

# A Study on Flat Plate Evacuated Solar Collector

黃之健、鄭錕燦

E-mail: 9806170@mail.dyu.edu.tw

## ABSTRACT

When the storage of fossil fuels become less and less, the application of solar energy gets more and more important. However, the solar thermal heating systems on the market are currently costly, heavy, and bulky. This thesis introduces the design of a novel solar collector, which unites the advantages of a flat plate collector and an evacuated tube collector to form a “ flat plate evacuated solar collector ” . The research studies the feasibility of this kind of solar collector; the study methods include the numerical simulations of fluid flow associated with heat transfers and the experiments on a real flat plate evacuated solar collector. The results show that the efficiency of the flat plate evacuated solar collector lies between the evacuated tube collector and flat plate collector and this novel solar collector is worth further study.

Keywords : Evacuated、 Flat plane、 Solar collector、 Efficiency

## Table of Contents

封面內頁

簽名頁

授權書 iii

中文摘要 iv

ABSTRACT v

誌謝 vi

目錄 vii

圖目錄 ix

表目錄 xiii

符號說明 xiv

## 第一章 緒論 1

1.1 前言 1

1.2 太陽輻射 2

1.3 太陽能熱水器簡介 3

1.3.1 太陽能熱水器構造 6

1.3.2 太陽能熱水器系統分類 8

1.4 太陽能集熱器簡介 9

1.4.1 面蓋平板式集熱器 10

1.4.2 真空管式集熱器 12

1.4.3 無面蓋平板式集熱器 13

1.5 太陽能集熱器集熱效率 14

1.6 文獻回顧 17

1.7 研究動機與目的 20

## 第二章 研究方法 23

2.1 電腦輔助設計及模擬 23

2.2 有限元素法 24

2.3 COMSOL Multiphysics工程分析軟體簡介 26

2.4 模型建構流程 26

2.5 統御方程式 27

2.5.1 流場速度分佈之統御方程式 28

2.5.2 溫度分佈之統御方程式 28

2.6 邊界條件 29

2.6.1 工作流體速度分布之邊界條件	29
2.6.2 溫度分布之邊界條件	30
2.7 格點分佈	31
2.8 平板式真空太陽能集熱器設計製作與組裝	32
2.9 實驗步驟	35
第三章 結果與討論	37
3.1 模擬結果	37
3.2 實驗結果	41
3.3 數值模擬與戶外測試結果比較	43
第四章 結論與建議	45
參考文獻	48
附錄	51
圖目錄	

圖1.1 輻射收支圖	51
圖1.2 輻射波長之範圍	51
圖1.3 頂峰熱水器	52
圖1.4 爆管現象	52
圖1.5 太陽能熱水器構造示意圖	53
圖1.6 自然循環式太陽能熱水系統示意圖	53
圖1.7 強制循環式太陽能熱水系統示意圖	54
圖1.8 儲置式太陽能熱水系統示意圖	54
圖1.9 面蓋式平板集熱器構造示意圖	55
圖1.10 太陽輻射到達地球表面之能量曲線	55
圖1.11 熱媒真空管之構造	56
圖1.12 熱媒真空管構造示意圖	56
圖1.13 聚光型反射板示意圖	57
圖1.14 雙層玻璃真空管	57
圖1.15 雙層玻璃真空管構造示意圖	58
圖1.16 PVC管太陽能集熱器	58
圖1.17 混凝土板太陽能集熱器構造示意圖	59
圖2.1 COMSOL Multiphysics使用介面視窗	59
圖2.2 平板式真空太陽能集熱器模型爆炸圖	60
圖2.3 工作流體速度分布邊界條件示意圖	60
圖2.4 工作流體溫度分佈邊界條件示意圖	61
圖2.5 集熱板溫度分佈邊界條件示意圖	61
圖2.6 真空壓力與空氣導熱率關係圖	62
圖2.7 空氣溫度分佈邊界條件示意圖	62
圖2.8 玻璃溫度分佈邊界條件示圖表意圖	63
圖2.9 隔熱材料溫度分佈邊界條件示意	63
圖2.10 平板式真空太陽能集熱器模型網格分佈上視圖	64
圖2.11 平板式真空太陽能集熱器模型網格分佈等角視圖	64
圖2.12 銅片焊接銅管示意圖	65
圖2.13 平行蜿蜒流道示意圖	65
圖2.14 流道面設計圖	66
圖2.15 流道面東南等角視圖	66
圖2.16 流道面實體圖	67
圖2.17 抽氣接頭鎖於流道面	67
圖2.18 玻璃纖維蓋板設計圖	68
圖2.19 玻璃纖維蓋板東南等角視圖	68
圖2.20 玻璃纖維蓋板實體圖	69
圖2.21 吸收面設計圖	69
圖2.22 吸收面東南等角視圖	70

- 圖2.23 吸收面實體圖 70
- 圖2.24 集熱片設計圖 71
- 圖2.25 複合材料之選擇性吸收膜集熱片實體圖 71
- 圖2.26 金屬外框設計圖 72
- 圖2.27 金屬外框東南等角視圖 72
- 圖2.28 金屬外框實體圖 73
- 圖2.29 玻璃纖維蓋板固定於流道面 73
- 圖2.30 銅接頭鎖於玻璃纖維蓋板 74
- 圖2.31 保麗龍板鋪於金屬外框底部 74
- 圖2.32 平板式真空太陽能集熱器組裝完成圖 75
- 圖2.33 真空壓力表與平板式真空太陽能集熱器 75
- 圖2.34 實驗工作台 76
- 圖2.35 LP PYRA 03全天日射計 76
- 圖2.36 全天日射計與平板式真空太陽能集熱器 77
- 圖2.37 midi LOGGER GL200A記錄器 77
- 圖2.38 沉水馬達 77
- 圖2.39 室外實驗系統 78
- 圖2.40 H48-6G導熱矽膠片 78
- 圖3.1 工作流體之壓力分布圖(出入口壓力差300Pa) 79
- 圖3.2 工作流體之速度場分布圖(出入口壓力差300Pa) 79
- 圖3.3 黑鉻集熱器工作流體之溫度分布圖(入口溫度300K) 80
- 圖3.4 黑鉻集熱板之溫度分布圖(入口溫度300K) 80
- 圖3.5 黑鉻集熱器透明面蓋之溫度分布圖(入口溫度300K) 81
- 圖3.6 複合材料集熱器工作流體之溫度分布圖(入口溫度330K) 81
- 圖3.7 複合材料集熱板之溫度分布圖(入口溫度330K) 82
- 圖3.8 複合材料集熱器透明面蓋之溫度分布圖(入口溫度330K) 82
- 圖3.9 複合材料集熱器模擬效率曲線圖 83
- 圖3.10 高真空複合材料集熱器工作流體之溫度分布圖(入口溫度330K) 83
- 圖3.11 高真空複合材料集熱板之溫度分布圖(入口溫度330K) 84
- 圖3.12 高真空複合材料集熱器透明面蓋之溫度分布圖(入口溫度330K) 84
- 圖3.13 高真空複合材料集熱器模擬效率曲線圖 85
- 圖3.14 複合材料集熱器模擬效率曲線比較圖 85
- 圖3.15 黑鉻集熱器溫度與時間關係圖 86
- 圖3.16 黑鉻集熱器效曲線圖 86
- 圖3.17 複合材料集熱器溫度與時間關係圖 87
- 圖3.18 輻射能射至物體表面現象示意圖 87
- 圖3.19 複合材料集熱器效率曲線圖 88
- 圖3.20 模擬與實驗結果效率曲線比較圖 88
- 圖4.1 平板式真空太陽能集熱器與市售集熱器效率曲線比較圖 89

## 表目錄

- 表1.1 國際標準組織(ISO)之規範 90
- 表1.2 歐洲標準(EN)之規範 90
- 表1.3 德國標準化協會(DIN)之規範 91
- 表1.4 中華人民共和國國家標準(GB)之規範 91
- 表3.1 複合材料集熱器模擬結果 92
- 表3.2 高真空複合材料集熱器模擬結果 92
- 表3.3 黑鉻集熱器實驗數據 93
- 表3.4 複合材料集熱器實驗數據 94

## REFERENCES

- [1]簡正忠, “ 太陽能知多少 ”, 國立自然科學博物館, 館訊244期, (2008)。
- [2]曾忠一, “ 大氣輻射續篇 ”, 中央研究院物理研究所, (1988)。
- [3]Ken Butti, John Perlin, “ Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology ”, Cheshire Books, (1980)。
- [4]黃文震, “ 太陽光向偵測器之設計與應用 ”, 大葉大學機械工程研究所, (2006)。
- [5]林錫欽, “ 太陽能應用於空調系統之研究 ”, 大葉大學電機工程研究所, (2004)。
- [6]李文興、顏文治, “ 向太陽借能量---熱能應用 ”, 科學發展, 383期, (2004)。
- [7]再生能源網, <http://re.org.tw/index.aspx>, (2009)。
- [8]谷下市松, “ 太陽能基礎與應用 ”, 復漢出版社有限公司, (1981)。
- [9]P.B.L. Chaurasia, “ Solar water heaters based on concrete collectors ”, Energy, Vol. 25, No. 8, pp. 703-716, (2000)。
- [10]G. Morrison, I. Budihardjo, and M. Behnia, “ Measurement and simulation of flow rate in a water-in-glass evacuated tube solar water heater ”, Solar Energy Journal, Vol. 78, No. 2, pp 257-267, (2005)。
- [11]Bill Keisling, “ The Homeowner's Handbook of Solar Water Heating Systems: How to Build or Buy Systems to Heat Your Water, Your swimming Pool, Hot Tub or SPA ”, Rodale press, inc., Emmaus, PA, (1983)。
- [12]E. Torres-Reyes, J.J. Navarrete-González, A. Zañeta-Aguilar, J.G. Cervantes-de Gortari, “ Optimal process of solar to thermal energy conversion and design of irreversible flat-plate solar collectors ”, Energy, Vol. 28, No. 2, pp. 99-113, (2003)。
- [13]Ho-Ming Yeh, Chii-Dong Ho, Jun-Ze Hou, “ The improvement of collector efficiency in solar air heaters by simultaneously air flow over and under the absorbing plate ”, Energy, Vol. 24, No. 10, pp. 857-871, (1999)。
- [14]M. Symth, P.C. Eames, B. Norton, “ Evaluation of a freeze resistant integrated collector/storage solar water-heater for northern Europe ”, Applied energy, Vol. 68, No. 3, pp. 265-274, (2001)。
- [15]Vassilis Belessiotis and Emmanouil Mathioulakis, “ Analytical approach of thermosyphon solar domestic hot water system performance ”, Solar Energy, Vol. 72, No. 4, pp. 307-315, (2002) .
- [16]Rama Subba Reddy Gorla, “ Finite element analysis of a flat plate solar collector ”, Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 24, No. 4, pp. 283-290, (1997)。
- [17]Afif Hasan, “ Thermosyphon solar water heaters: effect of storage tank volume and configuration on efficiency ”, Energy Conversion & Management, Vol. 38, No. 9, pp. 847-854, (1997)。
- [18]A. Suzuki, H. Okamura, I. Oshida, “ Application of exergy concept to the analysis of optimum operating conditions of solar heat collectors ”, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 109, No. 4, pp. 337-342, (1987)。
- [19]F. Hilmer, K. Vajen, A. Ratka, H. Ackermann, W. Fuhs and O. Melsheimer, “ Numerical solution and validation of a dynamic model of solar collectors working with varying fluid flow rate ”, Solar Energy, Vol. 65, No. 5, pp. 305-321, (1999)。
- [20]Q.-C. Zhang and D.R. Mills, “ Very low-emittance solar selective surfaces using new film structures ”, Journal of applied physics, Vol. 72, No. 7, pp.3013-3021, (1992)。
- [21]Q.-C. Zhang and D.R. Mills, “ New cermet film structures with much improved selectivity for solar thermal applications ”, Applied physics letters, Vol. 60, No. 5, pp.545-547, (1992)。
- [22]陳逸凡, “ 螺栓接合面接觸熱阻與鋁蜂巢板熱傳特性之研究 ”, 大葉大學機械工程學系碩士班碩士論文, 2002。
- [23]G. A. Ediss, “ Effect of Vacuum pressure on the Thermal Loading of the ALMA Cryostat ”, ALMA Memo, No.554, (2006)。
- [24]張俊民, “ 新型模組式中溫集熱器 ”, 台大新能源中心通訊, Vol. 6, No. 1, 第三版, (2005)。