

# 江亿院士关于碳中和的思考汇总

本文由微信公众号：碳中和下载库，通过互联网公开信息整理，如有任何问题请联系

## 碳中和目标实现路径

- (一) 我国实现碳中和的未来和实现路径.....1
- (二) 碳中和目标“两步走”的设想.....1
- (三) 把驱动经济增长的主线从盖房转到低碳..... 7
- (四) 科学的碳核算方法是实现双碳目标的基础..... 8
- (五) 实现碳中和基础设施建设将发挥重要作用 ..... 9

## 乡村碳中和实现路径

- (一) 双碳战略为农村能源转型带来新思路..... 12
- (二) 乡村减碳要利用好 200 多亿平方米屋顶..... 16
- (三) 城乡能源系统碳排放核算与减排路径..... 18

## 建筑碳中和实现路径

- (一) “碳中和”需要减少建筑运行的直接碳排放..... 28
- (二) 让建筑从单纯的能源消费者转变成能源产消者..... 32
- (三) 建筑零碳运行在 2050 年前后能够实现..... 35
- (四) 建筑领域的绿色低碳转型.....37
- (五) 发展零碳建筑助力双碳愿景.....41
- (六) 减少碳排放要避免大拆大建.....44

## 能源碳中和实现路径

- (一) 新型电力系统是海南省实现零碳岛的关键..... 45
- (二) 生物质是未来零碳能源系统中最重要的燃料..... 48

## 供热碳中和实现路径

- (一) 供热行业碳达峰碳中和技术路线和发展方向..... 53
- (二) 双碳愿景下北方城镇供热的四大思路和需攻克技术..... 56
- (三) 社会减碳量的 15%靠热泵，热泵余热回收大有可为..... 58

# 碳中和目标实现路径

## (一) 碳中和目标“两步走”的设想

日期：2022-05-13

来源：中国环境网

整理：碳中和资料库

原文：<https://www.cenews.com.cn/news.html?aid=974510>

我们提出中国碳中和目标的“两步走”设想。第一步，中国能源革命最主要任务是建立零碳新型电力系统。第二步，围绕整个能源结构的转型，倒逼工业、交通、建筑改变自身用能结构。其逻辑一定是先立后破，先把新型电力系统建立起来，再把煤电厂砍了。只有先建立起足够的绿电供应系统，才能改变消费侧，没有足够的绿电供应，让工业、交通、建筑都电气化几乎不可能，最后只能僵在那了。

所以一定要先立后破，建立新型零碳电力系统就成为至关重要的核心点，是整个中国能源革命的突破口。而要建立新型电力系统，关键解决两大矛盾：一是在哪安装风电光电，二是如何解决储存调节问题，整个矛盾集中在这两点上，这是当前我们面临的最主要问题。

从这一逻辑关系和顺序出发，我们发现农村屋顶可以完成未来规划的光伏总量的一半，甚至还能多点，农村屋顶可以解决安装空间问题，并且能够解决部分电力的消纳、调节问题。这对整个电力系统的运行是一个革命性变化，刚开始很难在全国一下铺开，可以先在农村尝试这种新型电力系统，这是第一步。

第二步是城市做光储直柔改造，主要目的不是为了利用屋顶面积，而是解决柔性用电灵活调控，参与调控、成为电力系统的虚拟电厂。要想干这些事，必备条件是车辆电气化，尤其小型私家车和农用车的电气化，这为上面这两步需要的储能任务提供足够的储能资源。与此同时，建立余热回收系统，把跨区域的热网跟大型跨季节储热装置慢慢建立起来，提供零碳热源，这都可以同时进行。

从这点出发，我们觉得可以把中国能源革命分成 2035 年之前和 2035 年之后两段。2035 年之前主要有以下任务：一是完成电力系统、低碳供热系统的建设，形成新型能源供给系统的雏形，加快汽车电力化和充电桩系统的建设，建筑的光储直柔建设，农村新型能源系统的建设。二是跨区域热网系统的建设，包括北方城市供热系统的降低回水温度改造，这些都是急着要做的。

反之，工业领域是我们“看家”的东西，正是持续增长的制造业使中国 GDP 在这么恶劣的国际环境下保持持续增长，因此不能一开始就对制造业大动手术，还要保留它继续运行。我国工业体系建成现在的生产能力，主要是 2000 年以后，到现在这些生产线还没达到投资回收的年限，没到更新换代的时候，所以应该维持运行。而上新的项目，无论是化工厂还是钢厂，则必须按照新的零碳工艺考虑。这样一来，这十几年时间抓紧对新型能源系统建设，风电光电起来了，电力足够充足，成本也降低了，就会形成对燃煤火电的竞争优势。

所以，应该靠市场竞争来减少传统产业，而不是强制关闭。并且新能源系统的建设工程会带动起巨大的新型制造业，从而替代现在拉动 GDP 的基建行业。基建行业变小了，但新制造业会大发展，从而维持经济的发展。比如说电动车产业现在非常火，很多企业涌现出来了，电池产业也成了增长特别快的巨无霸产业。光伏、风电设备，包括电力电子器件产业，将来跟信息类芯片同等重要，规模可能比信息类芯片还大。

中国在这方面并不是那么落后，通过市场需求推动，抓一下，这块起来后，将来规模不得了。另外，直流低压配电、直流电器设备，将有每年几万亿的市场，还有农机具电气化、直流化等产业。所以，应该抓紧研究各个制造业零碳转型具体技术路线和工艺，做好技术储备，这是第一步。

到了 2035 年以后再开始第二步，那时候已经建成低运行成本、高可靠性的新型零碳能源系统，可以为制造业提供更多的廉价电力。同时，制造业多数生产能力和生产线也已经回

收了初投资,进入更新换代期,本身就要求做产业结构调整和工艺改造。经过十几年的研发,技术储备也差不多了,可以全面开展制造业的产业结构调整 and 低碳转型工艺过程改造,到2050年前后我国就能够成为制造业强国。

从这个思路出发,大概分这两步。整体的顺序应该是先电力后其他,重点就是电力;先农村后城市,电力也是农村先行;先建筑、交通后工业,因为建筑、交通改造不会影响我国经济发展,不会拖制造业后腿,还能形成新的工业产业的市场需求,所以能促进制造业。这些完成后再进行工业低碳转型,就会特别顺利。

总的来说,这是我们新一代人的重大使命,是人类历史长河中人类发展模式的重大转折点,就像当年引入煤炭,引入化石能源,人类开启工业革命一样,现在要把化石能源停掉,全面开发可再生能源,以实现未来可持续发展。

以上内容就是探讨在碳中和的背景下,城乡能源系统建设到底该怎么做,很多事也能够看得更清楚了。



## (二) 我国实现碳中和的未来和实现路径

日期：2022-05-12

来源：新浪财经

整理：碳中和资料库

原文：<http://finance.sina.com.cn/wm/2022-05-15/doc-imcwiwst7545067.shtml>

2022年5月12日，清华经管EMBA“未来科技·未来思维”系列讲座聚焦双碳战略，举办了第十四讲：“我国实现碳中和的未来和实现路径”。本次讲座邀请到中国工程院院士、清华大学建筑学院教授江亿老师作为主讲嘉宾。江院士向阐释了双碳战略的重要意义。一方面，双碳战略的实施能够从根本上解决能源问题带来的困扰，另一方面，通过能源革命彻底改变能源供给结构，从而在能源领域实现可持续发展。江院士认为，碳中和背后是一场高科技竞争，这场竞争的背后并非国际社会强迫我国实行低碳，而是我国可持续发展战略要实现低碳。

01、实行双碳战略是为了从根本上解决长期以来由能源问题带来的三大困扰：能源安全问题、大气污染问题、气候变化问题。

02、能源的四个革命：供给、消费、技术、政策机制，这是一场全面的革命。

03、实现能源领域碳中和的三大任务，一是建立零碳的新型电力系统，二是为建筑和非流程工业提供零碳的热源，三是流程工业再造（冶金、有色、化工、建材）。

04、利用电力动态碳排放因子推动终端用电柔性化，可得到各个用电终端全年用电导致的间接碳排放总量，可促进电源与柔性用能终端联合优化调度的实现，也可实现某个用电终端完全使用风电光电，提前实现零碳用电。

05、目前，我们要尽快建立电力动态排放因子，使得终端用电的碳排放核算标准得以反映终端柔性用电状况，促进用电终端的调蓄能力建设，促进风电光电的有效消纳，增大风电光电需求，促进风光电的发展，避免依靠高价购买绿电的方式实现零碳。

06、零碳热源从何处来？目前，北方城镇建筑供热面积有 160 亿平方米，供热量 50 亿 GJ，45%来自热电联产余热，40%燃煤燃气锅炉，15%热泵和分散燃气炉。到 2060 年，北方城镇供热面积 200 亿平方米，供热量 40 到 50 亿 GJ，全国非流程制造业需要蒸汽、热水，全年 70 亿 GJ。我们可以完全依靠各类余热热源，通过建立低品位余热的采集、输送和储存系统，使余热变废为宝，成为零碳热源，满足建筑供暖和非流程工业生产对热量的需要。

07、实现零碳热源必须破解三大问题，分别是热源产热与终端用热在时间上不同步、热源的分布位置与用热终端地理位置不一致、热源输出的参数与终端用热需要的参数不匹配。这可以通过大规模跨季节储热系统、跨区域长距离输热系统和各种热量变换装置（如同电力输送过程的变压器）解决这三个问题。

08、即使实现了全面的零碳电力，我们也需要节能。因为零碳电力仍有诸多制约，例如，空间资源有限、储能资源有限、超过一定限度后，零碳电力进一步增长时投资成本将以高于线性的增量增长。

09、消费侧的节能一方面靠发展创新的节能技术，提高用能效率；同时也不能丢掉我们绿色用能绿色生活方式的传统。一定要避免日常生活能耗随收入增加后出现的大幅度增长。

10、绿色用能方式是我国建筑能耗低的主要原因。我国建筑运行能耗一直显著低于发达国家，这是因为我国采用“部分时间、部分空间”的室内环境营造方式，而不是“全时间、全空间”的方式。

江院士强调，我国能源低碳转型要“先立后破”，要先建设起来零碳的新型电力系统，在通过市场逐步淘汰燃煤机组。此项任务的瓶颈在于储电，在于解决电源侧与用电侧在时间上的不匹配问题。针对这一问题，江院士认为，我国可以通过建设智能有序充电桩网络以充分开发利用私人电动车的电池资源，推广建筑的新型配电系统以使其成为电网的柔性负载。在农村建设新型的农村能源系统，充分开发利用农村的空间资源和储能资源，实现以屋顶光

伏为基础的全民电气化,并且把大量废弃的生物质材料加工为零碳的生物质燃料进入能源市场;在城市则发展“光储直柔”建筑配电和智能有序充电桩网络,使建筑成为电网的柔性负载。

江亿院士认为,总体而言,我国能源低碳转型可分两步走:先电力,后其它;先建筑交通,后工业;电力系统的革命又应该先农村,后城市。换言之,我们要以新型电力系统为目标,发展私人电动车、农村新能源、和建筑与充电桩系统,到2035年前后,建成充足的零碳电力供给系统。当然从现在起就应该停止新建燃煤电厂、停止新上基于化石能源的流程工业,既有的生产线和电厂可以继续运行,直到其渡过生产装置的折旧回收期。另一方面,新型电力系统建设将带来一大批新兴产业,如蓄电池、风电光电装置、电动车、充电桩、电力电子器件和基于电力电子技术的低压电器、以及建筑直流电器,这些新兴产业对今后维持制造业的持续增长起重要作用。而围绕新能源发展的基础设施系统的建设,如新型电力系统建设、充电桩系统的建设、跨区域余热的采集、储存和输送系统,则又将成为新的重要投资方向,成为产生巨大投资拉动作用的新的基础设施建设领域。江院士表示,到2035年之后,制造业的生产装备将全面进入更新换代期,经过从现在开始十余年的研究和储备,届时制造业将按照新的零碳工艺新流程进行全面改造,从而实现流程工业的碳中和。

### (三) 把驱动经济增长的主线从盖房转到低碳

日期：2022-04-25

来源：中国新闻网

整理：碳中和资料库

原文：<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1731086754041141551&wfr=spider&for=pc>

江亿指出，从 2000 年起，中国经济飞速发展，一个重要原因是房地产、基础设施建设（交通设施、水利设施等）的拉动。房屋和基础设施建设无疑是本世纪我国经济增长的主要动力，但也是碳排放增长的主要原因。

江亿认为，当前，我国已经初步完成房屋建设和基础设施建设，可以满足现代化强国和人民生活水平提高的需要。因此，不能再以盖房作为拉动经济的主要手段，应该把整个驱动经济增长、社会发展的主线，从盖房子转到“双碳”战略上去，投资拉动应该从房屋建设转移到零碳能源系统重构上去。

在他看来，实现能源革命，由化石能源全面转为零碳能源需要关注三大投资领域：

一是新型城镇建筑配电系统和智能有序电动车充电桩的建设。他建议，加快建设智能有序充电桩系统，充分挖掘利用电动车电池资源，同时尽快实现农机具电气化。

二是新型农村能源系统的建设，使农村有能源消费者变为零碳能源的重要产地。他建议，充分开发利用农村各类闲置屋顶资源，发展光伏发电。

三是使流程工业低品位余热供给系统成为建筑供暖和非流程工业生产用热源。他建议，全面回收各类工业余热，为北方建筑冬季采暖和非流程制造业提供热源。

江亿强调，这些新能源建设领域的投资还需要有关部门统一规划，地方部门、企业分头投资建设，避免挑肥拣瘦和重复建设造成资源和投资的浪费。此外，必须有配套的新的政策机制支持，建立新的价格体系，才能通过市场机制，激励各方投资。



## (四) 科学的碳核算方法是实现双碳目标的基础

日期：2021-10-22

来源：中国绿发会

整理：碳中和资料库

原文：<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1714329698765389060&wfr=spider&for=pc>

2021年10月22日上午，中国绿发会受邀参加了中国标准化协会、中国技术经济学会、中国节能协会主办的在广东佛山举办的主题为“标准助力双碳 绿色引领未来”绿色低碳转型标准化技术研讨会暨第七届绿色生产与消费交流会，并发布启动中国绿发会“双碳专项基金”。在会上，多位相关领域的专家发表交流了自己的研究成果并发表演讲，中国工程院院士、国家气候变化专家委员会委员江亿院士表示：直接碳排放、间接碳排放、碳排放责任方面的相关情况。仅以直接碳排放为评价指标是存在一些问题的。实现碳排放责任分摊有两种方法：

- 1、跟踪全过程各个环节碳排放量。
- 2、基准值法。

采用基准值法核算碳排放责任是有一定好处的，可以实现碳排放的总量控制，可以由市场决定资源的配置，避免碳排放权的配额导致对市场机制的干扰和腐蚀，完全区分生产和消费两个领域减排的区别，实现成本低、整体可控、可操作性强等好处。

并提出了工作建议：

- 1、进一步推进碳排放责任核算方法的深入论证和国际交流
- 2、建立产品基准值分类和数据统计体系
- 3、采用“基准值法”开展生产侧排放控制试点
- 4、采用“基准值法”开展地区减碳工作评价和控制试点

将“基准值法”用于各省市、碳排放责任的评价和控制，从而推进先进地区率先实现碳达峰、碳中和。

## (五) 实现碳中和基础设施建设将发挥重要作用

日期：2021-08-16

来源：光明日报

整理：碳中和资料库

原文：<https://view.inews.qq.com/a/20210816A0928S00>

近日，在由科学技术部、中国工程院、清华大学联合主办，以“碳达峰碳中和关键技术和工程路径”为主题的长城工程科技会议 2021 年第一次主题大会上，中国工程院院士、清华大学建筑学院教授江亿指出，推动零碳能源发展，我国城乡基础设施建设将发挥重要作用，成为实现碳中和目标的重要技术载体。

### 低碳革命将拉动相关基础设施投资

“实现零碳能源，需要我们全面电气化，尽可能减少对化石燃料的依赖。”江亿认为，这一选择将推动我国的电力系统从集中变为分布式，形成新的电力网，同时，在用电终端上，将发展灵活用电的柔性负载，实现风电、光电的有效消纳。在燃料上，也将大力发展商品化生物质能源。以上这些能源方面的低碳革命将拉动相关基础设施投资和新的相关零碳产业。

以光能为例，我国可在广大农村地区推广以屋顶光伏为核心的新型农村能源系统。在山西省芮城县的试点显示，每户农民家庭的屋顶上都可架设一定数量的光伏设备，每户发电可达每年 2.2 万千瓦时，内部采用直流配电，优先自发自用。所产生的电能除满足做饭、采暖、生活热水等生活用能外，还可以供交通工具充电、农机具农产品加工，此外，还能外送 1 万千瓦时剩余电能。每户投资仅为 10~12 万元，具有很好的推广前景。

江亿介绍，利用卫星高分图片，已识别出我国农村区域建筑屋顶区域面积达 273 亿平方米，保守估计可安装光伏 20 亿千瓦，年发电量可达 2.95 万亿千瓦时，可占未来我国电力总量的 23%， “由此可见我国农村建筑屋顶的光伏开发潜力”。

在城镇建设上，“光储直柔”的配电方式也将有效消纳风电和光电。经过测算，我国城镇建筑屋顶光伏可开发量为 8.3 亿千瓦，年发电量可达 1.23 万亿千瓦时。这些电力可满足城

镇建筑自身用电的 30%~40%。

同时，城镇建筑加上临近的停车场，“一位一桩”的智能充电桩与电动汽车连接，建筑内部配电也将改为直流系统，由此形成“需求侧响应”的用电模式，可成为电力的柔性负载。

“在城镇百公里范围内有风电光电基地，这些光储直柔建筑就可以仅靠零碳电力运行。”江亿说。以上推动零碳能源的城镇基础设施也将有较大的建设潜力。

同时，在城乡发展商品化生物质能源也将大有可为。我国可开发利用的生物质能源共有 8 亿吨标准煤当量，但还远远未得到开发利用。具体包括麦秸、玉米秸、稻草等农业秸秆，果木、落叶等林业枝条，牲畜粪便和农副产品加工垃圾、餐厨垃圾等。

对这些生物质材料的商品化能源加工方式，包括压缩颗粒供清洁燃烧、提高燃烧效率、可替代木炭，压缩成块供工业锅炉和发电，建设大型沼气池再分离出二氧化碳后，得到纯度 95%以上的甲烷。

此外，在北方沿海地区，基于核电余热的水热联产联供，可进行海水淡化生产 95 摄氏度的热淡水，采用单管输送热淡水，实现“水热同送”。在终端经过“水热分离”，可同时供应常温淡水和供暖热量。

#### 全面的零碳改造更可助力建设制造强国

利用以上技术手段，对于我国的“双碳”目标，江亿提出了这样的设想：2035 年之前，我国实现以零碳电力为目标的电力系统革命性改造，完成风电和光电的发展和消纳。配合电力系统改造，加速发展电动汽车、智能充电桩、建筑“光储直柔”。同时，发展农村新型能源系统和生物质商品能。完成对北方城市建筑供热零碳热源的改造。此外，大力发展相关的“朝阳产业”制造业，停止新建燃煤电厂、炼油等高碳项目，同时抓紧研究各个制造业未来零碳转型的具体技术路线和工艺。到 2035 年之后，再把低碳转型的重点放到制造业结构调整和工艺改造上，实现零碳的制造业生产。

江亿指出，零碳能源建设将拉动农村以光伏屋顶为基础的新型能源系统建设、生物质能源全产业链建设、城市建筑“光储直柔”配电的建设和改造、全覆盖的智能充电桩网络建设、跨区域热网的建设改造和大型跨季节蓄热装置的建设。“这些建设虽初期成本高，但主要为劳动力成本和国内成熟的制造业产品，后期运行维护成本低，可提供优质能源，由此实现能源安全，具有很高的建设潜力。”

此外，零碳能源系统建设需要大量新兴产业的产品，包括电池、电动汽车、充电桩、光伏产业、低压直流配电产品、大功率芯片和直流建筑电力产品等，江亿认为，我国这些新兴产业技术多数处在世界“领跑”或“并跑”水平，将得到有效拉动，成为未来制造业产业和工程的主要出口市场。

江亿指出，到 2035 年，零碳电力系统基本建成，制造业零碳化的相关研究和路径设计也基本完成。届时目前的大多数制造业产能也已经收回成本，该更新换代，这就为全面的制造业结构调整和零碳化改造提供了良好的内部和外部条件。零碳电力系统可为制造业提供充足的低成本电力，全面的零碳改造更可以助力我国制造业真正由制造大国上升为制造强国。

# 乡村碳中和实现路径

## (一) 双碳战略为农村能源转型带来新思路

日期：2022-06-02

来源：中国能源报

整理：碳中和资料库

原文：<http://www.nengyuanjie.net/article/57863.html>

农村地区有着大量柔性负载，可通过有序管理挖掘其消纳优势。实现全面电气化后，拖拉机、插秧机等农业机械，既是用电设备也可作为蓄能装置。

中共中央办公厅、国务院办公厅近日印发了《乡村建设行动实施方案》，提出“实施乡村清洁能源建设工作”。发展太阳能、风能、水能、地热能、生物质能等清洁能源，在条件适宜地区探索建设多能互补的分布式低碳综合能源网络。

广大农村地区可开发的光伏、风电等资源丰富的，为实现清洁能源供给、生态环境治理、农民生活水平改善提供了支撑。这些资源究竟有多少？怎么有效利用？经过大量调研与实践验证，中国工程院院士、清华大学建筑节能研究中心主任江亿向记者阐述了他的建议。

### 农村有发展新能源的空间优势

“我们组织过两次大规模调研，对农村真实用能情况摸底发现，散煤目前仍占据最大比重，加上柴油等使用，不仅造成大气、固废污染，影响着居民健康，还产生大量的直接碳排放。另有秸秆还田、堆肥等，带来非二氧化碳温室气体排放。”江亿直指农村用能面临的主要问题。

对此，国家已出台多项措施。“诸如清洁取暖改造、农村光伏扶贫、农网扩容改造等工程，纷纷拿出真金白银的支持，动辄上千亿元补贴。”江亿充分肯定其效果，同时也看到可持续性不足的隐患。“补贴普惠程度待提升，进一步推广难免会加重财政压力。有没有更好的办法一下子抓住‘牛鼻子’，从根本上解决问题？”

在江亿看来，国家提出“双碳”战略，正是为解决农村能源问题带来了新启发、新途径。

“构建以新能源为主体的新型电力系统，光伏发电、风电等项目开发最需要空间资源，农村地区恰恰有着特别大的优势。通过高分卫星图加人工智能等方式，我们一个村、一个村摸底，全面分析了全国农村屋顶状况。为了验证数据可靠性，又选取重点地区现场考察测试。经统计识别，我国农村区域各类屋顶面积共有 273 亿平方米。”

这些屋顶为农村发展光伏带来机遇。江亿称，以目前户均可安装屋顶光伏 20-40 千瓦计算，农村地区实际可利用的屋顶总安装量达 19.7 亿千瓦，预测年发电量接近 3 万亿千瓦时。

“对照 2019 年全社会用电量 7.2 万亿多千瓦时，3 万亿千瓦时已超过 1/3 的量。而现在，农村一年的生活用电量约 3500 亿千瓦时，农牧林业生产不到 2000 亿千瓦时，即便是全面推行电气化，包括生活、生产和交通用能全部电气化，屋顶光伏也可满足老百姓需求。”

农村用电特点更适宜光伏消纳

事实上，难的不是安装环节，而在于真正有效利用。

“光伏发电受到天气影响，能不能实现荷随源变、有效消纳？”江亿坦言，当前大多数地方采用租赁模式，即企业租用屋顶、手握电站产权，收发两条线，电量全额上网。“即便装了光伏，老百姓还是从电网买电，跟过去没有区别。其实农村用电特点更适宜光伏消纳，最好的方式是优先自发自用。”

江亿表示，农村地区有着大量柔性负载，可通过有序管理挖掘其消纳优势。实现全面电气化后，拖拉机、插秧机等农业机械，既是用电设备也可作为蓄能装置。“在农村，很多农机设备并非天天用，一年用 1-2 个季节，使用频率比私家车还低，也不像工厂设备一刻不能停。若能开发出标准模块化的换电模式，一家配备两三组电池，用于各类农机设备。哪台设备需要，直接把电池装上去就行，这样便能实现需求侧响应。不用时则可以作为家中的储能单元。”

“优先自用”也是上述方式与整县推进光伏的最大区别，通过蓄能和需求响应模式进行调蓄，富裕电量再上网，让农村成为单向送电系统。“简单来说，就是依托农村直流微网，充分利用各类闲置屋顶，接收家家户户的富裕电量，储存之后上网调蓄。”江亿解释，一户有光伏，配上3-5千瓦时蓄电池，自用电量足以解决。进而再满足村里的公共用电、大型农机充电、农业和农副产品生产用电等。“多余电量经储存调节后，在与电网约定好的时段上网，或根据电网调度要求上网。通过村级网调蓄，还可以在目前农网变压器容量下，利用配电容送电上网，确保不超载。一个个村就像是小型发电厂，输出也不再是以往不稳定的电量，而是优质电力。”

初始投资可承受，盈利可持续

对于用户最关心的费用问题，江亿及团队也做了充分验证。“屋顶光伏是初投资最低的光伏发电形式。”他表示，光伏器件仅占集中光电系统总投资的35%-45%，其余为各类组件。而在屋顶安装支架等装置的成本最低，清扫等日常维护由房主自行解决，使用综合成本相应降低。

江亿算了一笔账：户均屋顶光伏、直流微网等成本在6万元-8万元。光伏电站产权归房主，户内投资可通过低息贷款解决。将来在满足自用的基础上，按照年输出电量15000千瓦时/户、度电0.5元来算，年收入约8000元/户，10年左右可还本付息。“村级公共设施的投资约200万元-400万元/百户。而村级微网需要集体投资和国家财政支持建设。初投资可以从农网扩容改造、清洁取暖改造等多项专项工程里面出，上网发电收入支撑后期运维管理，做好了产生盈余也不难。目前，该模式已准备在山西芮城全县500个村庄逐步推广。”

“农村还有丰富的生物质资源，总量折合达6亿吨标准煤。”江亿表示，这些宝贵的零碳燃料迟迟没有有效开发，主要原因是过于强调优先自用了。只有充分市场化，也就是作为商品能源，其价值才能体现出来，比如将玉米秸、果蔬枝条等压缩成小颗粒，性能接近木炭，

市场价格约 1000 元/吨；麦秸、稻草可以压制成大块，作为锅炉燃料市价在 500 元-700 元/吨。“没有形成生物质能源市场，才没能把这条挣钱的路给农民趟出来。简单在柴灶里烧柴，资源利用率只有 10%-15%，经过加工利用，综合利用率可提高到 40%以上，相当于 1 斤柴禾当作 2 斤、3 斤使用。生物质资源加工的主要成本是电费，屋顶光伏可以提供充足廉价的电力。以屋顶光伏为基础的农村新型能源系统，在替代散煤、柴油等化石能源的同时，置换出生物质能源，可以说一举多得。”





## (二) 乡村减碳要利用好 200 多亿平方米屋顶

日期：2022-05-16

来源：新浪财经

整理：碳中和资料库

原文：<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1732966100610924101&wfr=spider&for=pc>

通过实际调研发现，一个北方经典的农村院落总房面积 300 多平方米，不光是居住的，还有粮棚、库房等，只要把朝南的平顶装上光伏发电设备就能释放 28.3 千瓦电量。数据显示，中国农村各种建筑物拥有的屋顶面积是 200 多亿平方米，可装 20 亿千瓦的光伏，一年发电能力就能接近 3 万亿度电。“这 3 万亿度电什么概念？2019 年中国总的发电量是 7.5 万亿度，这 3 万亿度电占甚至超过了三分之一。农村屋顶在未来零碳社会里将是一个待开发的、非常重要的资源。”

江亿谈到，我国农村现在总的用电量不到 3500 亿度，加上农业生产也就 5000 亿度电。如果好好把农村屋顶利用好，就可以实现全面电气化。不仅可以用电力替代现在农村的燃油、燃煤、燃气，还能在让村民充分用电的基础上，结余至少 1.5 万亿度电。

“农村屋顶挺多，但是现在多数地方开发的方式都是企业到村里跟村民租屋顶，然后装上光伏，产权归企业。村民日常仍需正常买电用。实际上除了这种方式，可以实现农村用电自发自用。”江亿称，目前，农村直流微网功能就是充分利用村里各种闲置屋顶，接收各户的富裕电量，储存之后上网调蓄，把全村彻底电气化，取消煤、油、气和生物质燃料。一户农家有光伏，再备上 3000 瓦至 5000 瓦时的蓄电池，家里的采暖、做饭、家电等电器设备用电都能解决，多出来的电可以输出进入村级微网。农村村级微网上连着照明、公共充电桩、农机设备等公共设施。一个村就成了一个小的发电厂。发展屋顶光伏一户成本在 6 万元至 8 万元之间，农民除了自己不花钱用电之外，还能将剩余的电卖出去。

江亿称，中央提出“双碳”战略给农村的能源问题找到了新的解决途径，也是一个新的

机遇。从“双碳”出发，未来的主要能源是电力。电力主要由风电、光电构成，而风电、光电的开发最需要的资源是空间。恰恰在空间资源上，农村有着特别大的优势，抓住这个优势好好发展以屋顶光伏为基础的农村新能源系统，可以彻底改变农村的能源结构，使农村的社会发展、经济发展水平能够实现跳跃式的飞跃。



### (三) 城乡能源系统碳排放核算与减排路径

日期：2022-05-17

来源：可持续发展经济导刊

整理：碳中和资料库

原文：<https://www.163.com/dy/article/H7J3HAVJ0552DMW3.html>

3月27日，第十八届清华大学建筑节能学术周“城乡能源系统实现碳中和的路径”公开论坛召开。中国工程院院士、清华大学建筑节能研究中心主任江亿做了题为《城乡能源系统碳排放核算与减排路径》的报告，定义了碳中和研究的边界范围，从工业、交通和建筑三个领域分析未来的发展情景，总结了我国碳中和目标的主要任务，并提出“两步走”的设想，指出先电力后其他，先农村后城市，先建筑交通后工业的碳中和思路。

#### 城乡能源系统的分类和边界

探讨城乡能源系统的碳中和路径，首先要把边界范围定义清楚。从能源供给侧的角度来看，城乡能源系统有电力供应、市政系统的热力供应；从能源消费侧的角度来看，城乡能源系统主要有工业、交通、建筑三大部门。

从工业来看，分成流程工业和非流程工业。流程工业主要指冶金、有色、化工、建材等，非流程工业主要指机电产品、信息业、生物制药、轻纺、造纸、橡胶等。流程工业以能源作为基本原料，不光作为燃料还是生产过程的原料，非流程工业用能则主要是用它作为燃料提供热量，再就是用电，间接的碳排放是用电造成的，直接的是燃料提供热量。

交通主要是货运、客运，还有就是乘用车，未来乘用车将逐渐实现电气化。从交通部门管理来看，以前比较多的关注营运车辆，包括货运和客运。所以，以前统计数据很多都不包括中国现在有的这接近3亿辆私家车，对它的能源的用能数据统计的渠道都不一样。以后慢慢的车辆电气化了，全社会拥有3亿多辆电动小轿车，充电都是在社区或者在办公的地方，这就意味着跟建筑紧紧地绑到一块了。我们发现为小轿车提供充电的电力系统和建筑用电系统在很多场合是连在一起的，而且特征、性质也很类似于建筑用能，因此建议把这部分归到

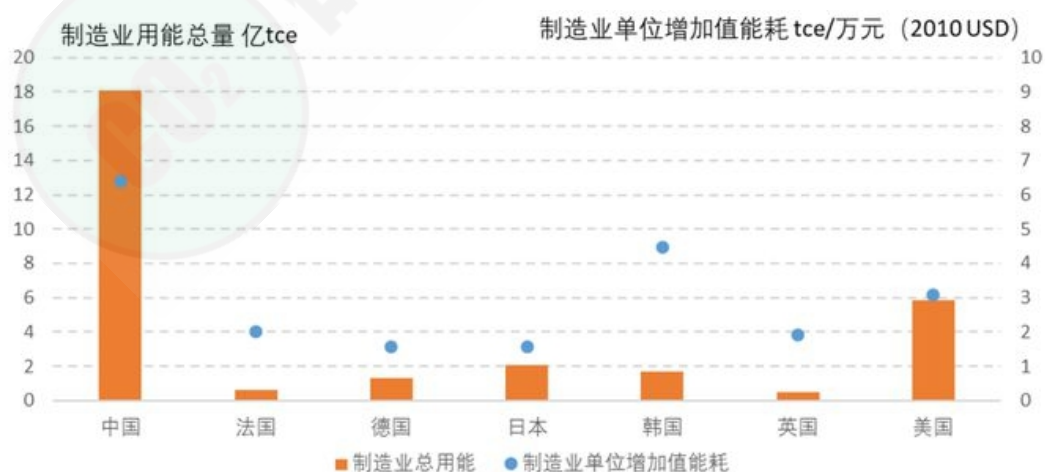
建筑用能来管理、分析和统计。

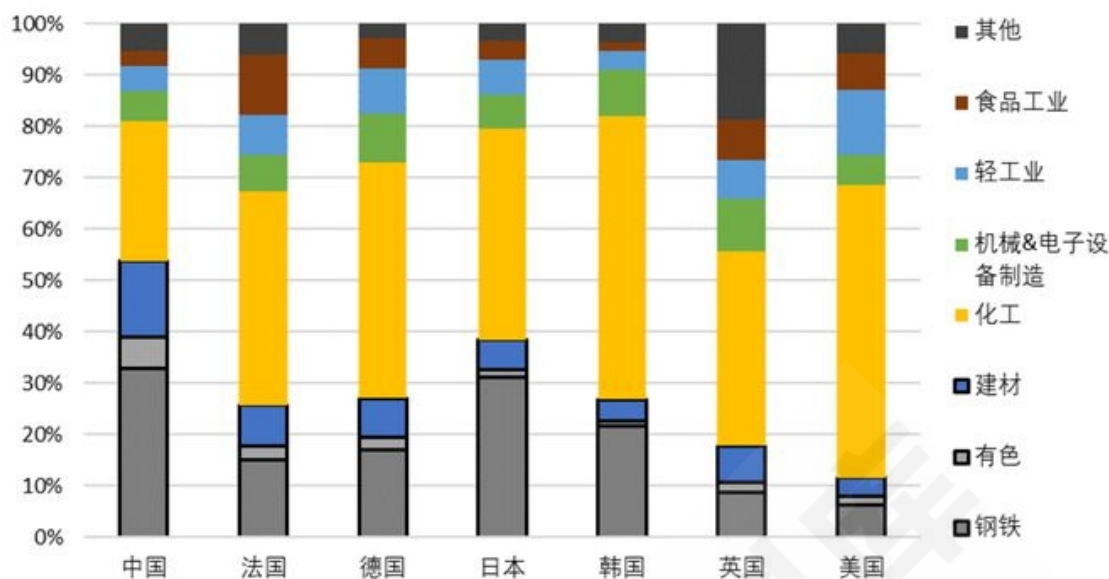
从建筑领域来看，有公共建筑与居住建筑区分，城镇建筑与农村建筑区分，各自特点不同，应该把它们定义清楚。此外，还有市政系统维持整个城市的运行，也有对应的碳排放。把各块分类边界搞清楚，可以清楚地看到各部分到底该怎么做才能实现零碳。

### 工业用能现状与低碳发展路径

下面再来考虑分析我国未来碳中和的情景。到 2060 年，我国人口可能会稍微减少一点，在 14 亿以下；中国是制造业大国，一二三产业中，二产比例会比发达国家高点，比现在稍微低点。现在人均 1.2 万亿美元，将来能涨到 4 万亿美元，也就是总数为五十几万亿美元，工业增加值到 16 万亿美元。在这个规模下，实现零碳的关键点首先是优先用电，终端用能尽可能减少对各种化石燃料的依赖，充分考虑到改为先进技术和全面电气化之后导致的用能效率的提高。

从这些角度出发，分别看一看工业、交通和建筑这三个主要领域未来会是什么样。图 1 是中国和几个发达国家目前的工业用能状况，图 2 是中国和这几国在几个主要的制造业领域的用能占比。





可以看出中国单位制造业的增加值能源显著高于发达国家，这并不是因为我国生产、制造用效率太低，而是两个原因造成的。一是制造业的结构比例不一样，我国钢铁、有色、建材比西方国家的比例高得多，几乎占 50%。钢铁、有色、建材的旺盛需求是为了满足高速城镇化发展和基础设施建设的需要。这部分用能高，但产品增加值不高，这是导致制造业单位产值能耗高的一个重要原因。另一个原因是我国产品相对低端，同样的东西价格太低，导致我国单位产值能耗太高。

未来，工业很重要的一个方面是结构调整，减少钢铁建材的占比，增加高附加值的机电产品、信息、生物等产品。一方面，随着大规模的城镇化建设跟基础设施建设逐渐“软着陆”，我国社会经济发展的重点包括制造业发展的重点也会调整，将转为信息业、生物产业和第三产业，这样调整产业结构慢慢会顺过来。另一方面，加强产品性能，从低端到中端再到高端提高产品附加值，减少单位产值的能耗。

更重要的任务是改变生产过程中的工业用能方式。对流程产业来说，面临着工业流程和工艺方式的改变，例如中国的钢铁产业现在 90%为长流程，从矿石出发，西方包括印度短流程的比例比咱们高得多，现在中国经过这么多年的发展，存在中国这片土地上的钢材，一些统计表明我国人均量快接近美国的人均量了，所以逐渐废钢铁的可获得量就多了，因此会

提高短流程的比例，减少长流程的比例。此外，发展新技术，比如拿氢还原替代焦炭。

化工领域也将面临大变革，因为原料变了，需要改变生产方式，减少对化石能源的依赖，有可能将来把其他部门 CCS（碳捕获与封存）产生的 CO<sub>2</sub> 再变为化工的重要原料，将来以氢和 CO<sub>2</sub> 为重要原料的新型化工业将兴起。另外，建材将来也要发生革命性变化，也将改变生产工艺，改变整个生产方式。

而轻工业、食品业、机电业、信息业面临的就不是改变工艺，他们的用能一个是用电，再就是需要热量。用电有可再生电力供给，热量有蒸汽、热水，该从哪来，怎么满足这些非流程工业的热是供应问题，这又变成了一件必须要解决的事。

再看工业领域，分成流程工业和非流程工业，这就会发现一个重要特点：冶金、有色、建材、化工，将来一定还会保留一部分，以满足经济社会发展需要。即使流程改变之后，从总的生产过程来看，还会释放出大量的余热，高温部分，这些年通过回收余热、余压发电做得挺好。但是对于 150℃以下或者 200℃以下的余热，很多时候都排掉了，尤其是 100℃以下的余热。因为没有化石能源了，回收这块热量非常重要，可以用于其他非流程工业生产过程和建筑对热量的需求，这是对流程工业提出的余热回收的要求。

非流程工业如机电、生物、信息、轻工等，现在还用 7 亿吨标煤的化石能源，这些化石能源主要用来提供大量的中低品类的热量用于生产。这里面有 50 亿~60 亿 GJ（吉焦）热量，部分热量可以回收实现循环经济，但是总量是欠缺的。现在的做法是拿化石燃料补，把钢铁、冶金流程工业排在中低品位热量回收回来给它们用，替代这些工业所用的化石燃料。

这两类工业在热量上是互补型的，但不是在同一个地方，不是挨着的，甚至还挺远，产热和需要热的时间也不一样，所以需要建设大规模的跨区域热网和跨季节储热系统，把热量回收起来，为非流程工业供热。这两边的热量的参数压力包括蒸汽还是热水，温度参数也不一样，可以通过由热泵和其他装置组成的热量变换器实现单独的一对一的提供，分别根据所

需要的压力、温度进行热量转换，从而满足非流程工业对热量的不同需要。

中国工业现在每年是 5 万亿度电，未来由于电气化还会涨到 7 万亿度电，还要额外 7 亿吨标煤用于流程工业，产生出 50 亿~60 亿 GJ 的热量用于非流程工业和建筑，非流程工业有些地方还得用燃料，得用 3 亿吨标煤，这是工业未来的情况。

#### 交通用能现状与低碳发展路径

中国现在交通还是以油为主，电力在里面发挥的作用不大，货运跟客运之比，货运占了 40%，客运占了 60%。中国货运交通的问题，一个是未来燃煤、建材、钢铁的量变少了，货运交通负荷将大规模减少。随着煤被替代，钢材、建材的量减少了，中国好几条运煤专线的货运总量将减少。

从整个货运结构上，中国现在铁路占的比例太少，大家都知道美国铁路弱，但是美国铁路在货运上占的比例居然比中国还高。而铁路是特别容易实现电气化的，并且还是高效率，所以提高货运的铁路占比，尽可能减少公路占比，这应该是地面交通货运非常重要的一点。

从客运上看，现在我国人均公里数比发达国家低得多，随着现代化国家的建设推进，可能城内交通和城际周转量会大幅度增加。中国高铁客运发展得挺好，一是靠高铁有效减少城际间航空运输和城际间的汽车运输，另一个重要点就是大力推动交通电气化，私家车完全可以实现电气化，短途运输的汽车也可以实现电气化，比较困难的只剩下长途重载货车和长途大巴，但电池太沉，充电速度跟不上，未来可以考虑用氢燃料等。所以，应尽可能逐渐减少长途客运大巴、长途货运，改成铁路、高铁，总之重点还是改成能够用电气化实现的运输方式。

通过估计分析，到了 2060 年交通实现电气化，电力需求大概在 2 万亿度电，还有 1 亿吨标煤左右的燃料，像航油、远航轮船，当氢原料还不能替代的时候需要一些燃料，这是交通未来的状况。

## 建筑用能现状与低碳发展路径

建筑低碳的路该怎么走？现在建筑相关的碳排放，1/3 以上是由于大量基建盖房、建筑材料如钢材、水泥的生产过程和运输及建造过程导致的碳排放，尽管归到了工业碳排放，其责任还是在建筑这边的。现在我国建筑总量 660 亿平方米，同时还有 100 亿平方米开工还没竣工的工地在盖房子，将来盖完了会达到 750 亿平方米。

届时，我国人均建筑面积（包括居住建筑和非居住建筑）达 55 平方米，将超过日本、韩国、新加坡这些亚洲发达国家的人均建筑拥用量。所以，我国盖房子应该告一段落，不能再使劲新增房子了，同时要避免拆旧的盖新的，那样就会没完没了地循环下去。应该把建设重点由盖新房转为修旧房，通过精细的修缮实现加固延寿和提升质量，这样既能满足社会发展对房屋、建筑环境不断提高的需求，同时还能大规模减少对钢铁、水泥等建材的旺盛需求，从而实现碳减排。

另一重头是建筑运行，现在 600 多亿平方米，将来 700 多亿平方米，这些房子都要使用、运行。为了满足运行要求产生的碳排放怎么能降下来，这要求坚持建筑节能的方向，维持绿色节约的建筑用能模式。与发达国家相比，我国无论是人均建筑运行用能还是单位建筑面积都低得多。之所以低，主要是由于不同的使用模式。

我总说“部分时间和部分空间”，没人的时候，各种设备都关了；而美国都是全时间全空间，不管有人没人，建筑物里面的灯总亮着，空调通风总开着，这种使用模式是目前用能差别非常大的最主要原因。维持使用模式，同时让建筑机电系统和建筑形式能够适应这种“部分时间、部分空间”使用模式，这是我国阻止建筑运行用能迅速增长的关键点。

除了要坚持实现持续的建筑节能事业之外，面对零碳要求，还需要做全面电气化，因为以后主要的零碳能源来自于电。除了电气化，还要改变用电模式，未来电力中大规模大比例的是风电光电，而风电光电又是不稳定的，很难根据使用侧的变化及时调整，所以就得实现



柔性用电。应该通过改造，让建筑有更大的储能能力和灵活用电能力，从而根据风电光电的变化改变我们从电网获取的电力，为电力的零碳化做出贡献。

要实现柔性用电，就需要特别大的储能能力，实际上经过分析，中国未来最大储能资源就是将来可能的 3 亿辆电动私家车，怎么把 3 亿辆电动私家车储能资源充分调动起来，这件事要跟建筑结合在一块考虑。因为这些车辆 90%的时间或者停在社区停车场，或者停在上班的地方、附近的停车场，而这些都跟建筑相连，所以全面建设智能有序充电桩，不是插上就是充，而是电多就充上，电少从车中取电，把充电桩的电力纳入建筑配电系统，跟建筑用电联动，建筑加上智能充电桩合起来变成虚拟电厂，为电力系统调频调压，这将成为零碳下建筑的新任务，可以为实现碳中和做新的贡献。另一个任务是建筑消耗的热量，尤其是北方建筑的采暖，是由化石能源提供，将来要为建筑找到零碳的热源，满足建筑用热的各种要求。

从这点出发，考虑到未来，如果建筑总规模控制在 750 亿平方米，而且不再大拆大建，建筑用材量减少了，绿色使用模式能够维持住，同时把各种各样的余热回收起来解决建筑用热问题，现在是 2020 年中国建筑用电接近 2 万亿度电，考虑到将来建筑的全面电气化，规模又大了，再加上私家车，一共是 4 万亿度电，需要的热量是 50GJ 一年。

#### 零碳愿景下的能源供给方案

这样一来，我们分析得出了下表。为什么非要上一点调峰火电呢？比较了各种各样的模式，从总的经济成本等各方面来看，火电调峰是经济上最合算的方案。

	装机容量 kW	发电量 kWh	需要燃料 tce	排放CO <sub>2</sub> , t CO <sub>2</sub>	输出热量 GJ
核电	2亿	1.5万亿			70亿
水电	5亿	2万亿			
风电光电	65亿	8万亿			
调峰火电	6.5亿	1.5万亿	4.5亿 生物质、燃煤、燃气各三分之一	9亿	70亿
流程工业		- 3万亿	7亿	14亿	50亿
非流程工业		- 4万亿	1.5亿	6亿	-70亿
交通		- 2万亿	1亿	2亿	
建筑		- 4万亿			- 50亿
合计	78.5亿	产出13万亿 消费13万亿	14亿	30亿	输出190亿 需要120亿

关于燃料：调峰火电 1.5 万亿度电，用 4.5 亿吨标煤作为燃料，其中 1/3 的生物质燃料，其他是燃煤燃气，排放 12 亿吨 CO<sub>2</sub>。调峰火电发电的同时，还能热电联产，全年输出 70 亿 GJ 的热量。流程工业用 3 万亿度电，另外还需要额外的 7 亿吨标煤的燃料，满足生产过程的需要，排放 14 亿吨 CO<sub>2</sub>，还输出 50 亿 GJ 的热量。

轻工业包括机电产品等，这些非流程工业用 4 万亿度电，还用 3 亿吨标煤排放 6 亿吨 CO<sub>2</sub>，还需要 70 亿 GJ 的热量，交通消耗 2 万亿度电，1 亿吨标煤的油，排放 2 亿吨 CO<sub>2</sub>。建筑用 4 万亿度电，需要 50 亿 GJ 的热量，核电一年能出 70 亿 GJ 的热量、1.5 万亿 kWh 核电，调峰火电也能出 70 亿 GJ 的热量，加上流程工业的 50 亿 GJ 热量，三样加起来输出 190 亿 GJ 的热量。需求侧一个是建筑的 50 亿 GJ，一个是非流程工业 70 亿 GJ，加起来共 120 亿，输出大于需求。考虑到有些余热不是那么好回收，尤其是地理位置相距太远，长途输送经济性有问题，把这些不合适的因素考虑进去之后，这样等于只用不到 70% 输出的热量就能满足我们对热量的需要了。

刚才碳排放加起来是 30 亿吨，燃料一共需要 15.5 亿吨，其中我国有 10 亿吨的生物质能源，现在的秸秆、生畜的粪便加上城市绿化的产物保守计算 6 亿~7 亿吨标煤，还差 3 亿~4 亿吨标煤。已有好几个机构都在研究用芦竹规模种植，一亩产 10 吨，这样可利用废弃的土地搞点芦竹类的生物质燃料，合起来一年提供 10 亿吨标煤的生物质燃料。跟 15.5 亿比还

差 6 亿吨燃料，由燃煤燃气解决，再通过 CCS 回收 CO<sub>2</sub>，一年回收 12 亿吨 CO<sub>2</sub>，就能用于化工建材，这样整个大系统就能平衡。

按照这个表，可以认为能源侧基本平衡了，也不需要过多的碳汇。要想实现这个目标，就得干这几件事：

一是建立新型零碳电力系统，实现电力系统的革命，其中包括改变电源结构和调控方式，这是一个革命性变化。包括电源从现在集中电源改成集中和分布相结合的电源供给，现在电网调节靠电源侧发电机组调节，未来要变成电源和终端联合调节。现在系统是源随荷动，未来通过比较好的储能方式使源和荷之间可以解耦，就成为“荷随源动”或“源荷协同”。可靠性保障的方式，包括分析方法也和现在不一样了，这是电力系统大的变化。与大的变化相应的是要有足够大的储电系统，从而满足风电光电储蓄的需求，这个储电系统单独投资是巨大的，很可能主要部分要依靠电动车电池资源。另外，要实现电力系统大比例的风电光电，这是低密度的能源，粗算一下需要 1 亿亩土地或空间资源。到哪里去找这样的资源？屋顶资源就是非常好的发展光电的空间资源。

第二是要建设带有跨季节储能设施的跨区域热网，以全面协调低品位热量的供、需、储。主要包括三个方面：首先是刚才说的火电出来的热量，什么时候出热？需要电网调峰发电时调峰火电产热，核电则全年持续出热，流程工业得看市场状况决定生产状况，热量产出的时间跟需求热量的时间不同步。这些热源的产生与需求之间在时间上不匹配，核电一年均匀的出余热，建筑采暖冬天才用热，这就得有大规模跨季节储热设施，解决时间上的不匹配。其次，有大规模的热网解决热源产生地与需求地之间地理上的不匹配，再次，还得有多种类型的低品类热量变换器解决热量产生和需求之间参数的不匹配。这三大问题，现在部分问题已得以解决或者也看明白方向了，有些还得努力攻关。

另外，刚才说要用好私家电动车电池资源，为配套建立全覆盖的智能有序充电桩，实现

“一位一桩”、即停即插，随时让电池在那连接着保持备用的状态，同时促进交通电气化的发展。

对建筑来说，以前是节能降耗，让建筑表面发电是以前没有的事，现在就变成非常重要的功能了，用余热供暖，通过建筑连接充电桩，建筑实现柔性用电，这都给建筑赋予了新的重要任务。

对交通来说，电气化是头等大事，然后货运结构、货运方式结构的调整，一个是提效，一个是配合电气化解决中国高速路，大量的长途货运大卡车一定不是未来，也不适合电气化。

工业涉及到流程的改造、能源结构的调整，对于流程工业来说把余热回收回来用上，对非流程工业来说，通过热源改造不使用化石燃料了，而是从别的地方回收回来的热量为它服务。

以上内容就是探讨在碳中和的背景下，城乡能源系统建设到底该怎么做，很多事也能够看得更清楚了。



# 建筑碳中和实现路径

## (一) “碳中和”需要减少建筑运行的直接碳排放

原文：<http://www.bpsa.org.cn/contents/439/23911.html>

### 一、低碳转型是我国社会经济发展的战略决策

1.2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和

2.碳中和：温室气体排放总量小于碳汇吸收总量

3.途径：

(1) 由可再生能源替代化石能源，不可替代部分采用CCUS回收二氧化碳；

(2) 可再生能源主要是水电、风电、光电、核电以及生物质能。

4.零碳转型的挑战

(1) 终端用能应尽可能用电力高效地替代燃料，尽可能减少对燃料的需求；

(2) 风电光电占总电量50%，占发电总功率70%以后，如何协调电源侧与用电侧随时

间变化的不同步性？如何使源与荷之间由刚性连接转为柔性连接？

### 二、减少建筑运行的直接碳排放

1.直接碳排放：由于燃烧或是能源导致的CO<sub>2</sub>的直接排放

2.建筑运行相关的直接碳排放：全面电气化，不再使用燃料

(1) 炊事燃气：气改电，用各种电炊具做饭，取消燃气；

(2) 生活热水燃气：气改电，热泵热水器，电热热水器；

(3) 蒸汽锅炉（医院、宾馆、洗衣房等）：取消蒸汽管网，电热蒸汽发生器；

(4) 小型热水锅炉：多种形式的热泵；

(5) 采暖燃气壁挂炉：空气源热泵；

(6) 北方集中供热热源:

①工业余热、核电余热;

②调峰火电热电联产, 排烟通过 CCUS 回收二氧化碳;

③取消采暖用燃煤燃气锅炉。

### 三、减少建筑运行的间接二氧化碳排放

1.建筑实现全面电气化, 电力要从目前的煤电为主转为绿电

2.绿电: 核电、水电、风电、光电、生物质发电

3.我国目前绿电占总电量 30%, 2030 年达到一半, 2045 年全部绿电

4.电量比例: 核电 15%, 水电 20%, 风光电 50%, 生物质和火电 15%

5.风电光电装机容量: 将由目前的 4 亿 kW 增长到 40~50 亿 kW

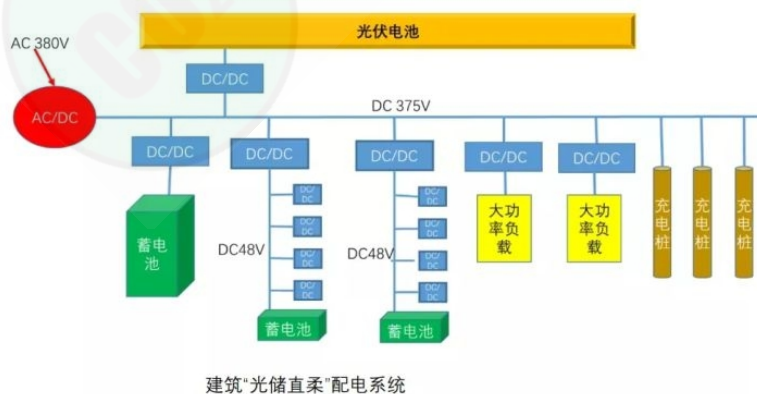
6.风电光电的布局:

(1) 三分之一为在西北的集中光电风电基地, 大功率远程输送;

(2) 三分之二在中东部, 利用屋顶、零星空地、分布式发电; 优先自发自用;

(3) 22 亿 kW 屋顶光伏: 城市 35 亿 m<sup>2</sup> 光伏, 4 亿 kW; 农村 150 亿 m<sup>2</sup> 光伏 18 亿 kW。

### 四、建筑“光储直柔”配电系统



### 五、光储直柔系统的智能柔性负载

1.AC/DC 根据要求的输入电功率控制直流母线电压

2.各个末端根据母线电压开环方式调节用电功率或充放电速率

3.光伏的 DC/DC 根据光伏侧电流变化, 调节变压比, 以最大程度接收光电

4.蓄电池的调控

(1) 根据母线电压, 高过  $U_0+\Delta U$  时充电, 低于  $U_0-\Delta U$  时蓄电;

(2) 智能控制: 检测母线电压一天内的变化, 识别其规律, 得到一天内需要充电和放电的时间段, 从而优化安排充放电轻度, 保证在最需要充电时有足够的空余容量, 在最需要放电时, 由足够的电量。

5.充电桩的调控

(1) 单向充电桩: 只在母线电压高于  $U_0+\Delta U$  后充电, 根据母线电压决定充电电流;

(2) 双向充电桩: 当母线电压低于  $U_0-\Delta U$  后, 从汽车电池取电为建筑供电。

6.变频空调的控制

设 0~1 之间的柔性调节设定值。当柔性调节为 0 时, 根据空调工况调控, 不根据母线电压做任何改变; 当柔性调节为 1 时, 深度柔性调节, 根据母线电压增大或减少输出冷量, 室温也略有升高或降低。

7.变频风机、水泵的调节

设 0~1 之间的柔性调节设定值, 根据性设定值和母线电压变化, 修订风机水泵转速:

$$n=n_0*k*(V-375)。$$

8.蓄热式电热热水器

自学习一天内母线电压变化规律和热水使用规律, 在满足热水供应的前提下优化加热时间和功率。

9.冰箱的柔性调节

自学习一天内母线电压的变化规律, 根据冰箱内温度变化, 优化压缩机开启周期, 使其

尽可能在母线电压高峰时段运行。

10.整个系统只有入口处 AC/DC 由电网调度设置每个时刻的电功率（电功率/最大值/最小值），其它用电设备不需要集中控制，也不需要通讯连接，仅根据母线电压和自己的调节意愿，调节瞬时有功功率

11.只有这样才能适合建筑内多种用电设备，各自有不同需求的状况，既实现需求侧响应，又不会影响各个装置的正常使用

12.目前一些试图对建筑内各个设备进行统一优化调控，实现用电需求侧响应的尝试，很难解决多个使用者及设备提供商之间的需求、责任等矛盾，优化调控系统成为各类矛盾的聚集点

13.优化各种用电终端的智能调控算法，可极大程度提高建筑电力柔性程度，从而减少对蓄电池容量的需求，降低投资

14.各类建筑用电设备的需求侧响应的智能调控水平，将成为未来建筑设备智能化发展的新方向和竞争点。



## (二) 让建筑从单纯的能源消费者转变成能源产消者

原文链接:

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1732146839504974243&wfr=spider&for=pc>

《“十四五”现代能源体系规划》中明确，能源领域碳减排的关键是用能模式的低碳转型，“十四五”时期将以更大力度强化节能降碳，严格合理控制煤炭消费增长，推动提升终端用能低碳化电气化水平。

在加快构建现代能源体系的进程中，建筑部门作为工业、交通和建筑这三大用能部门之一，应如何加快推进节能和低碳建筑规模化发展，以适应新能源大规模发展，推动形成绿色发展方式和生活方式？在推进建筑用能电气化和低碳化的过程中，又应关注哪些重点和关键问题的研究推广？近日，中能传媒记者就以上问题专访中国工程院院士、清华大学教授江亿。

构建现代能源体系，要求建筑功能实现巨大转化

“过去从节能的角度出发，我们提出对建筑本体，要通过被动式设计来减少需求；对机电系统，要通过主动式优化来提高效率。”江亿表示，建筑行业与能源消费和碳排放密切相关，能源转型和碳中和的推进对建筑行业提出了新要求。

“对于建筑本体应该在被动式设计的基础上再加上一个要求：怎样优化建筑形式从而更多地安装表面光伏，使建筑从单纯的能源消费者转变为能源的产消者？对于机电系统，则有四个要求：全面电气化以取消化石能源，提高系统效率以降低能源消耗，提倡分散方式以避免过量供应，发展柔性用电以实现风电、光电的有效消纳。”江亿指出。

由江亿所在的清华大学建筑节能研究中心主办的第十八届清华大学建筑节能学术周公开论坛刚刚落幕，本次学术周聚焦“中国建筑领域实现碳中和的路径与公共建筑节能降碳进展”这一主题。江亿表示，公共建筑从用能强度来看是民用建筑中单位面积能耗最高的一类建筑，其单位面积能耗水平显著高于城镇住宅、农村等其他民用建筑。

事实上，由于公共建筑的使用时间长、用能强度高、保障要求高、功能多及设备系统复杂，其也是各类民用建筑中碳排放强度最高的一类，在实现降低建筑碳排放、促进建筑节能等关键工作和任务目标中处于关键位置。

“作为建筑节能重点领域的公共建筑，需要从强化能耗总量和强度‘双控’，发展为能耗与碳排放总量和强度‘双双控’；从进一步节能和提升建筑与系统能效，发展为提升建筑用能系统的柔性和韧性、建设‘光储直柔’的建筑、社区、园区能源系统，提升可再生能源利用量和吸纳电网可再生电量；从制定规章制度和标准体系，到更加科学和严格的措施；从满足‘设计节能’要求，到建立立项、规划、设计、招标投标采购、安装施工、调适验收和持续运维与更新的全过程节能低碳管理体系，尽快大幅度降低各类公共建筑的碳排放强度。”江亿从四个方面指出公共建筑的转型方向。

“双碳”目标下，“光储直柔”将成为重要支撑技术

如何提高建筑能效，降低建筑能耗，再进一步利用可再生能源抵消建筑能耗？《国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知》中“城乡建设碳达峰行动”部分明确，提高建筑终端电气化水平，建设集光伏发电、储能、直流配电、柔性用电于一体的“光储直柔”建筑。

“光储直柔”是在建筑领域应用光伏发电、储能、直流配电和柔性用能四项技术的简称，但并非简单的组合，而是有机融合并构成一个整体来实现柔性用能，实现建筑与电网之间的友好互动。

“‘光储直柔’建筑配电系统将成为建筑及相关部门实现‘双碳’目标的重要支撑技术。”

江亿曾对零碳能源系统在北京城市副中心应用进行深入阐释，并建议在北京市通州新区推广城镇建筑采用“光储直柔”+有序充电的方式。

江亿给记者算了一笔账，1 万平方米的办公建筑，加上 100 个充电桩，连上 100 辆汽车，

大概能消纳自身或者外界的光伏 1 兆瓦。如果把 60%-70%的办公建筑跟 40%左右的住宅建筑改成“光储直柔”，能基本解决通州消纳风光电的问题。

“‘光储直柔’建筑可以仅依靠零碳电力运行。假设通州的建筑都是光储直柔建筑，远处还有大型风光基地。每晚向风光基地提交第二天的总用电量和负载用电曲线，控制中心根据气象预报得到风电光电的变化，确定各个建筑第二天用电曲线使风电光电有效消纳，同时使各座建筑蓄能调节量最小。只要各座‘光储直柔’建筑严格按照要求的用电曲线调节，就可以实现建筑全零碳用电。”江亿假设。

事实上，江苏、浙江、上海、广东等多省市出台的需求侧响应补偿政策以及示范，都将推进建筑柔性用能技术的发展。以广东省为例，2020 年 11 月广东能源局、南方能监局印发《关于征求〈广东电力市场容量补偿管理办法（试行，征求意见稿）〉等文件意见的函》，指出用户侧储能、电动汽车、充电桩等其他具备负荷调节能力的资源可以作为市场主体参与，起步阶段独立储能和发电侧储能暂不纳入市场交易范围。

江亿表示，需求侧响应补偿额度的不断提高，以及越来越多的市场主体逐步参与到电力市场辅助服务中，都将推动建筑柔性用能技术在更大范围内的应用。

“建筑将从单纯的能源用户转变为集能源生产、消费、调蓄‘三位一体’的综合体，实现由单纯能源消费者、刚性用能向深度参与低碳能源系统构建、调节、成为柔性负载的转变，成为未来低碳能源系统中的重要一环。”

我们相信，正如刚刚发布的《中国建筑节能年度发展研究报告 2022（公共建筑专题）》所言，在现代能源体系中，人类所傍身的每一个房间、每一栋建筑都将在“一呼一吸”之中实现迎来重要转变。

### (三) 建筑零碳运行在 2050 年前后能够实现

原文链接:

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1712028442722591208&wfr=spider&for=pc>

他介绍,建筑运行碳排放分为四大部分,首先是直接碳排放,即楼内居民在生活过程中烧煤、烧气带来的直接二氧化碳排放。第二部分是用电,2019 年建筑运行相关用电量为 1.9 万亿千瓦时,折合二氧化碳排放 11 亿吨。

第三部分是北方城市冬季供热,将热电厂生产所发生的全部费用按生产电力和热力产品时分别所消耗的标准煤量的比值进行分摊,大约占全国总二氧化碳排放的 22%。

此外,建筑还涉及空调制冷排放,制冷剂排放对温室效应的作用值是远大于二氧化碳的。

江亿表示,将燃煤、燃油、燃气的能源结构变为水电、风电、光电、核电、生物质能等零碳能源,彻底摆脱对化石能源的依赖,实现能源安全和可持续发展是彻底改变我国能源结构、解决我国能源问题、实现碳中和的根本途径。

但如何与电力部门共同实现零碳电力是下一步面临的最大问题。“不用电是不可能的,但是首先要提高效率,减少用电需求。”建筑部门也应该主动做贡献,零碳电力发展面临的两大困难,一是空间在哪儿,风电、光电安装需要空间,建筑屋顶实际是一个非常好的资源,应该好好加以利用,开发屋顶光伏发电;另一个问题在于,发展风电、光电是电源侧跟用电负荷二者的匹配,灯一关,电厂就得少发电,二者要保持平衡。但风电、光电不能人为控制,就得对用电侧进行相应的调节,在这方面,建筑能起到很大的作用,尤其将来全面推广电动车,电池会是未来最宝贵的储能调节的资源。

而电动车充电方式,也将改变。不再像现在插上就充,而是一位一桩,即停即插,只有在电富余时才会给车充电,用它来帮助削峰填谷,从而有效消纳建筑自身的光伏,这就是建筑的柔性供电,也叫“光储直柔”。

所以建筑在电力零碳化的革命中,不是简单地承担一个消费者的角色,而是成为生产者、消费者、储能和调节者“三位一体”,承担更大作用。

江亿描述了一个低碳的未来。随着低碳社会的发展,热量会越来越珍贵。“因为以前是燃料烧火提供热量,再把热量变成电,热在前面,电在末端。推行零碳后,电在前面,风电、光电、核电、水电都是电,热在末端,于是热的珍贵性就凸显出来了。”而这个时候,大规模跨季节储热在经济上、低碳发展上等各方面变得可行了,可以把全年的余热收集起来,变废为宝,实现零碳。由于有了储能装置,储热会比储电更便宜。

他表示,通过技术革命,在2050年前后将实现建筑零碳运行,“而且很重要一点是,推广零碳并不是给自己增加障碍和成本,反而会促进新的大量相关技术的发展进步,从而实现可持续发展。”



## (四) 建筑领域的绿色低碳转型

原文链接:

[http://finance.sina.com.cn/esg/pa/2022-05-12/doc-imcwipii9460275.shtml?finpagefr=p\\_115](http://finance.sina.com.cn/esg/pa/2022-05-12/doc-imcwipii9460275.shtml?finpagefr=p_115)

2022年4月22日,中国工程院院士、清华大学建筑节能研究中心主任、教授江亿做客第七期“清华五道口绿色金融讲座”。江亿围绕“建筑领域的绿色低碳转型”这一主题,介绍了我国建筑部门的碳排放状况、实现建筑运行碳中和的路径、建筑运行低碳转型的主要任务,分享了对新能源领域一些问题的观点,并且建议我国低碳发展应该分两步走,即“先电力、后其他;先建筑交通、后工业”。

我国建筑部门碳排放状况:建筑碳排放是指建筑物在与其有关的建材生产及运输、建造及拆除、运行阶段产生的温室气体排放的总和,以二氧化碳当量表示。放眼全球,世界通常是将碳排放分为工业、交通和建筑运行,而对建筑部门的碳排放核算主要是从全生命周期各个阶段所产生的碳排放进行分类核算与控制。其中,工业碳排放包括了建材的生产和盖房子的过程,交通碳排放包括了建筑材料的运输。

—聚焦我国的建筑部门碳排放的情况,江亿指出,优化建筑碳排放管理需要从全生命周期进行碳排放总量的核算与控制,而不是使用常用的清单法核算当年的碳排放。江亿强调,在推进碳中和的过程中,一是要避免大拆大建,把建设的重点从新建转为维修和功能提升,发展建筑低碳的延寿和功能提升技术,实现建设领域的战略转移;二是降低建筑运行中产生的碳排放。

实现建筑运行碳中和的路径

### 一、实现能源结构的低碳化转型

实现2060碳中和目标意味着我国能源结构需要向低碳化转型,需要由化石能源逐渐转向零碳能源。江亿表示,零碳能源未来将主要依靠核电、水电、风电(海上和陆上发电)、

光电（包括屋顶光伏）以及生物质燃气等。按照国家资源情况，未来的能源结构将会是生物质燃料占比 10%-15%，其余为核电、水电、风电、光电等电力资源。需求侧则需要通过电力替代化石能源，逐步实现电气化。

## 二、解决零碳能源与用电负荷的不匹配问题

从用电侧全年的情况来看，电力供需不平衡主要分为三种情况：季节差、旬差和日内差。季节差是指，春天水电、光电的发电量充足甚至高于用电量，但冬天却会出现电力短缺的情况。对此，江亿指出，采用生物质燃料、燃煤、燃气作为燃料的火电力发电，不仅可以在冬季和其他电力不足时调峰，还可以提高供电可靠性；同时冬季采用热电联产方式，还可以获得可观的热量供建筑冬季采暖使用。使用 CCUS 技术将这些火电排放的烟气中的二氧化碳作捕捉利用封存处理。这种方式与储氢等各种跨季节储能方式相比，经济性更好。

旬差是指受天气（连阴天、静风天）的影响，每日的供电量存在差异。对此，江亿指出，解决旬日内总量的变化可以使用水电和抽水蓄能、空气压缩储能、以及化学储能等调蓄方式解决，当然也包括通过调峰火电提供供电保障。

日内差是指光伏电力的日内逐时变化，在一天 24 小时中，白天的发电量通常会高于晚上的发电量，导致晚高峰电力不足。对此，江亿指出，水电和抽水蓄能电站可以解决 20% 的日内差问题，但主要还是依靠化学储能，即各类电池，比如电动车的电池、建筑的“光储直柔”调节、电池储能系统等。

## 建筑运行低碳转型的主要任务

### 一、建设农村零碳新型能源系统

农村零碳新型能源系统是指，农村实现基于屋顶光伏的全面电气化，彻底告别燃煤、燃油、燃气和秸秆。江亿指出，新型农村能源系统的主要功能是充分开发利用农村各类闲置屋顶资源，发展光伏发电，每户装机 20KW 以上。当配备一定容量的储能后，可以实现只发

电上网，不从电网取电。

对于如何推进农村零碳新型能源系统的建设，江亿建议：一是建立适配的融资机制，梳理各类有关农村的补贴政策（农电、农灌、农机油，清洁取暖），集中财力，建成农村微网和生物质加工能力，实现新型能源系统公共部分的建设；二是提供政府担保，低息贷款方式解决每个农户家庭屋顶光伏和户内用电系统的改造，实现农户无偿用电，解决生活、生产的全部用能，还能够靠剩余电力上网还本付息。

## 二、建立城镇建筑+充电桩的“光储直柔”调节机制

江亿指出，城镇建筑不光是使用这些分布式光伏发电，更重要的功能是利用建筑自身的热惯性和机电系统可灵活调节的特点、并挖掘楼内配电网通过有序充电桩连接的私家车电池、以及建筑自备的分布式蓄电，帮助电网消纳外面集中的风光电，发挥消峰填谷的作用。为此，江亿提出建立城镇建筑+充电桩的“光储直柔”新型配电系统和它的调节机制。

所谓“光储直柔”，“光”是指在建筑表面安装光伏发电，“储”是指在建筑内布置分布式蓄电以及通过智能充电桩，充分利用停车场的电动车内蓄电池资源，“直”是指建筑内实行直流配电，“柔”是指让建筑成为电网的柔性负载。江亿提出，通过建立城镇建筑与充电桩的“光、储、直、柔”系统，可以使建筑成为柔性用电的灵活负载。

## 三、北方供暖热源结构的转型

目前，北方城镇建筑供热面积约为 160 亿平方米，供热量为 50 亿 GJ，热量来源 45%的热电联产余热，40%的燃煤燃气锅炉，以及 15%的热泵和分散燃气炉。那么，如何实现北方供暖热源结构转型？零碳热源从哪儿来？江亿指出，需要对北方建筑进行节能改造，需要挖掘利用各类余热资源进行供热。同时研究开发和建成大规模跨季节储热系统，使春夏秋冬的各类余热也得以充分利用，才能得到足以满足北方冬季建筑供热的零碳热源。

## 我国实现能源低碳转型的建议



江亿指出，转型任务的核心要点是要建设零碳的新型电力系统。江亿建议，我国能源的低碳转型可分为两步走：先电力、后其他；先交建筑交通、后工业；而电力系统又应先农村、后城市，“农村包围城市”。第一步以新型电力系统为目标，发展私人电动车、农村新能源、以及建筑配电系统改造和智能有序充电桩系统的建设，于 2035 年前后建成充足的零碳电力供给系统；同时停止新建燃煤电厂和基于化石能源的新的流程工业，电力需求的增长靠新发展的零碳电源平衡，流程产业的增长（例如化工）按照新的不依靠化石能源的流程建设；对于已有的制造业，则维持其继续生产，“制造大国”是我国经济持续增长的保障。新型电力系统的建设还会带动一大批相关的新兴产业的发展，如风电光电产业、储能产业、电力电子器件和直流配电、直流电器等。如此，预计到 2035 年之后，目前的制造业生产线将进入更新换代期，再对生产线按照新工艺新流程进行全面改造。这样可能就更好地适合中国的状况，从而实现最终的碳中和目标。

## (五) 发展零碳建筑助力双碳愿景

原文链接：<https://www.tsinghua.edu.cn/info/1175/87555.htm>

记者：“双碳”目标的提出有什么样的深远意义？

江亿：“双碳”目标的提出与生态文明建设、绿色可持续发展是一致的，它不仅是技术进步与产业革新，还将在人类文明、发展理念等层面产生更为深远的影响，是关乎人类未来的重大举措。“双碳”目标意味着人类文明发展与生活方式的转变，意味着要彻底改变原有的用能结构与消费方式，这对关键技术突破提出了迫切的要求。因此未来的低碳发展转型不仅是一种理念的号召，更是一场高科技竞争。在新的现实需求下，工业体系与科技布局将有新的发展重点。

记者：在实现碳达峰、碳中和目标的过程中，建筑行业将面临什么样的转变？

江亿：建筑的低碳、降碳是指降低建筑运行过程中直接和间接排放二氧化碳量，全面电气化是实现双碳目标的主要途径，当然还必须继续开展建筑节能工作，这是实现双碳目标的基础。除此之外，在全面践行“双碳”目标的背景之下，建筑行业应为电力系统“零碳化”作出更多的贡献。电力系统要实现革命性转变，从目前以化石能源为基础的集中式电力系统转为以可再生电力为主的集中与分布结合的新型电力系统。新型电力系统中风电光电将占发电装机容量的80%以上，发电量的60%以上。有效消纳风电光电将成为发展风光电的最关键问题，通过一系列建筑用能技术进行削峰填谷、实现柔性用电，可以为风电光电的发展起到重大作用，这就要求建筑在配电模式方面进行变革。

“建筑不仅仅是能源消费者”

记者：建筑在适应电力革命方面可以有哪些突破路径？

江亿：我们提出“光储直柔”的模式，在利用新的风光资源发电的基础上，将“屋顶光伏发电”“建筑储电”“直流电系统”“柔性供电用电”相结合，希望在建筑端实现“需求

侧响应”的新的建筑用电模式。比如，电器设备根据光伏实际发电状况灵活调整使用时间，发电量充足时便及时消纳，反之则暂缓用电或者减少瞬时用电功率；发展建筑内部蓄电系统，并开发停在建筑邻近停车场上电动汽车的储电潜能，实现建筑动态储能与柔性用电。

未来的“零碳”建筑在新型电力系统中将不仅仅是能源消费者的角色，而将实现发电自用、储能调节、低耗用电三位一体的新职能。

记者：除了用电，未来的“零碳建筑”还可以在哪些方面为“双碳”目标贡献力量？

江亿：采暖也是建筑用能的重要需求。当前中国北方地区城市采暖用热主要来源为燃烧煤炭生热、电厂发电余热，这两个产生热量的过程都会产生大量碳排放。要实现建筑“零碳”采暖，一方面要改善建筑保温技术，减少外部供热需求，另一方面可以利用工业余热。

除了近距离的工厂余热供应，远距离的异地供热也有经济与生态的双重效益。如果能将沿海地区的核电发电排放的大量余热有效利用于淡化海水过程，制备热淡水，然后就可以通过单管远距离输送热淡水，实现“水热同送”，同时解决附近（200公里以内）城市的淡水供应和冬季采暖问题，还能避免大量核电余热排放，影响海洋生态系统的问题。

发挥学科优势 贡献清华智慧

记者：在低碳建筑方面，您及团队已经有了哪些技术基础？

江亿：我们在战略规划、落地应用与基础研究方面均有布局。清华大学建筑学院在2005年成立建筑节能研究中心，将未来建筑的节能减碳当作重要的发展方向与研究任务，中心每年发布中国建筑节能年度发展研究报告，全面梳理相关政策机制、技术路线以及战略规划，为政策决策提供参考，也是国外了解中国建筑节能领域发展的重要窗口。

在这一总布局下，我们从城市供热工程、农村新能源系统、建筑直流配电等方向均有实地调研、技术研发以及落地应用的相关工作。在设备与应用研究之外，中心坚持在基础研究领域深耕，清华大学建筑学院也在建筑热环境模拟分析、室内热舒适等领域保持着世界领先

水平。

记者：打造国际一流的碳中和研究院，清华具备怎样的优势？

江亿：清华大学成立碳中和研究院，是积极应对时代需求的体现。实现“双碳”目标的相关技术涉及清华大学的众多工科专业院系，清华大学在这些方向具有扎实的研究基础与技术优势。碳中和研究院将面向现实需求、打破学科壁垒，为不同学科联合攻关克难提供平台与支持。

记者：您对清华大学碳中和研究院未来的发展有怎样的展望？

江亿：实现“双碳”目标对工业与科技体系布局提出的新要求，也将对高校的学科建设与人才培养产生影响。清华大学碳中和研究院应当具有时代的前瞻性，打破传统的“学科”体系定义，充分调动各方活力，在更宽广更开放的融合之中实现新的突破。唯此才能使得高等教育紧跟时代步伐与社会需求，实现大学的可持续发展，真正担当起时代责任。



## (六) 减少碳排放要避免大拆大建

原文链接：<https://m.yicai.com/news/101147482.html>

你看看这被拆的建筑里头，有多少是结构已经很扛不住了，面临着塌的危险了，建筑质量太差了，这个质量不是服务质量，是结构的可靠性，这个已经很少很少。那么多数拆的原因是什么？觉得那个是老旧了，赶不上现在形势需要了，水平太低了，或者说通过增大容积率，一平米能变成三平米，加层。出于这种目的，出于这点利益的目的去拆。而这样去做，可能是跟我们现在提倡的低碳发展这件事很不适宜。新时期进入之后，应该尽可能地避免大拆大建，通过一些政策法律的一些办法，延长建筑寿命，减少大拆大建，从而减少由此导致的大量建材生产、钢铁生产造成的碳排放，这是挺重要的。

要是有一个 30 年建成的房子，该怎么做？首先肯定我说不会给它拆了，推倒重来，这事跟我刚才说的就矛盾了。那么提升它的质量，如果没有电梯，把电梯给补上，这个对我们老年人太有好处了。然后维护结构的改造，尤其是在北方地区，把房子保温好了，门窗做好了，对改善屋子里的，尤其是冬天的性能，节约用能会有特别大的作用，起很大的好处。所以，把建筑物的性能提高，比把建筑物外面看着更漂亮点，可能重要得多。这房子我在里边住，我感觉到的，从外面看的感觉是给外面人看的，真正对我有影响的是屋子里的性能，屋子里的质量。包括它地热性能，包括各种系统的性能，电系统、水系统、上下水系统，包括现在的智能化系统。把这些东西给它做好了，提高咱们的房屋质量，可能这是很重要的。

## 能源碳中和实现路径

### (一) 新型电力系统是海南省实现零碳岛的关键

原文链接：[https://m.thepaper.cn/newsDetail\\_forward\\_17759921](https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_17759921)

谈到海南省实现零碳岛的关键，江亿院士指出建立零碳的新型电力系统是整体目标实现的关键因素。在新型电力系统的运作规则下，终端用能设施如建筑和汽车将变成电力系统中不可或缺的一部分，一些节能技术的应用使建筑和汽车的性质发生了转变。在未来的能源结构中，建筑设计和汽车的选择将不仅仅要考虑其使用的效果，还要考虑为投资和使用者的带来什么样的经济效益。

从江院士的讲座中，我们可以清楚的了解实现碳达峰的基础是建立新型电力系统。而先进省份也在积极探索建立适合新型电力系统的配套管理政策。4月16日，广东省印发《广东省市场化需求响应实施细则(试行)》(以下简称“实施细则”)的通知，正好回应了江院士对未来发展趋势的判断。需求侧响应，是用户根据实时电价、相关激励措施，主动做出调整用电需求的反应。未来的能源系统中，可再生能源特别是风电和光伏的大范围应用增加了电力系统的波动性和不稳定性，因此需要不断提高电力系统的灵活性去消纳更多的间歇性电源。除了推动传统储能技术发展，建设配套储能电站，还有一种手段就是在终端需求侧挖掘电力平衡潜力，减少系统波动性和调峰难度，降低系统投资成本，增加电力系统灵活性。传统高载能工业负荷、工商业可中断负荷、用户侧储能、电动汽车充电设施、分布式发电、智慧用电设施等各类需求侧资源(以下简称“响应资源”)均可参与需求响应，发挥需求侧资源削峰填谷、促进电力供需平衡和适应新能源电力运行的作用，辅助能源消费向绿色低碳转型。值得关注的是在新型电力系统中出现的新的电力供应参与者角色。在《实施细则》里明确提出新的概念：负荷聚合商。负荷聚合商是指将某一区域中各类响应资源进行统一管控和

运营的主体，聚合响应资源参与需求响应交易，包括售电公司和第三方独立主体聚合商。其中第三方独立主体聚合商指建设或运维响应资源为电力系统提供辅助服务的独立法人单位。

在这种新的模式下，除了电力用户中的大用户自己可以独立参与电力市场，一般终端用户必须通过负荷聚合商才可以参与电力市场。因此，可以推测负荷聚合商将会成为推动各类终端用户参与需求侧响应的主力。根据江院士的分析，未来的能源系统里建筑和电动汽车将为电力系统提供较为可观的储能空间。未来建筑将不仅满足居住和办公这些基本功能，除了外在的美观需求将更加注重功能性的设计，更加的智能化。近些年，绿色建筑设计的概念已经逐渐被大家接受并获得了一些政策扶持，而新型电力系统的出现又对绿色建筑设计提出了新的需求。需求侧响应更加丰富了建筑的应用场景，绿色建筑设计与电力系统的融合发展将成为新的设计趋势和要求。智能化建筑将不止要满足绿色低碳的用能需求，还要满足电力系统灵活电力平衡的需求。大型建筑从上至下的使用面积，从屋顶、外立面甚至到地下空间都将成为宝贵的资源，通过更科学和系统的设计开发，不断提高利用效率和扩展应用场景，为用户提供新的价值体验和服务。从目前的技术发展趋势可以预测光电技术、储能技术与建筑设计的融合会大有可为。未来建筑将是一个集发电、用电、储电于一身的新型能源综合体。因此，未来的建筑标准和设计标准也将发生革命性的变革。江院士还表示新能源汽车是突破储能瓶颈时可操作、可执行的另一大方向。根据江院士的测算，中国现在有 2.4 亿辆私家车，二、三十年后很可能变成 3 亿辆私家车，如果这 3 亿辆私家车全部变成纯电汽车，每辆车至少有 50 度电的电池容量，3 亿辆电动车就是 150 亿度电，而全年总的风电、光电的发电量大概是 8 万亿度，平均一天是 270 亿度电，如果电动车能够调平 150 亿度电，便基本解决了风电光电的变化与用电规律二者不同步、不一致的问题。因此，新能源汽车的发展对未来新型电力系统的建设有着巨大作用。从经济性的角度思考，利用电动汽车的蓄电池充放电来调节电力平衡，有诸多的优点。其中最重要的一点是解决了储能投资成本的分摊问题。比起单独投资

储能电站的高昂成本，显然用户购买电动汽车是更经济实用的方式。在此情景下，电动汽车的储能需求可能会改变私家车未来选购的决策要素。如果储能的收益比较理想的情况下，除了考虑品牌，用户可能需要考察未来自己的电动汽车和哪家负荷聚合商签约及服务等问题。在双碳目标的引领下，新型电力系统引导的需求侧响应将给我们的生活带来多层次变化。每个人都有可能参与到电力市场的服务和交易中，既是电力消费者也是电力的供应者。用能和储能的角色切换不只是一个智能控制系统，也将深深的改变我们生活方式和思维方式。我们将面对一个更加宽泛的、自由的甚至是看起来更无序的电力世界。但无论是电力供应微型化、分散化，还是多元化和双向互动，唯一不变的前提是，我们依然要坚持保障能源安全可控，保持我们的生活水平不降低，这样的未来才是所有人期待的未来。





## (二) 生物质是未来零碳能源系统中最重要的燃料

原文链接：<http://m.tanpaifang.com/article/81208.html>

第三届全球生物质能创新发展高峰论坛是一次非常重要的会议，无论从学术上还是从推动“双碳”工作的角度上，都有重要意义。对于本次会议的成功召开，我表示热烈祝贺。

在这次与大家交流的机会中，我想要分享一个观点：即未来零碳能源系统中，生物质能是最重要的燃料。

当下，人类正面临着一个共同的任务，就是能源结构调整，以解决全球气候变化的问题。这个任务的中心是“由以燃煤燃油燃气为基础的化石能源结构转为以风电、光电、水电、核电为主的零碳能源结构”。

而在未来新的能源结构里，可以找到的唯一的零碳燃料，就是生物质燃料。从这个角度来看待生物质能，生物质的意义就非同小可了。

因为未来其他能源都是电，没有燃料，但维持社会经济运行，必须需要燃料。即便是电力系统，也不能完全依靠风、光、水、核电，必须有一部分调峰的热电，这就要靠燃料来支撑。

与此同时，有些工业生产过程也需要燃料，如工业窑炉等等，就需要固体或气体燃料。这些燃料，是未来零碳社会必须的，它们从哪来？很重要的解决方案就是依赖颗粒化的生物质燃料和生物质燃气。

那么我们有多少生物质燃料呢？

比较激进的分析数据是，将我国农作物的秸秆、稻壳、玉米芯、花生壳等农产品初加工剩余物，林业枝条和木材等加工废弃物，每年禽畜粪便，以及城市绿化垃圾、厨余垃圾等生物质来源加在一起，会生产出总量约 10 亿吨标煤/年的生物质燃料。

当然，也有些保守的分析认为未来会产生总量约 5 亿吨标煤/年的生物质燃料。所以我

认为 5 至 10 亿吨标煤/年的生物质燃料是一个科学的范围，这对能源系统来说，已经是一个很大的量了。

接下来我们谈一下消纳问题。为什么说消纳呢？因为无论是秸秆还是粪便、餐厨垃圾，这些都不是传统意义上的能源，即便你不想要开发利用，它们都会因为别的社会活动而产生，所以就必须要把它们消纳掉，也就是处理掉。

这就产生了问题，到底采用什么方式消纳更好？不同消纳方式对环境、气候、碳排放都有不同的影响，而且较为复杂。我们需要找到对环境影响最小、对实现“双碳”目标贡献最大的消纳形式。

对于生物质，我们普遍认为是零碳的，但是不同的消纳方式都会产生氧化亚氮还有甲烷，这两种气体属于非二氧化碳温室气体，而且比二氧化碳产生的温室效应更厉害。人类社会要缓解气候变化，中国要实现碳中和，这就不止是整治二氧化碳了，也要解决其他温室气体的排放问题，我国提出的碳中和目标，包括对非二温室气体的中和。

在中国生物质消纳方式中，水稻秸秆还田产生的非二氧化碳温室气体占我国的非二温室气体排放中的很大比例。因此，怎样处理消纳秸秆，使其排放最少，是实现碳中和这一目标中必须面对和解决的重要任务。

比如说，用堆肥方式来处理秸秆的话，其甲烷+氧化亚氮的排放，每公斤产生接近 1200g 的等效二氧化碳，所以堆肥虽然能补充有机肥，但是对于气候影响还是较为严重的。如果不堆肥，而是做成沼气，然后用沼渣、沼液再来补充有机肥，就不会有这么多的非二氧化碳温室气体排放了。

另一方面，用沼气发酵做成的生物燃气，还可以顶替作为化石能源的常规天然气，所以秸秆制燃气就比直接堆肥更具有减排效益。

此外，将秸秆做成成型燃料，1 吨就等于 0.5 吨标煤，此时再燃烧就不会产生非二气体

排放了。而这时产生的二氧化碳是庄稼生长过程中通过光合作用从大气中固化而来，不需要计算在碳排放中，这样就秸秆制成的成型燃料就成为零碳燃料。

但是有人说，堆肥是有机肥，还可以替代天然气制造的合成氨，合成氨也有温室气体排放因子。我们有分析，即使考虑到等效力合成氨的替代，即用堆肥去替代天然气制造合成氨，最后的结果也是增加了排放，达不到减排的目的。而制备生物燃气过程中产生的沼渣沼液进一步加工后又可成为优质有机肥，替代合成氨，产生减碳效果。

所以，从碳中和角度看待生物质的合理化消纳，最好的方式是——对于干生物质，就是先制成成型燃料，再燃烧，整个过程就不再有非二氧化碳气体排放；对于湿生物质来说，就是沼气发酵，再分离出二氧化碳，利用或填埋这部分二氧化碳，剩下的甲烷是生物燃气，沼渣、沼液是有机肥，可以顶替一部分化肥，这么综合起来，可能就是最好的处理方式。

在此背景下，欧洲这些年做的碳中和规划，各国基本是要在 2050 年前实现碳中和，在他们的规划里，生物质能有非常大的作用。如丹麦、瑞典，这些国家生物质资源丰富，生物质能在规划的未来总能源中承担 30%到 40%，这样，就解决了零碳燃料从哪来的问题。

在欧洲，生物质颗粒燃料为他们的采暖做出特别大的贡献，相对中国来说，咱们不管是城市还是农村，近些大量依靠煤改气、煤改电解决采暖问题，煤改生物质比例比欧洲都要小得多。

除了颗粒燃料之外，欧洲还制取沼气，从沼气处理中得到生物质燃气和生物质柴油，这些他们都做了很好的探索，而且在他们未来的燃料构成中真正占有很大比例。

我们再看看中国怎么做。

这些年，经过大规模农村资源普查，我们得到一个结论，即尽管农村建筑规模不大，但是屋顶面积特别大，包括住房、粮房、仓库、猪圈等，把这些屋顶装上光伏，充分开发利用起来，装机容量几乎可以达到 20 亿千瓦，全年发电量可达到 3 万亿 kWh，这远大于目前

我国农村的全年用电量。于是，可以考虑：是否应该发展以屋顶光伏为基础的全部电气化的农村新能源系统，靠光伏电力解决农村的全部用能？在山西芮城，就有一个代表性模式。

通过这一方式，农村靠光伏就可以满足农民的生活、生产和交通用能，替代了煤、油、气和柴禾。如此一来，面对自然生产出的生物质资源，就可以好好把它们加工成商品化生物质燃料，进入市场。也就是说，农村应该以能源商品为目的，面向能源市场，全面开发各类生物质燃料，把光留给自己，满足自己的能源需求，把生物质变成燃料，推向市场，形成新的经济增长点。为什么要留下光电，发展商品化生物质燃料？因为把这些可能的能源都算上，农村可产出的能源远高于其需要的能源，农村就从以前的能源消费者转为新的零碳能源的提供者。而作为输出的能源，其可储存性、可运输性、可灵活使用性都非常重要。与生物质燃料比，光伏电力的可储存性、可运输性和可灵活使用性都差。也就是说，加工好的生物质燃料更有利于储存、运输、和灵活应用，因此应优先作为输出的商品化燃料，而电力在这些方面相对不足，应优先自用。

现有数据是：颗粒型，如玉米秸秆、果树枝条，加工后市价在 1000 元/吨；大块型，如麦秸、稻草，加工后市价约 500~700 元/吨；规模化制作沼气，再分离出 CO<sub>2</sub>，成为优质生物燃气。沼渣沼液是优质有机肥，加工后全过程的综合能源效率从目前的 10~15% 提高到 40% 以上。

所以我们要强调生物质能源的商品化，通过商品化和金融支持，促进生物质能的充分利用。以前生物质为什么总发展不好，就是因为我们太强调生物质优先自用了。那些秸秆还要制成颗粒，然后再烧，有这些功夫，还不如直接烧了，这就是为什么这些年生物质能源总不能全面充分地应用和推广。一斤小麦目前大约是 1 元钱，其秸秆收集起来，加工后，弄好了也可以卖 0.5 元。农民非常辛苦地把每一粒麦子都采集回来，拿到市场上去卖，为了这 1 块钱，为什么就看不上可以卖 0.5 元的秸秆？所以关键是没有形成市场，不知道它可以卖。秸秆

就应该和长上面的麦粒一样，被珍惜，成为农业产出的重要部分。

另外，生物质材料加工为商品能源的主要成本是加工耗电，这可能也是以前发展商品化生物质燃料的障碍。而现在屋顶光伏又可以提供充足廉价的电力，光伏和生物质结合，对生物质的利用大有好处。

由此来说，我们就要建立以屋顶光伏为基础的农村新型能源系统，实现全面电气化，替代所有的化石能源。全面解决环境、固废、健康问题，置换出生物质能源，与光伏电力合作制成零碳燃料，供应能源市场，给农区、林区农民增加新的收入来源，实现农村土地粮食和能源的“双生产双输出”，成为我国解决三农问题的重要措施。

下沉到生物质发展方向来说，就是发展商品化生物质燃料，用来替代化石燃料，减少化石能源燃烧产生的直接碳排放。推广沼气集中供气工程，实现各类可发酵有机废弃物的消纳，尤其应在水稻秸秆资源丰富的地区，通过将稻草进行有组织的集中式发酵生产生物天然气，解决直接还田所带来的温室气体无组织排放问题，但应加大  $\text{CH}_4$  的回收率，减少使用过程中的泄漏。

再一次对大会的成功召开表示祝贺，谢谢大家！

## 供热碳中和实现路径

### (一) 供热行业碳达峰碳中和技术路线和发展方向

原文链接：<https://iesplaza.com/article-2553-1.html>

近日，记者在中国城镇供热协会召开的中国国际暖通高峰论坛——碳达峰、碳中和与清洁供热绿色发展国际峰会上了解到，目前我国北方城镇、农村供热面积分别约为 147 亿、70 亿平方米。我国每年新增的城镇集中供热面积均在 3—5 亿平方米，其中一半以上新增热源与煤相关。

会上，中国工程院院士、清华大学建筑节能研究中心主任、中国城镇供热协会副理事长江亿在发表《中国供热行业碳达峰碳中和技术路线和发展方向》演讲时指出，碳中和是新时期发展的重大战略。目前我国传统能源的使用面临着能源安全、大气污染和气候变化等问题。将燃煤、燃油、燃气的能源结构变为水电、风电、光电、核电、生物质能等零碳能源，彻底摆脱对化石能源的依赖，实现能源安全和可持续发展是彻底改变我国能源结构、解决我国能源问题、实现碳中和的根本途径。

数据显示，我国北方城镇采暖热源主要来自热电联产和各类燃煤、燃气锅炉生产的热力。烧煤比重高达 70%—80%，采暖消耗的一次能源依然以煤为主。虽然目前实现了燃煤的清洁高效利用，但不可避免会产生大量二氧化碳，居民采暖亟需低碳转型。另外，随着人民生活水平的不断提高，我国南方供暖需求越来越大。预计到 2030 年，我国南方地区分户、区域供暖用户数量将分别达到 6500 万户、3200 万户左右，碳排放潜力分别在 2500 万吨、4500 万吨以上。在建筑运行领域，供暖行业碳减排的增长空间巨大，减排形势严峻，寻求城镇供热系统碳中和路径十分迫切。

对此江亿表示，实现我国城镇供热系统碳中和路径，需实现建筑和供暖领域的零碳运行。

在冬季供暖以及建筑用能领域取消各类燃煤燃气锅炉，全部实现电气化。通过实现我国电力系统的零碳运行，从而实现建筑和供暖领域的碳中和。

实现我国电力系统零碳运行，需解决未来电力季节差的问题。江亿指出，未来电力构成主要是风电、光电、水电等。而这些能源本身又受制于气候和季节的变化。冬季枯水期，水电功率不到夏季的 40%；冬季太阳日照时间短，光伏日发电量不足夏季的一半。而冬季和夏季的电力负荷是接近的。另一方面，目前以煤电为主的电力系统季节供电情况是，冬季电力过多，夏季不足；夜间电力过多，白天不足。而未来零碳电力的供电情况是，冬季电力不足，夏季过多；夜间电力不足，白天过多。

对此，他强调，解决未来电力季节差的问题是实现碳中和的重点工作。一方面加大风电、光电的装机容量，采用储氢方式跨季节蓄能，冬季采用热泵供热。另一方面冬季利用火电发电，采用 CCS 回收和储存利用二氧化碳。大力开展跨季节储能装置研究，实现大规模跨季节储能装置。

谈及我国北方城镇零碳供热的实现，江亿特别指出，一是要开发利用沿海地区核电、火电、钢铁厂余热，通过海水淡化制备热淡水，实现水热联产、水热同送、水热同蓄、水热分离；通过建设若干个大型跨季节蓄热装置，可利用沿海各类余热供热 80 亿平方米。二是开发利用北方保留下来的 3 亿千瓦火电，获取 4 亿千瓦热量，通过蓄热装置和全部回收余热，为 80 亿平方米建筑供热。三是部分钢铁、有色、化工产业和垃圾焚烧等余热，也可供热 10 亿平方米，建立跨季节蓄热装置，充分利用全年排放的余热。四是对于 30 亿平方米难以连接集中热网的建筑，通过集中的中水水源、中深层地源、浅层地源，以及分散的空气源等多种电动热泵方式供热，严寒地区也可以采用直接地热。

具体到实现碳中和供热目标任务，江亿表示，一是高能耗建筑的节能改造；二是末端提高调解性能、降低回水温度的改造；三是深度挖掘电厂余热、工业余热，获取足够的零碳热

源；四是区域供热管网规划预改造，适应未来零碳供热布局。

此外，江亿还强调，实现城镇供热系统碳中和路径需从现实出发，科学规划、分步实施，先于房屋建设达峰，与电力系统同步实现中和。



碳中和资料库



## (二) 双碳愿景下北方城镇供热的四大思路和需攻克技术

原文链接：<https://zhuanlan.zhihu.com/p/516107224>

“碳达峰、碳中和”目标愿景提出后，国家相关部门围绕此目标开始制定并出台一系列支持政策和产业规划，全国各行业都面临时代变革所带来的机遇与挑战。作为能源行业下游产业链上的重要一环——城镇供热行业，其受到能源转型发展战略调整的影响尤为深远。

2021年5月，中国国际暖通高峰论坛——碳达峰、碳中和与清洁供热绿色发展国际峰会召开。论坛上，中国工程院院士江亿立足供热行业，聚焦“双碳”热点话题，就我国北方城镇实现零碳供热目标工作的技术路线分享研究成果。

江亿表示，现如今中国能源系统的特点是通过燃烧化石能源产生热量，产生的热能一部分用于工业、商业以及居民的供热；另一部分则以热发电，也就是说现在是“燃料先出热后出电”的顺序。

目前全国能源领域都在努力朝着零碳方向迈进，在此背景下，未来的能源系统链条将产生变化：供热所用的燃煤锅炉、燃气锅炉、蒸汽锅炉等产品都要下狠心一步一步淘汰，而水电、核电、风电、光电等可再生能源类产品将占主导地位。这其中80%的能源都是直接产生电能，在此基础上再“以电换热”，能源转换过程180度逆转。这样一来，电能作为清洁能源，无论是进行供热还是供电，都能够完美解决原先能源生产应用过程中产生的碳排放等污染问题。

对于我国供热行业来说，积极响应“双碳达标”国策，不仅符合国家绿色能源发展规划，还将迎来行业一大发展契机，在能源变革之路上占据有利地位。

### 北方城镇供热基本思路

针对“双碳达标”愿景下的城镇供热前景和路线，江亿提出了自己的观点。以北方城镇为例，江亿认为实现零碳供热有以下四个基本思路：

一、开发利用沿海地区核电、火电、钢铁厂余热，通过海水淡化制备淡水，实现水热联产、水热同送、水热同蓄、水热分离，再加上建设若干个大型跨季节蓄热装置，可为城镇 80 亿平方米建筑进行供热；

二、开发利用北方地区保留下的 3 亿千瓦火电，通过蓄热和余热回收，可为 80 亿平方米建筑供热；

三、利用部分钢铁、化工产业和垃圾焚烧及其排放余热，也可为 10 亿平方米建筑供热；

四、通过多种电动热泵方式供热，如集中的中水水源、中深层地源、浅层地源，分散的空气源等，这些可为 30 亿平方米难以连接集中热网的建筑供热。

#### 未来零碳供热攻克技术

基于上述思路，江亿认为未来零碳供热的实现，需要努力攻克四大技术：

一、提高跨季节蓄热技术，收集水热联产余热、垃圾焚烧余热、工业余热。值得注意的是，为避免热损失，单体蓄热池体积应在 1000 万立方米以上，深度应大于 30 米。

二、提升高效回收各类低品位余热技术，如余热驱动海水淡化制备热淡水、热电联产回收冷端余热和烟气余热等。

三、发展降低回水温度的技术，无论是跨季节蓄热还是电厂余热回收，都要建立在低回水温度基础上。可通过吸收式换热器利用较高的供水温度实现低回水温度，也可以采用电动热泵直接提取回水的热量供热，并进一步降低回水温度。

最后，就是进一步加强建筑结构改造技术、建筑保温技术、末端调节技术等，降低热需求、扭转室内过热现象。

江亿在演讲最后表示，从总的方向来说，中国要实现供热系统零碳改造，就要从中国的现实情况出发，然后向零碳目标推进，科学规划、分步实施。从发展节奏来说，应先于房屋建设实现碳达峰，与电力系统同步实现碳中和。

### (三) 社会减碳量的 15%靠热泵，热泵余热回收大有可为

原文链接：<http://www.gdlks.com/article/industry-news/1364.html>

江亿院士在报告中指出，实现碳中和目标，须实现以可再生能源为基础的零碳能源和低碳能源结构。热泵技术的新挑战第一是做高效，第二是高温和干燥，第三是绿色工质。低碳能源条件下燃料必然升值，余热将成为重要资源，热泵余热回收大有可为。整个社会减碳量的 15%靠热泵。热泵在建筑领域大概能替代 3.5 亿吨，在集中供热大概能替代 1~1.5 亿吨，工业生产中能替代 10 亿吨。余热回收同时还能大幅降低烟气里的污染物，改善大气环境，实现碳污共治。

生活、生产对热量的需求，主要为北方城镇建筑的冬季供暖和轻工业生产。我国北方未来存在的余热资源主要有：北方沿海核电、北方调峰火电、北方冶金化工有色建材产生的余热、生产生活排放的低品位余热，全年余热 90 亿 GJ，而冬季供热仅用了一小半。

因此，大规模跨季节蓄热就变得特别重要，世界各国都在努力，在欧洲近十年来都在大力研究开发，我国也在利用多种技术进行中。我国北方城镇如春夏秋冬采集并储存 25 亿 GJ 余热，可完全满足冬季供暖热源需求。

未来的城市区域供热系统，是否能实现我们“零碳热源”的畅想？我国北方已经在陆续建成区域热网，以及关键技术的提升和应用等，为畅想转变为现实提供了基础。