科學教育學刊
2008, 第十六卷第二期, 193-214

Chinese Journal of Science Education
2008, 16(2), 193-214

以閱讀困難觀點探討漢、英語科學論述之語意差異－以觀念物理文本為例

楊文金[1]　陳世文[1]　李哲迪[2]　任宗浩[2]　古智雄[3]

[1]國立臺灣師範大學　科學教育研究所

[2]國立臺灣師範大學　科學教育中心

[3]國立花蓮教育大學　科學教育研究所

（投稿日期：民國 96 年 10 月 25 日，修訂日期：97 年 2 月 29 日，接受日期：97 年 3 月 26 日）

摘要：以漢語談科學起自二十世初，此後「漢語是否為一種可以描述科學的語言」便成為心理學者、語言學者以及科學教育學者所感興趣的一個問題。本文藉由分析讀者在閱讀物理文本時所遭遇的困難，在系統功能語言學的視角之下，比較漢、英版本科學文本的特性。漢、英版本「觀念物理」關於「牛頓第一運動定律」的論述被選為比較的標的文本；該文本共由 362 個文本句所組成。二十九位具物理背景的讀者參與此研究，他們被要求仔細閱讀漢語版的文本，將困擾他們的句子挑選出來，並在非強制的條件之下，寫下他們的理由。平均每一個人遭遇到 17 個閱讀困難（一共 490 個閱讀困難），這些困難可能發生在單詞、名詞組、小句內、小句間、或文本句的層次之上。本文比較了英語中之“force”及漢語之「力」的衍生詞的語義差異。「什麼產生加速度」和「慣性的論述」是兩個令讀者感到困難的主題，對此則以「技術性建構」（technicality construction）的方式分析這些論述的本質。最後，所有讀者均接受「牛頓重」為正確論述，說明了在漢語世界中對詞彙誤譯與未予適當分化的現象。然而，所有的閱讀困難並非不可避免的。若能更精確地使用，則漢語仍有可能合適地表達科學論述。

關鍵詞：科學文本、科學漢語、閱讀困難、系統功能語言

導　　論

近代科學發生在歐洲而非中國，這是眾所週知的。因此，在漢語中如何呈現科學與論述科學，或是說，如何以科學來談論科學，這是十九世紀末才出現的議題。在西潮的衝擊之下，甚至有學者主張廢漢語，例如錢玄同在二十世紀初便主張「中國文字字義極為含混，文法極不精密，本來只可代表古代幼稚之思想，決不能代表 Lamark、Darwin 以來之新世界文明」（錢玄同, 1999），而且，「欲廢孔學，不可不先廢漢文」，魯迅也贊成這樣的說法：「漢字也是中國勞苦大眾身上的

一個結核，細菌都潛伏在裡面，倘不首先除去它，結果只有自己死」（蔡大成, 1990）。張慶仁（2006）也在探討以漢語來編製社會科學量表時表達對漢語描述性質的看法。

> 漢語的語法並非外顯形態，僅靠詞序與虛詞表示詞際關係；西方的語法則形於外，規則性高。故，漢語被形容是「意合的」與「人治的」語言，可自由應用；西方語言則是「形合的」與「法治的」規範語言。漢語適合表現抒情寫意和敘事，西方語言則適合科學性表達。（張慶仁, 2006, p. 144，底線為筆者標示）

上述的「漢語適合表現抒情寫意和敘事，西方語言則適合科學性表達」的論述是否屬實，漢語是否為精確的語言、可否用以描述科學等議題，遠超過本文探討的範圍。從中小學科學教育的角度言之，不管漢語是否精確、可否描述科學，科學教材、科學教學、科學課室的各種活動仍是以漢語為主。因此科學教育不可能逃避以漢語談科學的現實。更何況從社會語言學的角度來說，語言並不是不能改變的。因應社會脈絡的不同，語言是可以創生與演化的（Halliday, 2004a）。

其實，只要瞭解百年前科學如何進入漢語世界，便可知漢語其實是一個「活的」語言；也就是說，為了消納新的社會脈絡與語境（register），漢語一如其他語言（例如英語）一樣，也具有調節修正的功能。事實上，「科學」一詞傳入中國，成為漢語中的專有名詞，時間不過百餘年。根據樊洪業（2000）的研究，在十九世紀末，康有為編著的「日本書目志」中首先出現了「科學入門」和「科學之原理」兩個書目（p. 4），漢語中才出現「科學」一詞。而「科學」一詞甚至是因為日本學者誤解“science”為「分科之學」而命名。“science”源自“scientia”，原意為「知識、學問」，這也就是為什麼從字面上看不出「科學」與學問、知識有關的原因。

面對科學名詞，不管是人名或術語，都可看到漢語消納這些新詞的過程。例如，牛頓早期被稱為「奈端」；而原子被音譯為「阿頓」；數據（data）為「達坦」；能量（energy）為「愛納涅」（張君勱, 1923）。有許多漢語所使用的科學術語是直譯自日文。例如：方程式、微積分、體積、數學、電流、電子、蒸汽、溫度、短波、陽極、原子、固體、有機、紫外線、生物學、內分泌、神經、動脈、解剖、傳染病、遺傳、消化、細胞、作物、化石、冶金學、火成岩、地質、石油、放射、信號、配電盤、機械、系統、構造、法則、定義、~性、~論、~率…等，也都在二十世紀初前後從日文移植到漢語中（樊洪業, 2000, p. 21）。而且要到1917年才有開始有推行漢字橫寫的建議，甚至連標點符號也是在此時期由胡適等人設置與推廣（樊洪業, 2000, p. 73）；當時的標點符號還分為橫排與豎排而有所不同。因此，漢語不但在描述科學現象、傳達科學知識僅有一個世紀的歷史，就連現代型式的漢語也不過百年而已。然而，如何使用一套語言達成不同的目的（例如，描述科學）是需要演化過程的，即便是「可以描述科學」的西方語言也是經過演化的。

在科學英語的研究中，Halliday 從1990年代起便對於科學語言投入了大量的心力（2004a）。以其為首的「雪梨學派」的主要研究發現如下：1.科學文本的體裁和人文學文本的體裁不同（Unsworth, 2001, pp. 113-147）；2.科學文本中除了一般的主動與被動語氣之外，使用了大量的中動語氣（middle voice）（Veel, 1998, pp. 114-151）。3.科學語言中使用多種的文法隱喻，以便構作（construe）科學概念，並描述概念之間的關係（Halliday, 2004a, pp. 49-101）。4.科學論述的三明治結構：從技術性事件到巨集事件再到後設事件的發展過程（Martin, 1993, pp. 203-

267）。

上述這些科學文本的語言特質基本上是以科學英語為對象的，但即便在英語中，這些特質並非預存在一般英語中，而是科學家在研究科學的同時，所開發出來的特別用法。Halliday（2004a）在其「科學的語言」一書中，分析了 Newton 的光學（Optiks）以及 Priestley 的「電學史及其現況」（History and present state of electricity）中的論述，說明了科學英語這種特殊語言型式的演化過程。

在相關研究中（林俊智, 2003; 李哲迪, 2006; 許佩玲, 2004; 翁育誠, 2004; Hsu & Yang, 2007; Lai & Yang, 2007; Yang & Hsu, 2005）發現將上述各種科學英語的特性應用在漢語的科學文本中，對讀者的閱讀理解有正向的幫助。由此來看，以漢語談論科學並非不可能，不過也突顯了科學教科書科學論述值得重視的問題。

研究目的

本文藉由英語與漢語科學文本的比較，分析科學漢語與科學英語之間的論述性質，並透過科學漢語文本的閱讀困難，探討科學漢語表徵的科學語意，希望透過上述的比較與分析，對於提昇科學漢語可讀性提供建議。

理論背景

本文在文本論述分析上，涉及到系統功能語言學中語句結構的觀點，在科學漢語的語意表徵上，則從閱讀理解的角度切入，以下將概要介紹此二項理論背景。

一、系統功能語言的介紹

本文從系統功能語言學（Systemic Functional Linguistics, SFL）的觀點來分析科學漢語與科學英語的語句論述，該理論主要由 Halliday 所提出，其應用範圍不單限於語言，亦可推及其他符號系統。例如，Kress 與 van Leeuvan（1996）的視覺語法（visual grammar）、O'Halloran（2005）的多模態理論。這些理論應用 SFL 於圖像、數學公式、肢體、表情、影片等的分析。雖然 SFL 的應用廣泛，但本文主要討論科學文本的論述性質，因此將 SFL 的介紹焦注於語言層次部分。此外，Halliday 對漢語十分熟悉，SFL 的理論也兼顧到中文的語言特質，他也曾比較科學英語與科學漢語的一些論述特性（Halliday, 1993），故 SFL 適以作為本文分析語句性質的理論基礎。

根據 Halliday（2004b）、Unsworth（2001），作為人們溝通的語言或符號同時兼具四種元功能（metafunction）：表意功能（ideational function），指語言所表徵之經驗意義；人際功能（interpersonal function），指語言所呈現之使用者（說話者與聽者、或作者與讀者，以及說者與被說）間的關係；語篇功能（textual function），指語言呈現方式的形式；以及邏輯功能（logical function），指語言所呈現之事物或事件的關係。簡言之，在使用中的語言必定同時涉及「誰對誰說（人際），說了什麼（表意及邏輯），以什麼方式說（語篇），以及說者對被說的評價或關係（人際）」。而 SFL 便是將以上這四種語言的功能加以理論化的一套語言學。在漢語世界中已有系統功能語言學的介紹與相關研究，例如大陸學者胡壯麟、朱永生、張德祿和李戰子（2005）、朱永生、嚴世清和苗興佛（2004）；在臺灣則有林俊智（2003）、李哲迪（2006）、許佩玲（2004）等應用 SFL 於科學教育的研究。

SFL 理論中的主述位分析（theme-rheme analysis）是其語篇分析的一環，與本文有直

接相關，故於此稍加說明，至於其他 SFL 的介紹，詳見前段所述的參考文獻。系統功能語言學的分析單位是「小句」（clause），也就是經驗意義中的一個事件。換言之，小句是組成論述的單位，而事件是經驗的基本單位；小句是事件語言表徵，而事件則是小句的語意內涵，二者互為表裡。主述位分析則針對小句進行分析，將小句分為主位（theme）與述位（rheme）。以小句中的過程詞（即動詞）為界線，主位是語句中在動詞之前的部分。小句的主位包含小句的主詞及部分環境條件成分，是小句的起始點。在小句動詞之後（含動詞）則為述位，是對主位的敘述。在文本中（包括科學文本），（科學）意義需經過一連串的舖陳與發展，在意義建構的過程中，主位通常蘊含已知（Given）的訊息，接著引出述位的新（New）訊息。述位的新訊息再演進成為下一小句的已知訊息（即主位），透過主述位的角色的迭代與演替，經驗才得以構作成意義，也同時才能形成一個語篇（Halliday, 2004b; Unsworth, 2001）。

二、閱讀理解

「閱讀理解」不僅受到心理學領域研究（Kintsch, 1988; Rumelhart & Norman, 1985; Schank & Abelson, 1977）的重視，也是科學教育關心的議題。

許多研究（Maury & Teisserenc, 2005; Yore & Denning, 1989; Yore, Holliday & Alvermann, 1994; Yore & Shymansky, 1991）探討了科學學習議題的閱讀理解。綜合相關研究可知，造成閱讀理解的因素，可分為與讀者特性以及與文本特性有關等兩大類因素（例如，林俊智, 2003; 顏若映, 1992）。前者可以利用適當的研究設計加以排除，例如選擇學習背景相近的樣本作為研究對象，降低讀者先備知識的干擾，即可大幅減少讀者特性因素的影響，而將焦點聚集在文本特性上。

在文本特性方面，造成閱讀理解困難的原因，部分肇因於文本論述不當所致，例如組織不良、缺乏連貫性、只述及事實但未充分解釋、不適當的用字、以及錯誤或不一致的訊息等。

本文雖不在於探討學生對科學文本的閱讀理解，但可從閱讀理解的角度，探討觀念物理文本中漢語敘述讀者易造成的閱讀困難。Yore 和 Denning（1989）指出閱讀理解可分為三個面相：知識面相，包括名詞、事實、規則、原理等與文本直接相關內容的記憶；字義推論面相，為對文本內容相關概念之間關係的理解；以及應用面相，其範圍為能將所理解的規則、概念等文本相關內容應用到新的問題情境。在本文中，將閱讀理解限制在前兩個面相的部分內容上，尤其特別關注讀者對於「詞彙語意理解」與「詞彙間語意理解」部分。前者是指詞彙的確認、專有名詞的界定與使用、由前後文決定字詞的意義、由字根或字組了解詞彙的意義…等技能。後者則指理解詞彙間的語意關係、或詞彙與不同訊息來源之間的關係。也就是說，文本的閱讀困難可能來自於小句內組成詞彙的語意誤解，也可能是小句之間關係的語意混淆。

研究方法

在這一節中將依序敘述本文的標的文本（target text）與研究設計，並於研究設計中說明研究對象與資料分析的方法。

一、標的文本

「觀念物理」（Conceptual Physics）（Hewitt, 1997）是國內外頗受好評的高中科學文

本，至今已再版多次，其漢譯版亦於2001年出版。透過 Google 以「觀念物理」及「書單」進行查詢，發現「觀念物理」常被推薦作為國中、高中、甚至大專的課外閱讀書籍。

漢語版的「觀念物理 I」（常雲惠譯, 2001）為 Conceptual Physics 第三版的譯本，本文便以這二科學文本做為分析的文本對象，其中以「牛頓第一運動定律」做為分析單元的範圍。以此單元作為分析有兩項考量：第一「慣性定律」是談論動力學的第一章，與先前章節的連動性較低，單元內容較為獨立；其次，此單元主題與牛頓第二、三運動定律相較，是較為基礎的主題，對於學習過高中物理的學生較有可能自行閱讀，進而判斷文章的可讀性。因該單元出現在「觀念物理」第一冊第四章，故分別將漢、英版之標的文本簡稱為 CCP4與 ECP4。

選定標的文本後，依據 ECP4文本中的原始斷句為基礎，將對應之漢、英版本，依其斷句建立資料庫。所謂「原始斷句」是以在英語版中作者使用句點、驚嘆號及問號來區做為語句的單位判斷標準，這樣的語句稱為「文本句」。根據這個原則，不包括 ECP4在章末的“Chapter Review”，一共建立了431文本句的 ECP4資料庫。其次，針對 ECP4的每一筆資料，建立與之對應的漢譯版本資料庫。扣除漢語版未翻譯部分，一共得到362筆資料。資料庫內容及相關分析的結果，可檢視此網頁：http://star.gise.ntnu.edu.tw:8080/sta/review.asp。

二、研究設計

本文主要以學生反應的閱讀困難，來探討漢語與英語在科學文本中所呈現的論述特性，對此，本文邀請29位具物理背景之研究對象參與，其中六位為物理系畢業（5位為正在修讀科學教育碩士的研究生，1位已取得博士學位）、兩位為博士班研究生，其大學為生科主修。另外21位為高二及高三學生，其修過高中物理的力學單元，且為任課教師推薦之物理成績優秀的學生。藉由這個挑選過程以降低因先備知識而產生閱讀困難的機率。

閱讀文本即為「CCP4」的全部文本，合計22頁（含所有附圖，但不含章尾的「觀念一把抓」）。閱讀者有充分的時間閱讀所有文本內容（時間從兩天到一個星期），他們在閱讀文本時，對文句不理解其意之處標示底線，並請他們寫下（非強制性）不理解的理由。由於研究對象多數為高中生，因此並沒有要求讀者閱讀英語文本。將所有閱讀困難收集之後，首先分析那些文本陳述易令讀者產生閱讀困難。其次，由於牛頓第一運動定律主要描述慣性定律，該定律在 CCP4與 ECP4中的定義分別如下：

E1: Every object **continues** in a state of rest, or of motion in a straight line at constant speed,

E2: unless it **is compelled to change** that state by forces exerted upon it.

C1：除非 物體 **受到** 外力 作用，

C2：**改變** 它的 運動狀態，

C3：否則，每個 物體 靜者 **恆靜**，

C4：動者 **維持** 直線 等速率運動。（黑體字及底線為本文加入，前者為小句的動詞，底線部分為該小句的內容詞）

在慣性定律的論述中，其內容詞包括：物體、受到、外力、作用、改變、運動狀態、靜者、恆靜、動者、維持、直線、等速率運動等。其中，與「外力」有關的詞（例如：力、作用力、阻力…等）在「CCP4」中使用頻率高達171次以上，因此，在「閱讀困難」的分析中，先將就與「力」有關的詞進行漢、英版本的比較，並探討含有「力」的論述是

否引起讀者的閱讀困難。

讀者之所以產生閱讀困難或迷思概念的原因，可能來自於他們熟知的科學用語，而這些用語可能與科學文本的論述有關（Solomon, 1993）。因此，為了詮釋引起讀者閱讀困難的因素，可從科學教科書文本論述的用語做進一步瞭解。由於參與本研究的研究對象均為高中以上的讀者，國中階段的科學教學是他們所熟悉科學論述的來源。因此國中自然與生活科技教科書的內容可以用來詮釋讀者所遭遇之閱讀困難的可能原因。在此，以 STAR（Science Text Analysis Resource）資料庫作為搜尋來源（楊文金, 2004）。STAR 內容包括已除役的國編版生物、理化、地球科學、健康教育，以及康軒、南一及翰林版的自然與生活科技；雖然 STAR 為應用 SFL 於科學教科書內容分析的資料庫，在本研究中僅取其作為資料搜尋的來源。對於最易引起閱讀困難的論述，再以 SFL 的主述位分析進行深入的探討。

研究發現

一、閱讀困難描述性分析

如研究設計中所述，共有29位讀者參與「閱讀困難」研究。由於這些讀者都是選自物理學習表現良好的高二或高三學生，甚至是大學主修物理的研究生，他們都具有慣性定律的背景知識。這些讀者在充分的時間下，閱讀「CCP4」後，將他們認為不易理解或錯誤的文字敘述以劃底線的方式標示出來，並寫下其疑問或意見。

如表1所示，在362句子中，未被標示為閱讀困難的句子有155句（42.8%），其餘57.2%（207句）至少都有一個人次的標示；平均每一句被標示1.48人次。其中，多於5人次（含）標示的句子共有32句。由於文本內容較長，在閱讀文本之後，請學生標示閱讀困難之處並寫下理由，但有部份受試者僅標示出不易理解之處而未進一步回饋意見。對此，則從讀者標示出的語句範圍來瞭解其閱讀困難所涉及的層次。

依標示出的範圍，可將閱讀困難分為詞、名詞組、詞組、小句、句間、段落、以及建議與回答等七大類。在「詞類」的閱讀困難中，讀者無法瞭解文本敘述中的單一詞彙。例如讀者對於「恆定」、「反抗」、「外力」…等詞彙有疑義，這些單詞包括名詞、動詞及連接詞。其次，「名詞組類」的閱讀困難是由多字所組成的名詞組，例如：「暴力運動」、「自然靜止位置」…等。在「詞組類」的閱讀困難方面，讀者對於含動詞與名詞的短語感到疑惑，而這些短語又與完整的小句有別，例如：「反抗改變其運動狀態」、「不需要任何外力」…等（這些都未構成一個完整的小句，因缺乏主詞）。再者，閱讀困難可能是由小句所構成，也可能發生在跨小句層次。前者稱為「小句類」閱讀困難，例如：「暴力運動時，最重要的一點是有受到外力作用」；後者稱為「句間類」困難，例如：「當球在斜面上往上**滾動**，也就是與重力方向**相反**時，…」與「它的慣性也**愈大**，需要較大的力**才能改變**它的運動狀態」。最後一種閱讀困難涉及段落層級，也就是說，讀者對於一個以上的句子、甚至是段落或數個段落有疑義。例如讀者指出「從編號171到175，若以

表 1：閱讀困難分佈表

閱讀困難數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	全部句數
句數	155	90	47	28	10	7	7	8	3	1	3	1	1	1	362

前面內文的敘述，好像回答 yes 也沒有太錯，這個回答有些擾亂了對慣性的敘述」或直接指出「從編號171至175不懂」。

根據讀者所標示的閱讀困難，依其性質分為「建議及回答」（28人次）與「閱讀困難」（512人次），前者包括對「CCP4」排版或陳述深度的建議（11人次），以及對「CCP4」所提之問題的回答（17人次）。整體閱讀困難的分佈情形如圖1所示：單詞類（123人次）、名詞組類（54人次）、詞組類（64人次）、小句類（174人次）、句間類（81人次）、以及段落類（16人次）。

詞類、名詞組類、詞組類的閱讀困難可歸為「小句內層次」的閱讀困難，佔45%；而小句類則為「小句層次」的閱讀困難，佔32%；句間與段落為「句子層次」的閱讀困難，合佔18%；而建議與回答佔5%。

二、「力」的家族

如前所述，慣性定律最重要的概念便是「當淨力為零時，物體保持既有的運動狀態」。其中，重要的關鍵詞便是「力」（force）。在底下就要針對「力」這個詞在 CCP4及 ECP4中的使用情形加以分析，並探討其引起的閱讀困難，以瞭解漢、英兩個版本的差別。

A.不是力的「力」

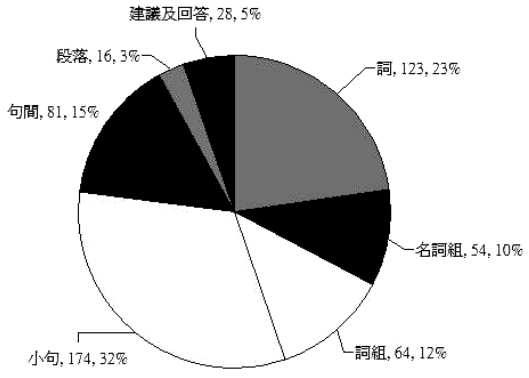


圖 1：閱讀困難類型分佈

首先，在漢語版中使用的「力」共計有25種，如表2所示。首先，先看表2中淺灰色網底部分的四個「力」:「暴力」、「壓力」、「用力」以及「阻力」。這四個「力」事實上並不是物理上的力。就 violent motion 而言，黃福坤（2000）譯為「混亂的運動」，香港地區則譯為「劇烈運動」（縱橫資訊科技語文發展中心, 2007），徐光台（2005）則譯為「強迫運動」，但查詢「中研院平衡語料庫」中並無出現「暴力運動」這樣的詞，而「暴力」一詞常與政治、社會事件結合。對此，29位讀者中有13人（21人次）對於 CCP4中包含「暴力運動」的4個論述感到不解。

其次，「用力」也不是一種力，「拔河遊戲是靠大夥用力拉繩索來論輸贏」（編號21），這是 CCP4唯一出現「用力」的敘述，由於它與「作用力」僅差一個字，有1位讀者對該敘述提出了「此力是作用力嗎？」的疑問。事實上，英語版的敘述為：“a tug-of-war was won by pulling on a rope”，「用力」一詞不但是譯者所加入的，同時也產生了不必要的誤解。

另一個常被誤認為力的概念是「壓力」。「壓力」一詞出現在編號311的句子中：

E3. The table actually pushes up on the book with the same force that the book presses down.

C5. 因此桌面朝上對書本的推力，恰好等於書本向下對桌面的壓力。

「壓力」是意譯的例子之一，以物理概念的角度而言，這是誤譯。雖然僅有一位碩士級的讀者指出這個問題，但壓力並不是一種力：二者單位不同，不可混淆。

另外，「阻力」譯自“resistance”，雖然在文本中僅出現在一個句子中，卻有12位讀者（13人次）對該句意義表示難以理解。該句（編號84）的漢、英語分別為：

表 2：漢、英版本中「力」相關詞的分析表

力的類別	Type of Force	頻率/閱讀困難	力的類別	Type of Force	頻率/閱讀困難
力	force(s)	18/23	阻力	resistance	1/13
外力		10/26	風力	force of the wind	1/0
作用力		11/9	拉張的力	stretching force	1/2
初始作用力		1/1	向下的力	downward force	1/1
施力		3/0			
不平衡的外力	unbalanced forces	1/2	向上的力	upward force	1/1
外力	external cause	1/5	支承力	support force	4/5
	outside force	1/3			
拉力/推力	pull/push	12/4	用力	a tug-of-war was won by pulling on a rope	1/1
推/拉		12/0			
			重力	gravitational force	1/2
法向力	This force acts at right angles to the surface.	1/1		Force of gravity	7/5
	normal force	2/9			
			重力	gravity	8/18
暴力運動	violent motion	4/21	恆定的力	sustained force	1/0
壓力	The table actually pushes up on the book with the same force that the book presses down.	1/1	摩擦力	friction	15/26
				frictionless	1/0
				forces of friction	1/1
				friction force	1/1
			張力	tension force	6/3
				tension	17/4
合力	resultant of the forces	1/0	10 牛頓的合量	a supporting 10-N upward resultant	7/3
淨力、「淨力」	net force	18/5	驅使	force	1/2

E4. We call this resistance inertia.

C6. 我們稱這個阻力為慣性。

這一陳述令讀者不解之處在於「阻力」的語意。雖然大部分的讀者僅標示他們無法理解上述的論述，但從其中幾位的理由可知這個詞確實十分困擾讀者。例如：

05：阻力，好像是有額外的力在阻擋他。

01：何來阻力？

03：阻力？哪來的？是反抗改變其運動狀態？是一種力？所以慣性=阻力？

08：所以物體有內在的"力"？（數字為讀者編號）

為什麼「阻力」會造成讀者閱讀的困難，在本節末有深入的探討。

B.不含「力」的力

有些英語詞雖然不含"force"這個單字，但語意上卻是力。在漢譯版中，這些詞有時被譯為不含「力」的詞，有時又被譯為一種力，同時也伴隨著不同的閱讀困難。例如"resultant"及"push"或"pull"，前者被譯為「合

量」，而後者有時被譯為「推」或「拉」，有時被譯為「推力」或「拉力」（見表2中灰色底部分）。

在中譯版中出現了7次的「合量」，而「合力」卻僅出現一次。根據 STAR 的資料顯示教科書中不曾使用「合量」一詞，但「合力」至少被使用過125次之多。以“a supporting 10 N upward resultant”來說，10N 是力的單位，因此能支持這個10N 的必然也是力；因此 resultant 宜譯為「合力」。在29位讀者中有三位指出對「合量」意義的理解感到困難。

另外，“push”與“pull”被直譯為「推」或「拉」共12次，而意譯為「推力」或「拉力」也有12次之多；有趣的是，在直譯的情形中，並未造成讀者的困擾，相對的，而在意譯的情形之下，部分讀者（4人次）有理解困難。其原因可能涉及在“force”這個概念的構作過程[1]中，“push”與“pull”的詞性變化（由動詞變為名詞）無法在漢語中清楚的被呈現。

此外，“external cause”也被意譯為「外力」：

E5. The important thing about defining violent motion was that it had an external cause.

C7. 在定義暴力運動時，最重要的一點是有受到外力作用。

對於“external cause”而言，「外力」仍屬意譯，而「外部原因」或許是較佳的用詞，雖然這個詞僅出現1次，卻造成了5個閱讀困難。此外，“tension”在 ECP4中單獨出現了17次，全被意譯為「張力」而與“tension force”沒有區別，也有4個閱讀困難；在 ECP4中除了編號135句中的“friction”未被譯出之外，其他的“friction”都被意譯為「摩擦力」，有趣的是，與「摩擦力」有關的閱讀困難大多發生在將“friction”意譯為「摩擦力」的論述中。在後文中也將深入探討「摩擦力」的閱讀困難。

C.多變的“force”

針對“force”的漢譯詞來說，在不同文句使用了「力」、「外力」、「作用力」、「初始作用力」以及「施力」等詞，如表2所示。將“force”譯為「力」共出現在18文本句中，有趣的是，即便是將“force”直譯為「力」，仍有23人次對這樣的漢語論述表示閱讀困難。例如：

E6. One of Galileo’s great contributions to physics was demolishing the notion that a force is necessary to keep an object moving.

C8. 伽利略對物理學的偉大貢獻之一，是推翻了物體必須靠一個力才能維持運動這樣的觀念。（編號48）

有5位讀者的困難便在於無法理解「物體必須靠一個力才能維持運動這樣的觀念」的陳述，其中，「一個力」也是引起閱讀困難之處。在漢語中，「力」的量詞通常是「個」，例如「一個力」、「兩個力」、「多個力」…等。在 STAR 中，同樣的描述出現了31次。因此對於上述論述的質疑並不是量詞的使用。比較編號10的敘述：

E7. The idea that a force causes motion goes back to the fourth century B.C., when the Greeks were developing some of the ideas of science.

C9. 關於「力會造成運動」的想法，追溯到西元前四世紀，那時希臘人正在發展一些科學概念。（編號10）

這個論述並未產生任何閱讀困難，而此處“a force”並未被直譯為「一個力」。此處的“a”應為不定冠詞，“a force”泛指一般的力，

[1]關於科學概念的構作過程，涉及「技術性建構」（technicality construction）的語法隱喻，可參閱 Halliday（2004a）的說明。

而非特定的力。在漢語中，「力會造成運動」顯然優於「一個力會造成運動」的論述。相對於「力」而言，雖然將“force”譯為「外力」的頻率只在6文本句中出現，但卻有26人次對「外力」感到不解。例如：

E8. Since these motions were considered natural, they were not thought to be caused by forces.

C10. 既然這些運動被認為是自然的，就不需要任何外力，來引起或是促成它們發生。（編號17）

共有10位讀者認為上述論述有問題，其中9位所指出的焦點便是「外力」，例如：

03：所以自然運動是因為“內力”？

09：所以說向心力對此系統來說不算是外力？

「外力」一詞隱含了「力分為外力與內力」的分類。這樣的分類使得讀者無法瞭解在慣性定律的論述為什麼要考慮到這種分類。此外，在 CCP4中也出現三次將 force 譯「施力」的例子。雖然「施」可當動詞使用，例如：「甲施力於乙」或「甲對乙施力」中的「施」便是動詞；而在此處的「施力」卻可被當作名詞或動詞使用。例如：

E9. …then the net force is the sum of these forces…

C11. …此時物體所受到的淨力是你們兩人施力的和…（編號279）

E10. …then the net force is the difference of these forces…

C12. …淨力就會是你們兩人施力的差…（編號281）

E11. …each arm supports half of your weight.

C13. …每一隻手臂的施力都支承了你體重的一半。（編號324）

有趣的是，所有的讀者都可接受這個詞的使用。STAR 中顯示教科書中即大量使用「施力」一詞，包括動詞與名詞形式二種形式都十分普遍，不同版本共計出現452次之譜，由此可見，「施力」不但是讀者所熟悉的詞項，同時也能瞭解該詞的詞性（動詞或名詞）的區別。

事實上，“force”也可以當作動詞用。在ECP4中有一個例子：

E12. We know that something forces the boulder to begin moving.

C14. 我們知道有某種東西驅使這塊石頭開始運動。（編號8）

有2位讀者對此敘述表示閱讀困難：

03: 這種東西=力？為什麼告訴我力之後[註]又說“某種東西”？應先說“某種東西”再說這是“某種力”吧？[註：編號7指出「…造成這塊石頭運動的原因是某種力」]

08: 某種力。某種東西？object？

從上述的理由可知閱讀的困難在於能驅使物體運動的並不是「東西」，因此，“something”應為「某種力」而非「某種東西」。

D.複合力

除了“force”之外，如表2中白色底的部分所示，CCP4中使用了許多以「詞組」呈現的複合力。底下將分析這些複合力及其閱讀困難。首先是「不平衡的外力」這個複合力，其原論述如下：

E13. Things in motion remain in motion if no unbalanced forces act on them.

C15. 在沒有不平衡的外力作用的情況下，動者恆動。（編號409）

值得注意的是“unbalanced forces”是指多力之間的平衡，其中，“unbalanced”是修飾詞（epithet）而非分類詞（classifier）；也就是說，unbalanced forces 並不蘊含著 balanced forces 與 unbalanced forces 的分類。相對的，「不平衡的外力」並不能指出是一個力或多個力的情形，而且還隱含著「外力分為平衡

的與非平衡的」的分類。雖然「不平衡的外力」僅出現一次，卻引起了兩個閱讀困難。

在「法向力」部分所產生的閱讀困難分為兩類，一類是質疑「法向力」一詞的使用方式。大多數的讀者認為應以「正向力」取代「法向力」。STAR 資料庫顯示在國中階段並未使用「正向力」或「法向力」這兩個詞，而在高中物理學談論摩擦力的性質的論述時，均以「正向力」來描述垂直於接觸面的力，例如：

…若在木塊上方加不同重量的物體，改變木塊受到接觸面的正向力 N，再測定最大靜摩擦力 f_s，實驗結果可發現最大靜摩擦力和正向力成正比，…。（林明瑞, 2002, p. 119）

…一重物靜置於光滑桌面上，桌面因下陷變形而產生一恢復力 **N** 作用於重物上，**N** 與桌面垂直，我們稱 **N** 為正向力。（連坤德, 2002, p. 92）

在國立編譯館的學術名詞資訊網（2007）中，「法向力」與「正向力」都是學術名詞，有趣的是這兩詞的英語都對應到“normal force”；前者使用於「紡織科技」、「造船工程」、「航空太空詞」、「力學」及「天文學」；後者則僅出現在「物理學名詞」。雖然「法向」與「正向」二詞並無實質上的差異，但對於觀念物理中的論述：

E14. Support force is often called normal force.

C16. 通常我們又把支承力叫做法向力。（編號290）

有8位讀者認為應將「法向力」修改為「正向力」。

「淨力」一詞在 CCP4中一共出現了18次，大多數讀者對於淨力並無閱讀困難，但有5位讀者認為若以「合力」取代將有助於理解。經 STAR 查詢可知，「合力」一共使用了99次，而未見「淨力」一詞。因此上述結果是可以理解的。對於「風力」、「向上的力」、及「向下的力」等三項，出現次數少，產生的閱讀困難也少，同時其困難也較單純，因此不予討論。

雖然「拉張的力」（stretching force）僅出現一次，只引起兩位讀者的閱讀困難，但它所產生的困難卻十分有趣：

E15. The stretching force, or tension, is greater in the ropes hanging at an angle.

C17. 當繩索張開角度懸掛物體時，它受到拉張的力，或是說張力，會比較大。（編號386）

讀者的質疑如下：

02: 受到拉張的力？是要指“拉力”還是“張力”or“拉力+張力”。

08: 張力作用在繩上？

也就是說，「拉張的力」與「拉力」或「張力」不易區別，在 STAR 中未見「拉張」一詞，更不用說「拉張的力」了。而「張力」到底是作用在繩上或物體上，也是令讀者不解之處，而「它受到拉張的力」更蘊含著某施力者（agent）施了「拉張的力」於繩上的概念。另一方面，英語版的 ropes 是複數，是指兩條繩子以角度不為零與角度為零的方式懸掛時，前者繩子張力較大。由於漢語詞並未區別單複數，但在翻譯時仍應保存單複數的語意，才能避免不必要的誤讀。

對於「支承力」的敘述，在文中共使用了四次，造成5個閱讀的困難；其中4個困難與“support force”的中譯有關，這四位讀者認為應譯為「支撐力」。在學術名詞資訊網中，支承力應是“bearing force”，不過在機械工程中這兩種力是通用的。在 STAR 資料庫中見到了支撐力（17次）的使用而不見支承力（0次）。

摩擦力是一個常用的物理概念，在 CCP4中，將“friction”、“friction force”、或“force of friction”都譯為「摩擦力」，基本上並無問題。但是為什麼讀者在閱讀含摩擦力的論述時，

仍有高達28人次，若加計對論述中其他相關概念的閱讀困難，例如什麼是「運動狀態恆定」，閱讀困難的頻率高達50人次之多。為什麼會有這麼多閱讀困難呢？這些閱讀困難可能來自於「摩擦力」性質及其與其他概念間關係的陳述。例如：

E16. (1) forces **are needed to** accelerate objects, but not to maintain motion (2) if there **is** no friction. (The beginning statement of "In the next chapter we'll see that" was skipped in this analysis)

C18. (1)**力是**用來讓物體產生加速度的，(2)但在**沒有**摩擦力的情況下，(3)**力無法保持**物體運動狀態的恆定。（編號151，其中的括弧內的數字乃為作者加入的小句編號；已刪除句頭的敘述：「在下一章裡，我們會學到」的敘述）

英語敘述是由兩個小句構成，而漢語敘述則由3個小句組成。漢、英語版的最大差異在於英語版中的"but not to maintain motion"並非一個小句；因此原來的英語敘述等同於：

(2)if there is no friction, (1)forces are needed to accelerate objects, but not to maintain motion.

換言之，其意義應較接近於「在沒有摩擦的情況下，要加速物體需要施力，而維持物體運動並不需要力」。另外，在漢語版中，"friction"意譯為「摩擦力」而非「摩擦」，便與「力是用來讓物體產生加速度的」敘述中的「力」有所衝突。因為摩擦力也是力，同時也是「外力」，也應該讓物體產生加速度（雖然是減速度）。

其次，「保持運動狀態的恆定」中的「恆定」也是造成閱讀困難的一個點；基本上「狀態恆定」是譯者意譯的結果。STAR 資料庫顯示「恆定」一詞均用於生物學，表示生物體的恆定性；在描述「運動狀態」時常用「維持原來的運動狀態」或「運動狀態維持不變」等敘述方式。因此，讀者對於「恆定」的敘述也就感到疑惑。例如：

05：恆定是什麼意思？速度會改變就是不恆定的意思嗎？

07：恆定？

再者，若將「力無法保持物體運動狀態的恆定」改為「力無法維持物體運動狀態不變」，仍然有概念上的問題。靜置在光滑水平面上的物體，其運動狀態不變，這種不變性是重力與水平面對物體作用力的結果。如此，欲維持物體運動狀態不變，是需要合力為零而不是「力無法維持物體運動狀態不變」。因此，部分讀者質疑這個論述的意義：

08：「在沒有摩擦力的情況下，力無法保持物體運動狀態的恆定」是什麼意思？

29：不是因為沒有摩擦力，物體運動狀態才會保持恆定嗎？

01：「但在沒有摩擦力的情況下，力無法保持物體運動狀態的恆定」這一句不知道要表達什麼。

在 CCP4文本中，共有16句與摩擦力有關的論述，所引起的閱讀困難高達50人次之多，平均每一句論述引起3.125個閱讀困難，或使每一位讀者產生1.72個質疑。在結束對於「摩擦力」相關論述的分析之前，關於摩擦力如何產生的論述，需要再深入探討。底下為英、漢語版的論述：

E17. Friction is the name given to the force that acts between materials that touch as they move past each other.

C19. 摩擦力則是指兩個彼此接觸的物體，當它們有相對運動時，在接觸面上所產生的作用力。（編號50）

英語版的意譯可為：「接觸在一起的物體，當它們彼此間相對移動時，作用在物體間的力稱為摩擦力。換言之，摩擦力是互相

接觸且相對移動之物體間的交互作用。在漢語版中，「在接觸面上所產生的作用力」使得讀者產生不必要的誤解：

05: “產生”這個名稱有些奇怪，好像是無緣無故生出來的。

07: 誰產生？

「力」是物體間的交互作用，但卻常被誤解為某物所有的一種屬性（Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992）。在漢語版中，「摩擦力」是「在接觸面上所產生的作用力」，當然容易誘使讀者質疑「誰產生？」的問題。

到此為止，已討論了表2中除了「重力」之外的各種「力」的論述及讀者的閱讀困難。這些「力」之間的關係如圖2所示。許多閱讀困難的產生，是因為 CCP4中未清楚區別這些力之間的關係，例如將非力成員描述為力的成員、將核心概念「力」譯為別名而與衍生成員間過於相似、或是使用讀者不熟悉或不恰當的衍生成員名稱。

三、什麼「產生」加速度？

上面討論了各種「力」及複合力的使用情形。值得注意的是，其中「重力」這個概念蘊含著另一個容易發生閱讀困難。這個困難便是對使「運動狀態改變」原因的理解，舉例來說「誰產生加速度」就是一個有趣的問題。在描述 weight（重量）時，英、漢語的論述如下：

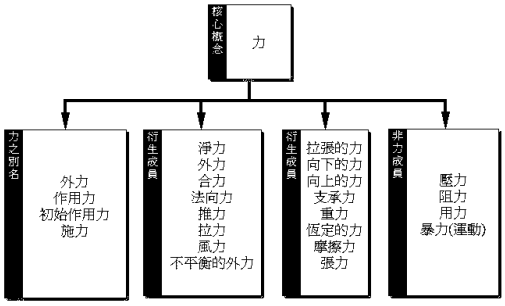


圖 2：力的家族

E18. Weight = mass × acceleration due to gravity, or simply, weight= mg.

C20. 重量（以牛頓為單位）＝質量×因重力產生的加速度；或者更簡單地說，重量＝mg。（編號249）

閱讀困難大多發生在“acceleration due to gravity”的論述，也就是「因重力產生的加速度」。和摩擦力的情形類似，「產生」這個動詞隱含著使產生這個動作發生的促動者，以及產生這個動作的受動者。換言之，「重力產生的加速度」似乎隱含著「重力產生加速度」的論述，但是對於「因重力產生的加速度」的說法，有7位讀者提出了疑惑，其中6位讀者反映不知「因重力產生的加速度」語意所指為何，有些指出：

11: 「重力產生的加速度」應該再解釋。

12: 「產生的加速度」解釋不清。

對應到 STAR 的資料庫，教科書也出現與「誰產生加速度」相關的論述，例如：

翰林5：當物體靜止時，重力使物體具有重量，物體由高處落下時，重力使物體做等加速度運動，這種由重力作用而產生的加速度，稱為重力加速度，用 g 表示。

南一5：因此，由日常經驗告訴我們，以不同的外力作用於一物體，作用力愈大，產生的加速度似乎愈大；以相同外力作用於不同的物體，物體的質量愈大，產生的加速度似乎愈小。

這些論述的語意指出力的作用是使物體產生加速度的原因，但是「產生」之前缺乏主詞，讀者無法明確地得知什麼是加速度產生的原因。某些語句中指出或喻示了「產生」之前的主詞，例如：

南一5：所以，外力作用於物體時，物體產生加速度；當作用在同一物體的力愈大，則物體的加速度也會愈大。

翰林5：依牛頓第二運動定律可知，物體質量愈大，要產生加速度愈難，物體就愈能保有原來的運動狀態，也就是它的慣性愈大。

其原意是指外力作用使物體產生加速度的現象，但是此論述方式可能導致讀者認為物體能夠「產生」加速度。學生指出對「因重力作用產生加速度」的閱讀困難雖然並非全然與科學文本用語的因素有關，但是這裡突顯了在「產生」普遍使用的同時，未見科學文本論述隨著「產生」一詞頻繁的出現次數而付予這個詞可能的語意解讀更多的關注，這個詞有不同科學語意的詮釋，若將其置於更複雜的語意脈絡中，學生對此感到理解困難可以預見。

對於上述的討論，ECP4中又是如何描述 force 與 acceleration 的關係呢？以下列的例子來說：

E19. The acceleration produced by a net force on an object is directly proportional to the magnitude of the net force, is in the same direction as the net force, and is inversely proportional to the mass of the object.（Hewitt, 1997, p. 60）

C21. 淨力對物體所產生的加速度大小，直接與淨力的大小成正比，且方向與淨力相同，並與物體的質量成反比。（常雲惠譯, 2001, p. 114）

產生來自於 E19的“produced”一詞，但有趣的是，在 ECP4中僅出現三次的“produce”，其他兩次被譯為「變成」及「讓」。但 CCP4中「產生」的使用顯得普遍，達6次之多，其中兩次與「加速度」有關（編號151：「力是用來讓物體產生加速度的」、編號249：「因重力產生的加速度」）、三次與「力」有關（編號50：「在接觸面上所產生的作用力」、編號51：「摩擦力是由於接觸物體的表面粗糙而產生的」、編號367：「產生一個10牛頓的向上合量」），另一次則與「有趣的結果」有關（編號381：「向量所使用的平行四邊形加法，會產生一些很有趣的結果」）。STAR 中，2254個「產生」出現在1966的句子之中，顯然漢語使用「產生」的現象極為普遍。

一些談論科學語句論述的研究也注意到此問題，例如 Lemke（1990）在“talking science”中舉了一個與「產生」有關的例子。

C22. 老師：現在地面從光能產生（create）了熱能，Eric 你有問題嗎？

C23. Eric：是的，如果是太陽產生熱能的話，地面如何能夠產生熱能呢？（p. 28, 作者譯）

這個對話反映出學生對於「地面是否產生熱能」的概念有趣的解讀。對此，Lemke 以主題類型（thematic pattern）的概念對「能」、「熱」、「熱能」、「光能」、「產生」、以及「轉換」之間的語意關係加以討論。由此可見，「產生」一詞可能隱含著極為不同的語意，而師生間對「產生」的不同語意理解是造成誤解的可能來源。在漢語裡，由於大量使用「產生」這個詞來表達科學物件間的錯綜複雜的關係，在進行科學論述時，不可不考慮其語意的複雜性。

四、公斤重與牛頓重

在觀念物理的「慣性定律」文本中，出現了兩次「牛頓重」的敘述。這兩句敘述如下：

E20. If a 10-N bag is in equilibrium, the resultant of the forces applied by the pair of springs must equal 10 N.

C24. 如果這個10牛頓重的袋子處於平衡狀態，那麼，這一對彈簧的合力必定等於10牛頓。（編號351）

E21. Why? Because the sum of the two tension

vectors must support the downward-acting 10-N weight.

C25. 為什麼？因為這兩個張力向量的和，必定足以支持一個向下10牛頓重的袋子。（編號362）

有趣的是，並沒有任何一位讀者認為「牛頓重」是有疑問的詞。質量與重量不但是物理學中的重要概念，同時也是學習者常混為一談的兩個概念(例如 Ünal & Coştu, 2005)。參與研究的讀者有的具有物理碩士學位，即便是高中生也都是挑選過物理成績較佳的高二或高三學生，為什麼他們不會覺得「牛頓重」的敘述有問題呢？

在 STAR 中，直接說明「力的單位是牛頓」的論述共計15次，國編版、南一版、康軒版、以及翰林版分別為3次、3次、6次、以及3次，而且未曾將「牛頓」與「重」合併為「牛頓重」一起使用。由於公斤是質量的單位，而公斤重是力的單位；1公斤重為9.8牛頓，也就是說，「牛頓重」並不是力的單位。若將「牛頓」與「重」合用，難道不會引起誤解嗎？雖然文獻中未曾對探討學生對「牛頓重」的理解，但在一般學校的測驗試題中，不乏「牛頓重」的敘述。圖3左圖為某高中段考的一個試題，以「牛頓重」來描述物體 A、B 的重量。事實上，這一類的試題極為普遍，在 Google 上查詢可得相當數量的結果，甚至可以發現圖3右圖上方的試題使用「牛頓」，在下方試題卻使用「牛頓重」的情形。在英語版觀念物理第六章中，有一個例題可以說明「牛頓重」的由來：

E22. A pair of 50-N weights are attached to a spring scale as shown. Does the spring scale read 0, 50, or 100 N?

這個例題的附圖是在一個水平放置的彈簧秤兩端各以50N 拉彈簧秤。其中，"A pair of 50-N weights"應指「兩個重量為50N 的物體」或「兩個50N 的重物」；也就是說，"weights" 是「重物」的複數，ECP4中"the downward-acting **10-N weight**"應是10N 向下作用的重物，而非10牛頓重的袋子。換言之，在圖3中「A 重量為2牛頓重」應將「牛頓重」改為「牛頓」。

五、慣性論述的比較

為了進一步瞭解「慣性定律」的漢、英版論述間的差異，以編號第80至84的5個句子為例，將這些句子依其「主/述位」(theme /rheme）列於圖4中。為什麼選這5句來分析呢？那是因為第84句（即 C7）是引起最多讀者質疑的一句（13人次），而第83句（C6）也有11人次的質疑。合計這5句共得到讀者28人次的質疑，因此有深入探討的必要。

主述位分析（Unsworth, 2001）根據主要動詞的位置將小句區分為兩部分：在動詞之前的部分稱為主位，在動詞（含）後的部分稱為述位。根據這個原則，將5個英語句子分為6個小句，並依每一個小句動詞的位置，將其置入主位或述位中，如圖4左側所示。同樣的，在漢語版部分可分為7個小句，

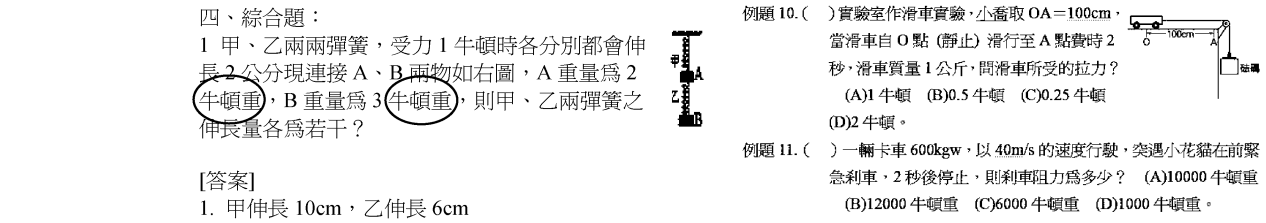
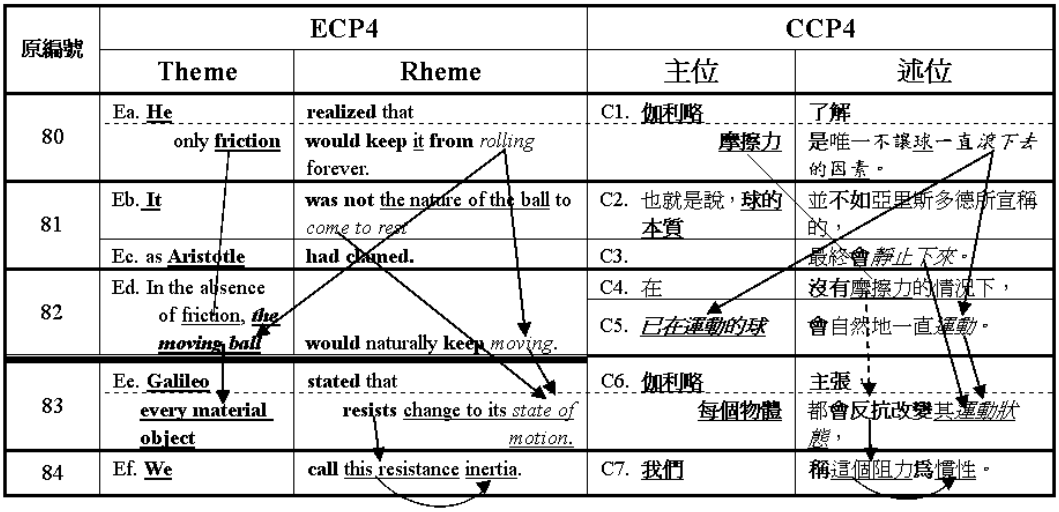


圖 3：「牛頓重」的試題例子



原編號	ECP4		CCP4	
	Theme	Rheme	主位	述位
80	Ea. **He** only **friction**	**realized** that **would keep** it **from** *rolling* forever.	C1. **伽利略** **摩擦力**	**了解** 是唯一不讓球一直*滾下去*的因素。
81	Eb. **It**	**was not** the nature of the ball to *come to rest*	C2. 也就是說，**球的本質**	並不如亞里斯多德所宣稱的，
	Ec. as **Aristotle**	**had claimed.**	C3.	最終**會***靜止下來*。
82	Ed. In the absence of friction, ***the moving ball***	**would** naturally **keep** *moving*.	C4. 在	**沒有**摩擦力的情況下，
			C5. ***已在運動的球***	**會**自然地一直*運動*。
83	Ee. **Galileo** **every material object**	**stated** that **resists** change to its *state of motion*.	C6. **伽利略** **每個物體**	**主張**， 都**會反抗改變***其運動狀態*，
84	Ef. **We**	**call** this resistance inertia.	C7. **我們**	**稱**這個阻力**爲**慣性。

圖 4：慣性論述的主述位分析

並以同樣的方法區分為主、述位。請注意，在 ECP4中 a 小句及 e 小句部分，虛線以下部分原為該小句的述位，但因其為降級後的小句，為了呈現方便，將它們列在虛線下方。CCP4中的小句1及小句6也是相同的情形。

在每一個小句中，主詞（在主位中）以粗體底線標示；動詞（通常在述位開始的位置）以粗體表示。從這樣的分析中，可以看到漢英版之間的一些差異。例如，“the nature of the ball”是 b 小句的述位，但在小句2中「球的本質」卻是小句的主位；而 c 小句的“Aristotle”在主位，卻是小句2的述位成分。小句3是一個缺乏主位的小句，這種情形稱為「零代詞」（zero anaphora）（參閱許慶堂, 2007），讀者必須從前後文中找到「最終會停下來」的主詞；在這裡適當的主詞應是「球」而不是「球的本質」。根據中研院 CKIP 系統的分類，小句4的「沒有」屬於「狀態單賓述詞」，亦即「描述狀態、需要一個受詞的動詞」（漢語詞知識庫小組, 1993），這也是為什麼將 C4視為一個小句的原因。小句4也是無主位，其主詞應是小句5中的「已在運動的球和其環境間」，但這樣的推論的後半部分「和其環境間」必須基於讀者的學科背景知識才能獲得，對於初級的讀者，這樣的論述自然會增加閱讀困難。換言之，小句4的主詞並不能簡單地從前後文中取得。

其次，把焦點放在斜體字部分。ECP4的“rolling”為 a 小句的述位成份，變成 d 小句的主位，當作其主詞“the moving ball”，其中，“moving”是類別詞，將“ball”區分為“moving ball”及“non-moving ball”，這是名詞組隱含分類（Halliday, 2004b; Lai & Yang, 2007）的一個例子。相對的，在 d 小句述位中的“moving”其功能仍為動詞。即 d 小句的兩個“moving”功能不同。“rolling”, “rest”以及在述位的“moving”，在小句 e 被重新構作為“state of motion”。在 CCP4方面，「運動狀態」這個概念的演化歷程與 ECP4相似：小句1述位中的「球一直滾下去」變成小句5的主位：「已在運動的球」，再結合「靜止下來」、「運動」等來構作小句6述位中的「運動狀態」。雖然兩個版本構作的歷程相似，其間仍有差異：在漢語裡未能區別“moving”與“motion”。根

據 Halliday（2004a）文法隱喻的理論，這兩者的差異不僅只是動（名）詞與名詞而已。

再者，在英語版中總共出現了兩次“friction”，二者都出現在主位上。從邏輯的角度而言，a 及 d 小句是同義的敘述。a 小句指出只有“friction”才能讓球不繼續滾動，等同於 d 小句的敘述：“in the absence of friction”時，就不存在讓球不繼續運動的理由了。在 CCP4 中雖然將“friction”意譯為「摩擦力」，基本上，在小句1、4與5，其論述邏輯和 ECP4是一致的。不過在 ECP4中，從圖4可以看到“friction”在 d 小句之後便不再出現，這也是為什麼在 d、e 小句間以粗線隔開的原因。反觀在漢語版的情形，「摩擦力」和「阻力」之間具有相當程度的語意關聯性。這個關聯性可以從國中教科書對這兩個詞的論述得到佐證：

很顯然的，不同的地面造成了不同的影響，這種使物體運動漸慢的**阻力**，正是地面對物體的**摩擦力**。（翰林5）

9.岩層或土石快速崩落稱為**山崩**，山崩常發生在豪雨過後，因為水會增加岩層的重量及減少摩擦力，當岩層所受重力大於**摩擦阻力**時，岩層會快速崩落。（南一5）

「阻力」與「摩擦力」在物理上的單位是一樣的，甚至從「摩擦阻力」這個詞可知：「摩擦力是一種阻力」。這是為什麼在漢語版的小句5及6並未以粗線分開的理由。藉由上述的語意關聯性，「摩擦力」便與「反抗」及「阻力」建立了不適當的聯結，同時也是為什麼原編號第83及84這兩句是引起閱讀困難的第1名及第3名的原因。

結論與討論

本文藉由系統功能語言的觀點，配合 STAR 資料庫，以閱讀困難的角度來探討 CCP4及 ECP4文本的特性。研究結果發現29位讀者一共產生了540個閱讀困難，平均每一句約為1.48人次的閱讀困難，而每一位讀者平均有18.6個困難。這些閱讀困難可分為小句內層次、小句層次、以及句間的困難，分別佔45%、32%、以及18%。

在文本特性方面，本文分別就「力的家族」、「什麼產生加速度？」、「公斤重與牛頓重」、以及「慣性論述的比較」等主題進行分析，以詮釋為什麼某些論述產生或未產生閱讀困難的原因。在力的家族主題中，CCP4使用了一些實質上並不是力，但卻又含有「力」這個字的詞，也使用了一些實質上是力，卻又不含「力」這個字的詞。二者都造成一些閱讀困難。此外，對於“force”也使用了多樣的翻譯，而各種力的複合詞也常使用於文本之中，同樣的也造成了一些閱讀困難。

多位讀者不解「重力產生的加速度」的論述，其原因可能是漢語中高頻率使用「產生」一詞，而其又具多重意義；也可能受教科書中「物體受力產生加速度」的論述影響。力、物體、加速度（運動狀態改變）等是牛頓力學的三個核心概念，其間關係的論述不可不慎。

在 CCP4中使用兩次「牛頓重」於其論述中，但並無讀者疑質這個詞的正確性。雖然在漢語的科學教科書中，並未使用該詞，甚至在一般學校考試中，也常出現區別「公斤重」與「牛頓重」的試題，但也出現同時使用「牛頓」與「牛頓重」的情形。這些例子或許便是為什麼讀者可以接受「牛頓重」這種詞彙的原因。

本文所分析 ECP4及 CCP4關於慣性定律的論述。讀者在關於「慣性」的論述出現排名第一及第三的閱讀困難。針對慣性論述的5個句子進行主述位分析，發現在 ECP4中“friction”與“resistance”之間並無連結，也因此與“inertia”無關。相對的，CCP4在摩擦力、

反抗和阻力、以及慣性之間存在不合適的連結。這樣的連結是造成閱讀困難的重要因素。

進行科學文本分析可以瞭解讀者閱讀困難的可能原因，而跨語言的科學文本比較分析，可對語言特性提供較詳細的訊息。例如在本文中所討論的「產生」一詞，顯然在漢語與英語中有不同的語意蘊涵。或許將這種跨語言的研究擴大到其他的物理文本、或其他學科文本的比較，可提供如何全面形塑「科學漢語」的發展方向。

在閱讀困難的研究設計方面，選擇具學科背景知識的讀者，可降低先備知識對閱讀理解的影響，而對於閱讀困難的分析，若輔以晤談應可獲更深入的資料。而若能進一步挑選合適的讀者，同時閱讀漢語及英語文本，並比較其閱讀困難，將可取得更具意義的資料。

漢語適合論述科學的問題可能難有定論，但科學教育現場可以思考關心的面向是漢語如何論述以反映更精確的科學語意。根據 Halliday（2004a）的看法，今日的科學英語有其特別的論述方式，但也是經歷長久時間的演化才來。漢語在斷詞（周婉綺, 2007; 洪緯玲, 2006）、零代詞（許慶堂, 2007）、單複數、時態、語氣…等有別於英語，而以漢語談科學、寫科學的歷史也不過一個世紀，對於如何精確地描述科學事件、構作科學概念、論述科學概念之間的關係…等，應有其發展的空間。然而，就本文所分析的文本來說，許多閱讀困難的發生，不應直接歸因於漢語本身的特性。例如，在小句內層次的閱讀困難達45% 之多，這意味著有近五成的閱讀困難來自詞、名詞組及詞組，若是適當的注意及區別「摩擦」、「摩擦力」、「阻力」等詞的使用，相信有助於讀者的閱讀理解。由本文的討論可見，許多閱讀困難來自於「不精確的使用漢語」而非「不精確的漢語」，而欲提升漢語表述科學意義的精確性，有賴於我們對科學論述的進行更多的重視與探討。

誌　　謝

本文承國科會專案 NSC 95-2511-S-003-027-MY3及 NSC 95-2522-S-003-017-MY3補助，而兩位論文審查者的指正及建議，使本文得以付梓；感謝金山高中林文杰老師、宜蘭高中陳可恭老師在實徵研究上的協助；另外，在準備漢、英語版文本資料過程中，承吳姍嫻小姐、邱名惠小姐及施嶸旭先生的協助，在此一併致謝。

參考文獻

1. 朱永生、嚴世清和苗興佛（2004）：**功能語言學導論**。上海：上海外語教育出版社。
2. 李哲迪（2006）：**高中物理教科書與學生關於力的話語與合法化的語言策略**。台北市：國立臺灣師範大學科學教育研究所博士論文（未出版）。
3. 周婉綺（2007）：**教學對七年級學生理解科學文本語意的影響－以「植物的基本構造與功能」單元為例**。台北市：國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
4. 林明瑞（2002）：**高級中學物質科學物理篇上冊**。台南：南一書局。
5. 林俊智（2003）：**以系統功能語言學觀點探討不同課文結構對科學文章的理解－以溫度與熱為例**。台北市：國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
6. 洪緯玲（2006）：**國一學生之科學文本斷詞能力與其閱讀理解作答表現間關係之探討**。台北市：國立臺灣師範大學科學教育研究所

碩士論文（未出版）。
7. 胡壯麟、朱永生、張德祿和李戰子（2005）：**研究生系列教材：功能語言學概論**。北京：北京大學出版社。
8. 徐光台（2005）：**科學革命：亞里斯多德－托勒密世界觀**。2007 年 5 月 28 日，取自 http://www.chinainfo.gov.cn/data/200506/1_20050615_112413.html
9. 翁育誠（2004）：**以蘊含序列與詞彙密度兩種結構探討科學課文結構與閱讀理解的關係－以溫度與熱為例**。台北市：國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
10. 國立編譯館（2007）：**學術名詞資訊網**。2007 年 6 月 1 日，取自 http://terms.nict.gov.tw/index.php
11. 常雲惠(譯)（2001）：**觀念物理 I**(**Conceptual Physics – The High School Program**）。台北：天下遠見出版社。
12. 張君勱（1923）：再論人生觀與科學并答丁在君。載於帕米爾出版社編輯部編輯，**科學與人生觀之論戰**。台北：帕米爾書店。
13. 張慶仁（2006）：人文社會科學量表的建構觀點及策略。**《人文與社會》學報**, **1**(9), 137-162。
14. 許佩玲（2004）：**從系統功能語言學觀點探討不同圖文整合方式之科學課文對閱讀理解的影響－以月相單元為例**。台北市：國立臺灣師範大學科學教育研究所博士論文（未出版）。
15. 許慶堂（2007）：**科學課文中零代詞對學生閱讀理解的影響**。台北市：國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
16. 連坤德（2002）：**高級中學物質科學物理篇上冊**。台南：翰林出版社。
17. 黃福坤（2000）：**運動－概念的轉變**。2007 年 5 月 28 日，取自 http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/Notes/motion.html
18. 楊文金（2004）：**科學文本分析資源網**：STAR (Science Text Analysis Resource)。http://star.gise.ntnu.edu.tw:8080/。
19. 漢語詞知識庫小組（1993）：**漢語詞類分析**（三版）。台北：中央研究院資訊科學研究所。
20. 臺南一中教學網（2002）：**高一物理歷年段考試題：第二章運動與力**。2007 年 6 月 5 日，取自 http://www.tnfsh.tn.edu.tw/teach/phi/physicsteaching/shiou_bank/OLDEXAM1/02.PDF
21. 樊洪業（2000）：**科學舊蹤**。南昌：江西教育出版社。
22. 蔡大成（1990）：衝決傳統代際文化的「狂人」：錢玄同思想散論。載於劉青峰編：**歷史的反響**（pp. 294-315）。香港：三聯書店。
23. 錢玄同（1999）：**錢玄同文集第三冊**。北京市：中國人民大學出版社出版發行。
24. 縱橫資訊科技語文發展中心（2007）：**「數理華聲」科學及數學科詞彙表目錄**。2007 年 5 月 28 日，取自 http://ckc.ied.edu.hk/sci/q.sn?cmd=list_je&word=violent motion
25. 顏若映（1992）：教科書內容設計與閱讀理解之認知研究。**教育與心理研究**, **15**, 101-128 頁。
26. Duit, R., & Treagust, D. F. (1995). Students' conceptions and constructivist teaching approaches. In B. J. Fraser & H. J. Walberg (Eds.), *Improving Science Education* (pp. 46-69). Chicago: NSSE.
27. Gilbert, J. & Watts, D. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, *13*, 97-113.
28. Halliday, M. A. K. (1993). The analysis of scientific texts in English and Chinese. In M. A. K. Halliday & J. R. Martin (Eds.), *Writing sci-*

ence: Literacy and discursive power. London: The Falmer Press.

29. Halliday, M. A. K. (2004a). *The Language of Science*. London: Continuum.
30. Halliday, M. A. K. (2004b). *An introduction to functional grammar (3rd Edition)*. London: Arnold.
31. Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *Physics Teacher*, *30*, 141-158.
32. Hewitt, P. (1997). *Conceptual physics: The high school physics program (3rd Ed.)*. CA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
33. Hsu, P. L. & Yang, W. G. (2007). Integration of science texts and reading comprehension: A systemic functional linguistics perspective. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *5*(4), 639-659.
34. Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*, *95*(2), 163-182.
35. Kress, G. & van Leeuwen. (1996). *Reading images: The grammar of visual design*. London: Routledge.
36. Lai, T. L. & Yang, W. G. (2007, May). *Students' understanding about the taxonomic organization implied in nominal groups construed in a photosynthesis science text*. Paper presented in 2007 International Conference on Reading, Writing and Argumentation in Science and Mathematics Education. Changhua: National Changhua University of Education.
37. Lemke, L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Norwood, NJ: Alex Publishing Corporation.
38. Martin, J. R. (1993). Technicality and abstraction: Language for the creation of specialized texts. In M. A. K. Halliday, & J. R. Martin (Eds.), *Writing science: Literacy and discursive power* (pp. 203-267). London: The Falmer Press.
39. Maury, P. & Teisserenc, A. (2005). The role of connectives in science text comprehension and memory. *Language and Cognitive Processes*, *20*(3), 489-512.
40. O'Halloram, K. L. (2005). *Mathematical discourse: Language, symbolism and visual images*. London: continuum.
41. Rumelhart, D. E., Norman, D. A. (1983). *Representation in memory*. Office of Naval Research, Arlington, Va. Personnel and Train-ing Research Programs Office. ONR-8302; UCSD-CHIP-116. (ED 235-770).
42. Schank, R. C., & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding: An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
43. Solomon, J. (1993). Four frames for a field. In P. J. Black & A. M. Lucas (Eds.), *Children's informal ideas in science* (pp. 1-19). London: Routledge.
44. Trumper, R. & Grosky, P. (1996). A crosscollege age study about physics students' conception of force in pre-service training for high school teachers. *Physics Education*, *31*, 227-236.
45. Ünal, S. & Coştu, B. (2005). Problematic issue for students: Does it sink or float? *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, *6*(1). Retrieve from http://www.ied.edu.hk/apfslt/v6_issue1/costu/
46. Unsworth, L. (2001). *Teaching multiliteracies across the curriculum: Changing context of text and image in classroom practice*. Philadephia, PA: Open University Press.

47. Veel, R. (1998). The greening of school science: Ecogenesis in secondary classrooms. In J. R. Martin, & R. Veel (Eds.), *Reading science: Critical and functional perspectives on discourses of science* (pp. 114-151). London and New York: Routledge.
48. Yang, W. G. & Hsu, P. L. (2005, August). *Text and Image Integration and Reading Comprehension: A Systemic Functional Linguistics Perspective of "Moon Phase"*. Paper presented at the Conference of the European Science Education Research Association ESERA 2005. Spain: Barcelona.
49. Yore, L. D. & Denning, D. (1989). *Implementing change in secondary science reading and textbook usage: A desired image, a current profile and a plan for change*. (ERIC Document Reproduction Service No. ED350270)
50. Yore, L. D. & Shymansky, J. A., (1991). Reading in science: Developing an operational conception to guide instruction. *Journal of Science Teacher Education*, *2*, 29-36.
51. Yore, L. D., Holliday, W. G. & Alvermann, D. E. (1994) Special issue: The reading-science learning-writing connection. *Journal of Research in Science Teaching*, *31*, 873-1073.

Exploring the Semantic Difference of Mandarin and English Discourses of the Law of Inertia in the Perspective of Reading Difficulty

Wen-Gin Yang[1], Shih-Wen Chen[1], Che-Di Lee[2],

Tsung-Hau Jen[2] and Chih-Hsiung Ku[3]

[1]Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

[2]Science Education Center, National Taiwan Normal University

[3]Graduate Institute of Science Education, National Hualien University of Education

Abstract

Since the beginning of the 20th century, the topic of whether "Mandarin is a language that can describe science" has attracted the interests of psychologists, linguists, and science educators. This paper compared the features of Mandarin and English science texts by analyzing the reading difficulties encountered by 'experts' in science under the perspective of Systemic Functional Linguistics. Mandarin and English versions of the texts on 'Newton's First Law of Motion' of *Conceptual Physics* were selected as target texts. The text was composed of 362 sentences. Twenty-nine 'experts' in physics were asked to read the Mandarin version of the text, and pick out whatever statements troubled them, and note the reasons if possible. On average, each reader produced about 17 (total 490) reading difficulties, which occurred at the level of single word, nominal group, clause and clauses, sentence, and above. The derivatives of 'force' in English and '力(li)'(force) in Mandarin were compared to elaborate their semantic differences. 'What causes the acceleration of an object' and the discourses of 'inertia' were the two topics that troubled most readers; the nature of these difficulties were analyzed and interpreted in the light of 'technicality construction'. Lastly, 'Newton weight' was accepted by all readers as a proper term to describe the phenomenon. The result reflected mistranslation and undifferentiated use of scientific terms in the Mandarin world. However, not all reading difficulties are inevitable; if used carefully and skillfully, Mandarin could be suitable for describing science discourses.

Key words: Science Text, Science Mandarin, Reading Difficulties, Systemic Functional Linguistics