

世界科技史

[现在位置: 首页 > 世界科技史](#)
[【小中大】](#) [【打印】](#) [【关闭窗口】](#) [【PDF版查看】](#)

转载需注明出处

《自然辩证法通讯》2009年第5期

鸦片战争时期中英铁炮射速的问题研究*

刘鸿亮^{1, 2, 3} 孙淑云²

(1. 浙江大学宁波理工学院, 浙江宁波 315100;

2. 北京科技大学科学技术与文明研究中心, 北京 100083; 3. 河南科技大学政治与社会学院, 河南洛阳 471003)

摘要: 鸦片战争时期, 中英前膛装滑膛炮的技术原理和其刚性炮架的承载装置决定了其射速不可能很快。清军重型铁炮主要发射斤两偏小的球形实心铅铁弹, 射速大约1发/6分钟。射速缓慢的原因有: 铁炮材质差, 缺乏训练的士兵担心膛炸; 重型铁炮机动性不好, 火绳点火, 弹药分装、战术落后等。此时的英军重型铁炮除了还在使用斤两偏大的球形实心生铁或熟铁弹之外, 已大量使用新式爆炸弹等, 射速3发/2分钟。其射速快的原因有: 铁炮材质好, 士兵大胆施放而不必担心膛炸; 发射时有众多辅助工具的配合, 燧发机点火, 定装炮弹的采用、“舷炮线式齐射”战术的运用等。以上原因就是清军在射速方面“炮不利”和英军“炮利”秘密之所在。技术是影响铁炮射速快慢的直接因素, 社会因素一方面通过影响技术而作用于火炮性能, 另一方面通过战略、战术影响火炮射速的发挥。

关键词: 鸦片战争、前膛装滑膛炮、射速、舷炮线式齐射战术

鸦片战争时期, 中英军队作战方式主要是海陆炮战, 火炮是最主要的武器。因此, 火炮的技术和性能以及与社会的关系是鸦片战争历史和科学技术史研究的重要问题。此时期的中英主导型火炮样式及机制原理基本相同, 都是前膛装滑膛炮, 仍旧属于以黑火药做发射药的前膛装滑膛时代。炮形呈圆锥形体, 炮膛呈圆柱体, 有炮耳和尾纽等附件组成。清军火炮形制设计仍然沿用西方16—19世纪中叶创立的“比例”思想(注: 欧洲1598年火器著作里有加农炮各部直径与口径的关系示意图^[1])。如野战加农炮的炮身常是以口径为 a , 口壁厚 $=0.5a$, 口外径 $=2a$, 炮耳处壁厚 $=0.75a$, 底径 $=3a$, 但尺寸偏离较大。主要是明末清初重型红夷炮的延续, 稍有改进。现根据弹道特性划分, 主要有以下几种类型: 重型红夷炮、轻型火炮、冲天炮、抬炮等。每种类型中又有类别, 如红夷炮中分单层体、双层体和三层体结构; 轻型炮中分红夷炮型和子母炮型(子母炮也有单层体和双层体结构)。英军火炮在形制构造上已标准化, 火门的燧发机点火装置、瞄准的立表装置和尾纽的圆环装置改进很大。分为炮管较长而弹道低伸的加农炮、炮管适中而弹道较弯曲的榴弹炮、炮管较短而弹道弯曲的陆上用臼炮、海上用卡龙炮以及康格里夫火箭炮等, 火炮因用途而配套, 射程与杀伤力远近兼顾, 其类型已适应了陆战、海战、攻城战、山地战等战术需要, 水平明显高于清军火炮。

火炮技术包括形制、种类、材质、制作、弹药技术等, 火炮技术不同, 必然导致火炮性能各异, 火炮性能包括射程、射速、机动性、射击精度和炮弹的杀伤力等。射速是火炮性能中很重要的一环, 因为当时的中英火炮都是前膛装滑膛炮和使用着刚性炮架的承载装置, 射程不远和射击精度很差, 在海战中, 双方舰队往往在100—200米的距离内以水平射角发射, 这时射速比射程和射击精度要重要得多。中英铁炮射速迥异是导致清军失败的重要原因, 铁炮射速的差距是由什么原因造成的? 以往的研究者限于一些客观条件, 缺乏从技术方面的深入探讨, 这影响了我们对鸦片战争时期中英火炮整体技术的了解。笔者希望从科学技术史的角度对中英铁炮射速进行比较研究, 探讨影响中英铁炮射速差异的技术与社会因素, 为深入研究鸦片战争时期的火器史、军事史以及技术社会史打下坚实的基础(注: 此时期的中英火炮压倒优势都为铁炮, 铜炮比例不大, 所起的作用有限, 故本文仅谈及铁炮)。

火炮射速是在规定的时间内，在不损坏火炮、不影响射击精度和保证安全条件下发射炮弹的能力。火炮发射炮弹的快慢，反映着火炮威力的大小。

影响因素之一：装填弹药的方式迟滞射速的提高。前膛装滑膛炮因装弹程序复杂而使射速缓慢。如欧洲16世纪以来迄至19世纪中期以前，陆上用加农炮的装药、填弹、发射过程：《美国海军》中说：“首先将火药（装在一个帆布袋中）装填到药膛中，用软布包裹起来的炮弹填放在火药上面的弹膛中，之后将一枚长钉插入到火炮后上部的‘撞击孔（装填烘药和点火用的小孔）’中并刺穿药袋，将少许火药（也是黑火药，唯硫磺比例稍高）倒入撞击孔中，然后便点火了。火炮发出震耳欲聋的响声，并且出现很大的后坐力，而系在船体上的炮索则对火炮起到固定的作用。用水将炮管濡湿以消灭可能存在的残余火星，然后重新开始上述周期”^{〔2〕}。至于海上用舰炮发射炮弹的办法：《武器和战争的演变》中说：自17世纪初叶起，“英国海军的基本战术是以五艘舰为一组，每次只有一艘战船用舷侧炮向敌舰射击，其余各舰忙着装填弹药。一艘舰射击完毕第二艘射击，一艘接一艘依次射击”^{〔3〕}。《海上实力》中说：19世纪中期以前的英军“‘舷炮齐射’一般并不是一艘舰上一侧所有的火炮同时发射，那样会严重损伤船骨。通常是先发射前炮，然后按顺序依次发射，除非敌舰的相对位置发生变化”^{〔4〕}。欧洲许多著作附有18世纪末以来的火炮发射程序图^{〔5〕}，依次为发射炮弹的专用工具、刷膛、装填弹药、捣实、支好炮架、瞄准、点燃火门将炮弹发射出去。承载在四轮炮架上的舰炮与双轮支撑的陆地用火炮相比，主要是后坐靠绳索控制，其余完全相同。

鸦片战争时期，英军舰炮除燧发机（它产生火花进入火门引起点火，代替了过去松散的火绳点火）的点火装置和定装弹药的采用发生变化外，其余程序依然如故。以上看出，前膛装滑膛炮由于装填弹药速度缓慢，故射速不会很快。

因素之二：火炮发射后调回原位费时费力。鸦片战争时期中英炮架皆为前装架退式的刚性炮架，至于后装架退炮和管退炮的出现，那已是19世纪70年代以后的事了。刚性炮架通过耳轴与炮架直接刚性连接，炮身只能绕耳轴俯仰转动，与炮架间无相对运动，发射时整炮后坐。因此，火炮通常造得很重，以便稳定炮位，但在人工搬运或用牛马拖运时，均很困难。火炮恢复到发射位置、重新瞄准需延误时间，射速受到影响。

因素之三：火炮发射炮弹后，炮膛发热，需要冷却，才能重新装填火药，冷却越慢需要等待的时间越长。

因素之四：每次火炮发射后，都要花费时间清理炮膛。因为黑色有烟火药中的硫磺是一种粘固剂，它能使炭和硝石结合在一起。这种火药在爆发时有很大一部分变成坚硬的微粒，留在膛面上并且象一股烟似地被喷射到空气中。残渣需反复擦拭，才能使炮膛恢复光洁，否则就会使之受损而缩短使用寿命，甚至会发生严重的后果。

因素之五：黑火药质量影响燃烧完全程度，质量不好的火药产生大量黑色烟雾，影响视线，耽搁再一次的发射时间。

因素之六：点火装置的优劣与炮手操炮的熟练程度影响射速。

二、中英铁炮的射速

清军铁质岸炮的射速。鸦片战争前后，清军装备处于冷热兵器混用的时代，主导型加农炮技术大致处于欧洲17世纪系列的水平上。尽管在战争前后，经过众多火器家们的努力，火炮总体水平已与英军缩小了一些差距。广东佛山铸造的生铁炮基本上反映了当时沿海炮台所用海岸炮的状况，也是清军最佳火炮的缩影。战船是火炮的载体，清军战船性能由于和英军战列舰差距太大，火炮性能不佳，故战争始终，除了十几次的海陆炮战外，清军没有一次海上大规模的抗英激战。即清军抗敌的火炮主要是岸炮。清朝主导型火炮属于西方的加农炮型，发射的炮弹为斤两偏小的球形实心铅铁弹，霰弹、链弹、爆炸弹比例极小。而加农炮型从16-19世纪的三百年间，技术上的改进都是围绕炮车和减轻炮筒重量而发生，射速变化不大。在此期间的中国对内对外的战争中，以重型加农炮为代表的西式火器的应用和制造改变了传统的作战方式、战斗编成和具体战术，火炮的装备数量、先进程度以及火器的配套设施，越来越成为决定战争胜负的重要因素。但是，西式火器最大的缺点就是长于攻城，拙于野战，装填发射速率不高。且炮体笨重，无法迅速转移阵地，故在野战时，各敌对方每役所能动员的火炮数尚不足以构成有效的火网，多只能在开战之先就定点轰击，当敌我情势发生逆转，则往往无法机动反应，因此，此时的兵士只有靠冷兵器贴身肉搏。这也解释了从15世纪迄至19世纪70年代以前，为什么中国在对内对外的战争中，冷兵器始终退不出战争舞台、以火炮为代表的火器为什么不能完全主宰战场的根本原因。

鸦片战争时期，清军火炮射速与英军相比，差距明显。因为清军传统型火炮—红夷大炮技术大致处于欧洲17世纪加农炮的水平上，而欧洲火炮在16-17世纪的射速，大量史书有明确的记载。《1449—1660年之间的英国武器或战争》中云：17世纪，“英国野战炮在一天内发射60或70次，通常需要2个炮手和10个助手，小炮诸如鹰炮能在一天之内发射140次，所需的人更少”^{〔6〕}。即大炮每小时8发左右，小炮是其的2倍。《文艺复兴时期欧洲的武器和战争》中云：“在19世纪，火炮每小时发射多于12次，此和火器家威廉·爱尔顿1646年设计的每小时19次差不多，火炮家格兰斯建议所有火炮在发射40次后至少应冷却一小时，为还原射击效果，平均每炮每小时发射8次，……每天每炮仅发射100次，等于每小时8次，每天射击12或13个小时。……另一个须考虑的是铜炮和铁炮易于损坏，铜炮在发射600次，铁炮在发射1000次后，就已不太堪用”^{〔7〕}。即8-12次/小时，平均为1次/6分钟。

鸦片战争时期，清军重型前膛装滑膛炮因机动性不强和装填弹药程序复杂，发射炮弹频率不高。在《海国图志》（卷87）中有清军火炮发射过程的记载：“将炮门掩闭，用湿透炮刷子扫净炮膛，然后下药，用木棍送入炮膛，次下弹子，又用扎就麻球，如膛口大小塞入膛内使药不四泄，弹出有力。装毕再放，放毕如前法挽回，再装连发。四五炮后，须少停片刻，以防炮身透热”^{〔8〕}。

清军火炮射速，应和欧洲17、18世纪的火炮射速差不多，即1次/6分钟，它们通常带的火药大约能维持这样的射速一小时，但炮管无法承受持续射击，隔一段时间就需休息以冷却。如《演炮图说辑要》（卷3）中说：“我发一炮，彼可三炮，一船抵挡一炮台”^{〔9〕}。清军炮台里的重型火炮射速与英军小炮相比射速要慢得多，再加上有不常操练的通病，射速更慢。当然，清军也在模仿着英军火炮的发射装置，也在逐渐提高着射速。《对华作战记》中载，1842年6月20日的中英上海之战，“清军铜铸大炮完全仿照英军发射18磅弹炮的大口内径短炮的式样铸造，舰炮上浇铸了瞄准器，还有火门，钻了孔，和火石制成的枪机密切配合，在我们所看到的中国人使用的战争武器中，这些是最最合用的了”^{〔10〕}。此处说清朝铜炮采取了燧发机点火装置，推断仿造的铁炮与此应是一样。

鸦片战争时期英军铁质舰炮的射速。英军舰炮的尾组设计与同名陆军火炮有一定差别，因为在甲板上移动不必考虑越野问题，船上的炮车没有采用野战炮车的两个大径木轮。它有一个显著特点是尾部有一个圆孔，其作用是栓放绳子和穿插螺旋十字铁架，使火炮固定在船体上。英国铁炮除了还在使用斤两偏大的球形实心生铁或熟铁弹之外，已大量地使用链弹、杠弹、霰弹、葡萄弹、榴霰弹、新式爆炸弹和燃烧弹等。至于爆炸弹所占的比例，如此时的英军三层甲板战舰均配置了60%的实心弹加农炮和40%的空心爆炸弹火炮。

据欧洲史料记载，英军舰炮射速有1发/分钟、1.5-2发/分钟、3发/2分钟的数据。《400—2001年间英国和爱尔兰的海军史》中云：“英国17和18世纪海军战术急剧地提高，前装和由四轮驱动的标准舰炮的设计却变化很小，但是，舰炮射速大约提高了6倍，在它的高峰阶段达到了1发/分钟”^{〔11〕}。

《1815年英法滑铁卢之战》中云：“欧洲加农舰炮允许发射1或1.5小时，（大约每门炮发射180次炮弹，包括霰弹）。在滑铁卢战争中，英军火炮平均发射了129次炮弹”。这里，英军火炮射速为1.5—2/分钟^{〔12〕}。

《英法海战》云：18世纪末以来，英国“军舰驶往战场时，舰长按战备的规定，严酷地训练水兵。炮手们的射击速度是英国皇家海军的一大骄傲。后来在尼罗河战役中成为纳尔逊忠实的‘兄弟团’成员的科林伍德舰长，将他的炮手的射击速度训练到惊人的程度，平均每3发炮弹/2分钟”^{〔13〕}。《1793—1830动乱时代的战争与和平》中说：18世纪末19世纪初以来，英国舰炮的射速约为3发/2分钟^{〔14〕}。

清朝史料有对英国重型舰炮射速记载的数据。1832年江苏清河人萧令裕著的《英吉利记》中说，其国“有大铳，能于两刻间连发四十余次，恐涉于夸，然亦可见其概矣”^{〔15〕}。即约3发/2分钟。鸦片战争是英国发动的一场海盗劫掠式的冒险行动，其士兵是从本土或印度等地临时征集的雇佣兵，这些训练欠佳的士兵发射舰炮自然要慢一些。故萧令裕的记载应是可信的。

史料有英国小型火炮射速记载的数据。《停滞的帝国》中说：如早在鸦片战争之前的1793年，英使马嘎尔尼使团来华，此时，英军小型火炮射速很快，使团携带了8门小型铜质野战炮。1793年8月19日的野战炮射击表演中，这几门炮每分钟能发射7颗炮弹（当时清军火炮每分钟只能发射1发，而欧洲火炮也只能做到每分钟发射1-2发），开炮迅速、准确、灵活，大大优于清军中装备的火炮^{〔16〕}。

综合上述东西方史料，可见鸦片战争时期，英军重型舰炮的射速为3发/2分钟，6分钟可打9发，小型火炮射速比之要快一些，重型炮射速是清军重型铁质岸炮的9倍。

三、中英铁炮射速迥异对鸦片战争胜负起着重要的作用

战争是国家或集团之间综合力量的较量，决定战争胜负的是战争的性质、战略思想、战术运用和武器优劣等多种要素的整合。从长远、总体来说，战争的性质（正义与邪恶）决定战争的胜负（胜利与失败），从短期、局部来说，战略、战术和武器可以是战争胜负的决定性因素。而战略、战术在战争中作用的发挥与武器的优劣有重要的关系。在某一特定战争中，武器性能的优劣甚至对其胜负起决定性作用。因此我们一方面反对唯武器论，另一方面要非常重视武器的作用。

如在射速方面，清军铁炮由于壁厚、形体庞大，加上炮架机动性不好，主要在海岸炮台御敌，此必然影响其射速的发挥。英军铁炮形体小，又借助于炮架和战列舰、蒸汽船的机动性好的优势，在射速方面发挥充分。因此，清军遭到惨败。《鸦片战争档案史料》（册VI，页737，注：天津古籍出版社1992年辑录。以下简称《史料》，册数和页码附后）中载，道光二十二年（1842）十二月十八日，浙江巡抚刘韵珂奏：“我炮于放毕之后，须另装子药，不能即时续放。彼则一船之炮甫毕，一船之炮又来，接续不断，急如骤雨”。《风帆时代的海上战争》中云：1839到1843年间的英国对华战争。英军灵活开展两栖军事活动。利用印度海军蒸汽船把战列舰牵引进入中国河道，再打垮沿河主要堡垒，并护送英军士兵登陆，以切断供应北京漕粮的大运河航路。就这样，英军把强大的海军火力和具有战术灵活性的蒸汽船结合起来，敲开了天朝帝国厚厚的保护甲^{〔17〕}。

中英铁炮射速不同对战争胜负起着重要性影响，时人对此多有议论。战争前后，清朝官员以及一些显赫人物在奏章或私家著述中，谈到英军“船坚炮利”的共计66人^{〔18〕}。这里的“炮利”，射速应是重要的一环。如《林则徐书简》中载，1842年8月，林则徐回忆中英战争时双方火炮射速的差别：“彼之放炮，如内地之排枪，连声不断，我放一炮后，复辗转移时，再放一炮，是技不熟也。求其良且熟焉，亦无他深巧耳。不此之务，即远调百万貔貅，只恐供临敌之一哄”^{〔19〕}。《丛刊·鸦片战争》（册III，页456）中载，《道光朝留中密奏》中

说：旨授两江总督的耆英在战后亲赴战场访察实况，他得出结论：“逆夷两面排炮，人藏舱底，接连数船，照准苗头，轮转施放，或东或西，权操必中。我之炮位，安设炮台塘岸，虽有炮车可以推转，而究系重笨不能移动之物，彼于一二十里之外，可以击我中坚，我炮致远，不过数里。……是彼逸我劳，彼灵我笨，不能取胜，并非战之不力，亦非防之不严，不独吴淞一口为然，即闽、广、江、浙等省之失利，亦无不皆然。臣所以见，证诸所闻，忿恨之余，不禁为阵亡殉节诸臣及被难居民痛哭也”。

四、中英铁炮射速迥异的技术原因分析

其一，铁炮材质好坏影响其性能的发挥，继而对其射速产生较大影响。此时的中英铁炮炮身虽均为铸铁组织，但清军铁炮以白口铸铁为主，英军铁炮以灰口铸铁为主。灰口铸铁性能优于白口铸铁，故英军铁炮材质优于清军^{〔20〕}。铁炮材质上的差异本身就对射速有影响。清朝铁炮组织以白口铸铁为主，白口铸铁导热率较灰口铸铁低、吸震性不如灰口铸铁良好，灰口铸铁由于石墨对基体的割裂而使震动能不利于传递，石墨片越粗，吸震性能越好。导热率上的差异使白口铸铁炮较灰口铸铁炮发射后冷却较慢，重新装弹需要等待的时间要长一些，造成清军发射炮弹的频率即射速要比英军低。吸震性方面的差异使白口铸铁炮较灰口铸铁炮发射时震动更大，在炮架上的平稳度下降要多，调节复位耗时间就长一些，射速相应要低。

清军铁炮多为白口铸铁材质，它性脆，铁炮发射时易产生裂纹，反复使用会炸裂。《演炮图说》等不同史料中绘制有清军开炮时的情景，炮手由于害怕火炮炸裂，故引火门的炮手离火门很远点燃引门，周围炮手为防意外，皆采取了防护措施^{〔9〕}。如此状况，迟滞铁炮射速。清军为防止铁炮炸裂，一则采用加厚炮壁的办法。如在铁炮结构方面，文献研究和实地调查均发现该时期的清军铁炮炮体庞大，炮壁较厚，如红夷炮尾径/口径的值大于3的占有较高比例，此特征具有普遍性。庞大、壁厚的炮体制约了铁炮的机动性，灵活性和射速，而且限制了炮弹的大小。一则采用双层铁、三层铁或铁芯铜体结构即复合材料的办法，炮管层层相套，自然内膛不会很大，这虽然减少了炸膛的几率，但发射的炮弹必然较小。

英国铁炮用性能较好的灰口铸铁材质，灰口铸铁脆性较白口铸铁低，耐热疲劳性能较白口铸铁好，火炮发射时不易产生裂纹，减少反复使用炸裂的现象，故炮壁不必要加厚。英军铁炮炮壁薄，同样口径的铁炮，口径内径自然要大，装填的炮弹自然增大，威力就相应增大。之所以产生中英铁炮壁厚度的不同，是与铁炮材质直接有关。灰口铸铁中的石墨使铸件的切削屑易脆断成碎片，且石墨性软且滑腻，本身对刀具有一定润滑作用，因而具有优良的切削加工性能，使得火炮内膛能被机械加工成尽可能大的直径，炮壁相应就薄，炮体相应就轻和小，机动性就强，射速就快。火炮材质因为好，英军发射时不必担心炸膛的问题，射速自然要快一些。《风帆时代的海上战争》中说：英国自18世纪50年代以来，铁质火炮的质量在世界上首屈一指，故炮手不必担心火炮炸裂的问题。英军炮手开炮速度很快，在近战中，英军会给铁炮双重装填，连发两炮。鸦片战争之际，英军对清军作战应是如此。

其二，中英铁炮炮体的大小制约其发射的频率。战争前后，清朝炮匠为使厚壁起到防止炸裂的效果，故所造炮体庞大，炮口内径相对很小，此特征具有普遍性，在文献中多有记载。《史料》（册Ⅲ，页40）中载，道光二十一年（1841）正月初十日，钦差大臣琦善奏：虎门“适用之炮无多，其余原制均未讲求，炮形极大，炮口极小”。此时期清军水师战船实力与英军相差悬殊，所以在战争中，清军只能采取舍水就陆、沿海筑土城、建炮台、造巨型火炮的战略方针对抗英军“舷炮线式齐射”战术。如《史料》（册Ⅱ，页654）中载，道光二十年（1840）十二月初二日，浙江巡抚刘韵珂奏：“该夷船坚炮利，若在洋面接仗，是以我所短，就彼所长。总以堪择要口，修筑炮台，制造巨炮，严密防守为第一要策”。但是，巨型火炮必然导致其机动性不好，进而影响其射速和射击精度等。

英军铁炮在结构方面，文献研究和实地调查均发现其炮体相对较小，炮壁较薄，制造较规整，此特征具有普遍性。《海国图志》（卷88）中说：“夷船上炮式不长，皆自二尺至四尺，最长七尺止。六七尺者发多中，三四尺者，弹虽到靶，或高或下或偏，而口径二寸至六寸，此外未见矣”。炮体较小的英军铁炮射速要快于清军，时人对之是很清楚的。《丛刊·鸦片战争》（册Ⅲ，页471）中载，《道光朝留中密奏·林则徐片》中说：“我炮施放，一出之后，彼炮已接踵而来，官兵容身无地，不及装药再放，是彼炮可以连环接续，而我一炮止有一出，发而不中，等诸无炮”。

其三，火炮发射时有无足够多的辅助设施配合，直接影响火炮射速。《演炮图说辑要》和《海国图志》中都绘制有清朝红夷炮发射时的附件图。诸如装麻球和铁弹用的竹篮、铁铲、送药钩、装药袋的木桶、牵拉铁炮的铁圈、铁钩、火门处倒烘药的药角、点火用的火龙鞭等。这些附件主要起稳定炮位，装填、施放弹药和苫盖、保养火炮的作用。

在点火装置上，战争前后，清军清军铁炮除仿制英军的极少数的燧发机外，都为慢速火绳点火装置。火绳的效用，《海国图志》中载：“其不便有二：临阵忙乱，倘装放偶疏，则贻害甚巨。又纸信恐雨淋湿，烘药恐风吹散，晦夜尤为不便”。火绳一般是用硝酸钾溶液熏煮和晾干而成，也有用榕树等树皮制成。火绳点火由士兵手工操作，本身就不会快；清政府为了缩减军费开支，火绳一向系兵丁自备。《筹海初集》（卷4）中对之多有记载^{〔21〕}。如此，火绳质量难以保证。再加上火绳容易受潮等因素的影响，以及铁炮炮管质量问题，致使清军火炮射速较慢。英军铁炮打火装置除大量使用引信和燧石击发器击发外，少量的火炮还采用了雷汞底火，以撞针击发。《演炮图说辑要》（卷2，页8）中对燧石击发器和雷汞底火有详细介绍。海战中战舰的晃动使得瞄准困难，燧发机和雷汞底火的优越之处在于没有发射延迟，而普通引信通常需要几秒钟的时间才能引爆发射药。这样炮手瞄准以后可以立刻发射，大大提高了射速。

在炮架和炮台的机动性方面，清军重型岸炮炮体庞大，炮架大多是用粗劣木料制成，设计不合理，操作难度大，火炮架在炮架上，调整左右和上下的射界极其困难，机动性差，射速慢。不少统兵大员对炮车、炮架不甚重视，许多火炮甚至没有炮架。同时，火炮的机动性还取决于海岸炮台的构建。战争之际，清人对西方军队陆战

能力评估不足，故海岸炮台选址大多不当，设计与构筑处在“幼稚阶段”，炮口设计要么太小或太大，炮架多为固定式，射界受到限制，有的甚至只能作单向发射，大大降低了射速和杀伤效果。如《对华作战记》中说：1841年9月4日的中英第二次定海之战，“清军一个配有18门炮的炮台修筑得非常好，唯一不变的是根据他们通常习惯，炮眼的射界很小，其射击扇面的宽度只能使炮左右移动5°”⁽¹⁰⁾。战争后期，清军为了提高机动性，对炮架逐渐重视起来，制作数量十分巨大。但是，从总体上看，制作的新式炮架车轮偏小，功能都是防御性的，缺乏主动进攻的意识。何况这种改进还只涉及少数火炮，因此，改进的炮车、炮架在战争中发挥作用有限。

英海陆军所用炮架木质坚实，能经得起火炮发射时的震动，加之蒸气动力铁壳火轮船的优势，火炮利用轨道旋转发射的做法，使其机动性好，射速快。陆军用炮架用双轮大车构成，炮手通过移动炮尾下方的木楔子来提炮口。舰炮炮架由四轮小车构成，可以通过运动自行抵消火炮发射的后坐力，而不会对木质船骨造成损害。

《演炮图说辑要》（卷4）中云：“西洋各国战船，长炮皆用此架，所须木料甚省，用之极为灵便，炮之大小酌量配架。其架颇高，难得大木，故用坚木四片合制”。英舰炮炮架的具体装置在《英法海战》中说：18世纪中期以来，英国用法兰绒药包代替丝绸药包，不会在炮膛里留下未烬的残渣及烟垢；将火药与炮弹之间的弹塞浸湿，以减少弹塞燃烧的可能性与避免产生烟垢；将内装火药的鹅毛管插入火炮火门，这比以前采用角制火药筒向火门倒药的方法要快些；设计了一套弹簧铅锤装置，减少了炮的后坐力，使火炮能更快地退回到发射位置；制造了一套复合滑车装置，扩大了火炮的射击角度，可左右水平移动45°，炮手能更准确、更灵活地瞄准目标⁽¹³⁾。《风帆时代的海上战争》中云：“19世纪初，海军加农炮炮架配有四个轮子或手推车，使炮能在有限的空间里有效使用，同时炮身与强滑车连用，可以控制炮身反弹，把炮拉回船内重新装上弹药后再拉出发射。在训练有素的船员手中，完成这个过程耗时不会超过一分钟”。

在火炮制作及弹药部件标准化方面，如火炮重量、样式、炮弹大小和定装弹药是否统一，必然影响射速。清军重型铁炮多采用传统的泥范铸造技术，效率低。范模只能一次使用，用后打碎，一般是一模一炮。即清朝各省制造炮位其尺寸、大小、做法互异，即使一省之中，同一名目，尺寸、斤两的炮位也有可能不同。火炮由于重量、样式多而杂，制作不规范，使得炮弹难与之一对应，操作艰难，射速必然缓慢。

英军火炮制造在16世纪创制的泥型铸模的基础上已发生了技术革新。一则在18世纪末期新创的砂型铸炮技术。砂型透气性好，免除长时间烘烤砂型，并减少铸件疏松、气孔、砂眼等缺陷。砂型可反复使用，同一模可多次制作砂型，可成批铸造同样的火炮，为机械加工带来便利。故《演炮图说辑要》（卷4）中云：英44炮战舰“炮位只长短两式，长者同模铸就，短者亦然，并无别式”。即火炮在形制构造上已标准化，种类相对较少，操作简便，便于掌握。不同甲板上的舰炮重量不同，发射与之匹配的不同口径的炮弹。二则在18世纪50年代以后，英国采用了先铸成实心炮，然后用蒸汽机驱动的镗孔机钻出炮膛的技术。避免制型芯与固定型芯等工序。三则炮弹采用蜡模铸造，外壁消除了范线，表面光滑。弹药组合定装化，保证射速提高。英人著作《火炮》中说：欧洲野战炮几乎都装填定装炮弹，弹药都置于一个部件中，这对使用爆破弹的火炮来说尤为重要。人们将爆破弹安放在木制或金属圆盘中，用带子将其固定，使其引信朝向炮口，推进火药包也栓在圆盘上，这样就制成了一个完整的炮弹。这种炮弹在发射前需要稍作准备，但能使火药和爆破弹安全得多，而且比使用散火药时的装填速度要快得多⁽²²⁾。

其四，中英军队作战战术存在差异，大大影响铁炮射速。战争时期，中英军队装备火炮的数量、性能，以及与之相关的炮弹、火药、战船等制造与使用技术诸多方面的反差。清军在此反差的前提下，并有战术、战法、军队编成、情报、训练以及兵员素质等方面逊色于英军，这些反差的总和，便形成双方战斗力的较大悬殊。英军铁炮的优势和新作战方式的采用，是其侵略得逞的原因。清军铁炮的劣势和作战方式的陈旧，是其守卫失败的关键。

《丛刊·鸦片战争》（册Ⅲ，页284）中载有直隶总督琦善阐明的清军海陆迎敌战术，如水师战术只限于抛掷火球、火罐，施放火箭、喷筒以及爬桅跳船各种技术，采用接舷肉搏战和横阵冲撞战术。此等破夷之法，严重滞后于世界军事技术和战术的发展。英军使用“舷炮线式齐射”战术，猛攻清军一处炮台，然后以侧翼迂回包抄战法将仍坚持在阵地上的清军残部逐走，虎门、厦门、定海、镇海、宝山失事情形，如出一辙。

英国从17世纪50年代以来，皇家海军的战列舰使用“舷炮线式齐射”战术。大约是尽可能地靠近敌舰，以便进行猛烈轰击促使其投降。为了达到如此杀伤效果，通常需长管炮和短管炮的相互配合。通常是12艘战舰编成一个战斗队形，首尾相接，排成一路纵队，在敌方近处通过，当各舰驶过敌舰时，舰上的大炮一齐向敌开火，集中火力彻底摧毁目标。

鸦片战争之际，英军“舷炮线式齐射”战术，使之依次连续发射炮弹，整体上提高了射速，形成持续不断的火力轰击清军目标，使固守在炮台的清军实在难以招架。《史料》（册Ⅳ，页30）中载，道光二十一年（1841）七月十二日，闽浙总督颜伯焘奏：中英厦门之战，英夷船“以七八只并力攻一炮台，其余先后夹持，旋攻旋进，一台破又攻一台，凶猛异常”。《史料》（册Ⅴ，页388）中载，道光二十二年（1842）五月初一日，扬威将军弈经等奏：英舰炮“俱系两面排列，大船约长三十余丈，有炮六七十门，小号船只亦长有二十丈，列炮三四十门，光从大船桅顶开炮数声，各船大炮即接连同时开炮，声如迅雷，势如骤雨。……兼之逆船随时掉转，可以两面轮替开炮，其势更属不敌，兵勇业已伤亡甚多”。

（参考文献）

(1) 尹晓冬：16、17世纪传入中国的火器制造技术及弹道知识（M）. 见中国科学院博士论文，2007. 156。

(2) （美）赫尔弗斯（J. Helfers）. 美国海军（M）. 高婧译，南京：南京出版社，2004. 15。

(3) （美）T. N. 杜普伊（N. Dupuy）. 武器和战争的演变（M）. 李志兴等译，北京：军事科学出版社，1985. 158。

(4) (美) 波特(Poter). 海上实力 (M) . 马炳忠等译, 北京:海洋出版社, 1990. 96。

(5) C. Jørgensen, *Fighting Techniques of the Early Modern World, AD 1500-AD 1763: Equipment, Combat Skills and Tactics* (M) . Staplehurst, Kent: Spellmount, 2005. pp. 32、 33.

(6) A. V. B. Norman and Don Pottinger. *English weapons & warfare, 449~1660* (M) . Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1979. pp.195.

(7) B. S. Hale, *Weapons and warfare in Renaissance Europe: gunpowder, technology, and*