臺大歷史學報第36期
2005年12月，頁1~34

BIBLID1012-8514(2005)36p.1-34
2005.9.9收稿，2005.10.17通過刊登

中國的第二次銅器時代：為什麼中國早期的炮是用銅鑄的？

李　弘　祺*

提　要

中國文明地區是世界上最早使用火藥和發展鑄鐵技術的地方。火藥由蒙古人傳到歐洲之後，發展為砲（bombardment），由於缺乏鑄鐵技術，所以最初使用「熟鐵」（wrought iron）鍛造。但是這樣的砲管不堪使用，因此不得不回頭使用青銅，在十四世紀中晚葉開始了麥克尼爾（William H. McNeill）所謂歐洲兵器的第二次青銅器時代。不過，中國鑄鐵的技術也於約略同時傳進歐洲，大約一四五〇年左右，歐洲已能用鐵來鑄造大砲。

中國人雖然最早發明鑄鐵技術，但現存最早的砲都出現在蒙古人開始征服歐亞大平原的時代，而且在中國所發掘出來的砲都是銅鑄的。原因是，宋代以後中國北方大量用煤取代了木炭，而北方的煤含硫量甚高，熔煉（smelt）鐵礦砂時會使鐵的品質改變。用這種鐵鑄砲，堅硬度不可靠。因此他們放棄用鐵，而以銅來鑄砲。於是中國在南宋末也進入了第二次銅器時代。銅鑄的砲固然比較可靠，但是昂貴得多。宋元時代的人已注意到中國的鑄鐵品質不好，卻不瞭解箇中關鍵。這是中國第二次銅器時代無法結束的原因。

英國於一七〇四年發明提煉焦炭（coke）技術，把煤裏的雜質提煉乾淨，進而控制其成分，方便於熔煉鐵砂時減少雜質或適度加入其他元素以冶煉各樣的鋼鐵，銅砲從此完全消失。中國人早在明代（1599）已發展出焦炭技術，卻未詳細追蹤鑄鐵品質不佳的原因，因此無法大量鑄造鐵砲和改進品質。

第二次銅器時代是人類歷史上一個重要的轉捩點，其意義要在歷經幾個世紀的探索之後才充分彰顯出來。

關鍵詞：鑄鐵　第二次銅器時代　石炭　火藥　突火槍　炮／砲

* 美國紐約市立大學研究院及城市書院中國史教授

一、中國傳統的鑄鐵技術
二、中國使用火藥的早期歷史
三、從認識火藥的爆炸力到炮／砲的誕生
四、西方的炮／砲和砲管，與中國的火罐
五、現存元代的砲
六、宋代的石炭、煤和鑄鐵
七、西方的第二次銅器時代
八、第二次銅器時代的結束
結論

一、中國傳統的鑄鐵技術

中國人是世界上最早發明火藥的人，中國地區的人們也是歷史上最早使用「砲」的人，中國更是世界上最早使用鑄鐵的文明。鑄鐵的特性是它必須使用鼓風爐的技術來取得相當高的溫度，才能熔煉（smelt）合適的、流體的鑄鐵材料，以鑄造各種鐵器。中國使用鑄鐵最早可以追溯到春秋時代。

鑄鐵的技術對於鑄造堅硬的鐵器關係很大，但是光用高溫熔煉鐵砂並不一定可以造出好的鐵材，更重要的是必須在熔煉的過程中，加入適度的碳，這樣鐵的硬度才能提高。當然，近代以來，加入各種其他的金屬（如錳、鉻或鎳）可以讓鐵變成各樣的合金鐵或鋼，適合不同的需要，但是在古代（十八世紀以前），人們沒有這樣的知識，只能追求合適的硬度。硬度的大小，端在熔煉的過程中加入或減少碳的份量。

中國鑄鐵技術的特色，如上所說，是能用木炭及高爐把溫度加高到1,150-1,200°C 以上，這樣鐵才能熔為流體狀態（純鐵是液態，必須加溫到 1,537°C 才完全熔化）。中國人能這麼做，乃是因為很早就發明了很好的鼓風爐。這樣熔煉出來的鐵稱為白口鐵或粗塊鐵（pig iron）。粗塊鐵

往往含有很多雜質，特別是過高份量的碳。這是因為熔煉過程中，必須把木炭、鐵砂（鐵礦）擺在一起燒，於是就把很多的碳混進鐵裏去了。因此粗塊鐵一般含有過高份量的碳。這樣的粗塊鐵必須處理，不然冷卻之後，很容易折斷或破裂，無法使用。

中國人很早就知道粗塊鐵必須處理，才能使用。因此發明了所謂的退火（annealing）。退火就是在粗塊鐵冷卻的過程中，儘量讓它冷卻得慢，這樣碳就以石墨的方式分解出來，分解出石墨的鐵往往成為團絮狀，這樣的鐵便可以「鍛」，所謂「鍛」就是打造。已經退了火的鐵稱之為「韌性鑄鐵」或「展性鑄鐵」（malleable cast iron）。這樣的鐵可以鍛造成各種堅硬的器具，它的品質遠高過所謂的 wrought iron（一般也翻成「熟鐵」，但是其實不正確，因為製造的方法不同，下面會解釋）。這裡必須簡單說一下什麼是 wrought iron，因為它有一定的重要性：它是西方在近代以前主要的鐵材。

在十三、四世紀以前的西方，西方人熔煉鐵砂時，由於溫度無法燒到 1,150°C 以上，因此不能取得流體狀態的鐵。這樣子熔煉出來的鐵，就是所謂的 wrought iron。它所含的碳成份比較低：由於溫度不夠高，木炭裏的碳無法大量地混進去。因此它無法「鑄」造成器具，而必須用「打造」（鍛）的方式，設法把碳打進去，增加它的硬度，並打成我們要的樣式。這樣的鐵製品，韌性或許不錯，但是不如鑄鐵堅硬，因此用途比較有限，不能拿來做大件的工具。像五代時河北滄州的石獅子，重達十萬斤，這樣的鑄鐵製品就不是 wrought iron 所能鍛造的。[1]

這裡必須附帶說一下，鑄鐵到底怎麼用？如上所說，熔為流體狀態的鐵，把它倒進模子，然後經過退火處理，就能鑄出器具，經過打造後，十分堅硬耐用；不經過退火，這樣的器具就以堅硬為其特色，但是比較缺乏韌性。中國人很早便把握了這些技術，因此，中國早期的農業雖然

1 以上有關中國古代冶鐵的簡短討論主要參考楊寬，《中國古代冶鐵技術發展史》（上海：人民出版社，1982）。李約瑟（Joseph Needham）早年於一九五六年發表過類似的討論中國冶鐵歷史的書（*The Development of Iron and Steel Technology in China*〔London: Newcomen Society, 1958〕），我也略作參考。另請參看華覺明的長文，引在註 47。

可能是從中、西亞所傳入，但是，農具則大多是用鑄鐵來做，是人類史上非常重要的一個貢獻。羅馬人就已經流傳說「絲國」（Seres）產鐵，比印度所產的還要好。[2]

二、中國使用火藥的早期歷史

一般學者都承認火藥是中國人發明的，[3]發明的時間比較難確定。其原因是因為中國人很早便已經知道混合硫磺、硝石和木炭便可以產生猛烈的燃燒，或甚至某種程度的爆炸。但是因為不知道這三樣化學元素和藥品的準確比例，因此有幾個世紀，「火藥」是當作道家的外丹來使用，作為長壽的藥，[4]沒有關於它用在戰場上的記載。一直到了唐末，這個情形才有了改變。唐哀帝天佑元年（904），楊行密軍隊圍攻豫章，「發機飛火，燒襲沙門，率壯士突火先登入城，焦灼被體。」北宋人許洞說這種「飛火」是「火炮、火箭」之類。[5]火箭應當是包裹有火藥（或沾了油）的箭，射到敵陣，可以燒傷人。火炮大約就是用拋石機扔擲出去的包裹火藥的石頭。[6]這是現存在戰場上使用火藥的最早紀錄，但是應注意的是，

2 Pliny Jr. 在他的 *Natural History* 稱讚中國鐵（或應該說是絲國鐵）好過印度鐵。請參看 Henry Yule, *Cathay and the Way Theither* (London: Hakluyt Society, 1915), vol. 1, section 14, 58. 按：由於當時對所謂的「絲國」究竟是在那裏，還不是很清楚，所以現在很多印度學者說這實際上還是印度的鐵。按：印度的鐵以坩堝（crucible）法提煉，自成系統，成為罕見的高等鐵材，十九世紀時稱為 wootz。

3 許多韓國學者認為火藥是韓國人發明的，這一點當然可以了解，因為火藥實際上用來作發射的武器是在宋金的戰場上面。究竟是金人還是漢人先使用它，或許可以有一番爭論。中國的李待琛在《槍炮構造及理論》一書中，便主張古代火砲是於一二一五年金人發明的。參看劉旭，《中國古代火砲史》（上海：人民出版社，1989），25。

4 這是一種簡約的說法。事實上，道家一向並不使用木炭來煉丹。請參看鍾少異編，《中國古代火藥火器史研究》（北京：中國社會科學出版社，1995），5~6（趙匡華文章）。

5 〔宋〕路振，《九國志》（濟南：齊魯書社，2000），卷 2，〈鄭璠傳〉，33；許洞說見〔宋〕許洞，《虎鈐經》，收入《景印文淵閣四庫全書》，冊 727（臺北：臺灣商務印書館，1983），6/5ab（火利第 53），727~734。

6 這條史料引述的人很多，火藥在這裡作為延燒劑應該不成問題。

這裡並沒有利用管狀器發射的記載。[7]

北宋中葉，曾公亮（998~1078）在所著的《武經總要》（慶曆四年，1044）提出了一個相當準確的混合比例。現代學者公認它是世界史上的第一個火藥方子。[8]按照這個方子調配的火藥不僅能燃燒得很久，而且具有爆炸的性能。它當然反映了北宋時期軍事技術的水平。戰場上，火攻的技術由來已久，主要是綁布絮在箭頭上，浸油、點火，射到敵營去，是為火攻。一旦有了曾公亮的方子，就可以在箭頭的布絮上沾火藥，如此一來，不僅燃燒非常猛烈，而且可以燒得比較久，火藥發揮的主要是這種延燒的作用。上面所說的「火箭」就是這一類的武器：在傳統的箭或槍的箭（槍）頭上面綁沾有火藥的布絮。它們並沒有槍筒，不利用火藥來發射。這是唐末五代的情形。

但是晚到北宋靖康元年（1126），金兵攻汴京，宋軍使用「火砲」、「火箭」拒敵。這裡的「火箭」應當還是這一類的武器。總之，第十世紀大約已經開始使用火藥作為延燒劑，而到了北宋中期的十一世紀中葉，具有爆炸力的火藥方子已經是公開的知識。不過晚到十二世紀初，拿火藥作為延燒劑（而不一定是利用它的爆炸力）的火攻技術仍然繼續使用。調配可以穩定操縱又有爆炸力的火藥畢竟不是一件容易的事。

拋石機也可以扔擲帶有火藥的「炮彈」。這種火藥大致都是一種延燒劑，取它耐燒的特性，而不完全使用它的爆炸力。[9]有關拋石機和「炮」的發展，下面當再論及。

宋金交戰的戰場上面，著名的陳規（1128~1203）發明了一種「火槍」

7 這裡許洞的解釋當然可以看作是北宋人用他們自己的想像做出來的。不過參考下面我要提到的敦煌壁畫，我們可以認為拿火藥作為延燒劑，並在戰場使用，大約就是這個年代。

8 事實上，曾公亮提出了三個方子，但是他們都是同一個觀念：就是必須混合硫磺、硝石和木炭。

9 這裡談及的「飛火」，北宋人許洞說是「火砲、火箭」之類。我上面已經提到。火砲大約就是用拋石機扔擲出去的包裹火藥的石頭，不然不應該會讓敵人焦灼被體。這應當是現存在戰場上使用火藥的最早紀錄，但是應注意的是這裡並沒有利用管狀器發射的現象。為方便起見，本文中，凡是指火藥彈丸的大都用「炮」這個字，而凡是指 bombardment 或現代人所說的大砲（cannon）的，就大致用「砲」。請參看註 26。

（李約瑟翻譯為 fire spear 或 fire lance）。《三朝北盟會編》這麼說：「規以六十人持火槍自西門出，縱燒天橋，城上以火牛助之，倏忽皆盡。」[10]「火槍」需要六十人來操縱，顯然不是上面所說的裹上火藥的、用手或拋石機射傷敵人的簡單「火槍」。我認為陳規的火槍是用巨竹製成的，先把火藥裝在竹筒裏，在交鋒時點燃、發射，用來燒敵人。按照陳規自己的說法，放在砲裏一起發射的主要是黃泥團，用它來傷敵。[11]陳規守城的年代是紹興二年（1132），這是第一次利用火藥在「槍筒」裏發射的記載。我們很可以認定這裡的火藥應該是帶有爆炸的力量了。

南宋末年，開始普遍利用槍筒，「突火槍」就是這一類的武器。《宋史．兵志》說：「〔理宗開慶元年（1259）〕造突火槍，以鉅竹為筒，內安子窠，如燒放煙焰，然後子窠發出如砲，聲遠聞百五十步。」[12]這個紀錄相當重要，證明了南宋末年已經掌握了火藥的爆炸功能，能使用「筒」來發射「子窠」。所謂「子窠」，顯然是一堆用石頭、破陶片或堅硬的金屬碎片所包紮在一起的東西。射到敵營後，它們就到處亂射，擊傷敵人的軍兵。這種突火槍與上面陳規的「火槍」應該是同一個系統的武器。

總之，北宋末年到南宋初年，大概已經能全盤掌控火藥的爆炸知識，知道把它利用在作戰上面。我這裡用了「全盤」這個字，主要是因為帶有爆炸力的火藥的出現，可能在曾公亮時已經有了。

三、從認識火藥的爆炸力到炮／砲的誕生

火藥用在軍事戰場上面因此大約是在第十世紀的唐末五代初。到了宋金交戰，已經普遍知道火藥的爆炸力，並利用這個特點，設計各種武器。[13]但是具有可靠的砲管而能發射爆炸物的武器，這自然要稍微晚一

10 〔宋〕徐夢莘，《三朝北盟會編》（臺北：文海出版社，1962），卷 151，1095。

11 〔宋〕陳規，《守城錄》，《文淵閣四庫全書珍本》，別輯，冊 167（臺北：臺灣商務印書館影印，1975），2/10b~11a。

12 〔元〕脫脫，《宋史》（北京：中華書局標點本，1977），卷 197，志 150，4923。

13 參看鍾少異編，《中國古代火藥火器史研究》，23~36（丁憼文）。請並參考書中其他有

點。上面所說陳規的「火槍」或南宋的「突火槍」，用的是竹筒，想來應該不是有效的武器。

曾公亮的《武經總要》記錄有「火罐」的武器，它的形狀像一個瓶子。一般中國學者都不太重視它，但是仔細看，我們會覺得它應當是一種填置火藥以及各種碎片（金屬、陶片、石頭等等）、引燃爆炸以殺傷敵人的武器。[14]換言之，「火罐」這樣的武器在北宋時已經產生。它的「罐」沒有決定發射物方向的作用，因此不算是「砲管」。但是這樣的武器，經過引線（火藥做成）點燃之後，可以卻敵；如果體積小的話，還可以當作是一種手榴彈。曾公亮就記述了類似手榴彈的「火毬」，以及要用拋石機發射的「蒺藜大毬」等武器，[15]它們的作用就十分像手榴彈。或許應該在這裡指出一點：它應當是利用了火藥的爆炸力。

宋末（1277）蒙古人圍攻靜江（桂林），松江馬塅堅決抵拒。城陷之後，其部將婁鈐轄率領二百五十人退守月城，「令所部人擁一火砲，然之，聲如雷霆，震城，土皆崩。煙氣漲天外，兵多驚死者。火熄，入視之，灰燼無遺矣。」[16]這裡用的一定是火藥，觀念上與上面所說的「火罐」應當十分相似。事實上，我認為上面所引到的霹靂炮很可能與這裡的火罐是一類的武器。

「霹靂炮」的出現，與宋金交戰時陳規使用的「火槍」大約同時。楊萬里記載「霹靂炮」，說它是以紙管裝石灰和硫磺製成；[17]點著後，升入空中，然後降下，落在水中亂跳。硫磺得水而發火，自水中跳出，故其聲如雷，紙裂而石灰四散。馮家昇認為光是石灰和硫磺不具爆炸力，

關火藥的性能及試驗的研究報告。

14 〔宋〕曾公亮，《武經總要》，《四庫全書珍本》，初集，冊 166~171（臺北：臺灣商務印書館，1970），前集，12/66b~69b。

15 參看上注。關於類似手榴彈的武器，研究的人還很少，但是顯然材料很多。參看下面討論的大足石刻。

16 脫脫，《宋史》，卷 451，列傳 210，〈馬塅〉，13270。

17 〔宋〕楊萬里，《誠齋集》，《文淵閣四庫全書本》（臺北：臺灣商務印書館，1986 影印），44/9b-10a，「霹靂礮蓋以紙為之，而實之以石灰、硫磺。礮子空中而下落水中，硫磺得水，而火做。自水跳出，其聲如雷，紙裂而石灰散為煙霧，瞇其人馬之目……。」

不能讓用紙包紮而成的管狀物射入天空，必須有硝石（火藥的重要成分）跟它包在一起。最可能是分成兩段，點燃第一段的火藥之後，紙管升空，下來時，或因爆炸、或因遇到水而起火，就能燒傷敵人，或至少瞇敵方的人馬。不過霹靂砲的製造方法，說法不一，很難下定論，只是它應當是使用了火藥的爆炸力。細讀這個記載，我們可以知道，霹靂砲其實很像現代的鞭炮，是用紙包紮的，而且應該是使用了火藥的，好利用它的爆炸力。[18]

用紙包紮火藥，讓它在空中或近距離爆炸或起火燃燒，這種情形在《金史》也有記載（詳下）。

另外，在和金人或蒙古人作戰的過程中，也出現了許多類似地雷的裝置。[19]這些武器利用火藥的爆炸力，應當沒有問題。[20]事實上，蒙古人東征日本時，也在戰場上使用有爆炸力的火藥。

總之，使用火藥的爆炸力來傷敵，南宋以後已經十分普遍。這裡不再徵引其他的資料。但是利用火藥的爆炸力來推送炸彈，並因而發明了砲管，這是一個重要的改進，下面加以處理。

現代人所說的砲，最重要的特色就是有砲管，現代砲管是用來輸送炮彈的。管狀火器的觀念在中國發展得很早。一九七〇年代，李約瑟和魯桂珍引述了法國巴黎 Musée Guimet 的一幅佛教壁畫，題為「降魔變文」（圖 1）。畫中有一個頭上生有三蛇的惡魔，手持一件有幾個箍的筒形管子，像是用竹子做的，有火冒出來。後面則是一支柄，顯然可以在筒內伸進伸出，就像小孩子玩的唧筒一樣。這幅畫的年代大約是西元九五〇

18 用紙包紮火藥及其他東西，讓它引火甚至爆炸，這與《武經總要》前篇，12/64a~66a 所記述的「火毬毯」或「蒺藜大毬」觀念一致。火毬：「以紙為毬，內實磚頭屑，可重三五斤，熬黃腊、瀝青、炭末為泥，周塗其物，貫以麻繩。凡將放火（按：疑為大）毬，只先放此毬，以準遠近。」（65a）蒺藜大毬的製造觀念與火毬相同，只是比較大，具大的殺傷力。因此必須先放火毬，決定遠近，然後再放蒺藜大毬。

19 例如，〔宋〕趙與㝢，《辛巳泣蘄錄》，《四庫全書存目叢書本》（臺南：莊嚴文化，1996），雜史類，第 45 冊的「鐵火砲」；〔元〕脫脫，《金史》（北京：中華書局標點本，1975），卷 113，列傳 51，〈赤盞合喜傳〉，2496，所記載的「震天雷」。

20 劉旭，《中國古代火砲史》，4。

年，應當是人類史上的第一幅描繪管狀火器的畫。不過這個火器的火從瓶子冒出來，好像「突火」，卻並不像是發射的樣子，[21]明顯沒有爆炸的力量。換句話說，使用有爆炸性、利用砲管的武器，恐怕不可能這麼早，但是使用火藥，大概不成問題。如上所說，第十世紀初的晚唐已經使用「飛火」。[22]

一九八六年，李約瑟和潘吉星在四川大足的岩洞發現了另外一幅壁畫，上面繪的是兩個神仙人物各自手握瓶狀物，而瓶狀物的口正在冒火焰。按照李約瑟（及潘吉星和劉旭）的看法，有一個持在胸前右上方的瓶狀物應該是一種手榴彈，[23]而另外一個則抱在腹部前方，看來很像是一種管狀的火藥武器。由於後者很大，爆炸力一定不小，抱在手上，並不合理，因此很多人質疑它的正確性。這幅畫的年代可以確定為南宋建炎二年（1128），可惜現在大部分的學者已經同意它與火藥或火砲的發展無關。[24]

這裡或許可以稍微討論一下「砲」這個字。「砲」的起源十分早，指的是用機械來拋擲石頭。潘岳的《閒居賦》說：「砲石雷駭，激石蟲飛」；《宋書．樂志三》引三國魏明帝〈善哉行〉「我徂」：「發砲若雷，吐氣成雨」，指的都是這樣的機械武器，也就是一般說的「拋石機」。歷來「砲」與「礮」、「炮」通用。砲這個字的原意大約與拋有關連，[25]用這個字時，可能也指拋出去作為武器的石頭。[26]

南宋以後，「炮」或「砲」就開始用來指帶有爆炸力、使用火藥的武器，不過這種使用火藥的武器究竟還不普遍。上引再三提到陳規，雖然他發明了「火槍」，可他所寫的相當詳盡的守城紀錄上面所記載的「大

21 劉旭也懷疑這幅畫的真實性。請看氏著，《中國古代火砲史》，頁 15 之註 1。

22 許洞，《虎鈐經》，6/5ab（火利第 53），727~734。

23 參看下面討論的「手炮」。

24 請參看鍾少異編，《中國古代火藥火器史研究》，107~108。

25 劉旭引〔唐〕李善，《文選》注，作如是解。見劉旭，《中國古代火砲史》，1。

26 在本文中，一旦裹上了火藥，能猛烈燃燒、甚至爆炸的，我就稱之為「炮」，以別於能發射炮彈傷人的「砲」或「礮」。詳見後述。

砲」，毫無疑問的仍然是「拋石機」。[27]到了《宋史．兵志》所記錄的時代（南宋中晚年），情形就不同了。突火槍「發出如砲」，雖然表面上看，其意思是它的功能就像拋石機一樣，但是我們可以想像他們已經使用火藥。

總之，南宋以後，提到砲或炮（或礮）時，它們都已經不再是單純的拋石機或它們所射出去的「砲（或礮）彈」了。從各樣的記載看來，南宋與金人或蒙古人交戰的戰場上，不僅使用火藥已經十分普遍，大概也已經出現炮筒（炮管）。

四、西方的炮／砲和砲管，與中國的火罐

砲管觀念的產生，主要是為控制發射物的方向。至於發射物是什麼，必須做一點研究。顯然的，利用瓶狀物、內裝具有爆炸力的火藥，來發射「炮彈」，這樣的觀念一定很早便開始，上面所提到的「火罐」就是這類的武器。在西方發明「砲」（以及「炮」）的歷史過程中，瓶狀的發射器也最先出現。我們可以在一幅保存於英國牛津大學的十四世紀抄本上面的畫看到（參看圖 2）。這個抄本的年代可以斷定為一三二六至一三二七年間。從中可以看出，瓶裝的發射器已經至少是歐洲人所能想像、認為可以使用的武器了。[28]這幅畫其實也可能只是想像的產物，因為它是

27 陳規，《守城錄》，2/9b：「攻城用大砲，有重百斤以上者，若用舊制樓櫓，無有不被摧毀者。今不用樓子，則大砲已無所施兼，城身與女頭皆厚實，城外砲來，力大則自城頭上過，但令守禦人靠墻坐立，自然不能害人，力小則為墻所隔，更於城裏亦用大砲與之相對施放，兼用遠炮，可及三百五十步外者，以害用事首領。」

28 William H. McNeill 在所著 *The Pursuit of Power: Technology, Armed Force, and Society since A.D. 1000* (Chicago: University of Chicago Press, 1982)，引述德國學者 Berhard Rathgen 說法，認為這幅畫上的武器實際上只是玩具，因此我這裡用「想像」兩個字。這裡必須補充說，用砲來射箭，並不是沒有這樣的例子。請看註 29。又，朝鮮在明朝時就有這樣的裝置，稱為「將軍箭」。請參看南朝鮮陸軍士官學校，《陸軍博物館圖錄》（首爾：陸軍士官學校，1994），91~92。

用來發射傳統的箭。這就有點小題大做、殺雞用牛刀。[29]不管如何，大約在一三二六至一三二七年間，歐洲人已經能調配火藥。[30]我們甚至可以認為他們已經知道在瓶子裏裝火藥，混以各種尖銳的碎片，例如鐵屑、陶片、石頭等等，點燃以後，利用火藥的爆炸力，推送到敵陣，這樣就是一種前所未有的武器，[31]相當南宋的「突火槍」。

十四世紀後期歐洲出現的這種武器就是所謂的 bombardment（一般也可以寫為 bombard 或 bombarder），這個字翻成中文，當然也是「砲」。現存最早的 bombardment 的圖（約 1425 年）可以看出它的設計是一個粗大的金屬管狀物，裏面填裝火藥，以及「炮彈」（一般是圓形大石頭），經過點燃後，便可以發射，把炮彈射出去，殺傷敵人（參看圖 3）。西方的 bombardment 使用了相當久的時間，而且公認是後代砲的起源。我認為對 bombardment 的認識，是探討中國火砲發源歷史的一個十分重要的參考。如上所述，在瓶子形狀的容器裏填裝火藥以及各種石頭、鐵、陶碎片，然後用引線點燃，讓它們發射出去，這樣的 bombardment 的觀念正與中國的「火罐」及「突火槍」相通。

我們所見到西方 bombardment 的圖片，可以看出它們都是一種十分堅硬、具有管形發射筒的武器。相同地，中國的管狀發射器也就必須能使用堅硬的金屬來製造。

但是火罐沒有像 bombardment 一樣，不只能起火、爆炸、發射，還能控制發射的方向。[32]那麼，具有筒狀發射器，能操縱方向的砲在中國的

29 〔明〕茅元儀輯，《武備志》，《四庫禁燬書叢刊本》，子部，冊 23（北京：北京出版社，2000），126/9b~10a、126/15b~16a 所說的「神槍」、「單飛神火箭」，以及 129/6ab 記載的「一把蓮」都是用筒狀武器射出傳統的箭。

30 關於火藥傳入西方的歷史，說法不一，專著甚多，這裡不再引述。

31 把傷人的鐵片等物與火藥放在一起，噴射出去，李約瑟稱之為「共載發射」（co-viative）。

32 這裡必須交代一件事：亦即火罐究竟是可以多次使用，抑或只是一種手榴彈這個問題。如果只是當作手榴彈，那麼當然不能多次使用。但是，按照史料，當時也有多次使用的情形。脫脫，《金史》，卷 116，列傳 54，〈蒲察官奴〉，2548：「軍中陰備火槍戰具……持火槍突入，北（蒙古）軍不能支……。槍制，以敕黃紙十六重為筒，長二尺許，實以柳炭、鐵滓、磁末、硫黃、砒霜之屬，以繩繫槍端。軍士各懸小鐵罐藏火，臨陣燒之，焰出槍前丈餘。藥盡而筒不損。蓋汴京被攻，已嘗得用，今復用之。」另外，這裡說同

發展又是如何呢？[33]我個人認為，從「火罐」到使用修長的砲管，這樣的發展是演變成「砲」的重要階段。因為，兩者之間只是一個很小的改進過程。[34]

在這裡可以引用李約瑟所認為砲的發展所必須經過的五個階段：[35]

（1）拋擲到敵方的火攻武器，必須能燃燒。

（2）這個燃燒的武器包裹火藥。

（3）包裹火藥的武器放在罐裝的筒子來發射。

（4）火藥中氮化合物成分加強（增多）了之後，這個發射的筒子也必須加強。

（5）砲（bombardment 或 cannon）就這麼產生了。

第一、二點上面已經充分討論。第三點應該是「火罐」發展到有真正的砲筒可以發射炮彈的階段。火罐的出現早在北宋（或十一世紀）中葉。到了十二世紀的三十年代，也就是南北宋之際，陳規已經使用「火槍」。學者一般都認為這火槍是管狀、能發射的火器。從陳規的火槍到後來的突火槍，演進的時間相對地不短，這就比較難以了解。或許兩者都是某

樣的武器或機關重複使用，可見前後之間有連貫性，不若陳規的火槍與靜江戰役的突火槍之間可能沒有任何的關聯。

33 火罐既然無法控制火藥發射的方向，因此還不能成為 bombardment，所以李約瑟替它取了一個新的名字，叫做 eruptor。見 Joseph Needham, *Science in Traditional China, A Comparative Perspective* (Hong Kong: The Chinese University Press, 1981), 42.

34 劉旭認為突火槍是中國「砲」的始祖。從開始懂得利用小型管狀的武器到「砲」，中國人花了很長的時間，大約有一百多年。我認為劉旭太注意「槍」的定義，認為太小的槍管不能算是「砲」，而只能算是銃，因而把「銃」（或槍）發展為砲的過程當作思考的主要方向。有趣的就是因此劉旭注意到從「槍」到「砲」，發展的時間很長。我認為不必拘泥於定義，而應從形制和功能來看這個問題。從這個角度看來，陳規的「火槍」雖然很驚人，但是和後來的突火槍未必有系譜上直接的關聯；兩者很可能都是獨自發展的偶然產物。劉旭沒有考慮「火罐」在「砲」的發展史上面的意義。亦即劉旭不像我在這裡的作法，他沒有注意到 bombardment 的歷史地位。參看劉旭，《中國火砲史》，21~22。王兆春在《中國火器史》（北京：軍事科學出版社，1991）一書中強調元代的銃對宋代突火槍的繼承，並且大致認為它就等於是砲。參見該書，48~57。按：王書資料頗豐富，但是對最早期金屬筒狀火器的探討，完全沒有注意到它們多是由青銅鑄造的這件事。

35 Joseph Needham, *Science in Traditional China*, 40-43.

種偶然情況下的產物，而在技術的系譜上沒有直接發展的關係。另一方面，中國人使用霹靂炮、火罐之類的爆炸性火器時間很長（直到明代還有），加上由於火罐的觀念類似 bombardment，因此將中國的砲看作是火罐一類武器的繼續發展而成，應當最為合理。[36]

現在先談一下火槍這樣的武器。按照陳規的說法，火槍是用竹子做成的。竹子的管不小，但也不能太大，因為承受不了熱力，更承受不了比較大的爆炸力。在南北宋之際，或許調配火藥的技術還不夠成熟，因此竹筒裏的火藥，點燃之後似乎只能噴火，不太具有爆炸的威力。重要的是，從陳規的火槍到宋末的突火槍，歷經了一二七年，而仍然使用「巨竹」，這個演進比較緩慢，可見中間沒有什麼技術上的改進。

相對言之，火罐的發展似乎有一直改進的情形。上面已經詳細討論火罐，它們的共同缺點就是不能控制所噴的火的方向，但是把火罐的筒伸長，這就成了管狀的武器。一旦火藥的爆炸力夠，把筒內的各種可以傷人的鐵、陶碎片一併射出來，那麼我們就可以說這就有了砲。李約瑟所說的第四點就是這個階段。金元作戰期間，蒙古兵攻打金的汴京時（1232），金人發展出來的震天雷和飛火槍，都可以說是這個階段的產物。它們與火罐的觀念相類，都已經利用了火藥的爆炸力，而飛火槍的筒比較堅固，乃是用厚紙層層結紮而成，可以回收，多次使用。[37]最後這一點特別重要，應該當作是比用竹子的火槍、突火槍更進步的發明。

進一步必須指出的是，飛火槍的槍管既然仍是多層厚紙所包紮而成，那麼這樣的管，即使可以回收使用，也不是很可靠。特別是一旦火

36 這也是葉英的意見，請看其論文〈爆炸性火器的起源〉，收在鍾少異編，《中國古代火藥火器史研究》，73~79。

37 同註 32 所引《金史》，〈蒲察官奴〉，上面談到震天雷。又，潘吉星有專文討論飛火槍，見中國社科院宋遼金元史研究室編，《宋遼金史論叢》第二輯（北京：中華書局，1991），224~239：「論 1232 年開封府戰役中的飛火槍」。潘氏認為飛火槍就是現代人所說的火箭，此說雖然與我們這裡的討論並不矛盾，因為都同意它是一種利用火藥爆炸力的武器。但是他認為箭筒裝火藥，點燃之後，筒和箭一齊飛出去。這一點我並不同意；我認為筒本身並不飛出去。潘氏沒有解釋為什麼《金史》原文要強調「彈盡而筒不損」這個說法。鍾少異也指出潘吉星的這個說法未能取得學界多數人的肯定。

藥的爆炸力大了以後，一定要研發更為可靠的槍筒。

與火罐同時發展的當然是上面提到的火毬。它是一種具殺傷力的火藥彈丸，未必有強烈的爆炸力，但是可以發出烈火，利用拋石機發射，或用手投擲。這種武器在中國歷史上使用得非常久。它跟火罐的不同，主要在於火罐有一個圓筒形的外殼，而火毬一類的武器則沒有，但是形狀一般也都是圓形。宋代的記載中，提到各種「火炮」，[38]實際上指的就是這種火藥彈，用小型的拋石機對敵陣發射。[39]當然，到了南宋時，火砲可能也有指類似手榴彈一類的爆炸武器。這裡必須提出一點，那就是宋代（或更準確地說：金朝）已經有用鑄鐵來鑄造這種火藥彈丸的記載。這類的彈丸，就像南宋的周應合所提到的「霹靂火砲殼」，[40]是不折不扣的炸彈的外殼了。

爆炸力強大了以後，竹做的突火槍或紙做的飛火槍當然都無法繼續使用。要把用鑄鐵造的火毬一類的大彈丸準確地發射到敵陣去，需要堅牢的砲管。這種砲管不只必須可以重複使用，而且必須可以比較準確地發射。這樣的武器大約是在南宋末期時，出現在宋軍與蒙古軍作戰的戰場上面。突火槍使用的時候，正是金屬鑄造或打造的砲即將出現之際。從現在開始，文獻記載就可以用考古發掘出來的實物來做比對了。在這之前文獻上可以找到的種種武器材料，現在都已經無法找到相應的實物，因此不能從事比較。

以上的討論多少借用了西方火砲及砲筒發展的歷程來解釋中國的經

38 脫脫，《宋史》，卷 197，志 150，〈兵志〉，4910：「〔真宗咸平〕五年（1002），知寧化軍劉永錫，制手砲以獻。」這裡的「手砲」很可能與上面所說的「火罐」是相同的東西。當然，它也可能只是裹有火藥，點燃後，用手（而非用拋石機）拋擲的「炮彈」。按：曾公亮的《武經總要》（卷 12）的插圖，提到了「手砲」，說「近敵則用之」。這個插圖把「手砲」畫成像是一支銃，我認為這個插圖的可靠性值得懷疑。但即使沒有錯，也可能是因為後來的槍或銃也稱為「手砲」，以至於把後代的圖拿來這裡當作是手砲。公元一〇〇二年大約還發展不出這樣的細長砲筒的「手砲」。

39 鍾少異編，《中國古代火藥火器史研究》，177~184。

40 〔宋〕周應合，《景定建康志》，《宋元地方志叢書本》（臺北：大化書局，1980），39/24a，1340。

驗，讓我們知道中國砲筒出現的歷史源流。

討論考古發掘的砲之前，請先對「銃」做一個簡單的探討。首先，「銃」這個字用來指發射火藥彈丸的武器，要晚到元末。[41]現在可以找到的元末的銃，差不多全部已經是管狀火器，可以發射子彈或火藥彈丸（參看圖 4）。不稱為砲，就是因為它們較小。當然，現代發現的元代的砲，也有被考古學者稱為「銃」的，這乃是沿襲明代的用法，指的是「碗口砲」，形制與一般的砲不太一樣，因為口比較大。明人何汝賓《兵錄》因此就稱之為「碗口銃」。[42]雖說如此，這些「銃」也仍然是從上面所說配上管子的火罐發展出來的，這一點應該不成問題。換言之，我認為槍管或砲管在現代人的定義裡雖然不同，視大小而定，但是在利用管或筒來控制火藥爆炸後的發射方向，兩者的構想是一樣的。所以「銃」的發展史只是我們這裡所要關心的大問題的一部分而已。

五、現存元代的砲

現存而且可以斷代的最早金屬造的管狀砲，應當是北京中國歷史博物館所藏元至順三年（1332）的銅火銃。這支銃有銘文：「至順三年二月吉日　綏邊討寇軍　第叁佰號馬山」（圖 5）。這支砲是一九三五年在北京房山縣雲居寺被人偶然發現。由於銘文有些問題，所以有人認為這是偽造，而東西則是明朝的製品。不過長期以來，大部分學者還是認為它應該可以算是現存中國最早的砲。

第二早的火砲樣品則為中國軍事博物館所藏至正辛卯（1351）年的銅火銃。據說早在乾隆時已經發現，由於種種理由，也有學者認為可能

41 〔清〕谷應泰，《明史紀事本末》（北京：中華書局，1977），卷 3，頁 41：「（至正二十三年〔1363〕）陳友諒攻南昌，鄧愈以火銃擊退其兵。」又，宋濂，《元史》，卷 145，列傳 32，〈達禮馬識理傳〉，3452，「（至正二十四年〔1364〕）訓集丁壯苗軍，火銃什伍相聯。」

42 引自成東，〈碗口銃小考〉，《文物》1991 年第 1 期（北京），90。參看同卷同期袁曉春的〈山東蓬萊出土明初碗口炮〉，91~92。讀本文，可以想像碗口銃其實正是不折不扣

是偽造，但是缺乏證據，因此還是認為可以接受。

一九七〇年，黑龍江的阿城出土了一件銅砲，[43]原始報告斷定為一二九〇年以前的製品。現在有的學者認為這座砲固然是元代的，只是斷為一二九〇年以前，似乎缺乏真正可靠的證據。

其他還有各地陸續發掘出來的元代的砲，它們也大多是銅鑄的。[44]當然，如上所述，也有鐵炮，但大多已經炸裂，可見鑄造鐵砲相當困難，或效果不佳。

以上簡單介紹現存元代的砲，指出它們大多是銅鑄的。這一點不免使我們好奇：為什麼中國最早的砲不是用鑄鐵，而是用青銅來鑄這一個重要的問題。[45]

六、宋代的石炭、煤和鑄鐵

如上所說，既然中國的鑄鐵技術這麼發達，為什麼這些早期的砲卻是用銅來鑄造呢？我認為這雖然可以簡單地說是因為鑄鐵的技術還不夠高明，所以只好用青銅來鑄造，但是這個說法忽視了青銅器在宋代有復興的現象這個重要事實。美術史家早已經注意到在明代時，青銅器復興，多有仿古之作，因此稱之為「第二次青銅器時代」（the Second Bronze Age）。[46]但是這個趨勢，我認為在宋代時已經開始。當時有許多本來用

的 bombardment。

43 原始報告說它是一種「銃」，但由於「銃」字如此用法在當時的文獻材料上還沒出現，因此我仍稱之為砲。它和上面提到的一三三二年的砲長度大約相似，而一般都稱後者為砲，因此我也把前者稱為砲。

44 楊价佩，〈元代火銃研討會綜述〉，收入鍾少異編，《中國古代火藥火器史研究》，190~198。

45 關於火砲的發明，最近又有新的考古發現，即在內蒙古錫林郭勒盟發現了一個銅火銃，屬於元大德年間（1297~1307）的遺物。有關論文和圖片見：鍾少異、道爾基等，〈內蒙古新發現元代銅火銃及其意義〉，《文物》2004 年第 11 期（北京）。

46 參看 Paul Moss, *The Second Bronze Age, Later Chinese Metal Work* (London: Sydney L. Moss, 1991)。按：西方學者也有稱漢代或明代中國有「第二次銅器時代」的，但作為正式的書名的，還是 Moss 這本。

鐵器的，已經有改用銅器的情形。這雖然是風尚或潮流，但主要也是因為中國的鑄鐵製品，到了宋代開始衰落。我認為這才是真正的原因。

中國冶鐵的傳統，如上所說，一般都是先熔煉鐵礦砂為鑄鐵。有些鐵器不能鑄，而要鍛打成型，例如刀鋒一類的器具，要把鑄鐵打成熟鐵，然後再依據需要打成器具。[47]砲的砲筒當然是以鑄鐵為勝，這一點在前述討論歐洲的砲時已經講過。那麼為什麼在這麼一個重要的時刻，中國的鑄鐵技術卻衰退了呢？這一點必須從宋代以後大量使用煤這一個事實來了解。

煤在傳統中國稱為石炭，使用相當的早，後漢時已經有記載。[48]但是廣泛使用，要等到宋朝。[49]這裡不多討論宋代用煤的事，因為一般學界已經熟知這件歷史事實。重要的是煤和鑄鐵之間的關係，這一點向來談得比較少。

鑄鐵技術的一個重要環節就是把鐵礦和燃料（木炭）放在一起加熱，到了流體狀態的鐵出現時，木炭裏的碳也已經滲入鐵，使它成為在冷卻之後變得相當堅硬的鐵材，可以鑄造。在使用木炭作為燃料的時代裏，摻入雜質的機會相對比較有限。但是北宋以後，大量用煤（石炭），品質的控制就不再那麼單純了。[50]煤往往含有各種雜質，而其中最容易傷害鐵的品質的就是硫。一般言之，含硫量超過 0.5%，熔煉出來的鐵，拿來鑄器具，就變成很脆，不堪用力。拿來鑄砲管，很容易爆裂。

---

47 宋代以後，鑄鐵用得越來越少，許多工具改用鍛製，按照華覺明的看法，這是因為「炒鐵」技術發達的緣故。所謂「炒鐵」，就是從生鐵鍛煉脫碳使成熟鐵，以便打造。但是宋代以後，不再有出色的鑄鐵產品，這也是事實。一般工具越來越多使用熟鐵，這發展雖然不錯，卻在關鍵時刻無法鑄造好的砲。參看華覺明，〈中國古代鋼鐵技術的特色及其形成〉，《中國冶鑄史論集》（北京：文物出版社，1986），3~21。

48 〔晉〕司馬彪撰，〔梁〕劉昭注補，《後漢書．續志》（北京：中華書局標點本，1965），卷 22，3491，引《豫章記》：「〔上蔡〕縣有葛鄉，有石炭二頃，可燃以爨。」

49 最早正式寫文章談宋代用煤（石炭）的歷史應當是日人宮崎市定，〈宋朝における石炭と鐵〉，原刊《東方學》第 13 輯（1957，東京），後收入佐伯富等編，《宮崎市定全集》，第九卷（東京：岩波書店，1992），現收入宮崎市定，《中國文明論集》（東京：岩波書店，1995），47~87。

50 現代人煉鋼，含硫量不可以超過 0.15%。

宋代北方的煤含有大量的硫和其他雜質。現在知道宋代煤礦的遺址，文獻和考古發掘的紀錄很多，但是它們所出產的煤，其內容成分如何，由於宋代人沒有留下紀錄，我們只能用現代化驗的結果來估計和比較。宋代煤礦至今日仍然繼續在開採、有內容分析的，我找到了五處。茲列表如下：

表一：宋代所知產煤地區及同地現代煤所含硫的百分比

地　　區	含硫百分比
相州（今河南鶴壁）	0.19-9.27%
延州（今陝西延安）	1.5%
會州（今甘肅靖遠）	0.24-0.56%
徐州（今江蘇徐州）	3.25%
許州（今河南禹縣）	0.24-2.77%

資料來源：王煦曾等著，《中國煤田的形成與分佈》（北京：科學出版社，1992），129~134。[51]

從表一可以看出，宋代北方的煤，其含硫量十分的大，很多都超過可以容忍的限度（0.5%）。宋人大量用煤，但是卻不知道煤（特別是北方的煤）拿來熔煉鑄鐵時，會破壞它的品質。正好宋代的鍛煉技術發展到了新的高峰，很多工具都開始使用熟鐵，所以可以想像鑄鐵工匠漸漸地減少，而也可以相信要改進或研究其品質低落的人也跟著減少。[52]

在繼續談用煤（石炭）冶鐵之前，應該附帶補充的是石炭煉鐵並不一定完全是壞事。如果熔煉鐵砂之後再鍛打，使它成為熟鐵（「炒鐵」），那麼這個鍛打的過程也有可能將硫一類的雜質打出去。如此一來，當然可以製造出相對堅硬而且富有韌性的工具。中國人說百煉成鋼，指的就是這種鍛造的過程。實際上，這就是中國人所說的熟鐵。這個過程早在

51 河南省地質礦產廳地質礦產志編輯委員會，《河南省地質礦產志》，下冊（開封：中國展望出版社，1992），記載鶴壁煤的含硫成分是 0.36-2.98%，禹縣是 0.58-2.37%。另外，從漢代已經開採的宜洛煤田，其含硫量是 0.79-3.37%。

52 華覺明，〈中國古代鋼鐵技術的特色及其形成〉，《中國冶鑄史論集》，3~21。

魏晉南北朝時已經出現。[53]但是宋代以後大量用煤來熔煉鐵，而由於大部分的煤都含有大量的硫，鑄鐵的品質開始低落，於是宋朝以後，開始重視並大量使用鍛造的技術來製造工具，因此改進鑄鐵的動機也就相對地缺乏，以致在最重要的關頭，無法鑄造出可以安全使用的鑄鐵砲管。

那麼宋元戰爭時有沒有用鐵的砲呢？如果我們指的「砲」是狹義的、有砲管，而且能發射具爆炸力的「炸彈」的砲，那麼文獻和考古發掘都還缺乏證據。[54]這樣的炮顯然是到了元朝政府已經在中國奠立、滅亡宋朝之後才發展出來的。它的製造材料卻是青銅。總之，中國地區出現現代定義的「砲」，是在蒙古人入統中國以後的元朝，也就是在十三世紀末年、十四世紀初年，再早不會在征服宋朝之前（1278）。這樣的砲應該是蒙古人發展出來的，應該注意的是它們大致上都是用銅鑄造。

宋代大量用煤的結果，使得中國地區的鑄鐵品質大為低落。在製造武器的歷程中，中國人竟然無法生產能承受火藥的爆炸力來發射炮彈的鐵砲。因此在十三、四世紀之交（1300 年左右），砲開始出現時，它們多是用銅鑄造。中國進入了鑄砲的「第二次銅器時代」。

七、西方的第二次銅器時代

麥克尼爾（William H. McNeill）在其名著《武力的追逐》（*The Pursuit of Power: Technology, Armed Force, and Society since A.D. 1000*）

53 酈道元，《水經注》，卷二引《釋氏西域記》：「屈茨（按：即龜茲）北二百里有山，夜則火光，晝日但煙，人取此山石炭，冶此山鐵，恆充三十六國用。」〔北魏〕酈道元著，陳橋驛點校，《水經注》（上海：上海古籍出版社，1990），24。按：《釋氏西域記》，梁啟超以為東晉釋道安著，岑仲勉〈唐以前之西域及南蕃地理書〉附合之，見岑仲勉，《中外史地考證》（香港：太平書局，1966），上冊，311~312。《釋氏西域記》這個資料因此可以看作是中國歷史上第一次用煤冶鐵的記載。

54 使用「生鐵」來製造「炮彈」的文字材料就有。鍾少異引用趙與𥲤的《辛巳泣蘄錄》說明宋元戰場上，已經大量使用鐵殼爆炸彈，「形如匏狀，而口小，用生鐵鑄成。」這是用拋石機射到對方的礮彈。上面註 40 引周應合，《景定建康志》所提到的「霹靂鐵砲（炮）殼」，也應當是生鐵鑄的。

一書提出了所謂「砲的第二次青銅器時代」的說法。[55]這個說法現在已經廣為學界所接受。他說，西歐砲的發展史中，曾經經歷過一個瓶頸，就是沒有適當的鐵可以造成好的砲管，因此必須回頭使用青銅來鑄砲。這個情形大約發生在十四世紀中葉或晚期，當時的歐洲還普遍使用 wrought iron，缺乏鑄鐵的技術，或至少還沒有把握用鑄鐵鑄砲的技術。[56]最早用鑄鐵來製造武器的，它的情形又正好與中國相似，就是拿它來做火藥彈丸，至於用鑄鐵來鑄造砲膛，這就晚得多。

歐洲武器專家喜歡使用大砲，包括發射石頭彈的 bombardment。早期的砲管用「熟鐵」（嚴格言之，應稱為 wrought iron）來鍛造。方法是把 wrought iron 鍛打成長條形，再箍起來，成一圓筒，然後把接縫處焊接在一起（參看圖 3）。[57]這就成了砲筒。Wrought iron 是一種韌性好但硬度不夠的鐵，用它來造砲，常常在熱量太大時就變形，不能再用。各國只好徵募鑄鐘的工人用青銅來鑄整塊的砲管。由於鑄鐘技術已經發展得相當完備，因此青銅砲雖然比較昂貴，卻遠比熟鐵砲為堅牢、耐用，而被普遍採用。為了方便作戰，往往把整個工作坊搬到戰場附近，即地造砲。這樣不僅可以隨時鑄造新砲，也可以鑄大型的砲，避免車師輜重、長途搬運的麻煩。從此歐洲進入了 McNeill 所說的「第二次銅器時代」。

到了一四五三年，在包圍君士坦丁堡時，歐洲人第一次學到了用鑄鐵來鑄砲。顯然阿拉伯（土耳其）人已經知道如何善用鑄鐵的技術（參看圖 6）。不管如何，歐洲的火器專家這才開始使用鑄鐵來鑄砲，結束了歐洲短暫的「第二次銅器時代」。事實上，就是在歐洲人懂得鑄鐵砲之後，很多人還是繼續使用青銅鑄造的砲。其原因很簡單，就是因為鑄鐵的技術還未完善。

---

55 William H. McNeill, *The Pursuit of Power*, 81-88. 歐洲考古界（特別是英國及瑞典）另有他們所說的「第二次銅器時代」。按：一般說銅器，都是指青銅器，本文不加分別。

56 McNeill 說歐洲人懂得鑄鐵砲的技術是一四五三年包圍君士坦丁堡時，從土耳其人學來的。按：這裡講的是鑄鐵砲。歐洲人知道使用鑄鐵的技術比這個還早。最早在一一五〇年，最晚在一三五〇年時，北歐（主要是在瑞典）的鐵工場已經開始使用鑄鐵的技術。李約瑟於此有詳細的討論。

57 Wrought iron 的特色之一正是它容易焊接。

歐洲的情形與中國在相當的程度上是一樣的，只是中國的鑄鐵技術在宋代以後停滯不前，因此只好用青銅來鑄砲，而歐洲則是在引入鑄鐵的技術時，無法及時改進其技術，因此也只得回頭使用青銅來鑄砲。

中國的第二次銅器時代大約是從一三〇〇年（元初）開始。歐洲則約在一三五〇至一四〇〇年間開始。第二次青銅時代又各自如何結束的呢？

八、第二次銅器時代的結束

西方的第二次銅器時代相當的短，這是 McNeill 的說法。但是我們可以認為它實際上持續得比較久，因為用鑄鐵鑄砲的技術並非一蹴可幾，因此還是經常用青銅來鑄砲。即使明末人（十六、七世紀之交）所見到的荷蘭炮艦，艦上的大砲也還多是銅砲。[58]可見第二次銅器時代其實並不在懂得用鑄鐵、鑄砲之後馬上就結束，嚴格言之，第二次銅器時代應當是在鑄鐵技術純熟以後才結束。[59]

英國是西方第一個從第二次銅器時代畢業的國家。英國的鑄鐵技術領先其他國家，這是研究冶鐵技術史的人都知道的事，但是鑄鐵工業發達的結果造成英國嚴重污染。如上所說，熔煉鐵砂，以取得「鑄鐵」，用的是以木炭為上，而煤就相對不足取。英國的鐵作就是大量使用木炭，由於砍伐木頭來燒製木炭，英國到了十七世紀的中葉，幾乎已經無樹可

58 〔清〕沈有容輯，《閩海贈言》（臺北：方豪慎思堂，1956 景印明末刊本），卷 2，22~29。引自黃一農，〈歐洲沉船與明末傳華的西洋大砲〉，《中央研究院歷史語言研究所集刊》第 75 本第 3 分（2004，臺北），573~634。請注意該文表一，「1620 年左右，英國和荷蘭兩東印度公司船上之火砲」（頁 602），我們可以看出英國不愧是當時鑄鐵技術最高明的國家，因為它的炮艦配的都是鐵砲，而荷蘭的炮艦就仍然雜用銅、鐵砲。

59 Bert. S. Hale, *Weapons and Warfare in Renaissance Europe* (Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1997), 153-154 指出十七世紀歐洲的砲每分鐘可發一至二發，但砲管常需休息以冷卻，故每小時平均只可發射八發，每天通常不超過一百發。鐵砲在射擊約六百發、銅砲約一千發後，就已不太堪用，可見銅砲在當時仍然勝於鐵砲。見黃一農，〈紅夷大砲與皇太極創立的八旗漢軍〉，《歷史研究》2004 年第 4 期（北京），74~105。

砍，竟然必須從美洲、俄國或瑞典輸入鐵。這證明了英國人雖然已經大量用煤，但是冶煉鐵時，還是需用木炭。

去除煤的雜質的方法相當繁複，因此要到一七〇四年，英國的 Abraham Derby of Coalbrookdale 的鐵作才第一次成功提煉焦炭。焦炭就是 coke，成份幾乎是純碳，專門用來冶煉金屬。有了焦炭，這就大大地改良鑄鐵的品質。其後一百多年，英國的鑄鐵技術領先全世界，直到十九世紀發明各種新方法來冶煉鋼鐵以後，情形才又有了改變。因此，我們可以認為一七〇〇年左右，歐洲砲的第二次銅器時代才告完全結束。

煤既然在鑄鐵的歷史上扮演了這麼重要的角色，那麼中國人又是在什麼時候知道應該去除煤裏頭的雜質的呢？他們又是在什麼時候警覺到木炭熔煉鑄鐵勝過用煤的呢？

首先，陸游《老學庵筆記》有一段話：「北方多石炭，南方多木炭，而蜀又有竹炭……。」[60]這段話的意義很大，因為他指的是各種熔煉鐵砂時用的燃料。說各地因地制宜，所以北方用的多是煤，四川常用竹子，而南方則多用木炭。由於北方的煤含硫甚多，所以可以想像宋代以後，鑄鐵品質低落，主要是在北方發生。南方多用木炭，其鑄鐵的品質就應該可以至少保持既有的水準。事實上，宋以後，中國好的鐵也的確多出自南方。明代的李時珍（1518~1593）這麼說：「鐵皆取礦土炒成，秦、晉、淮、楚、湖南、閩、廣諸山中皆產鐵。以廣鐵為良。」[61]這句話有點含混，不知道是指已經熔煉的鐵，還是鐵礦。但是不管如何，顯然南方的鐵品質相對比較好。方以智也說：「南方以閩鐵為上，廣鐵次之，楚鐵止可作鉏。」[62]不管最好的鐵是出於閩或粵，兩者都在南方。如果這裡講的是鑄鐵的話，這就更與南方比較多用木炭作燃料有關。可見南宋以後，中國人依賴他們累積的歷史經驗（實驗），逐漸發現南方多用木炭作燃料，造出來的鐵器比較好。當然，北方也有用木炭鑄鐵的，因此這是大

60 〔宋〕陸游，《老學庵筆記》，《景印文淵閣四庫全書本》，冊 865（臺北：臺灣商務印書館，1983），1/16a。

61 〔明〕李時珍，《本草綱目》（北京：人民衛生出版社點校本，1975），8：487。

62 〔清〕方以智，《物理小識》（北京：北京圖書館，1998），7/5ab，125。

略的說法。

南方鐵的品質比較好，到了明中葉以後，已經普遍為人所知，並引起注意。趙士禎（約 1553~1611）在《神器譜或問》這麼說：「南方木炭，鍛煉銃筒，不惟堅剛與北地大相懸絕，即色澤亦勝煤火成造之器。其故為何？曰：此政〔應作正〕足印證神器必欲五行全備之言爾。炭，木火也。北方用煤，是無木矣。稟受欠缺，安得與具足者較量高下！」趙士禎講這話大約是萬曆二十七年（1599）。猜想這之前已經有人注意到這個現象，因此就在他講這段話的同時，中國人也發明了「焦炭」。方以智在《物理小識》這麼說：「煤則各處產之，臭者燒熔而避之成石，再鑿，而入爐，曰礁。可五日不滅火，煎礦煮石，殊為省力。」[63]《物理小識》正好寫成於該年。比英國人發明焦炭早了一〇五年。由此可見，南方鐵好，主要就是因為一直使用木炭熔煉鐵砂，並繼續出產鑄鐵。[64]

研究中國火砲歷史的人認為明代是火砲的鼎盛時代。[65]問題是明代的火砲早期很多也仍是銅鑄的，所以從鐵砲的觀點看，不算有什麼成就。等到開始努力發展火砲，已經不能不引用外來的技術，永樂時如此，[66]萬曆以後更是如此。因此只能說明代的火砲只有量的增加，沒有在技術上有真正的突破。這一點尤其在鐵砲上更是如此。

明代時，冶鐵技術有了新的發展方向。簡單地說，就是把大量使用生鐵和熟鐵合在一起來煉鋼的技術（這個技術在宋代時已經普遍，到了明朝則成了主流）。但是嚴格言之，這個新技術對我們所關心的鑄鐵技

63 方以智，《物理小識》，7/20a，155。

64 例如廣東佛山就以鑄鐵有名，為明代四大鐵礦及冶鐵中心之一。參看黃啟臣，《十四十七世紀中國鋼鐵生產史》（開封：中州古籍出版社，1989），48~50。這裡應該交代一點：如果南方的鐵由於多用木炭熔煉，那麼鑄鐵技術理應比北方為上，並持續較久，而也應該發展出鐵炮。這是一個值得探討的問題。我認為如果多仔細作考古發掘，或許會發現元朝時代南方完整的鐵砲。但目前並沒有發現。應該注意的是現在也發現有元朝的鐵砲，但是如上所說，都已經炸裂。

65 劉旭就是採用這個觀點。參看氏著，《中國古代火砲史》。

66 借用了越南的技術。關於這一點，容或有爭議，但是我認為李斌在〈永樂朝與安南的火器技術交流〉（收入鍾少異編，《中國古代火藥火器史研究》，147~158）的討論，還是比較有說服力。

術沒有實際的關係。[67]因此我認為明代用鐵鑄砲的技術並沒有什麼進步。以南方言之，鑄鐵技術的改良的確不絕如縷，尤其到了發明焦炭以後，用鐵來鑄砲應該算是成熟了；然而，這時已經是西洋砲開始來到中國的時候，究竟焦炭對中國鑄砲的技術扮演了什麼角色，已經無法斷定。無論如何，到了公元一六〇〇年左右，中國鑄砲技術的第二次銅器時代應該也就告終了。她沒有畢業，只是別人家來替她結束了。

結論

歷史研究的弔詭在我看來有兩點：第一是歷史事件的發展都相互影響，互為因果，沒有一件事件是單一發展的。以中國的鑄鐵技術言之，它的發展不斷地受到外在條件的影響。身在歷史洪流裏的人常常在事後才知道為什麼歷史事件的發展顯得不合常理。鑄鐵使用煤以後，其品質開始有了變化，但是當時的人萬萬想不到為什麼會有這樣的變化，甚至於完全沒有覺察到它。就使用煤（石炭）這件事言之，宋代人的取捨完全是合情合理的，因為煤提供了新的、更為有效的能源。然而，用煤來熔煉鐵礦砂卻使得生鐵摻雜過多的硫，影響了它的品質。這是當時人絕對想不到的，而正好中國冶鐵技術到了這個時候也開始轉型，大量地採用熟鐵鍛造器具的技術，因此鑄鐵的重要性相對減弱。由於改用熟鐵，鑄鐵品質低落這回事也就未受到重視。這樣看來，本來開始大量使用熟鐵是一種進步的現象，卻在另一個歷史的環節裏，阻礙了鑄鐵所能夠發揮的功能，阻擾了鑄鐵技術改進的潛力。

結果是什麼呢？失去了改進的動力妨礙了什麼樣的進步呢？這就是中國砲的發展。北宋大量用煤時，中國人也開始使用火藥。這兩段歷史發展看來是不相干的，但其實不然，火藥發展的史詩，最可以讓人們興奮的就是火砲的發明。它的歷史太吸引人了，遠比煙花的璀璨壯麗還可

67 近年來已經出土有明初的鐵砲，請參看史珍寶，〈鎮江出土的明代火器〉，《文物》1986年第 7 期（北京），91~92。作者認為這些鐵砲品質不佳，因此明代中期以後就放棄不再繼續製造。

歌可泣。製造火砲，它所需要的知識水平當然大大超過製造煙花。理想的砲筒應該是用鑄鐵來製造的，但是我們現在看到的文獻資料和考古發掘卻都顯示宋、元人偏好選擇用青銅來鑄砲。為什麼會這樣呢？鑄鐵的品質跟不上砲的需要也。用了煤以後，鑄鐵的品質下降了，無法承受火藥的爆炸力，而當時的人並不知道它的原因。

火藥出現於戰場大概是在五代初。就是公元九〇〇年左右。到了十一世紀中葉（北宋慶曆年間），第一個火藥方子出現了。這時火藥的發展和鐵或石炭還沒有什麼關聯，頂多只能說火藥一定要用木炭就是。但是有了方子，人們就可以通過試驗，不斷地改良。到了宋、金交鋒的十二世紀初年，火藥的爆炸力被領略了，於是出現火槍（包括用竹作的槍筒）及各種裹有火藥作為延燒劑的炮彈，只是還沒有發明砲。鑄鐵開始派上用場，裝火藥的炮彈殼一般就是用鑄鐵做的。火罐這種裝了火藥和各種鐵片、陶片或石頭的武器，就是借用火藥的爆炸力（而不只是燃燒力）來把硬碎片射向敵陣，打擊或灼傷敵人。

火罐是一種雛形的炮／砲，但是因為還沒有（或說還不是）砲筒，因此無法控制發射的方向。到了南宋晚年，火罐做得長一點，就像一支砲了。同時，突火槍也出現，它也像是一支砲，只是用的材料是極不可靠的竹子，這真是令人不可思議。但在爆炸力還不大的時候，巨竹作的砲管也可以勉強派上用場。這時離現代人所說的砲確實很近了。然而，鑄鐵的技術卻趕不上火砲的發展，事實上，用鑄鐵的人正在逐漸地減少。什麼才是歷史進步的力量呢？火砲？還是鍛打鑄鐵成熟鐵？

歷史發展的轉折的確是多面性的，活在當下的人絕對想不到他們的取捨會產生意想不到的影響。元初蒙古人開始鑄砲時，由於鑄鐵已經不是一種公認的好鐵，不夠堅硬，因此只得回頭使用青銅。這就開始了中國鑄砲史的第二次銅器時代。「第二次銅器時代」這個說法來自西方，因為西方的火砲史也經歷了這麼一個階段。有趣的是，在西方，當他們正由 wrought iron 朝著鑄鐵的方向「進步」時，中國正從鑄鐵往熟鐵的方向轉折前進。因此兩地的「第二次銅器時代」其實在技術發展史上有很大的區別。然而，不管是在西方或在中國，誰也不知道他們所作的技術上的決定有什麼意義。一定要等到後來才看得出來。

中國的第二次銅器時代大約在一三〇〇年左右開始。比歐洲大約早一百多年。就歐洲鑄鐵的技術言之，一七〇四年發明焦炭是一個重要的里程碑。但是在中國，焦炭的發明（1599）固然也是鑄鐵技術上的重要階段，但是它的歷史意義顯然不如歐洲。中國人在這時已經普遍認為「熟鐵」才是更好的鐵。所以明初（永樂年間）接受交阯的火砲技術時，並不覺得有什麼不對。[68]換句話說，中國並沒有因為改進火砲技術的需要而覺察到改進鑄鐵技術的重要性。焦炭的發明並未真正結束中國火砲的「第二次銅器時代」，中國的火砲還是沒有「進步」。西方的火砲這時已經就要到中國了，西方最早來華的船艦，上面配的砲還很多是銅鑄的。但是中國人注意到他們的「船堅砲利」時，沒有人注意到西方人已經開始朝用鑄鐵造砲的方向邁進了。中國人只注意到當時的鐵砲還不如銅砲，可是西方人已經寧願捨銅砲而專用鐵砲了。[69]這就是比較歷史的弔詭，也是我所要說的第二點。

比較歷史的中心理論就在於不強調歷史發展的一致性，也不強要把歷史的複雜面貌分割，拿不同文明的相似歷史事件或單位來做生硬的比擬。重要的是如何透過大約同時的發展來看看各文明如何看待自己的歷史發展的動力，看自己所重視的是犀利的武器或方便的日常工具。這種價值上無法「矛盾統一」的對立，往往導致歷史發展方向的不合理性。重視改良武器的文明，當然會朝發展武器所需要的技術和動力去努力，而重視日用工具的有效性的文明，當然會忽視對武器發展有用的技術。

有的文明本身比較開放或多元，它的歷史是朝多面並進的方向發展，這就是它能在各樣的需要同時來到時，有足夠的儲備人才和技術來應付各方面的挑戰。比較中西兩方的「第二次銅器時代」，我們可以認

68 現在許多學者認為中國並沒有真的從安南學製造火砲的技術，這是缺乏歷史異時代意識的看法。參註 66。

69 McNeill 在談到這一點時，慨嘆說人類選擇一種技術，不是完全可以了解它的動機的。他們的選擇更往往不是理性的。人類有時寧願使用比較沒有效力的武器，而捨棄現有的比較具威力的工具。當然，西方發展鑄鐵技術來鑄更好的砲，這或許有經濟上的理由，但是，鐵砲完全取代銅砲，歷時一、兩百年，這過程也不是能完全用經濟的理由來解釋的。William H. McNeill, *The Pursuit of Power*, 83.

為中國人就在這一點上面輸給了西方。歷史的弔詭或許到頭來真就是一種 paradox：似非而是的、看似非理性的真理。

（2005 年 4 月 1 日清晨初稿，8 月 15 日修訂，11 月 13 日定稿）

*本文承多位學者提供意見，十分感謝。其中包括國立清華大學（新竹）的黃一農教授、礦冶史先輩華覺明教授、中國科技大學的張柏春教授以及兩位審查人。另外，已故礦冶史權威 R. F. Tylecote 亦曾提供寶貴意見，謹此紀念其鼓勵。

（責任編輯：楊俊峰　胡雲薇　校對：劉益維　陳韻如）



圖 1　五代「降魔變文」絹畫：持噴火器的魔怪
（原畫藏於法國巴黎 Musée Guimet）

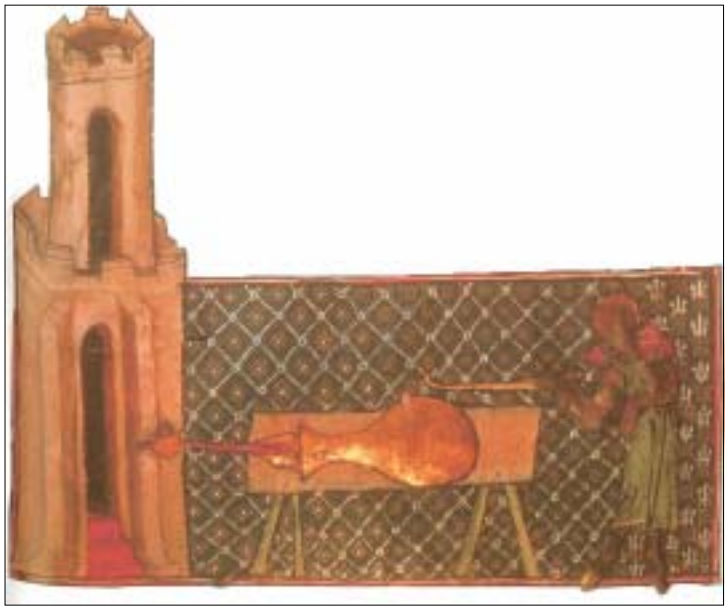


圖 2　Walter de Milamte, *De Nobilitatibus, sapientiis et prudentiisregum* 抄本上所描繪歐洲用火藥點燃「炮」來射箭的最早的圖。
（該抄本現存英國牛津大學）

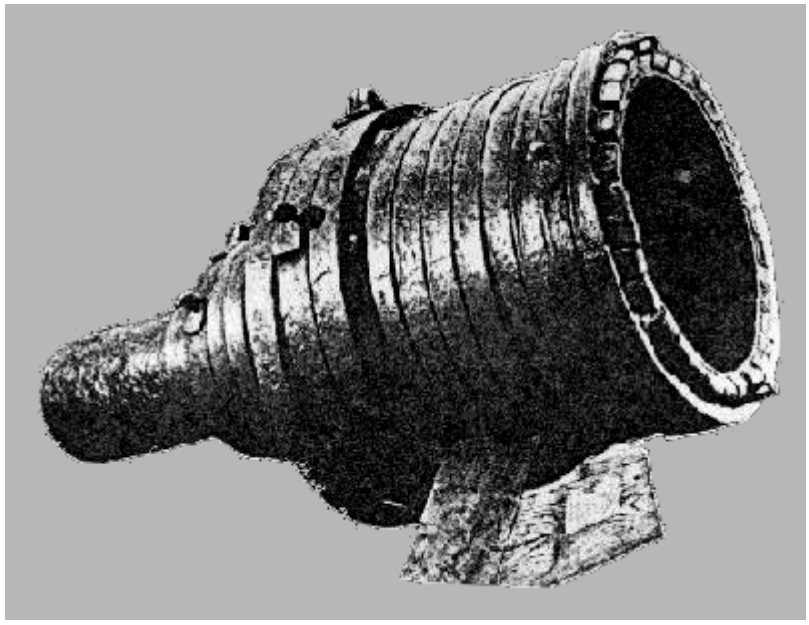


圖 3　Pumhardt：1400~1450 年間，歐洲用 wrought-iron 造的 bombard。
（現存維也納的 Heeregeschichtliches Museum）



圖 4　傳為元代鑄的銅砲（手銃）。可能是假造，但假造這樣的砲做什麼，
我很難了解。



圖 5　元朝「至順三年」銅火銃
（北京中國歷史博物館藏）



圖 6　1453 年君士坦丁堡被土耳其軍隊攻下時，土軍所用的鐵砲。
（現藏於義大利都林槍砲博物館）

引用書目

一、文獻史料

〔晉〕司馬彪撰，〔梁〕劉昭注補，《後漢書．續志》。北京：中華書局標點本，1965。
〔北魏〕酈道元著，陳橋驛點校，《水經注》。上海：上海古籍出版社，1990。
〔宋〕周應合，《景定建康志》，《宋元地方志叢書本》。臺北：大化書局，1980。
〔宋〕徐夢莘，《三朝北盟會編》。臺北：文海出版社，1962。
〔宋〕許　洞，《虎鈐經》，《景印文淵閣四庫全書》，冊 727。臺北：臺灣商務印書館，1983。
〔宋〕陳　規，《守城錄》，《文淵閣四庫全書珍本》，別輯，冊 167。臺北：臺灣商務印書館影印，1975。
〔宋〕陸　游，《老學庵筆記》，《景印文淵閣四庫全書本》，冊 865。臺北：臺灣商務印書館，1983。
〔宋〕曾公亮，《武經總要》，《四庫全書珍本》，初集，冊 166~171。臺北：臺灣商務印書館，1970。
〔宋〕楊萬里，《誠齋集》，《文淵閣四庫全書本》。臺北：臺灣商務印書館，1986 影印。
〔宋〕路　振，《九國志》。濟南：齊魯書社，2000。
〔宋〕趙與㝢，《辛巳泣蘄錄》，《四庫全書存目叢書本》雜史類，第 45 冊。臺南：莊嚴文化，1996。
〔元〕脫　脫，《宋史》。北京：中華書局標點本，1977。
〔元〕脫　脫，《金史》。北京：中華書局標點本，1975。
〔明〕宋　濂，《元史》。北京：中華書局標點本，1976。
〔明〕李時珍，《本草綱目》。北京：人民衛生出版社點校本，1975。
〔明〕茅元儀輯，《武備志》，《四庫禁燬書叢刊本》，子部，冊 23。北京：北京出版社，2000。
〔清〕方以智，《物理小識》。北京：北京圖書館，1998。
〔清〕沈有容輯，《閩海贈言》。臺北：方豪慎思堂，1956 景印明末刊本。
〔清〕谷應泰，《明史紀事本末》。北京：中華書局，1977。

二、專著

中國社科院宋遼金元史研究室編，《宋遼金史論叢》第二輯。北京：中華書局，1991。
王兆春，《中國火器史》。北京：軍事科學出版社，1991。
岑仲勉，《中外史地考證》。香港：太平書局，1966。

河南省地質礦產廳地質礦產志編輯委員會，《河南省地質礦產志》下冊。開封：中國展望出版社，1992。
南朝鮮陸軍士官學校，《陸軍博物館圖錄》。首爾：陸軍士官學校，1994。
黃啟臣，《十四　十七世紀中國鋼鐵生產史》。開封：中州古籍出版社，1989。
楊　寬，《中國古代冶鐵技術發展史》。上海：人民出版社，1982。
劉　旭，《中國古代火砲史》。上海：人民出版社，1989。
鍾少異編，《中國古代火藥火器史研究》。北京：中國社會科學出版社，1995。
〔日〕佐伯富等編，《宮崎市定全集》第九卷。東京：岩波書店，1992。
〔日〕宮崎市定，《中國文明論集》。東京：岩波書店，1995。
Hale, Bert. S. *Weapons and Warfare in Renaissance Europe*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1997.
McNeill, William H. *The Pursuit of Power: Technology, Armed Force, and Society since A.D. 1000*. Chicago: University of Chicago Press, 1982.
Moss, Paul. *The Second Bronze Age, Later Chinese Metal Work*. London: Sydney L. Moss, 1991.
Needham, Joseph. *Science in Traditional China, A Comparative Perspective*. Hong Kong: The Chinese University Press, 1981.
Needham, Joseph. *The Development of Iron and Steel Technology in China*. London: Newcomen Society, 1958.
Yule, Henry. *Cathay and the Way Theither*. London: Hakluyt Society, 1915.

三、論文

史珍寶，〈鎮江出土的明代火器〉，《文物》1986 年第 7 期，北京。
成　東，〈碗口銃小考〉，《文物》1991 年第 1 期，北京。
袁曉春，〈山東蓬萊出土明初碗口炮〉，《文物》1991 年第 1 期，北京。
華覺明，〈中國古代鋼鐵技術的特色及其形成〉，《中國冶鑄史論集》北京：文物出版社，1986。
黃一農，〈紅夷大砲與皇太極創立的八旗漢軍〉，《歷史研究》2004 年第 4 期，北京。
黃一農，〈歐洲沉船與明末傳華的西洋大砲〉，《中央研究院歷史語言研究所集刊》，第 75 本第 3 分，2004，臺北。
鍾少異、道爾基等，〈內蒙古新發現元代銅火銃及其意義〉，《文物》2004 年第 11 期，北京。
〔日〕宮崎市定，〈宋朝における石炭と鐵〉，《東方學》第 13 輯，1957，東京。

The Second Bronze Age in China: Why Were the Earliest Chinese Cannons Made of Bronze?

Lee, Thomas Hong-chi*

Abstract

In his brilliant study, *The Pursuit of Power*, William McNeill suggested that the development of cannons in the West went through a stage of "Second Bronze Age", approximately 1453~1543, because wrought iron, the mainstay of Western iron technology, was not fit for manufacturing cannons. Without cast iron technology, which was first applied to the casting of cannons around 1450, the West had to resort to using bronze.

Interestingly, early specimens of Chinese cannons that date back to the turn of the 14th century were also made of bronze. Iron cannons did not make their debut in China until slightly later. If the Chinese iron technology had been characterized by cast iron technology, then it would be quite strange that they did not apply it to the fashioning of cannons, which were to appear towards the end of the Southern Song (1127~1278) after the first formula of gunpowder was recorded in around 1040. The manipulation of gunpowder explosion necessitated the use of hard metal and especially delivery barrels. Cast iron would ideally serve this purpose.

However, it seems that the Song iron technology could not meet the needs too. This is most likely a consequence of the use of coal (*shitan*), instead of charcoal, to smelt iron ore that became popular in the Northern Song times (960~1126). The coal from Northern China contained high percentages of sulfur. Cast iron that contains more than 0.5% of sulfur will lose its hardness. Without the skill to extract sulfur and other impurities from coal, the Chinese artisans were not able to cast cannon barrels hard-enough to withstand the explosive power of gunpowder in use.

* Professor of History and Director, Asian Studies Program, The City College of New York, City University of New York.

From the Song through the Ming (1368~1661), the Chinese increasingly used the so-called “shutie”, a kind of iron similar to Western wrought iron. Like wrought iron, however, *shutie* is not fit for manufacturing cannons. The invention of coke in 1704 was the decisive moment when, one can say, the European “Second Bronze Age” in cannon-making came to its full cycle. The Chinese, indeed, had by 1599 developed the skill to make coke, but for various reasons they never seemed to have been able to produce good-quality cast iron cannons. The second Chinese Bronze Age thus ended in a way fundamentally different from that of Europe. It never actually ended until the Europeans introduced their iron cannons technique to China.

These comparative experiences of cannon-making and cast-iron technology show that civilizations do not have to take the same route of development. Chinese artisans had been more fascinated with how to improve iron implements for daily use, and were satisfied without having to better the quality of cast iron essential for making cannons. On the other hand, Europeans seemed to have more systematically wanted to manufacture weapons that represented power, notwithstanding economic irrationality. This last point echoes McNeill’s putative remark on Europeans’ “unintelligible behavior”. However, it was the Chinese “rationality” that led to its failure to comprehend the military implications of technological development.

Keywords: cast iron, bombardment, the Second Bronze Age.