

江门中微子实验探测器主体建设完成,浙企提供关键部件 守护捕捉“幽灵粒子”的“眼睛”



工人在安装江门中微子实验中8层探测器上的光电倍增管(摄于10月10日)。(新华社记者 金成摄)

本报海盐11月20日电(记者王雨红 宋彬彬 王志杰 顾周峰 通讯员王振华)浙江民企主动攻关,拿下国内外科研路上的“拦路虎”!20日,地下700米深处的“国之重器”,位于广东的江门中微子实验探测器主体建成。此前,探测中微子的核心部件——2万多只20英寸光电倍增管的有机玻璃保护罩研发难题,让国内外很多科研机构和大企业束手无策,最终被浙江海盐的浙江华特新材料科技有限公司攻克。“这些保护罩将对江门中微子实验长期安全运行起到关键作用。”中国科学院院士王贻芳一语道破其中奥秘。

中微子是构成世界的基本粒子之一,以接近光速的速度运动,几乎不与任何东西发生反应,有“幽灵粒子”之称,极难探测,仍有许多未解之谜。研究中微子对认识宇宙的起源和演化具有重要意义,是物理学界最前沿的研究项目之一,也是当今大国间比拼科技硬实力的竞技场。江门中微子实验是由中科院和广东省共同建设的大科学装置,计划于2025年8月正式投运,届时将成为国际中微子研究的三大中心之一。

光电倍增管好比中微子探测器的“眼睛”,用于捕捉中微子信号。20多年前,日本超级神冈中微子实验因光电倍增管没有保护措施发生殉爆,导致整个实验停滞。

为此,江门中微子实验2013年立项之初,就将光电倍增管保护罩纳入关键技术攻关项目,为

“眼睛”配备防护“眼罩”。

可保护罩研发迟迟未果,实验一度卡壳。2018年,中科院面向全国招标,主攻声屏障产品的华特中标。

当时交给华特的,只有一张图纸,写着几组数据和采购数量。在中科院高能物理研究所帮助下,华特专门组建项目研发小组,公司核心研发团队和技术骨干全部参与,仅模具研发就用了半年多时间。为全力攻关,公司不惜拒绝了某著名车企一个1500万元的订单。

2020年6月,经过上百次测试后,华特研发的有机玻璃保护罩成功通过验收,透光率等几个关键指标均突破目前世界上相关工艺的极限。

“没有这些保护罩,江门中微子实验不可能完成。”意大利国家核物理研究院总工程师·隆巴尔迪说。

“这是中国民企在重大核心技术攻关中的担当,也是中国科研能力的一大进步。”王贻芳说,华特的技术突破和前瞻性眼光,也为国内外其他中微子实验的顺利推进积累宝贵经验。

华特董事长殷根华坦言,做这些保护罩没有利润,“但做企业不能只为了赚钱,要把眼光放长远。这一单‘亏本生意’,大大提升了企业的研发实力和声誉,失去的千万级订单最近回来了好几个。为国家作贡献的同时,企业自身也抓住了发展良机,未来大有希望,也大有可为!”

延伸阅读

浙江民企如何成为国之重器的铸盾人

本报记者 王雨红 宋彬彬 王志杰

江门中微子实验使用的2万多只20英寸光电倍增管,就如同探测中微子的“眼睛”。浙江民企为这些“眼睛”打造的有机玻璃保护罩,为何成为江门中微子

数万只“大眼睛”期待守护

江门中微子实验的地上建筑群仿若白色的珍珠,镶嵌在青山之中。在一旁的竖井口乘坐罐笼向下,5分钟左右就能来到地下700米深处的实验大厅。

走入实验大厅,首先映入眼帘的是一个直径35.4米的中空透明有机玻璃球,位于44米深的圆柱形水池中央。

江门中微子实验项目现场安装经理、中国科学院高能物理研究所正高级工程师秦中华介绍,这是江门中微子实验的核心探测设备——中心探测器。

探测器最外层是直径41.1米的球状不锈钢网壳,网壳上安装着2万个20英寸光电倍增管和2.5万个3英寸光电倍增管。这些外形如同大灯泡一样的光电倍增管有着金色的玻璃外壳,就像一双双明亮的眼睛,凝视着网壳中间的有机玻璃球。有机玻璃球安装在网壳向中心伸出的支撑杆上,像水晶球一般晶莹剔透。

秦中华说,有机玻璃球中将灌入2万吨液体闪烁体,这将成为世界上体积最大、能量测量精度最高的液体闪烁体。有机玻璃球外侧,则会灌注3.5万吨超纯水,用来屏蔽来自实验室周围山体的辐射。

进入液闪的中微子,会有极少量与其发生反应,产生一个大约含有几万个光子的微弱闪光。这道肉眼无法看到的微光,将被周围数万个光电倍增管捕捉、转换成电信号,从而获得所需的相关数据。

而光电倍增管就是探测中微子的“眼睛”,它们浸泡在40多米深的超纯水中,要承受将近5个大气压的压力。20英寸的光电倍增管直径约60厘米,内部为真空,在高压环境中容易发生内爆的风险。如果没有保护措施,一旦某个光电倍增管发生内爆,就会在超纯水中产生强烈的冲击波,从而引发连锁反应,造成周围的光电倍增管殉爆。

在700米的地下仰望星空

“江门中微子实验将于明年8月开始正式取数,每天大约能捕捉到47个中微子产生的闪光。我们第一阶段的实验主要目的是测定中微子的质量顺序。第二阶段我们还将进行中微子双β衰变实验,回答中微子是否为自身反粒子这一重大科学问题。”秦中华说,这将使中国在中微子研究领域的国际领先地位得到进一步巩固。

在全球中微子研究领域,中国、美国、日本三足鼎立。目前,除了中国的江门中微子实验,还有两个新一代的中微子实验正在建设,分别是日本的顶级神冈中微子实验和美国的深地中微子实验。从投入运行时间来看,江门中微子实验将早于日本3年、美国6年。

研究设施越早投入运行,就能越早得出成果,这对于科学家的意义不言而喻。“在理论物理研究上,科学是无国界的。但科研采用的技术是有国界的。”秦中华说。

除了有机玻璃保护罩,江门中微子实验有更多鲜为人知的细节。

比如实验的选址。为了屏蔽宇宙射线的干扰,实验装置需要安装在700米的地下。中微子实验选择江门,是因为这里距离广东阳江和台山两个核电站约53公里。核电站的反应堆能为实验提供充足的中微子来源,而53公里是测量反应堆中微子质量顺序的最佳距离。这就要求科研人员在南方地质条件复杂的山体中挖出一个700米深的地下实验室,解决超大规模洞室围岩变形控制、富水条件下安全高效施工等世界级工程难题。

比如安放液体闪烁体的有机玻璃球。这个玻璃球由263块12厘米厚的面板粘接而成,重约600吨,是世界最大的单体有机玻璃球。等比换算来看,厚度比鸡蛋壳还薄,却要承担住内部的液体闪烁体和外部的超纯水因密度不同带来的巨大浮力。

再比如光电倍增管。大尺寸光电倍增管曾被日本一家公司垄断,最高时售价5000美元一个。2018年,中国科学院高能物理研究所牵头联合北方联合、中国科学院西安光学精密机械研究所等单位攻克技术难题,实现20英寸光电倍增管国产化,打破国外垄断,并且做到探测效率为世界最高……

“中微子研究有助于我们破解宇宙的秘密。我们常说,我们是在700米的地下仰望星空。”秦中华说。

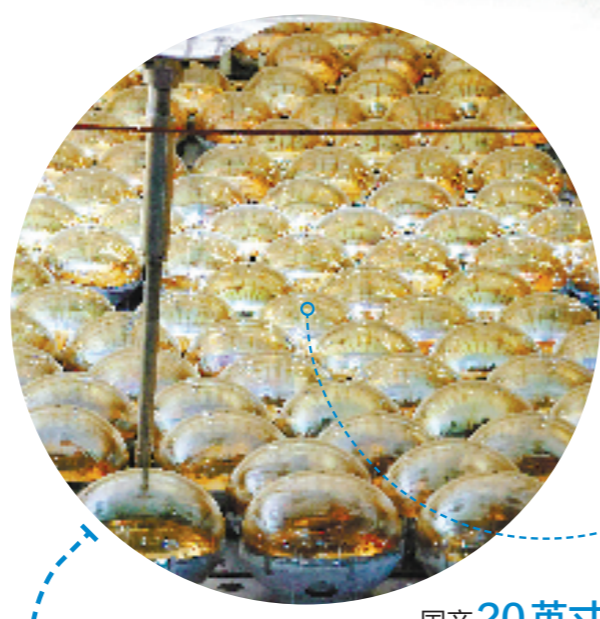
截至目前,全球共有四次诺贝尔物理学奖颁给了与中微子相关的研究。我们期待,江门中微子实验,那些在地下700米仰望星空的眼睛,能够在浙江民企研究成果的保护下,早日看到更多宇宙的奥秘。

实验建成和顺利运行的关键安全保障?近日,记者赴广东省江门市开平市,探访这个位于地下700米深处,目前世界最大、最灵敏的中微子探测器。

“江门中微子实验光电倍增管之间的间距只有2厘米,如果发生内爆,所有光电倍增管都难以幸免。”秦中华说。

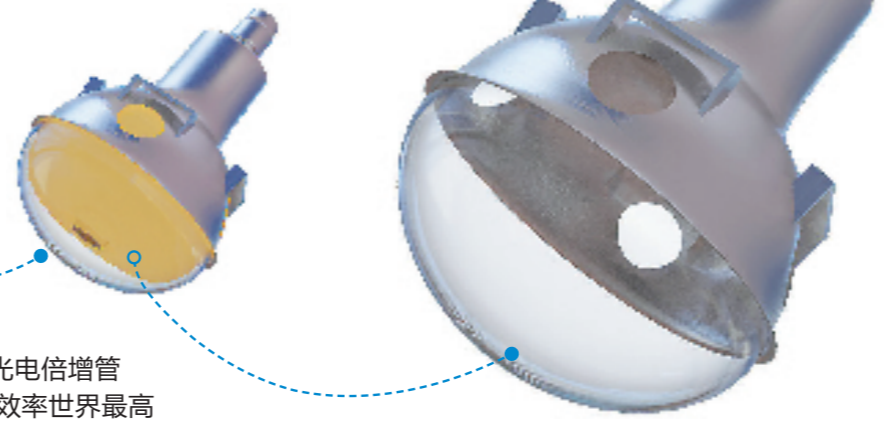
如何让光电倍增管在40多米深的水中安全工作30年,一度成为整个实验面临的工程难点之一。解决的方法,是为每个光电倍增管装一个透明保护罩。一旦某个光电倍增管发生爆炸,保护罩可以限制冲击波的强度和范围,从而保护其他光电倍增管不受影响。

江门中微子实验于2013年立项之初,就将光电倍增管的保护罩纳入关键技术攻关项目。然而,看似简单的保护罩,对成品的强度、透光率、收缩率以及加工误差都有着极高的要求,相关研发一直未果。直到2020年6月,浙江华特新材料科技有限公司研发的有机玻璃保护罩成功通过验收,最终拿下这只江门中微子实验的“拦路虎”。



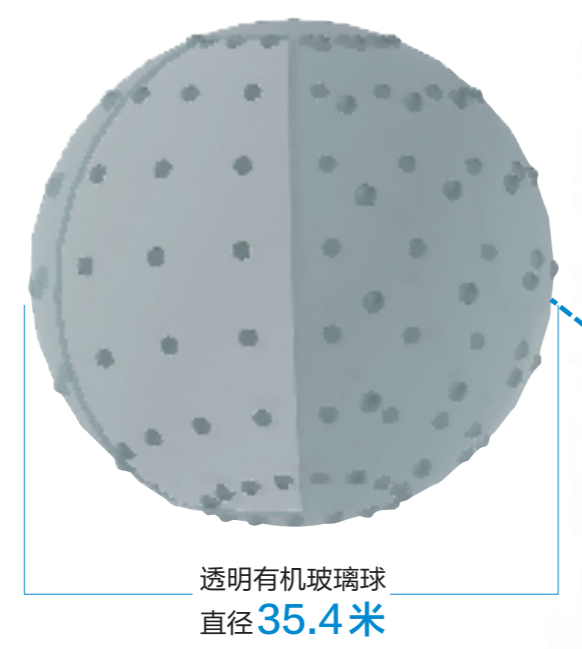
国产20英寸光电倍增管
打破国外垄断,探测效率世界最高

光电倍增管保护罩
透光率达91.2%
可承受5个大气压

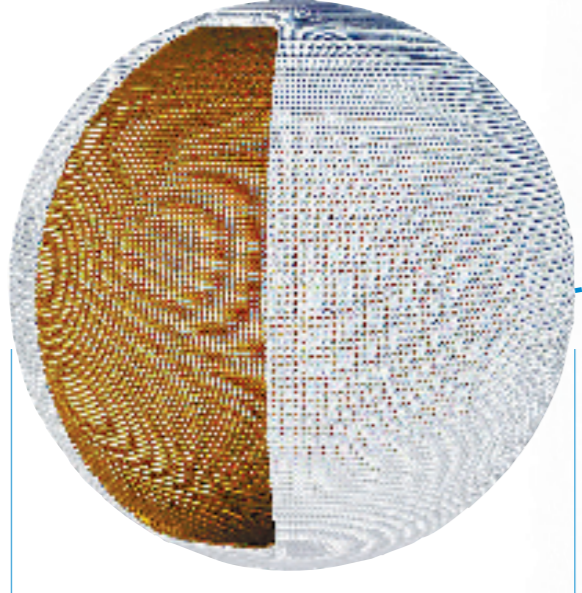


江门中微子实验地面建筑示意图

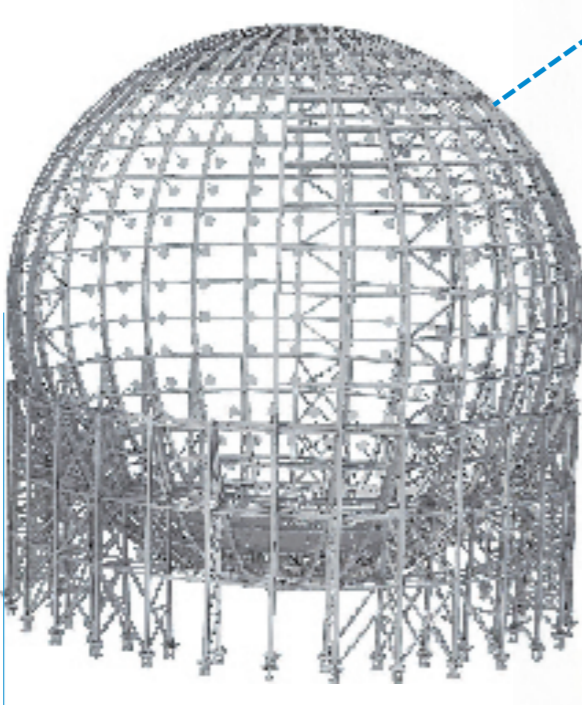
江门中微子实验所在地示意图



透明有机玻璃球
直径35.4米



20英寸和3英寸光电倍增管
紧密安装在不锈钢网壳上
总光学覆盖率达77.9%



球状不锈钢网壳
直径41.1米

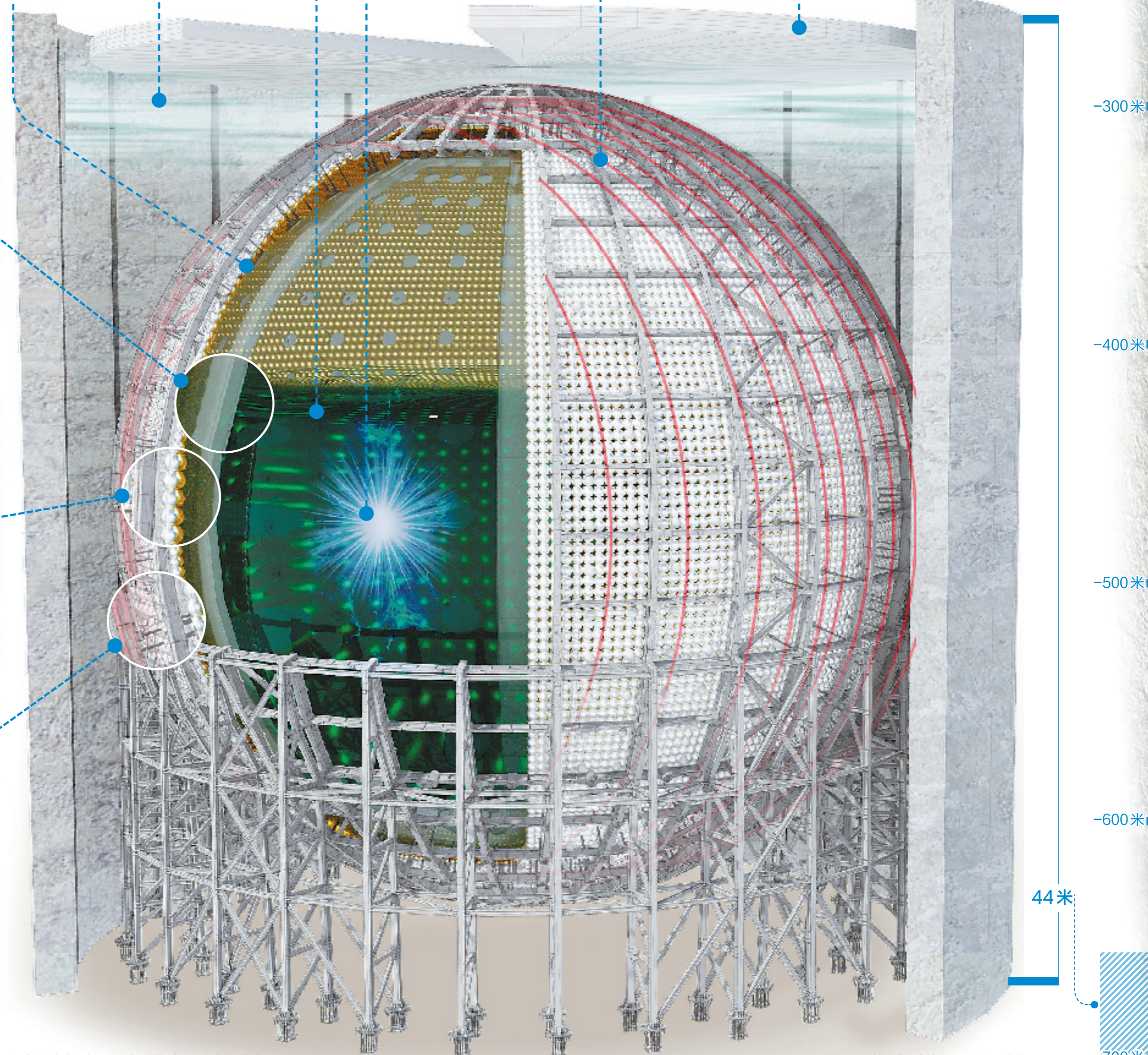
3.5万吨超纯水,用于屏蔽来自周围山体的辐射

2万吨液体闪烁体,用于与中微子发生反应

进入液体闪烁体的中微子,会有极少量与其发生反应,产生一个大约含有几万个光子的微弱闪光

地磁屏蔽线圈,通过人工制造一个反向的磁场来抵消地球磁场的影响

Muon径迹探测器,检测并记录被700米山体屏蔽后剩余的宇宙射线,排除中微子探测结果中的干扰



江门中微子实验探测器主体示意图 数据来源:江门中微子实验

制图 龚子皓 金晓军 陈仰东 吴雄伟