

浅层岩土蓄能加浅层地温能才是地源热泵可持续利用的低温热源

哈尔滨工业大学 董 菲[★] 倪 龙[△] 姚 杨 姜益强 马最良

摘要 当前对地源热泵低温热源的认识存在分歧,并有将浅层地能资源化的趋势。通过对土壤源热泵低温热源认识过程的回顾,结合我国地源热泵发展的实际情况,提出了浅层岩土蓄能加浅层地温能才是地源热泵可持续利用低温热源的观点。认为应基于浅层岩土层储能的思路去研究和发展地源热泵。根据冬季供热的需要和当地的地质构造决定夏季的蓄热量,并采用先进技术保证热能蓄存。

关键词 浅层地温能 浅层岩土蓄能 地源热泵 低温热源 资源

Shallow rock and soil energy storage combined with shallow geothermal energy—sustainable low temperature source of ground source heat pumps

By Dong Fei[★], Ni Long, Yao Yang, Jiang Yiqiang and Ma Zuiliang

Abstract There are divergences in the understanding of the low temperature heat source for the ground source heat pump system (GSHP), and resource utilization of the shallow geothermal energy is becoming a trend. Reviews the recognition process of the low temperature heat source of GSHP, combined with the actual development situation of GSHP in China, puts forward that the shallow rock and soil energy storage combined with the shallow geothermal energy would be the sustainable low temperature source for GSHP. The research and development of GSHP should be in the framework of the shallow rock and soil energy storage. The quantity of heat storage in summer should be decided according to the demand of heat supply in winter and the local geologic structure. Moreover, advanced techniques should be used to ensure heat storage.

Keywords shallow geothermal energy, shallow rock and soil energy storage, ground source heat pump, low temperature heat source, resource

★ Harbin Institute of Technology, Harbin, China

①

0 引言

在文献[1]中,笔者曾对浅层地热能与浅层岩土层储能的认识作了初步分析。但是,目前国内对地源热泵低温热源的认识尚不完全相同,有的认为浅层地热能是一种资源,地源热泵是以“浅层地温能资源”为低温热源,且“浅层地热能资源”在我国应用的区域非常广泛。浅层地热能资源的科学利用为建立节约型社会、节能减排和发展循环经济提供了有效的途径^[2]。如此等等,基于浅层地热能资源化概念发展地源热泵,其后果如何?值得关注。为此,笔者提出“浅层岩土蓄能加浅层地温能才是地源热泵可持续利用的低温热源”的观点。

1 对土壤源热泵低温热源的认识过程

早在 1988 年《热泵》一书中就提出 3 点认识^[3]:

1) 认为土壤是热泵的一种良好的低温热源,土壤同时也起了蓄能作用。

2) 采用土壤源热泵通常所担心的是,几年以后热源将耗尽和可能经常发生永久冻结现象。

3) 书中注意到地下水渗流对地埋管大小的影响,明确指出,传递 1.2 kW 的热量,按干土壤计算,对一定的管径,管长约需 150 m;按湿土壤计算,管长需要 50 m;而按胶溶体土壤计算,管长只需 15 m。

①☆ 董菲,女,1980 年 7 月生,在读博士研究生

△ 150090 哈尔滨工业大学二校区市政环境工程学院 2651#
(0451) 86897485

E-mail: nilonggn@163.com

收稿日期:2008-10-16

这就是早期的认识,把空气、水、太阳能、浅层岩土等视为热泵的低温热源。在研究中,是从工程视角出发,对小尺度的浅层岩土进行研究,主要研究低温热源的特征及其对热泵的影响,热泵如何适应低温热源的特点,热泵的长期运行对浅层岩土会产生什么样的影响,如何解决等问题。

1997 年后,由 ASHRAE 将地下水水源热泵、地表水水源热泵和土壤耦合热泵统一为标准术语——地源热泵。国内规范^[4]中也把地下水水源热泵、地表水水源热泵和土壤耦合热泵系统称为地源热泵。地源热泵是个广义的术语。虽然称为地源热泵,但是地下水、地表水和土壤全年温度范围有较大的差异,标准规定的液体进入温度选择范围也各不相同,因此不能把三者混为一谈。

但为了便于使热源(或热汇)与地源热泵相呼应,国内提出了“浅层地能”的概念化的术语,它是将土壤、地下水和地表水汇集在同一术语中,统称为“浅层地能”。在《地源热泵系统设计与应用》^[5]一书中应用了这个“浅层地能”概念化术语,并以此给出地源热泵定义,也归纳出“浅层地能采集系统”的概念等,并提出对“浅层地能”的不同看法。文献^[5]指出,地热能是“浅层地能”能量的来源之一。另外国内大多数专家认为“浅层地能”能量主要来自太阳能,对此文献^[5]明确指出,对浅层地热能主要来自太阳能的说法仍有争论。如国际地热协会副主席 L. Rybach 教授认为,浅层地能主要来自大地热流的能量,只有地表附近的很小距离内的地热能是二者共同作用的结果,且温度随季节周期性波动。

近年来地源热泵在我国的应用日益广泛,工程规模越来越大。几十万 m^2 的地源热泵工程实例时有介绍,并大力推动地源热泵的城市级利用。这种发展与把“浅层地能”当作“浅层地热能资源”来利用有很大关系。

文献^[6]认为“浅层地热能是指地表以下一定深度范围内(一般为恒温带至 200 m 埋深),温度低于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,在当前技术经济条件下具备开发利用价值的地热能”,“浅层地热能是地热资源的一部分”,“浅层地能是赋存在地球的表面岩土体中的低温地热资源”,“分布普遍、埋藏浅、可持续利用,可以作为化石能源替代资源,减少温室气体的排放”。对此,引起国内一些专家的思考。笔者在 2008 年末出版的《暖通空调热泵技术》^[7]中的第 10.3.5 节阐述了对此的见解,明确指出,浅层岩土季节蓄能加浅层地热能才是地源热泵可持续利用的低温热源。通过蓄能技术将夏季热能转移到浅层岩土中储存起来,在冬季再通过热泵技术将浅层岩土层中的热能取出,向用户供暖。在此过程中,浅层地热能作为一种辅助性的调节用能,它具有蓄能与用能之间的一种平衡功能,蓄的能量少时(或蓄能过程中能量损失过多时),浅层岩土层温度降低补充不足的热量;反之,蓄的能量多时(或蓄能过程中能量损失少时),又将多余的部分暂时储在浅层岩土中,使浅层岩土温度暂时升高。这种调节功能是地源热泵安全用能的一种保障。但是这种调节功能是

以年度为时间尺度的动态平衡过程,在多年运行过程中,由于蓄能与用能之间的不断调节,不断改变蓄热量,保证浅层岩土体的温度基本不变。

2 有关“浅层地热能资源”的若干思考

按照 L. Rybach 教授的说法,浅层地能主要来自大地热流的能量。1990 年以来,我国大地热流测点已达 481 个,全国热流加权平均值为 70.8 mW/m^2 ,大地热流散逸至空间的能量全球 1 年可达 1.4 EJ ,此值相当于 20 世纪 70 年代以来煤、油、气总消耗量的 3~4 倍;或者说,每年流出地球表面的热能约为 44 TW ,相当于全球电消耗(1 TW)的 44 倍。由这个数字看,浅层地能的热量(此时地温不变)十分可观。若再考虑土壤岩石的比热容(花岗岩 $0.82\text{ J/(g}\cdot^{\circ}\text{C)}$ 、黏土 $0.88\text{ J/(g}\cdot^{\circ}\text{C)}$ 、湿土 $2.01\text{ J/(g}\cdot^{\circ}\text{C)}$),浅层岩土体温度每降 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,其释放的热量更大,由此,将它视为资源似乎是正确的,基于此发展地源热泵,其前景无限。但是不能忽视,处于工程场区内的浅层地热能相对要少得多。粗略计算一下, 1 m^2 建筑面积热负荷为 30 W/m^2 ,不考虑蓄热,也不考虑岩土体温度的变化,地源热泵的低温热源仅来自于大地热流,则需要 300 m^2 左右的土地。又如, 100 m^3 岩土温度降低 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,可供 2 m^2 建筑面积 1 年的用热量(120 天供暖,热负荷为 30 W/m^2)。另外,还应考虑岩土体温度降 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后如何恢复,岩土温度恢复所需的热能又由何处来? 不进行浅层岩土季节蓄能,只是每年大量取热,在有限的工程场区内,地源热泵能否长期稳定运行值得思考,值得研究。

地源热泵的水平埋管和大口井由于位于变温带,其热能的来源为太阳能与地热能;U 形管和深井位于恒温带,其热能的来源主要为大地热流(其量值平均为几十 mW/m^2)和浅层地热能(岩土温度降低)。而大地热流与建筑热负荷($30\sim 40\text{ W/m}^2$)相差甚远,这又如何可以持续利用? 因此,文献^[8]中认为把恒温带看作“取之不尽,可不断再生的低温地热资源”是犯了原则性错误。基于“浅层地热能”的资源观点发展地源热泵,在大面积、城市级全面推广的背景下,地源热泵的低温能量由何处来必须要先思索清楚,否则,将会违背能量守恒的基本原则。笔者认为只有浅层岩土层季节蓄能才能保证地源热泵低温热量源源不断,才能成为有源之热泵。

目前在一些文章中经常提到,在一些工程中,设计与应用地源热泵系统时忽视了冷热负荷的平衡问题。这充分说明浅层岩土体不是什么取之不尽的低温热能资源,而仅仅是作为一种蓄热层。

我国的地源热泵应用不同于欧洲,经常是冬季按热泵方式运行,夏季按空调方式运行,一机两用,甚至一机三用(包括热水供应)。正是因为这种运行模式,在客观上起到了蓄能作用。但这带有一定的盲目性,没有按科学的蓄能理论与技术去实施,如不掌握浅层岩土层储能机理,储能地

质条件、应用技术等基础性理论与技术,只要求累计放热量等于累计吸热量,在数量上达到平衡,恐怕又会走“冬灌夏用”、“夏灌冬用”的老路,应引以为戒。深入研究浅层岩土层储能技术,才能指导夏季的浅层岩土蓄能。当然夏季向土壤中释放冷凝热是一种方便可行的方法。

在地源热泵实践过程中已发现浅层地能的热量来源不足的问题。早在 20 世纪七八十年代,欧洲一些国家的热泵运行表明,一定地方的一块土地仅仅能够给出有限的能量^[9-10]。如法国 224 户住宅利用地源热泵供暖,经 10~20 年的运行后,地下水温度下降,导致地下水的利用越来越困难,后增加太阳能蓄热。类似的例子很多。在热泵的著作中写得也十分明确。如文献[11]认为“用垂直埋管取得的能量,主要决定于该处的地质情况。如果干燥或者是岩石地区,则不能确保可以毫无问题地多年吸取这部分热量,因为太阳能向地层深处渗透的量是有限的。由地层内向外发散的热量也不多”。

目前我国的热泵空调系统在空调应用中所占比例还很小(2007 年占 2%)。由于分布分散,系统大部分是冬、夏均运行,地下水渗流补充部分热量(当系统大面多时,此项也值得研究),投入运行的时间还较短等原因,目前还没凸显出浅层地温能的枯竭现象。但应注意国内地源热泵应用规模之大、数量之多的特点,在局部地区可能会出现一些问题。

3 浅层岩土层储能

在含水层储能技术基础上,发展与研究浅层岩土储能技术,事关地源热泵快速发展和健康运行。含水层储能是一种利用地下含水层作为介质的储能系统,在世界上已有几十年的发展史。早在 1958 年上海开始采用深井回灌技术,以减缓地面沉降,与此同时,提出“冬灌夏用”技术,为纺织行业供冷。20 世纪 80 年代初期,国内已有 20 多个城市推广含水层储能技术。但 20 世纪 80 年代末和 90 年代初该技术凸显了一些问题,已难于继续大力发展。从上海看,地下储能井数目从 1984 年的近 400 口减少到现在的 100 口。而在国外,由于能源危机的出现,于 1973 年才提出含水层储能的思想,虽然晚于我国,但其发展很快,应用效果显著。如荷兰有 20 年的发展,已完成 200 多个大型地下储能和地下水地源热泵项目,成为世界上地下储能和地下水地源热泵成功应用的典范,目前已进入商业化阶段。

为什么国内外发展含水层储能技术有如此的不同和差距?究其原因主要是国内外采取的技术路线和研究问题的思路不同。国内研究是基于实际工程应用,在应用中摸索规律,解决问题;国外研究侧重于机理,探索不同条件下含水层储能技术的可行性、可能出现的问题等,在大量实验基础上开展应用。如 1976—1977 年法国在 Bonnaud 附近进行了 10 次小型的承压含水层储能试验;1976—1982 年美国 Auburn 大学在美国能源部的资助下深入开展了 6 次承压含水层储能试验研究^[12]。在实验研究支持下,再用于工程。

地源热泵技术的发展,再次提出浅层岩土层储能的思想。浅层岩土层储能的发展需要科技先行。只有通过持续的试验和理论研究,不断地进行技术创新,才能稳健地发展此项技术,促进地源热泵技术的进步。因此,建议:

1) 在含水层储能技术的基础上,开展浅层岩土层(干土、湿土、饱和土层和有渗流的含水层)储能机理、储能地质条件、应用技术等方面的应用基础研究;

2) 在土壤蓄冷与土壤耦合热泵集成系统设想基础上,研发适用于寒冷地区的土壤蓄热与地源热泵集成系统;

3) 结合地源热泵技术,提高低温浅层岩土层储能的利用效率等问题。

4 结语

目前地源热泵夏季供冷、冬季供热,这也是季节蓄能,但应该清楚它的出发点是一机二用,而不是有目的的蓄能,基于此研究人员才提出地源热泵适用于冷热平衡地区。本文立足于浅层岩土层储能的思路去研究、发展地源热泵,认为应根据冬季供热的需要和当地的地质构造(储能条件和损失)决定夏季的蓄热量,并采用先进技术保证热能蓄存。这样可使地源热泵持续地正常运行,同时也将有目的地去研究以年度为时间步长的浅层岩土层储能理论与技术,为地源热泵的发展注入新的活力,促使地源热泵的科学发展,避免基于“浅层地温能”的资源概念过分乐观地发展地源热泵,让地源热泵在我国节能减排中发挥积极作用。

参考文献:

- [1] 马最良,姚杨,姜益强,等. 在我国热泵技术发展进步中应关注的几个问题[J]. 机械工业标准化与质量,2008(5):12-15
- [2] 韩再生,李宁波,冉伟彦. 浅层地热能有关问题[J]. 地源热泵,2008(21):28-32
- [3] 徐邦裕,陆亚俊,马最良. 热泵[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1988
- [4] 中国建筑科学研究院. GB 50336—2005 地源热泵系统工程技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [5] 马最良,吕悦. 地源热泵系统设计与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006
- [6] 韩再生,冉伟彦,佟红兵,等. 浅层地热能勘察评价[J]. 中国地质,2007,34(6):1115-1121
- [7] 马最良,姚杨,姜益强. 暖通空调热泵技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008
- [8] 汪训昌. 关于发展地源热泵系统的若干思考[J]. 暖通空调,2007,37(3):38-43
- [9] 莫肯逊 H P. 用地热作热泵运转和反应[C]// 陆亚俊,译. 第 15 届国际制冷大会论文译丛(上册),1981
- [10] 李芝芳. 224 户住宅利用太阳能与地热采暖[J]. 国外建筑文摘,1984(2):9-10
- [11] 艾肯霍夫斯特 H. 热泵(第四卷) 电动热泵的安装、运转和保养[M]. 北京:机械工业出版社,1990
- [12] 倪龙,荣莉,马最良. 含水层储能的研究历史及未来[J]. 建筑热能通风空调,2007,26(1):18-24