

美国军事地质发展和启示

张广有¹⁾, 孟庆奎^{2,3)}, 王智超⁴⁾, 毕记省¹⁾

1) 32023 部队, 辽宁大连, 116023; 2) 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京, 100083;
3) 自然资源部航空地球物理与遥感地质重点实验室, 北京, 100083; 4) 32033 部队, 海口, 570100

内容提要: 加强国外军事地质发展历史研究, 充分吸取国外军事地质工作经验教训, 对做好我国军事地质发展规划和顶层设计, 加速军事地质技术发展, 提升信息化条件下联合作战地质保障能力具有重要意义。美国作为世界超级大国和头号军事强国, 军事地质调查能力世界领先, 目前已经形成军民融合深度发展格局, 其发展壮大的历史经验值得研究借鉴。通过对美国军事地质发展研究, 系统梳理了美国军事地质孕育兴起、成长壮大、高速发展 3 个阶段的发展历程, 分析总结了美国军事地质经验借鉴、军民融合、任务目标、学科发展、学术交流和成果保密 6 个方面的发展特点, 并结合我国军事地质工作实际, 就下一步工作提出了 5 点启示建议。

关键词: 美国; 军事地质; 发展历程和特点; 启示

军事地质作为战场环境保障的重要组成部分, 几乎贯穿了整个人类战争史, 成为决定战争胜败的重要因素之一, 受到国内外专家学者的高度重视, 是世界强国争相抢占的战略制高点。近年来, 我国在现代军事地质理论与应用(刘晓煌等, 2018; 孙兴丽等, 2017)、现代军事遥感地质学(于德浩等, 2017)、军事地质体遥感智能解译技术(李显巨等, 2019), 以及对国外军事地质发展趋势、国外军事地质学热点问题(唐金荣等, 2016; 李万伦等, 2020)等方面取得了丰硕的研究成果, 很好地推动、也极大地丰富了我国的军事地质工作。为了适应现代战争“三非”、“三深”、“三快”、“五高”(刘晓煌等, 2017)的发展需求, 积极借鉴国外军事地质建设先进经验, 本文紧贴我国军事地质发展需要, 通过系统研究美国军事地质发展历程, 分析总结了美国军事地质的发展特点, 并结合我国军事地质工作实际, 就下一步工作提出了启示建议。

1 发展历程

根据国际形势的发展变化、军事地质的机构变革、地质保障的任务差异以及学科发展的技术情况, 美国军事地质发展历程可分为孕育兴起、成长壮大、高速发展 3 个阶段。

1.1 孕育兴起阶段(1945 年之前)

美国将地质学知识运用到军事可追溯到 19 世纪末的南北战争时期, 但准确地说, 美国的军事地质工作是因第一次世界大战而兴起(Rose, 2014)。在此期间, 陆上战斗基本上是以步兵为主的阵地战, 海上战斗是以战列舰为主的炮火对射, 作战样式属于静态战场为主的平面型作战样式。此时美军虽然没有成立专门为军队服务的军事地质组织, 但是为进入欧洲对德作战的远征军配备了 9 名地质专家, 归属军官后备役团工程分部, 主要工作是根据作战需要为一线指挥官提供采矿作业、战壕及堡垒建设维护、公路铁路建设、供水水源勘探等地质信息和咨询。第二次世界大战期间, 高性能高效率的坦克飞机大量使用, 以坦克为中心的机械化部队和空军紧密协同, 作战样式属于以运动战为主的立体型作战样式。此时随着军事地质理论的丰硕和运用的提高, 地质学家在战役中施展的作用就越发的重要, 军事地质工作得到了长足的发展和空前的大规模应用, 并快速达到巅峰。1942 年 2 月美国地质调查局(USGS)应美国战时经济委员会请求, 集中力量昼夜奋战, 历时约 2 个月, 快速编制了非洲国家战略矿产资源报告, 确定了非洲 30 个国家的建筑材料、泥土、水和燃料等资源分布情况, 为美军战略布局提供了

注: 本文为自然资源部重点实验室课题(编号: 2020YFL16)和中国地质调查局项目(编号: DD20191001)的成果。

收稿日期: 2021-10-31; 改回日期: 2022-04-27; 网络首发: 2022-06-20; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.06.015

作者简介: 张广有, 男, 1970 年生, 正高级工程师, 主要从事摄影测量工作; Email: aaaa454898@sohu.com。通讯作者: 孟庆奎, 男, 1987 年生, 高级工程师, 主要从事航空地球物理与遥感综合应用研究; Email: qingkui_meng@163.com。

重要支撑 (Leith and Matzko, 1998)。1942 年 6 月 24 日,美国在华盛顿特区间接成立了一个军事地质小组 (MGU),隶属于美国地质调查局 (USGS),并编入美国陆军工程兵团 (USACE) 相关情报部门 (组织架构见图 1)。军事地质小组 (MGU) 战时工作主要包括编译地形情报、设定军队和车辆在陆地上的转移线路、寻找水及能源和矿产资源、寻找建筑材料并帮助解决修筑、飞机场选址等问题 (Leith, 2002)。在此期间军事地质小组 (MGU) 从收集各国公开发表的报告中获取信息和基础地质数据,并以航空摄影

资料为补充,共编写完成了 313 份战略报告,其中为美国陆军工程兵团 (USACE) 提供了 140 份报告,涉及欧洲和太平洋战场中实际发生和潜在的作战区域;为美国陆军航空队提供了 42 份研究成果及为其他组织提供了 131 份小型研究报告 (Terman, 1998b)。

1.2 成长壮大阶段 (1945 年~1991 年)

冷战时期,伴随着国际形势的转化,美军军事地质机构也经历了多次调整。1946 年绝大部分军事地质小组 (MGU) 成员回到了美国地质调查局 (USGS),官方正式在地质调查局成立了军事地质处 (MGS)。1949 年 1 月 1 日,军事地质处 (MGS) 升格为军事地质部 (MGB),其主要任务是为美国国防部 (DOD) 提供全球尺度的地形地质情报 (Terman, 1998a)。1963 年,军事地质部 (MGB) 与国防部的长期业务来往单位从美国陆军工程兵团 (USACE) 转变为国防情报局 (DIA);1966 年,该部门的部分职能由美国情报机构取代,部分人员转入国防情报局 (DIA),标志着美军军事地质开始纳入国防情报体系。1972 年,军事地质部 (MGB) 解散,大部分职能都被转移到美国地质调查局 (USGS) 的其他部门或美国国防部 (DOD),只保留特种情报处,主要任务是在秘密环境下开展极其重要的研究工作,也担任特种情报机构和最高级政府机构的科学顾问。这一时期美国的军事地质工作除继续从事全球地形情报编译外,已开始出现向诸如地雷探测、军事污染土地与地下水治理、武器装备越野机动性等军事类问题转移的趋势 (Rose and Mather, 2012);军事地质研究焦点也从传统的构筑、机动等以陆军应用为主的地面情报获取,转向以地下核试验场或境外地下工

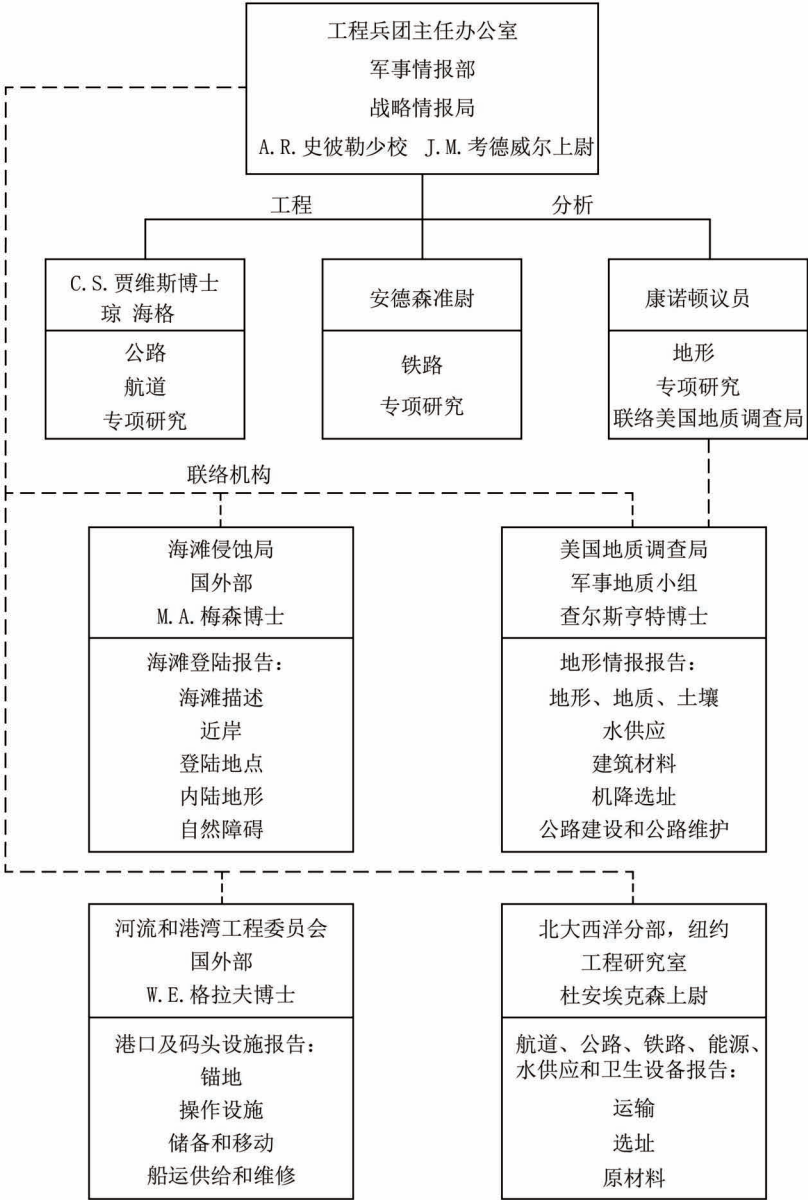


图 1 二战期间美国陆军工程兵团情报机关组织框架图 (Terman, 1998b)
Fig. 1 Organizational framework of intelligence agencies of USACE during the Second World War (Terman, 1998b)

事设施为主的区域地面环境的战略评估(Leith and Matzko, 1998),以及北纬 80°以上的高北极地区恶劣环境军事地质研究;军事地质技术虽然受当时计算机等科技水平限制,作战支援保障还不能提供实时地质信息数据,只能事先准备资料,但是航空重力测量和卫星遥感技术却取得实质性进展,已经开始应用于军事地质情报获取。

1.3 高速发展阶段(1991年之后)

冷战结束后,美国不但没有减弱军事地质建设,反而不断调整优化军事地质机构和职能,广泛开展军事地质学术交流,积极运用高新技术扩大军事地质研究范围,提升军事地质保障能力。1993年军事地质部(MGB)更名为特殊地质研究小组(SCSG),隶属于美国地质调查局(USGS)。1995年,美国地质调查局(USGS)面临生存危机,后经过调整、改革、合并,最终被保留下来,推动了特殊地质研究小组(SCSG)职能的发挥,使其职能从之前全球范围情报收集转移到重点局部地区地质研究。20世纪90年代中后期,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,军地双方公开的军事地质交流活动异常活跃。1994年美国地质学会(GSA)和美国地质调查局(USGS)在西雅图举办的第一届国际军事地质会议,以后平均每两年举办一次,目前大会已成功举办13届,共收录军事地球科学相关的论文300余篇,第14届因新冠疫情推迟至2022年在美国南卡莱罗那州举办,主题为“21世纪军事地球科学:经验教训与现代挑战”。1996年10月1日,美国军队成立美国国家影像与制图局(NIMA),整合国防测绘局(DMA)、国防情报局(DIA)等相关部门,以及美国地质调查局(USGS)军事地质相关职能。2001年阿富汗战争爆发后,美军利用先进的地质探测技术确定钻井的最佳位置,解决野战供水问题;从通行条件、水源供应、洞穴和矿洞分布等军事地质方面入手,判定抵抗力量活动和藏身地区;通过遥感解译对抵抗力量藏身位置的岩土体进行分析,确定实施打击的武器弹药种类和数量,充分发挥了军事地质的保障效能。2003年国家影像与制图局(NIMA)更名为国家地理空间情报局(NGA),成为与美国联邦调查局(FBI)、中央情报局(CIA)和国家安全局(NSA)等3个机构平起平坐的高级情报机构,其首要任务是协助情报部门挑选、分析和发布地理空间信息,实现对地理空间信息的快速获取和监测。在此阶段,由于卫星侦察、精确制导和精准打击

等高科技手段和武器装备的运用,战场环境已由传统的陆、海、空向陆、海、空、天、地多维空间扩展,这也促使军事地质工作研究领域由传统的地表——浅地表向深地、深海、深空和外太空方向发展,大数据、云计算、人工智能等先进技术广泛应用于军事地质工作,探测手段也由地面探测向航空、航天方向拓展,形成多功能融合、空天地一体的探测体系。

2 发展特点

纵观美国军事地质发展历程,从二战时期的孕育兴起,经冷战时期的成长壮大,到现在的高速发展,经历了从跟班学习借鉴到前沿技术引领,从单个人员设置到整体机构建设,从学科发展驱动到国家需求牵引,从单一学科建设到综合学科发展的演化过程,自成一体、独树一帜,具有鲜明的个性特点。

一是经验借鉴充分。美国虽然最早在19世纪末的南北战争时期就将地质学知识运用到军事,但是与欧洲国家相比却有较大差距。据记载1798年7月拿破仑就将地质学家带入军事行动,协助军队完成被占领国家的矿产资源勘察,并提供有关战役的建议,早于美国100余年。美国在起步阶段就认识到自身在军事地质方面的差距,注重借鉴欧洲国家军事地质工作经验,特别是英国盟军经验,在第一次世界大战时为进入欧洲对德作战的远征军配备地质专家,保障一线指挥官军事地质情报需求;在第二次世界大战时,借助美国地质调查局(USGS)成立军事地质小组(MGU),专门从事作战区域军事地质情报收集、研究和保障,缩短了与其他国家之间军事地质应用的差距。

二是军民融合深入。从美国军事地质工作发展来看,美军始终走军民融合的发展道路,借助美国地质调查局(USGS)来完成军事地质工作。自二战以来,美国地质调查局(USGS)就组建了专门的军事地质部门,根据美军作战需要和发展实际开展军事地质工作,全面支撑美军军事地质环境保障需求。1996年随着国家影像与制图局(NIMA)的成立,美国地质调查局(USGS)逐渐由台前走向了幕后,继续为情报部门提供标准化的军事地质数据和产品服务。美军为调动地方中小企业的高精尖科技及创新能力,从1982年开始就实行了“小企业创新研究计划”,支持带有预研性质的项目,一直延续至今,促进了美军军事地质保障工作的军民融合深度发展。总之,美国在军事地质方面军民分工负责,密切协作,注重军地成果的双向转化,共同做好军事地质的

研究和保障,形成了完备的军事地质战场环境保障体系。

三是任务目标明确。美国注重军事地质工作的规划和实施,紧密结合作战需要开展军事地质工作。在两次世界大战期间,重点围绕作战地域,收集对方军事地质情报,制作作战需要的各类军事地质成果,研究军事地质在战争中的具体应用方法,为战役指挥官提供军事地质咨询保障;在冷战时期,开始提供全球尺度的地形地质情报,突出潜在隐患区军事地质调查,军事地质研究从传统的构筑、机动等以陆军应用为主的地面情报获取,转向以地下核试验场或境外地下工事设施为主的区域地面环境的战略评估;在高速发展阶段,根据军事地质保障需求调整研究和工作方向,从传统领域拓展到自然重电磁环境、战场态势感知和战后生态环境重建、军事土地管理等新兴领域。由此可见,美军军事地质工作每个阶段都有明确的保障任务和研究方向,具有科学完备的发展计划,能够及时提供符合美军作战需要的军事地质保障产品,解决制约军事地质发展的核心关键技术,这也是美军军事地质工作高速发展的根本原因。

四是学科发展完善。美国军事地质工作随着武器装备发展和作战样式改变而改变,从一战中静态战场的工事构筑、供水水源和建筑材料供应,到二战时动态战场的武器装备越野机动性评估,再到冷战时期及核时代军事地下工程建设地质环境问题,直到现代战争强调作战环境问题(张栋等,2019)。调查范围从传统的地表——浅地表向深地、深海、深空和外太空方向发展,调查内容从单一门类资源调查到全要素多门类调查方向发展,涉及地质、地理、土壤等多个分支学科,需要不同领域的专家共同完成。因此 2009 年第八届国际军事地质大会将军事地质学的概念改为军事地球科学,不仅包括了几乎所有的地质学和地理学研究领域,而且包括水文学、考古学等研究领域,将军事地质作为军事地球系统科学来重新审视,使军事地质向更宽范围、更高领域、更高层次发展。目前,美国军事地质工作广泛运用大数据、云计算、卫星与雷达遥感等先进技术,已经发展成为多学科交叉的综合性基础学科。

五是学术交流活跃。从 1994 年美国地质学会(GSA)和美国地质调查局(USGS)在西雅图举办的第一届国际军事地质会议开始,目前大会已成功举办 13 届,据已有部分会议资料统计,陆海空军方参与单位 15 个,美国地质调查局(USGS)、各大学以

及科研院所等地方参与单位 39 个,是目前世界上最有影响力的军事地质学术会议。另外美国地质学会(GSA)年会作为非军事地球科学专题会议,从 2000 年开始每年都会收到军事地质科学的相关文章,有时还会进行军事地质专题研讨。这些会议不仅总结了美军军事地质工作情况,交流了军事地质研究的前沿成果,拓宽了军事地质科学的发展渠道,而且促进了美国军地地质相关部门的合作,推动了美军军事地质工作的高速发展。

六是成果保密严格。美国高度重视军事地质保密工作,早在军事地质小组(MGU)成立初期使用的标志就是一个神秘的人躲在门后打着保持安静的手势的图案,并明确标有“机密”、“安静”字样,充分说明了军事地质在国家中的重要地位(图 2)。1963 年美国将军事地质部(MGB)与陆军工程兵团(USACE)军事地质工作的业务往来关系转变为国防情报局(DIA),开始将军事地质信息按照情报管理。1966 年军事地质小组(MGU)的部分职能由美国情报机构取代,部分人员转入国防情报局(DIA),标志着美军军事地质正式纳入国防情报体系。因此美国始终把军事地质成果作为国家的核心秘密管理,从二战至今的各种地质成果和资料很少解密,学术交流也主要局限在美国军地和其盟友之间举行,现在公开的美军地质工作、研究成果和会议资料较少。

3 启示建议

与美国等发达国家相比较,我国军事地质工作还处于初期发展阶段,在军事地质建设方面还存在一定差距。我们应该积极借鉴美国发展经验,加快军事地质工作发展,为打赢信息化高技术战争做好准备。

一是做好宏观规划。以我军军事斗争准备需求为牵引,查找军事地质工作在体制机制、标准体系、产品结构、装备制造和服务保障等方面存在的差距,做好军事地质发展规划论证,明确阶段发展任务和研究重点,持续开展军事地质体系化建设,全面解决瓶颈问题,确保军事地质发展有的放矢,精准高效。

二是拓宽调查范围。着眼现代战争立体化、全球化、快速化转变需要,开展全球地球系统科学信息获取工作,拓展深地、深海、深空和外太空方向探测领域,逐步扩充地球系统科学要素保障内容,形成完备的战略支援保障体系,为军兵种提供定制式军事地质战场环境保障服务。



图2 二战期间军事地质小组(MGU)使用的标志(Terman,1998b)

Fig. 2 Sign used by MGU during the Second World War(Terman,1998b)

三是坚持技术引领。积极发展地球物理探测、海上综合调查和航空航天遥感等技术,形成多功能融合、空天地一体的探测体系。注重大数据、云计算等高新技术在军事地质领域的应用,突出遥感影像智能解译技术研究,提升战场环境地理态势感知能力。构建军事地质信息化平台,整合多源异构调查信息,实现军事地质体系化支撑服务和实时保障。

四是深化军民融合。根据军民融合长期全面合作发展需要,进一步做好合作机制、创新驱动、标准统一等方面的转型升级和深度磨合,充分发挥军地双方各自优势,加大相互帮扶力度,不断拓宽合作领域,联合开展任务生产、科研攻关、人才培养和非战争军事行动的应急保障,真正实现力量共用、项目共建、成果共享。

五是加强队伍建设。目前我军军事地质专业人才规模数量与作战保障要求还有差距,必须及时引进军事地质专业人才,加强地质学、水文地质、工程地质、地球物理等多学科知识交叉培养,建立规模数量相当、专业结构合理、人员相对稳定的人才队伍,积极开展军事地质任务生产和专项研究,不断提高军事地质保障能力。

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)

李显巨,吴春明,陈伟涛,王力哲. 2019. 军事地质体遥感智能解译技术. 北京:科学出版社:1~45.

李万伦,吕鹏,孟庆奎,王铭含. 2020. 国外军事地质学热点问题. 地质论评,66(1):189~197.

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):1657~1664.

刘晓煌,张露,孙兴丽,李喜来,刘玖芬,郝笃刚,孙天弘,葛良胜,沈睿文,刘兴春,邢伟伟,赵炳新. 2018. 现代军事地质理论与应用. 北京:科学出版社:1~20.

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):99~112.

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.

于德浩,龙凡,杨清雷,王康,李王,杨彤. 2017. 现代军事遥感地质学发展及其展望. 中国地质调查,4(9):74~82.

张栋,吕新彪,葛良胜,路彦明,黄辉. 2019. 军事地质环境的研究内涵与关键技术. 地质论评,65(1):181~198.

Leith W,Matzko J R. 1998. Recent activities in military geology at the U. S. Geological Survey. In: Underwood J R, Guth P L. eds. Military Geology in War and Peace. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XIII. Colorado: Geological Society of America: 139~143.

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

Li Wanlun, Lü Peng, MENG Qingkui, Wang Minghan. 2020&. New progress in application of military geology abroad. Geological Review,66(1):189~197.

Li Xianju, Wu Chunming, Cheng Weitao, Wang Lizhe. 2019#. Remote sensing intelligent interpretation technology of military geological body. Beijing: Science Press:1~45.

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

Liu Xiaohuang, Zhang Lu, Sun Xingli, Li Xilai, Liu Jiufen, Chi Dugang, Sun Tianhong, Ge Liangsheng, Shen Ruiwen, Liu Xingchun, Xing Weiwei, Zhao Bingxin. 2018#. Theory and Application of Modern Military Geology. Beijing: Science Press:1~20.

Terman M J. 1998a. Military geology branch of the U. S. Geological Survey from 1945 to 1972. In: Underwood J R, Guth P L. eds. Military Geology in War and Peace. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XIII. Colorado: Geological Society of America: 75~82.

Terman M J. 1998b. Military geology unit of the U. S. Geological Survey during World War II. In: Underwood J R, Guth P L. eds. Military Geology in War and Peace. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, XIII. Colorado: Geological Society of America: 49~54.

Rose E P F, Mather J D. 2012. Military Aspects of Hydrogeology. London: Geological Society of London Special Publication: 362~374.

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. Colorado:

Geological Society of America; 19~26.

Sun Xingli, Liu Xiaohuang, Lu Jiyuan, Mao Jingwen, Xu Xueyi, Guan Hongjun, Li Baofei, Liu Jiufeng, Bao Kuanle, Lu Shipeng. 2017&. The characteristics of modern war and the investigation in military geology. Geological Review, 63(1):99~112.

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.

Yu Dehao, Long Fan, Yang Qinglei, Wang Kang, Wang Li, Yang Tong. 2017&. Development and prospects of modern military remote sensing geology. Geological Survey of China, 4(9):74~82.

Zhang Dong, Lü Xinbiao, Ge Liangsheng, Lu Yanming, Huang Hui. 2019&. Research connotation and key technology of the military geological environment in the land battlefield. Geological Review, 65(1):181~198.

The development and enlightenment of U. S. military geology

ZHANG Guangyou¹⁾, MENG Qingkui^{2,3)}, WANG Zhichao⁴⁾, BI Jisheng¹⁾

- 1) Troops 32023, Dalian, Liaoning, 116023;

2) China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing, 100083;

3) Key Laboratory of Airborne Geophysics and Remote Sensing Geology, Ministry of Natural Resources, Beijing, 100083;

4) Troops 32033, Haikou, Hainan, 570100

Abstract: Strengthening research on the history of military geology development in foreign countries and fully absorbing the experience and lessons from foreign military geology are of great significance to our country’s military geology development planning and top-level design, accelerating the development of military geology technology, and enhancing the geology support capabilities of joint operations under informatized conditions. As the world’s superpower and the number one military power, the United States leads the world in military geology survey capabilities. It has formed a deep development pattern of military—civilian integration, and its historical experience in development and growth is worth studying and learning. Through the research on the development of U. S. military geology, this paper systematically combed the development history of the three stages of U. S. military geology’s birth, growth, and rapid development, analyzed and summarized U. S. military geology as six aspects, including experience for reference, military—civilian integration, mission objectives, discipline development, academic exchanges, and confidentiality of the results. Combined with the actual situation of our country’s military geology work, this paper puts forward five enlightenment suggestions for the next step about this work.

Keywords: United States; military geology; development history and characteristics; enlightenment

Acknowledgements: This research is supported by the Project of Key Laboratory of Ministry of Natural Resources (No. 2020YFL16), and by the Project of China Geological Survey (No. DD20191001). Thank the anonymous reviewers and editors for their constructive comments on this research.

First author: ZHANG Guangyou, male, born in 1970, a professor engineer, mainly engaged in Photogrammetry, Email: aaaa454898@sohu.com

Corresponding author: MENG Qingkui, male, born in 1987, a senior engineer, research areas include the integrated applications of aerogeophysics and remote sensing, Email: qingkui_meng@163.com

Manuscript received on: 2021-10-31; Accepted on: 2022-04-27; Network published on: 2022-06-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2022.06.015

Edited by: ZHANG Yuxu

