



天工

開物

译注

详注·精译·全图

〔明〕宋应星 著
潘吉星 译注

上海古籍出版社



天工

開物

译注

详注·精译·全图

〔明〕宋应星 著
潘吉星 译注

上海古籍出版社

图书在版编目(CIP)数据

天工开物译注 / (明)宋应星著;潘吉星译注.
—上海:上海古籍出版社,2013.8
ISBN 978-7-5325-6872-7

I. ①天… II. ①宋… ②潘… III. ①农业史—中国—古代②手工业史—中国—古代③《天工开物》—注释④《天工开物》—译文 IV. ①N092

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 126864 号

天工开物译注

[明]宋应星 著

潘吉星 译注

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海古籍出版社
(上海瑞金二路 272 号 邮政编码 200020)

(1) 网址:www.guji.com.cn

(2) E-mail:gujil@guji.com.cn

(3) 易文网网址:www.ewen.cc

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行经销
常熟文化印刷有限公司印刷

开本 889×1194 1/20 印张 14.6 插页 2 字数 364,000

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—4,100

ISBN 978-7-5325-6872-7

G·578 定价: 29.00 元

如有质量问题,请与承印公司联系

前 言

摆在读者面前的这部书，包括《天工开物》译注及原文两部分。前者将该书译成现代汉语并加注释，后者对原著加以校勘、标点。为使全书结构更为严密，我们对各章次序及有关节的位置作了技术上的调整，文字仍不变动。《天工开物》原著是三百五十多年前明代科学家宋应星（1587—约1666）写的一部优秀的插图本科技著作。当读者读到此书时，会对其中内容及插图感到格外亲切与熟悉，因为不久前人们还在南北城乡看到大体类似的生产情景。虽然因科技的进步，大部分工农业生产已用科学手段和机械进行，但手工生产仍作为辅助手段在一些地区继续存在，这在外国也是如此。我们相信这部书至今还会引起广大读者的兴趣。

一、《天工开物》的成书、内容及其体例

此书出现于十七世纪三十年代（1637），即明代末期。当时欧洲处于后文艺复兴时代，封建制走向崩溃，资本主义正在兴起，随之而来的是科学革命和技术的迅猛发展。这是历史大变革时代。社会、经济和科学文化等方面的这些大变动，好像一次巨大的地壳运动，在旧大陆另一端的中国也发生了反响。史学家把十六、十七世纪的中国称为“天崩地解”的时代，认为该时代的思想家具有“别开生面”的特色，不无理由。中国封建社会到明中叶已进入其发展的后期，由于社会生产力的提高和商品经济的发展，中国内部也有了资本主义的萌芽，表现在社会经济关系及工农业内部结构中。这些新情况的出现，无疑促进了科技的发展，从而使明代有不同于前代的特点。《天工开物》就是在这样的历史背景下出现的。明代科学巨匠李时珍（1518—1592）、徐光启（1562—1633）和宋应星等人，虽与欧洲同时的伽利略（G. Galilei 1564—1642）、维萨里乌斯（A. Vesalius 1514—1564）和阿格里柯拉（G. Agricola 1494—1555）等人相距遥远，然而中国科学界毕竟以自己的方式参与了这场全球性的科技复兴运动，并作出其力所能及的贡献。

明代农业和手工业各部门继承了前代的技术成果，又从国外引进并在国内推出不少新产品和新技术，在传统基础上有进一步充实、发展，生产技术水平全面提高。明代科学同样如此，由于西洋科学技术的引进、消化，使传统科

学注入新鲜血液，技术科学也全面发展。这是在历史上集传统科技之大成的总结性阶段，但又充满着新时代的气息。《本草纲目》、《农政全书》及《天工开物》就是这个时代的代表作。作者们具有与文艺复兴时期西方科学巨匠类似的气质，他们多才多艺、学识渊博，有长途旅行的经历，在不同专业领域内放出异彩。他们对各种错误观念持批判态度，注重实践并基于自身观察、调查和试验从事写作，决不停留于书斋之中。同时他们又向科学界灌输了一些新的思想和精神。这些特点都可在《天工开物》中找到。与《崇祯历书》（1633）不同，《天工开物》是道地的中土产物，是反映明代社会和科技的一面镜子。此书主要根据作者在南北各地的实地调查而写出，就像阿格里柯拉的《矿冶全书》（*De re Metallica*）那样，因而具有直观的生动性和真实性的特点。

三百多年前一位曾五次追求进士功名的举人宋应星，为什么居然会写出这样一部书呢？很简单，他前半生在科举方面历尽坎坷，从切身经历中认识到读书人只埋头“四书五经”而缺乏实际知识，饱食终日却不知粮米如何而来，身着丝衣却不解蚕、丝如何饲养及织造，这才是儒者之耻。当他达到这一认识后，便毅然与科举决裂，转向与“功名进取毫不相关”的实学，向工农群众请教，及时记录下技术知识并加以提炼，从而完成这部杰作。《天工开物》是作者任江西省分宜县教谕（教官）时于崇祯九年（1636）写成的，当时他经济状况不佳，没有钱买参考书，没有地方接待同道讨论学术，只在这小县城内简陋的房间里据调查资料、参以手边仅有图书而写作。成书后又无力出资刊刻，幸而老友涂绍燿（约1582—1645，字伯聚）^①伸出援助之手，使该书于次年（1637）出版于南昌府。这是该书的初刻本，简称涂本。我们这次译注、校勘《天工开物》，便以此本为底本。

涂本《天工开物》分上、中、下三卷，各装一册，印以竹纸。全书有18章，经精确统计，共85,754字，插图123幅，上卷有六章，中卷七章，下卷五章。每章都从古代典籍中找出古雅的二字组成的词来命名。每章首都有“宋子曰”一段作为引言，对该章内容作提要性叙述，接着是正文，各章正文末尾附有有关插图。上卷分《乃粒》（谷物）、《乃服》（衣料）、《彰施》（染色）、《粹精》（米面）、《作咸》（食盐）、《甘嗜》（制糖）六章，中卷有《陶埏》（陶瓷）、《冶铸》（铸造）、《舟车》、《锤锻》（锻造）、《燔石》（非金属矿石烧炼）、《膏液》（油脂）及《杀青》（造纸）七章，下卷有《五金》（冶金）、《佳兵》（兵器）、《丹青》（朱墨）、《曲蘖》（酒曲）及《珠玉》五章，涉及工农业各生产领域，堪称技术百科全书。

此书从《乃粒》开始，而以《珠玉》殿后，是作者的有意安排。前者与民食有关，至为重要，故列于全书之首，后者无关于国计民生，故置于书尾。作者解

^① 关于涂绍燿事迹，参见拙著《明代科学家宋应星》，57—59页（科学出版社，1981）及《宋应星评传》，194—198页（南京大学出版社，1990）。

释说：“卷分前后，乃贵五谷而贱金玉之义。”这体现了他写此书的一个主导思想。六世纪中叶农学家贾思勰（493—550在世）在《齐民要术》（约538）中也有类似提法，可见这种优良传统由来已久。宋应星赞赏这种思想，还表现在他将自己的书斋取名为“家食之问堂”上。“家食之问”典出《易经·大畜》，意思是研究在家自食其力的学问，而不以官禄为生，转义为研究实用技术。从书的内容来看，与食衣有关的章节描述得最为详细，篇幅占全书一半有余，其次是金工、陶瓷、造纸、车船部分，而制曲、珠玉等均居末位，篇幅不大。按理说还应有一章讲漆器，也许作者因其不切民用，故略而不提。书中所述均以某种技术最发达的地区为对象，如景德镇的白瓷、闽广蔗糖、嘉兴与湖州的养蚕、江西的水稻、淮安盐场的海盐、苏杭的丝织、福建的竹纸等等。作者必身临其境，否则无从写起，插图也非杜撰可成。宋应星放眼祖国大地，胸怀南北河山，对国民经济各领域都有所触及。从东北林区捕貂到两广南海采珠，从华东盐场晒盐到新疆和田采玉，广阔神州一幅幅壮观生产图景尽收书中。如此全面的技术著作，为中国有史以来至有明一代所仅见。现将其各章内容简介如下。

上卷：《乃粒》主要论述水稻、小麦的种植、栽培技术和各种农具、水利机械，旁及黍、稷、粟、菽（豆类）等谷物。对南方种水稻技术，介绍得特别详细。《乃服》文字最长，实际上占了两章的篇幅，分为养蚕技术及丝织技术，这是本章的核心，包括各种技术要点、工具、织机构造等。其次旁及棉纺、麻纺以及西北的毛纺。《彰施》介绍各种植物染料及染色技术，着重蓝的栽培、蓝淀的提取及从红花中提制染料的过程，此外涉及各种染料的配色及媒染方法。《粹精》主要论及水稻、小麦的收割、脱粒及加工成米面的技术及工具，旁及其余杂粮的加工。《作咸》着重叙述海盐、池盐、井盐等盐产地、制盐技术及工具，尤详于海盐及井盐。《甘嗜》则以福建、广东甘蔗种植、制糖技术及工具为重点，同时兼及蜂蜜及饴糖。

中卷：《陶埏》介绍砖、瓦及白瓷的烧炼技术，从原料配制、造坯、上釉到入窑都予以说明，尤详于景德镇烧造瓷器的技术。《冶铸》是中国古代技术书中有关铸造技术的最详细的记录，着重谈铸铁锅、铸钟及铸铜钱技术，包括失蜡铸造、实模铸造及无模铸造三种方法，所绘示的工艺图极为珍贵。《舟车》用技术数据记述各种船舶及车辆的结构及使用方法，船的部分详于内河运粮的漕船，而车则着重介绍北方的四轮大马车，旁及南北方的独轮车。《锤锻》则系统叙述锻造铁器、铜器的工艺过程，从万斤的大铁锚到轻细的绣花针，还有各种金属加工工具如锉、锯、刨等都包括在内，对金属热处理及加工技术也作了介绍。《燔石》重点讨论烧制石灰、采煤和烧炼矾石、硫黄、砒石的技术，对煤炭分类、采掘、井下安全措施，都有可贵的记载。《膏液》则论述十六种油料植物子实的出油率，油的性状、用途，及用压榨法与水代法提制油脂的技术，旁及柏皮油制法及用柏油制蜡烛的技术。《杀青》则叙述纸的种类、原料，尤详于论述造竹纸及皮纸的全套工艺过程及设备，并提供了造纸技术操作图。

下卷：《五金》提供了关于金、银、铜、铁、锡、铅、锌等各种金属矿石的开采、洗选、冶炼、分离技术，还有各种金属合金的冶炼。这都是少有的可贵记载，生产工艺图尤其可贵。其中不少是中国人民的创造发明，如灌钢、以煤炼铁、直接将生铁炒成熟铁、用大型活塞风箱鼓风，及分金炉、大型反射式炼炉等。《佳兵》先叙述冷武器，详于弓箭制造，简单介绍了弩机。其次是火药及火器，着重介绍提硝法、鸟铳、万人敌（地旋式炸弹）。其余火器仅有名目或简略提及，对火药配方及配制言之过简，火箭竟略而不及。火药及火器部分，此书不及其它明代兵书详尽。《丹青》主要叙述朱砂研制，从天然丹砂炼水银，再从水银与硫重新提炼为银朱的技术。制墨部分着重于松烟墨原料碳黑的烧炼，旁及油烟墨。《曲蘖》只介绍酒曲制造，不谈酿酒，作者认为“酒流（饮酒过度）生祸”，主要介绍酒母、药用神曲及丹曲（红曲）所用原料种类、配比、制造技术及用途，对红曲发酵过程中颜色变化有生动叙述。《珠玉》叙述珍珠、宝石及玉的开采，兼及玛瑙、水晶及琉璃。本章在解释珍宝玉器形成时间有误论，但所介绍的深水、深井操作技术则相当有趣。

作者本想还将其《观象》、《乐律》二卷附于书中，但临梓时又删去，料想是保持全书内容协调。按“贵五谷而贱金玉”思想安排有关章节顺序，这是可贵的。但从各章现有次序看，似乎未及考虑有关章节之间的内在联系。从逻辑上讲，谈金属工艺时，应先讲冶炼，接着是铸造、锻造，但事实上是铸造及锻造二章放在冶炼章之前，且二者中间插入不相干的《舟车》，另外金工三章分置于不同卷（册）内。其次，讲谷物种植后，应接着是谷物加工，而实际上这两章被衣料及染色二章隔断。油脂、制盐、制糖均与食有关，三章应紧密衔接，但却被锻造、烧石及造纸三章切断，显得不协调。铸造与锻造至少应先后相连，却反被“舟车”拦住。从业务性质来看，纸与墨总是不可分的，但偏被冶炼、武器二章分割。从全书体例看，有关衣食各章应同属一卷，其余手工业各章则按其内在关系依次置于以下二卷。事实则与此相反。

为什么会出现上述问题？我们料想作者当初整理书稿、准备插图与交付出版，必是很匆忙的。因为他在1636—1637年间，同时应付六部书的出版，还有平时公务活动，来不及推敲《天工开物》各章顺序安排，甚至连文字润色也无暇顾及，他为此请读者原谅。但他始终未忘记将《乃粒》置于书首，而以《珠玉》殿后。其余各章如何安排则未及考虑。为使这部优秀作品体例、结构更加系统、严谨，我们在尊重作者主导思想、不改动文字前提下，对各章次序安排作了一些技术调整，并理顺其相互关系。作者有知，想也会同意。在对各章内容作系统研究后，我们按其内容相关性把十八章分为下列八组：

第一组：《乃粒》、《粹精》二章讲谷物种植与加工。第二组：《作咸》、《甘嗜》、《膏液》三章论盐、糖、油副食品。这两组均与民食有关，应置于全书之首。第三组：《乃服》、《彰施》二章论衣料及染色，与穿衣有关，也同样重要。以上三组应放在一册，构成上卷。第四组：《五金》、《冶铸》、《锤

锻》三章同属金工，制品多为工农业生产工具及日用品，重要性仅次于前三组。第五组：《陶埏》、《燔石》二章讲陶瓷、煤炭、烧矿，与火工业务相近，故四、五两组应放在同册内，同属中卷。第六组：《杀青》与《丹青》二章论造纸、朱墨，与文化事业有关。第七组：《舟车》、《佳兵》讲车船及武器。第八组：《曲蘖》、《珠玉》二章与酒母及珠宝玉器有关，应置于全书之尾。六、七、八组可同列入下卷之中。因之我们对此书各卷、章作出下列组合调整：

天工开物序

卷上（七章）

- 一、乃粒；二、粹精；三、作咸；四、甘嗜；
五、膏液；六、乃服；七、彰施。

卷中（五章）

- 八、五金；九、冶铸；十、锤锻；十一、陶埏；
十二、燔石。

卷下（六章）

- 十三、杀青；十四、丹青；十五、舟车；
十六、佳兵；十七、曲蘖；十八、珠玉。

上述排列中，难以处理的是无法把包括黄金在内的《五金》放在下册，但原作者也没有将该章与《珠玉》紧放在一起。我们这次译注《天工开物》便采用这种新的卷次安排。原书卷名也有某种混乱。全书叫《天工开物卷》，每册又称上中下卷，每卷下又有《乃粒第一卷》等18卷，形成卷中有卷，“卷”字实在太多。此次依惯例将全书称《天工开物》，上、中、下三册称卷，但卷下称章，章下称节，节下称段。原《乃粒第一卷》今称《乃粒第一章》或简称《乃粒第一》。这样，全书卷、章、节、段、句都层次分明。又原书各节过细，未区分主次，如《乃服》有36节，实际上有的节只起段的作用。此次将有关节合并，原有一些节成了段，段首标黑体字以醒目。这样，结构就更紧凑了。原书插图前后位置也时有颠倒，此次理顺。我们对章节段及图都给以编号，便于检索。经过调整，该书体例大有改善。

本书写作蒙老一辈科学史家胡道静教授鼓励和上海古籍出版社的关心，得以顺利问世。谨向他们致以衷心感谢。书中疏误难免，敬请海内外读者不吝赐教。

二、《天工开物》作者宋应星的事迹

宋应星字长庚^①，明代江西省南昌府奉新县北乡人。其故里在今奉新县宋

^① 关于宋应星事迹，详见拙著《明代科学家宋应星》（科学出版社，1981）及《宋应星评传》（南京大学出版社，1990）。

埠乡的牌楼宋村，该村明代属北乡，实际上在县城东南方，东与新建县交界，有潦水流经于此。1963年笔者前往调查采访，全村一百多户，宋姓居三分之二，整个乡中宋姓也占多数，故称宋埠乡。这里是江南的稻米之乡，村的周围是整齐葱绿的稻田和茂密的竹林，房屋多具有古老建筑风格。村头有一座德水桥，是有数百年历史的石桥。村内有明代建立的石碑坊，故称为牌楼宋村。就在这样一个小村子里，诞生了中国历史上一位伟大的科学家，他的名字在当地已是家喻户晓，人人以此为荣。关于宋应星传记，已故著名的地质学家丁文江（1888—1936）在二十年代据江西地方志作了开创性研究。从那以后，人们对这位明代学者的事迹有了了解。长期内丁先生的作品成为唯一的参考文献。但六十年代初，我们南下调查时更发现了新的第一手材料，从而对宋应星有了更多的了解。这些材料包括他的胞兄宋应昇（1578—1646）在崇祯十年（1637）发表的《方玉堂全集》，和宋立权、宋育德在1934年刻印的《八修新吴雅溪宋氏宗谱》。新吴是奉新的古名，雅溪是潦水的古名。这是奉新宋氏家谱的第八次修订本。

根据《宋氏宗谱》卷一记载，宋应星家族祖先在元代（1260—1368）以前本姓熊。元、明之际，熊德甫就任南昌府丰城驿吏，娶当地宋氏为妻，因避兵火，遂承妻姓而移居奉新雅溪一带。入明以来，宋德甫一家及其后人便世代定居于此务农，乘明初奖励垦荒之际，开发附近土地。在种稻之余，兼以养蚕为副业，家业有了好转。此后，宋家借雇工、佃田而成为经营地主，家产和人丁逐渐兴旺。宋德甫以下五代，都靠经营土地、农副业而发迹，至其第八代孙宋景（1476—1547）起，始由科第而进入仕途。宋景为宋迪嘉之子，宋应星的曾祖。据《明史》卷二十本传及其墓志铭所载，宋景字以贤，号南塘，弘治十八年（1505）进士，历任山东参政、山西左布政使、南工部尚书、南吏部尚书，进北都察院左都御史（正二品），卒赠吏部尚书、谥庄靖。他生前推行过内阁首辅张居正（1528—1582）的“一条鞭法”，还在南京督造过奉先殿，是朝廷中身居高位的阁臣。按封建社会惯例，宋景长辈、晚辈均受封荫，从此宋家成为官僚地主家庭，是奉新的名门望族。村中的“三代尚书第”石碑坊，就是为宋景、宋宇昂、宋迪嘉三代人而修建的。

宋景生五子，长子垂庆，次子介庆（1521—1590），三子承庆（1522—1548），四子和庆（1524—1611），幼子具庆幼年死去。宋承庆字道微，号思南，是宋应星的祖父，但年幼多病，二十七岁便早逝。宋和庆字瑞微，号塘季，1569年中进士，历任浙江安西州同知、广西柳州府通判，未几归里，刻《畅灵集》行世。和庆与承庆为同母韩夫人所生，是宋应星的叔祖。宋承庆虽博学能文，但为寿所限，未取得功名，卒后只留下孤子国霖（1549—1630），这就是宋应星的父亲。宋国霖字汝润，号巨川，他生下不久，其父承庆便去世了，由其年轻的母亲顾氏抚育。稍长后，顾氏将遗孤国霖托于叔父和庆教养。宋和庆既与承庆为同母所生，且辞官在家，家中又设有私塾，也乐于教育这个

近房的侄子。但宋国霖少孤，且为独子，所以“少补诸生，在庠垂四十年”，没有外出，也无功名，充其量是个秀才。宋景四子中有二人中进士，且任地方官，如果宋承庆不是早逝的话，也必然会走这条路。这时宋家仍是繁华府第，家中佣人前呼后应，具有阁臣府第的气派。

宋景、宋承庆卒后，到宋国霖这一代时已家道中落，尽管仍拥有不少家产，但声名权势已非昔比。加上宋景四房中，惟有承庆这一房人丁不旺，宋国霖是孤子，娶妻后年30岁尚未生子，母顾氏只求延续后代，不希望儿远离家门，故国霖未曾科举入仕。宋国霖至31岁时，才得长子应昇，接着又有次子应鼎（1582—1629）、三子应星和幼子应晶（1590年生）。宋应鼎字次九，号铉玉，甘氏所生，本县庠生，未出仕，享年四十八而卒。宋应晶字幼舍，王氏所生，副贡生，绝意科举，分家后迁居县城另过。宋应星四兄弟中只有应昇与他为同母魏氏（1555—1632）所生，而且这兄弟俩抱有科举入仕、为他们这一房出人头地的志愿，其余俩兄弟识字后便不离开乡土，均以布衣终，且都在中年逝世。明刊本《方玉堂全集》卷八记载，宋应星生母魏氏本农家女，万历丙子（1576）嫁到宋家，不到两年家中遇到大火，房屋及浮产均遭焚毁，家境渐以萧条。宋应星生于万历丁亥十五年（1587），小应昇9岁，是年其父国霖41岁、母魏氏33岁。应星降生后，家境更趋衰落，其母不得不亲操水浆为全家作饭。“饭尽，辄尝忍饥。蔬尽，不更为蔬”。可以说，他是出生在一个日益衰落的地主家庭。

在宋应星这个大家庭里，都不热衷于经营土地，没能再扩大家业，只就现有土地所得的收入，来维持全家生活和他们弟兄及孩子们读书。经过不断地消耗和家产的再分配，到宋应星这一代时家产逐渐缩小。当然这是与昔日宋家相对而言，并非一般农家可比。宋应星胞兄应昇，字元孔，自幼与弟同窗，形影不离，关系最为亲密。万历乙卯（1615），兄弟同中举人，后五次北上会试落第。崇祯四年（1631），宋应昇任浙江桐乡县令，母丧时归里，再转广东肇庆府恩平县令（1635—1637），升高凉府同知，崇祯十五年迁广州府知府。甲申（1644）明亡后辞官归里，因忧心国事致疾，清初顺治二年（1646）服毒而死。宋应昇是诗人，著《方玉堂全集》（1638），又撰《宋氏宗谱》（1637）。后来，其曾孙宋瑾（1718—1794在世）于清乾隆二十四年（1759）刊行《方玉堂全集》第二版，1772年清廷设四库馆时，此书因有反清内容被列为禁书，但至今仍有传本。而《宋氏宗谱》为第三次修订本、第一次刊本，今不可得。

关于宋应星早期活动，宋应昇和族侄宋士元（1649—1716）都有记载。起初，宋应昇、应星在家乡受叔祖和庆的启蒙教育，后就学于族叔宋国祚。再以后，兄弟二人拜新建的学者邓良知（1558—约1635）及南昌的学者舒曰敬（1558—1636）为师。邓、舒二位都是进士出身，任过知县以上官职的“功成名遂”的人物，又都在任期不满明末腐败政治、忤怒权奸而被逐出官场。他们

像东林党人那样，辞官后以书院为讲坛，教授生徒，宣扬其政治主张。在舒曰敬周围出现了不少江西的著名人物，如涂绍燿、诗人万时华（1590—1640）、文人徐世溥（1607—1657）、诗人廖邦英（1558—1642）等人。宋应星自幼聪颖好学，记忆力过人，识字后不及十岁便会作诗，后又致力于“十三经传”、宋代理学、历史以至诸子百家书。他的兴趣很广，对音乐、诗、天文、医药、奕棋、绘画以及质测之学（自然科学）都十分爱好。他还从邓良知、舒曰敬那里受到一些与东林党、复社党人相近的思想影响。在他18岁那年（1604），因弟兄四人均已成年并完婚，因而分家，开始独立生活。

分家后，宋应星仍常与兄应昇在一起活动，他们想走曾祖宋景的路子，通过科举而金榜题名，以重振门风。他青年时代主要时间及精力都用在应试上面。万历四十三年（1615），二人去南昌同中举人，29岁的宋应星名列第三，应昇名列第六。这一年江西全省考生有一万多人，中举者只109人。奉新考生中只有宋应星弟兄及第，且名列前茅，故时人称“奉新二宋”。他们因此受到鼓舞，决定趁这个势头更上一层楼。同年秋，他们二人离开江西北上，以应丙辰年（1616）在北京举行的会试。这是封建时代三级考试中最高一级，考中者成为进士。二人水陆兼程，跋涉万里来到北京赴考，但与乡试结果相反，二人落第而归。初次会试失败，没有使他们失去希望，决定下次再试。他们在万历四十七年（1619）、天启三年（1623）、七年（1627）及崇祯四年（1631）先后五次北上会试，结果均名落孙山。最后一次应试时，宋应星已45岁，应昇已54岁，双鬓见霜了。

尽管宋应昇、应星有“六上公车不知苦”的韧劲，但五次会试已必元气大伤，此后便没有再试。他们每次从南到北的沿途都看到阉党巨奸魏忠贤（1568—1627）专政时官场的各种腐败现象，到处是贪风污雨、任人唯亲，官吏鱼肉人民，政情黑暗，使他们原来的幻想化为泡影，从此对科举完全绝望。1632年，宋应星丧母，他们按当时习俗要在家守孝，也无法再出远门。加以五次万里征程破费不少钱财，娶妻生子要加以抚育，宋应星决定不再参加科举考试。1634年他出任本省袁州府分宜县教谕。这是个未入流的九品以下的文职下级官员，主要教诲在县学里就读的生员，先后在这里任职四年（1634—1638）。而其兄也赴浙江桐乡任县令去了。桐乡离全国著名养蚕、丝织中心嘉兴、湖州很近，宋应星在探望哥哥时，必定去嘉兴、湖州作过调查访问，这使他在《天工开物》中对这一带蚕丝业技术给以特别注意。

1616—1631年间应试时的多次万里远游，虽未达到宋应星科举及第的目标，但对他来说也并非空举。正好实现他在《天工开物》序中所说“为方万里中，何事何物不可见见闻闻”的大好时机。这些长途旅行打开了他的眼界，扩充了社会见闻，足迹遍及京师、江西、湖北、安徽、江苏、山东、河南、河北、浙江等省的许多城市和乡村。他还到过广东，也许还去过四川和山西。沿途他在田间、作坊从劳动群众那里调查到不少农业和手工业技术知识、操作过程，并

对操作实态作了素描，写下不少笔记。这就为日后写作《天工开物》作了准备。自从他对科举绝望以后，便决心转向实学，研究与国计民生直接关联的科学技术问题。这时他好像变成了另一个人，完成了他一生中的重大的转折。教谕任期内，有更多的闲散时间，他便抓紧时机整理资料，从事写作。除科技问题外，他还写了一些有关政治、经济、哲学等方面的作品，同时整理自己多年来写作的诗。四年之间他成了一位高产的作者，著作一部接着一部地问世。

崇祯九年（1636），50岁的宋应星在一年内便刊出《画音归正》（论音韵的书）、《原耗》（政治、经济杂文）、《野议》（政论集）、《思怜诗》（自选诗集）等书。第二年（1637）他发表了一生中的代表作《天工开物》，还有《卮言十种》（杂著十种）。在写作这些书时，明末社会动荡不安，清兵南下直接威胁着京师的安全，而李自成（1606—1645）领导的农民军正在各地迅速发展，又从内部打击明王朝的统治，使其危在旦夕。同时，正好这时宋应星经济状况不佳，没有好的写作环境和条件，他的作品多是仓促间成书，来不及仔细考证和修辞润色。但像《天工开物》这样的优秀作品，毕竟还是写出来了，他已经以这部作品完成了远远超过殿试水平的答卷。我们浏览过当时的一些殿试答卷^①，被主考官给以高度评价并被授予进士的考生的试卷，今天看来是毫无价值的八股文章，不值一读，早已被人们忘记了。但考场落第的举人宋应星的《天工开物》，却永放光芒。

分宜教谕任满后，宋应星于崇祯十一年（1638）升任福建省汀州府推官，这是他首次去外省任公职。推官是正七品府一级的司法官员，掌理刑厅。但他只在任二年，便于崇祯十三年（1640）辞官，途经赣南与故友刘同升（1587—1645）会面后返回奉新故里。刘同升字孝则，江西吉水人，崇祯十年（1637）状元，授翰林院修撰，因弹劾邪派阁臣不成，被谪至福建，后移疾归。早在1610年宋、刘二人便订交，约三十年再会，所以二人同时辞官也为践前约。1642—1643年宋应星居家时，奉新爆发了李肃十、李肃七领导的红巾军农民起义，很快发展到周围一些县。这时作为地主阶级的一员，宋应星与兵备道陈起龙等人用计谋和武力镇压了这次起义。这是他一生中的污点。1643年下半年，他就任南直隶凤阳府亳州（今安徽亳县）知州，这是从五品的地方官，也是他担任过的最高官职。但此时时局更加动乱，他到任后不及一载便又挂冠归里。甲申（1644）后，清兵南下时，宋应星又草成《春秋戎狄解》，借古讽今，在南方制造抗清舆论。入清后，他拒不出仕。《宗谱》说他南明时累官至滁和兵巡道、南瑞兵巡道，实际上并未就任。

甲申年，宋应星也辞去广州知府职，回奉新与应星久别重逢。顺治二年（1645），宋应星在埋葬了他多年同伴的胞兄之后，在乡间过着隐士生活。1655年，他应《南昌郡乘》（南昌府府志）主编、友人陈宏绪（1597—1665）

^① 《明代登科录汇编》卷二十二（台北学生书局影印本，1977）。

之约，写了《宋应星传》收入府志，这时他已年近古稀。宋应星卒年待考，当是康熙初年，大约享年八十左右，如果这样，他或卒于1666年。宋应星有二子，长子士慧，字静生，次子士意，字诚生，皆敏悟好学，长于诗文，拒绝科举，以青衿终。他的子孙们都“恪守祖父遗训，功名淡如”，按宋应星遗训，既不科举，也不做官。从清代乾隆年以后，他这一支便已断后。宋应星三代以内的子孙也都没有参加清代的科举。宋应星的作品留传到今天的除《天工开物》外，还有《野议》、《思怜诗》、《谈天》、《论气》四种，1972年上海人民出版社曾排以铅字出版。其余如《画音归正》、《原耗》、《春秋戎狄解》、《杂色文》、《卮言十种》及《美利笈》等，皆因战火而佚失，惜哉！宋应星不但是科学家，还是个有批判精神的政论家、思想家，《野议》等四种集中地反映了他的政治、经济和哲学思想。明代人才辈出，但宋应星是一位颇具特色的人物。为纪念他的勋业，他的家乡奉新于1987年建成了“宋应星纪念馆”，现已开放，供各界人士前往瞻仰。

三、《天工开物》的特色及其科技成就

在介绍了《天工开物》内容及作者之后，还应当谈谈这部书所具有的特色及其中所反映出的科技成就。该书讨论了农业和手工业两大领域内的三十个生产部门的技术。在这以前，尽管也有论述农业或手工业方面的著作，但此书的不同处在于它在深度和广度上超过了先前所有作品，同时书中自始至终都贯穿着作者所特有的技术观。当本书问世时，正值科学技术在全世界范围内从古代和中世纪向近代阶段过渡的大转变时期，这在本书中也可看到这种转变的迹象。近代科学的启蒙思潮和新的精神不约而同地在欧洲和中国出现，虽表现形式和深度不尽一致。《天工开物》是这一历史时期内在中国本土出现的精神产物。在我们看来，它至少有以下几个特点。

第一，本书决不是历代文献的积堆，而基本上是在生产现场的实地调查所得。作者细心地记述了各生产领域内的技术过程、操作要点、原料及产品、生产工具形式，除文字表达外，还用插图将生产情景再现出来，尤其记述了当时工农业生产中许多先进的科技成果。在论谷物的第一章里，首先谈到用浸种法育稻秧，“秧生三十日即拔起分栽”，否则引起减产。“凡秧田一亩所生秧，供移栽二十五亩”。这里提到的两个数据就很重要。一是秧生30天即分栽插秧，二是秧田与本田的比例关系是1：25，这是个指导性数据。同时又介绍说有些水稻因为干旱逐步变成抗旱性的旱稻，通过人工选育而培养出变异型的旱稻变种，“即高山可插”，这是稻农的一个创造。接下，又介绍以石灰撒在稻苗根，以中和附近的酸性土壤，促成土壤团粒结构形成。还提到用含磷的禽兽骨灰蘸稻秧、用砒霜作农药拌麦种、稻秧根，都是有效措施。在理论方面，书中指出：“土脉历时代而异，种性随水土而分。”“凡粮食，米而不粉者种

类甚多，相去数百里，则色、味、形、质随方而变，大同小异，千百其名。”这是早期进化论思想，由于生长环境不同，禾本科植物产生大同小异的一些变种，其色味、形质有差异，是很自然的。书中还指出，即令同一品种在同一地区种植，也会因土壤肥度不同和气候变化，使结出的果实有大有小。有机体因环境及气候变化而引起变异，是生物进化论的一个重要议题。《天工开物》在这方面用古代的语言表达了这个原理。

《乃服》章的主要内容是讲养蚕术。其中介绍了“今寒家有将早雄配晚雌者，幻出嘉种，一异也”。又说“若将白雌配黄雄，则其嗣变成褐茧”。指的是将一化性蚕雄蛾与二化性蚕雌蛾杂交，育出良种，或将黄茧蚕雄蛾与白茧蚕雌蛾杂交而育出下一代褐茧蚕。这反映出中国古代人工杂交育种的重要成就，也是蚕农在实践中应用定向变异原理的优秀实例。同章还提到根据蚕体变态、行动反常和食欲不振来判断病蚕，并将其及时除去，“勿使败群”。这是自觉地实行人工淘汰的方法。人工淘汰原理还被应用到对蚕种的处理即“蚕浴”上。通过石灰水、盐卤水、天露水处理蚕种，“低种经浴则自死不出”，剩下的便是强健蚕种。本章介绍的提花机，可谓当时先进的大型丝织机，各部件组装得十分灵巧，而工匠的结花技术更为高超，能将画工事先绘制的复杂纹样图案一丝不差地如实织造出来。

金属与合金冶炼是重要工业部门，但过去著作很少有系统而详细的记录。《五金》章提供了宝贵记载。其中提到将生铁的冶铁炉与炒熟铁的设备串联使用，在生铁还没有冷却时便实行其脱碳过程，从而炒成熟铁，可减少再熔化工序，降低炒铁时间和生产成本，实现了连续生产过程。书中介绍的将打成薄片的熟铁捆起入炉，上放生铁，以涂泥草鞋盖顶，升温后生铁水便均匀地掺入熟铁，取出锻打，再炼再锻，即成好钢。此法比前代“灌钢”技术有改进。所述以煤为冶炼燃料、借大型活塞式风箱鼓风，确比当时欧洲用的皮囊鼓风有效而先进。本书还第一次明确叙述了从炉甘石（碳酸锌矿）制取锌的技术，还提到利用金属物理及化学性质的不同来分离和检验金属的有效方法，在区分金、银、铜每单位体积的重量时，已有了比重概念。书中绘出的用炉甘石与铜按不同比例炼制成铜合金的方法，同样是冶金史中的可贵记载，早已引起国外技术界的注意。关于铁、铜铸造及锻造的二章，揭开了对这两项传统技术操作细节和所用工具的秘密。历史上长期以来人们只看到精美的制品，而不知其如何制成，现在一切迎刃而解了。

在《燔石》一章里，叙述了竖井采煤时在井下用竹管排除有毒瓦斯、安设巷道支护，使矿工得以安全作业。这在当时都是先进的技术措施。那时别的国家因为解决不了瓦斯通风问题，不知有多少矿工死于非命。顺便说，井下、水下操作，安全是头等重要的大事。本书《珠玉》章中在井下采宝、水下采珠的叙述中，特别提出安全作业，所介绍的方法皆简便可行。造纸术虽在中国发明，但历代缺乏图谱，本书提供了造竹纸的系统工艺流程图，并对造竹纸技术

过程给予较详细介绍，可谓早期记载。论酒曲的一章，着重介绍红曲的全部制造过程，指出它在食物保存时可起防腐剂的作用。强调用绝佳红酒糟作菌种，加入明矾水保持培养料的微酸性，抑制杂菌的生长，而且对发酵过程中一系列颜色的变化作了生动的叙述。诸如此类，不胜枚举。总之，通过此书可以充分认识到中国古代在工农生产领域内所获得的技术成果。

第二，《天工开物》是在一种先进而又有特色的技术哲学思想的指导下写成的。我们将其概括而称之为“天工开物思想”。这四个字组成的词既是本书的书名，又是书中一贯反复贯穿的思想。我们要充分认识到这种思想在历史中的重要性及其在今天的现实意义。从字面看来，这个词出于《书经》中的“天工人其代之”及《易经》中的“开物成务”。但切不可按古代经学家的注疏那样来理解，因宋应星拼合这两个词，是反其意而用之。日本科学史家三枝博音（1892—1963）先生首先对这种思想给以正确解说。三枝氏在《中国有代表性的技术书——宋应星的天工开物》（1942）一文中指出：“‘天工’是与人类行为对应的自然界的行爲，而‘开物’则是根据人类生存的利益将自然界中所包藏的种种由人类加工出来。”因之，在我们看来，“天工开物思想”强调人与天（自然界）相协调、人工（人力）与天工（自然力）相配合，通过技术从自然界中开发出有用之物，这种思想还有个内涵是，自然界本来蕴藏着取之不尽而用之不竭的美好而有益之物，但不会从天而降、轻易取得，而是“巧生以待”，必借人力和人的技术通过水火这种自然力的作用，再用金属、木石工具从自然界开发出来，为人所用。

书中到处赞叹自然界为人作出的“巧妙安排”，也到处歌颂人工开发万物的技巧和人的主观能动性。论油脂那一章有句话最能表达“天工开物思想”的核心：“草木之实，其中蕴藏膏液，而不能自流。假媒水火，凭借木石，而后倾注而出焉。此人巧聪明……”整个文明史表明，人与自然界相协调、人力与自然力相配合，通过人的技术技巧不断从自然界开发有用之物，对促进物质生产、发展文化、保持生态平衡具有何等重要的意义。违背这些，便会产生恶果。正是《天工开物》，第一个表述了这种优秀的哲学思想。当然，正如《乃粒》中所说，有时自然界也会加害于人，造成各种自然灾害，这时人就要用技术措施来抗灾。在人力不可及时，只好等自然灾害自行消失，但损失总会是局部地区。任何情况下，人都要积极主动、勤奋劳动，从而显出“人工”的重要性。这就是该书对思想史所作出的一大贡献。

《天工开物》一书还闪烁着近代科学文化启蒙学派的优秀精神。它重实践而轻空谈，提倡观察试验而反对烦琐考证，重实用技术而批判神仙方术。总序中写道：“世有聪明博物者，稠人（众人）推焉。乃枣梨之花未赏，而臆度‘楚萍’；釜鬻之范鲜经，而侈谈‘莒鼎’，画工好图鬼魅而恶犬马，即郑侨、晋华，岂足为烈哉？”《乃粒》还针对王公贵族与儒生鄙视劳动与劳动群众的陋习写道：“纨绔之子以赭衣（囚徒）视笠蓑（群众），经生之家以‘农

夫’为诟詈（骂人话）。晨炊晚饷，知其味而忘其源者众矣。”《乃服》也有言：“乃杼柚遍天下，而得见花机之巧者，能几人哉？‘治乱经纶’字义，学者童而习之，而终身不见其形象，岂非缺憾也！”该书主张对有益于国计民生的任何事物都要多见多闻，并穷究试验。《佳兵》章说：“火药、火器，今时妄想进身博官者，人人张目而道，著书以献，未必尽由试验。”对未穷究试验的事物，作者宁愿付诸阙如。《膏液》章列举各种油料植物出油率后，指出：“此其大端。其他未穷究试验，与夫一方已试而他方未知者，尚有待云。”这种“穷究试验”的做法，正符合近代科学精神。

“贵五谷而贱金玉”的思想，也是《天工开物》中体现的重实际的思想观点。在谈到黄金时，它指出：“黄金美者，其值去黑铁一万六千倍，然使釜鬻、斤、斧不呈效于日用之间，即得黄金，值高而无民耳。”但贵五谷，也非贵一切粮食，比如“香稻”便不被重视：“香稻一种，取其香气，以供贵人。收实甚少，滋益全无，不足尚也。”书中提倡“救公饥”、“喉下急”、“浏阳早”及“高脚香”这些在民间受欢迎的谷种。《天工开物》多次赞叹物质经烈火烧炼而发生的化学变化，尤其是朱砂和铅丹烧炼后变化相当奇妙，但却坚持对炼丹求仙的方术持批判态度。书中指出：“凡虚伪方士以炉火惑人者，唯朱砂银〔令〕愚人易惑。”又说：“巧极丹铅炉火，方士纵焦劳唇舌，何尝肖像天工之万一哉？”作者认为“生人不能久生，而五谷生之”，靠饵服“仙丹”不可能长生。于是中国的李时珍、宋应星与欧洲的帕拉塞尔苏斯（Paracelsus, 1493—1541）及波义耳（R. Boyle, 1627—1691）都不约而同地对中世纪的炼丹术展开了批判，这对近代化学的发展起了开路的作用。《天工开物》还多次对迷信神怪和荒诞谬说予以驳斥。如指出“鬼火”非“鬼变枯柴”，“珠徙珠还”非受清官感召，又指出瓷器中的“窑变”是好异者编造的死者托梦他人烧出异象等等。

第三，《天工开物》不但对各生产过程予以详细叙述，还对原料与能源的消耗、成品产率、设备构造及各部件尺寸等等，都尽可能给以定量的描述，且绘出工艺操作图。在某种程度上好像是近代科学家对传统技术写出的调查报告。对各技术过程的定量描述，是该书一大成就。近代科学以其数学化而与中世纪诀别，《天工开物》便在这方面走得相当远。它在论金银铜单位体积重量，油料每石出油若干斤，用响铜铸钟所耗原料数量及成器重量、尺寸，漕船各部件尺寸，及榨糖车、造纸用蒸煮槁筒各部件等等，都标出具体数字。书中对生产过程中涉及的长宽高、重量、容积、比率、时间等技术指标都作了描述，其中长度精密到分寸、重量精密到两钱这样的数量级。书中的大量设备图有立体感，各部件长短协调，有如工程画。画面上人物操作逼真、表情自然，联起来好像中国古代技术史的长卷画面，其中人物最多的是锻造铁锚的图（图10-1），图中竟画有15人同时劳动，每人各就其位，分工协作。三百多年前能出现这样一部科技著作，确是令人赞叹。

《天工开物》不但含有丰富的科技材料，还含有不少社会经济材料，是具体了解明代社会经济实况的第一手文献，其中不少内容不见于其他史书。书中对明代商品经济的发展，从技术这个侧面给以描述，阅读此书时，脑中就会浮现一幅当时社会经济实况的生动景象。例如关于明末国内市场贸易情况，《曲蘖》章告诉我们：“凡燕、齐黄酒曲，多从淮郡造成，载于舟车北市。”书中又指出新疆和田美玉和两广南海的珍珠，都要行经数万里运到北京予以加工成器，有时再贩运到苏州作精细加工，而解玉沙则来自河北。介绍浙江三吴浪船时，指出从浙西起航，沿钱塘江行七百里，经过镇江横渡长江再至青江浦，溯黄河浅水舟行二百里至大运河闸口，然后直抵北京通县、天津，把客商行船路线讲得一清二楚。关于手工业中心的地理分布，书中指出棉布“织造尚松江，浆染尚芜湖”，景德镇是制瓷中心，而“开矿煎银，唯滇中（云南）可永行也。”炼锡以广西南丹、河池为最盛，“居其十八”。养蚕则首推湖州、嘉兴，“凡造竹纸，事出南方，而闽省独专其盛”。蔗糖也以闽、广为集中地，而烧砒则“独盛衡阳，一厂有造至万钧者”。关于手工业生产分工，《陶埏》章写道：“共计一杯工力，过手七十二方克成器，其中微细节目尚不能尽也。”书中在叙及图示铸造巨钟时告诉我们，有人鼓风、熔铜，有人将赤热铜水浇进槽道再入铸模，“甲炉既顷，乙炉疾继之，丙炉又疾继之”，不但分工明确，而且要求动作迅捷、衔接不可中断。《乃粒》章还指出“今天下育民者，稻居十七”，而麦及杂粮居十三，反映了当时人民的食物构成及粮食分布比例。总之，《天工开物》被称为十七世纪中国的技术百科全书，是当之无愧的。

四、《天工开物》在科学文化史中的地位

为了评价《天工开物》的历史地位，要把它与前代的有关著作加以对比，看看它提供了什么新的贡献。中国古代科学技术素称发达，有许多重要的发明与发现，而且在明中叶以前有不少领域居于世界领先地位，古人遗留下来的科学典籍也为数不少。在《天工开物》以前的农书中，主要有反映先秦科技水平的《管子·地员》篇和《吕氏春秋》中的《上农》、《任地》、《辨土》、《审时》四篇，此后有后魏人贾思勰的《齐民要术》、宋代陈旉（1076—1156）的《农书》（1149）、元代的《农桑辑要》（1273）和王祜的《农书》（1313），还有明代人邝璠的《便民图纂》（1502）、马一龙的《农说》（1547）等。汉代的《汜胜之书》较早而重要，但久已散佚。明代徐光启的《农政全书》是总结性的农业巨著，但刊行年代（1639）比较晚。上述农书中，《齐民要术》是现存最早而完备的综合性农书，共十卷92篇11万字，涉及农林牧副渔各方面，反映地域是北方黄河中下游晋、豫、鲁地区，是很有价值的。陈旉《农书》三卷一万字，总结江南水稻耕作技术，并论及蚕桑、水牛。