维普资讯 http://www.cqvip.com

浅层地热能开发利用的现状、发展趋势与对策

陶庆法 胡 杰

（国土资源部地质环境司，北京 100013）

0 概 述

地球内部是一个巨大的热源库，蕴藏着无比巨大的热能。浅层地热能是地球热能的重要组成部分，通常是指位于地球表层变温层之下，蕴藏在地壳浅部岩(土)体中的低温地热资源，其热能主要来自地球深部的热传导。浅层地热能的温度略高于当地平均气温3-5℃，温度比较稳定，分布广泛，开发利用方便，具有十分广阔的开发利用前景。浅层地热能的利用，主要是通过热泵技术的热交换方式，将赋存于地层中的低位热源转化为可以利用的高位热源，既可以供热，又可以制冷。目前，浅层地热能开采利用的经济深度一般小于200m。

热泵技术的不断完善与广泛应用，为浅层地热能的开发利用提供了条件。用于浅层地热能开发利用的热泵系统被统称为"地源热泵系统"，它是以岩土体、地下水(或地表水)为低温热源，由水源热泵机组、地热能交换系统、建筑物内系统组成的供热空调系统，是一种节能环保的空调系统。根据地热能交换形式的不同，地源热泵系统分为地埋管地源热泵系统、地下水地源热泵系统和地表水地源热泵系统。

地源热泵技术是一种利用浅层地热能的既可以取热供暖又可以取冷制冷的高效节能的空调技术。其工作原理是利用地下常温土壤或地下水温度相对稳定的特性，通过输入少量的高品位电能，运用埋藏于建筑物周围的管路系统或地下水与建筑物内部进行热交换，实现低品位热能向高品位转移的冷暖两用空调系统。它由水循环系统、热交换器、地源热泵机组和控制系统组成。冬季从土壤中取热，代替锅炉以30~40℃的热风向建筑物供暖，夏季代替普通空调向土壤排热，以10~17℃左右冷风给建筑物制冷。同时，还能供应生活用热水。

国内外大量实例表明，采用地源热泵系统开发利用浅层地热能对建筑物进行供暖空调，具有取用方便、无污染、运行费用低等特点。浅层地热能是理想的"绿色环保能源"，而热泵技术是"绿色环保技术"，其主要特点是：

(1)资源可持续利用。浅部地热能储层像一个巨大的热能调蓄器，利用热泵系统给建筑物供暖、空调，冬季从地层中取出热量给建筑物供暖，夏季吸收建筑物的热量释放到地层中储存。这样，全年中建筑物冬季采暖所需的热量，总体上可与来自地球深部的传导热量和夏季储存的热量实现平衡，使浅层地热能源能够实现可持续利用。

(2)高效节能。由于浅层地温略高于当地平均气温，比较恒定，冬季供热时温度比环境温度高，所以热泵循环的蒸发温度提高，能效比提高；夏季供冷时，温度比环境温度低，冷却效果提高，机组效率也提高。地源热泵的制冷制热系数可达4.0以上。与传统的空气源热泵相比，高出40%左右，其运行费用为普通中央空调的50%~60%，与电热锅炉和电热膜供热相比，可节约70%左右的电能。

(3)无环境污染。地源热泵运行时，除了消耗少量的电能外，需要的仅仅是与地下岩土层(含岩

维普资讯 http://www.cqvip.com

石、土层和空隙中的水)进行热量交换的循环水或其它液体,基本不消耗水、不排泄废物,不对周围环境产生任何污染。

(4)运行费用低。该设备维修量少、自动化程度高,运行费一般只相当于普通供暖空调费用的30%-70%。

(5)一机多用。一套地源热泵就可以实现供热、供冷和生活热水供应,可代替原来的锅炉加空调两套系统,使得总投资降低。

(6)节省土地资源。地源热泵除主机和循环水泵外,没有其它安装设备。与锅炉房相比,省去了水处理间、风机间、烟囱、煤场和渣土场,节约了土地资源。

(7)运行灵活、稳定可靠、使用寿命长。每台机组可独立运行,个别机组发生故障不会影响整个系统的运行。机组运行工况稳定,不受环境温度变化的影响,冬季不需要除霜。热泵的运转部件少,基本上不需要维修,运行稳定可靠,使用寿命可达20年。

(8)自动化程度高。地源热泵一般是全电脑控制,可根据外部负荷的变化,调整压缩机的工作数量,并设有压缩机超温、断水等多种保护措施,可实现无人值守。

(9)用途广泛。从严寒地区至热带地区均适用。

(10)易于管理。可实现机组独立装表、计费,方便对整个系统的管理。

地源热泵系统的应用受当地水文地质条件的制约。地区的水文地质条件决定了采用地源热泵供暖、空调的可能性及利用的方式。一般讲,在地下水位埋藏不深,含水层厚度较大、渗透性能较强、易于回灌的地区,适宜采用以地下水源为载体的地源热泵;在地下水位埋藏浅,松散层厚度大、但渗透差、不易回灌的砂、土层分布地区,适宜采用垂直埋管式地源热泵;对于地下水位埋藏深,松散层厚度小、岩土层渗透性弱、不具备开采地下水的岩石地区,不适宜采用地源热泵。

1 世界地源热泵技术与浅层地热能应用发展趋势

1912年,"热泵"的概念由瑞士人提出,1946年第一个热泵系统在美国俄勒冈州诞生。1974年起,瑞士、荷兰和瑞典等国家政府逐步资助建立示范工程。20世纪80年代后期,热泵技术日臻成熟。在过去的10年时间里,大约有30个国家的热泵平均增长速率达到10%,在国际社会中,由于其在减少二氧化碳排放方面的优势而得到普遍认可与广泛重视。

目前,利用热泵技术开发利用浅层地热能较好的国家有:美国、瑞典、瑞士和德国;已大量装机的国家有:加拿大、奥地利、法国和荷兰;开始重视和推广应用的国家有中国、日本、俄罗斯、英国、挪威、丹麦、爱尔兰、澳大利亚、波兰、罗马尼亚、土耳其、韩国、意大利、阿根廷、智利、伊朗等国。

热泵增长较快的国家或地区主要在美国和欧洲。目前全世界装机容量可能接近10 100 MWt,年均利用能量约59 000TJ(16 470 GWh),实际安装的机组量约130万台,据不完全统计,目前地源热泵装机容量最多的国家依次是:美国、瑞典、德国、瑞士、加拿大、澳大利亚(见表1)。

表1 利用地源热泵装机容量最多的国家

序	国家	装机容量/MWt	ggJm~ff/GWh	装机数量/个
1	美国	6300	6300	600000
2	瑞典	2000	8000	200000
3	德国	560	840	40000
4	瑞士	440	660	25000
5	加拿大	435	300	36000
6	澳大利亚	275	370	23000

在美国,每年可安装5~6万套热泵机组,超过600个学校安装了热泵系统进行供暖和制冷。在瑞士,由于高原气候条件,冬天日照少,水源热泵系统以每年15%的速度快速增长。至目前,瑞士有超过25万台热泵系统在运行,成为世界上利用热泵密度最大的国家。在英国,尽管地质条件非常复杂,但是热泵技术也因其众多的优势而迅速发展到整个英国。涉及领域有:私人建筑、房地产开发、公共设施等。目前,瑞典的地源热泵安装基本占总需求负荷的60%,尤其是进入到21世纪之后,瑞典的热泵安装增长更为迅速,仅2001年其销售量就突破25000台。在澳大利亚,虽然大部分国土位于热带,但是引入热泵的数量也达到23000多套。

地源热泵在日、韩、美和中欧、北欧国家的应

维普资讯 http://www.cqvip.com

用较为普遍。据1999年的统计,在住宅供热装置中，地源热泵所占比例为：瑞士96%；奥地利38%;丹麦27%。美国1998年地源热泵系统在新建筑中占30%,且以10%的速度稳步增长。其中最著名的地源热泵工程有肯塔基州路易斯威尔的滨水区办公大楼,服务面积15.8×10⁴m²,每月节省运行费用25 000美元。随着该项技术的应用的扩大,其技术研究也迅速发展。据有关资料介绍,日本国研究出的高温水地源热泵，出水温度达到80~150℃,且制热系数COP高达8.0。

由于地源热泵技术的日趋成熟，有力地促进了浅层地热能的广泛利用。近几年,各国浅层地热能的开发利用规模和发展速度都在快速增长。从国外发展趋势看,开发利用浅层地热能(蕴藏于地球浅部岩土体中的低温能源),将是地热资源开发利用的主流和方向。

2 我国浅层地热能开发利用现状

我国的热泵研究始于20世纪50年代，天津大学热能研究所的吕灿仁教授在1954年率先开展了热泵的研究,1965年研制成功国内第一台水冷式热泵机组。但由于多种原因,发展缓慢,直到80年代末90年代初，相关领域开始了新一轮的研究。进入21世纪以来,我国在热泵模型仿真、试验装置、能耗评价以及系统材质研究等方面取得了一批科研成果。随着传统能源的紧缺和人们对开发新能源和再生能源的重视以及热泵技术的日益成熟，热泵技术及浅层低品位地热能的开发利用得到了快速发展。

我国政府十分重视热泵技术和浅层地热能的开发利用工作。1994年3月国务院批准了《中国21世纪议程下的可持续能源计划》。1997年11月原国家科委与美国能源部在北京签署了《关于地热能源生产与应用的合作协议书》,中美两国政府开始了可再生能源领域的技术合作。1998年11日开始实施《中美两国政府合作推广美国土－气型地源热泵技术工作计划书》,确定了北京计科地源热泵科技有限公司、上海鼎达能源公司、广州信利达公司为中美两国政府地源热泵合作项目的执行单位。按照该计划,1999年正式启动了北京嘉和园国际公寓、宁波服装厂厂房楼、广州松田学院教学主楼三处示范性工程,建筑总面积13.238万m²,其中北京嘉和园国际公寓面积最大,达8.8万m²。2000年6月,由中国科学技术部在北京主办了“美国土—气型地源热泵技术交流大会”,进一步推动了热泵技术的运用。据统计,到2003年底,仅北京计科公司，已建成土—气型地源热泵系统25座,供暖或供冷建筑面积达331904m²。

表2 北京主要的地源热泵供暖空调工程项目

项目名称	地质条件	单井水量（m³/h）	热泵类型	井数/深度（m）	供暖空调面积（m²）	热泵数量（台）	投资（万元）
嘉和园	砂、砂砾石地区	200	地下水	2抽2灌/160	88000	501台	2524
交警学院	白云岩	150	地下水	6抽6灌/350	180000	29台（常用7~12）	1300
友谊医院	砂砾石地区	150~200	地下水	6抽7灌/80	130000		700
友谊宾馆	砂砾石地区	200	地下水	2抽3灌/100	51000	6	1200
海剑	砂砾石地区	90	地下水	2抽2灌/100	26000	2	/
外研社	砂砾石地区	80	地下水	2抽3灌/50	30000	2	/
昌平收费站	砂、粘土互层	小于50	垂直埋管	183个/100m	10000	2	400
昌平北七家	砂、粘土互层	小于50	垂直埋管	348个/115m	38000	3	400

北京是我国应用地源热泵技术开采浅层地热能对建筑物进行供暖空调较早且发展最快的城市之一。近年来,采用浅层地热能为建筑物供暖空调的工程数量迅速增加。到2004年底，北京已有200多个单位总计420万m²的建筑面积利用浅层地热能供暖或供冷。其建筑物类型有普通住宅、

维普资讯 http://www.cqvip.com

办公大楼、高级宾馆，也有学校、幼儿园、商场、医院、敬老院、档案馆、体育场馆、厂房、污水场站，景观水池等。其中，地下水地源热泵系统最大单项工程建筑面积达 18 万 m^2，地埋管地源热泵系统(又称土壤源热泵系统) 最大单项工程建筑面积也已达 13 万 m^2。目前由华清地热集团正在实施的地埋管地源热泵系统单项工程——用友软件园的供暖空调面积将达到 20 万 m^2。

天津也是我国应用地源热泵系统供暖空调较早的城市之一。近年来，已先后在天津开发区第十八大街海滨大道发展公司、天津地矿珠宝公司、天津市海河商贸区古文化街等地建立了地源热泵系统供暖空调项目。目前，正在快速的推广发展中。

河南、内蒙古、山东、广东、安徽等地也都开始了开发利用浅层地热能的探索和试点。随着我国能源结构政策的调整，以燃煤和耗电为主的锅炉采暖、空气源热泵供冷的传统方式，将会被更加高效的以浅层地热能为热源(或冷源)的地源热泵供暖(或供冷)方式所取代。随着地源热泵技术的逐步发展，在我国建筑物供暖(或供冷)中，浅层地热能所占的比重也将愈来愈高。

3 存在的主要问题

地源热泵技术及其浅层地热能的开发利用，虽然在我国取得了明显成效，但由于发展时间短，总体上还处于起步阶段，地区发展很不平衡，存在的一些问题也日益显现，需要我们认真研究和解决，否则将直接影响着浅层地热资源的科学开发和持续利用。主要问题是：

3.1 社会认知程度低。当前社会对浅层地热能资源的认知度还很低，人们对赋存于地壳表层丰富的浅层地热能资源的特点及其热泵技术了解不多，甚至相当一部分专业设计人员对此也缺乏了解，直接影响浅层地热能的广泛应用。

3.2 开发技术水平不高。适合我国特点并满足不同要求的地源热泵尚未形成系列产品，有待积极开发；地源热泵供暖空调项目专业设计人员普遍缺乏，系统设计不匹配和偏保守的问题较突出。土壤埋管换热计算理论还不成熟，缺乏设计标准，致使工程质量难以保证，广泛应用受到限制。

3.3 开发利用工程与资源勘查评价工作相脱节，存在一定的盲目性。水文地质条件决定着浅层地热能开发利用的方式和规模。但目前浅层地热能的开发与勘查评价工作大多存在脱节问题，有的开发利用方案的选定缺乏科学依据，开发规模与资源条件不匹配，存在盲目性，导致工程效益不高，工程成功率偏低。因此，浅层地热能的开发利用必须建立在水文地质勘查评价工作的基础上，应对浅层地热能开发利用的可行性、适宜性及开发利用容量进行评价，因地制宜地制定开发利用方案，选定热泵系统类型(是地埋管地源热泵还是地下水型地源热泵等)，确定埋管深度、密度等科学数据。

对已经开发利用浅层地热能工程的地区，大多没有对其影响范围内环境地质体中的岩土体温度、地下水温度及其水质等进行监测，也没有及时分析地热能场的变化规律及开展环境影响评价工作，对未来的变化趋势更是心中无数。

3.4 浅层地热能开发利用的技术标准、规范滞后。目前尚缺乏《浅层地热能勘查评价》、《浅层地热能地质环境影响评价》等技术规范，使勘查评价工作缺乏标准，方法不统一。工程的设计缺乏系统的设计规范，大都处在无标准可依的状态。对开发单位缺乏资质管理，实施的工程也缺乏必要的论证程序。浅层地热能供热(或供冷)是一项系统工程，地上暖通空调系统与地下资源勘查评价及井位、埋管系统的设计、施工等环节，是有机的整体，各专业之间必须统一设计施工，协同作业。否则，浅层地热能供暖(或供冷)工程将会造成热泵系统不匹配或匹配程度差、成功率低的不良后果。

3.5 相关技术研发滞后。由于浅层地热能开发利用在我国时间短，一些配套的技术措施和检测设备还跟不上。如深层岩土热物性测试技术和仪器研发、不同区域地下传热模型模拟试验研究、地埋管换热器的传热强化、系统设计软件开发、地源热泵仿真及最佳匹配参数的研究、高性能回填材料的研究等，亟待开发和研制。

3.6 国家及各级政府缺少必要的扶持和激励政策。浅层地热能资源开发利用潜力很大，资源的可再生、无污染的优势，是任何化石燃料所不能替代的。但由于初期一次性投入较大，要取得经济上的规模效益，需要各级政府在财税等政策上予以扶持，否则，全面推广和应用会受到一定的限制。就全国而言，目前仅有北京市出台了鼓励政策，对用

维普资讯 http://www.cqvip.com

热泵技术进行供暖(供冷)的,市财政按照其受益的建筑物面积给予补助。但有些地区不但没有鼓励政策,反而出台了限制政策,如:不仅对取出的地下水收费,而且对回灌到地下的源水再次收费,增加了企业负担,使企业利用浅层地热能的节能、环保效果未能在经济效益上得到体现,因而大大限制了热泵技术和浅层地热能的利用和发展。

5 对 策

浅层地热能的开发利用已逐渐在我国兴起,并呈快速增长之势。近几年,其在用于供暖(空调)方面的发展速度已超过传统意义上的地热资源,随着人们认识水平的提高和示范工程的引鉴,对其开发利用将引起更多的关注,将会有越来越多的建筑物供暖空调项目采用浅层地热能资源。因此,为促进浅层地热能资源的合理开发利用,必须采取如下对策与措施。

4.1 积极开展浅层地热能资源的勘查与评价,制定开发利用总体发展规划。浅层地热能资源普遍存在于地球表层的变温层下,分布广泛、取用方便,具有广阔的利用前景已是不争的事实,但采用何种方式开发、可能利用的量、长期利用后对环境的影响程度等,则受到当地具体水文地质条件(地下水埋藏条件,地层结构、含水地层的渗透性、地下水水质等)的限制,只有查清楚这些条件,才能对浅层地热能的利用方式做出正确的选择。就一个地区而论,也才能对适宜浅层地热能开发利用的地区、不同利用方式的地段、可能利用的规模、潜在的环境地质问题等做出合理的判断。

部署开展区域浅层地热能资源勘查评价工作。当前,应先从平原区的重点城市起步,开展以1:10万比例尺精度为主体的勘查评价工作。以原来开展的水文地质勘查成果为基础,补充必要的获取岩土体热传导率、渗透率等参数的勘查工作。勘查工作深度一般控制在200 m以浅。

在勘查评价的基础上,编制浅层地热能开发利用规划,进行合理布局,确定适宜开发利用的地区、圈定不同利用方式(地下水、地埋管)的地段、提出合理的开发利用规模、防治地质灾害和环境地质问题的措施等。

4.2 推动示范工程的建设,带动各地浅层地热能资源的开发利用。我国南北温度差异大,地质条件复杂,浅层地热能在一个地区成功应用的经验受地区具体条件的限制,并不能完全适用于其他地区。不同方式的利用经验,也有其特性和相应的利用模式。浅层地热能在一个地区的推广应用,除了吸收普遍的经验外,更重要的是应结合本地具体的条件,建立符合本地实际的示范性工程,摸索方法、总结推广经验,带动面上的开发利用。

4.3 依靠科技进步和创新,提高浅层地热能应用技术水平。浅层地热能利用涉及到资源勘查评价、地下换热、热泵、建筑物内供热(供冷)系统、自动控制等诸方面的配套技术,涉及多学科相互联系、借鉴的应用技术,既需要自身的提高,也需要相互协调配合方面的强化和提高。当前,尤其应加强地下换热技术,适合我国特点和需要的地源热泵产品研制及产品的系列化、标准化,系统设计优化和相关仪器的研制等,以推动整体技术水平的提高。

4.4 出台相关政策、激励浅层地热能资源的开发利用。浅层地热能开发利用工程的初投资较高,但运行管理费用低,并具有清洁、高效、节能的特点,是具有很好的开发前景和可持续利用的清洁能源,政府应出台相关政策、法规,支持、鼓励浅层地热能资源的开发利用。各级地方政府可以参照北京市政府的做法,对用地热能供暖(或供冷)的,可以按照建成的供暖(或供冷)的建筑面积,财政上给以补贴,以此支持和鼓励热泵技术的推广应用,推进浅层地热能的开发和利用。建议中央财政在可再生能源发展专项资金中,安排一部分资金专门支持和鼓励示范区的浅层地热能的开发利用。

4.5 制定相关的技术标准、规范,规范浅层地热能资源的开发利用。2005年11月,建设部、国家质检局已联合发布了"GB50366-2005地源热泵系统工程技术规范",该规范适用于以岩土体、地下水、地表水为低温热源,以水或添加防冻剂的水溶液为传热介质,采用蒸汽压缩机热泵技术进行供热、空调或加热生活热水的系统工程设计、施工及验收。它的发布与实施,将有利于浅层地热能开发利用工程设计质量的统一。当前,亟需制定和出台浅层地热能勘查评价、浅层地热能地质环境影响评价等技术规范和标准,以规范浅层地热能资源的勘查评价、地源热泵埋管设计、地质环境影响评价等行为,提高浅层地热能的开发利用水平。

4.6 开展浅层地热能开发利用示范工程地下换

维普资讯 http://www.cqvip.com

热系统动态监测工作。在已开发利用浅层地热能的城市或地区，选择不同类型的开发利用典型，开展地下换热系统的动态监测，进行地下场地水、热均衡动态长期监测和研究，积累数据，为浅层地热能的评价、地下换热系统工程的优化设计、完善标准、保护资源环境提供依据。

4.7 建立和完善浅层地热能开发利用数据库及信息系统。浅层地热能开发利用的地下换热系统工程深埋地下，是永久性工程，有的地面建筑物消失了，地下换热系统(地埋管、水源井等)还将长期保存于地下深处，对当地环境和后人的生产、生活等活动有潜在的影响。为加强浅层地热能开发利用的管理与资源的保护，应及早建立全国及各省、市的浅层地热能开发利用工程的数据库及信息系统。

沈阳市大规模推广地源热泵技术

利用地热资源冬季供暖夏季制冷，在沈阳得到较大规模的推广，地源热泵技术所取得的经验受到国家重视。

其实，沈阳利用地热不是最早，却是国内最具规模、最成形的城市之一。首届中国地源热泵技术应用与发展论坛选择在沈阳召开，重在向全国推广沈阳的试点经验。

沈阳大规模推广地源热泵取代传统供暖，技术层面已经日趋成熟。沈阳市在推广运用地源热泵技术前坚持认真调研，科学制订沈阳市热泵发展的规划。目前沈阳已有运用地热技术的项目109项，实践证明，这些已建成的热泵系统目前运行情况良好，都能够按照设计要求，满足建筑物冬季供暖和夏季制冷的需要。从沈阳市的情况看，应用地热技术的经济和社会效益正在逐渐显现。沈阳市已有地源热泵供热制冷面积312万m^2，并计划在全市12980 km^2市区范围内推进。明确对具备运用条件的新建建筑物，原则上都要求采用进行供热制冷。今年年底，将要推进1800万m^2的面积，到2010年底要实现6500万m^2，占全市供热面积的32.5%。中国可再生能源学会理事长石定寰说，全国试点示范项目的成功经验表明，无论在北方还是在南方地区，都证明该技术是行之有效的节能技术，而且很适合我国的国情。沈阳在浅层地热能利用开发方面起了很好的带头作用。

从实际运行来看，成本是人们最关心的问题。北京市利用浅层地热能的成本是11元；天津市的成本7元。据初步统计，采用地热供暖的费用比燃气供暖便宜60%左右，制冷便宜40%左右。虽然用浅层地热的初投资比较高，但运行成本则远远低于使用天然气、电和燃煤的成本。

地源热泵技术的推广应用是沈阳减少污染物的排放，大气环境质量持续改善，建设资源节约型、环境友好型城市的重要举措。沈阳每推广1000万m^2，即可节约标准煤35万吨。

从社会自发到政府引导，政府机关职能部门率先垂范为沈阳大规模推广应用奠定了基础。沈阳最早采用地热供暖都是开发商自发的行动，政府顺应市场经济和社会需求，及时调研总结，然后在市委、市人大、市政府、市政协四大机关先进行试点。各区、县(市)、开发区政府的办公场所也正在按计划实施改造。党政机关有力推动全市改变能源消耗结构成功地迈出了一步。目前，沈阳举办了地热系统展示会，为市民全面了解地热这项绿色、环保、节能的新型空调技术提供了一个窗口，更为准备运用地热技术的单位提供了比较和选择热泵系统以及相关企业设备的捷径，充分体现了市场经济的特点。

2006年9月29日，在推广地热技术应用现场会上，沈阳市政府与各区县政府签订了推广地热技术工作的责任状，从实际出发，有序推进地热技术在新建和改建项目中的运用。沈阳市政府出台了沈阳市地源热泵系统建设管理办法，组成了市区二级地源热泵规划建设管理机构，同时还及时组成沈阳市地源热泵专家组、地源热泵协会，为在全市推广应用地源热泵提供技术支持和技术保障。

沈阳试点的成功，使人们看到了我国地热资源推广应用的潜力。如果采用热交换即地源热泵等技术手段，将地热开发出来，就能很大程度上缓解我国目前能源紧缺的实际问题。

(转自经济日报 孙潜彤)