

加拿大卡尔加里市 Okotoks 小镇太阳能小区建设

Solar Community Construction in Drake Landing Solar Community, Okotoks, Calgary, Canada

严永红·张兴国·李金楠

Yan Yonghong Zhang Xingguo Tang G.Lee

摘要 简要介绍了北美目前最大的跨季太阳能储存项目——加拿大 Okotoks 小镇的太阳能小区建设,对其太阳能供热系统的工作原理及利用土壤床作为储能体进行大规模跨季节太阳能储存的方法进行了分析。该项目根据不同季节可利用太阳能数量的不同,分别设置了短期(临时)太阳能储箱(STTS)及跨季节太阳能储存箱(BTES),以提高太阳能的利用率。其中,BTES的效率可达50%以上。小区太阳能家用热水系统(DHW)可满足住户60%的热水需求,而太阳能采暖系统则可满足90%采暖要求;建成后每幢住宅每年可减排5t温室气体,整个小区可减排260t/年。

关键词 太阳能小区 太阳能跨季储存 临时热量储存箱 土壤床 温室气体减排 HOT2000 软件 TRNSYS 软件

ABSTRACT The Drake Landing Solar Community program is one of the largest solar seasonal storage projects in North America. Fifty-two single-family houses in a new subdivision rely on a community-based district solar heat system with borehole thermal energy storage. Solar heat collected during the summer is preserved in a short-term storage tank (STTS) and long-term underground thermal energy storage (UTES) using borehole thermal energy storage (BTES) to achieve higher system efficiency with cost effectiveness. There is high heat loss in the un-insulated ground storage but the efficiency of BTES should exceed 50%. By using a wastewater heat recovery unit, it will achieve 60%–65% solar fraction on domestic hot water (DHW) heating. The large-scale district solar heating system will supply 90% of the space heating requirement. Each house will reduce 5 tons of greenhouse gas (GHG) per year, and the whole community will achieve 260 tons or 82% reduction of GHG annually. Design tools include the HOT-2000 computer program to estimate the heat loss of each house, to the TRNSYS program for energy simulation of the houses, solar collector system and thermal storage.

KEY WORDS solar community, seasonal heat storage, short-term tank storage, borehole thermal energy storage, GHG reduction, HOT2000, TRNSYS

中图分类号 TU984.12 文献标识码 B 文章编号 1000-3959(2005)06-0026-03

Okotoks 小镇地处加拿大卡尔加里市近郊,是一个人口仅 1.4 万的小镇。最近,一项重要的小区太阳能建设计划(Drake Landing Solar Community 计划)令该镇成为人们关注的焦点。

该项目计划在有 52 栋独立住宅的太阳能小区中实施跨季热量储存方案——即利用土壤床储热,将夏季多余的热量储存起来,供冬季使用。如此大规模地对太阳能进行跨季节储存和利用,在北美地区还是第一次。该计划吸引了包括加拿大自然资源部(Natural Resources Canada)、加拿大环境部(Environment Canada)、加拿大自治市财政联盟(The Federation of Canadian Municipalities)、阿尔伯塔省政府(The Government of Alberta's)等在内的 13 个政府机构、环保组织及开发商、材料商参与,并由上述机构提供部分财政资助。

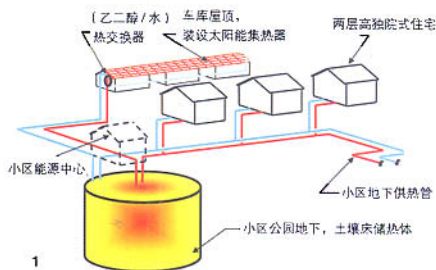
目前,该项目已完成了前期的可行性研究,并于 2004 年 8 月动工,2005 年春季开始修建土壤床、能源中心等公共部分,2005 年夏季安装太阳能集热

器,秋季开始试运行。系统完成后,第一期住宅即可投入使用,计划 2006 年全部建成^①。

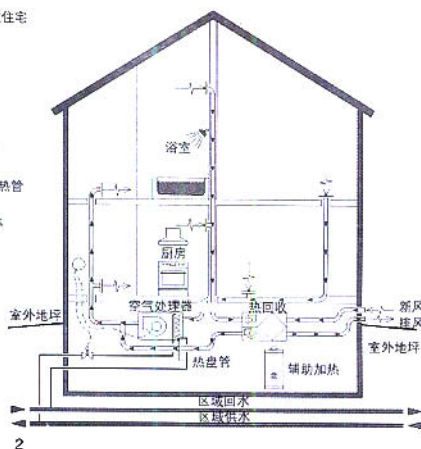
一 Okotoks 小镇及其太阳能计划概况

Okotoks 小镇位于北纬 50° 44', 西经 113° 59', 海拔 1 051 m。地处亚寒带,夏季平均温度 22.7℃,冬季平均温度达零下 8.9℃。Okotoks 日平均日照时数高达 6.34 h,是加拿大日光资源最为丰富的十个地区之一,是太阳能利用的理想场所。从当地建筑能耗来看,由于冬季寒冷,相对其他季节来说,建筑的能耗需求最大,而此时太阳能却最为短缺。因此,如果能够将夏季多余的太阳能储存起来供冬季使用,无疑具有十分积极的意义。

Drake Landing Solar Community 计划则是利用土壤的蓄热能力,对热能直接进行储存和提取。尽管在储存的过程中有一定的热量损耗(50%以内)^②,但与其他方式相比,仍可算高效、经济。该计划是个带有实验性质的示范项目,但同时,也是一个面



1 小区太阳能供热系统工作原理简图
2 住宅供热系统示意



向市场的房地产项目。因此，设计者和研究人员用了两年的时间进行前期可行性研究及实验，以满足投资方对成本控制和降低项目风险的要求。

项目用地为规则的矩形用地，总平面包括四个主要部分：呈行列式布局的独立式住宅、与住宅相对布置的联排式车库（每户自用车库）、位于用地西北角的小区公园（下设土壤床）和小区能源中心。为了获得最佳的太阳能利用效果，所有建筑的朝向均为南北向。

小区住宅共有六种标准户型，户型平面紧凑（矩形），以减少建筑外墙的散热面积。为了将小区建设成为真正的绿色示范小区，设计中大量采用了加拿大最新的节能技术和环保材料，如使用保温性能优越的新型门窗系统和墙体材料；经回收处理的饰面材料和防渗漏、长寿命的屋面材料；低流量节水马桶（满足 Okotoks 镇严格的节水计划要求）；先进的室外污水处理技术和地下室防潮排水技术等。为了满足 R-2000 要求^②，材料大部分出自当地厂家，减少了运输过程中的能源消耗，同时也有利于当地经济发展。项目将严格按照加拿大 R-2000 标准设计建造，同时要求达到阿尔伯塔省“Built Green Alberta”计划最高金奖标准，这样小区建筑能耗将比常规建筑低 30%。

二 Drake Landing Solar Community 计划

小区太阳能供热系统工作原理：利用小区车库南向屋顶连续安装的 800 片太阳能集热器进行热量采集，将收集到的热量通过小区管网输送到能源中心及地下储热区（土壤床）作为小区建筑采暖的

源。能源中心设有短期（临时）热量储存箱（Short-Term Tank Storage, STTS），供即时使用。在阳光充足的春秋两季，可直接提供建筑采暖用能。Okotoks 镇和大部分加拿大城市一样，冬季漫长，包括春秋两季需采暖的月份达到了 8~9 个月。因此，在春秋两季，仅 STTS 中储存的热量即可满足采暖要求。而小区冬季的采暖用能，则需提取夏季储存在土壤床中的热量来满足要求（图 1）。小区家用生活热水（Domestic Hot Water, DHW）用能则由安装在每栋住宅屋面的两块太阳能集热器提供，该系统完全独立于小区的采暖系统之外。

1 小区太阳能家用热水系统（DHW）

每栋住宅的南向屋面都装有两片面积约 6 m² 的太阳能集热器来满足住户对家用热水的需求。由于整个项目带有一定的实验性质，而集中供热系统需要经过较长时间的使用才能达到最佳状态，因此为了令住户对太阳能更有信心，开发商选用了高效、成熟的集热器作为家用热水器的热源。与采用常规能源相比，尽管安装集热器的初始费用较高，但从建筑的全寿命周期来看，由于大大降低了建筑的能耗支出和维护费用，因而更经济。

考虑到造价因素和建筑美学要求，设计者将太阳能集热器的面积确定为 6 m²（两片非标集热器），在阳光充足的夏季可提供每户所需热水的 60%，不足部分由天然气辅助加热进行补充。家用热水系统的控制装置由太阳能电池驱动（图 2）。

2 小区太阳能采集系统

小区采暖系统的能源由安装在车库南向坡屋顶的 800 片太阳能集热器提供，集热器总面积约 2 300

m²，在一个典型夏日，可收集 1.50 MW 热能。车库的布局为联排式布局，与住宅平行布置。每个车库的南向屋顶上都设有 10 片太阳能集热器，收集到的热量首先通过安装在每排车库尽端的热交换器（见图 3 中的车库右端所示），然后再通过地下管道运送到能源中心，用于满足整个小区住宅的采暖要求。集热器可提供采暖要求 90% 的热量。

为了不破坏小区的整体效果，车库的高度被控制在 20 英尺（约 6.1 m）内，同时，集热器的设置不影响车库的使用功能。在设计时，车库的排列形式、间距、阴影，以及南向屋顶的坡度、尺度均经过仔细的计算，以达到最好的集热效果。集热器表面采用无眩光的黑色平板集热器以防止阳光强烈时产生光污染，集热器的安装方式充分考虑了维护要求，每一块集热器均可独立更换。集热器及供热管道内采用食品级丙稀防冻液以防止冬季结冰。

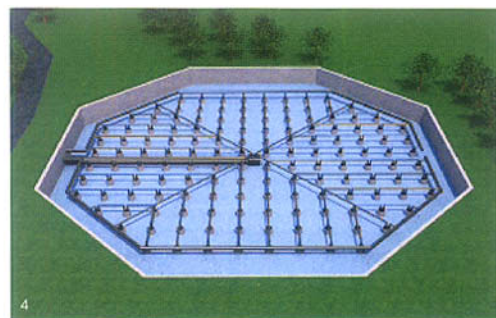
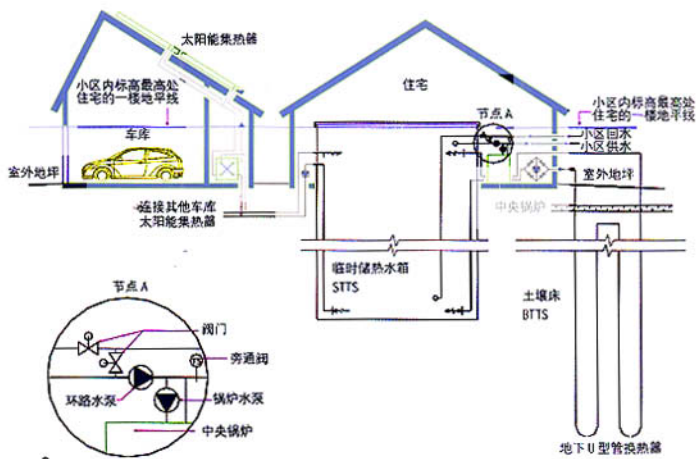
3 能源中心，能源即时储存系统（STTS）

小区的东北角是能源中心，内设热量临时储存箱、主管道、监控中心、燃气锅炉等。能源中心是小区唯一的公共建筑，且位于小区公园内，因此建筑造型和立面没有按照一般的工业建筑考虑，而是把它作为小区的展示中心来设计。能源中心最突出的部分是热量临时储存箱 STTS，它主要有两个功能：一是作为热量储存和释放的缓冲装置，减缓热流速度；所有热量的进、出都必须通过 STTS，而不是直接进入小区管网；STTS 在正常气压下启闭，热流分层。二是在阳光充足的季节储存少量的热能供即时使用，避免将热量储存在 BTES 后由于传输和储藏过程中带来热量损耗，提高效率。考虑到 STTS 的造价和将来的维护费用，设计者使用了几个较低造价的小型储热水箱，而不是一个造价昂贵的大储存罐。

4 跨季能源储存系统（BTES）

在小区东北角的公园地下，是一个深 37 m、直径 35 m、有 144 个井眼（borehole，各井眼之间的间距为 2 m）的跨季能源储存箱（土壤床，Borehole Thermal Energy Storage, BTES，图 4），可储存温度在 35~80℃ 的热流。在以往的 20 年间，北美曾有过类似的实践，但规模较小。本次实践欲证明大规模土壤床的可行性。

在项目可行性研究阶段，研究人员对目前常用的四种太阳能跨季储存方式，即：人造大水箱贮热（Water Tank Thermal Energy Storage）、砾石/水混合物堆积床贮热（Gravel-water Thermal Energy Storage）、地下含水层人工打井贮热（Aquifer



3 STTS及BTES系统示意

4 土壤床示意

Thermal Energy Storage)。土壤床贮热 (Borehole Thermal Energy Storage)，进行了实验对比，从可行性、效率及经济性等多方面进行了综合比较。地质勘探的结果表明，相对于其他方式，本项目采用土壤床蓄热最为合理^②。

所谓土壤床蓄热，是利用土壤作为蓄能体进行蓄热，使用地下垂直U型管换热器进行热量的注入和提出。在本项目中，为了增强土壤的蓄热能力，用沙、高密度R-40的保温材料、防水膜等将borehole系统覆盖起来，上覆粘土和种植土。BTES的跨季热损耗低于50%。为了保证为小区提供稳定的热源，BTES的设计容量超过了实际需求，以避免由于部分borehole出现故障而影响使用效果。即使在系统运行效率最低的最初五年中，BTES也可满足90%^③的能源需求。

5 热量传输、控制系统及其他

热量传输系统由设在能源中心的中央燃气锅炉、小区管网、每栋住宅地下室的热盘管、空气管、温控器和计热器等构成。同土壤床的设计一样，这部分系统的设计容量也超过了实际需要，以保证在局部损坏的情况下，系统仍能满足用户要求。

中央控制系统设在能源中心，能够精确监测每栋建筑的得热情况，同时，能够独立地监控整个小区的能源采集系统、储存系统和传输系统。通过准确的监控，可以将辅助用能控制在最低水平，以保证节能效果。控制中心还包括一个向游人开放的能源演示系统，可实现实时监控，准确地显示出热量传输、天然气辅助加热能耗、节约的天然气数量、

减少的温室气体 (GHG) 数量等具体的参数。此外，每户分户计量器收集到的水、电、气用量也将汇总到控制中心，最终结果将提交给项目基金管理机构，进行分析和评价^④。

据统计，加拿大接近80%的温室气体来自建筑的采暖和生活用水加热，而Drake Landing Solar Community计划的实施，可使每栋住宅每年减排5t温室气体，整个社区可减排260t/年，其环保、节能效果非常突出。如果该实验获得成功，将具有很深远的意义。

在对项目进行跟踪的过程中，我们也发现了一些问题，比较突出的问题有：整个社区的住宅均为北美传统的独院式住宅 (single house)，每栋住宅独立设置，布局相对分散。尽管建筑师选择了紧凑的户型，但相对于集中布局的联排式住宅 (townhouse) 和公寓楼 (apartment) 来说，single house的散热面大，不利于节能。此外，相对分散的布局也令小区管网数量增加，管线加长，热量在运输过程中的损失增大，投资和维护费用也随之加大。

造成这一问题的原因主要是市场因素。加拿大地广人稀，从传统上来看，人们习惯于居住在独院式住宅中。我们曾对当地居民进行过调查，大部分居民都愿意住在single house里，而不是更加节能的townhouse或apartment里，尽管人们清楚三者在能耗方面的差别。这种情况在其他国家也同样存在，如在节能技术最发达的德国，也曾有居民集体抗议在自己家中安装使用循环水的节水马桶，理由是没有自来水干净。因此，尽管有成熟的节能技术，仍

难以推广。

我国在推广节能技术时也常遇到类似的问题。在今后的实践中，需要通过大量的科普宣传来增强公众的节能意识，使之更加理解和支持节能工作。同时，在学习国外先进经验的同时，应冷静地分析其利弊，扬长避短，将引进技术本土化，根据当地的实际需要和技术进行改造，形成自主知识产权。□

图片来源：图1自Design Intent, Okotoks Solar Energy District Heating System; 图2、3自Okotoks FactFile; 图4自Drake Landing Solar Community, Okotoks, Alberta, Canada工程效果动画DVD资料, Sterling Group of Companies提供。

注释

- ① 参见Town of Okotoks, Okotoks Fact File, April 2005.
- ② 参见Science Applications International Corporation (SAIC Canada), Solar Seasonal Storage and District Heating, Okotoks Project Phase I Study, February 29, 2004.
- ③ R-2000房屋建造标准, 由加拿大住宅建造者协会 (the Canadian Home Builders' Association) 与加拿大自然资源部 (Natural Resources Canada) 联合颁布, 注重新建住宅的环保性, 有着极严格的环保、节能要求。
- ④ 参见Science Applications International Corporation (SAIC Canada), SAIC Canada reference number: CM001658, Design Intent, Okotoks Solar Energy District Heating System, August 2004.
- ⑤ 参见Town of Okotoks, Planning Services, 1998 ~ 2003 Municipal Development Plan Review, March 2004.

收稿日期 2005-06-30