

文章编号: 1674-9057(2019)02-0376-07

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2019.02.015

桂林地区碱污染红黏土力学效应弱化试验

牟春梅, 韦瑜玺, 张 岩

(桂林理工大学 a. 土木与建筑工程学院; b. 广西岩土力学与工程重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘 要: 为了研究碱污染对红黏土力学性质的影响, 使用氢氧化钠(NaOH)溶液对桂林雁山红黏土进行浸泡, 考虑碱浓度(0、4%、8%、12%)和养护时间(1、7、14 d)双因子因素, 通过室内直剪试验和固结试验, 分析碱污染对桂林雁山红黏土力学性质的变化。试验结果表明: 随着碱浓度及养护时间的增加, 红黏土的抗剪强度、黏聚力、内摩擦角减小; 浸泡后红黏土的孔隙比增大, 压缩系数增大, 压缩模量减小。碱-土相互作用是导致桂林地区碱污染红黏土力学效应弱化的根本原因, 其相互作用导致红黏土颗粒间的胶结物被溶解后又重新生成絮状物, 使其原本稳定的结构状态发生改变。

关键词: 碱污染; 红黏土; 力学效应; 弱化; 桂林

中图分类号: TU411.3

文献标志码: A

0 引言

桂林地区广泛分布的红黏土是由碳酸盐岩类岩石, 包括玄武岩、花岗岩等, 在湿热气候下经风化后残积、坡积形成的褐红色、棕红色或黄褐色黏土, 具有孔隙大、含水量高、液塑限高等特点, 且结构性强, 存在上硬下软的成层分布特征。

对土体污染的研究和保护, 欧美等许多国家自20世纪70年代就已开始, 主要侧重于对废弃物填埋场及污染土处理等方面, 并逐渐把电渗法和动电技术引入到污染土处理研究领域^[1]。国内学者从20世纪80年代中期开展了一系列研究: 文献[2-3]研究了红黏土受到有机质污染后其物理力学特性的变化规律; 顾展飞等^[4]以桂林红黏土为研究对象, 对浸泡于不同浓度的HCl、NaOH、Fe(NO₃)₃和Al(NO₃)₃溶液中的试样进行固结实验; 顾季威^[5]将坡积土和亚粘土土样浸没在废碱液中27天, 模拟福建某造纸厂对地基土的腐蚀过程; 赵莎等^[6]对在不同浓度碱液中养护不同时间的贵阳红黏土进行物理力学指标的测定。文献[7-15]也作了相关研究。

以上研究大多都是针对工业生产带来的污染。而本文的研究侧重于农业及生活垃圾、污水等污染红黏土。在农业上, 化肥(尿素、铵态氮肥)、农药(钠盐制剂、钾盐制剂)的不合理施用会导致土体碱化, 养殖场畜禽粪便利用率低且随意堆积也会导致土壤碱化; 生活中大量含有洗涤剂(洗衣粉、沐浴露)的生活污水随意排放也是引起土体碱化的原因之一。基于此, 围绕岩溶区污染红黏土工程地质性质变化规律这一课题, 选取具有代表性的桂林雁山地区红黏土作为试验土样, NaOH为碱类污染物, 考虑碱浓度(0、4%、8%、12%)和养护时间(1、7、14 d)双因子因素, 人工制备碱污染红黏土土样, 对碱污染红黏土的力学性质开展试验, 探究碱污染红黏土力学效应弱化的机理。

1 碱污染红黏土物理力学性质试验

1.1 土样及污染物的选取

土样取自桂林雁山地区, 取土深度1~2 m, 主要由更新世残积、残坡积及冲洪积组成并经后期湿热化作用改造形成的高塑性黏土, 红黏土厚度为1~25 m, 其下伏岩性为厚层灰岩。土样在阳光下自

收稿日期: 2017-12-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41867039); 广西自然科学基金项目(2017GXNSFAA198213); 广西高校科学技术研究重点项目(KY2015ZD055)

作者简介: 牟春梅(1968—), 女, 副教授, 研究方向: 岩土工程, 421079166@qq.com。

引文格式: 牟春梅, 韦瑜玺, 张岩. 桂林地区碱污染红黏土力学效应弱化试验[J]. 桂林理工大学学报, 2019, 39(2): 376-382.

然暴晒风干，风干后含水率约为 2% ~ 3%，用木槌敲碎并过 2 mm 标准筛，放入密封塑料桶内备用。红黏土物理力学性质指标见表 1。

桂林地区碱污染红黏土的污染物成分极其复杂，主要来自农药喷洒、化肥使用、农畜及生活污水等，这些污染物易导致土体碱化，考虑碱化过程是指交换性钠不断进入土壤吸收性复合体的过程，以及便于溶液的配制，本文选取常见的且具有代表性的氢氧化钠(NaOH)作为污染物，纯度大于等于 96%，其他含有杂质较多的成分为碳酸盐，含量约为 1.5%。

1.2 污染土样的制备

碱溶液的配制：将纯度为 96% 氢氧化钠晶体

分别配制成 0、4%、8%、12% 的 NaOH 溶液(w_B)，分装在不同的试剂瓶内，贴上标签。

污染土样的制备：将不同浓度的 NaOH 溶液分别与红黏土充分拌合后密封静置 24 h，使其充分反应，在室温条件下密封静置分别养护 1、7 和 14 d，室内试验测定其实际含水率为 29.0% ~ 31.0%。同一条件下的试样制备 5 个，进行平行试验。

1.3 试验方案

将制备好的不同碱浓度、不同浸泡养护时间的红黏土试样，直接进行室内直剪试验和压缩试验，获取碱污染红黏土的抗剪强度指标与变形指标，探究不同浓度碱溶液、不同浸泡养护时间条件下红黏土力学性质的变化规律。

表 1 红黏土基本物理力学性质指标

Table 1 Basic physical and mechanical properties of red clay

天然含水率/%	土粒相对密度	最优含水率/%	液限/%	塑限/%	塑性指数	黏聚力 c /kPa	内摩擦角 φ ($^{\circ}$)	压缩系数 / MPa^{-1}	压缩模量 /MPa
40.2	2.724	29	59.68	36.89	22.79	16.70	26.21	0.684	3.681

2 试验结果及分析

2.1 碱污染红黏土的直剪试验

2.1.1 抗剪强度的变化 强度变化试验是针对不同碱浓度(0、4%、8%、12%)、不同浸泡养护时间(1、7、14 d)的红黏土试样进行的直接剪切试验，分析研究不同浓度、不同浸泡养护时间对碱污染红黏土强度特性的影响，试验结果详见表 2。

对数据进行分析可以得出：浸泡养护时间相同、竖向压力相同，随着碱浓度的增加红黏土抗

剪强度都是递减的；浸泡养护时间相同、不同碱浓度的红黏土随着竖向压力的增加，抗剪强度都是递增的，且增幅值比较均匀。由于较难看出浸泡养护时间不同、碱浓度不同，竖向压力相同情况下红黏土抗剪强度的变化程度，故选取垂直压力 200 和 400 kPa，将对应的强度变化值进行绘图分析。图 1 反映碱污染红黏土抗剪强度随碱浓度和养护时间变化的程度，其中， η 为不同浓度碱污染红黏土的抗剪强度与原状土抗剪强度之差占原状土抗剪强度的比例。

表 2 碱溶液污染红黏土的抗剪强度值

Table 2 Shear strength of red clay contaminated with NaOH solution

养护时间/d	垂直压力	$w(\text{NaOH})/\%$			
		0	4	8	12
1	100	67.37	76.75	68.92	60.49
	200	112.52	104.35	98.67	87.53
	300	162.31	150.37	144.91	127.18
	400	214.78	202.98	197.09	183.56
7	100	67.41	58.15	54.67	47.24
	200	112.43	97.35	94.78	80.43
	300	162.35	142.67	135.89	113.28
	400	214.86	189.58	181.39	157.46
14	100	67.38	49.12	46.53	43.86
	200	112.43	93.04	91.31	75.98
	300	162.30	138.42	131.17	106.44
	400	214.85	181.65	172.26	150.07

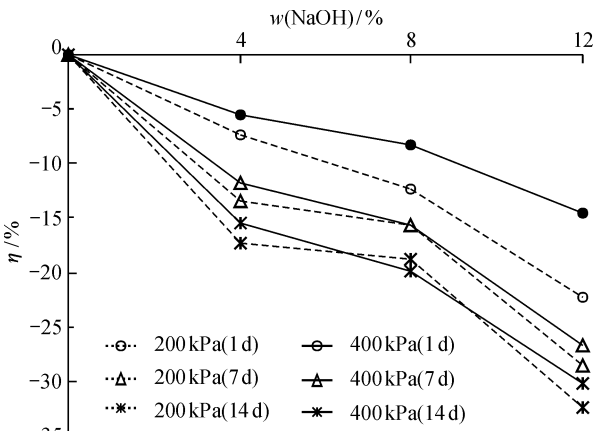


图 1 NaOH 溶液污染红黏土抗剪强度随碱浓度和养护时间的变化程度曲线

Fig. 1 Shear strength curve of alkali contaminated with red clay with alkali concentration and curing time

结果表明: 1) 不论养护时间的长短, 与原状土 (NaOH 浓度为 0, 下同) 相比, 碱污染都会引起红黏土抗剪强度的减小。2) 在竖向压力、养护时间一定, 随着 NaOH 浓度的增大, 碱污染红黏土的抗剪强度减小的程度逐渐增大。当 NaOH 浓度按 0、4%、8%、12% 变化时, 竖向压力 200 kPa, 养护时间 1 d 时, 与原状土相比, 碱污染红黏土的抗剪强度分别减小了 7.3%、12.3%、22.2%; 竖向压力 400 kPa, 养护时间 7 d 时, 与原状土相比, 其抗剪强度分别减小了 11.8%、15.6%、26.7%; 竖向压力 400 kPa, 养护时间 14 d 时, 与原状土相比, 其抗剪强度分别减小了 15.5%、19.8%、30.2%。3) 在竖向压力一定, NaOH 浓度在 0、4%、8%、12% 变化, 养护时间对原状土的抗剪强度无影响, 但对于碱污染红黏土, 随着养护时间的延长, 其抗剪强度减小的幅度增大。当 NaOH 浓度变化时, 在同一竖向压力下 (200 kPa), 养护时间 1 d 时, 与原状土相比, 碱污染红黏土的抗剪强度分别减小了 7.3%、12.3%、22.2%; 养护时间 7 d 时, 与原状土相比, 碱污染红黏土的抗剪强度分别减小了 13.4%、15.7%、28.5%; 养护时间 14 d 时, 与原状土相比, 碱污染红黏土的抗剪强度分别减小了 17.2%、18.8%、32.4%, 可见随着养护时间的延长, 碱污染红黏土的抗剪强度减小的幅度增大。

由以上分析可知, 当碱溶液侵蚀红黏土试样时, 随着碱浓度和养护时间的增加, 胶结作用较为明显, 所以抗剪强度降低趋势较为缓慢, 当碱溶液浓度进一步加大时, 胶体生成量减小, 由胶结作用生成的沉淀物和其他物质发生溶解, 使得红黏土试样的抗剪强度再次发生较大的降低。

2.1.2 抗剪强度指标的变化 直剪试验的最终目的是确定土的抗剪强度指标^[16]。由表 2 中的强度值 τ , 根据抗剪强度的数学表达式, 即库伦定律 $\tau = \sigma \tan \varphi + c$, 可得到不同浸泡养护时间、不同碱

溶液浓度, 碱污染红黏土试样的抗剪强度参数值。为了比较直观地看出不同养护时间、不同碱溶液浓度时强度参数增减幅值的变化情况, 根据表 3 中的强度参数值绘制图 2。

(1) 在原状土状态, 当养护时间 1 d 时, 红黏土的黏聚力和内摩擦角分别为 16.51 kPa、26.67°; 当养护时间 7 d 时, 红黏土的黏聚力和内摩擦角分别为 16.20 kPa、26.21°; 当养护时间 14 d 时, 红黏土的黏聚力和内摩擦角分别为 16.23 kPa、26.28°。可见, 未被污染的红黏土的抗剪强度指标随养护时间的增加则无明显变化。

(2) 在养护时间相同的情况下, 随着 NaOH 浓度的增加, 碱污染红黏土的黏聚力减小的程度逐渐增大 (图 2a)。这里, 首先定义黏聚力参数的变化率:

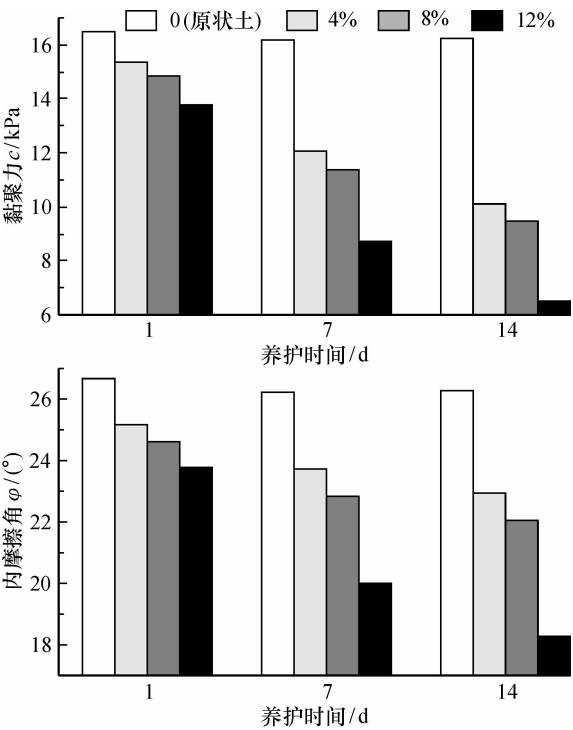


图2 NaOH 溶液污染红黏土抗剪强度指标随养护时间的变化情况

Fig. 2 Variation of shear strength index of red clay contaminated with different mass fraction of NaOH solution with curing time

表3 NaOH 溶液污染红黏土抗剪强度指标
Table 3 Index of shear strength of red clay contaminated with NaOH solution

养护时间/d	w(NaOH)/%							
	0(原状土)		4		8		12	
	c/kPa	φ/(°)	c/kPa	φ/(°)	c/kPa	φ/(°)	c/kPa	φ/(°)
1	16.51	26.67	15.33	25.19	14.86	24.62	13.78	23.79
7	16.20	26.21	12.04	23.73	11.37	22.84	8.73	19.98
14	16.23	26.28	10.13	22.93	9.48	22.05	6.52	18.26

原状土黏聚力与污染的黏聚力参数的差除以原状土的黏聚力参数的百分数 $\left(\left| \frac{a-b}{a} \right| \times 100\% \right)$ 。当 NaOH 浓度按 4%、8%、12% 变化时，养护时间 1 d 时，与污染前比较，碱污染红黏土的黏聚力分别减小了 7.1%、10.0%、16.5%；养护 7 d 时，与污染前比较，碱污染红黏土的黏聚力分别减小了 25.7%、29.8%、46.1%；养护 14 d 时，与污染前比较，碱污染红黏土的黏聚力分别减小了 37.6%、41.6%、59.8%。从变化的程度上可以看出，在同一养护时间下，NaOH 溶液浓度在 0~4% 和 8%~12% 污染下红黏土之间黏聚力的变化幅度较大，而 4%~8% 黏聚力的变化幅度较小。同理可得到在同一养护时间的情况下，内摩擦角随着 NaOH 浓度的变化而变化的情况(图 2b)。当 NaOH 浓度变化时，在养护时间 1 d，与原状土相比，碱污染红黏土的内摩擦角分别减小了 5.5%、7.7%、10.8%；养护 7 d，碱污染红黏土的内摩擦角分别减小了 9.5%、12.9%、23.8%；养护 14 d，碱污染红黏土的内摩擦角分别减小了 12.7%、16.1%、30.5%。随着 NaOH 浓度的增大，碱污染红黏土的内摩擦角减小的程度逐渐增大；NaOH 溶液浓度为 0~4% 和 8%~12% 污染下红黏土之间的内摩擦角减小幅度均大于 4%~8% 的内摩擦角的变化幅度，其原因是 NaOH 溶液浓度在 4%~8% 这个区段是碱-土作用中的胶结作用，由胶结作用反应生成的物质导致其抗剪强度波动不大。

(3)在碱浓度相同,随着养护时间的增加(1 d→14 d),碱污染红黏土的黏聚力与内摩擦角的减小程度变大。当养护时间按 1、7 和 14 d 变化时,NaOH 溶液浓度为 4%,碱污染红黏土的黏聚力的变化程度分别为 7.1%、25.7%、37.6%;NaOH 浓度为 12%,其黏聚力的变化程度分别为 16.5%、46.1%、58.8%。同理,养护时间按 1、7 和 14 d 变化时,NaOH 浓度为 4%,碱污染红黏土的内摩擦角的变化程度分别为 5.5%、10.8%、12.8%;NaOH 浓度为 8%,碱污染红黏土的内摩擦角的变化程度分别为 7.7%、12.9%、16.1%。可见,对于碱污染红黏土,不论碱溶液浓度的高低,随着土样养护时间的延长,其黏聚力与内摩擦角减小的程度是逐渐变大的。对比养护时间 1、7 与 14 d 情况下碱污染红黏土的黏聚力与内摩擦

角的减小幅度可知,养护时间在 1 d→7 d 碱污染红黏土的黏聚力与内摩擦角减小的幅度大于养护时间在 7 d→14 d 的,表明在碱溶液浓度相同,碱污染红黏土的黏聚力与内摩擦角减小的幅度在第 7 天开始减小。

2.2 碱污染红黏土的压缩试验

2.2.1 孔隙比的变化 为了便于比较孔隙比 e 的变化程度,本文取 NaOH 溶液污染红黏土的初始孔隙比 e_0 以及在 $p_1 = 100$ kPa 和 $p_2 = 200$ kPa 压力下固结稳定时的孔隙比 e_1 和 e_2 进行对比,图 3 反映了碱污染红黏土孔隙比随 NaOH 浓度与养护时间的关系。

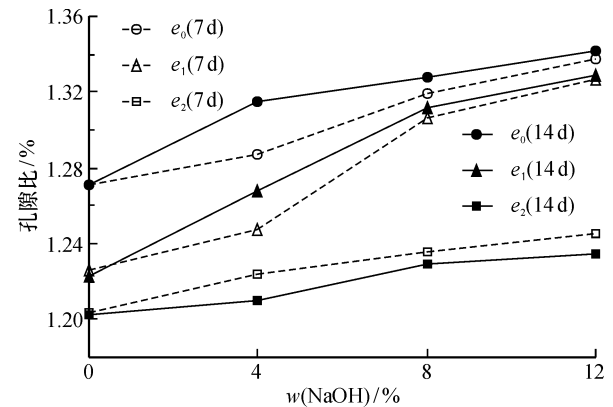


图 3 NaOH 溶液污染红黏土孔隙比的变化
Fig. 3 Change of void ratio of red clay contaminated by NaOH solution

红黏土被 NaOH 溶液污染腐蚀后,初始孔隙比均大于未被污染红黏土(原状土),随着 NaOH 溶液浓度的增大,各养护时间下(7、14 d)初始孔隙比呈现出逐渐增大的趋势。红黏土在 $p_1 = 100$ kPa 与 $p_2 = 200$ kPa 压力下固结稳定时的孔隙比 e_1 和 e_2 总体小于初始孔隙比。当压力值为 $p_1 = 100$ kPa 时,其孔隙比随 NaOH 溶液浓度的增大而增大;压力值为 $p_2 = 200$ kPa 时,孔隙比随 NaOH 溶液浓度的增大呈现增大的变化趋势。红黏土未被污染时,孔隙比的变化范围最小。在 3 种荷载作用下(无荷载、 $p_1 = 100$ kPa 与 $p_2 = 200$ kPa),污染红黏土的孔隙比 e_0 、 e_1 和 e_2 均大于对应荷载作用下未被污染红黏土的孔隙比,养护时间为 14 d,NaOH 浓度为 8%,与未被污染红黏土相比,碱污染红黏土的孔隙比 e_0 、 e_1 和 e_2 分别增大了 0.057、0.089、0.026,由此说明碱溶液对土样的孔隙比变化有一定作用。在相同 NaOH 浓度下,养护时

间从 1 d 增加到 14 d, 其孔隙比的变化趋势大致相同, 变化的幅度逐渐增大。

2.2.2 压缩模量的变化 通过土的压缩系数 a 与土的压缩模量 E_s 可直观地研究碱污染红黏土的压缩特性。

$$a = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i},$$
$$E_s = \frac{1 + e_i}{a}。$$

式中: p_i 表示某级相对应的压力值; e_i 表示某级压力下的孔隙比。取垂直压力间隔 $p_1 = 100$ kPa 到 $p_2 = 200$ kPa, 对应土的压缩系数 a_{1-2} 和压缩模量 E_{s1-2} 代表碱污染红黏土试样的压缩性能。

NaOH 溶液污染红黏土的压缩模量随碱浓度和养护时间的变化情况如图 4 所示: (1) 在养护时间相同的情况下, 养护时间为 1 d, 随着 NaOH 浓度从 0 增加到 12%, 与原状土相比, 碱污染红黏土的压缩模量分别减小了 0.094、1.267、1.581 MPa; 养护 7 d 时, 随着 NaOH 浓度的增加到 12%, 碱污染红黏土的压缩模量分别减小了 0.380、1.469、2.057 MPa; 养护 14 d 时, 随着 NaOH 浓度的增加, 碱污染红黏土的压缩模量分别减小了 0.460、1.672、2.016 MPa。可见, 随着 NaOH 浓度的增大, 碱污染红黏土压缩模量的减小程度逐渐增大, 在 NaOH 浓度为 4% ~ 8%, 其变化的程度最大, NaOH 浓度为 8% ~ 12% 次之。(2) 在相同 NaOH 浓度下, 随着养护时间的增加, 碱污染红黏土的压缩模量逐渐减小, NaOH 浓度为 4%, 养护时间为 1、7 和 14 d 时, 碱污染红黏土的压缩模量分别为 3.590、3.301、3.220 MPa; NaOH 浓度为 8%, 养护时间为 1、7 和 14 d 时, 碱污染红黏土的压缩模量分别为 2.417、2.212、2.015 MPa。在同一 NaOH 浓度下, 碱污染红黏土的压缩模量受养护时间的影响, 随着养护时间的增加, 其压缩模量逐渐减小。

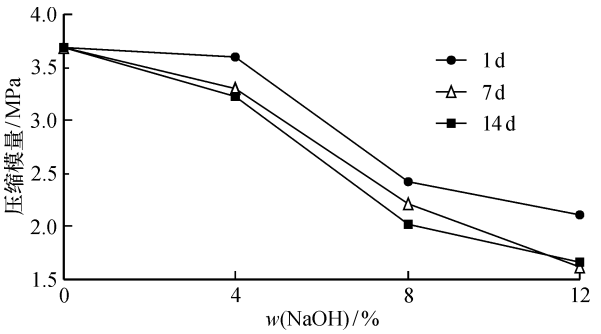


图 4 NaOH 溶液污染红黏土的压缩模量的变化
Fig. 4 Change of compression modulus of red clay contaminated with NaOH solution

不同浓度的 NaOH 溶液红黏土在不同养护时间的情况下, 压缩系数增大, 压缩模量逐渐减小, 变形能力增强, 土体压缩性增大。究其原因, 当碱溶液侵入红黏土后, 碱 - 土作用使土颗粒间的联结物质被溶解, 导致颗粒间的胶结力减小, 从而使碱污染红黏土的压缩系数的增大, 压缩模量减小, 引起土体压缩性增大。

3 碱污染红黏土力学效应弱化机理

碱 - 土作用的 4 个阶段是引起红黏土力学性质发生变化的主要原因, 其相互作用引起了红黏土颗粒的变化, 使其原本稳定的结构状态发生改变。以下结合碱 - 土作用结构示意图 5 及化学反应式详细分析碱污染红黏土力学效应弱化机理。

图 5a 为未被污染的红黏土结构示意图, 由于未被污染, 游离氧化物(主要为 SiO_2 、 Fe_2O_3 和 Al_2O_3)包裹在黏土矿物表面或充填在黏土矿物集合体间隙, 起到结构连结作用^[17]。在前期水解作用中, NaOH 溶解于水后完全电离, 分解为 Na^+ 和 OH^- , 分解后 Na^+ 和 OH^- 同时侵入土体。图 5b 为红黏土受 NaOH 污染的初期侵蚀作用结构示意图。当碱溶液持续侵入时, 前期水解作用电离出的 OH^- 与红黏土中的 SiO_2 和 Al_2O_3 反应生成 SiO_3^{2-} 和 AlO_2^- , SiO_3^{2-} 和 AlO_2^- 与 Na^+ 反应生成化学性质不稳定、易溶

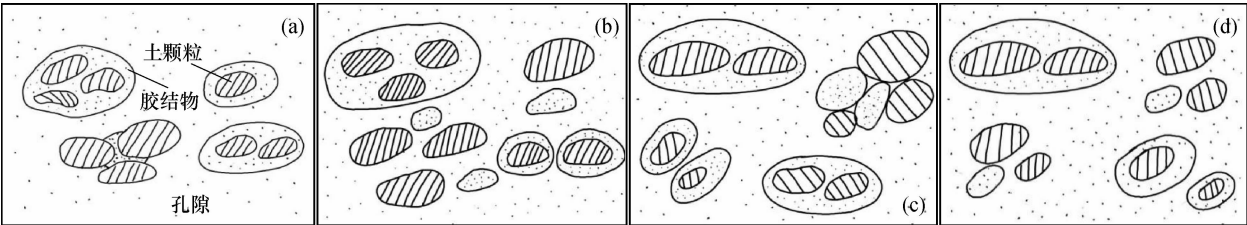


图 5 NaOH 溶液污染红黏土的碱 - 土作用情况结构示意图
Fig. 5 Structure of alkali-soil interaction of red clay polluted by NaOH solution

于水的 Na_2SiO_3 、 NaAlO_2 , Na_2SiO_3 、 NaAlO_2 在水中发生水解, 原本的化学式遭到破坏, 土颗粒间原本起到胶结作用的物质被消耗, 使得红黏土原本的结构发生破坏, 碱溶液浓度越大造成的破坏性越大, 导致土体的抗变形能力持续减弱, 抗剪强度不断降低。反应方程式如下:

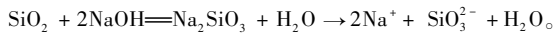
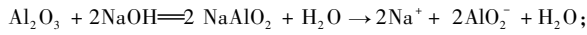
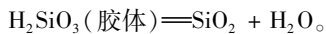
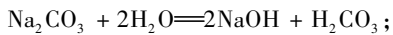
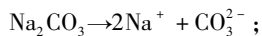
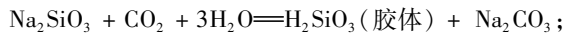


图 5c 为污染红黏土的中期胶结作用结构示意图。随着碱溶液侵入土体的时间增长, 红黏土和碱溶液充分反应, NaOH 与红黏土中的胶结物质 SiO_2 和晶体物质 Al_2O_3 发生反应, 分别形成具有黏聚性物质 Na_2SiO_3 和 NaAlO_2 , 由于 Na_2SiO_3 化学性质不太稳定, 易吸潮, 易溶于水, 在溶液中易与 H_2O 、 CO_2 发生反应, 生成 H_2SiO_3 和 Na_2CO_3 , 其中 H_2SiO_3 为胶体, Na_2CO_3 为晶体。同理, NaAlO_2 在水中发生水解, 生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ (絮状沉淀物)。图 5d 为污染红黏土的后期溶解作用结构示意图。新生成的胶体物质性质不稳定, 极易溶于水, 使土颗粒间的胶结能力变差, 从而导致受到碱污染的红黏土压缩性增强。反应方程式如下:



4 结 论

本文仅针对不同碱液浓度污染红黏土分别在养护 1、7、14 d 的力学试验的结果分析, 目前还在开展更多养护时间、不同碱液浓度污染土样的双因子条件下的力学特性试验。阶段性试验成果如下:

(1) 在竖向压力, 养护时间一定(如 400 kPa, 7 d), 随着碱浓度递增(4%→8%→12%), 碱污染红黏土的抗剪强度 τ 分别减小了 11.8%、15.6%、26.7%, 且 τ 减小的幅度变大; 在竖向压力一定(200 kPa), 碱浓度在 4%→8%→12%, 随着养护时间延长(1 d→14 d), 碱污染红黏土的抗剪强度分别减小了 7.3%、12.3%、22.2% 和 13.4%、15.7%、28.5% 和 17.2%、18.8%、32.4%。碱污染红黏土的抗剪强度随着养护时间的增加其递

减的变幅率增大。

(2) 原状红黏土的强度指标随养护时间的增加无明显变化。碱污染红黏土在养护时间一定(如 1 d), 随着碱浓度的增大, 其 c 、 φ 分别减小了 7.1%、10.0%、16.5% 和 5.5%、7.7%、10.8%, 且碱溶液浓度在 0~4% 和 8%~12% 时 c 、 φ 的变化幅度均大于 4%~8%; 在碱浓度一定(4%) 时, 随着养护时间的增加(1 d→14 d), 碱污染红黏土的 c 、 φ 减小幅度分别为 7.1%、25.7%、37.6% 和 5.5%、9.5%、12.7%, 随着养护时间的增加, c 、 φ 值递减的变幅率增大。低浓度和高浓度以及养护时间对 c 、 φ 值的影响较大。

(3) 碱浓度一定, 随着养护时间增加, 孔隙比的变化趋势大致相同, 变幅值逐渐变大; 养护时间一定(7 d), 随着碱浓度的增加, 碱污染红黏土的压缩模量分别减小了 0.380、1.469、2.057 MPa, 其减小幅值逐渐增大, 碱浓度为 4%~8%, 递变幅值最大, 8%~12% 的次之; 碱浓度一定(8%), 养护时间增加(1 d→14 d), 碱污染红黏土的压缩模量分别为 2.417、2.212、2.015 MPa。碱污染红黏土的压缩模量对养护时间最敏感。

(4) 碱-土作用过程中, 由水解作用电离出的 OH^- 与红黏土中起胶结作用的矿物质(SiO_2 、 Al_2O_3) 发生系列物理化学反应, 使污染红黏土土颗粒间的胶结物被溶解后又重新生成絮状物, 导致土颗粒间的胶结能力减小, 土体原本稳定的结构状态发生改变, 变形能力增强, 抗剪强度减小。碱-土相互作用是导致桂林地区碱污染红黏土力学效应弱化的根本原因。

参考文献:

- [1] 苏燕, 周健. 环境岩土工程研究现状与展望 [J]. 岩土力学, 2004, 25 (9): 1510-1514.
- [2] 牟春梅, 李佰锋. 有机质含量对软土力学性质影响效应分析 [J]. 水文地质工程地质, 2008, 35 (3): 42-46.
- [3] 刘宝臣, 牟春梅. 有机质污染红黏土地基加固效果的力学效应分析 [J]. 工业建筑, 2010, 40 (2): 128-131.
- [4] 顾展飞, 刘琦, 卢耀如, 等. 酸碱及可溶盐溶液对桂林红黏土压缩性影响实验研究 [J]. 中国岩溶, 2014, 33 (1): 37-43.
- [5] 顾季威. 酸碱废液侵蚀地基土对工程质量的影响 [J]. 岩土工程学报, 1988, 10 (4): 72-78.
- [6] 赵莎, 陈筠, 赵鹏, 等. 贵阳碱污染红黏土物理力学性质

室内试验研究 [J]. 贵州大学学报 (自然科学版), 2017, 34 (1): 77-82.

[7] 宋宇, 黄翔, 陈学军, 等. 红黏土损伤特性及损伤演化规律试验 [J]. 桂林理工大学学报, 2016, 36 (4): 726-730.

[8] 宋宇, 肖桂元, 陈学军, 等. 干密度对重塑红黏土变形特性的影响 [J]. 桂林理工大学学报, 2016, 36 (2): 264-270.

[9] 傅世法, 林颂恩. 污染土的岩土工程问题 [J]. 工程勘察, 1989 (3): 6-10.

[10] 李琦, 施斌, 王友诚. 造纸厂废碱液污染土的环境岩土工程研究 [J]. 环境污染与防治, 1997, 19 (5): 16-18, 47.

[11] 孙重初. 酸液对红黏土物理力学性质的影响 [J]. 岩土工程学报, 1989, 11 (4): 89-93.

[12] 刘汉龙, 朱春鹏, 张晓璐. 酸碱污染土基本物理性质的

室内测试研究 [J]. 岩土工程学报, 2008, 30 (8): 1213-1217.

[13] 朱春鹏, 刘汉龙, 张晓璐. 酸碱污染土压缩特性的室内试验研究 [J]. 岩土工程学报, 2008, 30 (10): 1477-1483.

[14] 刘汉龙, 朱春鹏, 沈扬. 酸碱污染土工程性质研究 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版), 2008, 35 (11): 39-44.

[15] 任礼强, 黄英, 樊宇航, 等. 碱污染红土的抗剪强度特性及碱土作用特征研究 [J]. 水文地质工程地质, 2014, 41 (5): 75-81.

[16] Nakamura S, Gibo S. The recovered strength of landslide soils and its relation to the effective normal stress [J]. Journal of the Japan Society, 2000, 37 (3): 18-24.

[17] 张晓璐. 酸、碱污染土的试验研究 [D]. 南京: 河海大学, 2007.

Experiment of the mechanical effect weakening
for alkali polluted red clay in Guilin

MU Chun-mei, WEI Yu-xi, ZHANG Yan

(a. College of Civil and Architectural Engineering; b. Guangxi Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to study the effect of alkali pollution on the mechanical properties of red clay, sodium hydroxide (NaOH) solution was used to immerse the red clay in Yanshan, Guilin. Based on the double factors of alkali concentration (0, 4%, 8%, 12%) and time (1, 7, 14 d), the direct shear test and consolidation test were carried out. The effect of alkali pollution on the mechanical properties of red clay in Guilin was analyzed. The results show that the shear strength, cohesion and internal friction angle of red clay decrease with the increase of alkali concentration and time. The compression coefficient increases and the compression modulus decreases because of the porosity ratio of red clay increase after soaking. Analysis of test results finds out that the alkali-soil interaction is the fundamental cause in weakening the mechanical effect of alkali contaminated red clay in Guilin area. The interaction results in the dissolution of the binder between red clay particles and the formation of flocculants, and changes the original stable state of the structure.

Key words: alkali contaminated; red clay; mechanical effect weakening; Guilin