

## 第五章

# 黑火药的发明和应用

火药是中国古代科技的四大发明之一。在中国的诸多发明和发现中，黑火药的发明和应用与造纸术、活字印刷术及指南针一样，对世界文明进步所产生的深刻影响是无与伦比的。这一评价早已为世人所公认。火药顾名思义即是着火的药，触火即燃是它的主要特性。之所以称作药是因为构成它的主要成分焰硝、硫黄，在古代都被看作药，特别是火药的配方和性能都是在制药炼丹实践中发现的。它是由一硝二硫三木炭混合而成，因其在燃烧后会产生黑色烟雾，故被叫做黑火药。火药配制中，焰硝、硫黄是关键的成分，可以说没有焰硝的发现和应用，就不可能有火药的发明。就是近代西方发明的无烟火药，从火药棉、硝化棉到硝化甘油、TNT炸药也都离不开硝基。英国科技史家李约瑟（J. Needham）正是根据 13 世纪后期以前阿拉伯和西方国家尚不知硝石这一事实，得出他们不可能发明火药的结论。

### 第一节 黑火药发明的技术背景

焰硝、硫黄是黑火药配方中的关键成分，中国先民对它们的考察、试验、研究从西汉初开始，到唐代大约有 1000 多年。早在先秦，焰硝已为我国先民取得并用作医药。在汉代《神农本草经》中，硝石已被列入上品药，并说它“味苦寒，主五藏（脏）积热胃张闭，涤去蓄结，饮食推陈致新，除邪气练之如膏，久服轻身，生山谷。”正是看上它的独特性能而把它列为上品。炼丹家更是注重它在促使其他物质发生变化方面的独到作用，而视它为炼丹药物中的重要成员。经过长期不间断的试验观察，到了唐代，对它的性能终于有了相当充分的了解。并且已经懂得根据它的许多特性而将它与其他诸硝，如钠芒硝、镁硝、朴硝（钙芒硝、钙钠镁盐）等有把握地加以区分了。这正是中国炼丹家高于当时阿拉伯炼金士的一个重要方面，这就使得焰硝有可能得到广泛采集、研究和利用。硝石在采用人工方法制取前，人们已发现它的天然分布状态。汉代以后的许多医药本草著作都指出，陇蜀道所经过的不少地方都是产硝之地。例如，南朝齐梁医学家陶弘景（456—536 年）在《名医别录》中记载：“消石……生益州及武都。”唐代苏敬等人编纂的《新修本草》明确地指出：益州（当时包括今四川大部 and 云、贵、陕、甘、青等部分地区）、武都（今属甘肃成县）、西羌（今青海大部）及汶山郡（今川北茂州羌族自治县）等地产硝。

据今人考察，古武都、陇西、宕昌等地今属甘肃东南部，那一带确有钾硝石矿存在。北方的许多地域，人们在天寒季节刮取地表上泛出似白霜的硝土，并将其熬制得焰硝的技术在唐代业已掌握。炼丹家也很看重硝石的这一来源。

关于硫黄，甚至雄黄、雌黄（古时统称它们为三黄）也是如此。在《神农本草经》中，雄黄、石流[硫]黄、雌黄位列中品药的前三，介绍硫黄说：“味酸温，主妇人阴蚀疽痔恶血，坚筋骨，除头秃，能化金银铜铁，奇物，生山谷。”硫黄有化金银铜铁的奇能，当然为炼丹家们所器重。根据相关的文献记载，及至唐代，人们已能通过焙烧黑矾石（即含煤的黄铁矿，又名涅石）取得硫黄。（又名矾石液，例如，产于东海牧羊山谷、泰山等地者）；从石膏岩层地区取得土硫黄（例如，荆南、林邑所产者）；还可以从溪涧中采集得水硫黄（例如，从广南、荣州所得者），更知从原火山区（例如，从悦般、西域且弥山）采集到石硫黄，因此硫黄的来源相当充分。至于雄黄，当时其精良者主要产于当时西北地区的武都、敦煌、宕昌，唐代时这些地方与中原一带的交通、商贸往来已很频繁，已远非两晋、南北朝时氏羌纷扰的局面，所以炼丹术中使用雄黄也较方便了。认识并能采集到硝石、硫黄，从而为炼丹家的试验探索，也为黑火药的发明准备了良好的物质条件。

1954年，冯家昇在其《火药的发明和西传》中卓具创见地提出了中国古代火药发明者是炼丹家的论断。经过50多年众多科学史家的进一步论证，不仅有文献的考证，还做了一些模拟实验，都赞同这一观点。因为在有一段时间里，中国炼丹术被否定得多，炼丹家的努力没有被客观地评价，因此有些人对认同火药发明出自炼丹家的观点疑虑甚多。为此，论述这一观点就必须加以科学的分析。

火药的发明所以出现于炼丹活动中，首先与中国炼丹术的工艺特点和内容有重要关系。人们对火药燃爆现象的发现源于对金石矿物的火炼。在中国古代，与火炼金石矿物有关的工艺不少，例如，烧造陶瓷、冶炼金属、煎盐烧石灰，它们焙烧的对象和反应产物既比较单一，性情又十分平和，唯独炼丹家所投入的火炼试验不一样，他们把品种繁多的众多矿物群体作为研究对象，设计出各种药物的组合配伍，经常把几种甚至于十几种矿物混合起来，放到火中去烧炼。他们的试验探究无疑是最大胆、最富于挑战性的，也具有相当的开创性，标新立异，别出心裁。虽然他们火炼的起始经验来源于烧陶炼铜炼铁的工艺，但是他们的火炼从内容到具体工艺操作，其复杂性已远远超过了前者（见图5-1）。他们在试验中接触到更多的化学反应，制造出的化学物质也是更多、更怪。在试验中发生各种意想不到的事故也必然很多，特别是遇到了让人后怕的燃爆现象（见图5-2）。



图5-1 清代画家黄慎所作的炼丹图  
（现藏台北故宫博物院）

火药的发明来源于炼丹术的另一个原因是炼丹术有一套遵循阴阳学说的配伍原则。在丹家眼里，硫黄被视为纯阳火石之精气，雄黄被称为日之魂，是极阳之物；而硝石被认为“乃取北方坎水之气，积阴而用。”它们分别是典型的阳药与阴药，那么它们同时被送入丹鼎的机遇就非常多了。因此可以想象，在隋唐之际，硝石作为阴药与作为阳药的三黄在一起合炼，或在炼丹的配伍中它们同时被采用的情况就会经常发生，就不时会出现燃爆现象。



图 5-2 炼丹中的意外——燃爆

在黑火药的配伍中，炭的引入也很重要。原先在以炼制长生大药为目标的活动中，炭及草木药是被歧视的，他们认为草木药只能滋补养生而不堪为长生大药的原料。因为丹鼎派的道士遵循“借外物以自坚固”的丹药观，认为“草木之药，理之即腐，煮之即烂，烧之即焦，不能自生，何能生人乎”（葛洪：《抱朴子内篇》）。因此在升炼神丹大药的原料中极少利用草木药的。那时的丹家只是在服丹时才使用一些草木药汁和蜜相佐，即草木药充其量只作药引。到了隋唐之际，情况有了稍许改变。草木药开始越来越多地进入丹家的药谱。改变这种状况的原因是黄白术的兴起。黄白术即是炼丹术中制造人工黄金、白银的方术。丹家们发现在黄白术中必须使用某些草木药效果才好，从而在黄白术中逐渐开始普遍地利用草木药。在黄白术中引入草木药得从“伏火”的技术说起。

中国炼丹术中的“伏火”是指以火法来制伏某些药物的固本性以及某些爆烈不驯的性格（包括毒性、挥发性、爆燃性），使之适用于炼制丹药和金银，或使炼制产物宜于服食。而在中国古代的黄白术中，自始至终最普遍被利用的点化药剂就是含砷的雄雌黄、砒黄以及硫黄，即所谓“四黄”。而这些点化药剂在受强热时很容易挥发，药物一旦飞散，当然黄白术就失败了。于是丹家们便努力设法找到控制点化药剂的方法。这方法就是让这些点化药剂伏火。在试验各类伏火药剂过程中，

初始大概是偶然地试用了一些草木药，例如用某些草木的灰来制伏四黄，居然收到了很好的效果。这一成功的经验被很快推广，故将草木药用于“伏火”的试验愈做愈多，经验日愈丰富，草木药在炼丹中的作用逐渐被另眼相看了。

在唐代的丹经中，这类草伏四黄的记载已是屡见不鲜了。若用现代化学知识来分析，可知以草伏火雄雌黄、砒黄的道理是因草木灰中富含碳酸钾，它与三黄一起共热便生成不易挥发的白色砷酸钾。丹经《大洞炼真宝经九还金丹妙诀》就明确指出三黄“若伏火，变白色，如轻粉”。而砷酸钾与木炭（一般草木灰中总常保留一些炭）、铜合炼，便可生成金黄色的砷黄铜（含砷 $<10\%$ 的铜砷合金）或银白色的“丹阳银”（含砷 $>10\%$ 的铜砷合金），这就是药金、药银了。草木药在黄白术中伏火的成功，不仅使它在黄白术中得到广泛利用，而且也很快被扩展到神丹大药的炼制中。丹家为了表示对这些草木药的崇敬，还为它们起了非常美妙的隐名：某某“龙芽”。中唐时的丹家们在利用这些“龙芽”作伏火药剂时，往往将它们先“炭化存性”，认为控制燃烧至不再冒烟，所生成的炭更为精华，伏火效能更佳。正如丹经《纯阳吕真人药石制》所说：“凡烧龙芽制其烟，烟去精华力更坚。慢火五斤难擒制，却道仙家法不玄。”可以想象，当丹家们把这些“龙芽炭”与雄雌黄、硫黄混合后，还可能会再运用阴阳相制的原则，补充混入阴性硝石以加强伏火作用的力度（硝石确可促进雄雌黄和硫黄生成不易挥发逃散的砷酸盐和硫酸盐），那么就调配成了类似丹书《诸家神品丹法》和《铅汞甲庚至宝集成》中所收录的那类“伏硫黄法”的伏火配方（炭化皂角-硫黄-硝石，炭化乌兜铃-硫黄-硝石），即真正的炭-四黄-硝石三元组分的燃爆配方。当这类混合物一旦进入伏火试验，点燃后就可能发生较硝-硫二元混合物更加猛烈的燃爆，出现炸鼎甚至烧及手面、屋宇的惨痛的事故。黑火药的发明就是隐藏在这类试验中。

## 第二节 黑火药的发明及其早期应用

唐代是中国古代文明社会的鼎盛时期，无论在经济发展中还是在科学文化上都取得了众多成就。唐朝皇帝姓李，为了政治上的需要，自称是“太上老君”李聃（老子）的后裔，尊老子为圣祖。道教也奉老子为其祖师爷。这样唐王朝立道教为国教，实行尊道抑佛的政策就有了某种依据，从而出现了道教与皇权结合的局面。因此主要由道士们运作的炼丹术，其发展到唐代也进入了它的黄金时期。李唐王朝的历届皇帝都宠信道士，热衷于神仙方术，追求长生不老方。到了唐玄宗时，为了打击武则天所依靠的门阀势力，第二次推行崇道抑佛的政策，加封老子为“太圣高上道金阙玄天皇帝”，册封道教创始人张道陵为天师。开元中又“发使搜访道经，纂修成藏，目曰《三洞琼纲》，总三千七百四十四卷”，天宝七年（748年）“诏传写，以广流布”，这便是后来历代《道藏》大丛书的开端。据《旧唐书》记载，唐太宗

之死实由服丹药所致。后来唐代的不少皇帝仍不听劝阻，继而服食丹药，因此而夭折的还有宪宗、穆宗、武宗、宣宗等。皇帝至尊，崇奉、支持金丹仙道如此狂热，“上之所好，下必甚焉”，服食长生之风一时弥漫朝野上下，烧丹炼汞、修炼长生之道，当时竟成为全国的风尚。首先是那些达官显贵群起效仿，后来文人士也往往对服食飞仙如醉如痴。韩愈曾告诫别人不要轻信饵丹能长生的服食说，然而到了晚年，他还是因服食丹药而亡。元稹、杜牧、崔玄亮等著名的文人皆因服丹药而暴夭。

炼丹术士披着道士的外衣，在皇权的保护和眷养下，财势并加，更无忌讳和更大规模地从事炼丹活动。转炼五金八石、烧丹飞汞的实验得到了广泛的发展。大量的试验，特别是上述各种“伏火法”的试验，不论伏火多么成功，或操作多么讲究，那些因配伍中有硝石、三黄及草木药的混合而发生的燃烧炸鼎的事故必定还会常有发生。这种毁坏设备又易伤人的事故不仅致使试验失败，还会造成财产损失和危及人身安全。对此炼丹术士不能不作认真的思考。应对的思考有两个方向。一是进一步努力钻研，如何在炼丹过程中防范这种灾难的发生，并提出了对某些药物合炼的禁忌；另一方面则钻研对硝石、雄黄、硫黄等的伏火法，事先改变它们的爆烈性格，再来利用。这仅是“防”的思考。另外有一些炼丹术士，尤其是那些熟习炼丹，又积极参与兵法战策研究的道士（历史上方士出任军师有许多先例），便循着爆燃事故的调查，去努力探究这种爆燃的规律，进而总结并实验爆燃药剂的配伍与配比，以得到更强的爆燃效果，以用于展扩火攻的战术。这是一种“进”的思考。这批炼丹术士正是黑火药的直接发明者。可惜的是，在现存的丹经中关于这方面的正面记载，由于多种原因，例如，当时保密的需要、方士不便公开身份等，至今仍极罕见。后人只能通过对众多“伏火法”的考察来寻找早期的黑火药配方。

在唐代中期的炼丹术中出现了许多这类“伏火方”。值得注意的是这类“伏火方”的制定很像是前一类炼丹术士的经验提示。实际上其配方就是一付火药方。其讲述很有分寸，很注意尽量使燃烧过程缓和地进行；假若不想使过程缓和进行，那就是爆燃。下面列举几个此类“伏火方”。

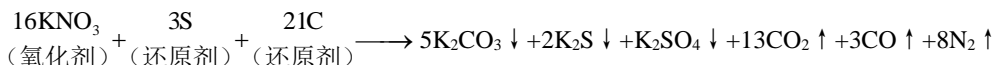
唐代宝应年间（公元 762—763 年）已问世的《丹房镜源》有用炭伏火硝石方：“硝，研如粉。以瓶于五斤[炭]火中煅，令通赤。用鸡肠叶、柏子仁和做一处，分丸如小珠子大，投赤[热]瓶中，加硝四两，用鸡肠草叶、柏子仁煅珠子尽为度。硝子草伏住，不折一切物。”在此过程中，硝酸钾变成了碳酸钾，当然也就情性平和，丧失了助燃性。

原载于《孙真人丹经》内（此孙真人非孙思邈，该丹经成书于公元 758—760 年）的《诸家神品丹法》（卷五第十）有一“伏火硫黄法”：“硫黄、硝石各两，令（合）研。后用销银锅或砂罐子上件药内。掘一地坑，放锅子在坑内与地平，四面却以土填实。将皂角子不蛀者三个，烧令存性，以铃（钳）逐个入之。候出尽焰，即就口

上着生熟炭三斤，簇煅之。候炭消三分之一，即去余火不用，冷取之，即伏火矣。”把皂角子先“烧令存性”，就是把它在高温下焙干并炭化，但不成灰。因此这个配方就是由硝、硫、炭三组分构成的。丹家强调要逐个加入炭化的皂角子，又要求将反应锅埋入地下，以防万一，表明他们已清楚知道此三物合炼的危险性。

唐元和三年（公元 808 年）方士清虚子所撰《太上圣祖金丹秘诀》中有一“伏火矾法”：“硫二两，硝二两，马兜铃三钱半。右为末，拌匀。入药于罐内。掘坑，入药罐于内，与地平。将熟火一块弹子大下放里面。烟渐起，以湿纸四、五重盖，用方砖两片，捺（按）以土，冢之。候冷取出，其硫黄[伏]住。”此项操作中也包括了很多防范爆炸的措施。

从以上“伏火硝石”、“伏火硫黄”等试验操作，可以从一个侧面观察到当年“火药研制”的某些情景。可以肯定，当时制得原始火药的条件和经验都已成熟了。上述三个配方所进行的化学反应主要是：



1825 年，英国化学家歇夫列里提出了关于火药燃烧的反应方程式：



由此可见，炼丹家发明的火药配方是符合科学原理的，是炼丹术——雏形化学实验的重要成果。

火药方在炼丹术士那里仅是一种药材加工手段，也是烧炼神丹大药过程中的一个警示。当火药方落到了军事家的手里，火药很快就成为当时作战中威力无比的火攻武器，两者的合作使火药方从丹家炼炉中走出来，在社会上制造了轰动的影响，改变了整个作战的方式。将火药制成火药武器在中国至迟在唐朝末期便已出现。宋人路振在《九国志》记载：“天佑初（公元 904 年）……（郑璠）从攻豫章，璠以所部发机飞火烧龙沙门，率壮士突火先登。入城，焦灼被体。以功授检校司徒。”许多学者认为出现在唐末的这种“发机飞火”大概是利用原始火药的火器。箭头附着小型火药包，点燃后用强弓射出去的火药箭可能是最早的火药武器（见图 5-3）。

火药武器所显示的威力使其备受重视，因而有了发展的动力。到了宋代初期，统治者很重视火药武器的研制，并奖励火器发明中的建树者。据《宋史·兵志》（出版于公元 1345 年）云，开宝三年（公元 970 年），兵部令史冯继升等进火箭法。宋人王应麟（公元 1223—1296 年）在其《玉海》（约出版于公元 1267 年）也提到公元 969 年冯继升、岳义方进火箭法。这一史实应是可信的。这火箭虽然不是现代意义上的火箭，但是可肯定是一种火药武器，它很可能是箭头下缚着火药包的火药箭。这一时段，火药武器有了迅速进展，火药配方已趋完善，火药箭、火球、火蒺藜、毒药烟球等火药武器相继出现。公元 1000 年唐福献“火箭、火球、火蒺藜”，公元 1002 年石普制火球、火箭等受到了赏赐（宋史·兵志）。火药的研制、火药武

器的生产正式成为军事技术的重要内容。在宋仁宗（公元 1023—1063 年在位）时期，根据当时守疆御侮的需要，皇帝要求文武大臣和统兵将领都要了解历代和本朝的用兵方略和熟谙军事技术的有关问题，下令由当时的天章阁待制曾公亮、工部侍郎丁度等人，编纂军事百科全书《武经总要》。该书历经 4 年，经多人努力，在北宋庆历四年（1044 年）刊印，书中除介绍了许多军事常识和军事谋略外，还记载了当时已被应用的十余种火药武器，特别是完整地记录了三个军用火药配方。下面是这段记录：



图 5-3 十世纪中国的火药箭

“火球火药方，晋州硫黄十四两、窝黄七两、焰硝两斤半、麻茹一两、干漆一两、砒黄一两、定粉一两、竹茹一两、黄丹一两、黄蜡半两、清油一分、桐油半两、松脂十四两、浓油一分，……旋旋和匀，以纸五重裹衣，以麻缚定，更别熔松脂敷之，以炮放……”

“蒺藜火球火药方，硫黄一斤四两、焰硝二两半、粗炭粉五两、沥青二两半、干漆二两半，捣为末；竹茹一两一分、麻茹一两一分，剪碎；用桐油和小油各二两半、蜡二两半，熔汁和之。（外缚药料为）纸十二两半、麻十两、黄丹一两一分、灰末半斤，以沥青二两半、黄蜡二两半，熔汁和合，周涂之。”

“毒药烟球火药方，球重五斤。用硫黄十五两、草乌头五两、焰硝一斤十四两、巴豆五两、狼毒五两、桐油二两半、小油二两半、木炭末五两、沥青二两半、砒霜二两、黄蜡一两、竹茹一两一分、麻茹一两一分，捣合为毬，贯之以麻绳一条，长一丈二尺，重半斤，为弦子。外缚药用纸十二两半、麻皮十两、沥青二两半、黄蜡二两半、黄丹一两一分、炭末半斤，捣合为涂料（缚于球壳上）”

上述三个火药方是世界上已知的最早的军用火药配方。除硝石、硫黄、木炭基本成分外，还掺有桐油、清油、浓油等油类作调配剂，用干漆、沥青、黄蜡、竹茹、麻茹、松脂等易燃物作填充剂，有的火药中还加入砒霜、巴豆、狼毒、草乌头等有

毒物作附加剂。通过内含的约 10% 的植物油脂将已粉碎混合的药料制成膏状，外面用几层纸裹定，再用麻绳等缚住，从而制成球形。重量约有 2.5 千克。上述三个火药方，只考虑有效成分，不计其他成分，火炮火药中含硝石 40 两、硫黄 21 两、炭量漏记；蒺藜火球中硝石 40 两、硫黄 20 两、木炭 5 两；毒药烟球中硝石 30 两、硫黄 15 两、木炭 5 两。大体上，含硝石 60%、硫黄 30%、木炭 10% 左右，离近代火药配方还有一定距离。由于加了多种调配剂和填充剂，势必影响硝硫炭的混合均匀，从而会影响火药的燃烧效能，加上添加过量的油脂之类物质，更是会延阻燃烧反应的速度和威力。因此，当时的火药武器的功能主要体现在燃烧上。具体地说，火炮是用热铁锥插入其中点燃后再通过抛石机抛出，火炮落到敌阵就像一个延烧的火球或烧爆裂开成一簇火。当在火药与带有尖钩铁制蒺藜同存一个火药包里，则叫做蒺藜火球，它既可以延烧，又可以用蒺藜伤人，对战马也构成伤害。当在火药成分中加入毒性物质和引燃物后，则成为毒药烟球，它既可以延烧，又可以散发出毒气或毒物。如将小型火药包缚在箭杆上，用弓弩或弹力装置射出，这便是纵火箭（火药弩箭）或“火药鞭箭”。早期的火药武器大体上就是如此，由于其含硝量偏低，含硫量偏高，还不能算作炸弹和发射药，尽管当时称其为“火炮”、“火箭”，但还不是真正意义上的炸弹、火炮、火箭。

火药武器初显神威，促使朝廷更加重视火药、火药武器（见图 5-4）的研制和生产。在完成中国历史上第一部军事百科全书《武经总要》编纂后，宋神宗在熙宁年间（1068—1077 年）改革了军制，设置了军器监，总管京师及诸州的军器生产。该机构规模宏大，分工细致，在京都和一些州县都分立了很多工场。宋人王得臣所撰的《尘史》中引宋敏求《东京记》，谓：“八作司（工场）之外，又有广备工城作（国防工场）。今东西广备隶军器监矣。其作凡一十目，所谓火药、青窑、猛火油、金、火、大小木、大小炉、皮作、麻作、窑子作是也。皆有制度作用之法，俾各诵其文而禁其传。”可见当时军工生产中已把火药列为首位，而且其技术是“诵其文禁其传”，说明技术是保密的，由政府管辖，包办经营。

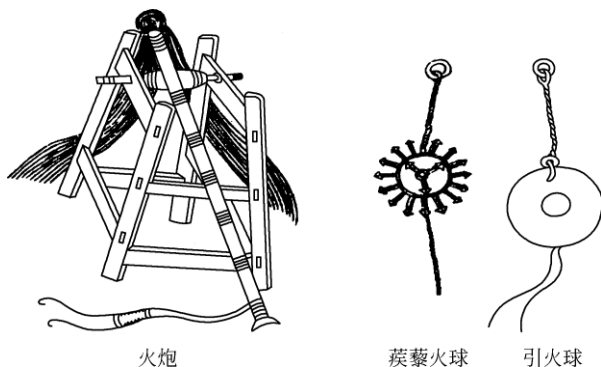


图 5-4 宋初《武经总要》中描绘的当时的三种火药武器



有军器监的专门管理，又有一个激励的机制，火药和火药武器在北宋后期和南宋就有了很大的进步。其进步主要表现在“药线”的发明和管形火器的出现及火器的功效由燃烧型向燃爆型转变。在军器监属下的工场中，集中了许多能工巧匠，他们较之炼丹家的闭门单作有更大的开创性。在他们的共同努力下，在不断试验的同时逐步改进了火药的配方，增加了硝石的含量，减少了那些作用不显著的助燃料和填充剂，使火药的燃烧速度和烈度得到提高，可生产出含硝石量较高、含硫量低的固体火药。这种火药不再是膏状，而可以制成小颗粒状或粉状。用它可制成药线（即用棉线裹着火药的成品，棉线可用皮纸搓捻而成）。工匠们还发现使用药线代替烧红的铁锥不仅可行，而且也方便使用。这项发明对于火药武器的使用是非常重要的，不仅改善了火药引燃的方法，并使引燃的时间变得可控。

在军器监属下的工场里，工匠们还发明了一种名为“霹雳炮”的新式火器。据宋人杨万里在《诚斋集·海鲋赋》中的介绍，初次使用这火器发生在靖康元年（1126年）的汴梁保卫战。当年金兵围困汴梁时，李纲登城，下令发“霹雳炮”击退敌人。宋高宗绍兴三十一年（1161年），金人欲渡长江，发生了采石水战。宋军又发“霹雳炮”，“盖以纸为之，而实以石灰、硫黄，炮自空而下，落水中，硫黄得水而火作，自水跳出，其声如雷，纸碎而石灰散为烟雾，迷其人马之目，人物不相见。于是宋军舰驰之压敌舟。”“人马皆溺，遂大败之。”这种霹雳炮大概是由两节相通的纸管做成，下面一节只放火药，点燃后爆炸使另一节升空，另一节放石灰、硫黄和火药，升空后下落时又爆炸，纸裂而石灰四散像烟雾一般弥散开来（见图5-5）。这种霹雳炮应是后世双响鞭炮的雏形，只是前者曾在战场一度逞威，后者成为烟火欢乐的常客。

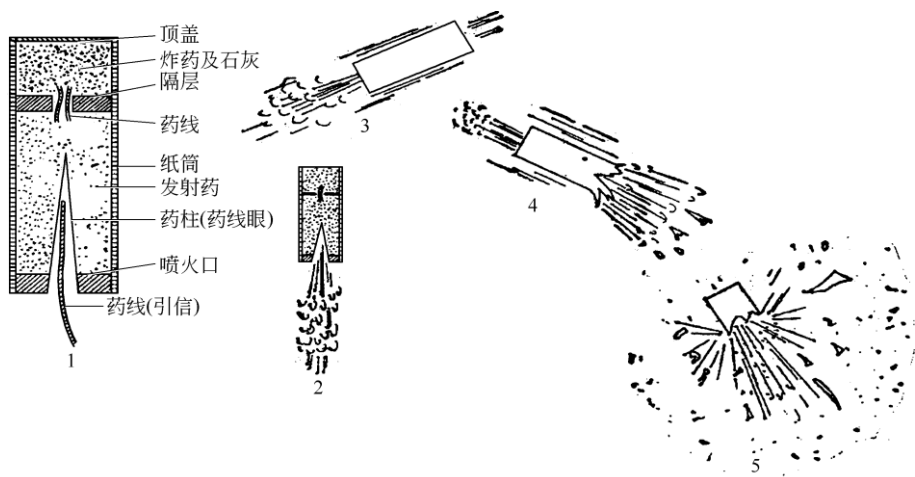


图 5-5 中国 1161 年采石水战使用的“霹雳炮”示意图

宋高宗绍兴二年（1132年），陈规守德安（今湖北安陆）时，发明了一种管形

火器，叫“火枪”。它是用巨竹筒制成的，内装燃烧性火药，每支由两人端持。在战场交火时，点燃引线，火药燃起后就成火焰由前端喷出，烧杀敌人。这是当时一种原始的管形火器，是后来射击管形武器（枪、炮）的始祖，对照现代的兵器，应该说它是原始的火焰喷射器（见图 5-6）。

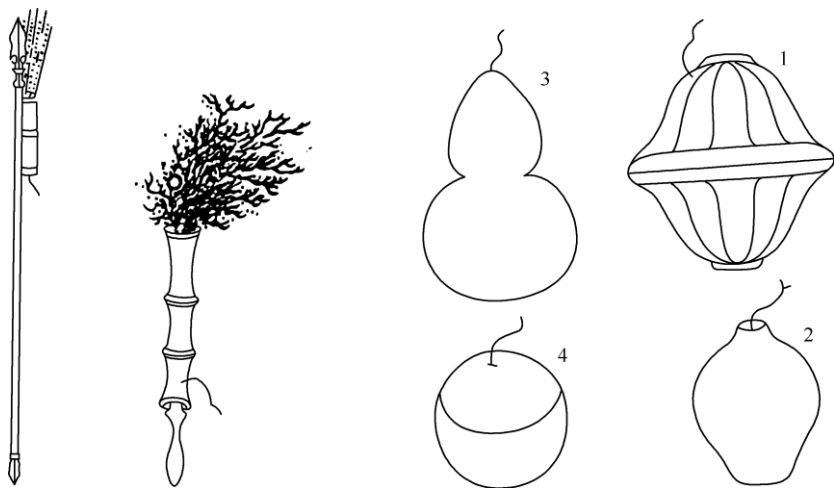


图 5-6 宋代部分火药武器的样式  
1—合碗式；2—罐式；3—葫芦式；4—球式

金人在与宋朝的交战中，也掌握了火药武器，并有新的发明创造，其中尤以“铁火炮”名声最响。这种铁火炮的俗名叫“震天雷”。金哀宗天兴元年（1232 年）蒙古军攻打金朝的南京（今河南开封）时，金人守城时使用了他们研制的新式火器“震天雷”，大破蒙古军攻城用的器械“牛皮洞子”，取得了守城的胜利。这种“震天雷”的火器是一个装满火药的铁罐子，火药燃爆其声如雷，据《金史》记载：火药发作，声如雷霆，热力达半亩之上，人与牛皮皆碎迸无迹，甲铁皆透。可见在当时其爆炸力是很可怕的。

宋理宗开庆元年（1259 年）寿春府（今安徽寿县）又创制了一种新式火器，名“突火枪”。它是以巨竹为筒，内装火药，并安放进一些“子窠”（子弹），据《宋史·兵志》介绍，火药点燃后，先喷射出火焰，火焰尽后，再一声巨响，“子窠”射出，就可伤敌。这火器比陈规发明的“火枪”又进了一步，那就是有“子窠”的射出，这应是后来枪炮的先声。

根据现代科学知识，火药燃爆的机理是：火药燃烧中，硝石会释放出相应的氧，加速炭、硫等物质迅速氧化，在瞬间释放大量的  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  等高温高压气体，其体积瞬间猛增千百倍，并产生大量光、热和冲击波。当药量足够大而反应在密闭的空间进行时，就会把容器胀破，发生剧烈的爆炸和发出巨大声响。上述火器由燃烧型向爆炸型、发射型转变，就必须提高硝石含量及其纯度，同时将包裹火药的材

料由纸改为金属。

总之，随着火药配制技术的逐步提高，也使火药武器（火器）在军事上的应用日益变化和发展。当这些火器被大量推广后，就把人类在战争中的技能发挥，提升到一个新的水平，开辟了人类战争史上的火器与冷兵器并用的时代。

黑火药的神奇功能，不仅为军事家重视而创制了多种火药武器，同时民间艺人对它也很感兴趣。他们将火药配制成多种类的烟火用于节庆的欢乐就是一例。据宋代《东京梦华录·京瓦技艺》、《都城纪胜·瓦舍众伎》、《武林旧事·诸色艺人》、《梦粱录·除夜》等书记载，在北宋末年，当工匠们生产出颗粒状的固体火药和药线后，烟火更方便地被推向娱乐市场。在当时的东京汴梁（今河南开封）便设立了烟火作坊，运用制作火箭、火枪的原理，将其改造成有观赏性的爆仗、烟火、起轮、走线、流星、水爆、地老鼠、成架烟火、烟火屏障等，用于节庆。特别是元宵佳节，在皇宫内、官府家、街巷中，到处张灯结彩，人们都穿梭于各烟火放发点，燃放爆仗、点发烟火，热闹异常，节日的欢乐气氛得到浓重的渲染（见图 5-7）。自此以后，相沿成俗。自 14 世纪起，和火药、火药武器一样，中国先民的发明创造成果为世界人民所共享，以火药配制为核心的烟火技术便在周边国家广为流传，并推向了世界各地，成为各国各民族人民欢庆节日和重大庆典活动的点缀。可以说，这也是对世界文化生活的一个重要贡献。

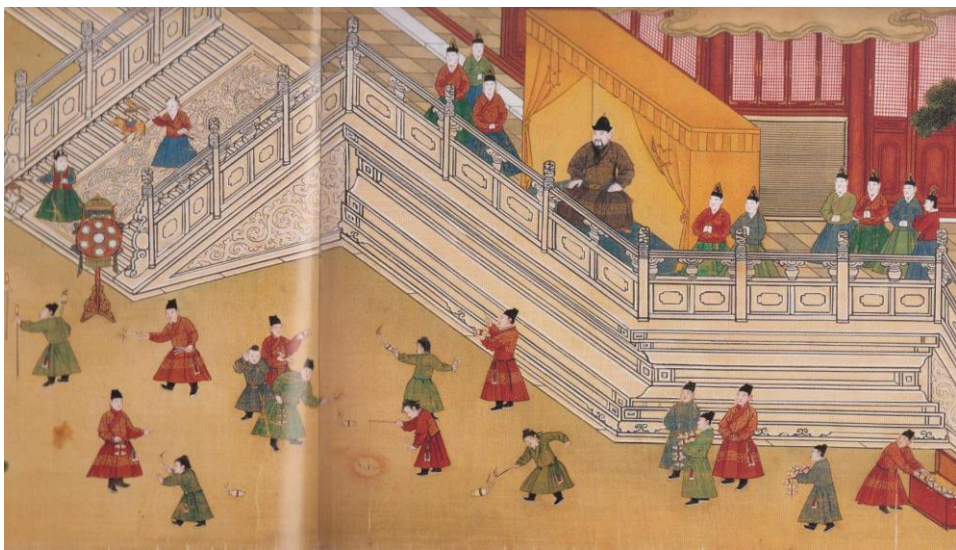


图 5-7 明宪宗行乐图（部分，1475 年，国家博物馆藏）

### 第三节 明清时期的火药、火药武器的生产技术

蒙古人从金人军队，后又从宋朝军队那里继承、掌握了多种火药和火药武器，并用在他们西征的战场上。其间，他们在使用中也有改进和发展，这些成果主要展现在明代初期的火药和火药武器的制作水平上。但因元代在中国历史上仅存 90 多年，少有实物遗存（见图 5-8）。

从《武经总要》撰成到明初永乐年间，火药的研制和火药武器的生产经历了近 400 年的发展，在制作经验、品种类型、配方花式及原材料加工等技术领域都有了长足的进步。



图 5-8 元至顺三年（1332 年）  
铜手铳（现藏国家博物馆）

明代火药生产已初具规模，产量是很大的。这可以从朝鲜的《李朝实录》一段记载看出来。明太祖洪武七年（1374 年），高丽国王为了抗倭而打造船只、装备军队，派人到明朝请求支援器械和火药等物资。明太祖朱元璋批示说：“高丽来关军器、火药、造船捕倭，我看了好生欢喜……教那里扫得五十万斤硝，将得十万斤硫黄来这里，著上别色合用的药修合与他去。”一次送几十万斤火药，表明当时火药生产数量是很大的。明代统治者对火药和火药武器的生产和管制十分重视，一方面禁止民间私造军器，同时严禁兵器出境，尤其是火药武器。在政府专营的情况下，火药和火药武器的生产技术由于军事上的需求仍在不断进步。这一阶段的发展水平，永乐十年（1412 年）出版的《火龙经》作了全面的总结。这部著作是明代初期流传至今最重要的火攻全书。

《火龙经》主要讲火攻，火攻最有威力的武器是火药武器。除论述了火攻原理（包括火攻时的气候、地利、药法、兵戎等），还着重介绍了各种火药方（含各类火药配合诀歌）、火器、火阵。关于火药配方中的正料功用，它是这么说的：“硝火（原注：主直）、硫黄（主横）、雄黄（毒火）、石黄（发火）、雌黄（神火）、箬叶灰（主爆）、柳木炭（主直）、杉木炭（主锐、碎）、葫芦灰（主烈）、桦皮灰（主锐）、麻秸灰（无声）、蜀葵灰（不畏雨）。”关于火药配方中的副料，特别是毒药功用是这么记载：“桃花砒（红色）、铁脚砒（黑色）、码碯砒（五色）、水银泡干漆（火）、巴豆油（毒烟）、江豚油（毒）、桐油（烧）、金汁（粪汁，主烂）、天麻子油泡蒜汁（烂）、狼毒（热）、大附子（热）、天雄（热）、常山（呕）、闹羊花（泛毒）、牙皂（唆）、黎芦（毒）、川乌（毒）、草乌（闹）、钩吻（断）、大戟（毒）、巴霜（毒）、矿灰（逆）、人精（毒）、半夏（噤）、狼粪（风）、蜈蚣（毒）、江豚皮骨（逆）、蝻蛇（毒）、虾蟆（毒）、大蓼（毒）、烂骨草（烂）、鬼汜草（毒）、茛苳草（毒）、巴豆（吐）、虺蛇（毒）、银虺（烂）、破血草（血）、封喉草（毒）、断肠草（断）……

右药正、副八十三种，制炼各火药，题诀配合，自足收功，差之毫厘，谬以千里。”使用这么多的有毒物，表明当时注重在火药杀伤作用中毒物毒气的功能，也说明当时火器的爆炸性尚不够强，而在延烧的同时加强毒性的功效。通过“火药配合诀歌”可以知道当时火药配方至少有七类：万应神火药、毒（火）药、烈火药、飞火药、烂火药、法火药、逆风火药。火药的分类似乎以杀伤性能来区分的。在诸种杀伤方式中“以毒为主”，所以“毒”贯穿于各药方中。下面以“法火药”为例作一个展示。

法火药配诀歌：姜皂为君足八斤，二椒二蓼细罗成，白砒须用巴豆拌，碾灰烧酒裂须臾，每味各加四两足，乌梅姜汁二斤余，诸味攒成和一处，便将纸炮巧装盛，周围却把松香蘸，霹雳小砲在中心，炮响一声如吐雾，冲迷鼻窍瞎人睛，眩晕昏花无可奈，喷嚏连天不绝声，一物不见不能走，满营撩乱自纵横，挥兵一涌前追杀，个个生拿与活擒。

其火药配方为：良姜一斤，干姜一斤，军姜一斤，猴姜一斤，川辛四两，黑蓼四两，赤蓼四两，榆皂四斤，白砒四两，矿灰四两，火皂四斤，人精四两，松香四两，硝火七斤，硫火三斤二两，石黄一两，雌黄四两，箬灰四两，柳灰四两，桦灰四两，乌梅二斤。

制造方法为：以上火药装炮，用三七配合，发药七分在下，毒药三分在上。装火球火砖则平，用发药在周围，毒药包在中。

显然，这种毒剂可产生一种对人目及呼吸系统有强烈刺激性的烟雾，所谓“法火药”的“法”大概是“法术”、“魔法”的意思。这种火药所采用的发药大概是“火炮药”。

《火龙经》（中卷）还记载了众多品种的火药武器，既有较原始的“神火飞鸦”，又有新式的“九矢钻心神毒火雷炮”、“飞火神火毒龙枪”、“八面神威风火炮”等。至于（下卷）记载“佛朗机”、“自开火门鸟銃”、“百子鸟銃”等由欧洲传入的新式火器，应当是该书在后世（嘉靖年间）（1522—1565年）由后人补进的文字。表 5-1 是《火龙经》所载诸火药（发药）方。

表 5-1 《火龙经》（1412 年）所载火药（发药）方

火药方	成分			
	焰硝	黄类	炭类	其他
信药方	一两	硫黄一钱	葫炭三钱	班猫三钱
火炮药方	一两	硫黄一钱	炭七钱	班猫一钱二分
火銃药方	一斤	硫黄一两	葫芦炭五钱	黑砒三钱
		石黄一两 雄黄五钱		

鸟銃药方	四十两	硫黄五两五钱	柳炭茄炭共七两二钱
大炮药方	一两	硫黄一钱	杉炭一钱七分
小炮药方	一两	硫黄三钱	杉炭茄炭共八钱
夜起药方	一两	硫黄二钱	柳炭一两
日起药方	一两		炭九钱

续表

火药方		成分			
		焰硝	黄类	炭类	其他
喷火药方		一两	硫黄四钱五分	柳炭三钱五分	铁砂七钱五分
流星药饼方		十两	硫黄二两	杉木炭五钱	潮脑一两，定粉五钱
流星发药方		十两		柳炭一两五钱	
回火药方		一两	硫黄五钱	松杉炭八分	
				松香二钱	
喷火药方（紧药）		九十六两	硫黄五两	柳炭二十八两八钱	
（慢药）		九十六两	硫黄一两	柳炭五十七两六钱	
神机火箭药方		一两	硫黄八两	柳炭三两五钱	
				葫芦炭三两五钱	
火弹方		十两	硫黄六两	杉炭五钱	
			雄黄一两五钱	潮脑一两	
走线方		一两	硫黄三钱	柳炭三钱五分	
火箭药方		一两	硫黄一分五厘	柳炭三钱	砒一分
铅（弹）火药方		四十两	硫黄六两	柳炭六两八钱	
铅銃火药方		四十两	硫黄三两三钱	荷炭十两	
信号药方	青烟方	二两	硫黄五钱	杉炭五钱	桦皮二两，青黛一钱
	白烟方	一两	硫黄七钱	杉炭一钱	铅粉四分
	红烟方	一两		松香二两，沥青八分	黄丹一两
	紫烟方	一两	硫黄三钱	杉炭一钱	紫粉五钱
		一两	硫黄三钱	杉炭三钱	
	黑烟方			木煤三钱	生皂角
				生皂角三钱	
干点灯方		五分	硫黄一两	干漆一两	
		一两	硫黄一两	干漆一两	
风前蚀方				沥青二两	黑豆末二两
				黄蜡二两	
风雨不灭方		一两	硫黄五钱	樟脑五钱	黄丹一两，夜合花五钱
				松香五钱	

明代嘉靖至万历年间（1522—1615 年）先后有胡宗宪的《筹海图编》、戚继光的《纪效新书》及《练兵实纪》、赵士桢的《神器谱》、王鸣鹤的《登坛必究》、吕坤的《救命书》等军事著作相继问世。这些作者要么是带兵的将领，要么是对军事有研究的专家。他们在书中记录了许多兵法，介绍了军器及火药方和火药武器。研读这些著作不仅可以了解当时火药和火药武器的生产状况和水平，还可以发现其对我国军器生产的影响及一个新的情况。这情况就是火药和火药武器在 13 世纪通过商人和成吉思汗及其子孙们的西征传到了阿拉伯，欧洲人又从阿拉伯人那里学会和掌握了火药及火器的制造技术。火药、活字印刷术、指南针及造纸术促成了欧洲的文艺复兴运动。文艺复兴带来的思想大解放致使科学技术获得迅猛的发展。火药配方被改进、火药武器得到提升。反过来，在 16 世纪欧洲人带着像佛朗机、鸟铳一类的新式火器来到中国国门，对中国提出了挑战。

《筹海图编》记载了佛朗机、鸟铳，谓：“[佛朗机]每座约重二百斤，用提铳二个，每个约重三十斤，用铅子，每个约重十两。此机活动可低可昂，可左可右，乃城上所用者守营门之器也。其制出西洋番国，嘉靖年始得传入中国。”“佛朗机、子母炮、鸟嘴铳皆出嘉靖间。鸟嘴铳最后出，而最猛利，以铜铁为管，木壳承之，中贮铅弹，所击人马洞穿。”“佛朗机”原是明代泛对葡萄牙国、西班牙国及其国人的称呼，这里则是指装备在葡萄牙战舰上的一种火炮。嘉靖元年（1522 年），明朝军队在广东新会的西草湾，对藐视中国主权和寻衅闹事的葡萄牙舰船进行反击，缴获了三艘舰船及其舰炮，以后遂称这种大炮为“佛朗机”。《明史·兵志》谓：“至嘉靖八年，始从右都御史汪鋐言，造佛郎机炮，谓之‘大将军’，发诸边镇。”关于鸟铳，抗倭名将戚继光在《练兵实纪杂集》中论说：“诸器之中，鸟铳第一，火箭次之。”赵士桢在《神器谱》中说：“近代火器则愈多而愈无实用……著论甚众，以鸟铳为最善。”“自鸟铳流传中国，则诸器（指明朝军队使用的神枪、快枪、夹把、三眼、子母等兵器）又失其为利矣，诸器一手持柄，一手燃药，未及审固，弹已先出，高低远近，多不自由。鸟铳，后有照门，前有照星，机发弹出，两手不动，对准毫厘，命中方寸，兼之筒长气聚，更能致远摧坚。”“臣谨制造十有余门（西洋铳），俱吉试较停妥，敬以二式四门，并臣参酌佛朗机番铳之间，造制电铳二门，损益鸟铳、三眼铳之间，造迅雷铳一座，通共六门一座。”

这些来自西方的新式武器明显地高于当时明军所使用的火器。它们的引进和推广，必然促使中国的火药武器的研制从以往的以燃烧型兼散发毒气为主的火器，迅速地朝着爆炸型和发射铅弹及炮弹的管形火器的方向发展。发展首先要解决的技术问题是火药配方的调整和整个火药生产加工技艺的提高。在《纪效新书》、《神器谱》中只列了当时鸟铳的火药方。前者如下：“硝一两，硫一钱四分，柳炭一钱八分。通共硝四十两，硫五两六钱，柳炭七两二钱，用水三钟（盅）舂得绝细为妙，秘法先将硝硫炭各研为末，照数兑合一处，用水碗下，在木柏舂可万杵，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。夫端如制合好墨法相类，若添水舂至十数（万）次者，则将一撮堆于纸上，用火燃之，药去而纸不伤，（不）如此者不取入銃矣，只将人手擎药二钱燃之，而手心烧热者即不佳，又当加水舂之如式而止。”《神器谱》的介绍更清楚：“制药，每硝十两，灰一两五钱，硫五钱，将三种研极细末，用水喷半干半湿，放木臼内，用杵著力狠捣，若干去，再用水喷湿，捣至一万杵，取出放在手心内燃之，火燃手心不觉者，方可用……将药用水或烧酒和捣作剂，晒干再捣碎，用密些竹筛筛过，上粗大者不用，下细者不用，止取如粟米一般者入銃。其大小再如法制造。盖銃筒甚长，细则下药之时，尽粘筒上，不得到底，太粗药又不实。”书中进一步指出：“南北制药法亦有同异乎。”“南方卑湿气润，硫炭稍增，北方高爽气燥，硫炭稍减。”

到了明代末年，在世界火药武器飞速发展的大潮冲击下，朝廷更加重视火药、火药武器的研制。许多军事著作纷纷问世。它们都记载了当时所应用的火药武器和火药配方，内容大同小异。茅元仪的《武备志》（成书于天启元年即 1621 年）和李盘的《金汤借箸十二筹》就是其中内容较多的两本。《武备志》中有相当一部分内容是此前的兵书所没有的，而炮和銃的种类有了显著增加，除了佛朗机、鸟銃等以外，还有戚继光等研制的虎蹲炮、百子连珠炮，赵士桢研制的迅雷炮等，有关各种性能的火药也列举了数十种。

崇祯十六年（1643 年），由德国传教士汤若望授、焦勛述的《火攻挈要》（又名《则克录》）问世，它是继《海外火攻神器图说》之后的又一本把国外先进火器介绍到中国的重要著作。它对宋元以来中国诸多火攻、火器著述进行了批评，说“其中法制虽备，然多纷杂滥溢，无论是非可否一概刊录，种类虽多，而实效则少”；或“索奇觅异，巧立名色，徒炫耳目，罕资实用”。针对当时中国在制造管形火器技术上的状况，他便以较多的篇幅介绍了銃和枪。从原料、铸造、尺寸及使用操纵诸方面作了细致的介绍。《则克录》对中国当时火器落后的批评是中肯的。

为了便于比较和分析，现将明代中、后期有代表性著作的火药配方，摘其要列于表 5-2。

表 5-2 明代中、后期有代表性著作的火药配方

时期	书名	火药名称	火药配方/两（%）			
			硝	硫	炭	其他
明代中期	纪效新书 神器谱	鸟銃药	1（75.8）	0.14（10.6）	0.18（13.6）	
		火药	10（83.3）	0.5（4.2）	1.5（12.5）	
明代后期	武备志	火药	80（71.4）	16（14.3）	16（14.3）	
		火线药	16（65.6）	3.6（14.8）	4.8（19.6）	白砒 0.5，潮脑 0.3
		火箭药	16（69.6）	2.5（10.9）	4.5（19.5）	白砒 0.5，潮脑 0.3



		火铳药	4 (93.6)	0.1 (2.3)	0.17 (4.0)	班猫 0.1
		铅铳药	40 (75.7)	6 (11.4)	6.8 (12.9)	
		喷火药	2 (76.9)	0.25 (9.6)	0.35 (13.5)	
		炮火药	10 (52.6)	6 (31.6)	3 (15.8)	磺 1, 雄黄 0.5
		爆火药	4 (91.3)	0.3 (6.9)	0.08 (1.8)	

续表

时期	书名	火药名称	火药配方/两(%)			
			硝	硫	炭	其他
明代后期	金汤借箸十二筹	大铳药	96 (75.0)	16 (12.5)	16 (12.5)	
		又方	64 (69.6)	12 (13.0)	16 (17.4)	
		小铳药	96 (72.7)	18 (13.6)	18 (13.6)	
		鸟铳药	112 (81.1)	10 (7.3)	16 (11.6)	
		又方	10 (80.6)	0.7 (5.7)	1.7 (13.7)	
		又方(北方)	10 (83.3)	0.5 (4.2)	1.5 (12.5)	
明代后期	海外火攻神器图说	鸟铳	10 (76.9)	1 (7.7)	2 (15.4)	磺 1, 雄黄 5.5(8.6)
		大炮	10 (75.8)	1.19 (9.0)	2 (15.2)	
		炸炮	10 (66.7)	3 (20.0)	2 (13.3)	
		崩山(炸药)	10 (62.5)	5 (31.3)	1 (6.2)	
		火弹	10 (66.7)	4 (26.6)	1 (6.7)	
		火箭	4 (71.4)	0.3 (5.4)	1.3 (23.2)	
		急引	10 (76.9)		3 (23.1)	
		慢引	10 (90.9)		1 (9.1)	
明代后期	火攻挈要	大铳	64 (69.6)	12 (13.0)	16 (17.4)	磺 0.5, 雄黄 0.3, 硼砂 0.5 (8.0) 班猫 0.5 (3.5)
		鸟铳	112 (81.2)	10 (7.2)	16 (11.6)	
		火门药	20 (78.7)	2.4 (9.5)	3 (11.8)	
		火箭药	10 (71.4)	0.5 (3.6)	3.5 (25.0)	
		喷筒药	10 (74.1)	0.5 (3.7)	3 (22.2)	
		喷铳药	10 (76.9)	1 (7.7)	2 (15.4)	
		火罐药	7 (58.3)	3 (25.0)	2 (16.7)	
		地雷药	10 (66.7)	3 (20.0)	2 (13.3)	
		爆火药	10 (71.4)	2.5 (17.8)	1.5 (10.7)	
		火信药	10 (72.5)	0.3 (2.1)	3.5 (25.4)	

综观表 5-2 所列,明代的火药配方、制作较之宋代已有很大进步。表现在三点:一是火药种类明显增加,各类不同的火器都有自己的专用火药配方,生产和使用都有规定;二是火药配方已趋合理,逐步排除了那些不必要而故弄玄虚的副料,已非常接近近代黑火药的标准配方;三是成品火药已不是由硝-硫-炭加各种易燃物的混杂油膏,而是完全由硝-炭-硫均匀混合的颗粒状火药。

黑火药燃爆性能的优劣,除决定于硝、硫、炭的合理配比外,还与硝、硫、炭的加工纯度有直接关系。焰硝中的杂质会降低它的氧化性,硫、炭中的砂石、灰分

将降低它们的燃烧性，而镁盐的存在又使火药容易受潮。焰硝的提纯既是关键，又最困难。上面第四章第四节已作了介绍。

关于硫黄的提纯，是指将硫黄与混杂的泥沙分开。明代时最具特色的方法是油煎法。《武备志》是这样记述的：“先将硫打[成]豆粒状碎块，每斤硫黄用麻油二斤，入锅烧滚，再下青柏叶半斤在油内，看柏[叶]枯黑色，捞去柏叶，然后入硫黄在滚油内，待油内黄泡起至半锅，随取起，安在冷水盆内，倒去硫上黄油，净硫凝一饼在锅底内者是，取起打碎，入柏汁汤内煮，洗净听用。”清代康熙三十五年（1696年），郁永和奉旨到台湾采购硫黄，其间撰写了《采硫日记》翔实地描述了当时台湾人炼制硫黄的技术：“炼法：捶碎[硫土]如粉，日曝极干。镬中先入油十余斤，徐入[干]土，以大竹为十字架，两人各持一端搅之。土中硫得油自出，油土（硫土）相融。又频频加土加油，至于满镬，约入[硫]土八九百斤，油则视土之优劣为多寡。工人时时以铁锹取汁沥突，旁察之，过则添土，不及则增油，油过[或]不及，皆能损硫。土既优，用油适当，一镬可得净硫四五百斤，否或一二百斤乃至数十斤。关键处虽在油，而工人视火候，似亦有微权也，”这两种方法大同小异。今人似难理解，为此中国化学史家赵匡华教授和郭正谊教授一起做了模拟实验，解读了这种方法的科学内容。当硫土倒入沸热的油中，由于硫黄的熔点只有  $112.8^{\circ}\text{C}$ ，远低于麻油沸点，所以硫黄熔化，当静止时，熔融的硫会处在油的下层（硫黄相对密度为2，大于油）而泥沙则沉到锅底。在油沸时，硫、油都呈液态，舀出硫油混合液倾入冷水盆，硫黄迅速冷凝为固态，沉于水下，而油则浮于水面，硫油就可分离了。澄出的油可再反复使用，取出的硫块再用热柏汁汤洗去油分，最终得到精硫：很纯净的硫黄。

木炭似乎没有提纯的问题，但是选择烧炭的木材和控制烧炭的火候还是有讲究的。人们讲究用笔管粗细的柳条，去皮去节，在烧炭窑中约  $350^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$  烧成。在这个温度下木材充分炭化，又能防止产生较多的灰分。烧得木炭的含碳量大约可达  $80\%\sim 85\%$ 。

在鸦片战争以前，清代的经济发展大致上经历了四个阶段：从战时破坏到基本恢复（顺治元年至康熙二十二年，1644—1683年）、经济基本恢复（康熙二十三年至五十一年，1684—1712年）、经济繁荣和高度发展（康熙五十二年至乾隆四十八年，1713—1783年）、经济由盛转衰，进入驻足停滞时期（乾隆四十九年至道光十九年，1784—1839年）。在这近200年的时间里，前60年从肃清南明残余到内乱平三藩，再到打准噶尔，战事不断，军队装备建设和火药武器生产备受重视。但由于财力局限，火药和火器的研制并没有取得很大进展。例如，在与三藩军队作战中，康熙皇帝力排众议，起用了比利时传教士南怀仁负责制造大炮。结果南怀仁所造的名为“神威无敌大将军”的大炮，果然在平定三藩叛乱之战和对雅克萨两次用兵中，立下了赫赫战功。火器制造还得靠洋人，恰好说明朝廷研制火器能力的低下。

从整个火药、火器的生产状况来看，既是沿袭明代的机制，又是维持了明代后期的水平。恰恰在这段时期，西方多国经历了宗教改革、思想解放，进行工业革命，确立了资本主义生产关系，让工业生产和社会经济插上近代科学技术的翅膀，飞快地发展。相形之下，中国的经济，特别是科学技术，包括火药、火器的研制水平已远远地落在西方诸国的身后，而且差距越拉越大。这一明显的差距，致使在镇压太平天国农民起义的战争中，清廷竟然雇佣了一支由美国流氓华尔率领的，大多是外国流氓、水手、逃兵组成的雇佣军，携带洋枪洋炮来镇压农民起义军。在鸦片战争之后的洋务运动中，出于对西方先进武器的厚望，在引进的技术中，一直把武器装备的生产（船坚炮利）放在重要的地位。即使是这样，已沦为半封建、半殖民的中国只能是继续处于挨打的落后境地。

## 第四节 火药发明的意义及其外传

火药发明源于中国炼丹术，阿拉伯和欧洲也曾出现过炼金术，为什么他们没能发明火药？火药武器最初的形式是用于火攻的燃烧物，而在军事史上用于火攻的器材有很多种，它们与火药有什么区别？在明代后期，人们看到来自西方的佛朗机、鸟铳等火器都强于中国火器，有人曾怀疑火药及火药武器是不是中国发明的？外国某些人出于某一目的或认识模糊，曾提出过“希腊火”、“猛火油”也是火药的观点。也曾猜测印度是否也发明过火药。还有人提出英国的罗杰尔·培根是火药的发明人。在国内，作为明代中后期的高官邱浚（1420—1495年）曾说：“今之火药用硝石、硫黄、柳炭为之……历考史制，皆所不载。不知此药为何人，昉于何时？意者在隋唐以后，始自西域，与俗所谓烟火者，同至中国欤。”明末，《物理小识》的作者方以智（1611—1671年）也模糊地说：“火药自外夷来……唐有火树银花，想已用之耶。”他们的错误论断成为西方某些学者作为火药起于西方的依据。上述的错误认识首先是受制于历史的局限，缺乏对火药历史的深入研究，另一方面在于缺乏对“火药”概念的科学认知。

英国著名火药史家帕廷顿（J. R. Partington, 1886—1965年）指出：“研究火药和火器史的任何作者，都必须极其小心地注意专家们使用的技术术语的含义。由于误用或弄错名称，致有些作者在近代出版物中带来了很大的混乱。”为了避免混淆，他将可燃物按其燃烧性质作了下列归类。

- （1）缓燃 老式的纵火剂：油类、沥青、硫黄；有时用作纵火箭。
- （2）速燃 希腊火；蒸馏的石油或沥青；用于罐中或用特殊装置投出，仍只是纵火器（见图 5-9）。
- （3）爆燃 具有含碳物质或木炭的低量硝石的药料。已基本上是纵火剂，但含有较高量硝石时，可适用于火箭和罗马烛，投射出纵火球、陶片或金属的“初

级火药”。



图 5-9 拜占庭人的“希腊火”武器

(4) 爆炸 含高量硝石的混合物，最好有硫黄和木炭作为可燃剂，但有时用附加剂，如信石；如果在一密闭空间中点燃，能发出听得到的声响。

(5) 爆轰 近代火药，含硝石、硫黄和木炭按大约 75:10:15 比例而适当配制成的混合物；如在一适当容器内点燃，则产生巨响、爆裂、扩散，但留下碎片；适于做炸弹等，也用于足够坚固（即金属）的枪炮中的发射剂。

帕廷顿接着写道：“满意地规定（3）、（4）及（5），尤其（3）与（4）之间的界限，可能有某种困难。但是我认为，任何可称之为‘火药’或较好（初级火箭）者，应当含有真正的木炭、硝石、硫黄，而‘真正的火药’应当在（4）与（5）之间的某种东西中选择，而不是在（3）与（4）之间。”

帕廷顿的划分是科学的，对于澄清上述模糊乃错误的认识很有必要。据上述标准可以清楚看到，希腊火仅是硫黄、沥青、石油、树脂及木炭的可燃混合物，连“初级火药”都够不上。将纵火剂误作火药，将纵火武器误当火药武器，致使个别法、英学者认为公元前 300 年印度就有了火药、火药武器，但显然是站不住的。其实，印度在 14 世纪以前没有火药，他们有关火药、火药武器的知识是在元代时从中国传入的。有的德国学者曾说，德国一位生活在 13—14 世纪的僧侣是黑火药的发明者。他们考察了一番，连他的姓氏、国籍、教派及发明火药的年代、地点都说不清。最后帕廷顿认定这个人物纯属虚构，目的是为了分享火药发明的优先权。还有人曾提出，罗杰尔·培根（R. Bacon，约 1214—约 1292 年）是火药发明人。但是根据史实，直到 1233 年欧洲人尚不知道硝为何物，怎能说培根已经发明火药。1914 年英国出版的培根论文集中所列举的火药配方，据考证那是后人拼凑添补的。

按照帕廷顿的火药划分标准，中国唐代中后期炼丹家所发现的火药配方应在（3）与（4）之间，达到了“初级火药”的要求。宋初《武经总要》的三个火药配方及其研制的火药武器完全达到了（4）的标准。南宋时的霹雳炮和震天雷基本上符合（5）的要求。总之，中国的火药发明是无可置疑的历史事实。

早在唐代，在我国与阿拉伯和中亚国家的陆路或海上丝绸之路进行频繁的商贸

往来中，硝曾随同医药和制造医药的炼丹术传出。当时的波斯人把硝叫做“中国雪”，埃及人把硝称为“中国盐”，他们仅知道硝可以炼丹制药及做玻璃。直至公元1225—1248年，中国研制的火药随同烟火才由商人带到阿拉伯国家。初次见识中国的火药武器则是在蒙古人的三次西征中。就在蒙古人征战中亚和阿拉伯地区的过程中，战役总是互有胜负，当缴获蒙古军队携带的火药和火器后，特别是俘虏到随军的火药工匠后，原先已了解一点硝石性能的阿拉伯人，加上通过炼金术所积累的丰富经验，迅速地掌握火药、火器的制造技术并不是难事。阿拉伯的军队很快就有了自己需要的仿制火器。在1248—1254年欧洲十字军第七次东征中，阿拉伯人也让这些东征的军队饱尝了他们仿制的含硝的纵火器。到了13世纪末，阿拉伯人使用仿制的木质管形火器“马达法”投入战斗。稍后，用黑火药研制的火箭、火球等相继出现在战场，让欧洲的军队吃尽了苦头。图5-10为西方人笔下的蒙古军使用的集束火箭。图5-11，则是阿拉伯人研制的“马达法”、火箭、火枪、火球及抛石机。



图 5-10 西方人笔下蒙古军使用的集束火箭

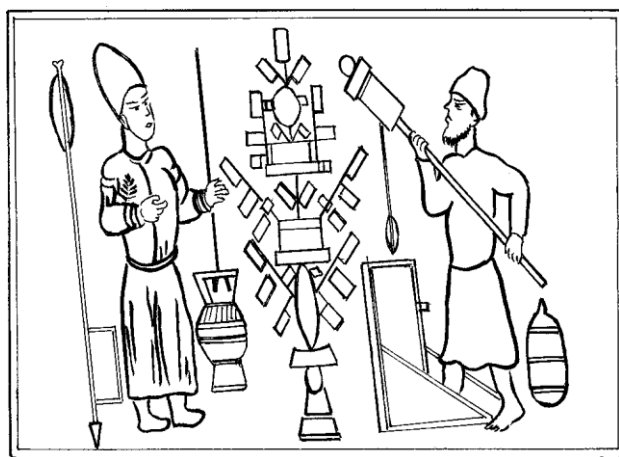


图 5-11 阿拉伯人研制的“马达法”、火箭、火枪、火球及抛石机

阿拉伯人在公元711年入侵西班牙，于929年建立了哈里发国家。西班牙人为摆脱阿拉伯人的统治曾多次举行起义。也是在战争中，西班牙人学会了阿拉伯人的火器制造技术。他们在欧洲率先开设了火药、火器制造作坊，选择和提纯硝石、硫黄，然后将它们捣成粉末并配制成火药。大约在14世纪初，西班牙人有了自己研制的火药武器。随后，西班牙人的火药和火器生产技术传遍法、英、德、意、俄等国家。

对于中国火药、火药武器的西传途径，对军事史颇有研究的恩格斯在1857年为《美国新百科全书》撰写“军队”条目时写道：“法国和欧洲其他国家是从西班牙

牙的阿拉伯人那里得知火药的制造和使用的，而阿拉伯人则是从他们东面的各国人民那里学来的，后者却又是从最初的发明者——中国人那里学到的。”在《炮兵》一文中，恩格斯进一步补充说：“在阿拉伯人对硝石的叫法中，有两种叫法的意思就是‘中国盐’和‘中国雪’……阿拉伯人看来很快就丰富了从中国人那里得到的知识……而到14世纪初火炮的知识就由阿拉伯人传给了西班牙人……使用火炮的知识又从西班牙人那里传到欧洲其他国家。”

丝绸之路开辟的中外交流通途，使阿拉伯国家成为中国与欧洲商贸、科技交流的中转站，中国发明的活字印刷术、指南针及造纸技术也是通过这条路线在14世纪传到了欧洲。恰逢文艺复兴运动在欧洲兴起，对欧洲社会乃至世界文明的发展产生了深刻的影响。

对此，英国唯物主义哲学家弗朗西斯·培根（F. Bacon，1560—1626年，他被马克思称为整个现代实验科学的真正始祖）在其名著《新工具》说：“由于这三项发明（印刷术、火药、指南针），已改变了全世界的面貌和世间一切事物的状态。第一项发明是在学术方面的，第二项是在战争方面的，而第三项是在航海方面的。这三方面的变化，又在其他方面引来了无数的发明；任何帝国、任何宗教、任何巨人在人世间都没有这些技术发明所带来的影响大。”

马克思直截了当地指出：“火药、指南针、印刷术——这是预告资产阶级社会到来的三大发明。火药把骑士阶层炸得粉碎，指南针打开了世界市场并建立了殖民地，而印刷术则变成新教的工具，总的来说变成科学复兴的手段，变成对精神发展创造必要前提的最强大的杠杆。”

恩格斯就火器发明的意义，在《反杜林论·暴力论》作了补充：“火器一开始就是城市和以城市为依靠的新兴君王政体反对封建贵族的武器。以前一直攻不破的贵族城堡的石墙，抵挡不住市民的大炮，市民的枪弹射穿了骑士的盔甲。贵族的统治跟穿铠甲贵族骑兵同归于尽了。”

上述有关中国古代四大科技发明的意义的评价可归纳为以下几点：①四大发明传播到欧洲是预告资本主义社会的到来和文艺复兴运动的掀起；②四大发明把欧洲的中世纪秩序给完全炸垮了；③四大发明促成了新航路的开辟，使欧洲人发现了美洲大陆，并在世界范围内开始了殖民地的扩张；④四大发明吹起了欧洲一些国家的科技革命号角，并由此推动了工业革命。