

鴉片戰爭時期中英鐵砲材質的優劣比較研究*

劉鴻亮**

北京科技大學冶金與生態工程學院
河南科技大學政治與社會學院

孫淑雲***

北京科技大學冶金與生態工程學院

摘 要

鴉片戰爭時期，中英鐵砲砲身均為鑄鐵組織，不同的是，清軍鐵砲以白口鑄鐵為主，英軍鐵砲則以灰口鑄鐵為主。在灰口鑄鐵組織中的石墨形態上，清軍鐵砲皆為片狀石墨；英軍鐵砲除片狀石墨外，還有菊花狀石墨，其占灰口鑄鐵總數的 25%。由於菊花狀石墨組織的灰口鑄鐵性能比片狀或粗大的石墨構成的灰口鑄鐵要好，故英軍鐵砲材質優於清軍。此外，英軍鐵砲的鑄造及加工技術亦優於清軍鐵砲。由於鐵砲的材質、製造和加工技術直接關係鐵砲的質量，而鐵砲質量則是影響鐵砲性能的最重要因素，故中英鐵砲性能上的差異是影響鴉片戰爭勝負的關鍵因素之一。

關鍵詞：鴉片戰爭，前膛裝滑膛砲，材質，金相組織

一、前言

鴉片戰爭時期，中英軍隊作戰方式主要是海陸砲戰，火砲是最主要的武器。因此，火砲的技術和性能以及與社會的關係是研究鴉片戰爭歷史和科學技術史的重要問題。此時期的中英雙方主導型火砲樣式及機制原理基本相同，都是前膛裝滑膛砲（muzzle-loading cannon），仍舊屬於以黑火藥做為發射藥的前膛裝滑膛

* 本論文研究得到中國“十一五國家科技支撐專案課題——文化遺產保護關鍵技術研究”的專項資助，項目編號：2006BAK20B03。

** 劉鴻亮，北京科技大學冶金與生態工程學院冶金與材料史研究所博士、河南科技大學政治與社會學院副教授、浙江大學寧波理工學院博士後，電子郵件信箱：liuhongliang1970@sohu.com。

*** 孫淑雲，北京科技大學冶金與生態工程學院冶金與材料史研究所教授。

時代，其砲形呈圓錐體，砲膛呈圓柱體，有砲耳和尾紐等附件組成。清軍火砲的形制設計仍然沿用西方 16—19 世紀中葉創立的「比例」思想（注：16 世紀以來的東西方主導型火砲——加農砲，其各部直徑是以口內圓球直徑為標準而設計的，如口內徑為 a ，口壁厚 $= 0.5a$ ，口外徑 $= 2a$ ，砲耳處壁厚 $= 0.75a$ ，底徑 $= 3a$ ），但尺寸偏離較大，分類向來較多和雜亂，不利於士兵的熟練掌握及遲滯發射速度（全是火繩點火），影響威力的發揮。其膛壁通常較英軍鐵砲厚，主要是明末清初重型紅夷砲的延續，但稍有改進。現根據火砲彈道特性來劃分，大致可分成以下幾種類型：重型紅夷砲（red-barbarian cannon）、輕型火砲、沖天砲（chongtian mortar）、抬砲（wall gun）等。每種類型中又有類別，如紅夷砲中分單層體、雙層體和三層體結構；輕型砲中分紅夷砲型和子母砲型（子母砲也有單層體和雙層體結構）。英軍火砲在形制構造上已標準化，火門的燧發機點火裝置、瞄準的立表裝置和尾紐的圓環裝置改進很大，砲手不但容易操作，亦可使發射速度增快，因此殺傷力增強。不同甲板上的艦砲重量不相同，發射與之匹配的不同口內徑的砲彈。其分為砲管較長而彈道低伸的加農砲（cannon）、砲管適中而彈道較彎曲的榴彈砲（howitzer）、砲管較短而彈道彎曲的臼砲（mortar）、卡龍砲（carronade）等，（註¹）其類型適合了陸戰、海戰、攻城戰、山地戰等戰術需要，水準明顯高於

1. 沖天砲，此類砲銅質稱做「威遠大將軍」，鐵質稱做「沖天砲」，口徑大，身管短，帶有直徑小於彈膛的藥室，以固定的高角度發射空心爆炸彈，保證最大的曲射角度，以達到殺傷城堡、寨牆後面的敵人。

加農砲，它是軍艦上的標準裝備。恩格斯的著作《砲兵》（見《馬克思恩格斯全集》卷 14。北京：人民出版社，1964，頁 212）中云：1815 年以後的歐洲野砲，即「在拿破崙垮臺後的和平時期內，……用生鐵鑄造的長 9 英尺、重 50 英擔的新式 32 磅長管砲，是不列顛海軍最好的火砲之一，它的長度為口徑的 16.5 倍。有一種可旋轉的、重 112 英擔的 68 磅長管砲（Pivot-gun），裝備在全部的有 131 門火砲的螺旋推進器大型軍艦上，它的長度是 10 英尺 10 英寸，即略大於口徑的 16 倍。……68 磅和 56 磅長管砲，既可發射實心彈，也可發射爆炸彈」（注：英國 1 英尺 = 12 英寸，合今 0.305 米，英國 1 英擔合今 50.8 千克，英國 1 磅合今 0.454 千克）。

榴彈砲，清人稱之為闊口短輕砲。它是一種彈藥固定而發射角度可以調整，發射球形爆炸彈的火砲。它的砲管比加農砲短，比迫擊砲長，長約為口內徑的 4-10 倍、口內徑較大、管壁較薄、帶有直徑小於彈膛的藥室、裝在兩輪砲車上。初速較小、射角較大、彈道較彎曲。17 世紀末期以來，榴彈砲成為了歐洲各國軍隊標準化的砲兵武器。

卡倫砲，清人稱之為短薄單耳鐵砲，粵俗呼為瓦筒口。它本質上是臼砲的變種，由蘇格蘭士兵 R. Melville 在 1750 年左右發明，英國鑄砲匠 John Wilkinson（1728-1808）於 1774 年申請了用鑽孔機在鏗床上鑽砲膛的專利。英國蘇格蘭卡龍（Carron）公司為抵抗海盜、護衛商船，大規模製造用機器鑽膛的卡龍砲。此類砲沒有耳軸，依靠砲腹下方的卡箍安於砲架上，比一般輪式艦砲摩擦力大。由 2 個砲手操縱，在艦首的軌道上旋轉發射，由長砲配搭而用。1779 年在英國皇家海軍中使用。它的特點是管身短、口內徑大、砲壁薄、重量輕、裝藥量少（小的藥量意味著後座力小，否則反衝力太大，木製結構無法忍受）、初速低、射程近，殺傷力大。它發射箭霰彈、葡萄彈和球形爆炸彈，有 68 磅、42 磅、32 磅、24 磅、18 磅、12 磅彈等類型。

清軍火砲。

鐵砲品質高低對其射程、射速、火砲機動性、射擊精度及砲彈殺傷力等諸方面性能皆會產生重要影響。中英鐵砲性能的差距是影響戰爭勝負的重要因素之一，但鐵砲性能的差距是由什麼原因造成的？以往的研究者^(註2)從火器發展的文獻和實物資料中對中英火砲的材質、技術做了不少研究，但是限於當時的一些客觀條件，此前的研究對鴉片戰爭的史料，特別是原始外文文獻挖掘不足，對材質的金相組織研究尤其欠缺。隨著新史料的發現和新出土實物的增加，為火砲的研究提供了廣闊的空間，故本文在深入查閱史料文獻的基礎上，進行了中英火砲實地調查和鐵砲材質的金相檢測分析（注：鴉片戰爭時期的中英火砲壓倒優勢都為鐵砲，銅砲比例不大，所起的作用有限，故本文僅談及鐵砲），在此基礎上，從科學技術史的角度對中英鐵砲技術優劣的原因進行了研究，找出此時期中英鐵砲在材質、鑄造、加工技術等方面的差距，探討鐵砲品質、性能和作戰效用之間的辯證關係，為深入研究鴉片戰爭時期的火器史、軍事史以及技術社會史打下堅實的基礎。

2. 劉旭研究員探討了中國古代各類火藥、火器的產生時間、研製工藝、使用狀況、理論著述，以及火藥火器技術的西傳東漸和興盛衰落等重大問題。撰寫的著作有《中國古代火砲史》（上海：上海人民出版社，1989）；《中國古代火藥火器史》（鄭州：大象出版社，2004）。

王兆春研究員利用史料和實地調研的方法對東西方火砲技術如設計理論、製造技術、火砲射程和中國火器盛衰原因做了研究。撰寫的著作《中國火器史》（北京：軍事科學出版社，1991）；《世界火器史》（北京：軍事科學出版社，2006）；《中國古代軍事工程技術史》（宋元明清）（太原：山西教育出版社，2007）。皮明勇先生1991年撰文〈清朝兵器研製管理制度與鴉片戰爭〉中認為中英火砲性能存在著懸殊差距。在大砲質料方面：中國冶鐵術方面落後於英國，使用傳統的土爐，燃料為木炭，鼓風設備簡陋，結果爐溫低，脫碳慢，清軍大砲用生鐵鑄成，每多蜂窩澀體。英國鑄砲所用之鐵皆百煉熔淨，含碳低。在砲腹光潔度方面：清軍只知道舊式泥模鑄砲法，加上鐵質差，鑄法有問題，所以不能光滑，難於鏟磨。英軍除了泥模外又發明瞭鐵模，並且已經開始採用了整體鑄砲法，即先鑄成圓形金屬件，然後在鏟床上用鑽孔機鑽出砲管。詳見皮明勇編，《關注與超越——中國近代軍事變革論》（石家莊：河北人民出版社，1999）。潘向明先生撰文〈鴉片戰爭前的中西火砲技術比較研究〉，見《清史研究》，3（北京：1993），他認為：至19世紀前期，歐洲因發生了工業革命，熟鐵產量大增，利用機械工具鍛造口徑很大的砲管，繼而對砲管內壁進行鏟、磨、削加工，砲管較為精密的測量與計算，故而其口徑與膛口的尺寸之間可以有一個合理的比例關係。而清朝因無工業革命，熟鐵產量低，且缺少機械加工工具，砲管只好使用生鐵鑄造，而生鐵砲管是不易鏟、磨、削的。為了防止身管炸裂，只好將生鐵砲管鑄造得厚實一些，遂使用來容納彈丸和裝藥的剩餘空間即膛口變得很小。

黃一農先生對明清之際的中國火砲技術研究甚深，他認為：明末清初，中國火砲鑄造為防止炸膛和耐用的問題，經常採用鐵芯銅體的複合結構。此種火砲管壁較薄、重量較輕、花費較少，且較耐用。其論文見黃一農，〈紅夷大砲與皇太極創立的八旗漢軍〉，《歷史研究》，4（北京：2004.8），頁74-105。

尹曉冬的博士論文中對東西方火砲1620-1690年間的泥模鑄銅砲技術研究較深入，並有許多附圖和自己繪製的工藝圖片。詳見尹曉冬，《十六、十七世紀傳入中國的火器製造技術及彈道知識》（北京：中國科學院研究生院博士論文，2007）。

二、中英鐵砲材質在史料記載中的種類

(一) 清軍鐵砲的材質

清朝火器製造制度在《光緒大清會典》卷 59《工部》中載：分中央和地方製造兩種，不過，從嘉慶朝以後，中央製造的火器越來越少，各省份製造的火器逐步增多。如在造砲方面，清道光朝以後，中央造砲機構已不能左右當時火砲技術的發展，地方政府遂自行組織製造火砲。鴉片戰爭時期，清朝廣東沿海地區（尤其珠江兩岸）地處與西方殖民勢力對敵的最前沿，當地官吏大都注意火砲技術的改良，廣東佛山鑄造的生鐵砲是清軍最佳火砲的縮影，反映了當時海岸砲臺所用火砲的基本狀況。《鴉片戰爭檔案史料》（注：以下統簡稱為《史料》，冊數和頁碼附後）中記載，在清朝沿海及內陸的一些省份，舊式火砲多為泥模鑄造法製成，新造的火砲少部分是用英軍所沒有的鐵模鑄砲法或複合層火砲的造砲工藝製造，仿製夷砲的方法應是泥模鑄造法或鐵模鑄砲法。^{（註 3）}依據表一前列文獻記載，1839-1843 年間清朝各省份鐵砲的材質主要有生鐵（pig iron）、熟鐵（wrought iron）、青口鐵，還有新舊黑麻鐵、洋麻鐵、紫板鐵、南板並臭板生鐵等。

表一：文獻記載的 1839-1843 年間清朝各省份造砲的材質

省份	火砲原料	史料記載的火砲材質、斤兩及門數	史料出處
廣東	荒山鐵及新舊黑麻鐵，又有自外洋而來之洋麻鐵之數種、生鐵熟鐵、青銅、黃銅	虎門南山砲台安生鐵砲 18 位，熟鐵小砲 2 門；虎門之戰，英軍繳獲清軍 761 門銅鐵砲，其中黃銅砲 8 門（含幾門 1839 年購買的 68 磅彈葡萄牙式黃銅砲）	《演砲圖說輯要》（註 4）（卷 3，頁 11）、《籌海初集》（註 5）（卷 1，頁 100、101）；《英軍在華作戰記》（卷 II，頁 444、157）（註 6）
福建	青銅、毛紅銅、生鐵	毛紅銅 21.5 萬斤鑄數百門砲	《史料》（冊 IV，頁 570）

3. 中國第一歷史檔案館編，《鴉片戰爭檔案史料》（天津：天津古籍出版社，1992）。

4. 丁拱辰，《演砲圖說輯要》（道光 23 年（1843）刊本，中國國家圖書館藏書），卷 3，頁 11。

5. 關天培，《籌海初集》（臺北：文海出版社，1969）。

6. J. E. Bingham, *Narrative of the Expedition to China from the Commencement of the War to its Termination in 1842; with Sketches of the Manners and Customs of that Singular and hither almost Unknown Country 1843 (Vol. II)* (London: Henry Colburn, 1842), p. 444, 157.

浙江	紫板鐵、滇銅、青銅黃銅	安慶營守備孫貴製成 10 尊熟鐵虎蹲砲；600 多擔紫板鐵造砲，至湖北漢口鎮另購紫板鐵斤，並於蘇省購買別項板鐵造砲；滇銅 100 多萬斤造砲；鎮海鑄砲廠存 200 噸銅鑄砲；中英乍浦之戰，英軍損壞清軍 11 門黃銅大砲	《史料》(冊 V，頁 6)； 《史料》(冊 II，頁 760)； 《英軍在華作戰記》(卷 II，頁 281、330)
江蘇	熟鐵、洋銅、紫板鐵	安慶營守備孫貴赴浙督造 200 多尊熟鐵砲；蘇州省局撥解洋銅 12 萬斤造砲；省局製成熟鐵小砲 2 位，赴湖北採買紫板鐵片造砲；寶蘇局官民二商辦存洋銅撥 10 萬斤造砲	《史料》(冊 V，頁 142)； 《史料》(冊 II，頁 349)； 《史料》(冊 III，頁 283、545)； 《史料》(冊 IV，頁 374)
山東	生鐵、青銅、熟鐵	濟南府新造 700、800 斤熟鐵砲 9 位，共計新舊銅鐵大小各砲 100 餘位	《史料》(冊 V，頁 6)
盛京	熟鐵、生鐵	進關購買熟鐵，鑄神機砲 100 位；採辦鐵料 26 萬斤，造 8000 斤大砲 20 尊，所餘鐵料鑄造砲子	《史料》(冊 VII，頁 180)； 《史料》(冊 II，頁 361)
湖北	紫花板鐵、川板、碁江紫板、青口生鐵、湖南之南板並臭板生鐵	除福建之尤溪、大田等縣紫花板鐵之外，惟川板、碁江紫板為上，次則青口生鐵亦尚可用，然性燥易裂，其餘湖南之南板並臭板生鐵	《史料》(冊 II，頁 370)

對於表中所列材質的名稱，有一些與現代稱呼相同，如生鐵、熟鐵、白口鑄鐵 (white cast iron 或 chill cast iron)。一些則必須通過對文獻的解讀才能得到解釋，如紫口鐵、紫板鐵、青口鐵等。《史料》(冊 IV，頁 377) 中載，道光 21 年 (1841) 10 月 17 日，浙江巡撫劉歆珂奏：「惟鐵斤有紫口、青口、白口之分，鑄砲以紫口鐵為上，青口鐵次之，白口鐵則性脆質粗，易致炸裂，不適於用」。成書於 1862 年的《火器說略》(頁 22) 中說：「(清朝) 歷來營局所造大砲，俱用生鐵，性質堅剛，鑄成之後，不得打磨，不可鑽銼，其砲體既已粗糙，而藥膛又不光滑。……若生鐵性剛，鑽銼無所施，且多蜂窩，必致炸裂」。(註 7) 從記載對三種鐵的性能描述可以推斷「白口」即白口鐵；「青口」可能是灰口鑄鐵 (grey cast iron)，因灰口鑄鐵斷口顏色青灰、性能優於白口鑄鐵；「紫口」性能又優於灰口鑄鐵，解釋為展性鑄鐵比較可信，本文對鐵砲材質鑑定中，確有展性鑄鐵 (malleable cast iron) 存在。從兩則史料的敘述中還可以推出清軍鐵砲材質以白口鑄鐵為

7. 黃達權譯，王韜撰，《火器說略》，見《中國叢書集成》(北京：解放軍出版社，1993)，卷 48，頁 22。

主。至於其他諸如荒山鐵及新舊黑麻鐵之類的材質，在《演砲圖說輯要》、《海國圖志》^(註 8) 和《火器說略》中都有論及。《演砲圖說輯要》(卷 3, 頁 11) 中對廣東鑄砲鐵料的生產記載較細：「粵中所產者，有荒山鐵及新舊黑麻鐵，又有自外洋而來之洋麻鐵之數種。所謂荒山鐵者，系在荒山採礦煉成新片鐵也，又從而煨之，謂之新黑麻尖鍋鐵，此鐵性較純，比常鐵各異，若專用之，則可以鑽孔鑿字。鑄砲工匠初只用三成，而用新片鐵七成，合熔鑄就之砲，各有蜂窩。後經改新黑麻尖鍋鐵，加至八成，取其堅實，配以荒山新片鐵二成，或以新黑麻尖鍋鐵七成，配以洋麻鐵三成，加工鍛煉鑄成一砲，質體內外一律光潤，始無蜂窩之患」。

解讀上面這段記載的技術內涵，得出以下推斷：所謂「荒山鐵」應是在礦山冶煉的粗生鐵，含有較多雜質。「又從而煨之」的「煨」是固體料塊經火燒，但不熔化成液體的過程，把含雜質的荒山生鐵進行煨燒可以脫去一部分雜質，如硫，並可脫碳，得到生鐵脫碳的產品。如脫碳鑄鐵 (decarburized cast iron) 和鑄鐵脫碳鋼 (steel making from cast iron by solid state decarburization)、熟鐵、展性鑄鐵等，究竟得到何種脫碳產品則由煨燒溫度、煨燒時間、煨爐氣氛等因素決定。從這段記載所得到的產品是「鐵性較純的新黑麻尖鍋鐵，可以鑽孔鑿字」，推斷鑄鐵脫碳鋼或鐵素體基體的展性鑄鐵可能性較大。用這種產品八成配以「荒山新片鐵」二成冶煉、鑄造，就得到「質體內外一律光潤，始無蜂窩之患」的鐵砲。這一過程與現代冲天爐 (cupola furnace) 化鐵加入廢鋼是同樣的道理：生鐵含碳高、熔點低，廢鋼含碳低、熔點高，合熔時先熔化的生鐵水接觸廢鋼，發生相互作用，生鐵降碳、廢鋼升碳，降低了熔體的熔點，從而得到含碳較低的鐵水，澆鑄得到品質較好的生鐵鑄件。

鴉片戰爭前後，清軍也有用熟鐵材質鍛造鐵砲的，但熟鐵砲體積小、重量輕，威力有限。《史料》(冊 V, 頁 6) 中載，道光 22 年 (1842) 正月初四日，兩江總督牛鑒 (1785-1858) 奏：「安慶營守備孫貴仿明戚繼光遺法，製成虎蹲砲位，系熟鐵打成，長約二尺有餘，重不過四十斤，可裝鉛子百粒。臣親督驗試，能致遠三百步，其噴撒之寬約可四五丈。一人肩負而走，隨地皆能施放，一杆可抵抬砲百杆之用」。《海國圖志》(卷 87, 頁 1287) 中說：「小砲可容大彈之法，不用鑄

8. 魏源撰，《海國圖志》，王繼平等整理 (濟南：山東畫報出版社，2004)，頁 1279。

造而用打造，不用生鐵而用熟鐵，方能使砲身薄而砲膛寬。緣生鐵鑄成，每多蜂窩澀體，不能光滑，難以鏟磨，故彈子施放，不能迅利」。

鍛造鐵砲方法在《海國圖志》（卷 87，卷 1287）中有載：「至熟鐵則不可鑄，而但可打造。其打造之法，用鐵條燒熔百煉，逐漸旋轉成圓，每五斤熟鐵，方能煉成一斤，堅鋼光滑無比」。從這一記載可知鍛造熟鐵砲可能採用了百煉鋼工藝。原料可能是由生鐵炒煉的熟鐵（wrought iron was produced by puddling with cast iron as raw material），此工藝技術在嘉慶 17 年（1812）有相關記載：「打造熟鐵砲位，每淨重一百斤，用荒鐵四百斤。而鑄造生鐵砲位，每淨重一百斤，用荒鐵一百三十斤」。（註 9）這裏所謂「荒鐵」，前已論及是含雜質很多的生鐵，只有去除雜質才能鑄造生鐵砲，故 130 斤荒鐵，可得 100 斤生鐵。而要得 100 斤熟鐵，則消耗高達 400 斤荒鐵，這是因為熟鐵不僅要除去荒鐵中更多雜質，還要脫碳，精煉（refining）是一種有效方法。精煉過程及鍛造過程都消耗荒鐵，因此文中記載鑄造生鐵砲時所消耗的荒鐵比鍛造熟鐵砲消耗更多荒鐵是正確的，至於記載的數量關係可能不一定準確。

關於鑄砲鐵料需精煉的記載見《演砲圖說輯要》（卷 3，頁 11）：「大凡鑄砲，首先宜用好鐵，鍛煉使其純熟極淨，就緊一氣傾注入模，庶得堅實，不起蜂窩」。

（二）英軍鐵砲的材質

鴉片戰爭之際，關於英國造砲方法的歷史演變，歐洲學者說：16 世紀中期以來，英國造砲採用了泥模整體鑄砲技術，海軍用新造火炮在 1793 年已全部改用鐵砲，實心鑄膛，而商業用火砲為省費起見，仍在此世紀末用泥模鑄砲技術。至 18 世紀 50 年代以後，英國採用了先鑄成實心砲，然後用鏜孔機鏜出砲膛的技術；同一世紀最後的 15 年以來，英國又在泥模鑄砲的基礎上新創了砂型鑄砲技術；1790 年以後，英國鑄砲用的膛杆由起初的水輪或馬力驅動，改為蒸汽機驅動，大大提高了生產效率。（註 10）英軍鐵砲的優勢與其材質的優良有關，而材質又與工業革命後英國冶鐵技術的發展有密切聯繫。

9. 茅海建主編，《清代兵事典籍檔冊匯覽》（北京：學苑出版社，2005），卷 28，頁 136。

10. A. N. Kennard, *Gunfounding and Gunfounders: A Directory of Cannon Founders from Earliest Times to 1850* (London: Arms and Armour Press, 1986), pp. 161-162.

英國學者 R. F. Tylecote 的《冶金史》(1976) 中對 18 世紀後期至 19 世紀初期英國冶鐵技術發展有詳細的記載，其中並歸納出之所以生產灰口鑄鐵來替代性脆的白口鑄鐵的技術原因，並說明了當時英國採用高爐生鐵的精煉技術。「18 世紀中葉，高品質的不列顛加農砲是用反射爐或有焰爐將高爐生鐵再熔化而鑄成的。用反射爐進行再熔化能使渣漂離，鐵中雜質減少，熔化的條件是弱氧化性的，有若干碳被還原出來，從而形成質更軟、斷口色更灰、流動性高的鑄鐵」。(註 11)

歐洲學者記載了攪拌 (puddling) 煉鐵法即炒鋼法 (steel-puddling method) 生產低碳鋼或熟鐵的技術：18 世紀後期，採取了所謂攪煉工藝，就是用長長的鋼棒將反射爐中的液態生鐵加以攪拌。這樣一來，不僅使爐面溶液，而且是使全爐的溶液都能接觸到空氣，從而使脫碳更加徹底，得到可以進行鍛造加工的鐵，稱之為鍛鐵 (熟鐵)。用攪煉法生產的這種鍛鐵，品質不如炭鐵，但價格便宜得多。1829 年又前進了一步，即應用鼓風爐本身餘氣進行預熱鼓風，這種發明使得在消耗同等燃料的情況下，攪煉熟鐵的產量增加到 3 倍。還有一種改進是「濕」攪煉法，即在爐膛鋪一含有氧化鐵的小塊爐渣，它與金屬中的碳素相化合，在表層之下產生一氧化碳，形成加速脫炭進程的泡沸攪動。(註 12) 1982 年 W. McNeill 的著作中有關於英國用攪煉法生產熟鐵製造鐵砲的記載：「成品是成本低廉、成型方便的熟鐵，適用於製造大砲以及無數其他用途」。(註 13)

由以上記載可以看出，英國工業革命發生後，冶鐵技術已發生了重大革新，鐵砲的主要材質為灰口鑄鐵，還有使用低碳鋼或熟鐵所製造的火砲。

英國鑄鐵生產技術的改進，一來增加了生鐵產量、保證了鑄砲的原料需求，二來則提高了鐵砲的品質，C. Singer 編的《技術史·工業革命》(冊 IV) 中便如此記載：「英國生鐵產量在 1835 年達到一個高峰值，從而保證了鐵砲的大批鑄造。鴉片戰爭前夕的 1839 年，英國生鐵產量高達 170 萬噸。從鼓風爐中得到的用焦炭煉製的鐵經過再熔，在均質性和純淨方面都大有改進。這種改進對於國家俱有重要意義，因為這可以鑄造更高品質的大砲，特別是皇家海軍的大砲。在過去

11. Ronald F. Tylecote, *A History of Metallurgy* (London: Mid-country Press, 1976), p. 126.

12. T. N. Pupy, *The Evolution of Weapons and Warfare*, 見 [美] 杜普伊著，王建華等譯，《武器和戰爭的演變》(北京：軍事科學出版社，1985)，頁 209。

13. William Hardy McNeill, *The Pursuit of Power: Technology, Armed Force, and Society since A.D. 1000* (Chicago: University of Chicago Press, 1982), pp. 86-231.

的 20 年，英國沒有一門海軍大砲發生過爆炸」。(註 14)

三、中英鐵砲材質的金相學研究

(一) 樣品的數量、選取及實驗方法

學術界所說的「鴉片戰爭」通常是指「第一次鴉片戰爭」，發生於 1840-1842 年。所說的「鴉片戰爭時期」，不僅僅只是 1840-1842 這兩年，通常指該戰爭前後不長的一段時間，即 19 世紀 20 年代以來迄至第二次鴉片戰爭（1856-1860 年）之前的一段時間，在《鴉片戰爭檔案料》中選材涵蓋時期為 1805 至 1850 年，本文擬採用此段時間進行中英鐵砲材質的比較研究。中英鐵砲實物在中國沿海省份遺留較多，主要放置在博物館及復原的古砲臺上，鐵砲的年代主要是集中在鴉片戰爭前後，但鴉片戰爭前幾十年甚至上百年的鐵砲也有一定量被保存下來，其他少數則為第二次鴉片戰爭時期的鐵砲，其形制及製作方法沿襲未有改變，因為鐵砲使用具有連續性，這些在鴉片戰爭前後的鐵砲均對戰爭起過作用。鴉片戰爭時期鐵砲樣品的選取年代均在此範圍內。有關英軍和清軍鐵砲的區分，主要根據形制和砲身所鑄銘文、字母、符號等特徵，以及文物考古學家的考證結果。

作者在北京、天津、山東蓬萊、江蘇南京、鎮江、揚州、浙江鎮海、福建泉州、廈門、廣東廣州、佛山、虎門、韶關、廣西梧州等地的 26 個市、縣博物館、砲臺文管所，先後調查了 324 門鐵砲及 200 餘顆砲彈。其中鴉片戰爭前後的清軍鐵砲 183 門，對其中 131 門測量了尺寸，從 112 門砲上取樣 141 個（注：泥模鑄砲技術是砲耳、砲身和砲尾先鑄，爾後再鑄接在一起，故取樣部位常在砲耳、火門、砲尾、砲口，零星在砲身處各取一個），除掉銹蝕嚴重的樣品，對其中 75 個樣品進行了金相檢驗。至於英軍鐵砲部份則考察了 141 門，並對其中 79 門測量了尺寸，從 53 門砲上取樣 77 個，其中銹蝕嚴重的樣品 1 個，另對其中 68 個樣品進行了金相檢驗。法國砲考察了 1 門，取樣 1 個。在見到的 200 多顆清軍砲彈中取

14. C. Singer, *A History of Technology. Volume IV, The Industrial Revolution 1750 to 1850* (Gloucestershire: Clarendon Press, 1958). 見查理斯·辛格等主編，辛元鵬等譯，《技術史·工業革命》，第 4 冊（上海：上海科技教育出版社，2004），頁 68。

樣 4 個。英軍砲彈考察 5 個，取樣 1 個。樣品涵蓋了主要鐵砲類型：清軍鐵砲有紅夷砲、雙層體鐵砲、鐵模砲、子母砲、抬砲、沖天砲等幾種；英軍鐵砲有加農砲、榴彈砲、卡龍砲三種。

對鐵砲樣品選取橫截面，用酚醛樹脂鑲嵌後，用不同粒度的砂紙從粗到細進行力度均勻的打磨，再進行拋光處理以達到金相考察的要求，最後以 3% 硝酸乙醇溶液進行浸蝕以便達到顯現金相的要求。另使用 XJP-100 型金相顯微鏡進行組織觀察。觀察的 176 個鐵砲樣品中，銹蝕嚴重、無金屬殘留的有 33 個。其餘 143 個未銹蝕或銹蝕中有金屬殘留的樣品，則使用 Leica DM4000M 型金相顯微鏡進行金相拍照，其中清軍鐵砲 75 個，英軍鐵砲 68 個，清軍鐵砲彈 4 個，英軍鐵砲彈 1 個。

值得指出的是，本研究樣品多取自鐵砲表面，而鐵砲屬於較大型厚壁鑄件，各部位成分、組織可能存在不均勻現象。另外，鐵砲在發射過程中會產生較大熱量，表面可能在空氣中產生氧化脫碳的現象，所以有的樣品金相檢測到的組織僅代表局部，不完全是整個砲體的組織狀態，由於鐵砲的文物性質，限制了系統取樣，本文僅就所取到的樣品金相組織，結合文獻記載討論鐵砲的材質問題。

(二) 金相檢測結果

金相檢測的 143 個（清軍 75 個，英軍 68 個）樣品中，屬於砲體部位的樣品共有 108 個，其餘包含火門樣品 25 個，砲尾中特置鐵芯樣品 3 個，及清軍雙層鐵砲內外膛 7 個樣品。樣品編號是依鐵砲的存放地點、國別和取樣部位，按漢語拼音的第一個字母依次標識，如 Zxy8-k，即為珠海博物館新館藏的第八門英軍鐵砲的砲口取樣。

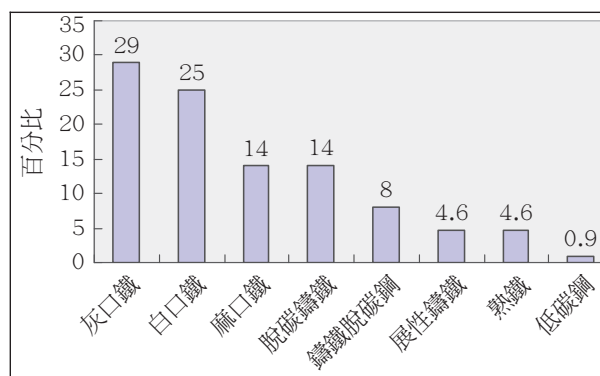
鐵砲砲體的金相組織：中英鐵砲砲體是鐵砲的最主要部位，包括砲內膛、砲身、砲耳、砲口、砲尾。通過中英鐵砲砲體 108 個樣品金相組織的檢測結果，對材質進行了判斷和統計，結果見表二及圖一至四的中英鐵砲砲體材質統計。

從表二可見中英鐵砲材質絕大多數是鑄鐵。鑄鐵是含碳量大於 2.11%（一般為 2.5-4%）的鐵碳合金。它是以鐵、碳、矽為主要組成元素，並比碳鋼（注：沒有加任何合金元素的普通鋼，simple steel）含有較多的錳、硫、磷等雜質的多元合金。碳在鑄鐵中可能以滲碳體（cementite Fe_3C ）或石墨（graphite）形式存

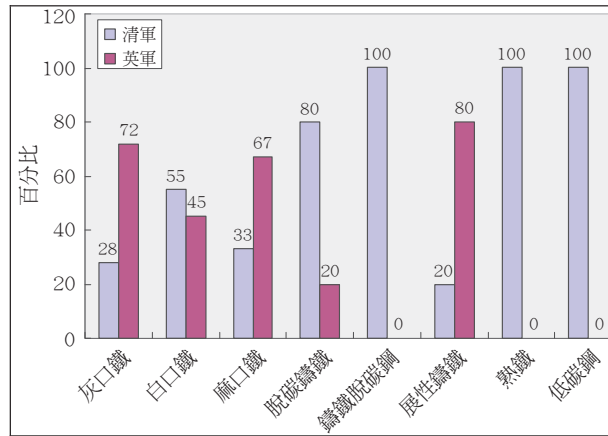
表二：中英鐵砲砲體的材質統計

中英鐵砲 組織 取樣 位置及個數	灰口鐵		白口鐵		麻口鐵		脫碳鑄鐵		鑄鐵脫碳鋼		展性鑄鐵		熟鐵		低碳鋼	
	清	英	清	英	清	英	清	英	清	英	清	英	清	英	清	英
砲內膛 12	1	2	2	2		3	1		1							
砲耳 33		10	2	8		2	3	1	1			3	3			
砲身 20	1	3	1		3	3	1	2	4			1			1	
砲口 13	1	3	3	2		1	1		1				1			
砲尾 30	6	4	7		2	1	6		2		1		1			
中英單計	9	22	15	12	5	10	12	3	9	0	1	4	5	0	1	0
中英總計 108	31		27		15		15		9		5		5		1	

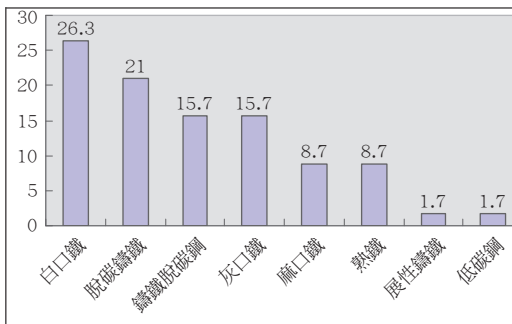
在，根據碳的存在形式，鑄鐵可分為：白口鑄鐵、灰口鑄鐵、麻口鑄鐵。圖一顯示 108 個中英鐵砲砲體各種材質所佔的比例。總體看來以灰口鑄鐵為主、白口鑄鐵次之、麻口鑄鐵（mottled cast iron）佔一定比例。此外還有白口鑄鐵經脫碳獲得的脫碳鑄鐵、鑄鐵脫碳鋼。此外還有少量展性鑄鐵、熟鐵、低碳鋼。圖二顯示，中英鐵砲砲體在材質上存在差異：英軍灰口鑄鐵和麻口鑄鐵的比例高於清軍，而清軍白口鑄鐵比例多於英軍。英軍展性鑄鐵多於清軍，而清軍脫碳鑄鐵比例高於英軍。清軍存在鑄鐵脫碳鋼、熟鐵和低碳鋼組織的樣品，而英軍樣品中未發現或很少發現此類組織存在。從圖三、圖四看，清軍鐵砲砲體以白口鑄鐵為主，佔到 26.3% 的比例；英軍鐵砲以灰口鑄鐵為主，比例佔到 43.1%。



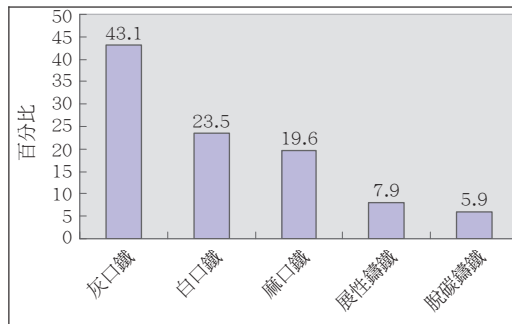
圖一：中英鐵砲砲體 108 個樣品的材質統計



圖二：中英鐵砲砲體 108 個樣品中各自材質所佔的百分比統計



圖三：清軍鐵砲砲體 57 個樣品的材質百分比統計

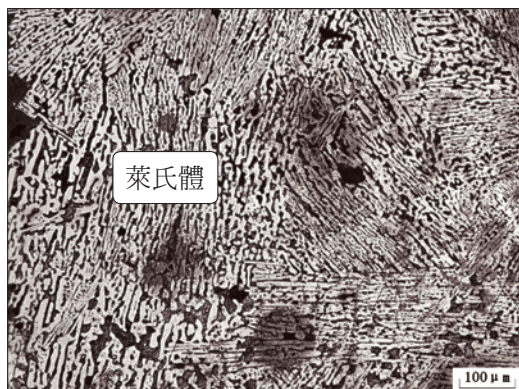


圖四：英軍鐵砲砲體 51 個樣品的材質百分比統計

中英鐵砲砲體材質的典型金相組織總結如下：

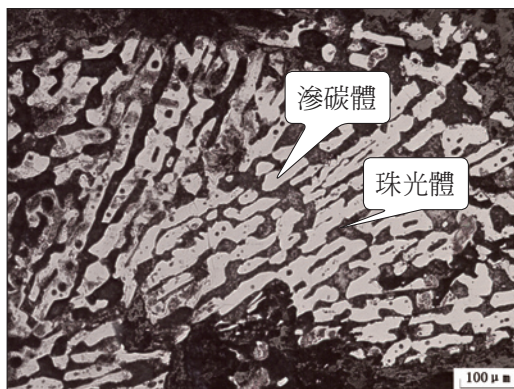
1. 白口鑄鐵

白口鑄鐵所含的碳，除少數溶於鐵素體（ferrite）之外，其餘的都以滲碳體（cementite）的形式存在於鑄鐵中，其斷口呈銀白色，故稱白口鑄鐵。其金相組織與含碳量有關，當含碳量為 4.3%時，組織為萊氏體（ledeburite）；含碳在大於 2.0%小於 4.3%範圍內，組織為珠光體（pearlite）和萊氏體。含碳大於 4.3%時，組織為滲碳體和萊氏體。滲碳體硬度高，但延伸率、衝擊韌性幾乎為零，白口鑄鐵由於以滲碳體為基本組織，所以性能又硬又脆，不能鍛造、加工。白口鑄鐵樣品清軍有 15 個，英軍有 12 個。典型組織見圖五、圖六。



圖五：廣東珠海博物館新館藏的英軍加農砲砲口樣品(Zxy8-k)金相圖

白口鑄鐵組織：萊氏體，組織較細，晶粒取向明顯



圖六：廣東鴉片戰爭博物館「1842 年佛山造 6000 斤鐵砲」火門旁砲身樣品(Yb6-m)金相圖

白口鑄鐵組織：滲碳體，珠光體聚集並銹蝕

2. 灰口鑄鐵

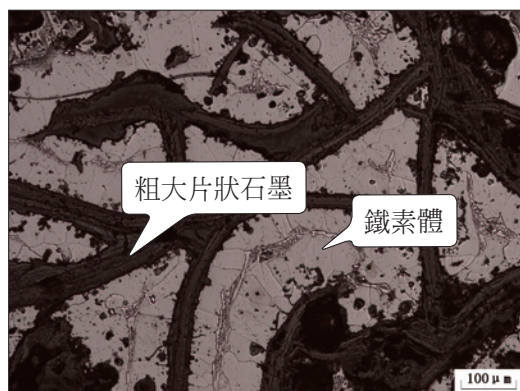
灰口鑄鐵的碳全部或大部分以石墨狀態存在，含碳量的 75-90% 為片狀石墨。其斷口呈暗灰色，故稱灰口鑄鐵。灰口鑄鐵的金相組織主要由片狀石墨、金屬基體和晶界共晶物組成。和白口鑄鐵的性能相比，灰口鑄鐵硬度低、脆性小；熔點低，流動性好，收縮率小，成分偏析少，具有良好的鑄造性能；由於石墨本身的潤滑作用，使灰口鑄鐵具有良好的切削加工與耐磨性能；還由於石墨對基體的割裂作用，而使震動能不利於傳遞，故灰口鑄鐵具有很好的減振性。

灰口鑄鐵性能取決於石墨（形狀、大小、分佈和數量）和基體組織。現代灰口鑄鐵中石墨的形狀、分佈狀態分為 A、B、C、D 等 6 型，其中 A 型為均勻分佈的片狀石墨；B 型為片狀與點狀聚集的菊花狀石墨。石墨的長度分為 8 級，在大於 1.0mm 和小於 1.5mm 之間變化。一般經驗證明，石墨片細小，在 6-7 級，呈無方向性均勻分佈的灰口鑄鐵強度較高。石墨片數量愈多，愈粗大，分佈愈不均勻，對灰口鑄鐵機械性能下降影響愈大。由於片狀石墨會破壞灰口鑄鐵基體的連續性，所以片狀石墨越大，灰口鑄鐵緻密性越低。片狀石墨的尖銳頭部易引起應力集中，而菊花狀石墨組織中石墨聚集無方向性，在共晶團中心區域石墨片細小，週邊變粗大，對基體割裂作用小於粗大片狀石墨。所以具共晶團中心區域石墨有菊花狀石墨形態的灰口鑄鐵的性能要好於片狀粗大的石墨構成的灰口鑄鐵。

灰口鑄鐵的珠光體基體比鐵素體基體耐磨，基體從鐵素體變成珠光體，其硬度可提高 50% 左右，隨之抗拉強度和抗壓強度也有提高。

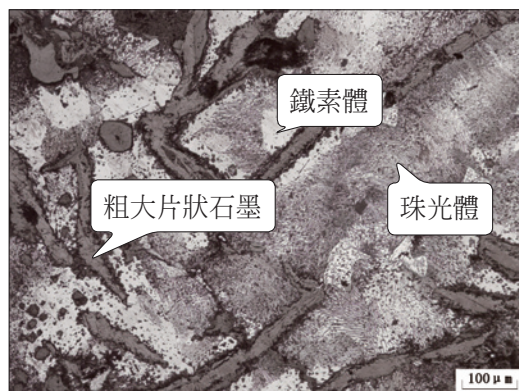
具有灰口鑄鐵組織的樣品清軍有 9 個，英軍有 22 個。清軍和英軍灰口鑄鐵的石墨形態不同，清軍未見菊花狀石墨、粗大石墨較少。英軍部分樣品則存在菊花狀石墨。

粗大片狀石墨（典型組織見圖七、圖八）。



圖七：廣東虎門鴉片戰爭博物館展覽的英軍加農砲砲口樣品(yby-k)金相圖

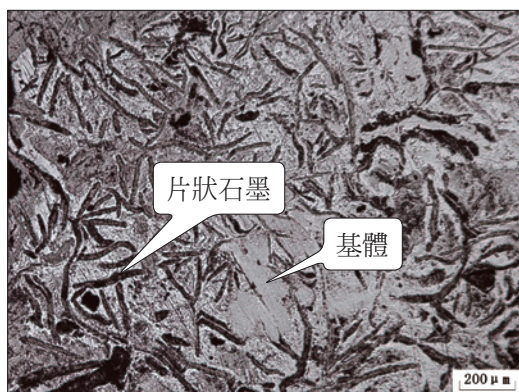
灰口鑄鐵組織：基體以鐵素體為主，少量珠光體，粗大片狀石墨



圖八：廣東珠海博物館新館藏的英軍榴彈砲砲耳樣品(Zxy1-e)金相圖

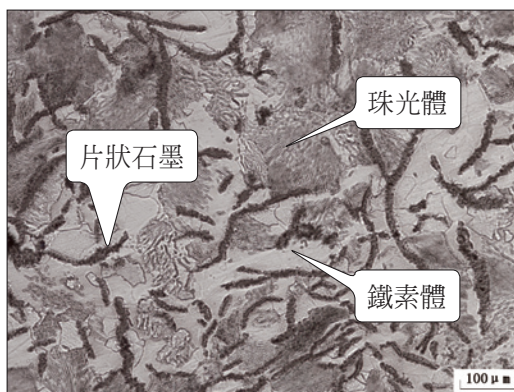
灰口鑄鐵組織：基體以珠光體為主，少量鐵素體，粗大片狀石墨

片狀石墨（典型組織見圖九、圖十）。



圖九：天津大沽砲臺展覽的清軍重型紅衣砲砲尾樣品(Dg2-w)金相圖

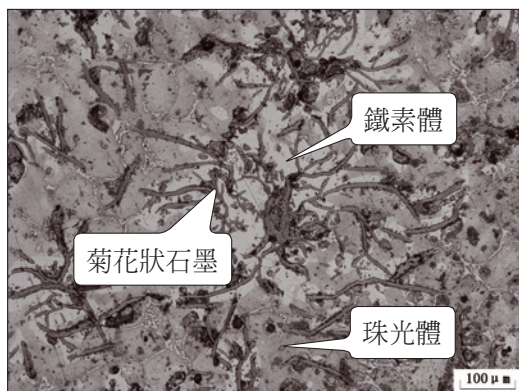
灰口鑄鐵組織：基體銹蝕，片狀石墨



圖十：江蘇揚州博物館藏的清朝 1843 年造雙層體鐵砲砲身外膛樣品(yzscp-s)金相圖

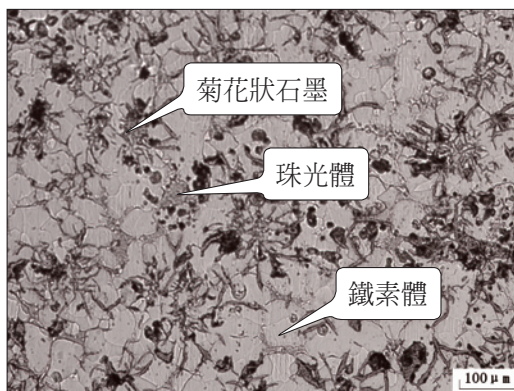
灰口鑄鐵組織：鐵素體、珠光體基體上分佈片狀石墨

菊花狀石墨（典型組織見圖十一、圖十二）。



圖十一：廣西梧州博物館老館藏的英軍加農砲砲口樣品(Wbly-k)金相圖

灰口鑄鐵組織：珠光體，鐵素體，菊花狀石墨



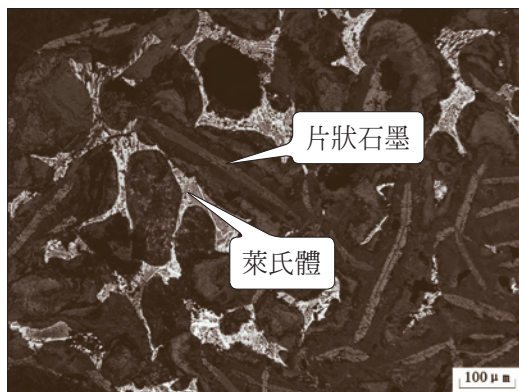
圖十二：廣西梧州博物館新館展覽的英軍榴彈砲砲耳樣品(Wxy1-e)金相圖

灰口鑄鐵組織：鐵素體，少量珠光體，菊花狀石墨

3. 麻口鑄鐵

麻口鑄鐵具有灰口鑄鐵和白口鑄鐵的混合組織。即麻口鑄鐵中的碳一部分以滲碳體形式存在，另一部分以石墨狀態存在。斷口呈相間的白亮游離滲碳體和暗灰色的石墨的組合，呈麻點狀，故稱為麻口鑄鐵。麻口鑄鐵中由於滲碳體的存在，仍有硬脆性，但性能要優於白口鑄鐵。

具有麻口鑄鐵組織的樣品中，清軍鐵砲有 5 個，英軍鐵砲有 13 個。典型組織見圖十三、圖十四。中英雙方的麻口鑄鐵在石墨形態上也有所不同。英軍 13 個鐵砲樣品中，其石墨形態呈菊花狀的占分析樣品的 15%。清軍鐵砲樣品中的石墨則均為片狀，未見菊花狀石墨。



圖十三：中國人民革命軍事博物館藏的英軍在廈門遺留的艦砲砲膛樣品(Jby1-t)金相圖

麻口鑄鐵組織：基體銹蝕，殘留片狀石墨及較多萊氏體



圖十四：廣東珠海博物館新館藏英軍加農砲砲耳樣品(ZXY7-e)金相圖

麻口鑄鐵組織：珠光體和鐵素體基體，局部萊氏體，石墨聚集分佈

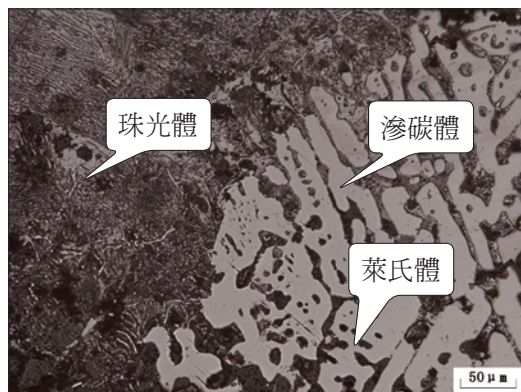
4. 脫碳鑄鐵和鑄鐵脫碳鋼

脫碳鑄鐵是白口鑄鐵鑄件經脫碳退火處理，鑄件表層已經脫碳並成為鋼的組織，而心部仍為白口鑄鐵組織。鑄鐵脫碳鋼是白口鑄鐵鑄件在脫碳退火過程中，由於時間和溫度控制適當，基本不析出石墨（如析出石墨則成為展性鑄鐵），而使生鐵中多餘的碳被氧化成氣體脫掉，從而使鑄件表面和心部都成為鋼的組織。

火砲由於連續發射，產生很大熱量，暴露於空氣中的表面，部分碳被氧化，類似生鐵退火處理過程。由於樣品多取自砲身或砲口表面，所以金相檢測發現脫

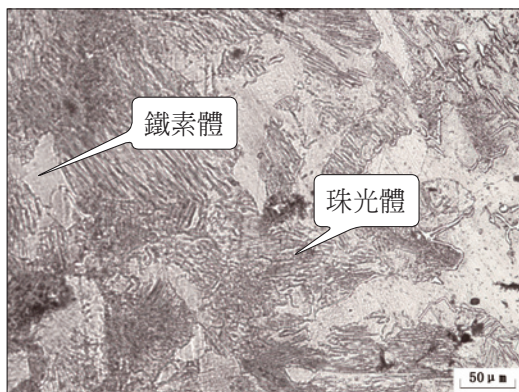
碳鑄鐵和鑄鐵脫碳鋼組織。

清軍鐵砲樣品的組織中，脫碳鑄鐵 12 個，鑄鐵脫碳鋼 9 個。英軍 3 個樣品組織均為脫碳鑄鐵，未見鑄鐵脫碳鋼組織。典型組織見圖十五、圖十六。



圖十五：廣東虎門威遠砲臺展覽的 1844 年佛山造的 4000 斤鐵砲砲口樣品(Wypt3—k)金相圖

脫碳鑄鐵組織：樣品左側為珠光體、右側為萊氏體和滲碳體



圖十六：廣東鴉片戰爭博物館展覽的 1842 年造的 2500 斤鐵砲砲尾樣品(Yb10-w)金相圖

鑄鐵脫碳鋼組織：鐵素體和珠光體

5. 展性鑄鐵

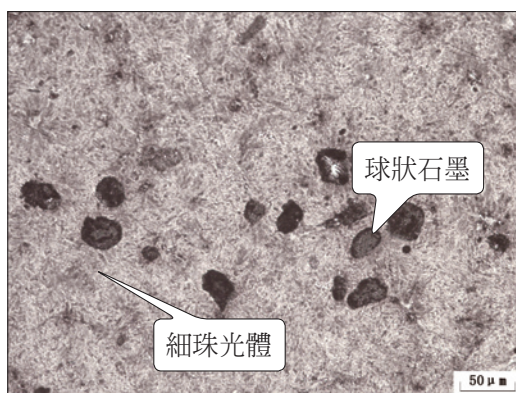
展性鑄鐵也叫可鍛鑄鐵、韌性鑄鐵，是白口鑄鐵經石墨化退火（或脫碳退火）處理，使石墨呈團絮狀，得到的一種高強度、高延展性和高韌性的鑄鐵。具有展性鑄鐵組織的樣品中，清軍有 1 個，英軍有 4 個。其中石墨形態有呈球狀聚集的和團絮狀的兩種，典型組織見圖十七、十八、十九。

6. 熟鐵和低碳鋼

熟鐵、鋼和生鐵都是鐵碳合金，以碳的含量多少來區別。一般含碳量小於 0.02% 的叫熟鐵或純鐵。鋼的含碳量在 0.02%—2.1% 之間，為了保證其韌性和塑性，含碳量一般不超過 1.7%。低碳鋼含碳量 $\leq 0.25\%$ 。熟鐵最早用木炭還原鐵礦石製得，後來用生鐵在反射爐中高溫攪煉製成。熟鐵質軟，延展性、韌性好，磁導率高。鋼具有生鐵和熟鐵兩種優點，低碳鋼易於接受各種加工如鍛造、焊接和切削。

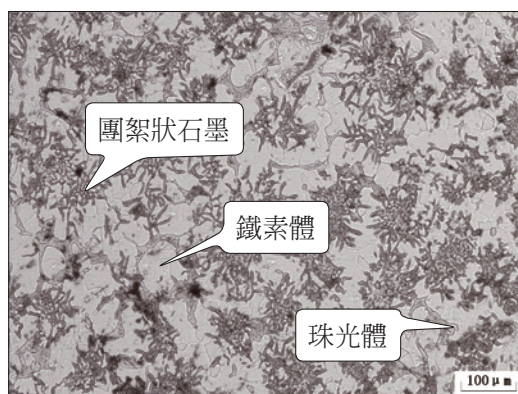
清朝雙層體鐵砲的砲身和內膛金相組織：清朝子母砲和紅夷砲存在著雙層體

結構的砲型，紅夷砲的內、外膛由不同的材質製作（圖二十），外膛一般為鑄鐵，內膛為熟鐵或低碳鋼。考察中見到了鴉片戰爭時期的 2 門雙層體子母砲、7 門雙層體紅夷砲。本文統計了 6 門紅夷砲，顯微組織的統計見表三。其中內膛 3 個樣品，有熟鐵 2 個和低碳鋼 1 個；外膛 4 個樣品，有灰口鑄鐵 2 個、鑄鐵脫碳鋼和白口鑄鐵各 1 個。內膛顯示組織不均勻，鐵素體和珠光體間雜，夾雜物變形，可能是用廢鋼鐵料鍛打而成，典型組織見圖二十一。



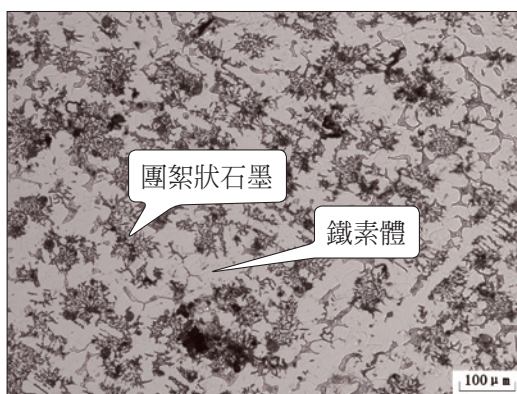
圖十七：天津大沽砲臺展覽的清朝紅夷重
砲砲尾樣品(Dg10p-w)金相圖

展性鑄鐵組織：細珠光體基體和球狀石墨



圖十八：廣東珠海博物館老館藏的英軍
加農砲砲耳樣品(Zbl2y-e)金
相圖

展性鑄鐵組織：基體為鐵素體和少量珠光體，團絮狀石墨



圖十九：廣東珠海博物館新館藏的英軍
卡龍砲砲耳樣品(Zxy4-e)金
相圖

展性鑄鐵組織：鐵素體基體和團絮狀石墨

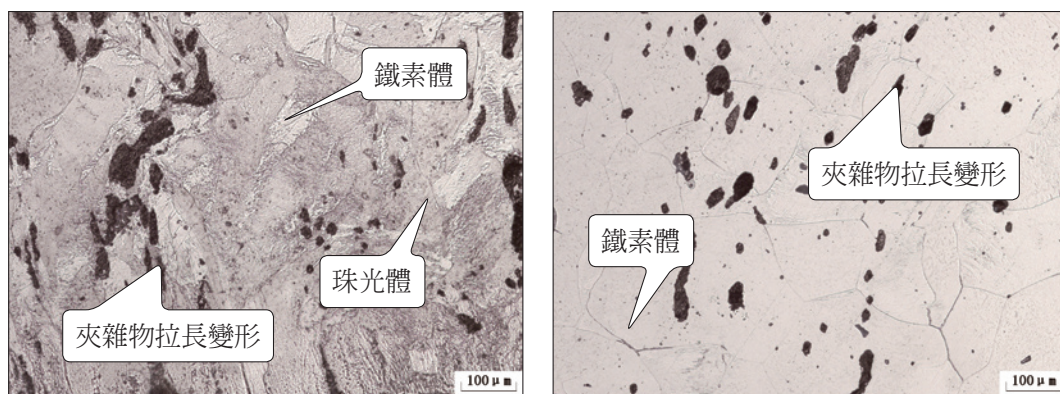


左圖

中圖

右圖

圖二十：江蘇南京博物館(左圖)、中國人民革命軍事博物館(中圖)和天津大沽砲臺(右圖)展覽的鴉片戰爭時期的清朝雙層體鐵砲



圖二十一：天津大沽砲臺展覽的清軍雙層體鐵砲內膛樣品(Dg7-i)金相圖

樣品組織不均勻，左圖為樣品邊部，是珠光體為主、少量鐵素體與大量變形夾雜物的低碳鋼組織。右圖為樣品心部，是鐵素體與大量變形夾雜物的熟鐵組織

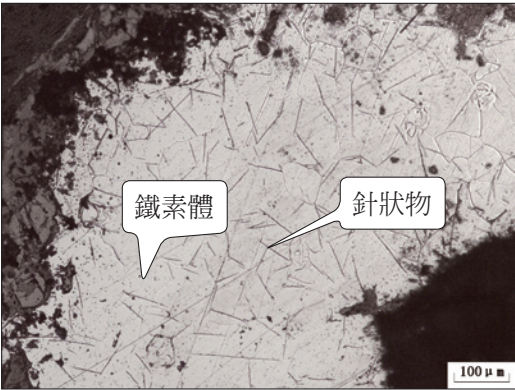
表三：清朝雙層體鐵砲的砲身和內膛金相組織統計

取樣位置、個數 清朝雙層體紅夷鐵砲 內外膛的材質	內膛		外表		
	熟鐵	低碳鋼	灰口鑄鐵	鑄鐵脫碳鋼	白口鑄鐵
清軍雙層體鐵砲的內膛樣品 3	2	1			
清軍雙層體鐵砲的外層樣品 4			2	1	1

中英鐵砲的火門、尾紐金相組織：在鐵砲的火門和尾紐的組織上，中英有較大差別，本文統計了清軍鐵砲火門 8 個樣品，英軍鐵砲火門 17 個樣品（表四），清軍鐵砲火門材質有：熟鐵、低碳鋼和亞共析鋼（hypoeutectoid），與砲體組織差別較大。典型組織見圖二十二、二十三。英軍鐵砲火門金相組織有灰口鑄鐵、白口鑄鐵、麻口鑄鐵、脫碳鑄鐵、鑄鐵脫碳鋼、低碳鋼，與砲體組織基本相同。

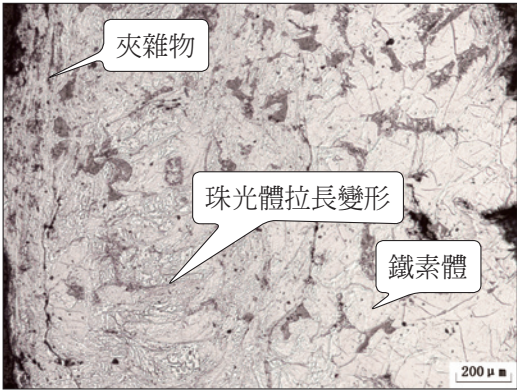
表四：中英鐵砲火門的金相組織統計

中英鐵砲火門組織 樣品個數	清軍		英軍					
	熟鐵	低碳鋼	灰口鑄鐵	白口鑄鐵	麻口鑄鐵	鑄鐵脫碳鋼	低碳鋼	脫碳鑄鐵
清軍 8 個	5	3						
英軍 17 個			11	2	1	1	1	1



圖二十二：廣東虎門沙角砲臺展覽的佛山 1835 年造的抗英「功勞砲」火門樣品(Sjpt-m)金相圖

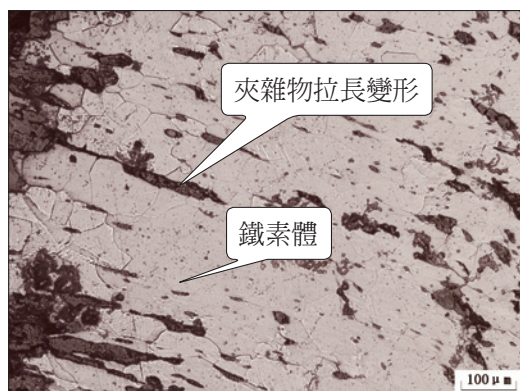
熟鐵組織：鐵素體，大量針狀析出物



圖二十三：廣東韶關博物館藏的 1842 年佛山造的 5000 斤鐵砲火門樣品(Sgb1-m)金相圖

熟鐵和低碳鋼鍛打組織：右側鐵素體，左側珠光體，夾雜物變形

清軍有些鐵砲的砲尾芯部有熟鐵棒存在，與砲尾白口鑄鐵形成「複合材料」，提高了砲尾的機械性能。熟鐵棒組織不均勻，具有加工組織，夾雜物拉長變形，可能係鋼鐵廢料鍛打而成。典型組織如圖二十四、二十五所示。



圖二十四：廣東韶關博物館展覽的
1842 年佛山造的 5000 斤鐵
砲砲尾伸出的鐵棒樣品
(Sgb1-j)金相圖

熟鐵鍛打組織：鐵素體，夾雜物拉長變形



圖二十五：天津大沽砲臺展覽的清軍雙
層體鐵砲砲尾中心鐵棒樣品
(Dg7-w)邊部金相圖

低碳鋼鍛打組織：拉長變形的鐵素體、珠光
體晶粒及夾雜物

(三) 中英鐵砲不同類型的鐵砲材質統計

對清軍和英軍鐵砲不同類型的樣品材質進行統計，參見表五、表六。結果表明：清軍鐵砲以紅夷砲為主，其材質主要是白口鑄鐵。英軍鐵砲中以加農砲占主導，其材質主要是灰口鑄鐵。此結果反映出，中英雙方主導型鐵砲——紅夷砲與加農砲屬於相同砲種，但砲體材質不同。清軍鐵模砲屬於榴彈砲型，與英軍榴彈砲相比，在材質上存在差異，清軍鐵模砲材質是白口鑄鐵和麻口鑄鐵，而英軍榴彈砲材質以灰口鑄鐵為主。中英主要砲型的材質差異是影響鐵砲質量高低的重要因素。

表五：清軍不同類型鐵砲材質的統計

個數、比例、 類型、總數	清軍每種類型鐵砲組織的個數及在每種類型中占總數的比例 (%)						
	白口鑄鐵	灰口鑄鐵	鑄鐵脫碳鋼	脫碳鑄鐵	熟鐵	麻口鑄鐵	展性鑄鐵
清軍紅夷砲 47 個	11(23%)	10(21%)	9(19%)	10(21%)	3(6%)	3(6%)	1(2%)
清軍鐵模砲 4 個	2(50%)					2(50%)	
清軍子母砲 2 個	1(50%)				1(50%)		
清軍沖天砲 1 個		1					

表六：英軍不同類型鐵砲材質的統計

英軍鐵砲組織類別 及比例 類型個數	灰口鑄鐵	白口鑄鐵	麻口鑄鐵	脫碳鑄鐵	展性鑄鐵
英軍加農砲 38 個	14(37%)	10(26%)	10(26%)	2(5%)	2(5%)
英軍榴彈砲 19 個	15(79%)	2(10.5%)	2(10.5%)		
英軍卡龍砲 1 個					1

(四) 中英同一門鐵砲不同部位取樣的材質統計

對中英鐵砲在同一門上不同部位取的樣品進行材質統計，結果表明清軍 8 門鐵砲中有 5 門不同部位組織完全相同；3 門組織不同，占 37.5%。英軍 17 門鐵砲中，有 6 門不同部位組織不同，占 39%。從所取樣的組織看，中英雙方各部位組織相同與組織不同的鐵砲比例都大約是 3:2。將不同部位組織變化的樣品列於表七，可見清軍 3 門鐵砲，各自取樣都在砲體，只是部位不同，材質變化多樣。這可能與鐵砲採用分鑄技術有關，一般是砲耳、砲尾分別先鑄，爾後鑄造砲身，再將其鑄接在一起。各部位鐵水成分、鑄造溫度和冷卻速度都有可能不同，這是導致各部位材質不同的原因之一。此外，火砲多次發射，砲體暴露於空氣中，存在白口鑄鐵表面氧化脫碳的可能性，不同部位脫碳與否及脫碳程度如何是受多種因素制約的，這也是導致各部位材質不同的一個原因。英軍 6 門鐵砲每門取樣基本上是砲體和火門兩個部位，其中砲耳為白口鑄鐵的兩個樣品，火門為硬度、脆性都較白口鑄鐵低的脫碳鑄鐵或低碳鋼。其餘砲體為灰口鑄鐵和展性鑄鐵的樣品，其相應的火門組織變化規律性不明顯。這可能與砂型整體鑄砲技術有關。火門都不是白口鑄鐵是這 6 門英砲共同的特點。

表七：中英同一門鐵砲不同部位取樣的材質統計說明

	地點及編號	取樣部位及材質	
清軍鐵砲	福建廈門博物館藏的 1852 年福建造的艦砲樣品砲耳 Xb2-e、砲尾 Xb2-w	砲耳 白口鑄鐵	砲尾 鑄鐵脫碳鋼
	福建廈門博物館展覽的重型紅夷砲樣品砲耳 xb3-e、砲身 Xb3-s	砲耳 脫碳鑄鐵	砲身 麻口鑄鐵
	廣東虎門鴉片戰爭博物館藏的佛山 1842 年造的 6000 斤海防砲樣品砲耳 yb6-e、火門旁砲身 yb6-m	砲耳 灰口鑄鐵	火門旁 白口鑄鐵
英軍鐵砲	廣東虎門鴉片戰爭博物館的英軍榴彈砲樣品砲身 Yb7-s、砲身範線 yb7-s	砲身 灰口鑄鐵	砲身範線 脫碳鑄鐵
	廣西梧州博物館藏的英軍卡龍砲樣品砲身 Wxy3-s、火門 wxy3-m	砲身 展性鑄鐵	火門 灰口鑄鐵
	廣西梧州博物館藏的英軍加農艦砲樣品砲耳 Wxy4-e、火門 wxy4-m	砲耳 白口鑄鐵	火門 脫碳鑄鐵
	廣西梧州博物館藏的英軍榴彈艦砲樣品砲耳 Wxy8-e、火門 wxy8-m	砲耳 灰口鑄鐵	火門 鑄鐵脫碳鋼
	廣西梧州博物館藏的英軍加農艦砲樣品砲耳 Wx15-e、火門 wx15-m	砲耳 白口鑄鐵	火門 低碳鋼
	廣西梧州博物館藏的英軍加農艦砲樣品砲耳 wxy17-e、火門 wxy17-m	砲耳 灰口鑄鐵	火門 麻口鑄鐵

(五) 中英鐵砲材質優劣的研究總結

金相檢測表明，清軍鐵砲組織以白口鑄鐵為主，英軍鐵砲白口鑄鐵也有一定數量，中英鐵砲白口鑄鐵組織都有受熱跡象，珠光體存在聚集現象。這是火砲使用中連續發射砲彈，使砲體發熱的結果。

中英雙方樣品都有脫碳鑄鐵組織，清軍較英軍多，英軍只在個別鐵砲火門部位發現。脫碳鑄鐵和鑄鐵脫碳鋼工藝在中國戰國晚期之前就已經發明，當時工匠為了改善白口鑄鐵鑄件的脆性，有意識地進行退火熱處理。退火鑄件一般都是農具，也有板材，器形不大，放在退火爐中進行氧化脫碳處理。鐵砲體積大，重達千斤、萬斤以上，不可能在退火爐內進行熱處理。前已論及這兩種組織應是鐵砲在發射中白口鑄鐵氧化脫碳的結果。清軍具有這兩種組織的鐵砲數量遠多於英軍，如果考慮到脫碳鑄鐵和鑄鐵脫碳鋼是白口鑄鐵脫碳所致，則清軍鐵砲未經使用前白口鑄鐵數量可佔到檢測總數的 63% (圖三)。而英軍只有少量砲體具有脫碳

鑄鐵組織，未發現鑄鐵脫碳鋼組織，這與英軍鐵砲材質以灰口鑄鐵為主有關。

清軍雙層體鐵砲的內膛為熟鐵或低碳鋼組織，外表為鑄鐵。此類型火砲稱得上是一種「複合材料」，具有良好的機械性能和力學性能，會形成內壁受壓、外壁受拉的效果，分佈均勻的各層體應力都做了功，如此砲體要比同樣壁厚的單層體火砲強度要高得多，可以克服單層體白口鑄鐵材質的火砲使用中容易開裂、炸膛的缺陷。這在當時是不小的創舉。印度隨後也發明了此複合層火砲技術，歐洲火器界有此工藝，卻是 19 世紀 50 年代的事情了。但此種火砲品質雖好，製造卻很複雜，需要很多的時間和大量的資金。故在中英鴉片戰爭始終，所佔比例不大，發揮作用有限。

清軍鐵砲砲尾內中心有用熟鐵和低碳鋼製成的棒芯。此棒芯是鑄砲時預先插入泥範內，爾後澆注生鐵將其封住，形成所謂的複合材料。由於尾紐是一圓球體，起穩定、拴放繩子、俯仰與左右旋轉之用，是戰時多用之部位，需要的材料要具有較好的機械性能。棒芯的使用起到加固尾紐的作用，這是清軍為克服白口鑄鐵的脆性所採取的又一措施。

清軍鐵砲火門的製作是用熟鐵纏絲放進火門管，爾後用鑽杆鑽就。丁拱辰在 1841 年編成的《演砲圖說》裏，介紹了他改良過的泥模鑄砲技術。其中關於火門的製作過程如下：引門用熟鐵打就空心，引門二枝安於生鐵藥膛底下兩旁，其通內之小乳，必須自後微斜，前恰至藥膛底面，不可進前分毫，引門小孔之中，必用泥塞滿，鑄好之後，上下兩孔之後俱宜鑽通。清軍之所以用熟鐵單獨製作火門，而英軍多數火門材質與砲體沒有區別，這是與二者鑄砲材質的差別相關連的。清軍砲體白口鑄鐵性脆且硬，不可能在上面鑽孔形成火門，只能用可以進行加工的熟鐵和低碳鋼單獨製作。而英軍砲體灰口鑄鐵由於片狀或菊花狀石墨的存在，使其具有優良的加工性能，可以在砲體上直接鑽火門孔。

四、影響中英鐵砲材質優劣的技術因素分析

(一)中英鐵砲的史料和金相組織的比較研究表明，中英鐵砲在材質上存在的差異，主要表現在清軍鐵砲材質以白口鑄鐵為主，而英軍鐵砲材質以灰口鑄鐵為主。之所以存在此差異是與冶煉技術直接相關的。

中國冶金技術有 2000 多年的歷史，生鐵的發明早於歐洲 1900 多年！《中國古代冶金》中指出：我國漢魏時期的生鐵錠，屬於低矽、中磷生鐵，含硫很低，適合鑄造農具、工具。^(註 15)中國生鐵的發明與冶鐵爐的結構直接相關。《中國冶金簡史》中指出：中國自西漢以來，生鐵冶煉鼓風豎爐得到迅速發展，這種冶鐵豎爐在中國延續使用了 2000 餘年。清初，屈大均在《廣東新語》裏記載的和嚴如煜《三省邊防備覽》裏記載的高爐爐高均為 1 丈 7-8 尺（約 5.76 米）。到鴉片戰爭時期，英國早已使用了近代高爐煉鐵，而清軍煉鐵爐仍為傳統的瓶形土高爐（中國第一座近代高爐直到 1894 年 5 月才在漢陽鐵廠建成開爐），一直到中華人民共和國成立後，在一些地方所使用的土高爐，仍然基本屬於同一種類型。^(註 16)今人研究認為：「鴉片戰爭前，清代最先進的冶鐵爐，仍是廣東明末遺制的瓶形高爐，這種高爐的最高產量一晝夜應是 3600 斤。……全國的生鐵產量最高時不到 2.5 萬噸，這個數字不及英國的 1/40」。^(註 17)由以上研究可以看出，鴉片戰爭時期，中國土高爐的鼓風設備為傳統的活塞式木風箱，採用畜力或水力驅動，風壓不高，風量不足，造成爐溫較低，致使煉出的鐵水含矽亦低，而矽是促使鑄鐵石墨化的元素，故澆注易生成灰口鑄鐵。清軍鐵砲也有其他好的材質，如文獻記載中有紫口鐵、青口鐵，不過所佔比例不大。

英國工業革命使冶鐵技術發生了革新。R. F. Tylecote 著的《冶金史》中對 18 世紀後期至 19 世紀初期英國冶鐵技術發展有詳細的記載：1. 煉鐵在以焦炭為燃料的高爐中進行。19 世紀初期以來，高爐繼續增加高度、擴大容積，到 1850 年已大致達到 14-15 米高。爐高與爐腹之比是 3.7 左右，爐腹角比較小，平均約 57 度。2. 鼓風採用蒸氣動力的鼓風機。1776 年 John Wilkinson 把蒸氣機應用到氣缸式鼓風機上，對高爐鼓風的是單缸風機。大約 1790 年採用複雜的雙動式鼓風機，並附有調壓器。1802-1813 年德比郡高爐使用兩個風嘴，對向地置於高爐兩邊。3. 採用預熱鼓風。熱風專利權所有人 J. B. Neilson 在克萊鐵廠的一個高爐上試驗預熱鼓風，把風溫提高 270°C，改進了生鐵品質，增加了渣的流動性。以此試驗為基礎，J. B. Neilson 取得了在蘇格蘭和英格蘭的專利。不久他改進了鼓風設備，

15. 北京鋼鐵學院編寫組，《中國古代冶金》（北京：文物出版社，1978），頁 54-59。

16. 北京鋼鐵學院編寫組，《中國冶金簡史》（北京：科學出版社，1978），頁 184。

17. 郝俠君，《中西 500 年比較》（北京：中國工人出版社，1989），頁 229-272。

製作了由一系列 U 形鑄鐵管組成的管式爐，強制風流經過被加熱的管式爐，使風溫達到 140°C。到 1831 年，卡爾德鐵廠風溫提高到 315°C。4. 爐料配比。1829 年所用爐料是焙燒的礦石、焦炭、石灰石，由於熱風的使用，燃料與礦石之比為 1.5:1。Wilkinson 已認識到錳的有利作用，並在高爐或沖天爐（Cupola）中加進了 MnO_2 。由以上敘述看出：鴉片戰爭時期，英國近代煉鐵高爐以焦炭為燃料，使用蒸氣動力、利用活塞式鼓風機進行強力鼓風，並採用預熱鼓風技術，使爐溫高，礦石中較多的矽被還原，使煉出的鐵水含矽高，澆注易生成灰口鐵。另外採用反射爐精煉鐵的技術，進一步減少了鐵中雜質，使鐵水品質提高。

(二)中英鐵砲的文獻研究、實地考察、金相實驗的結果表明，英軍鐵砲質量高於清軍。衡量鐵砲質量高低，主要看材質性能好壞、鑄件內部和外表有無缺陷、內膛和外表面的光潔度、砲體的規整性和砲膛對中性等。鐵砲質量高低與鑄造、加工技術直接相關，而鑄造、加工技術又與材質密不可分。

材質方面：灰口鐵性能要優於白口鐵。灰口鐵由於石墨析出，引起體積膨脹，可使凝固收縮值減小。因而鑄造鐵砲時，砲身凝固收縮率小，使鐵砲很規整。灰口鐵具有良好的流動性、產生分散縮松的傾向較白口鐵小，可提高鑄件品質。白口鐵由於碳當量低，在共晶凝固時沒有石墨析出，所以其凝固收縮值較大，鑄件易產生縮孔（Shrink hole）、縮鬆（Porosity）等缺陷。灰口鐵由於片狀石墨的存在，增加了灰口鐵的吸震性、減少了對外來缺口的敏感性，石墨還提高了導熱能力。這些優良特性都是白口鐵所不具備的。從整體上看，英軍鐵砲以灰口鐵為主，其品質必然優於以白口鐵為主的清軍火砲。

鑄造方面：清軍鐵砲多採用泥範鑄造技術：一則效率低，範模只能使用一次，用後打碎，一般是一模一砲。二則泥範透氣性差，鐵砲由於體積龐大，鑄型較厚，需要長時間烘乾與烘透，否則在熾熱的鐵水澆注時，所含水分產生的水蒸氣對泥芯與範面沖刷，燒損嚴重，致使鑄件內外表面產生許多蜂窩、孔洞等缺陷。三則生鐵澆注時鐵液常激動砲芯，導致範芯移位，造成鑄件不對中現象。四則砲彈也由泥範鑄造，表面存在範線，不光滑。五則清軍鑄砲採用了鐵模鑄造，雖提高了效率，但澆注後鑄件冷凝快，容易得到白口鐵，白口鐵的脆性使鐵砲性能下降。而此時的英軍火砲製造已發生了技術革新。一則採用砂型鑄砲技術，效率高。砂型可反覆使用，同一模可多次製作砂型，可成批鑄造同樣的火砲，為機械加工

帶來便利。如《演砲圖說輯要》(卷4, 頁13)中云:英44砲戰艦「砲位只長短兩式,長者同模鑄就,短者亦然,並無別式」。二則砂型透氣性好,免除長時間烘烤砂型,並減少鑄件疏鬆、氣孔、砂眼等缺陷。R. F. Tylecote 著的《冶金史》中說:採用粘土低達5-10%的天然砂,並把砂弄濕,就能使它具有足夠的強度和透氣性,可以不費事地把鐵水或銅液直接澆入濕砂範中澆鑄實心砲,然後用大功率的鑽孔機鑽出砲膛,疏鬆區可徹底地排除。三則鑄實心砲,避免製型芯與固定型芯等工序。四則砲彈採用蠟模鑄造,消除了範線,表面光滑。如《海國圖志》卷88《西人鑄砲用砲法》中說:「其彈子乃用蠟模鑄就,渾圓如地球,腰間並不起微線」。

加工方面:火砲內膛狀況(口內徑、砲口角、彎曲度、壁厚差、藥室尺寸、表面品質等)是判斷砲管壽命、保證射擊精度的重要依據。鴉片戰爭時期,清朝的手工生產方式對砲膛的旋銑技術動力不足,再加上以白口鑄鐵材質為主的鐵砲不能加工,粗清理的砲膛得不到精加工,鑄造時不對中,和內膛砂眼、蜂窩的缺陷常不能消除,此必然影響其品質。《海國圖志·夷情備采》中載,西元1840年4月4日澳門月報中載,歐洲人對清朝鐵砲品質評論道:「中國又鑄有大砲,每一門可抵我等大砲四十八門。尚有許多大小不等砲火,惟中國只知鑄成砲身,不知做砲膛,且砲身又多蜂眼,所以時常炸裂」。英軍鐵砲加工發生了技術革新,又因為其鐵砲材質多是灰口鑄鐵,還有展性鑄鐵、低碳鋼等,使加工成為可能。加工動力方面,英國起初是用水力、馬力,後改用蒸汽機驅動的鑽孔機在鏗床上對鐵砲進行鑽膛,此不僅可使清理型芯、加工內膛效率提高,還可精加工實心鑄件,使砲膛光滑並成一直線,鐵砲品質因此大大提高。今歐洲人說:歐洲「更重要的技術進步是18世紀60年代鑄造技術的提高,此後槍砲不再是中空鑄造的,而是實心鑄成的,鑄成後用水力鑽膛,再用蒸汽動力設備旋削,製成更為精密的砲膛,從而更有效地利用發射藥的推動力」。(註18)

以上中英鐵砲在材質、鑄造和加工幾項關鍵技術上的差異,造成了英軍鐵砲品質大大優於清軍鐵砲。關於歐洲鑄砲技術的進步與工業革命之間的辯證關係,

18. A. Lambert, *War at Sea in the Age of Sail* (New York: Harper Collins, 2005). 見〔英〕安德魯·蘭伯特著,鄭振清、向靜譯,《風帆時代的海上戰爭》(上海:上海人民出版社,2005),頁29-41、211。

1969 年 C. Trebilcock 撰文寫道：「鑄砲對工業革命有加速進步的作用，其主要在於能被示範的兩個重要的階段——科特的攪拌法和瓦特的蒸汽機。此工具一出現，對真正的創造工廠體系有大範圍的革新。同樣，威爾金森在 1774 年發明的車床加工大砲的方法，可以將大砲技術提高 10 年，也使得瓦特的蒸汽機更能發揮作用。車床加工大砲的方法不但使砲筒工藝精細，而且可以使和平曙光早日到來——用蒸汽機驅動的鑽杆鑽成的圓筒砲管更能服務好瓦特的意圖。……威爾金森提高鑄砲的方法是非常重要的，不僅對工業革命的推動，而且可以擴大武器市場，它實際是此時代的偉大的革新」。(註 19)

五、鐵砲材質不同對其性能發揮的重要影響

(一)鐵砲品質的高低對其性能優劣產生重要影響。鐵砲的性能包括靈活機動性、射程、射速、射擊精度等方面。鐵砲性能的高低與鐵砲構造的合理性、砲彈與膛壁的加工精度、火藥的純度等多種因素有關。

鐵砲結構方面，文獻研究和實地調查均發現該時期的清軍鐵砲砲體龐大，膛壁較厚，如紅夷砲尾徑/口徑的值大於 3 者佔有較高比例，此特徵具有普遍性。龐大、壁厚的砲體不僅制約了鐵砲的機動性和靈活性，而且限制了砲彈的大小。在使用實心彈佔主導的鴉片戰爭時期，同等重量的鐵砲，如果砲壁厚，其口內徑相應就小，裝入砲彈的尺寸就小，威力就不大。而英軍鐵砲砲壁較清軍薄，同樣口外徑的鐵砲，口內徑自然要大，裝填的砲彈自然增大，威力就相應增強。之所以產生中英鐵砲膛壁厚度的不同，與鐵砲材質直接相關。

清軍鐵砲多為白口鐵材質，白口鐵鑄件易產生較多縮孔、縮鬆等缺陷，加之白口鐵性脆，在發射時易產生裂紋，反覆使用會炸裂。《史料》(冊Ⅲ，頁 558) 中載，道光 21 年 (1841) 5 月 28 日，兩廣總督祁貢奏：虎門威遠砲臺，「本年二月間與英夷打仗，……據供該台當時實曾炸砲二位，一系第十六位，一系第十八位，俱重八千斤，並非九千斤。因夷船開砲攻擊，弁兵接連開砲回攻，砲身燒熱，以

19. Clive Trebilcock, "‘Spin-Off’ in British Economic History: Armaments and Industry, 1760-1914" *The Economic History Review*, New Series, 22.3 (August, 1969), pp. 474-490.

致炸裂」。清軍爲防止鐵砲炸裂，採用加厚膛壁，或使用複合材料的辦法，砲管層層相套，自然內膛不會很大，此雖然減少了炸膛的機率，但發射的砲彈必然相對較小。而英國鐵砲使用性能較好的灰口鐵材質，灰口鐵脆性較白口鐵低，耐熱疲勞性能又較白口鐵好，使火砲發射時不易產生裂紋，減少反覆使用易導致炸裂的現象，故膛壁不必要加厚。灰口鐵中的石墨使鑄件的切削屑易脆斷成碎片，石墨性軟和滑膩，本身對刀具有一定的潤滑作用，因而具有優良的切削加工性能，使得火砲內膛被機械加工成盡可能大的直徑，膛壁相應就薄。

鐵砲膛壁與砲彈的光滑程度，直接影響射程與射擊精度。灰口鑄鐵的良好加工性能，使得內膛表面被加工得非常光滑；石墨剝落後留下的空隙具有貯存潤滑劑的作用，故石墨越細越均勻，耐磨性越好，由此能減少砲彈在砲膛中的摩擦阻力，可以使砲彈直徑製作得盡可能接近膛壁，減小了二者之間的遊隙。《火器略說》中，鴉片戰爭前後的英加農砲的遊隙值，更是降到了膛徑的 2%-5%，卡龍砲和白砲的遊隙值稍大些，是其膛徑的 2-9%，平均在 6% 左右，因爲此類火砲發射爆炸彈，主要在短距離內發生作用。今人研究認爲：「十九世紀中葉，歐洲火砲所用的遊隙值更減少到內徑的 1/42，相對地，道、咸之交，據丁拱辰所稱，中國軍隊因『彈不圓正，口不直順』，常只能採用內徑的 1/10 至 1/5 爲遊隙，此值連明末的水準均有所不逮」。(註 20) 遊隙值的減少不僅降低砲彈發射時的漏氣現象，加大了砲彈的出膛速度，還保證了砲彈在砲膛中作直線運行，從而提高了射擊精度和殺傷力。《演砲圖說輯要》和《海國圖志》中都談及，清軍鐵砲內膛和外表面比較粗糙，蜂窩、砂眼等缺陷較多，內芯存在不對中的問題，而且砲彈有範線、不光滑，正是所謂「彈不圓正，口不直順」。爲了使砲彈能發射出去，必然減小砲彈的尺寸，砲膛與砲彈之間的遊隙值大，可大至內徑的 10%，故發射時漏氣嚴重，射程和射擊精度都受到限制。因此，儘管砲體龐大，威力卻小。

中英鐵砲材質上的差異對其射速也有影響。清朝鐵砲組織以白口鐵爲主，白口鐵熱導率較灰口鐵低，吸震性不如灰口鐵好。灰口鐵由於石墨對基體的割裂作用而使震動能不利於傳遞，因此石墨片越多越粗，吸震性能就越好。熱導率上的

20. 黃一農，〈紅夷大砲與明清戰爭：以火砲測準技術之演變爲例〉，《清華學報》，26.1（新竹：1996.3），頁 31-70。

差異使白口鐵材質的火砲發射後冷卻較灰口鐵材質的火砲慢，重新裝彈所需要等待的時間也要更長，造成清軍發射砲彈的頻率即射速比英軍低。吸震性方面的差異則是白口鐵材質的火砲發射時震動較大，在砲架上的平穩度下降要多，調節復位耗費時間就長，造成清軍鐵砲射速相應要低。

(二)鐵砲性能不同對戰爭勝負有重要影響。砲彈的殺傷力是鐵砲性能中重要因素之一。中英兩軍鐵砲發射用砲彈中，白口鑄鐵材質是靠其容易破裂的碎片而殺人；灰口鑄鐵和鑄鐵脫碳鋼等材質則靠其堅硬性來撞擊目標，故此時期的砲手常利用類似「打水漂」的原理，讓它在平地上彈跳，高速橫掃敵方的密集縱列，其攻擊的效果取決於撞擊、碾壓和反彈效果。鴉片戰爭時期的清軍鐵砲內膛粗糙、砲彈不光滑以及火藥品質較差的特點，決定了其砲彈斤兩小。砲彈由於重量不大和火藥品質差，必然影響彈體在戰爭中的威力。如《史料》(冊Ⅴ，頁430)中載，道光22年(1842)5月11日，兩江總督牛鑒奏：中英吳淞之戰，「該遊擊與提臣陳化成督戰時，連用大砲擊中(英)火輪船三隻後艙，提臣以為可以沉沒，閱時竟然無恙，後又擊斷大船高桅一段，亦竟無恙。我兵用砲擊中大船正身，反將砲子碰回，斃我守砲之兵。提臣見此光景，頓足長歎，自言事不可為。俄而被砲子擊中左脅而斃」。今英人說：中英大角、沙角之戰，「清軍9磅彈砲對蒸汽船造不成傷害，差不多每顆砲彈對裝載32磅彈砲的復仇神號和裝載68磅彈砲皇后號的船體，僅造成一些白點」。(註21)

清軍由於鐵砲射程近，對英軍攻擊往往反擊無力，殺傷有限。如《中國叢報》中說：中英虎門之戰，英軍「尼米西斯號拖著幾艘兵船靠岸，佔領了一處隱蔽的停泊地，差不多避開了阿娘鞋島和西岸的砲臺的砲火。它停在那裏，以船首的大砲轟擊阿娘鞋砲臺，以船尾的大砲轟擊西面的砲臺。上橫檔島的中國人卻對這艘船無可奈何，他們的砲火落在離船很遠的地方」。(註22)再如《史料》(冊Ⅵ，頁737)中載，道光22年(1842)12月18日，浙江巡撫劉歆珂奏：「據說是日我兵與該夷各用大砲轟擊，我砲不能及遠，間或擊中夷船，亦不能摧折破碎，於彼並無大傷。夷砲力遠勢猛，所到之處，人則傷斃，物則破敗」。以上史料均說明了清軍

21. Peter Ward Fay, *The Opium War, 1840~1842* (Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1975), p. 272.

22. 廣東文史研究館編，《鴉片戰爭與林則徐史料選譯》(廣州：廣東人民出版社，1986)，頁228。

鐵砲射程近於英軍，造成被動挨打的局面。

在射速和射擊精度方面，清軍鐵砲由於膛壁厚、形體龐大，加上砲架機動性不好，主要在海岸砲臺禦敵，此必然影響其射速和射擊精度的發揮。英軍鐵砲形體小，又借助於砲架、戰列艦、蒸汽船的海上機動性好的優勢，在射速和射擊精度方面能充分發揮。因此，清軍遭到慘敗。如《史料》（冊Ⅵ，頁 737）中載，道光 22 年（1842）12 月 18 日，浙江巡撫劉歆珂奏：「我砲於放畢之後，須另裝子藥，不能即時續放。彼則一船之砲甫畢，一船之砲又來，接續不斷，急如驟雨，且其桅牆之上亦皆施砲，勢甚高峻。我砲雖有土堡可以藏避，而高只數尺，砲子從空飛墮，兵仍被傷」。再如《鴉片戰爭》（冊Ⅲ，頁 471）中載，《清道光朝留中密奏·林則徐片》中說：「彼之長技在於大砲、火箭二項，其接仗時黑夷潛伏艙中，身有所護，目有所見，裝藥下子，又甚便捷。白夷置身桅巔，用測遠鏡窺定，高下遠近，潮而上，可以隨潮趨避，我砲施放，一出之後，彼砲已接踵而來，官兵容身無地，不及裝藥再放，是彼砲可以連環接續，而我一砲只有一出，發而不中，等諸無砲」。（註 23）

中英鐵砲性能優劣對戰爭勝負有重要影響，時人對此也多有議論。如《史料》（冊Ⅳ，頁 20）中載，道光 21 年（1841）9 月初一日，浙江巡撫劉歆珂奏：「該逆犯順，迄今載餘，所攻之處，無不摧破，前此定海之被陷與粵省虎門之失守，尚由於失防。若廈門有鑒於定海、虎門而防之甚密矣，乃一晝夜即已蕩然。本年之定海、鎮海更有鑒於廈門而防之甚密矣，乃旬日間仍復蕩然。夫廈門、定海、鎮海三處守禦事宜，皆聚全省之精華，殫年餘之心力，方能成就，實非易易，而該逆乃直如破竹，蓋其砲火器械，無不猛烈精巧，為中國所不能及。……目擊該逆與我兵接仗，其砲彈之猛，火箭、火罐之奇，出人意表」。再如《鴉片戰爭》（冊Ⅲ，頁 456）中載，《道光朝留中密奏》中說：旨授兩江總督的耆英（1790-1858）在戰後親赴戰場訪察實況，他得出結論：「親歷京口（鎮江）、吳淞，查看副都統海齡、提督陳化成，盡難陣亡，及前督臣牛鑒督戰之處，廬舍砲臺盡成瓦礫，海塘樁石，亦多裂斷。詢之士人，咸稱逆夷兩面排砲，人藏艙底，接連數船，照準苗頭，輪轉施放，或東或西，權操必中。我之砲位，安設砲臺塘岸，雖有砲車可

23. 中國史學會主編，齊思和，《鴉片戰爭》（上海：神州國光社，1954），頁 471、456。

以推轉，而究係重笨不能移動之物，彼於一二十里之外，可以擊我中堅，我砲致遠，不過數里，即使對準轟擊，而彼船之來，係乘落潮時逆流而上，風先彈至，彼船即可趁風順潮，以避我砲，並可不致擱淺。……是彼逸我勞，彼靈我笨，不能取勝，並非戰之不力，亦非防之不嚴，不獨吳淞一口爲然，即閩、廣、江、浙等省之失利，亦無不皆然。臣所以見，證諸所聞，忿恨之餘，不禁爲陣亡殉節諸臣及被難居民痛哭也」。劉歆珂和耆英，都不是戰場的主要指揮官，對於戰爭失敗不承擔直接責任，他們的話應是可信的，二人所論，一定程度上反映了當時中英鐵砲作戰性能的實況。

六、結論

文獻研究和金相檢測的結果表明，鴉片戰爭時期，清軍鐵砲組織以白口鑄鐵爲主，如果考慮到脫碳鑄鐵和鑄鐵脫碳鋼是火砲使用中白口鑄鐵脫碳所致，則白口鑄鐵組織可佔到 63%。清軍灰口鑄鐵組織佔總分析樣品的 15.7%，其中石墨形態均爲片狀，未見菊花狀石墨。英軍鐵砲組織以灰口鑄鐵爲主，佔到了分析樣品的 43.1%，其石墨形態除片狀外，還有菊花狀，佔灰口鑄鐵組織中的 25%。灰口鑄鐵材質優於白口鑄鐵，故英軍鐵砲材質總體上優於清軍鐵砲。鐵砲材質與冶金技術有直接關係。英國近代煉鐵在高爐結構、燃料、鼓風設備、動力等各方面，都是清朝傳統土法所無法比擬的。英國由於爐溫高，礦石中的矽被還原較多，使煉出的鐵水含矽高，而矽是促使鑄鐵石墨化的元素，故澆注易生成灰口鑄鐵。清朝爐溫則較低，致使煉出的鐵水含矽低，澆注易生成白口鑄鐵。中英鐵砲材質上的差異是造成鐵砲性能不同的主要原因，鐵砲性能的優劣則對鴉片戰爭的勝負起著至關重要的作用。在戰爭中，清軍鐵砲炸裂多，威力弱，殺傷力小，英軍則與之相反，鐵砲發揮了巨大威力，此乃清軍在鴉片戰爭中失敗的重要原因。

• 致謝 •

本文是北京科技大學冶金與材料史研究所劉鴻亮博士學位論文中的一部分。該所李曉岑教授、中國人民革命軍事博物館李斌研究員作為協助指導教師，協助導師孫淑

雲教授進行了鐵砲調查的指導工作。韓汝玢教授在樣品分析方面提供了大量幫助，梅建軍教授和潛偉副教授在英國學術訪問期間，親赴倫敦吾爾維奇博物館和劍橋大學圖書館，帶回了許多難得的外文資料。美國伊利諾依大學邱茲惠教授也傾力幫助查找、複印所需要的外文資料。實地考察的過程中，得到了北京、天津、蓬萊、南京、鎮海、泉州、廈門、廣州、佛山、虎門、珠海、封開、韶關、梧州等地博物館、文管會的支持，和在曲江、石家莊、鄭州、寧波、洛陽、廈門等地多位歷史、文物、考古工作者的支援，為此研究提供了所需的樣品。中國文化遺產研究院馬清林研究員、張治國副研究員、華南農業大學向安強教授、廣東虎門鴉片戰爭博物館張建雄館長為考察提供了許多幫助。謹向以上文博單位、學界同行、老師和同學致以誠摯謝意。

此研究經費得到了中國「十一五國家科技支撐專案課題——文化遺產保護關鍵技術研究」專項資助，該項目負責人馬清林研究員、子課題負責人梅建軍教授對本研究工作給予大力支持，在此衷心感謝。

引用書目

一、傳統文獻

《四庫全書·欽定大清會典》冊 619，史部 377，卷 73《軍器》。

丁拱辰，《演砲圖說》，1841；《演砲圖說輯要》，1843，中國國家圖書館藏道光二十四年以後之嗣刻本。

中國第一歷史檔案館編，《鴉片戰爭檔案史料》，冊 I-VII，天津：天津古籍出版社，1992。

茅海建主編，《清代兵事典籍檔冊匯覽》，卷 28，北京：學苑出版社，2005。

黃達權譯，王韜撰，《火器說略》，見《中國叢書集成》，卷 48，北京：解放軍出版社，1993。

關天培，《籌海初集》，臺北：文海出版社，1969。

* 魏 源，《海國圖志》，王繼平等整理，濟南：山東畫報出版社，2004。

Bingham, J. E. *Narrative of the Expedition to China from the Commencement of the War to its Termination in 1842; with Sketches of the Manners and Customs of that Singular and hither almost Unknown Country 1843*. London: Henry Colburn.

二、近人論著

* 王兆春，《中國火器史》，北京：軍事科學出版社，1991。

* ——，《世界火器史》，北京：軍事科學出版社，2006。

——，《中國古代軍事工程技術史》（宋元明清），太原：山西教育出版社，2007。

* 尹曉冬，《十六、十七世紀傳入中國的火器製造技術及彈道知識》，北京：中國科學院研究生院博士

學位論文，2007。

皮明勇編，《關注與超越—中國近代軍事變革論》，石家莊：河北人民出版社，1999。

* 北京鋼鐵學院編寫組，《中國古代冶金》，北京：文物出版社，1978。

* ——，《中國冶金簡史》，北京：科學出版社，1978。

安德魯·蘭伯特著，鄭振清、向靜譯，《風帆時代的海上戰爭》，上海：上海人民出版社，2005。

杜普伊著，李志興等譯，《武器和戰爭的演變》，北京：軍事科學出版社，1985。

查理斯·辛格等主編，辛元鷗等譯，《技術史·工業革命》，卷 IV，上海：上海科技教育出版社，2004。

郝俠君，《中西 500 年比較》，北京：中國工人出版社，1989。

* 黃一農，〈紅夷大砲與明清戰爭：以火砲測準技術之演變為例〉，《清華學報》，26.1，新竹：1996.3，頁 31-70。

* ——，〈紅夷大砲與皇太極創立的八旗漢軍〉，《歷史研究》，4，北京：2004.8，頁 74-105。

齊思和，《鴉片戰爭》，冊 I-VI，中國史學會主編，上海：神州國光社。

* 劉 旭，《中國古代火藥火器史》，鄭州：大象出版社，2004。

* 潘向明，〈鴉片戰爭前的中西火砲技術比較研究〉，《清史研究》，3，北京：1993.9，頁 89-100。

Fay, P. *The Opium War, 1840-1842*. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1975.

Kennard, A. N. *Gunfounding and Gunfounders: A Directory of Cannon Founders from Earliest Times to 1850*. London: Arms and Armour Press, 1986.

McNeill, W. *The Pursuit of Power: Technology, Armed Force, and Society since A. D. 1000*. Chicago: University of Chicago Press, 1982.

Trebilcock, C. "'Spin-off' in British Economic History Armaments and Industry, 1760-1914." *Economic History Review*, 22.3, June, 1969, pp. 474-490.

Tylecote, R. F. *A History of Metallurgy*. London: Mid-country Press, 1976.

(說明：書目前標示 * 號者已列入 selected bibliography。)

Selected Bibliography

- Beijing Institute of Iron and Steel. *Metallurgy in Ancient China*. Beijing: Heritage Press, 1978, pp. 54-59.
- . *A Brief History of China Metallurgy in China*. Beijing: Science Press, 1978, p. 184.
- Huang, Yi-Long. "Dutch Cannons and Huang Tai Ji's Creation of an Ethnic Han." *Historical Research*, 4, August, 2004, pp. 69-80.
- . "Cannon and Wars in China in 1600-1900: A Case Study on the Targeting Techniques Introduced from Europe." *Tsing Hua Journal of Chinese Studies*, 26.1, March, 1996, pp. 31-70.
- Liu, Xu. *A history of Artillery in Ancient China*. Zhengzhou: Daxiang Press, 1989.
- Pan, Xiangming. "A Comparative Study on the Chinese and British Cannons Before the Opium War." *Studies in Qing History*, 3, September, 1993, pp. 100-105.
- Wang, Zhaochun. *History of Chinese firearms*. Beijing: Military Science Press, 1991.
- . *Firearms history of the World*. Beijing: Military Science Press, 2007.
- Wei, Yuan. *Hai-chi country map*. Jinan: Shandong Pictorial Press, 2004.
- Yin, Xiaodong. *The firearm-making technology and knowledge about trajectory introduced into China from the West in the 16-17th century*. A dissertation submitted for the degree of doctor of philosophy at CAS, 2007.

A Comparative Study of the Material Quality of Chinese and British Iron Cannons from the Opium War

Hong-liang Liu

Metallurgical and Ecological Engineering School; USTB
College of Politics and Sociology; HUST

Shu-yun Sun

Metallurgical and Ecological Engineering School; USTB

ABSTRACT

Although both cast in metal, Chinese cannons dating from the Opium War were different from the British ones in microstructure. First of all, the proportions of white iron and gray iron in the cannon bodies were different. The Chinese cannon bodies were largely cast in white iron, while the British ones were mostly cast in gray iron. Secondly, the shapes of graphite in the gray iron composition show some differences. In the Chinese cannons, the graphite is mostly in the form of flakes; however, in the British cannons, the graphite has two forms (75% flakes, 25% flowers). Flower-shaped graphite provides for better-quality gray iron. In addition, Britain had better casting and processing technologies. As a result of these factors, British cannons from the Opium War were of better quality than Chinese ones, and this, in turn, affected British performance. We believe that the difference in cannon composition was one of the major factors that decided the outcome of the Opium War.

Key words: the Opium War, Muzzle-loading smooth-bore guns, Material, Metallographic microstructure