

黄土灰土地基的质量控制指标试验研究^{*}

扈胜霞¹, 张伯平¹, 吕廷波²

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100; 2 甘肃农业大学 水利电力工程系, 兰州 730070)

[摘 要] 对黄土灰土的物理力学性质和黄土灰土地基施工过程中的质量控制要点进行了试验研究, 分析了各种因素对施工质量的影响。结果发现, 在施工过程中, 灰土地基的土体含水量、含灰量、虚铺厚度、碾压过程及碾压间隔历时等都对施工质量产生一定的影响。研究在确定灰土的最优含水量和最佳含灰量的基础上, 提出了保证黄土灰土地基施工质量的控制系统以及为保证黄土灰土地基质量而应采取的有效措施。

[关键词] 黄土灰土地基; 质量控制; 最佳含灰量; 虚铺厚度; 碾压遍数; 碾压间隔历时

[中图分类号] TU 444

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2002)02-0131-05

石灰作为一种最早被认识的建筑材料, 几千年来被广泛应用于各种工程之中, 它与粘土混合能大大地改善土的物理力学性质和工程性能。对于黄土和膨胀土等特殊性质的土, 石灰的加入能减少其胀缩性和湿陷性^[1]。灰土处理地基在我国历史悠久, 应用广泛, 其技术成熟, 所用施工机具简便, 施工方法简单易行, 施工质量易于保证。从灰土的作用机理和作用效果可以看出, 灰土地基对湿陷性黄土有良好的加固作用, 合理的加入石灰能减弱甚至消除黄土地基的湿陷性^[2]。但目前对灰土地基性能的认识和评价已满足不了工程实践的发展和工程质量控制的要求, 许多观点仍停留在经验和感性认识上, 直接影

响着灰土地基的工程质量和经济效益。因此, 本研究通过室内和工程现场试验, 探讨了如何在灰土地基施工过程中通过严格的质量控制来满足地基的稳定性和强度要求, 以确保地基处理的理想效果。

1 材料和方法

1.1 材料及试样制备

试验所用土样取自西北农林科技大学西南区某住宅楼基坑开挖的扰动黄土。该建筑物地处渭北台塬边缘, 地面海拔 510 m, 地层主要由 Q₃ 黄土组成。土壤呈淡黄色, 具有大孔隙和根孔, 土质均匀, 土体疏松, 土的物理力学性质指标见表 1。

表 1 试验土的物理性质指标

Table 1 The physical property indexes of the tested soil

土粒组成/% The composition of soil particles			土粒密度/(t · m ⁻³) Specific gravity of soil particles	含水量/ (g · kg ⁻¹) Water content	塑限 W _p / % Plastic lim it	液限 W _L / % L iquid lim it
2~ 0.05 mm	0.05~ 0.005 mm	< 0.005 mm				
8.5	65.5	26.0	2.72	20.0	18.5	32.0

试样制备根据土工试验规程 SD- 128- 84, 在烘箱恒温 105℃ 下烘干, 碾碎后过 2 mm 孔径的筛, 制备土样含水量 W = 220 g/kg。土样喷洒所需水量后, 将其密缝, 室温下熟化 24 h。

试验所用灰料为过 5 mm 筛的新鲜熟石灰粉末, 干燥, 活性强。

1.2 试验方法

1.2.1 击实试验 土样熟化 24 h 后, 与石灰按灰土体积比 1:9, 2:8, 3:7 进行均匀拌和。试验采用新型南实型新击实仪, 锤重 2.5 kg, 落距 46 cm。因

为石灰与土拌合均匀后立即进行击实试验比较符合施工现场情况, 其效果也较理想^[3]。故本次试验将拌和均匀后的灰土立即进行击实, 击实分 3 层装土, 每层击实功能为 35 击, 为保证试验结果的正确性, 做两组平行试样, 通过比较取其结果。

1.2.2 土粒密度试验 从击实试验制得的试样中分别取土样, 在恒温箱内烘干粉碎, 过 1 mm 孔径的筛。根据土工试验规程 SL 237- 005- 1999, 用土粒密度法测定素土(不加石灰)、石灰及灰土的密度。试验采用中性液体煤油进行, 用抽气法测定石灰及灰

^{*} [收稿日期] 2001-09-30

[作者简介] 扈胜霞(1975-), 女, 甘肃临夏人, 在职硕士研究生, 主要从事土壤力学性质研究。

土混合物密度(单位: g/cm^3)为: 土粒 2 703, 石灰 2 481, 1 9 灰土 2 678, 2 8 灰土 2 658, 3 7 灰土 2 635。

1 2 3 现场碾压试验 为了配合室内击实试验, 研究影响黄土灰土地基质量的各种因素并作定量分析, 结合工程实际在同一工地工程现场进行了各项碾压过程的施工工艺试验, 包括铺土厚度、碾压次数、碾压间隔历时的影响等试验。

2 结果与分析

2 1 黄土灰土的性质

灰土的造价低廉, 且灰土地基对湿陷性黄土有很好的加固作用。这可以从石灰对湿陷性黄土物理力学性质的改善中窥见一斑。

2 1 1 灰土的密度 土粒的密度是土中各种矿物成分的密度平均值。其大小与土粒的矿物组成直接相关。在灰土组成中, 由于灰的密度小于土粒, 随着含灰量的增加, 灰土的密度逐渐减小。试验结果(见

表 2)证明了这一点, 并且灰土的含灰量与密度呈一定的线性关系(图 1)。

表 2 土样击实试验结果

Table 2 The result of the compaction test of the sample soil

土样 The composition of the soil sample	含水量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Water content	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) Density	干密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) Dry density
土 Soil	217.0	-	-
石灰 Lime	0	-	-
3 7 灰土 Lime-soil	167.0	1.77	1.52
2 8 灰土 Lime-soil	182.0	1.85	1.57
1 9 灰土 Lime-soil	195.0	1.94	1.62

2 1 2 灰土的界限含水量 将熟石灰与土均匀混合后, 因熟石灰的主要成分为极细的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粉末, 使土中的细颗粒增加, 比表面积相应的增大, 土粒的吸附作用增强, 使灰土的液限、塑限变大, 但液限含水量较塑限含水量增加缓慢, 故相应的塑性指数减小(见图 2)。

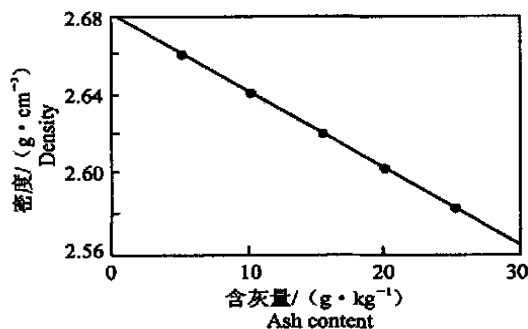


图 1 含灰量与密度关系

Fig 1 The relationship between ash content and relative density

2 1 3 灰土的渗透性 一般而言, 黄土地基透水性越强, 其变形越大, 稳定性越差。当在湿陷性黄土中加入石灰后, 土中细粒物质增加, 降低了土粒的孔隙比。同时, 由于颗粒细小, 水的流通孔道也较小, 水流受到的粘滞力较强, 流速缓慢, 使灰土地基的透水性减小。如图 3 所示, 在保持含水量和密度不变时, 灰土的透水性随着含灰量的增大而在一定范围内减弱, 十分有利于地基的稳定。

2 1 4 灰土的压缩性及湿陷性 湿陷性黄土中加入石灰后, 提高了土的强度, 降低了土的压缩性(图 4)。并且由于石灰的加入改变了土的孔隙状况, 减小了孔隙率, 改善了土粒周围的物理化学环境, 可以减

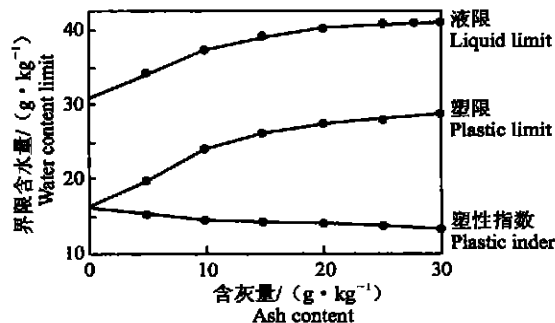


图 2 界限含水量与含灰量关系

Fig 2 The relationship between H_2O content limit and ash content

弱甚至消除湿陷性。压缩试验结果(见表 3)表明, 消除湿陷的最低含灰量为 100 g/kg 。

2 1 5 灰土的抗剪强度 土的抗剪强度是决定地基或建筑物稳定性的关键因素。由表 4 可以看出: 一定含灰量下, 当灰土接近最优含水量时粘聚力 c 和内摩擦角 ϕ 接近峰值。当灰土体积比为 2 5 7.5 时, 达到击实最大干密度的土样抗剪强度最高^[4], 说明黄土灰土击实最佳灰土体积比为 2 5 7.5。同时, 因为含水量对粘聚力 c 和内摩擦角 ϕ 的影响亦很大(见表 5), 故 2 5 7.5 灰土按最优含水量 ($w = 189.6 \text{ g/kg}$) 进行灰土压实时, 可得到最理想的黄土地基处理效果。

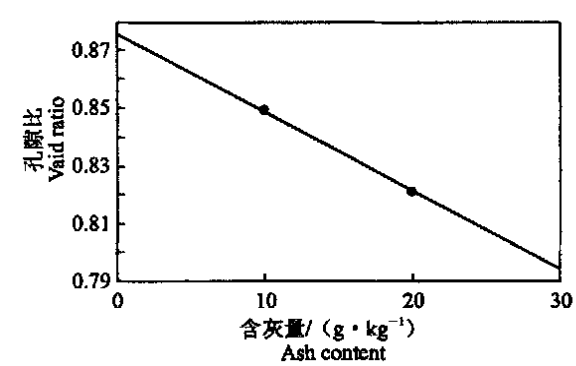


图 3 含灰量与孔隙比之间的关系
Fig 3 The relationship between ash content and void ratio

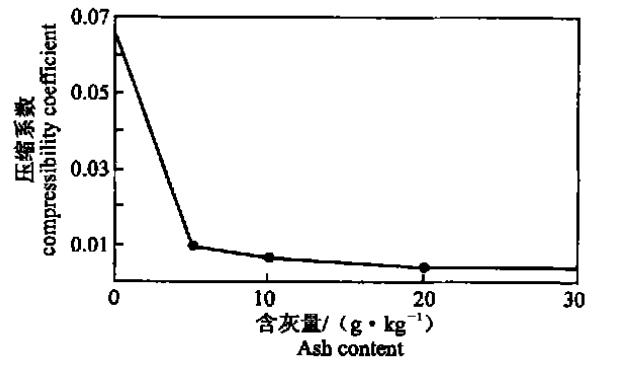


图 4 含灰量与压缩系数之间的关系
Fig 4 The relationship between ash content and compressibility coefficient

表 3 含灰量与湿陷系数之间的关系 ($w = 200 \text{ g/kg}$, $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$)
Table 3 The relationship between ash content and settlement coefficient

含灰量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Ash content	湿陷系数 Settlement coefficient	含灰量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Ash content	湿陷系数 Settlement coefficient
0	0.019 1	200	- 0.003 0
50	0.001 8	250	- 0.004 9
100	0	300	- 0.006 1
150	- 0.002 1		

表 4 不同灰土比击实最大干密度土样三轴试验结果(CU 值)
Table 4 The result of triaxial compression test on soil sample of dry density compacted at various lime-soil ratios

灰土比 Lime-soil ratio	粘聚力/kPa Cohesive force	内摩擦角 Internal friction angle	灰土比 Lime-soil ratio	粘聚力/kPa Cohesive force	内摩擦角 Internal friction angle
1 9	62.0	36.5	3 7	85.0	37.6
2 8	71.0	37.9	3 5 6 5	70.0	36.1
2 5 7.5	90.0	38.0			

表 5 2 5 7.5 灰土不同含水量击实与土体抗剪强度试验结果
Table 5 The result of shear strength test on 2 5 7.5 lime-soil compacted at various water content

含水量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Water content	粘聚力/kPa Cohesive force	内摩擦角 Internal friction angle	含水量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Water content	粘聚力/kPa Cohesive force	内摩擦角 Internal friction angle
154.0	55.5	26.0	196.0	84.0	36.0
174.4	77.0	34.0	227.3	73.0	30.0
189.6	90.0	38.0			

2.2 灰土地基施工中的质量控制

2.2.1 灰土拌合的最佳含灰量 在一定范围内,灰土的强度随灰用量的增大而提高,但当超过一定限值后,其强度增加渐缓,且有逐渐减小的趋势。这是因为当石灰含量较少时活性CaO 浓度不够,水化反应不充分,生成颗粒之间的结晶联结少,因而凝聚力小而导致强度小;当石灰含量过多时,过多的石灰未经反应而降低了颗粒之间的联结强度,因而凝聚力减小,强度亦减小^[1]。按土工试验操作规程SD- 128

- 84, 将按不同灰土比击实得出的最大击实干密度的土样制成三轴剪切试样,在三轴剪切仪上分别进行不固结不排水三轴剪切试验(见表 4)。从表 4 可以看出,黄土灰土击实的最佳灰土比为 2 5 7.5。
2.2.2 拌合灰土的最优含水量 灰土的含水量对灰土的粘聚力和内摩擦角有很大影响,从而影响到灰土的强度。按土工试验规程SD- 128- 84 对 2 5 7.5 灰土在不同含水量下进行击实土体抗剪强度试验。由表 5 可以看出,当含水量为 189.6 g/kg 时,

击实土样抗剪强度参数最高,说明 2 5 7.5 灰土的最优含水量为 189.6 g/kg。据此含水量拌合灰土可得到最理想的黄土地基处理效果。

2.2.3 灰土的虚铺厚度 灰土的虚铺厚度对于碾压质量有明显的影

响,为确定虚铺厚度(20, 23, 25, 28, 30, 32, 35 cm)用同样机械(20 t 压路机)进行碾压,分别碾压 2 遍。用环刀法取每层灰土最底部土体进行干密度测定,其结果见表 6。由表 6 可以看出,2 5 7.5 灰土的最佳铺土厚度应该为 25~ 28 cm。控制范围应为 23~ 30 cm。

表 6 铺土厚度与干密度和压实度之间的关系

Table 6 The relationship among paving earth depth and dry density and compactness					
铺土厚度/cm Paving earth thickness	干密度/(g·cm ⁻³) Dry density	压实度 Compactness	铺土厚度/cm Paving earth thickness	干密度/(g·cm ⁻³) Dry density	压实度 Compactness
20	1.58	1.013	30	1.55	0.994
23	1.57	1.006	32	1.54	0.987
25	1.56	1.0	35	1.52	0.97
28	1.56	1.0			

2.2.4 灰土的碾压次数 灰土的碾压次数应根据设计要求的干密度进行现场试验确定。在与上述试验相同的条件下,对铺土厚度为 30 cm 的灰土层进行不同碾压次数的现场试验,结果见表 7。

表 7 不同碾压次数压实结果

Table 7 The compactness result of different roller compaction times

碾压次数 Roller compaction times	干密度/(g·cm ⁻³) Dry density	碾压次数 Roller compaction times	干密度/(g·cm ⁻³) Dry density
1	1.54	3	1.57
2	1.56	4	1.57

从表 7 可以看出,2 5 7.5 灰土地基的碾压次数不能少于 2 次,超过 3 次后再增加碾压次数,压实效果提高不明显;而且过多的碾压次数还有可能破坏灰土固化,不利于保证工程质量。

2.2.5 灰土碾压间隔历时 碾压间隔历时是指两次碾压之间的间隔时间。用相同的 2 5 7.5 灰土,相同的碾压机械,将同层灰土碾压 2 次,但灰土的碾压间隔历时不相同,则碾压质量也不同。结果见表 8。

表 8 不同间隔时间的碾压结果

Table 8 The roller compaction result of different interval time(Construction in late autumn and early winter)

施工时间 Construction time	碾压间隔 历时/min Time of compaction	干密度/(g·cm ⁻³) Dry density	压实度 Compactness	施工时间 Construction time	碾压间隔 历时/min Time of compaction	干密度/(g·cm ⁻³) Dry density	压实度 Compactness
春夏季 Spring and summer	10	1.54	0.98	深秋初冬 Late autumn and early winter	10	1.54	0.97
	20	1.56	0.99		30	1.55	0.98
	30	1.57	1.00		60	1.57	1.00
	40	1.56	0.99		90	1.56	0.99
	50	1.54	0.98		120	1.54	0.97
	60	1.52	0.97				
	90	1.50	0.95				

从表 8 可见,2 次碾压间的时间间隔对碾压效果有显著影响。试验结果表明,2 5 7.5 灰土的合理间隔时间在深秋初冬季节为 60 min 左右,在春夏季节为 30 min 左右。分析其原因是因为土体中的毛细作用对灰土压实有很重要的影响,而时间间隔的长短影响到土体中毛细作用的生成和发展。时间间隔过短不利于毛细水充分迁移,时间间隔过长又会

使毛细水过量上升到土体表面而蒸发,不利于土体压实。同时,随着间隔时间的增加,土体灰土会因相互促进作用而固化。所以必须控制碾压间隔时间,使土体中毛细水充分迁移,均匀分布于土体中,并且使灰土间形成新的土体结构而又未达固化为佳。

3 结 论

1) 黄土灰土处理地基最佳灰土比为 2 5 7.5,

而25~75灰土的最佳含水量为18.96 g/kg, 在施工过程中, 控制灰土拌合达到最佳含灰量和最优含水量, 可取得最佳的地基处理效果。

2) 黄土灰土分层碾压的虚铺厚度为23~30 cm, 其最佳虚铺厚度为25~28 cm。

3) 黄土灰土同层碾压次数以2~3次为宜, 为保证取得理想的地基处理效果, 其碾压间隔时间应为30~60 min。

4) 黄土灰土施工环境温度最好为-1~28℃。当气温不低于-9℃, 冻结历时不超过6 h, 黄土灰土含水量小于等于130 g/kg时, 土体压实质量不受冻结的影响^[5]。

5) 黄土灰土地基碾压质量的评价不仅需测定干密度, 还必须测定其灰土比, 以满足工程质量要求, 含灰量的测定方法可通过测定、分析其密度来确定。

[参考文献]

- [1] 杨志强, 郭见扬. 石灰处理土的物理力学性质及其微观机理的研究[J]. 岩土力学, 1991, 12(3): 11-23.
- [2] 薛水鱼. 湿陷性黄土地基的加固处理[J]. 地基基础工程, 1999, (4): 61-67.
- [3] 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: 306-311.
- [4] 董玉文, 张伯平, 唐林. 黄土灰土的击实性与抗剪性试验研究[J]. 西北水资源与工程, 2001, (1): 62-64.
- [5] 张伯平, 陈友富, 董玉文, 等. 黄土灰土地基冬季施工的冻结效应[J]. 岩土工程学报, 2000, (5): 625-627.

Preliminary study of quality control indexes of lime-soil foundation

HU Sheng-xia¹, ZHANG Bo-ping¹, LU Ting-bo²

(1 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Department of Water and Electricity Power Engineering, Gansu University of Agriculture, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Test is carried out to study the physical and mechanical property of lime-loess soil and the significance of quality control during the construction of lime-loess foundations. The effects of various factors are analyzed and the result indicates: the water content of soil, the ash content, the lime-loess' virtual paving depth, the process of roller compaction and the interval duration of roller compaction in the construction have certain effects on the construction quality. The lime-loess' optimum water content and optimum ash content are determined. Based on that, the quality control system and the efficient measure to keep the quality of lime-loess foundation are presented.

Key words: lime-loess foundation; quality control; optimum ash content; virtual paving depth; times of roller compaction; interval duration of roller compaction