

Cu

Copper Alliance



International Metal Solar Industrial Alliance

欧洲太阳能区域供热的技术路线以及对中国的借鉴意义

黄俊鹏/国际金属太阳能产业联盟，常州，9月17日





燃煤是中国疾病负担的重要贡献因素之一，
估计在2013 年造成约**366,000** 人
死亡。

Source：美国健康影响研究所（HEI）与清华大学于2016年8月发布的研究报告《燃煤和其他主要大气污染源所致的中国疾病负担》

市场发展现状

技术路线

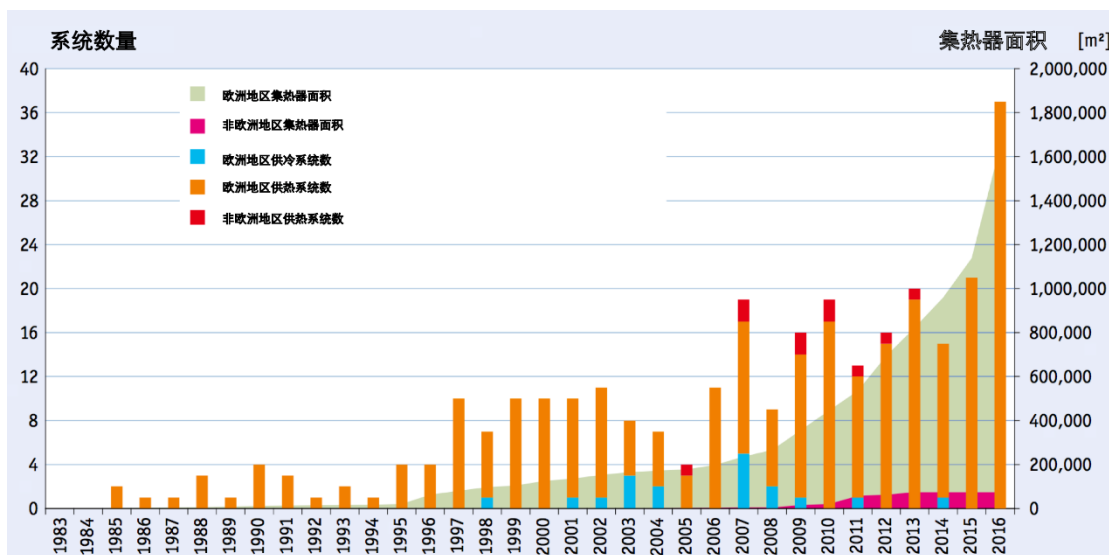
对中国的借鉴意义

市场发展现状

Cu

欧洲地区目前总装机容量达1154MW_{th}，集热器面积总计铺设1648383m²，规模化（供热能力>350KW）太阳能区域供热站超过300个，年装机增长率达30%。

- 法国、意大利等国家都表现出对发展太阳能区域供热的意愿。
- 截止2016年底，欧洲地区总计建立272个供热负荷大于350KW_{th}（集热器面积>500m²）太阳能区域供热场，并实现与区域热网并网。

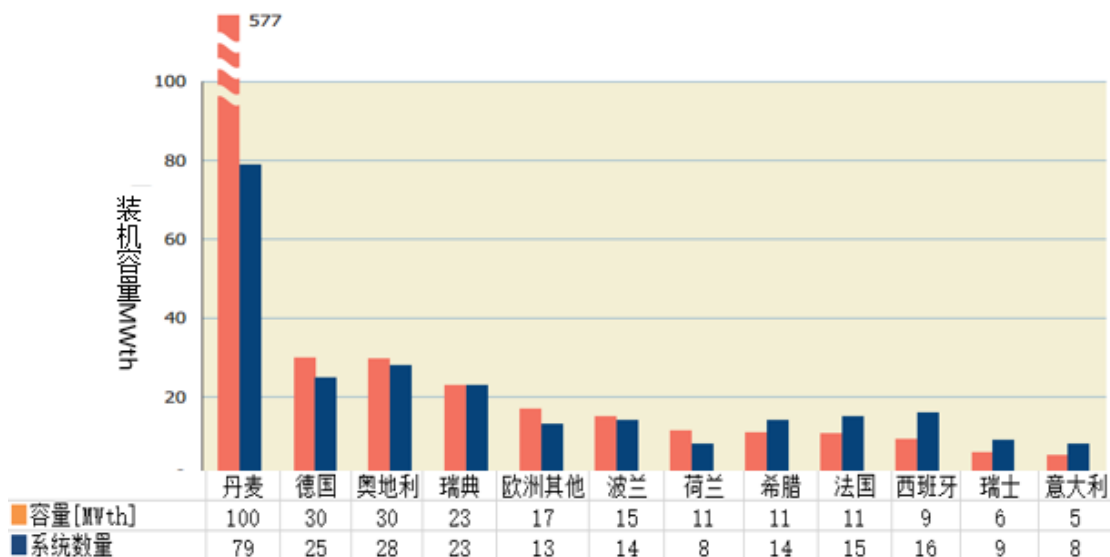


历年欧洲太阳能区域供热制冷数量及装机容量

数据来源：Jan-Olof Dalenback-Chalmers University of Technology, SE

低热价的竞争力

- 低于50欧元/MWh的热价（约为0.36元/KWh）与一次能源供热（欧洲常规燃油热价70欧元/MWh，折合人民币0.524元/KWh）相比也十分具有竞争力，低热价也将极大推动太阳能区域供热市场的发展。未来太阳能区域供热制冷将占据欧洲供热制冷15%的能源需求。

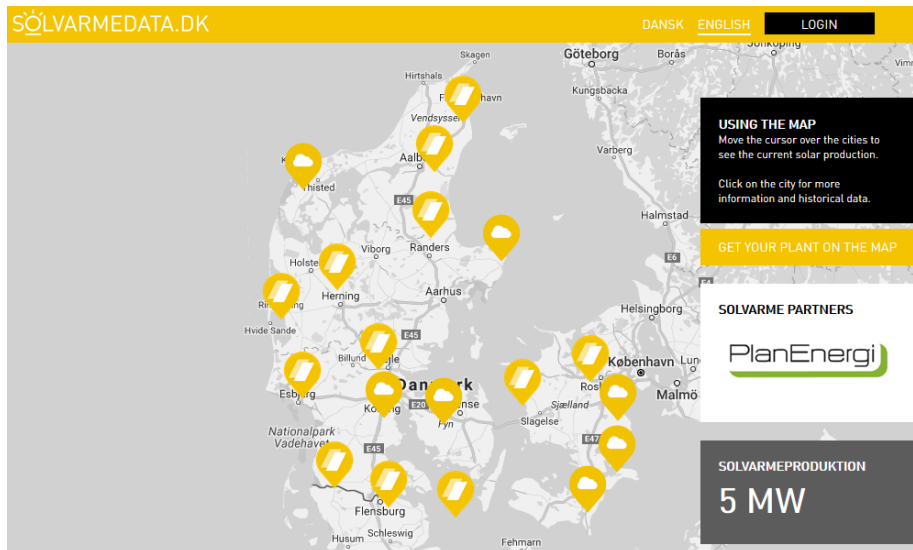


欧洲各国太阳能区域供热制冷系统数量及装机容量

数据来源：Jan-Olof Dalenback-Chalmers University of Technology, SE

丹麦的大型太阳能区域供热技术发展最为成熟

- 丹麦也是欧洲太阳能区域供热应用工程数量最多、规模最大的国家。截止2015年，共有71个太阳能区域供热系统，总计装机容量 577MW_{th} ，集热器面积达 823838m^2 。集热场平均装机功率达 7.3MW_{th} ，平均集热器面积 10428m^2 ，年太阳能保证率达50%。丹麦60%的建筑采用区域热网供热，超过50万平米集热器与区域热网相连。

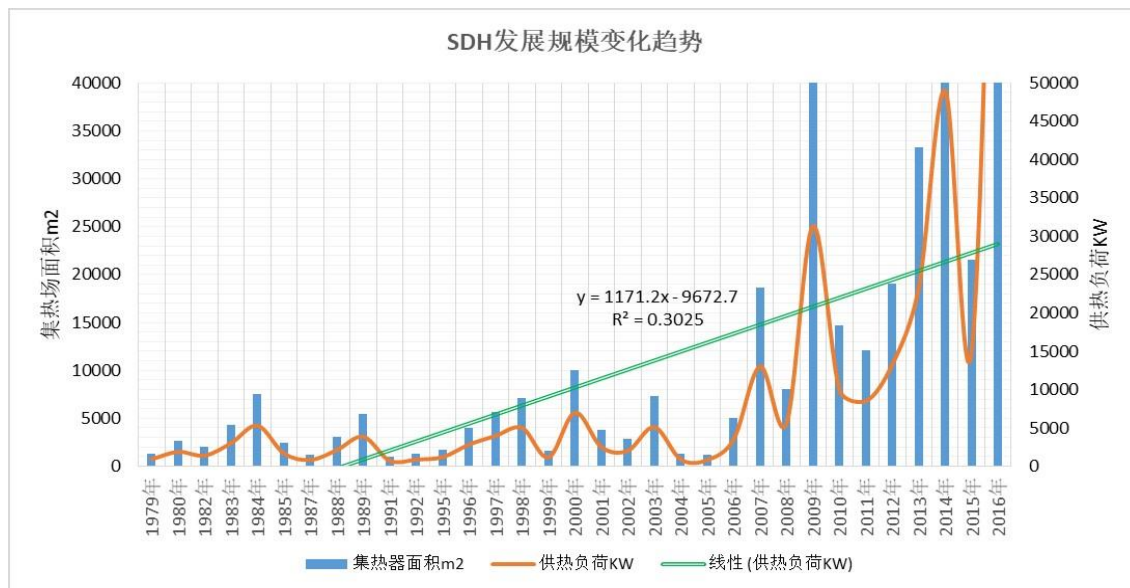


>50 systems on-line at
www.solvarmedata.dk

Now available in English

太阳能区域供热系统规模效应

- 近几年来，欧洲新建新建太阳能区域供热站规模呈扩大趋势。从欧洲太阳能区域供热发展的趋势来看，从第一个太阳能区域供热站建立至今，太阳能区域供热场规模越来越大，年太阳能保证率也相比初期提高很多。



SDH发展规模变化趋势

数据来源：<http://solar-district-heating.eu>

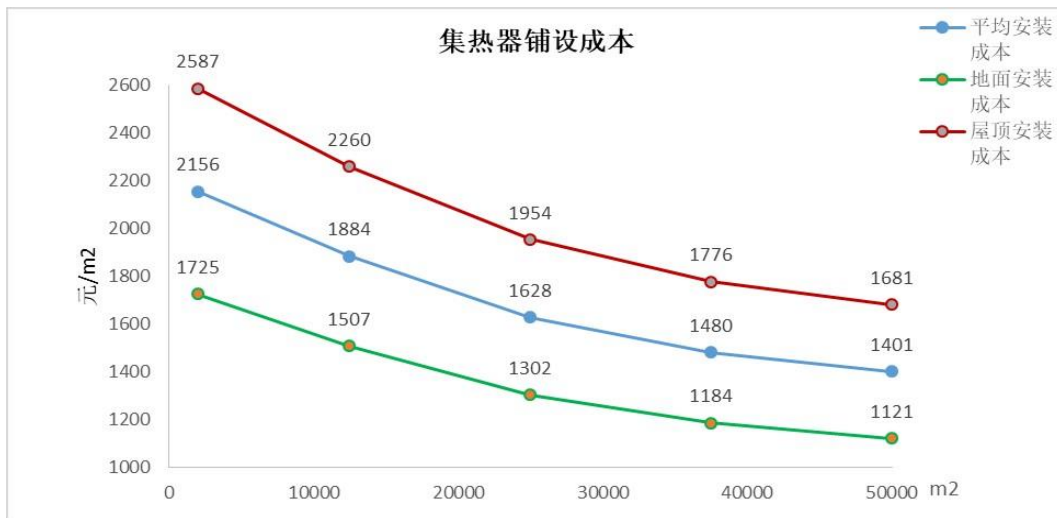
太阳能区域供热系统规模效应

- 欧洲工程实践证明太阳能区域供热系统集热器阵列规模越大，单位面积集热器成本越低、减少管道的铺设；储热水池容积越大，储热效率越高，单位体积储热成本越低。
- 太阳能区域供热系统规模越大，将极大降低投资，有利于太阳能区域供热系统实现商业化发展。

成功的关键因素之一 太阳能集热场规模效应

Cu

- 下图所示集热场规模越大，单位面积集热器成本越低，能够显著降低初投资，并影响最终热价。

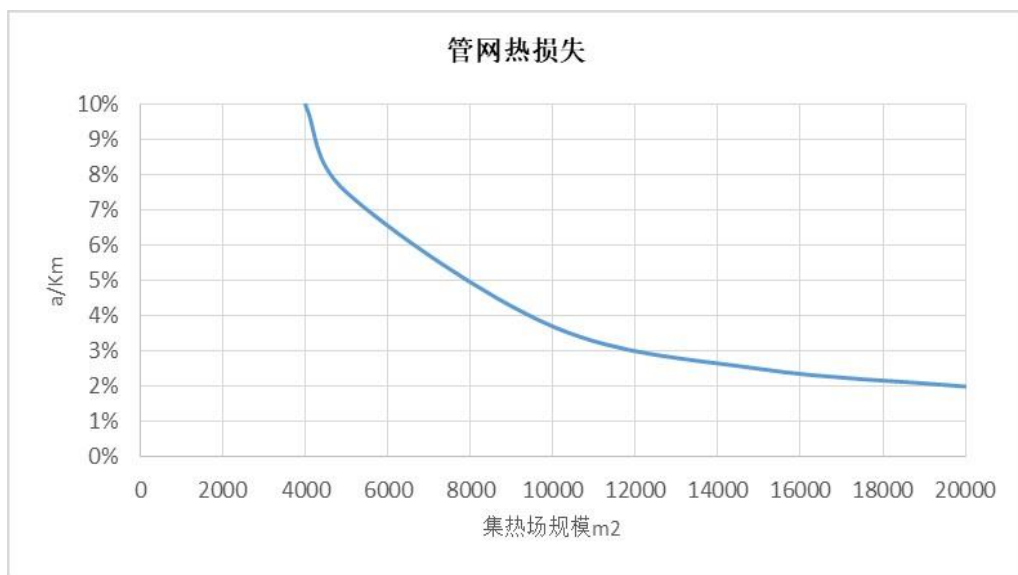


不同集热场规模单位面积集热器成本

成功的关键因素之一

太阳能集热场规模效应

- 集热场规模越大，管网输送热损占比就越小；相反集热场规模越小，管网输送热损失占比越大；在一定规模下，随集热场铺设规模的增大，单位管长热损失率逐渐降低，规模化优势明显。
- 集热场规模为4,000m²时，每千米管长热损失率为10%，当集热场规模增加到18,000m²时，每千米管长热损失率仅为2%。



不同集热场规模单位面积每Km管网热损失占比

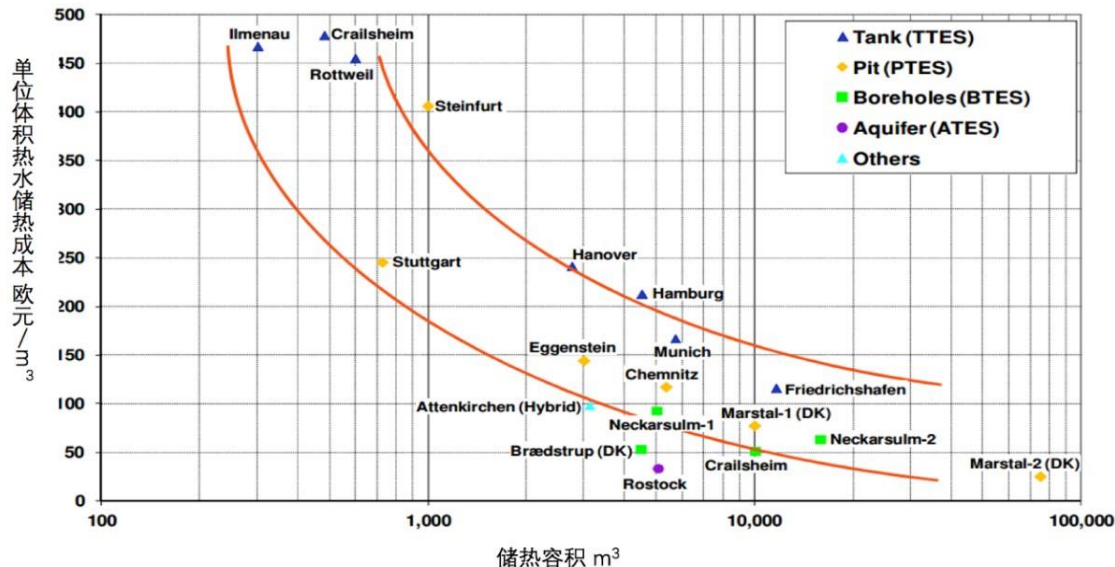
成功的关键因素之一

蓄热体规模效应

Cu

季节蓄热体

- 实际工程常用季节蓄热体包括季节性蓄热水罐（TTES）、季节性蓄热水池（PTES）、地埋管钻井蓄热（BTES）、含水土层蓄热（ATES）等。
- 蓄热体规模越大，蓄热成本越低；尤其在 $10,000\text{m}^3$ 以内，随着蓄热体积的增大，单位体积蓄热成本下降梯度较大。



不同蓄热规模和蓄热技术成本

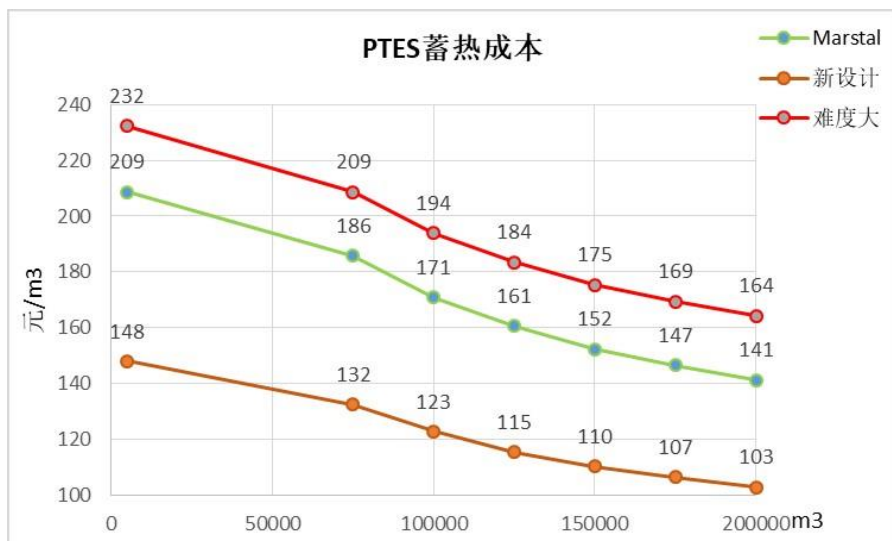
成功的关键因素之一

蓄热体规模效应

Cu

坑式水池蓄热 (PTES)

- 欧洲地区绝大部分季节蓄热均采用坑式水池蓄热。
- 随着蓄热容积增大，在难度较大的工程设计或新建一般季节蓄热水池时，蓄热容积由 $5,000\text{m}^3$ 扩大到 $200,000\text{m}^3$ 时，单位体积蓄热成本都有下降，对比发现蓄热规模扩大40倍，单位体积蓄热成本下降了30%，规模化优势十分显著。



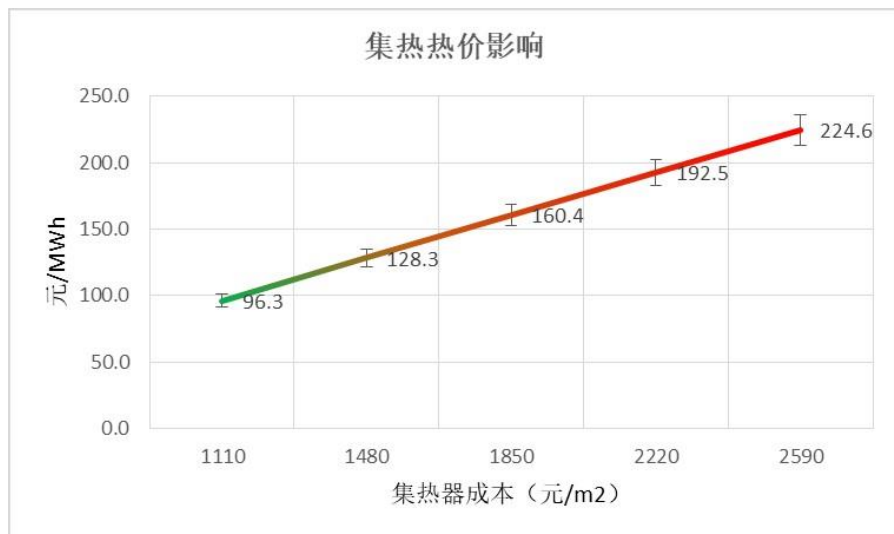
坑式蓄热水池规模效应

成功的关键因素之一

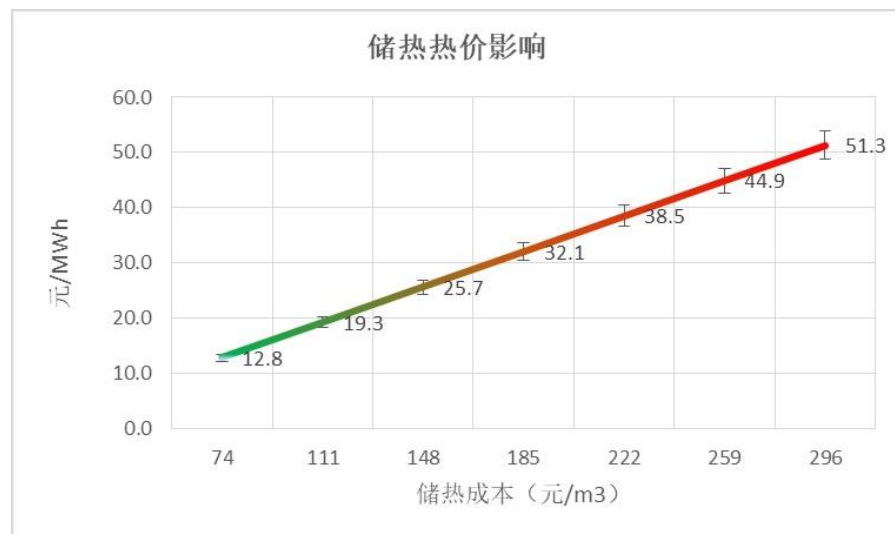
规模效应对区域供热热价的影响

Cu

- 单位面积集热器成本越低，热价就越低；同样单位体积储热热价降低时，对热价的影响显著降低。
- 集热场和蓄热体容积规模越大，对热价的贡献就越小，从而带动整体热价下降，显示出明显规模化效应。



集热器成本对热价影响



储热成本对热价影响

成功的关键因素之二

Cu

高效、长寿命的平板太阳能集热器是太阳能区域供热系统成功运行的关键

- 欧洲实践证明即使一些早期太阳能区域供热系统已经更换了水泵和集热器工质，但集热器性能在20~30年内性能却没有较大损失，完全满足太阳能区域供热系统要求，高效、长寿命的集热器极大地促进太阳能区域供热系统发展。
- 集热器使用年限为8到14年。测试结果表明集热器的效率衰减并不明显。破损最严重的是玻璃盖板的橡胶密封以及Teflon隔热膜而吸收涂层本身并未发现明显老化。影响热厂中太阳能集热器使用寿命的主要原因是人为的破坏和吸收板焊点造成的漏液。在瑞典也出现过由于防冻液浓度配制不当而造成系统的冻裂，进而带来昂贵的维修费用。



高效率

- 2002年至2007年期间，在丹麦科技大学的技术支持下，Arcon太阳能公司对HT型集热器结构进行了大幅改进和优化。集热器效率有了显著提升。集热器操作温度为40°C, 60°C, 80°C 和100°C时，集热器的热性能分别增加了29%, 39%, 55% 和 80%。

2002年至2007年 集热器结构设计改进情况

年份	改进情况
2002	保温材料：Rockwool industribatts 40岩棉 替代了Isover 玻璃纤维 吸收器：吸收率保持0.95，但发射率由0.12降为0.06 玻璃：AFG Solatex替代了AFG Solite 玻璃盖板减反处理：玻璃表面经过Sunarc公司刻蚀处理
2005	Teflon隔热膜的安装方式改进以减少热桥效应
2007	保温材料：Rockwool industribatts 80 替代Rockwool industribatts 40 改进了边框保温

2002到2007年 集热器热性能的提升

流体平均温度	40°C	60°C	80°C	100°C
2002到2007年集热器热性能的提升	29%	39%	55%	80%

数据来源：北欧大型平板集热器的效率与使用寿命研究，樊建华，李富玲，丹麦科技大学

低衰减

- 为了进一步研究HT型集热器的使用寿命，丹麦科技大学随机从丹麦的两个太阳能区域热厂中抽取了两台运行了13-15年的太阳能集热器进行效率测试。位于集热器阵列序列末端的集热器具有最高的操作温度，集热器本身的老化程度也最严重，因此作为集热器抽样的目标群。
- 测试结果表明，集热器流体温度恒定为45°C时，Ottrupgård集热器全年产热量比1991年集热器全年产热量降低了4%，而相同条件下Marstal集热器全年产热量的降低程度比较小，仅1%；工作流体平均温度升高到60°C，Ottrupgård集热器全年产热量比1991年集热器全年产热量降低了11%，而相同条件下Marstal集热器全年产热量的衰减率为10%；80°C的平均流体温度，Ottrupgård集热器和Marstal集热器的年产热量分别衰减了23%和27%。

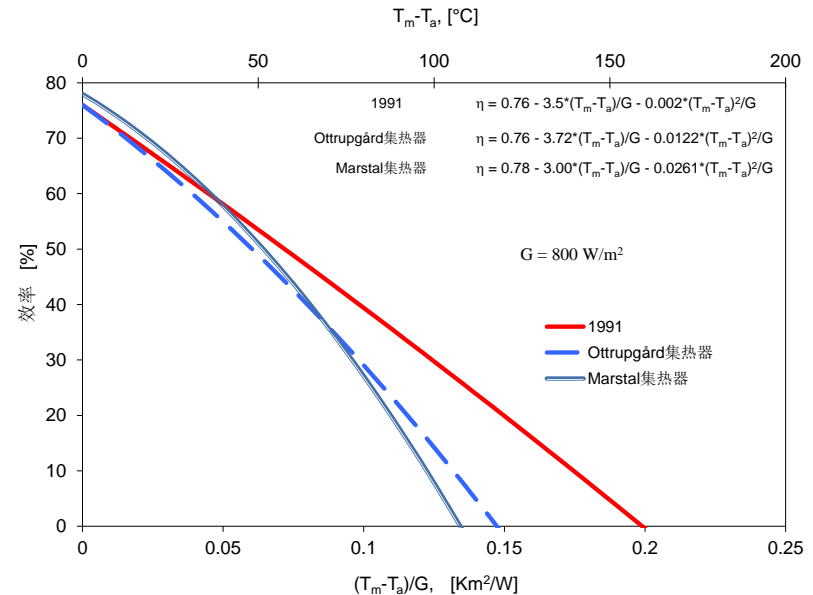
数据来源：北欧大型平板集热器的效率与使用寿命研究，樊建华，李富玲，丹麦科技大学

成功的关键因素之二

Cu

低衰减

- 吸收涂层的测试结果表明，两台集热器的吸收板并未见明显衰减，其吸收率和发射率并未见明显降低。
- Ottrupgård和Marstal集热器的效率测试数据与1991年同款集热器的测试报告进行了对比，结果如图9所示。三个集热器的峰值效率几乎相同。Marstal集热器的峰值效率为78%，而Ottrupgård集热器和1991年测试集热器的峰值效率为76%。峰值效率的细微差别是由于测试误差和集热器不同批次间质量正常波动造成的。
- Ottrupgård集热器和Marstal集热器的曲线斜率比1991年集热器的曲线斜率大，这意味着使用13-15年后集热器的热损失系数明显增大。



出厂（1991）和运行13-15后（2009）集热器测试效率曲线

长寿命

- 对两台集热器进行了剖析研究，深入检查了吸收板流体管道和集联管内表面的腐蚀情况。
- Ottrupgård集热器吸收板下半部管道照片如图14所示，从上到下依次为16个吸收板流体管道。照片所示管道靠近集热器流体出口。可见集联管内表面未见明显腐蚀迹象，在吸收板管道观察到散在、轻微的局部表层腐蚀。
- Marstal集热器进口侧吸收板流道照片如图15所示，目测观察到流道上半部存在疑似腐蚀斑点，但是进一步的化学分析表明，斑点腐蚀的程度不高，属浅表层的腐蚀。



Ottrupgård集热器靠近集热器出口下半部流道照片



Marstal集热器进口侧下半部流道照片

成功的关键因素之二

Cu

整体封装，便于安装和维护，减少热损。



成功的关键因素之二

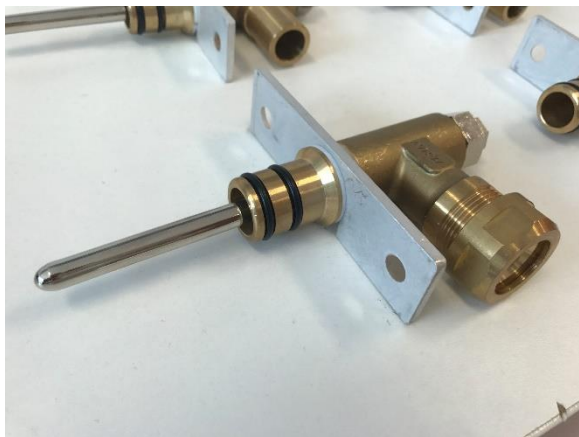
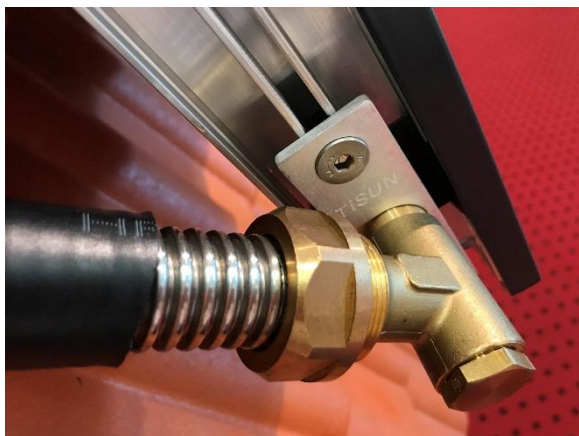
Cu



成功的关键因素之二

Cu

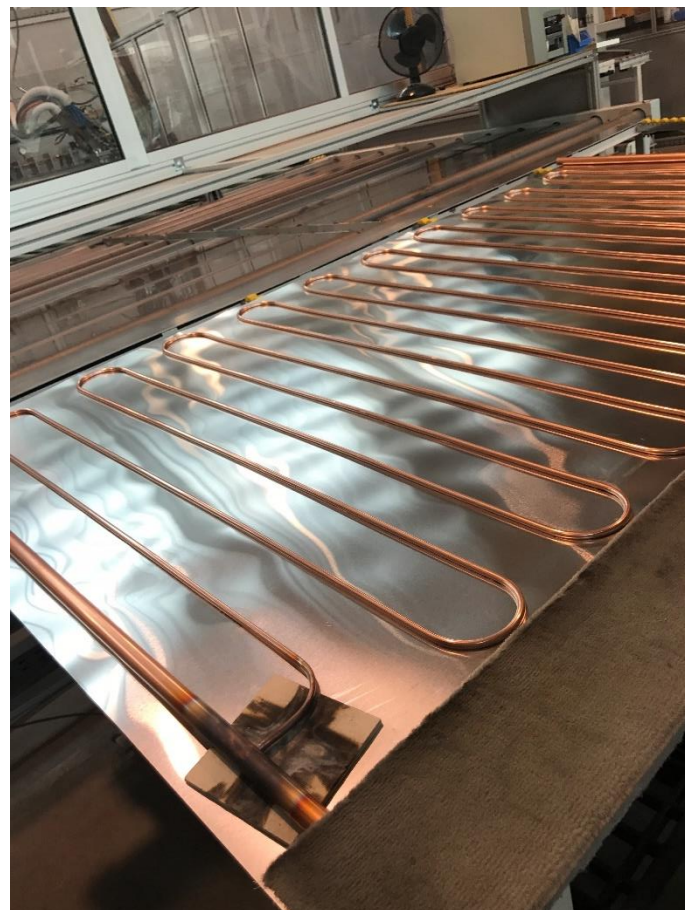
专业配套的铜管件



成功的关键因素之二

Cu

对金属铜各种性能的巧妙应用



市场发展现状

技术路线

对中国的借鉴意义

欧洲地区SDH发展历程

第1代SDH技术：1988~1996年，SDH-DH直接连接，预热回水

第2代SDH技术：1996~2000年，短期储热，夏季100%满足生活用水

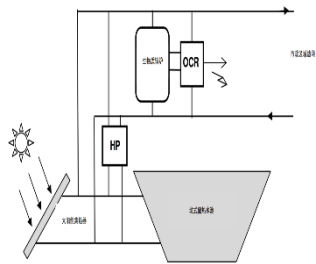
第3代SDH技术：2000~至今，跨季节储热，太阳能保证率达到50%

第4代SDH技术：2020以后，太阳能&低温区域供热

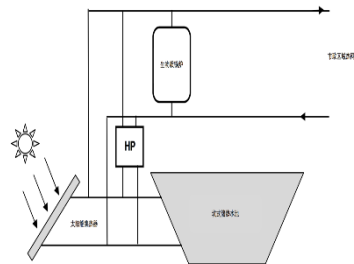
来源：Heller Alfred，Svendsen Svend，Furbo Simon

欧洲地区SDH经典模式

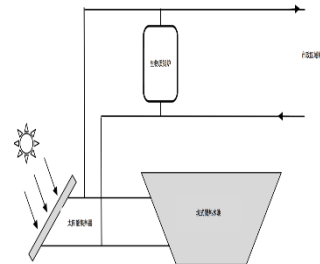
SOLAR+BIOMASS



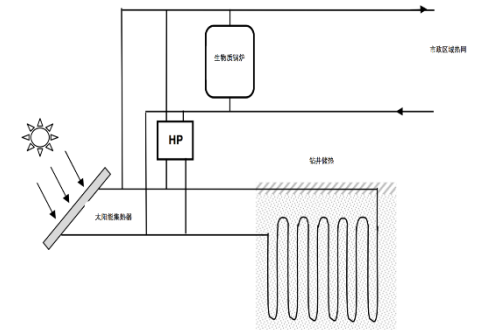
HP+ORC+PTES



HP+PTES



PTES

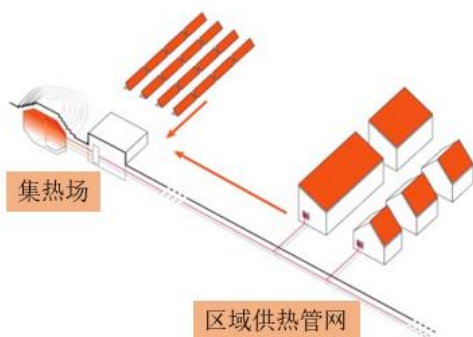


HP+BTES

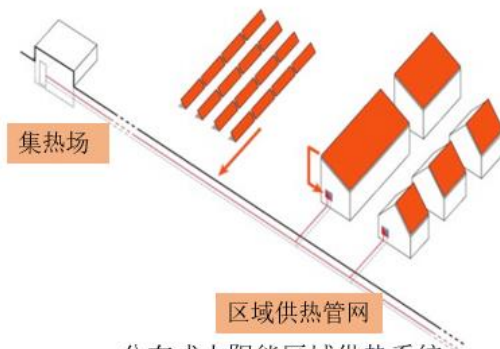
集中式系统和分布式系统

欧洲太阳能区域供热系统主要有两种系统形式，集中式系统和分布式系统。

- 集中式系统为大型跨季节储热太阳能区域供热技术，分布式系统则为利用缓冲水箱或区域热网蓄热的短期储热太阳能区域供热技术。
- 大型太阳能区域供热厂运行温度在 30°C ~ 100°C 之间（采用水池储热），三分之二的热厂通过区域热网与已有建筑相连接（主要分布于瑞典、丹麦、奥地利）。瑞典、奥地利很多太阳能区域供热厂还与木屑锅炉相连，确保供热稳定。



集中式太阳能区域供热系统



分布式太阳能区域供热系统

瑞典Messe Lerum市太阳能防噪墙（太阳能热水直接并网）

- Messe Lerum市为在2025年建成绿色示范城市制定了“NOISUN”计划。具体解决方案为在400m长市区铁路沿线两侧铺设集热器，防噪同时利用太阳能集热器集热并网区域热网用于居民采暖及生活热水。



该计划涉及技术主要有：

- 太阳能防噪墙优化设计以适应公路和铁路环境；
- 太阳能集热系统与区域热网并网解决方案，能源供应系统中太阳能与其他能源的集成（兼容性）；
- 测试和验证铁路、公路太阳能防噪墙技术解决方案；
- 监测和优化太阳能防噪墙对区域供热系统的贡献；
- 基于防噪功能和太阳能对区域供热系统贡献率评估社会经济性。



- LERUM太阳能铁路隔音墙长**450m**，建筑墙体高度**3m**，安装**68块**平板型太阳能集热器，总计集热器面积**856**。年供热量**240MWh**，提供**70°C**热水，与区域热网通过换热器直接换热。“NOISUN”计划主要解决噪音污染，并将太阳能集热器集热输入到区域热网。
- “NOISUN”取得非常可观经济效益和环保效益：噪声由原先的65分贝降低到**55~60分贝**；调研发现60%~90%的当地居民认为噪音降低到55分贝水平；年可再生能源产热量**400,000KWh**；年木屑使用减少440；年节省20,000KWh电力；年减排200吨。每年减少因噪声造成的经济损失70,000~105,000欧元（人民币52万-78万元）；基于太阳能集热器防噪功能，太阳能集热系统整体性能提升**5%**。

奥地利 Graz-Süd 太阳能热站

- 奥地利Graz-Süd太阳能热站于2006年开始建设，到目前为止总计集热器面积达到7,750平方米，是目前奥地利最大的太阳能区域供热系统。



分布式系统案例之二

- 2006年至2008年，项目一期工程在Abfall Entsorgungs Verwertungs GmbH (AEVG) 公司屋顶安装**5,000平米**集热器。2014年至2016年项目二期在二期附近空地增加安装**2,750平米**集热器。
- 项目总共采购了**5家**集热器制造商**6种**高温平板型集热器，整个系统没有设置储热装置，太阳能集热系统直接与区域热网连接供热，日最大供热负荷**1.9MWth**，年最大供热负荷**1,300MWh**。



跨季节蓄热太阳能区域供热是一项利用可再生能源进行采暖和提供生活热水的技术，通常太阳能保证率大于20%，带有跨季节太阳能区域供热系统太阳能保证率大于40%；

- 太阳能区域供热通常为超过100户居民提供采暖和生活热水所需热量，基于此，集热器面积超过1000m²，为保证供热稳定性、匹配不同季节负荷和提高太阳能保证率，还需设计跨季节储热装置储存平季多余太阳能集热用于采暖季供热和生活热水^[3]。系统主要包括集热场、储热装置、设备房、集热管网、辅助热源五部分。
- 大型跨季节储热太阳能区域供热系统的集热器多采用高温平板型集热器，便于大面积安装同时减小流体管道使用，集热器工质多采用防冻液。安装于地面，也可安装于屋顶。集热器选取主要基于集热器价格、效率、运行温度、地理位置。

丹麦Vojens太阳能热站

Cu

Vojens太阳能区域供热场地处丹麦沃延斯市（Vojens）

- 集热场运用地面安装平板型太阳能集热器，总计采用5439块集热器，集热器面积70000m²；太阳能跨季节储热水池容积达203000m³；年太阳能保证率达45%；日最大供热量为49MW_{th}，年供热量为28GWh。
- 储热水池与区域热网没有直接相连，采用热交换器进行换热，辅助加热采用一个10MW电锅炉、一个吸收式热泵和一个燃气锅炉提供。



奥地利Graz Gleisdorf太阳能区域热站

- 太阳能与木屑锅炉结合的混合能源系统，是目前欧洲应用最为普遍的能源形式。
- 2012年秋季投入使用。城市集中供热站采用太阳能辅助生物质锅炉供热，总计集热器面积585m²；为保证供热可靠性，小镇还配置400KW的生物质锅炉，有效利用当地生物质资源。太阳能集热系统及生物质锅炉产热直接并入区域供热管网。



太阳能复合垃圾焚烧热（工业废热）太阳能区域供热系统

Cu

瑞典Kungalv太阳能区域供热系统

- 垃圾焚烧热、工业废热可以以很便宜的价格并入区域供热系统，作为太阳能区域供热系统的补充。
- Kungalv区域供热系统为太阳能复合生物质锅炉、垃圾焚烧热供热，可再生能源供热保证率26%。日最大供热量7MW，太阳能集热场年均供热量为3.9GWh。



丹麦Marstal太阳能热站

- 太阳能热站始建于1994年，集热器运用地面安装单片面积为 $12.5m^2$ 的平板型太阳能集热器，集热器面积总计 $33,300m^2$ ，建有太阳能跨季节储热水池，储热容积总计达 $85,000m^3$ 。
- 日最大供热量 $23.3MW_{th}$ ，年最大供热量 $18GWh$ 。供热温度 $70-72^{\circ}C$ （夏季）， $76^{\circ}C$ （冬季），回水温度 $40^{\circ}C$ （夏季）， $33^{\circ}C$ （冬季）。



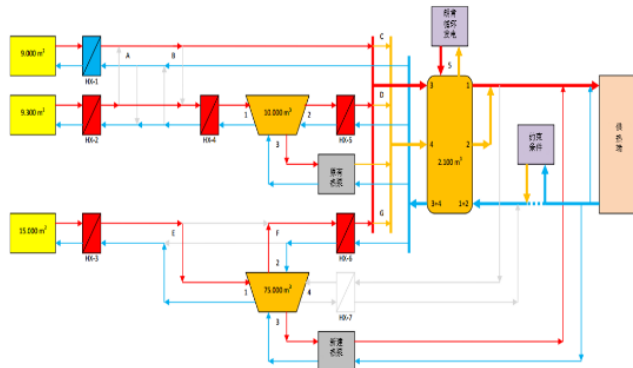
太阳能复合生物质热电联供区域供热系统

丹麦Marstal太阳能热站

Cu

运行原理

- 夏季，系统主要将太阳能热量储存于坑式储热水池中，同时也提供Marstal地区日常生活用水所需的热量。当电价低的时候热泵开始运行，在冷却储热的同时将回热温度加热至75°C。
- 冬季，最冷的几天，需要运行几个小时的锅炉，即便电价较高，有时还需要运行热泵。锅炉运行的热输出为3.25MW，同时结合在一起的有机朗肯循环装置可以生产电力750kW，发电效率19.5%。
- 等到来年的二月份，太阳能系统又会开始集热，储热和供热。

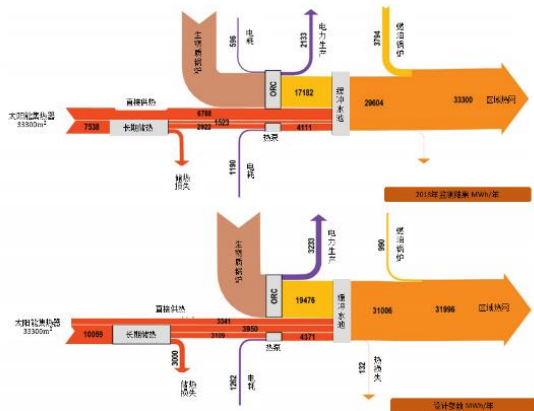


太阳能复合生物质热电联供区域供热系统 丹麦Marstal太阳能热站

Cu

系统特点

- 100%采用可再生能源，集成了太阳能集热、跨季节储热、木屑锅炉供热、ORC（有机朗肯循环）低温余热发电系统，以及CO₂空气源热泵系统等，是一个带实验和示范性质的多能源复合采暖供热系统。
- CO₂热泵提升温度可达到78°C，COP为3.1，冷却能力为0.962MW。木屑锅炉的功率为4.15MW，总效率可以达到109%。
- 系统在低谷电价时用热泵提温回水，在高电价时，运行ORC机组，所发的电力并网销售，年发电量2,600MWh。



市场发展现状

技术路线

对中国的借鉴意义

对太阳能的应用强调规模效应

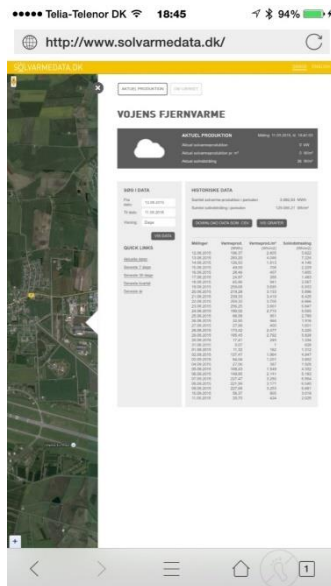
规模扩大，可靠性增加，边际成本降低

- 太阳能区域供热系统初投资较高，尽管运营管理费用低，但投资回收期较长，同样阻碍了太阳能区域供热发展。如果太阳能区域供热系统扩大规模，边际成本增加相对较少，缩短投资回收期，有利于太阳能区域供热发展。所以太阳能区域供热发展需要强调规模效应。据统计丹麦有30个太阳能区域供热系统集热器面积超过10,000m²，最大的太阳能区域供热系统集热器面积达156,694m²（Silkeborg 43000人，年产能80,000MWh,太阳能保证率20%，辅助热源为天然气和电）。与此同时丹麦也是世界上太阳能区域供热最为发达的国家。



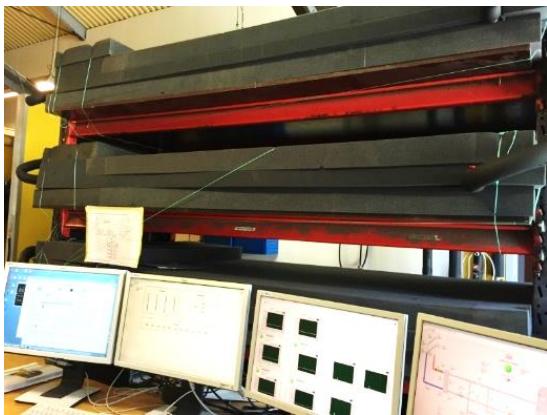
供热的质量和数量以热量来衡量

- 确保提供规定温度的热量，并按照热量来计费。热用户通过比较供热质量以及热价来选择合适的热源，提供同等温度热水，如何收取供热费用是业界一个难题，当前欧洲普遍采用热计量收费，采用能源服务合同（ESCO）方式。在居民用户末端安装热计量表，根据用户热消费量收取费用。有助于太阳能区域供热走上商业化道路，更规范合理的发展太阳能区域供热。



因为太阳能低密度、不连续的特点，储热环节是影响其使用的关键环节。

- 目前欧盟拨付大量的研究资金在攻克跨季节储热、短期大容量相变储热技术。储热对于提高太阳能保证率具有很大影响，储热技术的研究有助于将太阳能由现阶段辅助能源角色转变为供热主角。



丹麦科技大学正在研究的模块化相变储热装置及所采用的相变材料

太阳能区域供热在欧洲的发展也面临着投资大、回报周期长等发展的障碍，欧洲各国为鼓励这种清洁能源的供暖方式，采取了各种激励政策来促进太阳能区域供热的发展。国际能源署做过一个调研，统计欧洲各国针对太阳能区域供热采取的各项激励政策中，最受欢迎的政策分别是：

- 规定在区域供热系统中，以太阳能为代表的清洁能源必须占一定的比例；
- 推行碳排放税制度，对化石燃料征收高额税收，该项政策以丹麦、挪威、瑞典为主；
- 对太阳能区域供热给予融资支持；对区域热网改造、扩展、重建给予低利息贷款支持；
- 政府支持可再生能源发展；对发展可再生能源提供财政支持；
- 将太阳能热站、垃圾焚烧热、工业废热纳入区域供热计划；
- 出台国家能源法规，法规明确列出支持太阳能区域供热的实施细则。



Thank you

For more information please contact
Joseph.Huang@copperalliance.asia