

锦屏地下实验室： 在2400米岩层下等待暗物质“造访”

实验室一期就建在锦屏山隧道中部。空间并不大，只有4000立方米，但填补了我国没有深地实验室的空白。经测定，锦屏地下实验室内的宇宙射线通量可以降到地面水平的千万分之一到亿分之一，是目前国际上宇宙射线通量最低的地下实验室，也是全球岩石覆盖厚度最深的地下实验室。



锦屏地下实验室大门 受访者供图

◎本报记者 张盖伦

就是这里了。中国四川，凉山彝族自治州，西昌市，锦屏山交通隧道中部。垂直岩石覆盖厚度达2400米的中国锦屏地下实验室内，科研人员在努力聆听暗物质粒子的絮语。科研人员早已发现，如果仅存在人们已知的物质，宇宙根本不应该是现在这副模样，一定有别的东西在起作用。从理论上来说，暗物质并不罕见。据估算，暗物质大约占据宇宙物质质量的85%。但是，它看不见、摸不着，几乎不和任何物体发生作用，是存在于模型中的理论推演。“谁能率先找到暗物质，谁就能在科学上走在前列。”清华大学工程物理系教授、国家重大科技基础设施副总指挥兼总工程师李元景说。

是工程奇迹，也是暗物质探测的绝佳选址

中国锦屏地下实验室的源起，其实带点戏剧性。电视上，这只是一条滚动而过的字幕新闻：2008年8月8日，两条各17.5公里的锦屏山交通隧道实现双洞贯通。那时，清华大学工程物理系团队，正在全国寻找深地实验室的合适地址。我们一直生活在宇宙射线的“背景音”中。不同粒子，发出不同声音，奏出宏大交响乐。但暗物质太特别。它高冷又娇羞，几乎不和任何物体发生作用，也几乎不发声。人们需要一个足够安静的环境，屏蔽掉一切我们已知的噪声，再造出足够灵敏的耳朵，才可能在暗物质粒子迎面而来时，听到它的低吟浅唱。所以，必须将一切推到极限。屏蔽宇宙射线的最佳方式，就是将实验室建在地下。找到暗物质，研究暗物质，将是人类认识的一次重大飞跃，可能引发一场新的物理学革命。寻找暗物质之旅从2003年开始。一个巧合是，也是在2003年，来自全国各地的近18000名水电开发者，来到人迹罕至的雅砻江锦屏大河湾，凿开了他们的战场，为锦屏一、二级水电站修建做准备。金沙江支流雅砻江奔流至木里、盐源、冕宁三县交界处，因被锦屏山阻隔，骤然掉头，拐向东北方，形成长达150公里的锦屏大河湾。锦屏一、二级电站，就分别选址在这一大

河湾东西两端。连接两座电站的锦屏山交通隧道，成为这浩大水利工程的两大动脉。清华大学的老师从新闻上看到了这个奇迹。他们敏锐地意识到，暗物质实验室的地址，有了！时任清华大学副校长的程建平教授领着团队，赶往四川，找负责锦屏水电站工程的二滩公司（现雅砻江流域水电开发有限公司，以下简称雅砻江公司），反复谈了多次。高校和企业间的这番跨界合作，还真成了。实验室一期就建在锦屏山隧道中部。空间并不大，只有4000立方米，但填补了我国没有深地实验室的空白。经测定，锦屏地下实验室内的宇宙射线通量可以降到地面水平的千万分之一到亿分之一，是目前国际上宇宙射线通量最低的地下实验室，也是全球岩石覆盖厚度最深的地下实验室。

跟所有细节“较劲”， 将一切推到极限

2010年，中国锦屏地下实验室正式运行。率先入驻的，是清华大学牵头的盘古计划（CDEX）高纯锗暗物质实验和上海交通大学牵头的熊猫计划（PandaX）液氩暗物质实验项目。两大项目，都是对暗物质进行直接探测，即测量暗物质粒子直接弹性碰撞普通物质引起的反冲核的数量和能量等数值。随着合作组对辐射本底的要求越发苛刻，高纯无氧铜也不能直接拿来就用。清华大学工程物理系副教授马豪说，材料只要在地面上，就会被宇宙射线撞击，产生新的“噪声”。于是，课题组要将高纯无氧铜送到地下实验室，将铜电解再重组，去掉那些宇生同位素。探测暗物质最核心的装置，就是高纯锗探测器。传统高纯锗探测器及其谱仪被广泛应用于基础研究、核监测、核应急、国土安全和放射性管理等领域。但要探测暗物质，对锗的纯度要求更高。千足金叫“999”金，意思是含金量千分数不小于999。而课题组需要的锗，其纯度要达到12至13个9。目前，国内还没有制备这种大质量高纯锗晶体的能力。不过，在十余年寻找暗物质过程中，研究团队已经攻克了探测器制造技术。现在，团队已能做出商业级别的高纯锗探测器，实现了成果转化。CDEX合作组的高纯锗探测器，就置身实验室白色聚乙烯伸缩门后。它身处重重保护之下：1米厚的聚乙烯材料，用来慢化和吸收中子；20厘米厚的铅层，

用来屏蔽外部伽马射线；20厘米厚的含硼聚乙烯，可以吸收热中子；20厘米厚的高纯无氧铜，则用来屏蔽外部铅和含硼聚乙烯的伽马射线。2013年，CDEX合作组发表了我国首个暗物质直接探测实验结果。2014年，给出点电极高纯锗暗物质探测方面国际最灵敏实验结果。值得一提的是，这一结果，利用相同探测技术，确定性地排除了美国CoGeNT实验组给出的暗物质存在区域。而PandaX的实验结果，曾入选2016年度《科技日报》十大科学进展和2017年度美国物理学会亮点。无人知晓暗物质粒子的真身。各个暗物质探测团队，其实都在画“排除线”。所谓排除线，意思就是，这一块区域我们已经找过了，没有，可以再去别处找找。排除线画得越多，暗物质可能的藏身空间就会被收缩得越小，寻找就能更加有的放矢。

二期扩建，向成为全球深地科学研究中心进发

暗物质实验取得的成果，推动了我国相关基础前沿领域迅速发展，也吸引了更多科研需求。原有的暗物质实验要升级，还有核天体物理实验、深地岩石力学实验、无中微子双贝塔衰变实验……中国科学家渴望着这样一个极深地实验室空间。4000立方米，显得越发捉襟见肘。2014年，清华大学和雅砻江公司继续合作，开挖锦屏地下实验室二期工程。做这样一个大工程，光有科学家团队是不行的。他们必须充分整合资源，找到靠谱的合作伙伴，协同前进。好在，锦屏地下实验室被列入国家重大科技基础设施“十三五”规划。它的正式名称，叫极深地极低辐射本底前沿物理实验设施。从实验室一期出来，往西端走上500米左右，就到了实验室二期。它由4条子隧道构成，总容积达30万立方米，被分成8个不同的主实验厅和其他公共区域。中国锦屏地下实验室主任程建平曾对科技日报记者打过比方：如果实验室一期是一套别墅的话，那么实验室二期就是一个小区。小区内，要容纳更多的实验团队和实验项目。但新的难题接踵而至。比如说，通风。二期实验空间从一期的4000立方米增加到了30万立方米，在理论计算和研讨以后，建设团队决定安装三根800毫米管径的聚乙烯材质的通风管道，从西端雅砻江畔的拦污坝平台经由排水洞输送新风到实验大厅，全长9

公里。但是自锦屏水电站发电之后，这条排水洞，实际上处于半废弃状态。洞内没有照明和通讯设备，有淤泥和涌水，有废弃的风机、龙门架、钢筋、混凝土残渣，还有多处深坑、围堰、涌水点和拦坝。2016年初，建设团队中的清华大学薛涛老师带领两位工程师，穿着连体防水服，带着对讲机、安全绳、救生衣、电筒和铁锹，进入排水洞勘察。3个小时，他们穿过淤泥，淌过流水，一点点摸清排水洞洞内情况，写成了排水洞勘察报告，为通风管道的修建，奠定了前期基础。现在，不同的科研团队，带着他们各自待解的谜题，等待进入扩建后的中国锦屏地下实验室。5月下旬，科技日报记者来到地下实验室二期B厅。在尚未完全建好的实验室内，上海交大牵头的PandaX合作组已经紧锣密鼓开始了工作。探测暗物质是国际竞争性项目，其他国家也在发力。这让科研人员不得不分秒必争。

PandaX实验升级后的4吨量级的液氩探测器正在紧张调试运行，等候暗物质的“造访”。“我们加班加点，但也踏踏实实。在保证安全的前提下，力争早出结果。”PandaX合作组一名研究人员向科技日报记者透露。“我们在不断地接近真相。”上海交通大学物理与天文学院助理研究员王舟说。不管是合作还是竞争，人类都在为拓展认知边界而努力。但在他们内心，还是存着为国争光的念头。“我们想在人类科学史上，留下属于中国人的一笔。”这位年轻的女科研人员说。CDEX的实验也会升级到百公斤级甚至吨级的高纯锗阵列探测器，将探测灵敏度再提升两个数量级。合作组的实验大厅中，近八层楼高的液氮罐已矗立在基坑内。罐内，将要放入1000个高纯锗探测器。“我们特别有信心，10年后，中国会有一个全球闻名的地下实验室。”李元景说得兴奋。他设想着，把锦屏地下实验室变成全球深地科学研究中心。到时，来自世界各地的科学家，从凉山西昌乘车一路向北，一路上，隧道连着隧道，高山夹着高山。约两个小时，当锦屏山隧道的入口展现眼前，他们也会下意识感慨：就是这里了。



扫一扫
直抵世界最深
地下实验室

李元景：希望给国家、 给人类留下一份资产

亲历者说

◎本报记者 张盖伦

2009年12月31日，清华大学工程物理系教授李元景接到在锦屏交通隧道内盯工程进度的清华大学教师易难的电话。对方告诉他，挖到头了，实验室的雏形有了。这是一份珍贵的新年礼物。“我们一直悬着的一颗心，终于能暂时放下了。”李元景回忆，从无到有的那一刻，最叫人激动。没有这个4000立方米的小小空间，就没有后面的一切。十年之前，锦屏地下实验室周边配套基础设施还没有今天这么完善。去盯工程、测岩石放射性本底的老师，就和工人同吃、同住。那时候，西昌的机场小得像个长途客运站。从北京过去，没有直飞飞机，必须经停成都。往往早上天不亮出门，晚上到天擦黑才能到地方安顿下来。



受访者供图

当年，施工队的工人跟易难开玩笑，说要是挖出了暗物质，能不能给他们一块。易难给他们科普什么是暗物质，来自四川的师傅们嘴一撇：这不就是“捉鬼”嘛。在李元景的设想里，锦屏地下实验室，应该成为一个开放的国际性实验平台。“很多宏伟的目标，不是我们这一代人能够实现的。我们希望给国家、给人类留下一份资产，让中国在一定时间段内，借助锦屏地下实验室这个平台，在深地科学上保持领先。”从发现锦屏，到建好锦屏地下实验室一期，再到启动二期建设……十余年来，团队遇到过挫折，遭到过不解，顶住了压力，克服了大大小小的困难。李元景总结，能走到今天，靠的是一支配合默契、敢打敢拼的队伍，靠的是坚持不懈，永不言败。“这是一个绝佳的机会，放弃了，可能就再也没有了。抓住了，中国的这个实验室，能在世界上留下名字。”做科技基础设施，还须久久为功。有些短平快的项目，很快就能出成果，就能有专利，甚至能赚钱。“做大科学设施，确实需要甘于寂寞、甘于奉献。突破性科学成果的出现，不可能一蹴而就，必须持续努力。”李元景说。暗物质究竟什么时候会被找到？没人能给出确定答案。李元景说，你永远不知道明天会发现什么，但现在，至少我们有了成功的可能。“这就是科研的魅力，每天都有不同，每天都可能有新的发现。”他期待看到中国锦屏地下实验室二期建成的样子。到时候，车辆驶入锦屏山隧道，映入来访者眼帘的，会是一个更加现代化、更加恢弘的实验室。科研人员在巍巍锦屏山内，向着深地科学前沿进发。“就像科幻电影一样，那会是个什么效果啊！”李元景比划着，眼里闪着光。

大事记

- 2009年5月8日 清华大学与雅砻江流域水电开发有限公司签署共建中国锦屏地下实验室战略合作协议，启动实验室建设
- 2010年12月12日 中国锦屏地下实验室正式投入使用，引发全球科学界瞩目
- 2014年8月1日 清华大学与雅砻江流域水电开发有限公司签订二期建设协议
- 2015年 实验室二期土建完成
- 2016年12月 极深地极低辐射本底前沿物理实验设施被列入“十三五”国家重大科技基础设施规划
- 2018年12月13日 国家发改委批复极深地极低辐射本底前沿物理实验设施项目可行性研究报告
- 2019年7月20日 国家重大科技基础设施极深地极低辐射本底前沿物理实验设施项目启动仪式在四川锦屏举行
- 2020年9月4日 清华大学与雅砻江流域水电开发有限公司签署第三轮战略合作协议，决定共同承担极深地极低辐射本底前沿物理实验设施项目建设
- 2020年12月20日 国家重大科技基础设施极深地极低辐射本底前沿物理实验设施项目正式开工建设
- (预计)2024年 国家重大科技基础设施极深地极低辐射本底前沿物理实验设施项目投入运行