

# 造纸黑液改良红黏土的力学性能研究

巴海涛

西南林业大学

DOI: 10.12238/jpm.v5i2.6571

**[摘要]** 本文以红黏土为材料,以造纸工业副产品造纸黑液的再次利用为目的,利用直剪试验及固结试验研究不同掺量(2%、4%、6%、8%、10%)下及不同养护龄期(7d、14d、28d)下改良红黏土的抗剪性能及抗压缩性能。研究发现适量的造纸黑液可以提升红黏土的上述相关性能。红黏土的抗剪强度、黏聚力及压缩模量随着造纸黑液掺量的变化先增大后减小;内摩擦角随着掺量的增加逐渐降低。随着养护龄期的增长,素土的上述性能并没有发生明显变化,但改良红黏土的相关性能随着养护龄期的增长而增长,且增长幅度逐渐趋于稳定。

**[关键词]** 红黏土;造纸黑液;抗剪强度;压缩模量

## A Study on the Mechanical Properties of Paper Black Liquor Modified Red Clay

Ba Haitao

Southwest Forestry University

**[Abstract]** This article takes red clay as the material, with the aim of reusing papermaking black liquor, a by-product of the papermaking industry, and uses direct shear tests and consolidation tests to study the shear and compressive properties of improved red clay under different dosages (2%, 4%, 6%, 8%, 10%) and different curing ages (7d, 14d, 28d). Research has found that an appropriate amount of papermaking black liquor can enhance the above-mentioned properties of red clay. The shear strength, cohesive force, and compressive modulus of red clay increase first and then decrease with the change of papermaking black liquid content; The internal friction angle gradually decreases with the increase of the dosage. With the increase of maintenance age, the above properties of the plain soil did not show significant changes, but the related properties of the improved red clay increased with the increase of maintenance age, and the growth rate gradually stabilized.

**[Key words]** red clay; Paper black liquor; Shear strength; Compression modulus

### 引言

红黏土,大量分布于热带、亚热带地区,我国近两成的国土面积被红土覆盖,主要为云南、贵州、广西等地区,由于其形成过程非常复杂,其物理力学性质也不尽相同,具有密度小、比重大、天然含水率高、液塑限高、孔隙比大、压缩性差等特点。目前常用的土体改性剂多为水泥<sup>[1]</sup>、石灰<sup>[2]</sup>、粉煤灰<sup>[3]</sup>等材料,这些材料在生产过程中消耗了大量的能源和资源,同时排放出大量的污染物质,这与生态环保的理念相悖。

造纸黑液为造纸工业副产品,其颜色深,碱性大,黑液中,约有1/3为无机物,主要是NaOH和SiO<sub>2</sub>等;约2/3为有机物,主要是木质素、半纤维素、糖类和有机酸等。<sup>[4]</sup>

选用造纸黑液为改性剂,通过直剪试验、无侧限抗压强度试验研究红黏土在造纸黑液改性下的力学性能变化。通过研究发现造纸黑液改良红黏土能够促使红黏土满足工程需要,那么不仅可以减少水泥、石灰等材料的使用,更给造纸黑液的合理化利用提供了新的解决方案。

### 1. 试验材料与方法

#### 1.1 试验材料

##### 1 红黏土

本研究所用土为红黏土,见图1,取自于西南林业大学校园内工地,其物理参数见表1。

表1 红黏土的物理参数

比重	液限 (%)	塑限 (%)	塑性指数	最佳含水率 (%)	最大干密度 g/cm <sup>3</sup>
2.718	59.4	29.8	29.6	30.8	1.43
2 造纸黑液 造纸黑液为黑色粘稠状浓缩液体,含水率为61.2%,为便				于黑液与红黏土的充分拌合,本试验采用先稀释再拌合的方式进行。	

1.2 试验方法与方案

通过直剪试验和无侧限抗压强度试验对不同掺量 (0、2%、4%、6%、8%、10%)、不同养护龄期 (7d、14d、28d) 的造纸黑液改良红黏土的抗剪强度、抗剪强度指标及压缩系数、压缩模量进行测试与研究,从而定性、定量的了解此种改性剂的掺量与养护龄期对红黏土力学性能的影响。

本研究所涉及的试验过程及标准均按照《公路土工试验规程》(JTG 3430—2020) [5] 中相关规定进行。

1 直剪试验

本试验采用快剪模式,即试样施加荷载后立即进行剪切试验,剪切速率为 0.8mm/min。试样采用直径 61.8mm、高 20mm 的环刀试样。通过施加不同荷载 (50kPa、100kPa、200kPa、300kPa),测得不同荷载下试样的抗剪强度;再将四级荷载下的抗剪强度拟合成一次函数,此函数图像的倾角即为土的内摩擦角,截距为黏聚力,从而得到土的抗剪强度指标。

2 固结试验

本试验采用标准固结模式,即每级荷载施加时间为 24h,荷载采用五级施加,分别为 50kPa、100kPa、200kPa、300kPa、400kPa。试样采用直径 61.8mm、高 20mm 的环刀试样。通过测定不用荷载下试样的高度变化进而测定对应的孔隙比,再根据孔隙比计算试样的压缩系数、压缩模量。

2. 试验结果与分析

2.1 直剪试验

2.1.1 掺量对改良红黏土的抗剪强度及抗剪强度指标的影响

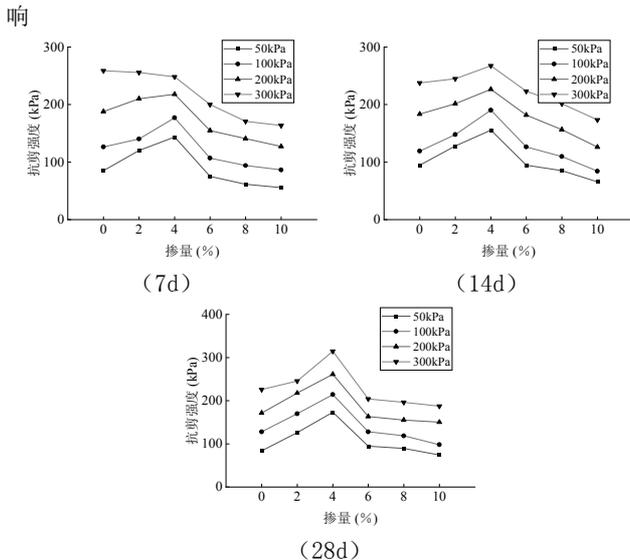


图 2-1 不同养护龄期下改良红黏土的抗剪强度和掺量的关系曲线

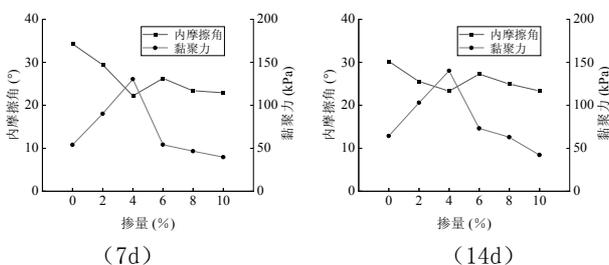


图 2-2 不同养护龄期下改良红黏土的抗剪强度和掺量的关系曲线

改良红黏土的抗剪强度随着掺量的变化具有明显的先增后减变化关系,掺量在 0-4% 区间,改良土的抗剪强度逐渐增大;掺量为 4% 时,改良土的抗剪强度达到最大;掺量超过 4% 后,改良土的抗剪强度逐渐降低,且逐渐低于素土的抗剪强度;随着掺量的增加,内摩擦角略有下降;而黏聚力在掺量不高于 4% 时有明显的提升,而掺量超过 4% 后,黏聚力下降明显。上述试验说明,适量的造纸黑液可以提升红黏土的抗剪强度及黏聚力,但当造纸黑液的量过大会导致红黏土的抗剪强度降低,甚至低于素土的抗剪强度;造纸黑液的加入使红黏土的土颗粒间摩擦力略有下降。

2.1.2 养护龄期对改良红黏土的抗剪强度及抗剪强度指标的影响

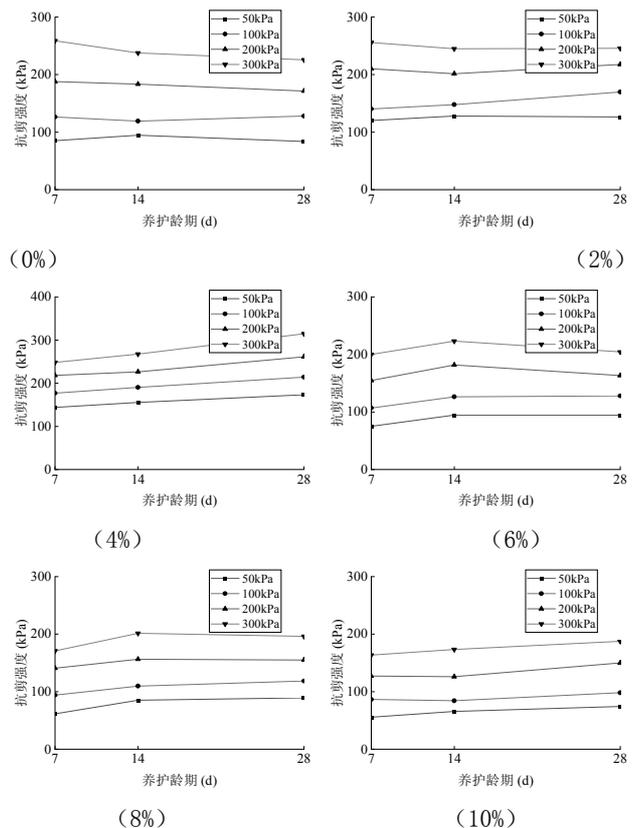


图 2-3 不同掺量下改良红黏土的抗剪强度指标和养护龄期的关系曲线

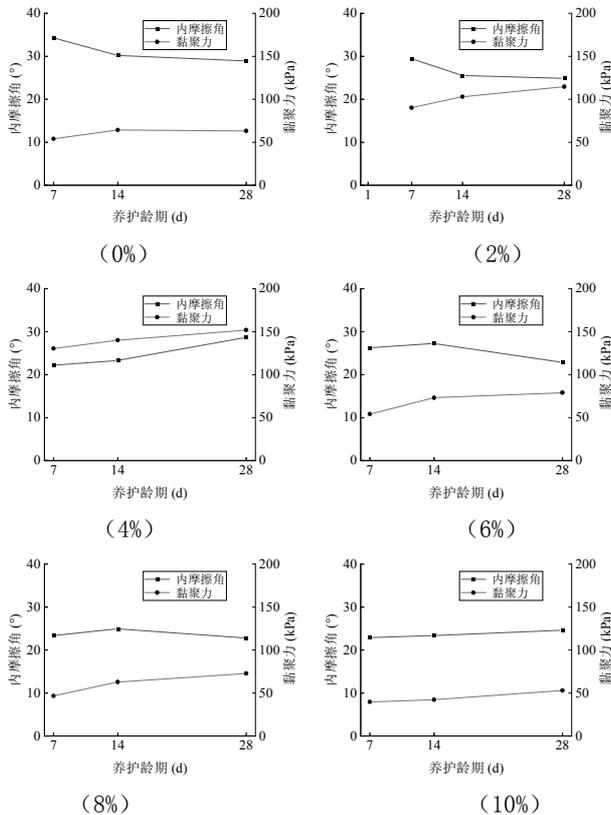


图 2-4 不同掺量下改良红黏土的抗剪强度指标和养护龄期的关系曲线

素土的抗剪强度及抗剪强度指标随着养护龄期的变化并没有明显的变化,而掺入造纸黑液的改良土的上述指标发生了明显的变化,随着养护龄期的增长改良土的抗剪强度具有明显的提升;内摩擦角随着养护龄期的增长略有下降;黏聚力随着养护龄期的增长有明显的增长。上述试验结果说明,养护龄期可以提高改良土的抗剪强度及抗剪强度指标。

2.2 固结试验

2.2.1 掺量对改良红黏土的压缩模量的影响

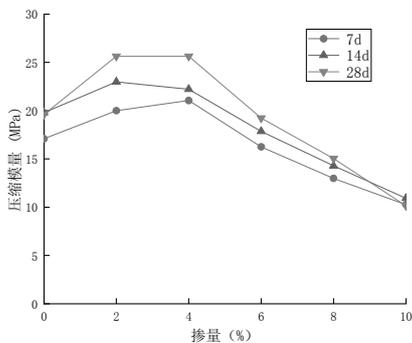


图 2-5 不同养护龄期下改良红黏土的压缩模量和掺量的关系曲线

通过试验结果分析发现,一定掺量下的造纸黑液可以提高红黏土的压缩模量,增强红黏土的抗压缩性能。

2.2.2 养护龄期对改良红黏土的压缩模量的影响

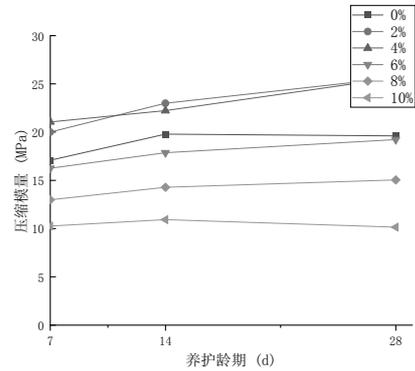


图 2-6 不同掺量下改良红黏土的压缩模量和养护龄期的关系曲线

通过上述试验数据发现,改良红黏土的压缩性能随着养护龄期的增长得到了提高,且7d-14d的增长幅度明显大于14d-28d的增长幅度。

3. 结论

(1)通过利用直剪试验和固结试验研究发现,随着掺量的增大,红黏土的内摩擦角略有降低,抗剪强度、黏聚力及压缩模量提升明显,但当掺量超过4%以后,上述参数均有不同程度的下降,且当掺量过大后,其相关性能甚至会低于改良前的性能。综上所述,适量的造纸黑液掺入到红黏土后可以使红黏土的抗剪、抗压缩性能得到明显提升,最佳掺量为4%左右。

(2)随着养护龄期的增长,素土的抗剪强度、内摩擦角、黏聚力及压缩模量并未发生明显变化,但改良土的上述参数有明显的提升,但随着时间的推移,提升幅度越来越小,逐渐趋于平稳。

[参考文献]

[1]龚锦林,卓斌.水泥改良高液限红黏土力学性能及微观机制研究[J].湖南交通科技,2022,48(03):17-22.

[2]曾军.石灰改良红黏土的试验研究[J].铁道科学与工程学报,2016,13(07):1289-1293.D0I:10.19713/j.cnki.43-1423/u.2016.07.010.

[3]刘之葵,郭彤,王剑.粉煤灰和二灰对桂林红黏土力学性质的影响[J].水文地质工程地质,2017,44(03):86-92.D0I:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.2017.03.13.

[4]郑大锋,陈然,李小康.造纸黑液的物化性能及其在砂浆中的应用[J].建筑材料学报,2016,19(03):571-577.

[5]中华人民共和国交通部.公路土工试验规程(JTG E40-2020)[S].北京:人民交通出版社,2020.

作者简介:巴海涛(1994.12—),男,汉族,籍贯:黑龙江省依安县人,西南林业大学土木工程学院,21级在读研究生,硕士学位,专业:土木水利,研究方向:岩土工程。