

碱渣土工试验方法及其工程土特性研究

王芳, 徐竹青, 严丽雪, 曹培

(南京水利科学研究院岩土工程研究所, 江苏 南京 210024)

摘要: 根据碱渣的化学构成与土不同的特点, 通过一系列试验的比较与探索, 提出了测定碱渣基本物理性质较为合理的试验方法。在此基础上研究了碱渣及其滤饼与粉煤灰、黏土在不同配比下的力学特性, 从而为碱渣的综合利用提供重要的技术依据。

关键词: 碱渣; 改良; 室内试验; 温度; 时间; 物理力学性质

中图分类号: TV411 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2007)08-1211-04

作者简介: 王芳(1972-), 女, 工程师, 主要从事岩土工程试验研究工作。E-mail: fwang@nhri.cn。

Study on test methods and geotechnical properties of soda residue

WANG Fang, XU Zhu-qing, YAN Li-xue, CAO Pei

(Geotechnical Engineering Department of Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: Soda residue is different from soils in chemical composition. Therefore, it is necessary to conduct tests on the soda residue in a way different from that of soils. A series of tests were performed on the soda residue, and based on the comparative test results, the basic physical properties were obtained. The mixture of the soda residue with fly ash or clay in different ranges of mixing ratios was also investigated. The mechanical characteristics were studied, and the corresponding results could be used for the comprehensive utilization of the soda residue.

Key words: soda residue; improvement; laboratory test; temperature; time; physical and mechanical property

0 引言

碱渣是氨碱法生产纯碱过程中蒸馏工序上排出的蒸馏废液及盐水精制工序上洗涤桶排出的盐泥废液经窑气炭化中和后产生的白色沉淀物, 经过管道运送至贮渣场。碱渣也具有三相体系, 固相物质(多种矿物成分)构成了碱渣的骨架, 其间孔隙由液相和气相充填, 孔隙相互连通, 形成多孔介质, 因而可借用土的指标对其性质进行描述。同时碱渣又有其固有的特点, 其矿物成分不仅有含水倍半氧化物这种次生矿物, 而且包含各种水溶盐, 其中: 含水倍半氧化物使得颗粒极细, 亲水性强; 水溶盐中的易溶盐和难溶盐的存在直接影响孔隙水中离子的浓度和类型, 也就影响碱渣的物理力学性质, 这些说明不能照搬土工试验方法, 而要进行比较与探索, 寻求合理可靠的试验方法。

1 碱渣的物理性质

1.1 碱渣的烘干温度、烘干时间与含水率

碱渣为一种碱性材料, 主要成分为 CaCO_3 , 其主要化学成分: CaCO_3 为 34.33%, MgCO_3 为 30.0%, SiO_2 为 10.0%, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 为 6.72%, Al(OH)_3 为 4.27%。

进行碱渣含水率测定试验, 选择 3 种烘干温度, 采用不同的烘干时间测定相同的原始样品的含水率, 以确定合理的烘干温度与烘干时间, 结果见图 1。

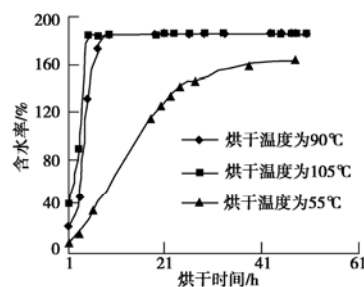


图 1 含水率与温度、时间的关系

Fig. 1 Relationship among water content, temperature and time

试验结果说明, 当烘干温度为 55°C 时(模拟自然条件下风干), 碱渣的含水率在 48 h 内仍无稳定值; 为 90°C 时, 烘干时间超过 9 h 后, 测试值基本稳定; 为 105°C 时, 超过 5 h 后, 测试值基本稳定, 且其测试值与烘干温度为 90°C 时相同。因此建议碱渣的含水率试验采用 105°C, 烘干时间不少于 5 h 作为试验标准。

1.2 碱渣的比重

结合含水率试验,测定碱渣的相对密度时采用不同烘干温度、烘干时间、中性液体进行对比。对烘干后的样品采用煮沸法和抽真空排气法对比,结果见表 1。

表 1 相对密度对比试验

Table 1 Comparative tests of specific gravity					
试样	中性液体	烘干温度/℃	烘干时间/h	相对密度	
				煮沸法	抽气法
			24	0.75	0.70

间采用 6 h 或 24 h 对测试结果影响不大;相对密度试验中不宜采用纯水作为中性液体,其原因是碱渣中含有一定量的易溶盐及其自身的亲水特性,会导致试验结果偏高,因此,建议碱渣的相对密度试验中采用的试验方法为样品在 105℃ 下烘干 6 h 后进行,采用煤油作为中性介质,排气采用抽气法。

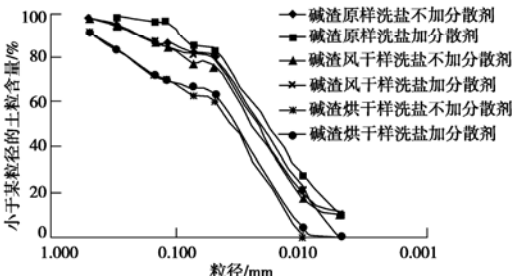
1.3 碱渣的界限含水率、颗粒分析特性分析

界限含水率试验中,分别以天然状态碱渣样品、烘干碱渣样品(烘干温度为 90℃、105℃)、风干碱渣样品制备试样,调制不同稠度的膏体,进行测试。其中天然状态的碱渣是在不加水的情况下逐级风干至所需的稠度备用;烘干样品、风干样品均加入不同数量

状态的碱渣最大,风干样其次,烘干样最小。这说明碱渣经脱水处理(风干、烘干)后,其亲水性有所降低。因此,界限含水率试验建议试样采用天然状态的碱渣,在不加水的情况下逐级风干至所需的稠度备用。

颗粒分析试验按《土工试验方法标准》^[3]的要求,因碱渣含有一定量的易溶盐,测试时需洗盐。对于洗盐后的试样分别采用碱渣原样、碱渣风干样和碱渣烘干样制备,试验中分为煮沸加分散剂(六偏磷酸钠)

进行测试。通过试验可知,碱渣是一种级配不良的颗粒较细的物质,其粒径集中在 0.05~0.005 mm。同时从界限含水率试验可知,碱渣又是一种亲水性物质,且在试验中还发现碱渣经不同烘干温度脱水后,其亲水性有不同程度降低,温度越高,亲水性下降越明显。



验用料	w _L /%	w _p /%	数 I _p	>0.5 mm	0.5~ 0.25 mm	0.25~ 0.075 mm	0.075~ 0.005 mm	<0.005 mm		
碱渣	天然状态	104.0	39.0	65.0	2.1	5.2	9.3	75.4	8.0	不加分散剂
					2.7	5.2	7.1	74.9	10.1	加分散剂
	烘干土（105℃）	46.0	31.5	14.5	8.8	11.7	16.8	62.7		不加分散剂
					8.8	11.7	13.0	66.5		加分散剂
	烘干土（90℃）	47.0	33.0	14.0						
	风干土	68.0	46.2	21.8	2.3	5.6	14.5	67.8	9.8	不加分散剂
2.5					5.6	10.8	69.3	11.8	加分散剂	

表 3 碱渣的力学性质试验指标

Table 3 Mechanical properties of the soda residue

试样	干密度 $\rho_d/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	最大干密度 $\rho_{dmax}/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	最优含水率 $w_{op}/\%$	渗透系数 $k_{20}/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	固结不排水试验				固结时间 /min
					c_{cu} /kPa	φ_{cu} /(°)	c' /kPa	φ' /(°)	
碱渣	0.95	1.06	50.6	1.44×10^{-4}	35	15.0	2	30.8	30
					44	15.2	5	32.7	180

2 碱渣的力学性质

2.1 试验方法与试验流程

试验按国家标准^[3]进行。流程为通过击实试验确定碱渣的最大干密度，按密实度为 90%、70%两种情况制样，抽气饱和后进行力学性试验。图 3 为碱渣的击实曲线。

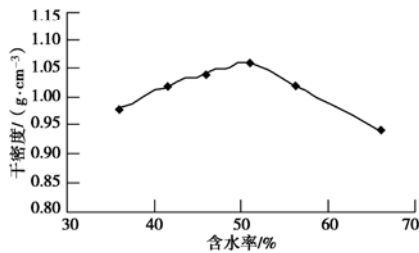


图 3 碱渣的击实曲线

Fig. 3 Compaction curve of the soda residue

2.2 碱渣的压缩变形特性

由试验绘制的试验曲线见图 4。从中可看出，碱渣的压缩特性与细粒土不同，在恒定外荷载施加的初期有明显的瞬时变形，然后在较短时间内变形趋于稳定，且随着时间的延长，其沉降量改变不大。碱渣作为一种大孔隙物质，其压缩性随密实度提高有较大减小。

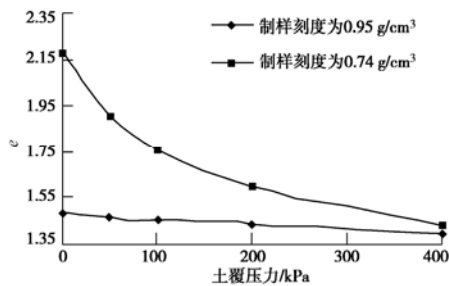


图 4 碱渣的固结曲线

Fig. 4 Consolidation curve of the soda residue

2.3 碱渣的抗剪强度特性

根据试验绘制的碱渣在密实度为 90%情况下的三轴固结不排水强度关系曲线见图 5、6。在碱渣的强度试验中，主要是对固结不排水三轴压缩试验进行了两种固结排水时间的对比试验。排水固结时间分别为 0.5 h 和 3 h。由试验可知，与细粒土完全不同的是由于碱

渣具有较强的透水性，在外力作用下所产生的超静孔压力能在较短的时间内消散，因此，不同固结时间的两种试样在剪切过程中超静孔隙水压力线基本是重合的，强度线略有区别，总体上对强度指标的影响不大，因此在固结过程中可适当减少时间。试验结果见表 3。

3 碱渣改良的力学性质

本次试验中针对碱渣是一种级配不良的亲水性物质的特点，按不同比例拌和粉煤灰、黏土形成工程土，碱渣工程土的名称说明及拌和物的配比情况见表 4，拌和物的物理指标见表 5。试验方法以国家标准^[3]为依据。流程为通过击实试验确定碱渣工程土的最大干密度，按密实度为 90%情况制样，抽气饱和后进行力学性试验。

表 4 碱渣工程土的名称及配比

Table 4 Types of improved mixture of the soda residue and mixing ratio	
改良土名称	添加剂情况描述
1-1	碱渣质量：粉煤灰质量=1：1
1-2	碱渣质量：粉煤灰质量=1：3
2-1	碱渣滤饼质量：粉煤灰质量=1：1
2-2	碱渣滤饼质量：粉煤灰质量=1：3
3-1	土质量：碱渣质量：粉煤灰质量=1：2：2

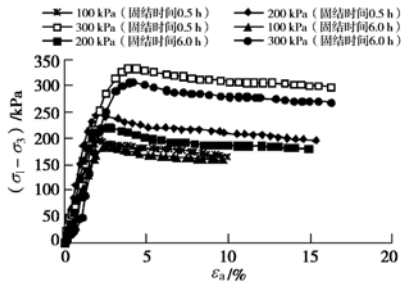


图 5 不同固结时间下的强度曲线

Fig. 5 Strength curves with different consolidation time

3.1 碱渣工程土的击实特性

根据试验结果绘制的曲线见图 7、8。从试验结果可以看出，碱渣的击实曲线与黏性土的规律基本相同，曲线有单峰性。对于碱渣掺入粉煤灰后，大部分工程土的击实区域比较宽泛，可使碱渣在较高的含水率情况下进行击实，对工程比较有利。

表 5 拌和物的物理性质指标

Table 5 Physical properties of mixed soils

试样	液限 w_L / %	塑限 w_P / %	塑性指 数 I_P	粒组百分含量 / %				
				>0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.075 mm	0.075~0.005 mm	<0.005 mm
黏土	30.7	17.0	13.7	1.7	7.2	29.9	41.6	19.6
粉煤灰				1.4	5.9	38.0	54.5	

表 6 拌和物的物理性质指标

Table 6 Physical properties of mixed soils

试验指标	碱渣	改良土试样编号					备注
		1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	
制样干密度 $\rho_d/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	0.95	0.87	0.85	0.86	0.83	1.02	表中所列碱渣及其改良土的试验指标为密实度为 90% 时的测试值。
压缩系数 $a_{v0.1-0.2}/(\text{MPa}^{-1})$	0.15	0.17	0.18	0.15	0.12	0.15	
压缩模量 $E_{s0.1-0.2}/(\text{MPa})$	17.0	15.8	14.4	18.9	23.8	15.8	
渗透系数 $k_{20}/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	1.44×10^{-4}	1.46×10^{-5}	5.57×10^{-5}	1.38×10^{-5}	4.91×10^{-5}	1.76×10^{-5}	

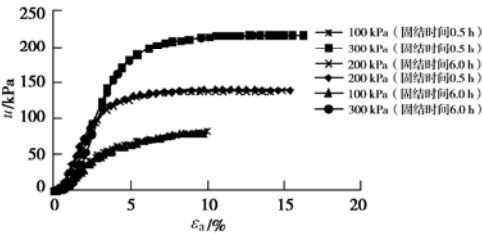


图 6 不同固结时间下的超静孔隙水压力曲线

Fig. 6 Excess pore water pressure curves with different consolidation time

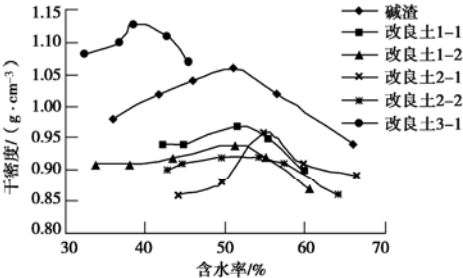


图 7 碱渣及其工程土的击实曲线

Fig. 7 Compaction curves of soda residue and its mixture

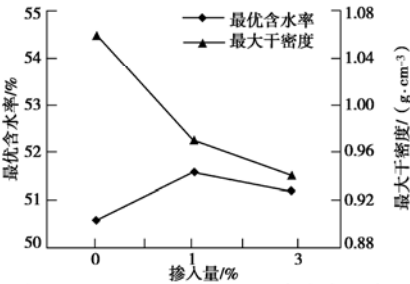


图 8 碱渣工程土最大干密度、最优化含水率与掺入量关系

Fig. 8 Relationship among the maximum dry density, the optimum water content of the soda residue and the mixing ratio

表 7 改良土压缩及渗透试验

Table 7 Compression tests of improved expansive clays

名称	制样干密度 $\rho_d/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	固结不排水试验			
		c_{cu}/kPa	$\varphi_{cu}/(^{\circ})$	c'/kPa	$\varphi'/(^{\circ})$
碱渣	0.95	44	15.2	5	32.7
1-1	0.87	76	13.1	40	27.5
1-2	0.85	44	17.9	18	33.0
2-1	0.86	132	11.9	50	27.4
2-2	0.83	94	12.2	28	30.3
3-1	1.02	32	17.2	23	29.6

3.2 碱渣工程土的压缩变形及渗透特性

试验结果见表 6。从试验结果可知，添加粉煤灰、黏土对于碱渣的压缩性的改良效果不大，而对渗透性

的影响较大，使碱渣的渗透系数下降了 5~10 倍。添加粉煤灰、黏土后改变了碱渣的级配，碱渣工程土的抗渗性能较优于单纯碱渣。

3.3 碱渣工程土的抗剪强度特性

试验结果见表 7。粉煤灰中含有大量的活性 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 及 CaO 等，颗粒比较均匀。向碱渣中添加粉煤灰，改变原有的级配，且在一定含水率条件下产生一系列水化反应，生成水化硅酸钙、水化铝酸钙以及水化铁酸钙等化合物，此类化合物为不溶于水的稳定性结晶生成物，可以在空气和水中逐渐硬化，对碱渣工程土起到加固作用。通过表 7 可以看出改良后的碱渣工程土其有效强度有明显提高，尤其是对凝聚力的影响较大，提高了 4~10 倍。

4 结 论

(1) 碱渣是一种既不同于岩土又具有岩土某些特性的工业废料，土工试验的常规方法尚不能准确研究其物理力学性质，需要在其基础上加以改进。

(2) 碱渣的化学成分较为复杂，具有较强的亲水性、易潮解性、分散性；与土类似，碱渣也由固相、液相和气相三部分组成，碱渣是一种级配不良的颗粒较细的物质，压实性能和渗透稳定性不佳。

(3) 碱渣及其滤饼与粉煤灰、黄土按一定比例拌和制成的工程土力学性能有明显的改善，这为碱渣的综合利用提供了技术依据。

参考文献:

[1] 张明义, 韩凤芹, 孙德庆, 等. 碱渣土的击实试验[J]. 青岛建筑工程学报, 2003, 24(4): 5 - 7. (ZHANG Ming-yi, HAN Feng-qin, SUN De-qing, et al. Compaction test of soda residue soil[J]. Journal of Qingdao Institute of Architecture and Engineering, 2003, 24(4): 5 - 7. (in Chinese))

[2] 姜性义, 张焕云, 闫慎杰. 碱渣(白泥)综合利用途径的探讨[J]. 青岛建筑工程学报. 1999, 20(2): 55 - 60. (LOU Xing-vi. ZHANG Huan-yun, YAN Shen-jie. Study on the comprehensive utilization of the waste of soda-production[J]. Journal of Qingdao Institute of Architecture and Engineering, 1999, 20(2): 55 - 60. (in Chinese))

[3] GB/T50123-1999 土工试验方法标准[S]. 1999. (GB/T50123-1999 Standard for soil test method[S]. 1999. (in Chinese))