

天象视频直播：科学传播的新范式

——以《中国国家天文》流星雨科普活动为例

孙媛媛^{1*} 张 超¹ 李淑琴²

(中国科学院国家天文台, 北京 100101)¹

(中欧国际工商学院, 北京 100193)²

[摘要] 随着天文视频技术不断更新, 互联网飞速发展, 天象视频直播在探索中迭代升级, 成为公众喜闻乐见的科普形式。文章梳理了国内外天象直播的历史脉络、技术发展和直播方式, 以《中国国家天文》杂志团队流星雨直播的设备创新和播出实践为例, 探讨了在我国开展天象直播科普活动的可行性和实际效果, 并对未来的天象直播趋势提出了几点展望。

[关键词] 视频直播 科学传播 天象 流星雨

[中图分类号] G206; P111

[文献标识码] A

[DOI] 10.19957/j.cnki.kpczpl.2024.01.011

当今世界, 以数字化、网络化、智能化为标志的信息技术革命日新月异, 互联网日益成为创新驱动发展的先导力量, 深刻改变着人们的生产生活^[1]。2016年被看作是中国网络直播元年。经过几年的高速发展, 依托网络直播平台的在线视频直播已经成为互联网传播的一个重要分支。未来, 5G技术将打破当前直播条件的制约, 为直播的全方位提升提供了可能。

在国家积极推行“互联网+科普”的政策引领下, 利用互联网渠道做天文科普已成为常态。天象直播逐渐成为天文科普界的新热潮, 尤其是发生特殊天象的时候, 通过数字化、信息化手段, 实时、直观地把天文现象呈现给公众, 吸引

大家的关注, 激起大家的好奇心, 同时普及天文知识, 已成为一种直接、有效的天文科普方式^[2]。

天象一般在夜间发生, 也有一部分会发生在白天, 比如与太阳相关的天象——日食、凌日(水星、金星或人造天体经过日面的现象)等。从直观的观测感受来说, 可包括如下三种: A类, 持续发生明显变化的天象, 且变化的时间点是可预测的, 例如日食、月食等, 观测者可在一段时间里看到太阳或月亮被遮住, 其形状随之变化; B类, 无明显变化的天象, 比如夜晚的星空、银河等, 观测者连续观看几小时但基本看不出有什么改变, 接近于欣赏相对静止画面; C类, 某一时段内具体时间和位置随机性都很强、

*通信作者: 孙媛媛, 中国科学院国家天文台副编审, 《中国国家天文》编辑部主任, 研究方向为天文科学传播。
yysun@nao.cas.cn。

“可遇不可求”的天象，比如流星雨等，观测预报一般是给出某几小时或整夜这种较长的时段，但是天象具体到哪个时刻、哪个方位能被观测到却是不可预计的，这就需要观测者长时间等待，而这也正是此类天象的迷人之处。

根据多年天文科普工作的经验，日月食和流星雨等更为公众所喜闻乐见。从全球范围讲，这几种天象每年都会发生，但有的不具有观赏性，比如半影月食；有的发生时只会在很窄的地区内才可见，比如日食。相对而言，流星雨是天象中极具代表性的一种，自古以来备受关注，中国有着世界上最早的流星雨记录。1998—2001年是狮子座流星雨的一个爆发周期，曾在全世界掀起了空前的观测热潮，欣赏流星雨也成为公众向往的观星活动。而从技术角度来说，日月食的视频拍摄技术相对成熟。基于此，本文的天象直播讨论将以流星雨直播为例开展。

一、天象直播的由来

天象直播是基于天文视频技术产生的一种直播方式，世界范围内，天象直播的发展经历了漫长的过程。1951年，美国全国广播公司（NBC）完成了世界上首次日环食直播。1970年，美国哥伦比亚广播公司（CBS）第一次日全食直播完成，向公众输出了彩色电视信号^[3]。但夜间天象的视频影像记录则受到更多的技术条件限制，出现得更晚。1999年，日本NHK电视台首次对狮子座流星雨进行了较高分辨率的视频记录，为随后的流星雨直播奠定了基础。2001年，NHK成功进行了流星雨直播。自此，天象直播的序幕正式开启^[4]。

在我国，1997年3月，中央电视台进行了“日全食——彗星天象奇观”的直播尝试，这是电视

新闻工作者与科学工作者的一次成功的、杰出的合作，具有开创意义^[5]。在当时，直播信号主要通过无线传输或者卫星传输的方式进行，直播往往需要多台卫星直播车和大量的人员配合，成本高、数量少，因此天象直播以官方媒体为主导。

随着互联网技术的发展，3G时代的天象直播开始从电视向电脑倾斜。2009—2015年期间，出现了电视直播与网站直播同时存在的现象，此时期的直播网络平台以主流门户网站为主，采取图文与视频直播相结合的方式。2016年之后，4G网络的普及使天象直播从电脑转向手机客户端，微博、微信、抖音等新媒体平台的快速发展，促成了视频内容日趋火爆的传播态势，同时也对天象视频直播设备技术的更新换代提出了更高的要求。

二、天象直播的硬件技术与直播方式

（一）天象直播的技术发展与困境

天象直播从前端影像分析可以分为静态图像直播和动态流直播。静态图像直播是指前端信号采集采用照片镜帧形式，之后再经过视频信号采集成视频流进行直播；动态流直播是指前端直接采集视频流，无需转换直接播出。两种方式相比，前者只能展示静态画面，而后者可以展现动态画面。

考虑到技术难度和受欢迎程度，早期的天象直播主要是针对日间发生的天象开展的；而像流星雨这种夜间天象，早期生成实时视频内容难度较大，需配置对暗光极为敏感的设备进行信号采集，其发展是随着硬件和技术的更新而一步步实现的。

1. 第一代直播技术：倍像器元件

2001年，狮子座流星雨爆发期间，日本

NHK 电视台对狮子座流星雨进行了直播尝试，采用了当时最先进的倍像器元件，大大增加了彩色摄像机在暗光条件下的灵敏度，获得了较为理想的直播效果。当时，我国的一些天文爱好者团体也开展了国际合作，基于胶片摄像机和倍像器尝试对这次狮子座流星雨进行录制，也获得了成功，但并未应用到直播中。但 2000 年前后，我国这类元件发展相对落后，天象直播极少有成功案例。

2. 第二代直播技术：低照度流星监测仪

2005 年前后，流星的视频记录技术出现一次改进，国际上多个流星监测网相继建立，国内也出现了多个火流星监测站点。此类监测技术多基于低照度黑白视频 CMOS 以及大光圈快速镜头完成，配合检测软件（如 UFOCapture 等），可快速对天空中出现的移动光点产生反应，并触发记录。2015 年前，这种视频记录方式在国内的流星雨直播中得到较为广泛的应用。当时，此种设备的优势是无可比拟的灵敏度，当然缺点也很多：只有黑白画面，只能对亮流星进行记录，不能呈现整个星空画面，画质和分辨率较差。此阶段，也有进行静态记录技术直播的，比如利用累积曝光 5—10 秒的静态画面生成视频再发布，这种方式虽保证了画质，但并非真正的视频流直播。

3. 第三代直播技术：大靶面高感光微单相机和行星相机

2015 年，摄影领域的大靶面数字相机开始出现，这种设备有比低照度流星监测仪更为优异的大尺寸芯片，因而可以实现全彩色的高质量画面，其灵敏度也超过前者。此外，在这个阶段，为优化星空拍摄的大光圈广角镜头进入民用领域。2015 年前后，日本的业余天文爱好者对此类镜头进行改装，与大靶面高感光微单相机结合

后，可以在 1/8 秒到 1/20 秒的帧率速度上实现对星空的实时记录，对流星有很好的记录效果，灵敏度甚至超过了目视效果。

因此，从 2016 年到 2020 年前后，基于大靶面高感光微单相机的流星雨直播系统相继建立起来。用于流星直播的全彩色相机阵列，是利用多台相机组合成的全天阵列，实现在大天区范围内捕捉流星，提高流星捕捉概率以及捕捉亮度，从而将直播效果提升到一个新的高度。

（二）互联网时代天象直播的科普方式

天象发生时，公众进行观测常常会受到各种条件和因素的制约，比如所在地的实时天气、光污染情况等。而通过天象直播技术，将天文现象实时传递到公众的移动设备上，得益于光学设备的技术优势，甚至能达到比实际目视观测更好的效果，可以让大家随时随地欣赏宇宙星空的神奇和魅力。

值得强调的是，在成熟的天象直播中，往往会配套设计各种形式，尤其是科普讲解，这样能够更好地答疑解惑，普及科学内容。如果天象的发生时间持续几小时，观众需要一直守在屏幕前，在此过程中，辅助讲解、互动评论等形式，可以更好地吸引大家的注意力，丰富直播的内容。另外，公众往往难以依靠自身的知识储备去理解特殊天象，这就需要直播方结合具体天象，发挥自身优势介入其中。鉴于此，直播往往采用不同的方式，取得的传播效果也不一而同。常见的天象直播方式有以下三类。

第一类，访谈式直播。访谈式直播是指设有主持人和嘉宾配合的天象类直播方式，通常会搭建演播间，设定主持人一名，专家嘉宾人数不等，一般为两名或三名。直播画面以演播室为主，天象画面以画中画或分屏方式呈现，导播端

进行画面切换。由于需要搭建演播间，此类直播通常在有一定规模和实力的媒体平台进行。此方式更适合前文所述A类天象，如日食、月食等。

第二类，无交互式直播。无交互式直播是指以天象画面为主，解说员以小画面出现，或完全不出现，只融合解说词的直播方式。此类直播通常无需搭建演播室，导播端只进行声音通道的切换和调整。这种直播方式的特点是画面感强，氛围轻松，适合直播B、C类天象。随着直播的设备日趋便利，无交互式直播的常态化方式是慢直播，即只有天象画面没有解说，或只配以背景音乐。在天象直播更加普及后，这也是一种节省人力的日常直播方式。

第三类，沉浸式直播。沉浸式直播是指将主持人、特邀专家与天象画面有机融合的方式。此类方式对直播设备和场景搭建有较高的要求，要将有人的场景和自然天象场景进行最大程度的匹配融合，较前两种直播方式更具体验感，希望在线观众体会到与嘉宾一起共赏天象的感觉。随着直播技术的发展，沉浸式直播有两种方式可实现：一是利用数字技术进行融合；二是根据天象特点实地搭建直播场景，如流星雨直播时，会在画面地景部分搭建帐篷、桌椅，布置微光照明，直播的主持人、嘉宾坐于星空之下，与互联网另一端的公众共同欣赏流星。后者往往有更好的直播效果。

三、《中国国家天文》团队天象直播的技术创新和实践

笔者所在的《中国国家天文》是创刊于2006年的纸质媒体，在新形势下，致力于突破传统媒体的业务局限，及时抓住媒体变革的机

遇，着力打造“纸媒+新媒+活动+服务”的全媒体平台。基于全媒体平台，2016年开始，我们尝试以流星雨视频直播为突破口，创新性开发出全新的流星雨直播系统，并进行了流星雨直播活动实践，引领了国内天象直播的新风潮。

（一）以第三代技术为基础的设备创新

基于大靶面高感光微单相机建造的阵列式全彩色直播系统是第三代系统的基础方案。2016年，我们结合日本以及国内天文摄影师的实验，对当时已有的设备进行了测试，测试结论主要有三点。第一，在全局的星场和银河呈现效果方面，设备可清晰呈现夏季银河，但对冬季银河呈现不佳，总体尚达不到肉眼观测的效果。第二，在个体的流星呈现方面，设备对流星亮度的呈现可接近肉眼效果，对流星颜色的呈现超过肉眼效果，特别是流星在高空大气中出现的尾迹色彩呈现远超肉眼观察效果。第三，在视场方面，设备获得的视场约为 60° — 80° ，尚达不到更广阔的视场范围，故在捕捉流星能力方面尚待提高。

基于测试结果，我们原创性地对设备进行了改造。首先，改装了芯片，更换芯片的红外截止滤镜，增加了进光量，大大提高了设备对红光的敏感性。其次，对前组光学设备进行了改装测试，对16mm/2.8鱼镜头、20mm/1.4广角镜头、14mm/1.8超广角镜头、35mm/1.2广角镜头加缩焦镜组改装，光学参数变为11mm/2.0鱼镜头、14mm/1.0镜头、10mm/1.4镜头、20mm/0.95镜头，将相对口径提高一档的同时增加视场广度，虽然损失了部分边缘成像效果，但有效提高了流星的捕捉能力。实测发现，11mm/2.0鱼镜头适合在有月亮的夜晚以及上/下弦月的夜晚直

播，在无月亮的夜晚效果不佳；14mm/1.0镜头和10mm/1.4镜头适合在无月亮的夜晚进行流星捕捉；20mm/0.95镜头适合暗目标，即对暗流星有着相当高的捕捉能力。

改装测试后，我们即用四组相机镜头组建了国内第一个高清全彩色直播阵列，成为当时国内效果最佳的流星直播系统。2016年底到2017年初，我们利用这套设备进行了实测。2017年1月3日到4日的象限仪座流星雨极大期期间，6小时的直播画面共捕捉到流星50颗左右，以及多颗-2等以上的火流星。在后续的实际直播中，也取得了非常好的直播效果，例如同年8月的英仙座流星雨直播中，仅两小时即捕获了近50颗流星；2018年的双子座流星雨直播中，4小时捕获了上百颗流星。

（二）流星雨直播的初步尝试

上文提及的2017年象限仪座流星雨直播是我们进行的首次流星雨视频直播实践。这次直播采用高清、全彩、阵列式呈现方式，连续直播近6小时。在直播的同时，穿插了主讲人对星空、星座、银河、星团、星云、星系的实时视频讲解，并在直播间进行留言互动。

这次直播是用腾讯新闻APP移动客户端进行的。据不完全统计，视频直播全程在线观看人数超过百万，加上后续视频回放观看，累计受众达到500余万。为使流星雨直播更接地气，除了在直播效果上实现沉浸式高清之外，在直播形式上，也设计了点歌、许愿等娱乐性较强的环节。公众在欣赏流星雨时，经常会提到“许愿”，我们在直播中引入网友许愿留言等互动内容，让大家能够在观看的同时，许下心愿，抒发各自内心的祝福，不失为一种喜闻乐见的形式。这次直播

过程中，网友互动积极，其中点赞超过200万，总评论数7.7万。

（三）从流星雨到系列天象直播活动

以流星雨直播的成功为契机，我们陆续开展了其他种类的天象直播技术探索和实践。按天象每年通常的发生时间段，直播内容和大致规划如表1所示。

表1 《中国国家天文》常规天象直播时间表

| 时间 | 直播内容 |
|-----|----------|
| 1月 | 象限仪座流星雨 |
| 4月 | 梅西叶天体马拉松 |
| 6月 | 夏季银河与星座 |
| 8月 | 英仙座流星雨 |
| 9月 | 中秋节观月 |
| 11月 | 秋季星空与星座 |
| 12月 | 双子座流星雨 |
| 不定期 | 行星冲日 |

实践表明，在直播中，不同类别的天象目标需要使用不同的系统。以表1内容为例，三大流星雨直播用到的是大靶面高感光微单相机建立起来的直播系统；秋季星空用到的是星座直播相机系统；梅西叶天体马拉松的观测目标是遥远暗弱的深空星云、星团、星系，使用的是天文望远镜直播系统；而行星冲日和月球的直播设备是行星相机。

从直播的内容和受众分析，有结合我国传统佳节的内容，例如中秋节，直播的对象是月球，讲解内容不仅包括月球的科学知识，更多的是我国传统文化中与月亮、中秋有关的内容，受众群体也没有门槛；有星空、星座内容，包括耳熟能详的十二星座，这些与流行文化相关的内容更多地受到了年轻人（无论是否为天文爱好者）的喜爱；而行星冲日、梅西叶天体马拉松等内容，相对有一定的知识门槛，受众更多的是有一

定基础的天文爱好者（科技新知爱好者）。

四、天象直播的未来发展趋势

（一）直播技术的发展和迭代

近些年，针对流星雨等夜间天象的第四代直播技术正在逐渐成型，基本思路为单通道或多通道高灵敏度天文相机。2021年前后，天文相机逐渐进入天文直播领域。相较于之前利用民用系统进行的改装，天文相机一般带有制冷设备，也具有更高的灵敏度、更低的噪声、更丰富的灰阶和更高的分辨率，但主要问题在于天文相机一般使用黑白芯片，因而单通道条件下难以实现彩色直播画面。广东省梅州市蕉岭县的卡拉比一丘实景天象厅首先采用了这种单通道黑白画面的直播系统，实现了球幕内播放实时星空的效果。目前，该技术正向着多通道技术方向发展。多通道技术是利用三台或四台相机实现RGB三色信号采集，进行色通道融合后产生直播画面，不仅在灵敏度上远超第三代技术，在色彩还原上也达到了新的高度，甚至可以在视频画面中呈现夜晚气辉的各种颜色，这是以往设备所达不到的效果。

2021年之后，第三代直播技术路线也有了进一步发展。通过改进全彩色流星阵列的前端光学系统，设备的集光能力提高了4倍，亮度、灵敏度已经超过了现在的第四代直播技术，但色彩呈现上尚未达到第四代直播技术的效果。

（二）直播主体的变化

随着直播设备的普及，价格和技术门槛逐渐降低，天象直播内容生产者已经从官方平台扩大到自媒体。在技术与设备更加便利的趋势下，从事天文摄影的爱好者群体不断壮大，据笔者粗略统计，2010年以来，这一群体呈几何级数量

扩大。这些人对天象拍摄有极大的热情和一定的经验，已不满足于拍摄照片和视频。在天象发生时，他们会同步进行视频直播活动，并将自己的视频直播信号内容共享到各大媒体平台，包括央视、新华网等主流媒体，极大丰富了网络上的天文科普内容，使相关知识更及时、更广泛地在网络上传播，让更多人欣赏到天象之美。

（三）直播内容的进一步丰富

随着流星雨直播的日渐成熟，一些“类流星雨”天象的直播也在相继出现。“类流星雨”天象同样是前文提到的C类天象，需要观测者“守株待兔”。一个新的“类流星雨”直播题材是“红色精灵”现象。“红色精灵”本质是一种高层大气的瞬间放电，当对流层夜间出现雷暴云时，高空就有可能出现。2022年，我国第一次“红色精灵”直播成功。星空摄影师“Jeff的星空之旅”在7月27日晚对桂林星空直播过程中，成功捕捉到10余组“红色精灵”现象。随后，人民日报创建话题“桂林惊现红色精灵闪电”，直播视频被推上热搜，迅速被中国日报、环球时报、参考消息等众多媒体转发。截至8月2日中午，相关阅读次数达到2亿次，讨论数量达到上万条。值得注意的是，“红色精灵”现象出现时间极短，且形态各异，预报有相当的难度，此主题直播需要具有相当丰富的经验。

（四）直播模式的创新

5G所具有的高速率、低时延和广连接的特点，将对日后的天象直播产生重大影响。在5G时代，随着技术的进一步发展，“天象直播+”的模式即将成型。

1. “天象直播+人工智能”

未来的人工智能领域，数据和算法会得到

全方位的发展，在图像降噪和画质提升的同时，流星的快速识别、记录、回放等方面将有望得到加强并投入应用，观众不必再目不转睛地盯着屏幕，即便偶尔漏过流星，也可以利用人工智能算法实现补全，这将进一步提升观众的观看体验。

2. “天象直播 + 时域监测”

以往的直播中尚未实现多站点融合直播。随着流星监测站点增多，可以考虑对现有或在建站点的设备进行升级，达到高清彩色直播要求后利用人工智能技术进行数据融合。多站点融合最大的好处是可以进行天空的时域监测，将偶发火流星事件转化为直播内容。

3. “天象直播 + 高清”

随着前端采集技术的发展，视频画质的标准也在不断提高。对于手机端而言，目前流行的依然是 2K 视频，但 4K 和 8K 视频已经在大屏、投影以及球幕上形成了旺盛的需求。在 4G 时代，由于传输技术的影响，更高分辨率的视频无法进行直播。而在 5G 时代，待条件成熟时，更高画质、更高分辨率的天象直播即将向观众呈现。

4. “天象直播 + 大数据”

天象直播不单要从前端进行突破，在推广

方式上也应结合大数据分析精准送达受众人群。除了已经关注天文或天象直播的人群外，互联网上还存在大量相关人群，比如对天文摄影、气象、科技等有兴趣的人，往往也是潜在的天象直播受众群体。如何做到精准送达，应是平台软件利用大数据所做的后续工作。

五、结语

互联网革命既是机遇，更是挑战。新技术的快速发展带来直播行业的火爆，对科普报刊等传统纸媒来说，应在困境中拥抱变革，找到突破口，探索新的科学传播模式，进而撬动传统媒体创新。在线视频直播作为纸媒的延展和线上互动载体，助力传统媒体转型升级、完成蜕变，提高受众认可度^[6]。笔者所在的《中国国家天文》杂志，作为天文科学传播媒体平台的“国家队”，承担起了“聚焦技术开发与创新、实践全媒体融合战略、引领科学文化传播新业态”的行业职责，把握时代变化，突破纸媒的发展瓶颈，让纸媒搭上新媒体的快车道。未来，《中国国家天文》将在全媒体平台的框架下，继续进行科学传播模式和方式的创新性探索，进一步充分利用新技术，以促进天文科普更好发展。

参考文献

- [1] 中国科协关于印发《中国科协科普发展规划（2021—2025年）》的通知[EB/OL]. (2021-11-09) [2024-01-20]. https://www.cast.org.cn/xw/KXXTSHGG/syfgzh/art/2023/art_8410e629fbb44c0f9e6409e36a3837ca.html.
- [2] 王磊, 姚嵩. 上海天文馆一米望远镜天象直播平台搭建经验浅谈[J]. 科技传播, 2022, 14(12): 48-51, 59.
- [3] Joe Rao. 60 Years Ago: The World's 1st Televised Solar Eclipse[Space][EB/OL]. (2011-03-09) [2024-01-20]. <https://www.space.com/11074-solar-eclipse-televised-skywatching-history.html>.
- [4] ABE S, YANO H, EBIZUKA N, et al. First Results of High-Definition TV Spectroscopic Observations of the 1999 Leonid Meteor Shower[J]. Earth, Moon, and Planets, 1998(82): 369-377.
- [5] 刘志筠. 一次具有开创意义的多点现场直播报道——谈电视节目《日全食——彗星天象奇观》[J]. 电视研究, 1997(5): 6-7.
- [6] 吴海鸥. 5场手机直播, 观看人次超千万: 论传统媒体如何抢占直播风口[J]. 传播力研究, 2020, 4(9): 59-60.

(编辑 / 邹 贞 齐 钰)

Astrophotography Livestreaming as a New Model of Scientific Communication: A Case Study of Meteor Shower Popularization by *China National Astronomy*

Sun Yuanyuan¹ Zhang Chao¹ Li Shuqin²

(National Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)¹

(China Europe International Business School, Beijing 100193)²

Abstract: With the continuous advancement of astrophotography techniques and the rapid development of the Internet, astrophotography livestreaming has evolved and upgraded through exploration, becoming a popular science communication format among the public. This article reviews the historical development, technological progress, and live broadcast methods of astrophotography livestreaming at home and abroad. Taking the device innovation and broadcast practice of the meteor shower livestreaming of the *China National Astronomy* magazine team as an example, the article explores the feasibility and practical effects of carrying out astrophotography livestreaming popularization activities in China, and puts forward several prospects for the future development trend of astrophotography livestreaming.

Keywords: astrophotography livestreaming; scientific communication; celestial phenomena; meteor shower

CLC Numbers: G206; P111 **Document Code:** A **DOI:** 10.19957/j.cnki.kpczpl.2024.01.011

.....
(上接第7页)

众辨别真伪，避免伪科学或科学不当传播带来的危害。作为医学领域的权威专家，钟南山院士的科普言论具有极高的权威性和公信力。他通过自己的专业知识和经验，为公众提供权威的健康指导和建议。

健康科普应追求结果的有效性。高质量科普不仅要注重科学信息的传递过程，更要关注信息传递的结果。要以满足公众需求为核心，优化科普手段，改进科普策略，提高科普效果。钟南山院士在科普工作中，特别注意通过生动的案例和通俗易懂的语言，让公众更好地理解和应用科学知识。

健康科普要关注触达的精准性。钟南山院士

强调，不同的受众，有不同的知识水平和需求，高质量健康科普要关注到各群体的特点，采用易于理解和接受的方式进行差异化的科普宣传，努力为公众提供个性化的科普服务，促进优质科普内容精准触达目标人群。

健康科普要注重多元传播的立体性。新时代的健康科普要充分利用多种媒介和渠道，以新媒体传播技术为手段，以互联网平台为载体，构建多维立体的科普传播体系，实施全方位和多层次的科普服务。钟南山院士倡导多元化的科普方式，包括讲座、访谈、著作等多种形式，从“深”和“广”两方面发力，凸显科普的纵深推进和广泛覆盖，提高科普效果，让不同受众获益。

(编辑 / 邹 贞)