



锦屏地下实验室二期,岩壁采用防水抑氦材料,图为工作人员正在检查岩壁。



锦屏地下实验室清华大学暗物质实验室。

# 在“地下城”里 他们追寻宇宙幽灵

在四川省凉山州木里县、盐源县与冕宁县交界处,有一条150公里长的雅砻江锦屏大河湾。因巍峨的锦屏山阻挡,雅砻江先北上后奔向东南,落差300多米,蕴藏了极其丰富的水能资源。

如今,在锦屏大河湾两端,矗立着两座世界级水电站——锦屏一级水电站,拥有世界第一高坝;锦屏二级水电站,拥有世界最大规模的水工隧洞群。连接两座电站、长17.5公里、最大埋深2525米的锦屏山隧道里,藏着世界最深最大的极深地下实验室——中国锦屏地下实验室。

10月,记者实地探访了这个神秘的地下实验室。

## “戏剧性”往事

从西昌市火车站驱车一路向北,在冕宁县漫水湾驶上锦屏水电站专用公路。这里人烟稀少,一路上碧水青山,雾霭笼罩。1个多小时后,车子一头扎进锦屏山隧道,七拐八绕穿过一个个洞穴后,在隧道中部,记者一行终于抵达锦屏地下实验室I期。

和想象中不太一样,这个神秘的“地下堡垒”看上去并不太科幻——靠近大门最外侧的房间,摆放着若干个液氮罐,这是为暗物质探测实验所用。穿过一道大门往里走,是各个研究团队在此布局的实验室,摆放着各类仪器。实验室最里侧,是清华大学牵头的中国暗物质实验(CDEX),在这里,我们碰到了锦屏地下实验室CDEX项目组实验员景明坤和清华大学工程物理系博士生粟鹏文。当天,他们正在进行材料本底的检测工作。

中国暗物质实验(CDEX)是锦屏地下实验室首批入驻的项目,而清华大学和锦屏地下实验室的渊源还要从2008年说起。

采访时,雅砻江公司锦屏地下实验室管理局局长李名川给记者聊起了这段“戏剧性”的往事:2008年8月8日,除了举世瞩目的北京奥运会开幕,远在祖国西南深处的锦屏山隧道也全线贯通。彼时,中央电视台播放了这一消息,清华大学工程物理系的一位老师得知锦屏山隧道岩石覆盖达2400米,兴奋不已:“这是暗物质实验的绝佳实验场所。”当即,清华大学与雅砻江公司取得联系,希望利用锦屏山隧道的绝佳条件建设实验室。

埋深,仅仅是建深地实验室的要素之一。李名川告诉记者,在锦屏地下实验室I期的选址和建设过程中,清华大学研究团队详细测量了锦屏山隧道中部的岩石放射性和宇宙线通量,确认了锦屏山隧道中部覆盖岩石是纯净的大理岩,该位置的宇宙线通量仅约为地面的亿分之一,“是非常理想的建设大型地下实验室的地方”。

锦屏山隧道地质条件极为复杂,在此基础上扩挖实验室,难度不言而喻。面对种种风险与挑战,雅砻江公司毅然决定支持国家基础科研,通过科学论证,依托已开挖的连接锦屏一级、二级水电站的锦屏山隧道,与清华大学共建中国锦屏地下实验室。

历经一年半时间建设,锦屏地下实验室I期于2010年12月正式投入使用。

## 捕获“宇宙幽灵”

锦屏地下实验室I期工程实验空间约4000立方米,主要包括地下实验室入口隧道、连接隧道和主实验厅三部分。为何要在如此深的地下进行暗物质研究?这要从暗物质本身说起。

通俗地讲,暗物质就是“看不见”的物质。这里的“看不见”,不仅仅是指肉眼看不见,还是使用各种探测设备和电磁手段观测都“看”不见。

那如何判断它们是否真实存在呢?李名川举了个例子:地球位于太阳系内,绕着太阳转;太阳系在银河系内,绕着银河系中心在转。按照现有的理论,可以推算出太阳系绕银河系运动的速度是160km/s,可实际上并非如此,科学家发现,这个速度达到了240km/s。“按照万有引力定律,实际值比理论值高出这么多,如果没有额外的引力,太阳系就会飞出银河系。”但又是什么提供了这种额外的引力呢?答案就是暗物质。

## 穿上重重“盔甲”守株待兔

按下按钮,一扇由聚乙烯材料制成的锯齿状大门缓缓推开,一个不算大的空间里,放置着各类仪器,电脑屏幕和各类仪器闪烁着荧光。最为核心的高纯锗探测器,则被包裹在层层“屏障”之下。

“要想探测暗物质,就需要为科学实验提供最‘纯净’的环境,2400米的岩层还远远不够。”景明坤介绍道,为进一步屏蔽掉宇宙射线,这里还为探测器“穿”上了重重“盔甲”。

除岩层外,这些“盔甲”还有4层:第一层,是1米厚的聚乙烯制成的墙体,用以屏蔽中子;第二层,是20厘米厚的铅块,用以屏蔽伽马射线;第三层,是20厘米厚的含硼聚乙烯,用以吸收热中子;第四层,则是10厘米厚的铜块,用于屏蔽外部铅和含硼聚乙烯的伽马射线。

“盔甲”之下,则是在低温液氮环境中直接探测暗物质的高纯锗探测器。

锦屏地下实验室主要采用两种探测手段探测暗物质,其中清华大学牵头的CDEX项目组采用高纯锗探测器进行探测,上海交通大学牵头的PandaX项目组采用液氙探测器进行

目前人类已知的物质仅占宇宙总量不到5%,剩余部分由暗物质和暗能量组成,其中暗物质占比达26.8%。暗物质不参与电磁波的相互作用,与光子的相互作用也很微弱,所以暗物质非常暗,几乎不发光。迄今为止,暗物质也一直是谜,抓取难度很大,世界上也没有人真正“捕捉”到它。正因为如此,暗物质也被称为“宇宙幽灵”。

李名川说,“在地球表面有大量的宇宙射线会干扰探测暗物质”,因此探测的第一步,就是把周围的干扰物质去掉。这些干扰物质包括宇宙线粒子、中子、伽马射线等。

值得一提的是,锦屏地下实验室虽说是一座“地下城”,但它不是真的在地下,而是在锦屏山当中,实验室上方的垂直岩石覆盖厚度达2400米。这2400米的岩层可以屏蔽大量的宇宙线粒子,这也是为何说这里是研究暗物质的绝佳场所的原因。

探测。“高纯锗探测器需要-196℃的工作环境,因此空间内将不断注入液氮。”景明坤说,高纯锗通过掺杂制成半导体探测器,加上电压,在其灵敏区域可以探测来自外界的辐射信号。当探测器将所探测到的信号全部记录下来之后,清华大学在北京后方的暗物质实验数据中心同步分析数据,开展相关研究。

自2010年锦屏地下实验室I期运行以来,首批进驻的CDEX、PandaX两个项目组已取得超30项国际领先的暗物质研究成果,使中国的暗物质研究水平在国际上从“跟跑”“并跑”一跃实现了“领跑”。

值得一提的是,锦屏地下实验室不仅针对暗物质进行研究。李名川告诉记者,目前,已有11个科研团队在锦屏地下实验室进行深地实验,除了进行暗物质探测研究的CDEX和PandaX项目组,这里还有中国原子能科学研究院JUNA、四川大学华西医院DeUFO、四川大学GeoDEX、中科院武汉岩土所等科研团队,囊括太阳中微子、无中微子双贝塔衰变、核天体物理研究、深地医学、深地岩石力学等前沿基础科学研究。

## II期将全面投入运行

随着突破性成果不断涌现,对实验空间的需求也越来越大。2014年,锦屏地下实验室正式启动扩建计划。

“2024年,锦屏地下实验室II期将全面投入运行,从I期到II期,锦屏地下实验室也将由‘自建房’变为一个‘社区’。”李名川介绍,II期项目将形成4厅8室的整体格局,锦屏地下实验室的可用空间也将由之前的4000立方米增加到330000立方米,扩大近83倍,是国际上空间最大、埋深最深、宇宙线通量最少、辐射本底最低、综合条件最好的深地实验室。

除了量变,II期还将迎来质的飞跃。李名川表示,在深地环境条件下,锦屏山岩体能够隔绝大部分宇宙辐射,但岩体会释放放射性氦气,会对科学实验本底造成影响,为此建设团队创新性地在岩壁上做了一个10厘米的结构,将整个实验空间包裹起来,就像给实验室做了一个“鸡蛋壳”。这10厘米的结构由10层材料组成,形成的壳体面积共约11万平方米,这就是“防水抑氦”工程。

此外,实验室还通过一系列极深地下极低辐射本底屏蔽装置来实现更低的辐射本底要求,聚乙烯屏蔽舱建设就是保障建设最“纯净”实验室的关键一环。据介绍,该聚乙烯屏蔽舱舱体长51.9米、宽9.78米、高7.9米,厚度均为1米,主要采用厚度为100毫米的高密度聚乙烯板无粘接铺装组成,总用量约为1850立方米、重1800多吨,是全球最大的聚乙烯屏蔽舱。

如今,清华大学、上海交通大学等国内高校研究团队,依托锦屏地下实验室向探寻暗物质发起挑战。“未来,该实验室将持续吸引国内外顶级科学团队入驻,形成暗物质、核天体物理、中微子、深地医学等多学科交叉的世界级开放共享实验平台,成为全球深地科学研究的‘圣地’。”李名川表示。

## 冬暖夏凉,光纤、网络全覆盖

作为清华大学工程物理系助理研究员,杨丽桃从读博士开始就从事暗物质探测研究工作。他告诉记者,在锦屏地下实验室建成之前,深地实验室仅在发达国家有建,清华大学等国内科研院所只能“漂洋过海”租用国外的深地实验室进行暗物质研究。

尽管外人看来,在地处崇山峻岭中的锦屏地下实验室做研究非常枯燥,但在杨丽桃眼里,这里就像一个“世外桃源”：“安静、风景好、无人打扰。”

事实上,相比国外的深地实验室,锦屏地下实验室条件已相当优越。杨丽桃说,国际上的深地实验室一般分为两类:一类是像锦屏地下实验室这种隧道型的,一类是矿井。前者有交通隧道,驱车就可进入。而后者,如果遇到还在挖的矿井,实验人员往往会和矿工存在交叉施工的问题,不仅进入实验室要耗费相当长的时间,一些大型设备只能拆解后才能运输进去。“此外,雅砻江公司给我们提供了非常好的管理保障,在实验室不远的营地里,不止有宿舍、食堂,还有健身房、会议室等。”而且实验室四季恒温,冬暖夏凉,且光纤、网络全覆盖。“这里唯一与地面实验室不同的是没有窗户,感受不到刮风下雨,分不清白天黑夜。”

杨丽桃告诉记者,此前,探测暗物质的核心装置——高纯锗探测器长期依赖进口。后来,清华大学研究团队研发出了我国第一台500克级高纯锗探测器。自此,高纯锗探测器的研发驶入“快车道”,1公斤级、1.5公斤级也陆续问世。“我们的高纯锗探测器是全球直接观测暗物质灵敏度最高的探测器之一,在寻找暗物质这条赛道上,中国是走在最前列的国家之一。”

据《成都商报》