
- 工业园区微电网
- 智能建筑微电网
- 海岛型微电网
- 智能微电网运行与控制北京市工程研究中心

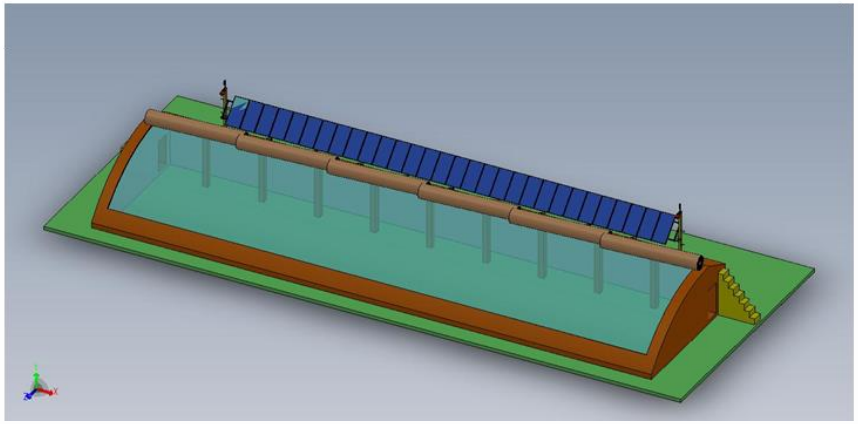
典型工程1：涿州农场（京津冀智能农业研究院）

中国農業大學 China Agricultural University

涿州农场能源与节能管理系统建设

大棚光伏系统



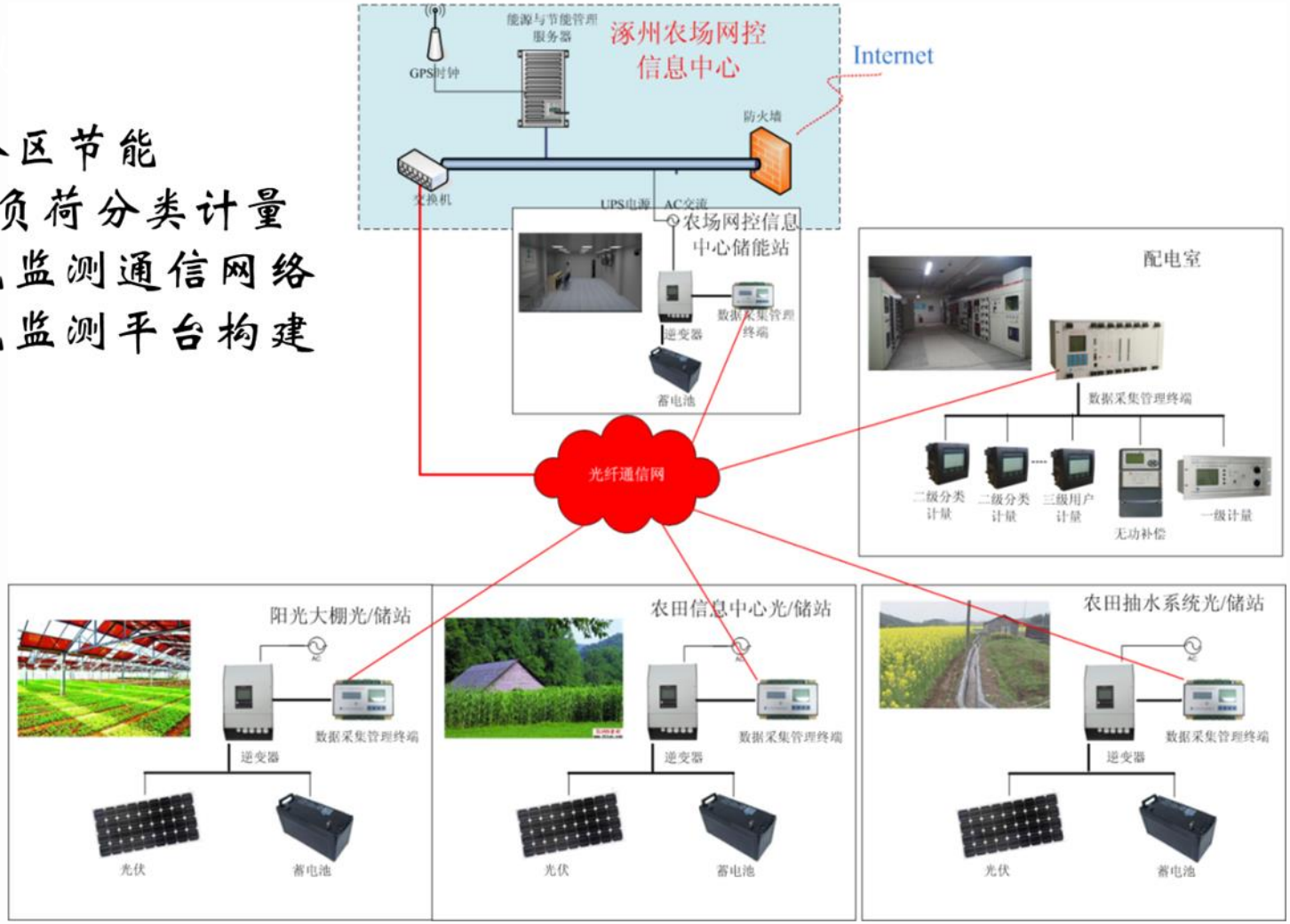


- 植物生长的采光分析
- 光伏组件安装方式选择
- 遮挡关系分析
- 基础施工设计



■ 涿州微网群EMS系统：

- 办公区节能
- 9点负荷分类计量
- 节能监测通信网络
- 节能监测平台构建



典型工程2：云南蚌孔-农业能源物联网（5万亩草山-中缅边境）





典型工程3：蒙东-国网微电网示范工程

中国農業大學 China Agricultural University

微网建设方案

陈旗微网试点工程为典型的并网型微网，微网拟接入由规划中的35kV轻型化线路供电的配变低压侧。

- 光伏发电：30kWp
- 风力发电：10kW*2
- 储能：42kW×1h





微网建设方案

太平林场微网为典型的风光储离网型微网。

- 光伏发电：100kWp
- 风力发电：20kW
- 储能：100kW×1h
- 柴油机组：80kW（备用）

典型工程4：厦门智能小区试点



厦门电业局：

国网智能小区试点项目



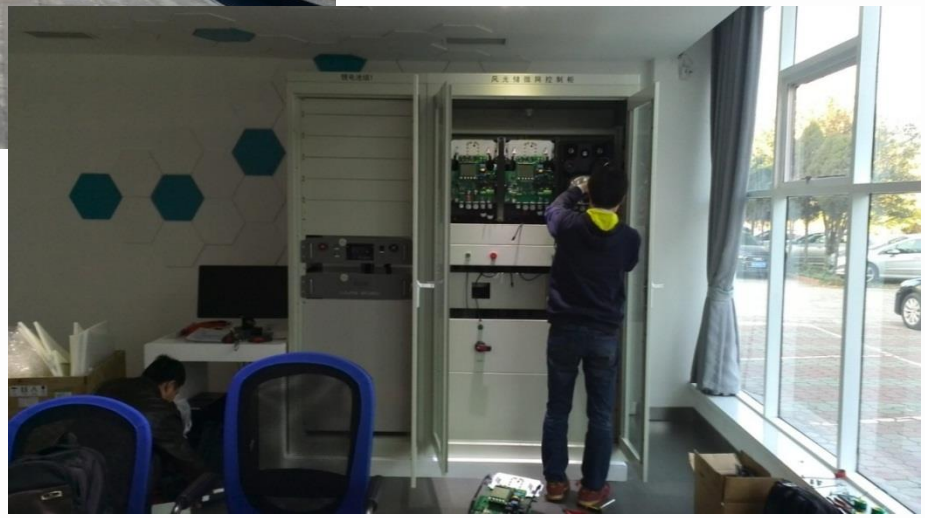
光储模式：

光伏：10kWp

储能：42kWh

典型工程5：天津工业园区微电网工程





典型工程6：北京华商智能公寓-微电网工程

中国农业大学 China Agricultural University

显著的社会公益

促进节能减排

- 年节省标准煤量（kg）：30993.5
- CO2年减排量（kg）：112389.1

提高能源利用率

新能源的应用改变了电力系统运行方式和供需关系

提高供电质量

微电网系统内负荷完全不断电运行。

用户新型用能

冷热电联供，多能源互补

增强电网抗灾变能力

典型工程7：甘肃临洮-分布式电源与智慧农业协调



中国農業大學
China Agricultural University

谢 谢！

