

旷野中最亮的星——野外台站巡礼

这群科学家，让黄土不“土”

■本报记者 李媛

提到陕西洛川，人们首先会想到盛产的香甜可口甚至登上太空的苹果。独特的地理环境，造就了驰名中外的“洛川苹果”。人们还可能想到这里是“洛川会议”的召开地。抗战初期，中国共产党在这片黄土地上举行了政治局扩大会议，会议通过了著名的《抗日救国十大纲领》。

鲜为人知的是，在国际科学界，洛川还以另一种“身份”享有盛名。20世纪七八十年代，刘东生（1980年当选为中国科学院学部委员）、安芷生（1991年当选为中国科学院学部委员）发现，洛川黄土中完整记录了长达260万年的气候环境演变信息。

这一重大突破，使中国黄土与极地冰芯、深海沉积并列成为全球环境变化研究的三大支柱。自此，洛川黄土剖面声名鹊起，吸引着一批又一批国内外学者前来探秘。

从最初的地质勘察到建立国家地质公园，从建设黄土关键带综合观测研究站到升级为中国科学院黄土高原地球关键带与地表通量野外科学观测研究站……数十年间，一代代科学家在此接力深耕。

2021年，在位于陕西洛川黑木沟黄土剖面不远的土塬上，科技部正式批准了陕西黄土高原地球关键带国家野外科学观测研究站（以下简称黄土高原站）的建设与运行，标志着黄土高原站迈入了新的发展阶段。

2025年12月，《中国科学报》记者走进黄土高原站，与科研人员一同爬山下坡，体验他们日复一日在黄土深处探寻的科研日常。

寻根黄土，求解未来

采访第一站是黑木沟。这里的监测网络由人工钻探完成，以5米间距布设了95个长期观测点。通过原位监测土壤水分、温度等数据，科研人员试图摸清黄土高原地下水“走”的路径与通量。

“如此密集地收集水文数据，是因为对黄土高原而言，水是生命线，是一切生机的起点。”黄土高原站科研人员郭湘宇解释。

黄土高原是中华文明的摇篮，也一度成为我国乃至全球水土流失最严重、生态最脆弱的地区之一。如今，曾经的千沟万壑，已渐渐被绿意覆盖。通过持续推进一系列水土保持与生态修复措施，黄土高原实现了由“黄”到“绿”的历史性转变。

“把主站设在洛川，一方面是因为这里是典型的黄土区，前辈们在这里打下了扎实的黄土与第四纪地质研究基础；另一方面是对于退耕还林后的水文、生态、环境效应，还需要长期跟踪研究。”黄土高原站站长王云强介绍，他们的核心目标是搞清楚气候变化和人类活动如何共同影响水、土、气、生物与生态之间的循环过程，如何进行科学应对。

“我们要回答‘黄土高原有什么独特性’‘它的演变受什么驱动’‘未来将走向哪里’等问题。”安芷生向《中国科学报》介绍，探究这些问题的根本目的，是为了实现对地球系统的有序管理，通过科学合理的治理手段，使地球系统更好地服务于人类社会可持续发展。

沟底的小溪边设有“卡口站”，科研人员利用仪器持续监测径流中的泥沙含量，以计算黄土高原小流域对黄河输沙量的贡献。由于黄土结构疏松，滑坡和淤积时常发生，仪器常被泥沙堵塞，科研人员必须定期前往沟底清淤维护。

沿着沟道继续向前，一条溪流挡住去路。“桥又被冲毁了，咱们又要过独木桥了。”郭湘宇话音刚落，野外小队已熟练地踏上横在溪流上的树干，快速通过。

在洛川主站的黑木沟流域和庙寺川王家沟流域，科研人员布设了相同的监测系统。通过两地数据对比，他们试图揭示不同治理模式下小流域产沙规律、地下水连通性等差异。

负责王家沟监测的博士生刘满博，每年至少要进山采样60次。山里没有信号，他和同事常常清晨出发，从早8点到晚7点，不停地取样本、记数据。“从西安过来单程就要四五个小时，还要换好几次车，所以尽量抓紧时间把一周的工作完成。”他笑着说，“运气好的



科研人员前往黑木沟采样、检查设备的途中。李媛/摄



位于黑木沟黄土剖面不远的黄土高原站。朱献东/摄

时候，还能碰到野猪、野鸡‘陪’我们走一段。”

论证一个科学问题

距离洛川主站150公里之外，有一个叫顾屯的村子。十多年前，这里曾是延安“治沟造地”工程的集中示范区。这项工程简单地说，就是通过工程措施将千百年的荒沟填平，整治出崭新的耕地。

2011年，为了在巩固退耕还林成果的同时增加农民收入，延安市政府提出了这一创新举措。然而，质疑也随之而来，这样大规模改造地形、截弯取直河道，会不会引发新的生态水文问题？

为了回答这一问题，中国科学院在2014年启动了科技服务网络计划，将“治沟造地”的科学评估任务交给了中国科学院地球环境研究所（以下简称地球环境所）。

从2014年开始，安芷生、周卫健两位院士带领专家团队走访延安市197个项目区，并组织青年骨干金钊、宋怡等研究人员对其中71个项目区开展了深入调查。

一年后，专家组得出结论：尽管存在局部问题，但“治沟造地”工程总体上利大于弊，整体成效显著。

“短期结论有了，但我们仍然想知道，长期来看，这里会发生什么变化。”站在由顾屯村曾经的沟壑改造成的平地上，王云强向《中国科学报》回忆道。

最初，他们在顾屯村搭建起“治沟造地”与“未治沟造地”小流域的对比观测系统，布设了观测网络，持续监测水文、生态、泥沙等数据变化。

当时，团队只能住在附近甘谷驿镇的小旅馆，每天搭农民的三轮车摇摇晃晃进沟，早出晚归。直到2015年，地球环境所租下顾屯村一处废弃窑洞，稍加改造，才有了落脚点。

如今，顾屯观测区已成为黄土高原站的重要支撑。

建在野外的“未来气候实验室”

“地球环境所一直深耕古环境与生态演变研究。2006年，安芷生提出学科方向的‘三个转变’思想，强调‘贯通古今’的总体思路。怎么把过去和未来连起来，是我们建站之初首先要解决的根本性问题。”黄土高原站首任站长，地球环境所党委书记、所长孙有斌回忆道。

很快，团队找到了答案：通过模拟未来气候情景，让生态系统在控制试验中自己“开口”。

2020年，团队在顾屯观测区的典型刺槐林地，建起一座占地4000平方米的“未来气候实验室”——大型野外降水控制试验平台。

《中国科学报》记者在现场看到，用钢结构在林间搭建起的阳光板沿着山坡铺开开来，这里被科研人员分为3个区域的7种对比情景，即降水减少（30%、50%、65%）、降水增加（30%、50%、65%）和自然状态。

山坡上的刺槐林，因为不同降水“待遇”，长势已悄悄拉开了差距。

“我们就给大地做一次‘深层体检’。”王云强解释说，“从地表到地下18米，持续监测土壤水分变化，摸清降水、植被和地下水之间如何‘互动’。最终是想弄明白，长期降水变化到底怎么影响黄土高原的水循环与生态系统功能。”

“这里就是我们‘穿越古今’的实景舞台。”王云强补充道，“用今天搭建的未来场景，回答生态系统面对气候变化时会如何‘接招’”。

试验平台运行以来，团队已在国际期刊上发表了7项成果。

车沿着山路向上攀爬，在海拔最高处停下，这里有黄土高原站最深的地下观测点。

2017年，团队在这里布设30米深自动监测设备时曾发生意外，设备不慎掉入钻好的孔底。“当时我们只有地下5米的布设经验，30米深是第一次，但设备贵重，必须找回来。”博士后董永平说。

由于钻孔直径太小，团队只能在旁边另挖

3个30米深的竖井，最终完成安装。谁也没想到，这次意外竟“挖”出了一条新路。团队随后与南京大学教授施斌合作，引入光纤等多种技术，开展土壤水分同步监测和方法对比。

为什么要监测这么深？董永平解释，团队想突破黄土高原以刺槐为代表的植被根系最大生长深度，把整个根区“包”进去，弄清根系到底影响地下多深，深层土壤水分如何演变。

国家需要、地方需求

对顾屯村的村民来说，这群“从电视里走出来的科学家”，为村子带来了不一样的“科技风”。

以往，这里的农民靠天吃饭、凭经验种地。突然有一天，地头上有人问：土壤肥力怎么样？有机质含量高不高？微量元素够不够？地下水少不少？

他们不仅问，还免费帮村民检测、提出建议。2017年，村民郝振林第一次知道，原来土壤里的微生物和元素含量还会影响红薯的收成和口感。如今，他已与这群科研人员打成一片。“这些技术花钱都买不来，我家地种得比以前好太多了，农闲的时候俺还给他们帮忙哩。”郝振林告诉《中国科学报》。

在洛川县，黄土高原站在苹果地里、沟壑边沿采集的数据经分析后，也转化为当地产业增收、固沟保塬的科学建议。

“我们既要为国家需要的科研，也要回应地方的产业需求。”王云强说，“比如甘谷驿镇想发展红薯产业，我们就帮他们测土分析，提出土地管理建议。”

谈及未来发展，王云强有着清晰的目标：希望黄土高原站能切实解决黄土高原生态环境问题与高质量发展需求，成为地球关键带全球观测网络中的标杆性台站，在国际关键带科学网络中持续发出“中国声音”；在科学层面，要瞄准世界科技前沿，在地球关键带与全球变化领域形成有影响力的研究成果；在国家需求层面，要成为观测研究服务区域生态环境治理的“桥头堡”，发挥示范带动作用。

正是他们的坚守与追求，让黄土高原站以硬核科技与前沿视野，为这片土地赋予了全新内涵，真正让黄土不“土”。

隆冬时节，庙寺川王家沟一带的树木早已落尽了叶子。寂静山林间，几声鸟鸣清脆。“轰隆隆”的摩托声由远及近，刘满博和同事又进山了。车过处，黄土扬起，他们的背影逐渐模糊在尘烟里，消失在沟壑深处。

记者手记

在黄土高原，看见科研初心

从西安向北，车行约3小时，窗外的风景从楼宇渐次变成沟壑。伴随着被车轮扬起的漫天黄土，我们才真切地意识到，已经抵达了黄土高原腹地。

放下行李，我们带着采访设备跟随黄土高原站的科研人员下沟采样。面对近140米深、四五十度的土坡，科研人员却身体轻盈、步伐矫健，仿佛走在平地上。我们跟在后面，手脚并用。黑木沟这道坡，这群科研人员已经数不清走了多少遍，也练就了在陡坡上如履平地的“功夫”。

在顾屯观测区，我们看到了一座大型野外试验场。16吨钢材搭建的平台绵延4000平方米，模拟着7种未来降水情景，像是在给地球做气候预演。

试验场地远比图纸上的效果图更为壮观，也更能让人理解建设过程的艰难。

2020年科研人员终于在山坡上建起了大型野外降水控制试验平台。说到这里，黄土高原站站长王云强满是自豪，未来这座平台还将回答更多关于气候、水土与植被的科学问题。

采访时，记者注意到，黄土高原站副研究员张萍蹲在地上，用老式铝饭盒小心地取取钻孔里的土样。她正在研究的是土壤团聚体与微生物，那些看不见的生命如何响应降水变化，又如何串起

在王云强的同事和学生中流传着一个说法：他曾踏遍黄土高原，参与完成600多个土壤钻孔取样。

见到王云强时，《中国科学报》记者略感意外。这位陕西黄土高原地球关键带国家野外科学观测研究站站长身形清瘦，显得并不那么“强壮”。直到在黄土高原站顾屯观测区，看到他俯身、握杆、发力，动作娴熟地从5米深的地下连续提取出一管管土样，记者才对他的野外工作能力有了更直观的认识。

类似这样的钻孔取样，对王云强而言是日常工作的一部分。

这项看似依赖体力的工作，实际上更考验技术与经验。“得用巧劲，（如何取巧）需要长期实践积累。”王云强说。

执着：一步步完善的干层分布图

在王云强办公室的墙上，挂着一张《黄土高原土壤干层分布图》。这张图凝结了他长期开展野外采样的心血。

然而，野外采样不可避免地面临各种风险。据王云强回忆，有一次在山西一处郁郁葱葱的山坡草地上，他完成钻孔取样，在后脚时不慎踩空，掉进一个被雨水冲刷的隐蔽深洞里。“幸好当时反应比较快，及时用双臂撑住了洞沿。”事后回想，他仍感到后怕。类似的危险情况，他经历过数次。

但在当时，紧迫的工作往往占据主导。“最重要的是把基础数据做好，只有数据可靠，后续研究才能站得住。”他说。

2019年，黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家重大战略。王云强意识到系统开展流域尺度深层土壤水分研究的必要性，随即组织团队开展“黄河流域深层土壤水分观测与原位取样”工作。“地表植被变化比较直观，但地下水分过程是否同步变化，需要通过系统观测来回答。”他说。

在黄土高原大范围采样的基础上，团队进一步补充了黄河源区与下游关键点位，在两个月内完成了样点完善，最终获取了93个深层样点的土壤和水分数据，实现了对黄河流域的整体覆盖。

“采样期间，王老师始终强调数据质量，特别重视原位样品的可靠性。”团队成员、博士后董永平回忆道。在王云强的要求下，团队尽可能同步获取植被、立地条件及土地利用变化等信息，为后续分析提供更全面的支撑。

基于这些数据，团队已开展系列研究工作，相关成果陆续发表。研究初步揭示了黄河流域深层土壤水分的时空分布特征，发现部分植被恢复区存在深层干化加剧现象，并分析了土壤质地、植被与水文过程之间的关系，弥补了区域尺度深层土壤水文数据的不足。

王云强表示，这些研究成果具有一定的实践价值：一方面可为遥感等大尺度区域生态修复提供实测资料，指导因地制宜优化植被配置；另一方面，团队建立了可共享的黄河流域深层土壤参数数据库，为相关研究减少重复采样，提高效率提供基础支撑。

热爱：从“打游击”到“安家”

在很长一段时间里，王云强和团队的工作方式可以概括为“打游击”。

“背着设备到不同地点采样，完成后转再转移。这样的方式难以连续捕捉生态、水文过程的长期变化。”他说。

2012年，中国科学院地球环境研究所开始建设洛川黄土关键带观测站。尽管初期条件有限，但对王云强而言，这意味着野外观测逐步走向长期化、标准化与系统化。经过多年建设，观测站形成较为完善的观测、研究、示范和服务体系，2021年升级为国家野外科学观测研究站，并在2022年科技部评估中获得“优秀”。

“我们终于在野外有‘家’了。”他说，“有了固定观测平台，数据可以持续积累，研究也更有连续性。”

他经常带领团队在黄土高原的窑洞里开展工作，与学生一起进行钻孔取样和实验观测。团队成员郭湘宇说：“王老师会亲自示范操作过程，带着大家一起做。”

即便不忙的时候，王云强也经常前往野外

打000多个钻孔，他只为一张完整的生态水文图

■本报记者 李媛



王云强 朱献东/摄

站，与学生下沟上山采样，检查设备运行情况，或与当地农户交流生产实际。“很多科研问题，只有在一线才能发现。”他说。

未来：从认识过程到服务实践

当被问及对王云强的评价时，身边的人作出了不同侧面的描述。在学生赵亚丽眼中，他是妥妥的“打钻高手”，钻孔取样方面经验丰富；在同事张萍萍看来，他是站里的“大忙人”，工作节奏紧凑、事务繁多；而在妻子韩祥伟心里，他或许不那么顾家，却实实在在地“把两个人的科研梦想，变成了一个人在前方的坚守”。

这些评价，从不同角度反映了他长期扎根一线的工作状态。

站在顾屯观测区的试验场上，王云强谈到团队的发展方向正在发生变化。过去，团队更多集中在揭示机制，回答“是什么”和“为什么”，例如气候变化与植被、水分之间的关系，以及土壤干层的形成过程等；未来，将更加关注“如何应对”，即在认识规律的基础上提出可行的调控路径。

这一问题，直接关联人地关系耦合的现实需求。在黄土高原退耕还林还草工程实施多年后，如何在提升植被覆盖的同时避免深层土壤持续干化，提高生态系统的韧性，已成为亟待解决的关键问题。

“我们希望能提出更具操作性的方案，为实际管理提供参考。”王云强说。

受访期间，王云强正带领新入学的研究生在洛川主站和顾屯观测区熟悉场地。他希望这些年轻科研人员既能掌握仪器设备，也具备扎实的野外工作能力。

在黄土高原的沟壑间，科学从不是飘在空中的构想，而是落在每一锄土、每一组数据、每一次失败与小小的突破之中。这条路，王云强还在继续向前走。不过他并不孤单，身后是一群同样“会打钻”的年轻人。



科研人员在降水控制试验平台下采集土样。李媛/摄

水分循环、植被生长和碳循环过程。

因为遮阳板只有半米高，在这里工作只能半蹲着行走。张萍萍的羽绒服和手套沾满了泥土，她却毫不在意，专注地装土、编号、记录。同时，不忘提醒同事，“今天要抓紧时间打钻，趁太阳落山前得把这66个饭盒的土样带回窑洞。”

在黑木沟小流域的泥沙监测卡口，因为精密设备被淤泥遮挡，博士生刘满博毫不犹豫地用双手清洗，一点一点将淤泥捧出。最后，他还不忘用包裹的卫生纸把设备探头擦拭干净，而

他的双手和鞋子沾满了泥巴。

通过被洪水冲刷过的溪流时，采样小分队熟练地走过独木桥。“安老师、周老师那一带的科学家当年在黑木沟采样可比我们辛苦多了。”黄土高原站科研人员郭湘宇随口说道。

尽管观测区条件有限，寒冷的冬天也没有取暖设施，但午饭时间，大家围坐在窑洞小院里，吃着自己动手做的简单饭菜，就着馒头，聊着观测点位的趣闻，甚至争论着某个学术观点，每个人的脸上都洋溢着笑容。

我想，这大抵源自热爱。

采访期间，我多次听到一个故事。2024年10月初，年逾八旬的安芷生亲赴黄土高原站的每一个观测平台和设施，交流结束后说道：“以前我没见过你们在做什么，今天一看，我彻底放心了。”

郭湘宇和同事们转述这句话时，脸上洋溢着骄傲。“能得到安老师的认可，我们团队干劲更足了。”

车过洛川，经过一片片苹果园。司机说，这里的苹果之所以有名，是因为黄土高原特有的光照和温差。

科学大概也是如此。只有在特定的土壤里用特定的方式深耕，才能结出特有的果实。黄土无言。但有人，正在替它发声。