

天方夜谭么？高能物理如何帮助解决水资源的短缺

小溪

一篇来自欧洲核子研究中心(CERN)的报道,题为“高能物理如何帮助解决水资源的短缺”,介绍的是专用在大型强子对撞机(LHC) CMS 探测器上的先进的光纤传感技术在干旱的黎巴嫩有了优化灌溉的新用途。是否有点“天方夜谭”?高大上的高能物理前沿技术与干旱的黎巴嫩挂上了钩,这可能么?

一、CMS 的温湿度监测

CMS 是 LHC 上的大型粒子探测器之一,曾为 LHC 捕捉到“上帝粒子”——希格斯玻色子立下了汗马功劳。CMS 的规模绝对超过一般人的想象(长 21.6 米,直径 15 米,总重量约 14000 吨,约合 465 架波音 737)。CMS 从中心向外,由硅径迹室、电磁量能器、强子量能器、超导线圈、缪子探测器等子探测器组成,结构极为复杂。CMS 国际合作组由 40 多个国家约 200 个研究所/大学的 4000 多名科学家、工程师、技术人员及学生组成。基于 CERN 对国际合作组成员开放获取的承诺,CMS 的相关技术与科学

成果由合作者共享,而 CMS 收集的数据通过 LHC 的全球计算网格与几个计算中心共享,然后再分发给 40 多个国家的科学家进行物理分析。

从 CMS 探测器一个扇区的剖面示意图可以看出各子探测器的分布以及不同类型粒子通过和到达不同子探测器的状况。探测器由一层层不同的材料组成,它们分别利用粒子的不同特性来捕捉和测量每一个通过探测器的粒子的能量和动量。LHC 运行时,CMS 处于强磁场以及强辐射环境下,工作条件极为复杂,稍有变化就有可能影响探测器的性能。为了便于及时发现问题保证实验的顺利进行,需要追踪探测器整体,特别是对位于探测器

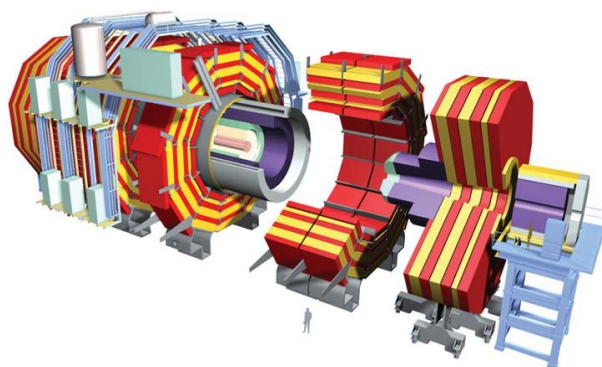


图2 CMS探测器示意图(图片来自网络)

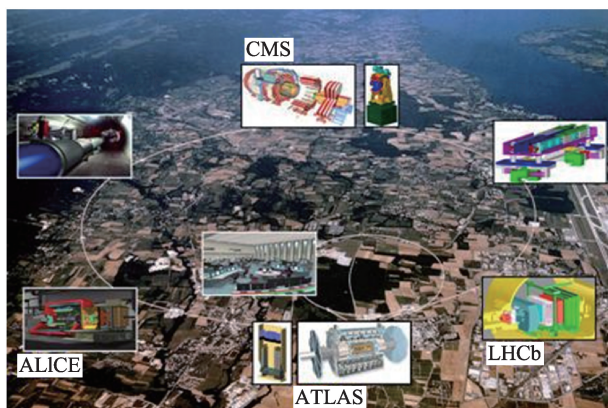


图1 LHC上大型探测器分布示意图(图片来自网络)

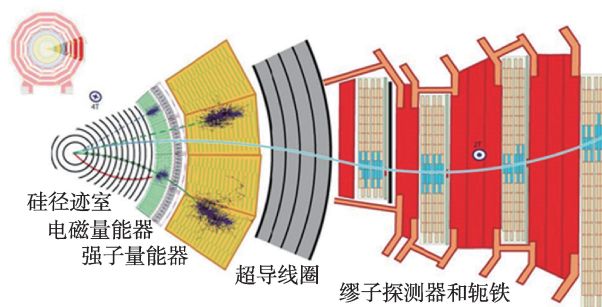


图3 CMS探测器一个扇区的剖面示意图(图片来自网络)

轴线中心位置具有较高灵敏度的硅径迹室的温度及湿度需要进行实时追踪。这是因为无论是温度还是湿度,只要有突然的变化就预示探测器可能存在问题。由于CMS中已经安装了大量的探测元件和电缆,完全没有空间进一步安装传统的温湿度监测系统。而且,在LHC运行过程中,因强磁场和强辐射影响,传统的温湿度电子传感器件无法发挥良好的功能。

CMS合作组采用了一种被称为“光纤布拉格光栅”(FBG)的传感技术方案,即在纤细的光纤芯(典型的光纤芯直径约8微米,外包层直径约125微米)上再设法用激光蚀刻上极为细小的镜子,形成周期性的作为波长选择镜微结构的“布拉格光栅”。当入射光进入光纤与光纤布拉格光栅相遇,部分光以特定波长(由光纤光栅参数决定)被反射回去,其余的光通过光纤。传感器接收到反射光的信息由数据采集系统(DAQ)转换成电信号供分析。布拉格光栅一般用于温度传感,温度的上升或下降将分别导致光纤材料的膨胀或收缩,对光栅细小镜子之间的距离产生影响,这种变化可由数据采集读出系统提供的数据显示出反射光波长的变化,即可了解传感器周围温度的精确变化数据。

温度变化的监测有了解决手段,如何解决湿度变化的监测呢?CMS合作组成员,意大利萨尼奥大学和那不勒斯大学的科学家们专门为CMS研发了一种新型光纤材料。这种材料对湿度十分敏感,不同的湿度下材料的膨胀或收缩对光纤芯上所蚀刻的细小镜子之间的距离产生影响,这样传感器就能给出湿度的精确变化情况了。与此类似,还可利用特定光纤材料的变形(拉伸或压缩)来监测探测器结构的应变等其他参数。

光纤布拉格光栅除了分辨率高、所测位置明确易定,还有一个极大的优势:复用性,即数百种布拉格光栅可以光刻在一根单一的光纤中,相隔几毫米或是相隔数千米都可以,可实现真正意义上的多点线式分布测量。这些微结构在使用同一光源(只要光源有足够宽的光谱)的条件下可对温度、湿度或

应变等参数均保持极高的灵敏性且信号无串扰,特别适合用于大型结构的多点监测。CMS上安装了温度、湿度、应变等多种类型的光纤布拉格光栅传感阵列,并已可靠、长期地成功运用于高电离辐射和强磁场环境中,这是传统的电子传感器完全无法做到的全新技术。当然,光纤布拉格光栅的用途并不限于CMS,只是由于它的数据采集系统成本高,市场的潜力受到了一定限制。

二、机遇来了

黎巴嫩位于中东地区,年降雨量很小,主要水源是约旦河(与该河相关的国家有约旦、叙利亚、黎巴嫩、以色列和巴勒斯坦)。虽然黎巴嫩西侧与地中海相连,但它与其他中东国家一样黄沙满地,撒哈拉沙漠、阿拉伯沙漠和地中海以东的沙漠覆盖并威胁着黎巴嫩的大片国土,缺水问题极为严重。近些年来,由于人口的增长及淡水水源的紧缺,黎巴嫩面临更严峻的挑战,既要尽可能多地生产粮食、蔬菜,又要尽量少地使用水灌溉,迫切需要一种能科学控制农业灌溉用水的先进技术。

在黎巴嫩干旱环境下种植作物的农民,与在法国和瑞士边境地下隧道里使用CMS粒子探测器的科学家们面临相同的技术挑战:大规模、高精度的温湿度多点监测。这两者有可能联系到一起么?2015年12月,机遇来了。CERN与黎巴嫩国家科学研究委员会签署了“科学研究国际合作协议”,这是

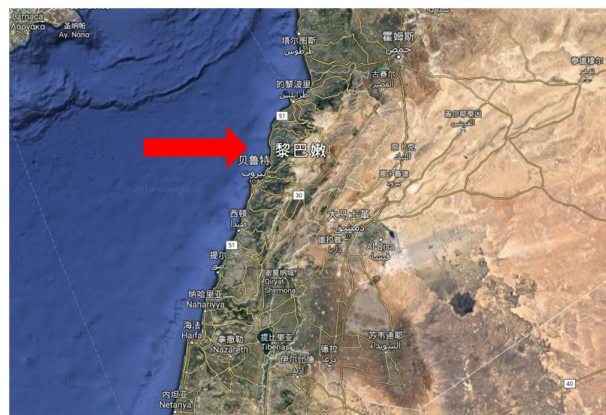


图4 黎巴嫩位置图(图片来自网络)

CERN首次将其科研合作活动扩展到中东地区。在此协议下,黎巴嫩科学家参加LHC的重离子研究项目,黎巴嫩大学加入CMS国际合作组,参加相关软件的升级工作。基于CERN对国际合作组成员作出的开放获取的承诺,黎巴嫩大学的科学家们从CMS提供的技术共享项目列表中选中了“光纤传感技术”。他们提出是否能将这项技术应用到黎巴嫩其他领域的设想,而CMS合作组也认为光纤传感技术有进一步发展的潜力以应对其他应用的挑战,比如灌溉方面。双方可以说是“一拍即合”。

为确定CMS的光纤传感器是否能在黎巴嫩粘性很大的土壤中发挥作用,需要做一些前期的准备工作。2016年6月,黎巴嫩大学的研究人员特地将10公斤黎巴嫩贝卡谷地的高粘性土壤运到意大利萨尼奥大学(CMS合作组成员)的实验室进行测试,根据实验得到的测试数据,研究人员重新调整了光纤传感器的设计参数以增加其测量范围。随后,研究人员在黎巴嫩农业研究所的一片试验地里安装了4个由10个光纤传感器组成的阵列(属项目的第一阶段),用来实地测试土壤的水分含量。通过实测数据来评估传感器的适用性,为下一阶段的试验定义参数。

实地测试的结果与实验室内得到的测试结果并不一样,研究人员发现实地测试无法获得所需的全部土壤水分含量数据。根据实地测试数据的反馈,CMS合作组成员认为:下一步要做的不只是对光纤传感器的初始架构进行修改这么简单的事情,而是需要一个全新的设计理念,只有完成新的设计后才能再进行实地测试。同时,还应进一步简

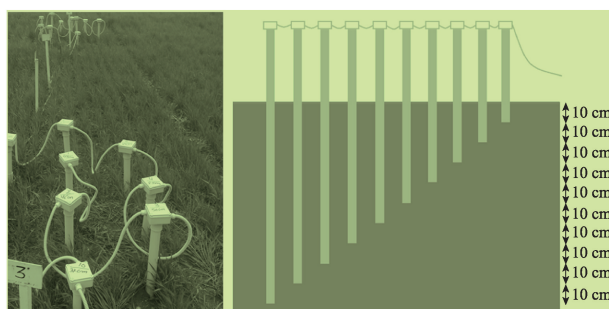


图5 埋在不同深度的光纤传感器(图片来自网络)



图6 黎巴嫩农业研究所试验场地(图片来自网络)

化光纤传感器的数据采集系统,使其降低成本而更加实用,甚至应考虑可将其与智能手机的应用程序相结合。

三、FOSS4I 合作

这项研究得到了英国-黎巴嫩技术中心(UK Lebanon Tech Hub,简称UKLTH)的青睐。英国-黎巴嫩技术中心是黎巴嫩中央银行和英国政府为支持黎巴嫩知识经济的发展而成立的,是一个政府间合作的平台。该技术中心决定支持“灌溉光纤传感系统”项目(Fiber Optic Sensor Systems for Irrigation,简称FOSS4I),为该项目提供资金并负责在各参与方之间进行协调。CERN与多家研究所和公司一起参加了FOSS4I项目,合作成员中还包括意大利萨尼奥大学、意大利国家核物理研究所(INFN)、Optosmart公司、黎巴嫩大学以及黎巴嫩农业研究所等。

2017年1月5日,FOSS4I合作协议在位于黎巴嫩贝鲁特的英国-黎巴嫩技术中心总部正式签署。1月11日合作组在英国-黎巴嫩技术中心办公室举行第一次指导委员会会议并参观了黎巴嫩农业研究所试验场地。FOSS4I合作旨在基于CMS的光纤传感器系统进一步发展创建一个优化的灌溉系统来监测耕地土壤中的温度、湿度和其他参数,从而增强干旱地区农民解决缺水问题的能力。FOSS4I项目由CERN负责领导并履行知识转移的承诺,CERN还将为项目组共享相关设施,包括光纤传感器校准设备等。Optosmart公司、意大利国家核物理研究所和萨尼奥大学分享它们在光纤传感温湿度测量技术方面的专业知识和关键技术,并与黎巴嫩大学密切合作,开发新的光纤传感器和数据采集

系统。黎巴嫩农业研究所负责监督在黎巴嫩中部的扎赫勒(Zahle)地区安装传感器和实地测试。

FOSS4I合作的关键是CERN的高能物理研究应用于社会科学技术及经济发展的开放原则:FOSS4I所有硬件将在CERN的开放硬件许可下发布,并且在该合作项目终止后的两年内,相关软件还将继续以开源码的许可方式发布。FOSS4I合作还将导致其他一些对接的技术转移,包括在意大利和黎巴嫩招聘博士后和博士生、为黎巴嫩大学建立一个光纤传感器实验室。任何研究和开发都可能遇到挫折,但FOSS4I项目组认为这是光纤传感器新的发展机遇,光纤传感技术很有可能转化为功能更强大的技术。在完成黎巴嫩农业研究所试验场地的实地测试后,项目组加大了试验的规模(属项目的第二阶段),选用了土豆、四季豆、生菜三类作物开展试验。由当地农民分别进行使用光纤传感系统与不使用光纤传感系统控制灌溉(各1000平方米)的试验对比,以评估光纤传感系统及相关软件对节水和作物产量的影响,并在位于贝鲁特的黎巴嫩大学建立了先进的光纤传感器实验室。

四、前景展望

FOSS4I项目组成员需要进一步梳理更多的土壤参数,设计开发有更高感知能力的供灌溉用的光纤传感器——智能光纤(属项目的第三阶段)。这个阶段有两个目标:一个是:设计应用于灌溉的低成本数据采集系统(与黎巴嫩的农民收入相适应、用户能通过智能手机操作),聘用3名博士后。另一个是:开展生产农用智能光纤的可行性研究(土壤含水量的测定及肥料和农药浓度的测定),招收1名博士生。博士后和博士生将经常往返于意大利和黎巴嫩之间,共享发现、提高黎巴嫩的研发能力并进行场地试验、推动技术商业化。

基于CMS的光纤布拉格光栅传感技术,新的灌溉光纤传感系统应能提供长达约100千米的破坏

性最小的传感器,无需供电就可测量农田土壤中的温度、湿度、农药、肥料和酶浓度等参数(常用监测仪每隔几码就需一个电源)。该系统必须灵敏度高、重量轻、能远距离监测、安装简单、成本低,能方便地实现灌溉优化(可适时方便地打开或关闭灌溉系统),达到节水及提高作物产量的目的,同时也有助于减少化肥和杀虫剂的使用量,有利于帮助农民建立可持续发展的生产机制。如果新的设计理念能够被成功验证,它将是世界上第一个能够同时测量所有这些参数的光纤传感器系统,应用前景十分广泛。

为CMS开发的基于光纤光栅传感系统的温湿度监测技术有了新的用途,FOSS4I项目受益的不仅是黎巴嫩,它有助于提高广大的干旱地区灌溉系统的效率节约用水。与此同时,FOSS4I项目对CMS也有很好的回馈,促进CMS进一步改善、提高光纤传感器在高能物理领域的应用性能。

看来,“高能物理帮助解决水资源的短缺”并不是天方夜谭,一切正在按计划进行之中!

(本文采自高能所微信公众号,略有修改)

参考文献

- ① Detectors in the dirt
<https://www.symmetrymagazine.org/article/detectors-in-the-dirt>
- ② How can high energy physics help the water shortage?
<http://cms.cern/news/how-can-high-energy-physics-help-water-shortage>
<https://home.cern/about/updates/2017/01/how-can-high-energy-physics-help-water-shortage>
- ③ From CMS to Soil: Using Sensor Technology to Optimise Irrigation Systems in Lebanon
<http://cms.cern/content/agriculture>
- ④ Fiber optic sensors for CMS-CERN
<http://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.863632>
- ⑤ Long-Term Temperature Monitoring in CMS Using Fiber Optic Sensors
https://www.researchgate.net/publication/233817852_Long-Term-Temperature-Monitoring-in-CMS-Using-Fiber-Optic-Sensors