

福建沿海明清火炮考察

曾 景 春

(电气技术系)

摘要 本文通过对福建沿海现存的明清火炮的尺寸比例测定、炮体材料的化学成分和金相组织的分析,参照当时的文献,论述明清时代铁炮的铸造技术和水平。

关键词 火炮,化学成分,金相组织

0 引言

现散存于福州、泉州、厦门三市一些博物馆的火炮有60门左右,多是明清两代的火炮,年代最早的为明天启,最晚的为清光绪。绝大多数是铁炮,制式有介于枪炮之间的“抬炮”、“龙炮”、“冲天炮”;“佛朗机铳”,即子母炮;更多的是前装滑膛大炮,即文献中提到的“红夷炮”、“西洋大炮”同样制式的大中型火炮。这类是明清火炮的主流。通过测试,考察它们结构是否规范化?它们用什么铁铸成的?属于何种铸铁?

1 测试结果与分析

测试工作分三个方面:现场观测,记录铭文,测量炮体各部分尺寸大小;在允许取样情况下,取样做金相分析;在金相分析之后,用所余试样做化学分析。以下一一分述测试结果。

1.1 炮体各部分尺寸及比例的测定

明末,汤若望的《火攻挈要》一书,对我国造炮技术具有重大的影响。从此,我国铸炮逐步走上制式统一和结构规范化。《火攻挈要》提出炮的结构尺寸“以铳口空径为则”^[1]的原则,成为后继者的依据。孙元化在《西法神机》中提出一个一般化的准则,即炮不论大小都必须遵守口径与炮长(从火门到炮口的距离)之比为1:17—1:18^[2]。清道光时,福建造炮家丁拱辰在他的《演炮图说》一书中,结合其实践经验,给火炮结构做了如下的规定:炮弹重量与炮体总重之比为5:

本文1992-01-10收到。

福建省自然科学基金资助课题。

1000;火药的重为炮弹重的一半;炮弹为圆球体,炮膛的直径太出炮弹直径的 $1/10$. 又按炮膛壁厚平均等于膛的内径. 由此大体上可以算出整炮的总重量. 他规定炮口径与炮长的比例,如二千觔炮、三千觔炮、八千觔炮为 $1:15$;五千觔炮为 $1:13^{[3]}$. 这些比例与汤若望、孙元化所定的比例不尽一致,但思路是相同的. 即由火药的爆发力确定弹重和炮体总重之比,以及从安全角度规定膛壁厚度,综上所述因素估算出炮长与口径的比例. 所以口径与炮长之比集中反映火炮规格的参数,他们所定的比例尽管有差异,但大体上有一个比例范围,即口径与炮长之比,从 $1:13-1:18$ 之间. 表 1 是福州、厦门、泉州三市一些无缺损的大中型前装滑膛炮的口径与炮长的测定数据.

表 1 炮内口径与炮长比

代号	炮现在处、出土、年代	内口径(cm)	炮长(cm)	长径比
F ₁	省博物馆英军鸦片战争遗落洛阳桥	9	160	17.7
F ₂	省博物馆连江营道光二十年造	5.5	90	16.3
F ₃	省博物馆罗元营光绪十年造	8	100	12.5
F ₇	省博物馆福州气象学校出土清炮	10	128	12.8
F ₈	福州于山威继光祠铁炮	8.5	147	17.2
X ₁	郑成功纪念馆侯静波造铜炮	5.5	91	16.5
X ₂	郑成功纪念馆郑经铸铜炮	11	181	17
X ₃	郑成功纪念馆铁炮	11	141	13
X ₄	厦门博物馆嘉庆十一年造铁炮	10.5	198	18.8
X ₅	厦门博物馆嘉庆十一年造铁炮	12	225	18.7
X ₆	厦门博物馆清代铁炮	11.8	225	19
Q ₂	泉州海交馆道光廿二年造铁炮	12	219	18.2

上列数据表明:口径与长度比最小的为 12.5,最大的为 19,各一门. 其余都落在 13 到 18 之间. 英军遗落洛阳桥的铁炮,其比例也在这范围内.

下面再就几门标有重量,口径可测的炮,估算它们的弹重与炮重之比. F₂ 号炮,连江出土,炮上铭文标称重二百觔,该炮口径为 5.5cm,长 90cm. 按一觔为 500g,则炮总重为 100kg,炮弹为铸铁球,其重 $\omega = (\pi/6)\rho D_0^3$. (式中 ρ 为铸铁比重,等于 7.8g/cm^3 , D_0 为弹的直径). 按丁拱辰的规定,弹径加弹径的 $1/10$ 为膛内径,即可算出,弹径等于膛径乘以 0.91. 已知膛径 $D=5.5\text{cm}$,则弹径 $D_0=5.5\times 0.91=5.0\text{cm}$. 可算出 $\omega = (\pi/6)\times 7.8\times 5^3=509\text{g}$. 弹重与炮重之比为 $5:1000$.

又如 Q₂ 号炮,现在泉州市海交馆,铭文标称重一千觔,口径 12cm,按上法计算,弹重 5433g,炮重 1000/kg,弹重与炮重之比为 $5.4:1000$.

又如 X₅ 号炮,嘉庆十一年造,标称重二千觔,口径 12cm,与 Q₂ 号炮完全一样,弹重与炮重之比也是 $5.4:1000$.

这些都可以佐证丁拱辰所定的弹重与炮重之比为 $5:1000$ 的规格^[4].

以上说明,现在大部分铁炮在尺寸比例上是符合文献所述的规范的,而技术产品的规范化

往往反映该时期技术上的成熟。

1.2 铸炮原料的成分分析

《火攻挈要》很强调炼料选取对铸好炮的重要性。丁拱辰在“铸炮图说”中也说,在凡铸炮,宜用好铁炼之,使之纯熟洁净,以求坚实不起蜂窝^[3]。为了解当时所用原料的情况,下面是对十门炮取样所做的化学分析。所用仪器是无锡分析仪器厂出产的“C、S自动测定仪”和“钼兰比色仪”,测定样品中的碳、硅、硫含量,结果如表2。

表2 炮体化学成分

代号	被取样的炮体名称	C%	S%	Si%
F ₁	英军遗落洛阳桥铁炮	3.61	0.15	1.35
F ₂	闽安镇出土清铁炮	3.45	0.12	0.11
F ₃	闽王庙出土清炮	3.58	0.12	0.42
F ₄	厦门嘉庆年间铁炮	4.28	0.13	0.11
F ₅	连江营出土道光铁炮	0.22	0.09	0.12
F ₆	罗元营出土光绪铁炮	2.85	0.12	0.10
X ₅	厦大二千觔清炮	2.70	0.14	0.11
X ₆	厦大嘉庆铁炮	2.65	0.15	—
Q ₁	泉州海交馆明代铁炮	3.18	0.11	0.95
Q ₂	泉州海交馆道光铁炮(口部)	1.51	0.12	—
Q8 ₂	泉州海交馆道光铁炮(尾部)	1.51	0.12	—

一般铸铁的含碳量在4.5—6.5%之间。表2说明,所有样品含碳量都低于4.5%,F₄号炮最高,也仅为4.28%,其余都落在1.51—3.58%之间,比英炮3.65%低。甚至铸出像F₅号炮那样的低碳钢。当时是如何获得这样低碳量的铁料呢?

丁拱辰在《演炮图说》中说,铸炮所用的铁,以“闽粤所产者良,闽铁性柔而坚,粤中所产有荒山铁,新旧黑麻铁。荒山铁系荒山所采矿炼成新片铁。新黑麻尖钢铁性较纯,比常铁略柔。铸之初只用后者三成,新片铁七成合熔,多有蜂窝,后改新黑麻尖钢铁八成,新片铁二成,以至黑麻七成、洋麻铁三成合之,则柔而坚。夷炮亦系黑麻铁铸成”^[4]。荒山铁就是从铁矿采来的赤铁矿石或磁铁矿石炼出的生铁,叫新片铁。而所谓黑麻铁、黑麻尖钢铁,据魏源的《海国图志》所述:“各省之铁,惟粤省所产者为佳。其中又有荒山及新旧黑麻铁,洋麻铁数种。所谓洋麻铁系产自外洋;其荒山铁者系在荒山采矿炼成新片铁也;又从而锻之谓之新黑麻尖铁,此铁性较纯”^[5]。可见新旧黑麻铁是以生铁经过锻炼的熟铁。生铁经过炉炼锻打,一是反复在火中烧炼,不断使生铁脱碳,使之趋于柔韧。二是反复锤打清除生铁中的杂质和气泡,使之更加纯净。这些火炮所以有较低的含碳量和较低的杂质,正是由于选用了锻炼过的熟铁做为主要的原料之故。

1.3 铸铁金相分析

对现在这些铁炮是属于什么类型的铸铁,到目前为止还没有人做过鉴定。

铸铁有白口铁,灰口铁。白口铁是碳以化合形式(Fe₃C)存在于铸铁中,铸件断口呈白色。因碳化铁是硬而脆的组织,所以白口铁不能承受大的冲击力;灰口铁是碳呈游离状态,并以片

状石墨的形式存在于铸铁中,铸件断口呈灰色。灰口铁由于其中散布着片状石墨,石墨软而可塑,它们穿插在柔韧的“珠光体”和“铁素体”之间,使铸铁内部组织像弹簧一样,具有缓冲减震作用,虽然它比钢的坚韧性差很多,但比之白口铁则可承受较大的冲击力;如果铁水凝固冷却过程,其中的碳未能充分游离出来并石墨化,仅有部分石墨化,这就形成一种介于白口铁和灰口铁之间的铸铁,叫麻口铁。麻口铁的坚韧性相应的也介于白口铁和灰口铁之间。

福建现存铁炮、究属何种铸铁,就允许取样的而年代可考的十门炮做金相分析,用东德产的 NeopHoT-21 型金相显微镜观察分析。结果如表 3,部分金相显微照片见图 1—3,样品经 4%硝酸酒精侵蚀;放大 250 倍。

表 3 炮体金相组织

序号	炮代号及年代	金相组织	铸铁类型
1	F ₁ ,英军遗落铁炮	珠光体(P)、莱氏体(Ld) 铁素体(F)、石墨(G)	麻口铁
2	F ₂ ,闽安镇清炮	P+F _{少量} +Fe ₃ C±±游离+G	麻口铁
3	F ₃ ,闽王庙出土清炮	P+G	灰口铁
4	F ₄ ,厦门嘉庆铁炮	Ld+P	白口铁
5	F ₅ ,连江营道光铁炮	P+F	低碳钢
6	F ₆ ,罗元营光绪铁炮	P+F+Ld+G	麻口铁
7	X ₅ ,厦门嘉庆十一年造炮	Ld+Fe ₃ C±±游离	白口铁
8	X ₈ ,厦门厦大博物馆清炮	P+F+G	灰口铁
9	Q ₁ ,泉州海交馆明炮	P+F+G	灰口铁
10	Q ₂ ,泉州海交馆道光炮	P+Ld _{少量} +G _{球状} +G _{片状}	麻口铁

表 3 表明,铸铁品质参差错落,但统计的看,白口铁不多,而麻口铁灰口铁合起来占多数。英炮也是麻口铁,不失为一个参考。低碳钢的出现属罕见,仅 F₅ 一门。它的含碳量从表 2 上可见,仅 0.22%。可能由于选用更多的熟铁做原料,也可能是冶炼温度较高,使铸铁进一步脱碳的结果。现代的冶铁技术说明,为了获得灰口铁,须使铁中的碳化铁析离出碳并石墨化,为此要适当渗进某些元素,或在冶炼工艺中遵循铁的相变规律掌握火候。铁水从高温冷却凝固过程,大约在 1130℃—738℃之间,会发生碳化铁析离出游离碳并沉淀成石墨的相变,这个反应是在很缓慢的冷却过程中进行的。这就是说,铸铁石墨化必须满足两个工艺条件:第一是铁水溶化必须有足够高温,至少要超过 1130℃;第二是铁水的冷却过程应该相当缓慢。从明、清的文献中未见有关于“白口铁”、“灰口铁”的概念和用渗入药物使碳石墨化的记载。看来使大多数铸炮具有灰口铁、麻口铁的品质,即铸铁中获得石墨化的金相,主要是当时的冶铸工艺条件促成的。

首先是能够达到相当高的熔化铁水的温度。如丁拱辰《演炮图说》所述熔化铁水的情形,是在熔铁炉里,先下一层炭,而后下铁料,连送数层。点燃后,将风箱用力牵匀,使之升温,温度达到一定火候铁先化为液。当铁水“至见红色转白,有火星飞腾为度”^{〔6〕},才倒入铁勺,转灌入模。他是用观看铁水颜色估计温度的。这种用肉眼看色估温的方法,至今还沿用着。据有经验的人



图1 F₃号闽王庙出土清炮(灰口铁)



图2 F₄号厦门嘉庆时铸炮(白口铁)

估计,像这样“由红转白,火星飞腾”的温度可达1400℃左右,它远远高出铁水析出碳素所要求的1100℃。其次,从《火攻挈要》到《演炮图说》讲铸炮都是用泥模。《火攻挈要》说:“用细砂和胶黄泥三八相渗,调和成泥(或用本砂泥亦可),并把羊毛抖开掺入泥内和匀作经”^{〔1〕}丁拱辰谈“制泥模乃用禾草合泥春透规制粗胚”^{〔4〕}。这样的泥模有什么特点呢?据现代的数据,黄泥土的导热系数为3.68kJ/m²h℃,如果再在泥中掺入羊毛或禾草的碎屑,这种模料的导热系数就更低了。一般规定隔热材料的导热系数为1.1kJ/m²h℃。相比之下,上述模料导热系数则在



图3 罗源营光绪时铸炮(麻口铁)

2. $1\text{kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 左右,应属于传热较差的材料.再加以浇铸时,炮模的大半截(炮后端)是放在深挖的地穴里,并以干土填实.露出地面的一小截也用松木板从四面夹成方仓,方仓里填以泥土并舂实^[6].这些措施,使倒入模内的铁水,外面裹着厚厚的一层不易传热的泥土.铁水的冷却必然要缓慢下来.《演炮图说后编》谈到,“小炮隔十二小时方可开模.大者四五日尚能炙手.”《铸炮图说》更说:“俟过三四日火气退尽,将土撤卸去其土模.则炮形自具”^[4].说明当时新铸大中型火炮,都必须有三、五日时间才能冷至常温.

正是由于上述这种冶铸条件,使多数大中型火炮的铸铁内部有可能产生石墨化.石墨化完全的就成灰口铁,石墨化不充分的就是麻口铁.

2 结论

从上述测试结果,对照文献记载,可以看出:从明制清,特别是到十九世纪中叶,由于吸收西方技术,充分发挥了我国传统的铸造工艺,我国铸造的滑膛前装炮已相当成熟和规范,达到当时世界的水平.炮体尺寸比例规格化,铸炮用料的含碳量以及杂质都较低;从金相组织看大多数是灰口铁或麻口铁,与当时英国同类火炮在品质上不相上下.

调研中得到华大机械系吴洛平老师的帮助指导,在此致以谢忱.

参 考 文 献

- [1] 汤若望授,焦畧述,火攻挈要,丛书集成初编,商务印书馆辑,卷上,(1935-1937).
- [2] 林文照、郭永芳,明末一部重要的火器专著——西法神机,自然科学史研究,6,3(1987),251.
- [3] 丁拱辰,演炮图说,清道光二十一年于广东,燕塘刻印,卷之一.
- [4] 丁拱辰,演炮图说辑要,清咸丰元年,晋江刻本,卷之三.
- [5] 魏源,海国图志,清光绪二十一年,上海书局石印本,八十六卷.
- [6] 丁拱辰,演炮图说后编,清道光二十九年,于广西桂林刻印,卷之一.

An Inspection of Cannons Left over by Ming-Qing Dynasties on the Fujian Coast

Zeng Jingchun

(Department of Electric Technique)

Abstract The author discusses the technology and standard of cannon casting in Ming-Qing dynasties(1368—1911)based on the inspection of the ancient cannons left over by those centuries on the Fujian coast. In addition to historical literature,the inspection covers the measurement of the dimensional scale of their different parts as well as chemical analysis and metallographical examination of the material of cannon body.

Key words cannon,chemical constituents,metallographic structure