

“新驰电掣，绿意盎然”

湖南省“源网荷”一体化发展现状分析与对策建议

——以湘中、湘南地区为例

刘露露¹, 李芷若¹, 吴婧¹, 刘锦轩¹, 黄子怡², 蔡梓铭², 范子贤³

指导教师: 赵斌^{1,2}, 田孟萍¹, 邓丰¹

(1.长沙理工大学, 电气与信息工程学院, 湖南, 410114; 2.长沙理工大学, 能源与动力学院, 湖南, 410114; 3.长沙理工大学, 国际工学院, 湖南, 410114)

摘要: 新型电力系统是“双碳”目标的关键载体和新型能源体系的重要支撑, 湖南省提出要有力有序推进构建新型电力系统、推动电力系统整体向清洁低碳方向转型。因此, “电”亮星团队以湖南省湘中、湘南地区为例, 开展“源网荷”一体化发展现状调研。团队基于本省能源消费现状和电力供需形势, 前往 10 家能源电力企事业单位, 结合问卷调研结果, 分析城乡居民用能节能行为情况, 并实地调研多地光伏风力发电现状、电力输配网络情况和终端用能电气化水平, 分析“电源侧、电网侧、负荷侧”中存在的问题, 最后对“政府、企业、居民”三方提出政府部门落实规划配套政策、电网企业勇担示范先行责任、工业企业加速绿色低碳转型、城乡居民提升用能节能水平四项对策建议, 推动“源网荷”到“源网荷储”的协同发展, 为促进湖南省能源清洁化、终端电气化, 构建具有湖南特色的新型电力系统建言献策。**2023 年实践团队和指导老师获全国“三下乡”社会实践优秀团队和优秀个人荣誉称号。**

关键词: 新型电力系统; 清洁低碳; 现状分析; 源网荷储; 对策建议

1. 调研来源

新能源快速发展提升电力电源清洁化水平。在我国, 能源活动占二氧化碳排放量的 88%左右, 而电力行业碳排放又占能源行业碳排放的 42%左右。目前湖南省正逐步实现电力电源结构清洁化, 大力实施电力绿色低碳转型行动, 预计到 2025 年湖南省风电、光伏发电装机规模达到 2500 万 kW 以上、2030 年达到 4000 万 kW 以上^[1]。在保障电力安全可靠供应的基础上, 大力实施可再生能源替代, 推动风电和光伏发电大规模、高比例、高质量、市场化发展。同时, 推动农村分布式新能源发展, 以就地消纳利用方式全力服务乡村振兴战略, 加速农村能源转型发展, 加快农业农村现代化。

加强输配网络建设保障电力供应稳定可靠。湖南省正致力于构建结构合理、先进可靠、绿色智能、经济高效的现代输配电网。输配电网作为连接电力生产和消费的关键平台, 不仅是电能传输的通道, 更是各能源广域时空互济的纽带。其中, 跨省跨区能源输送通道建设极大地缓解本省冬夏用电高峰期保供压力, 夯实电力保障基础, 同时在城乡积极推动配电网智能化、数字化转型, 以提高城乡电网安全性和可靠性, 为居民提供更加稳定的电力供应。

终端电能替代不断增强绿色发展内生动力。2022 年 3 月, 国家能源局等部门印发了《关于进一步推进电能替代的指导意见》, 提出大力推进工业、交通、建筑、农业等重点领域电气化发展, 预计到 2025 年, 电能占终端能源消费的比重将达到 30%左右^[2]。2022 年, 湖南全社会用电量为 2235.54 亿 kW·h, 较上年增长 3.8%。其中, 工业用电量 1094.74 亿 kW·h, 城乡居民生活用电量 641.39 亿 kW·h^[3], 终端用能电气化水平不断提高。进一步拓展电能替代广度、深度, 将有助于提高全社会电气化水平, 提升居民生活水平和社会生产效率。

为助力湖南省实现“双碳”目标和乡村振兴事业, 长沙理工大学“电”亮星实践团本着“自找苦吃、知行合一”的精神在湖南省湘中、湘南地区开展“源网荷”一体化发展现状调研, 同时前往内蒙古自治区企业单位开展“外电输送”情况调研工作。实践团和团队指导教师已被推选为**2023 年全国社会实践优秀团队和优秀个人**(见附件 A)。本团队通过文献、问

卷、实地调研等多类方法分析“电源侧、电网侧、负荷侧”中存在的问题，并向“政府、企业、居民”提出相应对策建议，**为湖南省大力发展绿色清洁能源、提升社会电气化水平提供参考意见。**

2. 调研思路

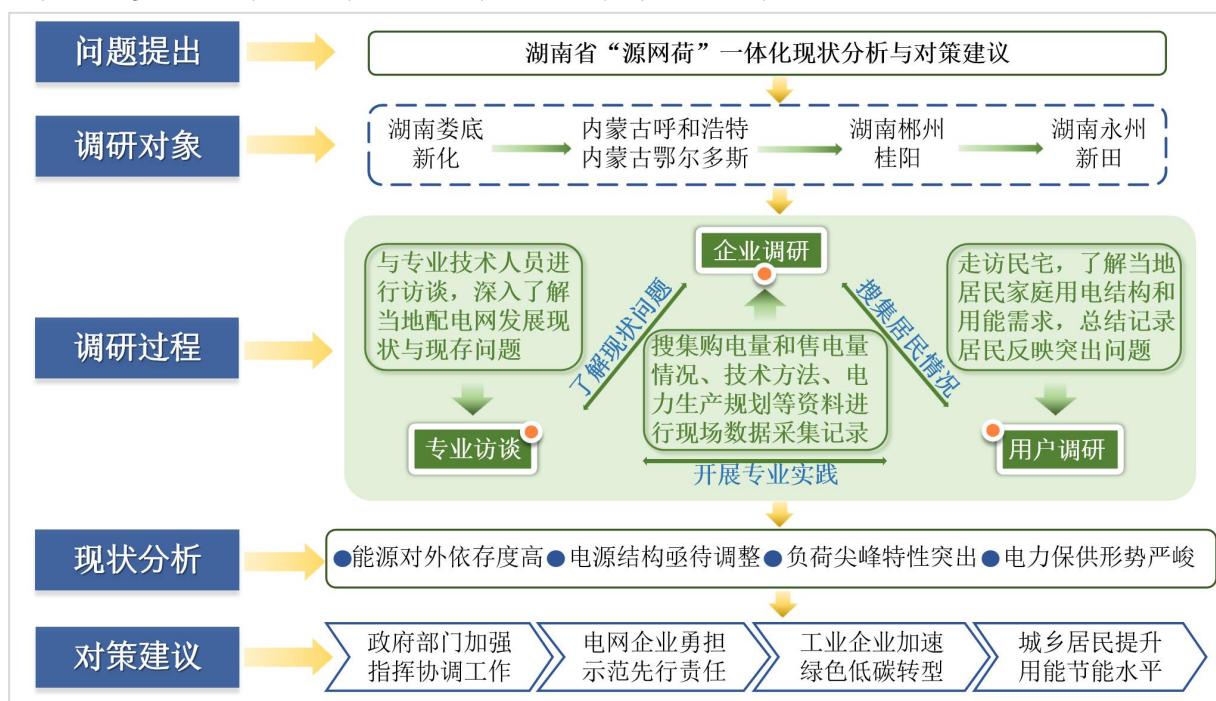
2.1 调研对象

湖南省位处中南地区，缺电少煤、无油少气，能源禀赋先天不足，整体位于全国能源流向末端和受端。“十四五”期间，湖南省新能源装机规模增长迅速，风电新增装机规模 531 万 kW，光伏新增装机规模 909 万 kW，新能源成为省内装机增长主体。2023 年，湖南省总发电量 1700.4 亿 kW·h，同比增长 0.8%；其中，风力发电量 198.9 亿 kW·h，同比增长 10.6%；太阳能发电量 30.3132 亿 kW·h，同比下降 1.1%。

但新能源高速发展的同时存在并网消纳难、发电出力波动性较大等问题，电网调峰压力大。近年来湖南省全社会用电量持续增长，工业用电量呈现降速减缓的趋势，居民生活用电成为增长主力，电力需求增长迅速。全省电力供应存在季节性电力缺口，高峰时段保供压力大。而在用电高峰期，“外电”已然成为湖南电力稳定的重要支撑之一，内蒙古作为国家重要电力供应基地，电力外送能力高达 7000 万 kW，省内风光资源丰富，外送新能源规模正在不断提升。**立足湖南本省，新能源资源禀赋不优，电网建设相对滞后，电力生产和消费呈逆向分布**，因此团队在湖南省开展“源网荷”一体化现状调研工作，前往湘中娄底新化调研当地电力基本情况和乡村振兴现状，前往湘南郴州桂阳、湘南永州新田着重关注当地新能源发展现状，前往内蒙古自治区重点关注清洁能源发电及外输送电现状与规划。

2.2 调研流程

为提高湖南省能源清洁化、终端电气化发展水平，团队开展“源网荷”一体化发展现状调研工作，2023 年 7 月前往湖南娄底新化、8 月前往内蒙古呼和浩特和鄂尔多斯、2024 年 1 月前往湖南娄底、3 月和 4 月分别前往湖南郴州桂阳、永州新田，具体调研流程如图 1 所示。



2.3 调研方法

(1) 文献分析

团队成员共查阅 138 篇文献、37 份政策文件与政府工作报告，分析湖南省能源消费现状和电力供需形势，明确调研对象及基本方向。

(2) 问卷调研

以湖南省城乡居民（当地居民与湖南省大学生）为调研对象，采用线上线下问卷调查方式对湖南省城乡居民家庭用能节能行为情况进行统计分析，共发放问卷 1021 份，收集问卷 970 份，其中有效问卷 885 份（作为数据分析样本），线上问卷 598 份，线下问卷 287 份，有效率 91.24%（见附件 B）。

(3) 实地调研

团队成员选取风能、光伏资源较为丰富的湖南省郴州市桂阳县和永州市新田县、内蒙古呼和浩特市托克托县和鄂尔多斯市准格尔旗以及乡村振兴“十大”优秀案例典型县的娄底市新化县开展实地调研工作。

1) **企业调研：**前往国网供电公司等企业单位搜集购电量和售电量数据、技术方法、电力生产规划等资料并进行现场数据采集与记录，同时开展专业实践，参与杆塔红外测温巡视、观摩带电作业等工作。

2) **用户走访：**走访民宅，了解当地居民家庭用电结构和用能需求，针对居民反映的突出问题进行总结记录，以深入分析并解决居民用电难题。

3) **专业访谈：**团队成员积极开展与各企业专业技术人员对话访谈，深入了解当地电力发展现状与现存问题。同时在新化县志民劳模（工匠）创新工作室、梅山电保姆工作室开展学习活动，夯实专业基础。

3. 调研分析

3.1 湖南省能源消费现状

据《湖南省能源发展报告 2022》（以下简称《报告》）显示，2022 年，**湖南省能源供应水平稳步增长**，2022 年，湖南当年建成和在建电源突破 2150 万 kW，规模创历史新高；全省电源装机 5841 万 kW，同比增长 7.9%。其中煤电装机 2396 万 kW，占比 41%；风电、光伏装机 1536 万 kW，占比 26.3%。**能源低碳转型成效明显**，2022 年湖南省煤炭消费占能源消费总量比重为 48.3%，低于全国 7.9 个百分点，非化石能源消费占比为 23.5%，高于全国 6 个百分点。新能源成为电源装机增长主体，占新增电源的 70%^[4]。

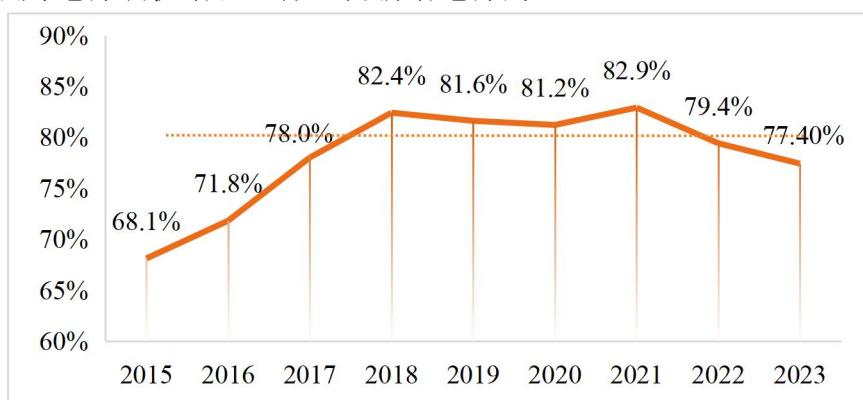


图 2 2016-2023 年湖南省能源对外依存度

湖南省能源对外依存度长期超 80%，远高于全国平均水平，能源安全保障压力长期存在，如图 2 所示。《报告》预计，2023 年度全省能源对外依存度约为 77.4%，能源对外依存度有所下降，但仍稳高于全国水平。此外，湖南省距离全国煤炭供应中心（内蒙古、山西、陕西等）较远，在能源区位上，**湖南省位于全国能源输送末端**，受本地资源禀赋限制和煤炭去产能影响力大，电煤运输成本全国最高。

3.2 湖南省电力供需形势

（1）电源结构亟待调整

2022 年湖南省电源结构如图 3 所示，**电力需求激增的同时，湖南电力供应有限**。湖南省煤炭资源有限，煤质较差，灰分大，发热效率低，污染严重，且省内煤电主力机组中老旧低效机组占比也较高，发电效率也较低。此外湖南省全社会用电量半数来自清洁能源，清洁能源消费占比不断提高，给湖南带来绿色电力的同时，也增加了电网应对用电高峰的压力。水电装机容量位居第二，作为主力电源调节性能不足，夏季汛期水电充沛，而冬季枯水期，水电出力有限。**省内风电、光伏等能源发电具有间歇性和波动性，也难以为湖南省提供连续可靠的电力保障**。

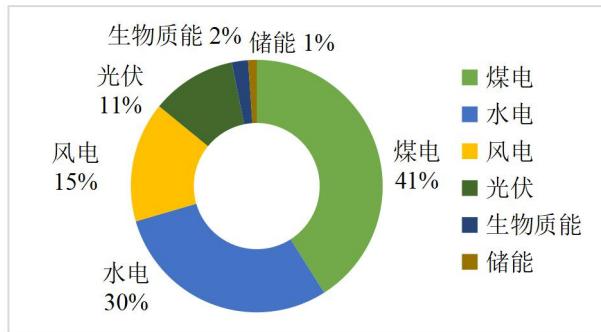


图 3 2022 年湖南省电源结构

（2）负荷尖峰特性突出

湖南省用电结构不优，最大峰谷差率多年居全国第一，民生保供和系统调节压力大。2017-2022 年湖南省城乡居民用电量如图 4 所示，居民用电量逐年攀升，保持快速增长。

在湖南省用电结构中，城乡居民生活用电占比大，以 2022 年为例，**湖南省城乡居民用电量占全社会用电量的比重为 28.69%，远高于全国平均水平 15.47%**。湖南省居民用能主要集中在电力和天然气等清洁能源上。其中，电力消费占比最大，约为 55%，天然气消费占比 20%，煤炭消费占比 15%。

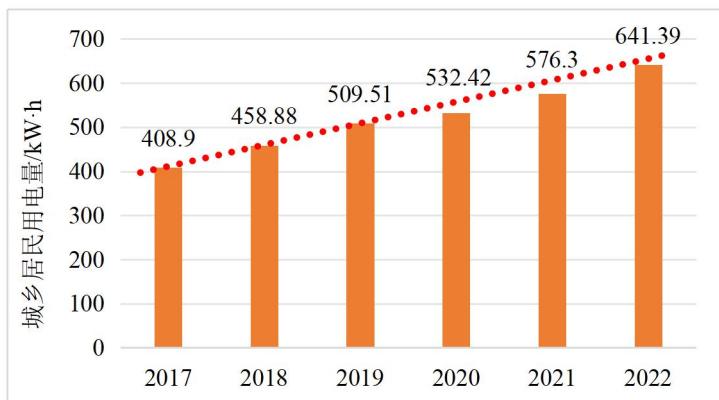


图 4 2017-2022 年湖南省城乡居民用电量

从用电负荷角度分析可知，极端天气易致用电负荷激增，其中用电负荷高峰期主要集中在夏季极端高温天气空调冷负荷和冬季寒冷天气下取暖空调热负荷。但目前电力供应情况难

以完全满足居民用电量的需求，而解决尖峰负荷缺口的关键已不在于继续扩大煤电装机规模，而要从电力系统的整体角度出发，优化电力供应结构，在根源上解决电力缺口问题。

(3) 电力保供形势严峻

湖南省电力生产和消费呈逆向分布，电力供应存在严重缺口，主要原因是湖南能源对外依存度较高且煤炭产能释放不足。湖南电力供应以省内煤电、水电、祁韶直流为主，省内煤电供应占比达 43.6%，但 93% 的电煤为外省煤，全省电力总装机达到 6323 万 kW，其中外电入湘规模突破 1200 万 kW，且省内油气自给几近为零，全省一次能源对外依存度最高达 82.9%。我省人均能源消费、人均用电量远低于全国平均水平，电力消费增长潜力巨大。

从中长期看，湖南电力保供形势仍然严峻，在不考虑新增规划电源的条件下，**全省 2030 年最大电力供应缺口将超过 1000 万 kW，到 2035 年，供需错配还将进一步扩大^[5]**。

3.3 问卷检验

(1) 信度检验

Cronbach's α 系数法是目前常用的信度系数，用于评价问卷的内部一致性。这个系数衡量了问卷中所有项目是否在测量同一个潜在构建，较高的 α 值表示项目之间具有更强的内部一致性，一般认为 Cronbach's α 系数在 0.8 以上该问卷才具有使用价值，以确保问卷的可靠性和所收集数据的准确性。

表 1 调研结果信度分析

分析项目	Cronbach's α 系数	可信度
家庭用能行为	0.890	高

基于 Cronbach's α 系数法采用 SPSS 软件检测了调研结果中分量表的信度系数，调研结果信度分析如表 1 所示。**在有效的 785 份问卷数中，通过对家庭用能行为的相关数据计算得到 Cronbach's α 系数为 0.890，本次调研中对于该层面的调查具有统计学意义，调研结果信度高。**

(2) 效度检验

问卷结构效度常用的评价方法是因子分析法，其主要目的是探究属于相同概念但不同项目的问卷项目是否按照理论预期集中在同一公共因子中，从而评估量表结构的一致性。在因子分析的适用性评估中，KMO 指标的大小反映了所有变量之间的简单相关系数平方和相对于偏相关系数平方和的比例，KMO 值较大时，表明变量之间的共性较高，适合进行因子分析。

表 2 调研结果效度分析

KMO 检验	检验值	0.894
	近似卡方	799.615
Bartlett 球形检验	自由度	28.000
	P 值	0.000

通过因子分析方法对调研数据进行效度检验，借助 KMO 检验和 Bartlett 球形检验两项指标作为评判依据，具体效度分析结果详见表 2。**基于 SPSS 软件进行的因子分析计算显示，KMO 检验值和 Bartlett 球形检验值均处于较高的效度水平，调研结果效度良好^[6]**。

综合信度和效度分析可以得出，本次问卷设计合理，数据有效，可反映答卷人的真实情况，为进一步深入分析提供可靠基础。

3.4 实地调研

(1) “电源”省内外现状

1) 湖南省风光发电现状

湖南省风能资源主要分布在湘南、湘西、湘中山区，可开发风能资源量约 1600 万 kW；同时位于全国四类光伏资源地区，年太阳能总储量 1.25 万亿 kW 左右。基于以上本省风能、太阳能分布情况，团队选取郴州市桂阳县、娄底市新化县、永州市新田县开展实践，从“省内电源侧”角度出发调研湘中、湘南地区风能、光伏发电发展现状，进而挖掘省内新能源发展潜力。

① 风力发电现状

郴州市风能资源丰富，风电装机规模居全省第一，其中桂阳县被誉为“风电之都”。在 2021-2023 年间，郴州市年风电发电量保持稳步增长，桂阳县年发电量占全市总发电量近四分之一，如图 5 所示；且郴州市风能装机容量在 100MW 以上的风电场共 7 家，4 家在桂阳县内，占比高达 57.14%，如图 6 所示，集约化、规模化情况优良，极大程度上带动当地经济发展。

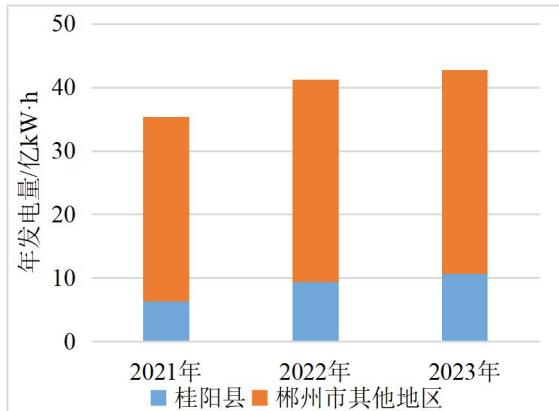


图 5 2021-2023 年郴州市及桂阳县年风电发电量

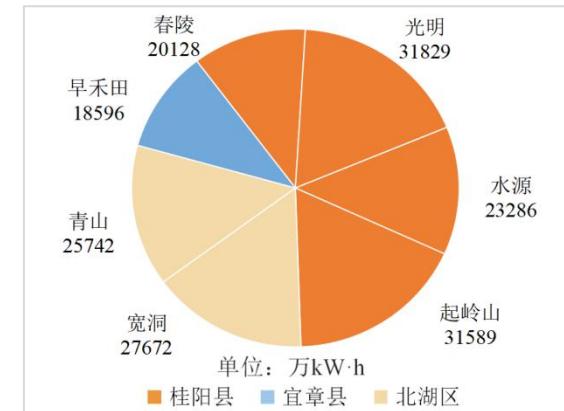


图 6 2023 年郴州市 100MW 以上风电场分布及年发电量

桂阳县起岭山风电场作为 2022 年新投产的风电项目，装机容量为 150MW，是目前桂阳县最大的风电场。传统型风电场在风力充足但电力需求较低的情况下，会面临电能过剩的问题，造成弃风现象，并且风速变化会导致发电量波动，对电网的稳定运行带来挑战。针对此类问题，**起岭山风电场采用“风储一体”模式**，当风力发电产生的电能超过电网的即时需求时，多余的电能会被储能设备储存起来，**不仅实现风电资源的高效利用，还能平滑电力的波动、减少对电网运行冲击，提供稳定的电力供应。**

此外团队在前往新田县舍子源风电场参观学习时，向该公司企业人员咨询了解风电项目建设现状及发展规划。据公司企业人员称，集中式风电项目能够充分利用多风地区的风能资源，有效带动当地经济发展。目前省内**集中式风电项目发展建设已取得显著成就，但湖南省山区风能资源丰富，具有明显的离散型分布特点**，建设周期更短、开发方式更为灵活的分散式、分布式风电可**充分利用乡村闲散土地资源，就近满足能源需求及负荷响应**。**未来分散式、分布式风电发展将补足集中式风电开发的短板，共同提升省内风能资源利用率。**

② 光伏发电现状

光伏扶贫作为原十大精准扶贫的项目之一，为我国如期打赢脱贫攻坚战作出了重要贡献，也有效衔接了当前乡村振兴事业发展。团队分别前往娄底市新化县乡村振兴重点帮扶村碧洲村和永州市新田县枧头镇龙家大院村进行现场考察，如图 7(a)所示，碧洲村的村级光伏帮扶电站是一个 60kW 的光伏电站，该**电站规模小且缺少专业运营维护**，日发电量仅为 300kW·h。其光伏发电站虽可增加村集体经济，但受规模和运维限制，总体发电量较低，效益不显著。同时，在实际调研中成员也发现**两地帮扶电站的光伏组件均存在积灰、渗水、破损等问题**，

导致部分光伏组件无法转化光能并反向消耗电量，进一步降低发电效率，影响发电效果。

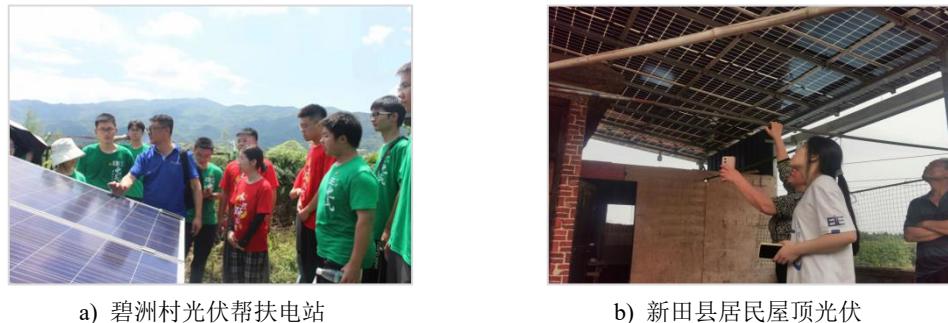


图 7 两类分布式光伏发电系统

目前分布式屋顶光伏建设也成为农村光伏建设的主流。为此，团队分别在娄底市新化县和永州市新田县开展屋顶光伏建设及应用调研，如图 7(b)所示。调研中**发现两县存在屋顶光伏建设数量较少、建设运维纠纷多等情况**。当地居民安装屋顶光伏的主要途径为当地光伏生产公司上门推销安装，由公司租赁居民屋顶并支付租地费，并承包安装和后续运维工作，最后以全额上网模式参与并网，发电量产生利润均归光伏公司所有。

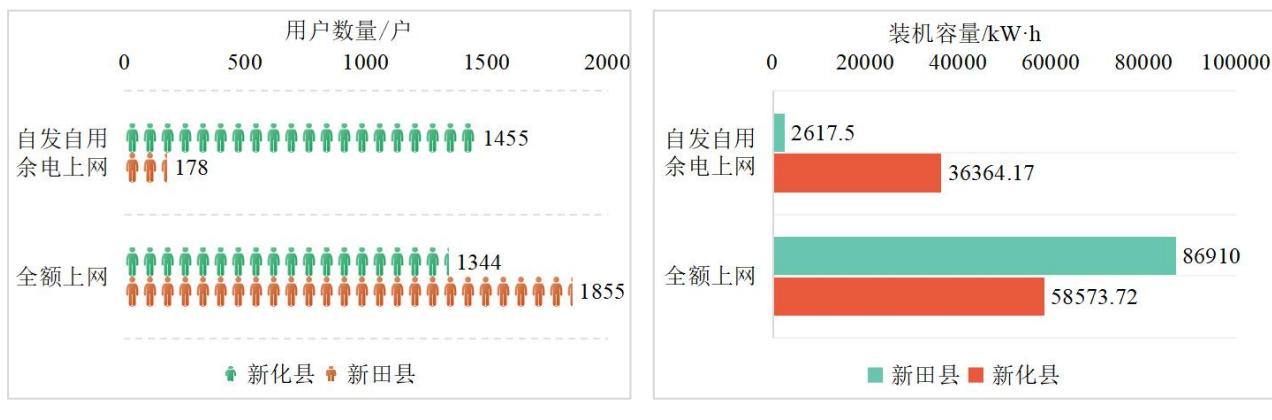


图 8 两县居民屋顶光伏不同模式下用户数量及装机容量

结合数据分析发现：**两地居民在光伏模式选择上具有较大差异**，其用户数量及装机容量如图 8 所示。“全额上网”与“自发自用余电上网”相比，前者装机容量更大，应用范围更广。但从效益与节能角度分析，“全额上网”模式会受到电网的接纳能力限制，**高峰时期并网难度上升，用户与电网之间电量传输存在损耗，运行维护成本更高**。而“自发自用余电上网”模式下，电量优先供给家庭日常用电，用户不仅可以节约电费支出，还能通过余电上网获得一定的经济收益，在保障自给自足前提下利用余电上网。此模式能**最大限度地利用光伏系统产生的电能的同时减小对电网运行的冲击，是目前理想的分布式光伏应用模式**。

2) 内蒙古外输电力现状

目前跨区跨省输电是实现电力资源优化配置的有效方式，内蒙古外送电力 18 年居全国第一，省内风光资源丰富，清洁电力外送占比正不断提升、因此团队也前往内蒙古呼和浩特市托克托县和鄂尔多斯市准格尔旗开展实践，从“省外电源侧”角度构建清洁绿电外输线路，进一步保障湖南省稳定用电。

2023 年，内蒙古进一步加快风光大基地发电项目、新能源接网工程和特高压输电通道等重大工程建设，电力外送规模不断壮大，前 10 个月，全区累计发电量 6164 亿 kW·h，外送电量 2483 亿 kW·h，**其中全区跨省（区、市）外送新能源电量超 300 亿 kW·h**，居全国首位。团队成员在与鄂尔多斯市薛家湾供电公司副总工程师南斗星交流中了解到，该公司 2011 年首开了内蒙古电力史上第一条 220kV 北电南送通道—川掌 220kV 变电站，且目前随着“双碳”

目标提出，越来越多外送的蒙电“含绿量”不断提升。内蒙古自治区人民政府也提出，到2025年，**新能源外送电量每年要新增100亿kW·h左右**，进一步研究规划新增电力外送通道，稳步提升新能源外送能力。**未来内蒙古可以丰富的清洁绿电加速提升跨省跨区外送新能源规模，有力有效支撑湖南省用能和绿电低碳发展任务。**

通过对**“电源侧”**调研可知：湘南地区风电规模化程度较高，分散式、分布式风电建设可进一步提高风能利用率，其中针对风力发电不稳定性和弃风问题，**起岭山风电场采用“风储一体”模式，配备储能设施以提高风电利用率和消纳能力。**光伏发电模式中村级帮扶电站的光伏组件缺乏维护、问题多，居民屋顶光伏建设数量有限、后续运维纠纷多、“自发自用”模式应用少等。内蒙古地区风光资源禀赋优，清洁电力外送规模正不断扩大。因此团队认为**应当优化设备运维流程，调整村级帮扶电站运营模式，提升光伏发电的效率和经济效益。**此外，可加快提升内蒙古跨省跨区外送新能源的规模，以更好地支持湖南省清洁能源需求和低碳发展目标。

(2) “电网”输配网现状

目前，在湘东等经济水平较高地区，变压器整体能耗占比较低，而湘中、湘南等地仍以老旧高能耗配电变压器为主，变压器整体能耗占比高。本团队选取娄底市新化县和永州市新田县调研当地配电变压器在网情况。通过数据整理可知：新化县在网配电变压器5650台，其中S9型号及以下的变压器占比超过60%，台区线损率通常在3%~5%，**配电变压器能耗水平和台区线损率较高**。自2019年起，该县采用S13及以上节能型变压器，但至今更换数量和应用有限，**配电设备能效提升进程缓慢，节能效益未充分体现**。而新田县高效节能变压器应用良好，该县配电变压器数量共计1495台，其中高耗能配电变压器25台，占比仅为1.49%。



a) 刘健师傅检查街道线路配电变压器



b) 李好师傅维修乡村线路配电变压器

图9 不同线路及配电变压器检修实景图

团队前往新化县油溪桥村进行乡村电气化实地调研，该村曾是省级贫困村，如今已成为全国十大乡村振兴示范村和全国百强特色村庄。据了解，电网企业通过在当地开展“村网共建”电力便民服务，优化农网网架结构，更换老旧线路，对设备增容扩建，与村级组织共同建设和管理电网及相关基础设施，以切实举措提升当地村民用电体验和保障产业发展用电稳定，为乡村振兴提供强有力的电力支撑。

团队成员在参观志民劳模（工匠）创新工作室时了解到，**人为因素造成配电线路运行异常的现象屡见不鲜**，如对配电线路及其附属设备进行盗窃，或采取连接外线等非法手段不计量、少计量用电。此类盗窃、窃电违法行为对配电线路安全稳定运行造成影响。

调研中发现由于**低压导线线径小、台区低压线路供电半径大，两地配网线路存在用户低电压问题**，主要诱因是用户数量提升导致配电线路用电负荷增加。其高发时段主要集中在冬夏两季，如夏季高温高负荷、冬季低温高负荷以及春节等节假日期间大量人员返乡，**造成城乡居民用电户数及用电量大增导致用电负荷大幅冲高、供电质量下降，影响用户用电体验。**

通过对**“电网侧”**的调研可知：输配网变压器台区损耗较高，“村网共建”模式能保障农村地区能源稳定供给，输配线路稳定性受到人为因素的影响，部分用户面临低电压问题。因

此，团队认为应加强对输配线路的监管，推进“村网共建”模式为乡村振兴提供坚实的电力保障，降低重点耗能设备能量损耗，优化新能源项目接网流程。

(3) “负荷”终端用能现状

1) 工业用能现状

工业领域是当前替代电量的主要来源，而工业领域电气化发展态势持续向好，持续深挖工业领域替代潜力将有助于社会电气化率提升。目前，湖南省在工业领域，尤其在钢铁、水泥、冶金等六大高耗能工业上施行统一的分时电价政策，其尖峰电价约为正常电价的 1.9 倍，每月电价尖、峰、平、谷浮动比例为 1.92:1.60:1.00:0.40，因此多数企业选择“错峰用电”以降低生产成本，而生产时长不可避免受到压缩，产量输出受到影响。

为了解在当今电价政策下工业电气化发展现状，团队前往娄底供电公司客户服务中心开展工业用能调研，选取湖南海螺水泥有限公司和湖南华菱涟源钢铁有限公司作为调研对象，两家企业 2019-2023 年的年用电量增降情况如图 10 所示。

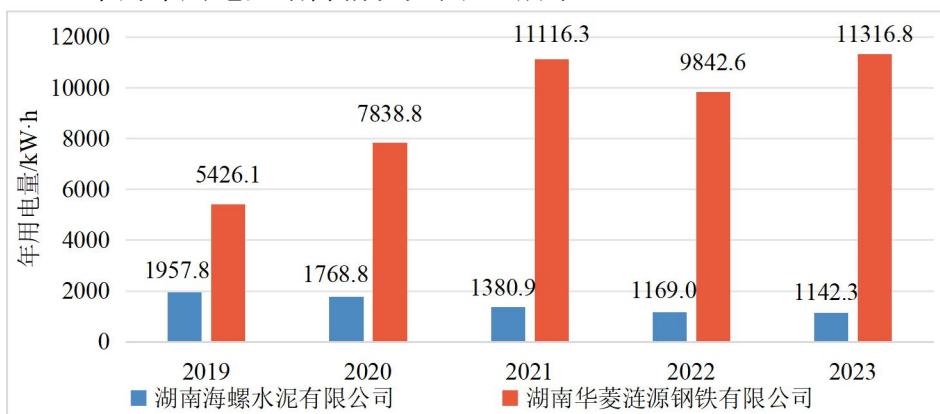


图 10 2019-2023 年两家企业年用电量

湖南海螺水泥有限公司作为著名熟料生产企业，市场广阔且产品畅销多地，生产量巨大，但数据显示其在电网企业中购电量却呈现逐年下降的趋势。其原因主要在于近年湖南海螺水泥有限公司在光伏行业进行大规模投资，目前已投资建成多个 110kV 光伏发电和储能项目，实现下属工厂光伏发电全覆盖。目前湖南海螺水泥有限公司年光伏发电量约占企业年用电量的 10%~12.5%，且随着光伏项目逐年投产应用，未来光伏发电量在年用电量中的占比或将继续增加，随着光伏绿电比例的持续提升，将不断推进企业节能减排，降低用能成本。

湖南华菱涟源钢铁有限公司主营钢铁产品的生产销售，高炉、轧钢、冷轧、热轧生产线均已实现全面自动化，电锅炉等电能替代技术应用几乎全覆盖，仅在运输和质量把关上采用人工。其年用电量整体呈现波动上升趋势，除其生产电气化水平不断提高外，还受到市场需求提升的影响。

随着钢铁、建材、化工等重点行业电能替代的不断推进，工业电气化水平不断提高，但部分企业规模较小、技术落后，生产能耗高，仍以人力为主进行加工作业，电气化进程缓慢，影响企业长远发展。

2) 居民用能现状

2023 年 1-8 月，湖南全社会用电量为 1544.66 亿 kW·h，同比增长 1.1%，预计未来仍将保持增长态势。基于此调研现状，团队采取实地走访和线上线下问卷调查的方式，对湖南省城乡居民的能源使用和节能行为进行了调研。

由调查问卷可知，83.7% 的城乡居民均以电能作为家庭用能中的主要用能形式。如图 11，在炊事用能选择上，乡村居民选择煤气、液化石油气和天然气这三类燃气的居民占比高达 50.5%，电能仅占比 20.4%，生物质能 14.8%，煤炭 12.1%；城镇居民中，选择燃气的居民占比 72.8%，电能占比 12.4%，生物质能 3.2%，煤炭 9.2%。反映在炊事用能选择上，城乡居民

都更倾向于使用燃气，因其采购便利性、厨具适配度高，而电能厨具适配度相对较低，烹饪便利性一般。

如图 12 所示，在取暖用能选择上，**乡村居民大多选择散烧煤取暖**，煤炭使用占比 40.9%，电能使用次之，占比 33.7%，其余主要集中在柴薪等生物质能上；**城镇居民则更偏向于使用电能取暖**，其占比高达 68.5%，远超其余用能总和，使用煤炭取暖占比 21.1%。基于乡村地理环境，结合煤炭价格低、柴薪易得无成本等优势，选择以散烧煤、柴薪取暖的乡村居民占比远高于城镇居民。但燃煤等活动会导致空气污染、环境恶化，同时燃烧不充分产生的一氧化碳和烟尘也易对居民的健康产生影响。

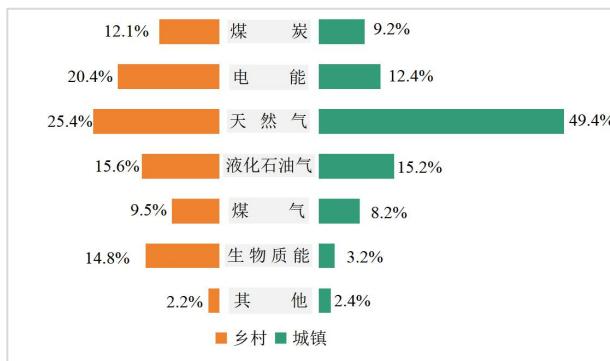


图 11 城乡居民炊事用能选择

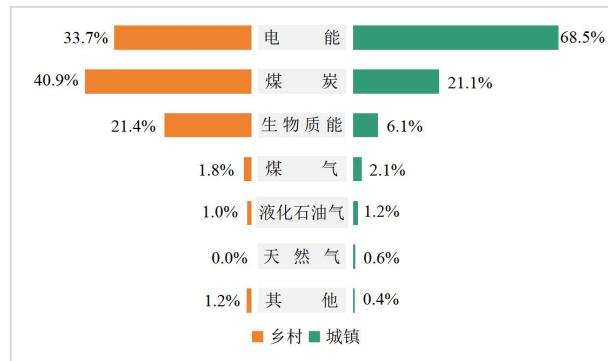


图 12 城乡居民取暖用能选择

结合问卷结果可知，**电能已成为目前城乡居民主要用能选择**，家用电器的普及也使电能在城乡居民生活中的用能占比不断提高。但在取暖用能选择上，乡村仍主要依赖煤炭和生物质能等传统取暖方式，而城镇主要依靠空调、取暖器等多类电气设备进行取暖。

如今新能源汽车已越来越受到消费者青睐，其中充换电基础设施作为新能源汽车发展的关键环节之一，也是新能源汽车产业推广的一个重要支撑，需要与新能源汽车协同发展，满足消费者的日常充电需求，为消费者提供更方便、更快捷的充换电服务。截至 2023 年 11 月，湖南已建成公共充电桩 54183 个，但有近万个月充电量为零。

通过在多地城区、乡镇调研充换电基础设施的种类与布局，发现目前充换电设备种类主要分为快充和慢充两类，可基本满足居民不同的充电需求，但**充电桩仍然存在布局不够完善、结构不够合理、老旧充电桩技术落后等问题**，未来还需加快补齐城区、农村等地区公共充换电基础设施短板，从而进一步释放新能源汽车消费潜力，不断满足居民绿色出行的充电需求。

通过对“**负荷侧**”的调研可知：工业企业为适应湖南省电价政策，生产时长受到限制和缩减；居民取暖用能结构仍待调整；新能源汽车发展潜力广阔。因此，团队认为工业企业未来可借鉴湖南海螺水泥公司的经验，**积极推进工业园区“源网荷”一体化发展**，逐步提高储能能力在电力系统中的占比，并学习华菱公司推广工业节能技术，改造工业设备以减少能源损耗；居民则应积极响应政府的号召，逐步摒弃污染较大的取暖方式，**进一步提升乡村的电气化和低碳化水平**。

4. 对策建议

为推动湖南省“双碳”目标实现、助力乡村振兴事业，实践团总结分析调研过程，提出应在**政府、企业和居民**三个层面共同努力，在**源网荷储**四个环节同步发力，**推动“源网荷”过渡到“源网荷储”协同发展，构建具有湖南特色的新型电力系统的对策建议**，为进一步促进湖南省供给端清洁低碳和绿色电力消纳，支撑高电气化比例用能、终端综合能源系统发展，服务全社会用能低碳化建言献策。

4.1 政府部门加强指挥协调工作

习近平总书记指出：“要把促进新能源和清洁能源发展放在更加突出的位置”。湖南省发改委、能源局等政府部门应当主动发挥监督、引导等职能，针对湖南省电气化发展现状及所存问题，按照“加强省内，从北引入”的思路，**统筹省内风光资源发展、挖掘跨省电力通道潜力、发展“新能源+储能”模式、科学规划抽水蓄能电站**，科学统筹、内外并举，通过一揽子政策措施，重点解决新能源“立”的问题，推动“源网荷储”协调发展，有助于更好发挥新能源在能源保供增供方面的作用，在坚持供给端清洁低碳的前提下加快构建安全高效的能源体系。

（1）统筹省内风光资源发展

我省新能源资源禀赋不足，发展受到诸多限制，实际可供开发利用的新能源空间资源十分有限，湖南省政府应统筹考虑资源禀赋、消纳能力、建设条件等因素，优化新能源发展区域布局，**坚持集中式与分布式并举原则**，统筹省内风光资源集约化、可持续化发展。**在农村、山区、商业区建设分布式风电和分散式风电**，促进能源就近消纳，保障用电需求；**在湘南丘陵山区农业产业带和主要林场集中地带建设农光互补和林光互补等集中式光伏项目**，同时**加快屋顶分布式光伏下乡入户**，推进风光建设与乡村振兴融合，为乡村振兴和可持续发展提供强有力支撑。



图 13 政府部门加强指挥协调工作对策示意图

（2）挖掘跨省电力通道潜力

提升外电送入规模是保障我省电力供应安全可靠、能源结构转型的重要举措。作为内陆匮乏型省份，外电入湘为湖南经济发展提供稳定、可靠的电力支持。湖南省政府应当加强与内蒙古、宁夏等清洁能源基地合作力度，引入省外优质电源，**可依托在建的“宁-湘”特高压输电通道构造“蒙-宁-湘”电力输送线路**，将内蒙古充足的优质电源输送到湖南，缓解本省迎峰度夏、度冬供电压力，实现内蒙古丰富风光资源、宁夏风光资源等清洁能源的协同和输送，在跨区跨省中实现电力资源优化配置，弥补湖南高峰用电缺口。

(3) 发展“新能源+储能”模式

目前湖南省风电、光伏等新能源建设已进入高速增长阶段，装机容量和发电量的爆发式增长对新型电力系统的支撑能力和输配调控能力提出了更高的要求。**促进“新能源+储能”融合发展，是我省新能源装机规模快速扩张的必然趋势。**新型储能作为灵活调节资源之一，具有建设周期短、配置灵活、响应速度快的特点，**湖南省政府可在省内新能源资源禀赋较好地区，尤其是湘南、湘西南等风电消纳压力较大、光伏发电消纳受滞的地区重点推进“风储一体”、“光储一体”模式**，提升能源清洁利用水平和电力系统运行效率，解决发电供需不平衡的问题，实现削峰填谷、增强电网稳定性和应急供电等多种作用。

(4) 推进抽水蓄能电站建设

抽水蓄能具有调峰、调频、黑启动等功能，与新能源具有高适配性，是目前技术最成熟、经济性最优、最具大规模开发条件的储能方式。湖南省抽水蓄能资源丰富，在建抽水蓄能电站7座，包括攸县（湘中）抽水蓄能电站、安化（湘中）抽水蓄能电站等。湖南省政府应持续做好统筹规划工作，积极借鉴已有基本完备的全产业链体系，保障抽水蓄能电站的合理布局和有序建设。其中**湘南地区以山地丘陵为主、水资源丰富、经济条件较好、有足够的低谷电能，基础设施完善，可作为优先考虑的建设区域。在湘江中游南岸的常宁、永州江华等地可建设中小型分布式抽水蓄能电站，提高新能源就近消纳水平，打造中南地区抽水蓄能基地。**

4.2 电网企业勇担示范先行责任

习近平总书记在党的二十大报告中强调，“加强企业主导的产学研深度融合，强化目标导向，提高科技成果转化和产业化水平”。湖南省电网和电力相关企业是电气化领域项目实施的主体，也是促进创新资源利用的核心，需要**高度发挥“先行者”作用**，坚决落实国家能源节约与生态环境保护工作部署，积极推进能源清洁低碳转型，大力推动全社会节能降碳提效，以一系列务实举措**促进我省电网模式创新、技术创新、机制创新**，为我国的电力事业发展提供保障，贡献企业智慧和力量，彰显有为企业的责任担当。



图 14 电网企业勇担示范先行责任对策示意图

(1) 优化新能源项目接网流程

2023年10月18日《中共湖南省委湖南省人民政府关于加快建设现代化产业体系的指导意见》指出要积极发展分布式能源和微电网。目前高比例大规模的分布式能源接入电网不仅将对电网本身造成影响，还将对原有的配电网规划模式构成挑战。因此，电网企业应**加强有源配电网(主动配电网)的规划、设计、运行方法研究**，加大投资建设改造力度，提高配电网智能化水平，**合理确定配电网接入分布式新能源比例要求**。针对目前新能源项目点多面广、单体规模小、建设周期短的现状，电网企业要**建立新能源项目一站式服务平台**，及时更新并提供有关信息，包括新能源项目可用接入点、可接入容量、技术规范等，实现新能源项目接网全流程线上办理。

(2) 提升重点耗能设备能效水平

变压器是输配电的基础设备，变压器损耗约占输配电电力损耗40%。据测算，变压器的年电能损耗约2500亿kW·h，具有较大节能潜力^[7]。因此，企业可通过**技术经济核算比较，对老旧配电变压器进行升级改造，逐步更换、淘汰不符合国家能效标准要求的变压器**。通过降低变压器损耗增加企业效益，并补偿变压器的购置费、安装费以及资金利息等。积极学习长株潭等地区先进经验，在钢铁、石化、化工、有色等重点行业开展变压器专项监察，由点带面推动企业实施节能技术改造，加快淘汰不符合国家能效标准要求的变压器，实现降损增效、节能提质。

(3) 推进“村网共建”便民服务体系

党的二十大报告提出了全面推进乡村振兴的重要部署，深入推进“村网共建”电力便民服务示范点创建。在此过程中，**电网企业应充分发挥政企合作优势，在各乡镇村（社区）综合服务中心（便民服务站）增设“村网共建”便民服务点，并合理安排电力联络员**，重点针对供电服务不畅、政府保障不足的乡镇和村组开展“基层组织+电力企业”协同治理工作。**做好宣传工作，推广线上便民服务软件、小程序、微信公众号等，线下建立联动服务网络，将电力治理工作纳入乡镇、村组日常管理事务中来**，电网企业和居民合力共进“村网共建”。**以线上线下相结合的乡村便民服务体系完善农村基层供电服务网络，持续提升乡村电气化水平。**

(4) 完善运维检一体化管理建设

随着社会电能需求的迅速增长，运维检修逐渐成为满足电力系统现代化安全需求的重要环节。**完善运维检一体化制度，可确保线路电站安全、稳定、高效运行**。因此，电力企业应按时派遣专业维护人员更换存在腐蚀、老化等现象的电力线路及电气设备设施；整改对电力线路和电气设备设施进行超负荷运行、非正常环境下运行等违规使用现象；**并加强巡线检修，监测计量设备，严厉打击偷电窃电以及盗窃配电设备的违法犯罪行为，将设备日常运行、定期维护与检修工作整合为统一流程**，建立全面完善的一体化管理制度，提高电能利用率和供电可靠性。

4.3 工业企业加速绿色低碳转型

湖南省工业领域碳达峰实施方案规划指出，到2025年，规模以上工业单位增加值能耗较2020年下降14.0%，单位工业增加值二氧化碳排放下降幅度大于全社会下降幅度，重点行业二氧化碳排放强度明显下降^[8]。工业作为能源消耗和碳排放的主要领域，工业绿色低碳改造，是做好碳达峰、碳中和工作的关键。因此，**工业企业要发挥“推行者”作用**，主动承担减排减碳社会责任，调整产业用能结构、发展绿色低碳技术、运用节能生产设备，为推动能源清洁低碳转型、经济社会绿色发展注入强劲新动能。

(1) 打造源网荷储一体化园区

工业园区是打造先进制造业高地的重要空间载体，推进绿色制造是实现园区高质量发展的重要内容。因此，园区企业可**充分利用自有产权土地，按照“自发自用，余量储存，电网调节”方式建设分布式新能源发电系统**。利用厂房建筑安装光伏组件、周边空地放置小型风机和光伏板等发电设备，新增规划变电站，接入园区配网，合理预计园区内年用电量和最大用电负荷，并**配置储能设备进行余电储存**，削峰填谷，提高调度灵活性。通过**打造“源网荷储”一体化园区**，促进企业的可持续发展和经济效益的提升。

(2) 加强工业节能技术创新推广

以科技创新带动节能降碳正成为助力全国重点行业落实“双碳”目标的关键抓手。以技术创新为驱动实现能效提升，可有效降低工业生产的能源消耗和碳排放量，实现经济发展与节能减排的双重目的。因此，企业**可从生产线、运输、存储等方面有序推进技术工艺升级**，推动能效水平应提尽提，同时**加快推动创新成果产业化和推广应用，扩大企业电气化终端用能设备使用比例，改造电机、泵、压缩机等节电技术**，实现企业低能耗、高收益，走出一条工业绿色低碳发展新路径。



图 16 工业企业加速绿色低碳转型对策示意图

(3) 推动工业设备节能应用改造

重点用能产品设备产销数量多、使用范围广、耗能总量大，与工业生产密切相关。提升重点用能产品设备能效水平、节能水平，是推进节能降碳工作的重要举措，有利于制造业提质升级。各企业可结合自身经济技术情况，**运用节能设备对工业生产中的能源进行有效的控制和管理**，减少不必要的能源消耗，提高能源的利用率。**将电能替代与传统业务结合，科学制定供电方案，精准制订用能方案**，使用热回收装置、高效换热器、智能节能系统等节能设备，促进能源消耗低碳化转型。在能源价格不断上涨的情况下，可通过应用节能设备降低企业能源成本，减少排放量，提高经济效益，对企业形象和社会形象产生积极的影响。

4.4 城乡居民提升用能节能水平

从我国碳排放结构来看，约 26% 的能源消费直接用于公众生活，由此产生的碳排放占比超过 30%。目前居民生活消费已成为碳排放的重点领域，在追求可持续发展的大背景下，政府和企业应当发挥领头作用，把人民对美好生活的向往作为奋斗目标，推动民用领域能源革命，以促进绿电使用为根本出发点，为居民打造低碳环保的良好用电环境，同时充分激发居民主人翁意识，调动居民的主观能动性，鼓励和引导公众积极践行绿色生活方式，主动参与节能减碳社会建设，创造出全民参与绿色低碳生产生活方式的社会氛围。

(1) 推进农宅屋顶光伏建设行动

《“十四五”可再生能源发展规划》提出，实施“千家万户沐光行动”，规范有序推进整县（区）屋顶分布式光伏开发，建设光伏新村。“全额上网”模式作为当前主流光伏应用方式，在并网时会造成电压波动，不利于电网安全稳定运行，且馈入电网的电量的价值要小于自用光伏电量的价值。因此鼓励村民主动申请安装自建房屋顶光伏，并优先应用“自发自用余电上网”的模式，着重在湘西经济发展较落后地区与光伏资源较好的乡村振兴帮扶村推进整县、整村农宅屋顶光伏建设，同时电网企业也应提供并网咨询、电能表安装、并网调试及验收等服务。以此模式可缓冲家庭用电阶梯电价，减少电力传输损失，降低柴薪、煤炭等传统能源使用，巩固脱贫成果、助力实现乡村振兴事业。



图 17 城乡居民提升用能节能水平对策示意图

(2) 调整村级光伏电站运营模式

光伏产业是湖南省巩固脱贫攻坚成果的重要产业，应当促进其健康有序发展，调整村级光伏电站运营模式可以减少光能资源传输中的浪费，推动绿色能源的发展。因此，村集体可以吸引正规企业投资参与农光互补电站建设，并与企业建立长效合作机制，拓展“村企合作”新模式。依托乡村现有闲散空闲土地，因地制宜发展农光互补、渔光互补等复合开发模式，形成产业链的良性循环。此举为当地村民提供日常维护、清洁等就业机会，增加村集体的经济收入，拉动地方经济增长，还持续有效降低了企业用能成本，实现企业绿色电力的直接供应和对燃煤的替代。

(3) 推广节能型“小太阳”取暖器

湖南省低温天气持续时间较短，目前居民取暖主要采用分散、局部的供热方式，取暖方

式呈现出多样化、差异化的特点。在主流取暖方式中：家用空调、暖气片等取暖设备成本费用高，能耗大；柴薪、煤炭等取暖方式在乡村地区较为普遍，除造成环境污染外，还可能危害居民身体健康。区别于上述取暖方式，“小太阳”取暖器具有独特优势：**价格实惠、升温快、能耗低、无污染，可满足普通家庭取暖需求，实现取暖电气化、清洁化**。城乡居民可结合自身经济情况和取暖需求，以节能经济的取暖器替代家中空调、暖气片取暖，降低取暖成本、代替柴薪、煤炭等传统能源取暖，减少空气污染和化解健康风险。

（4）完善充换电基础设施布局

充换电基础设施可为新能源汽车提供充换电服务，是重要的交通能源融合类基础设施。但目前湖南省充换电基础设施存在数量不足、缺乏统筹布局、换电设施不统一兼容等问题。因此，政府和企业应当在**居民区、公路沿线、公共停车场、单位内部、农村地区等地点优化充换电网络的规划布局**，积极投入资金优化新能源汽车电池容量和充电接口问题，着力发展集光伏发电、电能储存、车辆充电和停放为一体的**光储充一体化车棚设施**，通过储能实现削峰填谷、需求响应等降低电力成本，解决居民“用电易、充电难”的问题。同时居民应当积极了解周边充换电设施的具体位置和实时使用状态，**关注新建充电设施信息，积极给予政府企业反馈和建议**，以居民实际体验反馈为参考助力政企满足居民充换电需求。

结束语：

本调研报告立足于湖南省能源消费现状和电力供需形势，发现湖南省存在**能源对外依存度高、电源结构亟待调整，尖峰负荷特性突出，电力保供形势严峻**的现象，供需矛盾日益突出，能源生产清洁化，终端用能电气化还将继续发展。

基于以上问题，本报告通过实地调研，并结合相关企事业给予的专业建议，围绕**“电源、电网、负荷、储能”，对“政府、企业、居民”提出对策建议**，以保障电力系统安全运行、保障能源电力可靠供应、保障电力行业可持续发展为基础，推动构建清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的新型电力系统。

此次实践感谢国网供电公司给团队成员提供了一个磨砺自身与知识转化的优秀平台，让团队成员在实践中学真知、悟真谛，加强磨炼、增长本领。**同时团队的调研事迹也被多家国家级和省级媒体报道，总阅读量超过 40 万，影响广泛**（见附件 C）。未来，团队将继续深入调研，优化调研结果与对策建议，努力成为底色亮、实践强、勇创新、敢担当的杰出青年，助力“十四五”期间湖南“三高四新”美好蓝图战略目标实施，推动实现湖南能源电力事业高质量发展！

参考文献：

- [1] 湖南省发展和改革委员会.《湖南省电力支撑能力提升行动方案（2022-2025 年）》[EB/OL].2022-10-13
- [2] 国家发展改革委等十部门.《关于进一步推进电能替代的指导意见》[EB/OL].2022-03-28
- [3] 湖南省统计局.《2022 年湖南全社会用电量增长 3.8%》[EB/OL].2023-01-18
- [4] 湖南省人民政府.《湖南省能源发展报告 2022》[EB/OL].2023-06-28
- [5] 张金梦.《湖南三管齐下保障能源供应》.中国能源报 [EB/OL].2023-06-28
- [6] 柴辉.调查问卷设计中信度及效度检验方法研究 [J].世界科技研究与发展,2010,32(4):548-550
- [7] 中华人民共和国中央人民政府.《变压器能效提升计划(2021-2023 年)》[EB/OL].2020-12-22
- [8] 湖南省人民政府.中共湖南省委.《湖南省人民政府关于加快建设现代化产业体系的指导意见》[EB/OL].2023.10