



SOLAR

PONDS

太阳池

(美)R·P·法恩 T·H·肖特 著

张鹤飞 俞金娣 闻福众 译

陕西科学技术出版社



太 阳 池

【美】R.P. 法恩 T.H. 肖特 著

张鹤飞 俞金娣 闻福众 译

陕 西 科 学 技 术 出 版 社

内 容 提 要

本书是美国俄亥俄州立大学农业研究开发中心编写的有关太阳池方面的专题小册子。

它通过美国高纬度地区为加热空间而建立的太阳池实例，对太阳池的基本工作原理、应用、运转和有关公式等作了介绍。书中提供的大部分资料可用于任何地区建立任何太阳池上。

本书内容包括尺寸的估算、场地和衬垫的选择、盐梯度的建立和维护、盐水透明度的维护、热量的提取、控制和测试设备、环境影响，以及太阳池同热泵的联合应用等方面。

本书可供太阳能利用、热能动力、建筑和农业等科技部门的工作人员参考，也可供大专院校有关专业的师生参考。

[美] R. P. 法恩 T. H. 肖特 著
张鹤飞 俞金娣 闻福众 译

陕西科学技术出版社出版

陕西省新华书店发行

西北工业大学印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 3印张 插页 67,000字

1985年6月第1版 1985年6月第1次印刷

印数：1—10,000

统一书号：13202·75 定价：0.85元

译 者 的 话

太阳能是一种巨大的、无污染的可再生能源。将太阳能直接转换为热能是我国运用得最普遍的一种方式。它主要靠太阳能集热器来实现，包括已大量生产的平板型集热器和各种特殊的聚焦集热器。太阳池的最大优点是能将集热器与蓄热器统一于一体，从而降低了造价，提高了效率。国外对太阳池的研究这几年发展很快，有人认为只要有太阳、土地、水、盐四样东西的地方就能建造太阳池。世界各地已建立和运转了不少太阳池，它们在工农业和日常生活上都有广泛的用途，如用于空间加热、谷物干燥、海水淡化，过程加热和发电等。

本书原是美国俄亥俄州立大学农业开发中心 T·H·肖特教授负责编写的关于太阳池方面实用性很强的一本小册子。它涉及建造、维护使用、测量以及对环境的影响等方面的内容，并附有与性能计算有关的公式和简单程序。我国幅员辽阔，在利用太阳池方面有着广阔的前景。

中译本是根据原书 1983 年版翻译的。该书采用英制单位，翻译时未作变动。全书由张鹤飞、俞金娣、闻福众三人译出。译稿由张鹤飞进行校阅。

鉴于译者水平有限，错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

译者 1985 年 3 月

目 录

一、序言·····	(1)
二、太阳池介绍·····	(2)
三、太阳池尺寸估算·····	(9)
四、总的设计考虑·····	(14)
五、太阳池场地的选择·····	(24)
六、场地准备·····	(28)
七、衬垫材料的选择·····	(31)
八、盐梯度的建立·····	(36)
九、盐梯度的维护·····	(45)
十、盐水透明度的维护·····	(50)
十一、热量的提取·····	(56)
十二、控制和测试设备·····	(67)
十三、环境综述·····	(74)
十四、热泵和太阳池的联合使用·····	(79)
附录 A——太阳池面积公式·····	(83)
附录 B——分布曲线方程·····	(87)

一、序 言

世界各地的研究机构已经建立和运转了不少太阳池，它们的主要目的是研究如何从再生能源——太阳中提取热量用于空间加热、谷物干燥、过程加热和发电。

太阳池是价格比较便宜的太阳能收集器并兼有蓄热作用的一种装置。整个系统的价格（包括太阳池、热交换器以及泵等）按表面积来计算，每平方米约为 50 美元至 150 美元，到底多少取决于不同用途和场地情况。

太阳池的运转费用比烧油的装置要低。

本书目的在于向太阳池未来的用户提供太阳池应用和运转方面的一些知识。本书介绍了美国高纬度地区为空间加热采用盐浓度呈梯度的太阳池的各个方面。这里提供的大部分资料能用于建立世界任何地区的任何太阳池上。

本书并不打算成为建造和运转太阳池方面的一本完整设计指导书，而只想对那些已经具有太阳池初步知识的人，在他们最后确定是否采用这种再生能源供热方案时有所帮助。

二、太阳池介绍

什么是太阳池？

凡是能收集太阳能和储存太阳能并作为热源用的水池叫太阳池。一般来讲太阳池有三种类型，尽管它们之间有相互联系。

第一种是水中盐浓度呈稳定状态的太阳池。这种类型池的工作是依靠盐溶液（通常用氯化钠）浓度随着池深度增加而增加来抑制自然对流实现的。池上层含盐量较低，因此上层的密度比下层的小，这样就可避免池底部热而浓缩的盐水上升到表面上来，从而减少了储存热量的损失。这种太阳池的典型剖面由图 1 给出。本书只对这种池和它的特性作详细介绍。

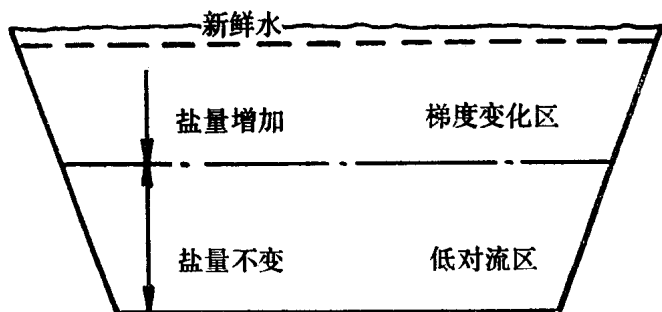


图 1 盐浓度呈稳定状态的太阳池剖面图

第二种类型的太阳池是“凝胶”池，其剖面在图 2 上给出。抑制太阳池上层对流的另一种方法是将它“凝固”在凝胶中。假如凝胶能由密度小于水及透光度很好的材料制成，

这种凝胶就能浮在水池的顶部。这样一来，凝胶层就好像成了既能防止热损失的绝热层，又允许太阳透过它加热下面的水。这种凝胶池就有可能取消前一种太阳池所必须用的大量的盐。尽管许多地方正在对凝胶池进行研究，可惜直到今天还没找到这样理想的凝胶。

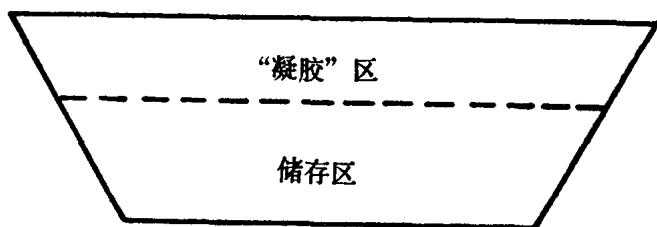


图 2 “凝胶”池剖面图

第三种是浅式太阳池。Lawrence Livermore 实验室对这种池作了大量研究。图 3 是示意图。把工作液体装入塑料“枕头”，而枕头又放在水泥框里，上面再覆盖一层玻璃。白天把要加热的水打到枕头里由太阳晒，晚上把加热的水储存起来。这种太阳池价格比盐浓度稳定的太阳池高，但可装饮用水是它的优点。

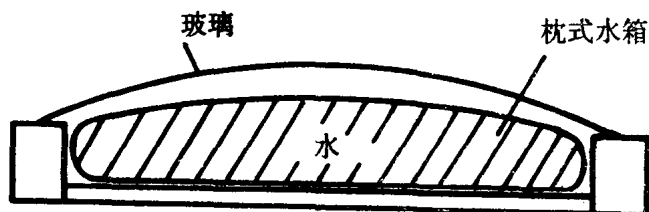


图 3 浅式太阳池剖面图

盐浓度呈稳定状态的太阳池

本书只讨论用于空间加热的盐浓度呈稳定状态的太阳池。OARDC（俄亥俄农业研究开发中心）自75年以来，对这种池广泛地进行了研究和试验。

盐浓度呈稳定状态的太阳池是依赖池上部有盐浓度呈梯度的区域来工作的。它就象透明的绝热体，既能允许太阳的辐射热穿透池水去加热池下部的储存区，又把储存区和上面的空气隔绝起来以减少散失到大气中去的热损失。

池水最上面0.3米是不希望有的区域，它叫上层对流区。这层对池性能是有害的，因而必须控制在合理的最小范围内。维护包括用新鲜水洗池的表面以及向梯度区顶部注入盐水（参看第45页）。图4给出太阳池内典型的密度分布曲线。

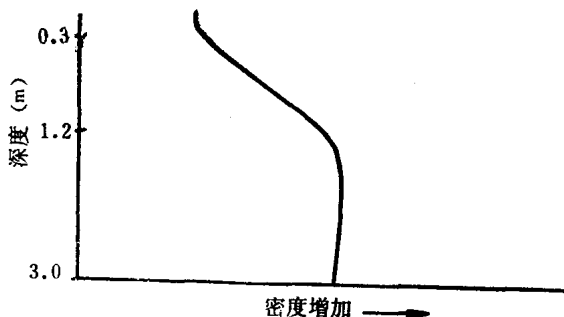


图4 盐浓度呈稳定状态的太阳池内盐水密度随深度的变化曲线

介绍 OARDC 太阳池

1975年，OARDC开始了太阳池的研究工作。他们建立

了一个太阳池(以后不特别指出就是盐浓度呈稳定状态的太阳池)为秋冬两季邻近的暖房进行加热。图5是太阳池和暖房的照片。在解决初期遇到的衬垫和盐的抑制问题后,过去一些年来,一直在示范把太阳池用作暖房加热的实际方案。

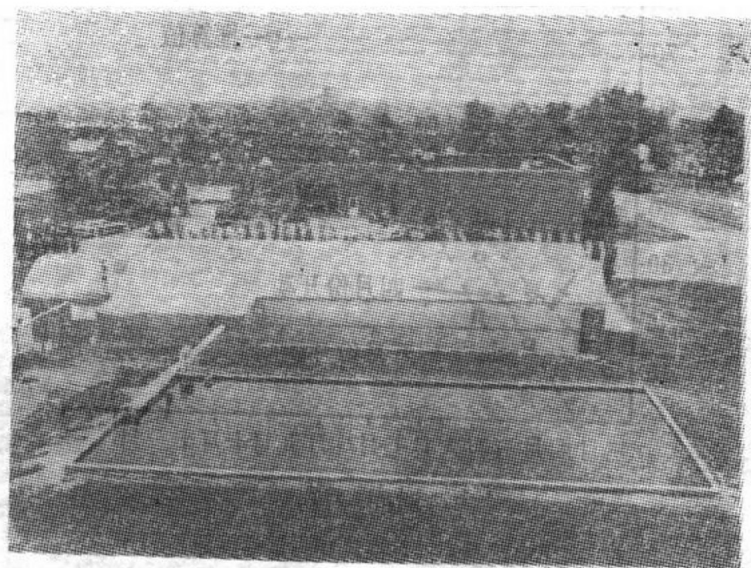


图5 俄亥俄农业研究开发中心建造的太阳池

OARDC 太阳池是箱式型。长18.3米,宽8.5米,深3米,池壁垂直,而底是平的。泥土从池底挖起,堆在周围以支承太阳池外壁。这个池装有盐水467米³,表面积为155米²,含盐100吨。它的储存区高度为1.8米,梯度区为0.9米,表面区为0.3米。上述高度在这些年内已经有了改变。

这个池储存区内二月份的温度低至8℃,而8月份温度高达63℃。这个池冬季用来加热空间,所以对春、夏、秋的

温度分布也作了详细研究。该池有趣的特点是：夏天最高温度和春天开动日期、温度无关。这种关系从图 6 上看得很清楚。

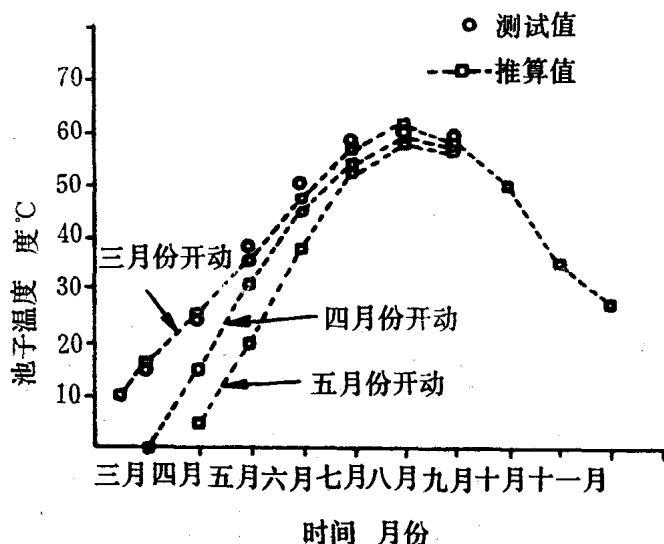


图 6 太阳池四季的推算温度和测试温度随不同开动时间和温度的变化曲线

如何建立期望的浓度分布呢？首先把搅拌的盐水灌到池深四分之三处。再把新鲜水加到表面上，相邻的溶液就混在一起了，尔后再通过注射方式形成中间密度层。自从建池开始一直在研究如何通过连续注射（参看36页）来建立梯度区的方法。用上面注射方法能很快、很精确地建立盐的梯度区，OARDC 研究人员用这种办法已经建立了许多大型的有梯度区的实验罐。

目前工艺能使设计得当的太阳池收集和储存大量的太阳能，以至温度可达到 95°C ，这种能量可用于发电、吸收制冷、加热空间和其它热过程。

参 考 文 献

Assaf, G. 1976. Dead sea: A scheme for a solar lake. *Solar Energy*, 18(4):293-299

Hull, J. R. 1979. Physics of the solar pond. Ph. D. Thesis., Iowa State Univ., Ames, 140 pp. Available from: University Microfilms, Ann Arbor, Mich. Order No. 79162-00.

Hull, J. R. 1980. Computer simulation of solar pond thermal behavior. *Solar Energy*, 25(1):33-40.

Jayadev, T. S. and M. Edesess. 1980. Solar ponds. Solar Energy Research Institute, Golden, Colo., SERI/TR-731-587, 32 pp. Available from: NTIS, Springfield, Va.

Kooi, C. F. 1979. The steady state salt gradient pond. *Solar Energy*, 23(1):37-45.

Nielsen, C. E. 1980. Nonconvective salt-gradient solar ponds. *Solar Energy Technology Handbook*, Part A. Engineering Fundamentals, pp. 345-370. Edited by W. C. Dickinson and P. N. Cheremisinoff. Marcel Dekker, New York.

Sargent, S. L. and D. A. Neeper. 1980. Overview of the DOE national and international

program for salt gradient ponds. Solar Jubilee, 25 Years of the Sun at Work, Phoenix, Ariz., June 2-6, 1980. International Solar Energy Society, Newark, Del., Vol. 3.1, pp. 395-399.

SERI. 1981. Solar ponds: A selected bibliography Published by the Solar Energy Information Data Bank, Solar Energy Research Institute, Golden, Colo. Available from: NTIS, Springfield, Va.

Tabor, H. and Z. Weinberger. 1981. Nonconvecting solar ponds. Solar Energy Handbook, pp. 10-1 to 10-29. Edited by J. Kreider. McGraw-Hill Book Co., New York.

Zangrando, F. and H. C. Bryant. 1978. A salt gradient solar pond. Solar Age, 3(4):32-36.

三、太阳池尺寸估算

池面积初步估算

按附录 A 给出的公式，作一简单计算可求得能满足任何实际年平均负荷和温度要求的太阳池面积。这是一般的计算，它能用作初步估算，而太阳池最后的设计面积应由当地土壤热传导率、环境气象条件和池的布局等因素来确定。用这种简单计算估出的面积和最后设计面积相比，其误差在 20% 以内。

表 1 到表 4 是由附录 A 中公式算得的，所用到的假设也在附录 A 中给出。表上给出能满足规定负荷所需的太阳池面积，这些表可作初步设计时参考。太阳池最终设计一定要由懂得太阳池设计知识，正确运用当地土壤和太阳辐射特性的人来作。每个表只适用于规定的纬度、池和环境之间的年平均温差，以及年平均小时太阳辐射能。太阳池面积是在

表 1.——热带、亚热带地区

纬度 $0-29^{\circ}N$				
辐射量 500 兰利 (太阳辐射单位)				
77 英制热量单位/小时·平方英尺				
242 瓦/平方米				
温差	负荷 (千瓦)			
$^{\circ}C$	30	60	120	300
33	692	1359	2683	6632
44	889	1730	3396	8347
55	1229	2364	4600	11224

太阳池和周围大气年平均温度规定的条件下按不同的年平均负荷给出的。

表 1 到表 4 在给定纬度、年平均辐射量和年平均温差条件下，给出能满足年平均负荷所需的太阳池平方米数。

表 2.——地中海到北美地区

纬度 30—43° N				
辐射量 400 兰利				
61 英制热量单位/小时·平方英尺				
193 瓦/平方米				
温差	负荷 (千瓦)			
℃	30	60	120	300
33	1056	2065	4066	10025
44	1572	3036	5922	14482
55	2952	5572	10695	25781

表 3.——中间地带

纬度 44—49° N				
辐射量 300 兰利				
46 英制热量单位/小时·平方英尺				
145 瓦/平方米				
温差	负荷 (千瓦)			
℃	30	60	120	300
33	2115	4102	8027	19682
44	5619	10549	20173	48463

表 4.——北欧地区

纬度 50—53°N

辐射量 200 兰利

31 英制热量单位/小时·平方英尺

97 瓦/平方米

温差 ℃	负荷 (千瓦)			
	30	60	120	300
33	38872	69410	128052	297918

池的形状特性

在确定太阳池尺寸时，需要考虑太阳池的形状特性。一个太阳池收集辐射热的多少取决于池的表面积大小。部分辐射热由表面对流区和盐浓度呈梯度区所吸收。其余部分将通过它们并到达池的储存区。池实际有效集热面积应是不受池壁阴影影响的储存区顶部面积。因此池的剖面形状对太阳池可用集热面积有重大影响。图 7 中给出的斜壁以及图 8 中给出的直壁，特别在高纬度地区对池集热面积的影响尤为显著。

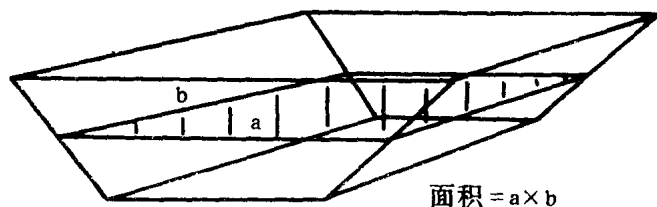


图 7 斜壁面太阳池的集热面积

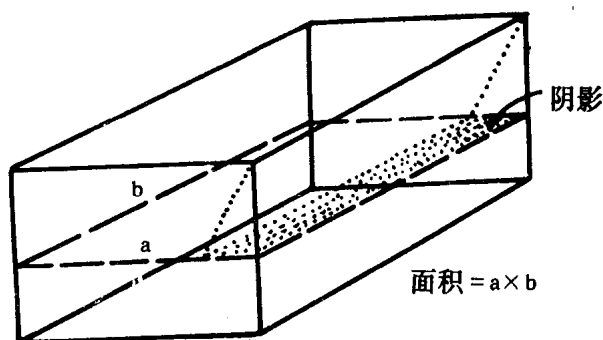


图 8 阴影对太阳池集热面积的影响

池的深度特性

储存在太阳池中热的质和量都受池深影响。池的深度直接影响到池的最高温度、对周围土壤和空气的热损失以及池储存区内温度的衰减时间。当你打算在美国高纬度地区建立用于空间加热的太阳池时，考虑池的深度特性更显得重要，而讨论这种池的运用是本书的主要目的。

储存区深度为 2 米到 5 米的太阳池，将能长时期地储存大量的热，其热损失小，池的储存效率也高。

储存区为 0.3 米到 1 米的池能达到 $90 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 的高温，但对周围空气和土壤的热损失较大，储存时间也较短。发电以及作吸收致冷循环动力用时要求这种高温。

深度的初步估算

在美国高纬度地区加热空间用太阳池的储存区深度初步