

作者：丘成桐

作者簡介：丘成桐為美國哈佛大學數學與物理教授，費爾茲獎、克拉福德獎、沃爾夫獎得主，中央研究院院士。科普著作有《丘成桐談空間的內在形狀》，並為《數理人文》主編。

1840年英國發動鴉片戰爭，入侵中國，造成生民塗炭，國家積弱。從官方到平民都問：為什麼我們比不上西方列強？一開始，大家只看到中國不如西方的船堅炮利。但到甲午戰爭，中國大敗，海軍覆滅，打敗中國的日本海軍竟然船炮都不如當時的中國。八國聯軍之役，更顯露朝野百姓對現代科學之無知。清朝覆滅時，中國人平均壽命不超過30歲，可以看出當時的慘痛經驗。

100年來，中國學者瞭解到船堅炮利不是唯一的問題，大家都在找尋中國文化的出路。1949年以來，科技的確有進步，但是始終落後於歐美。主事者漸漸瞭解基礎科學根柢未深是主要原因。問題是基礎科學的起源和發展的條件在什麼地方？

當今科技發達，多方位影響人類生活：火箭探索宇宙奧秘；人造衛星不停繞地球運行，傳遞億萬訊息；飛機縮短世界距離；高速公路和高速鐵路翻山越嶺，四通八達。無人機、無人車和機器人的能力遠遠超過我們十多年前的想像。有誰想到人工智慧竟然打敗了圍棋大師！

這些劃時代的科技，並非一蹴可躋，它的背後有數不盡的聰明頭腦在指揮它的進展。有人在硬體上做出傑出的貢獻，有人在軟體上做出偉大的創新。但這些成果都建立在一個最重要的基礎上，這就是今天我們要談的基礎科學。基礎科學積累了人類幾千年的智慧，去蕪存菁，才見到它廣泛的工業應用。

有時候，基礎科學的應用很快速，電磁學就是一個例子。在19世紀法拉第（Michael Faraday）和馬克士威（James Maxwell）發現電磁方程後不久，愛迪生（Thomas Edison）等就將它應用到日

常生活。有些研究卻要等很久才見到應用。數論中有很多深奧的理論，一直都以為是紙上談兵。但是這20年來，密碼學研究卻運用了大量數論的前沿理論。

有人認為，基礎科學需要深入的訓練、有深度的看法，才能有好的創意，但因曠日彌久，難以快速成功，不如等別人做好基礎研究再拿來應用。但是他們忽略一點：自己切身領悟的理論，才最瞭解它的長短，應用也才能得心應手。在科技發展一日千里的現代社會，掌握箇中精髓，才能與人競爭。

## 從歷史觀點看基礎科學

我想從歷史來看看中國基礎科學的發展。基礎科學有別於科技，它是科技得以持續發展的基石。中國古代四大發明，確實領先世界，但對於其基本原理就不甚了了。到了19世紀，西方的科技發展比中國進步得多，甚至大力改進我們的四大發明。這些成就得歸功於文藝復興後的偉大科學家如伽利略、牛頓、歐拉（Leonhard Euler）、高斯、黎曼、法拉第、馬克士威等人在基礎科學的偉大貢獻。

基礎科學除了幫助科技的創新和發明以外，也是統攝宇宙物理現象的學問。它必須對大自然有宏觀的看法，因此需要哲學思想支撐。這個哲學思想必須有助於理解大自然，又能讓人類和大自然和諧相處。近代基礎科學家有不少是偉大的學者，他們的學問、思想和工作影響科學界數個世紀之久<sup>①</sup>。其中佼佼者除上述諸君，還包括愛因斯坦、龐卡赫（Henri Poincaré）、海森堡（Werner Heisenberg）、薛丁格（Erwin Schrodinger）、狄拉克（Paul Dirac）、魏爾（Hermann Weyl）等人。

假如仔細閱讀他們的著作，就會發覺他們都有一套哲學思想。例如愛因斯坦研究廣義相對論，就深受哲學家馬赫（Ernst Mach）的影響。能夠傳世的科學工作，必先有概念的突破。這些概念可能來自觀察後的想法，但更可能是哲學觀左右他們的想法，影響他們的審美觀念以及研究方向。

哲學引導我們窮究事物最後存在的根據，探求絕對根柢的原理。因此哲學是探求一般現象共有的原理，完成統一的體系。科學家不能局限於感官，必須經過思辨，方可補其不足。古希臘的哲人在這方面做得極為澈底。畢達哥拉斯、柏拉圖和蘇格拉底一方面提出他們的哲學思想，一方面在數學、天文和物理學領域都有永垂不朽的貢獻。

### 儒家對基礎科學興趣不大

中國哲學家對大自然感興趣的有名家和道家，但他們對自然科學的貢獻比不上古希臘學者。他們沒有系統的發展三段論證的方法，推理不夠嚴謹，又不願意系統化研究一般性的原則。魏晉南北朝時，曾經出現出色的基礎科學家，但是隋唐雖稱盛世，基礎科學反不如東漢到南北朝這段時間——可能與科舉取士有關。但是中國基礎科學不如西方，不能單以「科舉取士扼殺創意」就可以解釋，這個問題和中國人的哲學思想有極大的關係。

西方哲學家追求窮理致知，中國哲學家頂多做到格物致知。基礎科學致力於窮理，中國學者卻不講究。在今日中國的學術界，尤其是這 30 多年來留學海外的華裔學者，有成就的不少，但領袖群倫，成一家之言的並不多。有這種地位的學者，必須能創造新學問，有自己的哲學指引大方向，又有決心

與毅力窮究真理本源。所以今日中國要在基礎科學出人頭地，必先瞭解基礎科學背後的哲學思想。

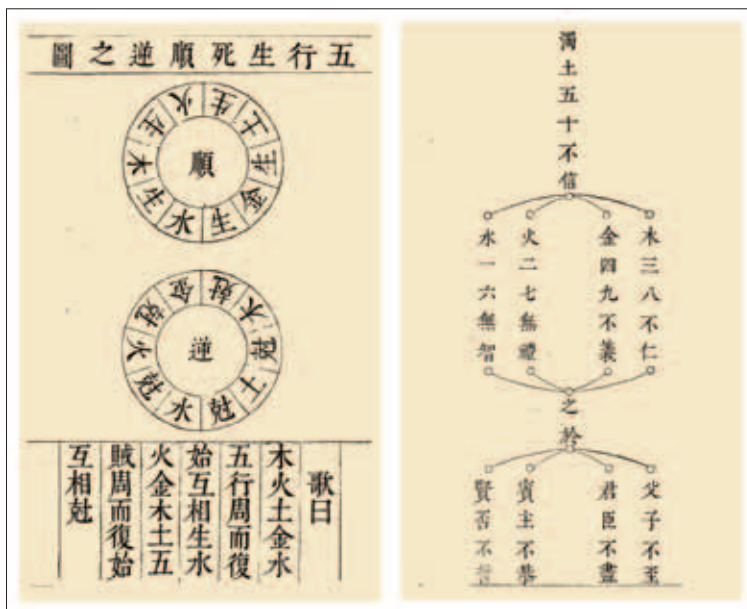
我們先來討論古中國的情形，並試著和古希臘這個偉大時期比較。影響中國思想最深遠的當然是孔子，儒家對基礎科學思想興趣不大，子不語怪力亂神也。但是夫子有教無類的精神，影響了歷代以來平民可以讀書至卿相的格局。但是儒家思想以人為本，春秋魯國大夫叔孫豹論三不朽：立德、立功、立言，但並不談大自然的事情。

在儒家大師中，荀卿在楚國蘭陵講學多年，受道家影響比較深。他一方面主張不可知論的唯理主義，卻否認理論研究的重要性，主張技術的實際應用。所以他說：「從天而頌之，孰與制天命而用之。」「故錯人而思天，則失萬物之情。」「故明君臨之以勢，道之以道，申之以命，章之以論，禁之以刑。故其民之化道也如神，辨說惡用矣哉。」所以荀子認為政府應該帶領和指導人文的發展，老百姓是不必辯說的。這個觀點和希臘精神大相徑庭。既然不用辯說，科學無從而起，只剩工匠的技術。荀卿將儒家的正名移交政治權威時，已經十分接近法家。他的弟子李斯成為秦國丞相，作為法家的實踐者，也就不足為奇。秦始皇焚書坑儒，政教不分。春秋戰國百家爭鳴的局面從此湮滅，最為可惜。

孔子繼承商朝以來祭祀先人的觀念，主張服三年之喪，說「三年無改父之道，可謂孝矣。」歷朝皆

---

① 作為比較，近 30 年來發表的科技刊物不可勝數，文章篇幅估計超過歷史上所有文獻的總和。但大部分文章除了作者，可能沒人讀過；有些文章流行兩三年就被人遺忘。能夠傳世超過 30 年的文章如鳳毛麟角。



(左)五行生死順逆之圖，顯示五行之生剋，出自鄒衍的學說。(右)得五行之氣之濁圖。顯示五行配數、五常，並依孟子之說配父子、君臣、賓主、賢否，已轉變為解釋人事之說。兩圖皆出自《古今圖書集成》。(維基)

標榜以孝治天下，宗廟祭祀已經接近宗教信仰。孔子本人受歷朝皇帝敬拜，中國主要城市都有孔廟，儒家變成儒教，對基礎科學的發展不見得是好事。

### 五行學說和道家的科學態度

和儒家對立的墨子（約公元前 479-381 年），因為主張兼愛和非攻，精通築城和防禦技術，研究力學和光學。後期墨子開始注意實驗科學基礎的思想體系，這個想法可能是因為要和各家爭辯取得勝利的緣故。此後出現了戰國時的惠施和西漢時的公孫龍，被史學家司馬談和班固尊稱為名家。他們的著述大部分已失傳，《公孫龍子》一書部分留存，還有一部分載在莊子書中。他們開始注意抽象的邏輯理論，發展了悖論。這些悖論和希臘芝諾（Zeno of Elea）的悖論接近。悖論有助於邏輯學的發展，可惜中國在這方面的研究遠遜於西方。

在齊國，鄒衍得到齊宣王的尊重，在稷下這個地方發展了五行學說和陰陽的觀念。稷下學宮容納幾乎所有學派的學者。荀卿在 50 多歲就曾遊學稷下，其它學者包括淳於髡、慎到、田駢等。當時，楚國的蘭陵、齊國的稷下，是天下學術中心，比美古希臘時代柏拉圖的學園（academy）。

鄒衍提出的五行概念是中國的自然主義，也是科學的概念。他們認為木剋土，土剋水，水剋火，火剋金，金剋木，循環又周而復始。鄒衍的學說很受到諸侯的重視。《史記曆書》說：「是時獨有鄒衍，明於五德之傳，而散消息之分，以顯諸侯。」又說：「而燕齊海上之方士傳其術不能通，然則怪迂阿諛

苟合之徒自此興，不可勝數也。」五行的概念也影響了煉丹術的發展。漢儒董仲舒等繼續發揚五行之說。雖然古希臘和中國五行學說有相似的地方，但是分歧更大。西方的元素概念從柏拉圖開始，不斷通過推導、觀察，形成現代原子、化學元素的概念。但中國的陰陽和五行學說雖然開始時是自然科學思維，卻逐漸發展為解釋人事的學說，近於迷信。

現在來談道家。儒家和道家影響中國 2,000 多年來的思想，不可不研究它的內容。和道家有關的著作有老子《道德經》，莊周的《莊子》，還有《列子》、《管子》和《淮南子》，何炳棣認為這都源於孫子兵法。事實上，道家應該起源於戰國初期喜歡探索大自然之道的哲學家。他們認為要治理人類社會，必須深入理解超出人類社會的大自然。

道家也受到齊、燕巫師和方士這些神祕主義者的影響。他們認識到宇宙在不斷變化，他們對自然界的觀察轉移到實驗，煉丹術成為化學、礦物學和藥物學研究的濫觴。可惜他們不能將觀察系統化，缺乏亞里士多德對事物分類的能力，又沒有創造一套適用於科學的邏輯方法，這是很可惜的事情。

綜觀上述諸子，由於春秋戰國百家爭鳴，影響中國思想兩千多年的歷史。現在很多年輕人即使不在

乎這段歷史文化，卻深受影響而不自知。漢武帝雖獨尊儒家，中國還是受到道家思想影響。魏晉南北朝時，基礎科學達到空前的發展，劉徽注《九章算術》，祖沖之父子計算圓周率和球體積，以及《孫子算經》的剩餘定理都是傑出的數學成就。東晉醫學家葛洪開創中國化學的研究基礎。天文和地理如《水經注》都達到空前的進步。可惜隋唐以後不重視基礎科學，由技術主導，清末遇到西方科學文化的衝擊，才開始瞭解中土文化有欠缺的地方。

一般來說，中國人並不重視定量的看法，傾向接受模稜兩可的說法。例如中國詩詞有很多極為隱晦的語句，卻富有意境。又如中國人算命結果往往有不同的解釋。但是當測量師、木工、建築師、雕塑家、音樂家得到精細的數字時，中國學者對這些數字往往沒有興趣做深入的研究。由此可以看到我們對科學的態度和西方不一樣。中國人不認為和政治德行無關的學問重要。例如文學創作，到三國魏文帝曹丕才說「蓋文章，經國之大業，不朽之盛事。」所以自古以來，學而優必仕。中國學者很少為做學問而做學問，少有西方學者窮理治學的精神。這和東西哲學不同有關，東西人生觀也不一樣。

### 古希臘哲學：西方科學的根源

西方的科學，都可以溯源到古希臘時代。從公元前 625 年到公元前 225 年間，哲學家輩出，窮理致知。到柏拉圖和亞里士多德時候，更將哲學範圍擴大，包括討論宇宙和人生的一切。古希臘的科學觀和宇宙觀，在文藝復興和人文主義開始時，由培根（Francis Bacon）和笛卡兒（René Descartes）發揚光大，影響到今日科學的想法。所以下面我將縱

述古希臘哲學的源流，並和中國哲學比較，從中可以看到中國基礎科學落後於西方的原因。

哲學的任務在於聚集一切事物，總集一切知識，構成整個宇宙觀和人生觀的基礎。有系統的哲學研究大致從公元前 625 年開始。早期希臘哲學止於公元前 480 年（該年希臘海軍打敗波斯人，亦是孔子卒後一年），開始擺脫希臘神話的傳統思維，轉而探尋本源。這個時期分東西兩派。

東派以泰利斯（Thales）為代表。他可說是古代第一位幾何學家、天文學家和物理學家，開始論證的方法，並提出本質的觀念（idea of nature）。他生於米利都（Miletus），是米利都學派的創始人。此地瀕臨變化多端的海洋，因此有好奇心來考究與自體相同並能運動的宇宙本質。他們認為物質之中含有精神的要素，主張宇宙為生滅流轉之過程，無始無終的大變化。

西派有艾里亞學派（Eleatic school）和畢達哥拉斯學派（Pythagorean school）。有艾里亞學派的創導者色諾芬尼斯（Xenophanes）定居於義大利西南部的艾里亞，他認為構成宇宙的原始本質是不變的，和東派相反。此派學者芝諾是辯證法（dialectic）和詭辯術（sophistry）的始祖。

西派另一代表是畢達哥拉斯學派。畢達哥拉斯是小亞細亞附近的薩摩斯島人（island of Samos）。他在義大利南部的克羅多納（Crotona）講學，以神祕宗教為背景，此教盛行於色雷斯（Thrace），每年有年會，狂歌狂飲，以圖超脫形骸的束縛，謀求精神的解脫。畢氏的貢獻以音樂、數學及天文學為主，認為數是萬有之形或相（form），並認為宇宙實體有二：數與無限的空間。一切事物的根本



拉斐爾的名作《雅典學園》（1509-11）。中間兩人是柏拉圖（左）和亞里士多德（右）。左方著綠袍與人交談者為蘇格拉底，著軍服面對蘇格拉底的是亞歷山大（大帝）。左下角正專心著作的是畢達哥拉斯。右下角彎腰著紅衣的是歐幾里得或阿基米德，背對視線者是托勒密。（維基）

性質和「存在」，是基於無限空間之形成於算術的具體方式。數是存在的有限面，空間是存在的無限面。存在即兩者聯合，缺一不可。數是自然事物的形式或模範，提供「模型」（mould）。無限空間則提供「原料」（raw material）。二者相合而萬象生。

此派的宇宙觀念，認為世界萬有以火為中心，天體有十，繞火運動，開日後哥白尼（Copernicus）的天文學說。畢氏亦研究音樂，量弦之長短，以定音，是故音亦數也。值得一提的是，易經繫辭中所謂「象」，實即 form。謂「易者，象也」，「聖人立象以盡意」。易經認為在變化的現象中抽出不變的概念，而以簡單的方式表達，是所謂象。這個觀念和上述數的概念很接近。

泰利斯和畢氏學派均主張宇宙本質為一元之說，

一派主變，一派主不變；一派主動，一派認為動是假象。為解決這些矛盾，遂有調和派的多元論產生。他們以為變易非變形而是換位，是大塊中各小分子的換位，生滅不過是位置的變易。創造是新結合，破壞不過是分子分散而已。

這段時期的希臘哲學家認識到知識界的有序和感覺界的無序。他們因研究天文學體會秩序，從諸星單純的關係中發現永存不變原理。

### 希臘啟蒙時代

公元前 480 年，雅典戰勝波斯以後，希臘文明逐漸轉移到雅典，進入了希臘啟蒙時代（the Age of Enlightenment）。這時由伯里克利（Pericles）執政，39 年之間名家輩出：雕刻家菲狄亞斯（Pheidias）、悲劇大師埃斯庫羅



《原本》第一版印本（1482）的頁面。（維基）

斯（Aeschylus）索福克勒斯（Sophocles）和歐里庇得斯（Euripides）、歷史學家希羅多德（Herodotus）和修昔底德（Thucydides）、哲學家普羅泰戈拉（Protagoras）、蘇格拉底和德謨克里特斯（Democritus）。

在這段時期，平民政治代替了貴族政治，問政需要知識，法庭申辯需要才智，因此學問要求也愈益迫切，同時更加普及化，對政治，對法律，對傳統和對自己都加以批評，呈現燦爛的奇觀。波斯戰爭以後，文化得到自由發展，個人覺醒，由懷疑而批評的精神發展到了極點。由批評而懷疑的當時叫做辯者（sophist）或哲人。由懷疑而再入於肯定的代表人物則是蘇格拉底，他生於雅典，是當代最重要的人物。他認為知識即道德，而道德即幸福。

哲人原意為智者，他們教授平民文學、歷史、文法、辯論術、修辭學、倫理學和心理學等學科。哲人時代，長達百年。希臘小孩子學習體育和音樂，所謂音樂包括幾何學、七弦琴、詩歌、天文、地理和物理等，通常 16 歲起受教於哲人。

蘇氏的主要繼承人是柏拉圖，也是雅典人，美儀容，好美術詩歌，師從蘇格拉底八年，40 歲後在雅典郊外成立學園，是教育史和學術史上之盛事。他認為有兩個世界：理型（idea）的世界和物質（現象）的世界，前者至善，後者通過愛（Eros）達到至善。人類於不完全中求完全的渴望就是愛。

柏拉圖的學生亞里士多德集希臘哲學家科學之大成，他是亞歷山大大帝的老師，其學說宏博無比，

我們常用的三段論證法，即源於亞里士多德。

公元前 338 年，腓力二世贏得喀羅尼亞戰役，結束希臘的獨立。兩年後，他被刺身亡，兒子亞歷山大繼位，以 12 年征服一大片土地，終結希臘文化，同時開闢了一個新的希臘化時代，把希臘文化輸送到亞洲的心臟地帶。亞歷山大 33 歲去世。

亞歷山大的朋友托勒密（Ptolemy of Lagus）成為埃及總督。他在公元前 320 年征服巴勒斯坦和敘利亞。在希臘人的統治下，埃及成為東方和西方的融合處。亞歷山大城聚集了馬其頓人、希臘人、埃及人、猶太人、阿拉伯人、敘利亞人和印度人。因此希臘城邦觀念被世界主義觀念取代，於此建立的亞歷山大博物館，象徵希臘文化移植到埃及。

在這裡誕生了歐幾里得（Euclid）和他的《原本》（*Elements*）。該書有 13 卷，前六卷討論平面幾何，第七卷到第十卷討論算術和數論，後三卷討論立體幾何。這本書受亞里士多德的公理化理論影響，將很多重要和已知的數學定理用公理嚴格統一起來，影響了基礎科學的發展。牛頓和愛因斯坦都想用簡潔的原理統一說明物理現象，正是受到《原本》精神的影響。在數論方面，歐幾里得證明了一個漂亮的命題：質數有無窮多，開創了質數的研究。他發明找尋最大公因數的方法，現在叫做歐幾里得算則，至今還是很重要和實用的工具。

緊跟著歐幾里得的大數學家是西西里島上的阿基米德（Archimedes）。他善用窮舉法計算各種立體體積和平面圖形面積（例如球體體積和拋物線及曲線圍繞出來的面積），開近代微積分的先河。他用逼近法計算圓周率，又開創了靜力學和流體力學，影響到牛頓力學的發展。



伽利略面對羅馬教廷。(維基)

歐幾里得和阿基米德以後，羅馬帝國興起，疆域橫跨歐亞大陸，將希臘文化傳播得更遠。羅馬帝國雖然征服希臘，但從基礎科學觀點，卻反被希臘文化征服。而波斯人和阿拉伯人保護了希臘的文化，融合古巴比倫人在代數的貢獻，繼續發揚光大。

近代基本科學萌芽於希臘，茁壯於文藝復興時代，以上的論述集中在公元前 625 年到前 225 年這 400 年間的希臘文化。無論從那個角度看，這是人類文明的極致，現代科學成功的基礎。

## 結語

科技的發達固然是現代先進國家富強和持續發展最重要的一環。但科技依賴基礎科學的發展，哪個國家領導科技必將強大；哪個國家能領導基礎科學，則強大必會歷久不衰。科學家是有血有肉的人，所以基礎科學需要人文科學來培養他們的氣質和意志。哲學是統攝這些學問的根源，基礎科學需要哲學的幫助，才能不斷創新前進。中國和古希臘大約都在公元前六世紀開始哲學研究，但由於不同的歷史原因，中國在西方文藝復興之後，大幅落後西方。這個問題需從最基本的哲學觀點來解決，始能改變中國科學工作者對於科學的基本態度，更深入瞭解基礎科學的價值觀念。

中國人重視人事關係，遠比真理為重。如何解決這個問題，是中國科學現代化的重要一環。我還記得在某人聲稱解決一知名問題的方法，但被數學界公認為錯誤時，某位名學者（基於感情的立場）仍

舊大力吹捧此人的結果。另外一名學者則堅持我支持這個不合科學精神的論斷。我很難想像西方的科學家願意這樣做。在真理面前，人人平等。但這個顯而易見的科學精神，在中國沒有受到重視。

當伽利略在教皇面前堅持他的學說時，義無反顧。在西方，學者都堅持這個精神。但是在中國，即使到最近，還有人用政治觀點批判廣義相對論，用民族主義觀點來評判學問的得失。自從漢儒造偽經，學者互相抄襲以來，很多學者對於抄襲不再有羞恥心。近幾年來，知名學者公然抄襲，被指控而無法辯駁後，還恬不知恥想做國家領導人。這樣的人領導中國科學界，恐怕是中國科學爭取上游的主要絆腳石。我想中國社會能夠容忍這樣的人，和中國人的基本哲學有關。

在不同時代，中國學者表現的風骨並不一樣。著名的代表性事件發生在 1958 年臺灣的中央研究院。當時蔣介石受邀到南港致開幕詞，他認為中央研究院除了要維持中國文化，也要負起社會責任。院長胡適之當即站起身說：總統你錯了，中研院是為學問做學問，不講究這一套。蔣介石雖然不高興卻沒有表示出來，胡適之的勇氣則受人欽佩。其實，蔣介石說的是中國儒家的精神，而胡適之說的西方求真的精神，這確是中國學者缺乏的。

希臘亡於羅馬，宋朝亡於蒙古人，他們的文化都遠勝於侵略者。其實，這兩種看法不應該有矛盾。有一群人畢生致力於文藝和基礎科學的研究，另外一大群人研究技術的演進，一群人將技術變成產業。幾方面一同合作，社會和國家才會得益。∞

## 本文出處

本文修改自丘成桐 2016 年 7 月 27 日安徽《合肥大師論壇》之講稿。