

文章编号:1001-4888(2019)04-0675-09

交通荷载作用下安宁地区超固结 重塑红黏土的动力特性试验研究^{*}

杨果岳^{1,2}, 程雨竹^{1,2}, 徐运龙^{1,2}, 李良吉^{1,2}, 孙希望³, 屈畅姿^{1,2}

(1. 湘潭大学 岩土力学与工程安全湖南省重点实验室, 湘潭 411105;

2. 湘潭大学 土木工程与力学学院, 湘潭 411105; 3. 中铁二院昆明勘察设计研究院有限公司, 昆明 650000)

摘要: 针对中石油云南石化铁路专用线高填路基填料红黏土, 通过 GDS 振动三轴仪进行了一系列不同超固结比、围压、动应力幅值条件下重塑红黏土的循环加载动三轴试验, 重点分析了不同因素对该地区超固结重塑红黏土的临界动应力、累积轴向动应变、动弹性模量以及动强度的影响规律。试验结果表明: 超固结重塑红黏土在交通荷载作用下的临界动应力随超固结比、围压的增大而线性增大; 超固结重塑红黏土的动强度与超固结比、围压成正比关系, 循环振动次数对超固结红黏土的动内摩擦角影响较小, 而对动黏聚力影响较大。上述试验结果可为该地区超固结重塑红黏土作为路基填料的工程提供一定实用价值。

关键词: 超固结; 重塑红黏土; 动三轴试验; 累积动应变; 动强度

中图分类号: TU435

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-18-020

0 引言

中石油云南石化铁路专用线厂区位于云南省安宁市。该厂区原始地面相对高差约 14m, 从经济、环保考虑, 选用了人工填土进行填筑, 最大填方高度达 18m, 属于深厚人工填土路基。填料主要以当地分布广泛的红黏土为主, 红黏土作为一种特殊土, 具有高天然含水率、高塑性、高孔隙比、低密度、压实性差等不良物理性质。因此, 在进行路基填筑时, 在顶层进行了强夯, 在此基础上又进行了堆载预压处理, 以克服原状红黏土的不良工程特性。厂区铁路设计为无砟轨道整体道床结构, 根据《高速铁路设计规范》(TB10621—2014)第 6.4.2 条规定^[1], 无砟轨道路基工后沉降不宜大于 15mm。对于交通工程而言, 岩土体的动力特性是关系到工程稳定性的关键。另外, 红黏土还具有典型的区域差异性, 不同地区红黏土的物理力学性质差异较大^[2], 导致其研究成果通用性不强。因此对该地区重塑红黏土的动力特性研究对该地区的工程建设具有一定指导意义。

目前, 在红黏土动力特性方面, 国内外学者已经开展一系列研究。刘晓红等^[3]研究了循环荷载作用下原状结构红黏土动应变随振次的变化规律, 得到了不同含水比、固结比、围压下红黏土的临界动应力, 并分析了各因素对红黏土临界动应力及路堑基床换填厚度的影响; 李剑等^[4]主要研究应力历史对重塑红黏弹性模量、动强度的影响, 并得到了相应的影响规律; 穆坤等^[5]对广西地区原状红黏土动力特性试验进行了研究, 重点分析了天然含水率、围压与固结应力比等对红黏土的动弹性模量、阻尼比等动力特性的影响; 李志勇等^[6]通过动三轴试验对湘南地区红黏土的动态模量进行了预估研究; Fall 等^[7]通过对

^{*} 收稿日期: 2018-01-23; 修回日期: 2018-05-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51508489)

通讯作者: 杨果岳(1974—), 男, 工学博士, 副教授。主要从事路基路面动力学、岩土体变形研究。Email: ygycsu@126.com

塞内加尔西部地区的红黏土进行循环荷载试验,分析了其累积塑性应变的发展规律。众多关于红黏土的研究成果当中,大都是针对原状红黏土,且在进行循环加载过程中更多的是使用既有“拉”又有“压”的双向荷载模拟地震荷载,而真实交通荷载只存在压应力。结合工程实际,深厚人工填土地基在进行强夯与堆载预压处理后,会对土样造成扰动并形成一定超固结性。

基于此,本文针对中石油云南石化铁路专用线路基填料的红黏土为研究对象,使用 GDS 振动三轴仪进行一系列模拟真实交通荷载的纯压动三轴试验,重点研究超固结重塑红黏土的动力特性,同时还考虑了围压、动应力比等因素对超固结重塑红黏土临界动应力、累积轴向应变、动强度的影响。

1 动三轴试验方案设计

1.1 试验土样及制备

试验土样取自云南省安宁市中石油云南石化铁路专用线厂区铁路装卸场,属于红黏土,呈褐黄色。基本物理力学试验参照《土工试验方法标准》相关规范实施,测得其天然含水率 29.47%,由标准击实试验得出压实红黏土的最大干密度为 $1.67\text{g}/\text{cm}^3$,最优含水率为 20.77%,土样其他的物理指标见表 1。

表 1 安宁地区红黏土的物理性质指标

Tab. 1 Indexes of physical property of red clay in Anning

塑限/%	液限/%	比重	孔隙比	塑性指数	按塑限图分类
29.65	51.23	2.62	0.84	21.58	CH

试样采用重塑土样,根据《高速铁路设计规范》(TB10621—2014)第 6.4.1 条规定^[1],高速铁路路堤填料压实度大于等于 92%,控制土样干密度为 $1.54\text{g}/\text{cm}^3$,即压实度为 92%。计算出试样所需干土质量并均匀分五次在对开模中击实,为保证各层接触良好,每层交界处刮毛,制成直径 39.1mm,高 80mm 的试样,采用抽气饱和法对试样进行抽真空饱和。

1.2 试验参数选取

试验仪器为 GDS 动态循环三轴试验仪,最大振动频率为 5Hz。试验采用应力控制加载方式。

为分析经强夯与堆载预压处理后形成的超固结重塑红黏土的动强度特性,考虑工程实际,堆载预压分两次进行,第一次堆载高度为 7m,第二次堆载高度为 2~3m。因此,本次试验分别取超固结比(OCR)为 1、2、4。

由于土体的原位取样深度不同,所对应的围压不同。本次试验根据土的有效单位重量和取样深度,确定相应的有效围压。基于各向同性假设,有效围压 $\sigma_3 = h \cdot \gamma'$,其中 h 为取土深度, $\gamma' = g \cdot \rho'$ 为土的有效重度, g 为重力加速度, ρ' 为土的有效密度。典型高速铁路路堤高度为 3m,根据上述公式计算出地基表层土所受有效围压为近似取 50kPa,地基表层以下 3m 对应的围压近似为 100kPa,以此类推,本次试验选用 50kPa、100kPa、200kPa 作为试验典型的固结围压。

大量研究认为^[8,9],可以近似采用正弦荷载来模拟交通荷载对路基土的振动作用。列车运行对路基主要产生低频效应,且作用频率为多种频率的叠加,与车型、车速以及轨道状态等有关,综合试验设备考虑,本次试验选择加载频率为 5Hz。

为考虑动应力比 CSR($\text{CSR} = \sigma_d / 2\sigma_3$,其中, σ_d 为动应力)对试样动力特性的影响,本次试验动应力比根据试样变形在 0.2~0.6 范围内选取。具体试验方案如表 2 所示。

1.3 试验加载步骤

(1) 试样进行反压饱和,通过测定孔隙水系数 B (B 等于围压增量(Δu)与孔隙水压力增量($\Delta \sigma_3$)之比)检测土样饱和状态,待 B 值大于 0.97 以上认为试样完全饱和。

(2) 对于正常固结土,在设定的围压下进行等向固结,为了得到超固结试样,试样先在较大的有效围压($\sigma_{3\text{max}}$)下等向固结,待固结稳定后,再将有效围压卸载至设定的目标围压 σ_3 继续进行等向固结,待试样吸水稳定后得到相应的超固结比($\text{OCR} = \sigma_{3\text{max}} / \sigma_3$)土样。

(3) 施加静止轴向应力 σ_1 ($\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d$),以保证在动荷载作用时不产生拉应力。紧接着施加动应力

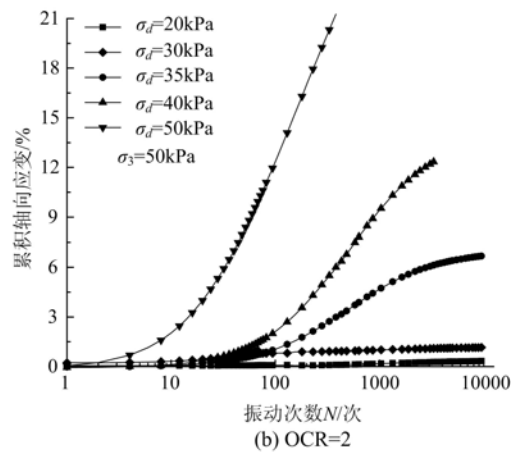
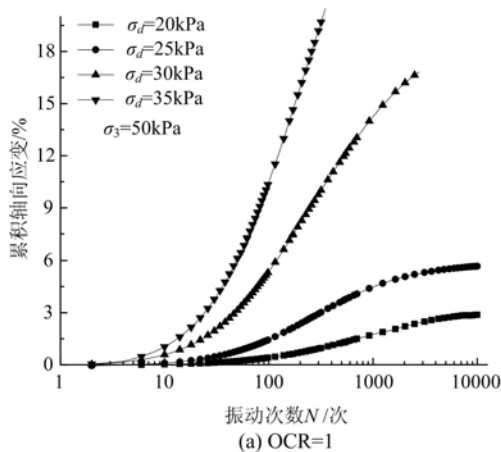
σ_d 进行循环加载试验。

实际路基填料介于完全排水与完全不排水条件之间,而不排水条件下路基的破坏可能性更大,出于工程安全考虑,动力加载过程都在不排水条件下进行。

表 2 动三轴试验参数表

Tab. 2 Parameter for dynamic triaxial test

试验编号	超固结比 OCR	围压 σ_3 /kPa	频率/Hz	动应力比 CSR
D1	1	50	5	0.2~0.6
D2	1	100	5	0.2~0.6
D3	1	200	5	0.2~0.6
D4	2	50	5	0.2~0.6
D5	2	100	5	0.2~0.6
D6	2	200	5	0.2~0.6
D7	4	50	5	0.2~0.6
D8	4	100	5	0.2~0.6
D9	4	200	5	0.2~0.6



2 试验结果及分析

2.1 临界动应力

图 1 为不同超固结重塑红黏土的累积轴向应变曲线,由曲线的变化结果可以看出,曲线变化大致可分为两种类型:一种是稳定型,其特点是累积轴向应变速率随着振动次数的增加而逐渐减小,当加载到一定次数后,试样变密实,能抵抗外荷载的作用,此时试样只产生弹性应变,累积轴向应变基本趋于稳定;另一种为破坏型,其特点是累积轴向应变随振动次数的增加呈非线性增大,当达到一定振动次数后,试样结构破坏,累积轴向应变迅速增加直至试样破坏。

该地区压实红黏土的累积轴向应变随振次发展趋势与前人研究成果一致^[10]。文献^[11,12]研究表明,如果把动应力进行细化,介于稳定型与破坏型曲线之间还会出现临界型状态,与之对

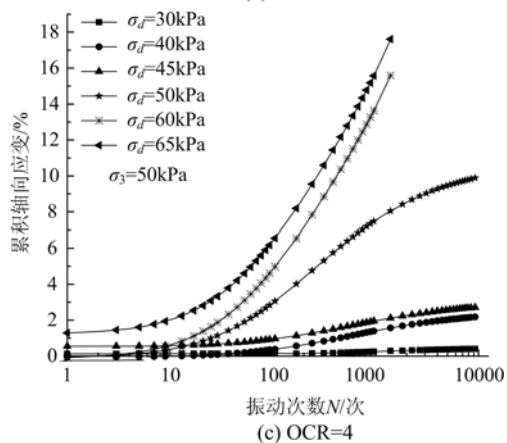


图 1 不同超固结比累积轴向应变—循环振次关系曲线

Fig. 1 Accumulated axial strain-cyclic number curves of remolded red clay with different values of OCR

比,如果把动应力进行细化,介于稳定型与破坏型曲线之间还会出现临界型状态,与之对

应的动应力称为临界动应力。

理论上,土样在特定条件下临界动应力是一个固定值。由于试验误差以及土样的不确定性,通过室内试验难以准确测定土样的临界动应力。结合工程实际,取稳定型曲线的最大动应力作为临界动应力最小值,破坏型曲线的最小动应力作为临界动应力最大值。由试验结果可知,在围压为 50kPa 条件下,OCR=1 时,重塑红黏土的临界动应力范围为 25~30kPa,OCR=2 时的临界动应力为 30~35kPa,OCR=4 时的临界动应力为 45~50kPa。用上述方法可以确定试验方案中不同围压下超固结重塑红黏土的临界动应力范围,具体如表 3 所示。

表 3 超固结重塑红黏土临界动应力

Tab. 3 Values of critical dynamic stress of red clay in over-consolidated remolded

超固结比 OCR	围压 σ_3 /kPa	临界动应力范围/kPa
1	50	25~30
	100	30~35
	200	40~45
2	50	30~35
	100	35~40
	200	45~50
4	50	45~50
	100	80~90
	200	130~140

结合表 3,取其相应条件下临界动应力范围的平均值为重塑红黏土所对应的临界动应力,绘于图 2。从图 2 中可以看出重塑红黏土的临界动应力随超固结比、围压的增大而近似线性增大,且超固结比越大,递增梯度越大。由于确定临界动应力的试验工作量较大,对于设计施工单位来说比较繁杂。为了便于工程应用,根据试验得到的临界动应力,应用 SPSS 软件通过多元线性回归,总结出考虑超固结比、围压对该地区重塑红黏土临界动应力的估算公式:

$$\sigma_{dcr} = 19.286\text{OCR} + 0.257\sigma_3 - 20.833 \quad (1)$$

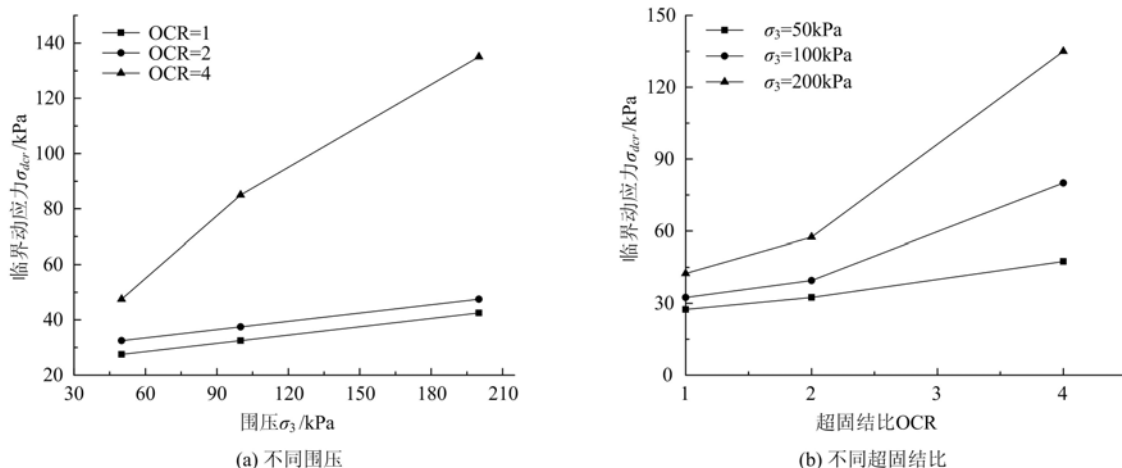


图 2 不同因素对临界动应力的影响

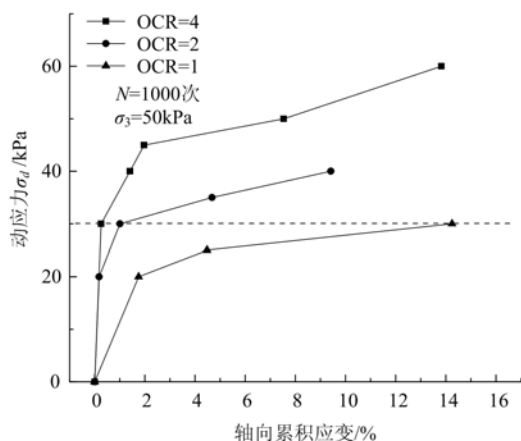
Fig. 2 Influence of different factors on critical dynamic stress

2.2 累积应变的发展规律

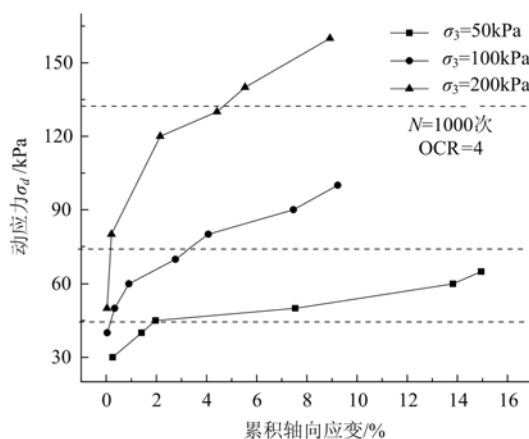
从图 3 中可以看出,重塑红黏土累积轴向应变随着振次的增加而增加。图 3(a)结合图 1 可以看出,在相同动应力作用下,随着超固结比增大,土体的累积轴向应变增加速率相应减小。超固结比为 2

和4的土样在循环动应力 $\sigma_d=30\text{kPa}$ 时,其对应的累积轴向应变分别为1.15%与0.25%,而正常固结土的累积轴向应变达到14.25%,这说明重塑红黏土的超固结状态能有效减缓土体变形,这是因为超固结比越大的试样曾受过较大的先期固结压力,土体内部孔隙数大幅减少,颗粒紧密,其强度得到较大提高,因此循环应力比不变时,超固结土抵抗形变的这种潜力增强。

图3(b)绘出了振次 $N=1000$ 时,各围压下超固结比为4的重塑红黏土累积应变与动应力的关系曲线。从图中可以看出,相同动应力条件下,累积应变随围压增大而减小;随着动应力增大,累积应变曲线出现明显拐点,拐点前曲线呈非线性,变化趋势较小,拐点后曲线呈线性,变化趋势较大,即该点试样发生破坏。表明围压能提高超固结重塑红黏土的抗变形能力。



(a) 超固结比对重塑红黏土累积轴向应变的影响



(b) 围压对超固结重塑红黏土累积轴向应变影响

从图3(c)中可以看出,当动应力较小时,超固结重塑红黏土累积轴向应变很小,基本处于弹性应变阶段;动应力在小于某一值时,超固结比为4的重塑红黏土在循环加载1000次左右,累积应变基本达到稳定状态,结合图1发现,超固结比为2时,也有同样的规律;当动应力大于45 kPa时,累积轴向应变不收敛。

2.3 动强度特性

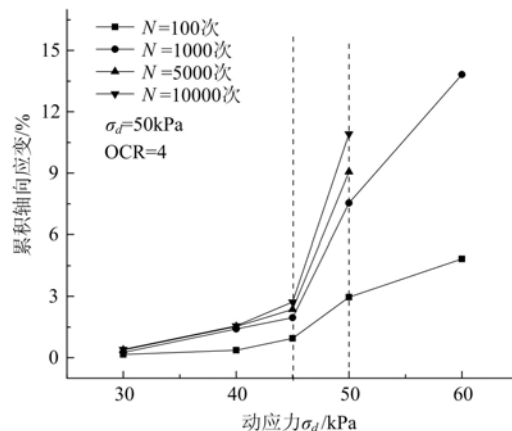
2.3.1 各因素对动强度的影响

动强度是指土样在动荷载作用下达到破坏时所对应的动应力值^[15]。因此动强度的确定与选取的破坏标准有关,目前对土的破坏标准尚未有统一论。李剑等^[4]研究发现,取5%~10%作为确定重塑红黏土动强度的标准较为合理。因此本文选取累积轴向应变为5%作为破坏标准。

由动三轴试验得到土样强度 τ_d 与振次的关系如图4所示。从图中可以看出,红黏土的动强度随振次的增加而减小。从图4(a)中可以看出,在振次相同时,红黏土动强度随着超固结比的增大而增大。这是因为超固结比越大,土样所受的先期固结压力也越大,土样在经历卸荷回弹至平均固结应力后,塑性变形部分无法恢复,孔隙减小,即宏观表现为强度增大。由图4(b)可以得到在相同振次下,动强度随围压增大而增大。这是因为围压增大,土体侧向约束作用增大,内部颗粒之间咬合变的更紧密,颗粒间滑动困难,从而土体动强度增大。

为准确获得不同条件下超固结重塑红黏土在各振次下所需的循环荷载,用公式(2)对试验数据进行拟合,拟合结果见表4。

$$\tau_d = a \lg N_f + b \quad (2)$$



(c) 振次对超固结重塑红黏土累积轴向应变影响

图3 不同因素对超固结重塑红黏土累积轴向应变曲线的影响

Fig. 3 Effect of different factors on cumulative strain curve of over-consolidated remolded red clay

式中, τ_d 为动强度; N_f 为破坏振次; a, b 为拟合参数。

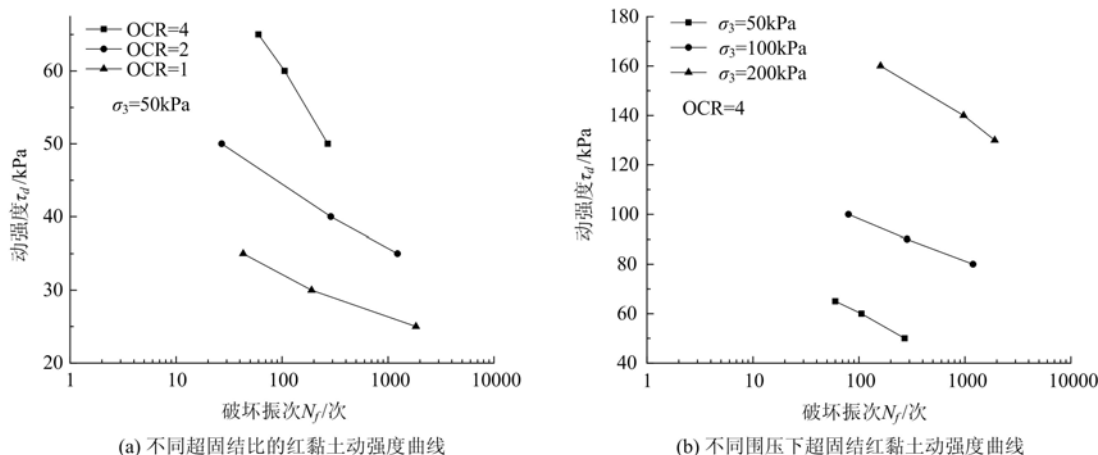


图 4 不同因素下超固结重塑红黏土动强度曲线

Fig. 4 Dynamic strength curve of over-consolidated remolded red clay under different factors

表 4 动强度拟合参数

Tab. 4 Fitting parameters of dynamic strength curve

OCR	围压/kPa	a	b	相关系数 R^2
1	50	-6.04	44.46	0.97142
1	100	-8.9	61.76	0.94708
1	200	-18.31	97.08	0.96738
2	50	-9.11	62.87	0.99471
2	100	-12.13	81.72	0.90627
2	200	-14.3	105.13	0.96244
4	50	-23.13	106.40	0.99489
4	100	-17.01	132.16	0.99758
4	200	-27.35	220.60	0.99085

从表 4 中可以看出,动强度拟合曲线相关系数 R^2 都大于 0.90,说明振次与动强度明显相关。参数 a 随着超固结比增大而减小,即曲线越来越陡;参数 b 随着超固结比、围压的增大而增大,即随着 b 值增大,动强度增大。

2.3.2 动强度参数

根据公式(2)求得振次为 10、50、100、200、500、1000 时超固结比为 1、2、4 的重塑红黏土在围压为 50kPa、100kPa、200kPa 时所对应的破坏动应力,根据文献[15]求动强度指标的方法求出相应的动强度指标动内摩擦角 φ_d 与动黏聚力 c_d ,具体如图 5 所示。

从图 5 可以看出,动内摩擦角 φ_d 与动黏聚力 c_d 均随破坏振次 $\lg N_f$ 增大而线性减小。图 5(a)中可以看出,重塑红黏土的动内摩擦角随着超固结比的增大而增大, $\varphi_d - \lg N_f$ 曲线随着超固结比的增大逐渐趋于平缓;由图 5(b)可以看出,超固结比为 1 时,循环荷载作用下,重塑红黏土的动黏聚力略微减小,基本保持不变,而超固结比大于 1(OCR=2, OCR=4)时, $c_d - \lg N_f$ 曲线较陡,由此表明,循环振动次数对超固结红黏土的黏聚力影响较大,且超固结比越大,曲线越陡。对比图 5(a)与(b)还可以得到,在纯压型循环荷载作用下,振次对超固结重塑红黏土动内摩擦角影响较小,而对动黏聚力影响较大。这是因为内摩擦角主要取决于土的颗粒级配、矿物成分、含水量、密度、形成历史等因素^[16],而对于超固结状态红黏土,先期承受较大固结压力,试样孔隙比减小、密实度增大,因此在不排水动三轴试验中,循环振次对上

述因素影响较小,故表现为动内摩擦角 φ_d 变化较小;而黏聚力与颗粒间胶结力密切相关,振次增大,颗粒间胶结力减小,即表现为动黏聚力减小。

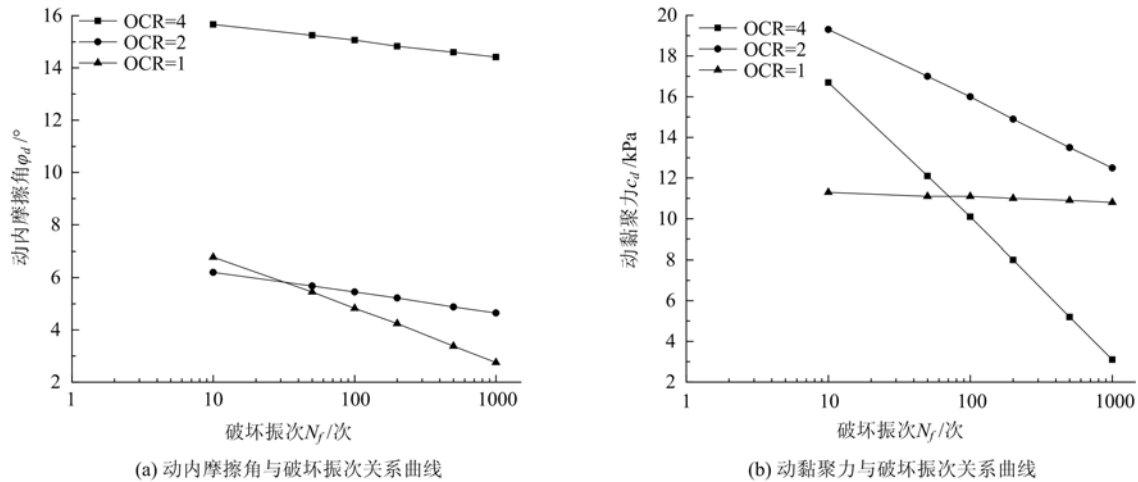


图5 动强度参数与破坏振次关系曲线

Fig. 5 Vibration of dynamic strength parameter with cyclic failure number

3 结论

本文以中石油云南石化铁路专用线高填路基填料经堆载预压后形成的超固结红黏土为研究对象,进行了一系列动三轴试验。探讨了超固结比、围压及动应力幅值对其动力特性的影响,试验结论可为该地区超固结重塑红黏土动力特性设计和数值计算提供一定的理论和参数支持。具体结论如下:

(1) 超固结重塑红黏土累积轴向变形曲线变化趋势与前人研究成果具有相似性,呈现为破坏型、稳定型两种形式,超固结比、围压与累积应变增加速度成反比,与循环加载次数成正比关系。

(2) 根据试验结果得到超固结重塑红黏土的临界动应力与超固结比、围压呈正比,且满足线性关系;并总结出适合该地区的临界动应力经验估算公式,对该地区工程具有一定实用价值。

(3) 超固结重塑红黏土的动强度随着超固结比、围压的增大而增大。其中动内摩擦角随着超固结比的增大而增大,且超固结比越大,其受振次影响越不明显;而振次对超固结重塑红黏土的动黏聚力影响较大,对正常固结的重塑红黏土影响较小。振动次数对超固结红黏土的动内摩擦角影响较小,而对动黏聚力影响较大,两者均呈线性下降趋势。

参考文献:

- [1] 国家铁路局. TB10621—2014. 高速铁路设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社, 2014 (National Railway Administration of the People's Republic of China. TB10621—2014. Design specification standards for high-speed rail[S]. Beijing: China Railway Press, 2014 (in Chinese))
- [2] 杨果林, 刘晓红. 高速铁路无砟轨道红黏土路基沉降控制与动力稳定性[M]. 北京:中国铁道出版社, 2010 (YANG Guolin, LIU Xiaohong. Red clay subgrade settlement control and dynamic stability analysis of ballastless track of high speed railway[M]. Beijing: China Railway Press, 2010 (in Chinese))
- [3] 刘晓红, 杨果林, 方薇. 红黏土临界动应力与高铁无砟轨道路堑基床换填厚度[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(3): 348—353 (LIU Xiaohong, YANG Guolin, FANG Wei. Critical dynamic stress of red clay and replacement thickness of ballastless track cutting bed of high-speed railways[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(3): 348—353 (in Chinese))
- [4] 李剑, 陈善雄, 姜领发, 等. 应力历史对重塑红黏土动力特性影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(9): 1657—1665 (LI Jian, CHEN Shanxiong, JIANG Lingfa, et al. Experimental study on influence of stress history on dynamic properties of remolded red clay[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(9): 1657—1665 (in Chinese))

- [5] 穆坤, 郭爱国, 柏巍, 等. 循环荷载作用下广西红黏土动力特性试验研究[J]. 地震工程学报, 2015, 37(2):487—493 (MU Kun, GUO Aiguo, BAI Wei, et al. Experimental study on dynamic properties of red clay in Guangxi under cyclic loading[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2015, 37(2):487—493 (in Chinese))
- [6] 李志勇, 董城, 邹静蓉, 等. 湘南地区红黏土动态回弹模量试验与预估模型研究[J]. 岩土力学, 2015, 36(7):1840—1846 (LI Zhiyong, DONG Cheng, ZOU Jingrong, et al. Research on experiment and prediction model of dynamic resilient modulus of laterite soil in Southern Hunan[J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, 36(7):1840—1846 (in Chinese))
- [7] Fall M, Tisot J P, Cisse I K. Undrained behaviour of compacted gravel lateritic soil from western senegal under monotonic and cyclic triaxial loading[J]. Engineering Geology, 1997, 47(1-2):71—87.
- [8] 张向东, 刘家顺, 王洪伟. 动荷载作用下高速铁路风积土地基动力特性试验研究[J]. 实验力学, 2014, 29(1):66—72 (ZHANG Xiangdong, LIU Jiashun, WANG Hongwei. Experimental study of dynamic characteristics of aeolian soil subgrade subjected to high-speed train dynamic loading [J]. Journal of Experimental Mechanics, 2014, 29(1):66—72 (in Chinese))
- [9] 刘学毅, 王平. 车辆-轨道-路基系统动力学[M]. 成都:西南交通大学出版社, 2010 (LIU Xueyi, WANG Ping. Dynamics of vehicle-track-subgrade system [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2010 (in Chinese))
- [10] 冷伍明, 刘文劼, 周文权. 振动荷载作用下重载铁路路基粗颗粒土填料临界动应力试验研究[J]. 振动与冲击, 2015, 34(16):25—30 (LENG Wuming, LIU Wenjie, ZHOU Wenquan. Testing research on critical cyclical stress of coarse-grained soil filling in heavy haul railway subgrade[J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 34(16):25—30 (in Chinese))
- [11] 张军辉, 尹志勇, 郑健龙. 南方湿热地区路基红黏土 Shakedown 临界应力水平试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(4):1288—1292 (ZHANG Zhihui, YIN Zhiyong, ZHENG Jianlong. Research on critical stress level of Shakedown of red clay in southern hot and humid areas[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45(4):1288—1292 (in Chinese))
- [12] 张勇, 孔令伟, 郭爱国, 等. 循环荷载下饱和软黏土的累积塑性应变试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(6):1542—1548 (ZHANG Yong, KONG Lingwei, GUO Aiguo, et. al. Cumulative plastic strain of saturated soft clay under cyclic loading[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(6):1542—1548 (in Chinese))
- [13] 孔祥辉, 蒋关鲁, 邹祖银, 等. 循环荷载下红层泥岩的动力特性及路用性能研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(9):1813—1819 (KONG Xianghui, JIANG Guanlu, ZOU Zuyin, et al. Dynamic characteristics and pavement performance of red mudstone subjected to cyclic loading[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(9):1813—1819 (in Chinese))
- [14] 孙磊, 王军, 孙宏磊, 等. 循环围压对超固结黏土变形特性影响试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(3):594—600 (SUN Lei, WANG Jun, SUN Honglei, et al. Influence of cyclic confining pressure on cumulative deformation behavior of over consolidated clay[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(3):594—600 (in Chinese))
- [15] 吴世明. 土动力学[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000 (WU Shiming. Soil dynamics[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2000 (in Chinese))
- [16] 孟静, 高彦斌, 袁聚云. 上海地区重塑粘性土有效内摩擦角试验研究[J]. 工程地质学报, 2008(S1):677—680 (MENG Jing, GAO Yanbin, YUAN Juyun. Study on the effective angle of internal friction of remolded clay in Shanghai[J]. Journal of Engineering Geology, 2008(S1):677—680 (in Chinese))

Experimental study on dynamic characteristics of over-consolidated remolded red clay subjected to traffic load in Anning area

YANG Guo-yue^{1,2}, CHENG Yu-zhu^{1,2}, XU Yun-long^{1,2}, LI Liang-ji^{1,2}, SUN Xi-wang³, QU Chang-zi^{1,2}

(1. Hunan Key Laboratory of Geomechanics and Engineering Safety, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China; 2. College of Civil Engineering and Mechanics, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China; 3. Creec Kunming Survey and Design Institute Co. Ltd., Kunming 650000, China)

Abstract: Aiming at the red clay filled with the high fill subgrade of Yunnan Petrochemical Corporation (affiliated to China National Petroleum Corporation, CNPC) Railway dedicated line, a series of cyclic loading dynamic triaxial experiments of remolded red clay under the condition of different over-consolidated ratio, confining pressure and dynamic stress amplitude were carried out by GDS vibration triaxial instrument. The influence of different factors on the critical dynamic stress, cumulative axial dynamic strain, dynamic elastic modulus and dynamic strength of the over-consolidated remolded red clay in this area were analyzed emphatically. Experimental results indicated that the critical dynamic stress of the over-consolidated remolded red clay under traffic load increases linearly with the increase of over-consolidation ratio and confining pressure. The dynamic strength of the over-consolidated and remolded red clay is proportional to the over-consolidation ratio and confining pressure. The cyclic vibration times have little influence on the dynamic internal friction angle of the over-consolidated red clay, but have a great influence on the dynamic cohesive force. The test results can provide some practical value for the engineering of over-consolidated and remolded red clay as roadbed filler.

Keywords: over-consolidated; remolded red clay; dynamic triaxial test; accumulative dynamic strain; dynamic strength