人道主义排雷

核技术可帮助搜寻地雷

ULF ROSENGARD，THOMAS DOLAN，DMITRI MIKLUSH 和 MASSOUD SAMIEI

约有6000万枚废弃的地雷分布在世界各地70多个国家中。它们是上个世纪发生的、常被遗忘的武装冲突的致命残留物。这些地雷每年炸死约26 000人，致残人数更多。被炸伤的受害者需要大量的医疗保健和康复治疗。

受害者一般是发展中国家的妇女、儿童和农民。例如，安哥拉每334人中就有1人是因地雷而截肢者；柬埔寨有25 000多人由于地雷爆炸而截肢。另外，地雷问题还造成了巨大的社会经济后果，因为它迫使居民转移并阻止土地用于农业生产，从而削弱了整个地区的和平与稳定。2200多万人的日常生活直接受到废弃地雷的影响。

1997年12月，共有123个国家在加拿大渥太华签署了《禁止使用、储存、生产和转让人体杀伤性地雷及消除地雷公约》。后来又有16个国家签署该公约。

除其他事情外，该公约还要求“每个能够为扫雷和相关活动提供援助的缔约国必须提供这种援助。”鉴于一些国家没有这样做的能力，该公约还规定，“缔约国可以要求联合国、其他缔约国、地区组织或其它有能力的国际政府间组织或非政府间组织帮助其主管部门精心制定一个国家排雷计划。”

探雷方法

在军事排雷中，目标是用强力尽快清除雷区，通常80% ～ 90%的清除率是可以接受的。

而人道主义排雷更困难且更危险，因为它要求彻底清除所有的地雷，并将清理后的雷区恢复正常使用。现在，最人道主义的排雷方法是用手持金属探测器和/或嗅探犬。金属探测器利用随时间而变化的电磁场在目标中感生出涡流，涡流则产生可探测到的磁场，从而找到含金属的目标。老式地雷含金属部件（例如撞针），而现代地雷金属含量极少或根本没有。

为探测到少量金属而提高探测器的灵敏度，还会使它对在地雷所在区域常常找到的金属碎片非常敏感。另外，金属探测器尽管很尖端，但仅能成功地发现地下的异常，而不能提供是否存在炸药的信息。

人道主义排雷的一个主要难题是，区别“假”目标和地雷。识别并清除无害目标是一个费时又费钱的过程。

Rosengard先生是IAEA物理和化学处物理科职员。Dolan先生是该科科长。Miklush先生是IAEA技术合作司欧洲科职员。Samiei先生是该科科长。

狗的嗅觉非常灵敏，经训练能探测到痕量炸药。不过，该项技术要求对狗及其管理人员进行大量的训练，另外狗的注意力持续时间很短，难以持续作业。

还使用了模仿狗的自然感觉的电子化学嗅探器。然而，雷区常常充满炸药爆炸后产生的蒸汽，这就限制了用嗅探器方法探测地雷。

可供人道主义排雷使用的新技术

正在出现一批新的探雷技术，作为对目前使用方法的补充。新技术包括地面贯穿雷达、红外热敏成像法和先进的金属探测器。这些技术的一个共同特点是，它们虽能探测到地下的“异常”，但不能指出是否存在炸药。

基于贯穿辐射的方法，具有能用于地雷探测和识别的特点。但是，与传统的射线照相法大不相同的是，我们没有办法利用辐射透射这个过程，因为这需要接触被调查物体相对的两侧。相反，要使用询问辐射的次级辐射发射或散射。

利用中子做元素分析

中子辐照分析是可用来对隐藏目标进行元素表征的几种方法之一。由于中子不带电，所以甚至低能量的中子也能穿透厚层物质，与原子核直接相互作用。中子与物质的相互作用极大地依赖其动能。快中子被原子核散射掉（弹回），慢中子被原子核吸收，这两种情况都能使原子核能量增加（“激发”），导致发射γ射线。在某些入射中子能量下，中子与原子核相互作用的几率（俘获截面）非常大。对于每种元素来说，这些能量是特有的。

探测散装炸药用的大多数中子技术，靠的是探测这些受激核发射的特征γ射线。通过测量γ射线的能量和强度，可以确定被询问目标的元素组成，而大多数元素的特征γ射线谱是已知的。

按照这些思路，开发了几种不同技术。

- 热中子分析（TNA）利用的是，所有爆炸性物质都含有大的氮成分。热中子被氮核俘获后，导致发射能量为 10.8 MeV 的γ射线。由于这是天然存在同位素发射的最高能量的γ射线，由此给出了存在氮的非常明确指示。TNA 应用常常使用锎-252等同位素中子源。
- 脉冲快中子和热中子分析（PFTNA）技术使用小型密封管式静电 D-T 中子发生器。在该方法中，中子是以 10 微秒短脉冲群发射的。在这些短脉冲群中，瞬发γ射线是从对碳和氧的非弹性散射反应中发射出来的。在短脉冲群间隔约 100 微秒内，记录下热中子反应产生的γ射线。

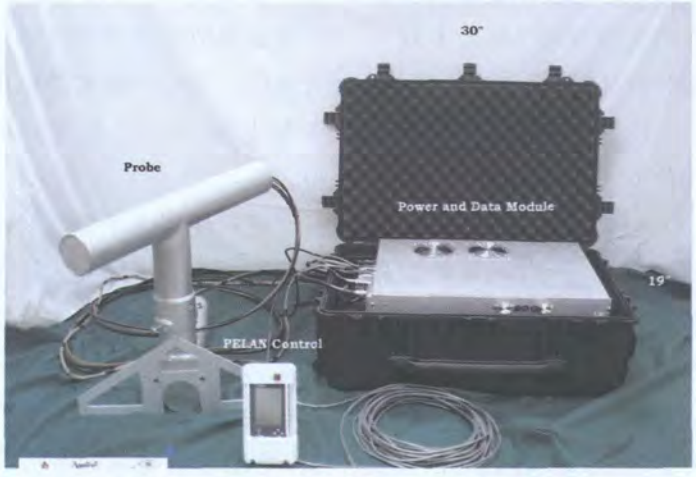
使用尖端的能谱分析软件，可以确定碳/氮、碳/氧和碳/氢之类的元素比率。这就能够通过比较计算机中储存的参考数据实时地识别爆炸性物质。另外，对反散射中子的探测可以指示土壤中氢的密度。这可用于进一步提高探雷概率。

该技术通过使用静电中子发生器，将放射性物质向环境的事故释放风险降到最低限度。小型手提式静电中子发生器，可从几家公司购得。

通过使用中子方法对埋藏目标进行元素表征，排雷过程可以大大加快，而且更有效。这是因为大多数警报，例如金属探测器发出的警报，是无害的金属碎片发出的，而这些碎片在从前的战场上相当多。

IAEA 的活动

许多国家组织、国际组



图片：在波斯尼亚和黑山哥维那——又一个遭受地雷之苦的国家，一枚 PMN 地雷在陡峭岩石山坡被暴露出来。（来源：澳大利亚西部大学 James Trevelyan 教授）。

在阿富汗这个深受战争和地雷影响的国家，一名排雷人员在探雷，他每隔 3 厘米用金属探棒探一下地面。（来源：澳大利亚西部大学 James Trevelyan 教授）。

美国研制的小型 PELAN 系统，正被考虑用于 IAEA 支助的现场测试计划。（来源：美国西肯塔基大学 George Vourvopoulos 教授）。

织和非政府间组织正在投入数千万美元清除地雷并帮助地雷受害者。根据一个国际咨询小组的建议下，IAEA 核科学和应用司已启动一项“利用核技术识别人体杀伤地雷”的协调研究计划（CRP）。来自发达和发展中成员国的 12 个研究小组正在参加该 CRP。

该 CRP 已经显示，以中子询问为基础的方法能够识别所埋地雷的炸药。几种以 TNA、PFTNA 技术和中子反散射为基础的装置正在研制中。随着这些及其它适用于人道主义排雷的核技术的成熟，定期对它们加以评价，以便采用一种灵活的方法。尽管几个方法有发展潜力，但有一点很明确，就是任何实际的排雷作业都将需要一整套传感器。

研制更好的排雷仪器是一项要求高的任务，因为这些仪器必须是灵敏、快速、可靠、费效比好的，并且无论在世界任何地方都易于操作和维修。例如，它们必须在包括炎热的沙漠和湿润的稻田在内的各种类型的地带可靠地工作。单一技术是不会满足所有这些要求的。基于中子的技术，作为排雷者工具箱中众多工具之一，可以成为传统技术的补充。 □

通过IAEA技术合作项目为人道主义排雷进行现场测试

IAEA是旨在促进核能和平利用的科学技术合作的主要国际机构之一，并且在向世界发展中地区传播核技术以解决重大问题的过程中起重要作用。IAEA向成员国传播技术，主要通过其技术合作计划进行。这些项目经常利用作为IAEA参与的协调研究工作成果而成功开发出来的核技术。

然而，对于人道主义排雷技术，正在使用一种新方法，因为预计研究成果能用于实践需要相当长的时间——考虑到地雷识别工作的复杂性及地雷问题的严重程度。欧洲的一个新的地区技术合作项目——“用于人道主义排雷的脉冲中子发生器的现场测试和使用”，是向实际应用和传播所需专业知识方向迈出的一步。为更便于管理和更现实起见，该项目仅专注于一种技术和一个地理区域。该项目所选技术是脉冲快中子和热中子分析(PFTNA)。

首次项目规划和协调会议于2001年2月12～14日在维也纳举行，有20多个成员国的专家参加。会议考虑了各种选择方案，最后得出结论，应在该项目名下采购称为PELAN的PFTNA型仪器，并在一个大规模现场测试计划中使用。PELAN已在美国研制出来，并成功用于探测未爆炸的军火(UXO)、化学战剂和现凑的爆炸装置。但它需要改造以适合用于地雷识别并适合当地条件，而这就是一个技术合作项目的价值所在。

PELAN系统的采购已经启动。该项目从2001年在美国肯塔基州的鲍灵格林应用物理研究所对PELAN系统进行熟悉和培训开始。在来自成员国的专家完全熟悉PELAN的每个部分的操作后，他们将能就硬件和软件的改动提出建议，使该仪器适合地雷识别。

在下一阶段，将把PELAN转移到一个有合适研究实验室的欧洲成员国，将用各种类型的土壤、假的地雷和爆炸物进行实验室测试。随后，现场试用将在模拟雷区和真实雷区量化该仪器的速度、灵敏度、准确度和可靠性。

如果改进结果是肯定的，预计PELAN会作为多传感器系统的一部分广泛用于人道主义排雷。为此，正在通过克罗地亚的一个国家技术合作项目——“地雷和未爆炸军火探测和识别核方法试验设施”，补充该IAEA地区项目。

克罗地亚是正处于欧洲中部的一个特殊情况。估计有6900平方公里或者说克罗地亚领土的13%被地雷和UXO玷污。政府通过克罗地亚排雷中心(CROMAC)运作一个大规模国家排雷计划，但进展相当缓慢，并且费用高。萨格勒布Rudjer Boskovic研究所长期以来取得了许多核科学技术成果，准备成立一个测试众多有助于探测和识别地雷和UXO核方法的实验室，从而加速该计划的实施及降低费用。IAEA将支助该研究所和CROMAC的与测试排雷用核技术有关的工作。

IAEA的这些国家及地区项目如获成功，将有助于显著提高人道主义排雷的效率和速度，从而能使埋有地雷的土地尽早恢复正常生活，减少被仍未发现的废弃地雷致死或致残的人数。