

古代火药技术简史

丁 懋

(1983年4月11日收到)

火药是中国古代四大发明之一。火药的原始配方及其燃烧性能初见于八世纪左右炼丹家的著作。十世纪火药始用于军事。《武经总要》刊载的三种“火药法”是历史上军用火药配方的最早记载。十一世纪到十四世纪是各种火药兵器大发展的年代。到十三世纪中叶,所制火药既有强烈的爆炸威力,又有很好的发射能力,火药技术已经发展到很高的水平。关于火药技术的大量文字记载出现于明代。茅元仪、宋应星等人对火药组分、配比和性能作了探讨。宋应星在其《论气》一书中第一次对爆炸冲击波及其杀伤作用作了科学的描述。火药由中国经由阿拉伯国家而传入欧洲,到十四世纪欧洲才有火药实用于军事的记载。

火药是中华民族古代四大发明之一。毛泽东等在《中国革命和中国共产党》一书中写道:“在很早的时候,中国就有了指南针的发明。还在一千八百年前,已经发明了造纸法。在一千三百年前,已经发明了刻版印刷。在八百年前,更发明了活字印刷。火药的应用,也在欧洲人之前”⁽¹⁾。火药的发明和应用是文明史上的一件大事。从冷兵器到火药火器的发展是一个质的飞跃,这对于中国以至世界的发展曾有重大的作用。

中国古代所称的火药是指含有硝石、硫磺、木炭的混合物。称为火药,意思是“发火的药”。称为药,是因为硝石和硫磺在中国古代都是药物,火药本身也被用作药物⁽²⁾。古代火药今名为黑火药或黑药,也称为有烟火药。以硝化棉为主要原料的现代火药诞生于十九世纪中叶。在长达一千年的历史中,黑火药是人类使用的唯一爆炸物,有最广泛的应用。直到现在,黑火药仍大量生产。

火药不是历史上个别人物的发明。它起源于古代炼丹家对仙药和金银的探求,在军事征战的应用中得到改进和发展,是几个世纪许多人经验积累的成果。如今,我们来回顾一下火药技术在我国古代发展的历史。

一、火药原始配方的出现

早在春秋战国时期,火药的主要成份硝石、硫磺已为人们所知。公元前六世纪有记载:“石硫黄出汉中”,“消石出陇道”。石硫黄即硫磺。消石即硝石,古书中还有火硝、焰消、地霜、芒消、苦消等名称。硝石、硫磺作为药物,我国第一部药物学专著,汉代的《神农本草经》中

已有记载。“石硫黄能化金银铜铁，奇物”。“消石，味苦，主五脏积热，胃胀闭，涤去蓄结饮食，推陈致新，除邪气。炼之如膏，久服轻身”。从晋葛洪《抱朴子内篇·金丹篇》的记载，那时已知利用硝石和醋的混合液于溶解金属或矿物。南朝陶弘景已经知道用火焰法来鉴定硝石。他在《本草经集注》中提出：“以火烧之，紫青烟起，云是真消石也”。以此法可将硝石(硝酸钾)与朴硝(硫酸钾)等相区别。正是对硝石、硫磺以及本炭等性能的认识，为火药的发明创造了条件。

中国的炼丹术相传在汉武帝时开其端，历经魏晋隋唐而大发展。当时的科技大多与炼丹家有关，原始的火药配方即最初见于炼丹家的著作。

唐宪宗元和三年(公元808年)，炼丹家清虚子在其所著《铅汞甲辰至宝集成》卷二记有“伏火矾法”，见图1。

第二卷 成集寶至庚甲汞鉛
其色如玉也
未大甘鍋一箇以藥在內扇成汁傾石器中
其硫黃佳每白礬三兩入伏火硫黃二兩為
五重蓋用方磚兩片捺以土塚之候冷反出
火一塊彈子大下放裏面煙漸起以濕紙四
右為末拌勻搗坑入藥於罐內與地平將熟
硫二兩 硝二兩 馬兜鈴三錢半
伏火礬法

图1 清虚子《铅汞甲辰至宝集成》卷二“伏火矾法”原文(《道藏》洞神部,众术类,第五百九十五册)

第五卷 諸家神品丹法
就口上着生熟炭三斤簇煨之候炭消三分
之一即去餘火不用冷取之即伏火矣
三箇燒令存性以鈴逐箇入之候出盡焰即
與地平四面却以土填實將皂角子不蛀者
子入上件藥在內搗一地坑放鍋子在坑內
硫黃硝石各二兩令研右用銷銀鍋或砂罐
伏火硫黃法

图2 孟要甫《诸家神品丹法》第五卷“伏火硫黄法”(《道藏》洞神部,众术类,第五百九十四册)

“伏火矾法”文中，到“取出其硫黄”一段，讲的是制“伏火硫黄”的方法。所谓伏火硫黄，实际上就是硫、硝和炭化后的马兜铃(一种植物)的混合物。古医书中都不列入木炭，而是一些植物焦灼而入药。

在宋人孟要甫辑录的《诸家神品丹法》卷五中载有“伏火硫黄法”，见图2。

以上两法相比，硫、硝分量相同，差别只在马兜铃与皂角子。两者烧灼后都能炭化，以马兜铃较易。

经实验表明^[3]，按上述配方，硫磺、硝石与炭化的马兜铃或皂角子共研，混合物确有一

定的爆发力，因此这“伏火硫黄”可以认为是一种原始的火药。当然，它的爆炸或爆燃性能还远不能和后来真正用于军事的火药相比。

究竟此“伏火硫黄法”系何人何时的发明？曾有书刊认为此法原载于唐初孙思邈所著《丹经》或《孙真人丹经》，因此把原始火药归功于孙思邈的发明。这种说法曾广为流传。

根据陈国符近年的考证⁽⁴⁾：《孙真人丹经》于唐肃宗乾元元年至三年间(758-760年)出世，而孙思邈卒于唐高宗永徽三年(682年)。因此该书可能是后人所辑，伪托孙思邈，或是孙思邈所传授，后人改辑。另从《诸家神品丹法》原书来看，也没有足够理由可以认为“伏火硫黄法”系出于《孙真人丹经》⁽⁵⁾。在原书所载“孙真人丹经内伏硫黄法”条的内容见图 3。与“伏火硫黄法”条有根本不同，即本条只是硝、硫混合物，没有木炭，不是原始火药的配方。而在“孙真人丹经内伏硫黄法”与“伏火硫黄法”两条之间，另有“黄三官人伏硫黄法”(见上图)一条。可能是前人一时疏忽，张冠李戴了。也可能是出于总要把重大发明作为某一著名人物的发明的心理。

《真元妙道要略》“黜假验真镜第一”中载有以下二条：

“有以硫黄、雄黄、合硝石并蜜，烧之，焰起，烧手面及烬屋舍者”。“唯硝石伏火，不能独化五金。石硫黄宜服养诸药。硝石宜佐诸药。多则败药，生者不可。合三黄等烧，立见祸事。”

该书据考证，成书于中唐以后。由此可见，在中唐时期对硝石、硫磺与炭或可炭化的有机物(如蜜)的混合物的爆燃性能已有一定认识了。

综上所述，从已发现的资料看，有年代可考的原始火药配方应是 808 年清虚子所记载的“伏火矾法”。可以认为原始火药的发明应在清虚子成书之前，即不晚于八世纪末。

火药原始配方的发明是一件大事。由于古代军事家与炼丹家的关系十分密切，这种燃速快，并具有一定威力的火药配方一旦被炼丹家所发现，必然引起军事家的注意。战争经常推动一些科学技术前进，各种技术的发展都深受军事需要的影响，而且一种新技术在发现后通常都是首先应用于战争的目的。火药这一新事物能直接为军事服务，无疑更易得到军事家的重视和采用。因此，火药原始配方的出现预示着火药兵器时代的来临。

二、火药技术大发展的年代

火药何时始用于军事？冯家昇认为⁽⁶⁾：最早用火药制造的一种火器是“飞火”。宋代路振撰

孙真人丹经内伏硫黄法
硫黄一两硝石一两研砂半两右三味为
甘锅坯成汁泻入槽中成伏矣

黄三官人伏硫黄法
硫黄雌石白南礬各四两生姜自然汁半碗
磨刀水半碗将此水擦皂角五定取汁半碗
化前三味藥成汁如神相似以鐵器於火上
煎乾為末括取未作匱養三七日

图 3 孟要甫《诸家神品丹法》第五卷“孙真人丹经内伏硫黄法”(《道藏》洞神部, 众术类, 第五百九十四册)

表1 三种火药的组成表

| 名称 | 硝石 (%) | 硫磺 (%) | 木炭 (%) | 松脂 (%) | 其他有机物 (%) | 毒药及无机物 (%) |
|---------|-----------|-----------|-----------|---------------------|--------------|---------------------|
| 火球用火药 | 48.5 | 25.5 | — | 17.0 ⁽¹⁾ | 5.41 | 3.8 ⁽²⁾ |
| 蒺藜火球用火药 | 50.0 | 25.0 | 6.2 | — | 18.8 | — |
| 毒药烟球用火药 | 38.5 | 19.2 | 6.4 | — | 21.8 | 14.1 ⁽³⁾ |
| 近代军用黑药 | 75.0 | 10.0 | 15.0 | — | — | — |

注: (1)松脂在这里替代木炭的作用。

(2)指砒黄、黄丹、定粉。

(3)指草乌头、巴豆、狼毒、砒霜。

些火药配方是记入史册的人类最早的军用火药配方,标志着火药发展已经进入了一个新的历史时期。

十一世纪到十四世纪,在一系列战事之中度过的三百年,是各种火药兵器大发展的年代。

十二世纪以前的各种火药兵器,如火箭、火炮、火药炮、蒺藜火球、毒药烟球、金汁炮等利用的都是火药的引燃和延烧的性能。《武经总要》所载的霹雳火球,“以火锥烙球,声如霹雳”,表明火药的燃烧速度增快,声响强烈,但还不是爆炸性火器。

1126年金人围汴时,李纲用霹雳炮退敌,惜无详细记载。

到十三世纪,金人制造了铁火炮,也名震天雷,以生铁铸成,内盛火药,有孔装引线,用抛石机发出,到目标处爆炸。据史书记载:宋宁宗嘉定十四年(1221年)金兵围攻南宋蕲州时,大量使用了震天雷。金正大九年(1232年)赤盍合喜守凤翔,“其守城之具有火炮名震天雷者,铁罐盛药,以火点之,炮起火发,其声如雷,闻百里外,所蒸围半亩之上,火点著甲铁皆透。”(《金史》113卷)。1257年南宋大臣李曾伯调查兵备,报告中说:荆淮有铁火炮十数万只,荆州每月能制铁火炮一、二千只。1277年元兵破静江时,史书上有一段生动的记载:

“元兵破静江,守将姜铃辖以二百五十人守月城不下。阿里海牙笑曰:‘是何足攻。’围之十余日,姜从壁上呼曰:‘吾属饥,不能出降,苟赐之食,当听命。’乃遣之牛数头,米数斛。一部将开门取归,复闭壁。大军乘高视之,兵皆分米,炊未熟,生鬻牛,啖立尽。鸣角伐鼓,诸将以为出战也,甲以待。姜乃令所部入拥一火炮然之,声如雷霆,震城土皆崩,烟气涨天外,兵多惊死者,火熄入视之,灰烬无遗矣。”(《宋史》451卷)。

宋周密撰《癸辛杂识》前集有“炮祸”一节,记载火药生产时发生爆炸事故,造成祸灾。一次是在焙药时,另一次在碾硫时,都是很大的事故。书中有细致的描述。

“至元庚辰岁(1280年),维扬炮库之变为尤酷。盖初焉制造者皆南人,囊橐为奸,遂尽易北人,而不谙药性。碾硫之际,光焰倏起,既而延燎,火枪奋起,迅如惊蛇。方玩以为笑,未几透入炮房,诸炮并发。大声如山崩海啸,倾城骇恐,以为急兵至矣,仓皇莫知所为。远至百里外,屋瓦皆震,号火四举,诸军皆戒严。纷扰凡一昼夜。事定按视,则守兵百人皆糜碎无余,榱椽悉寸裂,或为炮风扇至十余里外。平地皆成

坑谷，至深丈余。四比居民二百余家，悉罹奇祸，此亦非常之变也。”

以上两则记载，充分说明当时火药爆炸威力之巨大，其中“惊死”、“炮风”应是爆炸时形成的空气冲击波作用的描述。这时火药已能进行爆轰，其组成配方应和《武经总要》所载的又有很大不同，有了很大改进。

就在铁火炮出现不久，利用火药的发射作用的火器也诞生了。宋理宗开庆元年(1259年)寿春府“造突火枪，以钜竹为筒，内安子窠，如烧放，焰绝，然后子窠发出，如炮声，远闻百五十余步。”(《宋史》197卷)元人所用管形火器称火筒或火箭，用巨竹做成，发射石球或铁弹丸。十四世纪出现由铜、铁制成的金属管状火器，称为火铳。现存最古老的铜火铳，制于元至顺三年(1332年)。这时已能较充分地利用火药的发射能力，在火药发展技术史上又前进了一步。

究竟我国何时始有祇含硝、硫、炭三种成份的火药？由于从南宋到元末有关火药的现存文献记载极少，难以确切判定。然而铁火炮出现于十三世纪二十年代，突火枪出现于十三世纪五十年代，那时火药既有强烈的爆炸威力，又有很好的速燃发射能力，我们有理由设想此时所用的火药已是硝、硫、炭三组分混合物了。

从《武经总要》多成份烟火剂类型的火药配方到三成份近代黑火药配方的转变，很可能是在十三世纪初期以前实现的。

三、火药技术的总结和理论探索

宋、辽、金、元四百年是火药技术大发展的年代。从原始火药配方到多成份烟火剂火药的飞跃在唐末或宋初实现，又经过二、三百年的战争实践，而完成了到近代火药的第二次飞跃。但是在此期间，由于激烈的战争要求严格的保密，对技术的进步还来不及做出科学的总结。火药技术的大量文字记载出现于明代。茅元仪、宋应星等人还对火药组分、配比和性能作了理论的探索。

明初的一本火攻书《火龙经》上载有十几种三成份火药的配方⁽¹⁰⁾，择其数种，列于表2。

表2 明初的几种三组分火药配方

| 名 称 | 硝 | 硫 | 炭 | 注 |
|-------|------------|------------|--------------|-----|
| 乌 铳 药 | 1两 (71.4%) | 2钱 (14.3%) | 2钱 (14.3%) | 柳 炭 |
| 火 炮 药 | 1两 (78.7%) | 1钱 (7.9%) | 1.7钱 (13.4%) | 杉 炭 |
| 起 火 药 | 1两 (80.0%) | 1钱 (8.0%) | 1.5钱 (12.0%) | 柳 炭 |
| 信 药 | 1两 (71.4%) | 1钱 (7.1%) | 3钱 (21.4%) | 葫 炭 |

这些配方的定量更精确了。对于炭的品种也有了规定，不同材质的炭确实对火药性能有一定影响。对于不同的应用提出了不同配方，这些配方与现代火药配方已很一致。

戚继光《纪效新书》(1548年)对火药配方和制造工艺等有详细记述。自序中说：“夫曰纪效，明非口耳空言；曰新书，所以明其出于法而不泥于法，合时措之宜也。”表明其中记载都经过实践检验，并有所创新。

在其“诸器篇”第十五，载有“制合乌銃药方”如下：

“硝一两，磺一钱四分，柳炭一钱八分。通共硝四十两，磺五两六钱，柳炭七两二钱。用水三钟。舂得绝细为妙。秘法先将硝磺炭各研为末，照数总合一处，用水二碗，下在木臼。木杵舂之，不用石杵者，恐有火也。每一臼，舂可万许。若舂干，加水一碗又舂，以细为度。舂之半干，取日晒打碎，成豆粒大块。此药之妙，只多舂数万杵也。”

此乌銃药配方合硝酸钾 75.8%，硫 10.6%，碳 13.6%，与现代标准军用火药无异。所载工艺，详实可行，并制成粒状，便于使用。该文中还写出了检验火药性能的方法：

“将人手心擎药二钱，燃之而手心不热，即可入銃；但燃过有黑星白点，与手心中烧热者，即不佳。又当再加水舂之，如式方止。”

燃速高，燃烧时间短，无残渣，则手心不热。有黑星白点，则表明化学反应不完全。这种检验是相当严格的。

明代对火药配方还作了理论的探讨。

茅元仪在其所著《武备志》(1621年)“火药赋”中说：“虽则硝、硫之悍烈，亦籍飞炭而匹配。”“硝则为君而硫则臣、本相须以有为；硝性竖而硫性横，亦平行而不悖。”“烈火之剂，一君二臣，炭硫同在臣位，炭则武而硫则文。剿疾则武收殊绩，猛炸则文策奇勋。”“炭硝少，文虽速而发火不猛；硝黄缺，武纵然而力慢。”作者对硝、硫、炭三种组分的作用和相互关系作了定性的说明，有一些是符合科学道理的。

明代大学问家宋应星对火药作了理论探索，对火药制造工艺亦有精湛的记载。他在所著《天工开物》(1637年)“燔石第十一卷”中说：“凡火药硫为纯阳，硝为纯阴，两精通合，成声成变，此乾坤幻出神物也。”又在“佳兵第十五卷”中说：“消性至阴、硫性至阳。阴阳两种物相遇于无隙可容之中。”这里指出了硝硫二者的对立和化合，对氧化还原反应作了形象的描述。又说：“凡消性主直，直击者消九而硫一；硫性主横，爆击者消七而硫三。”这和茅元仪所说“硝性竖而硫性横”是一个意思，并说得更为明确，提出“直击”和“爆击”两类。用现代的词汇，或可译为“发射”和“爆炸”。一般说来，火药燃烧速度不仅受成分的影响，而且也受工艺条件和粒子大小的影响；推动力和爆炸力在本质上是一致的。但是这种“直击”和“爆击”的分类注意到不同用途对配方提出的不同要求，也是一定条件下经验的总结。同书中还对硝石的提纯和硫磺碾细作了记述，其中说：“凡碾黄难碎，每黄一两，和消一钱同碾，则立成微尘细末也。”这是一可贵的经验。

宋应星甚至对火药爆炸所产生的冲击波的杀伤作用也作了科学的分析。他在《论气》这部著作中写道：

“惊声或至于乐人者，何也？曰：气从耳根一线宛曲出而司所焉。此气出入业其口鼻分官，窒则聋，禁则病，散绝则死。惊声之甚者，必如炸炮飞火。其时虚空静气受冲击而开，逢窍则入，逼及耳根之气骤入于内，覆胆堕肝，故绝命不少待也。”

这里的惊声就是空气冲击波⁽⁷⁾。“炸炮飞火”爆炸后，在空气中形成冲击波而致人于死命。对冲击波现象的科学描述和分析，这大概是历史上最早的记载。

四、火药的西传

恩格斯在《德国农民战争》⁽⁸⁾一文中写道：“火药是从中国经过印度传给阿拉伯人，又由阿拉伯人和火药武器一道经过西班牙传入欧洲。”

早在唐代，在我国和印度、阿拉伯、波斯等国家的贸易往来中，硝就由我国外传。阿拉伯人称硝为“中国雪”，波斯人称之为“中国盐”。

阿拉伯人最早用硝于火攻，据冯家昇考证⁽⁹⁾，当在1225年到1248年之间。他的理由是：一本写于1225年的阿拉伯文兵书中，讲火攻法很详细，讲到用各种硫磺和油类，却没有提到硝。后来一部作于1248年前的药典中，在“巴鲁得”一词下解释说：这就是“中国雪”。而在现代阿拉伯文，“巴鲁得”就是火药。

十三世纪晚期，阿拉伯人哈三写的兵书中记载了几个火药的配方⁽¹⁰⁾，例如一种称为“契丹花”的火药配方为硝10，硫2，木炭3.25，中国铁10。从“契丹花”、“中国铁”这些名称很明显地可以看出：这些配方带着中国的印记。

在十二、十三世纪欧洲的文化还是很落后的，远不如阿拉伯文化的先进，因此欧洲人都要学阿拉伯文，以获得先进的科学知识。欧洲最早一本火攻书《制敌燃烧火攻书》，此书中有希腊火和火药的内容，相传是希腊马哥（Marcuss Graecus）的作品，后来考据，这本书是从十三世纪中叶阿拉伯国家的一本著作翻译而成。至于希腊马哥此人，大概是伪托，至今在历史上未能找到其线索。

英国学者罗吉·培根（Roger Bacon）（1214—1292年）在他的著作中曾经讲到火药和炮竹一类的东西。据说，他在1249年所作的“Operibus Artis et Magiae”一书中曾记载有一种火药配方：硝石7，硫磺5，木炭5；并且还叙述了硝石的精制方法⁽¹¹⁾。但是，并没有记载足以证明这个配方确是他的创造或者他曾在火药研制方面有过一点实践。他曾经读过阿拉伯文的书籍译本。他还有一个朋友曾到中国并住过一段时间。许多人推测，他的知识还是来源于中国。

李约瑟（Joseph Needham）在其所著的《中国科学技术史》中说：欧洲应用火药，落后中国五到六个世纪。这有可能超过事实。欧洲国家在十四世纪与伊斯兰教国家的战争中才接触到火药兵器；但由于战争的迫切需要，欧洲在十四世纪中叶就应用管形火器了。1345年法国档案中记载：某国王送来两尊铁炮、八磅火药、二百颗铅弹。同年英皇爱德华三世下令制造射击性火器一百支⁽¹²⁾。如果说我国火药用于军事始于十世纪，那么欧洲迟约四个世纪。

注 释

- (1) 《毛泽东选集》，第3卷（1953年第1版），617页。
- (2) 《本草纲目》上载：火药可治疮痍，杀虫，避湿气瘟疫等病。
- (3) 我们对原始火药配方进行了试验，将另有专文报道。
- (4) 陈国符，“道藏经中外丹黄白术材料的整理”，化学通报，No. 6（1979），78—87。
- (5) 郭正谊，“火药发明史料的一点探讨”，化学通报，No. 6（1981），59—60。
- (6) 冯家昇著，《火药的发明与西传》，华东人民出版社（1954年第1版），17页。
- (7) 王伯枢，私人通信（1982）。
- (8) 《马克思恩格斯全集》，第7卷，386页。

(9) 同(6), 47页.

(10) 曹元宇编著,《中国化学史话》, 江苏科学技术出版社(1979), 207页.

(11) 南坊平造, 工业火药协会誌, 28(4)(1967), 34-41.

(12) 同(6), 75页.

A SHORT HISTORY OF GUNPOWDER

Ding Jing

Abstract

Gunpowder is one among the four great inventions of ancient China. Primitive powder compositions and the descriptions of their deflagrating capability could be found in the writings of alchemists of ca. eighth century. They were used for military ends since the tenth century. In the book 《wu Jing Zong Yao》(《Essentials of Military Principles》) there are recorded three "hou yao fa"(powder recipes). These are among the earliest military powder compositions that can be found in the history. It was the era of great development of firearms during the period of eleventh to fourteenth century. At the time of mid-thirteenth century, the well-developed gunpowder technology offered both explosives of high brisance and good propellants. There were many writings in the Ming Dynasty on the subject of gunpowder. Mao Yuanyi and Song Yingxing tried to relate phenomenologically the components and their percentages with the performance of gunpowder. In his book 《Lun Qi》(《On Gases》) Song Yingxing is the first one who described scientifically the nature and the effect of blast wave. Knowledge of the gunpowder diffused from China to Europe via the Arabian countries. Account of any real application in Europe of the gunpowder was not found in the literature until the fourteenth century.