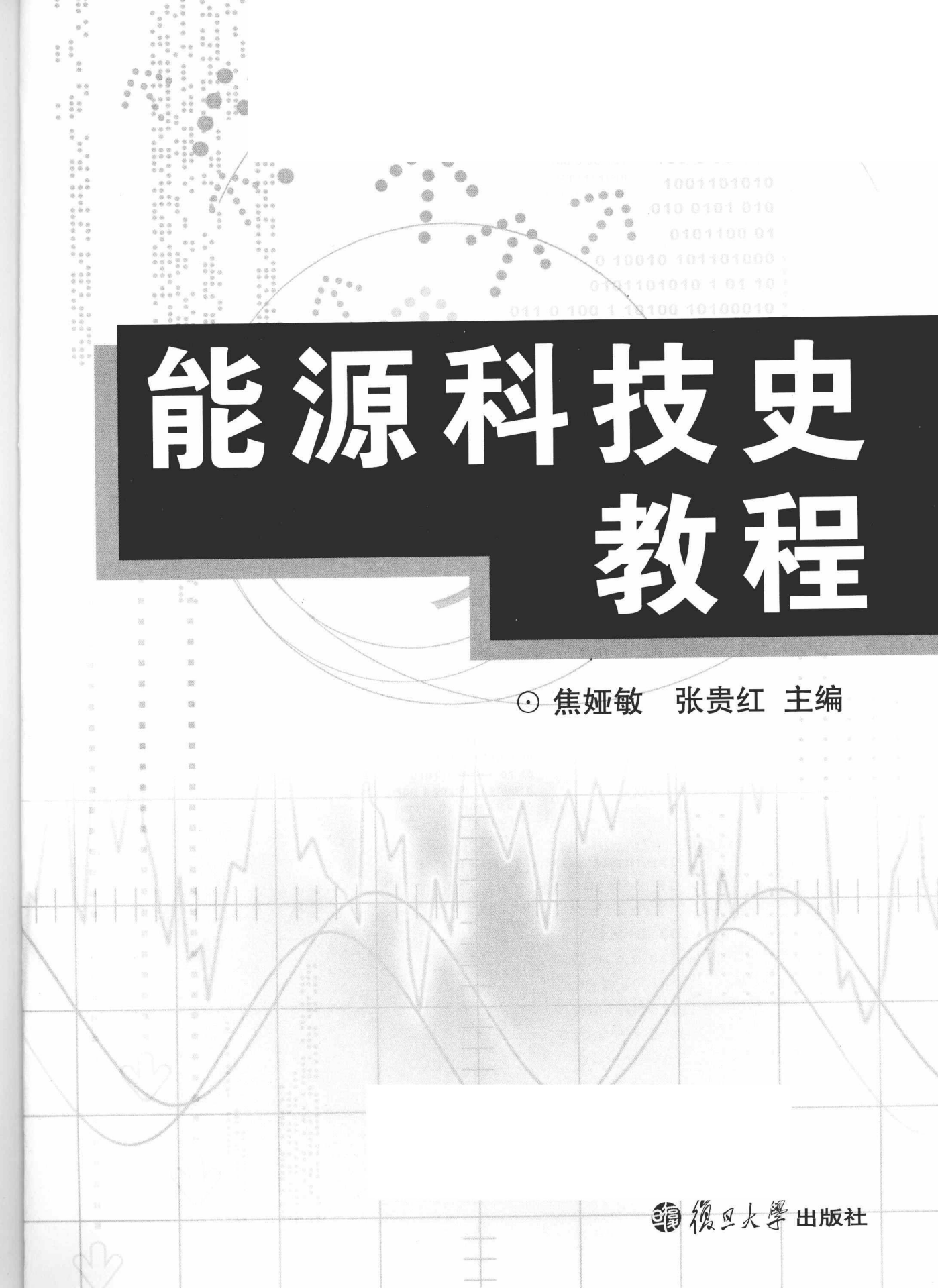


能源科技史 教程

◎ 焦娅敏 张贵红 主编

 复旦大学出版社



能源科技史 教程

◎ 焦娅敏 张贵红 主编

复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

能源科技史教程/焦娅敏,张贵红主编. —上海:复旦大学出版社,2016.9
ISBN 978-7-309-12487-3

I. 能… II. ①焦…②张… III. 能源-科学技术-技术史-世界-高等学校-教材
IV. TK01-091

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 188250 号

能源科技史教程

焦娅敏 张贵红 主编
责任编辑/宋朝阳 谢同君

复旦大学出版社有限公司出版发行
上海市国权路 579 号 邮编:200433
网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>
门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853
外埠邮购:86-21-65109143
上海春秋印刷厂

开本 787 × 1092 1/16 印张 16 字数 341 千
2016 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-12487-3/T · 582
定价: 36.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。
版权所有 侵权必究

编委会成员

主 编：焦娅敏 张贵红

副主编：陈宝云 何宇宏

参编人员：张宗峰 苏 波 丁建凤

前言

能源不仅是一种资源,也是一种技术工具。人是制造工具的动物,许多非人类的动物也能够使用工具,比如英格兰几个地方的山雀,在学会开牛奶瓶盖以后,整个不列颠群岛的山雀很快都学会了这一技能,然而这种技能只是一种传统或者非技能的本能习得。灵长类动物更像是能够使用工具,但是它们也是基于一种本能倾向或动力,也是通过学习而获得。只有人类是拥有智慧地使用工具,所以能源科技史属于科学技术史的重要内容。

人类的技能进化主要包括四个要素:感官知觉的能力;协调过去与现在的感官印象的能力;生物体的体力;环境的要求。工具的使用是生物体使用某种特殊环境的一个途径,起源于试错学习或者顿悟学习。同样,能源科技的产生也与人类对自然界的认知直接相关,尤其是人类与环境的协调作用。

技术(technology)是为了满足人类需求而对物质世界进行改变的活动,这个术语也包括这些活动的结果范畴。所以,任何一种技术都包含着人的群体或者社会成员之间常规的经常的合作。远离社会的个体不是真正的人类,同样,技术也是不能脱离群体而存在的,其中包括能源科技。为了加深对能源科技的理解,我们应该尽可能了解使用这些科技的人类群体的社会状况,比如信仰、生活标准与政治经济形态。在本书的写作中,我们不可能把所有的与能源科技有关的经济形态和政治形态都加以描述,所以我们尽量把人类社会的进步与能源科技的进步按照时间与能源的主要形态,分成几个抽象的阶段——自然能源时代、化石燃料时代、蒸汽时代、电气时代、新能源时代等。这些阶段与社会基本经济形态也是相对应的,基本经济形态可以理解为社会保证基本生活需求的方式。

本书对于能源与能源科技作了界定。能源主要包括两个含义:

能量与动力,能量为科学词汇,而动力则为技术词汇。按照相对论理论可知任何有质量的物质都可以转化为能量,然而我们不可能研究所有的能够转化为能量的物体,必须有所取舍,我们取舍的依据为是否对社会经济发展产生一定影响的能量物质,所以本书关心的能源主要包括自然界中能够直接利用并转化为经济效益的能量物质,如风水火等自然物质、煤炭石油等化石物质、电能以及核能等。从动力层面可以将能源划分为动力的产生、动力的转移与动力的利用等,限于篇幅,本书将仅仅关注动力的产生,如蒸汽机、发电机与核电站等对象,而对于能源的转移与利用,尽管内容也十分广泛,但不是本书的重点,只进行概括式的介绍,不进行详述。广义的能源科技应该包括所有与能源相关的科学技术,由于本书所关心的为曾经、现在或可预见的未来能够对社会发展产生重要影响的领域,所以本书的主要内容为主要能源物质的认知与利用相关的科学与技术,以及这些物质所对应的能源的制造与转化相关的科技。

本书章节划分的依据。首先依照科技史发展的时间顺序,将全书内容分为六个时间段,分别为史前至约 15 世纪、文艺复兴与科学革命时期、工业革命时期、19 世纪中后期、20 世纪与 21 世纪。同时,依据各个时期内能源科学技术的最主要特征,或者这个时期内最重要的能源类型,概括出这个时间段的时代特征,比如第一章主要写火能、水能与风能等基本自然能源的认识与发展利用,是能源科技的早期阶段,虽然严格讲所有的能源都属于自然能源,但是为了突出各时期的特点,我们将第一章写成基本自然能源时代的能源认知与初步利用。到了文艺复兴时期,能源物质开始从风水火等转移到煤炭等化石能源,于是我们称之为化石能源时代。第三章为工业革命时期,其最重要特征为蒸汽机的发明与利用,所以我们称之为蒸汽时代。第四章为第二次工业革命时期,电力科技成了显著特征,所以为电力时代的能源科技。由于 20 世纪的能源科技进步迅速,新能源与传统都有很大的进步,所以分为两章,将传统能源科技与新能源科技分开来写。进入 21 世纪以来,各国对能源科技极为重视,各个国家都出台了相应的能源科技发展战略,能源科技已经成为国际竞争的重要领域,因此为了让学生们能够对能源科技的未来与现状有更多的了解,增加了第七章的 21 世纪能源战略。

值得注意的是,虽然本书以时间与重要类型的能源为特征来进行章节编排,但是时间划分并非是严格的,比如电力科技的发展史

绝非局限于第四章的 1850—1900 年,为了章节的连贯与避免重复,在这个时间段前后一段时间的与电力科技相关的内容也会写进这一章内。另外,石油技术的进步主要发生在电力时代,为了形成与同为化石能源的煤炭技术的对照,我们将其放入第三章化石能源时代内进行介绍。每一章开头,交代了对应的时代背景、社会发展特色以及该时期能源科技的主要情况,并就与之前的章节的联系进行了描述,在结尾对本章的能源科技发展进行了总结,并就下一章的到来进行了铺垫。

本书科学部分的内容编排主要参照已经出版的西方科学史的内容,技术史部分的主要内容的界定主要参照了查尔斯·辛格等人编写的《技术史》,我们从这些作品出发,列出主要的知识点,并写出各章的框架。然后,利用大量的中英文的科技史材料,对前期内容进行补充与改写。此外,对于重要的人物与事件,以知识框的形式增加大量的扩展知识,从网络及各种资料中找来大量的图片来帮助学生增强对特定科技的形象理解。为了便于对相关知识的深入学习,在每章的后面还列出了若干思考题,并列出主要参考书目和若干我们认为非常重要的续读书目,希望感兴趣的读者能够阅读更多的相关材料。

目 录

前言	001
----------	-----

第一章 自然能源时代——能源的认知与初步利用

（史前至约 15 世纪）	001
--------------------	-----

第一节 火能及相关技术	001
-------------------	-----

一、火能的发现和最初利用	001
--------------------	-----

二、敲凿取火	003
--------------	-----

三、擦木取火	004
--------------	-----

四、钻木取火	005
--------------	-----

五、点火活塞	005
--------------	-----

六、燃料	006
------------	-----

七、取暖技术	007
--------------	-----

八、油灯	008
------------	-----

九、火能的其他利用技术	009
-------------------	-----

阅读材料 中国古代的供暖技术	010
----------------------	-----

第二节 水能利用技术	011
------------------	-----

一、水车的出现	012
---------------	-----

二、中世纪的水车	015
----------------	-----

阅读材料 中国古代的水车	015
--------------------	-----

第三节 风能利用技术	018
------------------	-----

一、人类开发利用风能的历史	018
---------------------	-----

二、古代风车技术	020
----------------	-----

阅读材料 荷兰的风车	022
------------------	-----

思考题	023
-----------	-----

参考文献与续读书目	023
-----------------	-----

第二章 化石燃料时代——能源科技的产生

（约 15 世纪至约 17 世纪）	025
-------------------------	-----

第一节 近代物理学与化学的产生	025
-----------------------	-----

一、近代物理学的建立	025
------------------	-----

二、近代化学的产生	030
阅读材料 天才化学家——拉瓦锡	033
第二节 煤炭的早期利用技术	035
一、煤炭与化石燃料时代的来临	035
二、煤炭的早期利用技术	036
三、煤炭生产技术的进步	037
四、煤炭安全技术的进步	039
阅读材料 中国古代煤炭技术的发展	041
第三节 日常生活中的燃烧技术	044
一、蜡烛的历史	045
二、火柴	046
三、打火机	048
阅读材料 中国古代的蜡烛与火柴	049
思考题	051
参考文献与续读书目	051
 第三章 蒸汽时代——能源科技的发展	
(约 18 世纪至 19 世纪中期).....	052
第一节 物理与化学热力学的进步	052
一、反应亲和力的探索	052
二、经典热力学的奠基	053
三、化学热力学的确立	055
四、化学热力学的拓展	056
阅读材料 永动机	057
第二节 工业革命前的蒸汽机技术	059
一、早期的蒸汽机技术探索	059
二、萨弗里的蒸汽泵	060
三、纽可门的活塞蒸汽机	060
阅读材料 瓦特的故事	062
第三节 工业革命中的蒸汽机技术	064
一、瓦特改良蒸汽机	065
二、高压蒸汽机技术的进步	067
三、蒸汽机车	067
四、蒸汽涡轮机与蒸汽机船技术	069
五、蒸汽机技术与经济进步	071
阅读材料 世界最早的蒸汽机轮船	073

思考题	074
参考文献与续读书目	074
第四章 电气时代的能源科技	
(约 1850 年至约 1900 年)	076
第一节 能源科学进展	076
一、光学的发展	076
二、电学的发展	078
三、化学的进展	082
阅读材料 从电鳗鱼到伏特电池	087
第二节 发电技术的发展	089
一、机械发电机	089
二、电磁发电机	090
三、交流发电机	091
四、电站	092
五、电池	093
阅读材料 中国早期电力工业的发展	094
第三节 配电与用电技术	096
一、弧光灯	096
二、白炽灯	097
三、电报与电话的发明	099
四、电力输送与分配	102
阅读材料一 斯旺与白炽灯研究	104
阅读材料二 科学史上的直流电与交流电之战	105
第四节 内燃机技术的发展	108
一、燃气发动机	108
二、燃油发动机	110
三、柴油发动机	112
四、汽油发动机	112
阅读材料 电动车的发展历史	114
第五节 其他能源技术	116
一、水泵	116
二、水力发动机	116
三、水电站建设	116
四、其他水力设备	117

阅读材料 中国第一座水力发电站——石龙坝发电厂	117
思考题	118
参考文献与续读书目	118
第五章 20 世纪的传统能源科技的成熟	119
第一节 能源科学	120
一、化学	120
二、力学	124
阅读材料 爱因斯坦——广义相对论背后的故事	131
第二节 电力技术	134
一、发电站	135
二、电力分配与输电技术	136
三、电力利用技术	143
阅读材料 神一样的存在——尼古拉·特斯拉	144
第三节 煤炭、石油与天然气技术的进步	148
一、煤炭技术	148
二、石油与天然气	149
第四节 动力机械	155
一、内燃机	155
二、汽轮机	160
第五节 水能技术	163
一、水电站技术	163
二、动力设备	164
三、大坝	165
四、水轮机	167
阅读材料 世界之最——三峡水电站	170
思考题	174
参考文献与续读书目	174
第六章 20 世纪的新能源科技	175
(约 1900 年至约 2000 年)	175
第一节 新能源科学	175
一、粒子物理学的发展	175
二、放射学的发展	178
三、电路理论的新发展	179

阅读材料 索迪——为放射化学、核物理学奠定 基础	182
第二节 原子能技术的利用	184
一、铀浓缩技术	185
二、反应堆	186
三、商业发电技术	190
四、核武器	194
阅读材料 美国第一颗原子弹爆炸秘闻	196
第三节 太阳能技术	197
一、早期太阳能电池的研发	198
二、太阳能电池技术的日趋成熟	198
三、20 世纪 70 年代以来的太阳能发电	201
阅读材料 太阳能飞机环球飞行的故事	202
第四节 风能利用技术	203
一、垂直轴风力机	203
二、风电技术	205
阅读材料 走进风电王国丹麦：谁都阻止不了 “风”的力量	208
第五节 其他动力资源	209
一、潮汐资源	209
二、地热能源	211
思考题	214
参考文献与续读书目	214
第七章 21 世纪的能源战略	215
第一节 各国的能源战略	215
一、美国的能源战略	215
二、俄罗斯的能源战略	219
三、欧洲的能源战略	222
四、日本的能源战略	223
阅读材料 德国的新能源战略	227
第二节 中国 21 世纪能源发展趋势	229
一、中国能源战略发展状况	229
二、中国能源战略的特色	231
三、中国的新能源革命	233
四、中国能源战略要点	234

阅读材料 我国具有大量的可再生能源	236
381 第三节 能源科技与社会发展	237
一、能源与经济	237
二、能源与政治	238
三、能源与民生	240
阅读材料 俄罗斯的能源政治	242
思考题	242
参考文献与续读书目	242
后记	243

第一章 自然能源时代—— 能源的认知与初步利用 (史前至约 15 世纪)

人类最早的基本经济形态是野蛮状态,即人类整个历史的 95%都处于野蛮人阶段,这个时间采集、狩猎和捕鱼成为人类生存需求的全部来源。只有到了石器时代或者新石器时代,人类开始培育粮食植物,开始饲养牛、羊和猪等家畜,这就产生了一种全新的半开化状态——新石器时代,技术才正式产生,能源技术也开始出现。

从能源科技史角度来看,从新石器时代一直到文艺复兴以前,即 15 世纪左右,一直处于自然能源时代。这个时期火能是最主要的能源来源和利用形态,也包括对水能、风能和动物能的利用,而与能源利用相关的技术主要包括制陶技术、冶炼技术和军事技术等。

第一节 火能及相关技术

火能是人类最早使用的能源,火也是人类文明的正式开始。从这个角度可以说,火能技术的利用标志着人类文明的正式开始。因为火的利用不仅为人类提供了熟食、照明和取暖技术,还为人类提供了冶炼、制陶、制砖和玻璃制作等技术的基本能源供给,可见火能是人类文明开始阶段最重要的一种技术。

一、火能的发现和最初利用

与火相关的化石记录第一次出现于 470 万年前中奥陶纪时期,这个时期大气中的氧气的积累是前所未有的多,同时陆生植物成群地堆积在地上,是良好的燃料。当氧气浓度上升到了 13% 以上,它就使野火的出现成为可能。野火的化石记录最早出现于 420 万年前志留纪时期,还有人认为是在晚泥盆世时期,这个时期木炭的存在与质量跟大气中的氧气的水平是密切相关的。氧气显然是野火的丰度的关键因素,火也变得更加丰富时,草的扩散并成为许多生态系统的主要组成部分,约 6~7 万年前;这些草构成火种,使火灾的更快速的传播,这些广泛的火灾可能已经发起了一个循环反馈的过程。由此便产生了温暖、干燥的气候,更有利于火的出现。

早在远古神话与传说中,人类就开始把火能提高到一个非常重要的地位。普罗米



修斯将火种带给了人类,并与众神结下了仇恨,人类因为学会了用火,在自然界才有了如此重要的地位。人类学会如何生火之前,就已经学会了用火,人类最初对火充满了恐惧,后来逐渐学会了回避和利用。自然火的获得是人类利用火能的开始,其中闪电是产生火焰和造成森林大火的一项重要自然因素。

小知识

普罗米修斯与火

普罗米修斯是希腊神话中的一个人物,他从太阳神阿波罗那里盗走火种送给人类,给人类带来了光明,是一位让人敬仰的神。传说地球上本没有火种,那时人类的生活非常困苦。没有火烧烤食物,只好吃生的东西,没有火来照明,就只好在那无边的黑暗中。众神之王宙斯同意把火种给人类,但是他要求人类必须用一头牛来做献祭。

普罗米修斯为了给人类造福,就冒着生命危险,从太阳神阿波罗那里去偷走了一个火种。宙斯站在奥林匹斯山上,发现人间烟火袅袅,立刻追查是谁盗走了天火。当他得知是普罗米修斯触犯了天规,便把普罗米修斯带到高加索山,用一条永远也挣不断的铁链把他缚在一个陡峭的悬崖上,让他永远不能入睡,疲惫的双膝也不能弯曲,在他起伏的胸脯上还钉着一颗金刚石的钉子。他忍受着饥饿、风吹和日晒。宙斯派天神用沉重的铁链把普罗米修斯锁在高加索山的悬崖绝壁上,让他经受烈日暴雨的折磨。就是这样,宙斯还觉得不解恨,又派了一只嗜血之鹰,每天去啄食普罗米修斯的肝脏。可是,每当嗜血之鹰啄食以后,普罗米修斯的肝脏又会奇迹般复原。

普罗米修斯忍受着巨大的痛苦,有一天,赫拉克勒斯为寻找赫斯珀里得斯看守的金苹果树来到这里。他看到恶鹰在啄食可怜的普罗米修斯的肝脏,这时,便取出弓箭,把恶鹰一箭射落。然后揭开锁链,解放了普罗米修斯,带他离开了山崖。但为了满足宙斯的条件,赫拉克勒斯把半人半马的肯陶洛斯族的喀戎作为替身留在悬崖上。普罗米修斯终于获得了自由。

人类对火灾的早期控制是人类文化进化中的一个转折点,这使人类可以用火来烹调食物并获得温暖和保护。生火也使人类活动的扩展到深夜的黑暗和寒冷的时间,并为人类提供了针对天敌和害虫的保护。旧石器时代中对用火的控制的所有证据都是不确定的,事实上,控制用火的确切证据是在旧石器时代中期的 40 万年前到 20 万年之间的某个时期。直立人开始控制用火大约在 40 万年前,考古学为这种观点提供了可靠的证据,发现越来越多的技术支撑。真正利用和控制火的确切时间大约在 12.5 万年前,这个时间段内存在大量控制火的广泛证据。控制火的能力使早期人类的生活习惯产生了巨大的变化。火产生的热和光使人们有可能开始烹调食物,增加营养物质的种类和可用性。火的控制和使用也将有助于人们在寒冷的天气中保持温暖,使他们生活在温暖的生活环境中。熟食的证据是在 1.9 亿年前早侏罗纪时代的遗迹中发现的。大量的

考古证据使我们将用火的时间确定在 50 万~10 万年前。这表明,从这个时间火就被经常使用了。有趣的是,空气污染也开始在人群中的差不多同一时刻出现。用火逐渐变得更加复杂,如火可以被用来制造木炭,并可以用来驱赶野生动物。

早期的人类从出于好奇和顽皮,进展到为了取暖和保护自己而使用火能。到了石器时代,各个部落都已经学会了用火,但是他们的火最初都来自自然中产生的火灾,后来才逐渐学会了小心翼翼地保留火种。原始人为了保证火源的持续存在,会让火种一直处于燃烧状态,以便随时使用,需要转移的时候也是小心翼翼,以免火种熄灭。在旧石器时代,生活在欧洲和亚洲的原始人就已经在使用火,而只有到了新时期时代,或者旧时代时代晚期,人类才开始学会使用敲凿的方式获得火种。人类使用火的最早证据,来自中国周口店附近的北京人所住的洞穴遗址中,然而考古学家无法确定他们是否能够自己取火。

二、敲凿取火

早期人类对火灾的控制,据说可以追溯到 400 万至 200 万年前的直立人或早期智人,这些都来自于对早期人类的炉膛的考古证据。可用来生火的植物和树木,或任何从自然火灾来的火媒,就是被人利用来控制火的第一资源。

自然发生的火灾是由火山活动、陨石或雷击造成的。许多动物都知道火灾的危害并调整自己的行为,植物也逐渐适应了火的自然发生。因此,人类也逐渐对火有了一定的认识,后来才逐渐发现它的有益用途,没过多久,他们就有了对火的持续不断的需求。生火的第一种和最简单的方法就是使用从森林或草地火灾灰烬或燃烧的木头中获得火种,然后保持火种的持续,一天多次添加更多的木材和植物材料来维持火种。动物脂肪和可燃烧的材料等天然来源被用来保持和维护持续的燃烧。

在学会用火很长一段时间之后,人类才学会如何取火。古代人类主要通过三种方式取火:敲凿取火、擦木取火和点火活塞。摩擦是用于生火最常用的原始的方法。用于摩擦生火的古老技术包括手钻、弓钻头、火犁和泵钻头。另一个古老的技术是火石的使用,其中热火花由一块含铁的矿石触击到打火,如遇到真菌或炭布等火种,经过煽动就可以起火。自旧石器时代这些方法已经被人们所熟知,目前在一些土著人仍然使用。

在敲凿取火之前,人类就已经熟悉了火花,发现火花具有燃起火焰的能力。后来发现敲击石头,尤其是矿石,能够产生火花,于是就开始逐渐学会了用矿石敲凿取火。人们发现黄铁矿石在被敲打的过程中非常容易产生火花,而黄铁矿石也是非常容易获得的一种石头。后来,敲打铁矿石的材料逐渐改进,被新的材料所取代——火石、燧石、石英、玉髓或者其他硅质矿物。这一改进产生了更好的效果,其原因在于,含铁量高的矿石比含铁量低的黄铁矿石能产生更高温度的火花。可见在人类取火的早起历史中,材料比形式或方法要重要得多。

用石英、碧玉、玛瑙或石头等材料撞击铁矿石,就可以产生火花,而单独的火石不会产生火花,这是因为火石只有经过猛烈撞击,释放很小的铁颗粒,它们暴露于氧气中,就



可以开始燃烧。所以要产生火花,可以用一个坚硬的石头(如燧石或石英)砸到另一个含铁的矿石(如黄铁矿或白铁矿)上。通过这种方法必须与易燃物接触,黑色燃烧物或丝绒直接接触,这才会产生闷烧的火花。用来装火花材料被放在燧石或石英以上,随后给石块一个快速的向下运动。这就成为热点,可以产生火花。使用燧石成为前工业社会产生火焰的最常用的方法。19世纪末的一些旅行者还经常使用这种方法生火,有时候比比弓钻或手钻更容易生火。

在欧洲和亚洲,自从火石与铁在取火材料中被认可之后,就一直被个人和家庭所使用,在许多地方一直到火柴被发明出来还在使用。如今的印第安人仍然在使用两块黄铁矿打火,直到1827年火柴在英格兰的诞生,英格兰人还偶尔在使用这种方法。爱斯基摩人、南美洲火地岛人也有使用黄铁矿和燧石的记载。依靠火花取火,必须准备好易燃的材料,所以产生了许多经过人的加工后的火绒,比如晒干的苔藓、菌块、种子或者干燥的木块、朽木等。

三、擦木取火

在缺少铁矿石的地区,就不能用敲凿取火的方式来取火。他们发明了擦木取火的方法,非洲大部分地区就是如此。擦木取火的方法主要有三种——锯木取火、犁木取火和钻木取火,世界各地使用的总是其中的一种。随着技术的进步,擦木取火逐渐被取代,但是在很多地区,人们也会偶尔使用这种方式取火。例如,19世纪英国人使用的驱邪之火与印度婆罗门教徒用皮带钻取“圣火”。由摩擦产生的火不能媲美火柴,但在这种情况下点火工具已经能够创建了一个火焰。随着摩擦起火精力集中到磨灰尘的软固体可燃材料,点燃粉尘。

这一技术的基本原理就是通过对木块进行摩擦而产生大量的热量,并使同时产生的木屑开始冒烟,经过吹气就会发红发热,让摩擦下来的木屑落在火绒上,就可以获得火源。在这种方法所使用的工具中,有放在地上的木料为火床,以及与之进行摩擦的木料。因形状和使用方式的不同,木料分为“锯”“犁”和“钻”,区分三者的依据为,看其与火床木纹形成何种角度摩擦:垂直于木纹摩擦的叫“锯”,沿着木纹的叫“犁”,以直角深入的为“钻”^①。

锯木取火的方法是东南亚及其周边岛屿,以及印度、澳大利亚和早期的欧洲地区所特有的,最典型的方法就是,火床与锯都是用劈开的竹子所制造的。锯的边缘在开在竹子凸面的裂口上摩擦,木屑也正好可以落下到火绒上。在欧洲、西非、印度与印尼和马来西亚等某些地区,人们对火锯进行了改进,发明了带锯——用藤条做成柔软的带型,火床也用木料所代替,使用方法与竹子材料类似。

犁木取火技术很可能起源于东印度群岛,波利尼西亚人正是从这里开始了殖民太平洋的历史,而且这种技术也是波利尼西亚人使用的唯一一种取火技术。此外,在澳大利亚、马来西亚和非洲的一些地区也在使用这种方法。犁木取火最为简单,而且在历史

^① 查尔斯·辛格等. 技术史(第一卷). 上海科技教育出版社, 2004, 145 页.