

# 军事地质土体要素影响军事行动 制胜机理研究

詹纯<sup>1, 2)</sup>, 杨虎<sup>1, 2)</sup>, 梁军<sup>1, 2)</sup>, 张滔<sup>1, 2)</sup>, 王嘉<sup>1, 2)</sup>,  
何涛<sup>1, 2)</sup>, 李晨雨<sup>1, 2)</sup>, 刘澄<sup>1, 2)</sup>

1) 中国地质调查局军民融合地质调查中心, 成都, 610036;  
2) 中国地质调查局军民融合地质研究中心, 成都, 610036



**内容提要:**为深入研究地质要素不同属性对工程建设、装备使用、火力打击、机动通行后勤保障等军事活动的约束边界、影响机制,初步探讨地质要素中土体的军事制胜机理,为利用和改造战场环境、提高作战效能提供地质理论依据。笔者等以某综合训练场为“试验田”,围绕实际功能区的军事训练活动,以军事地质土体要素为研究对象,主要针对训练场内5种典型土体的分布区域开展野外原位测试,并采集样品分析研究,获取土体物理、力学参数;进一步研究其重要物理性质和力学参数的耦合关系。结果表明含水率、孔隙比、纵波速为土体较为重要的机理要素,对军事中抗爆打击、机动通行、工事构筑等有重要的影响作用。因此可根据土体含水率、孔隙率与力学参数压缩模量之间的区段关系,指导各类军事活动及演训中的工事部署,同时对战略决策、作战行动、打击、工事构筑、后勤保障等方面也有重要的影响作用。

**关键词:**训练场;军事地质;土体要素;军事行动;机理研究

地质运用于军事可追溯久远,但地质基础理论的普遍原理与一般规律对军事活动的影响机制,仍然是一个值得探讨的问题。现代战争对地质环境的应用也发生着深刻变化(刘晓煌等,2017),这个古老而又不断变化的基本问题制约着我们在实践探索过程中的实际应用,直接影响着我们对军事地质要素类型确定、属性影响因素、作用机理分析(刘晓煌等,2016),影响着地质与自然诸要素(García Casado et al., 2024)相互作用关系的准确厘定,影响着地质模型的应用实践等等(李世杰等,2019)。现阶段,亟需我们在生产实践过程中充实地质要素作用机理、加强地质模型分析(邹智彬等,2023)等军事地质基础研究,拓展军事地质应用的理论途径,支撑军事地质建设发展(唐金荣等,2016)。

另一方面,针对“民用地质调查技术方法如何服务军事地质数据获取”问题,有关军事地质调查的关键技术和方法体系需要集成研究。目前民用地质调查的技术方法、工作手段和支撑装备在军事地质调查中的应用还没有呈体系和优化组合,需要进

一步构建军事地质调查的关键技术(孙兴丽等,2017),探索现代地质信息保障技术与现代战争应用,深化研究特殊地区军事地质调查技术方法手段和质量控制问题,以进一步支撑调查技术方法对不同军事需求和地理环境的适用性和针对性。

针对现阶段军事地质研究工作中的一系列“瓶颈”问题,本次研究结合大比例尺军事地质勘查实践,开展军事地质土体要素影响军事行动制胜机理研究,为军事地质建设发展提供支撑。

## 1 研究背景

现代化的军队除了拥有先进的武器装备、过硬的军事训练素质、先进的作战理论体系外,对现代战场环境的保障能力也是其中的一个重要方面(刘丽等,2023)。目前,全球战场环境理论尚在不断完善之中(余烨等,2012),研究战场环境,就是要揭示战场环境对军事作战方面的影响,正确认识和利用战场环境的规律,为组织和实施作战行动提供科学依据。军事地质要素作用机理可以揭示军事地质要素

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(编号:DD20211582)的成果。

收稿日期:2024-10-15;改回日期:2024-11-05;网络首发:2024-11-20;责任编辑:刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2024.11.051

作者简介:詹纯,男,1993年生,学士,工程师,主要从事地质资源与地质工程调查研究工作;Email: 394748219@qq.com。通讯作者:杨虎,男,1987年生,硕士,工程师,主要从事地质资源与地质工程调查研究工作;Email: 936668188@qq.com。

对军事行动的影响,是正确认识和改造战场环境不可或缺的组成部分,对丰富完善和发展我军战场环境理论必将起到积极作用。

军事战场环境保障体系由地理、气象、水文、时频、导航等自然要素组成(胡德生等,2010),2017年新增地质要素。在现有战场环境保障体系内,地质要素的军事应用原理和联合不同于自然要素,对军事活动约束与响应机制等基础理论研究相对薄弱。该理论主要以土体、岩体、水体、地质构造、地质灾害、资源和地球物理场7类军事地质要素为研究对象(郭宏伟,2022;孙红政等,2017),综合运用地质学和现代军事学知识,通过调查实践探索形成地质要素与不同自然要素作用关系、制约机制和联合效应等基础理论,为利用和改造战场环境、提高军事地质调查与应用研究能力提供支撑。

## 2 土体要素分析

在军事活动中,不可避免的因战术需求而实施相关工事修筑,因此区内土体性质参数对此项活动有着直接关系,战壕、交通壕、运输壕等壕体的开挖,碉堡、观察堡、指挥堡等堡体的修筑,要依据土体的物理力学性质给予准确的选择,可以达到事半功倍的效果,因此对土体参数的评价非常有意义;本研究首次将地质工程与实战演训影响相结合,对区域内土体不同参数下物理力学性质,以及对军事活动产生的相关影响进行分析阐述,为同类型区域提供理论及数据支撑。

不同于传统民用工程地质领域,在军事地质研究中,对土体的调查和分析首先需从宏观上了解土体的类型、空间分布特征,再根据军事地质环境建设

需求,有针对性的研究土体的物理、力学特征,评价其在军事行动中的影响,如承载力、开挖方式等。

物理性质是土体的固有特征,能决定其力学参数,从而作用于军事活动。笔者等在基本查明研究区土体类型和空间分布特征的基础上,围绕训练场3个功能区及3项军事训练活动,针对区内5种典型土体分布开展野外调查及原位测试工作,并采集不同区域土体样品进行分析研究,以获得土体要素物理、力学参数。根据土体要素野外实测和分析测试结果,通过数理统计学方法,研究其重要物理性质和力学参数的耦合关系,分析评价其在战略决策、作战行动、打击、保障等方面的影响(陈占龙等,2022),为军事地质数据体系的构建提供思路和参考。

## 3 样品采集及分析

### 3.1 粉土

粉土主要分布于区内沼泽区,土体堆积较厚,据物探结果显示,土体厚度平均大于10 m,野外实测土体承载力平均为190.16 MPa,总体密实度一般;针对不同沼泽区不同位置,进行实地采取土样进行研究,采样位置如图1所示,土样分析结果见表1、表2。

粉土区采样点主要为Y村北西侧、D点南侧、G乡西侧,横向对比不同区域数据,测试结果显示:Y村北西侧含水率最高,G乡西侧次之,D点南侧最低,一定程度上反映了水源地蓄水能力,Y村北西侧周围为丘陵山地,沟壑发育,具有较好的雨水流通通道,G乡沼泽区范围最大,主要水源为西侧山脉常年积雪,较为稳定,该处土质饱和度最高,说明该处含水时效性最长;D点南侧区域水源为南侧及西侧山坡季节性溪水,受雨水影响较大,具有季节性变化;

G乡西侧粉土天然密度最高,孔隙率最低,一定程度反应该区域沉积时间较长,对应其区域范围最广,该处粉土最为密实;D点南侧、Y村北西侧次之,同时所有区域内粉土渗透系数垂直及水平数值最低,且水平渗透系数比垂直系数的高,说明其成层性较好,具有各向异性,其中D点南侧粉土垂直渗透系数小于Y村北西侧,同时水平向D点南侧渗透系数大于Y村北西侧,推断D点南侧处粉土成层性要比Y村北西侧好,则该处承载力及抗压抗剪能力强于他处。

根据数理统计学规律,该处可以引入渗

表1 某综合训练场粉土区不同区域物理性质参数实验室分析结果表  
Table 1 Table of results of laboratory analyses of physical property parameters in different areas of the chalk area of an integrated training ground

样品编号	含水率 $\omega_0$ (%)	天然密度 $\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	比重 $G_s$	孔隙比 $e_0$	孔隙率 $n$ (%)	饱和度 $S_r$ (%)
T89~T92	25.5	1.49	2.7	1.274	56	54
T97~T144	26.2	1.5	2.7	1.272	56	56
T195~T198	16.9	1.53	2.7	1.063	52	43
T33~T36	17.8	1.54	2.69	1.058	51	45
T37~T40	16.5	1.51	2.69	1.075	52	41
T192、T194、T199	15.1	1.54	2.69	1.011	50	40
T138~T141	21.4	1.56	2.68	1.086	52	53
T142~T145	17.7	1.76	2.68	0.792	44	60
T190~T193	25.8	1.71	2.69	0.979	49	71

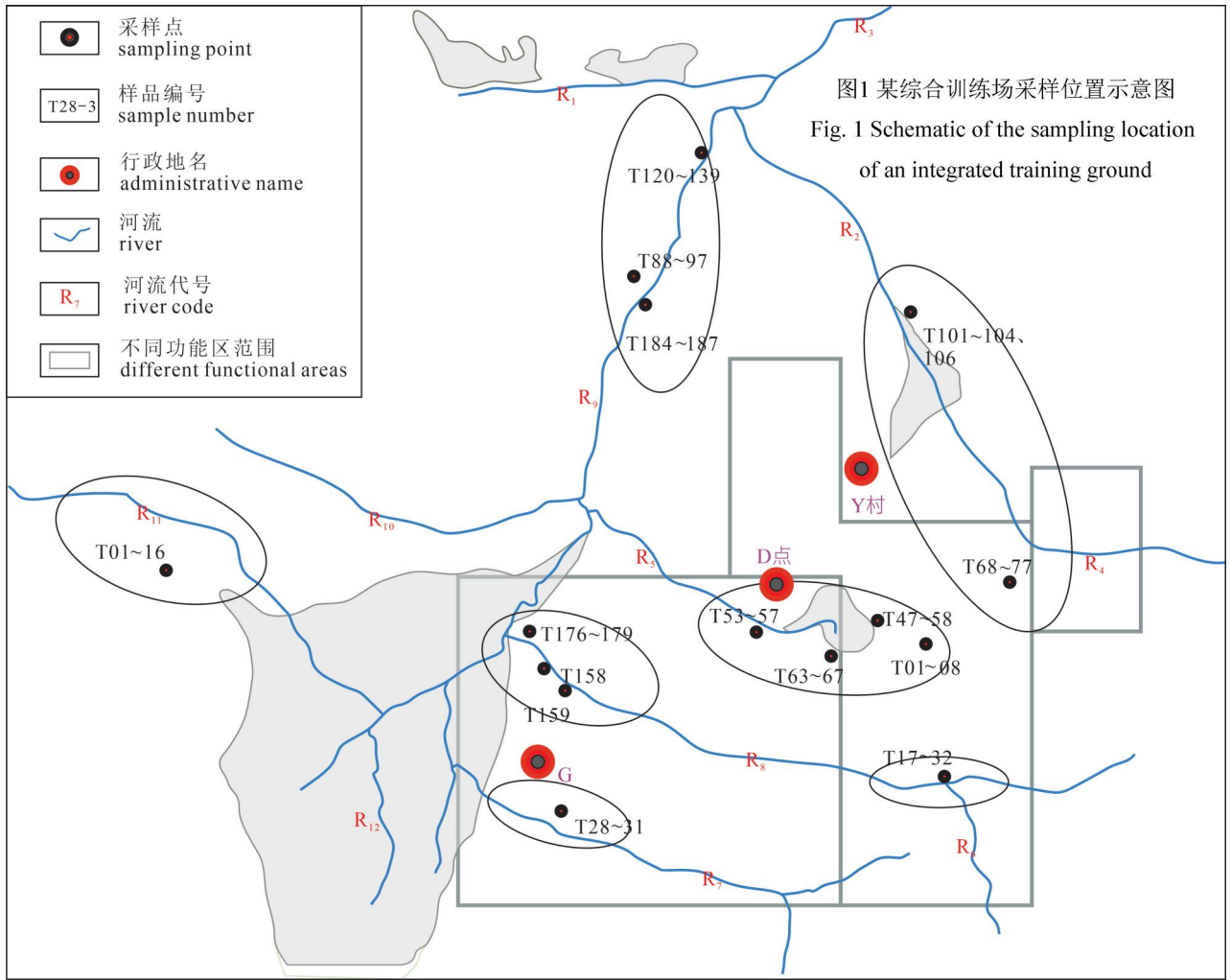


图1 某综合训练场采样位置示意图

Fig. 1 Schematic of the sampling location of an integrated training ground

表 2 某综合训练场粉土区不同区域力学性质参数实验室分析结果表

Table 2 Table of results of laboratory analyses of mechanical property parameters in different areas of the chalk soil zone of an integrated training ground

样品编号	液限 $\omega_L$ (%)	塑限 $\omega_p$ (%)	塑性指数 $I_p$	液性指数 $I_L$	压缩系数当 $P=100\sim 200$ kPa $a_v$ (MPa <sup>-1</sup> )	压缩模量 $E_s(1-2)$ (MPa)	黏聚力 $C$ (kPa)	内摩擦角 $\varphi$ (°)	垂直渗透 系数 $k_{vc}$ (mm/s)	水平渗透 系数 $k_h$ ( $\mu\text{m/s}$ )
T89~92	27.9	18.5	9.4	0.74	1.209	1.88	8.4	12.5	3.21	43.7
T97~144	25	16.7	8.3	1.14	1.056	2.15	7.4	11.4	4.95	75.5
T195~198	24.1	16	8.1	0.11	0.153	13.5	18.5	19.7	3.15	64.7
T33~36	23.9	16.4	7.5	0.19	0.73	2.82	14.5	19	3.05	58.7
T37~40	22.1	16	6.1	0.08	0.911	2.28	15.7	18.6	4.71	72.2
T192	21.7	14.8	6.9	0.04	0.28	7.19	12.5	18.4	2.57	46.9
T138~141	23.4	17.6	5.8	0.66	0.467	4.47	11.9	17.8	3.51	45.9
T142~145	20.3	16.1	4.2	0.38	0.298	6.01	15.5	18.6	3.16	45.7
T190~193	23.5	16.8	6.7	1.34	0.57	3.47	10.5	13.9	2.05	31.7
T190~193	23.5	16.8	6.7	1.34	0.57	3.47	10.5	13.9	2.05	31.7

注:①液限—指黏性土处于可塑状态与流动状态之间的界限含水率;②塑限—黏性土处于可塑状态与半固体状态之间的界限含水率;③塑性指数—液限和塑限的差值,反映土体在可塑状态范围内的含水量变化;④液性指数—反映土的软硬状态的参数;⑤压缩系数—描述物体压缩性大小的物理量;⑥压缩模量—土体在完全侧限条件下,竖向附加应力与相应的增量之比;⑦黏聚力—土颗粒之间的相互吸引力,是土体抗剪强度的一个重要组成部分;⑧内摩擦角—描述土体中颗粒间相互移动和胶合作用形成的摩擦特性,为强度包线与水平线的夹角;⑨垂直渗透系数—反映水分在垂直方向上的渗透能力;⑩水平渗透系数—蒸发过程中水分在水平方向上的渗透能力。

透影响指数  $I$ ,  $I = \text{垂直渗透系数} / \text{水平渗透系数}$ , 当  $I$  大于或小于 1 时, 说明该处具有一定各向异性, 当  $I = 1$  时, 则为均匀质体,  $I$  偏离 1 越大, 则其成层性越好, 质地越密实坚固 (图 2, 不同点位散点图), 区内 Y 村北西侧  $I = 0.68$ , D 点南侧  $I = 0.56$ , G 乡西侧  $I = 0.71$ , 则 D 点南相对其他两区, 土体黏聚力最大 (14.1 kPa)。

压缩实验中, 压缩系数越大, 压缩模量越小, 从而反应土体密实度越低, 同压力下土体变形程度越高, 从实验结果可知, 总体而言, G 乡西侧及 D 点南侧区域压缩形变相当, 密实程度较好, 而 Y 村北西侧, 压缩系数高于其他两地一倍, 压缩模量小于一倍左右, 此地土体相对松散, 密实程度较低。

可塑性实验中, Y 村北西侧液限、塑限、塑性指数大于其他两地, 与其含水率、孔隙比成正相关性, 液性指数状态也与含水率成正相关性。对实验数据含水率与其他要素做线性回归图 (图 3) 分析, 可知含水率有较好的线性相关, 主要表现在, 与塑限、塑性指数、液性指数均为正相关, 说明随着含水率的增加, 土体内部分子结构逐渐松散, 硬度降低, 改变自身状态所需的含水率增加。同时, 根据 G 乡西侧无侧限抗压强度试验可知, 粉土中含水率越高, 抗压强度越低, 灵敏度与含水率无明显相关性。

对军事活动的影响, 沼泽区一般较为潮湿, 土质相对其他类型土体较为松软, 易陷车辆, 不利于车辆装备的机动通行, 在军事活动中应避免在该区域内

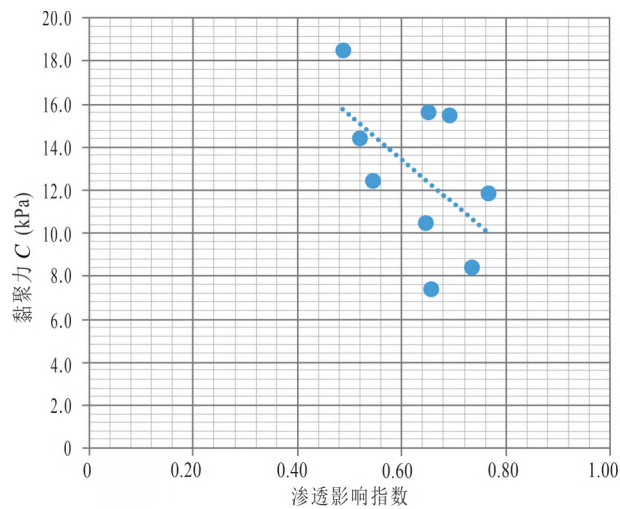


图 2 某综合训练场粉土区域渗透影响指数与黏聚力关系线性回归图

Fig. 2 Linear regression plot of regional infiltration influence index versus cohesion for an integrated training ground with chalky soil

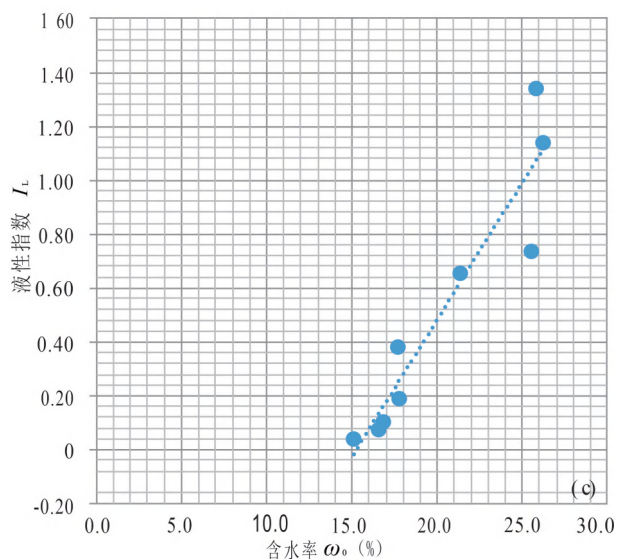
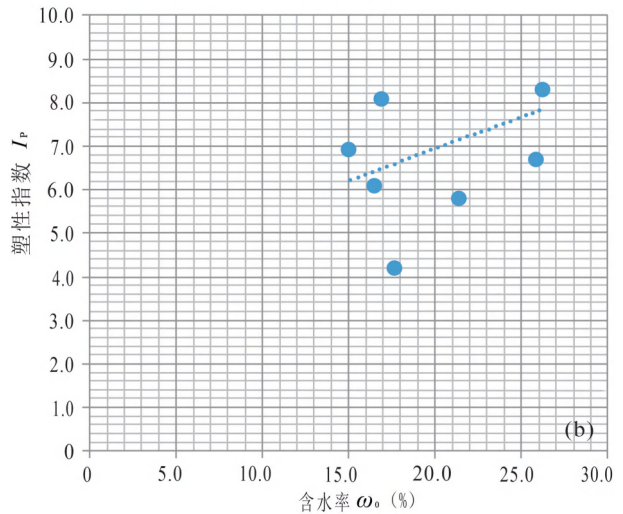
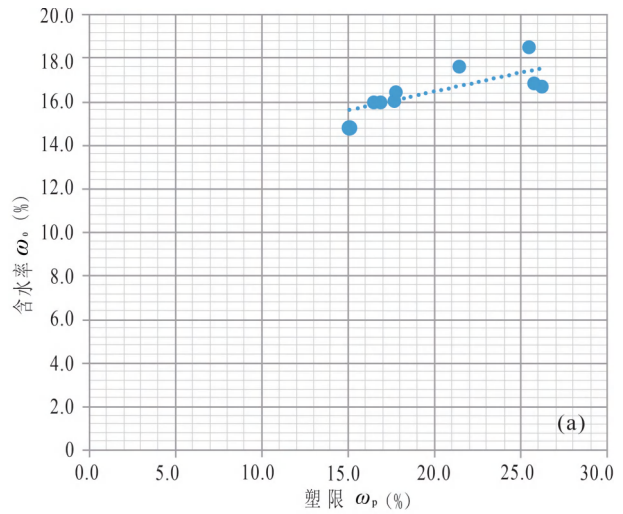


图 3 某综合训练场粉土区域含水率与塑限 (a)、塑性指数 (b)、液性指数关系线性回归图 (c)

Fig. 3 Linear regression plot of water content versus plastic limit (a), plasticity index (b) and liquidity index (c) for an integrated training ground chalk area

表3 不同水系流域河流阶地砾砂土体平均属性汇总表

Table 3 Summary of average properties of gravelly sandy soils on river terraces in different hydrological basins

样品分布	含水率 $\omega_0$ (%)	天然密度 $\rho_o$ ( $g/cm^3$ )	比重 $G_s$	孔隙比 $e_0$	孔隙率 $n$ (%)	饱和度 $S_r$ (%)	压缩系数当 $P=100\sim 200\text{ kPa}$ $a_v(\text{MPa}^{-1})$	压缩模量 $E_s(1-2)$ (MPa)	黏聚力 $C$ (kPa)	内摩擦角 $\varphi$ ( $^\circ$ )
R9 阶地	1.1	1.65	2.65	0.620	38.5	5	0.091	18.47	2.0	30.2
R2 阶地	1.6	1.63	2.66	0.670	40	5	0.196	11.55	2.2	31.0
R4 阶地	5.5	1.40	2.64	0.987	50	15	0.527	3.88	3.5	25.9
R9 阶地	2.1	1.58	2.63	0.703	41	7	0.15	16.01	1.7	31.4
R5 阶地	5.5	1.43	2.63	0.948	49	15	0.481	4.81	2.4	28.1
R6 阶地	7.6	1.47	2.66	0.952	49	21	0.439	5.22	2.7	23.4
R11 阶地	3.4	1.42	2.66	0.938	48	10	0.272	8.13	3.7	25.8
R7 阶地	3.5	1.51	2.62	0.796	44	12	0.186	9.63	2	29.2

的通行路线;但同时,部队水源补给保障等问题,可由沼泽区寻找上游水源地来解决,在军事活动中遇到沼泽区不可避免时,应在含水较少的区域活动;经上述试验数据表明,含水越少,其土体形变越小,相对抗压抗剪能力越强;若为寻找水源掘井时,则在较为湿润,含水程度高的地方布设,则可以提高效率和出水率,方便部队日常补给。

### 3.2 砾砂

砾砂分布于区内绝大多数区域,其他土体种类类似于岩块漂浮于基质之上,除冲积平原河流冲积相外,山坡等地也有延伸分布,为冲洪积相中下游堆积而成。

砾砂在研究区内分布主要为古河道及河流阶地、现代河床等地,该区域地层结构特色明显,主要为表层砾砂,下层砂质卵石土的二元结构体。对区域内砾砂采样分析,实验数据见表3。

根据不同位置砾砂物理属性及力学参数对比显示:R6 含水率最高,表明附近有水源流入,水系较为发育,砾砂天然密度、比重大致相同,孔隙率比、孔隙率有一定差异,但大致相同,表明相同类型土体颗粒骨架结构总体相同。

结合数据分析含水率—物理力学相关性,根据基本物理力学试验测试结果,分析砾砂含水率对其力学性质的影响;由图4可知:该区域砾砂含水率在0.5%~8.8%范围内,砾砂含水率对其压缩模量和内摩擦角具有较大影响,含水率越大,砾砂压缩模量和内摩擦角越小,呈负相关关系;其中,含水率与压缩模量呈指数递减规律(图4a),拟合方程为

$$E_s = 19.58 \times e^{(-\omega/3.57)} + 3.44 \quad (1)$$

拟合系数  $R^2 = 0.7369$ ,拟合效果较好;含水率与内摩擦角呈线性递减规律(图4b),拟合方程为

$$\varphi = -1.04 \times \omega + 32.08 \quad (2)$$

拟合系数  $R^2 = 0.6472$ ,拟合效果较好。而含水率对黏聚力的影响较微弱(图4c),拟合方程为

$$c = 0.17 \times \omega + 1.86 \quad (3)$$

拟合系数  $R^2 = 0.1843$ ,拟合效果较差,无法通过线性/非线性进行黏聚力数据收敛。总体上,该区域砾砂含水率对压缩模量和内摩擦角的影响较大,呈负相关递减规律,而含水率对黏聚力的影响较微弱,表明该区域为压缩模量和内摩擦角主控区域,在军事活动中,要重视砾砂土体的压缩模量和内摩擦角这两个参数的变化,避免机动通行出现陷车、滑车的现象。

对不同流域砾砂含水率与力学参数的影响分析可知(图4),不同流域砾砂的含水率、压缩模量和黏聚力等物理力学参数具有差异性,但物理力学参数的相关性规律总体一致。不同流域砾砂含水率对压缩模量和内摩擦角的影响总体呈负相关关系。其中,朗牛流域的砾砂含水率较低,在0.3%~1.7%之间,均值为1.1%,压缩模量与内摩擦角较高,分别在14.18~22.63 MPa和27.5°~33.2°之间,均值分别为18.47 MPa和30.2°;沙陇流域含水率较高,在7.0%~8.8%之间,均值为7.6%,压缩模量与内摩擦角较低,分别在3.12~7.24 MPa和20.3°~25.0°之间,均值分别为5.5 MPa和23.4°。含水率对黏聚力的影响较微弱。总体来讲,不同流域砾砂物理

表4 含水率、孔隙比与力学参数变化规律

Table 4 Changes of water content, pore ratio and mechanical parameters

含水率 (%)	孔隙比	压缩模量 (MPa)	内摩擦角 ( $^\circ$ )	土体 性质
0.3~1.7	0.560~0.691	14.18~22.63	27.5~33.2	硬土
2.6~5.3	0.721~0.829	9.62~13.15	25.3~26.9	中等土
7.0~8.8	0.878~1.024	3.12~7.24	20.3~25.0	软土

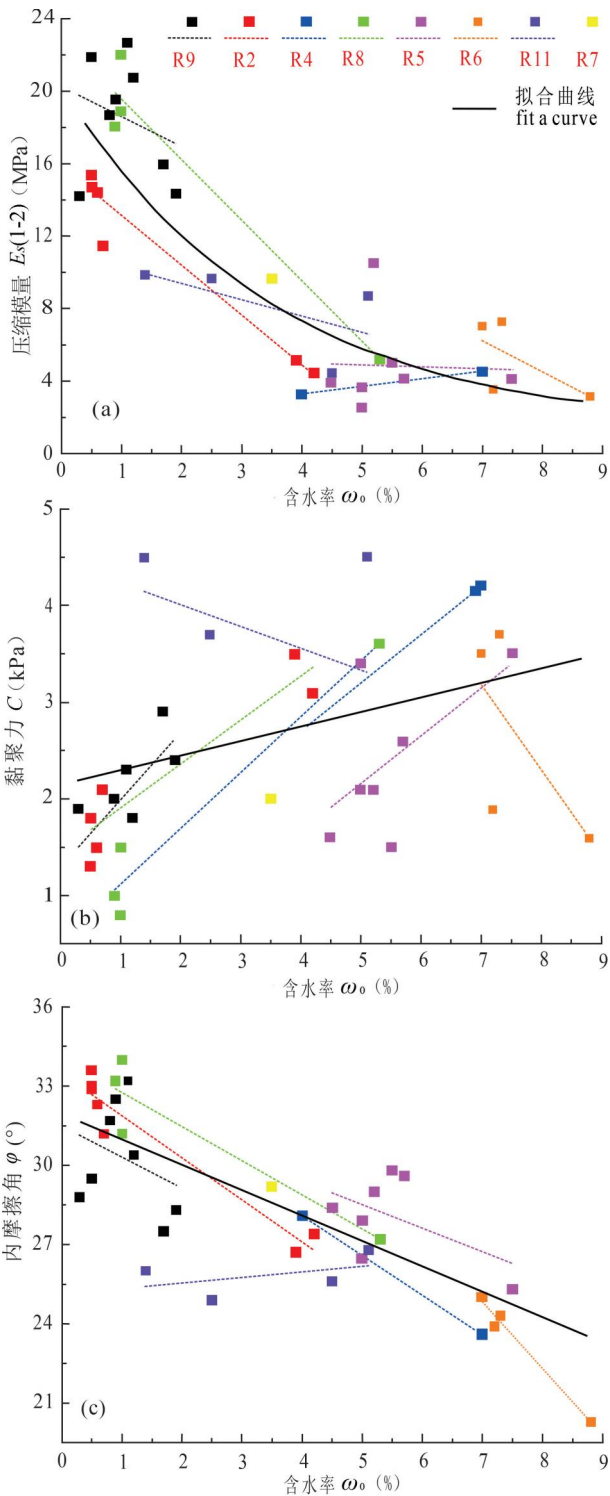


图4 某综合训练场不同流域含水率对砾砂力学参数的影响

Fig. 4 Influence of different watershed water content on mechanical parameters of gravel sand at an integrated training ground

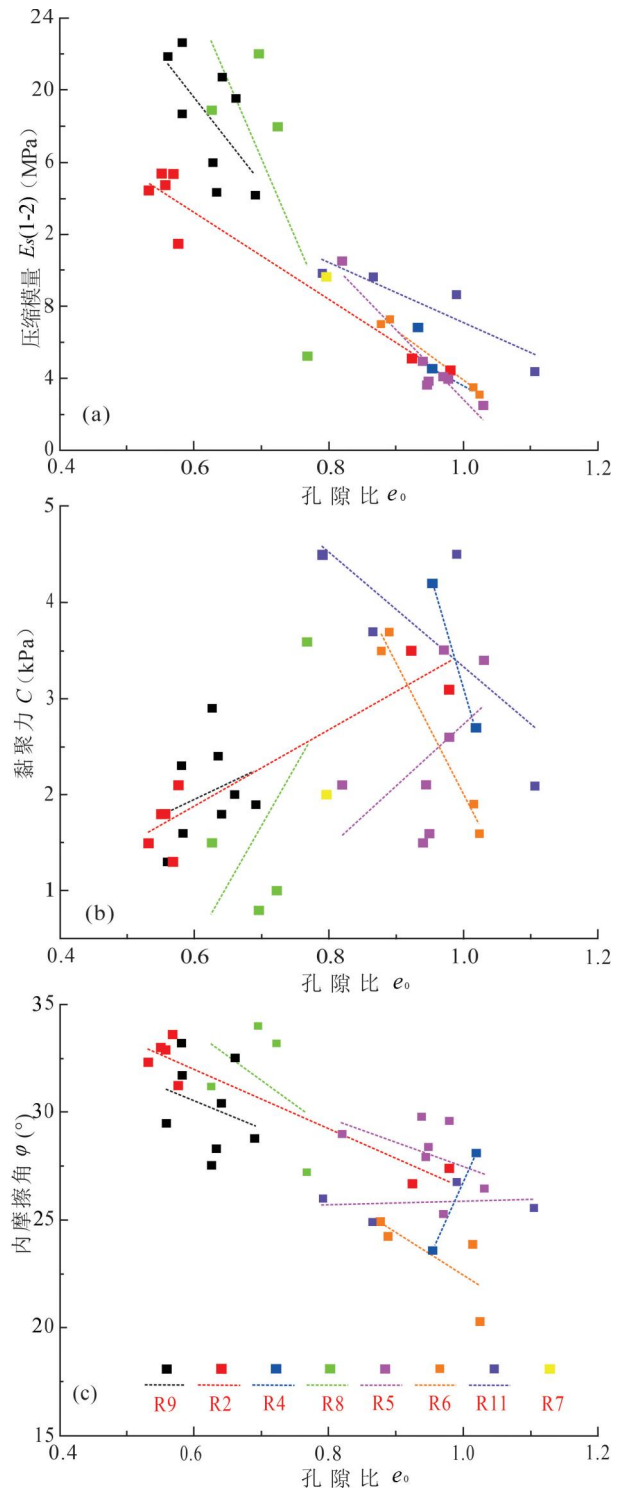


图5 某综合训练场不同流域孔隙比对砾砂力学参数的影响

Fig. 5 Influence of different basin pore ratios on mechanical parameters of gravelly sand at an integrated training ground

律(表4)。

基于数据分析区域内孔隙比—物理力学相关性,孔隙比是反映岩土体内部结构的重要物理量。

力学性质的相关性与该地区砾砂总体变化规律较一致。根据数据分析,得出砾砂类土体量化变化规

根据基本物理力学试验测试结果,分析砾砂孔隙比对其力学性质的影响(图5):该区域砾砂孔隙比在0.551~1.106范围内,砾砂孔隙比对其压缩模量和内摩擦角具有较大影响,孔隙比越大,砾砂压缩模量和内摩擦角越小,均呈线性负相关关系。总体上,该区域砾砂孔隙比对压缩模量和内摩擦角的影响较大,呈线性负相关递减规律,而含水率对黏聚力的影响较微弱。孔隙比和含水率之间互相关联,降低砾砂的力学参数,对军事活动产生影响,在实际军事活动中,要格外重视含水率和孔隙比两参数的变化,监测以上关键物理力学参数。

对不同流域砾砂孔隙比与力学参数的影响分析可知(图5),不同流域砾砂的孔隙比、压缩模量和黏聚力等物理力学参数具有差异性,但物理力学参数的相关性规律总体一致。不同流域砾砂孔隙比对压缩模量和内摩擦角的影响总体呈负相关关系。其中,朗牛流域的砾砂孔隙比较低,在0.560~0.691之间,均值为0.62,压缩模量与内摩擦角较高,分别在14.18~22.63 MPa和27.5°~33.2°之间,均值分别为18.47 MPa和30.2°;沙陇流域孔隙比较高,在0.878~1.024之间,均值为0.952,压缩模量与内摩擦角较低,分别在3.12~7.24 MPa和20.3°~25.0°之间,均值分别为5.5 MPa和23.4°。孔隙比对黏聚力的影响较微弱。不同流域砾砂物理力学性质的相关性与该地区砾砂总体变化规律较一致。根据数据分析,得出砾砂类土体定量化变化规律(表4)。

通过压缩试验,R9河流阶地含水率(1.1%)最低,压缩模量(18.47)最高,该地抗变形能力强,土体渗透率较低,R4河流阶地地区含水率相对较高,压缩模量小;区域整体分析,可知压缩模量与含水率呈明显负相关,说明随含水率增加,土体内部结构发生变化,抗外力性能降低。根据抗剪强度(天然)数据分析,含水率与黏聚力为正相关,随含水率增加,土体内部黏性颗粒胶结性增强,从而黏聚力增加。

对军事活动的影响作用,结合砾砂土样的物理力学参数,整体分析,根据图表可知,砾砂含水率、空隙率越高,压缩模量越低,二者为负相关,表明含水率、空隙率能够降低土体承载能力,使其易产生变形,降低其承载能力。在日常演训中,对需要一定承载力的科目,一定要尽可能的避免水渍区及松软区,机动通行中,则易发生陷车、滑车的现象。

### 3.3 粗砂

粗砂分布在研究区西南部,主要成因为冲洪积平原堆积,厚度较大,10 m以上,野外调查实测平均

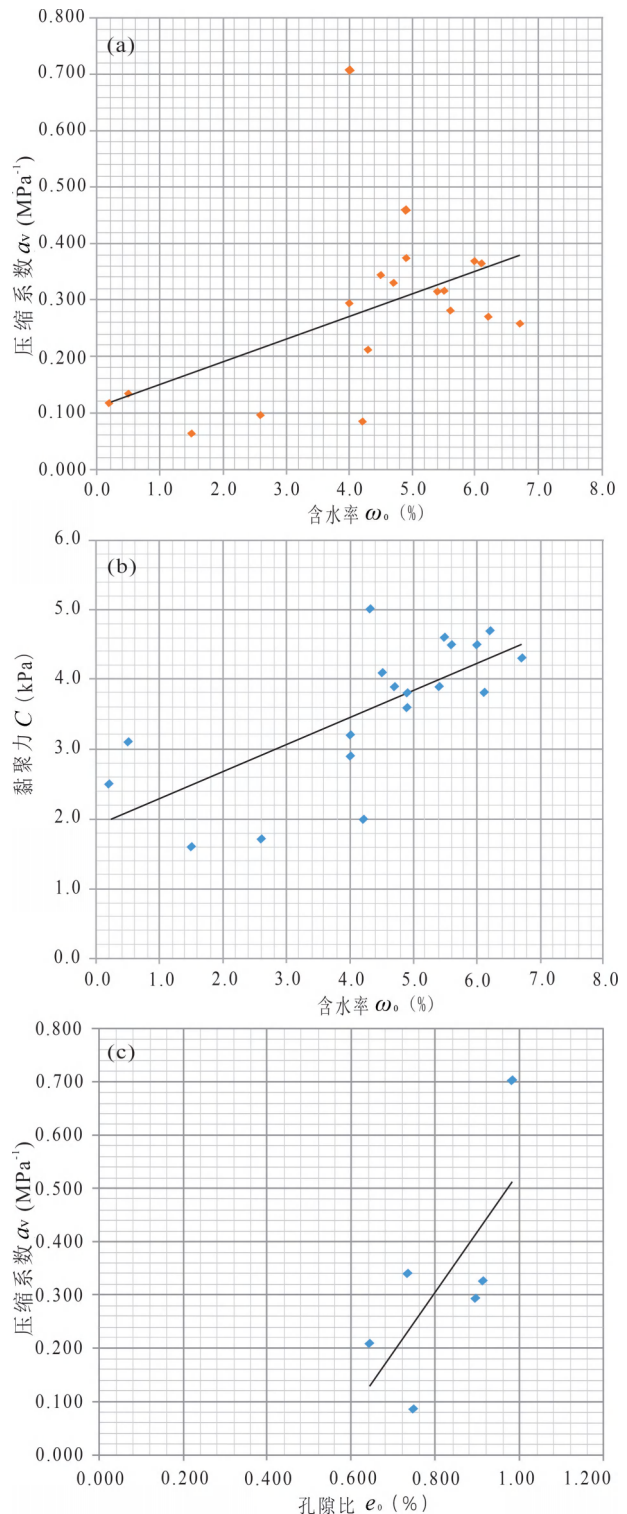


图6 中砂土体压缩系数(a)、黏聚力(b)与含水率关系线性回归图以及含水率一定时孔隙比与压缩系数关系线性回归图(c)

Fig. 6 Linear regression plots of compression coefficient (a) and cohesion (b) versus water content for medium sandy soil bodies, linear regression plot of pore ratio versus compression factor for a certain water content (c)

地基承载力为 354 MPa,质地坚硬,土体密实;粗砂主要为 D 点以西,G 乡以东地带,靠 R9 三级阶地东侧;实验测得原状土体样参数为:含水率为 1.2%,天然密度为 1.52 g/cm<sup>3</sup>,比重为 2.63,孔隙比为 0.75,孔隙率 43%,饱和度为 5%;力学参数,压缩试验中,当压强 100~200 kPa 之间时,其压缩系数为 0.08,压缩模量为 22.01,抗剪强度(天然)测得结果其土体黏聚力为 1.2 kPa,内摩擦角为 33.2°,粗砂基本物理学参数为(表 5)。

由野外实测及实验数据可知,粗砂土区基底较为坚固密实,承载能力强,开挖效率相对较低,利于机动通行等 JS 活动,不利于工事构筑,抗打击能力较强。

### 3.4 中砂

主要分布在研究区西南角至中部区域,主要成

因为冲洪积平原砂土堆积,厚度较大,10 m 以上,野外调查实测平均地基承载力为 325.47 MPa,质地坚硬,土体密实,区内以中砂为基质,亦可见零星、条带状、片状分布的块(漂)石、碎(卵)石等其他类型土体。

中砂分布范围主要为 D 点以西,G 乡以东地带,零散分布于粗砂土体中;实验测得原状土体样参数见表 6,中砂区的平均物理参数为,含水率 4.3%,天然密度为 1.55,比重 2.63,孔隙比为 0.774,孔隙率为 44%,饱和度为 15%,力学参数,压缩试验中,当压强 100~200 kPa 之间时,其压缩系数为 0.283,压缩模量为 8.93,抗剪强度(天然)测得结果其土体黏聚力为 3.6 kPa,内摩擦角为 26.9°。同向对比,中砂相对于粗砂,含水率更高,抗变形能力弱,同时抗剪能力比粗砂强。

表 5 粗砂土体物理参数及力学参数汇总表

Table 5 Summary of physical and mechanical parameters of coarse sandy soils

土样名称	含水率 $\omega_0$ (%)	天然密度 $\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	比重 $G_s$	孔隙比 $e_0$	孔隙率 $n$ (%)	饱和度 $S_r$ (%)	压缩系数当 $P=100\sim 200$ kPa $a_v$ (MPa <sup>-1</sup> )	压缩模量 $E_s(1-2)$ (MPa)	黏聚力 $C$ (kPa)	内摩擦角 $\varphi$ (°)
粗砂	1.3	1.53	2.62	0.735	42	5	0.081	21.47	1	33.8
粗砂	1.1	1.5	2.63	0.773	44	4	0.079	22.55	1.3	32.5
平均	1.2	1.52	2.63	0.754	43	5	0.08	22.01	1.2	33.2

表 6 中砂土体实验室物理参数及力学参数表

Table 6 Table of laboratory physical and mechanical parameters of medium sandy soil body

样品编号	含水率 $\omega_0$ (%)	天然密度 $\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	比重 $G_s$	孔隙比 $e_0$	孔隙率 $n$ (%)	饱和度 $S_r$ (%)	压缩系数当 $P=100\sim 200$ kPa $a_v$ (MPa <sup>-1</sup> )	压缩模量 $E_s(1-2)$ (MPa)	黏聚力 $C$ (kPa)	内摩擦角 $\varphi$ (°)
T168~T171	1.5	1.56	2.63	0.711	42	6	0.063	27	1.6	32
T180~T183	0.2	1.54	2.63	0.711	42	1	0.117	14.68	2.5	26.1
T188~T190	0.5	1.54	2.62	0.71	42	2	0.135	12.67	3.1	27.0
T17~T19	4.2	1.57	2.63	0.746	43	15	0.086	20.38	2.0	30.1
T20~T23	2.6	1.56	2.62	0.723	42	9	0.096	17.96	1.7	31.4
T24~T27	4.0	1.38	2.63	0.982	50	11	0.705	2.81	2.9	27.3
T32~T35	4.0	1.45	2.64	0.894	47	12	0.294	6.45	3.2	28.1
T41~T44	4.7	1.45	2.65	0.913	48	14	0.328	5.83	3.9	28.6
T214~T222	5.6	1.61	2.63	0.725	42	20	0.280	6.15	4.5	25.9
T223~T226	5.4	1.58	2.62	0.748	43	19	0.315	5.54	3.9	23.4
T227~T230	4.3	1.67	2.63	0.643	39	18	0.211	7.79	5.0	26.7
T231~T234	6.7	1.65	2.63	0.701	41	25	0.258	6.58	4.3	26.0
T240~T243	6.0	1.59	2.62	0.747	43	21	0.367	4.76	4.5	25.0
T244~T247	4.9	1.46	2.63	0.890	47	14	0.458	4.13	3.8	24.1
T248~T251	6.2	1.59	2.61	0.743	43	22	0.269	6.49	4.7	26.9
T252~T255	6.1	1.53	2.62	0.817	45	20	0.364	4.99	3.8	24.7
T256~T259	4.5	1.58	2.62	0.733	42	16	0.343	5.06	4.1	25.8
T260~T263	5.5	1.56	2.63	0.779	44	19	0.316	5.63	4.6	26.4
T264~T267	4.9	1.53	2.62	0.796	44	16	0.374	4.80	3.6	25.5
平均	4.3	1.55	2.63	0.774	44	15	0.283	8.93	3.6	26.9

由(图 6a)和(图 6b)可知,中砂土体区内含水率与压缩系数及黏聚力均为正相关,表明随着含水率在土体内部持续增加,其黏聚力增强,土体抗性变能力也随之增强。

选取含水率 4.0%~5.0%之间的样品,分析孔隙比与土体抗压及抗剪之间的关系,做散点图及线性回归图(图 6c),分析可知,孔隙比在含水率一定的情况下,与土体压缩系数呈正比,与剪切强度无明显关系。中砂含水率、孔隙比与力学参数的关系,中砂含水率在 0.2%~6.7%范围内,孔隙比在 0.71~0.982 之间,压缩模量在 4.13~27 MPa 之间,黏聚力在 1.6~5.0 MPa 之间,内摩擦角在 23.4°~34°之间。中砂含水率对其力学性能的影响较大,而孔隙比的影响较小。总体上,含水率与压缩模量、内摩擦角呈线性负相关关系,拟合方程分别为

$$E_s = -2.31 \times \omega + 18.88 \quad \text{和} \\ \varphi = -0.59 \times \omega + 29.42 \quad (4)$$

含水率与黏聚力呈线性正相关关系,拟合方程为

$$c = 0.388 \times \omega + 1.89 \quad (5)$$

而孔隙比对其力学参数的变化规律影响较弱,数据点分布较分散,这表明在机动通行中要重视其含水率的影响。由野外实测及实验数据可知,粗砂土区基底较为坚固密实,承载能力较强,开挖效率相对较低,利于机动通行等 JS 活动,不利于工事构筑,抗打击能力较强。

### 3.5 粉砂

主要分布在 G 乡附近由南向北狭长条状区域,

主要为中西部方向冲洪积平原沉淀堆积而成,面积约为 22 km<sup>2</sup>,厚度相对较大,10 m 以上,野外调查实测区域内平均地基承载力为 329.59 MPa,相对于细砂、粉砂有所提升,分析可知主要抗剪能力增强,砂体质地细腻,整体颗粒黏聚力增强,承载力增加。粉砂区处于 G 乡西侧沼泽区近缘,为渐变过渡带,西侧土体为沼泽地带粉土区,右侧为河流阶地碎(卵)石及砾砂区。

粉砂主要分布于 G 乡以西地带,该地带主要为沼泽低洼区;在粉砂区采集样品,实验测出相关数据(表 7)。由表 7 可知,区内粉砂平均物理参数为,含水率 9.6%,天然密度为 1.46,比重 2.65,孔隙比为 0.995,孔隙率为 50%,饱和度为 25%,力学参数,压缩试验中,当压强 100~200 kPa 之间时,其压缩系数为 0.612,压缩模量为 5.27,抗剪强度(天然)测得结果其土体黏聚力为 4.4 kPa,内摩擦角为 23.7°。

基于粉砂物理力学参数测试,绘制粉砂含水率、孔隙比与其力学参数关系如图 7 所示。可知:粉砂含水率在 2.4%~17.6%范围内,孔隙比在 0.772~1.238 范围内,压缩模量在 1.79~15.14 MPa 之间,黏聚力在 2.7~6.7 MPa 之间,内摩擦角在 20.4°~29.2°之间。粉砂含水率、孔隙比均与压缩模量、内摩擦角呈负相关关系。其中,含水率与压缩模量呈指数型递减规律(图 7a),含水率与内摩擦角呈线性递减规律(图 7c),拟合方程为

$$\varphi = -0.12 \times \omega + 24.87 \quad (6)$$

表 7 粉砂土实验室物理及力学性质数据采集汇总表

Table 7 Summary of data collection for laboratory physical and mechanical properties of chalky sandy soil

样品编号	含水率 $\omega_0$ (%)	天然密度 $\rho_0$ (g/cm <sup>3</sup> )	比重 $G_s$	孔隙比 $e_0$	孔隙率 $n$ (%)	饱和度 $S_r$ (%)	压缩系数当 $P=100\sim 200$ kPa $a_v$ (MPa <sup>-1</sup> )	压缩模量 $E_s(1-2)$ (MPa)	黏聚力 $C$ (kPa)	内摩擦角 $\varphi$ (°)
T09-T12	8.2	1.38	2.65	1.078	52	20	0.484	4.3	4.2	22.5
T13-T16	9.1	1.32	2.64	1.182	54	20	0.925	2.36	2.8	20.4
T01-T05	4.0	1.44	2.65	0.914	48	12	0.226	8.48	3.4	23.8
T06-T09	2.4	1.50	2.66	0.816	45	8	0.213	8.53	4.2	25.7
T36、T78-T80	4.7	1.56	2.64	0.772	44	16	0.156	11.37	4.4	25.2
T81-T84	5.9	1.42	2.66	0.984	50	16	0.645	3.08	3.9	24.3
T85-T87、T191	6.10	1.55	2.650	0.814	45	20	0.120	15.14	3.2	26.5
T59-T62	5.8	1.50	2.65	0.869	46	18	0.299	6.25	4.6	23.9
T41-T44	17.6	1.43	2.66	1.188	54	39	1.225	1.79	5.8	21.3
T45-T48	15.7	1.37	2.65	1.238	55	34	1.102	2.03	6.7	22.9
T49-T52	16.9	1.44	2.66	1.159	54	39	0.987	2.19	5.2	20.7
T37-1-T40-1	4.3	1.47	2.65	0.880	47	13	0.363	5.17	6.7	21.4
T98、T99	4.7	1.40	2.66	0.989	50	13	0.652	3.05	2.7	29.2
T100-T103	10.3	1.50	2.66	0.956	49	29	0.856	2.28	4.5	25.1
T104-T107	9.3	1.40	2.65	1.069	52	23	1.240	1.67	3.6	23.0
平均	9.6	1.46	2.65	0.995	50	25	0.612	5.27	4.4	23.7

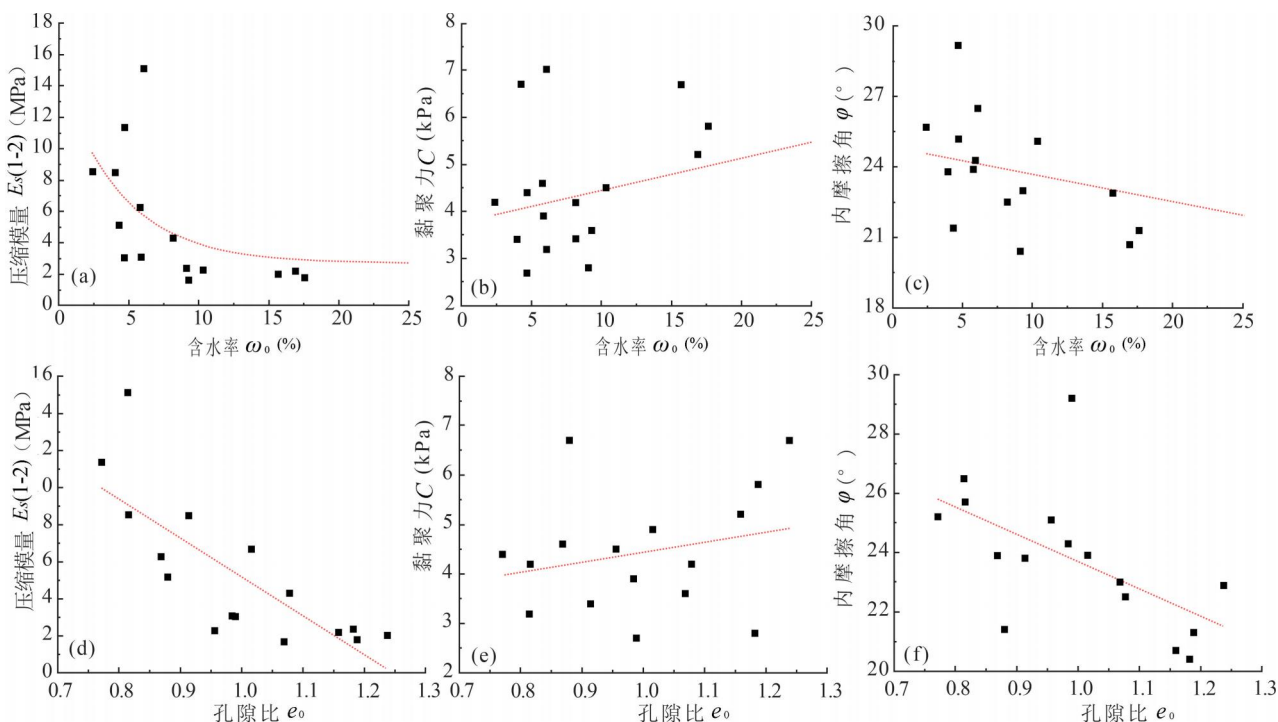


图7 含水率、孔隙比对粉砂力学参数的影响

Fig. 7 Effect of water content on mechanical parameters of silt sand

孔隙比与压缩模量、内摩擦角呈线性递减规律,拟合方程分别为

$$E_s = -20.98 \times \omega + 26.16$$

$$\phi = -9.22 \times \omega + 32.91 \quad (7)$$

这表明含水率和孔隙比均对粉砂的力学参数产生显著影响,随着含水率、孔隙比的增加,粉砂颗粒间的摩擦咬合变弱,土体压缩性能越强,抵抗变形能力越差,粉砂易发生塑性变形和流滑现象。粉砂黏聚力与含水率、孔隙比的关系较微弱,整体有增加趋势,尤其是在 10.3% ~ 17.6% 含水率和 1.159 ~ 1.238 孔隙比范围内,含水率、孔隙比与黏聚力的正相关关系较显著,这表明当含水率、孔隙比达到一定值时,随着土体内部含水率、孔隙比的增加,土体颗粒间黏聚力逐渐增强,抵抗外界变形能力有效提高。

综合分析粉砂区土体物理及力学参数及相关图表,土体含水率与黏聚力及压缩系数呈正比,不考虑一定范围内孔隙比情况下,数理关系显示不明显,当取一定范围内孔隙比为基础,重新绘制,可以看到较为清晰的正比关系。内摩擦角和含水率二者呈一定负相关,随着含水率的增加,土体内部润滑度增加,摩擦力减小;宏观表现为地面潮湿,含水率相对较高时,容易塑性变形及流滑现象产生。

为了减少孔隙比对含水率测定的影响,从所有土样中筛选出合适的样品(表8)进行综合分析。

所有选择样品中孔隙比为 1.078 ~ 1.238 之间的样品,单独提取出来做含水率与黏聚力线性回归图(图8)。

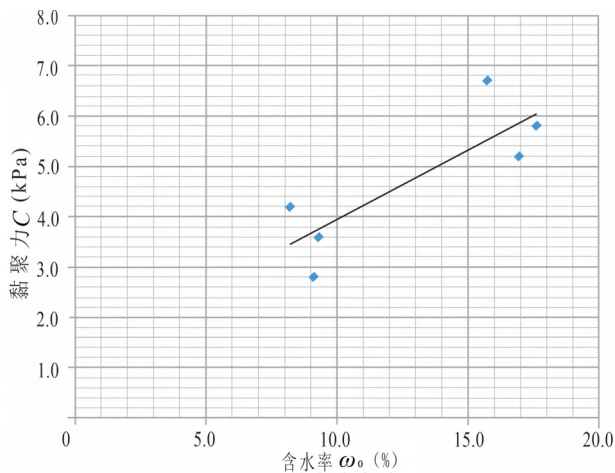


图8 一定孔隙比下粉砂土含水率与黏聚力关系线性回归图

Fig. 8 Linear regression of the relationship between water content and cohesion of chalky sandy soil under a certain pore ratio

表 8 粉砂土体孔隙比 (1.078~1.238) 样品汇总表

Table 8 Summary list of samples with pore ratios (1.078~1.238) for chalky soils

样品编号	含水率 $\omega_0$ (%)	天然密度 $\rho_0$ ( $g/cm^3$ )	比重 $G_s$	孔隙比 $e_0$	孔隙率 $n$ (%)	饱和度 $S_r$ (%)	压缩系数当 $P=100\sim 200\text{ kPa}$ $a_v$ ( $MPa^{-1}$ )	压缩模量 $E_s(1-2)$ (MPa)	黏聚力 $C$ (kPa)	内摩擦角 $\varphi$ ( $^\circ$ )
T09-T12	8.2	1.38	2.65	1.078	52	20	0.484	4.30	4.2	22.5
T13-T16	9.1	1.32	2.64	1.182	54	20	0.925	2.36	2.8	20.4
T41-T44	17.6	1.43	2.66	1.188	54	39	1.225	1.79	5.8	21.3
T45-T48	15.7	1.37	2.65	1.238	55	34	1.102	2.03	6.7	22.9
T49-T52	16.9	1.44	2.66	1.159	54	39	0.987	2.19	5.2	20.7
T104-T107	9.3	1.40	2.65	1.069	52	23	1.240	1.67	3.6	23.0
平均	12.8	1.39	2.65	1.152	54	29	0.994	2.39	4.7	21.8

如图 8 所示,可知其比先前图中,呈现更明显的正相关性,说明在一定含水率下,随着土体内部含水率增加,颗粒间黏聚力逐渐增强,有效提高其抵抗外界作用力的能力,具有较好的内部粘聚性(表 9)。

#### 4 分析结果与机理讨论

(1)根据砾砂土体实验数据,绘制物理及力学参数 Pearson(皮尔生)乘积矩相关系数表(表 10),并选择数值的绝对值,数值越大,说明表中两个参数间相关性越强;根据表格可知,砾砂土体中物理学参数含水率、孔隙比与其他力学参数相关性最强,天然密度次之,比重影响性较弱。

(2)在研究区典型土体区域,可知关键物理学参数含水率、孔隙率与力学参数压缩模量之间的区

表 9 含水率、孔隙比与力学参数变化规律

Table 9 Water content, pore ratio and mechanical parameter variation rules

含水率 (%)	孔隙比	压缩模量 (MPa)	内摩擦角 ( $^\circ$ )	土体性质
2.4~6.1	0.77~0.98	3.05~15.14	21.4~29.2	硬土
8.2~10.3	0.96~1.18	1.67~5.27	20.4~25.1	中等土
15.7~17.6	1.16~1.24	1.79~2.19	20.7~22.9	软土

表 10 砾砂土物理及力学参数 Pearson(皮尔逊)乘积矩相关系数表

Table 10 Table of Pearson (Pearson) product moment correlation coefficients for physical and mechanical parameters of gravelly sandy soils

参数类型	含水率	天然密度	比重	孔隙比	压缩模量	黏聚力	内摩擦角
含水率	1						
天然密度	0.75	1					
比重	0.11	0.25	1				
孔隙比	0.84	0.98	0.13	1			
压缩模量	0.77	0.83	0.13	0.87	1		
黏聚力	0.45	0.44	0.06	0.45	0.29	1	
内摩擦角	0.8	0.67	0	0.74	0.65	0.62	1

段关系,在不同阶段,其影响效果均有不同体现:砾砂土体含水率在 0 ~ 1.2%中,压缩模量显著上升,随含水率增加,胶结抗变形能力增强;1.2% ~ 4.0%之间,压缩模量无较大变化;4.0% ~ 9.0%之间,压缩模量基本无变化;而 1.2% ~ 4.0%与 4.0% ~ 9.0%区间,前者压缩模量明显大于后者,说明土体整体而言,随含水率增高,压缩模量降低,为负相关关系。砾砂土体中孔隙率在 35% ~ 43%之间,压缩模量无明显线性关系;而孔隙率在 43% ~ 55%之间,压缩模量与孔隙率呈明显的线性关系,随孔隙率含量增加,压缩模量减小。整体趋势而言,含水率、孔隙率均与压缩模量呈负相关关系。

(3)验证前期工作所得结论的合理性与实用性,主要进行的验证工作有:①机动通行区不同要素

土体承载力测试,在 G 乡西北部砾砂区做了雨前雨后土体实测参数对比研究,测试结果表明:砾砂土雨后地表变形可塑能力增强,而抗剪能力略有提升,水分子一定程度上提升了土体颗粒间的凝聚力,而变形能力的增强,使其承载力下降 12 MPa,总体略有降低;其次在粉土区不同松散度区域开展土体承载力测定工作,结果表明:在道路中经过反复碾压之后,土体密实度变高,承载能力增强,非道路区域土体承载力平均为 381.74 MPa,而道路区域土体承载力平均为 416.16 MPa,平均高 31 MPa 值,比不同含水率影响更加明显。②不同含水率土体炮弹毁伤效果测试,针对训练场抗爆打击区开展 XX 型号导弹打击毁伤效果测试,打击区土体类型均为粉砂土,除含水率有差异外,各项物理参数接近;毁伤测试结果显示:靠近水源地土体平均含水率 28%,其弹坑规格平均为 228 cm×213

cm,深度 19 cm,大于远离水源地区域(平均含水率为 13%,弹坑规格平均为 193 cm×170 cm,深度 14 cm),由以上数据可知,区内含水率与弹坑规格呈正相关,表明区内粉砂土含水率增加一定程度上提高了其打击毁伤效果,粉砂土含水较多时,降低内部凝聚力,从而增加了毁伤效果。③工事构筑中重要土体要素实用意义,选取砾砂土体区域,测定碾压区及非碾压区孔隙比,根据测定结果可知,非碾压区效率为碾压区 3 倍,因此在军事活动中,如要考虑效率,则优先选择非碾压区作为工事构筑的目标区,而碾压区由于释放多余孔隙度,则土体较为密实,较非碾压区不易被损毁,如在实地军事活动中,考虑工事质量优先,则可规划在碾压区实施相关活动。

(4)通过野外调查及室内试验测试数据综合分析,不同土体要素类型,对最终相关性及土体硬度做对比,结果表明含水率、孔隙比、纵波速为土体较为重要的机理要素,能够影响在各类军事活动及演训中的布设及部署,对抗爆打击、机动通行、工事构筑等也有重要的影响作用。

结合分析结果,可知土体要素中,颗粒级配为极其重要的要素之一,不同的颗粒级配可将土体分为不同类型,不同类型的土体对土体其他要素有不同的敏感度,且对土体强度具有紧密相关性,这点在诸多报告中有所忽略,应对此加以强化研究,并逐步细化,针对不同颗粒级配分析不同要素更具有针对性和准确性。

## 5 结论

(1)研究区内不同区域土体的含水率、压缩模量和黏聚力等物理力学参数具有差异性,但物理力学参数的相关性规律总体一致。土体要素中物理学参数含水率、孔隙比与其他力学参数相关性最强,天然密度次之,比重的影响性较小。

(2)影响土体机理的要素主要为含水率、孔隙比、纵波速。其中含水率对压缩模量和内摩擦角的影响总体呈负相关关系,对土体黏聚力的影响较微弱;孔隙比对压缩模量和内摩擦角的影响较大,呈线性负相关递减规律;纵波速与土体强度为正相关关系。

(3)通过野外调查及室内试验综合分析,对不同土体要素类型最终相关性及土体硬度做对比,表明含水率、孔隙比、纵波速为土体较为重要的机理要素。根据土体含水率、孔隙率与力学参数压缩模量之间的区段关系,指导各类军事活动及演训中的工事部署,同时对战略决策、作战行动、打击、工事构

筑、后勤保障等方面也有重要的影响作用。

**致谢:**研究成果得到中国地质调查局军民融合地质研究中心专家指导。感谢军事地球科学专栏特约主编葛良胜研究员、蒋少涌教授及审稿专家提出的建设性意见和编辑部的大力支持!

## 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)

- 陈占龙,陶留锋,孙政权,王润,龚希,徐道柱,马超,赵军利. 2022. 数据工程视角下的军事地质数据体系研究. 测绘与空间地理信息, 45(11): 1~4.
- 郭宏伟. 2022. 顾及军事地质要素的越野路径规划研究. 导师:魏海平. 郑州:战略支援部队信息工程大学硕士学位论文, 1~61.
- 胡德生,陈勇,陈重阳,李海林. 2010. 试析海战场环境信息化保障体系建设. 海军工程大学学报(综合版), 7(4): 41~44.
- 李世杰,李超,西伟力. 2019. 基于GMS的三维地质模型的研究和实践应用. 化工管理, (2): 174~175.
- 刘丽,王东,韩宁. 2023. 战场环境对工程保障任务的影响分析. 兵工自动化, 42(8): 32~36.
- 刘晓煌,孙兴丽,刘玖芬,李新昊,鲍宽乐,李宝飞,赵炳新,杨伟龙. 2016. 陆域军事地质要素的提取及成果表达. 西北地质, 49(3): 193~203.
- 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.
- 孙红政,李宏伟,徐哲. 2017. 地质要素在工程构筑选址中的影响特性分析. 测绘与空间地理信息, 40(10): 199~201+204.
- 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.
- 余焯,王启骏,刘晓平. 2012. 全球战场环境实时仿真系统研究. 合肥工业大学学报(自然科学版), 35(3): 319~324+346.
- 邹智彬,范鹏贤,刘鑫. 2023. 基于层次分析法的战场地质环境因素定量评价模型. 防护工程, 45(4): 60~67.
- Chen Zhanlong, Tao Liufeng, Sun Zhengquan, Wang Run, Gong Xi, Xu Daozhu, Ma Chao, Zhao Junli. 2022&. Research on military geological data system from the perspective of data engineering. Geomatics & Spatial Information Technology, 45(11): 1~4.
- García Casado E, Yao Yijiao, Zaffora B, Battaglia D, Schnabel U, Zuber S, den Besten H M W. 2024. Inactivation of Salmonella, Enterococcus faecium and natural microbiota on dry food matrices with microwave-driven plasma-processed air. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 97: 103822.
- Guo Hongwei. 2022&. Research on cross-country trail planning taking into account military geologic elements. Supervisor: Hai-Ping Wei. Zhengzhou: Strategic Support Forces Information Engineering University Master's thesis: 1~61.
- Hu Desheng, Chen Yong, Chen Chongyang, Li Hailin. 2010&. On the construction of information-based guarantee system in naval battlefield environment. Journal of Naval University of Engineering (Comprehensive Edition), 7(4): 41~44.
- Li Shijie, Li Chao, Xi Weili. 2019#. Research and practical application of three-dimensional geological model based on GMS. Chemical

- Enterprise Management, (2): 174~175.
- Liu Li, Wang Dong, Han Ning. 2023&. Analysis of the influence of battlefield environment on engineering support task. Ordnance Industry Automation, 42(8): 32~36.
- Liu Xiaohuang, Sun Xingli, Liu Jiufen, Li Xinhao, Bao Kuanle, Li Baofei, Zhao Bingxin, Yang Weilong. 2016&. Extraction and result expression of land area military geological elements. Northwestern Geology, 49(3): 193~203.
- 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.
- Sun Hongzheng, Li Hongwei, Xu Zhe. 2017&. Influence characteristics analysis of geological elements in engineering site selection and construction. Geomatics & Spatial Information Technology, 40(10): 199~201+204.
- Sun Xingli, Liu Xiaohuang, Lu Jiyuan, Mao Jingwen, Xu Xueyi, Guan Hongjun, Li Baofei, Liu Jiufen, 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 Ye, Wang Qijun, Liu Xiaoping. 2012&. On global battlefield environment real-time simulation system. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 35(3): 319~324+346.
- Zou Zhibin, Fan Pengxian, Liu Xin. 2023&. Quantitative evaluation model of battlefield geological environment factors based on AHP method. Protective Engineering, 45(4): 60~67.

## Military geotechnical elements affecting military operations research on the mechanism of winning

ZHAN Chun<sup>1, 2)</sup>, YANG Hu<sup>1, 2)</sup>, LIANG Jun<sup>1, 2)</sup>, ZHANG Tao<sup>1, 2)</sup>, WANG Jia<sup>1, 2)</sup>,  
HE Tao<sup>1, 2)</sup>, LI Chenyu<sup>1, 2)</sup>, LIU Cheng<sup>1, 2)</sup>

1) *Civil-Military Integration Center of China Geological Survey, Chengdu, 610036;*

2) *Civil-Military Integration Geological Research Center, China Geological Survey, Chengdu, 610036*

**Objectives and Methods:** To conduct an in-depth study on the constraints and influence mechanisms of different geological factors on military activities such as engineering construction, equipment utilization, firepower strikes, and logistical support for mobility, this paper preliminarily explores the military winning mechanism of soil within geological elements. The aim is to provide a theoretical basis grounded in geology for utilizing and transforming battlefield environments to enhance combat effectiveness.

**Results:** In this study, the authors utilize a comprehensive training ground as a "testing field," focusing on military training activities within specific functional areas. The research centers around five typical types of soil found in the training ground. Field tests were conducted to gather data from these locations, along with sample collection for analysis aimed at obtaining physical and mechanical parameters of the soils. Furthermore, we investigate the coupling relationships between significant physical properties and mechanical parameters.

**Conclusions:** The results indicate that moisture content, void ratio, and longitudinal wave velocity are critical mechanistic factors influencing soil behavior. These factors significantly affect resistance to explosive impacts, mobility during operations, and fortification construction in military contexts. Consequently, understanding the relationships among soil moisture content, porosity ratios, and compressive modulus can guide various military activities-including fortification deployment during exercises- and also has substantial implications for strategic decision-making related to operational actions such as strikes and logistical support.

**Keywords:** training ground; military geology; earth element; military action; mechanism research

**Acknowledgements:** This study was supported by China Geological Survey (No. DD20211582)

**First author:** ZHAN Chun, male born in 1993, bachelor, engineer, mainly engaged in the research of geological resources and geological engineering survey; Email: 394748219@qq.com

**Corresponding author:** YANG Hu, male born in 1987, master, engineer, mainly engaged in the research of geological resources and geological engineering survey; Email: 936668188@qq.com

**Manuscript** received on: 2024-10-15; Accepted on: 2024-11-05; Published online on: 2024-11-20

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2024.11.051

**Edited by:** LIU Zhiqiang