

客运专线黄土路基填料石灰改良试验研究

王悦

(西南科技大学环境与资源学院,四川 绵阳 621010)

摘 要:基于高速铁路对路基强度和工后沉降的严格要求,路基填料改良已成为黄土地区修建客运专线必须解决的关键技术问题。通过大量土工试验及理论分析,研究不同配合比下石灰改良黄土的物理力学性质、击实特性、压缩特性、强度特性及主要影响因素,确定出最佳石灰配合比,为黄土地区客运专线路基填料的选择和应用提供了参考依据。

关键词:客运专线;黄土;石灰改良土;路基填料

中图分类号:TB115

文献标志码:A

引 言

随着我国铁道部“四纵四横”路网规划的逐步实施,在黄土地区修建客运专线的项目不断展开。黄土作为一种特殊土,大孔隙发育,具有湿陷性、渗透性、易崩解和水稳定性差等特性^[1],容易造成路基的不均匀沉降,从而降低路基强度、破坏路基稳定性、造成行车不平顺。黄土属于 C 组填料,不符合客运专线路基基床填料的要求。在优质填料十分缺乏的情况下,为了节约资源、保护环境、降低经费,可以扩大可用填料范围或将不合格填料经过改良使其成为合格填料^[2]。路基填料工程性质的好坏直接关系到填土路基质量,为了满足客运专线对路基强度刚度、稳定性和工后沉降的严格要求,采用对黄土填料改良的方法来提高地基承载力并消除湿陷性。

近年来,国内对铁路路基填料改良技术进行了许多研究。丁庭^[3]利用直剪试验和无侧限抗压强度试验讨论了高速铁路路基改良填料的现场试验情况;EtsuoS^[4]等通过室内静、动载试验,研究了石灰稳定土的基本特性及重复荷载下的耐久性;GuneyY^[5]等研究了干湿循环对石灰改良土膨胀力的影响;倪军^[6]结合秦沈客运专线工程实际,进行了水泥土、石灰土和石灰粉煤灰土的物

理力学特性试验,提出了满足高速铁路要求的各改良土的最佳配合比;阮波^[7]等通过试验研究了全风化泥质粉砂岩及其用石灰改良的相关物理力学特性,发现改良土的力学强度及水理性得到较大提高,能满足客运专线路基填料要求。本文通过对四种不同配合比的石灰改良黄土分别进行力学特性试验,研究其静态的特性规律,得出最佳配合比,为湿陷性黄土地区路基填料改良和处理提供参考依据。

1 试验内容

1.1 试验材料

试验所用湿陷性黄土取自郑西客运专线灵宝市,为晚更新世(Q₃)黄土状粉土,土体结构疏松,大孔发育,土质较均匀。压缩系数在 0.34~0.55 MPa⁻¹之间变化,属于高压缩性黄土,湿陷系数为 0.028,为Ⅲ级中湿陷性黄土地基,水稳定性极差,无侧限抗压强度很低,不符合客运专线路基填料要求,需进行改良。其物理性质指标见表 1。

试验所用石灰系从石灰场购置最新生产的消石灰,根据 JCIT481-92 标准,产品质量符合钙质消石灰粉合格产品规格要求,消石灰性能试验结果见表 2。

表1 试验土样的物理性质指标

$\omega/\%$	比重 d_s	天然密度 g/cm^3	e_0	压缩系数 MPa^{-1}	$\omega_L/\%$	$\omega_p/\%$	I_p	无侧限抗压 强度/kPa	$\varphi/(^\circ)$	c/kPa
10.4	2.7	1.49	1.001	0.55	24.1	15.6	8.5	30.63	9.85	29.20

表2 消石灰性能试验

项目(允许偏差)	试验结果
有效钙+氯化镁含量($\geq 60\%$)	62.9%
含水率(0.34)	0.35
0.90mm方孔筛的筛余量($\leq 0.5\%$)	0.15
0.12mm方孔筛的累积筛余量($\geq 15\%$)	9.5

1.2 试验方法

试验根据研究内容,严格按照《铁路工程土工试验规程》(TB10102-2004)、《公路工程无机结合料稳定土试验规程》JTJ057-94和《建筑石灰试验方法》GB1595-79进行的。本方法采用化学改良,分别对原状黄土、扰动黄土以及改良土物理力学特性进行了试验,改良土中石灰的掺量为7%(质量比)、9%、11%、13%。

1.2.1 重型击实试验

为了提高路基填料强度,降低沉降变形,在施工时必须对黄土填料进行压实。而土样的最大干密度和最优含水量是填料压实的质量控制标准,因此采用重型击实仪进行室内击实试验。

将四种不同配合比的改良土按照五种不同含水量拌合均匀,静置30分钟后,再将五种不同含水量的土样,分五次放入击实筒内,每层用重4.5kg的击锤,提高到45.7cm高处自由降落,均匀夯实,每层夯击56次。然后测得五种含水量对应的干密度,绘制击实曲线,以求得最大干密度和最优含水量。

1.2.2 无侧限抗压强度试验

无侧限抗压强度是反映石灰改良土物理力学特性和水稳性的重要指标,其大小直接影响到路基填料的路用性能,因此采用三轴剪切试验仪测定在无侧限条件下黄土抵抗垂直压力的极限强度。将四种不同配合比的改良土制成直径为15cm,高15cm的圆柱状试样(每组6个),密度为最大干密度的95%,按最优含水量配置,在三轴仪上以一定的速率加荷,分别测试标准养护7d、14d、28d的无侧限抗压强度,绘制不同掺合比、不同龄期与石灰改良土强度关系曲线。

1.2.3 干湿循环试验

试验采用真空罐饱和法,将试件做成60mm×60mm的试件,每组2个试件共5组,在标准养护28d后,将无侧限试件分两层均匀放入真空饱水罐内,启动真空饱水罐,负压可调至-80MPa。根据各掺量试件饱水95%时的质量确定饱水时间,经反复试验称量,饱水8~10小时可达到要求。最后将其放在通风背阴的室内自然风干,直至恢复制件时的质量,完成一个干湿循环。试验中需分别完成饱和和风干五个循环,最终测定四种不同水灰比试件进行不同次数干湿循环后的无侧限抗压强度见表3,并绘制石灰改良土循环次数与无侧限抗压强度关系曲线。

1.2.4 固结试验

将四种不同配合比的改良土采用击实试验所得最优含水量制成压实系数为0.95的试样(每组3个),试样面积为30cm²,高2cm,采用单向固结仪。试验分50KPa、100KPa、200KPa三级加荷,使试样在侧向不变形的条件下,受竖向力作用,测得最终压缩系数和压缩模量。

2 试验特性

2.1 击实特性

由图1可以看出,在相同配合比的情况下干密度随着含水率的增大而增大,达到最大干密度后又逐渐减少。这是因为锤击使得土中空气自孔隙中逸出,土颗粒得到重新排列,随着含水量的不同排列也在变化,达到最大干密度和相应的含水量之后,击实作用大部分被水分所承担,土颗粒上的有效应力变小,此时干密度随着含水量的增加而减小。在相同含水率的情况下,干密度随着掺入质量比的增加而减小。

由图2可以看出,加入石灰后,改良土的最大干密度较黄土的小,并随着石灰掺入质量比的增加逐渐减小,而最优含水量则逐渐增加,其变化量与石灰掺入量

表3 干湿循环试验结果

石灰掺量	0	1	强度损失 率%	2	强度损失 率%	3	强度损失 率%	4	强度损失 率%	5	强度损失 率%
7%	2.12	2.07	2.36	1.78	16.03	1.58	25.47	1.46	31.13	1.28	39.62
9%	1.99	1.82	8.54	1.74	12.56	1.63	18.09	1.44	27.64	1.45	27.14
11%	1.94	1.93	0.52	1.90	2.06	1.82	6.19	1.68	13.40	1.46	24.74
13%	1.86	1.71	8.06	1.70	8.60	1.64	11.83	1.35	27.42	1.34	27.96

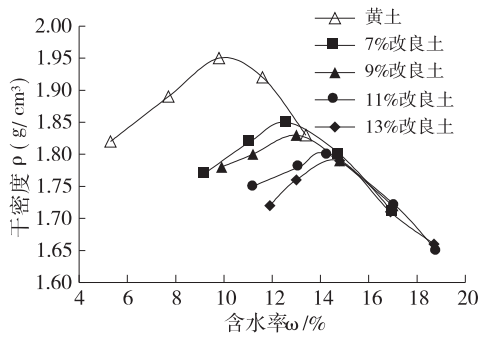


图 1 黄土及石灰改良土的击实曲线

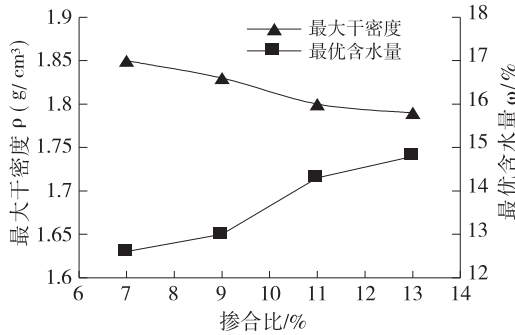


图 2 石灰改良土的击实特性与掺合比的关系

基本呈线性关系。其原因是加入石灰的容重较黄土的小,且石灰与黄土中矿物成分发生物理化学反应所需的水量不断增多。

2.2 强度特性

2.2.1 掺合比对石灰改良土强度的影响特性

由图 3 可以看出,黄土经石灰改良后抗压强度明显提高,同一掺合比条件下,无侧限抗压强度随着养护龄期的增加而增大,且养护后期的强度增长值较前期大。养护 7 d 的无侧限强度都大于 500 KPa。据日本学者研究,土质改良后的无侧限抗压强度如大于 500 KPa,则在水稳定性和动力稳定性方面均可满足要求^[8]。文献[9]指出当养护龄期超过 28 d 时,改良土强度仍有较大提高,所以石灰改良黄土的后期强度增长的潜力较大,甚至可达 8~10 年。

2.2.2 龄期对石灰改良土强度的影响特性

由图 4 可以看出,同一龄期条件下,不同掺合比的无侧限抗压强度离散性较小,强度随着掺合比的增大呈先减小后增大趋势,个别数据有起伏,因此,石灰改良土强度存在最佳水灰比,本次试验建议采用值为 11% 石灰掺量。

由干湿循环试验结果表 3 和图 5 可以看出,在压实系数为 0.95 的情况下,随着干湿循环次数的增加,四种不同水灰比石灰改良土无侧限抗压强度均呈减小趋势,

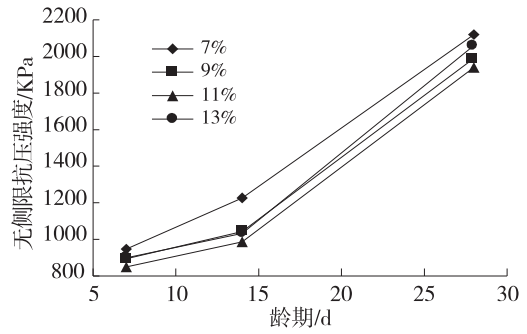


图 3 石灰改良土无侧限抗压强度与龄期的关系曲线

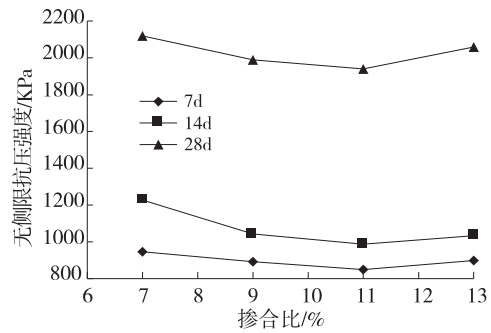


图 4 石灰改良土无侧限抗压强度与掺合比的关系曲线

但较扰动黄土有所增大。随着水灰比的增大,干湿循环后石灰改良土无侧限抗压强度呈先增大后减少趋势,这说明石灰改良土存在一最佳配合比。本试验中 11% 的石灰改良土强度损失最少,水稳定性最好。这是因为当石灰含量较低时,石灰主要起稳定作用,土的塑性开始降低,初步具有水稳性,同时强度也得到稳定。但当其含量过多时将沉积在孔隙内而不参加反应,导致孔隙比增加,此时石灰改良土的稳定性和强度反而降低。

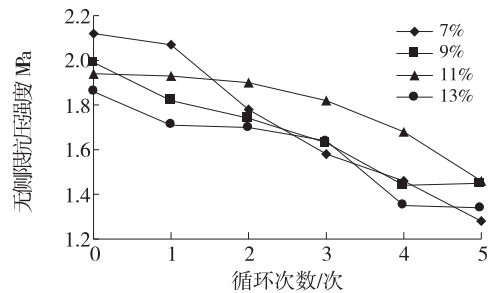


图 5 干湿循环次数与无侧限抗压强度关系曲线

2.3 压缩特性

经过不同配合比的石灰改良后,所有压缩系数均小于 0.1 MPa⁻¹,属于低压缩性土,较扰动土的压缩系数(0.087 MPa⁻¹)有所降低(表 4),压缩性能得到改善,同时还可以减小土的孔隙率,减弱黄土的湿陷性^[10]。即在实际工程中土样发生压缩变形会减小,因此在客运专线长期运营中,路基变形能得到一定控制,有效提高了工

程的质量和安全性,所以石灰改良土的方法是可行的。

表4 石灰改良土压缩系数和压缩模量

物理指标	7%石灰改良土	9%石灰改良土	11%石灰改良土	13%石灰改良土
压缩系数/ MPa^{-1}	0.05	0.06	0.04	0.07
压缩模量/ MPa	29.31	22.63	30.89	21.58

3 结论

(1)黄土不能直接作为路基基床底层填料。

(2)随着掺入量的增加,石灰改良土的最大干密度逐渐减小,较黄土的小,而最优含水量逐渐增大,其变化量与掺入量基本呈线性关系。

(3)石灰改良土在一定压实度下,压缩系数均小于 0.1 MPa^{-1} ,属于低压缩性土,压缩性能得到改善。

(4)在压实系数0.95的情况下,石灰改良土无侧限抗压强度随着龄期的增加而增大,随着掺合比的增大呈先减小后增大趋势,说明石灰改良土强度存在最佳配合比。干湿循环后,随着水灰比的增大,石灰改良土强度呈先增大后减小趋势,其中11%改良土强度损失最少,水稳定性最好。因此本次试验建议采用11%的石灰掺量。

参考文献:

[1] 乔平定,李增钧.黄土地区工程地质[M].北京:水利电力出版社,1990.

[2] 屈晓辉,崔俊杰.客运专线铁路路基设计技术北京[M].北京:人民交通出版社,2008.

[3] 丁庭,周锡九,史培新.高速铁路路堤改良填料现场试验研究[J].北方交通大学报,2000,24(1):59-63.

[4] Etsuo S, Katsumi M. Study on properties of road bed chemically stabilized [J]. Railway Technical Research Institute Report, 1993, 7(10):55-62.

[5] Guney Y, Sari D, Cetin M. Impact of cyclic wetting-drying on swelling behavior of lime-stabilized soil [J]. Building and Environment, 2007, (42):681-688.

[6] 倪军,王德晓,张保俭.高速铁路路基改良填料的工程特性试验研究[J].石家庄铁道学院学报,2001,14(增):11-13.

[7] 阮波,张向京.武广客运专线路基改良填料的试验研究[J].铁道科学与工程学报,2008,5(1):55-66.

[8] 王澄.路基填料的改良及其在秦沈客运专线的應用[D].成都:西南交通大学,2001.

[9] 韩文斌,王元汉.京沪高速铁路路基基床填料改良试验研究[J].岩石力学与工程学报,2001,20(增):1910-1916.

[10] 杨广庆,荀国利.高速铁路路基改良土的有关问题[J].铁道标准设计,2003(5):15-16.

Experimental Study on Lime Improved Loess for Roadbed Filling of Passenger Special Lines

WANG Yue

(College of Environment and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: Since high-speed railways have strict requirements to roadbed strength and post-construction settlement, improving roadbed filling has become the key technical problem to be solved in respect of passenger special lines built in loess area. Through many soil laboratory and theory analysis, with the different ratio of lime improved Loess, the physical and mechanical properties, compressibility, strength characteristics and the main influence factors are studied. Finally, the best lime mixture ratio is determined. This gives reference to choice and application of roadbed filling for passenger special lines in the loess region.

Key words: passenger special lines; loess; lime-improved loess; roadbed filling