

# 中国核物理事业的先驱者 和奠基人——赵忠尧

丁兆君

(中国科学技术大学 230026)

赵忠尧(1902~1998),浙江诸暨人,著名原子核物理学家,1925年毕业于东南大学,1927年赴美国留学。1930年获得哲学博士学位后回国,先后在清华大学、云南大学、西南联合大学、中央大学任教。1946年赴美参观原子弹试验后,留美购置核物理实验设备和其他科研器材。1950年回国,在中国科学院近代物理所工作。1958年参与中国科技大学筹建工作,并主持创办国内第一个近代物理系,任系主任。1973年后任中国科学院高能物理研究所副所长。

赵忠尧是我国原子核物理、中子物理、加速器和宇宙线研究的先驱者和奠基人之一,在美留学期间做出了硬 $\gamma$ 射线通过重元素时的反常吸收和特殊辐射的重要发现,被誉为发现正电子的先驱。曾主持建成我国第一、二台质子静电加速器,为开创中国原子核科学技术事业做出了重要的贡献,并为国家培养了几代物理研究的优秀人才。早在1948年,他就当选为国民党中央研究院的首届院士,1955年当选为中国科学院学部委员。自1954年第一届全国人大以后,一直担任全国人大代表,并任第三、四、五、六届全国人大常委。此外,他还曾担任中国物理学会理事、名誉理事及中国核物理学会的名誉理事长等职。

## 南高师的高材生

1902年6月27日,赵忠尧出生于浙江省诸暨县的一个贫农家庭。中学时,他就表现出广泛的学习兴趣,文理并重。中学毕业后,按照父亲的意愿及个人的兴趣,赵忠尧报考了完全免费但至为难考的南京高等师范学校,并于1920年秋被录取,进入该校数

理化部就读。就在赵忠尧入学的那年,南京高师扩建成为东南大学,他选择了师资力量较强而且相对有较多做科学实验机会的化学系。在学习中,兴趣广泛的他并没有局限于专攻化学一科,而是对数学、物理同样重视,这为其日后进入物理学领域打下了坚实的基础。

1924年春,赵忠尧提前半年修完了高等师范的学分。由于家庭穷困,他决定先就业之后再争取进修提高的机会,于是他受聘成为一所师范学校的数理化教员。半年后,他又由于在校期间优异的物理成绩而应母校东南大学之聘,成为刚从国外归来的我国近代物理学的奠基人之一的叶企孙教授的助教。他一面协助叶企孙准备物理实验教学,一面选修相关课程、参加考试,并进入暑期学校学习,第二年即补足了高等师范与大学本科学分差额,取得了东南大学毕业的资格。

1925年夏,北京清华学堂筹办大学本科,聘请叶企孙教授主持物理系工作。叶企孙便邀赵忠尧与施汝为一同前往。到清华后的第一年,赵忠尧仍任助教,第二年起即任教员,负责实验课,并同其他教师一起制备实验仪器,奠定了清华大学物理实验室的基础。这一时期的学生中,有王淦昌、周同庆、施士元等人。任课之余,赵忠尧努力自修物理系的一些课程,还和学生一起修读了德文和法文,进一步充实了自己。

由于深感国内外科研水平的差距,赵忠尧决心争取出国留学。他没有等清华六年一度的公费出国机会,而是自筹经费,并申请到清华大学的国外生活半费补助金每月40美元。出国前夕,赵忠尧与郑毓英女士结为连理,并把她带回诸暨老家,以照顾年届古稀的

母亲。1927年夏，没有了后顾之忧的赵忠尧终于远涉重洋，踏上了赴美留学之路

### “不知天高地厚”的成就

到美国之后，赵忠尧进入加州理工学院研究生部攻读博士学位，师从该校校长、1923年诺贝尔物理学奖获得者、曾多年担任美国物理学会主席的密立根教授。

密立根交给赵忠尧的第一个题目是利用干涉仪做一个光学实验，只要如实地测量，获得实验结果并撰写出论文，即可顺利取得博士学位。但赵忠尧想要学到更多的科学方法和技术，以便回国后能派上用场，于是他向导师提出换一个难度大一些的题目。赵忠尧的要求不仅有违加州理工学院的惯例，也是密立根教学中所未曾遇到过的，但他还是同意给赵忠尧另选题目。经过一段时间的思考，密立根决定让这位中国学生做“硬 $\gamma$ 射线通过物质时的吸收系数测量”题目，并说：“这个题目你考虑一下”。不料赵忠尧仍嫌这个实验简单，于是老实的他直接回答：“好，我考虑一下”。密立根一听这话当场就发了火，赵忠尧这才表示愿意接受这个题目。师生二人谁都没有料到，正是这个勉强接受的题目，把赵忠尧推到了一个伟大发现的门口，从而导致了后来的扬名天下。

密立根的本意是要赵忠尧以实验验证刚刚问世的用以计算吸收系数的克莱因-仁科公式的正确性，但赵忠尧通过实验测量发现，当硬 $\gamma$ 射线通过重元素时，他测得的吸收系数比公式的结果大了约40%。1930年5月，赵忠尧的文章发表在美国的《国家科学院院报》上。几乎与此同时，英国《皇家学会会刊》发表了泰伦特的论文，德国《自然》杂志发表了迈特纳和赫普菲尔特的论文，他们也都完成了与赵忠尧相似的工作。但相比而言，赵忠尧的结果是完全可信、不容置疑的。

完成了硬 $\gamma$ 射线吸收系数的测定，对于完成学位论文来说已经足够了，可赵忠尧没有知足，又利用毕业前的大半年时间继续研究硬 $\gamma$ 射线与物质相互作用的机理。实验结果首次发现：伴随着硬 $\gamma$ 射线在重元素中的反常吸收，还存在一种各向同性的特殊辐射。赵忠尧将这个新的实验结果写成第二篇论文，于1930年10月发表在美国《物理评论》杂志上。次年，迈

特纳和赫普菲尔特在德国《自然》杂志上发表文章，接着是1932年，格雷和泰伦特在英国《皇家学会会刊》上发表文章，他们也做出了与赵忠尧相类似的工作。所不同的是，前一组根本没有找到附加射线；而后一组在找到附加射线的同时又得到一个令人混淆的分量。正如杨振宁所言，“他们都做得不够干净，不够准确”，而不如赵忠尧的结果那般确切、可靠。

1932年9月，与赵忠尧同为密立根研究生的安德逊发现了正电子（后来由此获得了1936年度诺贝尔物理学奖）。几个月后，布莱克特与奥恰里尼又发现了更多的正电子，并对正负电子对产生与湮灭的机制做出了合理的解释（布莱克特后来由此获得1948年的诺贝尔物理学奖）。至此，人们才逐步认识到：赵忠尧与英、德的两个实验组同时发现的硬 $\gamma$ 射线的反常吸收是由于部分硬 $\gamma$ 射线经过原子核附近时转化为正负电子对；而赵忠尧首先发现的特殊辐射则是一对正负电子湮灭并转化为一对光子的湮灭辐射。安德逊等人的发现都建立在赵忠尧工作的基础上，甚至在事隔半个世纪之后，安德逊与奥恰里尼仍然念念不忘当初赵忠尧的工作对他们的影响。但是由于布莱克特与奥恰里尼的引文疏忽，未能凸显出赵忠尧的贡献。当初瑞典皇家学会也曾郑重考虑过授予赵忠尧诺贝尔奖，但由于迈特纳的结果与之不同，为谨慎起见，没有授予他诺贝尔奖。<sup>①</sup>尽管后来证明，他的结果是完全正确的。

在赵忠尧的博士论文完成之际，他的导师密立根仍然未能忘记他当初挑剔论文题目的事。在当着其他教授的面评议赵忠尧的论文时，密立根幽默地说：“这个人不知天高地厚，我那时给他这个题目，他还说要考虑考虑。”当然，赵忠尧的论文是让他们满意的，因而评分时得了优等，与安德逊相同。

结束了在加州理工学院的学业后，赵忠尧到德国哈罗大学物理研究所工作了一年，然后到英国访问，见到了核物理学大师卢瑟福。就在那一年，国内发生了九·一八事变，赵忠尧决心尽快回国，要为祖国做点贡献。临别时，卢瑟福鼓励他回国后继续搞研究，不要像其他学成归国的中国学者，再也听不到声音了。1931年底，赵忠尧踏上了归国之路。

## 清华教授与“长城牌”铅笔

回国后，从1932年到1937年，赵忠尧在清华大学物理系任教授，并曾一度接任物理系主任。在当时国内核物理研究一片空白的情况下，他和物理系的同事们积极组建核物理实验室，在极其简陋的条件下，进行 $\gamma$ 射线、人工放射性与中子物理等一系列前沿的、开创性的研究工作，在国外所发表的文章还得到了卢瑟福的高度赞赏，他在一篇论文前加了按语，说该实验结果提供了正负电子对产生的又一证据。这一时期清华物理系毕业的学生中，有赵九章、钱三强、何泽慧、彭桓武、王大珩、于光远等。

怀着工业救国的良好愿望，在教学之余，赵忠尧联合友人集资创办了一个铅笔厂。该厂的机器设备从国外购置，生产过程在国内完成，定名为“长城铅笔厂”，“长城牌”铅笔由此问世。由于政局动荡，加之经营管理不善，最后工厂由他人接手。解放后，这个厂改建为“中国铅笔厂”，五十年代，“长城牌”铅笔改名为“中华牌”，工厂得到很大的发展。赵忠尧为办铅笔厂耗费了资金与精力，给我国的铅笔工业奠定了一定的基础。

1937年，抗日战争爆发，正值赵忠尧休假一年，应云南大学熊庆来校长之聘，他到该校讲授了一年的物理与数学课。

1938~1945年，清华大学南迁至昆明，与北京大学、南开大学组成西南联合大学。赵忠尧便到西南联大物理系任教。在当时条件十分艰苦的情况下，他除了教学之外，还与张文裕教授合作进行了一些宇宙线方面的研究。这一时期他的学生中有后来获得诺贝尔奖的李政道、杨振宁以及“两弹元勋”朱光亚、邓稼先等。

1945年冬，应中央大学吴有训校长的邀请，赵忠尧离开西南联大，赴重庆担任中央大学物理系主任。

## 从比基尼岛到巢鸭监狱

1946年夏，美国在太平洋的比基尼岛进行原子弹试验，邀请反法西斯战争中的盟国中、苏、英、法派出观察员前去参观。赵忠尧作为科学家代表，被国民

党中央研究院总干事萨本栋推荐前往。抵美后，赵忠尧登上“潘敏娜”号驱逐舰，在离比基尼岛二十多公里的海面上观看了原子弹的爆炸过程。

参观原子弹试爆结束后，赵忠尧并没有急于回国。他此次赴美前，受萨本栋的委托，要为中央研究院购置5万美金的核物理实验设备。他考虑到做核物理实验研究起码得有一台加速器，而自己手头的钱与实际所需又相差甚远，唯一可行的办法是只购买国内难以买到的部件和其他少量的核物理实验器材，回国后自行设计组装一台加速器。当然，这样做将费时费力。为此，赵忠尧辗转于麻省理工学院、华盛顿卡内基地磁研究所等几个加速器、宇宙线实验室之间两年有余，一边采购、加工器材，一边进一步学习新技术。他曾访问回旋加速器的发明者劳伦斯，也曾拜访过静电加速器的发明人范德格拉夫。他还曾为几个实验室义务工作，以换取学习与咨询的机会。由于美国原子能委员会下令清除其所管辖下的核物理实验室的外籍科学家，这给赵忠尧的工作带来了一系列的麻烦。到1948年冬，他终于完成了购买核物理实验设备的任务，同时还替中央大学定制了一个多板云雾室及配套的照相设备和一些电子学器材。

在按计划即将回国之际，赵忠尧得知此时国内战局急剧变化，人民解放军节节胜利，国民党政权眼看着就要土崩瓦解。他决定待局势平息之后再回国参加和平建设，同时也可以在美国多学些必要的实验技术以备后用，于是他又到加州理工学院的开洛辐射实验室工作。1949年，赵忠尧开始做回国的准备工作。当然，最重要的工作是要将他花了几年心血才得以订制的加速器部件与核物理实验器材安全发运回国。这件事引起了美国联邦调查局的注意。他费尽周折，最终将这批器材装了大小三十多箱，用船托运回国。

1950年春，就在赵忠尧准备返回祖国之际，中美之间的通航却终止了。过了几个月之后，他才拿到取道香港所必需的过境签证，于八月底登上了开往中国的海轮。可他一上船，联邦调查局的人就找上了他的麻烦，翻遍了他的行李，又扣留了一些宝贵的书籍和期刊，才让他脱身。不料，船到日本横滨时，他和另



外两名从加州理工学院回来的学者又被美军便衣人员叫去检查，硬说他们可能带有秘密资料，逐件搜查他们的随身行李，连一块肥皂也不放过。之后，他们三人被关进了日本的巢鸭监狱。驻日美军仔细地检查了赵忠尧的每一件被抄物品，有的竟由驻日美军兼侵朝联合国军总司令麦克阿瑟亲自审看，其中赵忠尧的女儿赵维志所写的一封信中一些“打败美帝野心狼”的话还让麦克阿瑟大动了一番肝火。<sup>①</sup>三位科学家被美军扣押的消息传出后，立刻在国内外引起强烈的反响。周恩来总理为此发表了严正声明，强烈抗议美国所为。吴有训等 189 名科学家也联合发出致美国政府的抗议书，世界科学组织也对美国的丑行“深表遗憾”。迫于新中国和国际舆论的压力，美国当局不得已才将关押了 47 天之久的三位科学家放出，并移交台湾驻日代表机关监视。这期间，台湾当局曾派出代表对他们威胁利诱，说只要他们愿意回美国或去台湾，一切都好商量。可赵忠尧回国决心已定，丝毫没有理会这些纠缠。11 月底，经过了两个多月磨难的赵忠尧在祖国人民和国际科学界同行的声援下，终于踏上了祖国大陆的土地。

### 从中科院到中科大

赵忠尧回国之后，中国科学院即请他到刚创建的近代物理研究所主持核物理方面的工作。他利用从美国运回的器材，主持建立了我国第一个核物理实验室。1955 年，他利用带回的部件，主持建成了我国第一台加速器——700keV 质子静电加速器；1958 年，又建成了 2.5MeV 质子静电加速器。就是通过这两台加速器的研制，我国加速器技术的研究才迈出了第一步，由此推动了我国的真空技术、高电压技术、离子源技术及核物理实验的发展。并且在建立实验室和研制加速器的过程中，一批优秀的核物理研究人才在赵忠尧的培养下得以茁壮成长起来。

1956 年 9 月，苏联、中国、匈牙利、越南等 12 个国家决定共同建立联合原子核研究所，在苏联莫斯科郊区的杜布纳建成了 10GeV 质子同步稳相加速器和 24 升丙烷气泡室，赵忠尧是首届学术委员会的中国委员。不久，联合所又要扩建，准备在苏联再

建一个加速器。当时赵忠尧说：“我们也是成员国，为什么加速器就不能建到中国来？”为此，他向上级领导正式提出了建议。不料在后来的反右派运动中，他却因此事而被批判了一通，但他对此泰然处之，一言未发。

1958 年，中国科学技术大学成立。原子核物理和原子核工程系（01 系，后更名为近代物理系）主任由时任中国科学院原子能研究所副所长的赵忠尧兼任。他参与了学校一系列方针的制定，并组织制定了 01 系的专业设置、教学计划等。为了提高办学质量，他从科学院聘请了一批知名专家来系里兼课，其中包括：严济慈、张文裕、关肇直、朱洪元、彭恒武、李德平、彭士禄、李整武、梅镇岳、张宗焯、杨衍明等等。赵忠尧会同这些专家为学生开设了一系列专题讲座，其中有赵忠尧的“原子核反应”、张文裕的“宇宙线与高能物理”、郑林生的“核谱学”、丁瑜的“分子束实验”等。这些讲座起到了开拓学生视野，跟踪科研前沿的效果。在理论教学之外，赵忠尧还着手加强实验室建设，并使教学实验与科研实验相结合，不断提高学生的研究能力。建立专业实验室后，系里组织开设了  $\beta$  谱仪、气泡室、 $\gamma$  共振散射、穆斯堡尔效应、核反应等较先进的实验课，并让学生参与实验室建设及教师的科研工作。这种传统，在科大一直沿续至今。由于使学生在理论与实验两方面均衡发展，从而培养出一批理论与实验并重的优秀人才。

赵忠尧为原子核物理与原子核工程系的建设和发展投入了大量的精力，从课程设置到聘请教师，从师资队伍建设到学生的培养，他都提出建议，认真解决问题。他考虑到随着我国原子能方面研究工作的发展，需要较多的专门人才，因而认为应建立专门的系科。他认为，建校不久的科大虽然名牌教授多，老科学家讲课的多，但中级干部（讲师）太少，年轻教师的成长赶不上工作的需要，希望中科院各所再大力支援一些中级干部。他说，这个工作，学校要争取，院领导要加压力，各所才能下决心支援。为了聘请名师授课，早在科大正式成立前的一次系主任会议上，赵忠尧就邀请时任中科院原子能研究所副所长、宇宙线研究室主任的张文裕研究员将来到 01 系授课。

为了解决教学实验设备不足问题，他提议科学院各研究所的设备可以与科大联合使用。科大建校之初，正值“大跃进”年代。赵忠尧认为，学生每天生产实习8小时，再加上政治学习，负担过重。而且所开设的课程内容太多，也不够充实。当时要求以300学时来完成苏联400学时的课程教学任务，赵忠尧认为这不可能，也不切合实际。为了解决这些问题，他提出课程内容要适当精简，并适当增加讲座教学的内容，以提高学生对学科前沿研究状况的认识。赵忠尧提出，授课内容要使中等成绩的学生赶得上，成绩好的学生可以多读点参考书，不要只注意少数好的学生，造成多数学生落后；高年级学生可以到所里参加科研工作，提高他们的研究能力。这些做法既实事求是，又富有成效。

在赵忠尧的组织带领下，科大原子核物理与原子核工程系名师荟萃，培养了一大批高素质的专门人才。当年近代物理系的大部分毕业生已成为各个科研单位的业务骨干。

### “没有虚度光阴”

1979年，在德国汉堡的同步辐射中心佩特拉加速器落成典礼上，诺贝尔奖获得者丁肇中向十多个国家的百余名科学家介绍赵忠尧时说：“这位是正负电子产生和湮灭的最早发现者，没有他的发现，就没有现在的正负电子对撞机。”之后又说：“中国老辈物理学家能留名物理学史上的有赵忠尧和王淦昌先生等。”<sup>①</sup>

1989年，杨振宁与李炳安撰文，以翔实的史料与充分的证据论证了赵忠尧关于正负电子对产生与湮灭的重大发现的意义及其与诺贝尔奖失之交臂的原因。文中称赵忠尧的实验“具有经典美：简单、可靠且经得起时间的考验。”<sup>②</sup>

1992年6月4日，中国物理学会、中国核学会、中国原子能科学院和高能物理所等四家单位在高新所学术报告厅联合举行“赵忠尧教授九十寿辰庆祝大会”。海内外著名科学家、各界人士以及赵忠尧的六代学生的代表共几百人到会祝贺，一时盛况空前。十几名与会来宾作了即席发言，称赵忠尧为中国核物理

学和中国加速器物理学的鼻祖、开拓者。从事科研与教学几十载，赵忠尧不仅做出了举世瞩目的重要科学发现，更为我国原子核科学技术事业的开创做出了重要的贡献。从中科院近代物理所到中科大近代物理系，他为我国原子核物理、中子物理、加速器和宇宙线研究培养出了大批的优秀人才。不仅诺贝尔奖获得者李政道与杨振宁都曾受教于他，在“两弹一星”功臣中，就有八位是他的学生，他们是：王淦昌、赵九章、彭桓武、钱三强、王大珩、陈芳允、朱光亚、邓稼先，真正是名符其实的桃李满天下！有人把中国原子弹的爆炸成功与赵忠尧的原子核研究相联系，称他为“‘蘑菇云’的打造者”<sup>③</sup>。更有人称赞他：“在中国物理学史上是一座丰碑，在世界物理学史上也是一颗明星！”<sup>④</sup>这些评价他都是当之无愧的。赵忠尧的学术影响正如高能所沈经研究员所说的那样：“风华海外回报故里，桃李不言下自成蹊。这正是一代宗师赵先生和他的同辈们在我们年轻人心目中的形象和奋斗的动力。”<sup>⑤</sup>

1995年10月19日，由于对我国物理研究的杰出贡献，赵忠尧获得“何梁何利基金科学与技术进步奖”。他将奖金全部捐献给五所他就读、任教过的大学——东南大学、清华大学、北京大学（西南联大期间）、云南大学和中国科技大学，在这些学校设立了“赵忠尧奖学金”，以其利息用于奖励物理系的优秀学生，激励后人为祖国的繁荣富强而勤奋学习、努力进取。

1998年5月28日，赵忠尧因病逝世，享年96岁。李政道、杨振宁等从大洋彼岸发来唁电，表示悼念。中国科学院学部主席团所发的唁函称赞他：“锐意进取，严谨治学，赤忱爱国，正直刚毅，艰苦朴素，德高望重，为祖国的社会主义事业做出了可贵的贡献。”

2000年9月15日，赵忠尧教授纪念馆在中国科技大学隆重开馆。全国人大常委会副委员长周光召、杨振宁及夫人杜致礼、中国科学院副院长白春礼、香港求是科技基金会董事长查济民、安徽省人大常委会副主任吴天栋、赵忠尧夫人胡惠书、中国科技大学党委书记汤洪高、校长朱清时为纪念馆开馆揭幕。

杨振宁、李政道为纪念馆题词，丁肇中为纪念馆题写了馆名。

2002年，在赵忠尧诞辰一百周年纪念活动中，李政道说：“赵老师本来应该是第一个获诺贝尔物理学奖的中国人，只是由于当时别人的错误把赵老师的光荣埋没了。我们缅怀赵老师为近代物理学中量子力学的发展、为新中国科技教育事业所做的卓越贡献，以及他一生为人正直、忠于科学、潜心研究，朴素无华、实实在在的科学家精神。”

赵忠尧一生淡薄名利，正如他自己说过的那样：“一个人能做出多少事情，很大程度上是时代决定的。

由于我才能微薄，加上条件的限制，工作没有做出多少成绩。唯一可以自慰的是，六十多年来，我一直在为祖国兢兢业业地工作，说老实话，做老实事，没有谋取私利，没有虚度光阴。”他高尚的情操，于此表露无遗。

赵忠尧满腔爱国热情，亦正如他在回忆录中所言：“回想自己一生，经历过许多坎坷，唯一希望的就是祖国繁荣昌盛，科学发达。我们已经尽了自己的力量，但国家尚未摆脱贫穷与落后，尚需当今与后世无私的有为青年再接再厉，继续努力。”这也正是他的优秀品格与爱国情怀的真实写照！

①参见《李政道在赵忠尧诞辰百年纪念会上发言》，《现代物理知识》，2002年第6期，柳怀祖供稿。

②赵维志：《科学家赵忠尧的曲折回国路》，《纵横》，2000年第1期。

③王周恕、郑志鹏：《赵忠尧和正负电子对产生与湮没之发现》，物理通报,1991(3)。

④李炳安、杨振宁：《赵忠尧，电子对产生和湮没》，《国际现代物理学杂志A辑》，A4,17(1989)。

⑤袁李来，罗静：《‘蘑菇云’的打造者——赵忠尧与南京大学》，《光明日报》，2002年2月27日。

⑥施宝华：《诺贝尔奖的遗憾——献给杰出的物理学家赵忠尧院士》，《中国科学报》，1998年10月7日。

⑦沈经：《1950年听赵忠尧先生的一堂课》，《现代物理知识》，1998年第6期。



## 科苑快讯

### 木星阴影使木卫一每42小时结霜一次

想起夜晚树林中颈部感到的阵阵寒意了吗？木星最大的卫星木卫一每42小时会围绕木星运转一周，期间有两小时会进入木星的阴影，导致木卫一大气层结霜并崩溃。现在科学家用远红外波段观测到了大气层崩溃和恢复的过程。木卫一的大气层大部分由二氧化硫组成，二氧化硫从火山喷出后散布在木卫一表面。研究者以前就提出，木卫一大气层有大量稀薄的覆盖物，在其进入木星阴影的两小时内，表面压力仅为地球海平面大气层的十亿分之一。不过却难以获得证据支持，因为在木卫一隐入阴影后用可见光观测并不容易。

现在，天文学家利用大型地基望远镜在远红外波长观测火山喷发中的木卫一，远红外波长在一定范围内会被大气层中的二氧化硫吸收。在木卫一通过木星背后时，其表面迅速由127K（-146℃）降低至105K（-168℃），瞬间的寒冷足以导致80%的大气结霜，研究者在《地球物理学研究杂志：行星》（*Journal of*

*Geophysical Research: Planets*）网络版做了报告。当黑暗过去阳光重现时，二氧化硫冰霜则再变成气体。新发现将有助于科学家进一步了解木星系统，来自木卫一火山喷发的二氧化硫，其中半数会最终脱离木卫一，进入木星周围。

（高凌云编译自2016年8月2日 [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)）

