

新型太阳池的研究

罗莎莎, 郑绵平

(中国地质科学院矿产资源研究所; 中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心, 北京 100037)

摘要: 盐梯度太阳池是运用最广泛的太阳能收集系统之一,但是在运行过程中存在许多不足,人们相继开展了新型太阳池的研究,针对这些新型太阳池进行了概述,并比较了它们的优缺点。

关键词: 太阳池; 太阳能; 盐梯度; 对流; 淡水

中图分类号: TK512.3 **文献标识码:** A **文章编号** 1008—858X(2003)03—0065—06

0 前言

1902年,匈牙利科学家 Kalecsinsky 偶然在位于 Transylvania 的 Medve 湖内观察到,夏末时 1.32m 深的湖底温度达到 70℃,早春湖底温度也高达 26℃^[1],由此他首次提出了人工建造太阳池的设想^[2,3]。但是由于当时的技术水平低和对能源的需求不迫切,没有引起人们的重视。直到 1979 年以色列建造的 150 千瓦太阳池发电厂投入了运行,加上世界能源短缺和环境污染严重等因素,才使得太阳池的研究工作得到了飞速的发展^[4,5]。

广义地说,一个天然的或人工的贮水池在太阳辐射的作用下,具有吸热和贮热的本领即称为太阳池^[4],分为对流型和非对流型两种类型;而狭义的太阳池是指具有一定盐浓度梯度的非对流型盐水池,这也是人们研究较多的领域,盐梯度太阳池被认为是最有前景的大规模收集和储存太阳能的手段之一^[68],但是盐梯度池也存在许多不足^[9,10],主要有以下几点:

- 1) 盐水对周围环境的潜在污染;
- 2) 由于底部热流、表面蒸发以及风效应而

导致的浮力驱动了对流的发生,易造成盐梯度的毁坏;

3) 池中藻类的繁衍、灰尘和碎屑的积累会降低池水透明度进而影响池效率;

4) 为了维持盐梯度必须在底部进行周期性的补充盐水以及在顶部补充淡水。

为了克服以上不利因素,人们相继开展了新型太阳池的研究,包括对盐梯度池的改进和淡水太阳池的开发,下面就从这两方面来进行概述。

1 改进型盐梯度太阳池

1.1 隔膜分层太阳池

盐梯度太阳池由于底层和顶层之间的盐浓度差会出现盐向上扩散的现象,从而降低了梯度层的稳定性。Hull 于 1980 年提出了隔膜分层太阳池^[11],隔膜控制盐梯度池内各层之间的水平边界,防止了盐的向上扩散。池中有两层水平隔膜,一层将下对流层和非对流层分开,另一层将上对流层和非对流层分开。隔膜分层太阳池的优点是,在三个主要区域的界面无盐扩

散,维护了盐梯度的稳定,但是也存在严重的缺陷,一是需要大量的高透明度薄膜,费用十分昂贵;二来,把膜固定到池壁并张紧是很困难的,并且下层薄膜的维护和清洁也是个难题^[12,13];另外,在水面下安装薄膜后势必会使透过率有所降低。

1.2 饱和态太阳池

饱和态太阳池中选用溶解度随温度的升降而大大增减的盐类,池中纵向各层都处于饱和状态,由此完全抑制和消除了盐扩散,从而可以保证太阳池运行的高度稳定性^[14],因此,饱和态太阳池中的盐梯度将是自持的。不过饱和型太阳池需要的盐量比常规多得多,只有在能找到合适的盐的情况下,此方案才有经济可行性。由于缺少合适的盐,到目前为止尚未建立起饱和型太阳池^[13]。

1.3 水面带有漂浮环的太阳池

风效应导致上对流层和非对流层上部发生混合,降低了非对流层的厚度,对储热很不利。为了减少风的混合效应,Akbarzadeh 等^[15]设计了漂浮环放置于太阳池表面,将池表面分成许多小的区域,因此风的作用就限制在每个小环内而不是整个池子,它可以减少 50% 以上的风效应,并且造价低易安装。但漂浮环也存在如下一些问题:使池内辐射减少;风较大时漂浮环会重叠起来;环用聚乙烯制成,在紫外照射下易老化。

首都师范大学于 1984 ~ 1985 年间采用在池面上布置分立且联成网状的漂浮物体以及在微型实验性池面上加用不同类型盖层(玻璃、透明塑料薄膜以及十六醇分子膜等)的方法来减小风的混合效应。分子膜需要的材料极少,对于 1000m² 的大型池来说,每次仅需使用 5g 左右,经济方便。而对于中小型池,他们建议使用可移动式盖层,一方面能保温并防止风沙的干扰,另一方面还能较少入射能量的损失^[16,17]。

1.4 粘性稳定化太阳池^[13]

粘性稳定化太阳池是把有机增稠剂加入各层池水,水的粘性增加到一个极限值,自然对流

被完全抑制,就会导致静态稳定区的存在,从而实现粘性稳定化^[13]。Shaffer 提出用电离聚丙烯酰胺溶液作增稠剂,效果较好^[12]。虽然用粘性稳定化抑制太阳池中的对流这一概念在理论上是有吸引力的,但是要达到实用可行性,还需要进一步研究与使用增稠剂相关的许多问题,例如在过大的切变应力作用下,很难保持静态区的稳定性;随着时间的推移和温度超过 55℃ 的条件下,增稠剂会分解等问题^[13]。

1.5 潜热太阳池

一般来说,太阳池采用氯化钠、氯化镁等盐溶液贮热,但由于太阳辐射强度随季节发生变化,因此太阳池底部的温度变化也很大,所以有必要寻找一种方法,既能使太阳池充分蓄热,又能使池底温度达到提热要求后保持近似恒温的状态。有人提出了利用水合盐相变材料来提高太阳池蓄热的能力^[3]。水合盐在熔点温度以上处于熔化状态,形成梯度层,可防止对流热损失。在熔点温度以下,大部分水合盐呈结晶态,顶部为稀溶液,中部为少量的饱和溶液及水合盐晶体,底部为水合盐及无水盐晶体,其密度呈梯度分布;水合盐在熔点温度上下均为潜热贮热;相变材料可直接投入太阳池而不需要另外容器,并形成巨大的单一体系,实现跨月、垮季贮存^[18]。这种方法蓄能密度高,蓄热或提热时温度波动幅度小^[13]。

1.6 凝胶太阳池

具有较好光学特性和隔热性的透明聚合凝胶,可以用来代替盐梯度太阳池中的非对流层,作为太阳辐射体和隔热体^[3]。凝胶太阳池最先是 Wilkins 于 1978 年提出的,他指出,加入到太阳池中的凝胶应该满足以下条件:

- a. 在整个光谱范围内对可见光透明,只有少量的吸收;
- b. 聚合前在冷水中要可溶,而之后不溶;
- c. 高粘度;
- d. 在 100℃ 以至更高的盐水溶液中其物理化学性质稳定;
- e. 价廉易得;
- f. 具有高热容、低比热系数;

- g. 惰性无毒;
- h. 在多次冷冻—融化以及紫外光照射下不分解;
- i. 强度高, 结构稳定。

第一个凝胶太阳池实验于 1980 年在新墨西哥大学进行, 池子宽 5.4m, 深 1.2m, 凝胶厚 25cm, 在 1981 年秋季池温达到了 57℃; 1985 年在新墨西哥的 Chamberino 建成了一个商业用 110m² 的凝胶太阳池, 池中热量用来为一个食品公司供热, 在运行 2 周后池温即达到 57.2℃, 最高温达到 59.4℃^[10]。

和传统的盐梯度太阳池相比, 凝胶太阳池具有以下一些优点:

- a. 由于凝胶的固性作用而防止了风效应导致的上对流层和梯度层的混合;
- b. 凝胶是一种绝热材料, 因而表面热损主要由于传导造成;
- c. 由于不存在盐梯度因而不存在梯度的不稳定性以及在热量的提取过程中边界的移动;
- d. 不用补充盐水, 因而降低了运行费用, 但是需要定期补充表层淡水;
- e. 表层漂浮的脏物和碎屑可以很容易地用淡水清洗掉。

从技术和经济上考虑, 凝胶太阳池是一种很有前景的能量储存手段, 但面临的问题是要解决盐水对环境潜在的污染, 目前力求找到一种能漂浮在淡水上的凝胶以避免使用卤水, 另外还需尽量降低凝胶的成本^[19]。

2 淡水型太阳池

2.1 浅太阳池

浅太阳池的概念是由美国劳伦斯实验室于 1976 年提出的, 类似平板型太阳能集热器。在一个大水袋中装入淡水, 水袋一般采用两层抗紫外老化的聚氯乙烯薄膜制造, 底层采用 0.5mm 厚的黑色薄膜, 顶层采用 0.3mm 厚的透明薄膜。塑料袋上面覆盖有透明盖板, 可不受灰尘、风力及大部分紫外线的影响, 使用寿命可长达 5 年以上。水袋放在具有保温层的池床上, 可用 40mm 厚的双面粘附铝箔的泡沫玻璃

保温板放在塑料薄膜水袋下面作为保温层^[19, 20]。

浅太阳池有两种工作方式: 间歇式或流动式。前一种方式中, 池子充满水, 经日照加热, 平均池温升至需要值时, 再用水泵把它抽送到地下储箱中, 供夜间储能用^[4]。后一种方式是水连续不断地流过水袋, 根据供水源和太阳辐射量来调节流量, 以保持出水温度^[13]。

浅太阳池的尺寸可因地制宜, 不受限制, 一个 5m×60m、水深为 10cm 的浅太阳池, 在夏季能将 30t 的水从 15℃ 加热到 60℃, 年集热量最大可达 $3.4 \times 10^9 \text{ J/m}^2$ 。浅太阳池造价低廉, 安装方便, 能常年供应 30~60℃ 的热水, 主要缺点是冬季效率较低, 需要大量的管道和水泵设备, 同时需要单独的夜间储能设备, 因而造价比深水型太阳池贵得多^[4]。

劳伦斯实验室为美国某兵营设计了供 10 500 名士兵全部生活用热水以及 20% 洗衣用热水的浅太阳池系统。还为新墨西哥州一个铀矿设计了由 112 个 3.5m×61m 的浅太阳池组成的热水供应系统, 能供应该矿年所需热能的 50%, 每年可节约 2 100t 燃料油^[18]。

2.2 蜂窝太阳池

蜂窝太阳池是在热水层上加一块密封充气蜂窝板, 在蜂窝尺寸与空气层表面和底面温度相匹配的情况下, 蜂窝行列能够使该空气层保持稳定, 无对流。由于空气的导热率只有水的 5%, 因此一个较薄的蜂窝就可以起到很好的效果^[21]。这一空气层既透过太阳光, 又提供了良好隔热。一个设计合理的蜂窝行列的太阳池, 池效率可以是常规盐梯度太阳池的两倍^[3]。

Hollands^[22] 最先于 1965 年提出在平板式太阳能集热器上装备一个透明蜂窝装置, 由此来抑制玻璃板和吸热板之间的热对流。其后利用聚碳酸酯、聚酯薄膜等作为蜂窝材料进行了一系列蜂窝结构实验; Ortalsi^[23] 于 1982 年首次进行了蜂窝太阳池实验, 使用 10cm 高、直径 1.6cm 的蜂窝, 蜂窝板和下层淡水之间有一层 5mm 厚的油脂。太阳池深 45cm, 铺有绝热层和衬垫, 在夏季池温达到了 71℃, 冬季也高达 40℃; Lin^[24] 于 1984 年提出一种用玻璃制成的蜂窝太

阳池,集热效果较好。

澳大利亚昆士兰大学太阳能研究中心研制了一种蜂窝太阳池,即用一种有机玻璃做成高 10~15cm 的蜂窝状格栅,每个蜂窝孔口截面积为 1.52cm^2 ,将这种蜂窝结构浸在池水表面下的对流层中,起到抑制对流的作用,池子面积 16m^2 、深 0.45 米。实验结果发现,下对流区的温度在 24h 内稳定在 57°C 以上,若在表面上再铺设一层防紫外薄膜,则可使温度提高到 72.2°C ^[3]

Schaefer 通过理论研究指出,蜂窝结构的最佳尺寸是 6~9cm 高,直径 1.25~1.5cm。一个 7.6m 的蜂窝太阳池其温度可以达到 $70\sim 90^\circ\text{C}$ 。由于透明蜂窝具有优异的热性能,因此它具有许多盐梯度太阳池所没有的优点:不需要盐、运行费用较低;能够提供淡水,适用的地区更广^[21, 25]

国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所王金龙设计出一种新型的蜂窝太阳池海水淡化装置,池子顶盖采用双层聚酯薄膜蜂窝结构,池内蒸发器采用覆盖黑色吸水布的聚酯薄膜蜂窝结构,可适于建立大型太阳池海水淡化装置,比现有太阳池淡化装置提高热效率和产水率 3~5 倍^[26]

2.3 淡水漂浮式太阳池

J. T. Czamecki^[27] 在墨尔本开展了游泳池池水升温试验。用两层床垫式充气 P. V. C 塑料薄膜覆盖在游泳池水面上,可以起到良好的升温效果。在此基础上, E. R. Eaton^[28] 在阿拉斯加进行了漂浮式薄膜太阳池实验,在太阳池表面覆盖一层黑色聚乙烯薄膜,一来可以减少由于蒸发导致的热损,二来可以增强太阳能的吸收和储存。

Kamiuto^[9] 等提出一种多层绝热体系淡水太阳池,包括 2 套 4 个漂浮玻璃板,板之间距离 5cm,充满空气,可以抑制池水传导散失的热量。理论计算和实验证明池中温度比气温高 $10\sim 20^\circ\text{C}$ 。

Sokolov^[29] 等人于 1990 年提出一种在淡水池表面安置漂浮式太阳能集热器的新型太阳池,用淡水收集太阳能来进行长期的热量存储。

整个池底和池壁用一层厚度适中的塑料薄膜覆盖,隔热泡沫板浮在池面,板上放置多孔水管,其上用黑色塑料膜覆盖,用透明塑料薄膜密封全池,形成一空气隔热层,用一台低压鼓风机维持该层气压^[3]。漂浮在水池表面的吸热器吸收太阳能,从池底抽出的水喷射在吸热器的背面,吸热后流回池中,这种强化措施可使吸热器处于较低的温度,从而降低热损,但是他们对吸热器本身并未采取有效的隔热措施,因此吸热器的吸热面仍然有较大的对流和辐射热损^[29]。

中国科学技术大学葛新石等^[25] 在此基础上提出了一种低热损小型净水太阳池,采用带光谱选择性吸收面的漂浮式吸热器及透明蜂窝结构,可以大幅度抑制热损。工作时,从池底抽出的水喷射在吸热器的背面,能使后者处于较低的温度。这种太阳池能大幅度降低吸热面的热损,同时保留漂浮式吸热器太阳池的所有优点,即使用净水、无环境污染、热损小、效率高、运行维护方便等,在吸热器上使用性能优异的透明蜂窝结构,可进一步提高这种新型太阳池的热性能,使池水的平均温度在冬天也比环境高出 $10\sim 20^\circ\text{C}$ 左右。

2.4 小球顶太阳池

日本提出了一种小球顶太阳池,太阳池被一个透明双层薄膜的隔热顶罩盖。夜间,双层膜间充填 3~5mm 直径的隔热小球。池中的热水通过热交换管循环到温室地下,使土壤升温。这样在冬季就可以利用土壤中的热量加热温室^[12]。

3 其它类型太阳池

3.1 增强型太阳池

在太阳池上装备一个或多个太阳能利用装置,以增强池的集热能力,盐水池和淡水池都可以利用这种装置,但这种措施会增加太阳池的投资费用。增强型太阳池一种是在池上安装一反射板,反射面将增加投射到池表面的日照;另外一种是在池边放置集热器,集热器内被加热的水排入池中,泵再把池中较冷的水抽入集热

器^[13]。

3.2 海水、盐湖太阳池的开发

直接利用海水作为贮热区的太阳池, 不仅简便易行, 而且不用担心水体对环境的污染, 如果对池子散热要求不高就可以不采用衬垫, 由此大大降低了建池成本^[30]。

盐湖是湖泊中的一种重要类型, 它是含盐量较高的咸化水体。中国是一个多盐湖的国家, 据 2000 年最新资料统计, 我国有盐湖 1 500 多个。在占全国面积将近 1/2 的区域内, 均有现代盐湖或地下孔隙卤水断续分布^[31]。由于盐价往往占整个太阳池造价的 1/4 ~ 1/3 左右, 因此在盐湖附近建造太阳池可以大大降低成本, 青藏高原、新疆、内蒙等地区是我国盐湖分布的稠密区^[43], 也是世界盐湖分布最集中的地区之一。这些地区日照充足, 部分区域能源紧缺, 所以我国开展盐湖太阳池的应用性研究工作是十分适宜的。

参考文献:

[1] H. Tabor. Solar ponds [J]. Solar Energy, 1981, 27(3): 181—194.

[2] 毛荫秋, 江建民. 以色列的太阳池[J]. 新能源, 1989, 11(3): 8—14.

[3] 李积才. 盐湖太阳能的利用—太阳池[J]. 盐湖研究, 1994, 2(4): 60—70.

[4] 毛兆明. 国外太阳池的发展现状[J]. 新能源, 1983, 5(9): 8—12.

[5] 李宗楠. 太阳池研究动向和课题[J]. 新能源, 1987, 9(1): 6—8.

[6] 李申生, 等. 太阳能热利用导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989.

[7] M. A. Al—Nimr. Solar pond transient behaviour— analytical modeling[J]. Int. J. of Solar Energy, 1988, 19: 275—290.

[8] W. Rivera. Experimental evaluation of a single— stage heat transformer used to increase solar ponds temperature[J]. Solar Energy, 2000, 69(5): 369—376.

[9] K. Kamiuto, M. Iwamoto, K. Koga et al. Thermal behavior of a small, saltless solar pond with the semitransparent multiplayer surfacee insulation system [J]. Solar Energy, 1988, 41(2): 141—146.

[10] E. S. Wilkins, T. K. Lee. Development of the gel pond technology[J]. Solar Energy, 1987, 39(1): 33—51.

[11] J. R. Hull. Membrane stratified solar ponds[J]. Solar Energy,

1980, 25: 317—325.

[12] 陆一, 石豪. 太阳池概论[J]. 新能源, 1990, 12(11): 14—17.

[13] 王桂娟, 葛新石. 太阳池设计方案及前景[J]. 新能源, 1988, 10(5): 8—16.

[14] 李申生. 全饱和型太阳池的热稳定性条件[J]. 太阳能学报, 1995, 16(4): 333—339.

[15] A. Akbarzadeh, R. W. G. Macdonald, Y. F. Wang. Reduction of surfacee mixing in solar ponds by floating rings[J]. Solar Energy, 1983, 31(4): 377—380.

[16] 李申生. 太阳池[J]. 太阳能学报(特刊), 1999.

[17] 邸乃力, 李申生. 微型太阳池不同盖层的对比实验研究[J]. 太阳能学报, 1988, 9(3): 332—337.

[18] 皮启铎. 太阳池水合盐相变贮热的探讨[J]. 太阳能学报, 1994, 15(1): 88—92.

[19] 叶克武. 浅淡太阳池的设计[J]. 新能源, 1981, 3(6): 14—19.

[20] W. C. Dickinson, A. F. Clark, J. A. Day et al. The shallow solar pond energy conversion system[J]. Solar Energy, 1976, 18(1): 3—10.

[21] R. Schaefer, P. Lowrey. The optimum design of honeycomb solar ponds and a comparison with salt gradient ponds[J]. Solar Energy, 1992, 48(2): 69—78.

[22] K. G. T. Hollands. Honeycomb devices in flat— plate solar collectors[J]. Solar Energy, 1965, 9: 159—164.

[23] U. Ortabasi, F. H. Dyksterhuis, N. D. Kaushika. Honeycomb stabilized saltless ponds[J]. Solar Energy, 1982, 31: 229—231.

[24] E. I. H. Lin. Saltless solar pond [P]. U. S. Patent; No. 4, 470463, 1984.

[25] 葛新石, 黄护林. 带有透明蜂窝漂浮式选择性吸热器的小型净水太阳池数值模拟分析[J]. 太阳能学报, 1995, 16(3): 242—246.

[26] 王金龙. 蜂窝型循环式太阳池海水淡化装置[P]. 中国专利: CN90226740, 1990.

[27] J. T. Czarnecki. A method of heating swimming pools by solar energy[J]. Solar Energy, 1963, 7(1): 3—7.

[28] E. R. Eaton. Floating plastic reservoir covers in the Arctic[J]. Solar Energy, 1964, 8(4): 116.

[29] M. Sokolov, A. Arbel. Freshwater floating— collector— type solar pond[J]. Solar Energy, 1990, 44(1): 13—21.

[30] P. Lowrey. The prospects of salt— gradient solar ponds using seawater in the storage zone [A]. Solar Energy Technology [C]. New York: The American society of mechanical engineers, 1987.

[31] 郑绵平. 论中国盐湖[J]. 矿床地质, 2001, 20(2): 181—189.

[32] 郑喜玉, 张明刚, 徐旭, 等. 中国盐湖志[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

The Study of New-Style Solar Ponds

LUO Sha-sha, ZHENG Mian-ping

(*R &D Center of Saline Lake and Epithermal Deposits, CAGS, Beijing:
Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037*)

Abstract: Salt gradient solar pond is considered to be one of the most promising means for collecting and storing solar energy on a large scale, however this pond has several significant defects. So the study of new—style ponds has been developed. This paper summarizes the development and compares their advantages and disadvantages.

Key words: Solar pond; Solar energy; Salt gradient; Convection; Fresh water

(上接第 72 页)

$\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的质谱分析, 以及 ^{14}C 年代学和岩性地层学的研究。

研究结果显示, 从 10 200a BP 前后黄旗海进入了稳定的湖泊阶段, 并且开始出现介形类。在 10 200a BP 以前, 介形类丰度极低。岩芯中介形类化石的最大丰度出现在 10 200-6 800a BP, 反映了早全新世期间黄旗海较高的生物生产率。在此期间, 介形类化石组合从胖真星介为主(10 200~9 900a BP) 转变为双折土星介为主(9 900~8 200a BP), 继而以具尾玻璃介和双折土星介为主(8 200~6 800a BP) 的组合。全新世早期介壳的 $\delta^{18}\text{O}$ 值大多在 0‰~ -3‰ 的范围内变化, 最大变化范围为 -4.64‰~ 2.46‰, 反映了黄旗海水体氧同位素组成在全新世早期

的变幅较大。

从 6 800a BP 起, 伴随着介壳同位素的急剧下降, 介形类总丰度突然大幅度降低, 意外湖花介的出现, 反映了中全新世(6 800~3 000a BP) 黄旗海湖水变深, 湖底还原性显著增强。

从 3 000a BP 起, 湖水位显著下降, 湖底氧化条件明显增强, 以双折土星介为主的介形类的丰度有所增大。从 20 世纪 60 年代起, 人类活动破坏了湖泊的生态平衡使得黄旗海的生态环境日趋恶化。

论文完成者: 李军

论文导师: 余俊清(中国科学院青海盐湖研究所, 研究员)

(整理供稿 宋粤华)