

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.01.009

太阳能烟囱发电技术研究进展

左 璐¹,郑 源¹,周建华²,屈 波¹

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098 ;2.河海大学电气工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 :简单介绍了太阳能烟囱发电技术的产生背景、原理和特点,叙述了国内外太阳能烟囱发电技术的研究进展,总结了国内外主要研究方法和成果,指出了存在的问题,并根据中国太阳能资源分布情况,提出了中国适合大规模建造太阳能烟囱电厂的看法。

关键词 :太阳能烟囱 ;集热棚 ;蓄热层 ;空气涡轮机 ;太阳能烟囱电厂

中图分类号 :TM615 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2009)01-0041-07

全球性常规能源短缺、供需矛盾日益激化,全球气候变暖、生态保护迫在眉睫,这双重的巨大压力将迫使人们寻找新能源和可再生能源。在众多能源中,太阳能优势独特,因为它储量无限,完全清洁。因此,太阳能越来越受到人们的重视。太阳能烟囱(SC)技术将古老的烟囱技术与现代太阳能热利用技术完美结合,基于热压作用下的自然通风原理,利用太阳辐射为空气流动提供动力,将热能转化为动能,从而增大了压头和排风量。最早开始研究 SC 的是法国科学家 Trombe, Trombe 的这一研究引起了人们的普遍关注。随后,人们对 SC 进行了一系列探索性研究,并将 SC 应用于许多领域。SC 技术作为一项新技术,在改善室内居住环境、食品及农副产品干燥处理、海水淡化、改善局部地区小气候和发电领域等有着非常广阔的应用前景,成为本世纪新能源与可再生能源研究的主要方向之一。

本文简单介绍了 SC 发电技术的产生背景、原理和特点,叙述了国内外 SC 发电技术的研究进展,总结了国内外主要研究方法和成果,指出了存在的问题。

1 SC 发电技术简介

1978 年,德国 Schlaich 等^[1]提出了建造太阳能烟囱电厂(SCPP)的设想。

SC 发电系统主要由 SC、集热棚、蓄热层和空气涡轮机组 4 部分构成,如图 1 所示。由透明面盖和支架组成的集热棚以 SC 为中心,呈圆周状分布,并与地表蓄热层保持一定距离。透光隔热集热棚相当于一个巨大的透明温室,其地表蓄热层吸收太阳短波辐射后温度升高,并加热棚内的空气,空气吸收热量后,温度升高,密度降低,与外部环境形成密度差,从而形成压力差。起负压管作用的烟囱加大了系统内外的压力差,从而会形成强大的上升气流,上升气流驱动置于烟囱底部中央的单台空气涡轮发电机或呈环形排列的多台小型空气涡轮发电机组发电。由于蓄热层白天吸收了大量的太阳辐射能,夜间仍会不断释放热量,发电机可实现连续发电。空气在 SC 发电系统流动的过程中,出现了 3 种能量的转换:(a)空气被加热后,太阳能转化为空气内能;(b)空气在烟囱内上升流动,将内能转化为动能;(c)气流推动涡轮机转子转动,动能转化成电能。

SC 发电系统将温室技术、烟囱技术和风力涡轮机技术结合为一体,具有设计简单、取材容易、建造成本

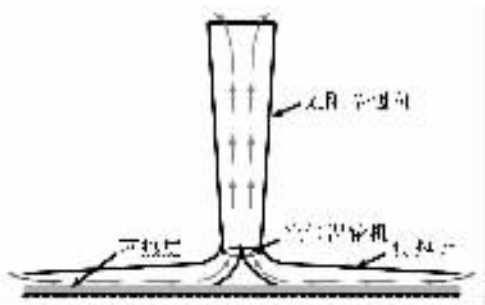


图 1 太阳能烟囱发电原理示意图
Fig. 1 Diagram of solar chimney power generation

低、设备简单、运行部件少、维修方便、运行维修费用低、可昼夜连续运行、使用寿命长、无需冷却水源、无环境污染、可改善局部环境及气候条件等优点,其缺点是发电昼夜波动、能量转换效率不高、超高烟囱存在防风防震安全问题。

2 国外 SC 发电技术研究

1981年,德国和西班牙合作在西班牙 Manzanares 建造了第1座 SC 示范电厂^[2]。这座电厂的烟囱高 194.6 m, 烟囱直径为 10.3 m, 集热棚半径为 122 m, 集热棚边缘与地面的间隙为 2 m 左右, 集热棚出口处棚顶距地面 8 m。棚内设置了蓄热系统, 可实现连续供电。白天涡轮机转速为 1500 r/min, 输出 100 kW 的电量, 夜间涡轮机转速为 1000 r/min, 输出 40 kW 的电量。之后, Haaf 等^[3]分析了 Manzanares 电厂的能量平衡、设计标准和费用等问题。Kriss^[4]在美国康涅狄格州建造了一座烟囱高 10 m、集热棚直径 6 m、输出功率 10 W 的“庭院式”太阳能发电装置。Lautenschlager 等^[5]报道了 Manzanares 样机运行 2 年多的测试结果, 并得到 SC 发电技术可用于大型电厂的结论。Mullett^[6]分析了 SCPP 系统的总效率及在欠发达国家建造不同规模 SCPP 的可行性。Padki 等^[7-8]分析了 SCPP 系统的传热流动特性, 建立了相应的数学模型, 并研究了几何和运行参数对烟囱性能的影响。Yan 等^[9]建立了包含气流质量流量、空气速度、功率输出和热流体效率的方程组, 研究了 SCPP 的热流体特性和系统的运行机制。Lodhi 等^[10]选用太阳辐射充足的孤立沙漠地来论证 SCPP 的经济性。Pasumarthi 等^[11-13]证明了 SC 发电技术是一种可行的能源技术, 提出了一种评估热气流温度对电力输出影响的数学模型, 并于 1998 年在美国 Florida 州的 Gainesville 建立了 3 种不同形式的 SC 发电模型, 分析了太阳辐射、烟囱高度、集热棚半径对热气流温度和速度的影响, 计算了系统输出功率及投资成本, 同时进行了大量的试验研究。Padki 等^[14]建立的用于估计 SC 发电系统性能的分析模型使得不同几何参数和运行参数对烟囱性能的影响更易于理解。Cannon 等^[15]从热力学循环的角度分析了系统的效率和循环特征, 认为系统的热力学循环都是布雷顿循环, 并确定了系统最大效率和输出功率的影响因素。von Backstrom 等^[16]提出了一种一维可压缩流动计算方法, 该方法可用于计算依赖于烟囱高度、烟囱内壁的摩擦、附加损失和烟囱面积等因素而变化的所有热力学参数。Cannon 等^[17-18]介绍了 SCPP 涡轮机的结构设计方法, 并通过试验研究改进了涡轮机的设计。Cannon 等^[19]在研究单台涡轮机时, 用烟囱底座作为进口导叶来产生预旋, 这可以减少扩散段入口的涡轮出口动能, 有助于导叶到转轮间气流的流动。von Backstrom 等^[20]分析了 SC 中的气流压降, 指出: 设计巨型烟囱时, 应谨慎减少支撑烟囱的轮辐数目, 轮辐截面形状尽可能取流线型, 尽量减小轮缘宽度, 顶部支撑轮辐离烟囱气流出口要尽可能远。von Backstrom^[21]提出了一种巨型烟囱中气流垂直压力、密度随 Mach 数分布的计算方法。Bernardes 等^[22]采用热网络方法评估了烟囱性能和各种外界因素、结构尺寸对电力输出的影响, 结果表明, 烟囱高度、涡轮压降、集热棚的采光面积和光学特性都是烟囱设计的重要参数。von Backstrom 等^[23]导出了说明各种参数对涡轮机效率影响的分析方程。Pastchr 等^[24]利用 Fluent 软件对西班牙电厂模型进行数值模拟, 将集热棚、涡轮、烟囱和蓄热层作为一个整体来研究。Papaqeorqiou^[25]提出了漂浮 SC 新结构, 分析了这种电厂的功率输出、效率及外部风对漂浮 SC 的影响。Seraq-Eldin^[26]提出了大气环境风对 SC 性能影响的计算模型。Bilgen 等^[27]对高纬度地区的 SC 系统进行设计与评估, 认为沿着适当山坡建造的集热棚可起到烟囱作用, 这样烟囱垂直高度可降低。Seraq-Eldin^[28-29]建立了质量、能量和动量守恒的偏微分方程组及紊流两方程的计算模型, 分析了结构参数和涡轮机特性对 SCPP 性能的影响。Seraq-Eldin^[30]指出, 可把 SCPP 建造在陡峭山坡或悬崖的高山上, 这样可减少烟囱的垂直高度, 降低建造成本。Kirstein 等^[31]研究了气流通过集热棚至烟囱过渡段时的压力损失系数、平均出口角等, 指出: 过渡段的气流压力损失会降低气体流经涡轮机的压力, 从而减少涡轮机的输出功。同时, Kirstein 等^[31]还建立了过渡段压力损失系数与集热棚高度和入口导叶部分叶片转角之间的半经验公式。von Backstrom 等^[32]提出了在最大流动功率条件下, 寻找涡轮压降与电厂可获得的压降最佳比值的 2 种分析方法。Denantes 等^[33]提出并验证了相对旋转涡轮机组在设计性能与非设计性能下的效率模型, 结果表明, 与单台运行的涡轮机对比, 没有进口导叶的相对旋转涡轮机组具有较低的设计效率和较高的非设计性能。Papaqeorqiou^[34]的研究结果表明, 20 MW 以上的漂浮 SCPP, 其建造、维修和运行费用较低, 比混凝土 SCPP 具有显著的价格优势。Nini^[35]对 SCPP 不使用高大固体烟囱条件下, 对热气流获得潜能的最大利用因子进行了讨论, 结果表明, 在集热棚中获得的可用能的一部分可使涡轮机上部空气柱中的旋风运动得到保证, 并且能够起到固体烟囱的作用。Pretorius 等^[36]就集热棚玻璃的质量、厚度、反射

率、发射率、形状、绝缘性、集热棚支撑架的横截面、各种地面类型、地表面粗糙度、吸收率、发射率、涡轮组和烟囱支撑轮辐的损失系数、环境压力和气温等对大型 SCPP 性能的影响进行了分析,结果表明,集热棚材料的绝缘性、反射率、发射率、环境气温、地面吸收率、发射率是主要影响因素。Atit 等^[37]认为,可依相似原理来进行小型 SCPP 的试验研究。Clever 等^[38]提出了在南非博茨瓦纳进行 SC 电力生产的规划,并针对微型 SC 系统进行了试验研究,重点进行了热气流速率、温度以及太阳辐射的测试。Fluri 等^[39]对 SCPP 涡轮机的模拟方法和布置方案进行了比较,结果表明,模拟方法的微小改进对 SCPP 涡轮机的性能预测有显著影响,不同的布置方案对其性能也会产生不同的影响,相对旋转涡轮机组布置方案可产生最高效率,但速度较低时,对于相同的功率输出,可出现不合要求的大扭矩。

3 国内 SC 发电技术研究

国内由于受到技术和资金等因素的影响,SC 发电技术的研究起步较晚。

2000 年,华中科技大学成立了“太阳能热气流发电技术研究中心”。2002 年,华中科技大学建造了国内第 1 座小型 SC 发电实验装置。之后,潘垣等^[40-44]进行了 SC 发电试验研究,并对 SC 发电装置内热气流的温度场和流场进行了数值模拟。卫军等^[45]研究了大型 SCPP 烟囱的结构特性以及在中国建造大型 SCPP 的可行性。代彦军等^[46]对 SC 发电技术在宁夏地区应用的可行性和方案进行了研究。葛新石等^[47]对 SC 发电系统的热力学不完善性进行了分析,指出 SC 发电实质上是太阳能热发电,受到热力学定律的制约,作为系统热源的热空气温度很低,即使在理想条件下,系统发电效率也难超过 1%。明廷臻等^[48]分析了 SCPP 的热力学循环和流动特性,提出了系统能量利用度的概念。刘伟等^[49]对 MW 级 SCPP 内部温度、压力和速度分布进行了数值模拟,分析了涡轮机负荷对 SC 抽力和系统发电量的影响。周新平等^[50]利用 Fluent 软件对 SC 发电装置内的气流进行了数值模拟,获得了 SC 发电装置内气流流速、温度等的分布特性。明廷臻等^[51]对 SCPP 系统的内部运行机制进行了研究,提出了系统相对压力的概念,导出了系统的抽力表达式。Ming 等^[52]根据抽力表达式导出了精确的系统最大输出功率和系统最大能量转换效率表达式,并通过数值模拟和前人的试验结果验证了其理论分析的正确性。明廷臻等^[53]根据相对压力概念,建立了 SCPP 系统的新的数学模型,并根据系统相对压力的分布特点来确定涡轮布置的最佳位置。周新平等^[54]提出了依山建造 SC 的构想。理论分析结果表明,斜体 SC 发电系统的总发电功率和总效率比相同垂直高度的直立 SC 发电系统略低,但可以节省大量的工程费用。毛宏举等^[55-56]应用计算流体动力学方法分析了烟囱、集热棚对 SC 发电系统效率的影响。彭维等^[57]采用文献^[53]的数学模型,对西班牙 SCPP 模型进行了数值模拟,分析了其流场和温度场,并据此对原始模型进行了优化计算。马悦等^[58]对 SC 发电系统的主要设计参数进行了计算,得到了 SC 发电系统内气流速度的最大值,同时讨论了影响 SCPP 发电功率的主要因素,分析了将 SC 建造在山坡上的可行性。张楚华^[59]应用热力学方法建立了 SC 发电系统中集热棚、烟囱及风力涡轮的热气流能量转换过程的理论模型及求解方法。卢峰等^[60]建立了集热棚的热物理模型,分析了集热棚各部分的传热过程和集热棚效率的计算方法。Zhou 等^[61]通过试验测量研究了 SC 发电装置内热气流温度分布,发现高温天气和低温天气日出后,在烟囱后段都会出现气流温度的倒置现象。Zhou 等^[62]利用改进的数学模型,模拟计算了不同太阳强度、集热棚面积和烟囱高度时的稳态功率输出。Ming 等^[63]对包括涡轮机在内的整个 SC 发电系统进行了数值模拟。吴本英等^[64]针对由 1km 高的导流烟囱底部开洞引起的边界扰动问题,分析了扰动荷载变化及正反对称边界条件下的 SCPP 超高耸导流烟囱的边缘效应。张华等^[65]研制出了 SC 发电系统的空气集热器试验装置,并利用该装置进行了变太阳辐射强度、变空气流量以及环境温度对空气集热器的热量影响试验。明廷臻等^[66]对 SC 发电系统合蓄热层中的传热与流动特性进行了数值模拟,建立了集热棚、烟囱以及蓄热层内部的传热流动数学模型,分析了太阳辐射对蓄热层蓄热性能的影响。Zhou 等^[67]通过理论模型分析,提出了为避免 SC 后段出现负浮力的最大 SC 高度以及为获得最大功率输出的最佳 SC 高度。

4 结 语

综上所述,目前国外关于 SCPP 的研究主要集中在 SCPP 的可行性、SCPP 的结构模型、提高能量转换效率和发电效率、治理局域生态环境和综合利用等问题上,没有重大的理论和技术突破。国内关于 SCPP 的研究,与国外有很大差距,但已引起了相关组织和人员的高度重视。例如,林宗虎院士^[68]根据陕西的气候条件提出

了可以考虑建造环保 SCPP 的建议,潘垣院士^[40]根据我国的能源现状,指出了利用 SC 发电对解决我国能源问题的重要意义。另外,我国也产生了许多 SC 发电技术方面的专利成果,如太阳能驱动气流发电装置^[69]、地下水抽取装置^[70]、太阳能烟囱发电装置的建造方法^[71]、太阳能烟囱间接冷凝换热制备淡水及风力发电综合系统^[72]、太阳能烟囱间接冷凝换热制备淡水及水力发电综合系统^[73]、新型高效太阳能发电技术装置^[74]、高效太阳能热气流发电系统^[75]。我国近年来关于 SC 示范电厂和商用化电厂的可行性研究十分活跃,上海电力公司和上海湘江实业公司等单位,准备利用这项技术开发可再生能源规模化综合利用工程项目,并考虑在上海建设 1 座以 SC 发电为主的“新能源、现代农业集成试验示范园区”。目前,此工程项目正在 SC 发电系统、超高建筑、发电设备设计制造、集热器大棚、农业规划、技术经济分析等方面进行更加深入的研究,通过研究,将形成能源、生态、环境协调发展的新模式,建立相应的综合效益评估体系。另外,此工程项目还利用电站的太阳能温室进行设施农业的基础性研究,种植瓜果、蔬菜、花卉等农业作物,建设大型现代生态农业园区,并通过设施农业与科普教育、观光、休闲旅游等项目的开发,探讨 SC 电站在投资回报、成本效益等方面的经济性问题。因此,我国关于 SCPP 的实用型研究和建设呈现良好的发展势头,有望在未来几年内取得重大突破。

我国西部地区,太阳能资源十分丰富,并且有大量可供选址使用的荒地、戈壁滩和沙漠,特别适合建造大型 SCPP。而荒漠化问题是影响我国西部开发的核心问题,也是威胁人类生存和发展的环境问题。因此,大规模 SC 综合发电技术是可再生能源开发利用的重要发展方向,也是多学科交叉的重大基础研究课题,不仅可为西部能源开发与环境治理开辟一条崭新的途径,还可以带动能源、建筑、土木、生态、环境等相关学科的快速发展。SC 发电技术在不断发展,我国也应跟踪国际先进水平,逐步发展适用于我国的 SC 发电技术。

参考文献:

- [1] SCHLAICH J, MAYER G, HAFF W. Aufwindkraftwerke-die demonstrationsanlage in Manzanares, Spanien[C]//Proceedings of the National Conference on Power Transmission. Hamburg, Germany [s. n.], 1980: 97-112.
- [2] ROBERT R. Spanish solar chimney nears completion[J]. MPS Review, 1981(6): 21-23.
- [3] HAAF W, FRIEDRICH K, MAYER G, et al. Solar chimneys, part I: principle and construction of the pilot plant in Manzanares[J]. International Journal of Solar Energy, 1983, 2: 3-20.
- [4] KRISST R J K. Energy transfer system[J]. Alternative Sources of Energy, 1983, 63: 8-11.
- [5] LAUTENSCHLAQER H, HAAF W, SCHLAICH J. New results from the solar chimney prototype and conclusions for large power plants [C]//Proceedings of the European Wind Energy Conference. Hamburg, Germany [s. n.], 1984: 231-235.
- [6] MULLETT L B. Solar chimney-overall efficiency, design and performance[J]. International Journal of Ambient Energy, 1987, 8(1): 35-40.
- [7] PADKI M M, SHERIF S A. Fluid dynamics of solar chimneys[C]//Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting. Chicago [s. n.], 1988: 43-46.
- [8] PADKI M M, SHERIF S A. A mathematical model for solar chimneys[C]//Proceedings of International Renewable Energy Conference. Amman, Jordan [s. n.], 1992: 289-294.
- [9] YAN M Q, SHERIF S A, KRIDL G T, et al. Thermo-fluid analysis of solar chimney[J]. Industrial Applications of Fluid Mechanics, 1991, 132: 125-130.
- [10] LODHI M A K, YUSOF S M. Helio-aero-gravity electric power production at low cos[J]. Renewable Energy, 1992, 2(2): 183-189.
- [11] PASUMARTHI N, SHERIF S A. Performance of a demonstration solar chimney model for power generation[C]//Proceedings of the 35th Heat Transfer and Fluid Mechanics. Sacramento, California [s. n.], 1997: 203-240.
- [12] PASUMARTHI N, SHERIF S A. Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model: part I. mathematical model development[J]. International Journal of Energy Research, 1998, 22(3): 277-288.
- [13] PASUMARTHI N, SHERIF S A. Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model: part II. experimental and theoretical results and economic analysis[J]. International Journal of Energy Research, 1998, 22(5): 443-461.
- [14] PADKI M M, SHERIF S A. On a simple analytical mode for solar chimney[J]. International Journal of Energy Research, 1999, 23(4): 345-349.
- [15] GANNON A J, von BACKSTROM T W. Solar chimney cycle analysis with system loss and solar collector performance[J]. Journal of Solar Energy Engineering, 2000, 122(3): 133-137.

- [16] von BACKSTROM T W , GANNON A J . Compressible flow through solar power plant chimneys[J]. Journal of Solar Energy Engineering , 2000 , 122(3) : 138-145 .
- [17] CANNON A J , von BACKSTROM T W . Solar chimney turbine part 1 of 2 : design[C]//Proceedings of International Solar Energy Conference . Reno [s . n .] , 2002 : 335-341 .
- [18] CANNON A J , von BACKSTROM T W . Solar chimney turbine part 2 of 2 : experimental results[C]//Proceedings of International Solar Energy Conference . Reno [s . n .] , 2002 : 343-349 .
- [19] CANNON A J , von BACKSTROM T W . Solar chimney turbine performance[J]. Journal of Solar Energy Engineering , 2003 , 125(1) : 101-106 .
- [20] von BACKSTROM T W , BERHARDT A , CANNON A J . Pressure drop in solar power plant chimneys[C]//Proceedings of International Solar Energy Conference . Reno [s . n .] , 2002 : 319-323 .
- [21] von BACKSTROM T W . Calculation of pressure and density in solar power plant chimneys[J]. Journal of Solar Energy Engineering , 2003 , 125(1) : 127-129 .
- [22] BERNARDES M A , DOS S , VOSS A , et al . Thermal and technical analyses of solar chimneys[J]. Solar Energy , 2003 , 75(6) : 511-524 .
- [23] von BACKSTROM T W , GANNON A J . Solar chimney turbine characteristics[J]. Solar Energy , 2004 , 76(1-3) : 235-241 .
- [24] PASTCHR H , KORHADT O , GURLEBECK K . Numerical and analytical calculations of the temperature and flow field in the upwind power plant[J]. International Journal of Energy Research , 2004 , 28(6) : 495-510 .
- [25] PAPAQEORQIOU C D . Solar turbine power stations with floating solar chimneys[C]//Proceedings of Power and Energy Systems , EuroPES 2004 . Rhodes , Greece [s . n .] , 2004 : 151-158 .
- [26] SERAQ-ELDIN M A . Computing flow in a solar chimney plant subject to atmospheric winds[C]//Proceedings of the ASME Heat Transfer/Fluids Engineering Summer Conference . Charlotte , North Carolina [s . n .] , 2004 : 1153-1162 .
- [27] BILQEN E , RHEAULT J . Solar chimney power plants for high latitudes[J]. Solar Energy , 2005 , 79(5) : 449-458 .
- [28] SERAQ-ELDIN M A . Analysis of effect of geometric parameters on performance of solar chimney plants[C]//Proceedings of the ASME Summer Heat Transfer Conference . San Francisco , California [s . n .] , 2005 : 587-595 .
- [29] SERAQ-ELDIN M A . Analysis of effect of turbine characteristics on performance of solar chimney plants[C]//Proceedings of the ASME Summer Heat Transfer Conference . San Francisco , California [s . n .] , 2005 : 673-681 .
- [30] SERAQ-ELDIN M A . Analysis of a new solar chimney plant design for mountainous regions[C]//Proceedings of the 2005 International Solar Energy Conference . Orlando , Florida [s . n .] , 2005 : 762-769 .
- [31] KIRSTEIN C F , von BACKSTROM T W , KROQER D G . Flow through a solar chimney power plant collector-to-chimney transition sector[J]. Journal of Solar Energy Engineering , 2006 , 128(3) : 312-317 .
- [32] von BACKSTROM T W , FLURI T P . Maximum fluid power condition in solar chimney power plants : an analytical approach[J]. Solar Energy , 2006 , 80(11) : 1417-1423 .
- [33] DENANTES F , BILQEN E . Counter-rotating turbines for solar chimney power plants[J]. Renewable Energy , 2006 , 31(12) : 1873-1891 .
- [34] PAPAQEORQIOU C D . Floating solar chimney power stations with thermal storage[C]//Proceedings of the Sixth IASTED International Conference on European Power and Energy Systems . Rhodes , Greece [s . n .] , 2006 : 325-331 .
- [35] NINIC N . Available energy of the air in solar chimneys and the possibility of its ground-level concentration[J]. Solar Energy , 2006 , 80(7) : 804-811 .
- [36] PRETORIUS J P , KROQER D G . Sensitivity analysis of the operating and technical specifications of a solar chimney power plant[J]. Journal of Solar Energy Engineering , 2007 , 129(2) : 171-178 .
- [37] ATIT K , TAWIT C . Dynamic similarity in solar chimney modeling[J]. Solar Energy , 2007 , 81(12) : 1439-1446 .
- [38] CLEVER K , JERZY K F , OMPHEMETSE O S . Solar chimney power generation project : the case for Botswana[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews , 2008 , 12(7) : 2005-2012 .
- [39] FLURI T P , von BACKSTROM T W . Comparison of modelling approaches and layouts for solar chimney turbines[J]. Solar Energy , 2008 , 82(3) : 239-246 .
- [40] 潘垣 , 辜承林 , 周理兵 , 等 . 太阳能热气流发电及其对我国能源与环境的深远影响[J]. 世界科技研究与发展 , 2003(4) : 7-12 .

- [41] 杨家宽,李劲,肖波,等.太阳能烟囱发电新技术[J].太阳能学报,2003,24(4):565-570.
- [42] 张建锋,杨家宽,肖波,等.太阳能烟囱发电技术现状及展望[J].可再生能源,2003(1):5-7.
- [43] 杨家宽,张建锋,李进军,等.太阳能烟囱发电装置建造和试验研究[C]//中国太阳能学会2003年学术年会论文集.上海:上海交通大学出版社,2003:475-478.
- [44] 杨家宽,李进军,张建锋,等.太阳能烟囱发电装置温度场和流场的数值模拟研究[C]//中国太阳能学会2003年学术年会论文集.上海:上海交通大学出版社,2003:471-474.
- [45] 卫军,刘展科,潘垣,等.超高太阳能烟囱结构建造的可行性分析[C]//全国结构计算理论与工程应用学术会议论文集.上海:上海同济大学出版社,2003:198-201.
- [46] 代彦军,黄海宾,王如竹,等.太阳能热风发电技术应用于宁夏地区的研究[J].太阳能学报,2003,24(3):408-412.
- [47] 葛新石,叶宏.太阳烟囱发电系统及其固有的热力学不完善性分析[J].太阳能学报,2004,25(2):263-268.
- [48] 明廷臻,刘伟,许国良,等.太阳能热气流电厂系统的热力学分析[J].华中科技大学学报:自然科学版,2005,33(8):1-4.
- [49] 刘伟,明廷臻,杨昆,等.MW级太阳能热气流电厂传热和流动特性研究[J].华中科技大学学报:自然科学版,2005,33(8):5-7.
- [50] 周新平,杨家宽,肖波,等.太阳能烟囱发电装置的CFD模拟[J].可再生能源,2005(4):8-11.
- [51] 明廷臻,刘伟,许国良,等.太阳能热气流电厂系统研究[J].工程热物理学报,2006,27(3):505-507.
- [52] MING Ting-zhen, LIU Wei, XU Guo-liang. Analytical and numerical investigation of the solar chimney power plant systems[J]. International Journal of Energy Research, 2006, 30(11):861-873.
- [53] 明廷臻,刘伟,高敏,等.太阳能热气流电厂涡轮布置位置研究[J].可再生能源,2006(5):6-8.
- [54] 周新平,杨家宽,肖波.依山建造斜体太阳能烟囱的构想[J].可再生能源,2006(4):9-11.
- [55] 毛宏举,李戡洪.烟囱性状对太阳能烟囱发电系统效率的影响[J].可再生能源,2006(5):12-15.
- [56] 毛宏举,李戡洪.集热棚对太阳烟囱发电系统效率的影响[J].可再生能源,2006(6):6-9.
- [57] 彭维,明廷臻,刘伟,等.太阳热气流发电系统流道优化研究[J].华中科技大学学报:自然科学版,2007,35(1):80-82.
- [58] 马悦,孙奉仲,史月涛,等.太阳能烟囱发电厂模型的分析与研究[J].能源工程,2007(2):30-33.
- [59] 张楚华.大型太阳能烟囱发电站热力分析与计算[J].可再生能源,2007(2):3-6.
- [60] 卢峰,张华,姚秀平,等.太阳能热风发电系统集热器热物理模型及分析[J].可再生能源,2007(2):7-9.
- [61] ZHOU Xin-ping, YANG Jia-kuan, XIAO Bo, et al. Experimental study of temperature field in a solar chimney power setup[J]. Applied Thermal Engineering 2007, 27:2044-2050.
- [62] ZHOU Xin-ping, YANG Jia-kuan, XIAO Bo, et al. Simulation of a pilot solar chimney thermal power generating equipment[J]. Renewable Energy, 2007, 32(10):1637-1644.
- [63] MING Ting-zhen, LIU Wei, XU Guo-liang, et al. Numerical simulation of the solar chimney power plant systems coupled with turbine[J]. Renewable Energy, 2008, 33(5):897-905.
- [64] 吴本英,周锡武.超高耸太阳能导流烟囱结构的边缘效应研究[J].山西建筑,2007(2):71-72.
- [65] 张华,张静敏,黄惠兰,等.太阳能热风发电系统的空气集热器试验装置的研制[J].上海理工大学学报,2007,29(4):383-390.
- [66] 明廷臻,刘伟,熊宴斌,等.太阳能热气流发电系统非稳态数值模拟[J].热力发电,2008,37(1):17-20.
- [67] ZHOU Xin-ping, YANG Jia-kuan, XIAO Bo, et al. Analysis of chimney height for solar chimney power plant[J]. Applied Thermal Engineering 2009, 29(1):178-185.
- [68] 陕西省决策咨询委员会信息网.第二届委员建议[EB/OL].(2003-04-08)[2007-11-01].http://www.sxjzw.gov.cn.
- [69] 潘垣,许国良,卫军,等.太阳能驱动气流发电装置:中国,200420111823.3[P].2006-03-01.
- [70] 杨家宽,肖波,李劲,等.地下水抽取装置:中国,CN03125370.9[P].2004-08-11.
- [71] 黄国华,施钰川.一种太阳能烟囱发电装置的建造方法:中国,200410073048.1[P],2005-03-02.
- [72] 王一平,朱丽,张金利,等.太阳能烟囱间接冷凝换热制备淡水及风力发电综合系统:中国,200410093923.3[P].2005-06-08.
- [73] 王一平,张金利,朱丽,等.太阳能烟囱间接冷凝换热制备淡水及水力发电综合系统:中国,200410093924.7[P].2005-06-08.
- [74] 路金喜,绳莉丽,李长江,等.新型高效太阳能发电技术装置:中国,200520133715[P].2007-03-07.
- [75] 沈洪嘉.高效太阳能热气流发电系统:中国,200510045313.X[P].2007-06-13.

Progress of solar chimney power generation technology

ZUO Luo¹, ZHENG Yuan¹, ZHOU Jian-hua², QU Bo¹

- (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;
2. College of Electrical Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The background , rationale and characteristics of the solar chimney power generation technology were introduced. The progress of the solar chimney power generation technology at home and abroad was given. The main research methods and achievements as well as the existing problems were summarized. According to the distribution of the solar energy in China , a conclusion is drawn , that is , China is suitable to build solar chimney power plants on a large scale.

Key words : solar chimney ; solar collector ; heat-accumulating layer ; air turbo-generator ; solar chimney power plant

.....

· 简讯 ·

《河海大学学报(自然科学版)》和《水利水电科技进展》入编
《中文核心期刊要目总览》(2008 年版)

据《中文核心期刊要目总览》2008 年版编委会通知 ,依据文献计量学的原理和方法 ,经研究人员对相关文献的检索、计算和分析 ,以及学科专家评审 ,《河海大学学报(自然科学版)》已入编《中文核心期刊要目总览》(2008 年版 ,即第 5 版)之综合性科学技术类的核心期刊 ,《水利水电科技进展》已入编《中文核心期刊要目总览》(2008 年版 ,即第 5 版)之水利工程类的核心期刊 .据《中文核心期刊要目总览》2008 年版编委会介绍 ,这次核心期刊的评选工作 ,是由北京地区十几所高校图书馆、中国科学院国家科学图书馆、中国社会科学院文献信息中心、中国人民大学书报资料中心、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、中国农业科学院农业信息研究所等相关单位的百余名专家和期刊工作者研究完成的 .这次对中文核心期刊的评价仍采用定量评价和定性评审相结合的方法 .定量评价指标体系采用了被索量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、获奖或被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Web 下载量等 9 个评价指标 .选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达 80 余种 ,统计到的文献数量共计 32 400 余万篇次 .最终从我国出版的 9 800 多种正式期刊中评选出 1 980 余种中文核心期刊 .

目前 ,在我国自然科学领域较有影响的核心期刊评定主要有中国科学院文献信息中心的《中国科学引文数据库》(CSCD)、北京大学图书馆的《中文核心期刊要目总览》、中国科技信息研究所的《中国科技论文统计源期刊》(中国科技核心期刊)3 大体系 .社会科学领域较有影响的核心期刊评定主要有南京大学中国社会科学研究评价中心的《中文社会科学引文索引》(CSSCI)、北京大学图书馆的《中文核心期刊要目总览》、中国社会科学院文献信息中心的《中国人文社会科学核心期刊要览》3 大体系 .其中《中文核心期刊要目总览》已于 1992 年、1996 年、2000 年、2004 年、2008 年出版过 5 次 .

(河海大学期刊部供稿)