

蒙元科技的特色

何丙郁
英國劍橋大學
李約瑟研究所

提 要

中國傳統科技在十到十四世紀之間達到高峰。蒙元時期在科技和醫學方面，包括數學、天文學、煉金術、地球科學、印刷術、版畫、農業、水利、紡織技術、法醫學、內科、針灸、藥理學等都有實際進展。本文確認了蒙元對科學、科技方面所貢獻的兩項重要特色。

首先是數學的發展，在十三世紀遠遠超過世界其他各地。例如在高次方程式的研究上，歐洲一直要到十九世紀初才足以與中國匹敵，歐洲數學家從十七世紀起才開始注意不同的處理方法。事實上，中國數學在不同方法的持續研究上，已經造就中國曆算上的成就，結果是蒙元時期製作了傳統中國史上最先進的陰陽合曆。此外，本文也討論一些社會的因素，這些因素在中國數學的發展上起了催化的作用。

其次是中外科技交流方面。蒙元時期與世界各地的接觸頻繁，因而促進了東西方的科技交流，其中最具意義的是火藥武器的傳入歐洲，此在海上霸權的爭奪上扮演極重要的角色。而利用筒引導火藥爆炸力的方法，最初用在火藥機的實驗上，後來導致了蒸氣機與內燃機的發明，而這兩項發明在歐洲的工業革命扮演著重要角色。

關鍵詞：科技史、蒙元、數學、天文學、火藥與火器

一、前言

中國傳統科學、技術與醫療在蒙元時代有一定的發展。¹數學有李治（又稱李治，1192-1279）的天元術和朱世傑（生卒年不詳）的四元術等。²天文學有郭守敬（1231-1316）和王恂（1235-1281）的授時曆和天文、數學、物理學家趙友欽（活躍年代宋末元初，生卒年不詳）的《革象新書》等。³地理學的著作有1291年李蘭盼（生卒年不詳）等所編、1303年修訂的《大元一統志》、耶律楚材（1190-1243?）《西遊錄》，邱處機（1198-1227）由弟子李志常手筆的《長春真人西游記》、劉郁成（生卒年不詳）1263年成書的《西使記》和朱思本（1273-1337）所製的《輿地圖》。⁴在技術方面，印刷有繼北宋畢昇（活躍年代1041-1048，生卒年不詳）所製泥活字、王禎（1295-1300）所發明的木活字，水利有郭守敬所建的運河，農業有王磐（1202-1293）的弟子孟祺（生卒年不詳）在1270年受世祖命所作的《農桑輯要》、王禎的《農書》和魯名善（活躍年代元末期，生卒年不詳）的《農桑衣食撮要》等。⁵醫療有金元時代稱為醫藥學中的金元四大家代表人物劉完素（1110-1200）、張從正（1156-1128）、李杲（1180-1251）和朱震亨（1281-1358），法醫學的宋慈（1186-1249）《洗冤錄》、針灸術的滑壽（生卒年不詳，1311年著書）《十四經發揮》，和外科的危亦林（1277-1347）《世醫得效方》，營養學的御醫忽思慧（生卒年不詳）1330年呈上文宗的《飲膳正要》等。⁶

金元過渡時期至蒙元初期的科技發展有兩個特色。其一是傳統中國數學的發展在這個時期達到最巔峰狀態。其二是在中外科技交流方面，這個時期比歷代王朝更為廣泛，更有影響力。元代中期至末期，科技則一蹶不振。最近在研討會上已經有

1 參閱藪內清編，《宋元時代の科學技術史》（京都：京都大學人文科學研究所，1967）；杜石然等，《中國科學技術史稿》下（北京：科學出版社，1982），頁11-108；管成學，《宋遼夏金元科學技術史》（吉林，1990）等。

2 李治和朱世傑的注釋見正文。

3 郭守敬和王恂的注釋見正文。參閱劉鈍，〈趙友欽〉，杜石然主編，《中國古代科學家傳記》下（北京：科學出版社，1992），頁690-694。

4 參閱胡鐵珠，〈耶律楚材〉，杜石然主編，《中國古代科學家傳記》上，頁616-623；鄭素春，〈元代全真教主與朝廷的關係〉，蕭啟慶、許守泯主編，《蒙元的歷史與文化》（臺北：學生書局，2001），頁703-735；和中國科學院自然科學史研究所地學史組編，《中國古代地理學史》（北京：科學出版社，1984），頁27、376、377。

5 參閱天野元之助，〈元的王禎農書的研究〉，藪內清編，《宋元時代の科學技術史》，頁341-468。

6 關於金元四大家及其參考文獻，見趙璞珊登載在杜石然主編，《中國古代科學家傳記》的〈劉完素〉（頁563-568）、〈張子和〉（頁598-603）、〈李杲〉（頁606-611）、〈朱震亨〉（頁732-737）。宋慈及其《洗冤錄》，參閱 Joseph Needham and Lu Gwei Djen, *Biology and Biological Technology. Medicine*, in Nathan Sivin, ed., *Science and Civilization in China*, v. 6, pt. 6, pp. 175-200。滑壽及其參考文獻，見廖果，〈滑壽〉，杜石然主編，《中國古代科學家傳記》下，頁752-757。危亦林，見于文忠，〈危亦林〉，杜石然主編，《中國古代科學家傳記》下，頁727-729。蔣田統，〈飲膳正要について〉，藪內清編，《宋元時代の科學技術史》，頁329-340所論甚詳。

人論及這個問題，認為原因出在統治階級日益腐敗，不再重視生產和科研等。⁷

二、數 學

德國著名數學家、天文學家和物理學家高斯（Carl Friedrich Gauss, 1777-1855）認為數學是科學的皇后，金元過渡時期是傳統中國數學的鼎盛時期。杜魯克（D. J. Struik）在他的《數學簡史》（*Concise History of Mathematics*）說西元十九世紀以前的代數學史可以總稱為方程式論述史，⁸可見高次方程式的解答是世界數學史中的一個重要課題。唐代王孝通（生卒年不詳，活躍年代西元六世紀下半葉）用幾何方法處理三次方程式。⁹西元十一世紀劉益（生卒年不詳）已經使用所謂〈減從法〉的一種代數學處理某些三次方程式。¹⁰西元十三世紀秦九韶（約1202-1261），繼後楊輝（活躍年代1261-1275，生卒年不詳）也引用高次方程式解答他們的書中算題。¹¹以前某些國家也曾經出現一些處理三次方程式的方法。可是它們在使用範圍上極為狹窄，僅可應用在特殊的三次方程式，沒有秦九韶的方法所具的廣泛性。例如印度數學家婆什迦羅（Bhaskara, 1114-約1185）尋求

$$x^3 - 6x^2 + 12x = 35$$

這個三次方程式的正根。他先把兩端分別減8，得

$$x^3 - 6x^2 + 12x - 8 = 27$$

$$\text{即 } (x-2)^3 = 27$$

$$x-2=3$$

$$x=5$$

這是個很特殊的三次方程式。假如把數字任意略為更改，恐怕這位數學家的方法就要失靈了。

7 見李迪，〈論元代後期科技發展停滯的原因〉，《世界華人科學史學術研討會會場文集》（臺北：淡江大學，2001），頁338-346。

8 見何丙郁，〈海納百川：科學發源與交流〉（臺北：聯經出版社，1994），頁137-138。

9 見郭書春，〈王孝通〉，杜石然主編，《中國古代科學家傳記》上，頁317-319。

10 參閱王榮彬，〈對劉益正負開方術的新研究〉，《自然科學史研究》，第18卷第1期（1999），頁28-35。

11 有關秦九韶和楊輝的參考資料甚為豐富，尤其是關於前者。筆者早年有 Ho Peng Yoke, "Ch'in Chiu-shao, Thirteenth-century Chinese Mathematician," *Dictionary of Scientific Biography* (Baltimore: American Council of Learned Societies, 1971), vol. 3, pp. 249-256 和 Ho Peng Yoke, "Yang Hui, Thirteenth-century Chinese Mathematician," *Dictionary of Scientific Biography* (Baltimore: American Council of Learned Societies, 1971), vol. 14, pp. 538-546. 專書有 Ulrich Libbrecht, *Chinese Mathematics in the Thirteenth Century: the Shu-shu chiu-chang of Ch'in Chin-shao* (Cambridge, Mass., & London: MIT Press, 1973) 和 Lay Yong Lam [藍麗蓉], *A critical study of the Yang Hui suan fa: a thirteenth-century Chinese mathematical treatise* (Singapore: Singapore University Press, 1977); 傳記有何紹庚，〈秦九韶〉，杜石然主編，《中國古代科學家傳記》上，頁639-659，和孔國平，〈楊輝〉，杜石然主編，《中國古代科學家傳記》上，頁654-662等，都列入參考文獻。

歐洲要等到西元十六世紀三次方程式才受到數學家們的注意。首先是一位名叫史基比奧（Scipio del Ferro）的義大利數學家，從阿拉伯人的著作中獲得一個解答屬於 $x^3+bx=c$ 這一類三次方程式的秘法，繼而方丹那（Nicolo Fontana, 約1506-1557）宣稱能夠解答屬於 $x^3+bx^2=c$ 這一類的三次方程式，引起一場風波。¹²

許多現代的數學史家認為西元1804年義大利數學家盧芬尼（Paolo Ruffini, 1765-1822）和西元1819年英國數學家霍納（William George Horner, 1789-1837）所分別各自發現的解答高次方程式法是類似以秦九韶的增乘開方法所得的結果。¹³可是最近一位義大利數學家斯托其（Sandro Stocchi）指出，盧、霍兩人的方法不僅在廣泛性上比不上秦的方法，而且在應用上也比較繁雜。歐洲還要等待西元二十世紀來臨才由義大利數學家基奧瓦羅斯（G. Giovarosi, 1889-1944）創出一種更具廣泛性的方法。¹⁴

金元過渡時期李治（又稱李冶，1192-1279）將秦九韶等的高次方程式演繹為天元術。¹⁵他採用的方法比秦九韶更為簡單。例如在相同的某算題，秦使用一個十次方程式，但李先把問題簡化為一個三次方程式，使得計算上更為方便。¹⁶後來天元術傳往日本，對和算有很大影響。到了蒙元時代，朱世傑（生卒年不詳）創立四元術，載在附有他在元大德七年（1303）所作序的《四元玉鑒》中。¹⁷李治的天元術僅可以用在一個未知數，而四元術則可以用在一個至四個未知數，把傳統中國數學的高次方程式帶上最高峰。

三、天文學與數學

科學雖然是分為許多部門，可是某一部門的發展往往帶動另外某些部門的發展。這是當今科學界的共識，但是從這個出發點談科技史的言論並不多見。蒙元科

12 見何丙郁，《海納百川：科學發源與交流》，頁137-138。

13 不少論著提及這個問題，例如沈康身，《中算導論》（上海：上海教育出版社，1986）。

14 見 Sandro Stocchi, "The Chinese Way to the Solution of Numerical Equations, from Wang Hsiao-thung (7th Century) to G. Giovarosi, Italy (1899-1944): their Discovery of the General Procedure," *International Colloquium Transmission and Transformation of Mathematical Thought: a Comparative Approach* (4-8 October 1998: Central China Normal University [Wu-han, China]).

15 有關李治的參考資料甚為豐富，筆者有 Ho Peng Yoke, "Li Chih, Thirteenth-century Chinese Mathematicians," *Dictionary of Scientific Biography* (Baltimore: American Council of Learned Societies, 1971), vol. 8, pp. 313-320. 傳記有孔國平，〈李治〉，杜石然主編，《中國古代科學家傳記》上，頁624-638，亦列有參考文獻。

16 例如見 Hok-lam Chan & Ho Peng Yoke, "Li Chih," in Igor de Rachewiltz ... [et al.] ed., *In the Service of the Khan: Eminent Personalities of the Early Mongol-Yüan Period (1200-1300)* [Asiatische Forschungen; Bd. 121] (Wiesbaden: Harrassowitz, 1993), pp. 316-335.

17 見 Ho Peng Yoke, "Chu Shih-chieh," Thirteenth-century Chinese Mathematicians," *Dictionary of Scientific Biography* (Baltimore: American Council of Learned Societies, 1971), vol. 3, pp. 265-271. 杜石然，〈朱世傑〉，杜石然主編，《中國古代科學家傳記》下，頁695-708，等都列入參考文獻。

技史可以提供一個數學帶動天文學發展的好例子。古代文明國家所說的天文學都包括現代所說的占星術和天文學成分，中國的傳統天文學也不例外。天象觀測可以用在占星術，也可以用在現代公認的天文學，這就是傳統中國的曆算。

曆算家使用數學的一種內插法來計算日月五星的位置。《周髀算經》載有一次內插法。劉焯在西元200年編製皇極曆時曾採用等間距的二次內插法以推算日月的位置。唐代一行（683-727）編製大衍曆時曾使用不等間距的二次內插法公式進行推算。內插法計算問題和高階等差級數的研究有密切的關係。劉焯和一行都是將太陽的運行看為是一種二次函數來處理。但不符合實際，因為太陽的運行需要用一個高次函數來處理。一行已經注意到此點，但是當時的數學還未達到這個程度，未能採用再高次差的內插法。內插法要等待等差級數研究的發展。

南宋沈括（1032-1095）的《夢溪筆談》所載的隙積術是其後兩三百年間高階等差級數研究的開端。楊輝也討論這個話題。蒙元時代朱世傑把傳統中國數學的高階等差級數論帶上最高峰。他所創立的招差公式可以認為能夠推廣成為包含任意高次差的公式。在歐洲要等待英國天文學家格雷果里（James Gregory）在西元1670年首先談及招差法，然後由牛頓（Isaac Newton, 1642-1727）在他的名著《自然哲學的數學原理》（*Philosophia Naturalis Principia Mathematica*）中才提出招差法的一般公式。¹⁸

蒙元時代郭守敬（1231-1316）和王恂（1235-1281）採用三次內插法編製授時曆，使授時曆成為歷史上中國傳統曆法中最為先進的曆法。¹⁹ 授時曆另外一個特色是廢除傳統曆法所使用的上元積年。從來的中國曆算家都是要先算出一個從上古日月五星如聯珠的現象產生的積年。計算方法是用同餘式。最初出現在算書的同餘式是《孫子算經》所載的物不知數題。這是一個一次同餘式的算題，又稱求一術。南宋秦九韶的大衍求一術從理論上對以前一切一次同餘式算題做出總結。法國數學家康托（M. Cantor, 1829-1920）曾稱此法為中國剩餘定理。郭守敬和王恂在授時曆放棄使用此法而不用上元積年這個假設的據數。以後的曆法也不再需要計算一個上元積年了。

18 見 David Eugene Smith, *History of Mathematics* (New York : Dover Publications, 1953), vol. 2, p. 512. 一說是萊布尼茲（Leibniz, 1646-1716）在一封信中提及引用招差法處理自然數立方問題，並把此法歸功於法國人穆頓（Mouton, 1618-1694）。

19 關於郭守敬的參考資料甚為豐富。見 Ho Peng Yoke (with May Wang), "Kuo Shou-ching," in Igor de Rachewiltz ... [et al.] ed., *In the Service of the Khan : Eminent Personalities of the Early Mongol-Yüan Period (1200-1300)* [Asiatische Forschungen ; Bd. 121] (Wiesbaden : Harrassowitz, 1993), pp. 282-299. 和陳美東，〈郭守敬〉，杜石然主編，〈中國古代科學家傳記〉下，頁667-681，及兩文中所列入參考文獻。王恂，見白尚恕、李迪，〈十三世紀中國數學家王恂〉，何丙郁主編，〈香港大學中文系集刊·中國科技史專輯〉，1.2（香港：中文大學出版社，1987），頁233-248。

郭守敬和王恂在推算授時曆的過程中也曾經採用弧矢割圓術。這是將圓弧線段化爲弦、矢等直線線段來計算的一種方法。在計算中使用了若干和球面三角幾何相合的公式。

四、道家與科技

王重陽（1113-1170）在十二世紀中葉創立全真教。金元過渡至蒙元初是全真教的鼎盛時期，爲當時華北地區勢力最大的道教流派。²⁰ 戴內清推測全真教對天元術和四元數之間應該有些淵源。²¹ 汾河流域是王重陽創立全真教的聖地，也是北宋初期著名道家陳搏隱居終南山的所在。陳搏精於易數，以其術傳於穆伯長，穆伯長傳於李挺之，而李挺之授於邵康節（1011-1077）。²² 象數是一種易數。後來邵康節把象數傳之種放。易數在中國傳統數學中屬於數學中的內數，內數是傳統數學中比較深奧和重要的部分，以外的是屬於較爲簡單的外算。²³ 從楊輝和丁易東的縱橫圖可以看到許多象數留下的跡象。易數的目的是在洞識未來的事情。天元術的目的是在尋求一個未知數。天元術用來代表未知數的「元」字和代表常數的「天」字都似和《易經》有關。根據我們所知，道家對鍊丹術、本草學、醫療學等都具有興趣。大部分這方面的知識都載在《道藏》內。金代曾經在燕京刊行一部《玄都道藏》，但是在金代末年，各處所藏的刊本多已散佚，唯獨山西管州（在今靜樂縣）的某道觀保存最多。山西汾河流域在金元過渡時期順理成章成爲研究鍊金術、醫藥學等的中心點。李治的友人元好問（1190-1257）與全真教有深交。朱世傑也提及元好問對天元術有所涉獵。李治也曾在道藏完成的時候寫紀念碑文。可見他和道家的交往。貞祐年間（1213-1216）金遷都於汴。蒙元先取燕後克潼關，任職金朝的士大夫不少往全真教道觀逃避。李治在山西汾河一帶流浪的時期，可能也曾在道觀寄居。他的《測圓海鏡》載他的自序說：「老大以來得洞淵九客之說。」洞淵九客不詳，但有可能是指道家的學者。全真教的一些主要人物是有一個「洞」字，例如于志道是洞真，祈志誠是洞明，申志貞是洞元，徐志根是洞陽等。替朱世傑《四元玉鑒》作序的友人祖頤也提及不少山西地區的人物，例如平陽（今山西臨汾）蔣周撰《益古》、博陸（今河北蠡縣）李文一撰《照膽》、鹿泉（今河北獲鹿）石信道撰《鈴經》、平水（今山西新絳）劉汝鐸撰《如積釋鎖》、和絳（今山西新絳）人元裕之的細草使後人得知天元

20 見鄭素春，〈元代全真教主與朝廷的關係〉，蕭啓慶、許守泯主編，《蒙元的歷史與文化》下，頁703-736。由邱處機弟子李志常手筆的《長春真人西游記》，是全真教在地理學方面所作的貢獻。

21 參閱戴內清〈宋元時代における科學技術の展開〉，戴內清編，《宋元時代の科學技術史》，頁1-32。

22 易數見何丙郁，〈從科技史觀點談易數〉，《中國科技史論文集》（臺北：聯經出版社，1994），頁19-34。詳說見Ho Peng Yoke, *Reaching Out to the Stars* (London: Curzon Press)（排版中）。

23 見秦九韶，《數書九章》序。

術：因而平陽李德載撰《兩儀群英集》兼有地元、霍山（今山西臨汾）邢先生頌不高弟劉大鑒潤夫撰《乾坤括囊》末有人元二問。雖然上述各書都已失佚，作者也未詳，但書名所暗示《易經》與天元、地元、人元的關係以及作者多出自山西地區都值得注意。

道家關係可能引致中國傳統數學產生一個意外的變化。中國傳統數學是偏向實用。例如南宋秦九韶所著《數書九章》的算題絕大部分都跟當時社會生活實際需要有密切關係。李治的《測圓海鏡》和朱世傑的《四元玉鑒》則另有作風，趨向抽象而不談實用，也許是受到道家玄學的影響。似乎中國傳統數學開始出現了純粹數學（pure mathematics）以及應用數學（applied mathematics）之分。可惜當時代的學者跟不上李治和朱世傑的先進思想。朱世傑以後就再沒有天元術和四元術的著作出現。人們似乎已經忘記有這兩種高深的算法。僅有贍思（Samsu, 1278-1351）的《重訂河防通議》引用天元術在河防技術的數學問題上。²⁴對於朱世傑有所認識的僅是他為著初學者而寫的一部《算學啓蒙》。西元十七世紀耶穌會士把西方的代數阿爾熱巴拉（algebra）傳入東土，引起對這門學科的狂熱。十八世紀梅文鼎（1633-1721）的孫子梅穀成（1681-1763）才在他的《赤水遺珠》指出天元術本來就是一種代數，僅是由於它使用後人所不熟識的記號，所以沒有受到注意而被忘記罷了。

五、人才的物色

蒙元初期科技史又一特色是在物色賢才方面。當時沒有實行科舉，但忽必烈（1215-1294）在即位前已經曾與許多學者結交，其中包括幾乎當時全部的著名科學技術人物。其中有李治、郭守敬、王恂、劉秉忠（1216-1274）、張文謙（1216-1283）、許衡（1209-1281）等。忽必烈登位後就重用他以前所物色的賢才。

上文提及金元過渡時期的游士。當時養士之風興起，²⁵李治嘗作蒿城董氏的門客。西元1233年蒙元陷汴，士大夫或被擒或流亡。元好問（1190-1257）曾向耶律楚材建議善用其中的賢才，讓他們替蒙元服務。²⁶李治是元好問所提名五十三位賢才中之一。耶律楚材利用他的特殊政治地位，將所知或有來往的士人安置於新設的十路稅所、燕京編修所、平陽經籍所任職。²⁷

24 見孔國平，《李治朱世傑與金元數學》（石家莊：河北科技，2000）。

25 參閱丁崑健，〈從仕宦途徑看元代的游士之風〉，蕭啓慶、許守泯主編，《蒙元的歷史與文化》下，頁635-653。

26 耶律楚材本身也是一位天文學家和地理學家，他原本是遼太祖的長子。參閱胡鐵珠，〈耶律楚材〉，杜石然主編，《中國古代科學家傳記》上，頁616-623。

27 參閱蕭啓慶，〈忽必烈時代潛邸舊侶考（上）、（下）〉，《大陸雜誌》，第25卷第1期，頁16-22；第2期，頁22-27。

仁宗朝（1312-1320）恢復科舉制度，以八股文取士，忽視科技。這是在本文範疇外，不作討論。

六、中外科技交流

宋代的海外貿易相當興盛。²⁸指南針、印刷術和火藥經已西傳。²⁹金元過渡至蒙元初葉的中外科技交流頻繁，內容豐富，地區廣泛，各方面都遠超前代。³⁰西元十三世紀旭烈兀（1219-1265）西征，精通推算曆法、占卜天文學家和數學家隨行。西元1258年攻陷巴格達，創立伊兒汗國，定都於馬拉加（Maragha）繼續征服波斯。他幫助著名天文學家納速刺丁徒思（Nasir al-Din al-Tusi, 1201-1274）在馬拉加建立天文臺，並將從中國帶去的天文學家和數學家留在此天文臺服務。他們協助徒思編製當時代在西方天文學界馳名的《伊兒汗曆》（Ilkhanic Tables）。在西元十五世紀阿爾卡西（al-Kashi，活躍年代1415，生卒年不詳）的算書中可以看到宋元數學之影響。中國傳統數學也經由阿拉伯國家傳到歐洲。例如盈不足術已在西元十三世紀傳到義大利。菲波那契（Leonardo Fibonacci，約1170-1245）的《算法書》（Liber Abaci）稱它為契丹算法。此書也載有《孫子算經》的「物不知數」題。在這一時期，札馬魯丁等天文和曆法家從西域來東土，帶來曆法和西方的天文儀器和有關天文和數學的書籍。³¹札馬魯丁還在元秘書監任職，並且曾製萬年曆。元上都設有回回司天監。在醫藥方面上都也設有回回藥物院，由愛薛（原名不詳，1227-1308）掌管，採用不少從西域輸入的藥物。

對本文的題目最有直接關係的是西元十三世紀蒙古三度西征所傳到歐洲的火藥武器，不僅替歐洲國家在文藝復興時期提供了摧毀封建時代的城堡的有力工具，而且導致蒸氣機和內燃機的發明，從而歐洲經歷科學革命和工業革命，在西元十八和

28 例如見林天蔚，《宋代香藥貿易史》（臺北：文化大學出版社，1986），中國已經有來自西亞細亞的移民；羅香林，〈蒲壽庚家族與回教關係考〉，《南洋學報》，第7卷第1期（1951），頁96-102。

29 參閱 Joseph Needham (with Wang Ling and Kenneth Girdwood Robinson), *Physics and Physical Technology. Physics, in Science and Civilization in China* (Cambridge: Cambridge University Press, 1962); Tsien Tsuen-hsuei, *Chemistry and Chemical Technology. Paper and Printing, in Joseph Needham, ed., Science and Civilization in China* (Cambridge: Cambridge University Press, 1985); Joseph Needham (with Ho Peng Yoke and Lu Gwei-Djen), *Chemistry and Chemical Technology. Military Technology, the Gunpowder Epic, in Joseph Needham, ed., Science and Civilization in China* (Cambridge: Cambridge University Press, 1987), vol. 5, pt. 7.

30 見李迪、馮立升，〈元代中外科技交流的發展與上都的作風〉，《內蒙古師範大學報》（哲學社會科學版），第29卷第1期（2000），頁96-102。

31 其中包括托勒密（Ptolemy）的天文著作，這些著作和現代流行的紫微斗數有點淵源。詳說見Ho Peng Yoke, *Reaching Out to the Stars* (London: Curzon Press)（排版中）。《新元史·歷志》所載西域儀象中，可見不少附有音譯阿拉伯文名字的儀器。

十九世紀稱雄世界。³² 這是蒙元時代科技交流的最大特點。

西元十二世紀上半葉金人取汴京從北宋手中獲得火器以及發射火器和技術人員。西元1211年蒙古軍攻陷西京，1214年又克中都，兩次從金人手中取得火藥武器、士兵和技工。《元史》提及成吉思汗（1208-1228在位）命他們隨軍遠征。³³ 西元1234年蒙古滅金，汴京兵器庫所藏火藥和火器，守城的火器手、火器技術人員盡落蒙古人手中。

西元1218年蒙古初次西征，在戰場上動用火炮、毒火罐、毒煙、震天雷等火器。1237年攻陷莫斯科，可能曾使用突火槍。這是一種早期的砲。聖彼得堡有一個大約1350年所畫的火器圖（midfa），類似中國的突火槍，因而俄羅斯人學得火器知識，學會了鑄砲術。俄國《編年史》載莫斯科工匠鮑里斯（Boris）1342年鑄砲。這是歐洲首次鑄砲的記錄。³⁴ 西元1241年第二次西征使用毒煙、火箭、火槍等武器。

研究科技史，尤其是研究中國的兵器史，必須注意名詞意義的轉變。同一個名詞往往有古今不同的意義，也可能古代只有一個而現今有數個意義。例如「火箭」本來是用弓矢把燃燒物體射向敵方的箭，後來才指現代的洲際飛彈或發射人造衛星和太空船的火箭；「砲」或「炮」是從攻城用的拋巨石或燃燒物體的機械轉變為用大口徑筒發彈的武器；³⁵「槍」和「鎗」古代僅指十八般武器中之一種，現在兼指各種用小口徑筒發射子彈的武器。斷章取義可能產生誤會。

「筒」字在本文有特殊的意義。它的「竹」部首表示早期火器中的槍和火箭所用的是竹筒。當時所謂的火槍不可能使用有爆發力的火藥，所用的只是燃燒性的火藥，應該算是一種火焰噴射機。依據李約瑟的研究，中國在西元1200年至1350年之間開始採用金屬筒。³⁶ 他引作為出土實物的一件大約西元1288年所製銅銃為證。³⁷ 他認為使用金屬筒的槍砲是經由俄羅斯而傳入西歐，其他的火器，例如手榴彈、火焰噴射機等是經由阿拉伯國家向歐洲傳播，而火箭出現在西元十三世紀的「飛火槍」，傳到阿拉伯國家，後來間接經由印度傳到英國。³⁸ 傳統中國最先進的火箭是大

32 筆者今年在牛津大學的2001 Wolfson College Lecture Series (Oxford) 所講題目 "China's Technology transfer to the World: the Gunpowder Epic" 就是針對這個問題。

33 《新元史》，卷九八，頁8下。

34 見潘吉星，《中外科學之交流》（香港：中文大學出版社，1993）。

35 同字異地對名詞的意義也有影響。日文的〈鐵炮〉在西元十三世紀是指原來所用類似手榴彈的震天雷，現在是指手槍。

36 參閱 Joseph Needham (with Ho Peng Yoke and Lu Gwei-Djen), *Chemistry and Chemical Technology. Military Technology, the Gunpowder Epic*, in *Science and Civilization in China* (Cambridge: Cambridge University Press, 1987), vol. 5, pt. 7.

37 參閱魏國忠，〈黑龍江阿城縣半拉城子出土的銅火銃〉，《文物參考資料》，第11卷210期（1957），頁52。

38 火箭詳見潘吉星，《中國火箭技術史稿》（北京：科學出版社，1987）。

概出現在西元十四世紀中葉的「火龍出水」。這是一種用在水面的多層火箭。李約瑟稱他為現代低空多層飛彈（Exocet）的先驅。³⁹

七、交流所引起重大反應

歐洲在西元十四世紀上半葉中期才出現最早的火砲圖，而在同世紀下半葉才在戰場上使用火藥武器。在這時代中國的火藥武器到處無敵，朱元璋建立明朝後就把他的軍隊所用的火器收藏在保密的兵器庫，目的只是為防止這些神器落在敵人或不良份子手上，毫無必要改良他的所有。十五世紀中葉的土木之變可以用來作個指標，表示從此中國就喪失火器領先的地位。歐洲在同一時代則經歷一連串的社會變遷，先有文藝復興，繼有宗教改革、資本主義的產生和科學革命。西元十四至十五世紀之間歐洲的國家常互相動武或與亞洲鄰國發生戰爭，共歷約一百二十年。戰爭鼓勵和激發武器的改進。在西元十五至十六世紀歐洲的火藥武器大為改善，在世界領先。歐洲某些國家執此武器海上稱雄，在世界各處建立殖民地，改變全球的歷史。

進入西元十七世紀，隨著科學革命的來臨，歐洲已在科學技術很多方面領先世界。上文提及槍砲所用的「筒」。在槍砲等兵器，筒的作用是把火藥的爆炸力集中而推動子彈或炮彈往指定的方向。當時歐洲就有人研究「火藥機」，企圖用筒引導火藥的爆炸力來推動機械。「火藥機」雖然沒有成功，李約瑟認為這項研究導致西元十八世紀「蒸氣機」的發明；後來的「內燃機」也是基於用筒的原理。⁴⁰這兩項發明在歐洲的工業革命曾扮演一個主要角色，也改變世界各處人民的生活方式。

八、結 論

蒙元科技史有不少特點，其中最大的是數學的發展和火器技術的西傳。這兩個特色也可以看作整個中國傳統科技史的特色。這兩個特色之間也有很大的差異。數學在這時代達到最高峰頂，以後就走下坡，有些項目幾乎被人忘記。火器技術的西傳則對世界文明史作出很大的貢獻，至今世界人士還沒有忘記成吉思汗的名字。

39 參閱 Joseph Needham (with Ho Peng Yoke and Lu Gwei-Djen), *Chemistry and Chemical Technology. Military Technology, the Gunpowder Epic*, in *Science and Civilization in China* (Cambridge : Cambridge University Press, 1987), vol. 5, pt. 7.

40 見 Joseph Needham, *Gunpowder as the Fourth Power, East and West* (Hong Kong : Hong Kong University Press, 1985), pp. 41-61.

On the Characteristics of Science and Technology in the Mongol-Yüan Period

Ho Peng Yoke
Needham Research Institute
Cambridge

Abstract

Traditional Chinese science and technology reached their peak of development during the tenth and the fourteenth century. The Mongol-Yüan period contributed to the advancement of science and technology in many areas, such as acupuncture, agriculture, alchemy, astronomy, cartography, forensic medicine, geography, internal medicine, irrigation, mathematics, pharmacology, printing, sericulture and textile industry. This paper identifies two important characteristics in the Mongol-Yüan contributions to science and technology.

Chinese mathematics developed in the thirteenth century surpassed the rest of the world in several areas. In the study of numerical higher degree equations, for example, it was not matched in Europe until the beginning of the nineteenth century. Another example was the method of difference that only received the attention of mathematicians in Europe from the seventeenth century. Indeed the continuous study of the method of difference by Chinese mathematics had led to the advancement of calendrical science in China. As a result the Mongol-Yüan period holds the credit of having produced the most advanced luni-solar calendar in the history of traditional China. This paper also discusses the social factors that might have acted as a catalyst to the development of Chinese mathematics.

Contact with the outside world increased dramatically during the Mongol-Yüan period, resulting in mutual exchange of knowledge in science and technology between East and West. The most significant among the exchanges was the transmission of knowledge of gunpowder weapons to Europe that played such an important role in the competition among the maritime powers. The principle of harnessing the explosive force of gunpowder in a cylinder first led to experiments on the gunpowder engine and subsequently in the invention of the steam engine and the internal combustion engine. All these played an important role in the industrial revolution in Europe.

Keywords: History of science and technology, Mongol-Yüan period, mathematics, astronomy, gunpowder and firearms