

国际临床工程杂志

GLOBAL CLINICAL ENGINEERING JOURNAL

Vol.5 Issue2

第五卷 第二期



GlobalCE

出版社: International Medical Sciences Group, LLC

CLINICAL ENGINEERING SUPERHERO STORIES

open access

ISSN: 2578-2762

www.GlobalCE.org



目录

编者寄语	1
作者： Dan Clark	
硬性内窥镜的故障研究	3
作者： William K. de Souza and Marcelo A. Marciano	
地震预警系统： 维龙加地区人口的卫生机构生命救援和风险缓解解决方案	7
作者： Jean Marie Vianney Nkurunziza, Jean Claude Udahemuka, Francine Umutesi, Jean Baptiste Dusenge	
工程报告： 国际临床工程现状： 新冠后时代的回顾	25
作者： Tom Judd, Yadin David, Fabiola Martinez, and Kallirroi Stavrianou	

编者寄语

似乎好莱坞电影明星还没获得社会足够的关注，在每年的奥斯卡颁奖典礼或更多类似场景上得到集中的众多赞美：这是充满魅力的活动，演艺圈内会回顾他们取得的成就，幸运的获奖者也会因为他们的工作获得奖项和认可。

我们临床工程师一般不会得到这种程度的公众认可。我们的团队有时会觉得自己被低估了——没有红毯，没有闪光灯。我们的专业人员通常不显眼地深潜在医院的内部默默工作，致力于确保医疗设备合适的、合法的、安全的、妥善维护并在临床上的正确使用，同时确保在适当的地方准备恰当并且数量足够的医疗设备；但我们以一种相当低调的方式在做这一点。作为同一类人，我们并不追求风头，而是满足于知晓高质量的病人医疗有赖于我们的技能和努力工作。

事实上，我个人很幸运地得到了社会关注，就在前几周，我在温莎城堡收到了皇家公主授予的大英帝国勋章(OBE)。对于那些不熟悉英国荣誉制度的人(当然也没有必须熟悉)，这是一个非常有声名的奖项，每年只有少数几个奖项颁发给在任何领域取得杰出成就的人员：军事、社区、慈善、体育或专业人士。我的奖项是对临床工程的贡献，虽然我是获得奖章的人，但这个奖项主要是颁给我身边的临床工程师团队，以及世界各地的临床工程师们的。对我和我的家人来说，这是一个非常自豪的时刻，我收到了许多来自世界各地的祝福，谢谢你们。

老实说，相信我，当我说这不是虚情假意的谦虚，我也觉得有点不好意思。是的，不好意思。因为，尽管我知道我在职业生涯中取得了一定程度的成功，并在地方和全国取得很多成绩，最显著的可能是在新冠疫情期间，我们都面临着各种压力的情况，但我也知道，我很荣幸。当我回顾自己的职业生涯时，我意识

到自己是多么幸运，我得到了同事、专业团体、家人和朋友的大力支持。我的国际经历使我个人的命运与之形成了鲜明的对比：许多来自世界各地的工程师同事虽然不像我这么幸运的得到很多支持和帮助，但仍在面对艰巨的挑战时取得了巨大的成就。所以一开始，我确实感觉有点不好意思，因为我的成就被如此认可，而其他人却没有。

然而，我意识到，尽管我们很多时间工作在幕后，但我们临床工程师确实需要庆祝我们的成功，并宣传它们来帮助提高我们的知名度。因为只有当我们提高知名度，我们的工作才能得到应有的认可，我们工作只有得到认可，我们的价值才会得到认可；只有当我们的价值得到认可时，我们才会看到对我们专业的资源、培训和能力建设的投资；只有通过这种投资，我们才能建立我们的专业，加强我们的团队，发展我们提供的服务。最终，只有通过发展我们的服务，我们才能继续最大限度地发挥技术的潜力，造福患者——毕竟，这是临床工程的全部。

所以，我克服了天生的不情愿抛头露面，通过新闻文章、网页、推特和其他方式来宣传我的个人成功，并利用我的奖项来展示世界各地所有临床工程师的工作。我希望你们也可以一起做同样的事——谦虚的时候已经过去了。我们需要展示我们的成就，庆祝我们的成功，并利用这些机会来提高我们专业的知名度，这反过来也会帮助我们成长。

有很多方法可以使你的努力发挥作用。为什么不写一篇关于你和你的团队取得的成功的文章？发表在你们当地的期刊上，或者发给我们，我们一直在寻找优秀的新闻故事。为什么不考虑参与审稿工作呢？我们一直在寻找志愿者，或者成为初级医工的导师。组织一个你的部门的开放日，邀请你的高级临床团队同

事和医院管理层一起参加。GCEA(国际临床工程联盟)和 IFMBE (国际生物医学工程联合会) 每年都设置奖项^[1-2], 虽然还比不上奥斯卡的光彩和魅力, 但这是用我们自己的方式, 享有同等的声望, 所以为什么不让你的团队或同事来参加其中的一个评选呢? 利用社交媒体, 在推特上发布你的工作照片和你的成就。如果你喜欢类似的形式, 为什么不做一个 Tik-Tok 或类似的视频呢? 有这么多的方法来为我们的职业发声, 所以不要不好意思, 我们应该要感到自豪!

这个世界需要训练有素的临床工程师, 只是它并不总是知道这一点。当我们努力摆脱新冠肺炎疫情的阴影时, 全球各地的医疗卫生系统都在努力寻找可持续的业务运行模式。摆在我们面前的挑战是巨大的。富裕国家的人口正在变老、变胖, 更容易患上糖尿病、冠心病和痴呆症等长期疾病。在过去的几十年里, 我们的预期寿命急剧上升, 我们对医疗卫生系统的要求不断增加。我们现在期待着治疗(实际上是治愈)那些在上一代人还准备忍受并最终死于之的病症和疾病。这当然是个好消息。作为一个行业, 医疗保健已经取得了令人难以置信的成功, 但我们现在, 在许多方面, 也是自身成功的受害者: 有越来越多的人, 期待获得更多的医疗卫生服务, 而满足这一期望的成本增长得更快——远远快于我们所拥有的资源; 而在较贫穷的国家, 获得卫生设施、药品和技术仍然是一个挑战。

这确实是一项艰巨的挑战; 但是我们临床工程师可以在解决这个问题上发挥很大的作用。技术已经是解决方案的一部分, 并将对全球患者的福祉越来越重

要。它将推动新的诊断和治疗; 增加偏远地区获得医疗保健的机会, 并使所有人都能负担得起医疗保健服务。但是, 为了使这种技术的潜力最大化并造福患者, 需要临床工程师——开发和采用新技术的同时, 管理和支持现有技术。因此, 我们需要一个强大的、充满活力的、相互连接的临床工程师社群。我们需要一个自信且不断发展的职业。我们需要资源、培训和能力建设。我们需要有一个共享的平台促进我们需要的一切, 以最好地服务于人们的期望。

所以, 让我们为我们所做的工作感到骄傲。让我们庆祝我们取得的成功, 并尽可能多地为这些成功欢呼。让我们获得应得的认可, 让我们用红毯和闪光灯来证明, 让世界看到我们临床工程师, 正如看到电影明星一样。

参考文献

1. GCEA Awards (<https://www.globalcea.org/clinical-engineering-awards>)
2. IFMBE CED Awards (<https://ced.ifmbc.org/about-us/awards.html>)

在一起, 我们正在做得更好!!

Prof. Dan Clark (OBE)

Copyright © 2021. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY): *Creative Commons - Attribution 4.0 International - CC BY 4.0*. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

收稿日期 2020 年 12 月 2 日，接收日期 2022 年 7 月 8 日，出版日期 2022 年 7 月 20 日

硬性内窥镜的故障研究

William K. de Souza and Marcelo A. Marciano

Hospital Moinhos de Vento, Porto Alegre, RS, Brasil

摘要

众所周知，外科手术中使用硬性内窥镜比传统外科手术更具有优势。但这些仪器易碎，容易破损裂口。本研究的目的是记录和分析在外科手术中使用的不同类型的硬性内窥镜需要修复的频率和类型。分析结果显示，可以将损坏的数量与外科手术的数量和类型、维修发生率与光学元件的类型、硬性内窥镜的类型与损坏的类型相关联。根据调查，较小的仪器更容易损坏，需要进行修复。

【关键词】 手术视频、硬性内窥镜的损坏、分析与相互关系

Copyright © 2021. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY): *Creative Commons - Attribution 4.0 International - CC BY 4.0*. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

引言

微创外科手术与传统手术相比有许多优点^[1-3]。通过视频手术实现手术部位可视化的设备称为硬性内窥镜或光学内窥镜。不同型号的相关内镜设备有不同的尺寸和厚度，分别用于儿童和成人手术。硬性内窥镜的设计还具有尖端角度可在 0° 到 135° 之间变化的技术特征^[3]。

硬性内窥镜广泛应用于外科手术，尤其是在医院。然而，硬性内窥镜是易损的，因此在仪器工作流程的所有阶段监测使用情况至关重要。正是由于内镜这种易损性，在整个仪器使用过程中，故障和损坏的发生率很高。这些损坏使设备无法正常使用，并影响手术进度。此外，如果内镜在非工作的流转阶段没有诊断出故障，则只有在手术时才能察觉到问题。

检查光学镜片是否有裂纹或划痕，以及光导棒表面是否钝化是很重要的。图像模糊的原因可能是潮气进入了光学系统。在反射光视图中，表面应光滑明亮^[3]。

鉴于上述原因，有必要收集特定医院设备损坏数量及其可能原因的相关数据，以帮助评估和尽量减少未来故障的发生。因此，此项工作的主要目标是绘制损坏图谱，并了解在巴西南部一家拥有 500 个床位的私立非营利医院的手术室中使用上述设备发生故障的可能原因。这家医院每月进行 2000 多台外科手术，其中 600 多台使用视频内镜。

方法

对于硬性内窥镜的管理，根据类型（如关节镜、腹腔镜、腹腔镜）、尺寸、构件和角度、型号、品牌等记录该医院所有的光学设备。如表 1 所示，该医院手术室内 50% 以上的硬性内窥镜是在 2017 年后购买的，使用时间不到 5 年。

为实现设备使用流程的可追溯性，制定并采用了一种表格来记录手术中心硬性内窥镜的使用情况。当将硬性内窥镜送回物资灭菌中心时，护理专业人员会对其进行检查，以确保设备返回时处于良好状态。如果在清洗程序后发现设备不适合继续使用，则将其送至临床工程团队进行初步的技术分析。临床工程科

室根据服务订单评估设备，如果无法进行内部维修，则将其发送给具有合格资质的技术支持中心。当硬性内窥镜修复后返回时，工程师对其进行检查，并将数据和信息记录在检查表中。最后，如果工程师认为该设备适合继续使用，设备将被送回物资灭菌中心。对 2017 年至 2020 年记录硬性内窥镜损坏数据的工单进行分析，部分结果如下所示。

表1. 硬性内窥镜购置年份。

购置年份	内窥镜
<2017	43%
2017	14%
2018	27%
2019	14%
2020	2%
TOTAL	100%

发现

分析可以看出，使用硬性关节镜的手术比使用腹腔镜和腹腔镜的手术少大约 4 倍。然而，通过图 1 可以看出，从故障次数来看，关节镜的维修频度是腹腔镜和腹腔镜的四倍。

结果

可以观察到，使用硬性关节镜的手术比使用腹腔镜和腹腔镜的手术少大约 4 倍。然而，通过图 1 可以看出，从故障次数来看，关节镜的维修频度是腹腔镜和腹腔镜内窥镜的四倍。



图1. 不同类型的视频外科手术与硬性内窥镜损坏的关联。

图 2 显示了 2017 年至 2020 年期间设备所需的维修次数。首先也是最重要的，关节镜是多年来维修次数最多的设备。宫腔镜每年需要修复的总次数差别很大。2018 年至 2019 年期间，维修次数下降了 50%，这一点尤其引人注目。到 2020 年，所有类型内窥镜的修理总数都非常少。原因是许多非急需施行的手术因 COVID-19 大流行而取消。



图2. 不同类型硬性内窥镜的维修次数之间的关系。

同时，根据光学类型对主要损坏类型开展了调查。图 3 说明了不同内窥镜损坏的发生率和类型。可以看出，宫腔镜在手术过程中由于其操作而导致镜子管身损坏和内部透镜损坏的发生率较高。另一方面，由于与手术电机的接触，关节镜光学系统受到的损伤更多，对末端视窗和内部镜片造成了损坏。

如图 3 所示，关节镜有 8 种损坏类型，宫腔镜有 7 种，腹腔镜有 6 种。

结论

从购买（购置优秀品质仪器）到消毒灭菌和使用，再到视频手术相关设备的维护，关注硬性内窥镜的整个操作流程是至关重要的。如何在维修后对其进行正确的消毒、使用、维护和检查是将操作故障降至最低的关键。这需要一个专门的团队来监管这些仪器的使用，并在工作流程的每个阶段评估其状况，以确保在故障发生时进行快速诊断。对提供仪器维修服务的专业人员和企业的资质进行认证是至关重要的，因为它们是保证维修质量和避免返工的决定性因素。通过本项研究，可以将缺陷的数量与手术的数量和类型、不同光学设备类型的修复发生率以及不同硬性内窥镜类型的损坏类型联系起来。根据调查，较小的仪器更容

易损坏，需要修理，就像关节镜一样，它呈现出最多多样化的损坏类型。

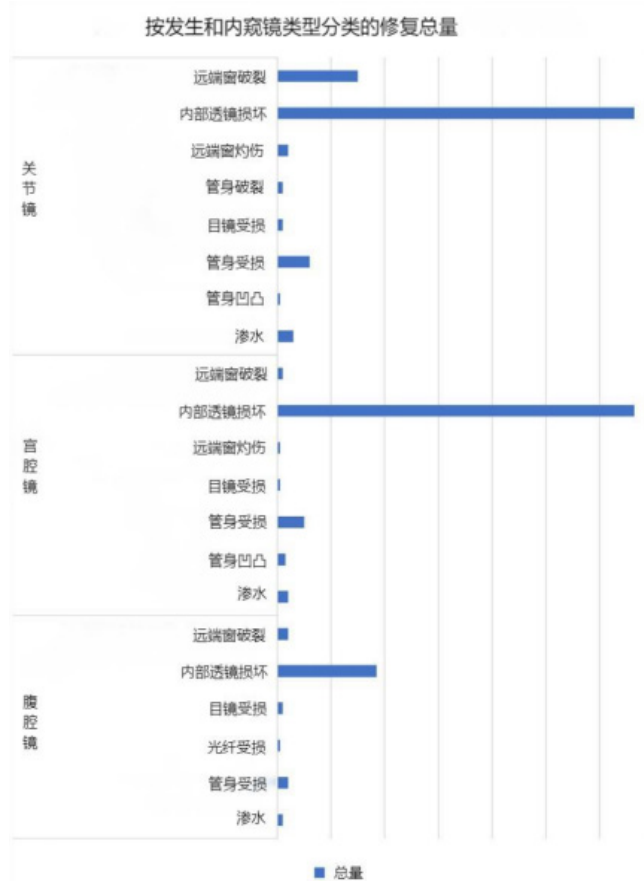


图3. 不同光学类型仪器损坏发生的类型。

同时，还可以与这些设备的使用者共享设备故障、缺陷、停机时间和成本等相关统计数据，并试着协同思考如何减轻对设备的损伤。因为这些仪器的购置成本很高，维护和维修这些精致仪器的成本也很高，除了影响手术日程之外。随着视频手术的广泛应用，在相关设备购置、正确使用和减少维修方面的节省有助于控制医疗外科手术的费用。

参考文献

1. SOBRACIL. Homepage [Internet]. Available at: <https://www.sobracil.org.br/consultapublicaans/index.asp>. Last accessed 03/19/2018.

2. Couto Neto J. Homepage [Internet]. Available at: <http://www.drjoacouto.com.br/atuacao/videocirurgia/>. Last accessed 03/19/2018.
3. Smith & Nephew. Otica Rigida for Endoscopy Smith & Nephew- IFU 0051. Available at: <https://www.smithnephew.com/global/assets/pdf/products/brasil/201604/80804050051%20%20otica%20rigida%20para%20endoscopia%20smith%20nephew-%20ifu%200051-%20reva.pdf>. Last accessed 03/30/2018.

smithnephew.com/global/assets/pdf/products/brasil/201604/80804050051%20%20otica%20rigida%20para%20endoscopia%20smith%20nephew-%20ifu%200051-%20reva.pdf. Last accessed 03/30/2018.

收稿日期 2022 年 2 月 28 日，接收日期 2022 年 7 月 7 日，出版日期 2022 年 7 月 22 日

地震预警系统：维龙加地区人口的卫生机构生命救援和风险缓解解决方案

Jean Marie Vianney Nkurunziza, Jean Claude Udahemuka, Francine Umutesi, Jean Baptiste Dusenge

Medical Technology Division, Rwanda Biomedical Center, Kigali, Rwanda

摘要

几十年来，减轻地震危害一直是许多研究人员和政府关注的焦点。这是至关重要的，因为地震灾害会迅速造成许多人员伤亡和损失。自 1900 年以来，全球发生的 21000 起最具毁灭性的灾害（包括地震）数据库显示，受伤人数最多的灾害中有 50% 发生在过去 20 年。在人类历史上，陕西省发生的地震死亡人数在灾难中排名第三。此外，在过去二十年中，地震造成了六起最致命的灾难，并造成了 21% 的经济损失。在同一时期，维龙加火山活动引起的地震造成 100 多人死亡，并造成大量物质和基础设施破坏。有关地震发生过程、不利影响、经济损失的参考信息和统计数据，以及当前通过预警系统降低风险的技术成果，是本文的基础。作者旨在提高人们的认知，并建议维龙加地区国家（刚果民主共和国、卢旺达和乌干达）可作为地震预警系统和地震管理计划的目标地区。联合国对地震预警系统也极为重视，2015 年通过的《仙台减少灾害风险框架》（联合国国际减灾战略 UNISDR, 2015 年）明确指出，早期预警必须成为优先事项，并必须在 2030 年前得到实质性发展。

【关键词】地震、预警、卢旺达、维龙加地区、卫生设施、灾害、地震活动

Copyright © 2021. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY): *Creative Commons - Attribution 4.0 International - CC BY 4.0*. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

背景

地震是由地面下岩石材料突然的运动产生的微弱到强烈的地面震动^[1]。在过去40年中，自然灾害的影响在报告数量、总死亡人数、受影响总人数和经济损失方面急剧增加（图1）^[2]。

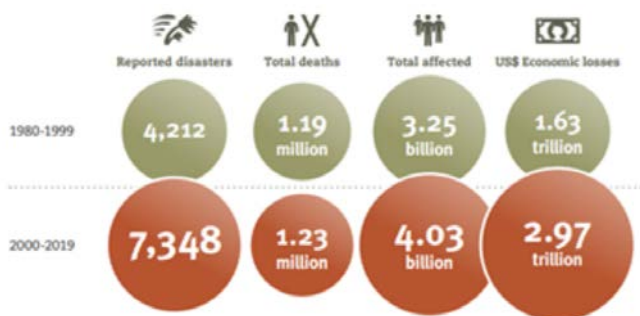


图1. 1980-2019年的灾害影响，表明在过去二十年中，灾害显著增加。

地震是人类历史上破坏性最大的自然灾害。在这些灾难中，数十万人丧生，数十亿美元的财产损失^[3]。地震有自然发生的（即地质构造和火山），或是人类活动的结果（即爆炸、矿井坍塌或水库诱发）^[4]。按流变学或化学进行分类，地球由不同的层组成。从流变学角度讲（根据岩石在巨大压力和温度下的液态进行分类），地球分为五层：岩石圈、软流圈、中层、外核和内核^[5]。从化学角度来说，地球的地质结构包括四层：地壳、地幔、外核和内核，尽管澳大利亚国立大学的研究人员在2021发现了地球内核内的第五层^[6]。不同地层和相应厚度如图2所示^[7]。

当地球地壳或地幔上层的两个板块（构造板块）突然相互滑动时，就会发生地震。它们滑动的表面称为断层或断层面。地表下地震开始的位置被称为震源，震源正上方的地表区域被称为震中^[8]。

地壳中构造板块的分裂和聚合是火山形成的原因。火山活动的根源是被称为岩浆的熔融岩石，它被挤压到地球表面^[9]。

火山喷发过程的一个关键控制因素是构造环境，它决定了岩浆是如何产生的、它到达地球表面的途径，以及火山喷发的特征^[10]。火山可以是活跃的、休眠

的或死火山^[9]。

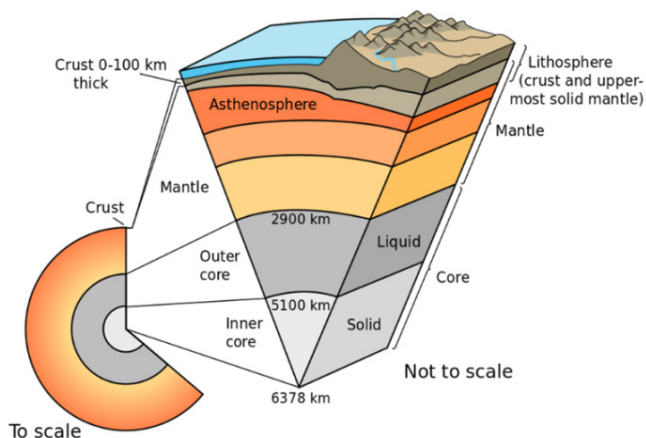


图2. 地球各层的切面。

导致火山喷发的构造板块的活动可能具有不同的边界（当构造板块分开时）（图3）^[11]。或者是汇聚边界（两个构造板块相互靠近，经常导致一个板块滑到另一个板块下面，这个过程被称为潜没）（图4）^[12]。

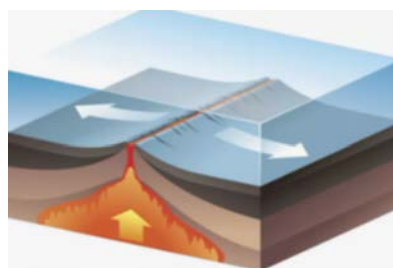


图3. 分离的构造边界。

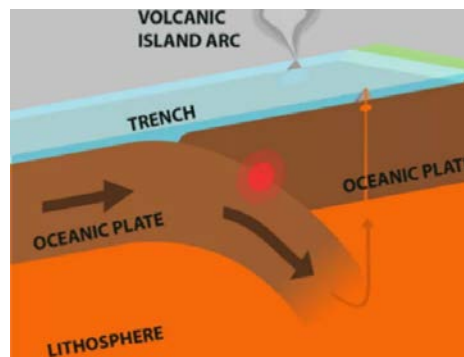


图4. 汇聚的构造边界。

汇聚板块边界通常是地震、火山和其他重大地质活动的发生地^[12]。

地壳分为六个大陆大小的板块（非洲、美洲、南极、澳大利亚 - 印度、欧亚大陆和太平洋），再细分有约 14 个次大陆大小板块（加勒比、菲律宾等）。

根据 2014 年的数据，埃尔塔雷岛上约有 1900 座火山被认为是活火山，这意味着它们偶尔会有活动，并可能再次喷发^[9]。地震是通过震级、能量释放和烈度来衡量的。

从 1935 年到 1970 年，里氏震级是测量地震震级的方法。

矩震级的测量是通过一个复杂的数学公式来确定的，该公式将地震仪记录的运动转换为一个震级数字，这个数字代表了地震期间释放的能量^[13]。

这种方法仅在加利福尼亚州使用过，并且在距地震仪仅 370 英里的范围内测量地震。今天，人们使用矩震级标度法，它的工作原理是测量岩石沿断层的移动^[14]。地震震级的分类如图 5 所示^[14]。

测量地震的第二种方法是地震烈度，即测量是结合实地情况，地震引起的地面震动及其影响的强弱程度。

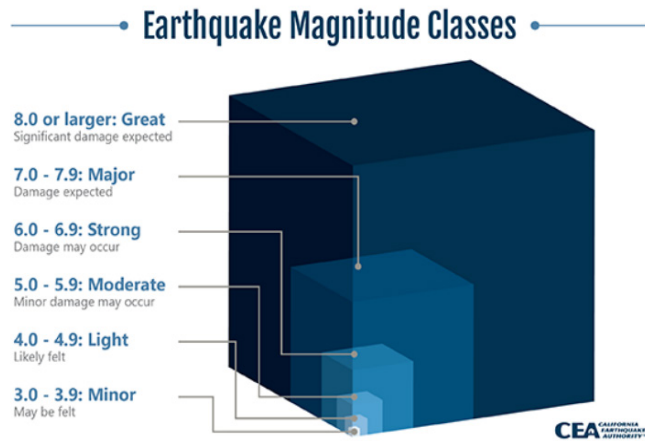


图5. 地震等级。

地震烈度与震级差别很大。地震烈度是根据在每个特定地点所观察到的地震影响来排列的。因此，每次地震都会产生一系列烈度值，从震中区域的最高

烈度到远离震中的零度。

地震烈度值遵循修正的 Mercalli 烈度标度（1 至 12）或 Rossi-Forel 震级（1 至 10）^[14]。然而，修正墨卡利强度（MMI）现在在世界范围内被广泛使用（图 6）^{[13][15]}。

修订的麦加利地震烈度		矩震级
I	仅灵敏仪器可检测到	1.5
II	仅少数人在休息时感觉到，尤其是楼上的；悬挂的物体可能会摇摆	2
III	在室内有明显的震感，但并不总被认为是地震；汽车轻微摇晃，震动像路过的卡车	2.5
IV	许多人在室内感受到，少数在室外的人感受到，晚上有些人可能会醒来；盘子、窗户、门受到影响；汽车明显摇晃	3
V	大多数人都能感觉到的；一些盘子、窗户和灰泥破碎；高物体受到干扰	3.5
VI	所有人都能感觉到，很多人受到惊吓、跑到户外；灰泥和烟囱脱落，损坏较小	4
VII	所有人都跑到室外；建筑物的损坏程度因建筑质量而异；汽车司机也会注意到	4.5
VIII	镶板类墙面受到破坏；墙壁、纪念碑、烟囱倒塌；沙子和泥浆喷出；汽车司机感到不安	5
IX	建筑物从地基上脱落，开裂，脱离铅垂线；地面开裂；地下管道破裂	5.5
X	大多数砖石和框架结构被毁，地面开裂，轨道弯曲，山体滑坡	6
XI	几乎没有建筑仍然屹立不倒；桥梁被毁，地面裂开，管道破裂，山体滑坡，铁轨弯曲	6.5
XII	全面损坏；在地面上可以看到海浪，视线和水平扭曲，物体被抛向空中	7
		7.5
		8

图6. 地震测量烈度和震级方法的比较。

全世界每年发生 100 多万次地震，平均每分钟发生两次^[16]。一个包含了自 1900 年以来全球 21,000 次最具破坏性灾害的数据库表明，50% 的灾害，包括造成人员伤亡最多的地震，只发生在最近 20 年^[17]。在 2000-2019 年间，地震影响的人很少，但造成的死亡人数比洪水、干旱和风暴多（影响了 3% 的人群但占总灾害死亡人数的 59%）^[2]。

根据世卫组织的数据，1998-2017 年期间，地震在全球造成近 75 万人死亡。地震造成的破坏和伤害程度取决于震级、烈度和持续时间、当地地质、一天中的时间、建筑设计和材料，以及实施的风险管理措施^[18]。2021 年，美国阿拉斯加州发生了最严重的 8.2 级地震。

地震引发了海啸警报（1 小时内解除），城镇和城市的居民都采取了保护措施^[19]。这次地震造成的损失很小，没有记录到大的地震波^[20]。根据美国地质调查局的数据，这次地震是美国历史上第七大地震，与 1938 年的另一次阿拉斯加地震并列^[21]。2021 年 8 月 14 日，海地西南部、格兰昂斯和尼普佩斯发生 7.2 级地震。超过 2200 人死亡，12700 人受伤，13.7 万所房屋被毁，成千上万的人急需援助^[22]。地震次数最多的国家是墨西哥（9572 次）、印度尼西亚（5484 次）和新西兰（3544 次）^[23]。

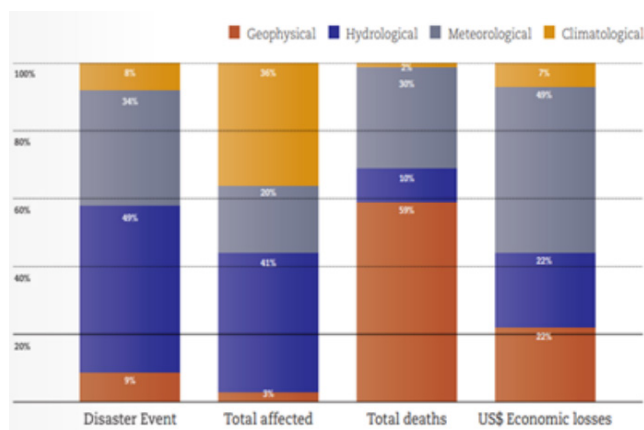


图7. 按灾害子组划分的各类影响的比例（2000-2019 年）^[2]。

印度洋地震和海啸是 21 世纪以来造成人员伤亡最多的地震。在同一时期，最致命的 15 次地震造成 558,340 人死亡^[24]。

过去 20 年，地震造成了 6 起最严重的灾难，造成了 21% 的经济损失。

Earthquake & Tsunami	Indian Ocean	2004	226,408
Earthquake	Haiti	2010	222,570
Storm	Myanmar	2008	138,366
Earthquake	China	2008	87,476
Earthquake	Pakistan	2005	73,338
Heatwave	Europe	2003	72,210
Heatwave	Russia	2010	55,736
Earthquake	Iran	2003	26,716
Earthquake	India	2001	20,005
Drought	Somalia	2010	20,000

图8. 十大最致命灾害（2000-2019年）^[2]。

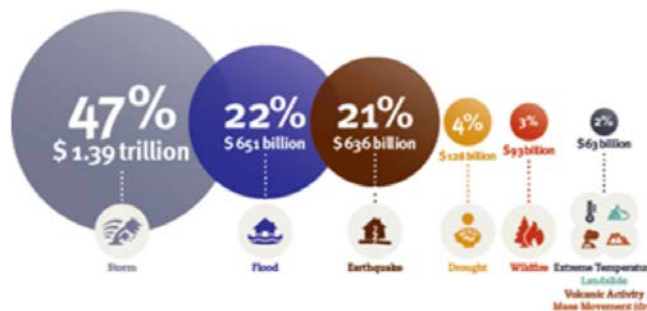


图9. 2000-2019年记录的经济损失细目^[2]。

在地震和其他灾害中，医院系统在治疗伤员和防止更多死亡方面发挥着关键作用。医院系统是抗灾能力的核心，因为它们必须在紧急响应期间和之后为社区提供及时的基本医疗服务^[17]。然而，与其他类型的基础设施一样，医院也并非在地震中无懈可击。

地震会严重损害和破坏社区相互依存的基础设施，包括住宅和商业建筑；公用设施（例如，水和污水）；水坝；堤坝；火灾、海啸、山洪、通讯技术；卫生保健设施；化工厂；工业储罐；核电站和其他危险材料储存场所；桥梁、隧道、机场、公路、海港和 / 或铁路线。此外，停电可能导致二次放射性或其他有害物质事故、运输和供应链中断（包括用于运输食

品和药品的供应链)；以及重大的经济损失^[25]。

虽然自然灾害造成超过10万人死亡,影响超过1.5亿人,但据报道,最致命的灾害是1931年长江洪水,造成超过100万人死亡^[26]。

中国陕西省发生了历史上最严重的地震灾害,在全球其他自然灾害中死亡人数排名第三。1556年发生的8级地震,造成830,000人死亡,报告显示所有97个县都受到影响。在一些县,地震导致60%的人口死亡^[27]。

2010年1月12日,海地发生了地震,随后在拉丁美洲和加勒比地区也发生了地震。这次地震造成约22万人死亡,150万人流离失所;损失包括但不限于住房、农业、水和卫生、教育、交通、卫生和能源,价值78亿美元^[28]。据海地政府报道^[27],有316,000人在这场灾难中丧生。

表1. 地震破坏的卫生设施实例。

地震破坏的医疗设施	国家	年份
Olive View 医学中心 ^[29]	美国	1981
熊本医院 ^[30]	日本	2016
洛马·普雷塔 ^[31]	美国	1989
1059个卫生设施被毁,401个设施完全受损 ^[32]	尼泊尔	2015
在2分钟内,97%的城市医院病床在皮斯科市地震中被毁 ^[33]	秘鲁	2007
50%的卫生设施在巴基斯坦地震中被毁	巴基斯坦	2005
布吉医院,医院内有150人死亡,总死亡人数为20000人 ^[34]	印度	2001
10家医院被毁,5万人死亡 ^[17]	土耳其	1999
Maternité Solidarité 医院,一个有75个床位的产科急诊设施被毁 ^[35] ,22%的医院被毁 ^[36]	海地	2010
Bushenge 医院,80%的建筑被毁 ^[37]	卢旺达	2008
墨西哥城地震,13家医院倒塌,866人死亡,其中100人是卫生人员 ^[38]	墨西哥	1985
巴姆地震,3500人受伤,许多医疗机构毁坏 ^[38]	伊朗	2003
当地20%的医院受灾,484人死亡 ^[36]	智利	2010



图10. 地震和关键基础设施中断^[17]。

维龙加山脉的火山活动

东非大裂谷系是地球上最突出、最重要的裂谷系之一,它横贯埃塞俄比亚高原和东非高原^[39]。非洲大裂谷几乎占地球面积的五分之一,是地球陆地表面少数几个活跃的裂谷之一^[40]。它经常被称为裂谷作用和大陆分裂的现代原型,显示了裂谷断层、岩浆作用和基底先前存在的结构之间的复杂相互作用^[41]。东非裂谷系(EARS)(图11)形成了一个狭窄的(50-150公里宽),延伸的正断层系统,沿子午线方向延伸约3500公里^[40]。东非裂谷系是大陆伸展和地壳减薄的结果^[39]。东非的构造活动通常归因于不同规模的地幔上升^[10]。

维龙加山脉是中非东部基伍湖以北EARS山脉的一部分,沿刚果民主共和国、卢旺达和乌干达的边界延伸约50英里(80公里)^[42]。火山山脉有8座主要火山,分别是尼拉贡戈(3470米)、尼亚穆拉吉拉(3058米)、米基诺(4437米)、卡利辛比(4507米)、加欣加(3473米)、萨比因约(3671米)、穆哈布拉(4127米)、比索克(3711米)。这些火山中只有两座(尼拉贡戈和尼亚穆拉吉拉)是活跃的,其他的都是休眠的^[43]。

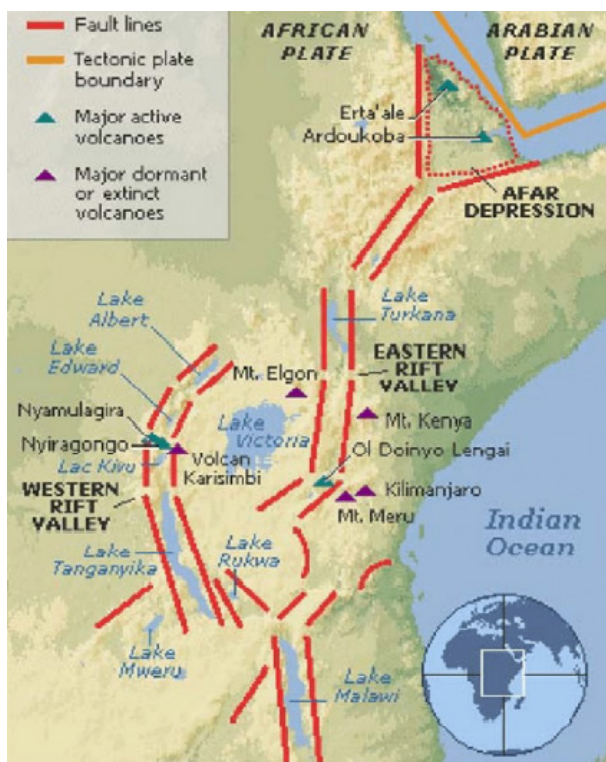


图11. 构造板块边界为东非大裂谷,包括维龙加山脉。

维龙加火山地区受地震影响最严重的地区是卢旺达北部和西部省份以及刚果民主共和国一侧的北基伍省卢旺达的两个省人口为 4,206,869 (数据来自两个省的网站), 分布在 9,175 平方公里的范围内, 其中建设了 20 家医院, 而其中北基伍省根据 2015 年人口普查, 人口为 600 万, 分布在面积为 59,483 平方公里区域^[44]。

活跃的山脉 / 火山是维龙加地区 (尤其是刚果民主共和国和卢旺达) 发生不同地震的原因。值得一提的是, 2008 年 2 月 3 日, 大湖区发生了两次 6.0 级和 5.0 级地震, 第一次发生在刚果民主共和国, 第二次发生在卢旺达。据报道, 两国有 34 人死亡, 434 人受伤, 并造成相当大的损失^[45]。

2002 年, 尼拉贡戈火山爆发, 熔岩湖从其西侧的裂缝中流出。东维龙加省省会戈马镇的市中心被大量熔岩流摧毁。超过 20 万人无家可归, 使此前因频繁内战而造成的人类灾难雪上加霜。

从 1882 年到 2021 年, 尼拉贡戈火山至少^[46] 喷

发了 35 次^[47]。2002 年至 2008 年间, 卢旺达有 85 人死亡, 一些基础设施因地震而受损^[48]。

2016 年, 据估计, 卢旺达灾害的综合影响使该国损失 1000 亿卢旺达法郎, 其中地震造成的损失为 216 亿卢旺达法郎^[51]。

2021 年 5 月, 刚果尼拉贡戈火山爆发后, 刚果和卢旺达边境发生 5.3 级地震, 17 个村庄被毁, 道路和医院等基础设施受损。此外, 约 1000 所房屋被毁, 5000 多人流离失所, 至少 32 人死亡^[52,53]。报告显示, 21000 名刚果居民越境进入卢旺达避难^[54]。据联合国难民署称, 火山爆发导致 50 多万人流离失所, 人们迁移到鲁丘鲁、布卡武和卢旺达的戈马、萨奇、米诺瓦、基瓦尼亚等周边地区^[55]。官方称, 恢复鲁巴武的总花费将高达 91,430,69.2 万卢旺达法郎^[54]。

距离震中 28 公里的鲁亨盖里、40 公里外的 Sake、66 公里外的吉塔拉马、83 公里外的基加利都有微弱的震感^[56]。在尼拉贡戈火山爆发和随之而来的地震灾害中, 共发生了 92 次地震, 其中只有 4 次人类能感觉到, 其余的只能用仪器探测到^[57]。

考虑到地震造成的人员和物资损失, 预警系统和管理计划将有助于拯救生命。技术的进步使基于物联网的地震预警系统的设计与实现成为现实^[58]。

传统上, 在近代先进地震探测和预警技术发明和发展之前, 其他方法被用来探测近期发生的地震, 如表 2 所示。

地震预警系统 (Earthquake Early Warning System)

地震后的即刻恢复力是一个值得研究的重要方面^[59]。地震预警系统 (EEWS) 既是一项科学挑战, 也是一项社会挑战。很高兴看到地震预警系统在未来地震中可以挽救更多生命并减少社会损失^[60]。

地震预警系统的成功将归功于通信、数字地震学和自动处理方面的进步^[61,62]。第一个成功的地震预警系统是由日本开发的, 并在 1975 年中国海城地震之前证明是有用的。收到警告后不久, 政府敦促居民撤

表2. 地震预警系统的自然方法^[49]。

地震检测方法	说明
不寻常的动物行为	一些动物（鸟、狗、天鹅、猫、鹿、蛇、昆虫、蠕虫、鱼、马、驴、鹅、家禽、鸭子、鸽子等）被赋予了人类所不具备的感官知觉，他们的行为变化告诉人们附近发生了地震。在海昌（1975），巴海（1969），智利（1835），南斯拉夫（1963），圣安德列斯（1906），日本（1896），探戈1927，关都（1923），Eddo（1855），印度（1892），乌塔尔卡斯希（1991），拉杜尔（1993），贾巴尔普尔（1997），杰莫利（1999）和布季（2001）地震之前，不同的动物已经表现出不同寻常的行为。
水化学前兆	溶解矿物和气体成分的浓度水平。
温度变化	温度和地震之间似乎有某种关系。例如，在中国龙陵（1976）和俄罗斯普热瓦尔斯克（1970）地震之前，就有报道称气温大幅上升了10 C和15 C。
水位	大地震前水位会发生剧烈变化。在龙陵（中国）和普热瓦尔斯克（俄罗斯）地震之前，就有报道称海平面上升了3~15厘米。此外，日本南开地震（1946年）前的水位下降。同样，1968年澳大利亚梅克林地震前几小时，水位上升了3厘米。在中国，在海城（1975年）、唐山（1976年）、山阴（1979年）地震前，观测到井中水位上升。
氦气	它是一种放射性气体，在地震前从岩体中释放出来。它溶解在井水中，其在水中的浓度增加。这发生在塔什干（1972）、唐山（1976）、鲁火（1973）和北喀什（1991）地震之前。
油井	在地震前，观测到油井原油流量的大尺度波动率。例如，在1969年、1971年和1972年的地震之前，以色列、中国、北高加索地区都发生过这样的情况。
前震	前震是强震发生的重要原因。对中国海昌地震（1975年2月4日）、墨西哥瓦哈卡地震（1978年11月）、阿南特纳格地震（1967年）、达马萨拉地震（1968年）、克什米尔地震（1973年）、金纳尔地震（1975年）进行了前震预报。
地震波速度变化	地震波的超前时间（原波与横波的时差）和波速异常周期越长预示着更大的地震。

表3. 灾害管理的挑战，包括地震^[38]。

挑战种类	例子
准备不充分	没有对人员事先进行过培训，没有培训计划，没有对灾害情况进行事先规划，对以往灾害的经验教训缺乏重视
物流挑战	为伤者提供不适合的场所，捐款管理，没有应急资金，安全管理，人力资源管理
技术挑战	医院疏散、患者安全、入院、进出管理和伤员出院、病人分类和优先排序
通讯和信息管理	与媒体的沟通，院内外的沟通，重要人物和访客的管理
缺乏协作	与被推荐帮助的志愿者之间的协调问题、医院官员之间缺乏协调、不同医院的主管部门之间缺乏协调、无事故指挥系统、人员不服从官员命令、工作人员执行任务不配合、指挥不统一、指挥官单一化、部分伤员检查频繁、人员和官员困惑、碎片化和重复、无关人员干预不当

离到安全的地方，2月4日该地区发生7.3级地震^[63]。

1995年神户地震造成6400人死亡后，日本在这一系统上投资了6亿美元。如今，日本的系统可以让每个公民都能收到日本气象厅发出的地震预警。多亏了这一系统，在2011年日本东北9.0级地震中没有火车出轨。根据日本的一项民意调查，90%的民众认为该系统值得投资^[64]。

如今，现有的技术可以如此迅速地探测到地震，

实现在强烈的地震到来之前警报就能告知人们。地震预警系统需要探测地震的初始震动，并在即将发生的更强烈的震动之前快速判断和通知用户^[60]。

地震预警系统的价值在于它实现了有组织的采取自动化或程序化行动来缓解地震造成的损失。组织行动的例子包括减速列车、停止手术、停止电梯和交通、疏散住院患者、确保敏感机械安全以及关闭危险或必要设备（图13）^[65,66]。

	简单程序	复杂程序
低行动成本	1、警告广播 2、电梯控制 3、打开消防站车库门	1、应急响应人员的事件前准备工作 2、自动保存重要数据或运行计算机模拟 3、用于小型结构的空气轴承
高行动成本	1、停止交通（红绿灯/高速公路入口管制） 2、停止列车和地铁（日本新干线-UrEDAS地震监测系统） 3、医院停止手术 4、停止飞机降落 5、生命线控制（水、气、电、网络）	1、主动/半主动结构控制（基础隔震器/主动阻尼器） 2、主题公园关闭 3、停止危险的工业工作 4、终止核电站活动

图13. 根据程序复杂性和潜在行动成本分类的地震预警系统应用实例^[66]。

移动计算、物联网等新兴计算技术，配备了各种微机电系统（Micro Electro Mechanical systems, MEMS）传感器（如加速度计、陀螺仪、GPSs）、Wi-Fi、蓝牙，使地震预警站的建设和运行成为可能。然而，该项目的成本高，且难以实现全国联网^[67]。1868年11月，J.D. Cooper 首先提出对地震进行早期预警的想法；他提议在加州霍利斯特附近安装地震传感器，一旦探测到地震，就会通过电报向旧金山发送电信号^[68]。然而，第一台实用的地震预警系统是1988年在日本铁路系统安装的 UrEDAS^[66]。

如今，在日本、墨西哥、韩国、罗马尼亚、土耳其、中国、意大利、瑞士、加拿大、印度、中国台湾和美国西海岸，地震预警系统被用来发布公共警告^[63]^[66]^[69]^[70]。例如，在2008年汶川大地震之后，中国中央政府就鼓励建立了全国性的地震预警系统。建成了拥有15000个台站、1928个地震台站（配备了宽带地震仪和力平衡加速度计）、3114个强震台站（配备了力平衡加速度计）和10349个基于低成本MEMS的传感器的高质量国家地震台网^[71]。震后工程勘察任务在了解结构和基础设施在地震荷载作用下的性能、灾害的社会影响、灾害管理过程和地震事件科学等方面

发挥着重要作用^[72]。地震预警系统问题的范围可以概括为四个方面（图14）^[66]。



图14. 地震预警系统问题范围。

地震波探测与传输

当地震发生时，由于构造板块相互相对移动，能量会释放出来。碰撞产生的能量以地震波的形式在地球表面传播。地震波的产生不仅仅是因为地震，爆炸、火山爆发、风、超音速飞机、人们的脚步、交通工具和自行车都能产生地震波。地震波可分为在地球表面传播的表面波和穿过地球的体波。体地震波有两种类型^[15]。

- 主波、压缩波或膨胀波（P波）是最先到达地球表面的波。它们可以在液体、固体和气体的所有介质中传播。它们具有高速度（4-8公里/秒），破坏力低，并从震源径向移动^[50]。

- 二次波（S波，也称为横波）在一次波之后到达地球表面。这种波只在固体介质中传播，在液体介质中就会失效。与主波相比，它们的特点是速度较低（2-4公里/秒），并从地震焦点向所有方向散射（它们将物质移至与其路径成直角的位置）。这些波更具破坏性，在地震中造成最大的破坏^[50]。

横波携带主要的破坏能量，较小振幅的纵波比横波早到台站的时间相当于纵波传播时间的70%^[61]。

当测量地震波时，P波和S波之间的时间差表明了地震到地震仪的距离。地震仪的数据，也称为地震记录，显示速度在y轴，时间在x轴（表4）^[73]。

地震学中使用的的基本观测资料是地震图，它是对特定地点地面运动的记录。地震图有很多种形式，烟

熏纸、相纸、普通墨水记录在标准纸上，以及数字格式（在计算机、磁带、光盘上）。地震烈度实际上可以用峰值加速度（PGA）、峰值速度（PGV）和峰值位移（PGD）来表示^[61]。

表4. 各种矿物及其纵横波速。

矿物质	纵波速度 (米/秒)	横波速度 (米/秒)
土壤	300-700	100-300
干砂	400-1200	100-500
石灰石	3500-6000	2000-3300
花岗岩	4500-6000	2500-3300
玄武岩	5000-6000	2800-3400

利用地震记录测得的地面振动数据来估计震源参数（震源和破裂持续时间，地震位置包括震中和深度，*sie* 表示为震级），获取地震波传播路径信息（地震速度模型、衰减模型）^[74]。

不同的仪器用于探测和测量地震震级，它们的差异取决于要测量的参数、传感器的类型、带宽和信号烈度。它们探测地下破裂产生的地震波，并将地面运动转化为适合传输的电子信号。一般来说，地震检波器、加速度计和陀螺仪是测量地震震级的标准仪器。

• 地震检波仪器：这是一种电力驱动的设备，用于测量地震数据^[75]。该装置将有源元件悬挂在弹簧、放大器和磁铁上，如图 15 所示^[76]。

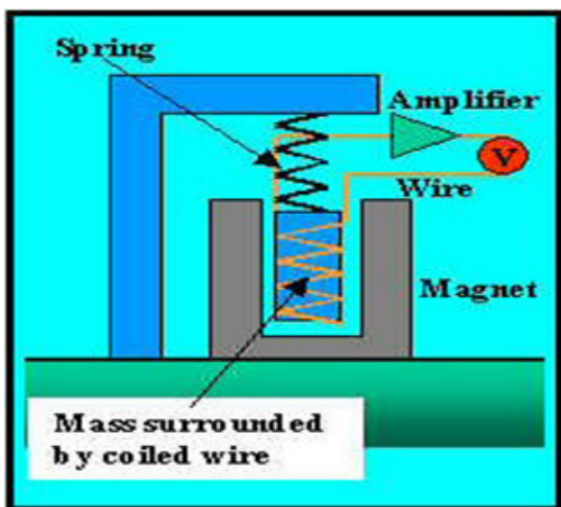


图15. 陀螺的基本原理。

当地球运动时，磁铁围绕物体上下运动。这个移动磁铁的磁场在导线中产生电压。这个电压可以被简单的电压表放大并记录下来^[76]。

地震检波器的一个重要特点是，它们只能监测高于固有频率的频率，直到指定的杂散频率（10Hz-250Hz）^[77]。

• 地震检波器是用来识别板块运动引起的震动的仪器。这种装置可以测量地震时地面上某一点的速度。地震检波器由地震仪、时钟或时间信号接收器和记录系统组成。基本地震仪如图 16 所示。

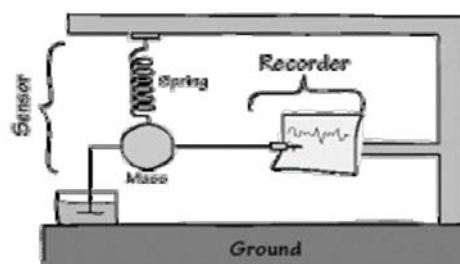


图16. 基础地震仪（图片来自IRIS网站）。

地震仪的输出通常以伏特 / 毫安 / 秒来测量。阻尼通常以临界阻尼的比值来测量，通常设置为临界 0.7 左右的值。地震仪的固有频率以赫兹为单位测量，本地地震的固有频率通常小于 2hz，常用 1hz。每个地震仪都可以测量一个方向的运动，无论是垂直的还是水平的^[74]。地震仪分为宽频带（能感应大范围的地面运动）和短周期类型（涵盖 1 至 100 赫兹的频带）。

地震仪按类型分类（远距地震仪、强运动地震仪、应变束地震仪）、范围（50 至 750 V/m、1500 V/m 和 20,000 V/m）和类别（短周期、长周期和宽带）^[78]。

• 加速器：加速器能提供受试者在地震活动中所感受到的力的信息^[79]。它们测量震动地面的加速度，旨在测量大型局部地震典型的大振幅、高频地震波。此外，加速器输出的双重积分给出了距离函数，可以检测到震中的距离。

目前，MEMS 微芯片作为加速度测量传感器已引起地震勘探行业的极大兴趣^[75]。尽管加速器和地震仪用于地震测量，但在最近的应用中，截至 2022 年，人

们对地震仪及其市场的关注显示出持续增长趋势 (图 17) [78]。

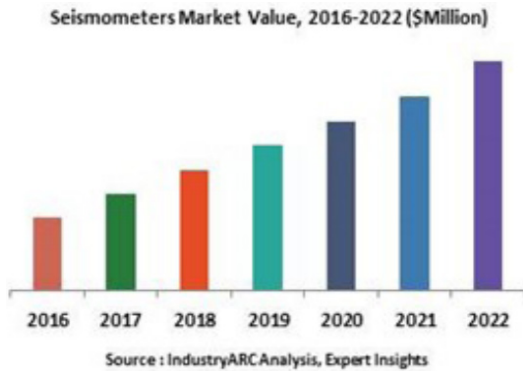


图17. 2016 - 2022年地震检测仪市场增长。

网络 / 传感器的配置，地震预警系统在概念上可分为区域系统或现场系统。区域地震预警系统基于覆盖高地震活动性地理区域的密集传感器网络，当地震发生时，根据靠近断裂的传感器记录信号的早期部分来估计相关的震源参数。区域地震预警系统通常需要在 P 波信号到达时触发许多台站，以提供稳定的地震位置的早期估计 [50][80]。

区域性的地震预警系统需要 10- 15 秒来探测地震，当破坏性的 S 波到达震中附近的一些位置时，发出警报是不可能的。没有预警的地区被称为盲区，距离震中大约 40 - 60 公里，这取决于地震发生的速度。现场地震预警系统可以克服盲区的问题，安装在目标区域的单一台站将立即感知到地震并发出警报 [80]。

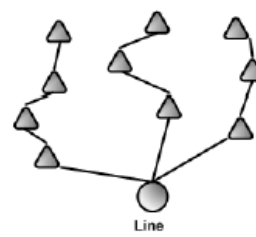
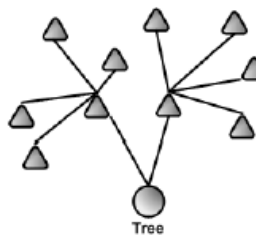
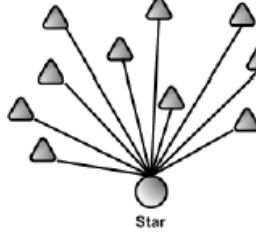
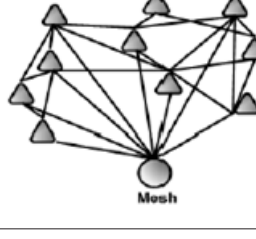
特定站点或现场地震预警系统由位于单个目标站点或关注的结构 / 基础设施附近的传感器阵列或单个传感器组成。现场特定系统直接基于初始记录的 P 波信号的幅度和 / 或主要周期提供峰值地震动 IM [例如，PGA 或 PGV] 的估计 (图 18) [50]。一般来说，地震预警系统包括：

- 远程站：远程站一般位于震源附近。它包括不同的地震波探测传感器、数据采集和处理系统、电源和数据传输系统。该远程站基于地震台网监测和探测地震。台站可以估计地震位置、震级、最大地震烈度、最早到达时间，并作出警报通知决定 [36]。

- 通信网络：通信技术特别是卫星通信技术的迅速发展，推动了地震台网的发展。地震仪中使用的通信技术有助于台站之间交换地震数据，并向目标用户发出警告。每个通信网络都有五个要素来成功传递信息，包括数据、发送、接收、通道和通信协议 [81]。

通信技术可以是有线、无线或基于卫星的。地震台网使用不同的拓扑结构，其差异取决于数据传输的距离、数据速率、效率和稳健性 (表 5) [82]。

表5. 地震网络拓扑:节点代表站，线代表通信链路。

拓扑	特征
 <p>Line</p>	距离近，每个链路上有不同的数据，数据交换通过其他节点，不稳定，因为链路中断会影响不同的节点
 <p>Tree</p>	距离近，不同的数据速率，数据交换通过其他节点，不稳定，因为链路中断会影响不同的节点
 <p>Star</p>	距离远，链路上相同的数据，数据交换通过中心节点，稳定，因为链路中断只影响一个节点
 <p>Mesh</p>	距离远，链路数据相同，链路速率可能不同，稳定，因为链路中断仅影响一个节点

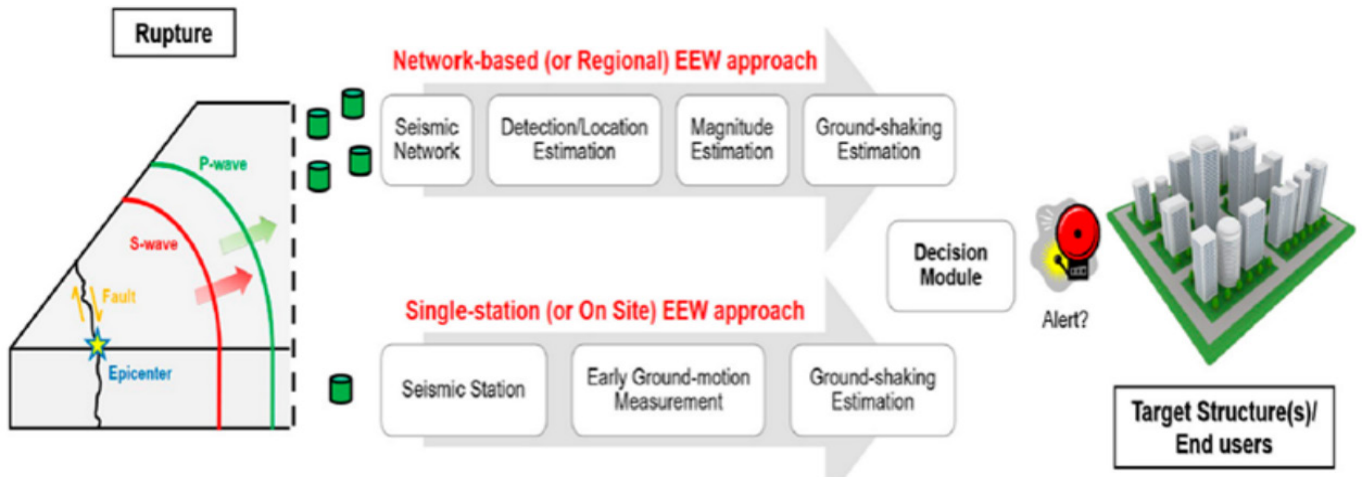


图18. 地震预警的两种可能方法。

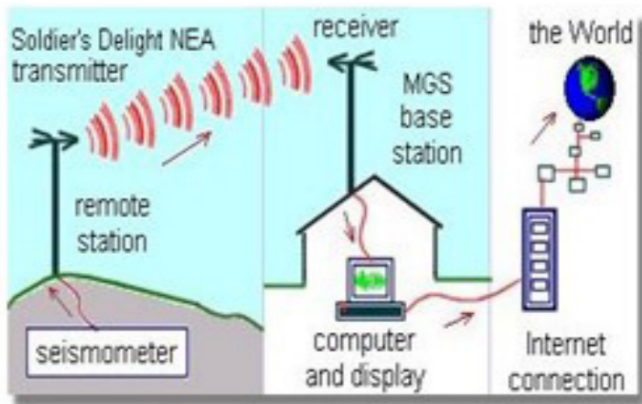


图19. 马里兰地质调查局地震通信网^[83]。

该通信系统拥有强大的计算机算法，可以快速估计地震的位置、震级和断层破裂长度，并绘制出由此产生的烈度。它还应该能够提供快速和可靠的大规模预警，并且必须向最终用户传授如何使用警报^[64]。

不同的地震预测方法包括支持向量回归、ElarmS 或 epic、机器学习算法模型、深度神经网络或 VS 模型^[29]。

• 基站：基站一般位于发出警告的站点。该基站主要由天线塔、分天线、PDH 和 SDH 微波、波导电缆、整流器、发电机、无线基站、双工器、数据分发机架、收发单元 (TRU)、中继、发送柜和短程调制解调器以及用于数据处理、显示、存储和互联网分发的计算机组成^[83,84]。基站的作用是向被警告地区发出警报。

目前，世界上已有成功的地震预警系统，但大多是在国家遭受严重地震袭击后启动和安装的。成功实施的地震预警系统包括日本的 UrEDAS、美国的 ShakeAlert 和墨西哥 Sasmex。

日本拥有全球最广泛的地震预警网络，中国目前正在建设全国性的地震预警系统，预计将于 2023 年 6 月完成。地震网络可以是宽频带的、短周期的或基于 MEMS 的^[85]。

全球地震台网 (GSN) 是一个永久性的数字网络，由 80 多个国家的 150 多个现代台站组成。它由一个全球分布的、最先进的数字地震网络组成，通过 IRIS DMC 提供免费、实时、开放的数据^[86]。

自运行以来，GSN 已经从分布广泛、设备相似和校准良好的工作站产生了高质量的数字数据^[87]。

GSN 仪器能够高保真地测量和记录地球的所有振动，从地震附近的高频强地面运动，到地球最慢的自由振动。因此，GSN 的地震检测仪记录了规模最大的地震（例如，1994 年深度 660 公里的玻利维亚 Mw-8.2 级地震）和夏威夷 2 号天文台海底附近的纳米地震 ($M < 0$)。此外，GSN 传感器经过精确校准，计时基于 GPS 时钟^[88]。

全球地震信息中心与美国地质勘探局国家地震信息中心 (NEIC)，是地震定位、地震减灾和地震应急响应的主要全球数据和信息来源。NEIC 为不同地区提供的实时地震图，每 30 分钟更新一次。

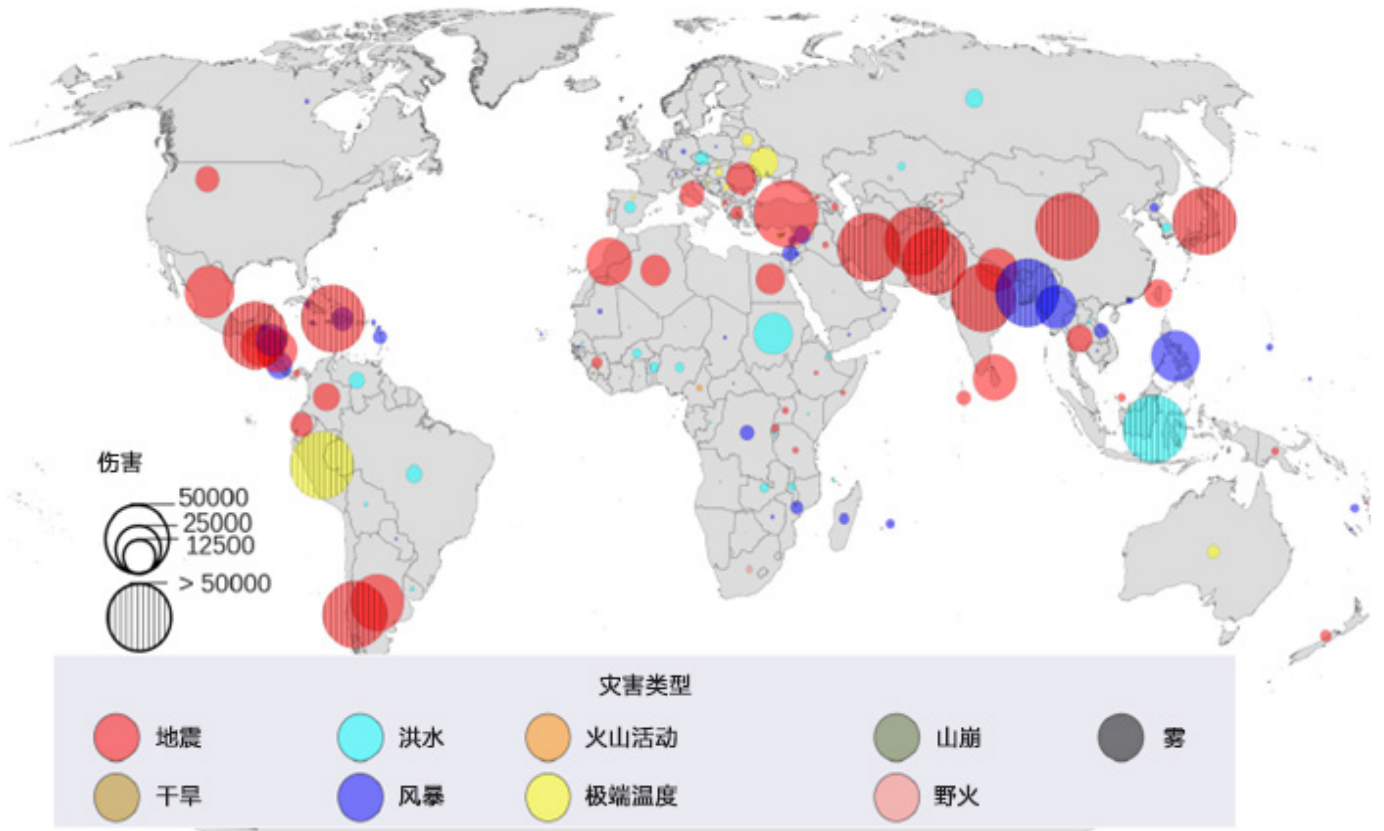


图20. 自1900年以来受伤人数最多的各个国家灾害分布情况^[17]。据观察，地震是破坏和震撼人类的主要灾害。

为了实现这一遥测覆盖范围，通过与美国国家航空航天局 / 喷气推进实验室、美国国家成像和绘图局合作，实施了一系列广泛的解决方案，包括采用 1 到 4 米范围天线的地球同步卫星、国际海事卫星组织、铱星、固定线路、当地互联网服务提供商、海底电缆等。国家气象局、日本国家地球科学与灾害预防研究所和全面禁止核试验条约组织 (CTBTO) (图 21 和 22)^[88-90]。

结论

最后，本文强调了火山活动背后的自然过程和地震预警系统在降低地震风险方面的作用。此外，本文还介绍了地震造成的死亡人数、基础设施破坏和经济损失的历史统计，以及地震在其他灾害中的地位。

地震预警系统作为一种降低地震灾害风险的解决

方案受到了研究人员的关注。虽然关于地震预警系统的概念构想始于几十年前，但今天，技术进步已经将梦想变成了现实。

在世界各地，许多运行中的地震台站和网络用于监测和提供关于地震活动的实时信息。在许多情况下，即使公众在破坏性地震发生前几秒钟得到警告，这一警报也能使人们立即采取行动，保护人民和财产。需要紧急采取的行动包括停止精密的医疗手段（如手术等）和将患者转移到安全的集合点，暂停飞机降落，学生离开教室，关闭家用电器，以及安全停止和离开车辆。此外，还必须解决自动响应问题，如打开电梯门、关闭生产线、保护化学品、停止火车以及保护电站和电网设施。

虽然在维龙加火山地区没有地震预警系统，但卢旺达的医院有安全的集合点，人们可以在紧急情况或

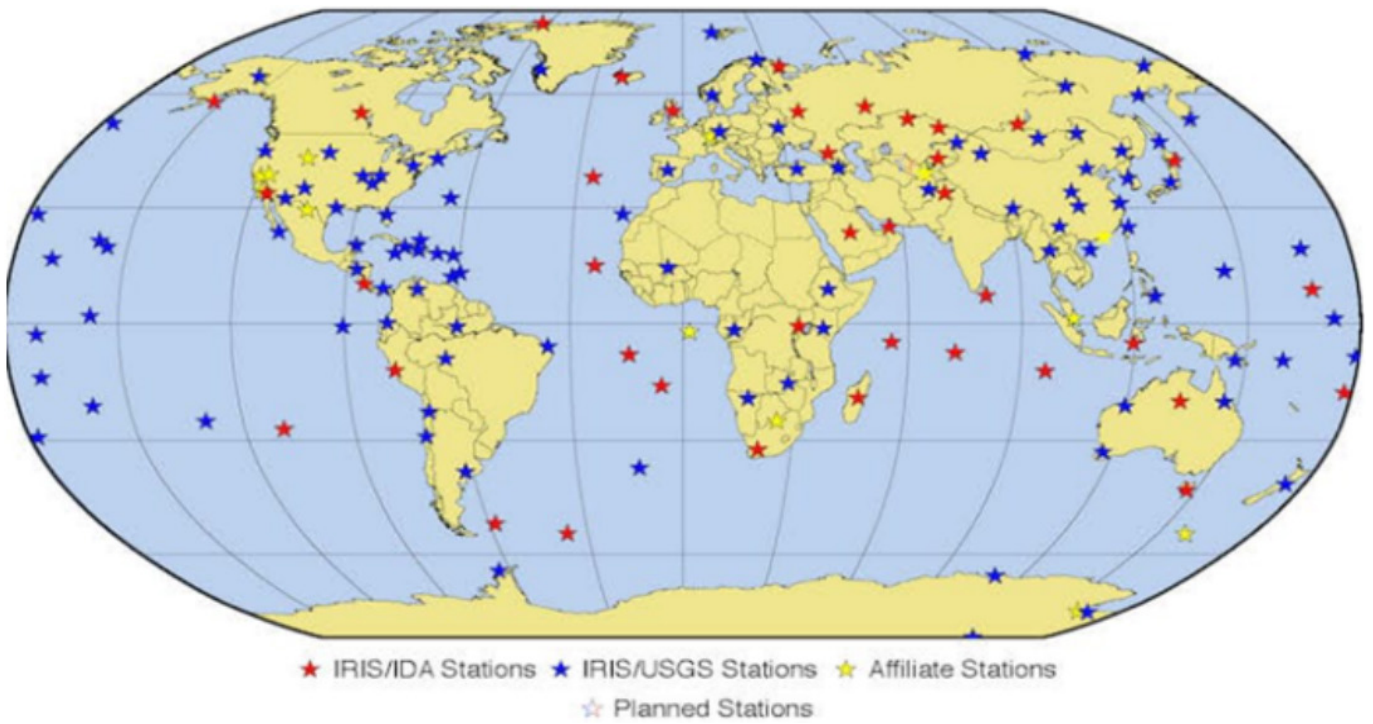


图21. 全球地震台网的台站分布。

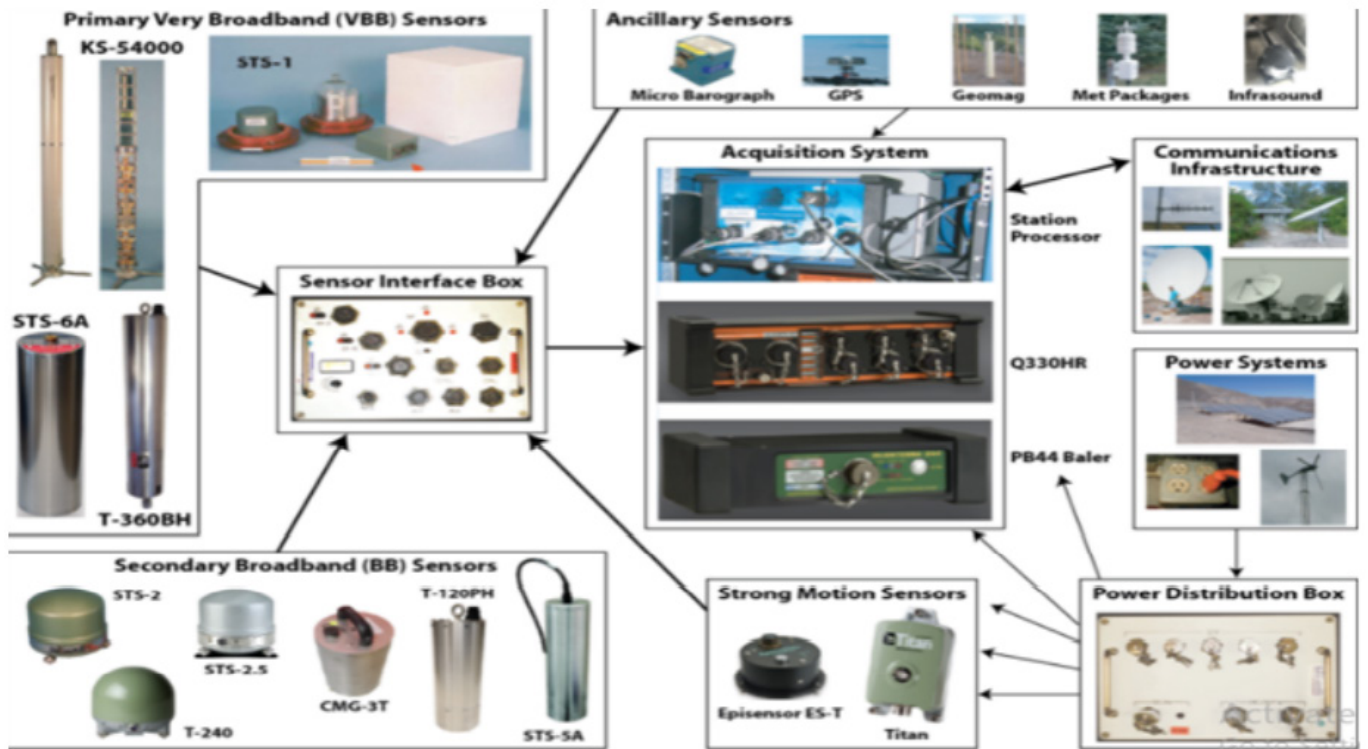


图22. 全球地震台网系统的组成部分。

灾难发生时聚集在那里。然而，与当前一代地震预警系统的技术进步和其他面临同样地震挑战的国家的成就相比，这一有效举措还不够。

2005年，在日本神户举行的第二届世界减灾大会上，168个国家通过了《兵库行动框架》（The Hyogo Framework for Action），并同意：通过确保所有新医院的建设达到安全水平，使其能够在灾害情况下运作，并实施缓解措施，以加强现有的卫生设施，特别是提供初级卫生保健的设施，实现“免受灾害影响的医院”的目标。

此外，2015年，联合国成员国通过了《仙台减少灾害风险框架》（2015年，UNISDR），其中明确指出，预警必须是一个优先事项，预警系统必须在2030年之前得到实质性发展。

因此，首先建议受维龙加火山活动影响的国家共同努力，交流如何实施地震预警系统，以警告居民近期发生地震的可能性。此外，地震预警系统还应向医疗保健机构发出警告，以便在破坏性地震波发生之前做好更全面的准备。由于居民得到了警告，卫生设施的拥挤情况可以减少，医生需要照顾的病人也会减少。

由于地震预警系统基础设施的高成本，制定一个经济高效的震管理计划至关重要，该计划能够干预、应对和解决与地震灾害相关的挑战。在这方面，应根据过去的地震情况绘制高地震风险区和相关区域居民可用的安全避难所地图。个人可以利用警报时间“伏地、遮挡、手抓牢”或移动到建筑物内更安全的位置，减少伤亡，或在警报时间允许的情况下，远离危险建筑物。此外，该计划还应雇佣训练有素的人员管理物流、通信和运输，并提供医疗援助服务和治疗。

参考文献

1. P. I. o. V. a. Seismology, Introduction to Earthquake, Philippine Institute of Volcanology and Seismology, January 31 2022. [Online]. Available: <https://www.phivolcs.dost.gov.ph/index.php/earthquake/introduction-to-earthquake>. [Accessed January 31 2022].
2. D. G.-S. Mami Mizutori, The Human Cost of Disasters - An overview of the last 20 years 2000-2019, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CREd), Geneva, 2020.
3. B. Y. e. al, Earthquakes and Structural Damages, in Earthquakes - Tectonics, Hazard and Risk Mitigation, London, IntechOpen, 2017.
4. S. J. Baxter, EARTHQUAKE BASICS, State of Delaware, Dover, 2000.
5. T. Nace, Layers Of The Earth: What Lies Beneath Earth's Crust, forbes.com, January 16 2016. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2016/01/16/layers-of-the-earth-lies-beneath-earths-crust/?sh=60ccb85a441d>. [Accessed 31 January 2022].
6. D. Sarkar, Earth has been hiding a fifth layer in its inner core, astronomy.com, March 26 2021. [Online]. Available: <https://astronomy.com/news/2021/03/earth-has-been-hiding-a-fifth-layer-in-its-inner-core>. [Accessed January 31 2022].
7. B. Geiger, Explainer: Earth - layer by layer, ScienceNewsforStudents, 11 November 2019. [Online]. Available: <https://www.sciencenewsforstudents.org/article/explainer-earth-layer-layer>. [Accessed 31 January 2022].
8. L. Wald, The Science of Earthquakes, USGS, [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/science-earthquakes>. [Accessed February 6 2022].
9. Nationalgeographic, Plate Tectonics and Volcanic Activity, Nationalgeographic, 30 October 2014. [Online]. Available: <https://www.nationalgeographic.org/article/plate-tectonics-volcanic-activity/>. [Accessed 31 January 2022].
10. J. B. e. al, Volcanic activity and hazard in the East African Rift Zone, Nature Communications, vol. 12, no. 6881, pp. 1-12, 2021.
11. A. Alden, Divergent Plate Boundaries, ThoughtCo., 17 January 2020. [Online]. Available: <https://>

- www.thoughtco.com/divergent-plate-boundaries-3874695. [Accessed 8 February 2022].
12. B. Mitchell, Introduction to Convergent Plate Boundaries, ThoughtCo., March 18 2020. [Online]. Available: <https://www.thoughtco.com/convergent-plate-boundaries-3866818#:~:text=A%20convergent%20plate%20boundary%20is,mountains%2C%20and%20other%20geological%20events..> [Accessed 8 February 2022].
 13. U. o. Kansas, Measuring earthquake magnitude and intensity, University of Kansas, [Online]. Available: <https://geokansas.ku.edu/measuring-earthquake-magnitude-and-intensity>. [Accessed February 19 2022].
 14. C. E. Authority, Earthquake Measurements: Magnitude vs Intensity, California State, July 22 2020. [Online]. Available: <https://www.earthquakeauthority.com/Blog/2020/Earthquake-Measurements-Magnitude-vs-Intensity>. [Accessed January 1 2022].
 15. J. S. e. al, Understanding the Fundamentals of Earthquake Signal Sensing Networks, Analog Devices, vol. 53, no. 3, pp. 1-11, 2019.
 16. M.R.Naghil, Public health impact and medical impact and medical of earthquakes, Pan Am J Public Health, vol. 18, no. 3, pp. 1-6, 2005.
 17. L. C. e. al, Effective plans for Hospital System Response to Earthquake Emergencies, Nature communications, vol. 11, no. 4325, pp. 1-12, 2020.
 18. WHO, Earthquakes, WHO, Geneva, 2018.
 19. C. H. Derrick Bryson Taylor, 8.2-Magnitude Earthquake Strikes Off Alaskan Coast, New York Times, July 29 2021. [Online]. Available: <https://www.nytimes.com/2021/07/29/us/alaska-earthquake-tsunami-warning.html>. [Accessed February 6 2022].
 20. M. Krakow, Only minimal damage reported after Alaska's largest earthquake in over a half century, Nachorage Daily News, July 30 2021. [Online]. Available: <https://www.adn.com/alaska-news/2021/07/29/a-day-after-alaskas-largest-earthquake-in-over-half-a-century-no-big-wave-minimal-damage/>. [Accessed 6 February 2022].
 21. Y. R. Shubham Kalia, Alaska rocked by powerful earthquake, no major damage or injury reported, Reuters, July 30 2021. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/world/us/magnitude-72-earthquake-strikes-alaska-peninsula-usgs-2021-07-29/>. [Accessed February 6 2022].
 22. J. Crickx, Securing health in Haiti when the earthquake ruined hospitals, Unicef, September 13 2021. [Online]. Available: <https://www.unicef.org/lac/en/stories/securing-health-haiti-when-earthquake-ruined-hospitals>. [Accessed February 6 2022].
 23. VolcanoDiscovery, Top 20 quakes in the world by country in 2021, VolcanoDiscovery, January 29 2022. [Online]. Available: <https://www.volcanodiscovery.com/largest-recent-by-country/earthquakes/archive/2021.html>. [Accessed 2 February 2022].
 24. J. Shvili, The Deadliest Earthquakes Of The 21st Century, WorldAtlas, December 14 2020. [Online]. Available: <https://www.worldatlas.com/articles/the-deadliest-earthquakes-in-the-21st-century.html>. [Accessed February 1 2022].
 25. E. R. e. al, Major Earthquakes & Cascading Events: Potential Health and Medical Implications, ASPR Tracie, Virginia, 2021.
 26. T. M. Stephanie Pappas, Top 10 deadliest natural disasters in history, Livescience.com, December 17 2020. [Online]. Available: <https://www.livescience.com/33316-top-10-deadliest-natural-disasters.html>. [Accessed February 15 2022].
 27. H. Ritchie, What were the world's deadliest earthquakes?, Our World in Data, October 5 2018. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/the-worlds-deadliest-earthquakes>. [Accessed February 15 2022].
 28. T. W. Bank, Strengthening Disaster Risk Management and Transport Infrastructure after a Disaster: The 2010 Haiti Post-Earthquake Experience, The World Bank, October 12 2010. [Online]. Available: <https://www.worldbank.org/en/results/2021/10/12/strengthening-disaster-risk-management-and-transport-infrastructure-after-a-disaster-the-2010-haiti-post-earthquake-expe>. [Accessed 8 February 2022].

29. V. F. Grasso, Seismic Early Warning Systems: Procedure for Automated Decision Making, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, 2006.
30. M. M. Nebil Achour, Post-earthquake hospital functionality evaluation: The case of Kumamoto Earthquake 2016, *Earthquake Spectra*, vol. 36, no. 4, pp. 1-25, 2020.
31. C. B. Janet Michaelis, The 1989 Loma Prieta earthquake: Impact on Hospital Patient Care, *Annals of Emergency Medicine*, vol. 21, no. 10, pp. 1-7, 1992.
32. WHO, NEPAL EARTHQUAKE 2015: Country Update and Funding Request, WHO, Cathmandu, 2015.
33. P. Moszynski, Campaign is launched to protect health facilities from disasters, *BMJ*, vol. 336, no. 7637, pp. 1-7, 2008.
34. R. Sharma, India plans massive hospital rebuilding after earthquake, *BMJ*, vol. 322, no. 7284, pp. 1-1, 2001.
35. MSF, Hundreds injured and serious damage to medical facilities after Haiti earthquake, MSF, January 13 2010. [Online]. Available: <https://www.msf.org/hundreds-injured-and-serious-damage-medical-facilities-after-haiti-earthquake>. [Accessed February 6 2022].
36. T. D. e. a. Kirsch, Impact on Hospital Functions Following the 2010 Chilean Earthquake, *American Medical Association*, vol. 4, no. 2, pp. 1-8, 2010.
37. UNICEF, RWANDA EARTHQUAKES, UNICEF, Kigali, 2008.
38. U. S.P.Salamati Nia, SAFETY AND SECURITY OF HOSPITALS DURING NATURAL DISASTERS: CHALLENGES OF DISASTER MANAGERS, *International Journal of safety and security*, vol. 7, no. 2, pp. 1-13, 2017.
39. U. RIng, The East African Rift System, *Austrian Journal of Earth Sciences*, vol. 107, no. 1, pp. 1-15, 2014.
40. T. Davies, Environmental health impacts of East African Rift volcanism, *Environ Geochem Health*, vol. 30, pp. 1-15, 2008.
41. B. S. e. al, Study and Monitoring of the Virunga Volcanoes: Long-Term Involvement of Belgium and Grand-Duchy of Luxembourg, Tervuren, 2017.
42. T. E. o. E. Britannica, Virunga Mountains, Britannica, January 6 2020. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/place/Virunga-Mountains>. [Accessed February 8 2022].
43. O. S. Nag, Important Facts About The Virunga Mountains In East Africa, *World Atlas*, February 13 2018. [Online]. Available: <https://www.worldatlas.com/articles/important-facts-about-the-virunga-mountains-in-east-africa.html>. [Accessed 8 February 2022].
44. MONUSCO, Nord Kivu, MUNUSCO, GOMA, 2015.
45. F. Kimenyi, Earthquake kills 34, *The New Times*, 3 February 2008. [Online]. Available: <https://www.newtimes.co.rw/section/read/2543>. [Accessed 8 February 2022].
46. Volcanodiscovery, Nyiragongo volcano, *Volcanodiscovery.com*, January 17 2022. [Online]. Available: <https://www.volcanodiscovery.com/nyiragongo.html>. [Accessed February 15 2022].
47. T. Reporter, The dilemma of surviving an earthquake, *The New Times*, February 20 2008. [Online]. Available: <https://www.newtimes.co.rw/section/read/2743>. [Accessed February 8 2022].
48. MIDIMAR, The National Risk Atlas of Rwanda, MIDIMAR, KIGALI, 2015.
49. N. Mohita, Earthquakes Prediction: 9 Methods to Predict Earthquake, *Yourarticlelibrary.com*, [Online]. Available: <https://www.yourarticlelibrary.com/earthquake/earthquakes-prediction-9-methods-to-predict-earthquake/13915>. [Accessed 13 February 2022].
50. O. V. e. al, A Review of the Technical and Socio-Organizational Components of Earthquake Early Warning Systems, *Frontiers in Earth Science*, vol. 8, no. 533498, pp. 1-19, 2020.
51. P. Bigabo, Disaster Risks Could Cost Rwanda Rwf100 Billion, *KT Press*, January 28 2016. [Online]. Available: <https://www.ktpress.rw/2016/01/>

- disaster-risks-could-cost-rwanda-rwf100-billion/. [Accessed February 8 2022].
52. T. E. African, Hell on earth: Survivors of DRC volcano tragedy share horror stories, *The East African*, May 31 2021. [Online]. Available: <https://www.theeastafrican.co.ke/tea/rest-of-africa/survivors-nyiragongo-volcano-tragedy-share-stories-3419752>. [Accessed 8 February 2022].
 53. F. M. Djaffar Al Katanty, Earthquakes in Congo raze buildings, stoke fear of second volcanic eruption, *Reuters*, May 25 2021. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/business/environment/earthquakes-congo-border-raise-fears-second-volcano-eruption-2021-05-25/>. [Accessed 8 February 2022].
 54. M. M. Bahati, Rubavu district needs Rwf90bn to repair damages from volcanic quakes, *The New Times*, July 15 2021. [Online]. Available: <https://www.newtimes.co.rw/news/rubavu-district-needs-rwf90bn-repair-damages-volcanic-quakes>. [Accessed February 8 2022].
 55. UNHCR, UNHCR Emergency Update on Volcano Nyiragongo, UNHCR, 2021.
 56. EARTHQUAKEMONITOR, Moderate magnitude 4.7 earthquake 20 km northeast of Gisenyi, Rwanda, *VOLCANO DISCOVERY*, May 25 2021. [Online]. Available: <https://www.volcanodiscovery.com/earthquake/news/131041/Moderate-magnitude-47-earthquake-20-km-northeast-of-Gisenyi-Rwanda.html>. [Accessed 8 February 2022].
 57. B. F. Larry Madowo, 92 earthquakes and tremors recorded in past 24 hours around Mount Nyiragongo volcano, *BBC*, May 30 2021. [Online]. Available: <https://edition.cnn.com/2021/05/30/africa/drc-volcano-tremors-intl/index.html>. [Accessed February 8 2022].
 58. G. Gunawan, Design of Earthquake Early Warning System Based on Internet of Thing, *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 1-7, 2021.
 59. R. H. e. al, Emergency Communication and Quick Seismic Damage Investigation Based on Smartphone, *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2016, pp. 1-16, 2016.
 60. M. David JWald, Practical limitations of earthquake early warning, *EARTHQUAKE SPECTRA*, vol. 36, no. 3, pp. 1-36, 2020.
 61. H. K. Yih-Min Wu, Development of an Earthquake Early Warning System Using Real-Time Strong Motion Signals, *Sensors*, vol. 2008, no. 8, pp. 1-9, 2008.
 62. C. P. N. Ting-Yu Hsu, On-Site Earthquake Early Warning Using Smartphones, *Sensors*, vol. 20, no. 2928, pp. 1-18, 2020.
 63. T. H. Fumiko Tajima, Earthquake early warning: what does seconds before a strong hit mean?, *Progress in Earth and Planetary Science*, vol. 5, no. 63, pp. 1-25, 2018.
 64. USGS, ShakeAlert—An Earthquake Early Warning System for the United States West Coast, USGS, Virginia, 2017.
 65. J. S. B. e. al, Earthquake early warning in Aotearoa New Zealand: a survey of public perspectives to guide-warning system development, *Humanities&Social Sciences Communications*, vol. 7, no. 138, pp. 1-12, 2020.
 66. S. Wu, Future of Earthquake Early Warning: Quantifying Uncertainty and Making Fast Automated Decisions for Applications, *California Institute of Technology*, California, 2014.
 67. I. Khan, Earthquake Detection in a Static and Dynamic Environment Using Supervised Machine Learning and a Novel Feature Extraction Method, *Sensors*, vol. 20, no. 800, pp. 1-21, 2019.
 68. C. Gemma Cremen, Earthquake early warning: Recent advances and perspectives, *Elsevier*, vol. 205, pp. 1-8, 2020.
 69. A. S. e. al, An Earthquake Early Warning System for Southwestern British Columbia, *Frontiers in Earth Science*, pp. 1-12, 2021.
 70. Y.-M. W. e. al, Determination of earthquake early warning parameters, τ_c and P_d , for southern California, *Geophys. J. Int.*, pp. 1-12, 2007.

71. M. Z. e. al, Brief communication: Effective earthquake early warning systems: appropriate messaging and public awareness roles, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, pp. 1-8, 2021.
72. H. s. e. al, Earthquake Damage Data Collection Using Omnidirectional Imagery, *Frontiersin.org*, 28 September 2018. [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2018.00051/full>. [Accessed 1 February 2022].
73. E. O. F. EARTH, Compare-Contrast-Connect: Seismic Waves and Determining Earth's Structure, *Univeristy of Hawaii*, October 12 2021. [Online]. Available: <https://manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/node/1336>. [Accessed February 11 2022].
74. G. Gibson, *Seismic Instrumentation*, Royal Melbourne Institute of Technology, Melbourne.
75. M. S.Hons, *Seismic sensing: Comparison of geophones and accelerometers using laboratory and field*, University of Calgary, Calgary, 2008.
76. T. Boyd, *Geophones*, *Geol.lsu.edu*, [Online]. Available: http://www.geol.lsu.edu/jlorenzo/ReflectSeismol03/Geophones_files/geophones.htm. [Accessed 16 February 2022].
77. M. Iskander, *Underground sensing*, in *Geotechnical Underground Sensing and Monitoring*, Academic Press, 2018, pp. 141-202.
78. IndustryARC, *Seismometers Market - Forecast(2022 - 2027)*, IndustryARC, [Online]. Available: <https://www.industryarc.com/Report/16999/seismometers-market.html>. [Accessed 19 February 2022].
79. F. A. Levinzon, *Ultra-Low-Noise Seismic Accelerometers for Earthquake Prediction and Monitoring*, London: IntechOpen, 2017.
80. H. M. Yih-Min Wu, *A Review on the Development of Earthquake Warning System Using Low-Cost Sensors in Taiwan*, *Sensors*, vol. 21, no. 7649, pp. 1-14, 2021.
81. M. Wilson, *What are the components of communication technology?*, *Restaurantnorman.com*, June 3 2021. [Online]. Available: https://www.restaurantnorman.com/what-are-the-components-of-communication-technology/#What_are_the_5_components_of_data_communication. [Accessed 13 February 2022].
82. A. S. Michael Guenther, *Communication systems used in seismology*, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, 2013.
83. MGS, *Sismic Networkko Components*, Maryland Geological Survey, [Online]. Available: <http://www.mgs.md.gov/seismic/components.shtml>. [Accessed February 13 2022].
84. H. E. Aghanti, *CONFIGURATION & INSTALLATION OF A BASE TRANSCIEVER STATION (BTS)*, *Linkedin.com*, 16 February 2018. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/configuration-installation-base-transceiver-station-henry>. [Accessed 2022 February 2022].
85. C. P. e. al, *Perfoemcance evauation of an earthquake early warning system in the 2019-2020 M6.0 Changning, Sichuan, China, Seismic Sequence*, *Frontiers in health science*, vol. 9, no. 699941, pp. 1-13, 2021.
86. USGS, *The Global Seismographic Network*, USGS, Virginia, 2010.
87. P. D. Jonathan Berger, *Ambient Earth noise: A survey of the Global Seismographic Network*, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, vol. 109, no. B11307, pp. 1-11, 2004.
88. R. B. e. al, *he Global Seismographic Network Surpasses Its Design Goal*, *EOS*, vol. 85, no. 23, pp. 1-4, 2004.
89. IRIS, *GSN Maps*, IRIS, [Online]. Available: <https://www.iris.edu/hq/programs/gsn/maps>. [Accessed 16 February 2022].
90. IRIS, *Instrumentation*, IRIS, [Online]. Available: <https://www.iris.edu/hq/programs/gsn/instrumentation>. [Accessed 16 February 2022].
91. A. G. James Wood, *East Africa's Great Rift Valley: A Complex Rift System*, *Geology.com*, March 26 2020. [Online]. Available: <https://geology.com/articles/east-africa-rift.shtml>. [Accessed January 31 2022].

收稿日期 2022 年 7 月 28 日，接收日期 2022 年 8 月 27 日，出版日期 2022 年 9 月 1 日

工程报告

国际临床工程现状：新冠后时代的回顾

Tom Judd¹, Yadin David², Fabiola Martinez³, and Kallirroï Stavrianou⁴

¹ GCEA Liaison officer

² GCEA Interim President

³ CED Chairperson

⁴ University of Warwick, UK

摘要

许多同僚都曾写过关于全球对卫生技术的依赖，这些技术的创新、部署和应用对不断改善全球医疗卫生及服务起到重要作用。世界卫生组织 - 世卫组织 2007 年 WHA60.29 号决议呼吁通过适当的规划、评估、获取和管理，有效利用卫生技术，特别是医疗器械技术。

《国际临床工程杂志》曾收录了专业临床工程师在 Covid-19 之前的故事。2022 年的一篇文章在《临床工程日益增长的作用：病人床边医疗的新兴技术》中则体现了在疫情期间，临床工程师群体的贡献。

本文将回答一些问题，如在新冠疫情期间如何体现这种全球范围对卫生技术的依赖。随着全球抗击疫情的巨大压力，临床 / 生物医学工程 (CE/BME) 专业在医疗机构中发生了怎样的变化。这篇文章回顾了自 2020 年以来临床工程师职业的演变，2020-2022 年间如何与世界卫生组织合作，以及在这一过程中吸取了哪些教训。本文还报告了在 2023 年后，关于改进国家、地区和全球范围，临床工程发展的优先事项。这份报告适时地分享了临床工程支持患者医疗服务相关的重要发现。

【关键词】 COVID - 19，临床工程师，技术专家，设备，患者，结果，工程，国际

Copyright © 2021. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY): *Creative Commons - Attribution 4.0 International - CC BY 4.0*. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

引言

临床工程专业人员 (CE) 通过应用工程、生命科学和管理技能在卫生技术生命周期部署期间, 优化医疗卫生技术, 支持并提升患者医疗体验和结果。临床工程师所具备的系统思维专业知识, 可以对医疗产品进行独立验证, 明确技术支持需求, 确保医疗设备用户的需求得到满足, 易于获得产品, 并为患者医疗做好准备。临床工程师对卫生技术使用进行评估和管理。世界卫生组织将“医疗卫生技术”定义为“以(医疗)设备、药物、疫苗、流程和系统的形式, 应用已整合的知识和技能, 以解决医疗卫生问题并提高医疗和/或生活质量”, 也包括传统医疗设备和新兴的数字医疗工具^[1]。

在 2020-2022 年期间, 世卫组织世界卫生大会 (包括世卫组织 194 个成员国的卫生部长) 重点讨论了重症监护呼吸机的需求 (2020 年) 和医用氧气生产 (2021 年)^[2]。世卫组织特别认可临床工程师们在优化管理医疗设备、个人防护设备、氧气和数字医疗工具等资产方面的专业知识, 特别是在资源匮乏的环境中^[3]。国际医学生物工程联合会临床工程部 (IFMBE CED)^[4] 和国际临床工程联盟 (GCEA)^[5] 增加了不同的专业知识以应对全球挑战。在新冠疫情间, 随着对其成员专业知识的需求激增。在与世界卫生组织的合作下, 这些组织现在与 200 个国家的同仁建立联系, 分享共同面对复杂挑战的最佳方法和解决方案。

如今, CED 和 GCEA 共同组成了一个全球临床工程师组织和网络 (见图 1)。从新冠疫情中吸取的一个重要教训是, 该组织需要更好地了解分布在世界各地的从业人员, 而且还需要了解各国临床工程师业务不同之处, 以帮助推动相关工作的改进, 并以区域为重点, 开展针对性更强的具体的培训。这些工作也将基于我们在 2017 年对早期临床工程师从业者知识体系 (BoK) - 实践体系 (BOP) 开展的调查。

背景

在新冠肺炎疫情之前, 特别是自 2009 年 Yadin David 博士担任 CED 主席和 Adriana Velazquez 女士担

任世卫组织医疗设备 / 卫生技术负责人以来, CED 和世卫组织一直保持着密切合作, 并组织举办了国际临床工程与医疗技术管理大会 (ICEHTMC), 第一届于 2015 年在中国召开, 2017 年在巴西召开, 2019 年在罗马召开。罗马大会有来自 70 个国家的 1000 名与会者。在这些会议期间, 全球临床工程师峰会顺利召开, 以确定应对全球临床工程师 -HTM 挑战的对策, 并确定其优先次序。其中, 2015 年有 15 个国家参加, 2017 年有 30 个国家参加, 2019 年有 48 个国家参加 (见图 2)。



图1. 国际临床工程领导团队。



图2. 临床工程全球峰会。

在 2015-2019 年期间, 会议上达成共识的优先事项逐步得到解决, 例如提高专业认可度, 增加培训机会, 创建专门的国际临床工程期刊 (见图 3)。为此, CED 网站进行了更新并启动了相关项目及奖项 (见图 4), 推广国家和地区活动, 并在 2015 年 10 月 21 日

及随后几年，举办了国际临床工程日庆典活动。

了其官网。



图3. 国际临床工程杂志封面。



图4. 临床工程组织的项目。

国际临床工程日每年举行一次，旨在表彰临床工程师们为各自国家的医疗卫生事业所做的贡献。多年来，国际临床工程日时长从1天增加到1周，最近一次是在2022年，在两周内在多个国家/地区举办了十几场线上活动（见图5）。例如，2020年10月在中国转播了22小时、包含50多个国家的国际临床工程日庆祝活动，社交媒体浏览量超过50万次，并引入了GCEA作为新的全球CE合作伙伴组织。

2020年10月的同一周，世卫组织与GCEA进行合作，GCEA利用CED的国际临床工程网络主导了“WHO针对资源匮乏区域的创新卫生技术汇编”中的工程和管理部分。

自2020年以来，GCEA一直在全球范围内发展，已经举办了十余场全球最佳实践网络研讨会，并完善

Global CE Day & Week



2020 Global CE Day: 22 hours of programming!
<https://www.globalcea.org/globalceday>
 60 CE interviews, 50 countries

2021 Global CE Week: Broke records again!
 with 128 countries joining

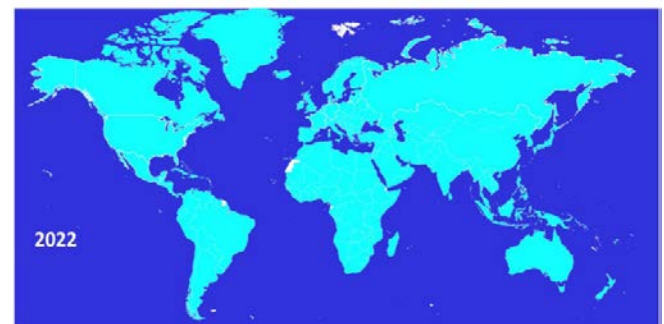
2022 Global CE Week: October 21-28, 2022
 Globally focused Congress & many country programs

图5. 国际临床工程日和国际临床工程周。

新冠疫情时代的结果

在Covid-19之前，全球CE社区由来自100个国家的团队组成。继CED和GCEA举办了60场最佳实践网络研讨会^[6-7]，协助全球应对疫情之后，如今，该CE社区已发展到来自200个国家的560多名合作者，与110个国家临床工程协会保持联系（见图6）。

Global CE Community Worldwide Footprint



GCEA-CED now works with 560+ Collaborators from 200 Countries.
 These individuals include current & former Ministers of Health, Physician & Health System leaders, Engineers, Medical Physicists, Technologists, Technicians, Professors, WHO representatives, all religions, all races, and 1/3 women.

图6. 全球临床工程群体的足迹。

这些网络研讨会中有一半以上的重点是实施全球CE关于COVID-19的知识共享网络。另一个重点领域是各种国家详细说明展示临床工程能力和领导能力的方法（见图7）；并更多地展示CE能力如何在疫情中得以发挥作用。



图7. 国际临床工程日和国际临床工程周。

2022 年国际临床工程的重点、项目组和结果

在 2021 年第 4 届 ICEHTMC (国际临床工程与医疗技术管理大会) 上, 除了就 CE-HTM 实践的传统工作技能的展示, 还就 Covid-19 期间 CE 贡献日益扩大的全球影响力进行了讨论, 例如数字医疗、个人防护装备、设施设计和氧气管理 (见图 8), 国际临床工程峰会 /CE 社区还就 2022-2023 年优先事项确定了以下几点:

1. 能力建设

- 储备足够的具有教育、培训和管理能力的合适人员。
- 框架: CE-HTM 能力建设模型。

2. 影响力衡量

- CE 对临床结果影响力可衡量的验证。
- 框架: CE-HTM 改变理论 (TOC) 模型, 结合利用世界卫生组织定义的获取、质量、安全、覆盖和效率。

3. 认证

- 认证通常意味着通过注册和 / 或认证来确保 CE 专业人员所需的最基本能力和经验。

4. 政策

- 在国家层面上, 临床工程师对卫生部门展示其价值。
- 最终, 临床工程师协助制定国家卫生技术政策。
- 临床工程师教育医疗卫生决策者, 包括公共和私人医疗领域的领导者。

5. 继续与 WHO 的合作

- WHO 医疗设备组主要关注焦点, 以及其他相

关单位如应急响应部门的一些相关工作。

- 世界卫生组织适用于低资源区域的创新技术汇编。
- WHO Covid-19 培训 – 针对疫情特定设备生命周期的管理进行多语种培训。



图8. 2021年10月, 第四届国际临床工程与医疗技术管理大会ICEHTMC。

在 2022 年期间, CE 社区组织重点工作项目的专家小组, 确保覆盖来自以下领域或区域的卫生技术专家的观点:

1. 高级顾问——至少有一名在相关对应项目方面经验丰富的专家为团队提供建议;
2. 提倡者 / 领导者 – 通常至少有 2-3 名经验丰富的区域领导者 / 提倡者;
3. 医院;
4. 卫生系统;
5. MOH (卫生部) ;
6. 学术界;
7. 医疗器械相关制造业;
8. 世界卫生组织相关各区具有多国工作经验的临床工程师对区域协作的观点;
9. 国家临床工程协会或学会。

这些小组的筹备, 也是为确保 CED-GCEA 网络在 6 个世界卫生组织划定的区域之间平衡投入。这些地区包括美洲、非洲、东地中海、欧洲、东南亚和西太平洋地区, 并充分发挥 CED-GCEA 董事会和合作专家的作用。

这些团队定期举行会议, 并在 2022 年全球临床

工程周期期间的研讨会上报告成果，商定 2023 年的下一步行动，重点是分享能力建设 / 影响力衡量研讨会的成果；目前其他优先重要项目组的工作进展也在分析中。

Covid-19 后，国际临床工程组织的下一步行动

在明确需要遵循的最佳流程时，项目组意识到实践体系 (BoP) 的范围在疫情期间显着增加，于是决定使用以下主要数据源，来确认进展并决定下一步工作：

2022 年 9 -12 月 2022 年知识体系 (BoK) 和实践体系 (BoP) 调查

截至 2022 年底，BoK-BoP (能力建设) 调查的当前结果如图 9 所示。

BoK-BoP 数据的初步分析如图 9-12 所示。图 13 显示了所得出的能力建设框架模型。

简要总结如下：

- 世卫组织定义的临床工程从业人员担任的职务多种多样，如图 11 所示；该调查特别关注那些在临床一线、管理卫生技术的临床工程师或生物医学工程师角色的人。
- 这是一个全球性的年轻职业，受过良好教育，需要正式的技术认证（就像大多数医疗卫生专业一样）。
- 临床工程师在数字卫生相关职责方面正在快速增长。
- 全球数据与非洲区域数据的初步比较，显示出重要的区域差异。
- 非洲 29 个国家对该调查的积极响应非常突出，全球所有区域的回复在统计上都具有显著意义。2022 年调查收到的回复是 2017 年调查的 4 倍多（35 个国家，199 份回复），迄今为止收到来自 124 个国家的 865 份回复。

(回收问卷数量: n=865)2022年覆盖全齐124个国家;中低收入国家(52个国家)

Americas	Africa	EMRO/MENA	Europe	SEARO	WPRO						
Anguilla	1	Benin	3	Afghanistan	2	Albania	4	Bangladesh	27	Australia	4
Antigua and Barbuda	1	Botswana	1	Algeria	2	Austria	1	Bhutan	1	Brunei	5
Argentina	37	Burkina Faso	1	Bahrain	1	Belarus	1	DPRK	1	China	186
Bahamas	1	Burundi	4	Egypt	3	Bosnia and Herzegovina	3	India	18	Hong Kong	2
Barbados	1	Cameroon	1	Kuwait	5	Bulgaria	1	Myanmar	1	Japan	10
Belize	1	Central Africa Republic	1	Lebanon	3	Croatia	5	Nepal	31	Malaysia	3
Bolivia	1	Cote d'Ivoire	1	Morocco	1	Cyprus	1	Sri Lanka	2	Mongolia	2
Brazil	37	Chad	1	Pakistan	4	Czech Republic	1			Papua New Guinea	1
Canada	20	DRC	1	Qatar	2	Estonia	1			Singapore	1
Chile	2	Eswatini	1	Saudi Arabia	8	Finland	1			Taiwan	5
Colombia	9	Ethiopia	4	Somalia	1	France	3				
Costa Rica	3	Ghana	29	Sudan	9	Georgia	1				
Cuba	2	Guinea	1	Syria	1	Germany	2				
Dominica	1	Kenya	73	Tunisia	4	Greece	3				
Dominican Republic	1	Lesotho	1	UAE	1	Ireland	8				
Ecuador	2	Malawi	6	Yemen	1	Italy	12				
El Salvador	2	Mali	2			Kosovo	1				
Grenada	1	Mozambique	1			Luxembourg	1				
Haiti	2	Namibia	1			Netherlands	1				
Honduras	4	Nigeria	7			Poland	1				
Jamaica	2	Niger	1			Romania	2				
Mexico	26	Rwanda	13			Russia	1				
Nicaragua	4	Senegal	1			Scotland	1				
Paraguay	3	South Africa	40			Serbia	2				
Peru	5	Tanzania	2			Slovenia	1				
St Vincent & the Grenadines	1	Togo	1			Spain	9				
Saint Kitts and Nevis	2	Uganda	23			Switzerland	1				
Suriname	2	Zambia	12			Turkey	2				
Trinidad & Tobago	17	Zimbabwe	5			UK	5				
Uruguay	1					Uzbekistan	1				
USA	9										
Venezuela	1										
32	29	16	30	7	10	124					
6	23	10	3	7	3	52					
202	238	48	77	81	219	865					

全球调研的一些发现

1. 全球从业人员年轻人占比高：50%年龄在40岁以下；
2. 近50%的人临床工程相关工作经验不足10年；
3. 15%副学士学位，35%本科学历，40%硕士学位
4. 2/3需要认证，其中80%的人需要它
5. 在过去的5年，越来越多的临床工程师参与到了数字医疗领域

地区差异 - 例如非洲

Countries
LMIC (World Bank designation)
Regional responders

图9. 2022年国际BOK-BOP调查。

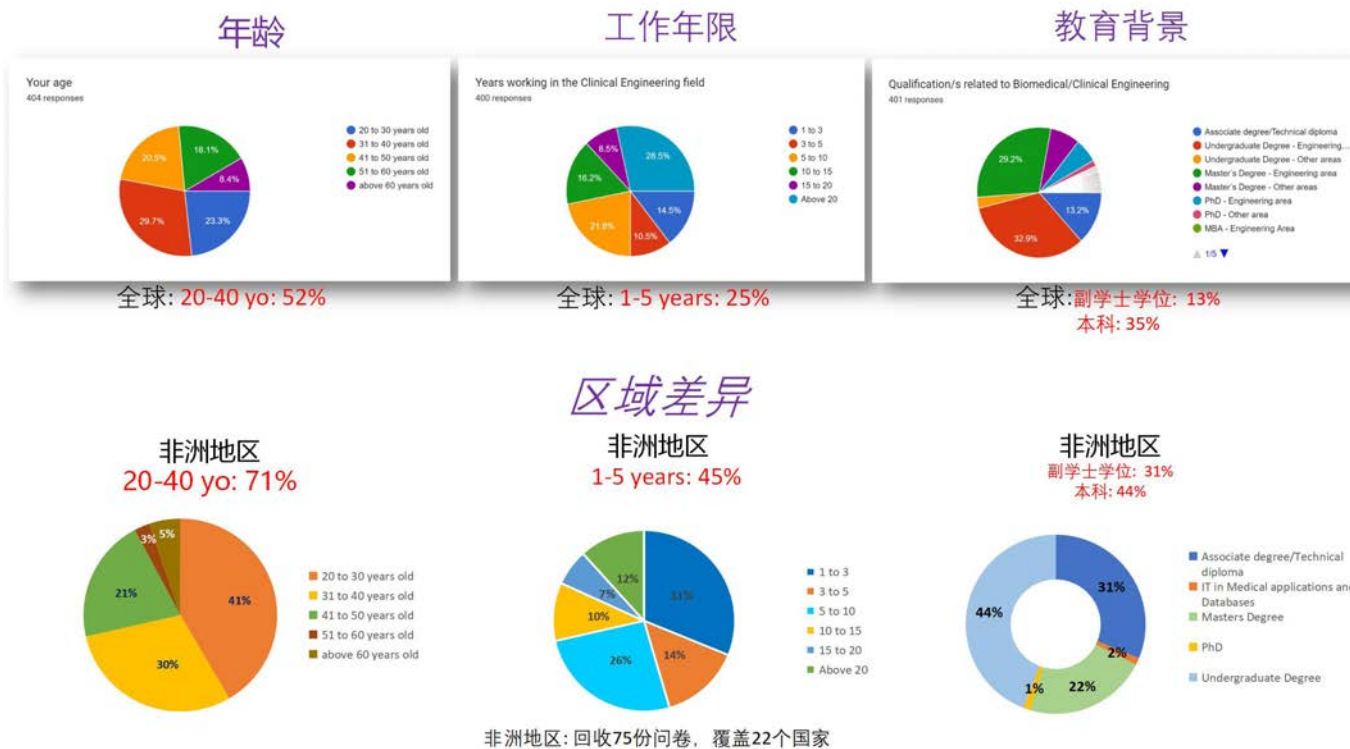


图10. 2022年全球BOK-BOP调查结果。

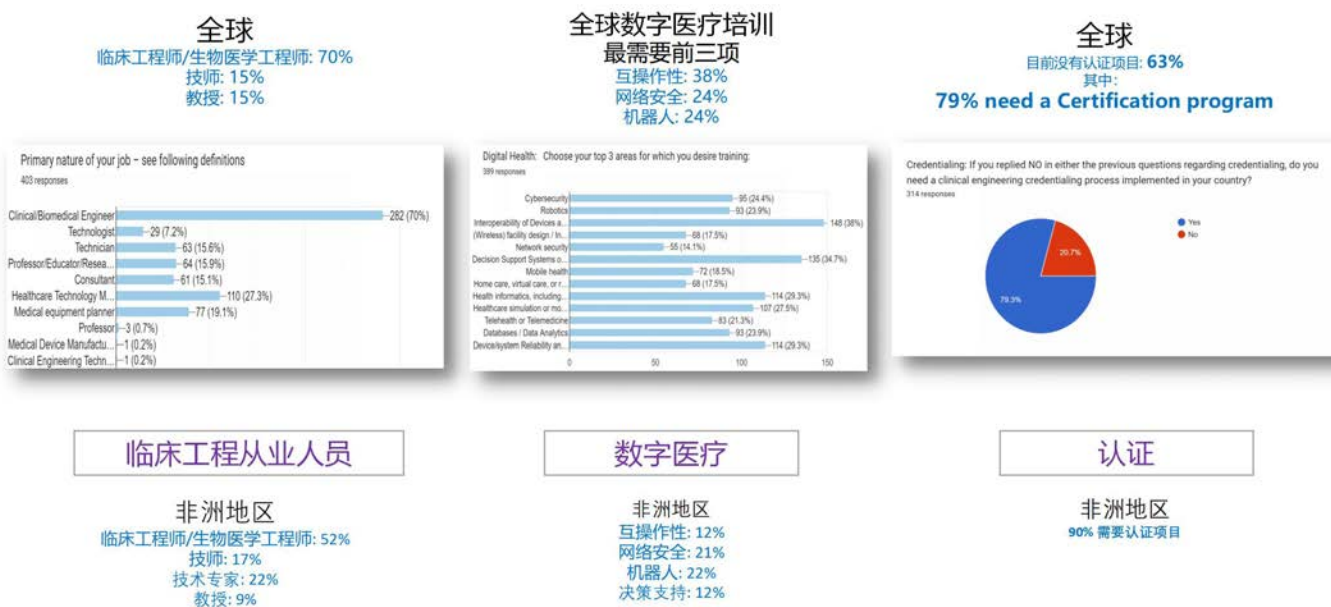
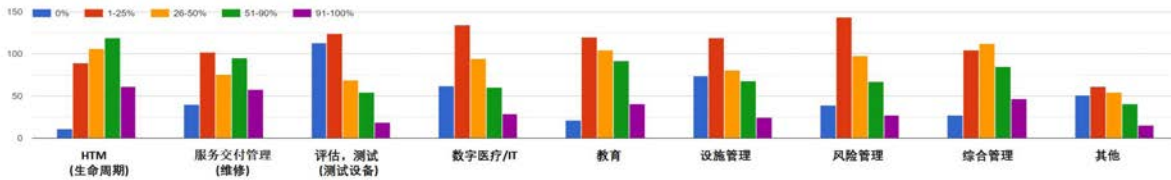


图11. 2022年全球BOK-BOP调查结果。

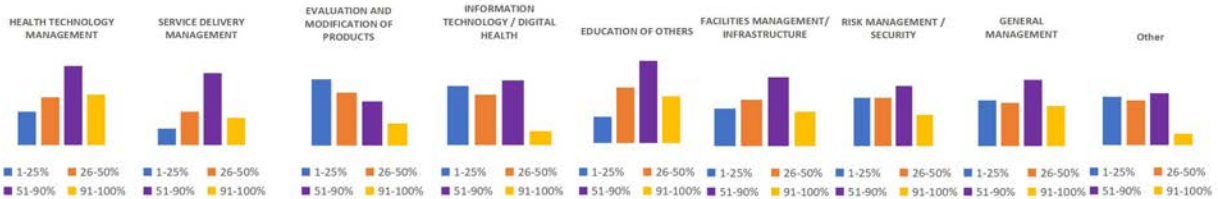
全球 (回收问卷数量400+)

Next we ask that you indicate the estimated percentage of your time that you spend on each of the following major categories of work. Please refer to the definitions below.



实践主体:显著差异

HTM 时间占比相近	SDM 在非洲时间占偏多	Evaluation 在非洲时间占偏少	Digital Health 在非洲时间占偏少	Education 在非洲时间占偏多	Facilities 在非洲时间占偏多	Risk Management 在非洲时间占偏多	General Management 在非洲时间占偏多	Other
----------------------	------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	--------------



非洲地区 (回收问卷: 75份)

图12. 2022年 全球BOK-BOP调查结果。

Status	Low	Middle	High
KNOWLEDGE			
Education (Academic)	2-4 year Academia	Academia: 4-year undergraduate & graduate	Graduate CE
Training (Academia - CPD, CEU & Industry)	Limited	Ongoing	Ongoing for typical devices plus more for high tech devices
Internships (part of Academic studies or independently in hospitals)	Absent	Limited	Available through different sources
Credentialing (Certification & Registration)	Absent	Limited	<50% Certified
Digital Health & Innovation (Knowledge used to improve devices and clinical & business workflows, etc.)	Absent	Limited	Beginning involvement
INVESTMENT			
Investment Drivers (Externally (NGOs, Industry) versus Internally (MOH, Universities))	Externally driven	Ministry of Health (MOH) directed	MOH driven, aligned well with University & Industry partners
Device Sources (Majority Donations versus Majority Central Health Leader-driven)	Majority Donations	MOH-led device planning, selection, & management	Extensive central planning, selection, & management through MOH
CE Department (Staffing, Facilities & Test Equipment)	Limited	Full range for typical devices & growing staff to meet needs	Extensive facilities & wide range of test systems with mature staff size matching needs
Inventory Management (Manual versus CMMS)	Manual	CMMS	CMMS includes Digital Health & Cybersecurity information, with ability to share data with decision makers & colleagues across hospitals
Added Value: Quality & Safety (Measurement, monitoring, improvement, and risk management)	Absent	Limited	Extensive
COMPETENCIES			
Scope of CE-HT Management Activities	Minimal set of devices	Full range of typical devices	Typical plus high-tech devices + Digital Health tools & Cyber
Device Preventive Maintenance & Repair	Limited PM & Repair of typical devices	Full range for typical devices	Full range PM & repair typical + high tech specialty devices
Clinician & Healthcare Team Relationships	Absent	Limited	Strong partnerships
National CE / BME Society (Bringing HT colleagues together to share best practices and training)	Absent	Beginning	Mature and able to assist other nearby countries
Leadership Development (Developing & Mentoring CE practitioners/Influencers)	Absent	Limited	Key country CE leaders mentioned externally, They train & mentor others, become influencers
Policy, Regulation, Legislation (Raising HT issues to national level in Political context)	Absent	Limited	Extensive

图13. 能力建设框架。

2022 全球改变理论 (TOC) / 影响力测量调查

TOC (影响力测量) 调查的当前结果 (TOC 解释视频) :

- 反馈数量 : 34
- 发送具体案例研究的国家数量 : 16
- 重点是关注全球的临床 / 生物医学工程师们认为其在医疗卫生服务或医疗系统中最具有影响力的领域。
 - 到目前为止, 在大多数情况下, 被认为会对医疗卫生系统产生影响的领域是患者安全 (n=24), 其次是改进诊断 (n=17)、改进医疗服务 (n=16)、成本节约 (n=15 例) 和医院服务容量 (n=15)。鉴于最近的疫情, 也有证据表明, 应急准备是另一个需要关注的领域 (n=12)。

结论

下一步: 除了继续分析 CE 资质认证项目组和政策组相关进展及其下一步措施, 以及评估我们与世界卫生组织的伙伴关系外, GCEA 和 CED 将落实 CE 能

力建设项目组和 CE 对临床贡献影响力衡量项目组的工作成果。

疫情使我们 CE/BME 专业在全球范围内受到高度关注，例如来自世卫组织、卫生部和私营卫生系统领导层的关注。我们将如何利用这一机会发挥我们 CE 的最佳实践经验？我们提出并发表了许多关于该职业如何协助卫生和其他卫生领导人解决其关键的国家卫生优先事项的战略。

在疫情期间，全球 CE 组织鼓励培养各个国家层面的 CE 职业团体和国家英雄。正如 CED-GCEA 在 2022 年所提出的那样，需要继续与国家 CE/BME 协会合作，培养当前和未来的领导者（见图 14）。



图14. 全球CE组织新兴领导者。

BoK-BoP 调查、能力建设框架和 TOC 调查：各国可以开始深入研究它们在全球范围内提供的实践经验，以及它们需要解决的差距，以继续扩大其在改善医疗卫生服务方面的作用。在 Covid-19 期间，全球对临床工程师能力的不断认可，全球 CE 组织可以帮助各国和从业者提供满足对于 CE 不断增长的需求所需的技能。CED-GCEA 可以帮助准备相应的信息，搭建平台。

CE 团队和国家临床工程的情况：数据得出许多国家在 CE 能力和 Covid-19 期间与临床工程师相关的解决方案及最佳实践。目前的五个优先项目涉及全球最关注的可持续发展问题和机遇。首先考虑 CE 能力建设框架。分析你的国家在该框架如何体现，并根据重要性去进行排序。同时，与全球临床工程组织以及您所在国家的 CE 协会合作，确定下一步的步骤。

我们有许多工具、内部网络和潜在的外部联盟；

每个从业者以及 CE 全球组织将如何利用这些来进一步发展我们的职业？临床工程师通过使用社交媒体工具也很有帮助；这些工具将如何融入未来的工作？图 15 描述了 2020-2022 年各国临床工程师使用这些工具的情况。

CED & GCEA has reached an estimate of **3,970,000** touches/views in the **last three years (2020-2022)** by promoting Clinical Engineering's value through social media and educational platforms.

图15. 社交媒体和教育平台影响的跟踪记录。

本文作者将对收集到的数据进行进一步的分析，并会在《国际临床工程杂志》上发表他们的最终调查结果。

参考文献

1. WHO Health Technology definition
2. WHO World Health Assembly 2020-2022
3. WHO Priority medical devices list for the COVID-19 response and associated technical specifications
4. IFMBE CED
5. GCEA
6. IFMBE CED webinars, 2020-2022
7. GCEA webinars, 2020-2022