太阳能跨季节储热-地源热泵供能系统

太阳能热水是目前利用最成熟的可再生能源建筑利用技术。太阳能跨季节储热建筑供能，是可再生能源利用的重要方向之一。太阳能跨季节储热集中供热系统主要由太阳集热器、储热装置、供热管网以及热力交换站等组成。在夏季，太阳能集热器产生高温热水，少部分可以直接供用户使用；其余大部分热量送入储热装置储存起来。冬季把储存的热能取出，通过供热管网送到热用户末端。如果储存的热量不足以达到供热温度，则需要其它辅助热源（如锅炉、热泵）进行热量补充。

地源热泵利用浅层土壤作为热泵系统的冷热源，由于其相对恒定的土壤温度，可以获得比空气源热泵高得多的性能系数，受到国内外供热空调方案的青睐。但是，由于地源热泵受地埋管空间限制，当用热和用冷能耗不相匹配时，土壤温度不能有效恢复而出现地源热泵使用受限。当建筑用热远大于用冷需求时，同样需要其他热源补充（如锅炉、太阳能等）。

太阳能跨季节储热与地源热泵技术相结合，正好相互弥补了彼此的不足，既解决了地源热泵使用限制的问题，又极大地把太阳能利用于建筑供热，实现了建筑供能系统的绿色化。整个系统只消耗少量电能外，不使用其他常规能源，每消耗 1 个单位的电，可以产生 3-5 个单位的热，体现出高效、绿色、环保的特点。

该系统适用于冬季供热需求远大于夏季供冷需求的办公建筑或居住建筑。太阳能跨季节储热技术可以充分利用全年太阳能为建筑供热，解决地源热泵因制冷季管群排热不足而造成的冷热不平衡限制问题。通过对供热空调系统的精细化设计、运行过程监测及优化运行管理，保证系统的稳定、高效运行。

根据系统是否需要供冷，太阳能与地源热泵可以有两种结合方式：太阳能跨季节储热-地源热泵供热空调系统、太阳能跨季节储热-地源热泵供热系统。

一、太阳能跨季节储热-地源热泵供热空调系统

图 1 为太阳能跨季节储热-地源热泵供热空调系统原理图。在供冷季，1 台地源热泵机组可以带动一个地埋管群为建筑提供制冷需求；在非供热季，另一个地埋管群为太阳能储热利用；在供热季，太阳能跨季节储热供热系统与地源热泵系统共同为建筑提供供热需求。

河北工业大学“节能实验中心”（约 5000m^2建筑面积）2011 年建立了该系统的示范应用工程。表 1 给出了该系统多年运行的能效和费用结果。可以看出，经过 7 年的运行，实践证明该系统解决了办公建筑用冷用热相差悬殊而不能保证地源热泵的热平衡问题，保证了地源热泵系统的长期稳定运行，并且单位建筑面积的供热电耗仅有 20kWh 左右。

由此可见，该系统具有如下优点：（1）两个子系统分配负荷可灵活调控；（2）太阳能跨季节储热可减少集热器需求面积，提高土壤温度以提高机组 COP；（3）冬季太阳能直接供热提高系统性能系数；（4）解决了由于冬夏季冷热负荷不均造成的地温不平衡问题。

该成果已授权发明专利 2 项，实用新型专利 1 项：带有双地埋管群的太阳能-地源热泵耦合供能系统，201610703384.2；一种太阳能-地源热泵联合建筑供能系统，201110146044.1；一种太阳能-地源热泵耦合供能系统，201620919129.7。

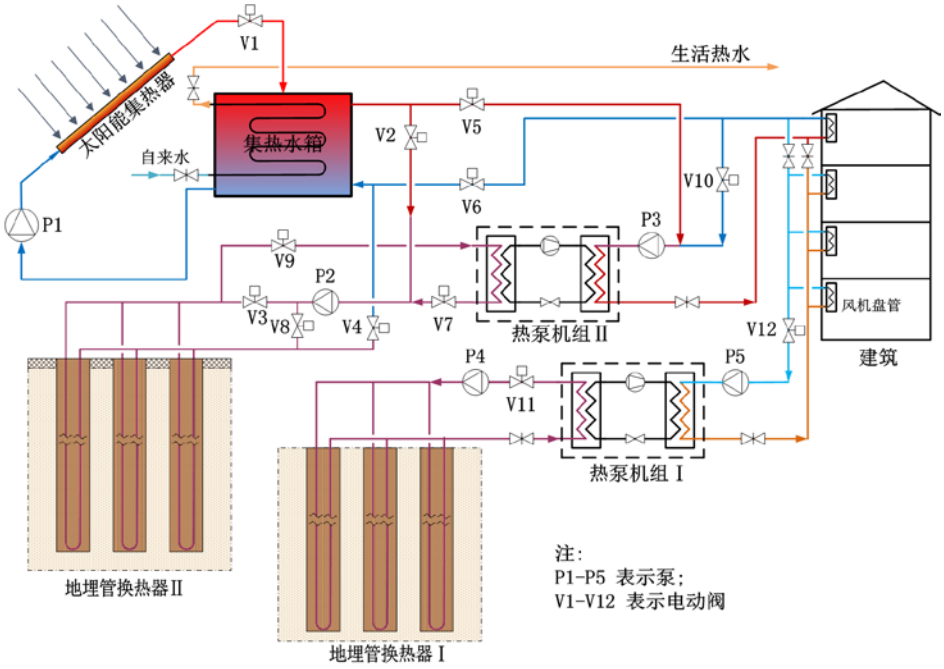

图 1 太阳能跨季节储热-地源热泵供热空调系统原理图

表 1 示范系统运行性能

运行季	年度	机组 COP	地源热泵系统 COP	耦合系统 COP	制冷/供热量，GJ	供能电耗，kWh/GJ	供热/供冷指标，kWh/㎡	运行费用，元/㎡
供冷季	2012	4.59	4.27		415.0	87	23.3	3.6
	2013	4.58	4.29		518.2	79	29.1	4.1
	2014	4.54	3.87		637.4	83	35.7	5.2
	2015	5.07	4.11		577.1	83	32.4	4.8
	2016	4.71	4.30		700.1	84	39.3	5.8
	2017	5.11	4.51		781.1	77	43.8	6.0
	2018	4.58	4.29		518.2	79	29.1	4.1
	2019	4.75	4.06		795.4	85	44.6	6.7
供热季	2012	3.23	3.09	3.12	1225.9	98	68.7	11.8
	2013	3.58	3.11	3.13	860.8	98	48.3	8.4
	2014	3.30	2.98	3.19	858.0	98	48.1	8.3
	2015	3.62	3.29	3.32	946.1	95	53.1	8.9
	2016	3.87	3.33	3.33	943.6	92	52.9	8.6
	2017	3.47	3.06	3.18	1121.4	99	62.9	11.0
	2018	3.84	3.38	3.31	958.2	97	53.7	9.1
	2019	4.37	3.92	4.02	905.0	81	50.8	7.3

二、太阳能跨季节储热-地源热泵供热系统

图 2 为太阳能跨季节储热-地源热泵供热系统原理图。在太阳能跨季节储热-地源热泵供热系统中，太阳能的热量由集热器中的水吸收后，产生热水，在非供热季由水泵经由埋设于地下的 U 形管与土壤换热，从而逐渐把土壤加热。在供热季，通过地源热泵把土壤的热量吸收，为建筑提供热量。地源热泵消耗 1kWh 的电，理论上可以把从土壤吸收的热量和消耗的电能全部转换为热输送给建筑，而输送给建筑的热量是地源热泵机组电耗的 5-6 倍。再加上地源侧和空调负荷侧的泵耗，输送给建筑的热量一般能达到整个系统电耗的 3 倍以上。所以，地源热泵系统比电加热系统节电 60%以上。如果按照发电效率 40%，燃气锅炉热效率 90 计算，地源热泵系统供热比燃气锅炉供热约节能 30%。

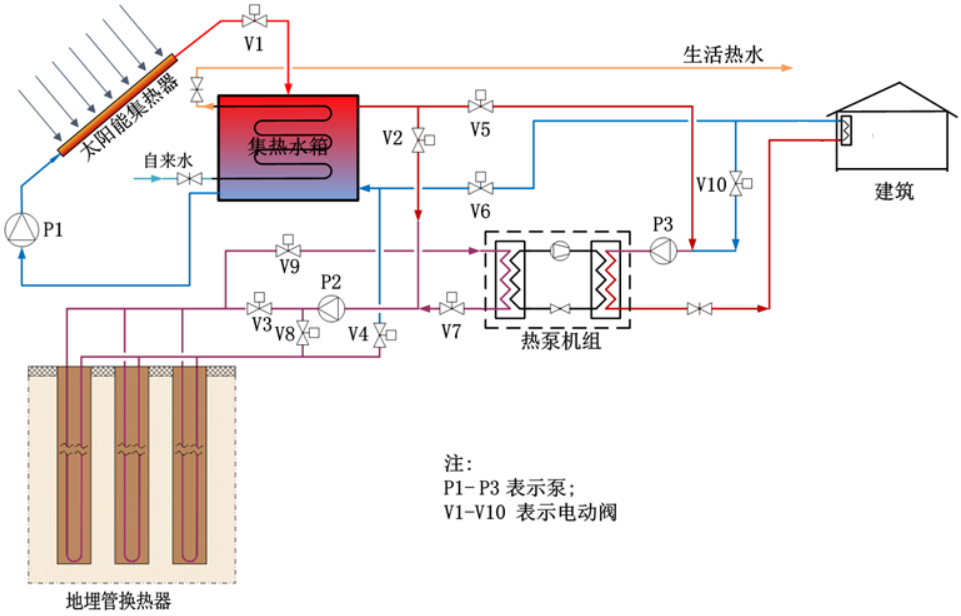

图 2　太阳能跨季节储热-地源热泵供热空调系统原理图

按照居民用电 0.5 元/kWh，天然气价格 3.0 元/m^3 考虑，按照天然气热值 36MJ/m^3，天然气锅炉热效率 90%计算，太阳能跨季节储热-地源热泵供热系统能效比为 3.0 计算，采用太阳能跨季节储热-地源热泵供热与使用燃气锅炉供热相比，能源价格仅为其 50%。

如果按照平均耗热量指标为 0.44GJ/(m^2·a)来考虑，太阳能跨季节储热-地源热泵供热系统的年耗电量指标为 40.7kWh/m^2。针对 2 万 m^2 建筑，按照 50W/m^2 供热负荷来考虑，需配置 500kW 额定供热量的热泵机组 2 台，120m 地埋管换热井 200 口，集热器面积约 4000 m^2。2 万 m^2 建筑的太阳能跨季节储热供热系统热源的初投资为 400 万元左右。系统初投资为 200 元/m^2（只考虑热源部分）。全年需热量为 8800GJ。系统每年的总耗电量为 815000kWh，与天然气锅炉相比，每年节省能源费超过 40 万元。如果有峰谷电价，则太阳能跨季节储热-地源热泵供热系统电费可以再降低 1/3。每年可节省能源费 53.6 万元。如果考虑污染物排放问题，锅炉运行费用会激增。除能源费以外，锅炉房运行维护费用一般也高于地源热泵系统。综合考虑，采用太阳能跨季节储热-地源热泵供热系统与天然气锅炉房供热方案相比，年运行总费用约可节 60-70 万元。锅炉房建设初投资约 50 万元，所以，与天然气锅炉供热方案比较，投资回收期小于 3 年。