

“楚材晋用”？

——元代中国的水转大纺车与 18 世纪英国的工业革命

李伯重

开始于 18 世纪中叶英国的工业革命，因其在世界历史上具有“头等的重要性”，故被视为“把人类历史分开的分水岭”¹。虽然对这一伟大事件的发生及其原因至今还在探讨之中，不过按照比较普遍的看法，工业革命主要是指用机器代替人工进行生产，从而造成生产方式的变革²。而机器之普遍用于生产，又首先出现于纺织业。因此之故，作为工业革命完成阶段见证人的马克思，对工业革命的过程作出了如下总结：“棉、毛、麻、丝等的纺织业”，是“最早依靠水力、蒸汽和机器而发生革命的工业部门”，是“现代生产方式的最初产物”³。因此，纺织机器的发明与使用，是人类历史上的伟大的事件。

依照宫崎市定的说法，中国在宋元时代的经济发展水平远居同时代欧洲之上，直至 18 世纪中期以前，中国和欧洲还大致处于一种雁行的状态，彼此差距还不十分明显。但是 18 世纪中期英国工业革命发生后，中国便被远远地抛到了后面⁴。这个“由先进到落后”的巨大变化是怎样发生的和为什么会发生？成为中国经济史上头等重大的问题。我在 14 年前曾发表过一篇文章，从元代的水转大纺车的问题入手，对上述问题进行过一些探讨⁵。本文的讨论，则将集中到水力纺纱机本身的情况，并且看看这一重大技术发明在中国和英国有何不同的结局。

一、谁首先发明和使用水力纺纱机：

18 世纪中期英国的阿克莱，还是元代中国的无名工匠？

据一般的看法，英国工业革命以水力纺纱机的发明和使用为开端。虽然托马斯·隆柏于 1719 年在德比建立了英国历史上第一个水力缫丝厂，但是在 1760 年代以前，英国还未运用水力纺纱⁶。直到 1769 年，具有实用价值的阿克莱水力纺纱机方定型并推广，嗣后克隆普顿又将阿克莱水力纺纱机与哈格里夫斯发明的“珍妮”纺纱机加以改进并结合，于 1779 年发明出更优良的改良水力纺纱机——“骡机”。自此以后，英国纺织业便在大机器生产的道路上一路发展，成为工业革命的领头工业部门⁷。因此阿克莱水力纺纱机

¹ 前句出自 L. S. 斯塔夫里阿诺斯：《全球通史》（1500 年以后），上海社会科学院出版社 1999 年，第 276 页，后句出自 Douglas North：《Structure and Change in Economic History》，W. W. Norton & Company (New York), 1981，第 158 页。

² 马克思指出：机器是“工业革命的起点”。这是因为“生产方式的变革，在工场手工业中以劳动力为起点，在大工业中以劳动资料为起点。因此，首先应该研究，劳动资料如何从工具转变为机器”。见《马克思恩格斯全集》，中译本，人民出版社 1972 年，第 23 卷，页 330。

³ 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，第 330、408 页。

⁴ 参阅宫崎市定：《宋代の石炭と鉄》，刊于《东方学》第 18 辑。

⁵ 李伯重：《水转大纺车及其历史命运——兼论明清中国何以未能发生工业革命》，刊于《平准学刊》第 3 辑上册（1986 年）

⁶ 意大利人很早就已利用水力捻丝，托马斯·隆柏的水力缫丝厂是在他取得了意大利人的秘密后建立起来的。见约翰·克拉藩：《简明不列颠经济史——从最早时期到 1750 年》，中译本，上海译文出版社 1980 年，第 314 页。

⁷ 参阅 P. Deane and W. A. Cole：《British Economic Growth, 1688 — 1959: Trends and structure》，Cambridge University Press, 第 182-183 页。

的发明，通常被认为是英国工业革命开始的标志。

但是出乎一般人意料之外的是，水力纺纱机的发明与最早使用并不是在 18 世纪中期的英国，而是在此前 4 个世纪的元代中国。元代中国发明了水力纺纱机，这在王祯《农书》中有翔实的纪载⁸。王祯把这种水力纺纱机称为“水转大纺车”，详细地介绍了其结构、性能以及当时的使用情况，并且附上了这种机器的简要图样，从而以确凿不移的证据，证实了世界上最早的水力纺纱机的存在。

从王祯的记述里，我们可以看到这种水转大纺车已经是一种相当完备的机器。它已具备了马克思所说的“发达的机器”所必备的三个部分——发动机、传动机构和工具机。其发动机（今日学界也称之为动力机、原动机）为水轮⁹。王祯说水转大纺车的水轮“与水转碾磨工法俱同”，而中国的水转碾磨在元代之前已有上千年的发展历史，从工艺上来说是相当成熟了。水转大纺车的传动机构由两个部分组成，一是传动锭子，二是传动纱框，用来完成加捻和卷绕纱条的工作。工作机与发动机之间的传动，则由导轮与皮弦等组成。按照一定的比例安装并使用这些部件，可做到“弦随轮转，众机皆动，上下相应，缓急相宜”。工具机即加捻卷绕机构，由车架、锭子、导纱棒和纱框等构成。为了使各纱条在加捻卷绕过程中不致相互纠缠，在车架前面还装置了 32 枚小铁叉，用以“分勒绩条”，同时还可使纱条成型良好，作用与燥车上的横动导丝杆相同。这里要指出的是，水转大纺车的工具机所达到的工艺技术水平，即使是用 18 世纪后期英国工业革命时代纺纱机器中的工具机为尺度来衡量，也是非常卓越的。例如著名的“珍妮”纺纱机最初仅拥有 8 个纱锭，后来才增至 12—18 个纱锭；而大纺车却拥有 32 个纱锭。“珍妮”机仅可靠人力驱动，而大纺车却可以水力、畜力或人力为动力。而且，大纺车虽然是用于纺麻，但稍作修改，缩小尺寸，又可用来捻丝¹⁰，因而具有相当好的适应性。由于水转大纺车确实已达到很高水平，因此它的工作性能颇佳，工作效率甚高。诚如王祯所赞的那样，“大小车轮共一弦，一轮才动各相连。机随众纰方齐转，纰上长纰却自缠。可代女工兼倍省，要供布缕未征前”；“车纺工多日百斤，要凭水力捷如神”！“比用陆车，愈便且省”。

更加值得重视的是，和许多古代的伟大发明的存在情况不一样，水转大纺车已经不止是伟大发明家的天才构想和设计。它已被广泛使用于生产实践之中，这个事实意义之重大，并不逊于发明本身。

关于水转大纺车使用情况的记载，主要仍见于王祯《农书》。该书说：“中原麻苧之乡，凡临流处所多置之”。由于水转大纺车工效高，因此往往多户人家合用一车：“或众家绩多，乃集于车下，秤绩分纰，不劳可毕”。可见，在 14 世纪初期的中原的某些沿河地区，水转大纺车的运用已颇为普遍。在中原以外的地区有没有采用水力纺纱机的情况？这个问题史坛过去一直未回答，但我们却不能回避。否则王祯关于水转大纺车已颇为普遍地运用于生产实践的重要说法，就会因孤证而难以令人确信。因此寻找其他证据对于此说至为关键。

我曾在元人揭傒斯的《蜀堰记》中，发现了一则史料，表明在 14 世纪中叶，某种形式的水力纺纱机曾运用于四川成都平原上。据该文，顺帝至元元年（1341 年）重修都江堰，效果很好，修堰之前，“常岁

⁸ 见于殿本王祯《农书》卷 19 “农器图谱十四·利用门”与“农器图谱二十·麻苧麻门”。

⁹ 水轮系马克思所说的那种“接受外部某种现成自然力的推动”的发动机。马克思语见《马克思恩格斯全集》第 23 卷，第 410 页。

¹⁰ 王祯《农书》说：“又新置丝线纺车，一如上[法]，但差小耳”。其中“法”字为《农政全书》卷 36 “蚕桑广类”引用时增此。

或水之用仅数月，堰辄坏。今虽缘渠所置碓磑纺绩之处以千万数，四时流转而无穷”¹¹。从这段文字里，我们可以清楚地看出：第一，都江堰“缘渠所置”的“碓磑纺绩之处”，应当就是借助水力推动的碓磑和纺车。此处的“碓磑”是指水碓，自无问题，但“纺绩之处”是否指水力纺车，可能有人会感到怀疑。但是如陈维稷所言，所谓绩麻，就是现今的合股加捻。自秦汉至清末，中国所使用的主要绩麻方法是“纺纱法”，所用工具为纺车，基本上以人力为动力，但亦有用水力推动者¹²。所以揭傒斯文中谈到的“纺绩”，即纺麻纱。这里的纺麻纱机沿都江堰而置，自当为水力纺纱机无疑；第二，“缘渠所置碓磑纺绩之处以千万计”，说明这里的水转碓磑与水转纺车不仅数量众多，而且十分集中；第三，“四时流转无穷”，亦即这些碓磑与纺车依靠水力推动，常年运转，四季不停。由此可见，在 14 世纪前半期的成都平原上，水力纺纱机的使用已十分普遍。此外，从当时的客观环境来看，水力纺纱机在都江堰一带得到普遍使用也是非常可能的。当时成都平原纺织业颇为发达，在此次修堰前三四十年之大德年间（1298—1307 年），马可·波罗在成都平原上，“见有城村甚众，皆有墙垣，其中纺织数种丝绢”，“彼等恃工业为活，其纺织美丽 *Cenolaux* 及其他布匹，且在成都府城纺织也”¹³。再次，这一带不仅盛产木材，而且还有比较发达的铁工业¹⁴。这就从物质上和工艺上保证了水力纺纱机的大量制作。

由于文字过简，揭傒斯文未详言此时都江堰一带使用的是何种水力纺绩机械，但是我们认为这里的水力纺绩机，应当就是一种类似水转大纺车的纺纱机。首先，揭傒斯所记述的情况，距王桢《农书》成书已近三十年¹⁵。而中原地区使用水转大纺车，从王桢《农书》中所记载的运用的普遍程度来判断，其发明肯定还在《农书》成书之前很久。也就是说，对于都江堰一带的纺纱业者来说，中原使用的水转大纺车早已不是什么技术秘密。其次，即使中原的水转大纺车先前没有传入成都平原，到王桢《农书》刊出后，他们也完全可以据此制作水力纺纱机。作为一个重视民生的伟大科技专家，王桢看到了水转大纺车的重大经济意义，因此“特图其制度，欲使地方之民视其机括关键，仿效成就，可为普利”，“画图中土规模在，更欲他方共得传”。由于大纺车的基本构造在王桢《农书》中已有图文并茂的记述，因此只要具有一定经验的木匠，即可“依样画葫芦”，造出一部类似的大纺车来。因此之故，元代后期都江堰下游缘渠所置的数量众多的水力纺绩机，应即王桢《农书》所载的水转大纺车或其相似物。

揭傒斯文以一个具有确切的时间与地点的实例，证实了元代水力纺纱机的使用并不仅限于中原麻苧之乡。不仅如此，此记载还表明都江堰一带水力纺纱机的使用达的令人惊异的程度。王桢《农书》虽然谈了中原麻苧之乡使用水转大纺车，但惜乎所言过简，不能使我们得知当时中原地区水转大纺车的具体使用地点，以及在一个地区内的机器数量、使用率等。从这种大纺车的工作效率、中原的水利条件和当时中原麻苧生产的一般情况来推测，我们推测这种纺纱机在一个地区内的数量不会很多，一年中实际使用的时间也十分有限。与此相对照，在成都平原的都江堰一带，水力纺纱机不久分布集中，而且一年四季运转不息。因此，从某种意义上可以这样说，元代后期的都江堰一带，乃是当时中国使用水力纺纱机最集中和最充分的地区，因而也是世界上第一个在纺纱业中建立起水力推动的机器生产体制的地区。

¹¹ 此文收于揭傒斯：《揭文安公全集》（《四部丛刊》本），亦见于《古今图书集成》职方典卷 598 成都府部艺文二。

¹² 陈维稷主编：《中国纺织科学技术史》，科学出版社 1984 年，第 172-174 页。

¹³ 《马可·波罗行记》，沙海昂注、冯承钧译，商务印书馆 1936 年，第 440、441 页（后一句引文见第 441 页注 6，出自法文本）。梁生智译《马可·波罗游记》（中国文史出版社 1998 年，第 160 页）则为“可以看见许多上等的住宅、城堡和小市镇，居民以农业维持生活，城中有各种制造业，特别是能织出美丽的布匹、绉纱及薄绸”。

¹⁴ 这从此次重修都江堰时情况可得到证实，据前引《蜀堰记》，此次修堰共用去铁六万五千斤，役使铁工七百人。

二、阿克莱水力纺纱机：是发明，还是仿制中国的水转大纺车？

如前所述，阿克莱水力纺纱机的发明是世界历史上的重大事件，也是 18 世纪英国技术进步的重大成果。但是在这种水力纺纱机与 4 个世纪之前中国的水转大纺车之间，是否有某种关联呢？这是一个饶有兴趣的问题。伊懋可（Mark Elvin）把王祯《农书》中的水转大纺车和 18 世纪后期及 19 世纪初期英国工业革命中的亚麻纺纱机作了对比之后，发现二者在结构上“惊人地相似”。因此他认为后者可能就是前者经印度传入英国后略加改良的产物¹⁵。虽然他未提供证据，但是其推测却是十分可能的。据说，理查德·阿克莱是在德比研究了当时的水力捻丝机后受到了启发后，才设计出其水力纺纱机来的。当时英国的水力捻丝机是意大利捻丝机的仿制品¹⁷，而意大利捻丝机，如李约瑟所说，又是在元代时期由从中国传入：“因为我们发现，从那以后不久，在意大利的卢卡等城市，缫丝厂使用的机器酷似中国的 [机器]。由此推测，是那时到东方旅游的某个或某些欧洲商人把设计图样装在鞍囊中带回国的”¹⁸。而在元代中国，唯一可知的水力捻丝机恰恰就是水转大纺车¹⁹。由此而言，阿克莱纺纱机与水转大纺车之间，应当具有某种关系。另一说则更为直接：阿克莱之领悟纺纱机的原理，是由于他“听到一个水手叙述中国人所用的机器”²⁰。18 世纪中期以前中国唯一所知道的水力纺纱机只有水转大纺车，因此阿克莱听说的中国机器，应当就是水转大纺车。不论如何，阿克莱水力纺纱机与王祯《农书》中的水转大纺车，应当是有一定渊源关系的。倘若把这种渊源关系放在近代早期欧洲与中国之间的技术交流的背景下来看，是十分清晰的。

在近代早期的欧洲，曾有一个主要是通过传教士（特别是耶稣会士）把中国的工艺技术知识介绍到欧洲的浪潮。在这些知识中，纺织技术占有重要的地位。18 世纪在华耶稣会士对中国的纺织技术进行了相当广泛的调查，绘制了大量织机图，寄回法国（现仍保存在巴黎国立图书馆）。这些纺织机具图种类繁多，是迄今为止最为详细的织机图谱²¹。此外，还介绍了从经纬线的准备，到拔更、放更、扳更、穿箱、续更、刮绸，直至成衣的各个工序的生产操作情况²²。有关技术资料的来源，除了实际调查之外，传教士们也广泛地利用了中国已刊出的科技著作。在其中，明末身居相位的基督徒徐光启的科技著作（特别是《农政全书》），更是他们注意的对象。1735 年出版的杜赫德的《中华帝国通志》，详细谈到了养蚕与丝织业技术²³。从此书刊载的养蚕、缫丝和织机插图看，显然采用了《农政全书》卷 31-34 蚕桑及卷 35—36

¹⁵ 王祯《农书》成书于皇庆 2 年（1313 年），重修都江堰则在至元元年（1341 年）。

¹⁶ Mark Elvin: 《The Pattern of the Chinese Past: A Social and Economic Interpretation》, Stanford University Press 1973, 第 198 页。

¹⁷ 据卡洛·波尼的研究，1716-1717 年英国安装的第一部捻丝机，是英国人在意大利刺探了两年工业情报后仿制的，被誉为“英国拥有的第一台名符其实的加工机械”（转引自布罗代尔：《15 至 18 世纪的物质文明、经济和资本主义》，中译本，三联书店 1993 年，第 2 卷，第 637-638 页）。

¹⁸ 转引自罗伯特·坦普尔：《中国：发明与发现的国度——中国科学技术史精华》，中译本，21 世纪出版社 1995 年，第 233-234 页。

¹⁹ 据王祯《农书》，水转大纺车亦可用于捻丝。参阅注 10。

²⁰ 保尔·芒图：《十八世纪产业革命》，中译本，商务印书馆 1983 年，第 174 页。

²¹ 在这些图谱中，有棉、麻纺织机具图谱（包括除棉籽、织布、织麻夏布等机具图谱），更多的则是丝绸织机图谱（包括织云龙缎、花带、罗斗纱、香云纱、大花缎、大花边、灯笼纱、熨绒、栏干、边带、素绫、花素锦等各种织物所需的织机以及探花机图谱）。

²² 巴黎国立图书馆还保存有和纺织相关的一些图谱，包括棉花的种植、加工，从布到成衣（染漂等工艺）；从麻的种植、收割到纺织等。

²³ J-B. du Halde, DescriptiOn gbographique, hstorique, chronologique, poli tique et physique de' la Chine et de la Tartarie

蚕桑广类的内容²⁴。元代水转大纺车的有关图文，几乎原封不动地保存在《农政全书》中。因此水转大纺车在 18 世纪中叶以前，已通过传教士介绍到西欧，应是无可置疑的。不仅如此，即使我们目前还未有确切的证据证实阿克莱水力纺纱机与元代水转大纺车之间具有直接承继关系，我们也可以从李约瑟等人的研究中，看到中国关于水力机械和纺纱机械的知识，确实对近代早期西欧的纺织机器的改进（包括阿克莱水力纺纱机的发明）起到了重大作用。下面，我们就根据罗伯特·坦普尔对于李约瑟及的研究所作的总结，选择其中的一些关键技术作一简要介绍。

（一）纺车

卷纬机是中国人用来加工丝绸纤维的机械。在公元 121 年刊印的《说文解字》里就已提到这种机械，而 1237 年刊印的《耕织图》更第一次将其描绘出来。早在元代，卷纬机就已传到欧洲的意大利²⁵。而到了 18 世纪，《耕织图》又通过贸易等途径传入欧洲²⁶，从而使得关于这种机械的知识，对于一般人士来说，不再成为一种技术秘密。

纺车是从卷纬机派生出来的，但究竟是何时才派生出来的，现在还不清楚。保守一点说，可以认为在中国，到了 11 世纪时，为处理棉纱用的纺车已从卷纬机中分化出来了。在欧洲，迄今所知的关于纺车的最早的介绍，是在 1280 年左右出版的德国斯佩那尔一个行会章程，其中间接提到了纺车。李约瑟相信：在欧洲，纺车以及与纺织品有关的其他机械，是元代由从中国归来的意大利人传入的²⁷。

（二）传动带

传动带将动力从一个轮子传递到另一个轮子，并产生连续的旋转运动。它早在公元前 1 世纪便出现在中国。研制传动带与缫丝机的使用有关，尤其是一种称为卷纬机的机器，它将长长的丝纤维卷绕在绕丝架上以备织工的梭子使用。这种机器的特点是有一个大轮子、一条传动带和一个小皮带轮、于公元 230—232 年间编撰的《广雅》一书再一次提到这种机器。

传动带对于纺车的发明至关重要。传动带不仅可以围绕有轮缘的普通轮子旋转（无论轮子是否带凹槽），还可以围绕无轮缘的轮子旋转。无轮缘的旋转轮乍听起来可能显得语义矛盾，而且使用无轮缘轮子的传动带一开始就似乎是非分之想，然而，事实上，处于稍稍突出或两套被交替安装的轮辐之间的纤维的摇架，可以为皮带创造一种十分适合的连接。中国还有一项在无轮缘轮子上使用传动带的技术，即将有凹槽轮装在轮辐的末端并通过连续的槽来带动传动带。

传动带显然是作为自中国归来的游客带到意大利的卷丝及纺丝机械技术的一部分而传入欧洲的。欧洲有关传动带的最早的实际形象物于 1430 年出现在卧式旋转磨石上。19 世纪以前传动带在欧洲一直极其罕见，这表明欧洲人在三个多世纪里并不重视把纺织机的这一特殊机件用于其它目的。在欧洲，扁平皮带和钢丝缆绳用作传动带只是在 19 世纪才开始²⁸。

chinoise, Haye, 1736, Tome 2, pp. 250-267。以及同书 pp. 246-250（此部分内容是殷弘绪翻译介绍的，参见 Mme Yves de Thomoz Bossirer, Francois-Xavier Dentrecolles et l'Apport de la Chine à l'Europe du XVIIIe Siècle. Paris, 1982, p.114-117）。转引自韩琦：《中国科学技术的西传及其影响》，河北人民出版社 1999 年，第 163-164 页。

²⁴ 参见潘吉星：《中外科学之交流》，香港中文大学出版社 1993 年，第 484-486 页。

²⁵ 前引罗伯特·坦普尔：《中国：发明与发现的国度》，第 233-234 页。

²⁶ 前引韩琦：《中国科学技术的西传及其影响》，第 164 页。

²⁷ 前引罗伯特·坦普尔：《中国：发明与发现的国度》，第 233-234 页。

²⁸ 前引罗伯特·坦普尔：《中国：发明与发现的国度》，第 98-99 页。

（三）链式传动装置

传动带再改进后，便成为传动链。传动链基本上是传动带，代替实心带的是一些链节构成的链。链节与轮上的轮齿咬合，整个传动链缠绕在轮子上。用链式传动装置传输动力，是中国人张思训于 976 年发明的，他将这种装置用在他的大型机械钟中。此时龙骨车已遍布中国乡村，因此当张思训遇到他的时钟的动力传输问题时，他肯定受到了龙骨车上链轮链原理的启发。著名的发明家苏颂于 1090 年建成了巨大的天文钟楼。最初他曾试图使用主垂直传动轴，但未能成功。后来他采用了他之称为“天梯”的链式传动装置，从而获得成功。他还绘制了关于链式传动装置的图，收于 1090 年出版的《新仪象法要》一书中。这是世界上最古老的环状动力传输的链式传动装置图。提高机械效率的关键问题是如何消除所有机械连接部位的松弛，而又短又紧的链式传动装置正符合这种要求。

在西方，拜占庭的菲隆（Philon）约于公元前 200 年设计了松链条和五边形链轮（不过很难说它们是否制造出来了），但他设计它们并不是想到了动力传输，而只是为了用来给石弩连续装填石弹。即使这一机械真的造成了，它也不是真正的链式传动装置。在欧洲，第一个真正的链式传动装置是由雅克·德沃坎逊（Jacques de Vaucanson）制作的，用于缫丝和推动磨机。不过这已是 1770 年时的事了²⁹。

（四）曲柄摇把

曲柄摇把是中国发明的。这个发明十分重要，因为至此人类才知道在轮子边上装一个和轮面成直角的棒，可作为转动轮子的把手³⁰。早在公元前，中国人已将曲柄摇把用于旋转式风扇车、辘轳、手推磨、磨机和丝绸工业的许多机器上。现存曲柄摇把最早的式样见于汉代古墓出土的小型陶制农家庭院模型上，其年代大约为公元前 1 世纪。在欧洲，使用的曲柄摇把的最早证据见于 830 年的荷兰乌得勒支《圣经·诗篇》（Utrecht Psalter）的一份手稿中的轮转石磨画。但是到了 1100 年以后，欧洲人才开始把曲柄摇把用于旋转式风扇车。最早刊印曲柄摇把的图样，见于 1313 年王桢的《农书》³¹。因此后来传教士介绍中国技术到欧洲时，应当也包括这种机械在内。

以上与纺纱机有关的重要技术知识介绍到欧洲后，对于纺织工具改良起到了重要的参考作用。因此即使阿克莱水力纺纱机并未直接摹仿水转大纺车，它也会从对上述介绍中受惠非浅。在此意义上我们可以说，以王桢《农书》中的水转大纺车为代表的中国纺织机械技术知识之西传，对于以阿克莱水力纺纱机为代表的欧洲近代机器的产生，确实具有重要的促进作用。

当然，与阿克莱水力纺纱机相比，王桢《农书》中的水转大纺车在结构工艺上还不够完善，还存在着一些较大的缺陷。在传动机构方面，大纺车（工具机）与水轮（动力机）之间仅仅通过皮带来传动，而皮带运动不够规则，难以保证纱锭的均速转动。同时，在皮带之外别无调节机件，不能根据生产需要随时调整纱锭转速，因此纺出来的纱不仅会时粗时细，时松时紧，质量不均，而且在纺纱过程中还容易断头。更重要的是，大纺车上没有牵伸机构，因此只能用于对纤维较长的麻、丝进行合股、加捻和卷绕，而不能用来纺纤维较短的棉（特别是亚洲棉）。元代以后，麻纺织业逐渐让位于棉纺织业，因此不能从事

²⁹ 前引罗伯特·坦普尔：《中国：发明与发现的国度》，第 135-136 页。

³⁰ 除了中国人之外，只有古埃及人接近作出了与曲柄摇把相类似的发明。他们在公元前 2500 年采用了一种斜的原始曲柄用来转动原始手摇钻。这种装置的特点是在轮子的顶端用一个倾斜的把手来转动轮子，这个把手既不固定在轮子上，也不和轮面成直角。见前引罗伯特·坦普尔：《中国：发明与发现的国度》，第 82 页。

³¹ 前引罗伯特·坦普尔：《中国：发明与发现的国度》，第 82 页。

棉纺的水转大纺车也随之销声匿迹，似乎是很合乎逻辑的。

但是我们应当看到，在明清的工艺技术条件下，水转大纺车的上述缺陷是可以克服的。例如，在传动机构方面，工业革命期间的英国麻纺机的传动机构，也仅是传动皮带之外再加上一个螺旋调节装置，使操作工人能够根据需要拉紧或放松皮带，达到皮带运动的规则化。同时，在转动轴与纱锭之间，用齿轮传动装置取代另外一条传动皮带，即可使得纱锭运转匀速，保证纺出的纱粗细松紧均一，不易断头。

大纺车没有牵伸机构，因此不适于纺棉（特别是纤维短、拉力小的亚洲棉），这是客观的事实。但是，对大纺车加以改进使之适于纺棉，在当时的技术条件下并未存在着不可克服的障碍。事实上，哈格里夫斯发明的“珍妮”纺纱机上的牵伸机构，不过就是安放了两根可前后滑动的木杆，并用一个木托架代替执棉条的那只手而已。纺纱时，纺工用手托住木托架，使之来回行动，另一只原来就摇纺车转动曲柄的手，仍然摇动曲柄使纱锭转动，这时棉条从两根木杆中间穿过绕到锭上，由于木杆的移动，棉条在受到拧绞的同时得到拉伸，从而解决了纺棉纱的关键技术问题。阿克莱的纺纱机用 4 对由 1 个轮子推动、但速度不同的滚筒代替了木杆，使得拉伸工作更为规范化。这些改进在工艺上并不困难，其所需的工艺技术知识，也“并未超过元代中国人的技巧之所及”³²。事实确实如此。到了清代，创造出了利用张力和捻度控制牵伸的纺纱用大纺车（即多锭纺纱车），一直沿用到 20 世纪中期。这种大纺车不仅设有罗拉作为牵伸机构，而且增加了加压装置以调节棉纱的粗细，同时在纺纱的方法上也与过去传统的方法有相当的不同³³。经过这些改进，大纺车完全可以胜任棉纺工作。

此外，在水力动力机（水轮）方面，王祯《农书》中的水转大纺车也还有需要改进之处。但是正如伊懋可所说，“对于一个早在宋代就已制造出双动活塞投掷机（double-acting piston flame thrower）的民族来说，这应非不可克服的困难”。唯一的问题仅在于没有人去进行这些方面的改进工作³⁴。

三、同种发明，两样后果

元代中国水转大纺车和阿克莱水力纺纱机的出现，无论两者之间是否有直接的渊源，它们都是世界科技发明史上的重大事件。但是这两个伟大发明所引起的后果，却形成鲜明对照。

过去学者们（包括我本人在内）都认为水转大纺车在元代以后即销声匿迹，并对此感到大惑不解。但是这个看法是有缺陷的。从陈维稷、徐新吾的研究来看，虽然王祯《农书》中的那种水转大纺车在元代以后确实未再见使用，但是其他形式的、以人力驱动的大纺车却并未消失，在中国的一些地方直到清代后期仍然在使用。

在丝织业中，使用大纺车对蚕丝等进行加捻及合线，从自元代一直沿袭使用了下来。从晚清卫杰所著《蚕桑萃编》所记载的江浙、四川等地的丝大纺车的图文来看，清代的丝大纺车在结构上比元代有相当大的改进。这些改进包括：首先，车架由长方形体变为梯形体，上狭下阔，因而稳定性更好。其次，锭子的排列由单面变为双面，使得锭子数量随之大大增加。因此元代的大纺车，每台仅有纺锭 32 枚，明清时则增至 50-56 枚。再次，明清时的丝大纺车，上面加上了给湿定形装置（江浙水纺车上是竹壳水槽，

³² 前引伊懋可：《The Pattern of Chinese Past》，第 198-199 页。

³³ 前引陈维稷主编：《中国纺织科学技术史》，第 196 页。

³⁴ 前引伊懋可：《The Pattern of Chinese Past》，第 198-199 页。

四川旱纺车上是湿毡)，使得纱管上卷绕的丝条保持潮湿，提高了丝条张力，防止加捻时脱圈，同时也有利于稳定捻度和涤净丝条，从而提高了产品的质量。虽然强捻的经纬丝条可以在手摇纺车或脚踏纺车上加工，但是生产效率与捻丝质量远远不及大纺车³⁵。在丝织业发达的江南城镇中，丝大纺车一直在使用。清代中期江南使用的丝大纺车（大车），一般有纺锭 50 枚。每部大车需二车 1-2 部、小车 1-2 部、洋车 4 部配合³⁶。但是与王祯《农书》中的水转大纺车不同的是，这种丝大纺车不是靠水力推动，而是靠人力推动。

在棉纺织业中，改进更为显著。如前所述，元代的大纺车因无牵伸细纱条的能力，所以只是用来对丝、麻等准长纤维进行加捻合线。陈维稷指出：到了清代，由于“纺棉纱、织棉布在广大农村中已成家户恒业”，因此“经过纺纱人们长期精心研究，终于创造了利用张力和捻度控制牵伸的纺纱用大纺车，即多锭纺车。这种纺车至今在某些农村还在继续使用”。因此一些地方可能出现了使用大纺车纺棉纱的情况。陈氏并且对“现在浙江农村沿用的多锭纺纱车”的实际构造进行了研究。这种纺车设有罗拉作为牵伸机构，纺锭多达 40-80 个，分别竖立在车架两面；车上使用了飞轮、手柄、偏心轮等机件，为王祯《农书》中的大纺车所无。陈氏还指出：这种大纺车的纺纱原理与方法是从手摇纺纱工艺中继承和改进而来的，但在结构上与方法上都大有创新³⁷。不过与清代使用的丝大纺车一样，这种棉大纺车也是依靠人力而非水力推动的。另外，这种棉大纺车出现于何时？陈氏仅说是“约在清代”而未提出证据，亦未作出任何说明。徐新吾认为可能是清末甚至是清代以后之事³⁸。换言之，在传统棉纺织业发展的绝大部分时间内，并未见有棉大纺车在使用。

因此，明清时期纺纱机具虽有相当大的改进，但是像王祯《农书》中的水转大纺车那样以水力为动力的大型纺纱机，却再也不见使用的记载。人力作为机器动力不仅不理想，而且不划算³⁹。因此，虽然不同形式的大纺车在元代以后还在中国的某些地方使用，但是这些大纺车由于不再是水力纺纱机，因此可以说以王祯《农书》中的水转大纺车为代表的水力纺纱机，在中国已销声匿迹。

与此相反，阿克莱水力纺纱机不仅在当时就迅速地普及，而且还与稍后出现的其他发明（如哈格里夫斯的“珍妮”机、克朗普顿的“骡机”等）相结合，导致了纺纱生产的革命。这些新型纺纱机的使用大大提高了纺纱的效率，造成了纺与织两大主要工序的新的不平衡，于是引起了织布机器的改进⁴⁰。这样，传统的手工纺织就逐步机械化，成为机器纺织业。这又促进了其他产业部门的机械化，正如马克思所描述的那样，“一个工业部门生产方式的变革，必定引起其他部门生产方式的变革。……有了机器纺纱，就必须有机器织布，而这二者又使漂白业、印花业和染色业必须进行力学和化学革命”⁴¹。阿克莱水力纺纱机的发明和使用被视为工业革命的开端，原因也就在于此。既然是这个伟大革命的开端，其历史意义就不言而喻了。

³⁵ 前引陈维稷主编：《中国纺织科学技术史》，第 193-196 页。

³⁶ 徐新吾：《关于麻丝棉大纺车及三锭棉纺车的历史过程与议论》，收于徐氏《中国经济史料考证与研究》，上海社会科学院出版社 1999 年。徐新吾主编：《近代江南丝织工业史》，上海人民出版社 1991 年，第 49-51 页。

³⁷ 前引陈维稷主编：《中国纺织科学技术史》，第 193 页。

³⁸ 前引徐新吾：《关于麻丝棉大纺车及三锭棉纺车的历史过程与议论》。

³⁹ 即使在劳动力资源丰富的清代中期的江南，情况也如此。例如道光十六年江南造出大型龙尾车，因“全资人力”，故“率归废弃焉”。见郑光祖：《一斑录》杂述六。

⁴⁰ 斯塔夫里阿诺斯：《全球通史》（1500 年以后），第 286-287 页。

⁴¹ 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，第 421 页。

这里要强调的是，从西欧历史来看，在工业革命所赖以发生的诸多条件中，水力推动的机器的发明与运用是不可或缺的关键技术条件。机器的使用并不是工业革命时代的特有现象，因为即使在工业革命以前，机器使用在生产中已有重要作用，以致金培尔（J. Gimpell）把机器的使用称为“[欧洲]中世纪经济发展中头等重要的因素”⁴²，而马克思也说“机器在十六世纪的间或应用是极其重要的”⁴³。然而，欧洲中世纪后期的机器使用并不会引起工业革命⁴⁴。原因之一，是这些机器主要仍然以人力推动，因而严重制约了机器自身的发展。

马克思在分析近代早期欧洲机器的变革时说：“工具机是十八世纪工业革命的起点。在今天，每当手工业或工场手工业生产过渡到机器生产时，工具机也还是起点”⁴⁵。但是工具机必须有合适的动力才能工作。马克思曾对蒸汽动力出现以前的各种生产动力的优劣作了比较。他指出：人力太微，“更不用说人是产生划一运动和连续运动的很不完善的工具了”；风力“太不稳定，而且无法控制”，难以有效使用⁴⁶。而在余下的两种主要动力——畜力和水力——中，水力又具有比畜力更大的优越性，因而对机械与机器使用的意义尤为重大⁴⁷。因此只有具备了必要的水力条件，“原先只是用人当简单动力的那些工具，如推磨、抽水、拉风箱、捣臼等，才能发展成为机器”⁴⁸。因此，是否使用水力，对于机器自身的发展至为关键。从英国工业革命的历史来看，在传统的人力机械到蒸汽动力推动的机器之间，往往需要一个过渡的阶段，即水力推动的机器的阶段。一般而言，只有当着水力推动的机器发展得相当完备时，使用蒸汽动力才有可能。其原因不难理解：如前所述，动力机只是“发达的机器”必备三大组成部分之一。只有动力机而无相应的传动机构和工具机，它也无用武之地。相反，如果水力推动的机器在以上三个方面都已经比较完善，则用蒸汽动力取代水力，就是一件相当简单的事了。英国工业革命时代的水力纺纱机之所以能够迅速转变为蒸汽纺纱机，就是这个道理。因此可以说，水力推动的机器为蒸汽推动的机器奠定了基础。菲律斯·迪安（P. Deane）认为英国工业革命的技术变革的两大特征之一是“非畜力驱动的机器的使用”⁴⁹。而在蒸汽机使用之前，唯一的“非畜力驱动的机器”就只有水力驱动的机器。在此意义上来说，使用水力推动的机器，可以说是工业革命的前奏。虽然由于自然条件所限，水力推动的机器的使用不可能非常普遍，但是这种使用对近代大工业的产生所具有的影响却非常巨大。马克·布劳格（Mark Blaug）指出：在亚当·斯密的《国富论》面世时，“一座典型的以水力为动力的工厂已拥有 300—400 个工人”，而“在整个不列颠群岛，这类工厂仅有二三十座”⁵⁰。但是正是在这些工厂中所发展起来的机器生产体制，却成为了日后近代大工业生产以及近代工厂制度之滥觞⁵¹。

⁴² ジ・ギャンペル（J. Gimpell）：《中世の産業革命》，日译本，岩波書店 1978 年，第 2 页。

⁴³ 《马克思恩格斯全集》卷 23，页 386—387。

⁴⁴ 雷纳托·赞格里和卡洛·波尼早已提出这样的问题：为什么 15 世纪的意大利的米兰和伦巴第等城邦国家已使用相当先进的纺织机器进行生产，却未能发生工业革命？（见前引布罗代尔：《15 至 18 世纪的物质文明、经济和资本主义》，第 637 页）。

⁴⁵ 《马克思恩格斯全集》第 23 卷，第 410 页。

⁴⁶ 参阅《马克思恩格斯全集》第 23 卷，第 412 页。

⁴⁷ J. Gimpell 说：“水能在中世纪的重要性，不下于石油在今天的重要性”，因为“水力机械的运用是中世纪经济发展中头等重要的因素”。见前引ギャンペル：《中世の産業革命》，第 2 页。

⁴⁸ 参阅《马克思恩格斯全集》第 23 卷，第 412 页。

⁴⁹ 奇波拉主编：《欧洲经济史》欧洲经济史第 4 卷上册《工业社会的兴起》，中译本，商务印书馆 1989，第 3 章（迪安执笔），第 131 页。

⁵⁰ Mark Blaug：《Economic Theory in Retrospect》，Cambridge University Press 1985，第 37 页。

⁵¹ 马克思指出：“在纺织工场手工业初期，工厂的厂址取决于水流的位置，而且这种水流必须具有足以推动水车的落

上述现象以在英国表现得最为典型，但却也不局限于英国。日本早在 19 世纪初，就有一些地方的缫丝业中已运用水力缫丝（水车缫）⁵²。在棉纺业中，1870 年代长野县的卧云辰发明了土纺机。这种纺纱机“与洋式棉纺机相比，技术上有显著悬隔，因此不能迎上产生革命的主流”，但是它“与水结合起来，一个女工能照管 100 锭到 250 锭”。因此“在 19 世纪 80 年代，使用土纺机的棉纺业迅速在全国推广，作为零细的手工工场而发展”⁵³。此外以水力为动力的鹿儿岛纺织所也于 1872 年投产⁵⁴。这些水力推动的机器的广泛使用，可以说是日本纺织业生产近代化的前驱。

由此而言，在人类历史上，阿克莱水力纺纱机的出现，代表了近代大工业时代的开端。这与王祯《农书》中的水转大纺车所遭遇的命运，形成了鲜明的对比。伊懋可评论水转大纺车时说：“虽然这种机器还不是非常有效，但如沿其所代表的方向进一步发展的话，那么中古时代的中国很可能会比西方早四百多年就出现一场纺织品生产上的真正的工业革命”⁵⁵。然而，这场看上似乎有可能会发生的工业革命并没有发生。不仅如此，连水力纺纱机本身，也象一现的昙花，失去了踪影。又要再等待四个世纪之久，它才又以新的面目重新出现于英国，并引起一场改变人类历史的伟大革命。

然而，把人类历史作为一个整体来看，我们也不必为水力纺纱机在中国的坎坷命运而过分感到惋惜。中国古语说“楚材晋用”，如果把这个成语中的“材”解读为重大技术发明，那么“楚材晋用”应当是一种普遍现象。在人类历史上，一种伟大的发明出现于某一个地方，但是经过漫长时间后，在另一个地方才得到广泛运用，并取得辉煌的成就，这是十分正常的。从技术上来说，开始于 18 世纪中期的英国工业革命，所依靠的技术成果绝非英国自身的发明，而是此前欧亚许多地区技术成就的汇集。从构成英国工业革命赖以发生的技术基础的各关键技术的来源来看，不仅欧洲大陆，而且就是像中国这样遥远的国家，都作出过直接或者间接的贡献。本文所谈到的中国水力纺织机器（捻丝机、纺纱机、丝织机等），通过各种不同的渠道与方式，辗转传到意大利与法国，然后再传到英国，促进了以阿克莱水力纺纱机为代表的纺纱机的变革，从而对工业革命的出现与发展也作出了积极的贡献。因此从世界史的角度出发来看，水力纺纱机不论在中国、意大利等地遭遇了什么样的命运，但是最后它仍然对人类命运起了重大作用，因此其发明确实具有非常伟大的意义。由此而言，不管后来的成败利钝如何，作为在人类历史上的首次出现的水力纺纱机，元代的水转大纺车理应得到高度的评价。发明出这种纺车的中国无名工匠，也完全有资格与阿克莱、哈格里夫斯和克隆普顿等伟大发明家一样名垂青史，受到世人永远的敬仰。

差”。见《马克思恩格斯全集》第 23 卷，第 414 页。

⁵² 根岸秀行：《幕末开港期における生丝缫丝技术转换の意义について》，刊于《社会経済史学》第 53 卷第 1 期。

⁵³ 守屋典郎：《日本经济史》，中译本，第 65 页。转引自徐新吾：《关于麻丝棉大纺车及三锭棉纺车的历史过程与议论》。

⁵⁴ 刘天纯：《日本产业革命史》，吉林人民出版社 1984 年，第 66 页。

⁵⁵ 前引伊懋可：《The Pattern of Chinese Past》，第 198 页。