

火星，中国来了！

郑永春

(中国科学院国家天文台 100101)

1. 从火星冲日说起

太阳系是我们的家园，地球是太阳系中的一颗行星。在太阳系中，地球是第三颗行星，火星是第四颗行星，它们都绕着太阳转(图1)。虽然，以大小比较，金星是与地球最接近的行星。但是，以相似性而言，火星才是整个太阳系中与地球环境最相似的行星，因而也是最吸引人前往探索的星球。

在古代，不管是东方还是西方，人们大多把火星当做不吉的象征，因为它的颜色是红色的。在西方神话中，火星被视为战神的象征，代表着战争、血

腥和灾难。

火星冲日是一种常见的天文现象，每当天空中火星和太阳分处地球的两侧，太阳、地球、火星在一条直线上时就会出现。火星冲日前后，黄昏时，太阳刚一下山，火星就从东方的天空升起。黎明前，火星刚从西方的天空落下，太阳就升起来了。这就好似肩上的扁担，一头翘起，另一头就会落下。深夜的时候，太阳在我们脚下的另一个半球，火星恰好在头顶的正上方，相当于整夜都可以看到火星。只要天气晴好，夜幕降临后，面向东方，你就会看到地平线上升起来一颗亮星，就像一颗红宝石，镶嵌

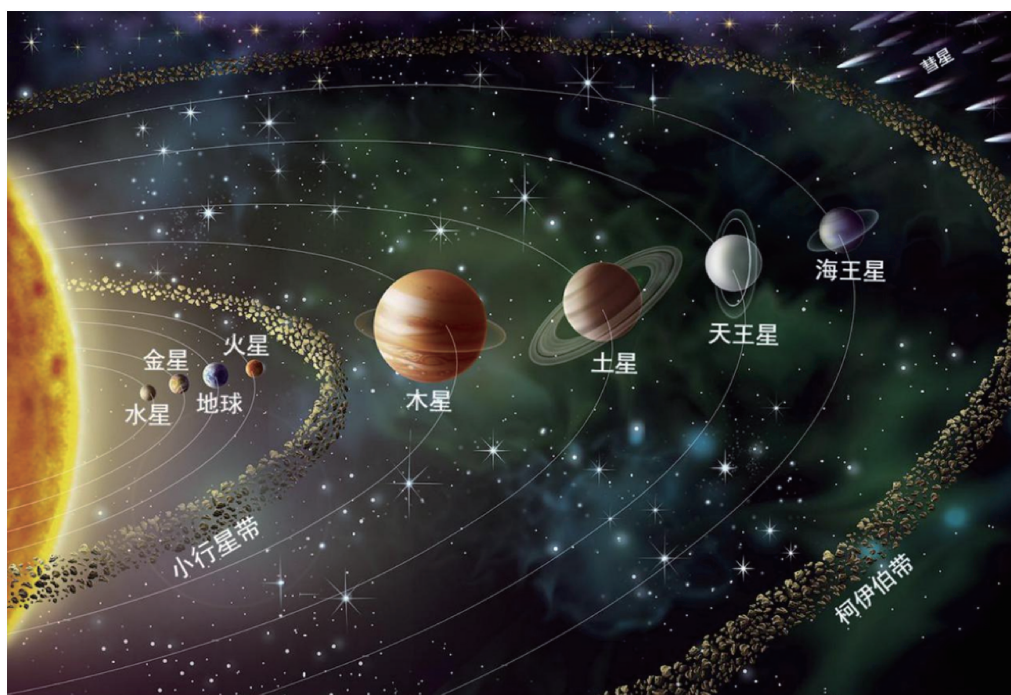


图1 火星是整个太阳系中与地球环境最相似的行星，也是最吸引人前往探索的星球

本文作者的一部分工作受中国青少年科技辅导员协会科学教育项目2020QFXIP、中国科学院科技扶贫项目KFJ-FP-202107、北京八一学校建设一流科技高中项目的资助。

在黑色的天幕之上,熠熠生辉,美艳无比。

火星冲日的时候,是从地球上观测火星的最佳时期。航天时代以前,每逢火星冲日,全世界的天文学家都会把望远镜对准火星。1610年,伽利略把望远镜第一次对准了火星,但他的望远镜实在是太简陋了,似乎没有留下什么证据,说明他当时有什么发现。毕竟,从地球上观测火星还是太远了。

很多人在介绍天文现象时,经常会用多少年一遇说明它的罕见性。2020年10月14日,是26个月一遇的火星冲日。至于观测火星的时机,其实不限于火星冲日这一天,冲日前后的两三个月,都是从地球上观测火星的好时机。整个10月,火星都是夜空中最亮的那颗星,而且长时间可见。通过普通的天文望远镜,我们就能看到火星的红色表面、明暗

变化,甚至还能看到白色的极冠。运气好的话,或许还能识别出长达4000千米的水手大峡谷。

时至今日,仍然有一种说法认为,火星冲日和个人运势有某种关系,这是没有任何道理的。火星冲日时,地球和火星这两颗行星在太阳的同一侧,都朝着太阳的方向,是一种周期性出现的自然现象。就像操场上跑步的两位同学,不管谁快谁慢,多跑几圈,总有机会出现两人并肩跑的情况。

你可能听说过水星逆行,也就是水星逆行,其实火星也会出现逆行。如果长期观测火星,就会发现它在天空中的轨迹(相对于恒星组成的背景图案)很是诡异。大多数时候往前走(顺行),有时停住不走了(留)。滞留一段时间后,又开始后退(逆行)。退了一段时间,又开始往前走了(图2)。行星逆行是很常

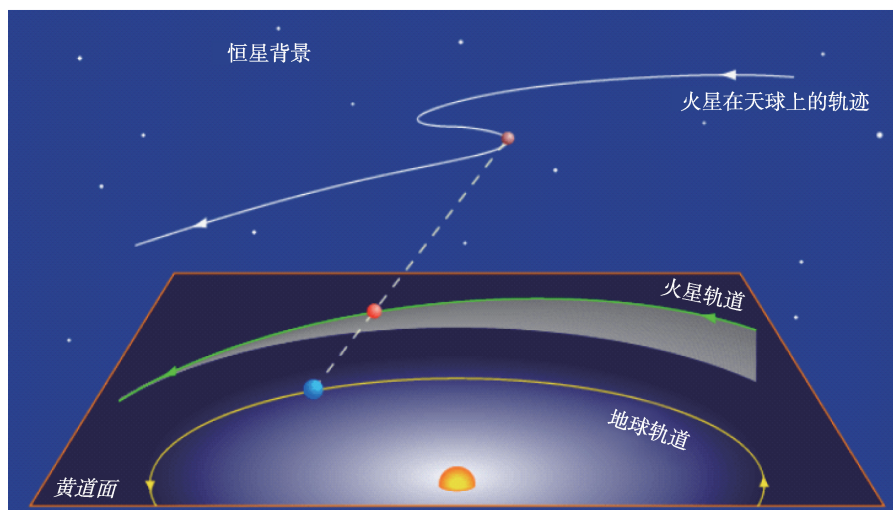
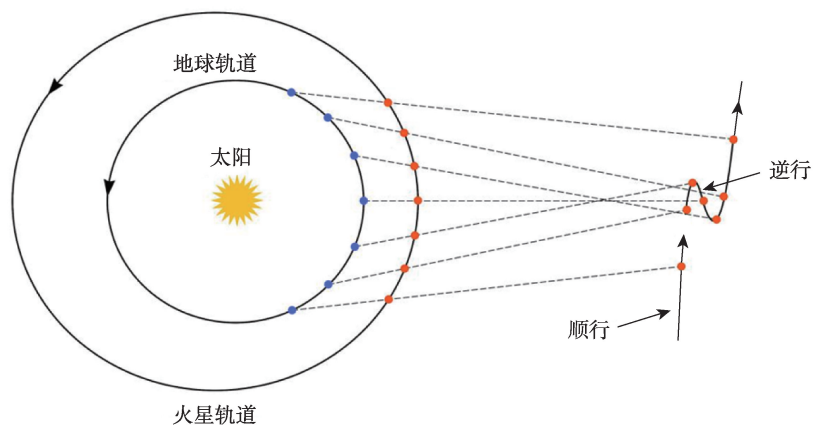


图2 火星逆行的示意图。火星和地球都绕着太阳转,但地球跑得快,跑一圈只需要365天(黄色曲线),火星跑得慢,跑一圈需要687天(绿色曲线),从地球上看上去,火星在天空中的轨迹会出现逆行(白色曲线)。

见的天文现象,从地球上,太阳系的所有行星都会出现逆行,但这只是我们从地球上看到事物的直觉,并不符合客观事实。其他行星和地球一样,都绕着太阳逆时针公转,它们到地球的距离有时远、有时近。如果站在太阳系上方俯视,你会发现,火星不会逆行,水星也不会逆行,所有行星都不会出现逆行。

火星冲日、火星逆行、以及水逆、星座、流星雨,等等,这些都是常见的天文现象,与国家和个人的命运没有任何关系。我们在地球上的生活主要受太阳的引力和辐射的影响,其他行星的引力、辐射,对我们基本没有影响。就像莎士比亚曾经说过那样:“掌握我们命运的不是星座,而是我们自己。”

2. 火星探测器的发射时机

2020年7月20日,阿联酋发射了“希望号”火星探测器;7月23日,中国发射了天问一号;7月30日,美国发射了“毅力号”火星车。为什么这些火星探测器都选在2020年7月飞向火星呢?这是因为,2020年7月到8月,被称为火星探测器发射的“窗口期”。

在太阳系中,地球沿着第三条轨道运行,火星沿着第四条轨道运行,就像城市道路中的三环路和四环路。探测器从地球上发射后,将沿着发射时地球所在的位置,与半年多之后航天器抵达火星时火星所在的位置之间的抛物线,飞向火星。这条抛物线就像三环路和四环路之间的连接线,是从地球去往火星最节省能量的一条路线,由德国物理学家霍曼通过计算发现的,被称为霍曼转移轨道(图3)。

航天器要顺利进入霍曼转移轨道,就要选择火星位于地球前方44度时从地球发射,这一时机被称为火星探测器的发射窗口。一旦错过发射窗口,就要等地球绕太阳再转2圈多,地球和火星回到原来的相对位置时再发射,这一等就是26个月。

火星探测器在发射窗口发射,最节省燃料,只需要把从探测器的飞行速度提高到每秒11.2千米(也就是摆脱地球引力的“第二宇宙速度”)。我知道,你可能希望随时都能去火星,这也不是不可以,

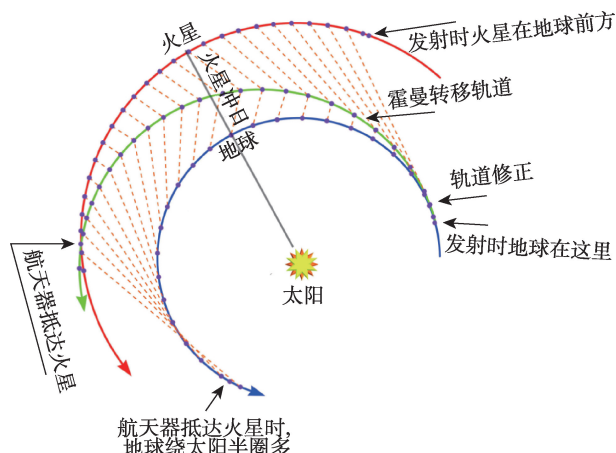


图3 霍曼转移轨道与火星探测器的发射时机。注意,探测器的发射窗口并非出现在地球与火星最近时的火星冲日期间

如果在最不利的时机去火星,探测器需要经历加速、减速、改变方向等,这些动作都需要消耗燃料,消耗的燃料如果折算成速度变化量,相当于要把探测器的速度变化提高到每秒100千米,相比发射窗口去火星提高了9倍,这对现有的航天技术是一个很大的考验,即便能实现,也很不经济。所以,要实现火星探测想去就去,任尔驰骋,还需要几代人的持续努力。

火星探测器发射的时候,不是火星冲日的时候,即并不是地球和火星两者距离最近的时候。因为火星在往前走,地球也在往前走,如果两者距离最近的时候发射过去,火星显然已经跑掉了。所以,火星探测器是在火星冲日之前的2~3个月发射的。

3. 天问一号

在太阳系中,火星与地球的环境最相似,是深空探测的重点。世界各国已经开展了40多次火星探测任务。现在,中国人开始追赶了。2020年7月23日中午12时41分,中国在海南文昌航天发射场发射了“天问一号”火星探测器,正式开启了中国行星探测计划的漫漫征途。我有幸在现场亲眼目睹了火箭升空的那一刻,在疫情笼罩的阴霾下,这次成功来之不易。

“天问”是2300年前我国浪漫主义诗人屈原写

的一首长诗的题目,表达了中国人对天地万物和人类社会等自然现象的好奇,展现了中华民族不畏艰难、追求真理的决心和意志。“揽星九天”是我国首次火星探测任务的标识,也是中国行星探测计划的整体标识(图4)。标识展现了八大行星环绕太阳运行的轨道,意味着中国不仅将探测火星,还将探测太阳系的其他行星及其卫星和小天体。“天问一号”,是中国首次火星探测任务的名称,在天问一号之后,未来还会有天问二号、三号、四号……,对太阳系的其他天体进行探测。



图4 “天问”系列中国行星探测工程的标识。一条条开放的椭圆形轨道,构成了独特的字母“C”的形象,包含了三层含义,一是“China”(中国),代表“中国”开展行星探测;二是“Cooperation”(合作),代表“协同攻坚、合作共赢”的精神;三是“C3”,行星探测工程设计最重要的物理量,是深空探测运载能力和探测器到达地外天地能力的重要表征

中国火星探测工程是在探月工程六战六捷的基础上实施的,“天问一号”继承了我国月球探测时使用的一些成熟技术。比如,天问一号在最后阶段登陆火星时,采用了像嫦娥三号那样火箭反推、以及四条着陆腿的方式。月球探测和火星探测也有

很大的不同。比如,月球上没有大气,登陆月球靠发动机反推就可以实现减速,但火星就不同了。登陆火星需要穿越大气层,经历黑色七分钟。首先,利用大气提供的阻力,摩擦减速,就像流星划过夜空。然后,打开降落伞,进一步利用大气阻力减速;最后,发动机短暂工作,通过反推进行减速。多种减速方式综合使用,才能成功实现登陆火星。由于探月工程的成功实施,我们在开展火星探测时更自信。天问一号三步并作一步走,通过一次任务,实现对火星的环绕、着陆、巡视三大目标,步子跨得更大。

以前,在大海中航行的船只,根据天上的星星确定航向。在茫茫宇宙中飞行的火星探测器,则是根据地球、太阳、恒星的相对位置变化,确定出自己所在的位置,实现导航,精准地瞄准火星。登陆火星表面后,火星车上下坡的时候,通过观察太阳的方位,感应重力的方向,计算自己的姿态,评估安全性。火星车还可以通过观察火星表面的山峰和石块等显著标志,确定行驶路线。

天问一号发射之后,从地球所在的三环,飞向火星所在的四环,成为一颗环绕太阳飞行的人造行星,在追逐火星的路上飞行(图5)。由于深空中没有阻力,巡航期间的飞行不需要消耗燃料,就能维持原有速度,实现无动力飞行。在天问一号上,安装了推力为3000牛、120牛、25牛的各类发动机,目的是精确控制探测器的飞行姿态和方向,帮助它始终

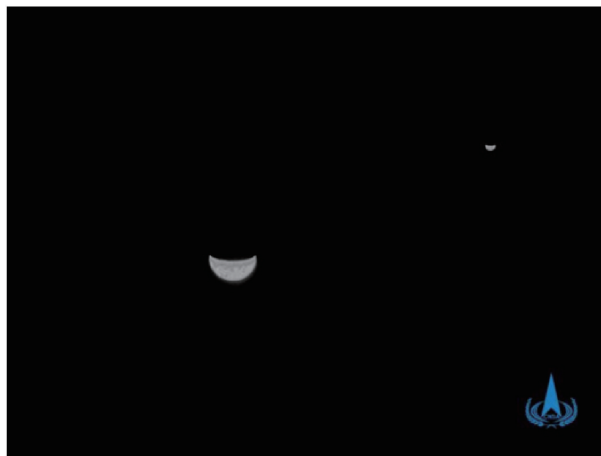


图5 天问一号在飞离地球约120万千米处回望地球,利用光学导航敏感器对地球和月球成像,获取了地月合影

瞄准火星,不偏离航线,最终成功抵达火星。一路上,这些发动机一共要经历六次点火工作。

2020年8月2日,第一次轨道修正,在离地球超过300万千米的深空中,3000牛主发动机开机工作,历时20秒,修正了天问一号的飞行轨道,让它精确地按照设计好的轨道飞行。

2020年9月20日,第二次轨道修正。在离地球约1900万千米的深空中,天问一号上的4台发动机,每台推力为120牛,同时点火工作,持续20秒。由于轨道修正的幅度很小,所以不需要用到主发动机,用小推力发动机即可实现。

2020年10月9日23时,第三次轨道修正,在离地球2940万千米中的深空中,天问一号又有了新动作。推力为3000牛的主发动机再次点火,持续工作8分钟。这次轨道调整的结果,是把探测器所在的轨道,从地球所在的太阳系三环路,转移到火星所在的四环路上(图6)。

2021年春节前夕,天问一号经历了关键一刻。

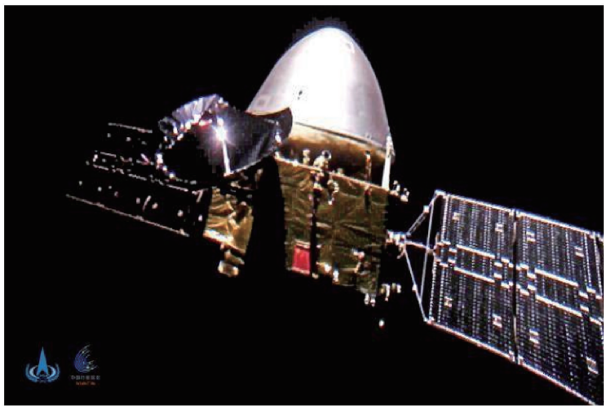


图6 2020年10月1日,国家航天局发布天问一号探测器首次深空“自拍”,茫茫宇宙中银色的着陆巡视器和金色的轨道器熠熠生辉,轨道器上的五星红旗光彩夺目,天问一号以此向祖国报告平安,表达节日祝福

2月10日,经过半年多的长途飞行,飞越4亿多千米,天问一号抵达火星。它与火星在太阳系的四环路上遭遇,3000牛的主发动机进行了一次时间更长的点火,经过刹车减速,被火星的引力捕获,成为火星的人造卫星。这次刹车更为重要,直接决定了火星探测任务的成败。

2月24日,天问一号成功实施第三次近火制

动,进入预定的火星停泊轨道。开展科学探测,为登陆火星做好准备。经过轨道调整,我们的天问一号计划于5月登陆火星,中国由此将成为世界上第二个实现航天器成功登陆火星的国家。

地球上的地面站与探测器之间的通信,是通过无线电波实现的,传播速度为光速,每秒30万千米。月球到地球的平均距离为38万千米,所以,月球探测器与地球进行通信时,几乎感觉不到延时,可以在地球上实时控制探测器的运动。不同的是,地球到火星之间的距离是变化的,距离最近的时候约为5500万千米,最远的时候,也就是火星与地球分别位于太阳的两侧时,两者之间的距离达到4亿千米。就像两位运动员在相邻的赛道上绕着运动场跑步,两人之间的距离有时只相当于跑道的宽度,有时却相当于整个运动场的直径。因此,地面与火星探测器的通信,面临着长达十几分钟的延时,对火星探测的影响很大。也就是说,地球上无法随时控制探测器。

从地球发出的指令,到达探测器最长需要22分钟。如果要求探测器在特定时间执行命令,地面要提前发出指令。探测器收到指令后,才能在规定的时间内执行。天问一号抵达火星时,无论探测器出现什么意外情况,地面都要在十几到二十几分钟之后才能知道出问题了。地面经过研究之后,形成探测器的应对方案,生成处置命令发给探测器。十几到二十几分钟后,探测器才能收到这个命令。半个多小时到四十多分钟后,地面才能知道探测器执行的指令是否有效。

由于地面站与火星探测器之间的通信时间延迟太长,在大部分情况下,天问一号按照既定的程序工作。同时,它还必须具备一定的自主处置能力。遇到简单的问题时,进入到故障分支,通过预先设定的方案自己解决。遇到复杂的问题不能自己解决时,探测器会进入安全模式,把不必要的设备关闭,然后等待地面指令。地面控制中心收到探测器的故障情况,会根据故障预案进行处置;遇到特别复杂的情况,还需要在地面模拟出现的故障,看看处置办法是否有效,研究后再进行处理。

4. 遥望火星移民

进入航天时代以来,探测器可以飞到火星的附近,甚至着陆到火星表面开起车来。现代人对火星的认识,绝大部分已经与天文望远镜无关,主要得益于火星探测器得到的结果。科学探测结果发现,火星上曾经有江河湖海,有过浓密的大气层,它的气候曾经温暖湿润,很适合生命的发育。即便现在的环境已经恶化,成为一颗荒漠行星,但它仍然是太阳系中除地球之外最宜居的行星。

如果设想我们在火星上生存,总共需要完成几个步骤?

第一是解决水的问题。水是生命之源,火星两极本身就含有丰富的冰山,地下也有冰层,而冰化为水汽后,可以被现有技术轻易提取。除此之外,还有一些方法也可以收集到可用的水源。例如,通过加热土壤收集水,通过大气冷凝提取其中的水汽,都是可行的方法。不过,这些途径需要的技术更复杂,也更昂贵。

第二是解决食物问题。火星的土壤与地球土壤有相似的成分。虽然火星上的太阳光比地球上更弱,但可以通过光线的收集增强或人造光源,满足光合作用的需要。通过在土壤中加入有机质和微生物群落,使之更接近地球土壤。现在的技术已经可以实现改造火星土壤,从而实现种植的目的。

第三是氧气供给。火星的大气中约有95%是二氧化碳,氧气含量不足以支持人类呼吸。不过,现有技术已经给出了很好的解决方案。麻省理工学院的科学家发明了名为Moxie(莫克西)的制氧机,利用反向燃料电池的原理,将火星大气中约95%的二氧化碳转化为78%的氧气。余下的一氧化碳作为副产品排出制氧机,可以作为燃料使用。2020年7月,这台制氧机随“毅力”号火星车前往火星,2021年2月19日抵达火星开始测试。从一开始,这台制氧机就被设计为可以扩展到现有规模的100倍大小,如果试验取得成功,可以解决一个人一生都用之不尽的氧气。

第四是建造住所。刚登陆火星时,我们可以住

在密封的充气庇护所,或是登陆舱中。由于火星大气层很稀薄,强烈的紫外线会损害你的健康,宇宙射线甚至会改变你的DNA。因此,躲进地下,建设地下城市可能是一个明智的选择。

第五是解决服装问题。火星上空气稀薄,因此昼夜温差极大。白天,最热的地方温度超过21摄氏度,夜间气温下降到零下七八十摄氏度。全球性的沙尘暴时有发生,甚至持续数月。因此,需要制造特殊的火星服,不仅能让你适应火星的低气压,足够坚固,还能让你的身体保持正常的温度。麻省理工学院的科学家达瓦·纽曼研制了一种光滑紧身的火星服,可以满足身体保暖和火星生存的需要,在现有空间站宇航服的基础上改进而成的D-型火星服和I-型火星服,也可以满足需求。

水、氧气、食物、住所、服装,似乎在火星生存的一切条件已经满足了,移民火星指日可待。不过,移民火星远远要比这困难得多,复杂得多,还要做好更多的准备。地球到火星的旅途需要长达数月,空间狭小,物质匮乏。要从地球上你已经适应的重力,到发射时的超重,飞行途中的失重,到进入火星大气层时再次超重。登陆火星后,长时间适应仅为地球表面三分之一的火星重力,人的生理状态会发生显著的变化。几年之后,你应该还会回到地球,需要经受相反的重力体验。这种过山车式的重力变化,不是柔弱的人体可以承受的。登陆之后,面对无尽的荒凉,难以忍受的孤独。人的心理状态,也是一个巨大的问题。因此,要实现火星生存,前途漫漫。但每一点突破,都在积累人类走向太空的能力。

参考文献

- ① 大卫·M.哈兰德 著,郑永春,刘晗 译,火星全书:从45亿年前至今的火星全记录。北京:北京联合出版公司出版,2019年
- ② 郑永春著,火星零距离,杭州:浙江教育出版社,2018年
- ③ 欧阳自远,邹永廖主编,火星科学概论,上海:上海科技教育出版社,2017年
- ④ 郑永春编著,“太空地图”系列——火星全图,北京:化学工业出版社,2018年
- ⑤ 郑永春著,“太空地图”——火星叔叔带你游太空,北京:化学工业出版社,2018年