国外军事地质学热点问题

李万伦[1)], 吕鹏[1)], 孟庆奎[2)], 王铭晗[1)]
1)中国地质图书馆,北京,100083; 2) 自然资源部航空物探遥感中心, 北京, 100083

内容提要: 近年来以美国为代表的西方军事强国在军事地质学领域已取得了很大进展,尤其在应对未来战争方面作了许多准备。通过系统搜集国际军事地球科学会议(ICMG)和美国地质学会(GSA)有关军事地质学的最新专题研讨会论文与其他公开出版资料,梳理了当前国外军事地质学研究的热点问题并阐述了其新进展,其中作战领域包括地形情报研究、军事基地选址、潜在特殊战场环境调查、地下重要设施评价、非常规作战环境调查;非作战领域则包括抢险救灾、生态环境保护和环境安全评价等。最后分析了当前军事地质学研究存在的问题,并指出了其未来发展趋势。

关键词:军事地质;地形;选址;海岸带;地下设施;非作战军事行动

随着现代战争向立体化、全球化和快速化转变,精准全球打击成为可能,这就需要实时掌握包括地质信息在内的多种战场环境情报(孙兴丽等,2017;刘晓煌等,2017)。自20世纪90年代中后期以来,军事地质学的重要性再次受到国际关注,以美国为代表的西方军事强国掀起了一轮新的研究热潮。而国内从21世纪初以来,也开始认识到军事地质学的重要性(唐金荣等,2016;刘晓煌等,2016)。然而毕竟军事地质学起源于战争,在和平时期如何开展这项研究,还存在诸多不确定问题。本文依据近年来国际军事地球科学会议(ICMG)及美国地质学会(GSA)与军事地质学相关的专题会议论文集,以及其他公开发表的最新文献资料,梳理出了当前国外军事地质学的主要研究热点,以期对国内军事地质调查和研究有所启示。

1 发展简史

军事地质学的出现较早,在第一次与第二次世界大战中就被德国、英国和美国等广泛应用于军事活动中,对此有大量文献报道(Harmon et al., 2014; Rose, 2014; David et al., 2018)。第二次世界大战以后,由于世界政治形势的变化,对军事地质的需求不断改变,并给军事地质学的发展带来了极大影响(Rose,2014)。

美国地质调查局(USGS)在第二次世界大战中成立了专门从事军事地质调查工作的机构。然而到了冷战时期,许多军事地质工作转向其他部门,USGS的军事地质研究只限于在地球表面的小范围地区开展战略评估。其主要任务有两项,一是开展地下设施场地工程地质评估;二是为监视限制核试验条约的执行情况提供地质支持(Leith,2002)。冷战结束以后,世界军事地质学的研究范围反而扩大。一方面继续开展作战领域的研究。例如1994年,美国国防部部长发布报告,给军事地质学提出了两项任务:①探测和查明地下设施特征;②用非核武器击毁经过"硬化"的地下目标。为了实现这些目标,美国军事地质学家使用各种技术,特别是遥感与物探技术来发现和查明外国地下重要设施的情况。另一方面军事地质学也开始往环境保护、自然灾害防治等非作战领域拓展,为和平建设、抢险救灾等提供信息支撑。

1994年在西雅图举行的美国地质学会工程地质分会上召开了有关军事地质的特别研讨会上,这就是现在的国际军事地球科学会议(ICMG))的前身(Allen, 1996)。如今,ICMG已经举办了12届,会议总共收录军事地球科学相关的论文近300篇。此外,最近十多年来,还有一系列学术会议和相关专题会议涉及军事地质问题。比如,2008年美国地质学会年会第135小组分会上专门以"21世纪军事地质学"为主题进行了研讨。以这些会议为基础,近

注: 本文为中国地质调查项目"国际地质调查动态跟踪与分析"(编号: DD20190414)的成果。
收稿日期:2019-08-28;改回日期:2019-12-03;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2020.01.013
作者简介:李万伦,男,1972年生,博士,研究员,主要从事地学情报研究,Email: 784561271@qq.com。

年来国外出版了一系列军事地质学论文集(Rose et al., 2012; McDonald et al., 2016; Stuart et al., 2018; Rose,2019)。这些成果标志着当前国际军事地质学的发展进入了一个新的阶段。

2 研究现状和热点

军事地质学是一门应用学科,由于军事行动包括作战与非作战两种类型,因此地质学在军事上的应用也包括作战与非作战两个方面,分别对应战争期间与和平时期的军事行动。

2.1 军事地质仍将在作战行动中发挥重要作用

现代战争对军事地质学提出了新的更高要求,必须综合收集地质、气象、水文、海洋、电磁等各种战场环境信息,以保证在战场上取得绝对的压倒性优势,例如最近的伊拉克、阿富汗战争,同时某些信息只要运用恰当还能充当"杀手锏",比如"地质武器"、"气象武器"等。从作战军事需求的角度来看,现代军事地质的研究热点主要包括以下几个方面:

2.1.1 地形情报研究

由于地形对部队和车辆的通行能力有重要影响,因此最早的军事地质学任务主要是提供"地形情报"(Leith,2002),当然地下基础地质条件对地形的形成与演化起了决定性作用。今天,尽管随着技术影响力的日益增加和网络战、精确定位等作战特征的变化,可能有一部分决策者和指挥官认为地形对战争的相对重要性降低了。然而,现代战争的事例表明,不同地理环境(特别是地形条件)对战斗结果仍有巨大影响(包括正面和负面),例如以色列自1948 年建国以来同周边阿拉伯国家之间发生的许多次战争(University of Haifa,2015)。

(1)地形情报数字化水平提高:过去一幅简单的平面地形图就能发挥很大作用,随着数字高程模型的出现,地形三维可视化表达已经比较常见。例如美国沙漠研究所(DRI)可提供全球高精度的地形地貌图,所研制出的地理信息系统平台,可通过近实时地合成卫星遥感与无人机遥感信息,准确地预测战区地表和近地表的地质情况;该系统已经在伊拉克和阿富汗战争中为美国陆军提供情报时发挥了作用。然而,由于越来越认识到地形与植被、气候等许多相关条件叠加在一起,可对军事行动产生不同影响。近年来,地形和气候变量都被纳入多维度的大数据分析中,并采用综合数据建模与分析方法。比如 Jason(2015)尝试构建一种系统化方法,用于分析最有可能出现武装冲突的地区的森林、山地和沙漠地形、气候条件和军事化争端之间的关系。不过,现在还难以将地形情报同当地实时观测到的天气信息完美地融合。另外,美国陆军寒区研究与工程实验室(CRREL)正在开发新的方法,以便从现有的全球地学空间数据库和遥感图像中自动提取所需的地形信息。目前,CRREL 已经在开发远程地形评估地理信息系统(GIS)工具包,以便嵌入到国防部(DoD)的地学空间程序中(Shoop et al.,2015)。可见,地形信息集成与自动化提取是一个重要发展方向。

(2)土壤信息是更加精准的地面情报:由于地表土壤的岩土工程性质(如强度)对许多地区军用车辆通行的影响都很大,土壤分布图在军事上十分有用。尽管经济不发达地区很少开展土壤调查,但遥感技术的出现解决了这个问题。目前,在利用 Landsat 卫星图像绘制高分辨率土壤类型图(Hendrickx et al.,2008)、利用卫星图像和气候资料分析土壤强度差异并评估土壤水分对土壤强度的影响(Susan et al.,2015)方面取得了显著进步。同时,由于土壤含水量、温度及土壤固有的物理性质(如内聚力和粒度分布等)都影响着土壤的强度。对这些土壤湿度的影响因素(包括地形、植被与气候等)也作了大量研究(Niemann et al.,2008; Sankey, 2008)。近年来特别对沙漠地区土壤开展了相关研究。例如 McDonald(2015)利用土壤—地形模型预测沙漠中局部和区域的扬沙过程,从而为军事活动提供了支撑。Sabol Jr. 等(2015)则调查了沙漠表面土壤的力学性质,以了解那里是否适合于派遣机器人去探查并破坏敌方埋藏在地下的"路边炸弹(LED)"。

2.1.2 军事基地选址

历史上,军事地质学在军事要塞、防御堡垒、新建机场和港口码头选址等方面都曾经发挥过重要作用。今天,在军事基地、训练场和重要设施及武器测试场地选址等方面仍然需要军事地质学。例如美国陆军要求在跟实际作战环境尽可能相似的训练场内提前开展军事训练(Gilewitch et al.,2014a)。因此所涉及的问题更加复杂,必须综合利用地球科学资料并考虑社会经济及政治方面的制约,并通过更全面的评估进行筛选。Bailey(2008)曾经根据气候条件和由此决定的主要植被类型,利用全球生态区域分类系统绘制了一幅全球军事行动环境图。通过它可以识别出全球的军事行动环境特征;从而在美军基地中发现对应的相似训练场地。由于美国部署在巴拿马的永久性试验基地于 2000 年到期,为了替代

与巴拿马相似的热带环境军事基地,美国陆军早就利用区位分析(local analysis)方法,综合利用地球科学知识,并跨越了传统的学科界限,经过具体而详细的分析及最终考察,最终选定了备用基地(Harmon ,2008)。

2.1.3　潜在特殊作战环境调查

美军特别重视对潜在作战环境预先开展调查和研究,为作战部队提供真实情报信息。在诸多特殊环境中,尤其海岸带和沙漠近年来受到美军的特别重视。

(1)海岸带登陆区调查: 海岸形态和海洋状况的动态变化可对海洋与陆地之间部队装备与人员的运送带来巨大挑战。美国伍兹霍尔海洋研究所承担了大量海军海洋测量与研究任务,其中就包括海岸带调查。由于海岸形态是动态的,特别是海滩形态变化非常快,过去绘制的单张地图很难满足战场指挥员的实际需要。最近 Wadman 等(2014)在美国北卡罗纳州昂斯洛海滩两栖试练场利用当前最先进的海岸测量技术进行监测,以获取精确的实时数据,包括几项关键性指标:如近岸海域水深梯度、近岸沉积体和海岸线与植被线的位置变化,然后建立了海岸带动态演化模型,对复杂的海岸带作用进行分析和评估,以识别出可能发生侵蚀的热点区域,并划分出潜在的危险区(图 1)。由于开发海岸带评价模型需要掌握大量实时监测数据,因此建立关键海岸带的综合信息数据库十分重要。

(2)沙漠环境调查与模拟: 不仅在过去二十多年里,而且在可以预见的未来,美军一再被要求前往中东和西亚地区的沙漠中执行任务,因而国际上特别重视沙漠环境调查与研究。例如美国沙漠研究所(DRI)就利用陆军设在西南部沙漠区的沙漠训练基地(尤马试验场)和国家沙漠训练中心(NTC)开展了大量工作,并取得了重要成果(Doe III,2014)。近年来有许多军事地质学文献涉及沙漠环境;2011 年召开的国际军事地球科学会议也以“军事地球科学与沙漠战争”为主题,会后还出版了一部论文集(McDonald et al. , 2016)。这些研究包括对沙暴与尘暴产生机制与形成过程进行模拟研究(McDonald et al. , 2008a; McDonald,2015;Doyle,2016),沙尘与武器故障关系(McDonald et al. , 2008b),防尘设备(如抑尘剂)的开发与使用(Graham et al. , 2008)以及沙漠环境对地面机器人设计的影响(Sabol Jr. et al. , 2015)等。而 Gilewitch 等(2014b)总结了沙漠地形、风沙、高温和辐射等不利条件对军事行动的影响;Gilewitch 等(2014a)则根据沙漠环境特征,建立了沙漠军事分类模型,以进一步提高陆军对沙漠作战环境的认识。今后趋势是越来越重视利 用遥感、数字高程模型和数值建模等手段开展沙漠地表与气候作用过程及沙漠独特条件研究,同时还要为武器装备研制提供依据。.

2.1.4　地下重要设施探测与评估

美国自冷战时期开始就十分重视地下设施探测和评估,并在这方面取得了世界领先的成效。当今世界上,位于不同地质背景条件下的地下军事设施的数量激增,例如,据估计韩国非军事区沿线就有超过 1000 个地下设施(Leith, 2002)。因此美国军事地质学家一直在编辑相关信息(即 Thomas Eastler 等(1998)提出的“战略地质情报”),以评估重要地区地下军事设施的脆弱性。这种情报包括基岩地质、风化情况、土壤发育程度、体积、完整的机械性能,甚至是有关弹丸如何穿透岩石的数据。这些不同的数据被用于计算和建立三维模型,而模型则被

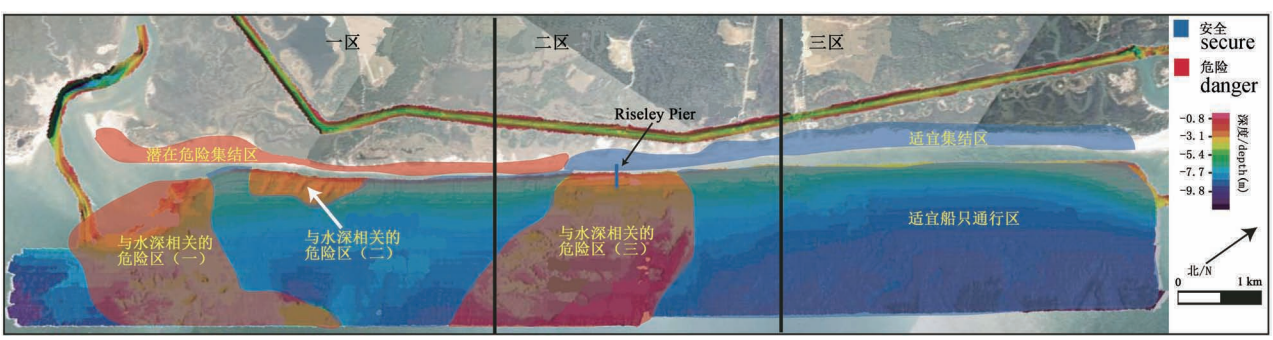


图 1 海军陆战队 Lejeune 基地营的海岸带危险分区(Wadman et al. ,2014)

Fig. 1 Coastal zone hazard division of marine Lejeune Base Camp (Wadman et al. , 2014)

图中,对输送和集结有危险的区域用红色阴影表示;蓝色阴影为无危险区域

In the figure, the dangerous areas for transportation and assembly are indicated by red shading. Blue shadows are non-hazardous areas

用于评价武器效果和单个隧道入口或广义地下综合体的脆弱性,有时甚至用于开发新的武器。

通过长期调查与研究,美国已经掌握了全球许多重要地区的近地表地质条件资料(包括地质、地球物理和岩土工程性质方面的数据),当然也可能会存在比较分散、格式不统一或资料不完善等问题(Kelley et al., 2008)。但近年来,探地雷达、电磁感应、电阻率成像和磁法剖面等近地表地球物理技术的飞速发展,为美军快速而完整地获取那些信息提供了可能(Kelley et al.,2008)。此外,自冷战以来美国还利用地质参数对全球重点地下目标进行了模拟实验,以便为精准打击提供详细数据支撑。例如在海湾战争中,美军利用地质参数精确选配钻地武器的型号和数量(孙兴丽等,2017);战场向大纵深、高度立体化发展,给包括中国在内的许多国家都上了一堂生动的高科技战争教育课。最近,据美国某军事网站刊文《美国陆军斥资五亿美元训练士兵打地下战》,美国陆军高层称,下一场战争将发生在"超大城市"(Cox, 2018)。美军从 2017 年起,就开始为在全世界人口密集的超大城市地区进行大规模的地下空间作战进行准备。这是检验其地下设施探测技术与战略地质情报质量的一个很好机会。可见,美国利用军事地质学开展战争准备工作已远远走在世界前列。

2.1.5 非常规作战环境调查

在新的国际形势下,维和、反恐与打击走私等不同于常规战争的行动,也给军事地质学提出了新的需求,因为这些行动通常发生在那些战略上不太重要或以往未曾预料到的地区,可能没有多少资料可用,然而却要求迅速掌握详细的作战环境信息。

阿富汗地形以陡峭的兴都库什山脉为主,只有北部和西南部为平原和盆地。自 2001 年 10 月美军发动"反恐战争"并入侵阿富汗以后,军方在寻找阿富汗塔利班和基地组织部队时,迫切需要了解关于洞穴位置和特征的"地质情报",以及隧道入口对常规和穿透性炸弹的抵抗能力。当时,美国地质调查局(USGS)参与了阿富汗的军事行动,并搜集了大量地质、地球物理和高光谱遥感图像等资料,且建立了相关的地质数据库(Seltmann,2012),为美军在阿富汗开展的军事行动(包括搜捕本·拉登)提供了重要情报。在那段时期,只要基地组织一发布本·拉登的视频,地质学家就忙着研究视频中岩石的构成,因为熟悉阿富汗地质背景的专家有可能根据岩石构成推断出其藏身之地。

另外中东地区是当今世界上最不稳定的地区之一,尤其是巴勒斯坦加沙地区和伊拉克的北部。西方世界认为,最近大约二十年以来,加沙地带的巴勒斯坦解放组织和游击队经西奈半岛北部从埃及获得走私武器。已有调查发现,近年来走私路线位于地中海海岸东南角拉法市的埃及与加沙地带之间的秘密隧道中。该隧道由一系列钙质和沙质古土壤组成。最近,Joel(2015)对加沙地带隧道的修建、隧道所支持的活动以及其周围的地质和地理特征的重要性进行了研究,以便为打击走私活动提供基本信息。而在伊拉克北部的摩苏尔地区,伊斯兰国(IS)成员从 2014 年至 2017 年期间修成了大量复杂的地下隧道网络(图 2),这严重阻碍了伊拉克和佩什梅加部队收服摩苏尔的战斗。最近西方军事地质学家对那些地下隧道进行了全方位的工程地质调查,不仅调查了那里的基础地质条件,还考察了隧道入口隐蔽、隧道功能设计及挖掘工具使用等多方面的情况,从而为今后的军事行动提供了丰富的、有重要价值的信息(Mark,2018)。

2.2 军事地质在非作战行动中亦能发挥重要作用

除了直接服务于作战行动,当代军事地质学在非作战军事行动中的应用也越来越广泛,如抢险救灾、生态环境评价以及军事行动环境影响等等(Harmon et al.,2014)。

2.2.1 抢险救灾

和平时期,国内外在发生紧急自然灾害(如地震、滑坡、泥石流、洪水等)时,往往需要军队参与抢险救灾。据 USGS 网站报道,近年来,USGS 为北方司令部提供大量相关地学信息支撑。军事地质学可以为部队的行动提供很多有用信息。例如,在地震高风险地区,需要综合运用地质和地球物理知识开展基础设施评估,以便了解其在地震活动中的脆弱性;而抢险部队也需要了解地震灾害的复杂性,并及时获得相关的地质学专业知识,才能更好地制定救援计划,且对紧急情况作出快速反应(Mark,2015a)。Mark(2015b)还认为,随着自然灾害发生频率的升高,未来十年英国军队的物理作战环境发生变化,并将在与民事部门协同开展的救援活动中发挥更大作用。

2.2.2 生态环境保护

这项研究包括两方面,一是过去战争对地区环境的遗留影响评估,二是在军事基地内开展的军事训练及武器装备测试对周围生态环境的影响评价。前者如欧盟资助的 CHEMSEA 项目和由北约和平与

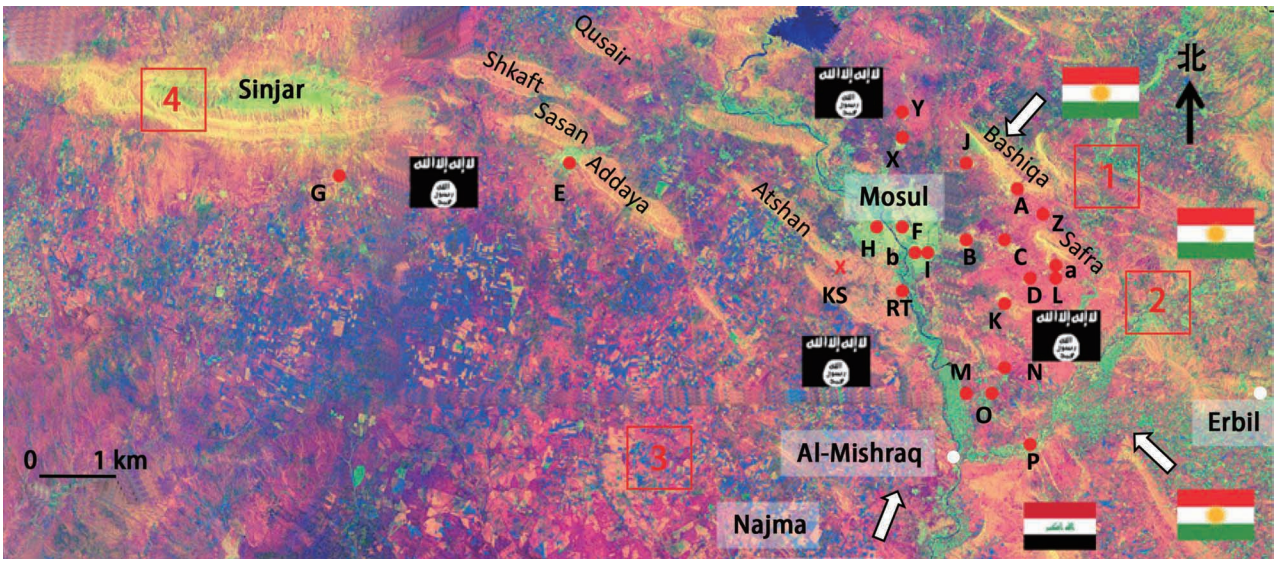


图 2 伊拉克北部摩苏尔地区 Sentinel-1A 雷达影像图(Mark,2018)

Fig. 2 Sentinel-1A Radar Image of Mosul Area in Northern Iraq (Mark, 2018)

红点表示 IS 组织隧道位置,红叉表示墓地,红框表示分区;白色箭头表示伊拉克和库尔德军队进攻方向。字母为地名缩写

The red dot indicates the location of IS organization tunnel, the red cross indicates cemetery, and the red box indicates division. White arrows indicate the direction of attack by Iraqi and Kurdish troops. While the letters are abbreviations of place names

安全计划所资助的 MODUM 项目,对历史上向欧洲海洋里倾倒的废弃弹药或埋藏多年的未爆弹药(UXO)进行了调查,以确定倾倒位置、弹药的可能类型和数量,并试图评估其对环境和人类的潜在威胁(Goran,2015)。后者如美国所重视的军事用地的环境管理,即对军事基地进行生态环境影响评价。例如 Hayden(2014)发现美军军事基地意外地变成了生态环境保护区,为部分濒危物种提供了避难场所。Doe III 等(2014)则描述了美国西南部沙漠军事用地管理所面临的挑战,因为大量的军事训练设施和测试设备已经大大超过了那里的土地承载力。此外,冲沟在美国西部许多军事基地中普遍存在,对军用车辆的通行造成了很大阻碍,因此军方也特别关注。Huang 等(2014)通过水文地貌研究,揭示了冲沟对军事基地和训练活动的影响。而 Santosh 等(2018)则利用激光雷达获取的 1 m 分辨率的数字高程模型(DEM)来探测莱利堡(Fort Riley)军事基地中的沟壑,并绘制出了冲沟分布图。这些研究对军事基地的环境保护与管理提供了重要科学依据,有助于保证军事基地的可持续使用。

2.2.3　战略环境安全评价

环境退化,例如大部分耕地被废弃、水资源被破坏、森林被砍伐、景观被破坏,这些因素将阻碍人们获得最基本的生存条件。假如这些环境问题处理不好,就会严重影响国家与社会安定,甚至导致国家动荡和社会矛盾激化。在国际和平基金会网站公布的世界上最失败的国家(例如索马里、伊拉克等),就都面临严重的环境安全问题。国际上早已注意全球战略安全问题的重要性。美国国家情报委员会(NIC)警告说,未来几十年由于环境压力引发冲突的可能性将会显著增加(King, 2014)。Francis(2015)提出了一种环境安全系数,以便根据现有的环境安全模型,对环境引发的冲突进行定量评估。

3　存在问题与发展趋势

尽管近年来国际上军事地质学研究取得了重要进展,然而随着现代战争特点和需求的转变,当前军事地质学研究仍面临着一些问题需要解决。

3.1　军事地质学的概念

在 18、19 世纪和 20 世纪里的大部分时间中,对军事地质学的定义都是“地形情报”(Leith, 2002)。自冷战时期以来,美国往往把军事地质学看成是工程地质学的一个分支学科,而现在已拓展为军事地球科学(Harmon et al., 2014)。德国与澳大利亚现在依然习惯从军事地理学(Military geography)的角度来分析军事地质问题(Stuart et al.,2018; Rose, 2019)。颜承义(2018)则认为,不必拘泥于学科的划分,因为实际上各国的军事地质学研究范围都已

扩展到包括地质、地理、土壤、水文、气候、生态环境等在内的许多地球科学的分支学科。随着传统地质科学理论向地球系统科学理论转变,军事地质学向军事地球科学转变可能是未来发展的必然趋势。

3.2 军事需求变化大,军事地质研究内容和方法都需要创新

从历史上到现在,现代战争的发展变化很快,不同时期对军事地质学提出了不同的要求。但总体上看,现代战争所需战场信息已经不再是传统的单一学科研究所能胜任的,例如前述军事基地选址,就涉及到许多学科。因此,现在军事地质学研究的范围更广,综合性更强,这都对地质学家提出了新的更高要求。同时,随着大数据、云计算等先进信息网络技术的应用,预计今后军事地质学必将逐渐告别传统的单一、静态地图产品服务模式,并向综合、动态和模型化产品服务方向转化。

3.3 信息保密问题

首先,不同国家的信任程度不一样,使军事地质学家的国际交流仅局限于少数国家之间。例如,以美国为首的西方国家所主持的国际军事地球科学会议(ICMG)都是在亲英美的国家召开。其次,同一个国家内部也会存在军民两张皮现象,即一方面地质领域积累了大量的地学信息和数据,另一方面军事活动中所需要的有关战场环境的确切地球科学信息仍然难以获取。协同合作与共享是解决问题的关键。例如美国地质调查局的地位要求它必须为国防、民事部门及全球人道主义援助提供地学情报信息支撑(据 USGS 网站)。在美国国家地学空间计划(NGP)中,USGS 通过 J93(一个机构间业务协作部门)与北美防空司令部(NORAD)和美国北方司令部(USNORTHCOM)(合称 N-NC)保持联络,近年来向后者提供了许多资料(Clampitt,2017)。

总之,随着今后世界各国对军事地质学的重视程度增加,其在作战与非作战领域中的应用都将得到更快速的发展,并被拓展到更多领域。今后在理论上主要依据系统地球科学理论,跨越传统的学科界限,聚焦军事应用热点与难点问题;在方法上则注重采用大数据、云计算、人工智能等先进技术,以构建综合数据模型,解决更加复杂的军事问题。

4 结论

(1)国际上以美国为代表的西方军事强国在军事地质学领域已经取得很大进展。尤其是通过军事地质工作采集地下重要设施背景信息及全球地球物理场信息,以便为未来战争作好更充分的准备。

(2)国际上近年来十分重视对沙漠地区和海岸带等潜在的特殊战场环境进行模拟研究,包括沙漠扬尘、沙漠土壤与地形预测和海岸带演化研究与建模等,并取得了重要进展。

(3)国外军事地质学在非作战领域也得到了广泛应用,包括抢险救灾、生态环境保护以及环境安全评价等方面,并取得了大量成效。

5 建议

上述方面均值得国内军事地质工作参考借鉴。总的来看,我国军事地质应当做好顶层设计和常态化对接,充分把握需求,并且以地球系统科学理论为指引,深入拓展军事地质应用领域,努力提高精准服务水平。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

刘晓煌,孙兴丽,毛景文,关洪军,戚冉,李保飞,刘玖芬,杨伟龙,赵炳新. 2017. 军事地质及其在现代战争中的作用. 地质通报, 36(9):1656~1664.

刘晓煌,孙兴丽,孙天弘,刘玖芬,李宝飞,鲍宽乐. 2016. 军事地质在反恐非军事行动中的应用. 西北地质,50(4):238~243.

孙兴丽,刘晓煌,鲁继元,毛景文,徐学义,关洪军,李保飞,刘玖芬,鲍宽乐,鲁世朋. 2017. 现代战争特点及军事地质调查. 地质论评,63(1):99~103.

唐金荣,杨宗喜,郑人瑞,李鹏远,周平,金玺. 2016. 国外军事地质工作现状与发展趋势. 地质通报,35(11):1926~1935.

颜成义. 2018. 地利—地质对军事活动的影响. 北京:地质出版社:25~38.

Allen W H. 1996. 1994 Seattle symposium reveals complexity and value of military geology. Engineering Geology, 44: 245~253.

Bailey R G. 2008. Using a world-wide ecoregional classification to identify similar environments for military operations [OL]. Joint Meeting of the Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM, Session No. 135-6. [2019-08-25] https://gsa.confex.com/gsa/2008AM/webprogram/Session20996.html

Clampitt L. 2017. USGS Liaison to U. S. Northern Command[N/OL]. [2019-08-25]. https://www.usgs.gov/core-science-systems/ngp/user-engagement-office/usgs-liaison-u-s-northern-command.

Cox M. 2018. Army is spending half a billion to train soldiers to fight underground [N/OL]. (2018-6-24) [2019-08-25]. https://www.military.com/daily-news/2018/06/24/army-spending-half-billion-train-troops-fight-underground.html

David G B, Andrew L M. 2018. Some aspects of the British Geological Survey's contribution to the war effort at the Western Front, 1914~

1918. Proceedings of the Geologists' Association 129: 3~11.

Doe III W W, Hayden T J, Lacey R M, Goran W D. 2014. Overview of department of defense land use in the desert southwest, including major natural resource management challenges, in: Harmon R S, Baker S E, McDonald E V. eds. Military Geosciences in the Twenty-First Century: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XXII: 109~118.

Doyle P. 2016. Anunfortunate accident of geography: badlands and the ANZAC sector, Gallipoli, April—December 1915. In: McDonald E V, Bullard T (eds.) Military Geosciences and Desert Warfare, Advances in Military Geosciences: 3~18.

Francis A G. 2015. A quantitative assessment of environmentally triggered conflict: the environmental security index[OL]. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts.

Gilewitch D A, King W C, Palka E J, Harmon R S, McDonald E V and Doe III W W. 2014a. Characterizing the desert environment for Army operations. in: Harmon R S, Baker S E, McDonald E V. eds. Military Geosciences in the Twenty-First Century: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XXII: 57~68.

Gilewitch D A. 2014b. Military operations in the hot desert environment, in: Harmon R S, Baker S E and McDonald E V, eds., Military Geosciences in the Twenty-First Century: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XXII: 39~47

Goran K. 2015. Monitoring programs for chemical weapons disposed in European waters[OL].. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts

Graham K D, McDonald E V, Steven N B and George N. 2008. Testing and Evaluation of a Synthetic Polymer for Dust Suppression in Military Applications[OL]. Joint Meeting of the Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM, Session No. 135-14. [2019-08-25] https://gsa.confex.com/gsa/2008AM/webprogram/Session20996.html

Harmon R S, McDonald E V. 2014. Editors' introduction: Military geoscience in the twenty-first century—A historical perspective and overview. in: Harmon R S, Baker S E, McDonald E V. eds. Military Geosciences in the Twenty-First Century: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, v. XXII: 1~10.

Harmon R S. 2008. Geoenvironmental characterization of tropical environments for army materiel and human performance testing[OL].. Joint Meeting of the Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM, Session No. 135-7. [2019-08-25] https://gsa.confex.com/gsa/2008AM/webprogram/Session20996.html

Hayden T J. 2014. U. S. military installations as bioreserves: A case study from Fort Hood, Texas. in: Harmon R S, Baker S E, McDonald E V. eds. Military Geosciences in the Twenty-First Century: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XXII: 101~108.

Hendrickx J M H, Engle E, Harrison J, Brian B, Hong S H and Kathy F. 2008. Mapping of spatio-temporally variable semi-arid soils using optical imagery[OL]. Joint Meeting of the Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM, Session No. 135-11. [2019-08-25] https://gsa.confex.com/gsa/2008AM/webprogram/Session20996.html

Huang Xiangjiang, Niemann J D. 2014. Simulating the impacts of small convective storms and channel transmission losses on gully evolution. in: Harmon R S, Baker S E, McDonald E V. eds. Military Geosciences in the Twenty-First Century: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XXII: 131~145

Jason E S. 2015. Terrain types and military operations in developing regions: a model for professional applications[OL].. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts.

Joel R. 2015. Geographic influences on the development of clandestine smuggling tunnels between Sinai (Egypt) and Rafah (Gaza Strip) and Terror—Guerilla tunnels between the Gaza Strip and Israel[OL].. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts.

Kelley J R, Berry T E, Horton R J, Lillian D W and Monte L P. 2008. Near-surface characterization for expeditionary & homeland defense[OL].. Joint Meeting of the Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM, Session No. 135-9. [2019-08-25] https://gsa.confex.com/gsa/2008AM/webprogram/Session20996.html

King W C. 2014. Environmental security revived: A global security threat. in: Harmon R S, Baker S E, McDonald E V. eds. Military Geosciences in the Twenty-First Century: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XXII: 11~18.

Leith W. 2002. Military geology in a changing world. Geotimes, 47(2): 24~26.

Liu Xiaohuang, Sun Xingli, Mao Jingwen, Guan Hongjun, Qi Ran, Li Baofei, Liu Yifen, Yang Weilong, Zhao Bingxin. 2017**&**. Military geology and its role in modern war. Geological Bulletin of China, 36(9): 1656~1664.

Liu Xiaohuang, Sun Xingli, Sun Tianhong, Liu Yifen, Li Baofei, Bao Kuanle. 2016**&**. The application of military geology in anti-terrorism non-military operations. Northwest Geology, 50(4): 238~243.

Mark H B. 2015a. Integrating geology into infrastructure assessment[OL]. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts.

Mark H B. 2015b. Changes in the physical operating environment: implications for UK military over the next ten years[OL].. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts.

Mark H B. 2018. Geological considerations of contemporary military tunnelling near Mosul, northern Iraq. In: Rose E P F, Ehlen J & Lawrence U L. eds. Military Aspects of Geology: Fortification, Excavation and Terrain Evaluation. Geological Society, London, Special Publications: 1~473.

McDonald E V. 2015. Predicting local to regional dust emission in deserts using soil—landscape models in support of military activities[OL]. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts.

McDonald E V, Bullard T. 2016. Military Geosciences and Desert Warfare - Past Lessons and Modern Challenges. Published by

Springer: 1~375.

McDonald E V, Darko K, Jerrold M D and Doug B. 2008a. Integrated Terrain Modeling for Predicting Dust Emission Hazards for Military Operations in Deserts[OL]. Joint Meeting of the Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM, Session No. 135-08. [2019-08-25] https://gsa.confex.com/gsa/2008AM/webprogram/Session20996.html

McDonald E V, Todd C G and Sophie B. 2008b. Weapons Malfunctions and the Reactivity of Iraqi Dust [OL]. Joint Meeting of the Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM, Session No. 135-13. [2019-08-25] https://gsa.confex.com/gsa/2008AM/webprogram/Session20996.html

Niemann J D, Lehman B M, Melliger J J. 2008. Implications of the covariation of soil, vegetation, and topography on soil moisture patterns in two semiarid environments[OL].. Joint Meeting of the Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM, Session No. 135-10. [2019-08-25] https://gsa.confex.com/gsa/2008AM/webprogram/Session20996.html

Rose E P F, Mather J D. 2012. Military Aspects of Hydrogeology. Geological Society, London. Special Publications: 1~362.

Rose E P F. 2014. Military geosciences before the twenty-first century. in: Harmon R S, Baker S E, McDonald E V. eds. Military Geosciences in the Twenty-First Century: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XXII: 19~26.

Rose E P F. 2019. German military geology and fortification of the British channel islands during World War II. Series: Advances in Military Geosciences by SpringerLink: 1~400.

Sabol Jr. D E, McDonald E V. 2015. Soil geotechnical characterization of desert surfaces for testing ground robotics [OL]. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts.

Sankey J B. 2008. Hydroclimatological controls on wind erosion of soil following wildfire[OL]. Joint Meeting of the Geological Society of America, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Gulf Coast Association of Geological Societies with the Gulf Coast Section of SEPM, Session No. 135-12. [2019-08-25] https://gsa.confex.com/gsa/2008AM/webprogram/Session20996.html

Santosh R, Wang Guangxing, Philip B W, Howard H R, Hutchinson J M S, Hutchinson S, Schoof J, Oyana T J, Li Ruopu, Park L O. 2018. Detection of gullies in Fort Riley military installation using LiDAR derived high resolution DEM. Journal of Terramechanics, 77:15~22.

Seltmann R. 2012. Identification of mineral resources in Afghanistan—detecting and mapping resource anomalies in prioritized areas using geophysical and remote sensing (ASTER and HyMap) data. Economic Geology, 107:1515~1518.

Shoop S, Ochs E, Sopher A, Ryerson C. 2015. Remote terrain assessment for rapid deployment in austere environments[OL].. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts.

Stuart P, Holloway J L, Thackway R M. 2018. Australian Contributions to Strategic and Military Geography. Series: Advances in Military Geosciences by SpringerLink: 1~249.

Sun Xingli, Liu Xiaohuang, Lu Jiyuan, Mao Jingwen, Xu Xueyi, Guan Hongjun, Li Baofei, Liu Yifen, Bao Kuanle, Lu Shipeng. 2017&. The characteristics of Modern War and the investigation of military geology. Geological Review, 63(1):99~103.

Susan F. 2015. Comparison of soil moisture sources on soil strength and resulting mobility predictions[OL]. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts.

Tang Jinrong, Yang Zongxi, Zheng Renrui, Li Pengyuan, Zhou Ping, Jin Xi. 2016&. Present situation and development trend of military geological work abroad. Geological Bulletin of China, 35(11):1926~1935.

Thomas E E, Donald J P, Paul R F. 1998. Role of geology in assessing vulnerability of underground fortifications to conventional weapons attack. In: Military Geology in War and Peace. Colorado: Geological Society of America: 173~188.

University of Haifa. 2015. Research proposal — analyzing the past and current roles of terrain and terrain analysis on military operations [OL]. 11th International Conference on Military Geosciences (ICMG). [2019-08-25] http://www.dri.edu/icmg11/abstracts.

Wadman H M, McNinch J E, Foxgrover A. 2014. Environmental metrics for assessing optimal littoral penetration points and beach staging locations: amphibious training grounds, Onslow Beach, North Carolina, USA. in: Harmon R S, Baker S E, McDonald E V. eds. Military Geosciences in the Twenty First Century: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XXII: 187~203.

Yan Chengyi. 2018#. Topographic Advantages—the Influence of Geology on Military Activities. Beijing: Geological Publishing House: 25~38.

New progress in application of military geology abroad

LI Wanlun[1)], LÜ Peng[1)], MENG Qingkui[2)], WANG Minghan[1)]

1) *National Geological Library of China, Beijing*, 100083;

2) *Aviation Geophysical Prospecting and Remote Sensing Center, Ministry of Natural Resources, Beijing*, 100083

Abstract: In recent years, western military powers represented by the United States have made great progress in the field of military geology, and especially made many preparations for dealing with future wars. Through systematic collection of papers and other published materials on the latest symposium on military geology from recent

International Conference on Military Geosciences (ICMG) and the American Geological Association (GSA), this paper sorts out the current hot issues in foreign military geology research and summarizes its new progress, including terrain information research, military base location, potential special battlefield environments investigation, underground important facilities evaluation, and unconventional combat environment investigation. Non-combat areas include emergency rescue and disaster relief, ecological environment protection and environmental safety assessment. Finally, the existing problems in current military geology research are analyzed, and its future development trend is also pointed out.

Keywords: military geology, topography, site selection, coastal zone, underground facilities, non-combat military operations

Acknowledgments: This work was supported by the Chinese Geological Survey Project "International Dynamic Tracking and Analysis for Geological Survey" (No. DD20190414). Thanks are especially given for those who help us complete this work, including Tian Qianlin, Zhang Wei, Wu Xishun, Jiang Chongxin and so on.

First author: LI Wanlun, male, born in 1972, professor, mainly engaged in the study of geological information; Email: 784561271@ qq. com

Manuscript received on:2019-08-28;Accepted on:2019-12-03; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2020. 01. 013