

教育部教學實踐研究計畫成果報告

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：PEE1101205

學門專案分類/Division：工程

執行期間/Funding Period：2021.08.01 – 2022.07.31

**(從日常生活學習熱力學/Learning Thermodynamics from Daily Life)**

(熱力學一/Thermodynamics I)

計畫主持人(Principal Investigator)：陳永松

共同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：

國立中正大學機械工程學系

成果報告公開日期：

■立即公開 延後公開(統一於2024年9月30日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2022年9月19日

# (從日常生活學習熱力學/Learning Thermodynamics from Daily Life)

## 一. 本文 Content (3-15 頁)

### 1. 研究動機與目的 Research Motive and Purpose

#### (1) 研究動機

「熱力學」是研究能源領域的基礎課程，這門課的課程目標是先讓學生具備熱力學的一些基本定理及了解能源、做功、效率等相關的基礎知識。「熱力學一」在本系列為大學部二年級的必修課程。學生在學習熱力學之後，能了解基本定理，並對周遭環境常見的設備的效率、效能等有基本概念。「能量」或是「熱」因為無法觀察到，所以對學生來說是一種很抽象的概念。一般學生只聽過「能量守恆」，但是並無法實際了解能量守恆與一般生活的關係。也因此，即使熱力學是一門很簡單的課程，許多學生卻在學習過程中顯得非常抗拒。本課程透過生活中常見的系統，如發電廠、引擎、內燃機、冷氣機、冰箱等，將能量守恆的概念導入，使學生更能體會能量守恆定律。也讓學生了解熱力學與生活是息息相關的。

學生的學習狀況可由歷年小考成績來分析。這一門課每學期都有 12 次小考，2 次期中考及 1 次期末考。圖 1(a)為 109 學年度的班級 (2020 年，黑色線) 與歷年班級小考成績做比較 (2015 年至 2019 年，紅色線為 5 年平均值)。由圖中可以看出，過去 5 年的小考成績中，第一次小考的平均是最高的，因為課程一開始先介紹一些簡單的定義，所以相對來說是比較容易也熟悉的；而第二次到第四次的成績是逐漸下降。這一部分包含的是熱力學的第一定律，能量守恆。第五次小考的範圍是第二定律，各年度的成績幾乎都是相對低。因為這一部分完全是新的內容又很抽象。經過一兩周後，第六次小考的成績有提升非常高，因為這一部份的內容其實不難，只要同學上課有聽懂，回家再做一些練習題目，其實是都可以很容易理解。由第五到第六次的變化，可以看出同學需要一點時間來適應新的內容。第九次小考的內容是與熵有關，由於是同學們之前完全沒有接觸過的內容，所以成績下降的非常的明顯。但是經過一週之後，第 10 次小考成績又有明顯的增加，顯示同學需要一點時間來適應。而第 11 及第 12 次小考成績下降的非常的明顯，因為有部分同學不是聽不懂後來的內容，就是已經放棄不來上課，也不參加小考。

2020 年這班的小考成績幾乎低於歷年平均。由圖 1(b)來看，第二次期中考是三次考試中較簡單的，歷年第二次期中考成績均高於第一次高，而這班第二次期中考成績卻較第一次大幅滑落。這顯示學生的吸收效果不佳，即使教材及教學方法和歷年都是一樣的。這顯示需要調整一些教學方法來提升學生的學習效果。

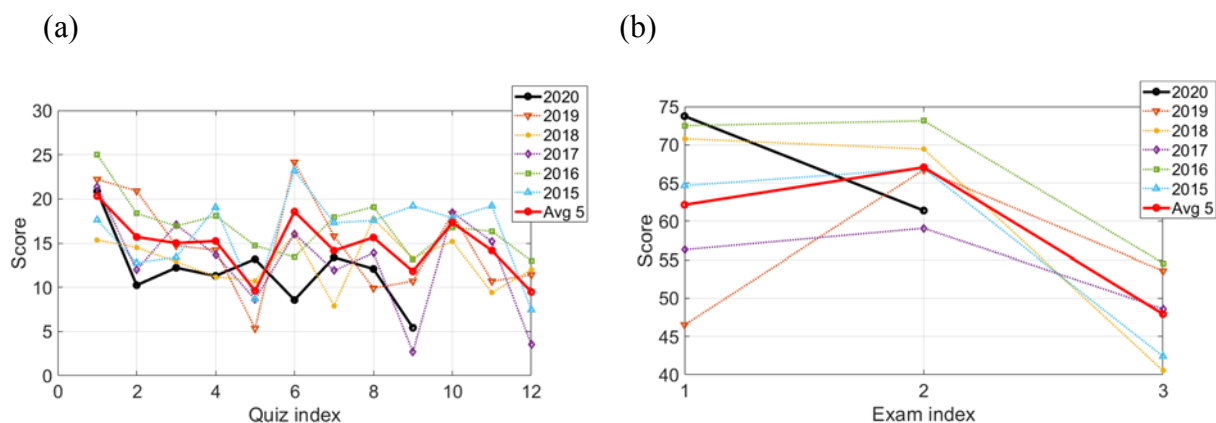


圖 1：(a) 2015 年至 2019 年間小考之平均成績；(b) 2015 年至 2019 年間期中及期末考之平均成績。

## (2)研究目的

在本研究計畫，我們將改變以往由教師單調授課的方式，將日常生活中與熱力學相關的問題導入課程中建立一個情境及問題本位的教學方式，並在課程中加入不同的教學元素及素材。本研究計劃也要探討這些教學素材的成效，進而再改善素材的內容，使學生更容易學習及吸收。目的希望藉由改善教學方法，來提高學生的學習成效。學習成效可由下列幾點來觀察：

- A. 提高學生學習興趣。
- B. 減低缺課率。
- C. 提高修課成績。

## 2. 文獻探討 Literature Review

許多研究報告也顯示，「熱力學」不但對學生來說是很難學習的，對一般教師在教學上也有相當的困難 (Sözbilir 2010; Castier 2011)。理工科的學生雖然不難理解熱力學第一定律，也就是能量守恆；但是他們在第二定律第三定律以及熵的理解上確實遭遇到很大的困難 (Klimenko 2012)。新加坡國立大學 (Sreenivasulu 2013) 指出了許多學生對於熱力學的誤解包含內能、焓、熵、自由能等。此外，Doige 指出教科書中和一般生活中的應用常無法想配合，也使學生無法理解課程中的問題與實際生活上問題的關聯性 (Doige 2012)。

由於受到實證主義者觀點影響，現在學校教授的傳統基本知識不易實際運用到日常生活中，所以學生無法將課堂上所傳授的內容內化成自己的知識。為了提升學生的效率，已經有許多研究開發了各種方法讓學生進行更有效的學習。近年來，學校將各種方法應用在基礎科目的教學上。例如：基於合作學習 (cooperative learning, CL)，基於問題的學習 (problem-based learning, PBL)，基於情境的學習 (context-based learning, CTBL)，基於專題的學習 (project-based learning, PJBL)，和能力本位教學 (competency-based learning assessment, CPBL) 等。

### (1)基於問題的學習 (problem-based learning, PBL)

PBL 由教師提出問題給學生，讓學生進行思考，或以團隊合作並找到解決問題的方案。學生在解決問題時得到的成就感更勝於單調的傳統授課方式。(Senocak 2007; Tosun 2013) 的研究顯示 PBL 提高了學生的學習成績、基礎知識以及其他技能。但是，也有一些研究 (Kirschner 2006) 認為 PBL 是最低限度指導或根本無指導的，因為大部分時間由學生尋求解決問題的方式。所以學生藉由 PBL 的學習效率不如傳統教學方式，更直接且明確 (Sweller 2007)。

### (2)基於情境的學習 (context-based learning, CTBL)

而 CTBL 是一種以學生為中心的教學方法，指的是在教學環境中使用現實生活中的虛構情境作為範例，讓學生學習有關該主題的實際實踐經驗 (Yu 2015)。CTBL 使用學生的真實生活情境作為教材，而在基於問題的學習 (PBL) (基於情境的學習方法的子類別) 中，該情境以學生所遇到的問題場景的形式使用在日常生活中很可能會遇到 (Overton 等, 2009)。CTBL 方法是著重於將課堂上學到的知識做實際應用，以增加學生對科學知識的在現實生活中理解，同時發展學生在日常生活中使用這些智識的能力 (Bennett 2005; King 2012)。

土耳其 Hakkari University 的 Baran 與 Atatürk University 的 Sozbilir 的共同研究中 (Baran 2018)，則採用綜合 **Context-及 Problem-Based Learning (CT-PBL)** 應用於熱力

學的教學課程中，並研究學生在後續化學科目方面的成果。研究方法是採用問卷收集學生對化學的態度，動機和興趣，以及一項熱力學測驗。研究結果表明，CT-PBL 大幅提高了學生在熱力學方面的學習成效及興趣。在化學方面，CT-PBL 不僅培養了學生的溝通能力、有效利用時間、做報告研究的能力，以及對 CT-PBL 的積極態度。英國 Univerisyt of Leicester 的 (William 2019) 研究中，其化學課程採用 CT-PBL 方式不但促進了 Leicester 化學系畢業生的高就業，並且有助於改善學生的技能認知。

### (3)基於專題的學習 (project-based learning, PJBL)

在大學部的工學院課程中，小組專題 (team project) 是很常見的教學方式。為了完成指定的專題題目，小組中的每個人都必須了解課程內容，並投入相當的心力，才能對這個專題成果有所貢獻。(Krishnan 2009) 在課程中設計了一項專題，利用實際氣候數據，將熱力學的關鍵主題應用於住宅應用中熟悉的家用供暖，通風和空調系統設計問題。學生以 2-3 人為一組。在學期開始時先進行分組和討論，因此學生了解整個學期學習所需的觀念。該專題由四位不同的講師實施了多年。在大二的時候，這種整體的設計和團隊合作經驗有益於學生的課程學習，並持續到之後的課程和專業實踐中。

### (4)能力本位教學 (competency-based learning assessment, CPBL)

在使用 CPBL 的課程中，課程內容劃分成許多階段，學生在了解該階段大部分內容後，才能進入下一階段更複雜的主題。因此學生的學習進度是和其學習成效相關。這方法可確定學生都能充分了解每一階段的課程內容，以免初階內容沒有學習好，就進階到更複雜的內容，影響其學習成效及其自信心；更或者，學生完全放棄這一門課程。

(Henry 2007) 發表的研究指出，CPBL 有助於幫助多元化學生群體成功的學習，也符合一般業界只需要了解基本工程原理工程師的需求。(Umbleja 2017) 也發表了有關在工程領域的課程中程序中實現各種 CPBL 相關方法的研究。(Evans, 2015) 的研究顯示與傳統方法相比，CPBL 幫助學生的學習獲得更高的成就，同時他們對自己能力也有了更強的信心。

San Jose State University 機械系的 Okamoto 教授採用 CPBL 方式在 2019 年熱力學的教學上，並評估其成效 (Okamoto, 2020)。該課程的主題分成三類別：預習，必修和補充。每個類別都包含多個子主題，整個學期共有 13 個子主題。學生需對每個子主題進行測驗。在當前類別的所有測驗中，需獲得 88% 或更高的成績，才能進行下一類別的主題測驗。Okamoto 比較使用 CPBL 學習方法的學生分數與使用傳統方法教授的學生分數進行前末考分數比較。結果顯示，使用 CPBL 進行教學時，學生解決基本主題的計算問題的能力顯著提高，並且學生的反饋意見也非常正向。

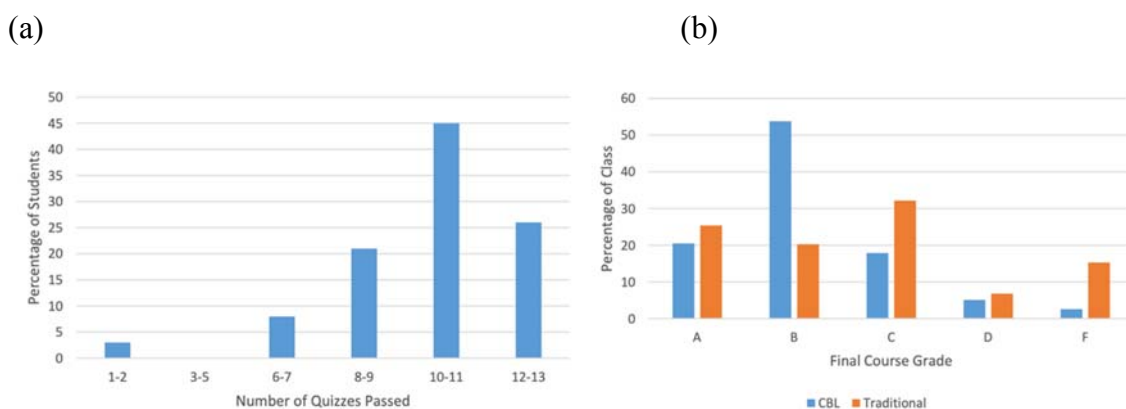


圖 2：competency-based learning 學生的學習成果；(b)CPBL 與傳統教學方式的學生成績比較。

### (5) 改變課堂教學方式

在熱力學中最常討論到的工作流體是「水」，因為一般發電廠的發電循環程序中最常用的流體就是水。在課程中的習題也有很多以水作為工作流體的例子。水在不同相態時的物理性質，如比容、內能、焓、熵等，是以蒸汽表（steam table）的形式呈現。許多研究顯示，利用圖形化的方法來呈現水地熱力學性質是能提高學生的學習成效。

包括 Urieli (2010) 和 Maixner (2006)。Pfortenhauer 等人 (2015 年) 更開發了一種 3D 的軟體，該軟體建立了壓力-體積-溫度等性質的關係架構，讓學生藉由玩遊戲來了解這些性質。即便如此，這些工具仍只是具有補充學習的功能，在沒有教師指導的情況下不易採用。

關於水的熱力學性質的說明仍然廣泛地依賴於蒸汽表，如圖 3(a)。Bakrania 的研究顯示，使用水的性質圖表 (property charts) 的學生能夠了解性質變化趨勢 (Bakrania 和 Carrig 2016)，預測性質的變化 (Bakrania 和 Mallouk 2017)，並且在解決涉及以蒸汽作為工作流體的工程問題上表現更好。(Bakrania and Haas 2019) 的研究顯示必須將此現象轉化為易於採用，並適合現行熱力學課程的教學內容。

Bakrania 的研究中提到學生們經常迴避使用蒸汽表 (Bakrania 2020)，而採用更簡單的數字替代方案來計算這些性質。在沒有上下文提供狀態性質的情況下，學生覺得蒸氣表是難以親近及使用的；因為從蒸氣表中不容易看出水的狀態，因此無法加強學生對蒸氣表的感覺。因此 Bakrania 的研究中，利用一個性質圖表，如圖 3(b)，來取代蒸氣表來進行教學。通過控制性影響研究和學生反饋對新的教學實踐進行了評估。結果顯示，以特性圖表為主要參考的學生在預測水的特性趨勢方面明顯更好 (與依靠蒸汽表的學生相比)。在接受問調查時，學生喜歡屬性表和圖形化的呈現方式，因為它們能夠直觀地傳達複雜的關係。

(a)

**TABLE A-4** Properties of Superheated Water Vapor

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 0.06 \text{ bar} = 0.006 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 36.16^\circ\text{C}$ )				
Sat.	23.739	2425.0	2567.4	8.3304
80	27.132	2487.3	2650.1	8.5804
120	30.219	2544.7	2726.0	8.7840
160	33.302	2602.7	2802.5	8.9693
200	36.383	2661.4	2879.7	9.1398
240	39.462	2721.0	2957.8	9.2982
280	42.540	2781.5	3036.8	9.4464
320	45.618	2843.0	3116.7	9.5859
360	48.696	2905.5	3197.7	9.7180
400	51.774	2969.0	3279.6	9.8435
440	54.851	3033.5	3362.6	9.9633
500	59.467	3132.3	3489.1	10.1336

(b)

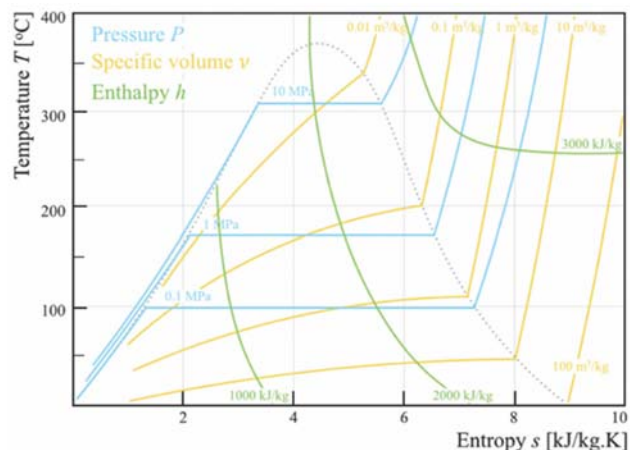


圖 3：熱力學常用的蒸汽性質表範例；(b) Bakrania 改以圖形化方式呈現性質。

### 3. 研究問題 Research Question

本研究計劃的研究問題包含：

- (1) 課堂中提供的情境是否符合學生期待。
- (2) 熱力學練習題目是否生活化。
- (3) 新加入的教學元素是否更讓學生容易理解。

- (4)哪一種教學元素最受學生喜歡。
- (5)在傳統講述法教學中，學生最不容易理解的部分是否在本研究方法中改善。

#### 4. 研究設計與方法 Research Methodology

由文獻探討可以知道，學生對基礎知識學習困難之處在於不易將課程內容與日常生活遇見的問題相結合，所以學生不知道學這一門課的知識有什麼用途；不但造成學生學習興趣的低落、甚至很少來上課。本教學實踐研究計畫將綜合基於情境及基於問題的教學方式 **Context-及 Problem-Based Learning (CT-PBL)**，並探討「隨堂後測對提升學生學習效果」之影響。研究方法及實驗步驟說明如下：

##### (1)研究架構

本研究計畫的研究對象為 110 學年度第一學期 (2021 年 9 月開學) 修習「熱力學一」的學生。本研究計畫的研究架構是採用 **CT-PBL** 方式。除了每一堂課加入多元化的教學素材外，課後即進行隨堂測驗。此測驗並不會計算學期成績。而是讓學生們了解這一堂課的重點總結，學生可以翻書或是與同學討論把這一堂課該學的徹底理解清楚。教師根據學生的測驗結果可以了解學生尚未理解之處，並在下一堂課的時候進行補充說明。次一堂課的小考內容即為上一週的課程內容，本研究計畫的小考成績將與歷年 (2015 到 2020 年) 的小考成績進行比較。

當學期進行三分之一後即進行期中考試，期中考試的成績也與歷年的期中考成績進行比較，以了解學生在這種教學方式下的學習成效。此外，期中考後也與學生進行訪談，藉由學生提供的反饋意見，修改或是調整教學內容，在下一次的課程中採用讓學生更容易接受或理解的方式。學期末時，將進行本學年度的小考成績、期中、期末考成績和歷年的成績進行比較及分析，來探討此研究方法對學生學習的效果。

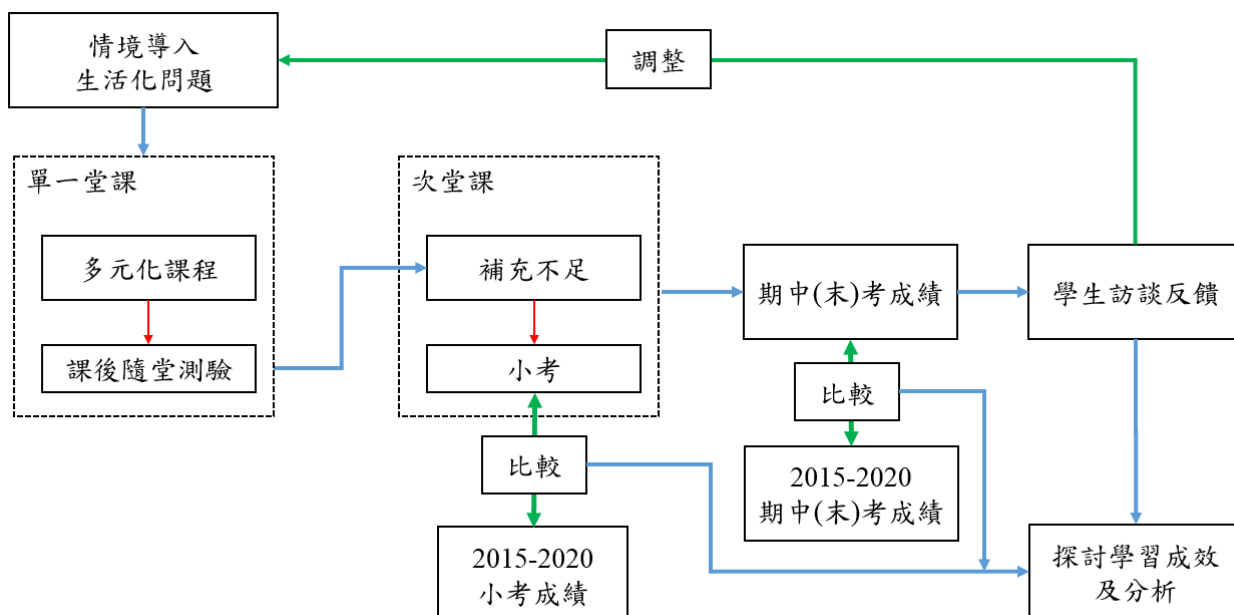


圖 4：本研究計畫之研究架構

##### (2)研究方法與工具

大部分對文獻提到利用情境式或是問題式的教學方法能提高學生的學習興趣，因此本研究計畫的方法將採用結合利用情境式及問題式的教學方法來提高學生的學習興趣。雖然文獻中已有學者採用此方法進行學熱力學的教學，但是其教學成果的呈現方式是以

問卷調查的方式來呈現，並無量化的指標。因此本研究計劃將設計一個具有量化指標來呈現此方法對熱力學教學成果的展現。

### (3)資料處理與分析

#### A.上課的表現：

上課表現不易以量化指標來呈現，只能大致以學生對隨口問題的反應程度，及教師個人感覺判斷。

#### B.出席率：

每次上課將由助教協助點名計算出席率，學期末將呈現每一堂課的學生出席率。

#### C.小考成績：

將全班的小考成績平均，再與歷年的小考成績比較。

#### D.期中（末）考成績：

將全班的期中（末）成績平均，再與歷年的期中（末）成績比較。

#### E.反饋意見：

本校教學中心在學期末都會進行教學意見調查。學生可針對各個題目進行 1 到 5 分的評分。本研究計畫將針對熱力學的各個章節、加入的素材、及不同教學方法設計問卷。藉由平均分數及標準差來呈現學生的反饋意見。此外也將學生對文字意見進行分析整理，做為隔年教學方式的改善參考。

## 5. 教學暨研究成果 Teaching and Research Outcomes

### (1)教學過程與成果

#### A.課堂講述：

本課程以國內外大學課程用書「Moran, Shapiro, Boettner, Bailery. “Moran’s Principles of Engineering Thermodynamics,” 9<sup>th</sup> ed., SI Version, John Wiley & Sons, 2018. ISBN: 978-1-119-45406-9」進行授課。上課方式採用抄寫板書方式進行，以培養學生抄筆記習慣，學生也反應抄筆記的上課方式可以讓他們有時間一邊思考，而不是只有單純聽講。

#### B.結合生活中應用：

新聞報導的內容為近幾年國內外發生的事。由於熱力學的概念比較抽象，所以不易以實體教具來呈現。但可結合時事，來協助學生了解熱力學的概念在生活中的應用。在課堂中，我採用第一定律來解釋新聞實事中不合理的發明。也利用 Youtube 網站上的相關影片介紹各種永動機的運作，並解釋其違背熱力第一定律。



圖 5：利用新聞報導內容講解熱力學相關的內容。利用影片講解永動機及第一定律

律。

### C. 模型教具：

本課程利用市售的模型教具來解釋課程中提到的作功循環。藉由觀察模型的運作，學生更能結合理論與實務。



圖 6：利用教具講解熱力學的循環

### D. 課後隨堂測驗：

本計劃的重點之一就是在每堂課下課前進行課後隨堂測驗，測驗結果不計算學期成績。同學可以互相討論或是查閱課本及筆記。目的是要針對剛才上課的結果的內容做一個總結，以加深同學的印象。圖 7 為本計畫中設計的隨堂測驗題目範例。

<p>1005 熱力學一·課後問卷</p> <p>學號：_____ 姓名：_____</p> <p>1. Derive the work of a polytropic process with <math>PV=C</math>.</p> $W = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{C}{V} dV = C \ln \frac{V_2}{V_1} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$ <p>4 2. What are included in the energy of a system, <math>E</math>? (1) internal energy, <math>U</math>; (2) potential energy, PE; (3) kinetic energy, KE; (4) all of above.</p> <p>1 3. Positive value of heat means. (1) heat transfer to the system; (2) heat transfer from the system.</p> <p>4 4. Which one is the unit of heat transfer rate? (1) J; (2) kg-m; (3) J-s; (4) W; (5) None of above.</p> <p>1, 3 5. Pick up non-properties? (1) heat transfer; (2) kinetic energy; (3) work; (4) pressure ;(5) all above.</p>	<p>1102 熱力學一·課後問卷</p> <p>學號：_____ 姓名：_____</p> <p>1. What is the definition of constant-volume specific heat? 1 (1) <math>c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v</math>; (2) <math>c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_p</math>; (3) <math>c_v = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_v</math>; (4) <math>c_v = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p</math>.</p> <p>4 2. What is the definition of constant-pressure specific heat? (1) <math>c_p = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v</math>; (2) <math>c_p = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_p</math>; (3) <math>c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_v</math>; (4) <math>c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p</math>.</p> <p>1 3. What is the definition of compressibility factor? (1) <math>z = \frac{p\bar{v}}{RT}</math>; (2) <math>z = \frac{RT}{p\bar{v}}</math>; (3) <math>z = \frac{p\bar{v}}{nRT}</math>; (4) <math>z = \frac{nRT}{p\bar{v}}</math>.</p> <p>4 4. What is the value of compressibility factor for an ideal gas? (1) <math>z = 2</math>; (2) <math>z = 8.314</math>; (3) <math>z = 0</math>; (4) <math>z = 1</math>.</p> <p>3 5. What is the value of universal gas constant? (1) <math>\bar{R} = 8.314 \frac{\text{kJ}\cdot\text{K}}{\text{kmol}}</math>; (2) <math>\bar{R} = 8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}</math>; (3) <math>\bar{R} = 8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}\cdot\text{K}}</math>; (4) <math>\bar{R} = 28.97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}</math>.</p>
--	---

圖 7：課後隨堂測驗的題目。

### E. 業界講師：

本計劃的重點之一就是在每堂課下課前進行課後隨堂測驗，測驗結果不計算學期成績。同學可以互相討論或是查閱課本及筆記。目的是要針對剛才上課的結果的內容做一個總結，以加深同學的印象。圖 7 為本計畫中設計的隨堂測驗題目範例。



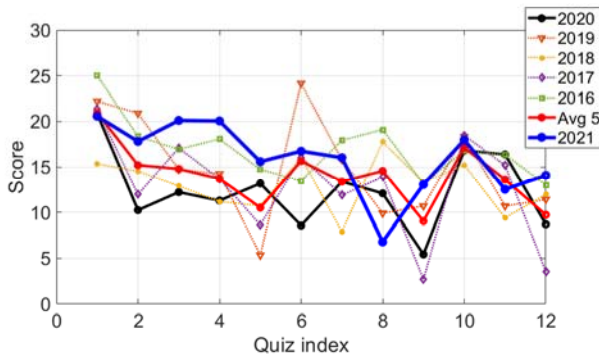


圖 8：邀請鼎佳能源董事長閻明宇博士進行專題演講。

## (F) 成果

圖 9(a)比較 109 學年度 (2020, 黑色) 與 110 學年度 (2021, 藍色) 修課班級的成績與歷年班級的成績。在圖 9(a)中, 可看到 109 學年度班級, 小考成績從第 10 次開始明顯提高 (在實施課後隨堂測驗之後實施的小考)。而在期末考時的成績也為歷年來最高, 如圖 9(b)。而在 110 學年度這一班, 可以看到大部分小考成績較歷年來提高 (除了第八次小考)。而由兩次期中考來看也明顯優於歷年班級的成績; 在第三次的期末考時成績滑落。可能是大部分同學在前兩次考試獲得不錯的成績後, 在期末考前就鬆懈了。

(a)



(b)

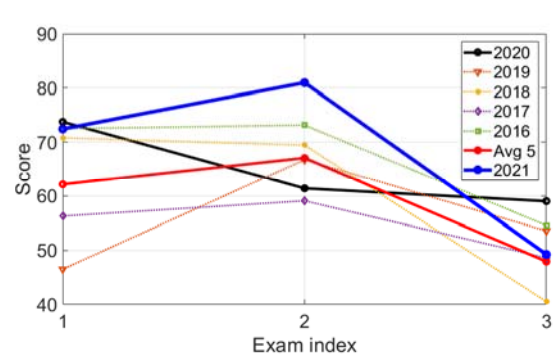


圖 9：109 與 110 學年度班級成績與歷年班級成績比較：(a)小考成績；(b)期中、期末考成績。

## (2) 教師教學反思

### A. 了解學生需求

藉由執行這次的計畫, 有機會可以審視各個學年度的學生在熱力學這門課的學習表現。雖然每年課程教材、及考試難易度幾乎都是一樣的, 但是各學年度學生卻有截然不同的表現。在這個研究計畫中了解到單調的單方向授課容易讓學生疲乏, 如果課程的教授方式能有多些變化, 例如利用新聞報導、影片、以及邀請業界講師進行講座, 增加一些教材上的變化, 可以讓學生學習的更有興趣。

## B. 掌握學生學習狀況

在這次計畫中，我們新增了以課後評量的方式來了解學生的狀況。由課後評量的結果來看，有一部分的學生似乎沒有辦法完全吸收該堂的課程內容，以至於課後評量不會寫。也因為如此，在下堂課時能再一次回顧及重新講解學生不了解的地方，以增加學生的吸收效果。由小考成績來看，這個方式是有效的。因此能即時掌握學生的學習狀況，並且加以改善是這個計畫中學到的重要心得。

### (3) 學生學習回饋

在期中考的面對面訪談中，學生回饋如下：

學生 A：「一邊聽講解一邊抄筆記，不容易同時進行。可以講兩次，或是停頓久一點讓我們有時間抄筆記」

學生 B：「例題的講解太快，希望可以調整講課的速度」

學生 C：「P-V 圖及 T-P 圖不太容易理解」

學生 D：「課後問卷對了解上課內容有用」

學生 E：「在教查表的部分太快，在螢幕上切換來切換去不容易理解，建議發放紙本性質表讓同學可以練習」

學生 F：「課堂上都聽得懂，但是題目稍有變化就不太會寫」

學生 G：「第一二章較容易，可以加快速度；第三章可以花比較多時間仔細講解」

學生 H：「抄筆記很好，可以邊抄邊想」

在學期末由學生自行至教務系統填答的教學意見如下所列（由教務處提供）

- 優質
- 每堂課結束都有學習單，加強印象我覺得很棒，我覺得小考可以在發通知說範圍在哪，到學期末都不知道從哪開始準備。
- 教授上課寫的筆記難度適中，過程清楚，使我獲益良多，教學方式也讓學生容易理解，速度不會太快，期中請業界人士來演講的部分我很喜歡，可以聽到在業界實際面臨的困難與突破，小考占分比例高，但有點容易考不好，感覺題目數量可以多個幾題，其他都非常滿意
- 老師的筆記寫的很清楚，也會舉很多例子告訴我們這些觀念要如何應用在解題之中
- 在期中訪談前我覺得上課節奏稍快有點跟不上，但訪談後有同學反應這個問題所以老師有作調整我覺得現在的上課節奏很棒
- 暫無
- 老師很認真，有進行課後訪談問我們有沒有問題！也有課後問卷讓我們統整一次當堂上課的內容。

## 6. 建議與省思 Recommendations and Reflections

- (1) 下表為近五年來這一門課的學生對這一門課的教學意見調查成績，可以看見在 109 及 110 學年度的修課學生給予的評量分數有明顯較以往提高，分別為 4.46 及 4.54（滿分為 5 分）。這兩學年度學生平均總平均成績也較以往高。顯示本教學實踐研究計畫有效提昇學生的學習成效。

學期	學生成績 總平均	成績不及格 學生數	修課人數	問卷回收數	問卷回收率(%)	總平均數	標準差
110-1	72.42	2	54	37	68.52	4.46	0.65
109-1	68.48	10	63	51	80.95	4.54	0.59
108-1	66.07	11	61	44	72.13	4.27	0.75
107-1	67.73	7	54	26	48.15	4.42	0.74
106-1	62.95	16	63	57	90.48	4.27	0.74

- (2) 熱力學這一門課是基礎必修課程，傳統的講授方式多為單方向教師講授，較少有變化。感謝教育部對此研究計劃的支持，讓主持人得以變化課程內容。讓一成不變的授課方式變得較為活潑，也讓主持人有機會在課程中加入新的元素及重新檢視以往授課方式。
- (3) 在執行這一次計劃之後，主持人深深了解到學生才是教學課程中的主體。執行任何的教學及研究方法，都需要隨時了解學生的反應及回饋，並隨時進行調整，才能讓計畫成功並有效提昇學習成效。

## 二. 參考文獻 References

- Bakrania, S., “A visual approach to teaching properties of water in engineering thermodynamics,” *Advances in Engineering Education* 8 (2020) 1-17.
- Bakrania, S. and Haas, F.M., “Teaching thermodynamic properties of water without tears,” *2019 ASEE Annual Conference & Exposition*, Tampa, Florida (June 2019)
- Bakrania, S., & Mallouk, K., “Blowing off steam tables,” *2017 ASEE Annual Conference & Exposition*, Columbus, Ohio (June 2017)
- Baran, M., Sozbilir, M., “An application of context- and problem-based learning (C-PBL) into teaching thermodynamics.” *Res Sci Educ.* 48 (2018) 663–689.
- Baughn, J., and Maixner, M., “Teaching psychrometry to undergraduates,” *2007 ASEE Annual Conference & Exposition*, Honolulu, Hawaii (June 2007).
- Bennett, J. (2005). “Bringing science to life: the research evidence on teaching science in context.” York: University of York, Department of Educational Studies.
- Castier, M., & Amer, M. “XSEOS: an evolving tool for teaching chemical engineering thermodynamics,” *Education for Chemical Engineers* 6 (2011) 62–70.
- Doige, C. A., & Day, T. “A typology of undergraduate textbook definitions of ‘heat’ across science disciplines,” *International Journal of Science Education* 34 (2012) 677–700.
- Evans, J.J., Garcia, E., Smith, M., Van Epps, A., Fosmire, M., S. Matei, S., “An assessment architecture for competency-based learning: Version 1.0,” in *Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference*, El Paso, TX, 2015.
- Henri, M., Johnson, M.D., and Nepal, B., “A review of competency-based learning: Tools, assessments, and recommendations,” *Journal of Engineering Education* 106 (2017) 607- 638.
- Klimenko, A.Y. “Teaching the third law of thermodynamics,” *The Open Thermodynamics Journal* 6 (2012) 1–14
- King, D. T. “New perspectives on context-based chemistry education: using a dialectical sociocultural approach to view teaching and learning.” *Studies in Science Education* 48 (2012) 51–87.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. “Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential and inquiry-based teaching.” *Educational Psychologist* 4 (2006) 75–86.
- Krishnan, S., & Nalim, R. “Project - based learning in introductory thermodynamics.” *116th ASEE Annual Conference* (2009).
- Maixner, M., “Interactive graphic depiction of working fluid thermal properties using spreadsheets,” *2006 ASEE Annual Conference & Exposition*, Chicago, Illinois (June 2006).
- Okamoto N., “Implementation of competency-based learning assessment in an undergraduate thermodynamics course,” *ASEE’s Virtual Conference* (June, 2020)

Overton, T.L., Byers, B., Seery, M.K. (2009), "Context-and problem-based learning in higher education." In I. Eilks & B. Byers (Eds)., *Innovative methods of teaching and learning in higher education*, Cambridge: RSC publishing. Pp. 43-59.

Pfotenhauer, J. M., Gagnon, D. J., Litzkow, M., and Pribbenow, C. M., "Game design and learning objectives for under- graduate engineering thermodynamics," *2015 ASEE Annual Conference and Exposition*, Seattle, Washington. (June 2015)

Senocak, E., Taşkesenligil, Y., & Sözbilir, M. "A study on teaching gases to prospective primary science teachers through problem-based learning." *Research in Science Education* 37 (2007) 279–290.

Sözbilir, M., Pınarbaşı, T., & Canpolat, N. "Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics." *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education* 6 (2010) 111–122.

Sreenivasulu, B., & Subramaniam, R. "University students' understanding of chemical thermodynamics," *International Journal of Science Education* 35 (2013) 601–635.

Sweller, J., Kirschner, P. A., & Clark, R. E. "Why minimally guided teaching techniques do not work: a reply to commentaries," *Educational Psychologist* 42 (2007) 115–121.

Tosun, C., & Taşkesenligil, Y. "The effect of problem-based learning on the undergraduate students' learning about solutions and their physical properties and scientific process skills," *Chemistry Education Research and Practice* 14 (2013) 36–50.

Urieli, I., "Engineering thermodynamics: a graphical approach," *2010 ASEE Annual Conference & Exposition*, Louisville, Kentucky (June 2010)

Umbleja K., Kukk, V., and Jaanus, M., "Analysis of competency-based learning — 6 years later," in *Proceedings of the IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Athens, 2017.

Williams, D.P., "Context- and problem-based learning in chemistry in higher education," Seery, M.K. and McDonnell, C. (Eds), *Teaching Chemistry in Higher Education: A Festschrift in Honour of Professor Tina Overton*, Creathach Press, Dublin, (2019) pp. 123-136.

Yu, KC., Fan, SC. & Lin, KY. "Enhancing students' problem-solving skills through context-based learning," *International Journal of Science and Mathematics Education* 13 (2015) 1377–1401.

### 三. 附件 Appendix (請勿超過 10 頁)

無