

練習

# 材料分類與性質

(和講座單元 1&2 共同使用)



Mike Ashby教授

Department of Engineering  
University of Cambridge  
劍橋大學工程學院



GRANTA  
TEACHING RESOURCES



© M. F. Ashby, 2015  
傳播與複製本指引請看背面

這個練習單元是基於Mike Ashby著作的練習集的一部分,說明向學生介紹材料、製造程序和合理選擇方法。  
教學資源網站的目標是說明和材料相關的設計、工程與科學課程的教學。  
這些資源以多種形式呈現並主要針對本科生教學。

[www.teachingresources.grantadesign.com](http://www.teachingresources.grantadesign.com)

## 練習

這些匯總起來的練習集說明指導員為你的學生選擇或開發屬於你自己的練習。你可能只是想流覽一下這些練習以啟發你自己的想法或者你可以在課堂上使用這些。我們用 Word 格式提供這些練習所以你可以選擇你認為適合你教學的練習。我們也為同一題目包括了不同的變化所以你可以給不同的班級佈置不同的問題。

大部分練習來自劍橋大學工程學院的 Mike Ashby 教授所著的以下書籍，他也是 Granta Design 的共同創辦人。

- **Materials Selection for Mechanical Design** by Michael F. Ashby (ISBN-13: 978-1-85617-663-7)
- **Materials: Engineering, Science, Processing and Design** by Michael F. Ashby, Hugh Shercliff, and David Cebon (ISBN-13: 978-0-08-097773-7)
- **Materials and the Environment** by Michael F. Ashby (ISBN-13: 978-0-12-385971-6)

(複製傳播和版權資訊可以在最後一頁找到。如果你使用這些問題請確保你說明 Mike Ashby 和 Granta Design 的貢獻和著作權。)

大部分練習需要使用 CES EduPack。CES EduPack 是一個材料學教學的解決方案，被全世界超過 800 所大學和學院使用。你可以在 [www.grantadesign.com/education](http://www.grantadesign.com/education) 上找到其所有的資訊。

以下主題具有帶參考答案的練習<sup>1</sup>:

標題	相關講座單元
材料——分類與性質	講座單元 1-2
元素	講座單元 3
材料選擇——轉換、篩選與排序	講座單元 6-7
製造程序——分類和價格	講座單元 10-11
環境性能和環保審計	講座單元 12 以及 “已知環境影響的選材”
能源——電力系統和儲存	講座單元: 低碳能源材料
永續發展	講座單元: 什麼是永續發展
生物工程	講座單元: 生物工程的教學資源

你可以在以下網頁找到其他單元: [www.teachingresources.grantadesign.com](http://www.teachingresources.grantadesign.com)

如果有任何建議或者你有任何問題請通過 [teachingresources@grantadesign.com](mailto:teachingresources@grantadesign.com) 聯繫教學資源組。

<sup>1</sup>練習單元和對應數位的 PPT 講座單元關注同一個主題。

## 目錄

在網路上搜索材料資訊 .....	3
分類系統 .....	3
給材料分類 .....	3
通過流覽在 CES EduPack 中查找材料記錄 .....	4
通過搜索在 CES EduPack 中查找材料記錄 .....	5
CES EduPack 中有什麼效能資料? .....	6
CES EduPack 中的屬性圖表 .....	7
不同類別的材料擁有哪些性質? .....	10
更長的基於專案的練習 .....	11

## 在網上搜索材料資訊

1. 使用 Google 搜索下列材料之一的歷史和用途：

- TIN 錫
- GLASS 玻璃
- CEMENT 水泥

用大約 100-200 字(大概半頁)的小報告來呈現結果，標出你參考資料的來源。

## 分類系統

2. 一個好的分類看上去應當很簡單——比如想像一下元素週期表。然而一開始創造它卻是另外一回事。第二章「材料：工程、科學、工序和設計」介紹了兩種可行額度分類方法，也就是說在此方法下每一個元素都有一個特定的位置，以及任何新的元素都可以插入其正確的位置並不打擾整個系統。嘗試自己編一個，以下是一些情景：

你運營一個儲存很多種類自行車的自行車店(兒童車、街頭自行車、山地車、比賽車、折疊車等等)，價格和大小種類也很多。你需要一個分類系統以允許客戶在網上查看你的自行車，你會如何做？

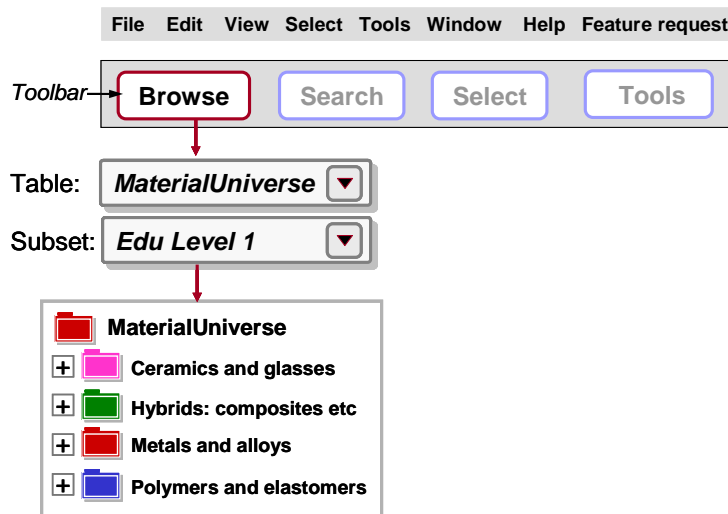
- 你被要求整理你公司緊固件的存貨。有幾種類型(按扣、螺絲扣、螺栓、鉚釘)，在每種類型中有一個範圍的材料和尺寸。設計一個分類計畫來儲存關於它們的資訊。

確定階層式每一層級都合適地包含了所有下方層級的內容。可能有超過一種這樣做的方法，但通常有一種比其他的都好。通過思考你如何應用這個方法來尋紮你需要的資訊來進行測試。

## 材料分類

3. 觀看簡要的視頻教程「流覽第一和第二層級」，它在 CES EduPack 的說明功能表中。
4. 流覽 CES EduPack 中 **MaterialUniverse** 的第一層級 Level 1 並說出 10 個材料的小分類。

## 通過流覽在 CES EduPack 中查找材料記錄

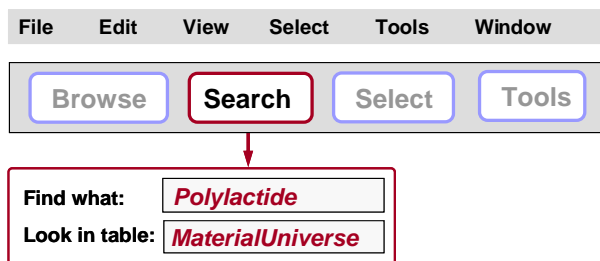


5. 通過 **Metals and alloys / Non-ferrous / Titanium alloys** 金屬與合金大類、非鐵金屬和鈦合金，流覽在**第一層級 Level 1** 中查找 **Titanium Alloys 鈦合金**的記錄。
6. 通過 **Ceramics and glasses / Technical ceramics / Alumina** 陶瓷和玻璃大類、工業陶瓷和氧化鋁，流覽在**第一層級 Level 1** 中查找 ceramic 陶瓷 **Alumina 氧化鋁**的記錄。
7. 通過 **Metals and alloys / Non-ferrous / Aluminum and alloys / Age-hardening** 金屬與合金大類、非鐵金屬、鋁及合金和時效硬化，流覽在**第二層級 Level 2** 中查找 **Age-hardening wrought aluminum alloys** 時效硬化鋁合金的記錄。
8. 通過 **Hybrids / Natural materials / Plywood** 混合材料、天然材料、夾合板，覽在**第二層級 Level 2** 中查找 **Plywood 夾合板**的記錄。
9. 通過 **Polymers and elastomers / Polymers / Thermosets / Phenolics** 聚合物和彈性體、聚合物、熱固性塑膠和酚醛塑膠，流覽在**第一層級 Level 1** 中查找 **Phenolics 酚醛塑膠**的記錄。
10. 通過流覽在**第一層級 Level 1** 中查找關於 **Epoxies 環氧樹脂**的記錄。它比 **Phenolics 酚醛塑膠**更便宜還是更貴？
11. 通過流覽在**第一層級 Level 1** 中查找關於 **Copper Alloys 銅合金**的記錄。它的導熱性如何？它的價格如何？

## 定義我的最愛材料及加入你自己的資料

- 想像一下你想要設置一組你關注的材料，可能是你倉庫中儲藏的材料，或者你只是想從中選幾個。在第二層級中找到 **Gold** 金、**Silver** 銀、**Bronze** 青銅和 **Copper** 鍍銅並把它們設為你的收藏。在此之後只用你收藏的材料來繪製一張展示導熱係數的長條圖。
- 想像一下你現在在實驗室發明了一種新的材料(材料 X)並想把它加入資料庫。它的楊氏模量 (Young's modulus) 是 250GPa，密度為 1200 kg/m<sup>3</sup>。把它加入資料庫，繪製一張關於楊氏模量關於密度的圖表並在圖表中標出你的材料。

## 通過搜索在 CES EduPack 中查詢材料記錄



- 搜索功能的視頻教程可以通過點擊說明、視頻教程進入。
- 通過搜索查找 **Polylactide 聚交酯** 的記錄，它是什麼？
- 使用搜索工具找出什麼是 **Plexiglas 樹脂玻璃**，用同樣的方法 **Pyroceram 耐高溫陶瓷**。
- 通過搜索第一層級找到用於製作鏡片 (lenses) 的材料記錄。它們都是什麼？
- 使用 CES EduPack 中的搜索設備在第二層級中查找用於 flooring 地面鋪裝的材料。
- 一個公司想要通過用基於聚合物的天然材料來代替基於石油的塑膠用於產品中，從而提高其形象。使用 CES EduPack 中的搜索功能搜索這家公司可以考慮使用的 **生物聚合物 (Biopolymers)**。列出你找到的材料。

## CES EduPack 中有什麼性能資料？

20. 指出 Edu Level 1 中的 6 種性質資料和 Edu Level 2 with Eco and Durability properties 環境和耐久性能中的 8 種性質資料。
21. 從 CES 第一層級中檢索數值，比較 aluminum alloys 鋁合金（一種非鐵金屬）、alumina 氧化鋁（工業陶瓷）、polyethylene 聚乙烯（一種熱塑性聚合物）和 neoprene 氯丁橡膠（一種彈性體）的 Young's modulus 楊氏模量（剛度性質）和 thermal conductivity 導熱係數（熱傳遞性能）。哪個材料有最大的模量？哪個材料有最低的導熱係數？

## 我怎樣查找一個性質的定義？

**Mechanical properties**  
 Young's modulus  
 Fracture toughness  
 .....

**Thermal properties**  
 Thermal conductivity  
 Maximum use temperature  
 .....

**Electrical properties**  
 Electrical conductivity  
 Dielectric strength  
 .....

**Eco properties**  
 Embodied energy  
 CO<sub>2</sub> footprint  
 .....

**Young's modulus**

**Definition**.....

**Measurement**

Metals

Stress  $\sigma = F/A_0$

Strain  $\epsilon = \Delta L/L$

Slope  $E = \sigma/\epsilon$

0.2% offset

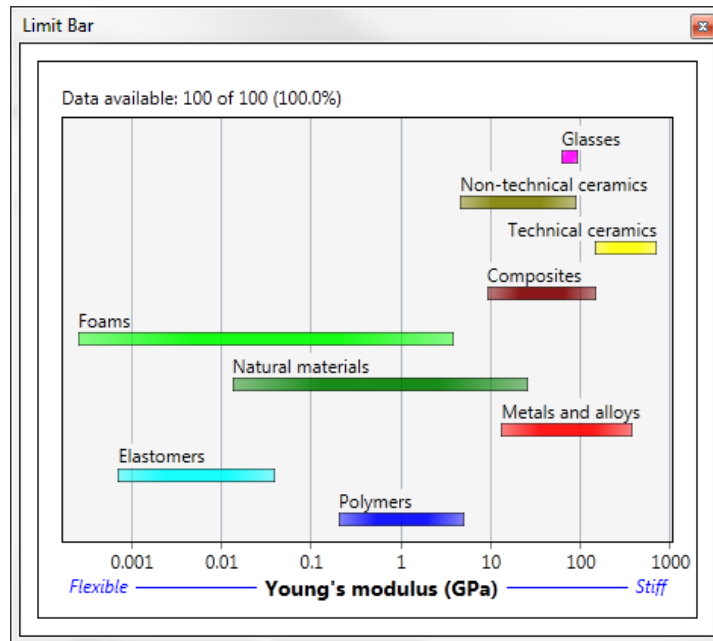
Origins

22. 什麼是材料的 Dielectric strength 絕緣強度？點擊任何記錄中的“絕緣強度”（Dielectric strength）名稱<sup>2</sup>。
23. Fracture toughness 斷裂韌性是如何測量的？按兩下任何記錄中的“斷裂韌性”（Fracture toughness）名稱。

<sup>2</sup>注意這個性質只會在絕緣體材料的記錄中出現。

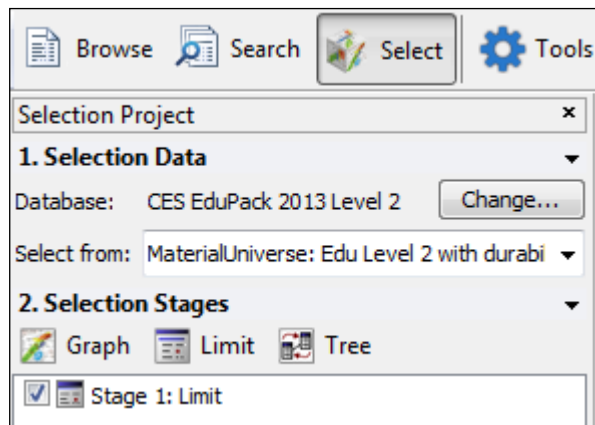
## CES EduPack 中的屬性圖表

CES EduPack 中的**指引長條圖**是查看不同種類材料的特定性質的取值範圍的簡單方法。



24. 查看指引柱狀圖以獲得密度。密度的取值範圍是多少？金屬和合金又怎麼樣呢？

點擊**選擇**圖示。使用下拉式功能表將**選擇範圍欄**設為“**Material Universe: Edu Level 2 with durability properties**”第二層級材料及耐久性性質。點擊選擇階段範圍的“**限制**”圖示。



這樣會在右邊列出一張材料可能會擁有的各種類型的性質。點擊名稱以顯示特定的性質。要展示特定的性質，點擊這個性質名稱旁邊的圖示。在一個材料類別周圍盤旋以確定取值範圍。注意對數比例。

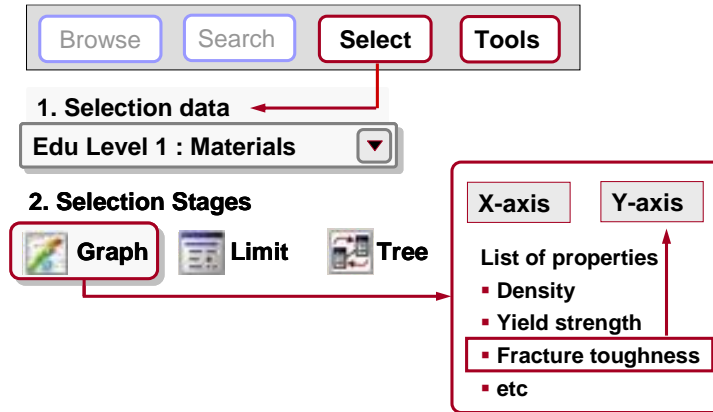
25. 通過繪圖工具前往視頻教程，點擊說明然後視頻教程。

26. 使用**第一層級**的材料資料庫製作一個根據 **Fracture toughness 斷裂韌性** (y 軸) 的柱狀圖。

點擊“選擇”；

然後選擇“Edu Level 1: Materials”；

如下圖繼續。



通過在圖表上點擊給兩個或更多的材料標上標籤。

給 **Magnesium alloys 鎂合金** 加上標籤。（右鍵點擊左側結果視窗內的名稱，然後點擊）

使用 **Selection Box 選擇框** 來找到擁有最大斷裂韌性取值的四種材料。



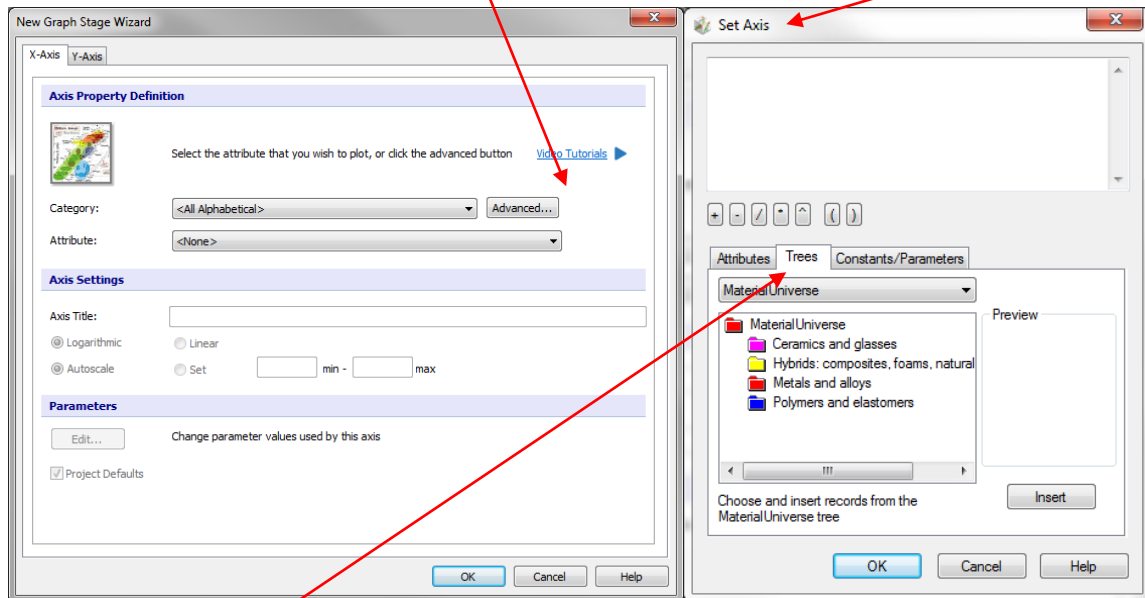
27. 通過將 y 軸定義為價格以及 x 軸定義為 4 個主要材料分類繪製一張柱狀圖。哪個材料大類有最大的取值範圍？哪個材料的每公斤價格最低？

在工具列「選擇」圖示下點擊以選擇圖示選擇階段。「新圖表階段助手」對話方塊將會跳出。

設定 y 軸以繪製出價格。




對於 X 軸，在分類項下點擊高級按鈕，這樣會打開另一個對話方塊，允許你設置顯示在 x 軸上的公式。



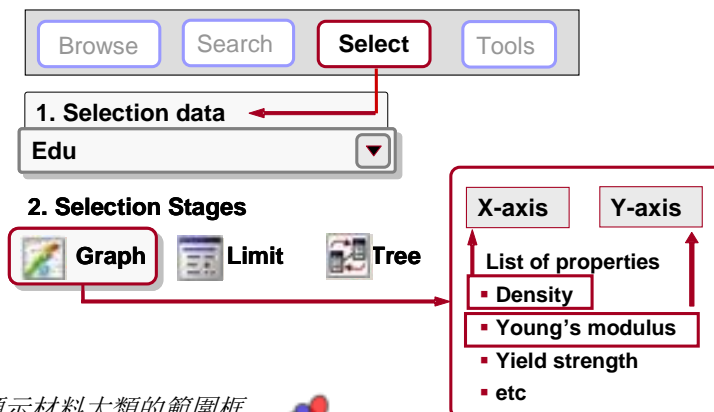
選擇“Trees 樹狀圖”選項卡。按兩下任何資料夾會把其加入到上方的對話方塊中。任何進入此框的內容會被反映到 x 軸上。然後在圖 1 中，我們在 4 個材料大類上進行按兩下。

28. 哪一個是單位體積最便宜的材料？

在  這個圖示上點擊以鍵入階段。點擊 y 軸然後高級，然後做出價格×密度的函數。點擊高亮詞價格的右側然後點擊\*按鈕。然後在性質表中找到密度並按兩下。一旦你在視窗中得到了 [Price]\*[Density] 就點擊 OK 兩次。

29. 用 x 軸 **密度 Density** 和 y 軸 **楊氏模量 Young's modulus** 來創建一個新的**泡泡圖**，設置定為 **Level 2, materials**。

根據圖示繼續。



通過點擊這個圖示來顯示材料大類的範圍框。

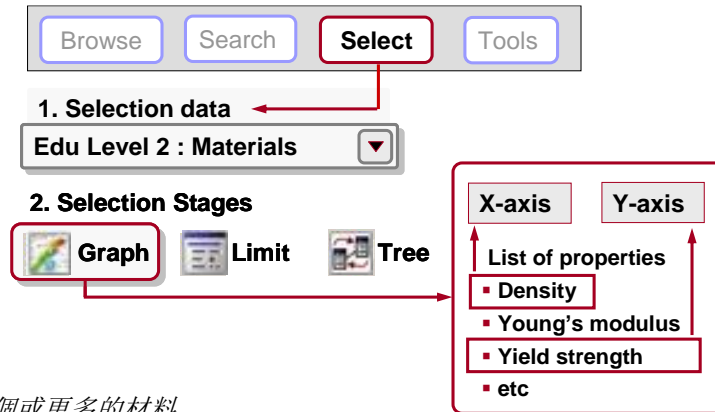


30. 用 x 軸 **密度 Density** 和 y 軸 **楊氏模量 Young's modulus** 來創建一個新的**泡泡圖**，設置定為 **Level 2, materials**。

點擊“選擇”；

然後選擇 **MaterialUniverse** 下面的“Edu Level 2”；


然後根據圖示繼續。



通過點擊泡泡來標出兩個或更多的材料。

通過點擊圖示來打開材料大類的週邊框。

有沒有哪一種金屬的 yield strength 屈服強度小於 10MPa(2 ksi)?

31. 使用 **BOX selection tool** 選擇框  工具來查詢 yield strength 屈服強度大於 600MPa(90ksi)和密度小於 2000 kg/m<sup>3</sup> (120 lbs/ft<sup>3</sup>)的材料。

32. 哪兩種材料有最大的屈服強度/密度的值?

在 **Level 1 Materials** 中，定義 y 軸為屈服強度/密度以繪製一張柱狀圖。

在軸選擇框中選擇高級。使用函數輸入器在 y 軸上輸入 **[Yield strength (elastic limit)] / [Density]**。

33. 現在在 x 軸上加入 **[Young's modulus] / [Density]** 以創制一個泡泡圖，仍然使用 **Level 1 Materials**。

在階段名稱“Stage 1: Yield strength (elastic limit) / Density”上按右鍵；

選擇 **Edit stage - X-axis - Advanced**，然後輸入函數 Young's modulus / Density。

找到並給 CFRP 與 GFRP 加上標籤。

## 不同類別的材料擁有哪些性質？

34. 列出六種主要的工程材料種類，根據你自己的經驗大致為其排序。

(a) 根據 stiffness 剛度（模量， $E$ ）

(b) 根據 thermal conductivity 導熱係數 ( $\lambda$ )。

35. 使用 CES EduPack 找出 polymers 聚合物的剛度比金屬小多少？木頭的密度比 polyethylene (PE) 聚乙烯大還是小？

36. 用 CES EduPack 找出在 Level 1 的材料中
- 密度最大的材料
  - 模量(modulus) 最小的 metal 金屬
  - 密度最大的 polymer 聚合物
  - parallel to the grain 平行邊緣測量和 perpendicular to the grain 垂直邊緣測量的木頭模量大小的大致比例
  - elastomers 彈性體模量的大致範圍
37. CES EduPack 找出在 Level 1 的材料中，
- 模量 (modulus) 大於 1GPa 的最便宜的材料
  - 最便宜的金屬
  - 最便宜的聚合物
  - Magnesium alloys 鎂合金是不是比 Aluminum alloys 鋁合金便宜？
  - PEEK（一種高屬性的工程聚合物）是不是比 PTFE 便宜？
38. 哪類材料有最高的剛度 (stiffness)？
39. 哪類材料在 tensile tests 拉伸測試中最強？
40. 哪類材料有最高的比熱容 (specific heat capacity)？
41. 哪類材料的熔點 (melting point) 範圍最大？
42. 在 Level 2 資料庫中哪類材料的電阻 (Electrical Resistivity) 最小？
43. 哪類材料的生產過程產生最高的碳足跡 (carbon footprint of production)？

### 更長的基於專案的練習

44. 一個生產商正在考慮用 **鎂合金 Magnesium Alloys** 鑄造手提電腦。他很想知道鎂合金的導熱性能以及和其他材料比較的情況。使用 CES EduPack 來創建一個簡要的報告以滿足他的需求。記得標出你的資料的來源文獻。

使用 **CES EduPack Level 1** 來繪製一個關於**導熱性能 Thermal conductivity** 的柱狀圖。找到可能的外殼材料並標上標籤：**Magnesium Alloys 鎂合金**、**Aluminum Alloys 鋁合金**、**Titanium alloys 鈦合金**以及**CFRP 碳纖維複合材料**。

將圖表複製粘貼到 Word 文檔中以開始報告：

**在 CES EduPack 中：** 編輯——复制；

**在 Word 中：** Paste special - Device independent bitmap；

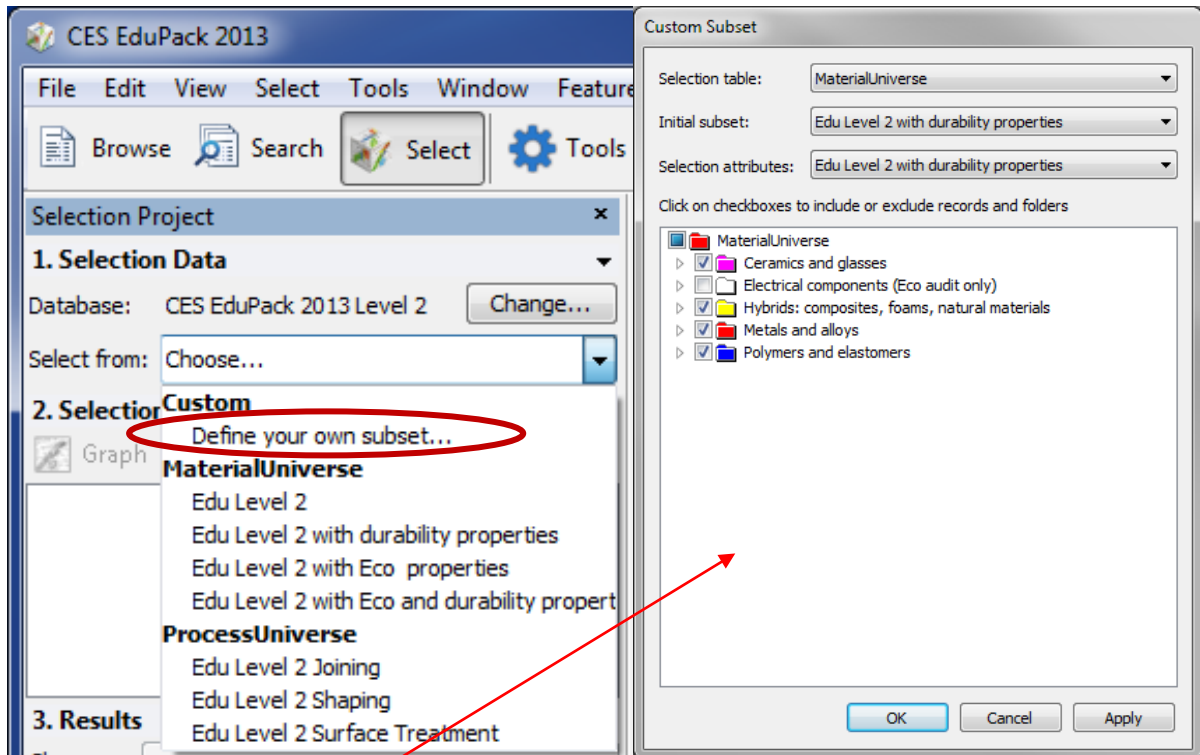
將鎂合金的資料表中的相關資料複製粘貼到你的報告中。加入一段簡要的介紹並設置好文檔的格式,使其看上去很美觀。

45. 使用你熟悉的物件中用到的材料來創建一張關於楊氏模量和密度的圖表。

流覽 Level 2 中的材料並挑出 10 個日常生活中用到的, 比如皮革(鞋)或者鋁合金(可樂罐)。

根据以下的指示创建一个个性化的子集:

選擇工具列上的「選擇」圖示, 在 “1. Selection Data” 下打開 “Select From:” 並選擇 “Custom: Define your own subset...”



你會看到這個對話方塊:

如上圖所示打開資料庫的索引樹並點擊藍色的框, 這樣重要的資料夾就不會被選入。流覽一遍所有的專案並通過給相關視窗打勾來選出你的 10 種材料, (總的來說你可以選擇資料夾或者單獨的材料)。點擊 OK。

現在創建一個 y 軸為楊氏模量、x 軸為密度的圖表。給材料加上標籤。標籤上表上這些材料的日常用途。

## 作者

Mike Ashby 教授                      Shaowu Yuchi  
University of Cambridge 劍橋大學, Granta Design Ltd。  
[www.grantadesign.com](http://www.grantadesign.com)  
[www.eng.cam.ac.uk](http://www.eng.cam.ac.uk)

## 複製與傳播

這些資源的版權均歸屬 Mike Ashby 教授。如果你已經購買了查看 Granta 的教學資源的許可你可以複製這些資源與學生一起使用。請確保每一份複製的版本均將 Mike Ashby 和 Granta Design Ltd.標注為出品人。你不能將任何的複製版本用於商業目的。

## 精確性

我們十分努力以確保這些資源的高品質。如果你有任何的建議或改進，請通過我們的email和我們聯繫 [teachingresources@grantadesign.com](mailto:teachingresources@grantadesign.com)。

## 其他公開資源包括：

- 互動式案例學習
- 入門指南
- 材料性能清單
- 工程資料手冊

你可以在這裡註冊一個使用者名和密碼以使用這些資源：  
[www.grantadesign.com/education/resources/](http://www.grantadesign.com/education/resources/)

### 其他可用的資源：

- 25個PPT講座單元
- 擁有詳細解答的練習
- 錄製的網上研討會
- 海報
- 白皮書
- 解決方案手冊