• 专题：军械技术的引进与本土化创新 •

编者按：

军事科技是整个科技事业中一个特殊领域，其特殊性主要有两方面。其一，军事科技在任何国家都非常受重视，往往能得到更多发展资源，所以发展速度比较快，一般科技如果能够与军事技术发生联系，也会由此而得到迅速发展；其二，因为保密的原因，军事科技的交流往往比较困难并且阻碍相对较大。但情况并非总是如此，由于战争的迫切需要，军械技术的引进、扩散会变得迅速，并且经常还会引发本土化的创新产生。

本次专题所选择的三篇军械技术引进与本土化创新方面的研究文章，属于三个不同时期的三个典型案例，刘宗灵、文博的“华北抗日根据地手榴弹生产实践中的技术突破”，研究了中国在抗日战争时期的敌后根据地如何研发手榴弹的情况；杨志国、段耀勇的“世界轻武器史上的一个传奇：莫辛·纳甘步枪”，研究了 19 世纪末俄国如何集成不同国家的技术而研发名牌步枪的案例；最后一篇是刘鸿亮、杨韬所写“晚清京师神机营配置的两门宁局仿造的克虏伯架退式行营炮探析”，对晚清时期引进的德国火炮技术进行了剖析。

（专题策划：王大明）

华北抗日根据地手榴弹生产实践中的技术突破

——以晋冀豫、晋察冀根据地为中心

Technological Breakthroughs in the Production Practice of Hand Grenades in the North China Anti-Japanese Aggression Base Areas: Centered on the Shanxi-Hebei-Henan and Shanxi-Chahaer-Hebei Base Areas

刘宗灵 /LIU Zongling[1, 2]　　文博 /WEN Bo[1]

（1. 电子科技大学马克思主义学院，四川成都，611731；2. 全国红色基因传承研究中心，江西南昌，330077）
(1. School of Marxism, University of Electronic Sciences and Technology of China, Chengdu, Sichuan, 611731;
2. National Red Gene Inheritance Research Center, Nanchang, Jiangxi, 330077)

摘　要：全民族抗战时期，手榴弹作为一种适合中国共产党抗日武装进行山地游击作战的武器，在战争之中大放异彩，而其在一线战斗中的大规模使用，离不开一整套手榴弹生产体系的支撑。华北地区是中国共产党领导开展敌后游击战最主要的战场，也是手榴弹生产和运用极为普遍的区域。域内各根据地都建立起了常态化的手榴弹生产体系，其中以晋冀豫、晋察冀这两个根据地最具代表性。在华北各抗日根据地着力推进手榴弹生产事业之际，生产实践过程中的技术突破是颇具考察价值的问题，其既是中国共产党在

基金项目：国家社会科学基金一般项目“中国共产党纪律教育资料搜集、整理与研究（1921–1949）”（项目编号：24BDJ068）。
收稿日期：2024 年 8 月 19 日
作者简介：刘宗灵（1982–）男，四川达州人，电子科技大学马克思主义学院教授，全国红色基因传承研究中心特约研究员，研究方向为中共党史党建。Email: liuzongling@uestc.edu.cn
文　博（1999–）男，四川成都人，电子科技大学马克思主义学院硕士研究生，研究方向为中共党史党建。Email: wenbo9977@126.com

抗日战争时期克服重重困难展开军工建设的缩影，亦是革命年代中国共产党人的战斗力、组织力、动员力和意志力的具象化呈现。

关键词：抗日战争　军事工业　手榴弹　晋冀豫根据地　晋察冀根据地

Abstract: During the Period of the War of Resistance Against Japan by the Whole Nation, hand grenades proved highly effective as weapons suitable for the mountain guerrilla warfare carried out by the Communist Party of China (CPC)'s armed forces of anti-Japanese aggression. Their large-scale use on the frontlines was inseparable from the support of a comprehensive hand grenade production system. Northern China, as the main battlefield for the CPC to lead the guerrilla warfare behind enemy lines, was also a region where the production and use of hand grenades were extremely common. Each base area in the region established a normalized hand grenade production system, with the Shanxi-Hebei-Henan and Shanxi-Chahaer-Hebei base areas being the most representative. As the anti-Japanese aggression base areas in Northern China focused on promoting the production of hand grenades, the technological breakthroughs made during the production process were issues worthy of investigation. They were not only a microcosm of the CPC's efforts to overcome numerous difficulties and develop military industry during the War of Resistance Against Japan, but also a concrete manifestation of the combat effectiveness, organizational capabilities, mobilization abilities, and willpower of the CPC members during the revolutionary era.

Key Words: War of Resistance Against Japan; Military industry; Hand grenades; Shanxi-Hebei-Henan base area; Shanxi-Chahaer-Hebei base area

中图分类号：N09; G824.5　DOI: 10.15994/j.1000–0763.2025.06.001　CSTR: 32281.14.jdn.2025.06.001

手榴弹作为一种攻防兼备的小型手投弹药，在人类战争史尤其是近现代战争史中拥有不可撼动的一席之地。毛泽东曾言："军事，就是要有手榴弹、有轻武器。"[1]手榴弹这一单兵装备被毛泽东列于轻武器之前，其在中共武装斗争史中具有的突出价值和独特地位由此可见一斑。

全民族抗战时期，抗日根据地军工生产为中共领导的敌后抗战事业提供了持续的武备支撑，更为解放战争的胜利和共和国成立后的军事工业发展奠定了基础，其影响延续至今，具有较高的学术研究价值。在学界的长久努力下，涉及全民族抗战时期中共军工生产的研究成果已较多，从技术史、兵工史和经济史等角度出发对抗日根据地军事工业的探究中，学界已有相当的积累，其中亦有若干成果简要涉及到根据地手榴弹生产问题，这为本研究的开展提供了"巨人的肩膀"。[2]-[4]尤其是近年来有学者在倡导对中共革命进程中的技术史展开研究时，专门提及应对手榴弹这一"具有代表性的'物'"进行深入挖掘，对本文具有较大的启发意义。[5]此外，对根据地制造手榴弹相关重要技术突破方面的研究，近年来亦有若干成果问世，为本文对手榴弹生产技术突破问题的探析提供了一定的基础。[6]但是相关研究或偏重从政策视角和宏观视野出发进行探析，或着眼某项具体技术发展进行挖掘，就一种具体武器及其背后所涉及的技术突破等相关议题展开的探究还较为少见，就笔者目力之所及，还未见有专文探讨抗日根据地手榴弹生产技术问题，这显然与手榴弹在中共抗日武装单兵装备中的地位是不相符合的。

对于一种武器的生产而言，技术实态是不能够忽视的话题。敌后抗日根据地的手榴弹生产史，在很大程度上就是一部革命年代中共兵工技术的跨越式发展史。其中手榴弹装药与引信属于火工品，与抗日根据地的化学工业有着紧密联系，而弹壳生产更多属于金属冶炼加工的领域。同时，手榴弹技术的进步是抗日根据地多个关键领域技术水平和工业水平演进的缩影，从手榴弹装药与弹体技术的发展角度出发，亦可对手榴弹生产技艺疾进过程中的工程管理技术加以考察。

一、规格之变：木柄手榴弹的大规模生产与应用

不同规格的手榴弹在制造工艺和实际使用中的差别是巨大的，对于中共而言，以一种具有“高性价比”规格的手榴弹为生产母本，是根据地有限资源和敌后残酷战事所必然要求的。在这一过程中，随着战争环境和地缘环境的变化，木柄手榴弹这一在人民军队装备发展史上堪称传奇的、衍生型号一直服役至21世纪的单兵武器开始大放异彩。

在全民族抗战爆发前——特别是十年土地革命战争时期，中国共产党人已积累了丰富的手榴弹制造和使用经验。在红军时期，中共革命武装即大量装备麻尾手榴弹，此类规格的手榴弹与后来中共华北抗日武装普遍装备的木柄手榴弹差别很大。“麻尾手榴弹是由它的尾部上装有一尺余长的麻索而得名，着地即行爆发”。（[7]，p.57）麻尾手榴弹在土地革命战争时期被中共武装大量生产，当时中央军委下辖兵工厂专设炸弹股，制造麻尾手榴弹以供应红军部队。[8]全民族抗日战争早期，麻尾手榴弹一度继续由八路军在华北地区制造和使用。时任八路军参谋长的左权较为重视麻尾手榴弹的运用，曾亲自指导129师772团在埋雷时用麻尾手榴弹代替地雷，[9]也曾亲赴生产一线指导麻尾手榴弹的生产。（[10]，p.185）甄荣典回忆其1940年在黄崖洞兵工厂的经历时，亦提到当时麻尾手榴弹被列入厂内的生产序列之中。[11]

但是，麻尾手榴弹在作战效能上存在一定缺陷，首先在于其采用触发式引信，导致其只能碰炸而无法空爆，这对于复杂地形下的游击战是不利的；另外，早在红军时期，麻尾手榴弹就存在因勾挂等问题而不能触发引信，进而无法爆炸的情况。[12]显然，在土地革命战争中发挥过重要作用的麻尾手榴弹，已无法满足华北抗日游击战争的实际需求。同时，将麻尾手榴弹与木柄手榴弹的结构与使用方式进行比较，亦可发现木柄手榴弹在生产成本和训练成本等方面有着较大优势。在生产成本上，麻尾手榴弹的结构相比木柄手榴弹更为复杂，单以引信结构而论，木柄手榴弹的引信主要由拉火线、导火索与雷管组成，基本没有机械结构，而麻尾手榴弹的引信为碰炸引信，由击针、保险针等较为复杂的机械零部件组成，更为复杂的工艺显然会使得生产成本更高；在训练成本上，麻尾手榴弹的投掷过程亦比木柄手榴弹复杂，士兵需要在解除保险后抓住麻尾旋转到一定速度后利用离心力投出，这意味着士兵需要更多的训练才能熟练使用。[13]生产和训练上的高成本对于物质基础薄弱的敌后抗日根据地而言显然是需要被优化的。在全民族抗战前期，中共军工技术人员已意识到麻尾手榴弹的技战术性能问题，开始改制生产木柄手榴弹。[14]

全民族抗战时期，国内木柄手榴弹的研制主要是基于德式StG24型手榴弹。其结构“由木柄、引信和拉火装置、罐型弹体、雷管等部分而成”，（[15]，p.23）整体较为简单，较易为处于前工业化时期的中国大批量仿制生产。且全民族抗战开始前后，中德两国在军工技术领域有过较长的合作，这更为国内生产德式手榴弹提供了良好基础。[16]故而，当时国内较为普及的木柄手榴弹几乎都是以此型号为基础进行本土化改进并大量生产的。（[7]，p.49）全民族抗战爆发前后，中国本土生产的木柄手榴弹颇具代表性的有两个型号，一是河南巩县兵工厂的巩造木柄手榴弹，[17]二是山西太原兵工厂的晋造木柄手榴弹。[18]这两个兵工厂在地理环境上均处于华北地区，华北抗日根据地处在其技术扩散的辐射范围内，华北根据地军工系统吸收了大量来自这两个厂的原职工，使其在相关技术人员储备上拥有较好基础。[19]以冀中军区修械所为例，在1938年初该所的手榴弹月产量就已破万，后更是月产超3万枚，产品主要是仿制的晋造木柄手榴弹，而支撑其产能的一个关键因素，即是搜集到了战争初期晋系军阀军工业流散于民间的军工器材。（[20]，pp.657–658）再如作为手榴弹生产大厂柳沟铁厂创始人之一的王化南，即是16岁进入太原火药厂工作的老技工，其他创始人也多有晋系军工的工作经历。（[21]，p.357）种种“地利人和”使华北八路军仿制生产国内居于主流的木柄手榴弹较为容易。1941年“反扫荡”期间，由于在一些特定战术条件下仍对麻尾手榴弹有一定需求，左权亲自布置重新研发生产麻尾手

榴弹的任务，但当时由于华北根据地手榴弹厂生产的都是木柄手榴弹，技术人员甚至从头设计草图才得以恢复麻尾手榴弹的生产。（[10]，pp.185–187）这反映出当时根据地手榴弹的产能已大量被分配到木柄手榴弹的生产上，尽管麻尾手榴弹没有被完全取代，但木柄手榴弹已实际居于生产的主要地位。

二、发展跃迁：手榴弹相关火工技术的飞驰

装药对手榴弹而言是至关重要的，其重要性在于它直接关系到手榴弹的杀伤力、杀伤范围和战术效果。因此，在设计改进和制造手榴弹时，装药的选择和配置是一个至关重要的环节。这使得手榴弹生产与火炸药技术存在密切联系，火炸药技术水平直接决定了手榴弹装药的质量。1946年，中共中央军委军工局紫芳沟化学厂的一组弹药爆破试验数据，直观反映了不同装药对手榴弹威力的影响：以弹皮重量同在600克左右（误差在+–50克内）的手榴弹为例，在灌装110克黑火药时，其有效破片数为14–21个，在灌装同量级黑炸药时，测试中的有效破片数为188个，而在灌装强棉药时，仅需要25克就可以产生180–218个有效破片。（[22]，p.358）可见装药问题对手榴弹实际使用效果的影响是巨大的，高级炸药对传统黑火药和黑炸药的代差优势是巨大的。

晋察冀根据地是中共在华北创建的第一个抗日根据地，其军事工业创立时间最早，火炸药技术发展历程最完整，故而最具有敌后根据地军工生产领域火炸药技术演进的代表性。聂荣臻曾专门指示大力发展火炸药，以攻击敌人的碉堡。[23]

在晋察冀根据地军事工业初创时期，因地理条件所限，其所在区域的近现代化学工业基础趋近于零，获取近现代火炸药的渠道有限，数量远不足以满足需求。当时手榴弹装药的生产只能依靠凭传统工艺生产的黑火药，勉强解决了有无的问题。（[24]，p.79）但是，正如前文数据所呈现的，黑火药手榴弹的技战术性能有限，改进火炸药技术势在必行。而“两酸一油”作为火炸药生产的重要原料，就成为火炸药技术突破的重中之重。

根据当时的中共军工干部张方回忆，冀中军区技术研究社早在1938年就利用晋系军工业流散出来的氯酸钾制成过炸药，并试改了外购的矿用雷管，亦曾通过外购硫酸、硝酸，再配合自制酒精，以马歇尔高级炸药学为基础，制作了硝化棉和胶化棉，但是外购的来源终究不可持续，随后便开始了自制研究历程。（[25]，pp.53–54）

“硫酸是化学之王，有了它，便能生产出成千上万种化合物。所以，我们首先开始研制硫酸。”[26] 当时的硫酸制备工艺有“接触法”和“铅室法”两种，“接触法”需要以白金为介质，“铅室法”则需要大量铅版，根据地无法满足此两项条件，但“铅室法”的原理较为简单，于是技术人员便以此为基础探索出了一种不用铅的“铅室法”，即“缸塔法”。（[21]，p.210）

1939年，冀中技术研究社率先开始研制硫酸，技术人员先用一些基本器材制成了硫酸样品，随后定制了特殊形状的大缸作为主要设备。1940年春，技术人员尝试使用普通大缸制造硫酸，但质量不佳。1940年夏，位于河北唐县的大岸沟化学厂创建，并开始利用特制大缸产出优质硫酸，到1941年春，硫酸制造工艺进一步成熟，“改为用普通大缸叠成的、中间有填充物的‘缸塔’，蒸酸使用了普通大缸”，在降低设备制造难度与成本的同时提高了生产效率。（[25]，pp.54–55）

同一时期，硝酸的研制也在推进，技术人员选择了“大缸法”制硝酸的技术路径来替代当时书本上的“空气固氮法”，在制成浓硫酸的基础上，采用浓硫酸和纯净的火硝，利用几个大缸的简单设备，加温促成化学反应先得出浓硝酸，后得者为稀硝酸，稀硝酸再加浓硫酸蒸馏得出浓硝酸，再用浓硫酸分馏成浓硝酸。（[27]，p.37）大岸沟化工厂在1940年完成硝酸研制后，于次年春大规模投产。[6]

通过就地取材、土洋结合的方式，晋察冀根据地实现了“两酸”规模化生产的突破，彭德怀和左权评价道：“这是我们工业建设上一大进步，也是解决工业建设特别是兵工工业建设

之主要关键。”（[20],p.64）此后技术人员“利用根据地产的大红枣代替粮食发酵制酒，再经分馏制成酒精，再用热硫酸对酒精脱水制成乙醚”，实现了乙醇和乙醚的自主生产，进一步为高性能火炸药生产筑牢原料基础。[28]

解决了硫酸、硝酸等的制造问题，高级炸药的研制还需要解决硝化甘油这一关键原料。1943年5月开始，晋察冀根据地的技术人员开始攻关硝化甘油的制造。（[24]，p.120）在晋察冀军区工业部副部长张珍的领导下，军区化工三厂完成了“钙皂法”制甘油的技术突破，使得根据地可以利用当地的油料作物所产的植物油来生产硝化甘油，尽管产出质量相比当时化工业主流的以皂化法或水解法生产的硝化甘油有差距，但在实质上完成了高级炸药生产的关键一步。[29]当时何振廉与陈力等技术人员探索出的制法是首先将植物油与石灰乳混合加热，进行皂化，生成钙皂与甘油，提纯甘油至95％以上浓度，则可以进行硝化，按3:2比例将硫酸硝酸配成混酸，再以10:1比例配置混酸和甘油，生成的硝化甘油与混酸分离并浮于混酸之上，随即将之分离，用冷水冲洗硝化甘油直至其不带酸性为止。（[27]，pp.83–84）到1943年8月，硝化甘油正式开始批量生产。（[24]，p.122）

“两酸一油”生产技术的突破，使得高性能炸药生产的原料问题得以解决。根据曾任晋察冀军区工业部部长的刘再生与何振廉、季刚等骨干技术人员一同复盘推算的估计，仅当时的军区化工三厂即可日产至少600斤硫酸，200斤硝酸，33斤硝化甘油，可以支撑日产600余斤朱迪生炸药的产能。（[27]，p.65）这为手榴弹装药的升级提供了坚实的物质基础。

黑火药的成份一般是以67%的硝、18%的磺和15%的炭配制而成，如果在黑火药中加入7%的硝化甘油，就可以把传统的黑火药升级为黑炸药,使得爆炸威力大幅提升。（[22],p.359）在高性能炸药方面，硝化甘油配上糠、锯末和火硝可以生产出威力较大的朱迪生炸药，而硫酸铵与火硝化合制成的硝酸铵再混以硝化棉球，就可以制成硝铵混合炸药。（[27]，p.39）高性能火炸药的大量投产，“不但解决了手榴弹、地雷所用的高级炸药问题，而且解决了炮弹的高级发射药和高级炸药的问题。”（[24]，p.123）

至战争末期，抗日根据地生产的手榴弹已逐步摆脱了以黑火药为装药的低级阶段，晋察冀根据地1945年7月给中央军委的报告数据显示：在其三个月里生产的23万枚手榴弹中，只有5万枚还用灌装黑火药或黑炸药；[30]而在晋冀豫根据地，黑药手榴弹已主要是军分区制弹厂在黄色炸药不足的情况下才生产并仅供给民兵使用了。[31]

爆炸威力是手榴弹技战术水平的核心指标，如果说装药问题解决的是手榴弹爆炸后的效果问题的关键，那么引信问题就是解决如何让手榴弹爆炸的关键，这就涉及到火工品的另一方面，即手榴弹引信的研发和生产。

华北抗日根据地军工早期所制造的黑药手榴弹对起爆要求并不高，只需要用导火线充当引信即可。然而即便如此，早期黑药手榴弹的导火线依然存在较大问题，“拉火是用洋火头发火很不保险”，后将其改为石雄黄和氯酸钾外包蜡皮发火才解决可靠性问题。[32]“导火药是将一定比例的雄黄（硫化砷）、盐卜（氯酸钾）加酒精调成糊状，浸涂在丝弦一段绾成的结上晒干，装弹将其用砂纸卷裹紧，露出丝弦的另一端，穿入木柄内，系上铁丝环，拧上盖，有药的一端则插入弹壳的黑色炸药内，把弹壳和木柄压成一体即成。投掷时，拉动丝弦，发火药发火后,传火给黑色炸药,使手榴弹爆炸。”[33]

而灌装高级炸药的手榴弹起爆必须依靠雷管作引信，尽管晋察冀根据地兵工系统建立之初就在寻求自制当时主流的雷汞铜雷管，但因为作为主要原料的汞因封锁而获取困难，使得寻求替代自然成为化解困难之途。技术人员们通过查阅书籍文献，找到了雷银这一可用的替代品，并按照书中的制作程序制造出了雷银，与雷汞相比，雷银不仅可以进行替代，甚至在用量上还比雷汞节省，但雷银用于雷管生产需要攻克一项关键阻碍，即雷银的高敏感度导致其储运困难，易发生危险事故。（[24]，

pp.123–124；p.134）

晋察冀化工生产的雷银在制法上，以白银、70%浓度硝酸和95%浓度酒精为原料，按1：10：9的配比，将白银融入硝酸生成硝酸银，再加入酒精反应生成雷酸银，再用清水冲洗至洗水呈中性反应为止，干燥后即可用于雷管制造。（[27]，p.85）

用雷银来制造雷管的困难主要体现在两个方面，一是过往用于雷管外壁制造的铜易与雷银发生化学反应产生雷铜，雷铜的敏感度更高，更易引起意外爆炸；（[27]，p.68）二是用铜一类的金属外壳作为管壳，一旦雷银意外爆炸会形成破片，导致不必要的伤亡。（[24]，p.124）为解决这一问题，技术人员创造性的使用纸管来替代铜管，研制出具有独创性意义且成本更低、生产更易的雷银纸雷管，全面替代了雷汞铜雷管，其生产铺开后，仅冀晋军分区管理处一个月的产量就可供十万枚手榴弹的生产所需。（[27]，p.135）

以晋察冀根据地为代表的华北抗日根据地手榴弹用火炸药技术的发展历程，可以用“技术爆炸”来形容。手榴弹装药从传统的黑火药到近现代硝铵炸药，手榴弹引信从民间烟花的导火索到符合近代军事技术发展要求的雷管，用数年时间就在技术上跨越了几个时代。

三、提质增效：手榴弹壳的产能扩充与质量提升

弹壳是手榴弹的基本部件，其将装药、引信、保险机构等部件连接在一起，形成一个紧凑的整体并在储运中起到保护作用，最为关键的是手榴弹普遍依靠爆炸产生的破片来杀伤有生目标，所以，弹壳的生产是手榴弹生产的关键环节。相较上文谈及的装药，弹壳的制造对根据地而言困难相对较低，但在手榴弹有技战术性能要求的情况下，相关技术人员仍需解决多种问题，并且对经济基础薄弱的根据地而言，组织规模化弹壳生产仍是存在挑战的。

晋冀豫根据地的柳沟铁厂是中共华北抗日根据地最具代表性的手榴弹大厂，柳沟铁厂的前身是山西武乡县工人抗日救国会在曹村白龙洞庙开办的一座小型兵工厂，八路军总部接手该厂后工厂正式更名为“军工部柳沟兵工厂”，对外称“柳沟铁厂”，代号“焦作”。柳沟铁厂的历史地位显著，其战略地位、生产能力、技术创新和人才培养等方面都为八路军提供了有力的支持，为抗日战争的胜利作出了重要贡献。由于其拥有完整的手榴弹生产链条，在根据地手榴弹生产历程中具有不可替代的地位，是人民兵工在艰苦环境中自力更生进行手榴弹生产的典范。柳沟铁厂在其从建立到壮大的历程中，逐步解决了手榴弹弹体生产面临的各类问题，是当时华北根据地解决手榴弹弹壳生产问题的缩影。

德国原版的StG24型木柄手榴弹“罐型弹体的薄壳是钢片制成的，下缘有提环或挂钩，体内装炸药”。（[15]，p.22）钢片弹壳的工艺对于当时的中国而言颇有难度，故其本土化版工艺改为以生铁翻砂铸成，再用砂轮磨去弹壳表面不平的部分，然后切削弹壳开口。[34]将弹壳由钢片改为铸铁的设计，使得弹体生产的工艺难度大幅度降低，且威力并未受太大影响。根据太原兵工厂的试验，“木柄铸铁手掷弹弹体可以爆裂成数十粒乃至上百粒弹片”。[35]中共敌后根据地生产的弹壳亦是沿用了这一工艺。

手榴弹弹体生产流程的开启，前期需要解决原料、设备工具和技术人员的问题，这也是柳沟铁厂的初创时期着重加以解决的重要问题。最初，该厂只是武乡县工会为解决自卫队武器问题开办的一个锻造大刀的冷兵器工厂，在1938年9月其完成首批木柄手榴弹制造后，为解决生产过程中对煤铁等原料的需求，于次月就迁往了盛产煤炭、铁矿和高铝质黏土的柳沟村，当地人民战前就沿数公里的山沟开办了许多小型铁厂，同时作为铁厂上游产业的煤矿开采业也较为成熟，拥有抗日根据地难得的冶铁业基础。（[10]，pp.243–245）当地冶铁业所主要产出的是用于铸造铁锅农具等家用铁器的白口生铁，质硬且脆，虽不可用于炮弹生产，但直接用于手榴弹弹体制造却绰绰有余。（[10]，p.130）

在随后的发展中，当地军工产业在中共的领导下，通过“集资合股”的方式迅速将原有的各小工厂进行合并，整合了手榴弹生产所需的冶炼、铸造及木工等设备后，转而成为以生产手榴弹为主的大工厂。其时，该厂续聘原各厂的职工，使用原各厂的冶铁设备铸造手榴弹弹壳，在八路军总部接管该厂时，其已经具备月产6000枚手榴弹的能力，拥有超过两百名工人，一座炼铁炉，六个工房，两部风车，五十多个砂箱。（[10]，pp.243–250）这为日后手榴弹产能的扩充提供了坚实的物质和人员基础。在柳沟铁厂被正式纳入八路军总部直接管理体系后，工厂转入军事化管理，成立了三个生产队，其中二队负责炼铁，月产22.5吨生铁，三队一部负责翻砂，日铸造弹壳500–1000个。（[10]，p.245）当时太行地区最普遍的炼铁方式是方炉、坩埚炼铁，这种传统冶炼工艺十分落后，生产效率低下，对此在八路军总部接管铁厂后，便着手对冶炼工艺进行改造，“加大了方炉、坩埚容量，改善了通风条件，出铁量成10倍地增长，铁质也大大提高，还第一次练出了可加工铸铁。”[36]

在解决弹壳“能造”和“多造”的问题后，改进弹体设计以提升手榴弹的技战术性能就成为弹壳研制的重点问题。以爆炸产生破片杀伤敌人的手榴弹，其破片的效果是衡量威力大小的重要指标，这之中的影响因素，除了上文所论及的装药问题外的又一关键环节，即是弹壳的设计。对此，柳沟铁厂组织技术人员进行改进研究，改弹壳形状为椭圆形，并在弹壳表面增加凹凸方格作为预制破片槽，在仍使用黑火药为装药的情况下，爆炸破片可达50个以上，这是相对原仅有10个左右破片甚至炸成两瓣的弹壳而言的巨大进步。（[10]，p.246）

以柳沟铁厂为缩影的华北抗日根据地手榴弹弹壳制造和改进过程，尽管相比火炸药技术突破略显平淡，然而其影响却是极为深远的。首先，手榴弹弹壳的产能直接关系到手榴弹的产能，有多少弹壳才能有多少成品；其次，正如后来的柳沟铁厂不再局限在生产手榴弹，而是发展成为在解放战争中产出上百万发炮弹的综合型兵工厂一般，手榴弹弹壳这一简易而基础的爆炸物弹体生产和改进历程，为日后中共根据地兵工业进一步生产掷弹筒弹、迫击炮弹乃至榴弹炮弹，奠定了物质、技术和人员的基础。

四、另辟蹊径：手榴弹研发生产中的工程管理技术

手榴弹的技术应用与生产组织对20世纪的工业国而言并不困难，但中共领导的抗日根据地毕竟仍处于前工业化时代，相对于以乡村为主体的根据地薄弱的经济基础而言，其对人力物力资源的调集和对技术挑战的应对，不可谓不是一项大工程，无疑需要突破当时的时空制约。面临有限的经济基础与孱弱的现代工业所带来的束缚，中共不仅成功对根据地的物质资源进行了广泛发掘、动员，更在工程管理技术上展现出了高度的灵活性与创新性，中共在工程管理方面的努力，对于手榴弹技术的优化起到了关键的推动作用。

无论是涉及手榴弹生产的火工技术和弹壳铸造技术的发展，还是生产过程中人力物力的高效动员与组织，亦或是手榴弹的供需链条管理，都绕不开对管理技术的精妙运用。科学技术具有社会作用，其主要体现在对社会革命和改革的推动。技术范式的进步性转变，是科技创新从理论到实践的过程，最终会带来社会效用。[37]就当时的中共而言，其社会治理与动员组织的能力明显超越了敌后抗日根据地所处时空的生产力水平和科学技术水平，这就使得中共可以将自身先进的思想观念投射和作用到技术发展和工程管理上，进而推动对根据地既有物质条件束缚的突破。

核心技术的突破构成根据地手榴弹技术发展的重要动力，武器生产导向于实战，故而手榴弹技术的发展紧密围绕着技战术性能的提升。对抗日根据地而言，火炸药是手榴弹生产的基础，从一定意义上讲，它的发展标志着兵器科学技术的水平。如何立足有限的条件实现突破，不仅是化工技术问题，更是对工程管理

技术的考验。

如上文所述，凭借根据地的有限条件，难以使用当时主流的工艺和流程来进行原料生产。以根据地的硫酸生产为例，当时主流工艺是接触法和铅室法，而根据地既无白金也无铅版，显然无法依靠常规工艺组织生产，故技术人员依照铅室法，因地制宜探索新工艺，以“缸塔法”制造硫酸，满足了生产需求。聂荣臻曾感慨：“我在国外看到人家生产这种产品所用的设备都是现代化的，许多是用不锈钢和特殊合金制成的，而你们用山沟里的坛坛罐罐生产出质量较高的硫酸，怎么不是‘土专家’呢？”[38]这里“土”的含义显然不是贬义，而是指自力更生、就地取材和因陋就简的进行技术探索与创新。这一火工技术突破模式显著展现出中共在领导技术突破时的先进性，根据地面临的火工技术难题，带有很强的不可预测和非线性等特征，若缺乏技术路线的创新探索，则难以在短期内实现突破，进而可能形成“卡脖子”问题，严重制约研发与生产的进程。在此过程中，中共技术人员展现出了非凡的创造力，在某种程度上实践了“黑箱方法”——即在技术条件受限，无法全面把握事物内部结构与功能时，将复杂系统视为一个“黑箱”，暂时搁置直接解决其内部机制的尝试，转而寻找外部替代路径或创新方案。[39]

近代中国在手榴弹生产上实际已在一些程度上践行了“黑箱方法”，如晋造木柄手榴弹，因兵工厂不能生产钢皮和梯恩梯炸药，便将弹壳材质改为铸铁，改装药为硝铵炸药，虽然工艺上较原版StG24手榴弹显得粗糙简单，但仍不失为一种实用、可靠、效能高的武器。[18]抗日根据地造手榴弹的工艺亦是沿用以上的替代模式，甚至更进一步简化，以黑火药、黑炸药替换硝铵炸药，以传统铁锅铸造工艺替代近代工业铸铁工艺。此类替代路径，实际上还停留在原料工艺的简单替换，创新性并不明显，颇有无奈之举的性质，而中共在火工技术的方面，尤其是引信技术上的开创性替代创新，就显得青出于蓝而胜于蓝了。

以上文的手榴弹雷管引信问题为例，将雷管的研制看作为一项工程，雷汞铜雷管的制造可被视为一个“黑箱”，技术人员面对雷汞铜雷管制造中的原料供应难题及原料替换后的新挑战，没有拘泥于传统技术框架，而是巧妙地绕开了这一“黑箱”，采用以银代汞、以纸代铜的创新思路，通过平行技术路径达到了同样甚至更优的效果。由于雷银灵敏度很高，任何摩擦碰撞都有可能引起爆炸，所以当时的资料文献皆表示其只能微量制造，而晋察冀根据地在生产中突破了这一禁区，每次投料超过教科书所述的两万倍，且未发生过事故，这在化学史上是空前的，同时，雷管采用纸质外壁，同样也是具有开创性的突破。（[27]，p.68）正如张德耀所言：“用雷银代替雷汞用于武器生产的大胆设想成为现实，在世界武器生产史上增添了光辉的一页”。[40]

余　论

华北抗日根据地的手榴弹生产，对于中国共产党在全民族抗战中发挥“中流砥柱”作用提供了坚实的武备支撑，是在“以弱战强”的情况下充分利用既有资源、技术和人力进行军事工业建设的典范，亦是窥视中国共产党在全民族抗战时期推进敌后根据地军工建设的重要案例和特殊视角。

武器的生产实践与实战运用，从来不是孤立的，其直接服务于战争，而战争是政治的延续。手榴弹能够在中国共产党人领导的敌后抗日武装斗争中大放异彩，绝非是纯技术性的单向度因素所决定，正因为中国共产党人是其生产和运用的主体，这种看似“简陋”的单兵近战武器才能为艰苦卓绝的敌后抗战的坚持与胜利发挥如此大的作用。

［参 考 文 献］

[1] 毛泽东军事文集（第6卷）[M]. 北京：军事科学出版社、中央文献出版社，1993, 393.

[2] 曹敏华. 论抗日根据地兵器工业的建立与兵工企业之运作 [J]. 抗日战争研究，2009,（1）：111–122.

[3] 宋庆伟. 抗战时期八路军军事工业研究 [D]. 北京：中共中央党校，2021.

[4] 齐小林. 抗日战争期间八路军弹药来源问题研究 [J]. 近代史研究, 2020,(5) : 128–150; 161.
[5] 齐小林. 技术史:中共革命研究的进路 [J]. 党史研究与教学, 2022,(5) : 37–44.
[6] 蔡珏、曾华锋. 晋察冀抗日根据地火炸药技术发展史研究 [J]. 自然辩证法研究, 2017, 33 (10) : 28–33.
[7] 黄素封. 军事化学读本 [M]. 上海: 上海杂志公司, 1938.
[8] 李德成. 中央苏区红军兵工厂发展始末 [J]. 历史档案, 2006,(4) : 88–92.
[9] 王孝柏. 左权年谱 [M]. 北京:人民出版社, 2012, 320.
[10] 中国兵器工业历史资料编审委员会. 晋冀豫根据地 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1990.
[11] 甄荣典. 我在太行军工部的战斗生活 [A],《山西军事工业工人运动史通览》编撰委员会: 山西军事工业工人运动史通览 [C], 太原: 山西人民出版社, 2008, 403–406.
[12]《李先念传》编写组. 李先念传(1909–1949)[M]. 北京: 中央文献出版社, 2009, 195.
[13] 史宗宾. 抗战中国军队轻武器史料 [M]. 北京:《轻武器》杂志社, 2009, 168–170.
[14] 梁星亮、杨洪. 中国共产党延安时期政治社会文化史论 [M]. 北京: 人民出版社, 2011, 335.
[15] 李鸿瑗. 民族解放战争基本军事讲话 [M]. 上海: 上海杂志公司, 1938.
[16] 高翔. 全面抗战前兵工署对陆军兵工业的整理 [J]. 抗日战争研究, 2020,(3) : 51–70; 159–160.
[17] 李俊亭、杨金河. 中国武装力量通览 (一九四九–一九八九) [M]. 北京: 人民出版社, 1990, 162.
[18] 胡晓峰. 从标准化程度分析抗战前山西兵器工业发展的状况 [D]. 太原: 山西大学, 2005.
[19] 张慧玲. 抗战时期阎锡山军工对人民军工的影响 [J]. 中北大学学报 (社会科学版) , 2021, 37 (2) : 32–38.
[20] 中国人民解放军历史资料丛书编审委员会. 军事工业・根据地兵器 [M]. 北京: 解放军出版社, 2000.
[21] 邱若宏. 中国共产党科技思想与实践研究: 从建党时期到新中国成立 [M]. 北京: 人民出版社, 2012.
[22] 中国兵器工业历史资料编审委员会. 陕甘宁边区 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1990.
[23] 张德耀. 晋察冀抗日根据地军事工业建设工作回忆 [A], 武衡: 抗日战争时期解放区科学技术发展史资料 (第1辑) [C], 北京: 中国学术出版社, 1983, 182–197.
[24] 张珍. 张珍回忆录 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 2005.
[25]《兵工记忆》编委会. 兵工记忆 [M]. 北京: 人民出版社, 2019.
[26] 刘再生. 晋察冀抗日根据地的军事工业 [A], 中央档案馆: 晋察冀抗日根据地 (第2册) [C], 北京:中共党史出版社, 1991, 128–140.
[27] 晋察冀边区财政经济史编写组、河北省档案馆、山西省档案馆. 抗日战争时期晋察冀边区财政经济史资料选编 (工商合作编) [M]. 天津: 南开大学出版社, 1984.
[28] 张珍. 晋察冀根据地工业技术研究室的概貌及成就 [A], 武衡: 抗日战争时期解放区科学技术发展史资料 (第5辑) [C], 北京: 中国学术出版社, 1983, 252–262.
[29] 蔡珏. 抗日战争时期晋察冀根据地火炸药发展史研究 (1937–1945) [D]. 北京: 国防科学技术大学, 2016.
[30] 程子华、耿飙关于晋察冀军火生产数目给中央军委、总部的电报 (1945年7月23日) [A],《中国近代兵器工业档案史料》编委会: 中国近代兵器工业档案史料 (第4册) [C], 北京: 兵器工业出版社, 1993, 119.
[31] 赵尔陆. 关于武装建设上的几个问题 (节录) (1944年12月5日) [A], 后勤学院学术部历史研究室、中国人民解放军档案馆: 中国人民解放军后勤史料选编: 抗日战争时期 (第5册) [C], 北京: 金盾出版社, 1991, 566–567.
[32] 军工部关于前方一年内军事工业概况的报告 (1940年1月) [A], 后勤学院学术部历史研究室、中国人民解放军档案馆: 中国人民解放军后勤史料选编: 抗日战争时期 (第2册) [C], 北京: 金盾出版社, 1991, 240–306.
[33] 中国兵器工业历史资料编审委员会. 华北解放区军工史料 [C], 内部发行, 1994, 275–281.
[34] 胶东军区后勤部兵工总厂研究室. 兵器参考材料 [M]. 山东: 胶东军区后勤部兵工总厂研究室, 时间不详, 66–67.
[35] 李泓. 太原兵工厂形成的前前后后 [J]. 文史月刊, 2004,(8) : 56–59.
[36] 刘鼎. 太行兵工 [A], 中国人民解放军历史资料编审委员会: 后勤工作・回忆史料 (2) [C], 北京: 解放军出版社, 1989, 785–802.
[37] 汤治成. 中国超大型工程的科技创新与管理 [J]. 自然辩证法通讯, 2020, 42 (7) : 101–107.
[38] 吕正操. 冀中回忆录 [M]. 北京: 解放军出版社, 1994, 96.
[39] 汤治成. 从复杂系统看加快完善中国“卡脖子”技术研发制造的战略管理 [J]. 自然辩证法通讯, 2024, 46 (6) : 105–111.
[40] 张德耀. 抗日战争时期晋察冀根据地的炸药生产 [A], 武衡: 抗日战争时期解放区科学技术发展史资料 (第4辑) [C], 北京: 中国学术出版社, 1983, 296–304.

[责任编辑　王大明　柯遵科]