

松干密度的测定及其在灰土地基质量控制中的作用

颜凌瑞¹, 孟军省¹, 尹小涛²

(1. 机械工业勘察设计研究院, 陕西 西安 710043; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要: 提出了土和石灰松干密度的概念及其试验测定方法, 并将其应用于石灰土的体积含灰比到质量含灰比的换算。研究表明, 该方法可应用于灰土击实试验和灰土地基施工质量控制。对石灰土地基施工和质量检测工作具有明确的指导作用。

关键词: 含灰比; 松干密度; 含水率; 击实试验

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2006)11-2043-04

作者简介: 颜凌瑞(1973-), 女, 陕西武功人, 工程师, 主要从事岩土工程试验方面的研究。

Effect of loose dry density on process of quality control of lime-soil

YAN Ling-rui¹, MENG Jun-sheng¹, YIN Xiao-tao²

(1. Mechanical industrial prospecting design research institute, Xi'an 710043, China; 2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese

Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: The concept and measuring methods of loose dry density for soil and lime were presented. Simultaneously, the volume ratio and lime content ratio of lime-soil were turned into the mass ratio, which could be used in the process of quality control for test of lime-soil compression and the construction of lime-soil foundation. Moreover, the obtained results could be referenced in the supervision of the construction of lime-soil foundation and quality inspection.

Key words: lime content ratio; loose dry density; water content ratio; compression test

0 前言

灰土垫层和灰土挤密桩作为一种常用地基处理方法, 在湿陷性黄土分布广阔的西北地区有着广泛的工程应用。随着质量意识的不断增强, 人工地基检测方法的推广和完善, 灰土地基质量检测时除了压实系数的测定外, 灰土中含灰比的测定也越来越受到重视。经过对国内外有关石灰土中含灰比的测定方法^[1]进行对比研究发现, 现有方法的测定结果均为石灰土中灰土的质量比, 而在建筑地基设计、施工中大都使用的是体积比。这就给相关研究人员提出了如何将质量比的测定结果转换为体积比的问题, 但现行相关规范^[2-5]中对这一部分的内容涉及很少。

为解决这一试验和设计施工中存在的矛盾, 本文提出了土和石灰松干密度的概念, 并设想用它来解决灰土击实试验和灰土地基施工中含灰比转换的问题。

1 松干密度的定义及其测定方法

1.1 松干密度

含灰比就是石灰土中石灰的含量占灰土总量的比例 (lime content ratio), 也称灰土配合比, 有质量含

灰比和体积含灰比两种表示形式, 以百分数表示, (本文所指石灰均为消石灰粉)。其具体定义分别如下:

$$\text{质量含灰比} = \frac{\text{石灰土中干石灰质量}}{\text{干石灰土总质量}}, \quad (1)$$

$$\text{体积含灰比} = \frac{\text{石灰土中石灰体积}}{\text{石灰土中石灰体积} + \text{石灰土中土的体积}} \quad (2)$$

当前在建筑行业对于含灰比还没有一个统一的规定, 施工中常说的 2:8 灰土和 3:7 灰土等皆指体积比; 文献[2]中规定: 石灰剂量以石灰质量占全部粗细土颗粒干质量的百分率表示, 这是一种含灰比的质量比表示形式。考虑到行业习惯和含灰比检测结果的实用性及可比性, 因此文中如未特殊说明, 含灰比检测结果表示方法均以公式 (2) 的形式给出。

松干密度 ρ_{ld} 指粉末或颗粒状的无机料在自然堆积状态时测得的干密度值。该概念在冶金、木材加工、路基施工等行业中常被用来描述金属粉末、木材碎屑和纯砂的堆积密度, 也称松装干密度, 或松装密度。土或石灰的松干密度就是土或石灰在自然堆积状态时测得的干密度值。土与石灰的松干密度之比大约为

1.2~2.2, 为了使用方便, 把土与石灰松干密度的比值定义为体积比与质量比的换算系数 R , 简称换算系数, 为无量纲值, 即

$$R = \frac{\rho_{\text{ld-s}}}{\rho_{\text{ld-l}}} \quad (3)$$

$$\text{体积含灰比} = \frac{n}{m+n} = \frac{yR}{1+(R-1)y} \quad (4)$$

其中, y 为单位质量石灰土中石灰的质量 (数值上等于质量比); m 为单位质量石灰土中含土的体积; n 为单位质量石灰土中含石灰的体积; R 为换算系数; $\rho_{\text{ld-s}}$ 为土的松干密度; $\rho_{\text{ld-l}}$ 为石灰的松干密度。

这样就可以通过式 (4) 将式 (1) 表示的质量比转换为式 (2) 表示的体积比。

当换算系数 R 分别为 1 和 2 时, 代入式 (4) 中得图 1。

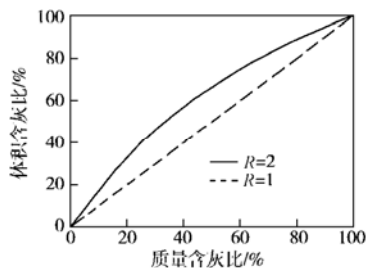


图 1 体积含灰比与质量含灰比关系

Fig. 1 The relationship between volume ratio and mass ratio of lime content

从图 1 可以看出, $R=1$ 时, 体积含灰比与质量含灰比才具有线性关系。其他情况时二者关系为一条向上弓起的曲线。

1.2 松干密度的测定方法

为了使实验数据能更好、更科学地反映工程施工的质量情况, 需要建立一个统一的实验标准。本实验选用轻型击实仪的击实桶 (容积为 947.87 cm^3) 来测定土与石灰的松干密度。具体操作方法为:

(1) 将所测土样用勺子挖出, 依次轻轻沿套筒四周倒入击实桶中, 使其处于自然堆积状态, 装填过程中禁止敲击击实桶或有意压实堆积土, 直到土样充满并超出击实桶上沿, 轻轻拿掉套筒。

(2) 将击实桶面形成的自然堆积土锥, 用平刃刀沿击实桶口一次性刮平, 然后将桶内样品倒出, 称量并记录样品质量。

(3) 同样的方法独立测定 3 次, 实验平行误差应在 $\pm 1\%$ 以内, 若超出该误差范围应重新补测。

(4) 对石灰样品采取同样的方法进行测定, 记录每次的样品质量数据。试验所用装置示意图 2。

在试验装置所测数据的基础上, 根据文中规定的

松干密度的定义, 则推导得

$$\rho_{\text{ld}} = \frac{\overline{M}_s}{(1 + \text{样品含水率}) \times 947.87} \quad (5)$$

式中 ρ_{ld} 为样品的松干密度 (g/cm^3); $\overline{M}_s$ 为 3 次测量所得的击实桶所装样品质量的平均值 (g); R 为体积比与质量比换算系数。

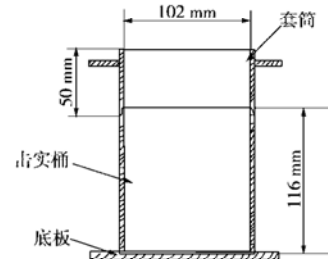


图 2 轻型击实仪的击实桶

Fig. 2 Compression bucket of light compression instrument

1.3 测定中含水率对 R 的影响

由于石灰土中含灰比的检测是用来检验涉及灰土工程的工程施工质量的关键手段, 因此在测定体积比与质量比换算系数时, 所考虑的情况应与工地施工现场情况尽量接近, 同时也要与室内击实试验所得数据具有可比性。试验选用西安某地典型黄土和富平所产的石灰样品进行研究, 按 1.2 所述的方法分别测定其不同含水率下的松干密度, 测定结果见图 3。

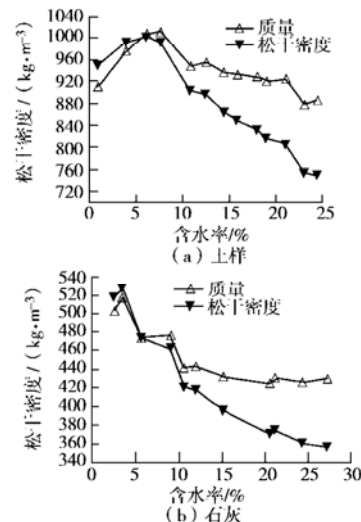


图 3 不同含水率对土样和石灰的松干密度影响图

Fig. 3 Effect of different water content ratios on loose dry density of soil and lime

从图 3 (a) 和 (b) 的比较中可以看出, 当石灰与土在含水率相同的情况下, 含水率为 $2.5\% \sim 24.4\%$ 时, 松干密度变化幅度较大, 计算得 R 为 $1.87 \sim 2.24$, 即 R 值随含水率的变化较大。由图中分段考虑可得出表 1。

从上表可看出土样在含水率为 $3.9\% \sim 8.0\%$ 时, 松

干密度变化较为平缓。石灰在含水率为 5.6%~9.0% 时, 松干密度变化平缓。选择在此两段含水率范围的土样与消石灰的松干密度, 计算得 R 为 2.05~2.12, 变化幅度较小。

表 1 数据分析结果

Table 1 The result of data analysis

样品名称	含水率/%	松干密度 ($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-3}$)	松干密度相对 于平均值相对 变化幅度/%
土样	0.9~24.4	252	28.7
	3.9~8.0	10	1.0
石灰	2.5~27.1	171	40.1
	5.6~9.0	8	1.7

2 松干密度在含灰比测定中的应用及存在的问题

2.1 在灰土击实试验中的应用

击实试验是一种用击实仪在标准击实方法下测定土的最大干密度和最优含水率的试验方法。用以了解土的压实性, 并指导现场施工。一般粘性土的击实试验方法和操作工艺可参见相关的操作规程^[3]。现有建筑规范中没有关于灰土击实试验部分的论述, 一般做法都是参考粘性土的击实试验方法进行, 使用灰土体积比进行配制样品。粘性土击实试验中试样制备一般有两种方法^[3]: 干法制样和湿法制样。干法制样使用风干试样加水配制; 湿法制样使用天然含水率样品加水或风干配制。上述两种方法在操作中均使用体积比配制样品。土样在风干状态的含水率一般为 3.0~5.0, 石灰样品一般为 5.0~8.0, 从 1.3 的分析可知在此范围内测得的 R 变化较小。另一种情况是使用天然含水率样品进行 R 的测定, 天然状态下土样的含水率一般为 8.0~18.0, 石灰样品一般为 10.0~20.0, 从图 3 看出在此范围内土样与石灰的松干密度变化幅度较大, 因而 R 的变化幅度也较大。

由此可以得出, 室内击实试验若与现场施工中使用不同含水率样品进行灰土体积比配制, 既造成含灰比标准的误差, 也将影响到击实试验结果的准确性。以文中选用的西安黄土和富平石灰样品为例, 配制一组 3:7 灰土, 用干法制样(含水率: 土样为 3.9%, 石灰样为 5.6%), 实际质量含灰比为 17.0%, 经计算 $R = 2.09$; 用湿法制样(含水率: 土样为 15.8%, 石灰样为 20.5%), 实际质量含灰比为 15.8%, 经计算 $R = 2.29$ 。假设室内击实试验使用上面湿法制样进行, 而现场施工中配制样品时使用干法制样, 则会造成现场含灰比较击实试验标准普遍偏大。相反室内击实试验使用干法制样进行, 而现场施工中配制样品时使用湿法制样, 则会造成现场含灰比普遍偏小。含灰比的误差还会引

起最大干密度和最优含水率的误差, 从而对施工过程造成误导。

鉴于含水率对 R 的影响, 笔者认为使用风干土样和石灰样品进行配比试验较为妥当, 而且体积量具也应有一个统一的规定, 在配制样品的同时最好能提供石灰土的质量含灰比, 并完成换算系数 R 的测定。这样在施工和灰土含灰比检测时能有一个统一的标准。天然含水率在实际中差别较大, 但在现场跟踪检测时与实际施工过程吻合较好, 也可考虑使用现场样品的天然含水率进行击实试验中样品的配制和对 R 的测定。在这里 R 起到一个指导现场灰土配合工作的作用。

2.2 存在的问题

(1) 灰土施工中应注意的问题

由于石灰土在地基处理中的应用广泛, 在现场施工过程中经常使用机械化工具拌合灰土, 一种是用铲车直接配入一定比例的石灰与土进行多次翻搅, 这种方法对灰土的均匀性不能保证, 所以不提倡使用; 另一种是采用灰土拌合机进行拌合, 这种拌合方式对灰土的均匀性控制的较好, 对于灰土的石灰含量可以采用在拌合机前抽检的方式进行控制。可用现场抽检的石灰土体积含灰比调节拌合机输送带速率。

(2) 质量含灰比检测方法的选用

石灰土中质量含灰比的检测常采用 EDTA 法^[4](文献^[1]中也称氯化铵溶解法)进行, 该方法操作简便省时, 适用于大批量的现场跟踪检测。但该方法检测结果有随灰土龄期衰减的缺点, 对于灰土龄期超过 7 d 的灰土样品检测宜用文献^[1]中的酸溶法进行。

灰土施工质量的检测, 一定要在灰土压实系数和含灰比均达标时才能判定该灰土地基施工质量合格。

(3) 施工中的石灰质量问题

石灰中活性氧化物的含量是决定石灰品质的重要指标, 在检测石灰土中含灰比的前提是施工中的石灰等级^[5]应达到合格品以上, 即对于钙质石灰 $\text{CaO}+\text{MgO}$ 含量应大于 60%, 镁质石灰 $\text{CaO}+\text{MgO}$ 含量应大于 55%。

石灰中含灰比检测方法一般只关注灰土中的石灰含量, 其结果并不反映灰土中所加石灰的质量。石灰的质量(主要指标是其中活性氧化物 $\text{CaO}+\text{MgO}$ 含量)对灰土的抗压强度和抗渗能力有着很大影响^[6]。含灰比达标, 石灰质量不合格, 仍无法达到设计效果, 所以也应该在该部分加强抽查监督工作。

3 结 论

本文提出松干密度的概念, 对其的测定方法进行总结, 并将松干密度应用于灰土含灰比的检测中,

对其中存在的问题进行了探讨。主要结论如下:

(1) 提出了松干密度的概念, 提出了一套完整的测定方法, 并最终把该方法用于测定灰土的体积含灰比中。

(2) 研究了含水率对含灰比测定的影响, 结果表明室内灰土击实试验先在风干状态下测定土与石灰松干密度(需要现场跟踪检测含灰比时, 可考虑在天然含水率状态测定), 利用二者之比将设计的体积含灰比换算为质量含灰比, 采用质量比配制击实样品, 并在击实报告中注明土和石灰的含水率, 这样使击实试验有了更加统一的标准, 检测结果更具可比性。

(3) 土与石灰松干密度之比可用于指导现场施工操作, 含水率问题对施工中含灰比造成的影响可以用现场抽检的方式对结果进行调整。

(4) 检测灰土中含灰比前应对施工中所用石灰的质量加强监督检查, 石灰应达到合格品以上。

参考文献:

- [1] 孟军省, 颜凌瑞. 石灰中含灰比测定方法研究报告[R]. 西安: 机械工业勘察设计院, 2004:4-9.(MENG Jun-sheng, YAN Ling-rui. The research report about test of lime content ratio in lime-soil [R]. Xi'an: Mechanical Industrial Prospecting Design Research Institute, 2004:4-9.)
- [2] JTJ034-2000 公路路面基层施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.(JTJ034-2000 Technical Specifications for Construction of highway Roadbases [S]. Beijing: China Communications Press, 2000.)
- [3] GB/T50123-1999 土工试验方法标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.(GB/T 50123-1999 Standard for soil test method [S]. Beijing: China Planning Press, 1999.)
- [4] JTJ 057—94 公路工程无机结合料稳定实验材料规程 [S]. 北京: 人民交通出版社, 1994.(JTJ 057—94 Test methods of materials stabilized with inorganic binders for highway engineering[S]. Beijing: China Communications Press, 1994.)
- [5] JC/T481-92 建筑消石灰粉 [S]. 1992.(JC/T481-92. Architectural ground hydrated lime [S]. 1992.)
- [6] 关文章. 湿陷性黄土工程性能新篇[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1992:311-312. (GUAN Wen-zhang. The new chapters for the engineering characteristics of collapsing loess [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1992:311-312.)

《科技导报》征稿、征订启事

《科技导报》是中国科学技术协会学术会刊, 设有卷首寄语、专题稿件、研究论文、综述文章、研究报告、学术争鸣、实验技术、科技评论、科学家之声等栏目, 主要发表国内外科学和技术各学科专业原创性学术论文, 同时刊登阶段性最新科研成果报告, 读者对象为国内外一线科技工作者。

《科技导报》是中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊), 以“处理来稿周期短, 报道成果时效强; 探究问题起点高, 研讨思路视野宽; 提出对策着眼远, 争鸣学术气氛浓; 刊载信息密度大, 排版印刷质量好”为特色, 是一本有影响、有特色、有品位的高层次、高水平、高质量科技类学术期刊。

《科技导报》2007 年为半月刊, 全文彩色印刷, 每册定价 7.00 元, 国内邮发代号 2-872, 国外发行代号 M3092。欢迎投稿, 欢迎订阅。

通讯地址: 北京市海淀区学院南路 86 号科技日报社

邮政编码: 100081

联系电话: 010-62103282 (编辑部)

010-62175871 (办公室)

投稿邮箱: kjdbbjb@cast.org.cn

征订信箱: kjdb@cast.org.cn

(《科技导报》编辑部 供稿)