



# 中华人民共和国 太阳能区域供热

现状与发展潜力

---

2019年7月



# 中华人民共和国 太阳能区域供热

现状与发展潜力

---

2019年7月



政府间组织3.0版知识共享许可协议 (CC BY 3.0 IGO)

© 2019年亚洲开发银行

6 ADB Avenue, Mandaluyong City, 1550 Metro Manila, Philippines (菲律宾马尼拉)

电话: +63 2 632 4444; 传真: +63 2 636 2444

www.adb.org

部分版权所有。2019年出版。

ISBN号: 978-92-9261-876-6 (印刷), 978-92-9261-877-3 (电子版)

出版物库存编号: TCS190527-2

DOI: <http://dx.doi.org/10.22617/TCS190527-2>

本出版物中所述为作者个人观点, 并不代表亚洲开发银行(亚行)、亚行理事会或其所代表的政府的观点和政策。

亚行不担保本出版物中所含数据的准确性, 而且对使用这些数据所产生的后果不承担任何责任。本出版物中提及特定公司或厂商产品并不意味着亚行认为其优于未提及的类似性质的公司或厂商产品, 并予以认可或推荐。

在本出版物中指称或引用某个特定版图或地理区域时, 或使用“国家”一词时, 不代表亚行意图对该版图或区域的法律地位或其他地位做出任何评判。

本出版物采用“政府间组织3.0版知识共享许可协议”(CC BY 3.0 IGO) <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/>。使用该出版物中的内容即表示同意遵守上述许可协议的条款。有关署名、翻译、修改和权限的信息, 请参阅<https://www.adb.org/terms-use#openaccess>中的规定和使用条款。

本知识共享许可不适用于本出版物中非亚行版权的资料。如某资料另有来源, 请联系该资料的版权所有人或出版人获得复制许可。亚行对因使用此类资料所产生的任何索赔不承担责任。

如对本出版物内容有任何疑问或建议, 或希望就不适用于上述条款的预期用途获得版权许可, 或申请亚行标识的使用许可, 请联系 [pubsmarketing@adb.org](mailto:pubsmarketing@adb.org)。

亚行出版物勘误信息可在以下网页查询: <http://www.adb.org/publications/corrigenda>。

#### 注:

在本出版物中, “\$”表示美元。

亚行承认“中国”为“中华人民共和国”。

封面设计: 布莱恩·特诺里奥 (Brian Tenorio)。

#### 译文声明

为扩大读者范围, 特将本出版物由英文翻译为中文。亚洲开发银行(亚行)尽力确保翻译的准确性, 但英语是亚行的官方语言, 因此, 本出版物的英文原版是唯一合法的(即官方的和经授权的)文本。任何对本出版物内容的引用, 必须以其英文原版内容为准。

# 目录

图表	iv
前言	v
致谢	vi
缩略语	vii
执行概要	ix
1. 背景和简介	1
2. 什么是太阳热能区域供热?	3
3. 太阳热能区域供热的效益与挑战	5
4. 现有最佳的太阳热能技术	7
太阳能集热器	7
蓄热	14
5. 太阳能区域供热的财务可行性	21
6. 全球太阳热能区域供热	23
7. 中国太阳热能区域供热市场	29
中国太阳热能区域供热的市场潜力	32
可行区域供热方案	33
优先省份	34
8. 中国支持使用太阳热能的立法和政策	35
进一步推动太阳能热水应用	35
因地制宜推广太阳能供热制冷技术	35
推进工农业领域太阳能供热	36
9. 案例研究	39
北京市大安山地区太阳能区域供热项目	40
北京市延庆区康庄镇王家堡村太阳能区域供热项目	42
10. 结论和建议	45
附录	
附录1——样本访谈结果	47
附录2——1986—2016年发表的关于太阳热能的论文和文章	51
附录3——1988—2016年丹麦实施项目	52
参考文献	55

## 表

1: 太阳能集热器对比	13
2: 季节性储能技术对比	18
3: 不同热源的供热成本指标	22
4: Løgstrup太阳能区域供热项目基准和备选项目的能源平衡和关键经济数据	28
5: 2018—2020年不同普及水平下中国太阳能区域供热潜在装机容量	33
6: 中国政府部门制定的清洁供热指标	38
7: 中国实施的太阳能区域供热项目	39
8: 北京市大安山太阳能区域供热项目的主要信息	40
9: 北京市延庆区康庄镇王家堡村太阳能区域供热项目的主要信息	42

## 图

1: 集中式和分散式太阳能区域供热	4
2: 具有蓄热功能的太阳能区域供热厂	4
3: 典型太阳能集热器效率	7
4: 全玻璃真空管集热器	8
5: 内置加热铜管的全玻璃真空管集热器	9
6: 带有真空隔热玻璃管的热管式集热器	10
7: 带有真空隔热玻璃管的直流管式集热器	11
8: 平板集热器	12
9: 地下罐式蓄热	14
10: 热井蓄热	15
11: 岩洞蓄热	15
12: 钻孔蓄热	16
13: 含水层蓄热	17
14: 欧洲蓄热项目成本	19
15: 欧洲太阳能集热器投资成本	22
16: 截至2015年年底太阳能集热器总装机量的各地区比例	23
17: 截至2015年年底各地区太阳热能用途	24
18: 截至2015年年底各地区的太阳能集热器技术	25
19: 丹麦太阳能集热器总装机面积和热厂数量	25
20: 不同经济体的太阳能区域供热容量、系统数量、集热器总面积	26
21: Løgstrup太阳能区域供热项目概况	27
22: 2005-2015年中国区域供热市场的增长	29
23: 中国区域供热的能源结构	30
24: 中国平均水平太阳辐照度	31
25: 2006-2020年中国热水区域供热装机容量	32
26: 中国支持清洁供热的政策	37
27: 北京市大安山太阳能区域供热项目地图及概况	41
28: 北京市延庆区康庄镇王家堡村太阳能区域供热项目地图及概况	43

## 前言

# 将太阳能与化石燃料供热系统相结合，是实现低碳城市、减少城市空气污染的必由之路。

在中华人民共和国（中国），太阳能区域供热是一个相对较新的概念，太阳能区域供热在中国的应用微乎其微。随着城镇化进程的加快，中国北方、东北和西北地区的供热需求不断增长，但依赖化石燃料的传统供热系统在满足需求的同时，也导致了城市空气污染，增加了二氧化碳排放。

研究表明，中国发展太阳能区域供热具有巨大的潜力。太阳能区域供热系统在北欧的成功商用证明了其技术可行性。中国具有充分的太阳能集热器技术和生产能力，是太阳能区域供热系统的关键技术。太阳能区域供热可以集成到现有的化石燃料供热系统中，以减少化石燃料的消耗，从而减少中国供热的碳排放量。

在城市供热系统中使用太阳能等清洁和可再生能源是实现低碳城市和减少城市空气污染的关键因素。亚洲开发银行（亚行）在其《2030战略》中作出了应对气候变化和建立更宜居城市的坚定承诺。亚行希望这项研究将提高人们对太阳能区域供热效益的认识，帮助中国以及许多面临类似挑战的亚洲发展中国家提高太阳能区域供热的利用率。

梁小萍

亚洲开发银行

东亚局局长

## 致谢

本出版物在亚洲开发银行东亚局的领导下编写,介绍了有助于中国的低碳城市发展计划的太阳能区域供热。本书的编写出版由南亚局首席能源专家大井央久 (Teruhisa Oi) 负责,可持续基础设施处处长苏加塔·库帕塔 (Sujata Gupta) 提供指导和监督。

负责案头调研和资源相关人员访谈的课题研究团队包括国际顾问迈克尔·雅各布逊 (Mikael Jakobsson) 和国内顾问李少芳。

卡门·玛尔瑟琳 (Ma. Carmen Marcelline), 菲利斯·M. 阿尔坎塔拉 (Felice M. Alcantara) 和艾莉森·D.莱加斯皮 (Allisonne D. Legaspi) 协调了本出版物的出版。感谢亚行可持续发展和气候变化局能源部门小组负责人、同行评审翟永平先生的宝贵意见。



## 缩略语

ATES	含水层蓄热
BTES	钻孔蓄热
CHP	热电联产
CTES	岩洞蓄热
CNY	人民币
DHW	生活热水
DHS	区域供热系统
ETC	真空管集热器
FPC	平板集热器
HP	热泵
HOB	专供热能锅炉
MPC	模型预测控制
PCM	相变材料
PRC	中华人民共和国
PTES	热井蓄热
PV	光伏
R&D	研究与开发
RE	可再生能源
SDH	太阳能区域供热
STES	季节性蓄热
TES	蓄热
TTES	罐式蓄热
US	美国
UTES	地下蓄热

## 计量单位

a	年
GJ	千兆焦耳
GW	千兆瓦
GWth	千兆瓦热
kWh	千瓦时
m	米
m <sup>2</sup>	平方米
m <sup>3</sup>	立方米
MW	兆瓦
MWth	兆瓦热
MWh	兆瓦时
tce	公吨煤当量





Source: Arcon-Sunmark.



# 执行概要

在中华人民共和国(中国), 太阳能供热是一个众所周知的概念, 几十年来一直用于户式生活热水供热。然而, 太阳热能区域供热在中国是一个相对较新的概念。个人太阳能供热设备安装不当的失败经验导致人们对这项技术产生合理怀疑, 这必须通过实施成功的示范项目加以克服。

太阳能区域供热(SDH)在中国的可行性显而易见, 尤其是在太阳能资源丰富、土地富余(且价格低廉)的地区, 季节性蓄热和余热生产可行性很高。SDH通常适用于偏远地区相对较小社区的区域供热系统。然而, 在制定扶持政策时, 必须考虑这些地区的购买力。与燃煤热电联产相比, SDH竞争力强, 而且相较于其他依赖天然气和生物质等可再生能源的技术, 其成本更低。

SDH在中国的市场潜力巨大, 可以借鉴北欧的宝贵经验, 特别是在该领域处于世界领先地位的丹麦、德国和瑞典。

本研究的结论是, SDH在中国是可行的, 值得进一步开发, 从而显著促进可再生能源融入中国的区域供热行业。应提高对SDH效益、优势和机遇的认识, 以促进该技术在中国的更广泛应用。

为了帮助项目开发人员, 可以开发可行性评估工具来快速了解SDH项目的财务可行性, 并评估不同的概念。制定并分享涵盖整个项目价值链的最佳实践手册, 还可以增加SDH项目成功实施的机会。

为了证明SDH的可行性, 应该确定并开发试点项目来展示SDH最佳实践。



# 1. 背景和简介

2016年，中华人民共和国（中国）56%的人口居住在城市，预计到2025年，这一比例将升至70%。快速城镇化给政府部门带来了能源供应挑战，但也为能源密集地区提供了节能解决方案的机会。在中国北方，区域供热是成熟的空间采暖技术，在某些情况下，也用于生活热水（DHW）生产。中国的区域供热仍主要依赖煤炭，但该技术可以集成包括太阳能在内的可再生能源。集成可再生能源的高效区域供热系统因其减少碳排放和地方污染的能力而受到世界各国的认可。由于城镇化以及对舒适度和室内温度控制的期望提高，中国区域供热行业在增长的同时，应通过在区域供热中使用可再生能源来减少温室气体排放，从而促使切实履行气候承诺。

全球有很多太阳热能应用，包括（1）游泳池供热；（2）太阳能区域供热；（3）太阳能工业过程供热；（4）太阳能制冷；（5）单体建筑太阳能生活热水供热系统；（6）旅游和公共部门太阳能生活热水供热系统；以及（7）单体建筑太阳能生活热水和空间采暖联供系统。第5、6和7种应用在中国已经使用了几十年，太阳热能技术的迅速发展，可以促进其成功地集成至区域供热系统。

亚行编写本报告所做的研究<sup>1</sup>旨在确定中国SDH的现状，调查这项技术在中国的发展潜力，并确定实施SDH系统可以切实加速可再生能源集成的地理区域。<sup>2</sup>

本报告定义了太阳能区域供热的概念，并总结了其效益和挑战；介绍了太阳热能区域供热系统的技术，包括太阳热能技术和蓄热应用；评估了太阳热能区域供热项目的财务可行性；回顾了中国各项有利于太阳热能使用的政策；展望了全球太阳热能区域供热的发展，并详细考察了中国市场的技术；

---

1 中国太阳能区域供热项目的现状及发展潜力研究（SC 105677-PRC）。本报告由瑞典NXITY（北京）能源科技有限公司于2017年8月完成。

2 在本报告中，SDH指将集中式或分散式太阳热能设施集成到社区或城市区域供热系统中，作为满足最终消费者供热需求的能源供应组合的重要组成部分。

提出了中国应优先发展哪些地区的建议，以加快太阳热能区域供热的发展。

本报告中的信息来自对中国太阳热能和区域供热行业的不同利益相关者代表的案头调研和访谈，这些利益相关者包括协会、大学和研究机构、制造商和工程公司等。

本研究由国际金属太阳能产业联盟（IMSIA）<sup>3</sup>提供支持以及宝贵数据和信息。IMSIA是由国际铜业协会（ICA）<sup>4</sup>发起的行业联盟，由活跃在太阳热能领域的制造商、设计和研究机构、土地和房地产开发商组成。

---

<sup>3</sup> 国际金属太阳能产业联盟：<http://en.imsia.cn/>

<sup>4</sup> 国际金属太阳能产业联盟：<http://en.imsia.cn/>

## 2. 什么是太阳热能区域供热？

作为一种SDH技术，太阳热能区域供热指的是主动式太阳能供热系统的应用。主动式太阳能供热系统吸收太阳辐射（阳光），将其转化为热能，并将热能用于流体加热、舒适供热、生活热水等用途。

在本报告中，太阳热能区域供热是指主要用于热水生产的太阳热能技术，该技术在一个国家的热水（第二至第四代）区域供热系统的能源结构中占相当大的比例，可以显著降低该国的碳排放量。<sup>5</sup>第四代区域供热是整体效率较高的低温区域供热技术，可以增加对工业余热、地热、太阳热能等低值热源的集成。然而，SDH的成功开发并不需要第四代区域供热技术。

区域供热的太阳热能系统通常包括基于液体的集中、主动式太阳能集热器系统、循环泵、蓄热、热量分配网络、变电站，以及在供热季节太阳能系统不能产生足够热量时的辅助热源。

主动式太阳能供热系统连同加热器、锅炉、热泵或区域供热系统，在过去已广泛应用于建筑和住宅。集中太阳热能生产和促进可再生能源与区域供热系统集成的太阳能集热器设施也已得到应用，特别是在北欧。

智能供热系统的发展，使产消者<sup>6</sup>可以从区域供热系统获得热量，并向系统提供多余热量，带来了太阳热能应用的新创新。智能供热系统使第三方能够使用区域供热系统，为智能系统供热，这往往需要相关的政策和立法支持，但支持并非始终到位。

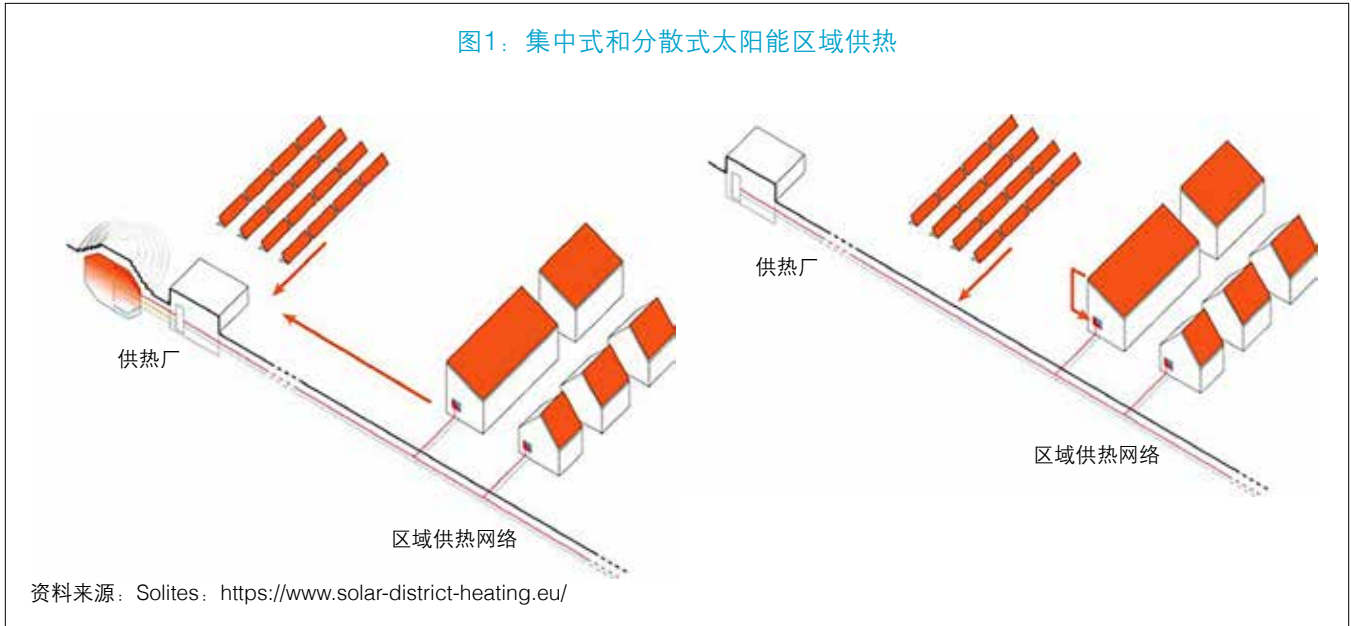
图1显示了集中式和分散式SDH系统的区别。在集中式SDH系统中，太阳能集热厂靠近供热厂。而在分散式SDH系统中，太阳能集热厂可位于系统的任何位置。长输热线路的使用增加使得分散式太阳能集热厂在中国更具可行性。

---

<sup>5</sup> 第一代区域供热系统是蒸汽系统。

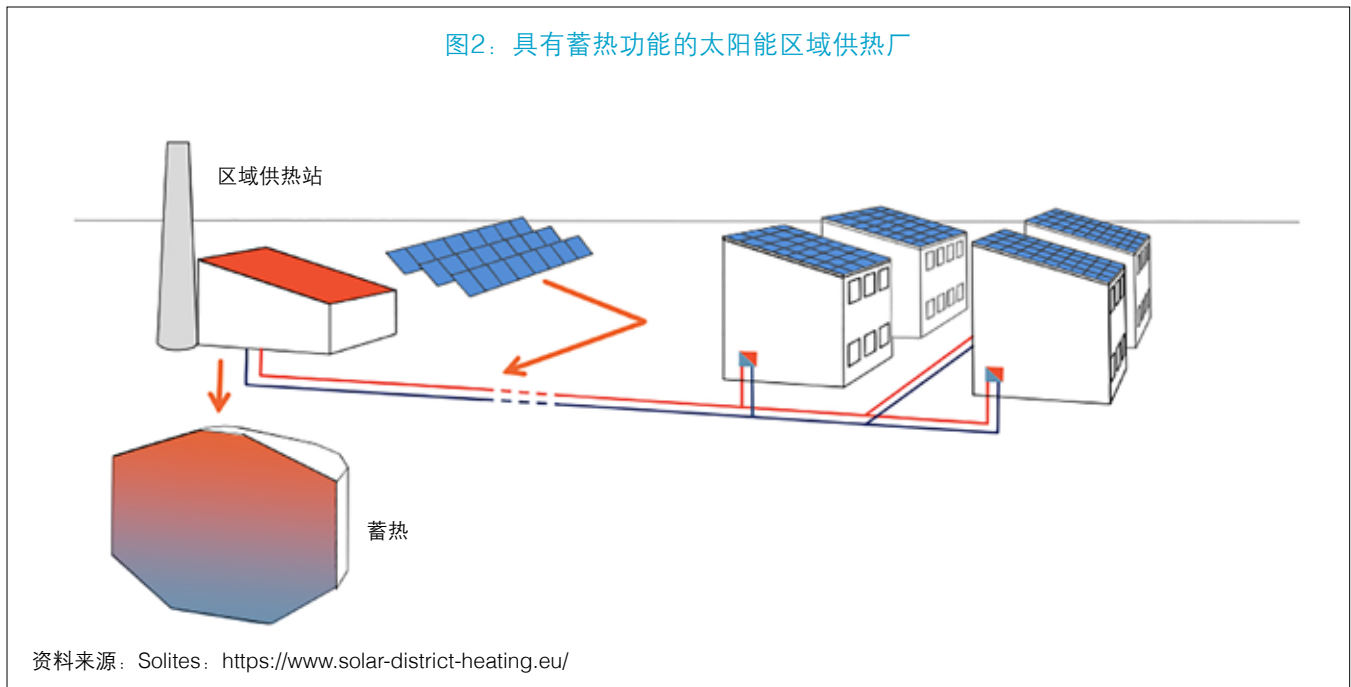
<sup>6</sup> 产消者是可以自己生产能源的消费者（例如，装有太阳能电池板的建筑有时能产生多余能量）。

图1：集中式和分散式太阳能区域供热



SDH系统除了可随时获得辅助热源外，还应具备蓄热（TES）设施，以便在供热需求较低或没有供热需求时储存太阳能。因此，SDH的可行性将得到改善。图2显示了具有蓄热设施的SDH工厂。

图2：具有蓄热功能的太阳能区域供热厂





## 3. 太阳热能区域供热的效益与挑战

本节列出了依据附录1案头调研和访谈所总结的太阳热能区域供热的效益和挑战。

### 效益

1. 财务与经济效益
  - i. 投资成本低于生物质厂
  - ii. 生产成本低于燃气厂
  - iii. 运行成本远低于其他加热技术
  - iv. 能源价格比燃煤热电联产系统更具竞争力
2. 环境效益
  - i. 碳中和（用绿色电力作辅助系统）或接近碳中和
  - ii. 低污染
  - iii. 无噪音污染
3. 其他有利于中国发展的因素
  - i. 成熟的本土太阳能集热器制造
  - ii. 多省太阳能资源丰富，尤其是西北地区
  - iii. 系统易于建设、安装、运行和维护
  - iv. 使用寿命长
  - v. 安全风险低

### 挑战

1. 财务及经济挑战
  - i. 投资成本高
  - ii. 中国的土地供应和购置限制
  - iii. 中国农村地区购买力较弱
2. 制度挑战
  - i. 中国缺乏政策支持
  - ii. 缺乏来自政府的补贴或其他激励
3. 其他挑战
  - i. 高区域供热温度下效率降低
  - ii. 依赖气候（包括空气污染）
  - iii. 失败项目经验导致对该技术持怀疑态度
  - iv. SDH概念在中国相对较新



## 4. 现有最佳的太阳热能技术

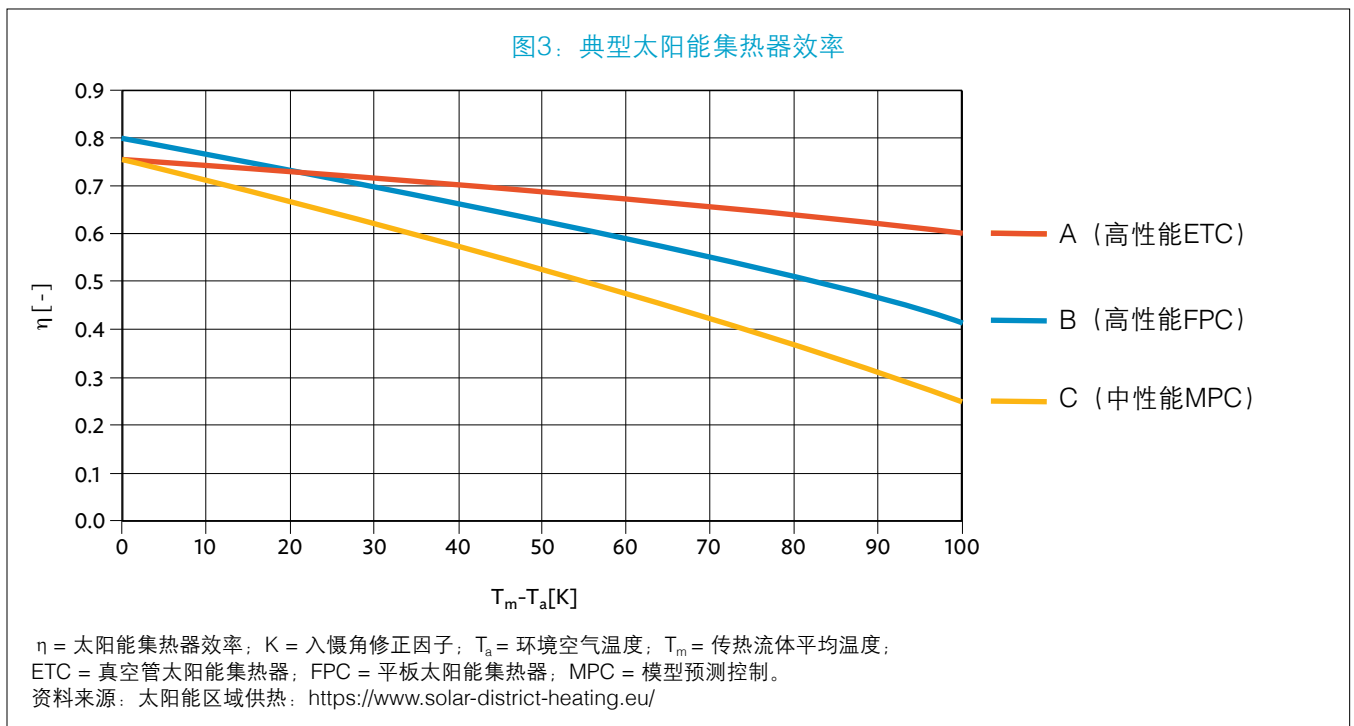
### 太阳能集热器

太阳能集热器是主动式太阳能供热系统和太阳热能区域供热系统的关键部件, 类型各不相同。本报告介绍了生产热水最常见的几种集热器。槽形抛物面集热器 (PTC)、发电塔或中央接收器、抛物面碟式集热器 (碟式发动机系统)、热电联产用复合线性菲涅耳反射器系统 (CLFR) 等集中式太阳能集热器不包括在内。

太阳能集热器主要分为三类: (1) 真空管集热器; (2) 平板集热器; 和 (3) 裸板集热器。本报告不包括主要用于北美地区低温供热 ( $<30^{\circ}\text{C}$ ) 的裸板太阳能集热器。

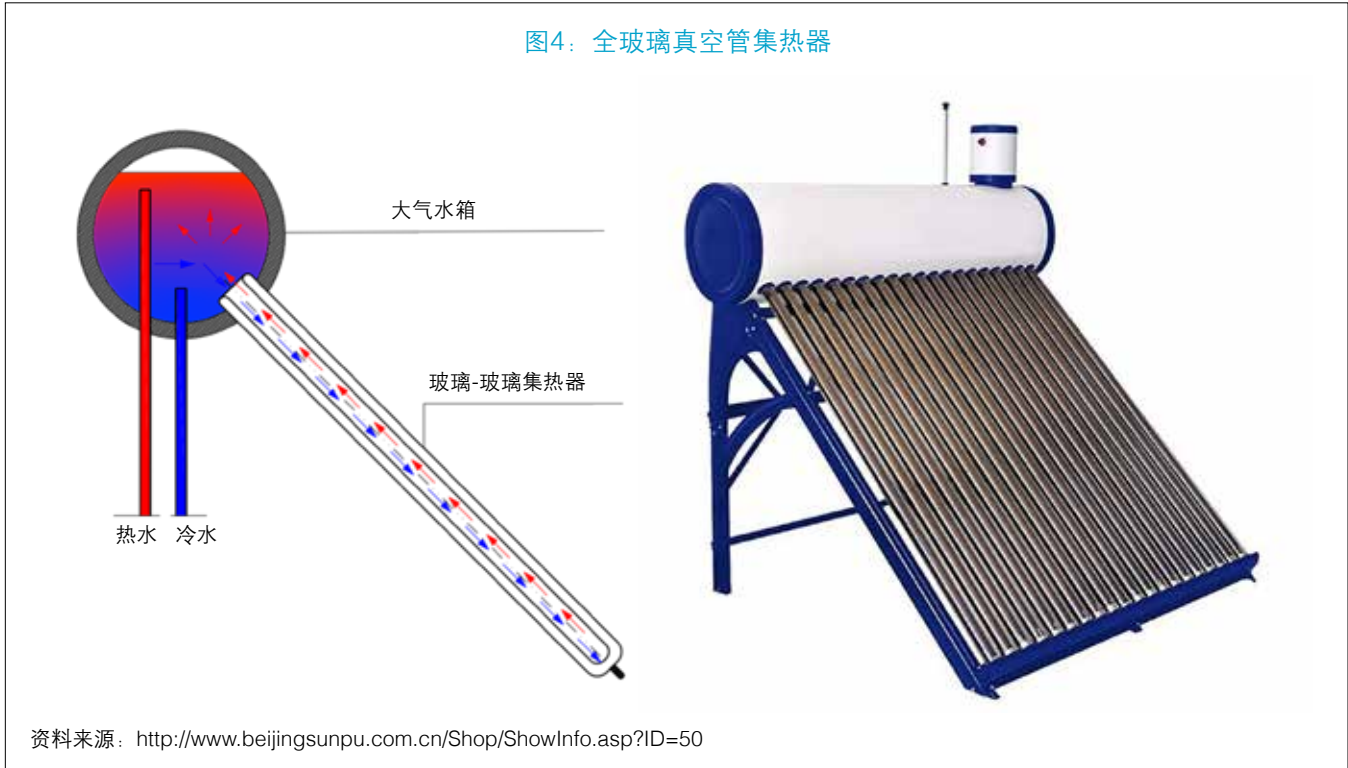
真空管集热器有多种类型, 包括单层管集热器或双层真空隔热管集热器。真空管集热器分为两大类: (1) 玻璃—玻璃集热器; 以及 (2) 玻璃—金属集热器。

太阳能集热器的典型效率如图3所示。



### 全玻璃(玻璃—玻璃)真空管集热器

最简单经济的太阳能集热器(就投资成本而言)是全玻璃真空管集热器(图4)——一排或多排双层玻璃管,两层之间有隔热真空,减少对大气的热量损失。内层涂有选择性太阳能吸收材料,可提高集热器效率。水箱可以直接置于集热器上方,也可以通过管道歧管与集热器连接。



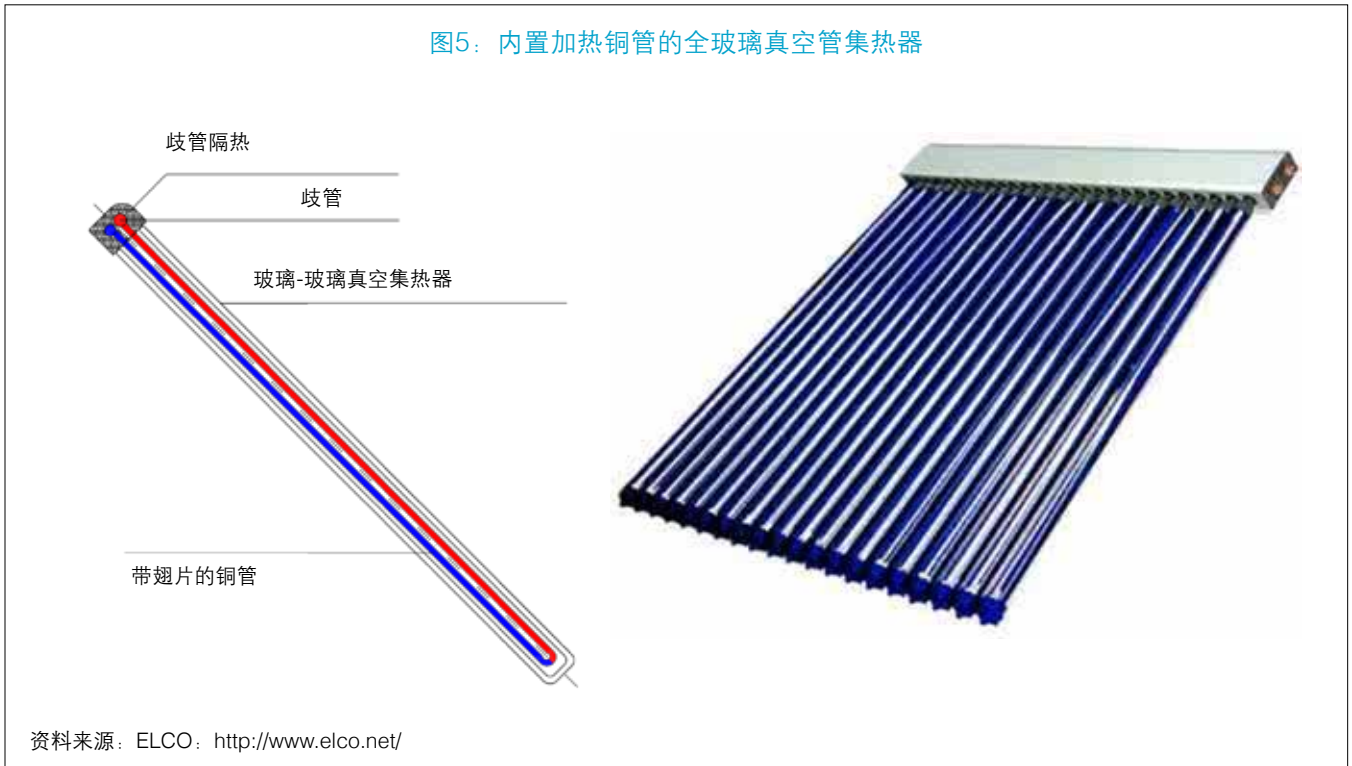
冷水由内涂层玻璃管中的太阳能加热;热水蒸发,自然上升到加热管的顶部,将热能传递到热交换器中的流体中,然后冷凝成液体,在加热管中重新加热。

全玻璃真空管太阳能集热器存在机械缺陷。它对热量和液压限制很敏感。暴露于环境空气污染会降低水箱中的水质。此外,集热器必须安装在一定的角度,使太阳能有效吸收和自然蒸发最大化。换言之,当地条件和可用空间会影响效率。

但由于其结构简单,安装方便,投资成本低,全玻璃真空管集热器已成为中国非常普及的家用和小规模商用生活热水生产设备。

### 内置加热铜管的全玻璃(玻璃—玻璃)真空管集热器

内置加热铜管的全玻璃真空管集热器(图5)也有双层玻璃管,两层之间有隔热真空层,工作原理与全玻璃真空管集热器相同。但与后者不同的是,它有一个U形加热铜管,周围有翅片,将水循环成一个闭合回路。该闭环是直接连接到储罐的或通过管道歧管间接连接到储罐的大型密闭系统的一部分。



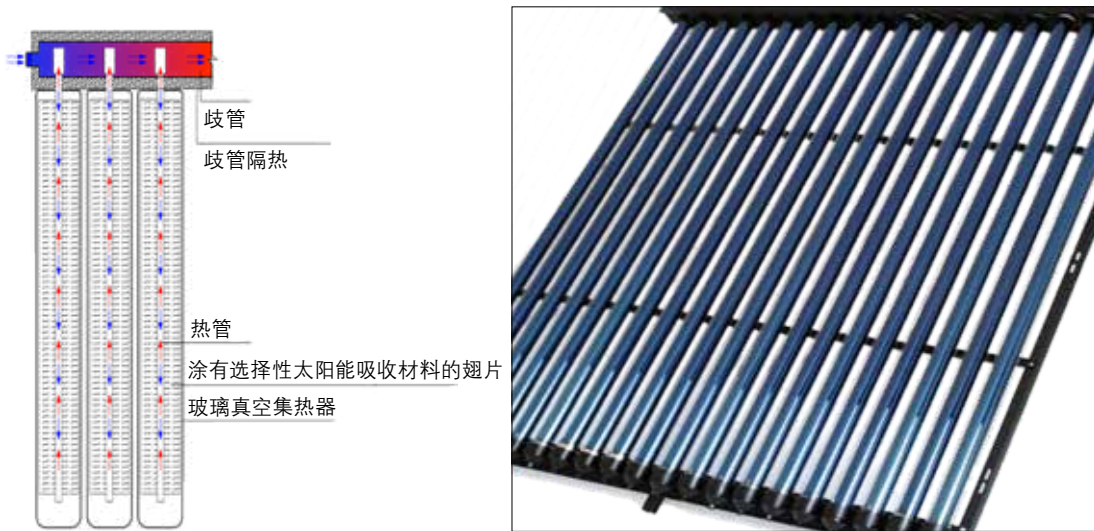
热量通过涂层翅片传递到加热铜管中的冷水中,热水又循环回到歧管中。该闭合水回路可在高压和高温下运行,保证了高效率 and 高质量,适用于大型水加热系统。真空玻璃管如破裂,封闭管道系统不受影响。

加热铜管与玻璃管真空隔热层之间的热传递减少,因此有内置加热铜管的全玻璃真空管集热器的热效率低于无内置加热铜管的全玻璃真空管集热器。此外,带翅片的加热铜管会增加投资成本。

### 带有真空隔热玻璃管的热管式集热器（玻璃—金属集热器）

单层玻璃管覆盖蒸发器部分，带有传热层和内置加热管（图6）。加热管由三部分组成：底部是一根铜管，可汽化流体在管中循环；毛细管芯结构；顶部是冷凝器，用作换热器，利用流动分布歧管将热量传递到太阳能回路中的水中。

图6：带有真空隔热玻璃管的热管式集热器



资料来源：<http://www.beijingsunpu.com.cn/Shop/ShowInfo.asp?ID=50>

蒸发器部分的加热管使流体汽化，蒸汽自然上升到顶部，然后冷凝成水。

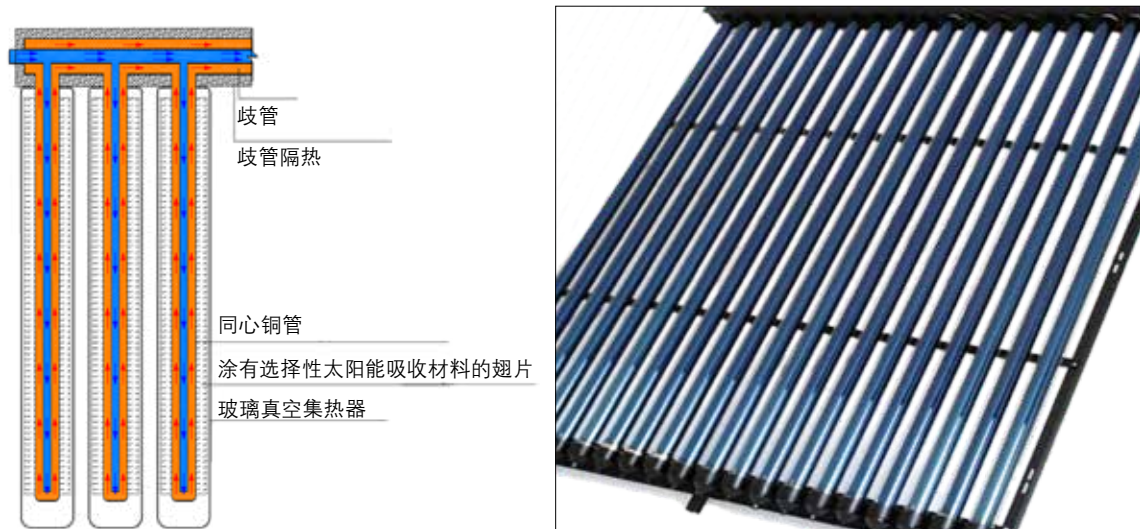
带有真空隔热玻璃管的热管式集热器的使用寿命超过15年，比本报告之前介绍的真空管集热器更可靠、更高效。然而，投资成本也更高。



### 带有真空隔热玻璃管的直流管式集热器（玻璃—金属集热器）

带有真空隔热玻璃管的直流管式集热器（图7）使用同心管——即通过歧管在集热器内输送热水的内铜管，以及含有加热流体的真空隔热玻璃的外管，充分利用铜的高导热性，在不混合流体的情况下，实现流体之间的热交换。

图7：带有真空隔热玻璃管的直流管式集热器



资料来源：<http://www.beijingsunpu.com.cn/Shop/ShowInfo.asp?ID=50>.

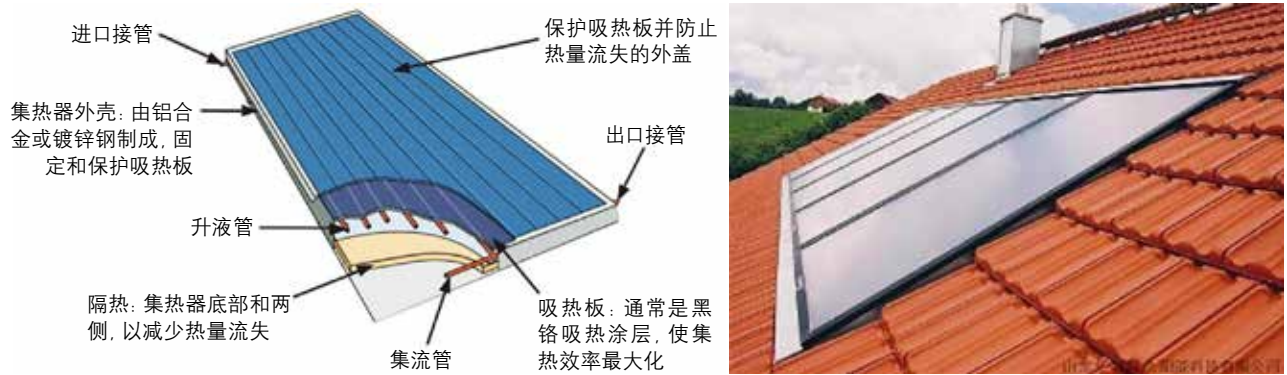
带有真空隔热玻璃管的直流管式太阳能集热器是目前介绍的最可靠、最高效的真空管技术。它适用于大型热水系统，能满足严格的技术要求。但与带有真空隔热玻璃管的热管式集热器一样，其投资成本也高于全玻璃真空管集热器。

### 平板集热器

平板集热器（图8）与真空管集热器有明显区别。它通常由隔热层，选择性太阳能吸收涂层（涂覆于带有加热流体进行热传递的铜管或硅管上），以及挡雨棚组成，所有部件封装在玻璃矩形盒子内。

核心部件是吸热器。它由黑铬、黑镍、氧化铝和氮氧化钛等不同材料制成，根据所选择的平板集热器技术，可提供不同的配置。

图8：平板集热器



资料来源：山东阳光博士太阳能工程有限公司：<http://www.sdygbs.com/>

一般来说，平板集热器的效率略低于真空管集热器。然而，平板集热器的投资成本更低，使用寿命更长（超过25年）。平板集热器技术是欧洲最普及的太阳能集热器技术。



## 对比分析

表1总结了不同太阳能集热器技术的对比分析。分析表明，带有真空隔热玻璃管的热管式集热器和带有真空隔热玻璃管的直流管式集热器效率最高，但成本也最高。平板集热器是最便宜、最可行、使用寿命最长的解决方案，但效率低于其他太阳能集热器技术。平板集热器比真空管集热器便宜20%~40%，但由于效率较低，平板太阳能集热厂可能需要更多集热面积，具体取决于项目应用和位置。因此，采用真空管集热器会提高项目的财务可行性。

表1：太阳能集热器对比

特点	太阳能集热器类型				
	全玻璃真空管集热器	内置加热铜管的全玻璃真空管集热器	带有真空隔热玻璃管的热管式集热器	带有真空隔热玻璃管的直流管式集热器	平板集热器
效率	高	中	高	高	中
工作压力	大气压	≥6巴	≥6巴	≥6巴	≥6巴
安装角度	需要一定角度使太阳能传递效率最大化	需要一定角度使太阳能传递效率最大化	需要一定角度使太阳能传递效率最大化	无要求	需要一定角度使太阳能传递效率最大化
耐热应力或机械应力	低	好	好	好	好
使用寿命	短	长	长	长	长
成本	便宜	适中	昂贵	昂贵	便宜
维护	频繁	不频繁	不频繁	不频繁	不频繁
应用	单户住宅、公寓、小型商业客户	各类客户	各类客户	各类客户	各类客户

资料来源：顾问编绘。

## 蓄热

蓄热（TES）是太阳能区域供热系统的重要组成部分。TES技术有很多，适用于短期（几小时或几天）蓄热或季节性（长期）蓄热（STES）。

罐式蓄热（TTES）是世界范围内热电联产企业常用的一种短期蓄热、优化供热和发电的技术。TTES也可以完全或部分埋在地下，以发挥其隔热功能。地下TTES可以归类为地下蓄热（UTES），采用各种TES技术。本章主要介绍STES，特别是UTES，以及TES技术在太阳能区域供热系统中的应用。

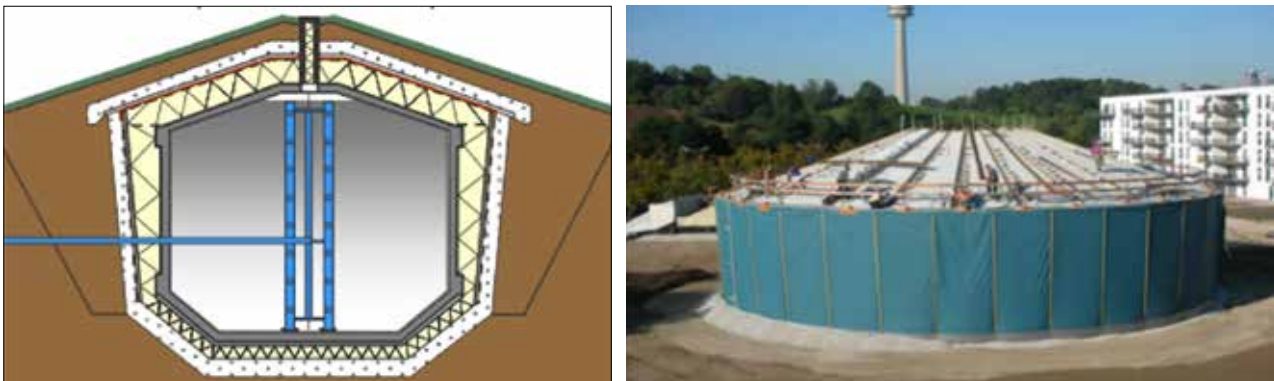
UTES利用地面进行蓄热蓄冷或隔热。UTES系统包括五种主要类型：（1）地下罐式蓄热（TTES）；（2）热井蓄热（PTES）；（3）岩洞蓄热（CTES）；（6）钻孔蓄热（BTES）；以及（5）含水层蓄热（ATES）。

除当地条件外，还必须考虑存储容量（以兆瓦时（MWh）计）、充放热容量（以兆瓦（MW）计）以及与区域供热系统的直接或间接连接。如果TES直接连接到区域供热系统，则会影响系统内的压力水平。

### 1. 罐式蓄热

全埋或部分埋于地下的TTES是钢罐或预应力混凝土储罐形式（图9），除了与地面的自然隔热外，还在结构周围采用隔热材料。储罐具有排水等多种功能，防止溢流，保持水中的溶解氧含量。TTES通常不耐压；因此，充水温度限制在100℃以下。

图9：地下罐式蓄热

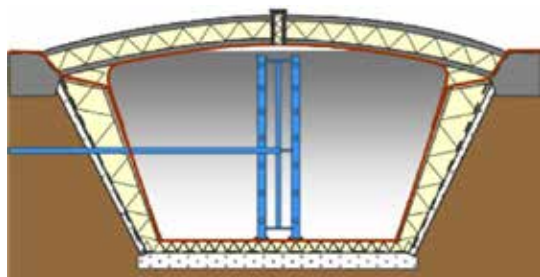


资料来源：Solites。

## 2. 热井蓄热

PTES是倾斜浅井形式，具有隔热井底、墙壁和上盖，没有固定结构（图10）。PTES主要有两种类型：（1）充水PTES；以及（2）充注水和砾石、沙子或土壤的混合物的PTES。充水热井需要相对复杂且价格高昂的不漏水上盖，通常漂浮在水面上。而对于充注水和砾石、沙子或土壤混合物的PTES，其上盖施工更为简单，热井上方的土地可用于各种用途。

图10：热井蓄热

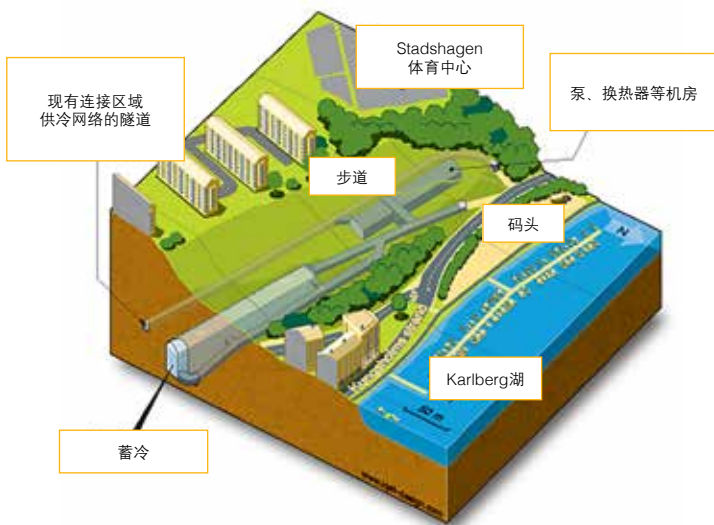


资料来源：Solites。

## 3. 岩洞蓄热

CTES是一种使用岩洞蓄热的UTES技术（图11）。岩洞可以是旧储油岩库，废弃军用仓库，淹没矿井，或者专门建造的密室。专门建造蓄热岩洞的投资成本往往很高，而现有岩洞很少处于与供热系统相关的最佳位置。

图11：岩洞蓄热

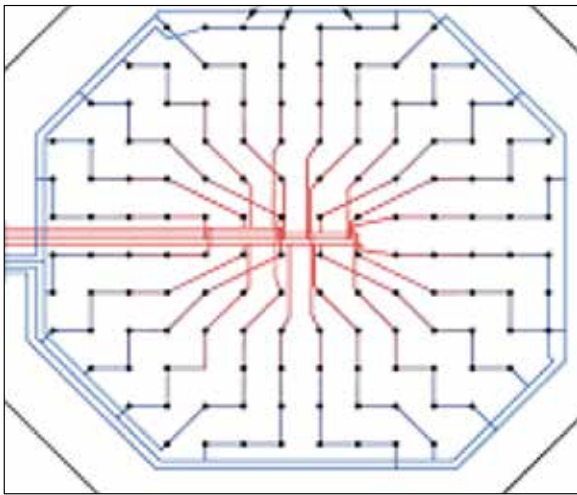
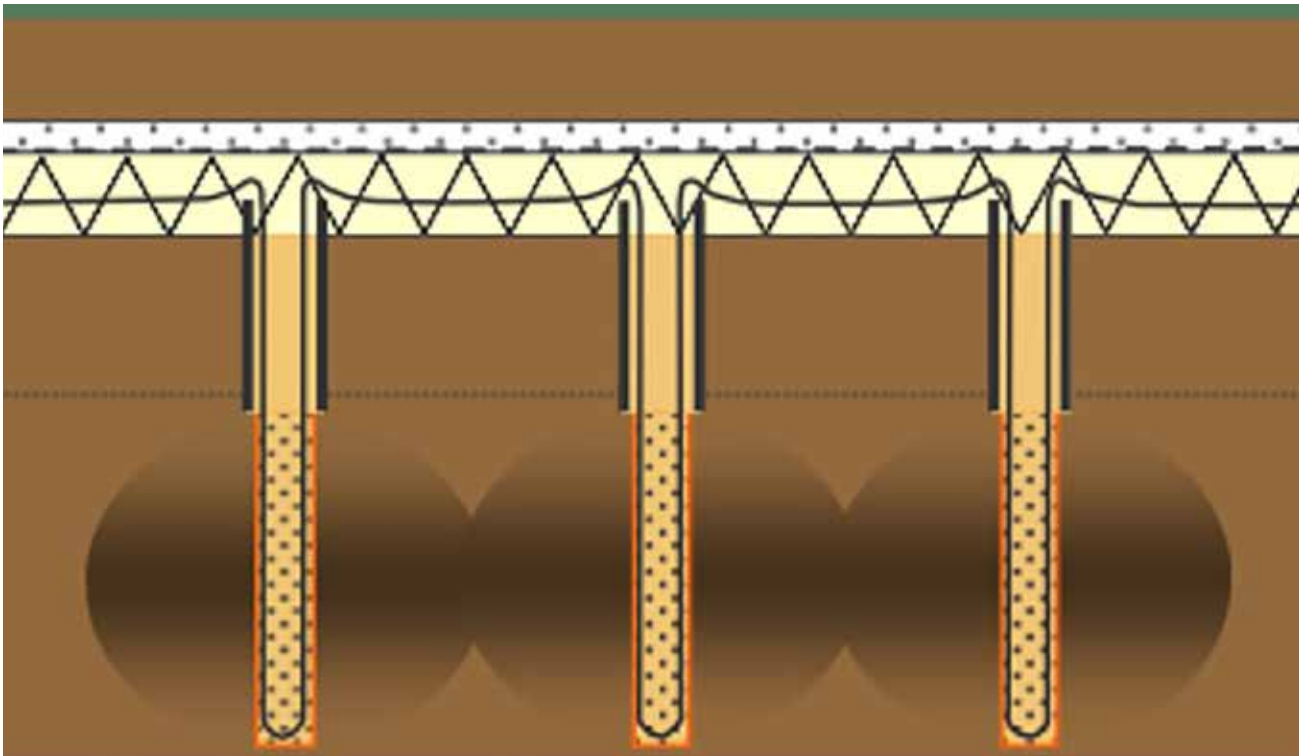


资料来源：顾问编绘。

#### 4. 钻孔蓄热

BTES（图12）本质上是一个垂直热交换器，使用U型管（管道）插入到地下粘土、沙子或岩石地层的垂直钻孔中，对直接存储在土壤中的热量进行充放热，同时水在U型管中流动。蓄热的上表面是隔热的。钻孔蓄热通常与热泵联合使用。

图12：钻孔蓄热

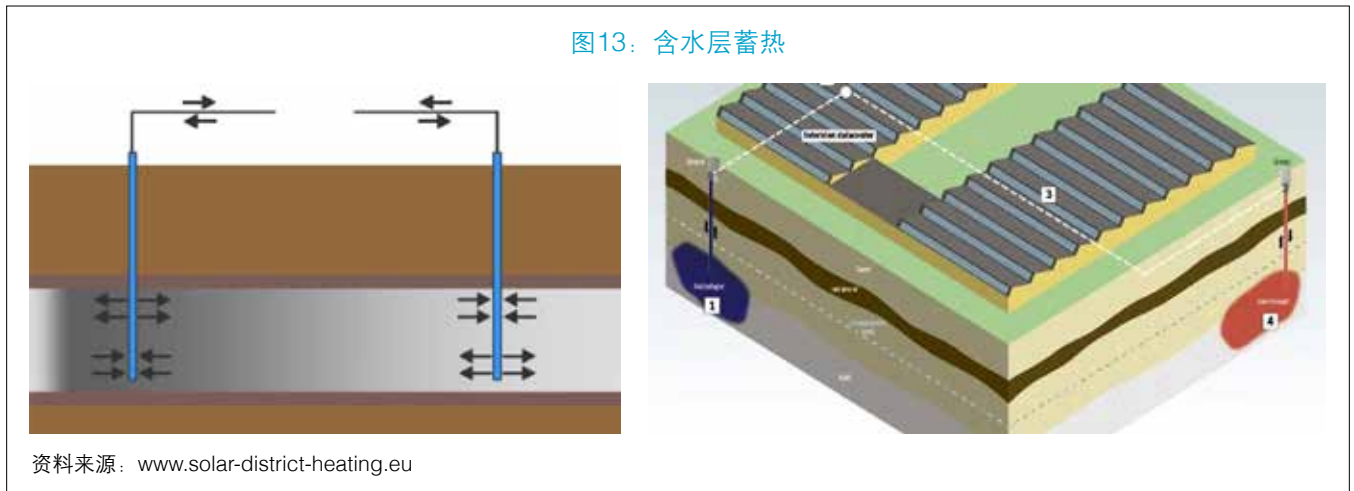


资料来源：Solites。



## 5. 含水层蓄热

ATES（图13）使用含水层——即自然形成的具有高导水率的透水砂子、砾石、砂岩或石灰石的地下层——来蓄热。为了保持含水层的水文平衡，钻探两口或两组井，一口/组井用于抽取冷地下水，另一口/组井用于地下水被热源加热后重新注入地下水。两口/组井均配有泵以及生产和注水管。这项技术的一个主要先决条件是是否有适宜的地质结构。



## 6. 其他蓄热技术

虽然显热储存在设计上相对便宜和简单，但其最主要的缺点是其能量密度低。相变材料（PCM）指在融化和冻结时吸收和释放热能的潜热储存材料，依赖这种材料的TES技术结合固—液、固—固两种相变过程，能量密度可提高数倍。这种技术用于短期（日常）或长期（季节性）储能，应用了多种技术以及冰、三水乙酸钠、固体石蜡和赤藓糖醇等材料。

另外一种TES技术是吸附式热化学储能（TCES）技术。

PCM和TCES都没有得到广泛的应用，尚无使用这些技术的SDH项目。这些技术刚刚进入商用，或仍处于研究阶段，但未来具有巨大的潜力和广阔发展前景。

### 7. 对比分析

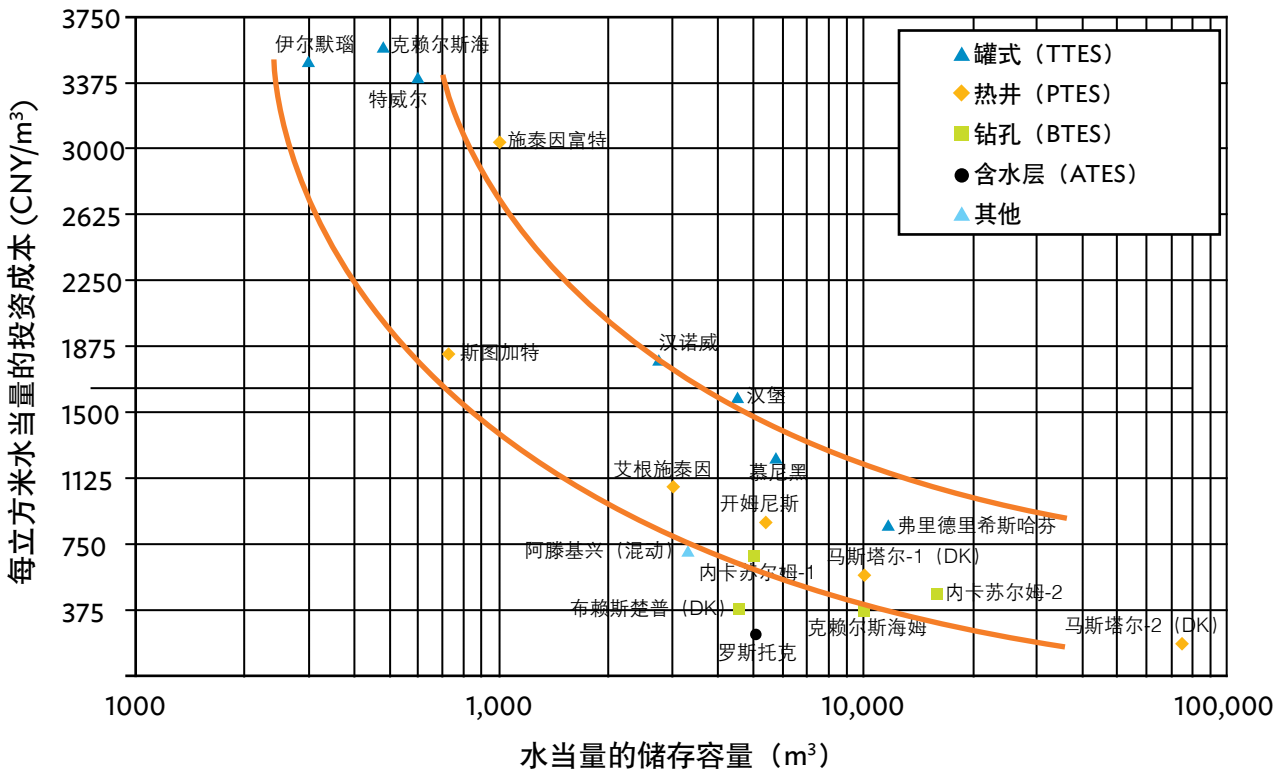
表2总结了一些TES技术的对比。分析表明，ATES对当地条件具有最严格的要求，其次是BTES。成本因技术、应用规模和当地条件而异。图14显示了欧洲TES项目的成本比较。结论显示，BTES和PTES是最具性价比的季节性储能方案，也是SDH最可行的储能方案。

表2：季节性储能技术对比

项目	TTES	PTES	ATES	BTES
储存介质	水	砾石—水	沙子—水/砾石—水	土壤/岩石
热容量, kWh/m <sup>3</sup>	60~80	30~50	30~40	15~30
每立方水当量的储存容量	1 m <sup>3</sup>	1.3 m <sup>3</sup> ~2 m <sup>3</sup>	2 m <sup>3</sup> ~3 m <sup>3</sup>	3 m <sup>3</sup> ~5 m <sup>3</sup>
地质要求	稳固的地面条件	稳固的地面条件	天然地下水层（含水层），导水率高	可钻孔地面
	宜没有地下水	宜没有地下水	顶部和底部的不透水层	高热容量
	5m~15m深	5m~15m深	没有或少量天然地下水流动高温下水化学工况适宜	导热性高 导水率低  天然地下水流量 小于1 m/a, 深度 30m~200 m

TTES = 罐式蓄热；PTES = 热井蓄热；ATES = 含水层蓄热；BTES = 钻孔蓄热；  
m = 米；m<sup>3</sup> = 立方米；m/a = 米/年；kWh = 千瓦时；kWh/m<sup>3</sup> = 千瓦时/立方米。  
资料来源：顾问编绘。

图14：欧洲蓄热项目成本



ATES = 含水层蓄热；BTES = 钻孔蓄热；DK = 丹麦；m³ = 立方米；PTES = 热井蓄热；CNY/m³ = 人民币/立方米；TTES = 罐式蓄热。  
 资料来源：太阳能区域供热：<https://www.solar-district-heating.eu/>





## 5. 太阳能区域供热的财务可行性

在研究SDH的财务可行性时，有很多变量需要考虑，每个项目都应该根据当地的具体情况进行评估。中国实施的SDH项目很少，不足以产生有意义的经验并提供财务指标。资本及运营开支在很大程度上因地区而异。

下列特定项目的具体指标影响资本及运营开支，并将决定SDH项目的财务可行性。

### 资本开支

- i. 太阳能集热器技术
- ii. 太阳能集热厂的规模
- iii. TES技术
- iv. TES规模
- v. 与区域供热系统的距离
- vi. 建造成本
- vii. 土地购置成本

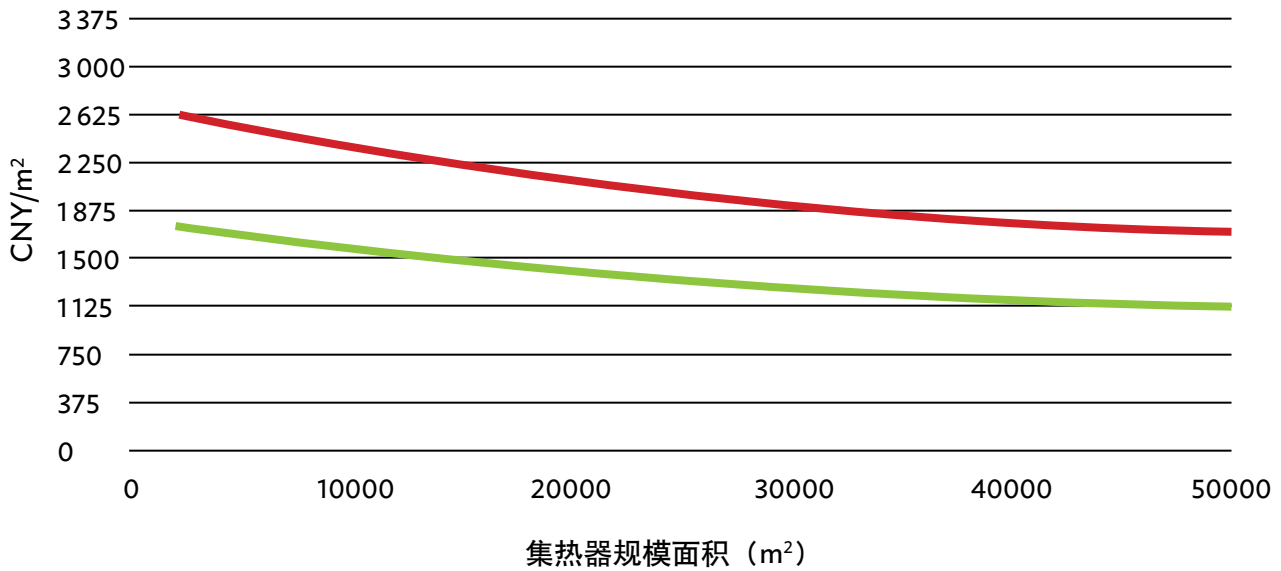
### 运营开支

- i. 太阳辐射
- ii. 太阳能集热厂的效率
- iii. 蓄热能力
- iv. 热量损失
- v. 附加成本
- vi. 维护成本

在进行财务分析时，必须牢记SDH的整体概念，SDH通常包括TES和辅助生产设施，如专供热能锅炉（HOB）、热电联产或热泵。

图15显示了欧洲不同规模太阳能集热器的参考投资成本（不包括TES和增值税）。任何规模的太阳能集热器成本都在红线和绿线之间。考虑到中国较低的生产成本和劳动力成本，这些成本预计将降低25%左右。

图15：欧洲太阳能集热器投资成本



CNY/m<sup>2</sup> = 人民币/平方米。

注：上图显示的是每平方米集热器的大致价格，包括安装、管道、换热器等，但不包括蓄热和增值税。

资料来源：太阳能区域供热：<https://www.solar-district-heating.eu/>

在中国，真空管集热器的投资成本约为2,400人民币/平方米。对于平板集热器，大约1,700人民币/平方米。

TES的成本不仅取决于蓄热类型，还取决于项目的规模和复杂性。规模优势特别显著。对于PTES，欧洲的参考项目表明，小型PTES9 (<1,000立方米[m<sup>3</sup>]) 的投资成本超过2,000人民币/立方米，而大型PTES (>50,000 m<sup>3</sup>) 的投资成本低于300人民币/立方米。

表3列出了不同热源的供热成本指标，包括资本、运营和财务成本。可以看出，SDH的成本与燃气锅炉、燃气热电联产，甚至与传统的燃煤专供热能锅炉相比都具有竞争力。

表3：不同热源的供热成本指标

热源	供热成本 (CNY/MWh)	tCO <sub>2</sub> e/MWh
太阳能DH	200-300	0.05
燃煤HOB	160-250	0.45
燃煤CHP	140-200	0.28
燃气HOB	290	0.23
燃气CHP	320	0.16

CNY = 人民币；MWh = 兆瓦时；tCO<sub>2</sub>e = 公吨二氧化碳当量；

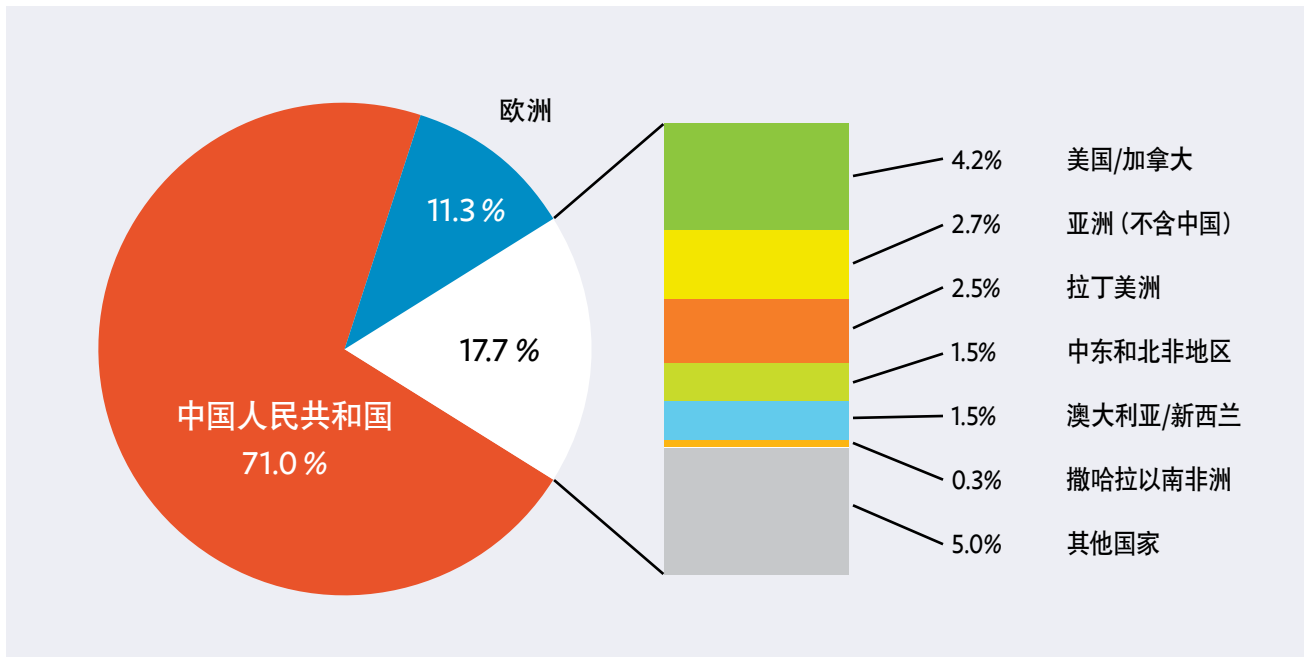
DH = 区域供热；HOB = 专供热能锅炉；CHP = 热电联产。

资料来源：顾问编绘。

## 6. 全球太阳能热能区域供热

截至2015年底，全球太阳能集热器装机面积6.23亿平方米，相当于约436千兆瓦热（GWth）容量。中国和欧洲合计占整个太阳能集热器市场的82%以上，中国占71%（309GWth），欧洲占11.3%（49GWth）（图16）。这里整个太阳能集热器市场包括各种应用以及供水集热器和供暖集热器。供水集热器约占全球太阳能集热器市场的99%。

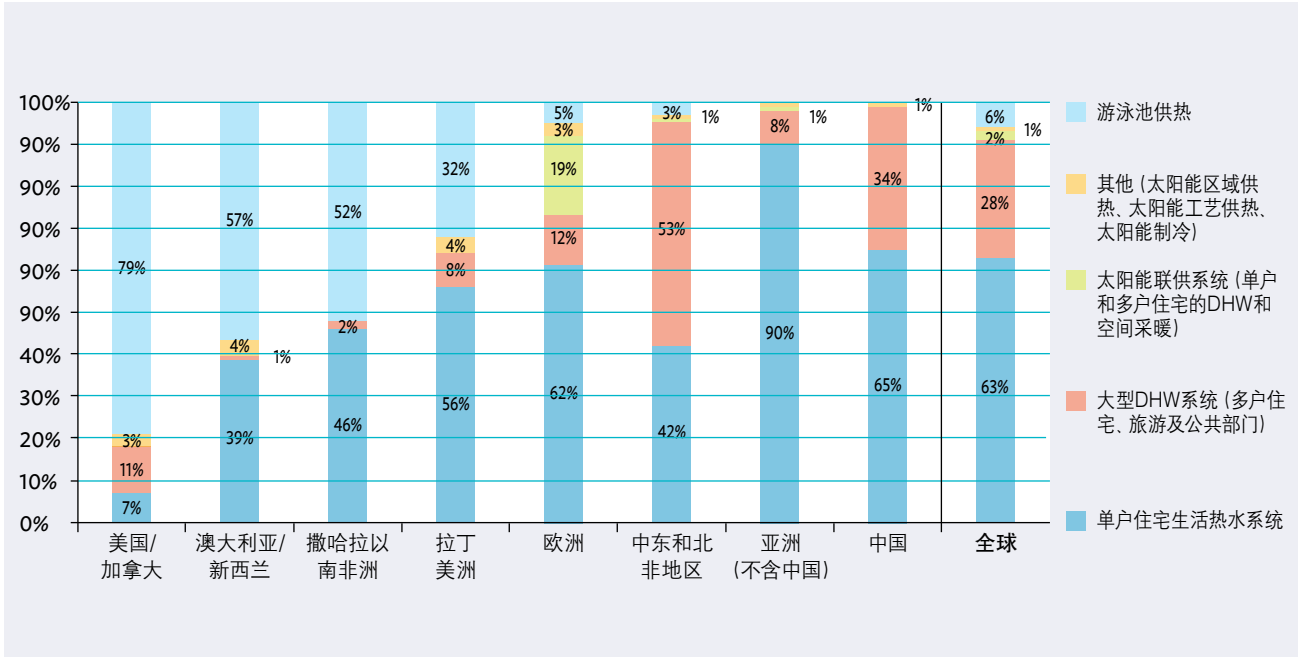
图16：截至2015年年底太阳能集热器总装机量的各地区比例



MENA = 中东和北非；NZ = 新西兰；PRC = 中国；US = 美国。  
资料来源：国际能源机构。

SDH在全球整个太阳能集热器市场中所占的份额不足1%，相当于不到4.4GWth。生活热水系统占整个市场的93%，相当于406GWth。

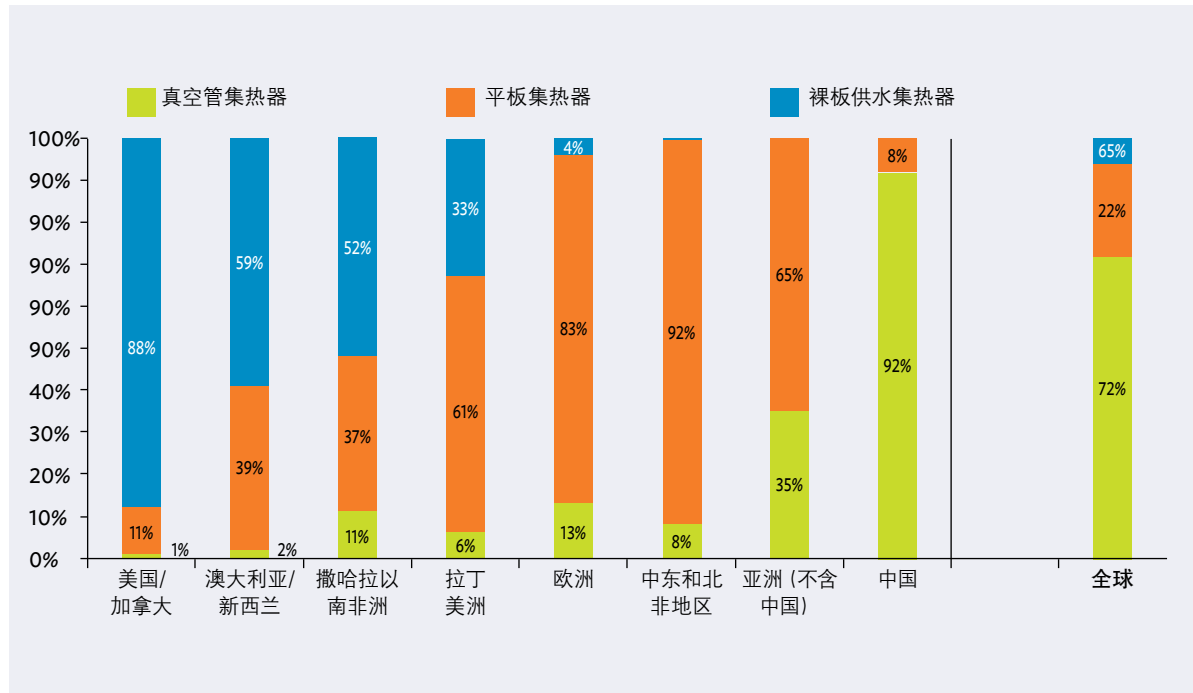
图17：截至2015年年底各地区太阳热能用途



DHW = 生活热水；US = 美国；MENA = 中东和北非；NZ = 新西兰；PRC = 中国。  
资料来源：国际能源机构。

平板集热器是全球大多数经济体中最普及的太阳能集热器技术。但就装机容量而言，真空管集热器最为普及，占总容量的72%（约314GWth）。在北美、澳大利亚/新西兰和撒哈拉以南非洲，裸板供水集热器是最普及的技术。

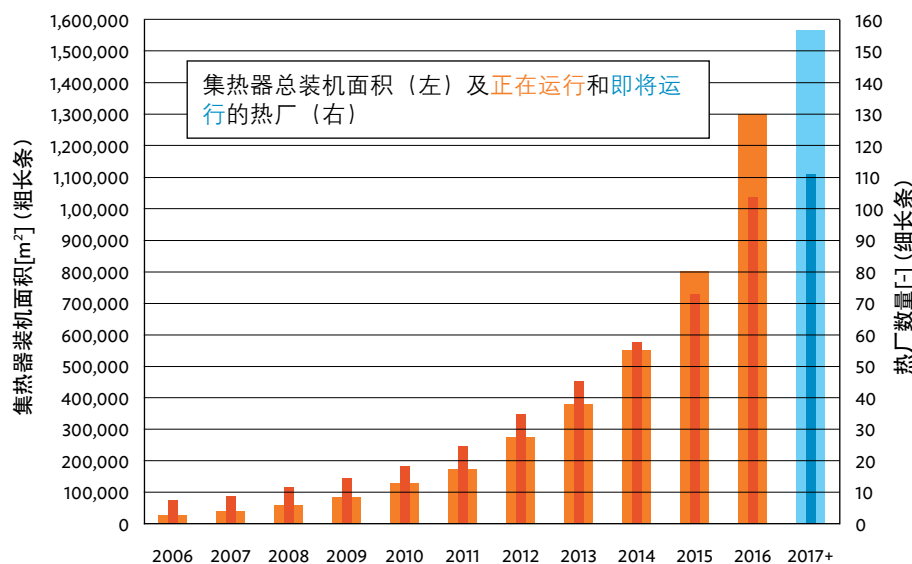
图18：截至2015年年底各地区的太阳能集热器技术



MENA = 中东和北非；NZ = 新西兰；PRC = 中国；US = 美国。  
资料来源：国际能源机构。

丹麦在SDH系统装机数量和装机容量方面是世界领先的经济体。丹麦全国SDH总装机容量约922 MWth，每个项目平均装机容量约为8.4 MWth。丹麦最大的SDH工厂位于锡尔克堡，总装机容量为110 MWth。图19显示了过去10年丹麦SDH的发展情况。附录3列出了丹麦实施的SDH项目。

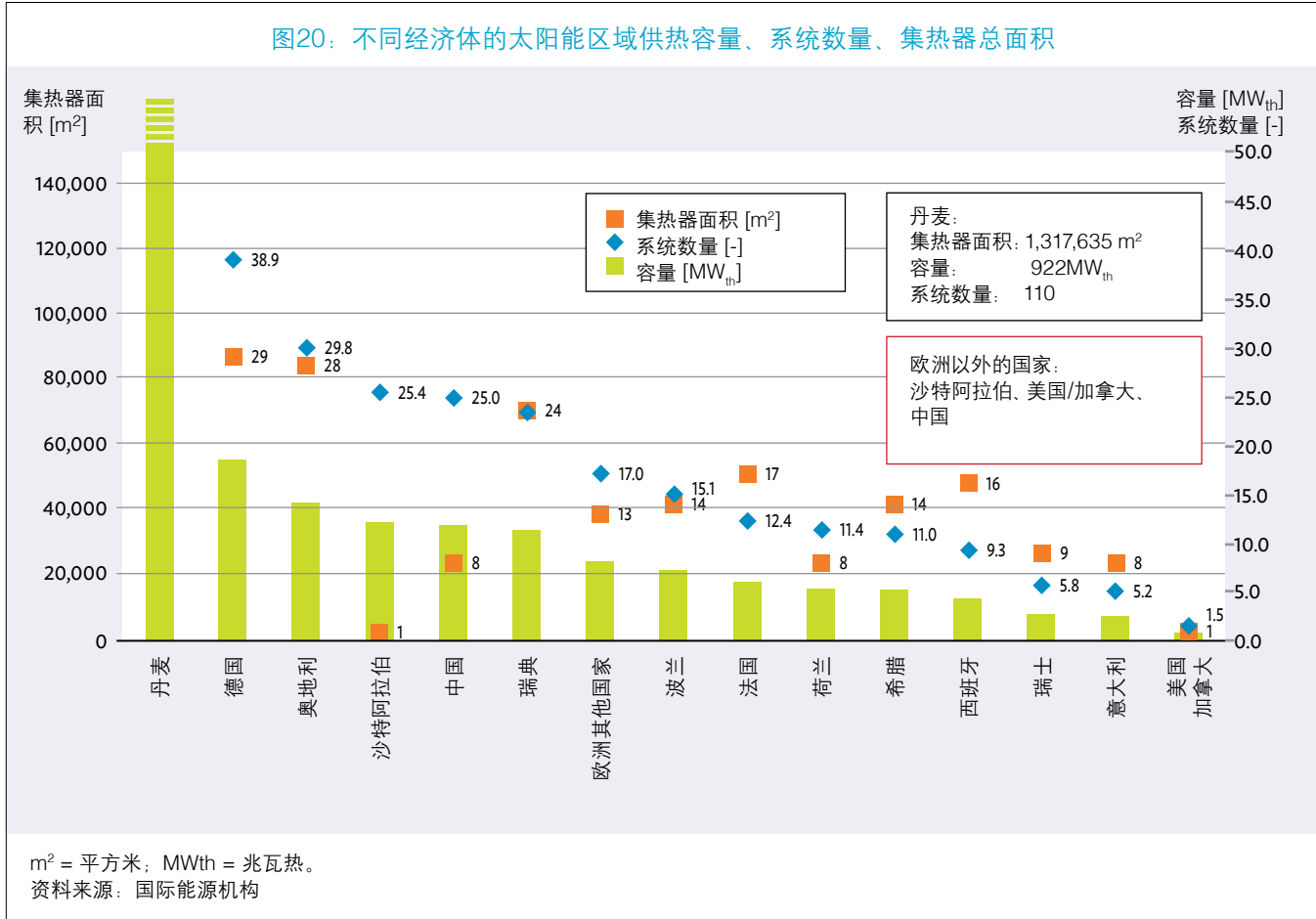
图19：丹麦太阳能集热器总装机面积和热厂数量



资料来源：丹麦区域供热委员会 (DBDH)。

图20显示了全球不同经济体的装机容量（MW<sub>th</sub>）、SDH系统的装机数量以及集热器总面积（m<sup>2</sup>）。丹麦在SDH领域的领先地位显而易见。

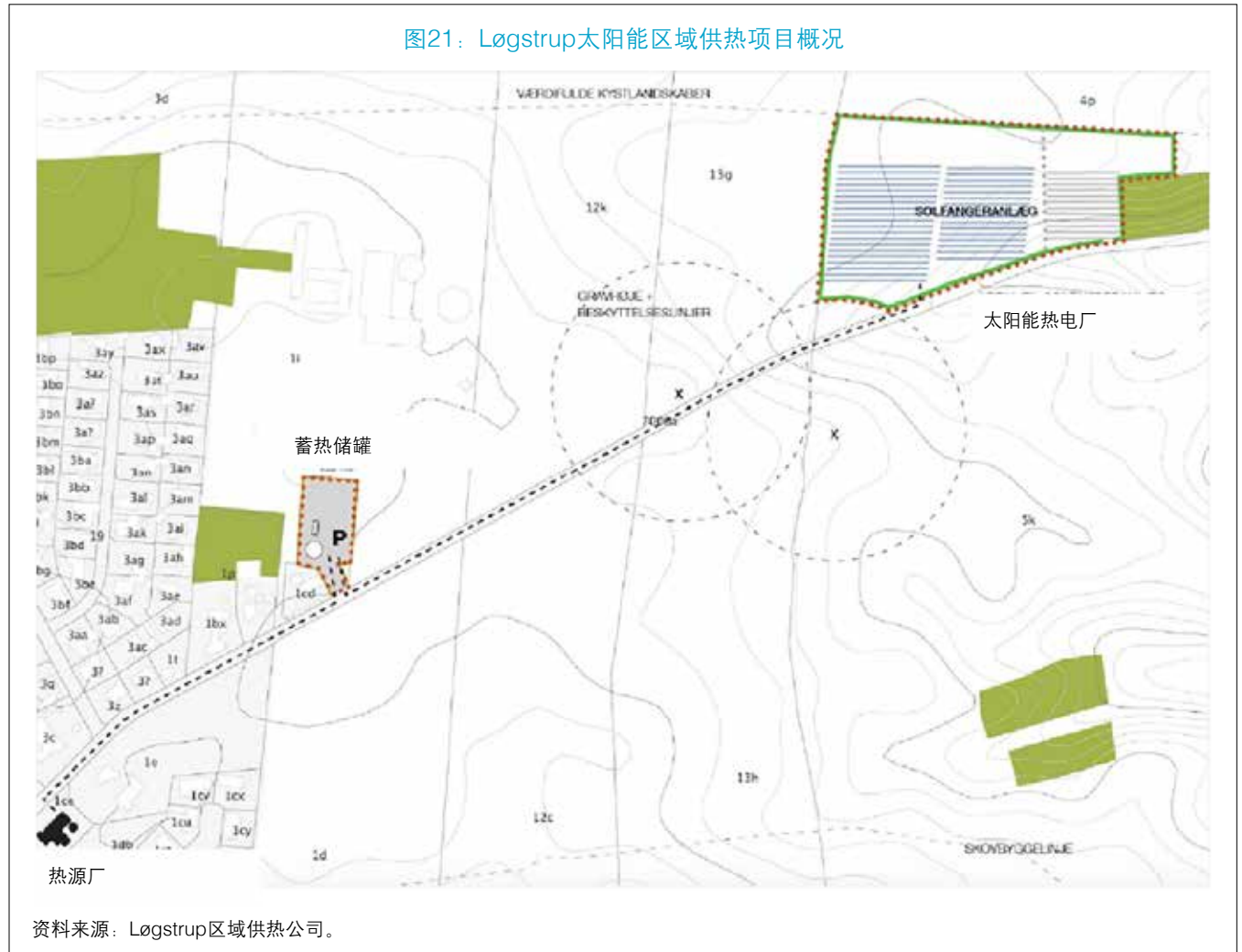
图20：不同经济体的太阳能区域供热容量、系统数量、集热器总面积



## Løgstrup太阳能区域供热项目

Løgstrup SDH项目包括新建大规模太阳能热电厂和蓄热储罐，以及扩建热源厂。

图21显示了项目地点的概况，包括主要设施。



该项目主要包括以下几个部分:

- i. 7,000 m<sup>2</sup>太阳能集热器
- ii. 2,000 m<sup>3</sup>蓄热储罐
- iii. 带有泵、阀门和其他辅助设备的热交换站
- iv. 6兆瓦 (MW) 燃气锅炉

表4列出了项目基准和两个备选项目的能源平衡和关键经济数据。可以看出，SDH项目的运行成本比没有太阳能热电厂的备选方案低21%。然而，SDH项目的投资成本为2,150万丹麦克朗，而燃气锅炉项目仅为280万丹麦克朗。与基准相比，SDH项目的简单投资回收期为11.8年。该项目的财务分析（本报告未列出）采用20年折旧期。需要注意的是，SDH资产的使用寿命超过20年。

表4：Løgstrup太阳能区域供热项目基准和备选项目的能源平衡和关键经济数据

		基准案例	燃气锅炉项目	SDH项目
<b>能源平衡</b>				
耗气量	Nm <sup>3</sup> /年	1,712,000	1,556,000	1,245,200
燃气发动机产热量	MWh/年	2,669	1,742	1,596
燃气锅炉产热量	MWh/年	13,731	14,658	11,334
太阳热能产热量	MWh/年			3,524
<b>总产热量</b>	<b>MWh/年</b>	<b>16,400</b>	<b>16,400</b>	<b>16,454</b>
燃气发动机净发电量	MWh/年	2,044	1,333	1,221
<b>投资</b>				
6 MWh燃气锅炉	DKK		2,314,926	2,314,926
太阳能热电厂(包括土地购置、地质调查等)	DKK			18,944,180
工程和辅助设备	DKK		383,000	2,050,000
<b>总计</b>	<b>DKK</b>	<b>0</b>	<b>2,847,926</b>	<b>21,547,106</b>
运营开支	DKK/年	7,654,479	7,360,624	5,828,568
每年节省	DKK/年		293,855	1,825,910
<b>简单投资回收期</b>	<b>年</b>		<b>9.7</b>	<b>11.8</b>

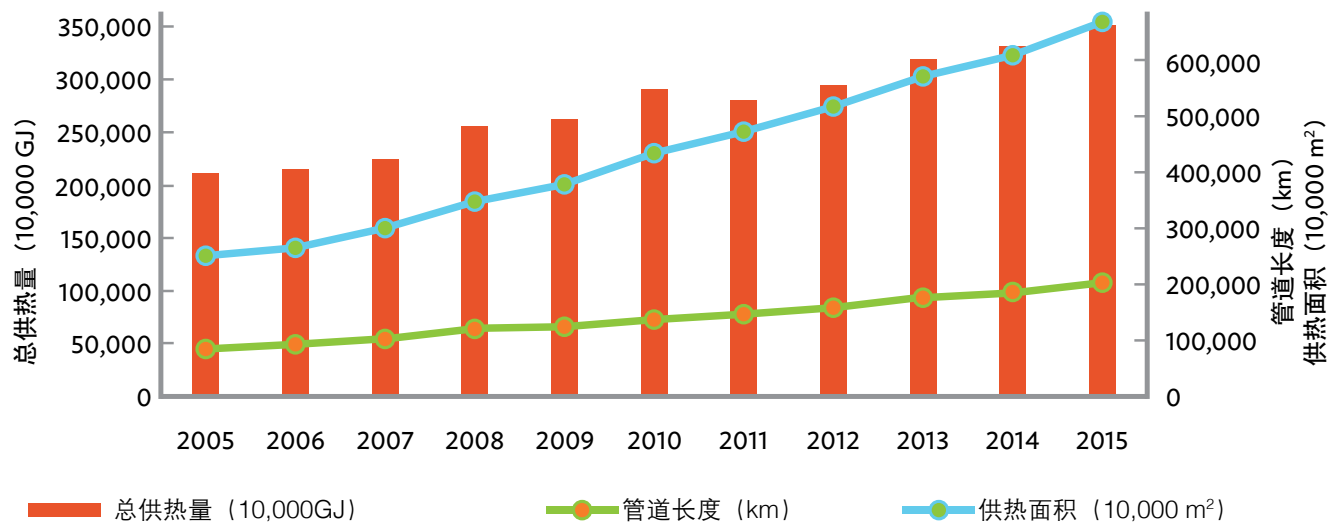
DKK = 丹麦克朗；MWh = 兆瓦时；Nm<sup>3</sup> = 标准立方米。  
资料来源：Løgstrup区域供热公司。



## 7. 中国太阳能区域供热市场

中国的区域供热行业规模是世界之最。2016年装机容量529GWth，其中热水区域供热占89%，蒸汽区域供热占11%。从年度能源供应（GJ）、管道长度（km）、供热面积（m<sup>2</sup>）来看，市场增长情况如图22所示。

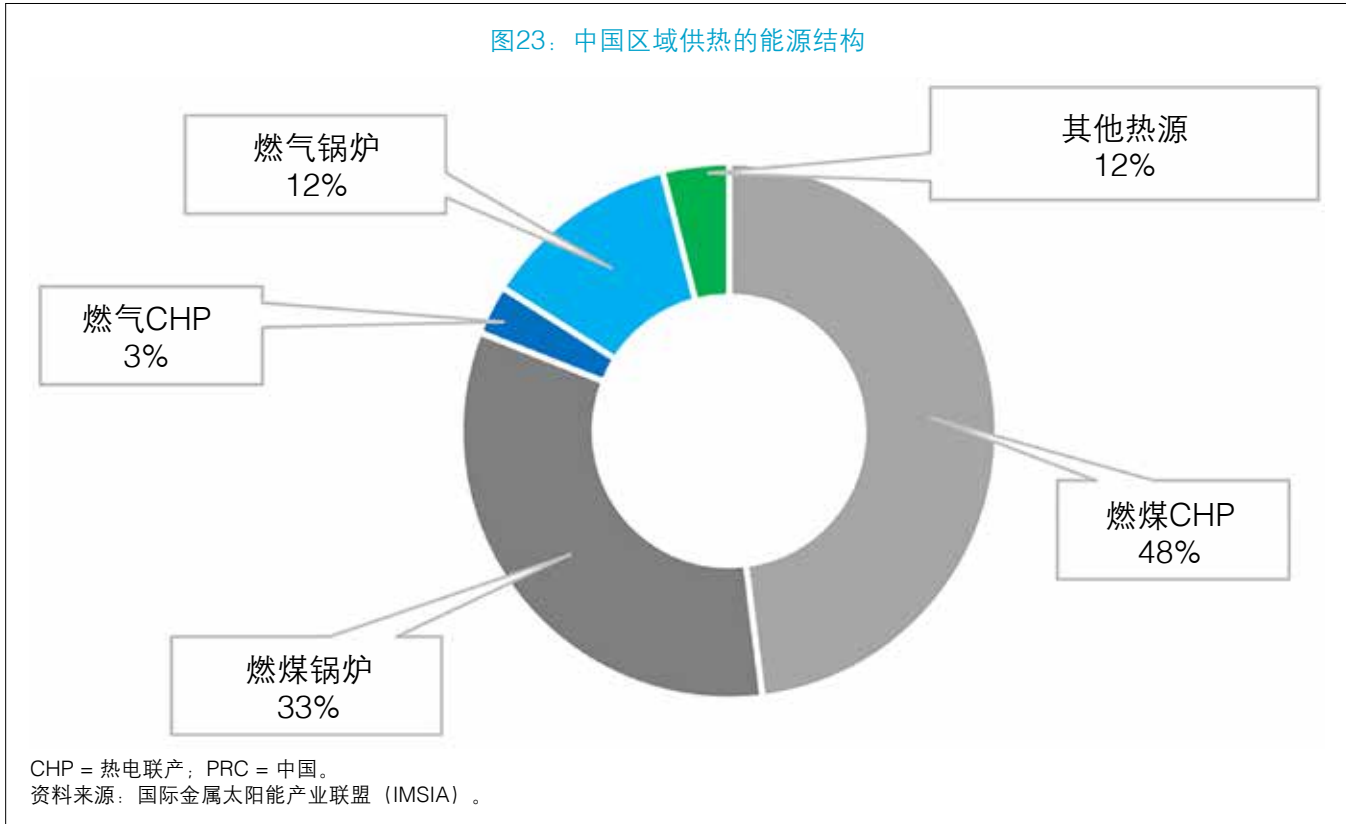
图22：2005—2015年中国区域供热市场的增长



GJ = 千兆焦耳；km = 公里；m<sup>2</sup> = 平方米。  
资料来源：国际金属太阳能产业联盟（IMSIA）。

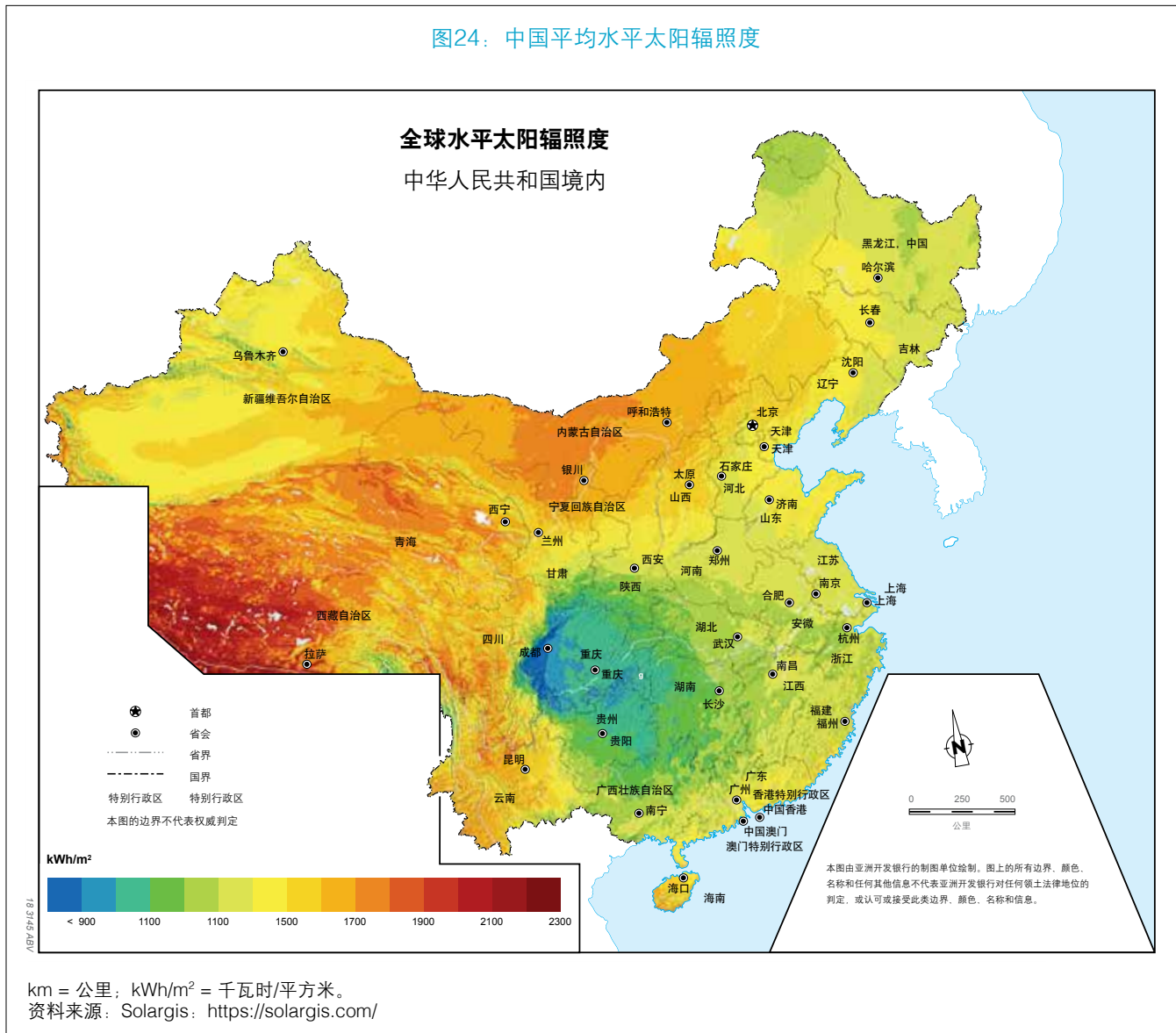
煤炭和燃气是我国区域供热的两大主要资源，2016年分别占区域供热总量的81%和15%。政府计划到2020年将非化石燃料的比重提高至15%，到2030年提高至20%——鉴于目前非化石燃料的比重不足4%，这一目标十分宏大。中国区域供热的能源结构如图23所示。

图23：中国区域供热的能源结构



中国平均水平太阳辐照度如图24所示。从图中可以看出，中国北方大部分地区太阳能资源丰富。西藏自治区太阳能资源最多，其次是新疆、青海、内蒙古和甘肃。与中欧和北欧相比，中国北部其他省份的太阳能资源也相对丰富。

图24：中国平均水平太阳辐照度



中国是全球太阳热能装机容量 (GW<sub>th</sub>) 和集热器面积 (m<sup>2</sup>) 最大的经济体。截至2015年底, 中国太阳能集热器装机面积达到4.421亿平方米, 相当于309GW<sub>th</sub>。就太阳热能装机容量和集热器面积而言, 中国都占据了全球71%的市场份额。

截至2015年底, 平板集热器占中国太阳热能装机容量的25GW<sub>th</sub>, 占中国太阳能集热器装机面积的3,560万平方米。真空管集热器分别为284GW<sub>th</sub>和占面积4.066亿平方米, 相当于装机容量和集热器装机面积的92%。

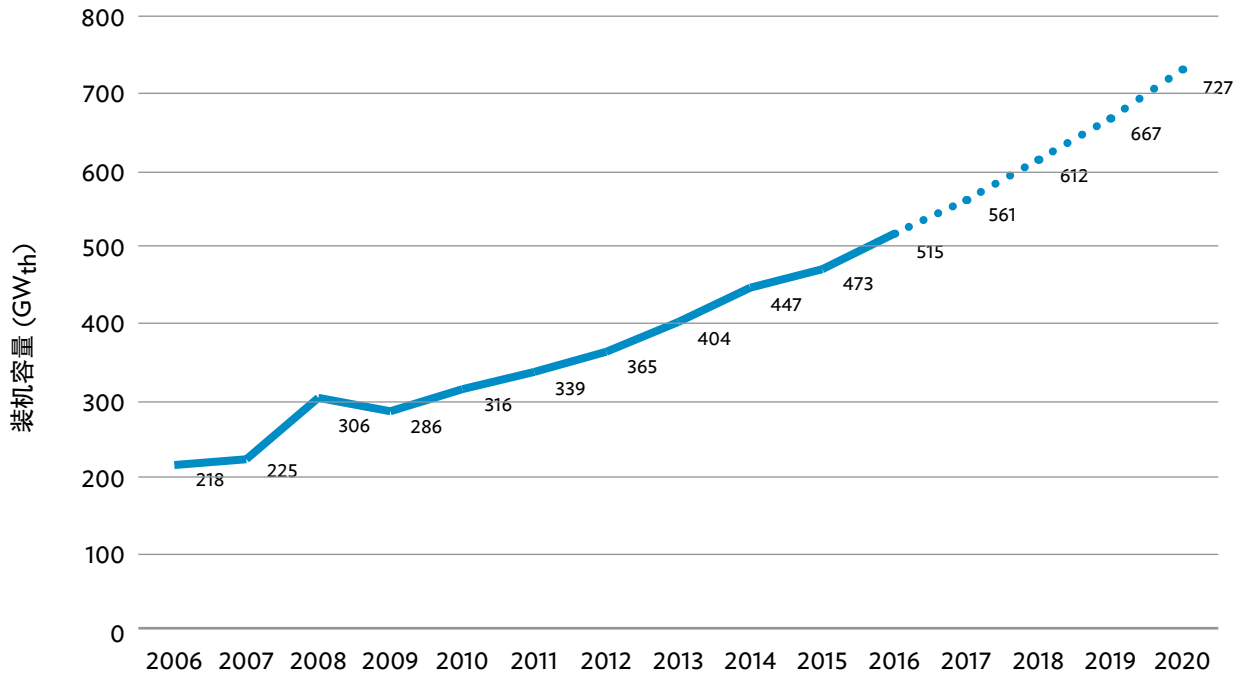
SDH项目只占中国太阳能供热项目的一小部分。根据数据来源的不同, 这些项目在中国的太阳能集热器装机面积从30,000平方米到155,000平方米不等。第9章(表7)所列SDH项目的太阳能集热器装机面积约为30,000平方米。按照太阳能集热器的平均热容系数约为0.7kW<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>计算, 中国的SDH装机容量为20MW<sub>th</sub> ~110MW<sub>th</sub>。

### 中国太阳热能区域供热的市场潜力

近年来, 中国热水区域供热管道长度平均增长10%, 装机容量平均增长9%, 年供热量平均增长7%。

图25显示了2006—2015年热水区域供热装机容量 (GW<sub>th</sub>) 的增长情况。2016—2020年的数据是基于假设的5年间9%的容量增长。

图25: 2006—2020年中国热水区域供热装机容量



GW<sub>th</sub> = 千兆瓦热。  
资料来源: 顾问编绘和预测。

基于区域供热市场的预测增长情况，表5列出了2018—2020年中国潜在SDH装机容量的情景。这些情景假设清洁能源将占中国区域供热的5%~20%，其中SDH将占清洁能源的5%~20%。

表5：2018—2020年不同普及水平下中国太阳能区域供热潜在装机容量

清洁区域供暖的份额												
SDH 份额	5%			10%			15%			20%		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
5%	1.5	1.7	1.8	3.1	3.3	3.6	4.6	5	5.5	6.1	6.7	7.3
10%	3.1	3.3	3.6	6.1	6.7	7.3	9.2	10	10.9	12.2	13.3	14.5
15%	4.6	5.0	5.5	9.2	10	10.9	13.8	15	16.4	18.4	20	21.8
20%	6.1	6.7	7.3	12.2	13.3	14.5	18.4	20	21.8	24.5	26.7	29.1

GW = 千兆瓦；PRC = 中国；SDH = 太阳能区域供热  
资料来源：顾问编绘和预测。

尽管中国目前SDH装机容量不足0.1GW，但其SDH潜力巨大。在上表列出的最保守的情景下，中国的SDH市场在未来几年可能会扩大20倍。如果假定已开发的SDH项目的平均太阳能装机容量为10MW，则可以合理预测实施150—200个项目。

### 可行区域供热方案

在中国，区域供热主要用于舒适供热，且局限于每个城市的局部供热季节。由于太阳能资源在夏季最为富足，季节性储热是SDH项目可行性的前提。

太阳能技术是一种资本成本相对较高但运营成本较低的生产技术，最适合满负荷运行若干小时的基础负荷利用。在欧洲，每年20%~50%的能源供应通常来自SDH系统的太阳能，并辅之以资本成本相对较低但运营成本较高的生产设施。同样的概念也适用于中国。SDH与热泵相结合，同时采用风力驱动，将形成高效、环保的区域供热方案。

中国的传统区域供热系统通常在高达120°C~130°C的供热温度下运行。采用新式区域供热系统并降低供热温度将提高效率。例如，在县市等地的小范围地区，使用的温度水平更接近于二次供热网络或第四代区域供热系统（40°C~50°C）。

带有集中式专供热能锅炉或热电联产的传统系统也可以集成太阳能热电厂。与SDH相关的问题还包括土地可用性和成本。为了解决人口密集地区的这类问题，可以使用长输热线路输送来自偏远生产点的热量。值得注意的是与生物质发电的土地成本及其相关的机会成本相比，SDH的土地成本非常低，特别是如果考虑到项目生命周期内产生的能源。

以下因素决定了SDH方案的可行性：

- i. 廉价土地
- ii. 太阳能集热器（一般占全年能源需求的20%~50%）
- iii. 可再生余热和发电（用于生产高峰和高温工况）
- iv. 季节性蓄热
- v. 丰富的太阳能资源

### 优先省份

在中国，最适合SDH系统开发的地区应拥有相对丰富的太阳能资源、较长的供热周期以及现成的廉价土地。燃气和燃煤供应基础设施匮乏的地区将会进一步加大对SDH的激励力度。具有这些特点的省份包括西藏自治区部分地区、新疆、青海、内蒙古自治区和甘肃。

## 8. 中国支持使用太阳热能的立法和政策

在“十三五”规划（2010-2016）中，中国制定的最低目标是到2020年非化石能源占一次能源消费总量提高至15%，同时承诺在可再生能源领域投资2.5万亿元（2017年8月约合3,640亿美元）。京津冀及周边地区“2+26”城市清洁供热财政支持是中国决心落实这一目标的第一步。北京和天津每年将获得10亿人民币（约合1.4962亿美元）；省会城市，即石家庄、太原、济南和郑州，每年70亿人民币（约合10.5亿美元）；唐山、保定、廊坊、淄博、开封、晋城等地级城市，每年50亿人民币（约合7.4812亿美元）。

《可再生能源发展“十三五”规划》（2016—2020）制定了太阳能发展指南，例如“因地制宜加快各类中高温太阳热能技术在工业领域的应用，满足生活热水、空间采暖、蒸汽供热和制冷等方面的需求；推进跨季节太阳能蓄热供热工程”。

国家能源局在2016年12月8日发布的《太阳能发展“十三五”规划》（2016—2020）中进一步明确了布局太阳能的目标。

该规划的目标包括太阳能装机容量达到110千兆瓦（GW）（105GW太阳能光伏发电和5GW集中太阳能发电），以及太阳能集热器装机面积达到8亿平方米（560GW）。预计每年在太阳能供热领域投资1,000亿人民币（约合149.6亿美元）。到2020年底，民用太阳能集热器装机面积达到2亿平方米，工农业综合利用装机面积达到1.5亿平方米。该规划确定了以下太阳能供热和制冷的主要任务：

### 进一步推动太阳能热水应用

在太阳能资源适宜利用的地区，大中城市公共建筑、经济适用房、廉租房的太阳能热水工程，要从规划设计到建成、改建、复建、扩建等环节大力推进。

### 因地制宜推广太阳能供热制冷技术

在中国东北、华北等集中供热地区，积极推进太阳能与常规能源的融合，实现集中式或分布式供热。

在集中供热未覆盖地区，如中国东部和中部，以及长三角和珠三角地区，将太阳能、地热能或生物质形式的可再生能源与当地可再生能源相结合，将提高产热效率，同时减少环境影响，提高环境的可持续性。鼓励条件适宜的中小城镇和民用及公共建筑使用太阳能区域供热系统，建设生活热水、空间采暖和制冷的三联供系统。《太阳能发展规划》提出到2020年，在适宜地区建设200多座大型区域供热站，总供热面积达到400多万平方米。全国300多万户农村家庭将实施供热示范项目。

### 推进工农业领域太阳能供热

在新工业区（经济开发区）建设和传统工业区改造中，太阳能供热应与常规供热相结合，推动工业用能结构的清洁化，减少碳排放，节约能源。在印染、陶瓷、食品加工、农业大棚、养殖场等用热需求大且可利用太阳热能系统的行业，充分利用太阳能供热作为常规能源系统的基础能源。结合新能源示范城市和新能源产业园区、绿色能源示范县（区）等，建设一批太阳能供热工农业项目，集热器装机总面积达到2,000万平方米。

国家政策影响地方政策。例如，《河北省可再生能源发展“十三五”规划》（2016—2020）提出，要加快可再生能源创新发展，替代燃煤，到2020年，供热总面积预计将达到1.6亿平方米。建议采用太阳能集热器、太阳能供热、地源供热、干热岩供热、跨季节太阳能蓄热、生物质供热等技术。北京市日前宣布，针对与空气源热泵系统、地源热泵系统或集中式太阳能供热项目集成的TES设施，将为固定资产投资提供50%的资金支持。天津市还发布了《太阳能热水、空气源热泵系统、地源热泵系统、燃煤/燃气锅炉系统规范技术指导意见》。

图26概述了支持清洁供热的中国政策结构，详见表6。



图26：中国支持清洁供热的政策

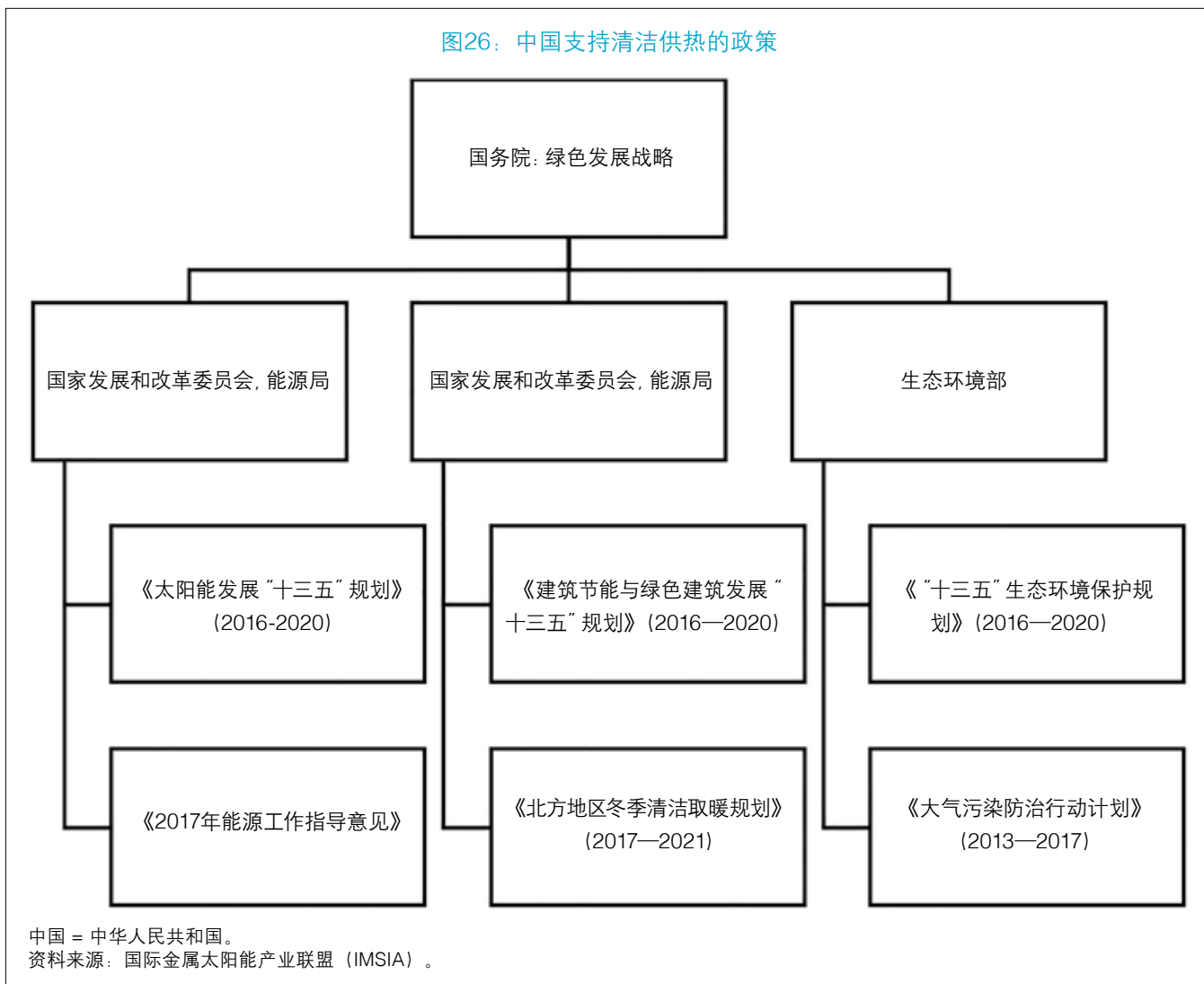


表6: 中华人民共和国政府部门制定的清洁供热指标

法规和规划	指标和目标
《太阳能发展“十三五”规划》 (2016—2020)	到2020年, 非化石能源占一次能源消费量的比重将提高至15%, 2030年达到20%。到2020年, 适宜地区将建成200多座太阳能区域供热站, 集热器装机面积将达到400多万平方米。结合“新农村”建设规划, 在全国农村地区推广300多万户太阳能热水示范项目。
《可再生能源发展“十三五”规划》 (2016—2020)	到2020年, 非化石能源占一次能源消费量的比重将提高至15%, 2030年达到20%。
《能源发展“十三五”规划》 (2016—2020)	到2020年, 可再生能源替代品将占供热和民用燃料约1.5吨tce。完太阳能(用于采暖和热水供应)使用量将达到9,600万tce(8亿平方米)。
《建筑节能与绿色建筑发展“十三五”规划》 (2016—2020)	到2020年, 非化石能源供应容量将提高到7.5亿tce, 非化石能源消费占一次能源消费量比重将超过15%。
《推广可再生供热技术的政策建议》	到2020年, 可再生能源替代品将取代民用建筑超过6%的常规能源消耗。  太阳热能在建筑物中的新利用面积将超过20亿平方米。
《大气污染防治行动计划》 (2013—2017)	到2017年, 非化石能源消费占一次能源消费量的比重将提高至13%。

m<sup>2</sup> = 平方米; tce = 公吨煤当量。  
资料来源: 国际金属太阳能产业联盟 (IMSIA)。

## 9. 案例研究

中国实施的太阳能项目中，SDH系统并不多。石家庄河北经贸大学的太阳能区域供热项目是一个大型项目，按照全球标准也是中国最大的SDH项目。

表7列出了中国实施的SDH项目。第一大项目和第二大项目在供热面积上的差距显而易见。

表7：中国实施的太阳能区域供热项目

项目	供热面积 (m <sup>2</sup> )	太阳能集热器 类型 (m <sup>2</sup> )	太阳能集热器 面积 (m <sup>2</sup> )	蓄热量 (m <sup>3</sup> )	蓄热期	太阳能系统投资 (百万人民币)
河北经贸大学，河北 石家庄	480,000	全玻璃真空管集 热器	11,600	20,292 (228 x 89)	季节性	40
西藏自治区日喀则火 车站	9,991	热管式真空管集 热器	2,000	2,500	季节性	不适用
宁夏红寺堡火车站	2,287	全玻璃真空管集 热器	320	10	每日	不适用
西藏自治区拉萨火 车站	19,504	热管式真空管集 热器	6,720	1,000	每日	不适用
西藏自治区那曲物流 中心	33,000	热管式真空管集 热器	7,616	770	每日	不适用

m<sup>2</sup> = 平方米； m<sup>3</sup> = 立方米； N/A = 不适用。  
资料来源：顾问编绘。

访谈（见附录1中的样本结果）显示，中国有大批项目正在审批过程中，而且许多项目预计将在未来几年实施。目前的主要挑战包括将技术集成到区域供热系统的复杂性，以及开发技术和财务上都可行的概念的必要性。下面详细介绍的两个项目，一个具有潜在挑战性（位于北京大安山地区），另一个可行性很高（位于北京延庆区康庄镇王家堡村）。

### 北京市大安山地区太阳能区域供热项目

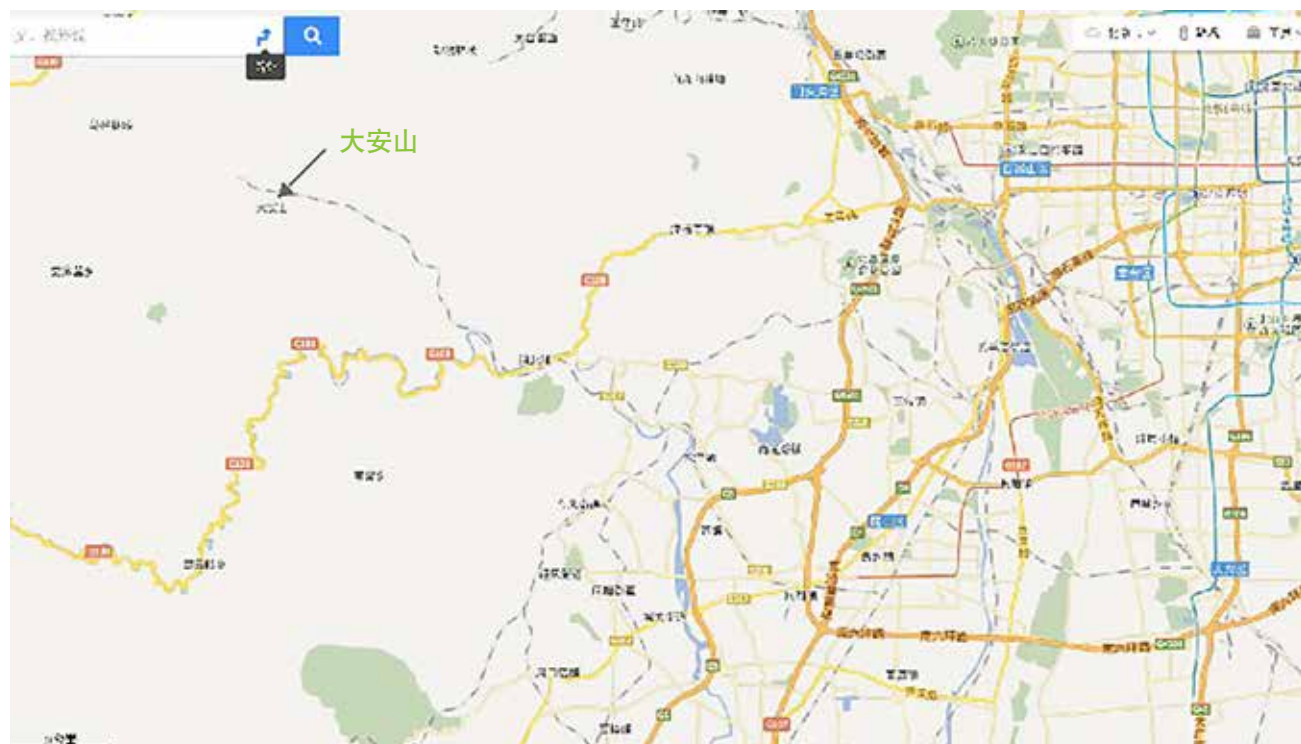
该项目于2017年进入可行性研究阶段。该项目将为北京西部相对偏远的山区提供低碳区域供热。过去该地区供热依赖的专供热能锅炉对当地造成了相当大的污染。该项目业主为北京热力集团有限责任公司。表8列出了该项目的信息。

表8：北京市大安山太阳能区域供热项目的信息

<b>建筑类型</b>	住宅和办公	
<b>消费类型（舒适供热/DHW）</b>	空间采暖和DHW	
<b>供热面积</b>	119,000 m <sup>2</sup>	
<b>每年消耗热量</b>	8,350 MWh	
<b>峰值负荷</b>	5 MW	
<b>SDH概念</b>	太阳能集热器	真空管 10,834 m <sup>2</sup> 8,800 MWh
	其他热源	太阳能热泵 5 MWth
	蓄热	PTES 80,000 m <sup>3</sup>
	区域供热系统	65 °C/45 °C
<b>投资成本</b>	1.26亿人民币	
<b>制热成本</b>	CNY450/MWh（不含财务成本和折旧）	

DHW = 生活热水；m<sup>2</sup> = 平方米；m<sup>3</sup> = 立方米；MWh = 兆瓦时；MWth = 兆瓦热。  
PTES = 热井蓄热；SDH = 太阳能区域供热；C = 摄氏；CNY = 人民币。  
资料来源：顾问编绘。

图27：北京市大安山太阳能区域供热项目地图及概况



资料来源：顾问编绘。

由于该项目不成熟，很难对其可行性作出最终评估。然而，表8所列的关键数字表明，与其他技术相比，该项目的财务可行性较低。在山区安装太阳能集热器也具有挑战性。

### 北京市延庆区康庄镇王家堡村太阳能区域供热项目

该项目于2017年开工建设，将于2017/2018年供热季部分投产，预计2018年完工。该项目的主要承包商是天普太阳能，该公司也为项目提供平板。表9列出了该项目的信息。

表9：北京市延庆区康庄镇王家堡村太阳能区域供热项目的信息

<b>建筑类型</b>		单户住宅
<b>消费类型</b>		空间采暖
<b>供热面积</b>		19,000 m <sup>2</sup>
<b>每年消耗热量</b>		不适用
<b>峰值负荷</b>		1.9 MW
<b>SDH概念</b>	太阳能集热器	平板式 2,400 m <sup>2</sup> 1.68 MW 8,935 GJ
	其他热源	热泵 0.42 MW 1,814 GJ
	蓄热	BTES 500口井，深100 m 1.48 MW, 7,148 GJ
	区域供热系统	风机盘管 45 °C/40 °C
<b>投资成本</b>		2,000万人民币
<b>制热成本</b>		CNY166/MWh (不含财务成本和折旧)

BTES = 钻孔蓄热；GJ = 千兆焦耳；m = 米；m<sup>2</sup> = 平方米；MW = 兆瓦；MWh = 兆瓦时；  
MWh = 兆瓦热；N/A = 不适用；SDH = 太阳能区域供热；CNY = 人民币。  
资料来源：顾问编绘。



图28：北京市延庆区康庄镇王家堡村太阳能区域供热项目地图及概况



资料来源：顾问编绘。地图数据：谷歌地球；注释：咨询顾问。

该项目相对不成熟，难以最终评估其可行性。但项目规划和初步研究表明，该项目有望成为中国最可行的项目之一。所采用的技术、地理条件和设计遵循了本研究确定的项目成功原则。尽管该项目规模仍小于许多国际SDH项目，但精心规划的小规模可行项目，可以作为今后大规模项目的模板。



## 10. 结论和建议

只要系统设计合理且位置适宜，SDH项目在中国可行。太阳能集热器技术最适合SDH，但需要因地制宜，因此平板集热器通常而言最为合适。平板集热器、真空管集热器等高效太阳能集热器在中国市场有售。采用何种技术可以在项目开发的可行性研究过程中最终确定。

市场潜力巨大。据保守估计，未来几年可能会实施150—200个项目。中国有望超越丹麦成为实施SDH项目最多的经济体。虽然中国有间接支持SDH的政策，但需要更具体的政策和激励模式来促进SDH系统的发展。加大项目开发力度，同时也将推动中国区域供热行业使用可再生能源。

对各SDH开发方案的分析结果表明，太阳能集热器应与季节性蓄热和配套生产设施结合使用，太阳能在SDH年供热量中所占比例通常为20%~50%。

以下总结了SDH在中国的优势、劣势、机会和威胁（SWOT分析），概述了SDH的商业环境。

### 优势

- i. 少量（或没有）温室气体排放
- ii. 环境效率提高
- iii. 使用寿命超过25年，降低维护成本，提高管理水平
- iv. 比燃煤热电联产、天然气和生物质更具财务竞争力（在适当的前提下）

### 劣势

- i. 初始成本（前期投资）高
- ii. 技术可行性依赖土地可用性
- iii. 缺乏激励和监管
- iv. 需要精心组织和协调规划、设计和项目实施

### 机会

- i. 巨大的市场增长潜力
- ii. 提高市民及政府的环保意识
- iii. 从区域供热行业增加可再生能源的政策中获益
- iv. 成功案例

### 威胁

- i. 缺乏整合可再生能源的强制性政策
- ii. 农村项目融资不足
- iii. 可行性研究差强人意
- iv. 项目规划、设计和实施人员经验不足

中国太阳能项目大多数用于单户家庭，通常使用廉价但劣质的太阳能集热器技术。项目失败率高，引起最终用户不满，影响公众对SDH的看法。但如果SDH得到正确规划、设计、实施和运行，将会带来区域供暖效益，如供热更高效、更可靠、更舒适、更环保。

新开发SDH系统时，应优先考虑拥有丰富太阳能资源和可用土地的地区，最好是小社区，分布集中，无需过高温度的。

中国如需进一步推广SDH，建议采取以下措施：

- i. 提高公众对SDH效益、优势和机会的认识。
- ii. 开发SDH项目可行性评估工具。
- iii. 编制中国SDH最佳实践手册，涵盖整个项目价值链。
- iv. 确定SDH试点项目，作为国际区域供热最佳实践模板。

## 附录1——样本访谈结果

### 访谈1

受访人	韩建功 桑普太阳能总经理
采访人	迈克尔·杰克布森 (Mikael Jakobsson) 李少芳
问题	回答 (在讨论的基础上进行解释/缩减)
1. SDH在中国是如何定义的?	SDH在中国没有标准定义。
2. SDH在中国是否可行 (与其他可再生能源相比, 并考虑适宜的地区以及农村与城市、新旧DHS的对比)?	目前还很难说SDH在商业上是否可行。在太阳能资源丰富、资金充足的地区, SDH试点项目值得研究和实施。看看光伏行业, 20年前中国没有人能预料到这个行业会发展得如此成功。但是现在, 光伏的商业化应用已经非常成熟。
3. SDH在中国面临哪些主要挑战?	土地资源与价格、技术集成和部件成本是主要限制因素。应提高公众对SDH效益的认识。应该加大营销力度, 制定合理的时间表。有些太阳能集热器的质量无法接受。
4. SDH在中国有哪些主要优势?	我们拥有强大的太阳能集热器生产能力。
5. 哪种太阳能集热器技术在中国最可行 (技术和财务方面)?	玻璃管集热器和平板集热器均可用于SDH。在可靠性、技术成熟度以及与大型系统集成方面, 平板集热器更为合适。也可使用高温集热器等其他技术, 但在应用前需要更多研究。
6. 中国最可行的太阳能热概念是什么 (结合TES、HP、HOB)?	SDH应与TES、HP、HOB等能源供应设施相结合。应该研究确定其中哪一种是最适宜的辅助能源。
受访人的其他意见	重视研发, 加强营销; 将其他能源与太阳能相结合; 循序渐进推广SDH; 引进先进技术; 提高客户和金融机构等对SDH的认识。太阳能区域供热是未来太阳热能行业的发展方向。

DHS = 区域供热系统; HOB = 专供热能锅炉; HP = 热泵; PRC = 中国; PV = 光伏; R&D = 研究与开发; RE = 可再生能源; SDH = 太阳能区域供热; TES = 蓄热。

## 访谈2

受访人	何梓年 北京市太阳能研究所教授
采访人	迈克尔·杰克布森 (Mikael Jakobsson) 李少芳
问题	回答 (在讨论的基础上进行解释/缩减)
1. SDH在中国是如何定义的?	SDH没有标准定义, 只适用于太阳能供热 (与太阳能电池板集成的供热系统)。
2. SDH在中国是否可行 (与其他可再生能源相比, 并考虑适宜的地区以及农村与城市、新旧DHS的对比)?	每种能源都有自身的特点和适用范围。我不认为太阳能优于或劣于其他形式的可再生能源。太阳能的使用应当因地制宜。在某些情况下可行, 而在另一些情况下则不可行。总体而言, 中国北方大城市的村庄、小城镇和郊区更适合使用太阳能供热。
3. SDH在中国面临哪些主要挑战?	政策和技术障碍是主要的挑战。政府应出台政策推广太阳能供热, 为太阳能供热项目提供土地购置和融资便利。从技术上讲, 我们没有足够的太阳能供热经验。我们应该向太阳能供热系统发达的丹麦等国家学习。
4. SDH在中国有哪些主要优势?	我们拥有全球最强的太阳能集热器生产能力, 为太阳能供热发展提供了坚实的基础。
5. 哪种太阳能集热器技术在中国最可行 (技术和财务方面)?	每种集热器都有自身的特点和适用范围。很难说哪一种可行性最高。
6. 中国最可行的太阳能热概念是什么 (结合 TES、HP、HOB)?	带有季节性蓄热储罐的太阳能供热系统前景看好。
受访人的其他意见	与丹麦等太阳能供热产业发达的国家相比, 中国具有较强的太阳能供热潜力。在丹麦等这些国家, 用于供热的太阳能集热器占有所有太阳能集热器的20%~30%。然而, 中国这一比例仅为2%~3%; 其他太阳能集热器用于生活热水。我们应加强公众咨询, 提高对太阳能供热效益的认识, 促进太阳能供热得到更广泛的应用。

DHS = 区域供热系统; HOB = 专供热能锅炉; HP = 热泵; PRC = 中国; PV = 光伏; R&D = 研究与开发; RE = 可再生能源; SDH = 太阳能区域供热; TES = 蓄热。

### 访谈3

受访人	郑瑞澄 中国建筑科学研究院高级顾问
采访人	迈克尔·杰克布森 (Mikael Jakobsson) 李少芳
问题	回答 (在讨论的基础上进行解释/缩减)
1. SDH在中国是如何定义的?	这是使用太阳能集热器阵列并覆盖许多用户的供热系统。
2. SDH在中国是否可行 (与其他可再生能源相比, 并考虑适宜的地区以及农村与城市、新旧DHS的对比)?	可行。我们过去建造了很多太阳能生活热水系统。现在是时候建造太阳能供热系统了。太阳能生活热水业务正在放缓, 政府正在推广清洁能源供热, 尤其是在中国西北部和东南部的村镇。
3. SDH在中国面临哪些主要挑战?	项目实施管理和运营管理等管理问题是主要障碍。太阳能项目失败的主要原因是项目准备不足和经营管理不善, 尤其是在村庄。
4. SDH在中国有哪些主要优势?	我们拥有成熟的太阳能集热器制造行业, 以及丰富的生活热水项目经验。
5. 哪种太阳能集热器技术在中国最可行 (技术和财务方面)?	各种太阳能集热器都能使用。现在平板集热器使用更多。
6. 中国最可行的太阳能热概念是什么 (结合 TES、HP、HOB)?	与HP相结合的太阳能集热器更为可行。季节性蓄热储罐也可行。
受访人的其他意见	

DHS = 区域供热系统; HOB = 专供热能锅炉; HP = 热泵; PRC = 中国; PV = 光伏; R&D = 研究与开发; RE = 可再生能源; SDH = 太阳能区域供热; TES = 蓄热。

## 访谈4

受访人	<b>李仁星</b> 天普太阳能总经理 lrx@tianpu.com, +8613911373299
采访人	迈克尔·杰克布森 (Mikael Jakobsson) 李少芳
问题	回答 (在讨论的基础上进行解释/缩减)
1. SDH在中国是如何定义的?	SDH在中国没有标准定义。
2. SDH在中国是否可行 (与其他可再生能源相比, 并考虑适宜的地区以及农村与城市、新旧DHS的对比)?	在有良好政策支持和太阳能资源的地区是可行的。
3. SDH在中国面临哪些主要挑战?	SDH政策支持不足。太阳热能行业没有得到政府足够的重视。
4. SDH在中国有哪些主要优势?	有可用的太阳能产品, 以及丰富的太阳能资源。清洁能源供热越来越受到人们的关注。
5. 哪种太阳能集热器技术在中国最可行 (技术和财务方面)?	平板集热器最合适。
6. 中国最可行的太阳能热概念是什么 (结合 TES、HP、HOB)?	这需要因地制宜。季节性蓄热是一个不错的方案。
受访人的其他意见	

DHS = 区域供热系统; HOB = 专供热能锅炉; HP = 热泵; PRC = 中国; PV = 光伏; R&D = 研究与开发; RE = 可再生能源; SDH = 太阳能区域供热; TES = 蓄热。

## 附录2 —— 1986—2016年发表的关于太阳热能的论文和文章

年份	太阳能供热状态	太阳能集热器技术	TES	技术及财务分析	环境影响及效益	运营和管理	国际惯例介绍	控制	总计
1986									0
1987									0
1988									0
1989									0
1990				1					1
1991		1							1
1992									0
1993		1							1
1994									0
1995									0
1996									0
1997		1							1
1998		3						1	4
1999		2		1					3
2000		4		3				2	9
2001	1	16		5			1	1	24
2002	1	9		2				2	14
2003	5	24		7				2	38
2004	5	20		8	1			7	41
2005	4	18	3	9	1	1	1	6	43
2006	9	40	1	17	1		1	17	86
2007	13	43	3	27	1	1	1	15	104
2008	17	43	1	23			4	23	111
2009	12	57	4	32		1	2	25	133
2010	25	75	5	40	2	2	1	22	172
2011	20	80	3	26	3	1	1	23	157
2012	20	79	6	43	3	2	2	28	183
2013	26	84	8	36		2	5	24	185
2014	25	86	4	39	2	1	2	39	198
2015	27	86	1	37	3	2	2	26	184
2016	10	66	2	27	1			27	133
<b>总计</b>	<b>220</b>	<b>838</b>	<b>41</b>	<b>383</b>	<b>18</b>	<b>13</b>	<b>23</b>	<b>290</b>	<b>1,826</b>

TES = 蓄热。

资料来源：万方数据搜索引擎。

## 附录3——1988—2016年丹麦实施项目

工厂	开始运营	所有人	地点	太阳能集热器 装机面积 (m <sup>2</sup> )	装机容量 (kW)	太阳能集 热器类型	TES类型
Silkeborg	2016	Silkeborg Forsyning A/S	Silkeborg	156,694	110,000	FPC	
Vojens	2012—2014年扩建	Vojens Fjernvarme	Vojens	70,000	49,000	FPC	WTES
Gram	2009	Gram Fjernvarme	Gram	44,836	31,385	FPC	无
Dronninglund	2014	Dronninglund Fjernvarme	Dronninglund	37,573	26,300	FPC	WTES
Marstal	1996	Marstal Fjernvarme	Marstal	33,300	23,300	FPC	WTES
Ringkøbing	2010—2014年扩建	Ringkøbing Fjernvarmeværk	Ringkøbing	30,000	21,000	FPC	无
Brønderslev	2016	Brønderslev Forsyning	Brønderslev	26,929	19,000	PTC	
Toftlund	2013	Toftlund Fjernvarme	Toftlund	26,000	18,200	FPC	WTES
Aalestrup	2016	Aalestrup-Nørager Energi a.m.b.a.	Aalestrup	24,129	16,900	FPC	
Helsingør	2012—2014年扩建	Helsingør Fjernvarme	Helsingør	22,831	16,000	FPC	无
Hjallerup	2015	Hjallerup Fjernvarme	Hjallerup	21,546	15,082	FPC	无
Vildbjerg	2014	Vildbjerg Tekniske Værker	Vildbjerg	21,244	14,900	FPC	
Hadsund	2015	Hadsunds Bys fjernvarmeværk	Hadsund	20,513	14,360	FPC	无
Nykøbing Sjælland	2014	Nykøbing Sj. Varmeværk	Nykøbing Sjælland	20,084	14,000	FPC	
Øster Tørebj	2016	Øster Tørebj Varmeværk	Øster Tørebj	20,000	14,000	FPC	
Gråsten	2012	Gråsten Fjernvarme	Gråsten	19,017	13,312	FPC	无
Braedstrup	2007	Braedstrup Fjernvarme	Braedstrup	18,612	13,027	FPC	BTES
Tarm	2013	Tarm Varmeværk	Tarm	18,585	13,010	FPC	无
Aulum	2015	Aulum Fjernvarme a.m.b.a.	Aulum	16,015	11,200	FPC	无
Tørring	2009	Tørring Kraftvarmeværk	Tørring	15,800	11,000	FPC	无
Løgstør	2014	Løgstør Fjernvarmeværk	Løgstør	15,500	10,900	FPC	
Farsø	2016	Farsø Varmeværk	Farsø	15,400	10,800	FPC	
Løgumkloster 1	2015	Løgumkloster Fjernvarme	Løgumkloster	15,276	10,700	FPC	无
Jetsmark	2015	Jetsmark Energiværk	Jetsmark	15,183	10,630	FPC	无
Jelling	2016	Jelling Varmeværk	Jelling	15,000	10,500	FPC	
Nykøbing Mors	2016	Nykøbing Mors Fjernvarmeværk	Nykøbing Mors	15,000	10,500	FPC	
Tommerup	2016	Tommerup Bys Fjernvarmeværk	Tommerup	15,000	10,500	FPC	
Oksbøl	2010	Oksbøl Varmeværk	Oksbøl	14,745	10,000	FPC	无
Stege	2016	Stege Fjernvarme	Stege	14,500	10,150	FPC	
Hundested	2015	Hundested Varmeværk	Hundested	14,465	10,120	FPC	无

TES = 蓄热。



从第52页继续

工厂	开始运营	所有人	地点	太阳能集热器 装机面积 (m <sup>2</sup> )	装机容量 (kW)	太阳能集 热器类型	TES类型
Östervang	2015	Östervang Sjaelland	Östervang	14,112	9,880	FPC	无
Padborg	2016	Padborg Fjernvarme	Padborg	13,900	9,700	FPC	
Jægerspris	2010	Jægerspris Fjernvarme	Jægerspris	13,300	9,310	FPC	无
Vrå	2015	Vrå Varmeværk a.m.b.a.	Vrå	12,600	8,800	FPC	
Sydlangeland 1	2013	Sydlangeland Fjernvarme	Sydlangeland	12,512	8,758	FPC	无
Holsted	2016	Holsted Varmeværk	Holsted	12,500	8,750	FPC	
Grenaa	2014	Grenaa Varmeværk	Grenaa	12,096	8,500	FPC	
Veggerløse	2011	Sydfalster Fjernvarme	Veggerløse	12,075	8,500	FPC	无
Hvidebaek	2013	Hvidebaek Varmevaerk	Hvidebaek	12,000	8,400	FPC	无
Egtved	2016	Egtved Varmevaerk	Egtved	12,000	8,400	FPC	
Lökken	2016	Lökken Varmevaerk	Lökken	12,000	8,400	FPC	
Sæby	2011	Sæby Fjernvarme	Sæby	11,921	8,300	FPC	无
Svebølle-Viskinge	2011—2014年扩建	Svebølle-Viskinge Fjernvarme	Svebølle-Viskinge	11,024	7,700	FPC	无
Hedensted	2016	Hedensted Fjernvarme	Hedensted	11,000	7,700	FPC	
Fugleberg	2016	Fuglebjerg Fjernvarme	Fugleberg	10,584	7,400	FPC	
Taars	2015	Taars Varmeværk a.m.b.a.	Taars	10,011	7,000	FPC	无
Jyderup	2016	Jyderup Varmevaerk	Jyderup	10,000	7,000	FPC	
Broager	2009	Broager Fjernvarme	Broager	9,988	6,992	FPC	无
Hvide Sande	2014	Hvide Sande Fjernvarme a.m.b.a.	Hvide Sande	9,576	6,700	FPC	
Christiansfeld	2013	Christianfeld Varmevaerk	Christianfeld	9,300	6,510	FPC	无
Langå	2015	Langå Varmevaerk	Langå	8,505	5,950	FPC	无
Frederiks	2013	Frederiks Varmevaerk	Frederiks	8,438	5,907	FPC	无
Strandby	2008	Strandby Varmevaerk	Strandby	8,012	5,608	FPC	无
Vejby-Tisvilde	2012	Vejby-Tisvilde Fjernvarme	Vejby-Tisvilde	8,000	5,600	FPC	无
Karup	2013	Karup Varmeværk	Karup	8,000	5,600	FPC	无
Bredsten-Balle	2016	Bredsten-Balle Kraftvarmeværk	Bredsten-Balle	7,800	5,500	FPC	
Soenderborg/Vollerup	2008	Soenderborg Fjernvarme	Soenderborg/ Vollerup	7,681	5,400	FPC	无
Gørding	2012	Gørding Varmevaerk	Gørding	7,400	5,200	不详	无
Skørping	2012	Skørping Fjernvarme	Skørping	7,300	5,110	FPC	无
Ærøskøping	1998	Ærøskøping Fjernvarme	Ærøskøping	7,090	5,000	FPC	无
Trustrup-Lyngby	2016	Trustrup Lyngby Varmevaerk	Trustrup-Lyngby	7,000	4,900	FPC	
Løgstrup	2016	Løgstrup Varmevaerk	Løgstrup	7,000	4,900	FPC	
Snedsted (THY)	2015	Snedsted Varmevaerk	Snedsted	6,500	4,550	FPC	无
Haslev	2016	Haslev Fjernvarme	Haslev	6,400	45,00	FPC	
Ejstrupholm	2011	Ejstrupholm Fjernvarme	Ejstrupholm	6,243	4,400	FPC	无
Kværndrup	2015	Kværndrup Fjernvarme	Kværndrup	6,242	4,370	FPC	无
Hammershøj	2016	Hammershøj Fjernvarmeværk	Hammershøj	6,000	4,200	FPC	
Ørum	2016	Ørum Varmevaerk	Ørum	6,000	4,200	FPC	

TES = 蓄热。

工厂	开始运营	所有人	地点	太阳能集热器 装机面积 (m <sup>2</sup> )	装机容量 (kW)	太阳能集 热器类型	TES类型
Als (Hadsund)	2016	Als Fjernvarmeværk	Als	6,000	4,200	FPC	
Hejnsvig	2010	Hejnsvig Varmeværk	Hejnsvig	5,763	4,000	FPC	无
Aasa	2014	Aasa Fjernvarme a.m.b.a.	Aasa	5,650	4,000	FPC	
Veddum-Skelund-Visborg	2016	Veddum-Skelund-Visborg Kraftvarmeværk	Veddum-Skelund- Visborg	5,500	3,850	FPC	
Tistrup	2010	Tistrup Varmeværk	Tistrup	5,400	3,780	FPC	无
Skårup (Sydfyn)	2016	Skårup Fjernvarme	Skårup	5,400	3,800	FPC	
Ulsted	2006	Ulsted Varmeværk	Ulsted	5,012	3,500	FPC	无
Ørnhøj-Grønbjerg	2012	Ørnhøj-Grønbjerg Kraftvarmeværk	Ørnhøj-Grønbjerg	5,000	3,500	FPC	无
Mou	2013	Mou Kraftvarme	Mou	4,737	3,316	FPC	无
Søllested	2016	Lolland Varme A/S	Søllested	4,700	3,300	FPC	
Jerslev	2015	Jerslev Kraftvarmeværk	Jerslev	4,612	3,230	FPC	无
Tim	2013	Ringkøbing Fjernvarmeværk	Ringkøbing	4,235	2,965	FPC	无
Haderup	2015	Haderup Kraftvarmeværk	Haderup	4,234	3,000	FPC	
Feldborg	2012	Felborg Kraftvarme	Feldborg	4,000	2,800	FPC	无
Tversted	2013	Tversted Kraftvarmeværk	Tversted	4,000	2,800	FPC	无
Gedser	2016	REFA Gedser Fjernvarme A/S	Gedser	4,000	2,800	FPC	
Sandved-Tornemark	2013	Sandved-Tornemark Kraftvarmeværk	Sandved-Tornemark	3,893	2,725	FPC	无
Rise	2001	Rise Fjernvarme	Rise	3,750	2,503	FPC	WTES
Skuldelev	2015	Skuldelev Energiselskab a.m.b.a.	Skuldelev	3,600	2,500	FPC	
Gjerlev	2014	Gjerlev Varmeværk a.m.b.a.	Gjerlev	3,500	2,500	FPC	
Sig	2013	Sig Fjernvarme	Sig	3,479	2,435	FPC	无
Øster Hurup	2015	Øster Hurup Varmeværk	Øster Hurup	3,223	2,260	FPC	无
Ry	1988	Ry Fjernvarme A/S	Ry	3,040	2,128	FPC	无
Hilleroed/Ulleroed	2007	Hilleroed Fjernvarmeværk	Hilleroed/Ulleroed	3,007	2,105	FPC	无
Insenvad	2014	Ikast El og Varmeværk a.m.b.a.	Insenvad	3,000	2,100	FPC	
Høje Taastrup	2015	Høje Taastrup Fjernvarme	Høje Taastrup	3,000	2,100	FPC	
Flauenskjold	2014	Flauenskjold Fjernvarme	Flauenskjold	2,975	2,100	FPC	
Skovlund	2012	Skovlund Varmeværk	Skovlund	2,970	2,100	FPC	无
Voerså	2016	Voerså Kraftvarmeværk a.m.b.a.	Voerså	2,873	2,000	FPC	
Kølkaer	2016	Energimidt	Kølkaer	2,800	1,960	FPC	
Havdrup	2016	Solrød Fjernvarme	Havdrup	2,569	1,800	FPC	
Nordby	2002	Samsø Energiselskab	Nordby	2,500	1,750	FPC	无
Gl Rye	2014	Rye Kraftvarmeværk a.m.b.a.	Gl Rye	2,400	1,700	FPC	
Dianalund	2011	Filadelfia	Dianalund	2,000	1,400	FPC	无
Ejsing	2016	Ejsing Fjernvarme	Ejsing	1,800	1,260	FPC	
Hørsholm	2012	Velux	Hørsholm	1,275	893	FPC	无
Tubberupvænge	1991	Herlev kom. Boligselskab	Tubberupvænge	1,030	721	FPC	WTES
Saltum	1988	Saltum Fjernvarme A/S	Saltum	1,005	704	FPC	无

TES = 蓄热。

## 参考文献

- 北京热力集团有限责任公司。2016年，大安山太阳能区域供热项目说明。
- 北京桑普。2016年，《太阳能电池板产品目录》。<http://www.beijingsunpu.com.cn>
- 国际铜业协会。2017年，《太阳热能市场概述》。
- 丹麦区域供热委员会。<http://www.dbdh.dk>
- Elco。<http://www.elco.net>
- 国际能源机构。<http://www.iea.org>
- 国际金属太阳能产业联盟。2017年，《中国太阳能区域供热》。
- 黄俊鹏、樊建华和西蒙·福波（Simon Furbo）。2017年，《中国太阳能区域供热可行性研究》。
- Løgstrup区域供热公司。2015年，《太阳能供热项目（含现场新建锅炉）》。
- P. A. Sorensen等人。2012年，《太阳能区域供热指南》。[http://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/SDHtake-off\\_SDH\\_Guidelines.pdf](http://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/SDHtake-off_SDH_Guidelines.pdf)
- SDH太阳能区域供热。<http://www.solar-district-heating.eu>
- Solargis。<http://www.solargis.info>
- Sunmark。2012年，《可持续太阳能解决方案》。
- Tianpu。2016年，《天普王家堡村太阳能区域供热项目》。
- W. Weiss等人。2017年，全球太阳热能。<http://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2017.pdf>





## 中华人民共和国太阳能区域供热

### 现状与发展潜力

本出版物探索了太阳能区域供热在中国加速可再生能源与供热系统集成的巨大潜力。这对于推动低碳城市建设和减少城市空气污染具有重要意义。研究表明，太阳能区域供热（SDH）高效、可靠且环保。研究发现，SDH在中国具有相当大的市场潜力，并提出了切实可行的发展方向。这项研究也将引起其他面临类似挑战的亚洲国家的兴趣。

### 关于亚洲开发银行

亚行致力于实现繁荣、包容、有适应力和可持续的亚太地区，同时坚持消除极端贫困。亚行成立于1966年，现有68个成员，其中49个来自亚太地区。亚行主要通过政策对话、贷款、股本投资、担保、赠款以及技术援助等工具向发展中成员国提供帮助。



#### 亚洲开发银行

6 ADB Avenue, Mandaluyong City  
1550 Metro Manila, Philippines  
(菲律宾马尼拉)  
[www.adb.org](http://www.adb.org)

#### 亚洲开发银行驻中国代表处

北京朝阳区建国门外大街1号  
国贸大厦A座17层  
邮编: 100004  
[www.adb.org/prc](http://www.adb.org/prc)  
[cn.adb.org](http://cn.adb.org)