

煤矿高应力巷道冲击地压微地震监测技术应用

刘国磊^{1,3}, 曲效成^{2,3}

1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083
2. 中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院, 北京 100083
3. 中关村科技园区海淀园企业博士后科研工作站, 北京安科兴业科技有限公司工作分站, 北京 100083

摘要 针对山西某矿盘区大巷受应力集中影响处于高应力状态, 巷道支护困难, 多次出现片帮、底鼓、U型钢支架被推倒等动压现象, 受到冲击地压威胁, 将微地震监测技术应用于该大巷对其顶板岩层破断情况进行监测, 共安装2台分站和18个测点, 实现对该区域内冲击地压灾害进行监测预警。2014年2月1日至3月16日的监测结果表明, 监测区域内每日微震事件发生0~4次, 事件能量较小, 微震事件集中在2个区域, 与现场采掘活动密切相关, 因此应加强微震事件密集区的监控, 如果出现异常应立即采取停产卸压等应对措施。

关键词 巷道; 应力集中区; 冲击地压; 微地震监测

中图分类号 TD324

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.07.005

Application of burst microseismic monitoring technique in high stress roadway

LIU Guolei^{1,3}, QU Xiaocheng^{2,3}

1. Faculty of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China
2. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China
3. Beijing Ankexingye Technology Co., Ltd. Substation, Postdoctoral Workstation of the Zhongguancun Haidian Science Park, Beijing 100083, China

Abstract The panel roadway in a coal mine in Shanxi province was in high stress state by the influence of stress concentration with dynamic pressure phenomena appearing, such as supporting difficulty, spalling, floor heaving, U-steel support pushed and threatened by burst. Microseismic monitoring technology was used for monitoring the roadway roof strata breaking. Two sets of sub-stations and 18 measuring points were installed to monitor and warning the burst disasters. Monitoring results showed that microseismic events occurred 0-4 times per day in the monitoring area with less energy. The microseismic events were concentrated in two areas, and were closely related to the extractive activities. More attention should be taken to these areas, monitoring of densely populated areas with microseismic events should be strengthened, and measures should be taken immediately to cope with abnormal events.

Keywords roadway; stress concentration; burst; microseismic monitoring

冲击地压是世界范围内煤炭开采过程中危害最大的灾害之一, 煤岩体瞬间释放变形能, 煤岩体被抛出, 巷道堵塞, 并产生巨大的响声和岩体震动, 造成支架损坏, 设备损坏和人员伤亡, 伤害性大。冲击地压发生的根本原因是采矿活动

收稿日期: 2014-10-11; 修回日期: 2015-01-23

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51278488); 北京市博士后工作经费项目

作者简介: 刘国磊, 博士后, 研究方向为巷道支护、冲击地压和矿山压力与岩层控制等, 电子信箱: liuguolei2003@163.com

引用格式: 刘国磊, 曲效成. 煤矿高应力巷道冲击地压微地震监测技术应用[J]. 科技导报, 2015, 33(7): 34-38.

引起采场矿山压力重新分布,动态矿山压力作用于围岩并使其处于高应力环境,造成煤岩体内部的应力集中不断加剧与突然释放。近年来,随着煤炭开采深度的不断增加和开采范围的不断扩大,矿井采场及附近煤岩体应力水平不断增高且越来越复杂,使得越来越多的矿井开采时面临冲击地压等动力灾害威胁,冲击地压发生的频次和烈度也显著增大^[1-3]。因此,监测和预防冲击地压已成为煤炭资源开采过程中亟待解决的问题。

国内在煤矿冲击地压发生机理、监测预警和防治措施方面取得了一些研究成果,窦林名等^[1,2]利用电磁辐射技术对煤矿冲击地压进行了监测,煤岩体应力越高,电磁辐射信号越强,辐射频率越大。齐庆新等^[2]认为冲击地压是煤岩体受力时瞬间滑动失稳的现象,并提出“三因素”理论,其中内在因素和力源因素是冲击地压发生的主要原因。姜耀东等^[3,4]指出冲击地压是煤岩体系统变形过程中由稳定态能量积蓄向非稳定态能量释放的非线性动力现象,并与煤体内微裂纹的扩展及显微组分分布有关。潘一山等^[5]根据发生机理不同,将冲击地压分为煤体压缩型、顶板断裂型和断层错动型3类,分别分析了其发生机理并提出了对应的防治措施。夏永学等^[6]将冲击地压分为3个阶段:冲击启动阶段、能量传递阶段和冲击地压显现阶段,提出了冲击地压启动理论,并据此将冲击地压分为集中静载荷型和集中动载荷型。姜福兴等^[7-10]研发了冲击地压微地震监测技术,根据岩石破裂产生的微地震力学机理将其分为4类:高垂直应力、低侧压的压剪破坏(A类),高水平应力、低垂直应力的压剪破坏(B类),单层或组合岩层下沉过程中由弯矩产生的层内和层间剪切破坏(C类),拉张和剪切耦合作用产生的拉张和剪切破坏(D类),且指出微地震事件的能级、密度和可监测性为 $A > B > C > D$ 。并研制了冲击地压微地震监测系统,相对其他监测技术具有监测范围广、监测精度高、实时在线等优点。

微地震监测技术可有效监测煤岩体破断、移动等活动,其基本原理是利用专用设备所记录的煤岩体震动能量反推计算产生震动的方向、能量及震源位置,监测结果可用于分析上覆岩层活动规律和预测冲击地压。将该技术应用于高应力矿井,对于系统地研究在高应力环境下煤岩体冲击地压的微地震能量分布特征和顶板运动规律,探索高应力条件下冲击地压的发生机理和监测、预报、防治冲击地压具有重要的理论价值和实际意义。

1 微地震监测技术

微地震监测技术(microseismic monitoring technique, MS)是近年来从地震勘查行业演变发展的一项新技术,在采矿、土木、水利、隧道、边坡等领域均有应用。KJ551煤矿微地震监测系统基于MS研发,其基本原理是煤岩体在高应力作用下发生破裂和破坏,并产生微地震波,通过布置在破裂区周围的多组微震检波器可以实时采集和处理微震数据,根据多组检波器接收到的微震数据,利用微地震波在煤岩体中的传

播速度和接收时间差值可以确定煤岩体破裂发生的三维坐标和时间,并通过软件在三维空间上显示出来,如图1所示。系统采用分布-集中式架构、宽频域拾震传感器、瞬时同步技术和光纤传输模式,既能监测矿井范围内的大能量矿震,又可以监测工作面内的岩层破裂信号。安装在监测区域内的微震检波器接收到震动信号后转换成电信号并传输至井下微震监测分站,分站将电信号转换为光信号经光纤传输至微震监测主站,该光信号经由井下环网交换机传输至地面数据采集主机,再传输至数据存储及处理主机进行微地震事件的定位分析与展示^[7-10]。

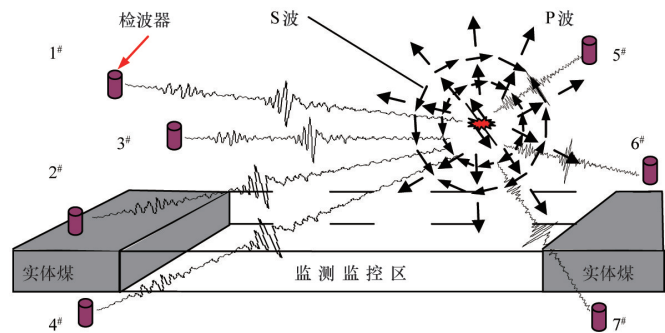


图1 微震监测岩体破裂示意

Fig. 1 Schematic diagram showing microseismic monitoring of rock burst

系统配备数据分析软件,能够监测井下微震事件并实现:1)实时、连续、自动采集微地震信号,记录并进行各种滤波处理;2)微地震事件自动备份;3)微地震事件自动定位;4)显示微地震事件的平面位置和剖面位置;5)手动拾取通道信息进行震源定位并可显示震源在图上的位置;6)微地震事件波形图保存;7)微地震监测系统参数设置和修改;8)地面操作分站、重启、停止等;9)结合Dinas软件,实现微地震事件多方位展示、统计分析、危险性评价。应用微地震监测系统数据分析与展示软件按时间显示微地震事件的平面图和剖面图,进而可以根据微震事件的分布特征分析工作面顶底板岩层断裂情况,为评价工作面冲击地压危险性、岩层破裂范围、工作面超前影响距离等提供可靠的科学依据。

2 工程地质条件及系统布置方案

山西省某矿目前开采14煤层,采用盘区式布置,14煤层与上层可采煤层11煤层间距4.3~17.1 m,14煤层埋深318~378 m,平均厚度1.7 m。14煤层307盘区大巷位于11煤层开采后工作面保护煤柱下方,受应力集中作用14煤层307盘区大巷高应力状态,支护困难,多次出现片帮、底鼓、U型钢支架推倒等动压现象,并多次受到冲击地压的威胁。为保证14煤层307盘区安全开采,引入微地震监测技术用于监测盘区大巷顶板岩层活动状态,以避免发生冲击地压事故。

该矿井开采区域广、工作面布置集中、工作面数量较多,为了同时满足既能够监测大能量的冲击地压、又能够监测小

能量的岩层破裂的需求,安装2台分站、18个检波器,结合实际工程地质条件对地压显现重点区域进行固定长期式监测。分站安装在盘区内行人较少出入和设备较少的地方,一侧通过光缆连接到井下环网交换机,另外一侧通过信号电缆连接井下固定点和移动点检波器。监测点布置如图2所示。沿14煤层307盘区轨道巷8704工作面开始,每间隔100 m布置1个测点,共布置10个测点,分别为1#~10#测点。在8706斜井中点处布置1个测点(11#测点),在307轨道巷与8706斜井交叉口处布置1个测点(12#测点),依次在307轨道巷间隔100 m布置13#~18#测点,共18个固定测点。连接1#~10#测点的1号分站和连接11#~18#号测点的2号分站均安装在8706斜井硐室内,主站安装在3号变电所内,通过光纤经回风副井连至监控室内。

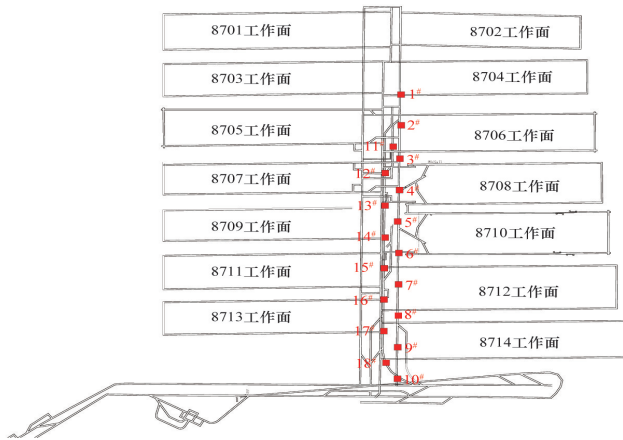


图2 14煤层307盘区微震监测方案布置

Fig. 2 Microseismic monitoring arrangement in panel 307 of coal seam 14

系统安装方案及步骤如下:

1) 检波器安装。在工作面前方50 m顺槽的顶板打孔安装直径20 mm的锚杆,检波器间距50 m,全长水泥锚固(树脂锚固0.5 m以上)保证锚杆的稳固性,端头不需安装托盘。将检波器用万向头固定在锚杆上,保证检波器安装方向为垂直向下,如图3所示。

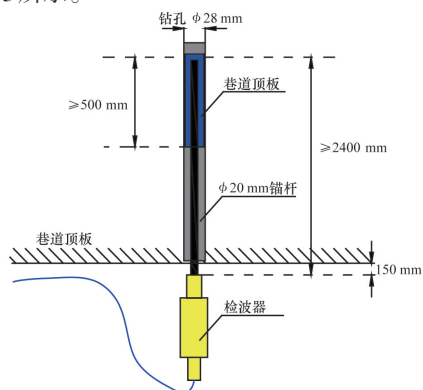


图3 检波器安装示意

Fig. 3 Detector installation diagram

2) 井下监测分站布置。井下主机布置在井下环网交换机旁,2个分站分别布置在监测采区。主机和分站安设过程中需轻拿轻放保证机箱内元器件不受人为损坏,将其就近接入稳定127 V综保电源。

从检波器到分站之间铺设通信电缆,自井下监测主机敷设至面前第一个检波器测点,电缆敷设过程中注意不可强力拖拽,以免破坏电缆,另外电缆敷设时在线路上应尽量避免大功率的电器设备,减少干扰。在井下主机和分站之间铺设光缆,将光缆敷设在井下主机与井下工业环网之间,两端各余10 m保证后期熔接需求。

3) 系统供电。井下监测分站需要127 V或660 V综保供电,接入UPS不间断电源,由UPS为分站进行24 h的不间断供电。

4) 信号传输。检波器采集到的振动信号以微电压的形式传输至井下监测分站,分站接入环网交换机,通过井下环网将采集到的数据传输至地面监控室。

5) 地面监控系统。地面部分包含1台微震监测主机,1台数据处理计算机。微震监测主机安置在地面调度指挥中心。将地面监控主机和数据处理主机布置在监测室,调试好监测软件及数据处理软件。监测主机需要与地面工业环网相连,用光缆或者网线将监控室主机与工业环网连通。

6) 接线和调试。将检波器连接到通信电缆,在分站内将电缆按通道分别接入正负端(自感式检波器不分正负极),信号电缆的屏蔽线要充分接地,避免在监测过程中受外界的干扰。在分站端把3芯光缆分别与时钟收发器、信号收发器、同步收发器的光纤熔接,将分站中的前两芯光缆分别与主机中的时钟收发器、信号收发器的光纤对熔,2个同步信号光缆进行对接。将主机中的信号收发器光纤与井下工业环网中的光缆熔接,把信号传输至地面监控主机。用就近127 V稳定综保电源对主机和2个分站进行供电调试,检测井下分站是否全部稳定运行,在系统稳定运行后敲击井下各个检波器查看整体线路是否通畅。

7) 测量坐标。对井下每个检波器连接的锚杆头坐标进行精确的测量(精确到小数点后两位),以保证定位分析的准确性。

8) 验校炮。通过放标定炮进行系统标定,即把起爆位置当成一个已知的点震源,然后进行反演分析,从而达到系统标定的目的。放炮点选择距离检波器100 m左右,在顺槽的顶板岩层中打孔,装设2~3 kg矿用炸药,在做好坐标和实践记录的情况下放炮。通过检波器收到的放炮信号对该矿区围岩中弹性波的传播速度进行精确分析,找到该围岩下波形的实际传播速度,将监测软件的波速设置为实测分析波速,再次实施标定炮,比较定位结果与真实坐标,重新对波速进行修正。

3 监测结果与分析

KJ551微震监测系统在2014年2月1日至3月16日共监

测到微震事件41个,微震事件在发生空间、时间、能量分布及变化趋势上所呈现的主要特点:在数据监测期间微震事件每天发生0~4次,从44 d监测数据上看,曲线相对平稳,没有明显增大或减少趋势,即监测区域正常情况下微震事件发生的平均频次为1次。本时间段内监测到的微震事件能量大部分

小于1000 J,仅现3次事件能量超过1000 J。将微震事件按坐标投影到采掘工程平面图上,如图4所示。将微震事件(用圆点表示)按坐标投影到工作面剖面图上,如图5所示。从图中可以看出事件主要分布在2条盘区大巷周边,集中分布在图中所圈示2个区域。

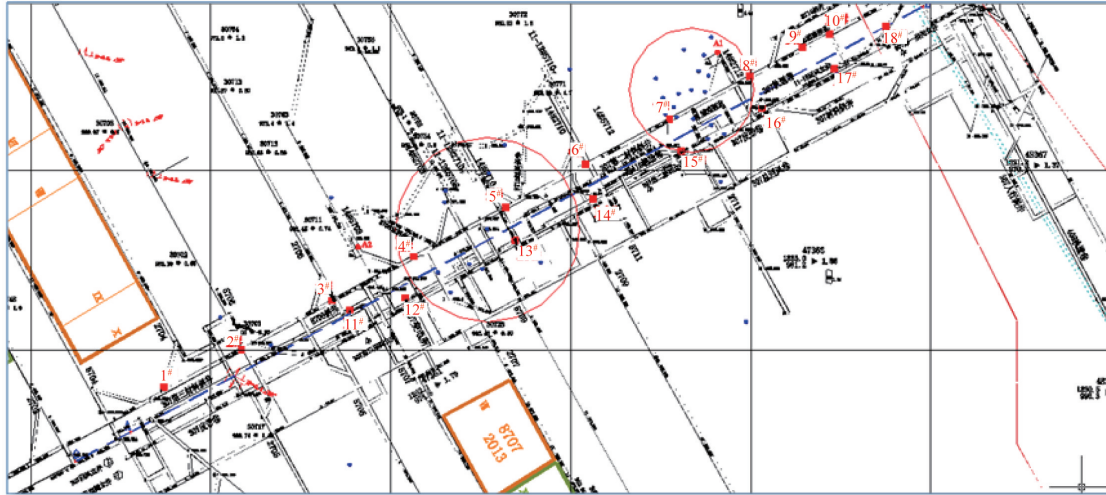


图4 微震事件分布平面

Fig. 4 Plane distribution of microseismic events

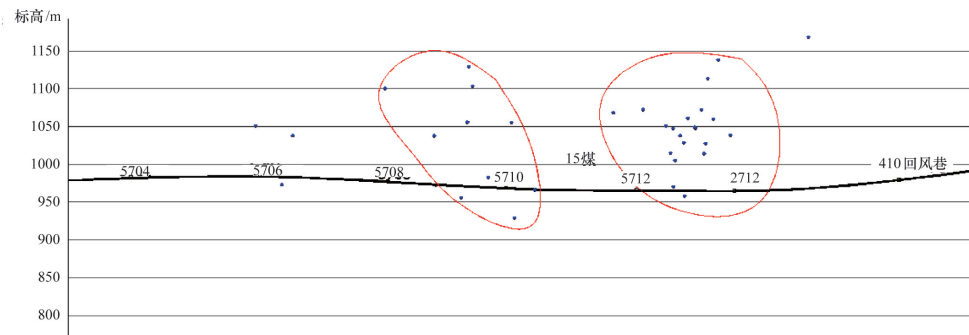


图5 微震事件分布剖面

Fig. 5 Sectional distribution of microseismic events

其中2个事件密集区分布范围:左侧标记处为5708、5710顺槽与307盘区轨道行、皮带巷交叉区域周边,和右侧标记处为5712、2712顺槽之间。根据矿上核实,左侧区域2条顺槽正在掘进,上层为采空区,事件多为掘进活动,及上层采空顶板后续活动引起。右侧区域,事件最多,分布密集,主要位于顶板100 m范围以内,但14煤层2712工作面未进行开采。14煤层2712工作面上层(11煤层,厚度5~8 m)煤柱正在回收,采动引起顶板破坏引起大量的微震事件,顶板破坏范围较大,现场地表已出现沉陷裂缝,煤柱回收过程中多次产生煤炮,并出现煤壁片帮现象。

根据上述分析,微震事件集中分布在2个区域,与现场采掘活动密切相关。应加强微震事件密集区的监控,若单日事件数量突增或出现大能量事件应该立即停产,并采取必要的卸压保护措施,消除威胁后方可再进行生产作业。

微地震监测预警技术在该矿井得到了成功运用,多次在生产作业过程中进行预警,采取针对性卸压措施后未出现冲击地压灾害,保证了矿井安全生产。

4 结论

1) 14煤层307盘区大巷支护困难,多次出现片帮、底鼓、U型钢支架被推倒等动压现象,多次受到冲击地压的威胁,主要原因是大巷位于11煤层开采后工作面保护煤柱下方,受应力集中作用,使得其巷道围岩处于高应力状态。

2) 在307盘区大巷周围安装由18个检波器、2台分站组成的微地震监测系统,监测其顶板活动状态。系统在2014年2月1日至3月16日共监测到微震事件41个,事件主要分布在2条盘区大巷周边并集中分布在两处,主要是由现场采掘活动造成的。

3) 矿井应加强微震事件密集区的监控,若单日事件数量突增或出现大能量事件应该立即停产,并采取必要的卸压保护措施,消除威胁后方可再进行生产作业。

参考文献 (References)

- [1] 窦林名, 何学秋. 冲击矿压防治理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
Dou Linming, He Xueqiu. Theory and technology of rock burst prevention [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2001.
- [2] 齐庆新, 窦林名. 冲击矿压理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
Qi Qingxin, Dou Linming. Theory and technology of rock burst[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2008.
- [3] 姜耀东, 赵毅鑫, 刘文岗, 等. 煤岩冲击动力失稳的机制和实验研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
Jiang Yaodong, Zhao Yixin, Liu Wengang, et al. Investigation on the mechanism of coal bumps and relating experiments[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [4] 姜耀东, 赵毅鑫, 何满潮, 等. 冲击地压机制的细观实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(5): 901-907.
Jiang Yaodong, Zhao Yixin, He Manchao, et al. Investigation on mechanism of coal mine bumps based on microscopic experiments[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(5): 901-907.
- [5] 潘一山, 赵扬锋, 官福海, 等. 矿震监测定位系统的研究及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(5): 1002-1011.
Pan Yishan, Zhao Yangfeng, Guan Fuhai, et al. Study on rockburst monitoring and orientation system and its application[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(5): 1002-1011.
- [6] 夏永学, 潘俊锋, 王元杰, 等. 基于高精度微震监测的煤岩破裂与应力分布特征研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(2): 239-243.
Xia Yongxue, Pan Junfeng, Wang Yuanjie, et al. Study of rule of surrounding rock failure and stress distribution based on high precision microseismic monitoring[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(2): 239-243.
- [7] 曲效成, 姜福兴, 于正兴, 等. 基于当量钻屑法的冲击地压监测预警技术研究及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(11): 2343-2351.
Qu Xiaocheng, Jiang Fuxing, Yu Zhengxing, et al. Rock burst monitoring and precaution technology based on equivalent drilling research and its applications[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(11): 2343-2351.
- [8] 姜福兴, 杨淑华, 成云海, 等. 煤矿冲击地压的微地震监测研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(5): 1511-1516.
Jiang Fuxing, Yang Shuhua, Cheng Yunhai, et al. A study on microseismic monitoring of rock burst in coal mine[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2006, 49(5): 1511-1516.
- [9] 姜福兴, 王存文, 杨淑华, 等. 冲击地压及煤与瓦斯突出和透水的微震监测技术[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(1): 26-28.
Jiang Fuxing, Wang Cunwen, Yang Shuhua, et al. Microseismic monitoring and measuring technology for pumping pressure, coal and gas outburst and water inrush[J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(1): 26-28.
- [10] 成云海, 姜福兴. 冲击地压矿井微地震监测试验与治理技术研究[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2011.
Cheng Yunhai, Jiang Fuxing. Rockburst microseismic monitoring test and control technology in coal mine[M]. Beijing: China Coal Industry Press, 2011.

(编辑 陈华姣)

·学术动态·



2015年科技活动周将于2015年5月16—24日举办

为深入实施创新驱动发展战略,大力普及科学知识、弘扬科学精神、提高全民科学素养,科学技术部、中共中央宣传部、中国科协决定于2015年5月16—24日举办主题为“创新创业 科技惠民”的2015年全国科技活动周。

2015年全国科技活动周将采用科技下乡、科技展览、科技咨询、科普讲座、科普电影、科普视频、科普讲解、科普摄影、科普乐园、科普游戏、科普节目、公众科学日、科技游园会、科普图书展览、科普产品博览、网络互动科普等多种方式,开展形式多样、生动活泼的科普活动。重点推出“众创空间”、“科技创意坊”、“全国科普讲解大赛”、“国际科普体验园”、“两岸四地科学乐园”、“少数民族科普驿站”等重大示范活动,继续举办好“科技列车行”、“科普使者进社区(农村、企业、军营)”、“未来工程师竞赛”、“流动科技馆基层行”、“全国优秀科普作品推介”、“全国科普微视频大赛”等品牌科普活动。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35488/16264990.html>。