

含水率对不同土体作用机理评测

杨 虎, 詹 纯*, 王 嘉, 何 涛, 张明圆, 李晨雨, 张 滔

(中国地质调查局军民融合地质调查中心, 成都 610036)

摘要:含水率是土体重要物理参数之一,在不同土体中,含水率对其物性及力学特性有不同程度的影响效果。面对日益复杂的国际局势,战场活动及保障性研究尤为重要,岩土体要素作为战场环境中的重要一环,需加强探索其在实战中的作用;本文以某训练场为例,通过采集不同土体类型样品,在原位试验的基础上,对实验室结果做出数理统计和分析,经研究表明:①孔隙比较低、基质较为密实的土体中,含水率对其产生的时效性效果有所延迟,影响性差,随着含水率增加,土体粘聚力增加,而内摩擦角减小,对黏性土来说,含水率有助于抗剪性,对无黏性土,含水率降低其抗剪性;②不同土体对含水率的敏感度差异明显,在较密实、坚硬的土体区,含水率变化较为缓慢,对最终军事相关活动影响较小,对比区内三种土体,敏感度强弱依次为粉土>砾砂>碎(卵)石;③区内模拟雨前雨后演训环境下,土体承载力验证及抗打击区同类型炮弹毁伤效果评测,结果与土体含水率相关性相吻合,说明在同等环境下,随着不同含水率变化,对土体本身力学性质的影响。④含水率对岩土体力学参数影响很大,其是战场环境要素分析的重要组成部分,研究结果可以指导相关演训活动的部设。

关键词:含水率;训练场;土体;指标;机理

DOI:10.48014/cesr.20230728001

引用格式:杨虎,詹纯,王嘉,等. 含水率对不同土体作用机理评测[J]. 中国地球科学评论,2023,2(3):32-45.

0 引言

战场环境中,影响军事活动的要素有很多,实战演训下,岩土体要素即为重要,针对岩土体要素各类指标,依据实地采样实验分析、原位测试及相关资料搜集,探索如何利用这些影响,服务于战场环境保障中去;国内外学者对土体含水率下,对其物性及力学性质的研究,做了大量工作;地下水的分布及流量对土体及支护机构的力学状态有重要影响^[1],能够使其强度降低;含水率的变化及大小,也影响边坡稳定性,其是的边坡流变系数增加,从而使其稳定性降低^[2];含水率的含量对非饱和土强度的关系,可建立相关数理关系^[3],用于分析与高

角度边坡稳定性之间的关系;含水率的变化也会影响不同土体和混凝土复合体的剪切试验^[4];且在工程建设中,土钉支护的稳固性也与含水率息息相关^[5]。

根据泾阳县某边坡的实验结果,黄土体在不同围压以及含水率作用下,粘聚力随含水率增加而明显降低,内摩擦角影响较小^[6];根据室内实验资料,归纳粘聚力、内摩擦角和含水率呈二次抛物线关系^[7],并总结出压实土的计算方程^[8]。

本研究首次将地质工程于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。

* 通讯作者 Corresponding author:詹纯,394748219@qq.com

收稿日期:2023-07-29; 录用日期:2023-09-15; 发表日期:2023-09-28

本次工作选取某训练场,其位于我国西藏自治区的藏北高原边缘地带,能有效模拟中印东段作战方向战场自然环境,为典型高原高寒特殊场地综合训练场,区内设置多兵种多功能性训练场区,同时可容纳数万人集中作训,为国防建设贡献重要力量。

研究区位于1:5万某幅地质图内,总面积约为450km²,境内发育多条水系,整体呈西高东低趋势,西部主要为格达乡及其西侧沼泽区,沼泽区西侧为山地,平均海拔5500m,山顶常年积雪,多条水系交汇流下,形成山脚沼泽区;图幅中部大部分区域为冲洪积平原区,土体类型以砾砂为主,中部多吉林寺北侧约33km²的高地,底部主要为凝灰岩隆起,同时可见英安岩岩脉,东部为央热村东侧山地,整体较西侧海拔低,平均海拔5000m,区内土体类型多样,主要土体为沼泽区粉砂岩,河流谷底卵石区,冲积平原砾砂区,亦有其他类型土体分布于区内,构成训练场整体土格架(图1)。

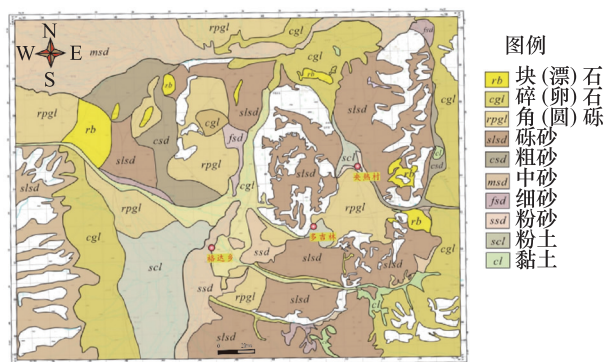


图1 某综合训练场1:50000工作区
土体要素地质条件图

Fig. 1 Geological condition diagram of soil elements
in the 1:50000 working area of a comprehensive
training ground

1 军事活动中对含水率相关应用

在军事演训活动及实战中,影响战场环境要素很多,其中岩土体要素直接关系到演训演练的布设和开展,是重中之重,分析岩土体诸多要素指标,选其物理学参数含水率作为研究的主要目标,其在战场环境中体现较为直观,如雨前雨后路面承载力等

参数的变化程度,河流区、沼泽区远近抗打击性、通行能力强弱等诸多实例,通过含水率相关研究,理清其在军事活动中相关影响意义,指导演训活动中,相关战术战略的部设及规划。

2 含水率对不同土体影响效果

据前述可知,区内土体主要类型为碎(卵)石、砾砂、粉土,因此以三种土体类型为主要研究对象,含水率对其力学参数影响效果,从而指导宏观作用,在区内不同位置进行野外地质实测及采集相关数据,得到综合性实验数据,分述如下。

碎(卵)石、碎石土相对于块石土,石块粒径相对较小,其主要分布在北侧、东侧和西侧的边缘区域,占比相对较大,主要分布在块石土上游区域,总体面积约为53km²,由于石块在区域内占比较高,野外实地测量承载力,较难穿透,承载能力主要为石块坚硬程度决定,在该区域内取样,获得4组数据,除含水率和比重外,其他均不可获取,碎石区依据实验室返回结果可知,其平均含水率为0.4%,比重为2.67。卵石土主要分布在河流阶地及河谷峡地,在区内沿各水系伸展扩散,由于为长时间河水冲刷而成,表面棱角被打磨,整体圆滑,由于卵石冲积搬运较远,所以其原岩种类较为广泛,囊括沉积岩、变质岩、岩浆岩大多种类岩性,其主要岩性为火山碎屑岩、安山岩、英安岩、流纹岩、花岗岩、粉砂岩、角砾岩、页岩等,卵石质地较为坚硬,多数具有新鲜岩块的特性,卵石区冲刷横截面处,可见其韵律状排布,长轴具有一定定向规则,显示水流运动方向,具有一定力学特性,该区域内如基底较为坚硬,则适宜通行等军事活动。

砾砂在图幅中分布较为广泛,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,实验室采回数据见表1。

不同区域采样地点如图2所示,依据不同水系,划分各个阶地区域,进行进一步汇总分析,相互对比后,清晰了解不同区域土体物理及力学参数对比,指导各区内军事活动开展。

表 1 训练场砾砂土体不同区采样汇总表
Table 1 Sampling summary of gravelly sand soils in different areas of the training ground

来样编号	样品分布	土样状态	物理及力学性质									
			含水率(%)	天然密度(g/cm ³)	比重	孔隙比	孔隙率(%)	饱和度(%)	压缩试验		抗剪强度(天然)	
									压缩系数 <i>P</i> = 100~200kPa (MPa ⁻¹)	压缩模量 <i>E_s</i> (1-2) (MPa)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
TY120-TY123	郎牛曲 河流阶地	原状	0.5	1.72	2.67	0.560	36	2	0.071	21.83	1.3	29.5
TY124-TY127		原状	1.2	1.64	2.66	0.641	39	5	0.079	20.71	1.8	30.4
TY128-TY131		原状	0.8	1.70	2.67	0.583	37	4	0.085	18.65	1.6	31.7
TY132-TY135		原状	0.9	1.61	2.65	0.661	40	4	0.085	19.50	2.0	32.5
TY136-TY139		原状	1.1	1.70	2.66	0.582	37	5	0.070	22.63	2.3	33.2
TY88-TY91		原状	1.9	1.64	2.63	0.634	39	8	0.114	14.31	2.4	28.3
TY92-TY97		原状	1.7	1.65	2.64	0.627	39	7	0.102	15.93	2.9	27.5
TY184-TY187		原状	0.3	1.56	2.63	0.691	41	1	0.119	14.18	1.9	28.8
TY101	央热曲 河流阶地	原状	0.5	1.71	2.67	0.569	36	2	0.102	15.35	1.3	33.6
TY102		原状	0.5	1.73	2.67	0.551	36	2	0.101	15.36	1.8	33.0
TY103		原状	0.7	1.70	2.66	0.576	37	3	0.137	11.46	2.1	31.2
TY104		原状	0.6	1.74	2.65	0.532	35	3	0.106	14.42	1.5	32.3
TY106		原状	0.5	1.71	2.65	0.557	36	2	0.106	14.70	1.8	32.9
TY69-TY72		原状	3.9	1.42	2.63	0.924	48	11	0.378	5.10	3.5	26.7
TY73-TY76		原状	4.2	1.40	2.66	0.980	49	11	0.444	4.46	3.1	27.4
TY44-TY46、 TY68	琼雄曲 河流阶地	原状	7.0	1.44	2.63	0.954	49	19	0.434	4.50	4.2	23.6
TY77、TY193、 TY200		原状	4.0	1.36	2.64	1.019	50	10	0.620	3.26	2.7	28.1
TY176-TY179	尼布曲- 郎牛曲 河流阶地	原状	1.0	1.64	2.64	0.626	38	4	0.086	18.87	1.5	31.2
TY235-TY239		原状	5.3	1.56	2.62	0.768	43	18	0.341	5.19	3.6	27.2
TY158		原状	0.9	1.54	2.63	0.723	42	3	0.096	17.99	1.0	33.2
TY159		原状	1.0	1.56	2.62	0.696	41	4	0.077	22.00	0.8	34.0
TY53-1-TY56-1	怕个洞容 河流阶地	原状	5.7	1.41	2.64	0.979	49	15	0.482	4.10	2.6	29.6
TY57-1、 TY37-TY39		原状	5.0	1.42	2.63	0.945	49	14	0.534	3.64	2.1	27.9
TY47-TY50		原状	4.5	1.41	2.63	0.949	49	12	0.507	3.84	1.6	28.4
TY51-TY54		原状	5.2	1.52	2.63	0.820	45	17	0.173	10.51	2.1	29.0
TY55-TY58		原状	5.5	1.43	2.63	0.940	48	15	0.392	4.95	1.5	29.8
TY40-TY43		原状	7.5	1.44	2.64	0.971	49	20	0.480	4.10	3.5	25.3
TY63-TY67		原状	5.0	1.36	2.63	1.031	51	13	0.798	2.55	3.4	26.5
TY17-TY20		原状	7.2	1.42	2.67	1.016	50	19	0.577	3.50	1.9	23.9
TY21-TY24	沙陇曲 河流阶地	原状	7.3	1.51	2.66	0.890	47	22	0.261	7.24	3.7	24.3
TY25-TY28		原状	7.0	1.51	2.65	0.878	47	21	0.268	7.00	3.5	25.0
TY29-TY32		原状	8.8	1.43	2.66	1.024	51	23	0.649	3.12	1.6	20.3

续表

来样编号	样品分布	土样状态	物理及力学性质									
			含水率 (%)	天然密度 (g/cm ³)	比重	孔隙比	孔隙率 (%)	饱和度 (%)	压缩试验		抗剪强度(天然)	
									压缩系数 <i>P</i> = 100~200kPa (MPa ⁻¹)	压缩模量 <i>E_s</i> (1-2) (MPa)	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
TY10-TY13	根必曲 河流阶地	原状	2.5	1.45	2.64	0.866	46	8	0.193	9.65	3.7	24.9
TY01-TY04		原状	5.1	1.41	2.67	0.990	50	14	0.230	8.65	4.5	26.8
TY05-TY08		原状	4.5	1.33	2.68	1.106	53	11	0.481	4.38	2.1	25.6
TY14-TY16、 TY48-1		原状	1.4	1.50	2.65	0.791	44	5	0.182	9.82	4.5	26.0
TY28-TY31	塔穷曲 河流阶地	原状	3.5	1.51	2.62	0.796	44	12	0.186	9.63	2.0	29.2

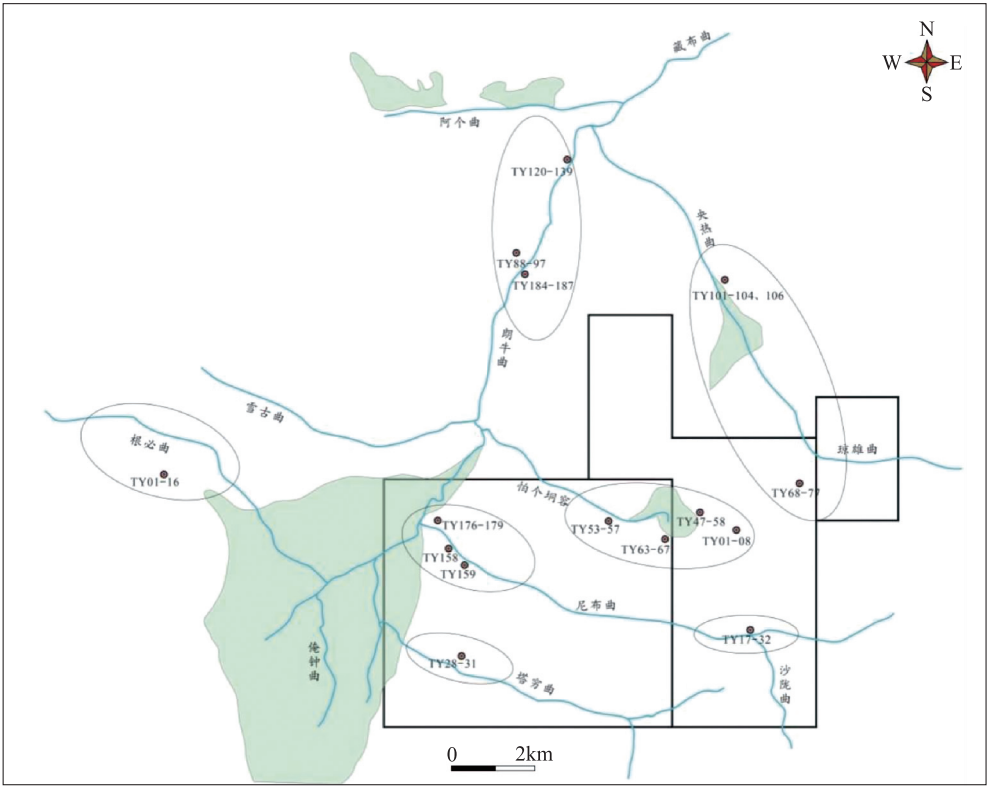


图 2 不同水系流域河流阶地砾砂土体采样分布图

Fig. 2 Sampling distribution of river terrace gravelly sand soils in different water catchment basins

其中 TY88-97、TY120-139、TY184-187 属于郎牛曲上流河床区域, TY101-104、TY106 属于央热曲河流阶地区, TY68-77 属于琼雄曲河床阶地区, TY47-58、TY01-08、TY53-56、TY63-67 属于怕个洞容中下游河谷阶地区, TY10-13 属于根必曲河流阶

地区, TY158、TY159、TY176-179 属于尼布曲-郎牛曲交汇地河流阶地区, TY17-32 属于沙陇曲-尼布曲交汇河流阶地区, TY10-13 属于塔穷曲河流阶地区, 根据不同区域, 将各地砾砂归类列表, 总结如表 2 所示。

表 2 不同水系流域河流阶地砾砂土体平均属性汇总图

Table 2 Summary of average properties of gravelly sand soil bodies on river terraces in different water catchments

样品分布	物理及力学性质									
	含水率 ω_o (%)	天然 密度 ρ_o (g/cm ³)	比重 G_s	孔隙比 e_o	孔隙率 n (%)	饱和度 S_r (%)	压缩试验		抗剪强度(天然)	
							压缩系数当 $P=100\sim200\text{kPa}$ a_v (MPa ⁻¹)	压缩模量 E_s (1-2) (MPa)	黏聚力 C (kPa)	内摩擦角 φ (°)
郎牛曲河流阶地	1.1	1.65	2.65	0.62	38.5	5	0.091	18.47	2.0	30.2
央热曲河流阶地	1.6	1.63	2.66	0.670	40	5	0.196	11.55	2.2	31.0
琼雄曲河流阶地	5.5	1.40	2.64	0.987	50	15	0.527	3.88	3.5	25.9
尼布曲-郎牛曲河流阶地	2.1	1.58	2.63	0.703	41	7	0.150	16.01	1.7	31.4
怕个洞容河流阶地	5.5	1.43	2.63	0.948	49	15	0.481	4.81	2.4	28.1
沙陇曲河流阶地	7.6	1.47	2.66	0.952	49	21	0.439	5.22	2.7	23.4
根必曲河流阶地	3.4	1.42	2.66	0.938	48	10	0.272	8.13	3.7	25.8
塔穷曲河流阶地	3.5	1.51	2.62	0.796	44	12	0.186	9.63	2.0	29.2

把不同位置砾砂物理及力学性质进行对比(图3、图4、图5),可以明显看出不同区域内的砾砂数据不尽相同,表明同样土体类型在不同位置差异很大,总体规律总结如下,沙陇曲含水率最高,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。

力学性质分析,通过压缩试验,可以看出郎牛

曲河流阶地压缩系数最小,压缩模量最高,表明该地抗变形能力强,易于机动通行等军事活动,同理,琼雄曲河流阶地区压缩系数最高,压缩模量最小,说明该区域砾砂易产生形变,易于军事开挖,但不易于机动通行等活动。根据抗剪强度(天然)数据分析,琼雄曲河流阶地砾砂凝聚力相对较高,内摩擦角最大,对应压缩试验,可知其抗压抗剪能力最强,做相关图表加以说明(图6、图7)。

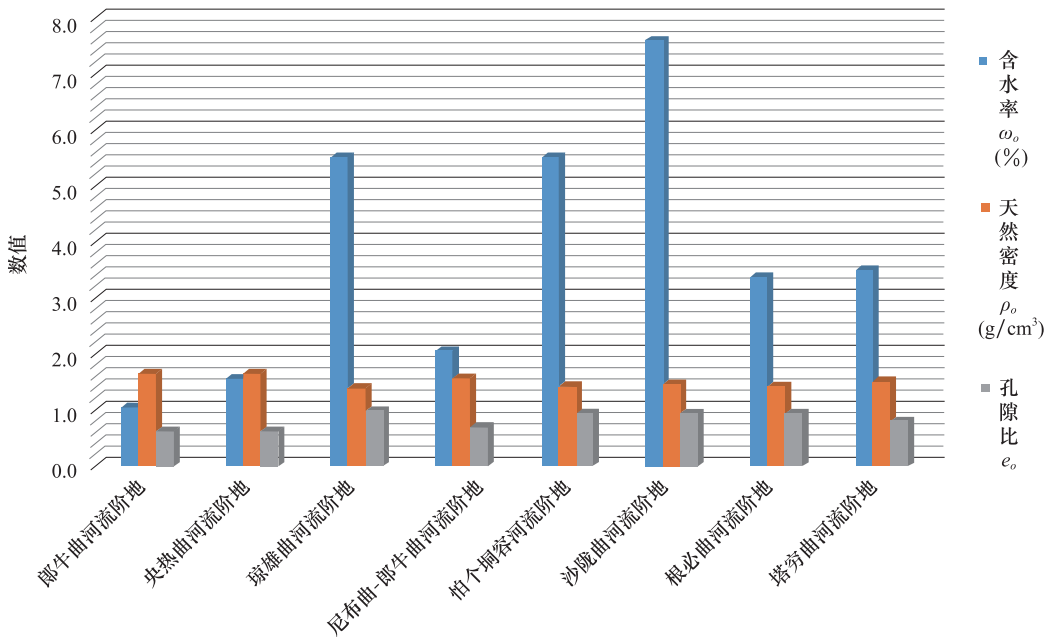


图 3 不同水系流域河流阶地砾砂土体物理性质对比图

Fig. 3 Comparison of physical properties of river terrace gravelly sand soils in different water catchment basins

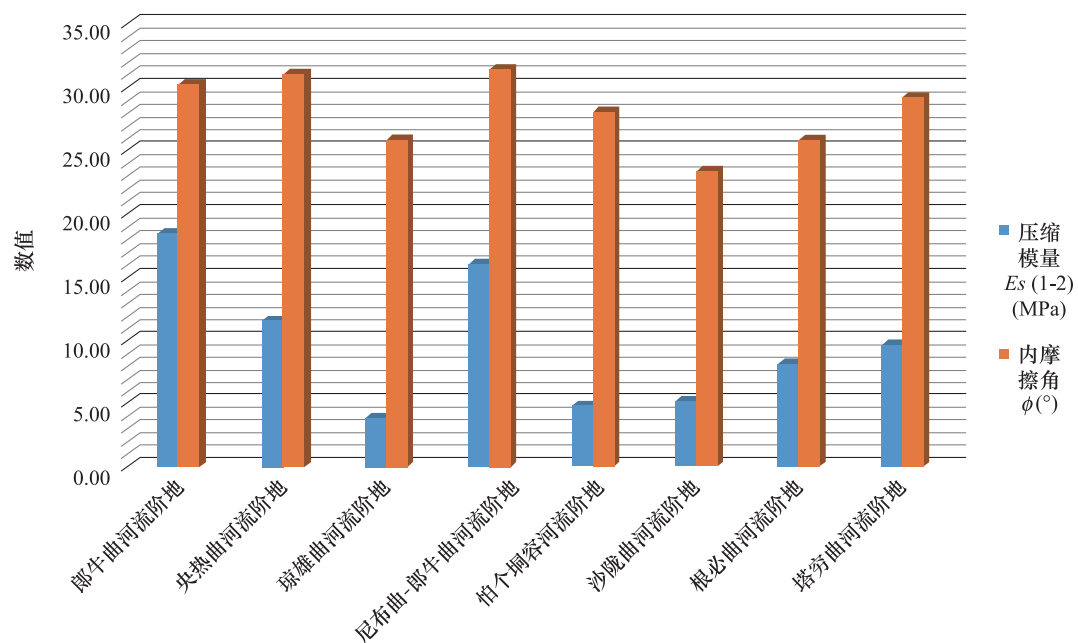


图 4 不同水系流域河流阶地砾砂力学性质图

Fig. 4 Mechanical properties of river terrace gravelly sands in different water catchments

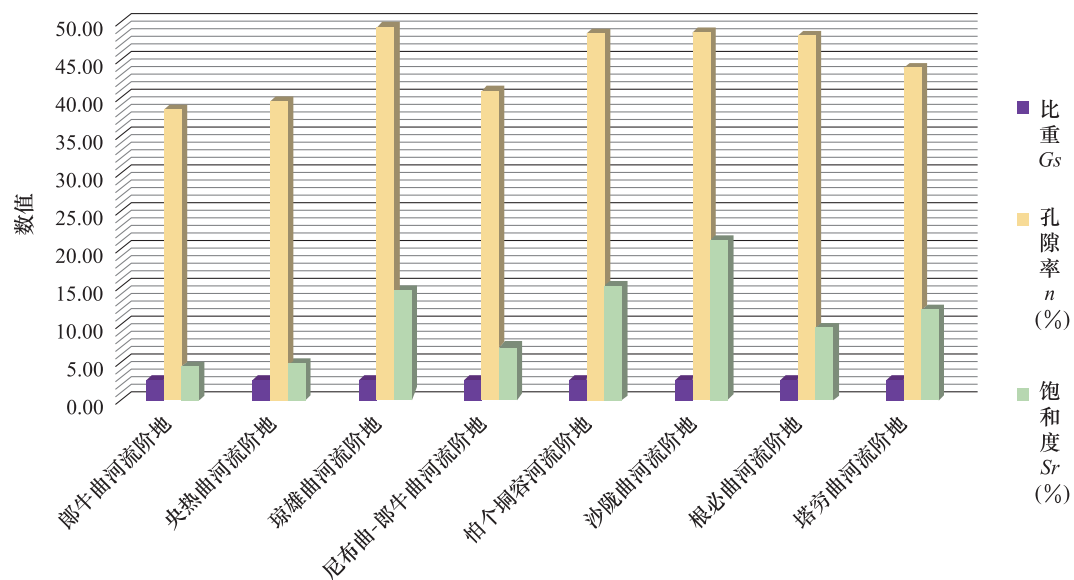


图 5 不同水系流域河流阶地砾砂土物理性质对比图

Fig. 5 Comparison of physical properties of river terrace gravelly sand soils in different water catchment basins

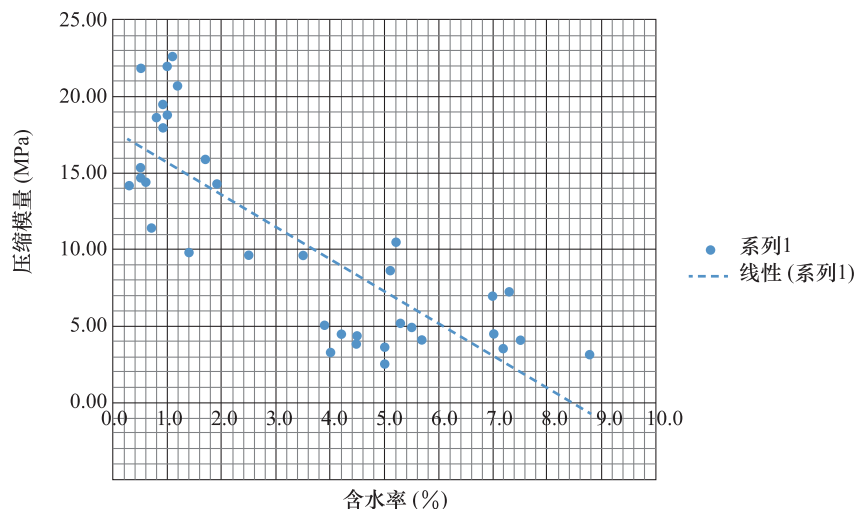


图 6 不同水系流域河流阶地砾砂土体压缩模量与含水率关系线性回归图

Fig. 6 Linear regression diagram of compression modulus and water content of gravelly sand in river terrace of different water catchments

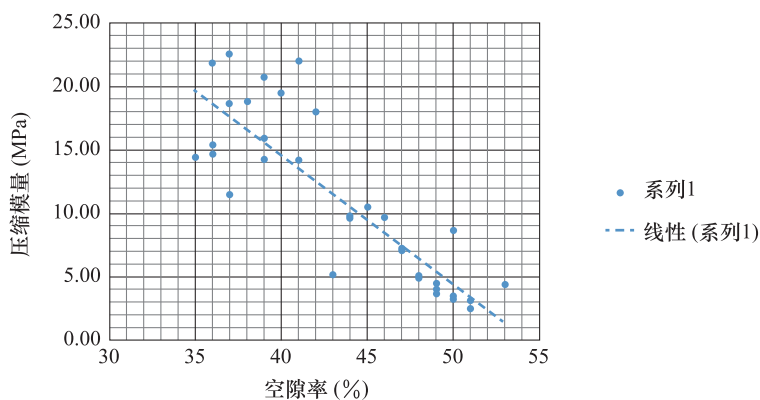


图 7 不同水系流域河流阶地砾砂土体压缩模量与孔隙率关系线性回归图

Fig. 7 Linear regression diagram of compression modulus and porosity of gravelly sandy soils in river terrace of different water catchment basins

沼泽区主要土体类型为粉土,主要分布在地势低洼地带或三角洲尾侧,常有积水,土质湿润,草类植被较为发育,具规模状草甸生态系统,该处易开挖、易湿陷。

沼泽区主要分布在格达乡西侧、央热村北西侧、多吉林南侧区域,其中格达乡西侧区域最大,面积约为 19km^2 ,央热村、多吉林次之,面积约为 5.5km^2 ,沼泽区土体堆积较厚,根据物探数据显示,厚度平均大于 10m ,野外路线实测土体承载力平均为 190.16Mpa ,总体密实度一般,在沼泽区呈规律性变化,靠近外围土体含水量越低,承载能力越高,

植被相对稀疏,靠近中心区域,常年积水,土质松软,通行有湿陷危险,承载能力低,在不同沼泽区不同位置,野外实地采取土样,沼泽区外围取回试验结果见表 3、表 4。

如表 3、表 4 所示,其中 TY89-TY92、TY97-YT144 为央热村北西侧土样, TY195-TY198、TY33-TY36、TY37-TY40、TY192、TY194、TY199m 为多吉林南侧土样, TY138-TY141、TY142-TY145、TY190-TY193 为格达乡西侧土样,横向对比(表 5、表 6)不同区域数据可知:

表 3 粉土区不同区域物理性质参数实验室分析结果汇总表

Table 3 Summary of laboratory analysis results of physical property parameters in different areas of chalky soil zone

样品编号	采样位置	物理性质					
		含水率 ω_o (%)	天然密度 ρ_o (g/cm ³)	比重 G_s	孔隙比 e_o	孔隙率 n (%)	饱和度 S_r (%)
TY89-TY92	央热村	25.5	1.49	2.70	1.274	56	54
TY97-TY144	北西侧	26.2	1.50	2.70	1.272	56	56
TY195-TY198	多吉林 南侧	16.9	1.53	2.70	1.063	52	43
TY33-TY36		17.8	1.54	2.69	1.058	51	45
TY37-TY40		16.5	1.51	2.69	1.075	52	41
TY192、TY194、TY199		15.1	1.54	2.69	1.011	50	40
TY138-TY141	格达乡 西侧	21.4	1.56	2.68	1.086	52	53
TY142-TY145		17.7	1.76	2.68	0.792	44	60
TY190-TY193		25.8	1.71	2.69	0.979	49	71

表 4 粉土区不同区域力学性质参数实验室分析结果汇总表

Table 4 Summary of laboratory analysis results of mechanical property parameters in different areas of chalk soil area

来样编号	采样位置	力学性质									
		可塑性试验				压缩试验		抗剪强度(天然)		渗透系数	
		液限 ω_L (%)	塑限 ω_P (%)	塑性指数 I_p	液性指数 I_L	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 φ (°)	垂直 kv (cm/s)	水平 kh (cm/s)
TY89-TY92	央热村	27.9	18.5	9.4	0.74	1.209	1.88	8.4	12.5	3.21×10^{-3}	4.37×10^{-3}
TY97-TY144	北西侧	25.0	16.7	8.3	1.14	1.056	2.15	7.4	11.4	4.95×10^{-3}	7.55×10^{-3}
TY195-TY198	多吉林 南侧	24.1	16.0	8.1	0.11	0.153	13.50	18.5	19.7	3.15×10^{-3}	6.47×10^{-3}
TY33-TY36		23.9	16.4	7.5	0.19	0.730	2.82	14.5	19.0	3.05×10^{-3}	5.87×10^{-3}
TY37-TY40		22.1	16.0	6.1	0.08	0.911	2.28	15.7	18.6	4.71×10^{-3}	7.22×10^{-3}
TY192、TY194、 TY199		21.7	14.8	6.9	0.04	0.280	7.19	12.5	18.4	2.57×10^{-3}	4.69×10^{-3}
TY138-TY141	格达乡 西侧	23.4	17.6	5.8	0.66	0.467	4.47	11.9	17.8	3.51×10^{-3}	4.59×10^{-3}
TY142-TY145		20.3	16.1	4.2	0.38	0.298	6.01	15.5	18.6	3.16×10^{-3}	4.57×10^{-3}
TY190-TY193		23.5	16.8	6.7	1.34	0.570	3.47	10.5	13.9	2.05×10^{-3}	3.17×10^{-3}

表 5 粉土区不同区域力学性质算数平均参数实验室分析结果汇总表

Table 5 Summary of laboratory analysis results of arithmetic mean parameters of mechanical properties in different areas of chalky soil zone

土样分布	土样名称	物理性质					
		含水率 ω_o (%)	天然密度 ρ_o (g/cm ³)	比重 G_s	孔隙比 e_o	孔隙率 n (%)	饱和度 S_r (%)
央热村北西侧	粉土	25.9	1.50	2.70	1.27	56.0	55.0
多吉林南侧	粉土	16.6	1.53	2.69	1.052	51	42
格达乡西侧	粉土	21.6	1.7	2.7	1.0	48.3	61.3

表 6 粉土区不同区域力学性质算数平均参数实验室分析结果汇总表
Table 6 Summary of laboratory analysis results of arithmetic average parameters of
mechanical properties in different regions of chalky soil area

土样分布	土样 名称	力学性质									
		可塑性试验				压缩试验		抗剪强度(天然)		渗透系数	
		液限 ω_L (%)	塑限 ω_P (%)	塑性 指数 I_p	液性 指数 I_L	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 φ (°)	垂直 k_v (cm/s)	水平 k_h (cm/s)
央热村北西侧	粉土	26.5	17.6	8.9	0.94	1.13	2.02	7.90	11.95	4.08×10^{-3}	5.96×10^{-3}
多吉林南侧	粉土	23.0	15.8	7.2	0.11	0.519	6.45	15.3	18.9	3.37×10^{-3}	6.06×10^{-3}
格达乡西侧	粉土	22.4	16.8	5.6	0.8	0.4	4.7	12.6	16.8	2.91×10^{-3}	4.11×10^{-3}

央热村北西侧含水率最高,格达乡西侧次之,多吉林南侧最低,一定程度上反映了水源地蓄水能力,央热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,在附近有一处常年供周围牧民饮用生活的泉水,水流量为 22t/h,格达乡沼泽区范围最大,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;多吉林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。

格达乡西侧粉土天然密度最高,孔隙率最低,一定程度反映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,多吉林南侧、央热村北西侧次之,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,其中多吉林南侧粉土垂直渗透系数小于央热村北西侧,同时水平向多吉林南侧渗透系数大于央热村北西侧,推断多吉林南侧处粉土成层性要比央热村北西侧好,则该处承载力及抗压抗剪能力强于它处。

该处可以引入渗透影响指数 I , I = 垂直渗透系数/水平渗透系数^[9],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,区内央热村北西侧 $I=0.68$,多吉林南侧 $I=0.56$,格达乡西侧 $I=0.71$,则多吉林南相对其他两区,土体粘聚力最大(14.1kPa)。

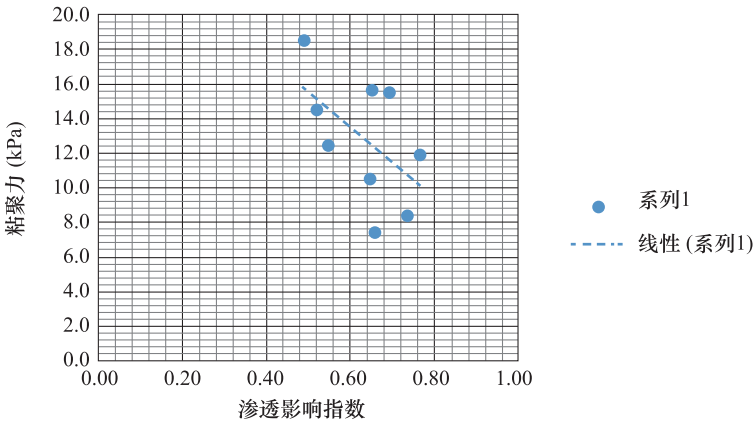


图 8 粉土区域渗透影响指数与黏聚力关系线性回归图
Fig. 8 Linear regression of the relationship between the permeability influence
index and cohesion in the pulverized soil region

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,格达乡西侧及多吉

林南侧区域压缩变形相当,密实程度较好,而央热村北西侧,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,央热村北西侧液限、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 9~图 11)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。

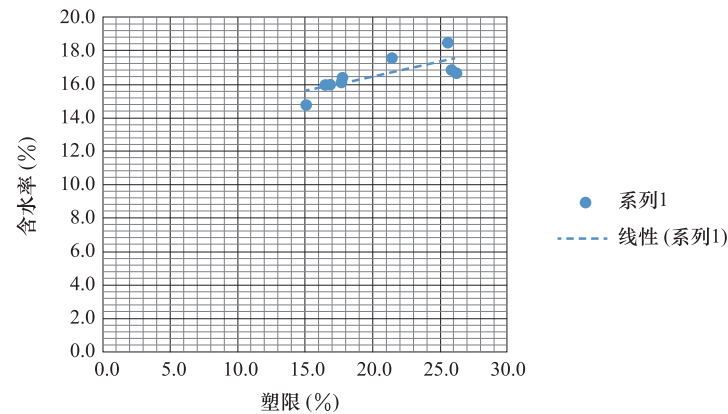


图 9 粉土区域含水率与塑限关系线性回归图

Fig. 9 Linear regression diagram of water content versus plastic limit in pulverized soil region

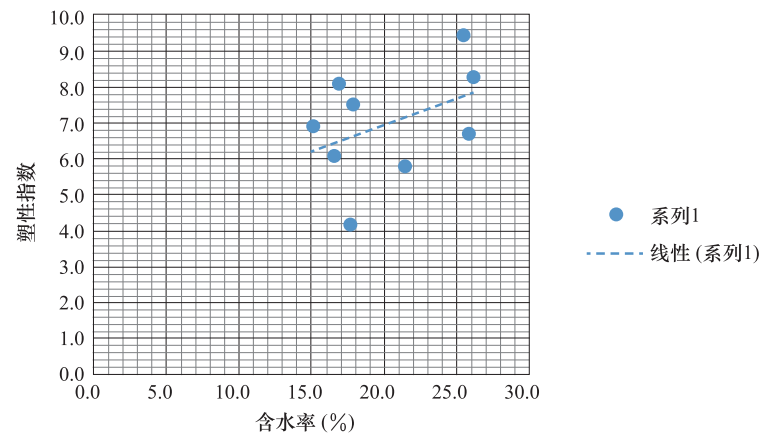


图 10 粉土区域含水率与塑性指数关系线性回归图

Fig. 10 Linear regression diagram of water content and plasticity index in pulverized soil region

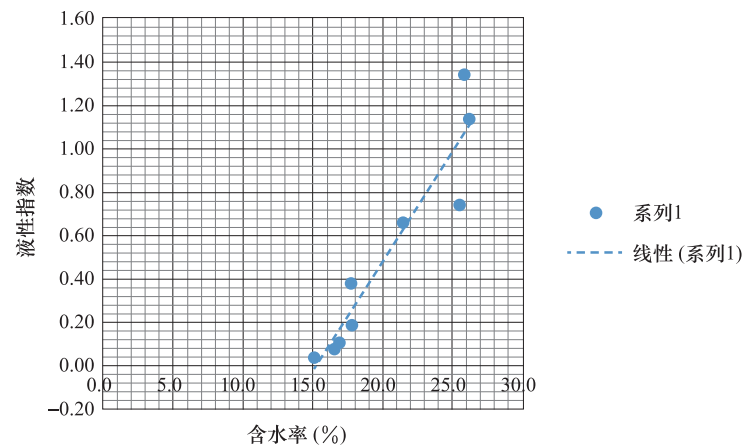


图 11 粉土区域含水率与液性指数关系线性回归图

Fig. 11 Linear regression diagram of water content and liquidity index in the area of chalky soil

同时,根据格达乡西侧无侧限抗压强度试验可知^[10],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。

3 对不同装备的验证

3.1 机动通行区不同含水率承载力评测

战场环境保障过程中,天气对军事活动影响极其重要,在布设战术中,要将这一要素考虑在内,其中降雨量变化,对战场环境影响普遍且值得重视,降雨量变化则直观的反应在岩土体的含水率中,因此在野外工作中,针对这一动态环境变化,在格达乡西北部砂土区做了雨前雨后相关岩土要素对比研究。



图 12 不同含水率土体现场承载力测定实拍图

Fig. 12 Actual map of soil bearing capacity measurement with different moisture content

现场试验结果如下,根据实测得知,原土体含水率 1.5%,天然密度 1.56cm^3 ,孔隙率 41%,饱和度 6%,压缩系数 0.063,压缩模量 26,粘聚力 1.6kPa,承载力 277MPa;经历降雨量为 36mm 的雨水后,再次原位测得结果为,含水率 6.7%,天然密度 1.65cm^3 ,孔隙率 41%,饱和度 25%,压缩系数 0.258,压缩模量 6.58,粘聚力 4.3kPa,承载力为 275MPa,相较而言,雨后含水率明显增加,相对饱和度增加,压缩系数大幅增加,压缩模量减小^[11],而粘聚力有所增加,整体承载力降低 2MPa,这些结果表明,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 2MPa,总体略有降低^[12]。

3.2 某型号炮弹毁伤效果对不同含水率土体评测

经与训练场相关演训单位协调沟通,同意在抗爆打击区实施 XX 型号导弹实验性打击,打击位置如图 13 所示,打击区土体类型相同,除含水率有差异外,各项物理参数相同;经过对打击后相关毁伤效果评测,弹坑规格表 7 所示。

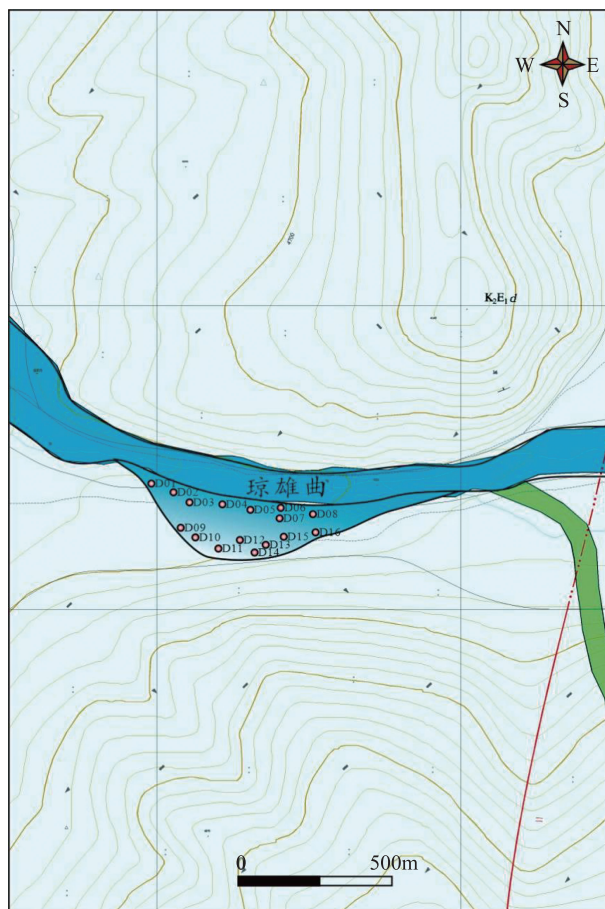


图 13 实测 XX 型号榴弹炮弹坑规格位置图示

Fig. 13 The location of measured XX Howitzer crater specification

由表 7 可知,靠近水源地平均含水率 28%,其弹坑规格为 $228\text{cm} \times 213\text{cm}$,深度 19cm,大于远离水源地区域,该区域平均含水率为 13%,弹坑规格平均为 $193\text{cm} \times 170\text{cm}$,深度 14cm,由以上数据可知,区内含水率与弹坑规格呈正相关,表明含水率对导弹毁伤效果有积极作用,在战场环境中,临近水源地,砾砂含水较多时,内部凝聚力降低,从而毁伤效果增加。

表 7 实测 XX 型号榴弹炮弹坑规格汇总表
Table 7 Summary of measured XX Howitzer crater specifications

序号	岩土体类型	武器型号	武器类型 (当量)	弹坑规格(cm)		弹坑深度 (cm)	含水率(%)
				长轴	短轴		
D1	含砾石粉砂土	XX 口径榴弹炮	杀伤弹	230	220	23	32
D2				250	240	19	26
D3				240	220	16	31
D4				240	230	20	25
D5				200	190	20	28
D6				210	200	19	27
D7				230	210	16	26
D8				220	190	18	27
平均				228	213	19	28
D9	含砾石粉砂土	XX 口径榴弹炮	杀伤弹	180	170	12	14
D10				200	180	16	9
D11				190	160	15	12
D12				210	180	13	11
D13				180	160	14	12
D14				190	170	12	15
D15				200	160	16	13
D16				190	180	15	14
平均				193	170	14	13

3.3 工事构筑中含水率参数意义

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,因此区内岩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,要依据岩土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,因此对岩土材料参数的评价非常有意义。

在研究区冲积平原南侧山体上,可见数条壕体,对不同岩土体的参数及实测施工效率进行研究分析,区内块(漂)石需要机械开挖,石块较大,人工无法搬运,碎(卵)石区,机械开挖效率为 20m³/h,单人开挖效率为 1.5m³/h,角(圆)砾区,机械开挖效率为 25m³/h,单人开挖效率为 3m³/h,砂石区,机械开挖效率为 30m³/h,单人开挖效率为 3m³/h,粉土区内,机械开挖效率为 40m³/h,单人开挖效率为 3.5m³/h,且机械开挖随着坡脚变大,挖掘效率下降,人工开挖影响相对较小。

同一土体中,不同参数对开挖效率也有影响,含水率增加,可以起到很好润滑效果,土体形变压缩性增强,从而开挖效率有所提升,土体密度增加,抗剪能力提升,开挖难度增加,效率降低,因此在工事构筑活动中,对不同的建筑体,要选择合适的区域施工,从而达到理想效果。

4 结果与讨论

- (1)含水率对训练场岩土体力学参数影响很大,从而是战场环境重要组成部分,对含水率的分析研究,可以指导和参与相关军事活动的部设、研讨;
- (2)不同土体对含水率的敏感度不一样,根据图表中分析可知,在较密实、坚硬的土体区,含水率变化较为缓慢,影响不甚明显,对最终军事相关活动影响较小,依据分析,训练场中三种主要土体,其敏感度以此为粉土>砾砂>碎(卵)石;
- (3)同种类型土体中,含水率表现大致相同,由分析可知,含水率对土体力学参数影响为,含水率

与土体黏聚力呈正相关、与土体内摩擦力为负相关;

(4)雨前雨后土体承载力验证及抗打击区 XX 炮弹毁伤效果评测与土体含水率相关性吻合,说明在同等环境下,随着不同含水率变化,对土体本身力学性质的影响,可以对军事活动的开展进行指导参考作用;

(5)含水率作为土体最终要的物理学参数之一,对其在军事活动中的影响指导意义,可以在土体其他物理学参数上实践推广应用,为更全面指导军事活动提供有力支撑。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

- [1] 孙强,李厚恩,秦四清,等.地下水引起的基坑破坏分析[J].岩土工程学报,2006,(201):1428-1432.
<https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-4548.2006.z1.027>
- [2] 叱干晓敏.考虑含水率变化对黄土结构强度影响的边坡稳定性分析[J].水利与建筑工程学报,2013(5):169-172.
- [3] 盛维高,李国维,袁俊平.基于含水量变化对土体强度影响的高边坡稳定分析[J].水利水电科技进展,2009(1):12-15.
<https://doi.org/10.3880/j.issn.1006-7647.2009.01.004>
- [4] 廖红建,张新善,李震东.含水量变化对桩土复合体强度特性的影响研究[A].第二届全国环境岩土与土工合成材料技术研讨会[C],2008.
- [5] 张宏刚,张卫东.土体含水量对西安黄土区土钉支护稳定性的影响[J].煤田地质与勘探,2015(5):65-68.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1986.2015.05.016>
- [6] 高帅,骆亚生,胡海军,等.非饱和原状黄土增湿条件下力学特性试验研究[J].岩石工程学报,2015(7):1313-1318.
<https://doi.org/10.11779/CJGE201507019>
- [7] 赵守全,朱兆荣,吴红刚,等.黄土古土壤工程力学性质机理研究[J].科技创新与应用,2022(11),95-100.
<https://doi.org/10.19981/j.CN23-1581/G3.2022.11.020>
- [8] 张秀丽.考虑含水量和密度影响的压实黄土工程性质试验研究[D].西安:西安建筑科技大学,2011:16-32.
<https://doi.org/10.7666/d.d191842>
- [9] SL/T 225—1998,水利水电工程土工合成材料.应用技术规范[S].
- [10] 郭印.淤泥质土的固化及力学特性的研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- [11] 黄渐佳.游离氧化铁对花岗岩残积土抗剪和固结强度的影响[D].武汉:华中农业大学,2021.
<https://doi.org/10.27158/d.cnki.ghznu.2021.000512>
- [12] 吴万彦.混掺纤维自密实混凝土桥墩抗震性研究[D].苏州:苏州科技大学,2022.
<https://doi.org/10.27748/d.cnki.gszkj.2022.000155>

Evaluation of Water Content on the Mechanism of Action of Different Soils

YANG Hu,ZHAN Chun^{*},WANG Jia,HE Tao,
ZHANG Mingyuan,LI Chenyu,ZHANG Tao

(Civil-Military Integration Geological Survey Centre,China Geological Survey,Chengdu 610036,China)

Abstract: Water content is one of the important physical parameters of soil. In different soils, water content has different effects on their physical and mechanical properties. In the face of the increasingly complex international situation, the study of battlefield activities and support is particularly important. As an important part of the battlefield environment, rock and soil mass elements need to be explored in actual combat. Taking a training ground as an example, this paper collects samples of different soil types and makes mathematical statistics and analysis of laboratory results on the basis of in-situ tests. The research shows that: (1) In soils with relatively low porosity and dense matrix, the moisture content has a delayed effect on the timeliness. With the increase of moisture content, the cohesiveness of the soil increases, while the internal friction Angle decreases. For viscous soil, the moisture content contributes to the shear resistance, while for non-cohesive soil, the moisture content decreases the shear resistance. (2) The sensitivity of different soils to water content is obviously different. In the dense and hard soil area, water content changes slowly and has little influence on the final military-related activities. Compared with the three soils in the area, the sensitivity is in the order of silt > gravel sand > crushed(pebble)stone; (3) In the simulated pre-rain and post-rain training environment, the bearing capacity of soil mass and the damage effect evaluation of the same type of shell in the anti-strike area are consistent with the correlation of soil water content, indicating that under the same environment, the change of different water content will affect the mechanical properties of soil mass itself. (4) Moisture content has a great influence on geotechnical physical parameters, which is an important part of the analysis of battlefield environmental factors, and the research results can guide the design of relevant exercises and training activities.

Keywords: Moisture content; training ground; soil; index; mechanism

DOI: 10. 48014/cesr. 20230728001

Citation: YANG Hu,ZHAN Chun,WANG Jia,et al. Evaluation of water content on the mechanism of action of different soils [J]. Chinese Earth Sciences Review, 2023, 2(3):32-45.

Copyright © 2023 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

