

明末清初汉译炮学著作弹道数据来源研究

于伟^{1✉} 关增建²

(1. 上海交通大学 马克思主义学院,上海 200240; 2. 上海交通大学 人文学院,上海 200240)

摘要 文章通过比较西方炮学书籍与汉译炮学著作中的弹道数据,指出明末炮学书籍弹道数据主要来源于16世纪末的西班牙火炮技术著作,其中普拉多的《炮学指南》所载数据传播最广,其所含弹道知识则源自意大利人塔尔塔利亚的《新科学》。此外,南怀仁译作《穷理学》一书中远度表的数据来源于莫雷蒂的《炮学简论》,后者是在吸收伽利略的抛物运动理论基础之上形成的;但《穷理学》使用这些弹道数据的时候,遵循的仍是亚里士多德的运动学说。

关键词 射程数据;炮学著作;塔尔塔利亚;亚里士多德

中图分类号 N092

文献标识码 A

文章编号 1000-0224(2023)02-0151-19

17世纪,西方弹道学知识通过传教士传入中国,推动中国炮学知识进入新的发展阶段。与此同时,西方对抛射运动的研究也取得了巨大成果,这些成果构成了科学革命的重要组成部分,影响到了近代物理学的发展。西方弹道学知识存在一个动态发展的过程,那么,传入中国的西方弹道知识,是否表现出这样的动态演进?这是一个值得探讨的问题。鉴于这些知识多隐藏于弹道数据背后,对这些数据加以分析,是解决上述问题的可行之道。

对于明季西方炮学弹道知识在华的传播,既有研究多集中于中西文本知识的对比联系,对射程数据的西方来源多有探讨,这些探讨^[1-3]对厘清西法炮学著作的沿袭关系多有助益^①,为后续研究提供了坚实的基础。本文在前人研究的基础上,重新考察西法炮学著

收稿日期:2021-12-16;修回日期:2022-02-20。

作者简介: 于伟,1992年生,山西晋城人,博士研究生,研究方向为中外火器技术交流史,Email: kmw321@163.com。关增建,1956年生,河南郑州人,教授,博士生导师,研究方向为计量史、物理学史、科学思想史。

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“中国计量史”(项目编号:15ZDB030)。

- ① 西人谟区查(Charles Ralph Boxer, 1904—2000)最早发现《西洋火攻神器说》与柯拉多(Luis Collado de Lebríja, 生卒年不详)1586版《实用炮学手册》(*Pratica Manuale di Arteglia*)存在联系。^[1]之后,黄一农考证《西洋火攻神器说》与《西法神机》共有的一组射程数据,指出其来源于西班牙人柯拉多所著的《实用炮学手册》。^[2]尹晓冬根据《西洋火攻神器说》所附火炮插图与上述数据,对比《实用炮学手册》三个版本,得出《西洋火攻神器说》的内容来源于1586年或1606年意大利文版本;尹还认为《西洋火攻神器说》与《西法神机》应是来源于同一中文译本,或为张焘(?—1634)、孙学诗(生卒年不详)所著的《西洋火攻图说》。^[3]郑诚发现《祝融佐理》、《西法神机》、《西洋火攻神器说》与西班牙迭戈·普拉多·托瓦尔(Diego de Prado y Tovar, ?—1645。本文中简称“普拉多”)的《铸炮及运用全书》(*Encyclopaedia de Fundición de Artillería y su Plática Manual*, 1603)稿本中的射程表存在对应关系,进而认为张焘与孙学诗所著《西洋火攻图说》或来源于《祝融佐理》。^[4]

作中的弹道数据,探明其承袭流变,辨析其背后之知识原理,以期进一步澄清明末清初传入中国的西方弹道知识的源流。

1 明末汉译炮学著作弹道数据的西方来源

西洋弹道数据知识在明季的引进,始于奉教人士购置西洋火炮的活动。在这一过程中,明人通过与西洋炮师、耶稣会士的交流,获取了相关知识。此后,随着西洋火器的输入,对西式火器技法的需求也随之增加,何良焄(生卒年不详)、孙元化(1581—1634)、焦勛(生卒年不详)等人开始编译炮学著作,《祝融佐理》、《西法神机》、《西洋火攻神器说》、《火攻挈要》等一批汉译炮学著作由此问世。显然,对这些书籍中弹道数据的探析,有助于辨识其西方来源。通过梳理这几部著作,可以发现,除《火攻挈要》外,其他三书记录的弹道知识颇为相近,说明它们有相同的来源,但不同的知识点来源于不同书籍。如在论述如何使用铳规确定火炮仰角及射程时,均摘用《实用炮学手册》给出的3磅火炮实测射程数据,但是汉籍文本均未指明火炮口径及用药量。而“点放大小战(攻)铳合用弹药平仰步数法”部分所列战铳、攻铳平仰射程,则与普拉多的《铸炮及运用全书》所载射程表数据相近。^[4]

《实用炮学手册》^[5]为西班牙人柯拉多所作,于1586年在意大利威尼斯出版。该书全面论述火炮分类、射击技艺等内容,并以对话的形式介绍火炮使用的实际案例。在该书第51章,柯拉多以弹重3磅的Falconete火炮做了一个测试,得出7个仰角度数(Punto,相当于现在的7.5度)下的射程:268、594、794、954、1 010、1 040、1 053^①。这组数据因缘际会被抄入明末汉译炮学著作中。《实用炮学手册》是当时意大利、西班牙两地传播最广的炮学著作,不仅是当时工程师、炮手学习火炮知识的教材,也是其后炮学著作讨论模仿的范本。此书或被葡萄牙人带至东方,通过澳门铳师与明人的交流,将弹道数据及炮学知识扩散开来。

《铸炮及运用全书》的作者普拉多出生于西班牙萨阿贡(Sahagún)的一个贵族家庭,早年经历不可考,成年后热衷于火炮铸造。1587年,为了满足西班牙大舰队的火炮装备需求,他被派往葡萄牙里斯本,与来自意大利、德意志及本土的火炮冶铸师合作,监督当地的火炮生产。^[6]次年参与无敌舰队远征英格兰的行动。1590年他被派往马拉加(Málaga)的铸造场。^[7]在此期间,他开始撰述炮学著作,1591年撰成《炮学指南》^[8](*La obra Manual y Plática de la Artillería*)一书。今西班牙国家图书馆(以下简称“西图”)藏有该钞本,全书分为4卷,共18章,316页。^②主要论及炮耳设置,膛管校准,铳规、炮尺、测炮象限仪使用方法,星斗设置等炮术内容。其后增补火炮、炮车制造、作战技法、火药配置等知识,改名为《铸炮及运用全书》^[9],全书396页,末署1603年,钞本现藏于剑桥大学图书馆手稿部(以下简称“剑桥”)。两书内容虽有重合,但不能等同视之。

① 单位为步(Paso),约合现在0.58米。^[2]

② 该书全称:La obra manual y plática de la artillería, del capitán Diego de Prado, teniente del capitán general de la artillería en Cataluña. 可译为“加泰罗尼亚炮兵总队长迭戈·普拉多上尉的炮学指南手册”。^[8]长22cm,宽16cm,封皮出现破损。在线阅览: <http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000139681&page=1>。

1592 年,普拉多向国王提交报告,建议马拉加铸造场制造的海军火炮降低口径、减小药室直径以减轻炮重。1593 年,他被任命为加泰罗尼亚(Cataluña)的炮兵总长。^[10] 依靠掌握的火炮制造技术,他逐渐成为掌握实权的军事贵族。值得注意的是,普拉多曾于 1607 年抵达菲律宾马尼拉,协助当地的堡垒建造和修理火炮工作^①,这为他的火炮知识传播到东方提供了某种可能。

《炮学指南》第 2 卷第 3 章在言明如何使用铳规和测炮象限仪之后,罗列其制作的射程表,总结了 21 型火器 7 个角度的射程数据,并绘制了蛇炮(Culebrina)、臼炮(Mortar)两类火器的弹道轨迹图。([8], 204-208 页)而《铸炮及运用全书》则列出 19 型火炮射程数据,删去 60lb 加农炮(Cannon)和 25lb 蛇炮两型火炮数据。([9], fol. 124v) 两版手稿射程数据共有 10 型火炮 38 处差异。值得注意的是,1603 年版射程随仰角增加递增幅度比 1591 年版大,并纠正了早期版本中一些口径较大的加农炮射程在 45°时反而减小的错误。显然两份手稿的推理过程并不一致。

笔者将两个版本的射程表与《西洋火攻神器说》^[11]、《西法神机》^[12]、《祝融佐理》^[13] 三书数据进行对比(表 1),发现相对于 1603 年剑桥钞本,《西法神机》、《西洋火攻神器说》的“点放大小战铳合用弹药平仰步数法”数据与西图所藏 1591 年《炮学指南》数据更为接近。

表 1 汉译炮学著作与《炮学指南》、《铸炮及运用全书》射程数据对比¹⁾

弹重(斤/lb)		2	4	10	12	15	18	20	25	10	16	20	30	35	40	45	50	60
书名 及仰角	0°	320	400	550	600	650	700	720	900	500	600	700	800	850	900	950	1000	1100
	45°	3 200	4 000	5 500	5 700	6 180	6 800	7 022	7 269	3 540	4 387	5 389	4 900	4 834	4 622	4 628	4 655	4 600
炮学 指南 (1591)	0°	330	400	550	600	650	700	720	800	500	600	700	800	850	900	950	1000	
	45°	3 200	4 000	5 500	5 700	6 180	6 700	7 200	7 355	3 300	4 380	5 389	4 900	4 834	4 792	4 700	4 660	
铸炮及 运用全书 (1603)	0°			550	600	650	700	720	900	500	600	700	800	850	900	950	1000	1060
	45°			5 500	5 600	6 180	6 800	7 200	7 269	3 540	4 387	5 389	4 900	4 834	4 622	4 728	4 655	4 600
西法 神机	0°			550	600	650	700	720	900	500	600	700	800	850	900	950	1000	1060
	45°			5 500	5 600	6 180	6 800	7 200	7 269	3 540	4 387	5 389	4 900	4 834	4 622	4 728	4 655	4 600
西洋火攻 神器说	0°	320	400	550	600	650	700	720	900	500	600				900	950	1 000	1 600
	45°	3 200	4 000	5 500	5 600	6 180	6 800	7 200	7 269	3 540	4 387				4 622	4 728	4 655	4 600
祝融佐理	0°			550	600	650	700	820	900	500	600	700					2 000	
	45°			5 500	5 600	6 180	6 800	7 355	7 269	3 540	4 587	5 389					8 900	

1) 与表中口径、仰角不符的火炮射程数据并未抄录。加粗数据源自《铸炮及运用全书》弹重为 22lb 和 12lb 的火炮射程。参见文献[8], 198 页; [9], fol. 124; [11], 720-727 页; [12], 1261-1263 页; [13], 86-90 页。另中西距离单位不同, 汉籍著作作为步, 约合 0.6 米, 西人著作作为步(paso), 约合 0.58 米, 参见文献[2]。

① 郑诚发现菲律宾总督胡安·德·席尔瓦(Juan de Silva, ? —1616)在扩充军备大量铸炮之时, 反而排斥普拉多这样的专家, 令其返回西班牙。但普拉多在滞留马尼拉期间, 可能将弹道数据传授出去。^[4]

第一,对比可知,《西法神机》、《西洋火攻神器说》、《祝融佐理》三书射程数据源头应是 1591 年版《炮学指南》。《西法神机》15 组射程数据中 11 组与 1591 年版《炮学指南》完全相同,与《铸炮及运用全书》相比只有 6 组相同。《西洋火攻神器说》14 组射程数据中 10 组与 1591 年版《炮学指南》完全相同,只有 5 组与《铸炮及运用全书》相同。而上海图书馆所藏的《祝融佐理》,记述了 10 种火炮的平仰射程值,其中有 6 组与普拉多的早期手稿《炮学指南》一致;这 6 组中包括与其后期手稿《铸炮及运用全书》一致的 3 组;这是因为《铸炮及运用全书》在数据上继承了《炮学指南》。三书与《炮学指南》的不同之处,大多为个别数字歧异,如 45lb 火炮射程 4 728 与 4 628 之别,显然为传抄之误。综上所述,汉译炮学三书的数据源头只能是《炮学指南》,而不是普拉多修改后的《铸炮及运用全书》。普拉多虽于 1607 年至马尼拉,但这次经历与明末西法炮学引入的射程数据并无关系,明人接受的弹道数据应出自普拉多未更改的射程表。

明人在接触到东传新式火炮之后,为发挥这些军械的威力,在彻底明晰其背后原理之前,最便捷的途径就是运用西法已有的射程数据指导火炮射击。这是西书数据被广泛引介的主要原因。但是,《炮学指南》所载射程数据,明人并未完整抄录,不仅有遗漏,也有讹误。如《祝融佐理》所载的弹重 30 斤的倍大蛇銃的射程在两版手稿中都没有对应的数据;而弹重 18 斤的大鸬銃射程数据则与《炮学指南》的 16lb 加农炮数据相近,其仰放射程 4 587 步应是将 4 387 讹写所致。

明人在接触到东传火炮之后,不可能不思考射程问题,在实践中对火炮弹道问题形成新的认知,也在情理之中。首先明人意识到不同角度炮弹飞行轨迹的相似性,即对弹道轨迹有了新的认知。《西法神机》记述称“夫铳之行也,全用其直势,亦半用其曲势”([12], 1249 页),蕴涵炮弹轨迹均由直线和曲线组成的观点,这与欧洲当时流行的几何图景是相近的。其次是掌握了火炮仰角与射程的一些实用规则。如火炮俯仰角度在六度(45°)时射程最大:“每高一度,则铳弹到处较平放更远,推而至于六度,远步乃止。高七度弹反短步矣”([12], 1260 页)。此外,“点放大小铳说”列举火炮从水平射击到 45 度仰放时射程的递增量为 326、200、160、56、30、13,显见随仰角增加数值减小,射程值呈非线性增长。炮手掌握这一规则有利于在战场上快速校准发射,节省试射次数。最可贵的是,明人认识到探究数据背后原理的重要性,如李之藻(1565—1630)于天启元年(1621)奏陈《为制胜务须西铳,乞敕速取疏》即指出:“所攻打或近或远,刻定里数,低昂伸缩,悉有一定规式。其放铳之人,明理识算,兼诸技巧。”^[14]他已经认识到,火炮射程是有规律的,要探究这些规律,必须明理识算。又如《西法神机》中多次指出“弹发远近度数,出几何编及测量法”([12], 1236 页),炮手“点放欲知几远”,明晰炮弹弹道,需研习“徐宫詹《几何编》、《测量法》,李太仆《圆容较义》、《同文算指》”([12], 1261 页),试图将炮术研习建立在数学科学的基础之上。

第二,汉译炮学著作与《炮学指南》射程数据的对比结果,有助于梳理它们之间的承袭关系。与 1591 年版《炮学指南》射程表仔细对比,可以看出《西法神机》并未援取 2lb 和 4lb 的大佛朗机(falcon)射程数据,《西洋火攻神器说》也未记载 20lb、30lb、35lb 的鸬銃(cannon)射程数据。然而将两部汉译著作中的射程数据整合,则与《炮学指南》所载几乎完全一致(只有 3 处数值不同),进一步说明《炮学指南》是它们数据的共同来源。学界曾

认为《西洋火攻神器说》与《西法神机》两书源自《西洋火攻图说》^①,从其文字、插图颇多雷同来看,此说是成立的。鉴于《西洋火攻图说》已经失传,我们无法判断其直接的西方源头,但从其后继的《西洋火攻神器说》与《西法神机》来看,两书的射程数据源自普拉多的《炮学指南》,而其篇章内容与插图则接近更早的柯拉多的《实用炮学手册》。这表明传华炮学知识,源头并非直接翻译自某一著作,而是在撷取融汇的基础之上整合成书。西人这样的引介方式各取所长、兼收博采,更有益于知识的传播。西方文本知识的汉译,被明人接受之后,推动明人在中西炮学知识会通基础上发展进步。

除了有共同的数据来源之外,《西法神机》、《西洋火攻神器说》、《祝融佐理》三书之间有何关系?在射程数据上,《祝融佐理》与《西法神机》更为接近。如《祝融佐理》所列虎啸铳射程,其数据仅能在《西法神机》书中见到。郑诚曾认为《西法神机》是《祝融佐理》的删减本^[1],此说有其道理。然而除弹道数据之外,《祝融佐理》缺少“登山扯铳装嵌铳尾车轮法”、“立圆开方问径法”等西法内容,而《实用炮学手册》及《西法神机》却有这些内容。再者,《祝融佐理》用6节篇幅条陈攻战守6种炮车尺量形制,《西法神机》则用2节通论铳车尺量比例及实际案例,而《实用炮学手册》仅述第一类与第二类火炮炮架设计尺寸、车轮尺量等技术要点,并无诸如“水战铳车”、“守城铳车”等具体规制。从此处结构、内容上看,《西法神机》与两书西源更为相近。另外,《祝融佐理》关于“水战铳车”的记述多为作者不经之谈。其称此铳车为适配子母铳所制,然而当时葡萄牙战船侧舷装备的多是前装火炮,后膛装填的火炮置于前后甲板充作补充火力之用^[16],恐怕作者并不了解欧式舰用炮车,相关内容并非西人所传。最后,在关键的火炮设计比例上,《祝融佐理》载战铳铳耳处炮宽“二径百分之五,则外围共得六径七分有二”([13],12页),与《实用炮学手册》([5],48-50页)及《西法神机》([12],1237页)两书比例迥然不同,且对比其后文罗列炮身数据,不似传抄导致的讹误;书中谈到铳口后、铳耳前、火门前三处:“一径作七分”、“一径作百分”、“一径作十分”,对火炮口径模数比例划分前后不一,与西书迥然相异。可见今存《祝融佐理》更像是一部明人吸收西法炮学知识后深加工作品,并非“西洋正传”。

从孙元化经历来看,也似无从何氏获取炮学知识的必要。史载万历丁未(1607)他曾留在京城随徐光启(1562—1633)学习几何、历法、算术等知识,与西班牙籍耶稣会士庞迪我(Diego de Pantoja, 1571—1618)相熟,今存《日晷图法》就为二人所著。之后利玛窦(Matteo Ricci, 1552—1610)去世,孙元化恰在北京,建议庞迪我向明廷申请墓地,助力颇多。^[17]二人相交颇深,庞迪我或与孙元化交流过西班牙军事技术。此外,李之藻曾询问利玛窦西洋火炮武备之事,称“尝见其携来书籍,有此图样,当时以非素业,未暇讲译,不意玛窦溘先朝露,书遂不传”^[18]。他们所谈或就是当时欧洲流行的炮学著作,而庞迪我负责操持利玛窦后事,极有可能得到此书,并将此书赠与孙元化。其后天启二年(1622)二月孙元化上“防守京城揭”,详谈铳法、炮台之术,可见他已掌握颇多西法炮学知识。崇祯三年(1630),孙元化擢升至登莱巡抚,援华澳门铳师与西炮纳入其麾下效命,其部先用西炮

① 《西洋火攻图说》为张焘、孙学诗所撰。二人曾于万历四十八年(1620)、天启二年(1622)两度赴澳门接洽购募火炮、铳师事宜,或因此得到当时流行的欧洲炮学著作并译成书稿,但此书已失传。^[15]

克复滦州,后在辽东东江一带击败后金。^[19] 其时,想必他对西洋炮术已十分谙熟。这些史实足证孙元化有独立吸收西方炮学知识的途径。而《祝融佐理》的作者何良焄天启年间为澳门书手,协助通事处理华人事物^[20],但史载其涉及火器技法,为崇祯八、九年在浙江任军前参画、清剿海盗时之事,之后于崇祯十一年至宣大监铸铁炮^[21]。今存其所监制火炮一门,炮身遍布合范熔缝,通体环绕五道加强筋,尾部成螺形且突出,其形制不仅劣于崇祯三年两广总督王尊德(生卒年不详)所仿制的西式铁炮,更远逊于天启年间递送京城的英式火炮。显然其炮学水准并非远超孙元化、徐光启。后人对其技艺的推崇,多在孙殒没之后。何良焄是否早于孙元化接触西法炮学还有待考察,《祝融佐理》是否是西法炮学知识传入明廷的最早文本也不能确定。

2 《火攻挈要》的弹道数据与西方源流

德国传教士汤若望(Johann Adam Schall von Bell, 1591—1666)、焦勖合作编著的《火攻挈要》^[22],成书于明朝大厦将倾之时,集中西炮学知识为一体,是“明代火器科学技术的集大成者”^[23]。对于各型火炮的弹道数据,该书在“各铳发弹高低远近步数约略”节记载了8型火炮的平仰射程。文中指出,“盖以铳膛有长短不同,药性有缓急不等,装法有松紧不一,故不便执定细数”,炮手仅需“预知约略,以便临敌之际,酌量长短,随宜施用也”(〔22〕,1307页),因此,除弹重3、4斤大铳外,此书只记载了7型火炮的最大、最小发射距离,射程数值统计至百位,皆为“约略大数”。显然作者知晓火炮药室大小、火药燃烧速率、装填方法等因素均对炮弹落点远近有着重要影响,所以数据标示略为简约。

值得注意的是,该节所载火炮最大射程均为水平射距的5倍左右,且同弹重火炮射程数据也与《西法神机》等书相比出入颇多,显见相关数据并未参考前述汉籍著作。唯一详载的3、4斤弹重大铳7个角度的射程,与同时期的西方炮学著作^[24-37]对比视之,并未发现有相同一致的记载。但其不同角度的射程比值接近于《炮学指南》、《炮学通论》^[38](*Tratado de la Artillería*, 1613)两书所载弹道数据,详见表2。

表2 《火攻挈要》、《西法神机》与《炮学指南》、《炮学通论》射程数据对比¹⁾

仰角	火攻挈要		炮学指南		炮学通论		西法神机	
	射程值	比例值	射程值	比例值	射程值	比例值	射程值	比例值
0°	400	1	500	1	200	1	400	1
7.5°	800	2	1 225	2.45	487	2.435	880	2.2
15°	1 400	3.5	1 775	3.55	755	3.775	1 770	4.425
22.5°	1 800	4.5	2 145	4.29	937	4.685	2 650	6.625
30°	2 000	5	2 470	4.9	1 065	5.325	3 860	9.65
37.5°	2 100	5.25	2 645	5.29	1 132	5.66	—	—
45°	2 150	5.375	2 750	5.5	1 170	5.85	4 000	10

1) 《炮学指南》数据摘自文献〔8〕附录308页所载4磅火炮,《铸炮及运用全书》未载该数据。《炮学通论》数据摘自文献〔38〕,341-343页。《西法神机》数据摘自书中所谈“神器三号”火炮〔12〕,1260页,该组数据应源自《炮学指南》弹道表所列4磅Falcon〔8〕,198页。弹重约合明制3斤。

《炮学通论》是西班牙工程师迭戈·乌法诺(Diego Ufano, ? —1613)所作,是17世纪欧洲流传最广的作品,被翻译成德语、法语、英语等版本并多次刊印^[39],显示了西班牙炮术知识在欧洲的盛行。根据表2中射程比例值的递增变化,可见《火攻挈要》所载大铳射程数据与《炮学指南》、《炮学通论》为代表的西班牙炮学著作有着千丝万缕的联系。审视其比例数值,呈二阶等差数列,多半为数量推算所得,并非个人操炮实射记录。《火攻挈要》集“各书之要旨,师友之秘传,苦心之偶得”,融汇中西多方炮学知识,比例数值简单明了,乃是焦勖“博访于奇人,就教于西师”([22], 1267页)口耳相承所获。至于其“西师”,或指汤若望,或指援华西洋铳师,两者都可能将相关炮学知识传授给明人。

首先,考察汤若望的知识背景,此路径是成立的。汤若望青年时期便在罗马德意志学院求学,加入耶稣会,接受神学、哲学、自然哲学等全面教育。^[40]当时的耶稣会已带有浓厚的军事特征,是天主教在新大陆进行宗教征服的急先锋。^[41]16世纪末,耶稣会学者更意识到数学知识在军事上的巨大价值,他们不仅指导军事防御课程,还作为战争顾问为天主教国家服务。^[42]汤若望在意大利求学期间或受这股风潮影响,浏览相关炮术、防御工程等军事著作。从技术扩散的地理区位来看,当时西班牙是欧洲火炮技术输出重要中心,又因罗马左近的那不勒斯、米兰两地均属于西班牙王国,使得两地技术交流活跃起来。16世纪70年代,米兰、巴勒莫等城设有炮兵学校,西班牙王室利用当地丰富的工匠技术人才,为本土输送专业炮手军士。^[43]西班牙炮学知识也在意大利流传甚广,如前述西班牙火炮工程师柯拉多在伦巴第地区担任炮兵总长十余年,其所作《实用炮学手册》意大利语版两次重刊印刷,是西、意两地最多被提及的火炮著作。^[44]其他西班牙火炮工程师普拉多、莱丘加(Cristobal Lechuga, 1557—1622)也曾意大利进行火炮技术交流^[4],后者还亲自在当地设立炮兵学校,教授炮术^[45]。以此背景来看,相关弹道知识或已在当地流传,汤若望等耶稣会士存在了解相关技术的可能。值得注意的是,1622年在澳门抵御荷兰的战事中,汤若望、罗雅谷(Giacomo Rho, 1593—1638)^①等传教士操持火炮,远距离击中敌人阵地,进而逼退荷军,发挥了重要作用^[47];次年,在澳耶稣会士与多明我会神父发生流血冲突,大动干戈,甚至开炮轰击多明我会修道院^[48];且崇祯九年(1636)清军再次寇边,攻克昌平进逼京城之时,明廷问询汤若望、罗雅谷等如何提升城池防御,他们再次“指授开放铳炮诸法”^[49]。这些史事足以推定,汤若望等传教士入华之前,深谙西洋火炮炮术,很可能对亚平宁半岛流传的西班牙弹道数据十分熟识。东来之后,适逢其时,焦勖求问西洋炮学,他遂将相关弹道知识编入《火攻挈要》书中。

其次,援华铳师也有可能将相关弹道知识传授给明朝军士,口耳相承被焦勖获得。自天启三年(1623)至崇祯初年,澳门铳师曾两次北上进京援助明廷。第一次独命峨(生卒年不详)等铳师驻留京城期间便教授明军炼药、装放诸法。^[50]第二次公沙·的西劳(Gonalo Teixeira Correa, ? —1632)所帅铳师更是随明军连番征战。崇祯三年(1630)西人铳师携所运西炮击退金兵,进抵北京。明廷便精选将士令其教习西洋点放法。^[51]这些澳门军

① 罗雅谷数学造诣极高,著有《比例规解》。学界多认为此书译自伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)的《几何和军事用之比例规的操作法》(Le Operazioni del Compasso Geometrico et Militare)。比例规在炮术上具有重要作用,可以用来换算不同比重炮弹所需火药。据此可知罗雅谷应掌握发射火炮的技术。^[46]

士后划归孙元化军中,直接负责火器燃放,不仅取得皮岛大捷,更在吴桥兵变中坚守登州城池,抵抗叛军攻城,后伤亡惨重终返澳门。援华铕师在教导明人军士过程中,极有可能将相关简易数据传授给明军将士,焦勛遂能求访获得相关数据。《火攻挈要》书中所载“教习装放次第及凉铕诸法”,详述西洋教练火器方法,可佐证这一判断。

综上,明末传华火炮数据深受西班牙火炮知识的影响。或因当时葡萄牙已纳入西班牙王室统治之下,葡萄牙炮兵也纳入西班牙专业的炮手训练体系^[6],他们所学的炮术知识或源自柯拉多、普拉多等人所撰写的手册([7],551页)。当时的火炮技术书籍,除弹道表外,涵盖了火炮类型与尺寸、装填方法、火药配方、弹药配比、几种目标射击操作案例等知识,这些内容体例大都被明末汉译炮学著作所承继。欧洲火炮工程师们之所以将弹道表纳入他们的著作,其目的在于彰显其学说的“科学性”与“先进性”。最早采取这一举措的就是意大利数学家尼古拉·塔尔塔利亚(Niccoló Fontana Tartaglia,1499—1557)。在《新科学》^[52](*Nova Scientia*,1537)一书中,他首次对炮弹轨迹做出几何分析,把炮弹弹道视为几段可用数学方法进行分析的线(直线和圆弧),以便推导论证一系列弹道命题。他最终指出炮弹落点距离可以通过计算得出,后来制作了一张弹道表,仅以口头方式秘密地告诉了他的赞助人威尼斯乌尔比诺公爵罗韦尔(Francesco Maria della Rovere,1490—1538)。^[53]遗憾的是该表并未流传下来。

塔尔塔利亚开辟的道路引发科学家和火炮工程师两大群体的追随。前一群体试图在力学分析、数学模型领域推进他的工作,力求复现真实的弹道图景,使弹道计算更为“精确”和“科学”。如英国数学家托马斯·迪格斯(Thomas Digges,1546—1595)、托马斯·哈里奥特(Thomas Harriot,1560—1621)的研究逐渐摆脱圆弧弹道的旧式认知,向弧形弹道图景转变。^[54]后一群体往往具有实操火炮的经验,更重视调解弹道理论与实践经验之间的“误差”,克服理论的“抽象性”,推导出一些实用的数学计算公式,并制定弹道表指导炮手射击。如意大利工程师卡普比安科(Alessandro capo Bianco,?—1610)的《皇家炮兵》(*Coronae palma Militare di Artiglieria*,1598)统计了29种火器在7种角度下射程,每种火炮在不同角度下的射程呈10、50、85、106、114、119、120的比率关系。^[26]而西班牙军事将领迭戈·德阿拉瓦·维亚蒙特(Diego de Álava y Viamont,1555—1596)所著的《军士守则》(*El Perfecto Capitán Instruido en la Disciplina Militar*,1590),提出火炮射程与火炮仰角的正弦值成正比的观点,并给出任一角度下火炮射程的计算方法: $L+(M-L)\sin\alpha/\sin45^\circ$; L 为水平射程, M 为 45° 最大射程。^[55]

数学比值构建的推算方法反映了火炮工程师们浅显的弹道学知识,其文本对炮弹轨迹的描绘仍以塔尔塔利亚的几何图景为基础,并不能直接指导炮手做到精确的射击,但这些数据凸显出炮弹弹道的可分析性与准确命中的可操作性,炮术(Gunnery)逐渐被认为是当时重要的军事“科学”技术之一。而随着中西交通的深入,欧洲弹道数据因缘际会流传至明末西学人士手中,潜移默化,成为充分发挥西洋火炮威力的重要知识。如《火攻挈要》就详细记载如何使用弹道表结合铕规测定发射仰角,发射炮弹远击敌人:“先以远镜看明敌营所在,次则测量地步远近如何,再以铕规算合所到度数……照准营头,连发数弹”([22],1318页)。炮术技艺的提升,有效提升明末炮手的军事实力。在南明收复台湾之役中,郑军炮手依托炮台围困荷军,在炮战中表现出高超的炮术,快速准确的打击让

荷兰殖民者感叹道:“敌军非常善于瞄准,我们的士兵都不敢探出身子”,“他们操控大炮竟然如此有效率……我们的士兵都不禁自叹弗如”。^[56]可见,长期在东南沿海、南洋与西方殖民者贸易往来的郑氏集团,掌握了不劣于荷军的先进火炮与一流炮术,是之后奠定胜局、收复台湾的重要保障。

3 传华弹道数据的源头及演变

《西法神机》等三书弹道数据,来源于西班牙普拉多的《炮学指南》,当无疑义。那么《炮学指南》所列弹道数据是如何得出,以该书为代表的弹道知识的源头又在何处?

普拉多《炮学指南》的射程表传至中国并不是偶然之事。查同时期的西班牙火炮著作,发现胡利安·费鲁菲诺(Julián Firrufino, 1535—1604)的《炮学简述》^[57](*Descripción y tratado muy breve, y lo más provechoso, de artillería*),其子胡里奥·塞萨尔·费鲁菲诺(Juilo Cesar Firrufino, 1585—1651)所著《简要炮学手册》^[58](*Plática Manual y Breve Compendio de Artillería*, 1626)和《知行卓越的炮手》^[59](*El perfecto artillero theorica y pratica*, 1648)两书,均列有与《炮学指南》极为相似的弹道数据,且《知行卓越的炮手》射程表所附炮弹轨迹图与《炮学指南》完全相同。此外,拉萨罗·伊斯拉(Lazaro de la Isla, 生卒年不详)的《炮术简论》^[60](*Breve tratado del arte de artilleria*, 1595)也载有部分相似数据。费鲁菲诺父子和伊斯拉均为在西班牙帝国任职的著名火炮工程师。胡里奥声称射程表数据为其父亲胡利安推导所得。([59], fol. 60v) 胡利安长期从事炮手培训工作,于1589年被西班牙军事参议院任命在布尔戈斯(Burgos)和马拉加教授炮术,1591年被派往塞维利亚(Seville)管理炮兵学校,主要教导炮术理论,1595年成为皇家学院的数学教授。^[61-62]而伊斯拉出身热那亚,曾是驻泊葡萄牙的皇家舰队首席炮长,1597年后在布尔戈斯、加的斯(Cádiz)两地炮兵学校任职。^[6]二人与普拉多为军中同僚,或曾就弹道问题有所交流,交换射程数据,并在各自著作中陈示以教导后人。

《炮学指南》的射程表对火炮做了细致分类,罗列各类火炮7个仰角下的射程数据。这些数据清晰明确,均精确到步(Paso),不似实践射击得出的结果,当为理论推导所得。普拉多出身军事贵族,从其个人履历来看,他擅长火炮制造,有丰富的冶铸经验,并操持火炮参与过作战行动。但他可能并不具备高超的数学技艺,未必能够独创出新的数学模型,推导出详细的射程表。《炮学指南》在射程表后附有炮弹轨迹图,显示了他所用的几何模型。巧合的是,该图与意大利佛罗伦萨图书馆所藏一份抄本残卷^[63]插图颇为相似^①。通过对比(图1、图2),可以看出二者用相同的几何方法构造了弹道轨迹,都在水平弹道终点与45°直线弹道末端之间构造一条圆弧,这条圆弧与不同仰角的直线弹道相交,交点就为各仰角直线弹道的终点。当时人们认为,不管何种仰角,炮弹飞离炮膛之后,都会循直线飞行一段距离,然后才转为曲线运动。在这里,如何确定直线弹道的终点就成为至关重要的问题。佛罗伦萨残本提供了确定该终点的方法,这一方法显然被西班牙火炮工程师所继承。

① 该手稿收录于佛罗伦萨国家图书馆,MS. II. IV. 337。题录为 Della formazione de tre cerchi ne quali si fonda tutto il transito che fa la palla tirata per aria in qual si voglia elevatione di artiglieria。

普拉多自称对弹道学很有兴趣,曾在意大利威尼斯、西西里(Sicilia)和西班牙马拉加等地观摩试验火炮,并与胡利安切磋交流弹道数学。^[4]而胡利安早年在意大利米兰教授火炮和城防理论,精于用数学做分析。二人可能是在意大利游历时接受了这一弹道几何图景。

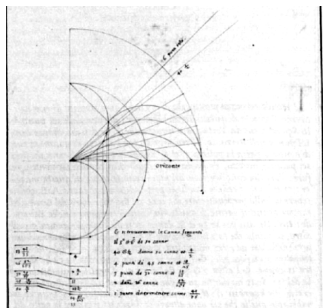


图1 佛罗伦萨残本([63],16页)

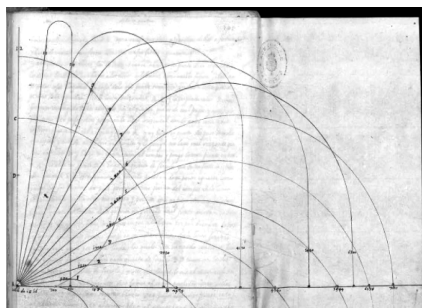


图2 《炮学指南》弹道图([8],203页)

佛罗伦萨残本已被认定于1565年之后不久成文^[64],那么他所用这种几何方法的源头又在何处?

正如前面所谈,在16世纪中叶的意大利,弹道学理论处于从亚里士多德(Aristotle,前384—前322)和中世纪“冲力”学说向经典力学的转变中。其中,塔尔塔利亚做出了最重要的贡献,他致力于将炮术技艺建立在数学科学之上的尝试影响深远。其后一个世纪,火炮工程师依然以其构建的炮弹轨迹和数学推论为基础,加上丰富的实践经验,形成自己弹道理论。佛罗伦萨的炮弹轨迹图和普拉多、费鲁菲诺父子的弹道表就是这股风潮的产物。参考胡里奥等对弹道轨迹模型的论述([59],fol. 90),可以发现他们的几何模型解析和射程数据推导方法,确实是受塔尔塔利亚理论影响的结果。

首先,在胡里奥等人的弹道轨迹图(图3)中,炮弹弹道都是被分为三部分。第一部分是初始直线轨迹。第二部分是弧线轨迹。这部分他们直接用圆弧来代替,其目的显然是方便计算。第三部分是垂直于水平面的直线,表示炮弹直线下落,当然低仰角的炮弹并未会有此部分。这与《新科学》中塔尔塔利亚总结的几何模型(图4)近乎一致。显然他们试图模仿塔氏构造一个简单的几何模型,利用欧几里得几何计算弹道落点数值。在缺乏伽利略抛体运动理论背景下,这种几何模型的存在至少为人们提供了一种利用数学方法推算火炮射程的可能。

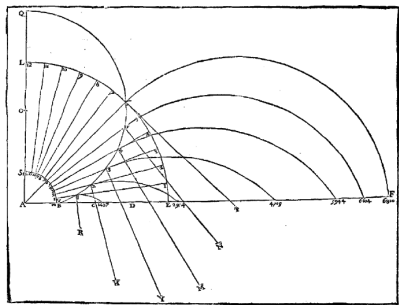


图3 《知行卓越的炮手》弹道图([59],fol. 60)

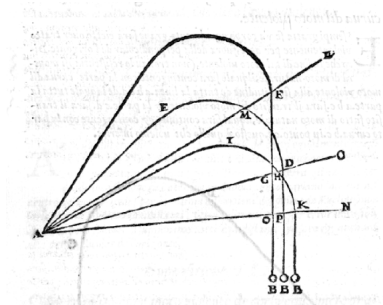


图4 《新科学》弹道图([52],fol. 11)

其次,考察普拉多等人的数学推算方式,可知其整个弹道表的数据是基于几何解析计算得出的:基础数据就是火炮的水平射击射程数值,佐以《新科学》的推导命题,经演绎推算得到其他角度射程数据。如《新科学》的命题 9 论证炮弹于 45° 发射时直线弹道的轨迹距离为水平射击距离的 4 倍([65],171 页)。两位工程师以 18 磅蛇炮为例,测试平射射程为 700 步,推导该炮在 45° 仰角时初始直线弹道为 2 800 步长,恰为水平射击距离的 4 倍([8],204 页)。此外,塔尔塔利亚还声称同一门火炮不同仰角下射程值之间存在数量关系:即当火炮仰角为 45° 的情况下,其射程是水平射击距离的 10 倍。([65],73 页) 普拉多、胡里奥射程表中诸多火炮的射程数据均符合这一定律。([59],fol. 57v) 但这一定律与实际情况并不相符,更证明了普拉多的理论来源于塔尔塔利亚。

当然,普拉多并非完全照抄塔尔塔利亚的理论,也有他们的发展。比较低仰角的炮弹轨迹(见图 2),可以发现,普拉多等人的几何模型曲线部分长于初始直线弹道,应是结合其实践经验,对塔尔塔利亚模型的修正。

除了对模型的修改,他们对塔尔塔利亚理论也做出了一些突破。《新科学》命题 7 指出:相等重量,并以相同仰角射出的炮弹,即使大小不一(如石弹与铅弹、铁弹),其弹道轨迹是相似的,弹道的不同阶段是成等比例的。([65],155 页) 普拉多和胡里安将这一推论的限定范围扩展至不同弹重的炮弹。二人的弹道表(图 5)显示,两门不同口径、弹重不同的火炮 7 个仰角下射程数据比值恒定。比如 10 磅蛇炮 7 个仰角(0° 、 7.5° 、 15° 、 22.5° 、 30° 、 37.5° 、 45°)的射程值都是 8 磅蛇炮的 1.1 倍。塔尔塔利亚本意是论证不同口径的火炮在相同仰角情况下,发射两颗相同重量炮弹的直线弹道之间、弧线弹道距离之间比值是相等的。他的这一结论仅仅是对几何模型运用数学推导得出的结果,并无力学分析,更无实践佐证。普拉多等人在塔尔塔利亚理论基础上,取消了弹重这一前置条件,认为同样仰角发射的炮弹轨迹都是相似的,使塔尔塔利亚的结论向伽利略理论靠近了一步。但他们这样做的依据何在,迄今尚不清晰,也许是塔尔塔利亚理论的技术实践结果。

随着火炮在战争中的广泛使用,人们难免要对火炮相关的理论问题进行研究。意大利数学家塔尔塔利亚是其中的先驱者,他最早构建出几何模型分析弹道轨迹,这种做法启发了其后的诸多火炮工程师。从意大利佚名学者到普拉多、胡里奥,他们均运用塔尔塔利亚的方法,结合实践经验,在改进其模型的基础上,推出了“实用性”的火炮射程表。这些射程表不仅存在于西班牙火炮技术文本,而且乘西学东渐的浪潮,漂洋过海,在明清汉译西法炮学著作中得以呈现。

4 清初弹道数据的理论源头

当明人刚接受到西班牙“先进”的弹道知识之时,欧洲抛射运动研究又取得革命性的突破。伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)于1638年出版了《两种新科学的对话》(*Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno à due nuove Scienze*, 1638)。他在书中提出了炮弹等抛射物的轨迹为抛物线的观点,制作了一个远度比例表来帮助炮手计算不同仰角下炮弹的射程。^[66]其火炮远度表对不同角度的射程划分更为细致,炮手可通过“三率法”求得不同角度的射程值。伽利略的理论是否传到中国,成为清初传教士著作中弹道数据新的来源,这一问题值得探讨。

1683年,南怀仁(Ferdinand Verbiest, 1623—1688)在制造火炮之余撰成《穷理学》,其第8卷“形性之理推”详细论述了其弹道学观点。^[67]该书在“远度表之解说并其用法”后附有一射程表,尹晓冬考证其与伽利略的《两种新科学的对话》远度表格式类似,“远度步数”部分数据(10组)相同,其余数据非常接近。^[68]显然,这一研究对本节开头提出的问题给出了肯定的答案。尹晓冬的讨论是有道理的,两书远度数据部分相同,不是偶然现象,足以说明《穷理学》与伽利略的理论有一定的知识渊源。但是,《穷理学》的远度表除其余35组数据存在的差异,所列“远度尺丈数”也是伽利略未论及的数据。这很容易引发一个猜想,即伽利略的远度表并非《穷理学》的直接来源,二者之间应该存在一个中间技术文本。

笔者查询当时火炮技术著作,意外发现《穷理学》远度表与意大利人托马索·莫雷蒂(Tomaso Moretti, 1618—1675)的《炮学简论》^[69](*Trattato dell'artiglieria*, 1672)^①的射程表数值完全一致(图6、图7)。显然后者才是《穷理学》远度表的直接源头。莫雷蒂在书中称,他为了考察加装木塞^②对臼炮射程的影响,实地测试了装填木塞与不装木塞两种情况下的火炮射程,并据此制定了两张射程表,图6所示即为原书所载加装木塞后的射程表。表中第1列为火炮仰角(gradienti),范围为45—88度。第2列为比例数值(numeri proportionali)^③,第3列为以步为单位的射程绝对值(passi geometrici^④)。这个表格列出了试验所用

① 今在国家图书馆北堂藏书收录有该书,编号为3371。^[70]

② 当时火炮试放技术有两种:一种是发射时填装火药后直接装入炮弹;另一种是先填装火药,再加装木塞紧实火药,然后再填入炮弹。莫雷蒂的实验,就为了考察两种方法孰优孰劣。

③ 比例数值法是伽利略发明的表示炮弹射程远近的一种方法。他把炮弹以45°仰角发射时的射程作为标准射程,设定为10 000,其余角度射程均以此为参照,比较后得出。

④ passi geometrici为射程单位,指使用“双步”,约合139cm。

白炮不同角度的射程比例值,借助该表和三率法,可以推算不同白炮任一角度的射程数值。

TAVOLA PRIMA

Dei tiri del Mortaro, e Bomba da 100. turata la Camera col coccone di disegno.

6	45	10000	600	5	67	7190	421	9	67	7190	421
1	40	9985	559	3	68	7060	416	8	68	7060	416
1	47	9973	553	2	69	6920	410	7	69	6920	410
1	48	9954	558	1	70	6780	405	6	70	6780	405
1	49	9920	559	1	71	6640	400	5	71	6640	400
1	50	9846	550	1	72	6500	395	4	72	6500	395
2	51	9780	488	4	73	6370	390	3	73	6370	390
7	53	9700	485	3	74	6230	385	2	74	6230	385
4	55	9640	570	2	75	6100	380	1	75	6100	380
1	56	9510	570	1	76	5970	375	1	76	5970	375
5	55	9390	555	1	77	5840	370	1	77	5840	370
5	56	9270	556	1	78	5710	365	1	78	5710	365
1	57	9110	548	1	79	5580	360	1	79	5580	360
1	58	8980	532	1	80	5450	355	1	80	5450	355
8	59	8880	529	1	81	5320	350	1	81	5320	350
7	60	8660	519	1	82	5190	345	1	82	5190	345
7	61	8480	508	1	83	5060	340	1	83	5060	340
1	62	8270	497	1	84	4930	335	1	84	4930	335
1	63	8090	496	1	85	4800	330	1	85	4800	330
1	64	7880	472	1	86	4670	325	1	86	4670	325
1	65	7690	450	1	87	4540	320	1	87	4540	320
1	66	7480	438	1	88	4410	315	1	88	4410	315
					89	4280	310	1	89	4280	310
					90	4150	305	1	90	4150	305

图 6 莫雷蒂的射程表([69], fol. 47)

[illegible]

图7 《穷理学》远度表节选([67],175页)

《穷理学》在远度表后一节“求不拘何炮之弹、弓之箭等至远步几何”中言：

假如某炮已经试验,凡对于四十五度之高,则其所放之弹,至八千步始落于地。今若将本炮对五十四度,欲知其弹至丈数几何。法曰:以四十五度之高,查表则见第三行内相对之数,为一〇〇〇〇,即一万。故以一〇〇〇〇为一率。其本表本行内,以五十四度相对之数为二率。以八千步为三率。第二率与第三率相乘,以第一率除之,即得七千六百步,为其所求。(「67」,177页)

这与莫雷蒂给出两个计算案例所采用的数值、方法完全一致,表明《穷理学》远度表数据(图7)确实来源于《炮学简论》。《穷理学》更是将莫雷蒂所列比例数值视为步数比例值,将射程步数视为尺丈比例值,步数与尺丈数皆视为“比例之数”,进一步提出:“盖以此一度之远步,恒为推他远步之宗根故耳”(〔67〕,177页)。可见南怀仁对此射程表的实践意义,理解得十分透彻。

莫雷蒂的射程表增加了实际射程步数值,这与伽利略的远度表格式上有所不同。莫雷蒂射程表中的比例数据系基于伽利略抛物线模型得出,而射程步数为实测所得,表明他用实测数据检验了伽利略的比例数值法,证明了后者是有效可信的。这种用实验来检验理论的做法值得肯定。正是因为莫雷蒂对伽利略的方法做了检验,南怀仁才在《穷理学》中完全接受了他的做法。

莫雷蒂的实验是围绕臼炮进行的。臼炮发射时仰角一般大于 45° ，且弹速较慢，所以《炮学简论》的射程表只列出 45° 至 88° 的数据。从实践角度来看，《炮学简论》总结的高仰角弹道比例数值与实际射程，具备很高的实用价值。伽利略的抛物线弹道是排除空气阻力影响，在理想条件下推导得出的数学模型，不能完全反映高速炮弹的现实轨迹。但现

代研究发现:大仰角发射的迫击炮弹,弹速较慢,空气阻力的影响相对可以忽略不计。^[71-72]其抛物线模型可以复现真实的臼炮炮弹轨迹。利用伽利略的方法,根据弹道落点距离,参考远度表即可推算火炮仰角。如此,这种方法可以指导火炮发射,具有实用价值。因此,将莫雷蒂的弹道表与臼炮搭配使用,可在当时发挥巨大作战威力。南怀仁将此数据抄入《穷理学》,很可能意识到莫雷蒂射程表的军事价值,试图以此教导清军炮手,发挥火炮威力。

康熙初年俄国人东进,侵入黑龙江。其携带的新式臼炮,能发射“定时引信”的炮弹,给清人留下深刻的印象。^[73]康熙二十五年(1685)南怀仁仿造此类火炮,铸成使用30斤炮弹的冲天炮,“试验其至丈步近远若干,推知在空中刻分之秒数,以定点火药筒长短若干”^[74]。试制非常成功。以上推算试验,必定利用了《穷理学》所载弹道表。百年后清军两征金川,仰攻敌人堡垒,需用臼炮高仰角的弹道优势,清廷派遣傅作霖(Félix de Rocha, 1731—1781)等钦天监传教士,随军指导炮手使用臼炮。傅称清兵“所测高下远近之数已为有准,今复按旧法,对准度数,施放更可无误”^[75],以此推动了平叛战斗的胜利^[76]。傅所言旧法或是《穷理学》所录弹道表,这些弹道知识与冲天炮运用技巧相结合,在战事中发挥着重要作用。

需要指出的是,《穷理学》在火炮的实际应用方面,虽然继承了伽利略的方法,但在对抛射运动的物理分析上,依然遵循了亚里士多德的观点。南怀仁在远度表前论“重物空中行道之势理”中,将重物的运动分为“因性之道”和“强性之道”:

总论重物之动,有依两道而行,一曰:因性之道,即上往下之行,二曰:强性之道,即或横或上而行。其因性之道者,即从上往下,作正垂线而行,缘下为其本所也。天下之物,各有本所。物之性,亦各喜得本所。每物不在其所,则必与性相反,且别物得以攻之。故各就本所,乃各物之所喜向也。([67],171页)

显然,南怀仁说的“因性之道”使用的是亚里士多德的学说。所谓“各有本所”、“各喜得本所”即亚里士多德解释重力运动的核心之所在。南怀仁使用这种理论解释物体的垂直下落运动,是合理的。因为引力的本质,直到18世纪牛顿的“万有引力”学说问世,才得以说明。

至于“强性之道”,南怀仁解释说:

重物强性而行,由两彼此相反之力而动。一曰:本性之内力向下行。二曰:逆本性之外力向上行。盖凡重物逆本性而强受动,则施动者必通施猛(狠)之力于重物之体,以强带而动。若无如此之力随重物之体而带动之,则重物既已离动者之手,即因本性垂线之直道而下行。然既不能全顺本性之动而直下行,又猛烈之力,既不能全胜重性之逆行,而去之直上行。则重物空中之道,非依直线往上下,惟依曲线,而仿佛圭窠形之线,一半往上,一半往下行矣。([67],171页)

他认为,重物的本性是向下运动的,而抛射物体之所以上行,是因为“施动者”将力施加于物体的结果。但根据亚里士多德的学说,抛射体一旦离开施动者之手,没有了推动其上升的作用,必然依其本性垂直下落。现在重物离开施动者之手后,没有垂直下落,说明“猛烈之力”依然存在,物体在重力和“猛烈之力”共同作用之下沿曲线运动。显然,此处又掺

入了中世纪冲力学说,“猛烈之力”即冲力(impetus)^①。抛射物体之所以前行不坠落,即受冲力和重力共同作用的结果。

参考南怀仁《灵台仪象志图》^[78]炮弹轨迹图(图8),可以发现南怀仁对轨迹图景的描述又吸收了伽利略抛物线模型的曲线特征,同时前述炮弹远度表也多处采用伽利略的数据。在《灵台仪象志》书中,他不仅叙述了伽利略单摆的两条基本原理,还介绍了落体加速度理论。^[79]这说明他对伽利略理论是熟知的。那么,在对炮弹运动理论的解说上,他为何不采用伽利略的学说呢。

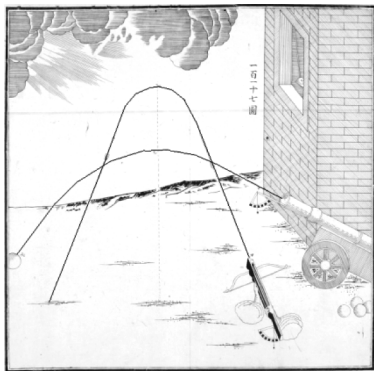


图8 南怀仁弹道图([78],第171图)

南怀仁早年在鲁汶大学研习的是亚里士多德的物理学(Libri physicorum),后在当地耶稣会学院跟随著名科学家安德烈·塔凯(André Tacquet, 1612—1660)学习。^[80]他对伽利略物理学取得的进展应该是清楚的。伽利略的抛体运动理论的实用价值毋庸置疑,他对抛体运动原因的解说,隐含惯性概念,而对惯性概念的彻底阐述,要等到牛顿运动定律的问世才得以实现。在此之前,伽利略理论对抛体运动原因的阐释,未必比冲力说更令人信服。而冲力说本身是在亚里士多德学说基础上发展起来的。由此,南怀仁混杂亚里士多德理论、冲力说、伽利略理论是可以解释的。

此外,南怀仁述作《穷理学》,目的是向清人介绍亚里士多德的知识论,展示以演绎推理为“贯穿众学之具”的西方自然哲学知识。他在书中推崇亚里士多德学说,也是符合该书写作宗旨的。

5 结 语

明清时期西学东渐,西方弹道学知识被引入中国。明末汉译炮学书籍收载了大量射程数据,这些数据反映出欧洲弹道学在实践、思想两个方面对西法炮学的影响:实践上采纳西班牙工程师的火炮学说,承继其射程数据与射击战术;思想上蕴含意大利人塔尔塔利亚的弹道理论,推崇数学科学对炮术的指导作用。最初塔尔塔利亚开创利用几何模型

^① 冲力学说认为抛射时有一种内在的运动力(即冲力)压入抛射体,冲力起驱动力的作用。下落时,物体受恒定的重力和不断增加的冲力而使运动越来越快,上抛物体则因空气阻力而使冲力减小,运动速度便逐渐减小。^[77]

计算炮弹射程的方法,这种方法被西班牙火炮工程师们所采纳。他们据此推算了大量火炮射程数据,并在实测平射数据的基础上有所修正,然后以表格方式呈现,代表就是 1591 年普拉多所著《炮学指南》所附射程表,其后西班牙诸多火炮著作也编有相似数据。这些弹道数据后经西人之手传入中国,被明末汉译炮学著作所承袭,理论基础是塔尔塔利亚的弹道学说。

与此同时,西方弹道学理论也在不断发展,伽利略抛体运动理论的出现,标志西方弹道理论进入科学化阶段。意大利火炮工程师莫雷蒂《炮学简论》在继承传统方法的基础上,吸收了伽利略的弹道数据。清初南怀仁所作《穷理学》,将莫雷蒂的实用射程表抄录其中,折射出伽利略的抛射运动知识已渗入汉文西学书籍中这一历史事实,但南怀仁在对抛体运动原因的解释上,采用的是亚里士多德的理论和中世纪的冲力学说。

从明末到清初,东传弹道数据在实用性上有巨大提升,反映了欧洲从塔尔塔利亚到伽利略弹道学说的发展。而在理论解释上,推动弹道数据东传的耶稣会士,则持一种谨慎的态度,并未引介伽利略的抛体运动学说。(图 9) 传教士的这种传播策略,既促成了中国火炮技术的发展,又与其自然哲学知识和宗教信仰相契合。对他们而言,这是最佳的知识传播策略。

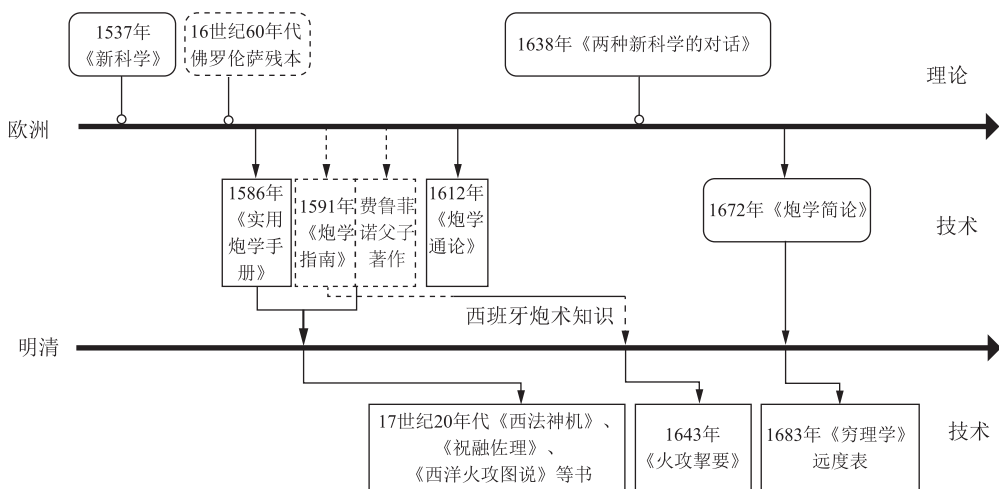


图 9 中西弹道知识沿革示意图

参 考 文 献

- [1] BOXER C R. *Jan Compagnie in Japan, 1600—1850: An Essay on the Cultural, Artistic and Scientific Influence Exercised by the Hollanders in Japan from the Seventeenth to the Nineteenth Centuries*[M]. Dordrecht: Springer, 2013: 43.
- [2] 黄一农. 红夷大炮与明清战争——以火炮测准技术之演变为例[J]. 清华学报, 1996, 26(1): 31-70.
- [3] 尹晓冬. 火器论著《兵录》的西方知识来源初探[J]. 自然科学史研究, 2005, 24(2): 144-155.
- [4] 郑诚. 《祝融佐理》考——明末西法炮学著作之源流[C]//中国科学院自然科学史研究所. 科学技术史研究六十年——中国科学院自然科学史研究所论文选: 第4卷: 科学技术交流史 科技与社会. 北京: 中国科学技术出版社, 2018: 151-165.
- [5] COLLADO DE LEBRIJA L. *Pratica Manuale di Arteglieria*[M]. Venecia: Pietro Dusinelli, 1586.

- [6] COSSART B. Transformation of Military Technology in Portugal : The Impact of the Iberian Union on Artillery [M]// *The First World Empire Portugal, War and Military Revolution*. London: Routledge, 2021: 121-136.
- [7] COSSART B. *Les Artilleurs et la Monarchie Hispanique(1560-1610)* [M]. Paris: Classiques Garnier, 2021: 210.
- [8] PRADO Y TOVAR D. *La obra Manual y Platica de la Artillería* [M]. Manuscrito, National Library of Spain, Mss. 9024, 1591.
- [9] PRADO Y TOVAR D. *Encyclopaedia de Fundicion de Artillería y su Platica Manual* [M]. Manuscrito, Cambridge University Library, MS Add. 2883, 1603.
- [10] LÓPEZ MARTÍN F J. *Historical and Technological Evolution of Artillery from its Earliest Widespread use until the Emergence of mass-production Techniques* [D]. London: London Metropolitan University, 2007: 53-54.
- [11] 何汝宾. 兵录[M]//中国科学技术典籍通汇·技术卷:第5册. 郑州:河南教育出版社,1994.
- [12] 孙元化. 西法神机[M]//中国科学技术典籍通汇·技术卷:第5册. 郑州:河南教育出版社,1994.
- [13] 何良焄. 祝融佐理[M]. 道光钞本. 上海图书馆藏.
- [14] 徐光启. 徐光启集[M]. 王重民, 辑校. 上海:上海古籍出版社,1984:179.
- [15] 尹晓冬. 明末清初几本火器著作的初步比较[J]. 哈尔滨工业大学学报,2005,7(2):9-18.
- [16] BARKER R. Gun Carriages in a Notebook of Portuguese Field Artillery [J]. *Journal of the Ordnance Society*, 2002, 14: 19-30.
- [17] 张铠. 庞迪我与中国[M]. 开封:河南教育出版社,2009:373.
- [18] 方豪. 李之藻研究[M]. 北京:海豚出版社,2016:43.
- [19] 董少新, 黄一农. 崇祯年间招募葡兵新考[J]. 历史研究,2009(5):65-86+191.
- [20] 李庆. 《澳门通事章程》译释[J]. 澳门历史研究,2017,12(16):96-104.
- [21] 黄一农. 明清之际红夷大炮在东南沿海的流布及其影响[J]. “中央”研究院历史语言研究所集刊,2010,81(4):770-831.
- [22] 汤若望, 焦勗. 火攻挈要[M]//中国科学技术典籍通汇·技术卷:第5册. 郑州:河南教育出版社,1994.
- [23] 刘旭. 中国古代火药火器史[M]. 郑州:大象出版社,2004:260.
- [24] BOURNE W. *The Arte of Shooting in Great Ordnance* [M]. London: Thomas Woodcocke, 1587: 65-71.
- [25] RUSCELLI G. *Precetti della Militia moderna* [M]. Venice: Marchiò Sessa, 1568: fol. 10.
- [26] BIANCO A C. *Corona e Palma Militare di Artiglieria* [M]. Venice: Francesco Bariletti, 1602: fol. 34.
- [27] ALAVA y VIAMONT D. *El perfeto capitan instruido en la disciplina militar y nueva ciencia de la artilleria* [M]. Madrid: Pedro Madrigal, 1590: fol. 251-252.
- [28] GENTILINI E. *Istruzione di Artiglieri* [M]. Venice: Francesco de' Franceschi, 1598: fol. 72.
- [29] ESPINOSA C. *Alvaradina : dialogo de Artilleria* [M]. Milan: manuscript, 1584: fol. 67-70.
- [30] SMITH T. *The Arte of Gunnerie* [M]. London: William Ponsonby, 1600: 51-53.
- [31] ROJAS C. *Sumario de la milicia antigua y moderna* [M]. Manuscrito, National Library of Spain, Mss. 9286, 1607: fol. 93.
- [32] SARDI P. *L' artiglieria di Pietro Sardi* [M]. Venice: Giouanni Guerrigli, 1621: 106-107.
- [33] NYE N. *The Art of Gunnery* [M]. London: Willam Leak, 1624: 71-79.
- [34] NORTON R. *The Gvnner Shewing the Whole Practise of Artillery* [M]. London: Humphrey Robinson, 1628: 52, 100.
- [35] ROBERTS J. *The Compleat Cannoniere* [M]. London: J. Okes, 1639: 40.
- [36] WARD R. *Animadversions of Warre* [M]. London: Iohn Dawson, 1639: 128.
- [37] COIGNET M. *Usus Trium Praecipuorum Mathematicorum Instrumentorum* [M]. Manuscrito, National Library of Spain, Mss. 9213, 16th: 49.
- [38] UFANO D. *Tratado dela Artilleria yuso della* [M]. Brusselas: Luan Momarte, 1613: 341-343.
- [39] PABLO P F. Sobre La Edición Del Tratado De La Artillería Y Uso Della Platicado Por El Capitán Diego Ufano En Las Guerras De Flandes (1612-1613) [J]. *Janus. Estudios Sobre El Siglo De Oro*, 2019(8): 266-291.
- [40] 魏特. 汤若望传[M]. 杨丙辰, 译. 北京:知识产权出版社,2015:20-31.

- [41] 托马斯·马丁·林赛. 宗教改革史: 下册[M]. 北京: 商务印书馆, 2017: 550-558.
- [42] LUCCA D. *Jesuits and Fortifications* [M]. Leiden: Brill, 2012: 69-132.
- [43] COSSART B. Los Artilleros a escala de la Monarquía Hispánica: el salto Cuantitativo de las Armadas Atlánticas [C]// *Estudios sobre guerra y sociedad en la Monarquía Hispánica*. Valencia: Albatros Ediciones, 2017: 205-224.
- [44] MUÑOZ A C, POL B R. *La Palabra y la Imagen: Tratados de Ingeniería entre los siglos XVI y XVIII* [M]. Madrid: Fundación Juanelo Turriano, 2017: 69-93.
- [45] LAÍNEZ F M, SÁNCHEZ J M. *Tercios de España La infantería legendaria* [M]. Madrid: EDAF, 2006: 227-231.
- [46] 黄一农. 比例规在火砲学上的应用[J], 科学史通讯, 1996(15): 4-11.
- [47] 谟区查. 葡萄牙贵族在远东(1550—1770) [M]. 李庆, 译. 澳门: 澳门大学出版中心, 2016: 51-62.
- [48] 汤开建. 天朝异化之角: 16—19 世纪西洋文明在澳门 [M]. 广州: 暨南大学出版社, 2016: 629.
- [49] 辅仁大学天主教史料研究中心. 中国天主教史籍汇编 [G]. 台北: 辅仁大学出版社, 2003: 478.
- [50] 明实录·熹宗愍皇帝实录: 卷 33: “天启三年四月乙酉” [M]. 台北: “中央”研究院历史语言研究所, 1962: 1729.
- [51] 汤开建. 委黎多报效始末疏笺正 [M]. 广州: 广东人民出版社, 2004: 175-186.
- [52] TARTAGLIA N. *Nova Scientia Inventa* [M]. Venice: Stefano dei Nicolini da Sabbio, 1537.
- [53] HENNINGER-VOSS M J. How the "New Science" of Cannons Shook up the Aristotelian Cosmos [J]. *Journal of the History of Ideas*, 2002, 63(3): 371-397.
- [54] FRANCE C A. *Gunnery and the Struggle for the New Science (1537-1687)* [D], Leeds: University of Leeds. 2014: 82-92, 126-136.
- [55] HALL A R. *Ballistics in the Seventeenth Century: A Study in the Relations of Science and War with Reference Principally to England* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1952: 45.
- [56] 欧阳泰. 决战热兰遮: 中国对西方的第一次胜利 [M]. 陈信宏, 译, 北京: 九州出版社, 2014: 277, 351.
- [57] FIRRUFINO J C. *Descripción y Tratado muy breve, y lo más Provechoso, de Artillería* [M]. Manuscrito, National Library of Spain, Mss. 9027, 1599: fol. 7-10.
- [58] FIRRUFINO J C. *Plática Manual y Breve Compendio de Artillería* [M]. Madrid: viuda de Alonso Martin, 1626: fol. 70-71.
- [59] FIRRUFINO J C. *El Perfecto Artillero: Theorica y Pratica* [M]. Madrid: Juan Martin De Barrio, 1648.
- [60] ISLA L. *Breve Tratado da Arte da Artelharia* [M]. Madrid: viuda de P. Madrigal. 1595: fol. 35-41.
- [61] MORENO D F. Teórica y Práctica del Arte de la guerra en el siglo XVII Hispano, Julio César Firrufino y la Artillería [J]. *Anales de Historia del Arte*, 2000, 10: 169-205.
- [62] COSSART B. Producing Skills for an Empire-Theory and Practice in the Seville School of Gunners [J]. *Technology and Culture*, 2017, 58(2): 459-486.
- [63] Giusto Aquilone. Trattato di Balistica [DB/OL]. (2022-06-09) [2023-06-30]. <https://manus.iccu.sbn.it/risultati-ricerca-manoscritti/-/manus-search/cnmd/286960?>
- [64] BÜTTNER J, DAMEROW P, RENN J, SCHEMMEL M. The Challenging Images of Artillery: Practical Knowledge at the Roots of the Scientific Revolution [C] // *The Power of Images in Early Modern Science*. Boston: Birkhäuser, 2003: 3-27.
- [65] VALLERIANI M. *Metallurgy, Ballistics and Epistemic Instruments: The Nova Scientia of Nicolò Tartaglia* [M]. Berlin: Max Planck Research Library for the History and Development of Knowledge, 2013.
- [66] GALILEI G. *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, Intorno à due Nuove Scienze* [M]. Leiden: Elsevier, 1638: 280.
- [67] 南怀仁. 穷理学存 [M]. 宋兴无, 宫云维, 校点. 杭州: 浙江大学出版社, 2016.
- [68] 尹晓冬. 《穷理学》中的弹道学知识 [J]. 力学与实践, 2010(3): 128-133.
- [69] MORETTI T. *Trattato dell' artiglieria* [M]. Brescia: Giambattista Gromi, 1672.
- [70] VERHAEREN H G. *Catalogue of the Pei-T'ang Library* [M]. Peking: Lazarist Mission Press, 1949.
- [71] STEELE B D. Muskets and Pendulums: Benjamin Robins, Leonhard Euler, and the Ballistics Revolution [J].

Technology and Culture, 1994, 35(2): 348-382.

- [72] ROSE P. Galileo's Theory of Ballistics[J]. *The British Journal for the History of Science*, 1968, 4(2): 156-159.
- [73] 吴振臣. 宁古塔纪略[M] //续修四库全书: 第731册. 上海: 上海古籍出版社, 1996: 605.
- [74] 熙朝崇正集·熙朝定案[M]. 韩琦, 吴旻, 校注. 北京: 中华书局, 2006: 163.
- [75] 阿桂. 平定两金川方略: 卷104[M]. 武英殿刻本. 1800(嘉庆五年): 25-28.
- [76] COHEN J W. China and Western Technology in the Late Eighteenth Century[J]. *The American Historical Review*, 1993, 98(5): 1525-1544.
- [77] E·J·戴克斯特赫斯. 世界图景的机械化[M], 长沙: 湖南科学技术出版社, 2010: 201-204.
- [78] 南怀仁. 新制灵台仪象志图: 坤[M]. 日本早稻田大学图书馆藏抄本. 1674(康熙十三年): 52.
- [79] 席泽宗. 南怀仁对中国科学的贡献[C]//魏若望. 南怀仁(1623—1688)传教士、科学家、工程师、外交家(鲁汶国际学术研讨会论文集). 北京: 社会科学文献出版社, 2001: 216.
- [80] 罗杰斯. 南怀仁时代鲁汶大学的学术环境[C]//魏若望. 南怀仁(1623—1688)传教士、科学家、工程师、外交家(鲁汶国际学术研讨会论文集). 北京: 社会科学文献出版社, 2001: 23.

Research on the Sources of Ballistics Data of Chinese Translations of Artillery Works in the Late Ming and Early Qing Dynasties

YU Wei¹, GUAN Zengjian²

(1. School of Marxism, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2. School of Humanities, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract By comparing ballistics content in Western artillery books with Chinese translations of firearm works, this article points out that the ballistics data in Ming dynasty artillery literature were principally derived from Spanish artillery works of the late 16th century. The data contained in *La obra manual y plastica de la artillería* was the most extensively circulated information in China and the Spanish empire, and the ballistics knowledge in this book was inherited from Tartaglia's theory of *New Science*. Additionally, the table of distances in Ferdinand Verbiest's *Qiongli xue* (穷理学) has been identified as translated from Moretti's *Trattato dell'artiglieria*, which was founded on Galileo's theory of parabolic motion. However, in using these data, the *Qiongli xue* still follows Aristotle's theory of motion. Ballistics data became significantly more valuable during the late Ming to early Qing dynasties, reflecting the evolution of European ballistics theory from Tartaglia to Galileo.

Keywords ballistics data; artillery book; Tartaglia; Aristotle