

道路复合稳定土应用技术标准

征求意见稿

吉林省松原市交通运输局

2016 年 12 月

前 言

根据中国工程建设标准化协会“建标协字[2015]044 号”文关于《2015 年第一批工程建设协会标准制定、修订计划》通知的要求，由吉林松原市交通运输局承担《道路复合稳定土应用技术标准》的制定工作。

编写人员在总结道路复合稳定土十余年来的施工技术和相关科研成果的基础上，经归纳总结、剔粗取精，广泛征求国内专家和学者的意见，以完善和提升新型筑路材料土质固化剂及其复合稳定土为核心，以修建高质量、耐久性强的道路为目标，同时吸收了近些年来在道路修建中混合料的研究和施工的成功经验，完成了本标准的编写工作。

本标准分为 7 章和 3 篇附录：1 总则，2 术语，3 原料和材料，4 结构层设计，5 混合料组成，6 道路复合稳定土施工，7 施工质量管理与质量检验；附录 A 土质固化剂技术指标检验方法，附录 B 材料设计参数参考资料，附录 C 本标准用词说明。

请各有关单位在使用过程中，将发现的问题和意见，函告本标准日常管理组。联系人：李剑峰（地址：长春市高新区繁荣路 5299 号；邮编：130012；电话：13610748181；传真：0431-81872963；电子邮箱：13610748181@139.com），以便修订时参考。

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 原料和材料.....	4
3.1 一般规定.....	4
3.2 土质固化剂.....	4
3.3 水泥	5
3.4 石灰	5
3.5 粉煤灰	6
3.6 土	6
3.7 水	7
4 结构层设计	8
4.1 一般规定.....	8
4.2 结构层设计要求.....	8
5 混合料组成.....	10
5.1 一般规定	10
5.2 材料试验	11
5.3 复合稳定土的强度	11
5.4 强度试验及计算.....	13
5.5 结合料的计算和掺加范围	15
6 道路复合稳定土施工	17
6.1 一般规定	17
6.2 路拌法	19
6.3 集中厂拌法	25
6.4 碾压	28
6.5 养生	30
7 施工质量管理与质量检验.....	32
7.1 一般规定.....	32

7.2 铺筑试验路.....	32
7.3 施工质量管理.....	33
7.4 施工质量检验	34
附录 A 土质固化剂技术指标检验方法	39
附录 B 材料设计参数参考资料.....	44
附录 C 本标准用词说明.....	45
附件 《道路复合稳定土应用技术标准》条文说明	
1 总则	46
2 术语	47
3 原料和材料.....	48
4 结构层设计	50
5 混合料组成.....	61
6 道路复合稳定土施工	64
7 施工质量管理与质量检验.....	67

1 总则

1.0.1 为适应公路等各类道路建设的需要，提高复合稳定土技术的应用水平，保证工程质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于电离子溶液类土质固化剂。

1.0.3 本标准适用于新建、改建道路工程的复合稳定土路面基层、底基层以及路基路床处理；路面基层维修工程可参照使用。

1.0.4 本标准规定了路面基层水泥复合稳定土、石灰复合稳定土和水泥石灰复合稳定土以及路床粉煤灰复合稳定土混合料的配合比设计、施工工艺和技术、质量管理要求。

1.0.5 混合料组成设计应按设计要求，选择技术经济合理的结合料类型和配合比。

1.0.6 路面垫层的技术要求、施工方法和质量管理应符合本标准对同类材料的底基层的规定。

1.0.7 复合稳定土路面基层、底基层以及路基路床的设计与施工，应进行相关的试验，并满足本标准规定的技术指标，试验方法应符合国家行业标准有关试验规程的规定。

1.0.8 本标准采用重型击实试验方法的最大干密度作为标准干密度。

1.0.9 本标准未规定的内容，应按照国家及地方行业现行的相关标准执行。

征求意见稿

2 术语

2.0.1 复合稳定土 compound stabilized soil

复合稳定土是指以经过粉碎的或原状松散的、含有一定细粒土成分的土为基本材料，用土质固化剂和石灰、水泥、粉煤灰等无机结合料按一定比例均匀掺配而形成的混合料，它是一种能够满足路用技术指标要求的半刚性材料。根据结合料的不同，复合稳定土可分为石灰复合稳定土、水泥复合稳定土、水泥石灰复合稳定土以及粉煤灰复合稳定土。

2.0.2 土质固化剂 soil stabilizer

土质固化剂是指由多种表面活性剂和多种单分子水溶性无机材料组成、能够与土颗粒发生化学交联作用的复合物溶液。土质固化剂能够改善和提高土质的技术性能。

2.0.3 无机结合料 inorganic binders

指水泥、石灰、粉煤灰及其他工业废渣。

2.0.4 最佳含水率和最大干密度 the optimum water content and the maximum dry density

当进行复合稳定土混合料击实试验时，在含水率—干密度坐标系上绘出各个对应点并连成圆滑的曲线，曲线的峰值点对应的含水率和干密度即为最佳含水率和最大干密度。其表明在最佳含水率及最佳压实效果的状态下，稳定材料所能达到的最大干密度。

2.0.5 松铺厚度和松铺系数 thickness of uncompacted layer and coefficient of loose paving material

松铺厚度是指复合稳定土混合料结构层摊铺完成后、碾压前的厚度；松铺厚度与达到规定压实度的压实厚度之比值，称为松铺系数，常精确到小数点后两位。

3 原料和材料

3.1 一般规定

3.1.1 在原料和材料的试验评定中，应随机选取具有满足现行试验规程或相关设计文件所规定的试验样本数量进行试验。

3.1.2 本标准土质固化剂为电离子溶液类土质固化剂。

3.2 土质固化剂

3.2.1 根据土的工程性质选择相适应的土质固化剂。适用不同土质的土质固化剂的指标和特征如表 3.2.1 所示。

表 3.2.1 适用于不同土质的土质固化剂的指标和特征

序号	项目内容	土的工程性质			
		适用于塑性指数 $7 \leq I_p \leq 17$ ，或细粒组土粒含量为 10%~30% 的土的固化剂	适用于塑性指数 $5 \leq I_p \leq 9$ ，或细粒组土粒含量为 8%~12% 的土的固化剂	适用于塑性指数 $I_p < 7$ ，或细粒组土粒含量小于 10% 的土的固化剂	适用于塑性指数 $I_p > 14$ ，或细粒组土粒含量大于 30% 的土的固化剂
1	pH 值	≤ 1	≥ 11	≥ 12	≤ 1
2	溶解性	完全溶解	完全溶解	完全溶解	完全溶解
3	密度 (20℃, g/cm ³)	1.24 ± 0.03	1.26 ± 0.03	1.28 ± 0.03	1.28 ± 0.03
4	固含量(%), $\geq$	34.0	33.0	32.0	42.0
5	总酸度 (NaOH, g/100g 样品)	9.5~12.5	—	—	21.0~27.
6	总碱度 (HCl, g/100g 样品)	—	7.0~9.5	7.0~9.5	—

3.3 水泥

3.3.1 普通硅酸盐水泥等都可用于复合稳定土；宜采用强度等级较低的水泥，如 32.5 级或 42.5 级水泥。

3.3.2 水泥初凝时间应大于 3h，终凝时间应在 6h 以上且小于 10h。

3.3.3 在水泥稳定材料中掺加缓凝剂或早强剂时，应对混合料进行试验验证。

3.3.4 水泥的安定性应合格；不应使用快硬水泥、早强水泥；禁用已受潮变质的水泥。

3.4 石灰

3.4.1 高速公路和一级公路用石灰应不低于Ⅱ级技术要求，二级公路用石灰应不低于Ⅲ级技术要求，三级及三级以下公路宜不低于Ⅲ级技术要求。

3.4.2 石灰技术要求应符合表 3.4.2 的规定。

表 3.4.2 消石灰技术要求

指 标		钙质消石灰			镁质消石灰			试验方法
		I	II	III	I	II	III	
有效氧化钙加氧化镁含量 (%)		≥65	≥60	≥55	≥60	≥55	≥50	T 0813
含水率 (%)		≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	T 0801
细度	0.60mm 方孔筛的筛余 (%)	0	≤1	≤1	0	≤1	≤1	T 0814
	0.15mm 方孔筛的筛余 (%)	≤13	≤20	—	≤13	≤20	—	T 0814
钙镁石灰的分类界限，氧化镁含量 (%)		≤4			>4			T 0812

注：表中“试验方法”栏为《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51) 的项目代码，下同。

3.4.3 二级以下公路使用等外石灰时，有效氧化钙含量应在 20%以上，且混合料强度应满足要求。

3.4.4 应尽量缩短石灰的存放时间；石灰在露天堆放时间较长时，应予覆盖防潮。

3.5 粉煤灰

3.5.1 粉煤灰的技术要求应符合表 3.5.1 的规定。

表 3.5.1 粉煤灰技术要求

检 测 项 目	技 术 要 求	试 验 方 法
SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 和 Fe ₂ O ₃ 总含量 (%)	>70	T 0816
烧失量 (%)	≤20	T 0817
比表面积 (%)	>2 500	T 0820
0.3mm 筛孔通过率 (%)	≥90	T 0818
0.075mm 筛孔通过率 (%)	≥70	T 0818
湿粉煤灰含水率 (%)	≤35	T 0801

3.6 土

3.6.1 塑性指数小于 12 的细粒土，以及黏土颗粒含量小于 30%的中粒土或粗粒土，宜用于水泥复合稳定土。

3.6.2 塑性指数在 9~17 范围内的细粒土，以及黏土颗粒含量大于 30%的中粒土或粗粒土，宜用于石灰复合稳定土。

3.6.3 塑性指数大于 17、液限大于 40%的土，不适合单独采用一种结合料做复合稳定土，可用水泥和石灰综合稳定。

3.6.4 硫酸盐含量超过 0.25%的土，不应用水泥稳定；硫酸盐含量超过 0.8%的土和有机质含量超过 10%的土，不宜用石灰稳定。

3.6.5 有机质含量超过 2%的土，必须先用石灰进行处理，闷料一夜后再用水泥稳定。

3.6.6 液限超过 50%的土，不宜做为复合稳定土的材料。

3.7 水

3.7.1 凡是饮用水均可用混合料的拌和和结构层的养生。

3.7.2 非饮用水用于拌和和养生应进行水质检验，技术要求应符合表 3.7.2 的规定。

表 3.7.2 非饮用水技术要求

项次	项目	技术要求	试验方法
1	pH 值	≥ 4.5	JGJ 63
2	Cl ⁻ 含量 (mg/L)	$\leq 3\,500$	
3	SO ₄ ²⁻ 含量 (mg/L)	$\leq 2\,700$	
4	碱含量 (mg/L)	$\leq 1\,500$	
5	可溶物含量 (mg/L)	$\leq 10\,000$	
6	不溶物含量 (mg/L)	$\leq 5\,000$	
7	其他杂质	不应有漂浮的油脂和泡沫及明显的颜色和异味	

4 结构层设计

4.1 一般规定

4.1.1 水泥复合稳定土适用各级公路的基层和底基层；石灰复合稳定土适用于二级及二级以下公路的基层和底基层，高速公路和一级公路的底基层；粉煤灰复合稳定土适用于路床处理。

4.1.2 复合稳定土路面基层、底基层结构设计以及路基处理设计，应贯彻因地制宜、就地取材的原则，通过对当地材料情况的调查，根据不同公路等级和交通量对基层、底基层等层次的技术要求，选择技术可靠、经济合理的结构层。

4.1.3 复合稳定土路面基层、底基层，应具有足够的强度和稳定性、较小的收缩（温缩及干缩）变形。

4.2 结构层设计要求

4.2.1 复合稳定土路面基层和底基层厚度，应根据交通量大小、材料性能以及充分发挥压实机具功能等因素确定。结构层的设计厚度不得小于 150mm。

4.2.2 在排水不良，路基经常处于潮湿、过湿状态的路段，基层或底基层可能受污染以及路基软弱的路段等，应设置垫层，所设置的垫层可采用复合稳定

土处治。

4.2.3 对于路基路床加固，根据土质、水文状况和稳定材料的来源等，经比选可采用复合稳定土材料处理。

4.2.4 在渗水材料缺乏的地区，当桥涵台背和挡土墙墙背采用细粒土填筑时，可用复合稳定土进行处治。

5 混合料组成

5.1 一般规定

5.1.1 复合稳定土无机结合料材料组成设计应包括材料检验，混合料的目标配合比设计，混合料的生产配合比设计和施工参数确定。

5.1.2 复合稳定土路面基层、底基层配合比设计，按无侧限抗压强度试验方法确定满足设计要求的配合比。

5.1.3 组成混合料的表示方法：

- 1 各种稳定材料的结合料剂量是以结合料质量占全部干燥被稳定材料质量的百分率表示；
- 2 固化剂的剂量是以固化剂质量占全部干燥被稳定材料质量的百分率表示；
- 3 复合稳定土材料的配合比一般用“(结合料:土)+固化剂(%)”表示。

5.1.4 应根据已确定使用的土的种类和性质以及所用于道路的等级和层位等，选用适宜种类的结合料和固化剂，并确定混合料配合比设计的技术标准。

5.1.5 确定复合稳定土混合料最大干密度指标时宜采用重型击实方法。

5.2 材料试验

5.2.1 对于复合稳定土混合料用土，应取有代表性的试样，进行下列试验：

- 1 颗粒分析（试验方法：T 0115）；
- 2 液限和塑性指数（试验方法：T 0118/T 0119）；
- 3 有机质含量(必要时做)（试验方法：T 0151）；
- 4 硫酸盐含量(必要时做)（试验方法：T 0153）。

5.2.2 对于水泥，应检验其强度等级和初、终凝时间及安定性。

5.2.3 对于石灰，应检验其有效氧化钙加氧化镁含量。

5.2.4 对于土质固化剂，应按表 3.2.1 规定的技术指标检验。

5.3 复合稳定土的强度

5.3.1 应采用 7d 龄期无侧限抗压强度作为无机结合料复合稳定土施工质量控制的主要指标。

5.3.2 高速公路和一级公路应验证所用材料的 7d 龄期无侧限抗压强度与 90d 或 180d 龄期弯拉强度的关系。

5.3.3 水泥复合稳定土的 7d 龄期无侧限抗压强度标准 R_d 应符合表 5.3.3 的规定。

表 5.3.3 水泥复合稳定土的 7d 龄期无侧限抗压强度标准 R_d (MPa)

结构层	公路等级	极重、特重交通	重交通	中、轻交通
基层	高速公路和一级公路	5.0~7.0	4.0~6.0	3.0~5.0
	二级及二级以下公路	4.0~6.0	3.0~5.0	2.0~4.0
底基层	高速公路和一级公路	3.0~5.0	2.5~4.5	2.0~4.0
	二级及二级以下公路	2.5~4.5	2.0~4.0	1.0~3.0

注：1. 公路等级高或交通荷载等级高或结构安全性要求高时，推荐取上限强度标准；

2. 表中强度标准指的是 7d 龄期无侧限抗压强度的代表值，本节以下各表同。

5.3.4 石灰复合稳定土的 7d 龄期无侧限抗压强度标准 R_d 应符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.4 石灰复合稳定土的 7d 龄期无侧限抗压强度标准 R_d (MPa)

结构层	高速公路和一级公路	二级及二级以下公路
基层	—	≥ 0.8
底基层	≥ 0.8	0.5~0.7

注：1. 石灰土强度达不到表 5.3.4 规定的抗压强度标准时，可添加部分水泥；

2. 二级及二级以下公路底基层，表中低限用于塑性指数小于 7 的黏性土，且低限值宜仅用于二级以下公路；高限用于塑性指数大于 7 的黏性土。

5.3.5 复合稳定土路面垫层的强度，按所用稳定的结合料确定，并符合表 5.3.3 底基层或表 5.3.4 底基层的要求。

5.3.6 复合稳定土路基路床填料的强度应满足表 5.3.6 的要求。

表 5.3.6 路基路床填料最小强度表

材料应用部位 (路床顶面以下深度) (m)		填料最小强度 (CBR) (%)		
		高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
填方路基	上路床 (0~0.30)	8	6	5
	下路床 (0.30~0.80)	5	4	3

注：1. 表列强度 CBR 试验条件应符合《公路土工试验规程》(JTG E40) 的规定；

2.当三、四级公路铺筑沥青混凝土或水泥混凝土路面时，应采用二级公路的规定值。

5.4 强度试验及计算

5.4.1 对于同一种土样，应确定 3 种不同剂量的固化剂的配合比。

5.4.2 强度试验的试件尺寸为：直径×高= $\phi 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 。17.1.2

5.4.3 确定各种混合料的最佳含水率和最大干（压实）密度。对于每种剂量的固化剂的混合料，至少应做 3 种不同剂量的结合料的混合料击实试验，即最小剂量、中间剂量和最大剂量，其他两个剂量混合料的最佳含水率和最大干密度用内插法确定。

5.4.4 按规定的压实度，分别计算不同配合比的试件应有的干密度。

5.4.5 按最佳含水率和计算得出的干密度制备试件。按要求剂量加入土质固化剂（稀释液）。在进行强度试验时，为保证试验结果的可靠性和准确性，每组试件的数目（个）要求如表 5.4.5。

表 5.4.5 平行试验的最少试件的数量

材料类型	变异系数要求	
	$\leq 10\%$	10%~15%
细粒材料	6	9

注：公称最大粒径小于 16mm 的材料。

5.4.6 试件在标准养生温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，标准养生湿度为 $\geq 95\%$ 的规定条件下，保湿养生 6d、浸水 24h 后，进行无侧限抗压强度试验。

5.4.7 试验数据整理：抗压强度保留 1 位小数；同一组试件试验中，采用 3 倍均方差方法剔除异常值，试件可以允许有 1 个异常值。异常值数量超过规定的试验应重做。

5.4.8 同一组试验的变异系数 C_v (%) $\leq 6\%$ 方为有效试验。如不能保证试验结果的变异系数小于规定值，则应按允许误差 10% 和 90% 概率重新计算所需的试件数量，增加试件数量并另做新试验。新试验结果与老试验结果一并重新进行统计评定，直到变异系数满足上述规定。

5.4.9 根据表 5.3.3 或表 5.3.4 规定的抗压强度标准，选定合适的结合料和固化剂剂量。此配合比试件室内试验结果的平均抗压强度 $\bar{R}$ 应符合下列公式的要求：

$$\bar{R} \geq \frac{R_d}{1 - Z_\alpha C_v} \quad (5.4.9)$$

式中： R_d ——设计抗压强度，见表 5.3.2 或表 5.3.3；

C_v ——试验结果的变异系数，以小数计；

Z_α ——标准正态分布表中随保证率（或置信度 α ）而变的系数，高速公路和一级公路应取保证率 95%，即 $Z_\alpha=1.645$ ；其他公路应取保证率 90%，即 $Z_\alpha=1.282$ 。

5.4.10 施工中实际采用的固化剂和结合料剂量应比室内试验确定的剂量高。固化剂可增加 0.001 个百分点；采用集中厂拌法施工时，结合料可只增加 0.5 个百分点；采用路拌法施工时，结合料宜增加 1.0 个百分点。

5.4.11 施工中的含水率以配合比设计的结果为依据，综合考虑施工过程的气候条件，对水泥稳定材料，含水率可增加 0.5~1.5 个百分点；对其他稳定材

料，可增加 1.0~2.0 个百分点。

5.5 结合料的计算和掺加范围

5.5.1 水泥稳定材料的水泥剂量应以水泥质量占全部干燥被稳定材料质量的百分率表示。

5.5.2 石灰稳定材料的石灰剂量应以石灰质量占全部干燥被稳定材料质量的百分率表示。

5.5.3 粉煤灰稳定材料的粉煤灰剂量应以粉煤灰质量占全部干燥被稳定材料质量的百分率表示。

5.5.4 复合稳定土基层、底基层混合料配制比例范围，可参照表 5.5.4 执行。

表 5.5.4 复合稳定土基层、底基层混合料配制比例范围

复合稳定土 混合料类型	基 层		底 基 层	
	结合料含量 (%)	固化剂剂量 (%)	结合料含量 (%)	固化剂剂量 (%)
水泥复合 稳定土	水泥 3.0~8.0	0.015~0.030	水泥 3.0~6.0	0.010~0.025
石灰复合 稳定土	石灰 4.0~10.0	0.015~0.030	石灰 4.0~8.0	0.010~0.025
水泥石灰 复合稳定土	水泥 1.0~8.0 石灰 3.0~10.0	0.015~0.030	水泥 1.0~8.0 石灰 3.0~10.0	0.010~0.025

5.5.5 水泥与石灰综合稳定时，如水泥用量占结合料总量的 30%以上，应按水泥复合稳定土的技术要求进行组成设计，否则应按石灰复合稳定土的技术要求进行组成设计。

5.5.6 路基路床粉煤灰复合稳定土

- 1 路基路床粉煤灰复合稳定土粉煤灰的技术要求应符合表 3.5.1 的规定。
- 2 在路基路床复合稳定土的应用中，确定粉煤灰复合稳定土混合料的常用配合比如表 5.5.6。

表 5.5.6 路基路床粉煤灰复合稳定土混合料常用配合比

材 料 名 称	粉 煤 灰 (%)	土 (%)	固 化 剂 (%)
配 制 比 例	3.0	97.0	0.015~0.020

6 道路复合稳定土施工

6.1 一般规定

6.1.1 路面基层、底基层复合稳定土施工可采用路拌法或集中厂拌法。

6.1.2 路基路床粉煤灰复合稳定土可采用路拌法施工。

6.1.3 对于三级及三级以下公路，可采用稳定土拌和机或其他拌和机具路拌法施工；对于二级公路，应使用专用的稳定土拌和机或使用集中拌和法制备混合料；在高速公路和一级公路上进行施工，必须采用集中厂拌法制备混合料，并用摊铺机摊铺。

6.1.4 道路复合稳定土宜在春末和夏秋气温较高季节施工。道路复合稳定土施工期的日最低气温应在 5°C 以上；在有冰冻的地区，应在第一次重冰冻（ $-3\sim-5^{\circ}\text{C}$ ）到来的半个月至一个月之前结束施工。

6.1.5 复合稳定土在雨季施工时，应注意天气变化，防止混合料遭到淋雨；遇雨时应停止拌和和摊铺，如已铺筑应快速整形、压实，无法压实时应挖除。

6.1.6 配料应准确。按规定的频度对现场的有关材料进行检测，根据现场测定的土和石灰等结合料的含水率，及时调整相关材料的用量；测定石灰有效钙、镁含量，如低于设计要求值，应调整施工配合比；控制并稳定厂拌设备的

计量装置。

6.1.7 土块尽可能粉碎，细粒土最大颗粒不应大于 15mm。粉土、黏土或砂土应处于松散可拌状态，否则应晾干或筛除土块；如黏质土结块严重，应撒布石灰充分闷料后进行破碎。

6.1.8 应严格控制施工层面的厚度和高程，路拱横坡应与面层一致。

6.1.9 必须采取措施防止表面水透入基层，在复合稳定土路面基层上设下封层；同时采取相应的技术措施加强基层与沥青面层的联结，在基层上设置透层沥青。

6.1.10 当施工中断、临时开放交通时，应采取保护措施，避免施工层面遭到破坏。

6.2 路拌法

6.2.1 复合稳定土路拌法施工，通常应用的方法为层铺路拌法，其方法是在准备施工的路段上，将土和结合料就地逐层摊铺，用路拌机、其他机械或人工就地拌和，形成混合料结构层。

6.2.2 采用路拌法施工时，结合料摊铺和拌和都要做到均匀。摊铺完后，表面应没有空白部位，也没有过分集中的部位；拌和后的混合料应颜色一致，没有灰条、灰团和花面。

6.2.3 路拌法施工拌和结束时，应及时检测含水率。含水率宜略大于最佳值，如不足时，宜用喷管式洒水车补充。

6.2.4 石灰复合稳定土层铺路拌法施工

1 石灰复合稳定土层铺路拌法施工工艺流程按图 6.2.2 的顺序进行。

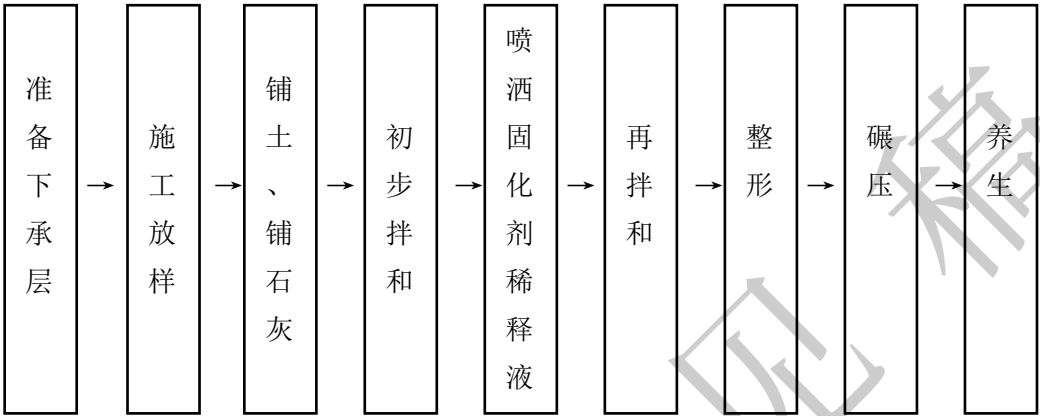


图 6.2.2 石灰复合稳定土层铺路拌法施工工艺流程图

2 准备下承层

1) 当复合稳定土用做基层时，要准备底基层；当复合稳定土用做老路面的加强层时，要准备老路面；当复合稳定土用做底基层时，要准备土基。

2) 复合稳定土混合料铺筑前，应对下承层的弯沉值(强度)、压实度以及高程、平整度和横坡度进行检测，检查有无坑槽、搓板、裂缝与局部松散等不足之处，如不符合要求，应针对不同情况进行处理。

3) 在培有路肩或槽式断面的路段，两侧路肩上每隔一定距离（可为 5~10m）交错开挖泄水沟（或做砂石渗沟），以利排水。

3 施工放样

1) 在底基层或老路面或土基上恢复中线，直线段每 15~ 20m 设一桩，曲线段每 10~ 15m 设一桩。

2) 在两侧路肩边缘外钉设指示桩，以供挂线控制铺筑界限、标记厚度和高程。

4 摊铺土

1) 复合稳定土基层、底基层用土应先行运到施工路段进行摊铺；在运到路段前，必须经检验合格。

2) 当土的平均含水率接近或高于最佳含水率时，应进行晾晒降低含水率，以满足喷洒固化剂稀释液的施工条件。

3) 摊铺前，应通过试验试铺确定土的松铺系数，根据计算的用量，等距离、均匀地将土堆置于下承层上。每车运土量接近相等。

4) 摊铺时，可根据铺筑厚度、进度要求、机械设备条件，选择平地机、推土机或其他可行的方法。

5) 摊铺表面应力求平整，并有规定的路拱横坡。

5 摊铺石灰

1) 运到铺筑现场的石灰必须是经过消解并检验合格的消石灰，粒径不大于10mm。

2) 计算出每平方米所需石灰的质量，根据每车所运石灰数量和石灰的松方重度，计算出一车石灰所铺面积；在已摊铺完成的土层上，按标划出的段落或格线卸料。

3) 石灰宜用人工定量、均匀地撒布、摊铺。

4) 摊铺时，应随时检查并与设计用量核对，如用量不足，则立即加以补充。

5) 雨天不应摊铺石灰，对已摊铺的应快速拌和压实或待雨后晾晒再拌和压实。

6 初步拌和

拌和分为初步拌和和再拌和。初步拌和可采用路拌机或其他拌和机械沿路拌和，使石灰和土充分混合。所用稳定土拌和机的选择应根据土质以及拌和厚度选择适合的机械；拌和路段长度视机械功率而定，一般为 300~500m。初步拌和 2 遍后，立即喷洒固化剂稀释液。

7 配制固化剂稀释液、喷洒固化剂稀释液

1) 固化剂稀释液喷洒及拌和应均匀; 固化剂使用前要充分摇匀, 使沉淀充分溶解。

2) 配制固化剂稀释液时, 应根据混合料的平均含水率和最佳含水率以及设计的固化剂用量来确定稀释比例, 其稀释倍数一般不小于 25 倍。可按式 (6.2.2-1) 和式 (6.2.2-2) 计算:

$$C = \frac{(w_1 - w_2)}{P} \quad (6.2.2-1)$$

$$w_2 = \frac{w_3(100 - A) + w_4 \cdot A}{100} \quad (6.2.2-2)$$

式中: C —固化剂水溶液稀释倍数;

P —固化剂剂量, %;

w_1 —复合稳定土混合料的最佳含水率, %;

w_2 —土和石灰混和后的平均含水率, %;

w_3 —土的天然含水率, %;

w_4 —石灰含水率, %;

A —石灰用量, %。

3) 喷洒固化剂稀释液。通过试喷, 检查液流的压力, 并根据用量调整车速和流量。用压力洒水车喷洒第一遍固化剂稀释液, 用拌和机械拌和 1~2 遍, 再喷洒第二遍固化剂稀释液。每遍喷洒设计用量的 50%。

8 再拌和

固化剂稀释液喷洒完毕, 应用拌和机械再拌和 2~3 遍。

要调整好拌和深度, 应达到所拌层厚的底部, 并宜深入下承层 5~10mm; 由两侧拌向中间, 每次拌和应有重叠, 相邻重叠宽度为 100~200mm。要合理确定拌和次数, 直至拌和均匀, 达到最佳含水率为止。

拌和时, 应随时检查重叠宽度和拌和深度, 避免漏拌超拌, 如有不符, 应及时调整。

9 整形

混合料拌和完成后,应根据施工条件,用平地机、推土机、人工或其他方法进行整形。整形应按设定的指示桩控制高程和边缘界限。

1) 用平地机整形,在直线及不设超高的曲线路段,应由两侧向路中线进行刮平 1~2 遍;在设有超高的曲线路段,应由低侧向高侧进行刮平 1~2 遍;用推土机快速碾压 1~2 遍,以暴露不平整状况,再按前述程序整平,直至达到要求。

2) 用推土机整形,可以整平、碾压相互进行。应由低侧向高侧进行刮平 1~2 遍,快速碾压 1~2 遍,以暴露不平整状况,再整平碾压直至达到要求。

3) 当公路等级低或工程量较小时,可用人工整形,用锹、耙将混合料摊平,用刮板或路拱板刮平;然后用推土机快速碾压 1~2 遍;再用锹、耙找平整形;最后用路拱板校正成型,初步压实。

4) 整形中,应随时检查铺筑厚度,与混合料标准压实度条件下计算的松铺厚度相核对。在局部低洼处应耙松(深入 100mm)并用补料整平;严禁利用薄层贴补的办法进行找平。

5) 为保证找平层不干燥,避免出现夹层现象,可结合找平,喷洒少量低浓度(如 1:500)的固化剂稀释液。整形工序宜在 2h 内完成。

6.2.5 水泥复合稳定土层铺路拌法施工

1 水泥复合稳定土层铺路拌法施工工艺流程按图 6.2.3 的顺序进行。

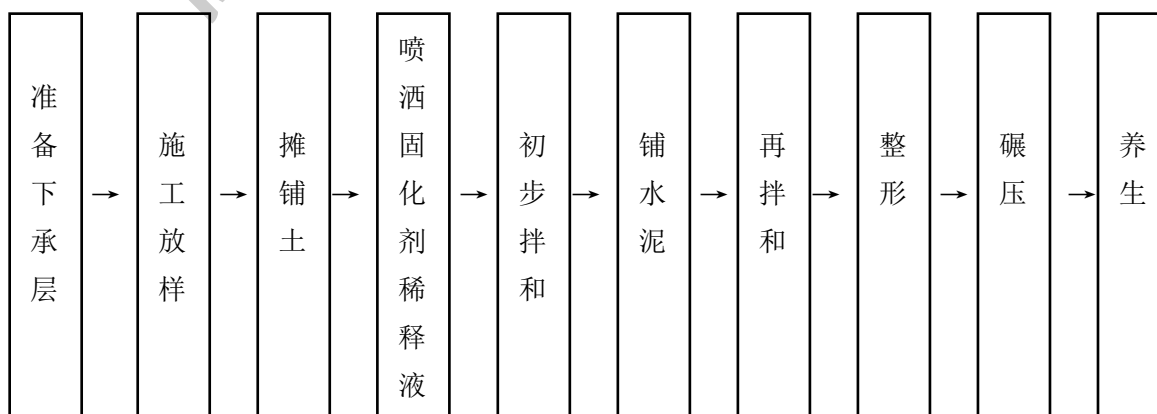


图 6.2.3 水泥复合稳定土层铺路拌法施工工艺流程图

2 准备下承层

要求同 6.2.4-2 条。

3 施工放样

要求同 6.2.4-3 条。

4 摊铺土

方法和要求同 6.2.4-4 条。

5 配制固化剂稀释液、喷洒固化剂稀释液

方法和要求参见 6.2.4-7 条。

6 初步拌和

初步拌和是使固化剂稀释液和土充分混合；初步拌和 2 遍后开始铺撒水泥。

拌和方法参见 6.2.4-6 条。

7 铺水泥

1) 计算出每袋水泥能铺的面积，按土层上标划出的段落或格线摆放水泥。

2) 应将水泥当日直接送到摊铺路段，卸在做标记的部位，并检查有无遗漏和多余。水泥运输车应有防雨设备。

3) 用刮板将水泥均匀摊铺开，注意每袋水泥的摊铺面积应相等。摊铺后，表面应无空白处，也无水泥过分集中的部位。

8 再拌和

铺撒水泥完毕，进行再拌和 2~3 遍。

拌和要求同 6.2.4-8 条。

9 整形

方法和要求同 6.2.4-9 条。

6.2.6 水泥石灰复合稳定土层铺路拌法施工

1 水泥石灰复合稳定土层铺路拌法施工工艺流程按图 6.2.6 的顺序进行。

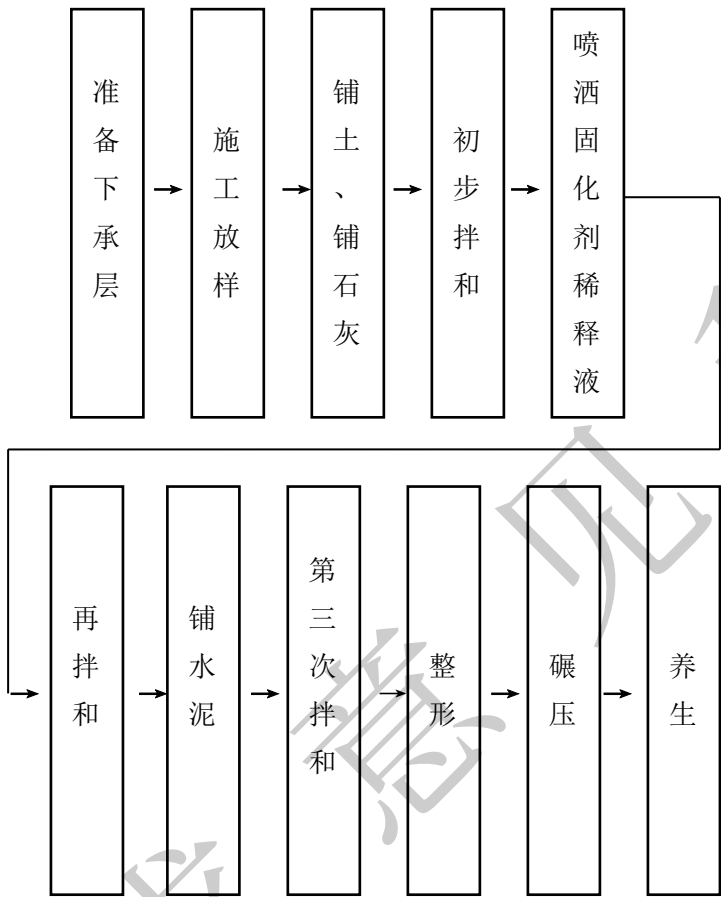


图 6.2.6 水泥石灰复合稳定土层铺路拌法施工工艺流程图

2 水泥石灰复合稳定土层铺路拌法具体施工方法和要求，结合 6.2.4 条和 6.2.5 条相关内容实施。

6.2.7 粉煤灰复合稳定土层铺路拌法施工

1 路基路床粉煤灰复合稳定土层铺路拌法施工，可参照本标准石灰复合稳定土层铺路拌法施工的工艺流程和相应办法进行。

6.3 集中厂拌法

6.3.1 一般规定

1 复合稳定土路面基层、底基层集中厂拌法施工是在专设的拌和场地，对复合稳定土混合料使用适合的稳定土拌和机械集中拌和。

2 在高速公路和一级公路上进行施工，应采用稳定土摊铺机摊铺，二级及二级以下公路也可使用平地机等进行摊铺。

6.3.2 集中厂拌法施工工艺流程按图 6.3.2 的顺序进行。

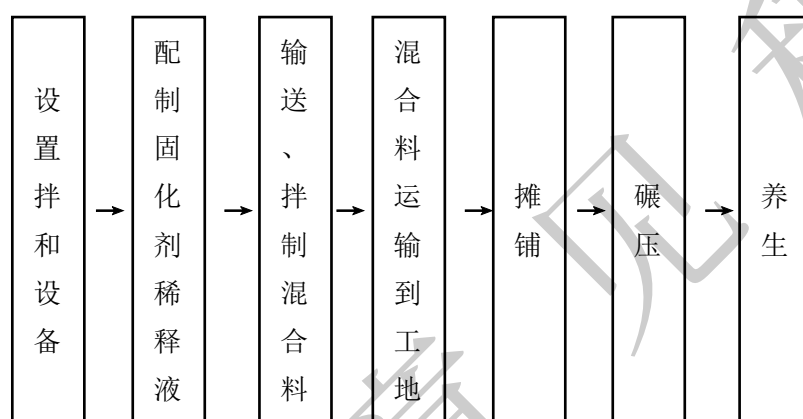


图 6.3.2 集中厂拌法施工工艺流程图

6.3.3 摊铺混合料之前，应按规定准备下承层和施工放样，具体方法和要求参照 6.2.2-2 款和 6.2.2-3 款进行。

6.3.4 设置拌和设备

1 选择与工程规模相符的拌和设备，其技术性能和额定产量应满足质量、进度要求，以保证拌和、摊铺效率。

2 厂拌机械包括拌和主机，土、水泥、石灰和固化剂稀释液的配给系统，皮带、螺旋输送系统，计量控制、混合料储存设备等全部配套完备的机组。

3 做好维护保养和操作技术培训工作。各种配料计量系统要经常测试检定，保持配料稳定；皮带给料机应安装调试准确；作业中应经常检查，发生偏差要

立即停机调正。

6.3.5 根据目标配合比确定的各档材料比例，对拌和设备进行调试和标定，确定合理的生产参数，内容包括：料斗称量精度的标定、结合料剂量的标定，拌和加水量的控制等。通过试生产，验证生产级配，指导调整施工参数；按不同固化剂和结合料剂量、含水率进行混合料试拌，并取样和试验，以确定施工中各项有关的指标和数据。

6.3.6 配制并加入固化剂稀释液或原液

1 配制并喷入固化剂稀释液

- 1) 配制固化剂稀释液，要求和方法见 6.2.4-7,2) 项内容；
- 2) 在混合料搅拌过程中，向拌缸中喷洒固化剂稀释液。

2 喷洒固化剂原液

- 1) 在拌和中，向拌和机传送带的材料上雾喷固化剂原液；
- 2) 计算最佳含水率，需要时，在拌缸中补水。

6.3.7 拌制混合料

1 对于复合稳定土路面基层、底基层混合料，应根据理论配合比确定施工配合比。

2 通过对拌和现场混合料材料含水率的测定，确定固化剂稀释液的浓度和拌缸中(水)的喷入量。

3 料斗(仓)下料开口大小合理，下料应连续均匀,不得出现堵塞现象。

4 各种材料进入拌和缸后，应拌和均匀；如出现拌和不均，应查找原因，并采取相应的技术措施，如调减给料量、检修电机或调整电机转速、更换叶桨等。

5 天气炎热或运距较远时，混合料拌和时宜适当增加含水率，含水率可高

于最佳含水率 1~2 个百分点。

6.3.8 运输

- 1 混合料应及时运至施工路段；
- 2 环境气温高时或阴雨天应加以苫盖，以防止混合料中的含水率变化。

6.3.9 摊铺

- 1 摊铺机应具有可调厚度、找平装置、可调宽度和初步压实功能。
- 2 混合料的松铺厚度应由试验路实测确定,也可参考室内试件预估,然后调整。
- 3 摊铺时应挂线控制,同时跟踪检测,做到厚度、平整度、高程、拱度横坡及宽度同时达到标准要求,如不符合应立即加以处理,重新压实;不应用人工反复修整。
- 4 分幅铺筑和分层铺筑均宜一次成型。分幅摊铺时,两台摊铺机平行作业,所铺宽度基本相当,重叠宽度 200~250mm;相距 5~20m 同步向前铺进,两幅同步碾压。分两层铺筑时,下层铺筑碾压密实、经初检合格后,应立即刮毛铺筑上层;如下层表面干燥,应洒水湿润后再铺筑。
- 5 使用平地机进行摊铺时,铺前应根据铺筑层的松铺厚度和要求达到的压实度,计算出每车混合料的可铺筑面积,料堆分成两行或一行卸在标划出段落或格线的下承层上;摊铺推运宽度不宜大于 7m,长度不宜大于 10m。平地机整平碾压后,应做到宁刮勿补。
- 6 在摊铺后、碾压前,应对低洼和高凸等部位进行整平处理。低洼处要采取挖除、补填新料的办法,重新拌和整平。
- 7 摊铺机械每天作业完毕,应认真清洗和保养,尤其和混合料接触的部件,都应保持干净。

6.4 碾压

6.4.1 应根据公路等级、压实度要求、碾压层厚度、工程量大小、工程进度计划以及混合料颗粒组成、施工现场条件等，选择合适的压实机具，并根据铺筑的试验段确定碾压工艺。

6.4.2 整形完成后，应立即用轻型压路机并配合 12t 以上压路机在结构层全宽范围内进行碾压。在直线和不设超高的曲线段，由两侧路肩向路中心碾压；在设超高的曲线段，由内侧路肩向外侧路肩进行碾压。碾压时，应重叠 1/2 轮宽，后轮必须超过两段的接缝处。后轮压完路面全宽时，即为一遍，一般需碾压 6~8 遍。压路机的碾压速度，前两遍以采用 1.5~1.7km/h 为宜，以后宜采用 2.0~2.5km/h。

6.4.3 石灰复合稳定土应在混合料处于最佳含水率或略大于最佳含水率状态时（宜增加 1.0~2.0 个百分点）进行碾压；水泥复合稳定土应在混合料处于最佳含水率或略大于最佳含水率状态时（气候炎热干燥时，可增加 0.5~1.5 个百分点）进行碾压。

6.4.4 压路机压力宜先轻后重；震动压实振幅宜先小后大；碾压行驶速度应先慢后快；运行顺序宜由低侧到高侧。

6.4.5 宜采用重型压路机，以达到最佳的压实效果。当采用 12~15t 三轮压路机碾压时，每层的压实厚度不应超过 150mm；当采用 18~20t 三轮压路机和振动压路机碾压时，每层的压实厚度不应超过 200mm；当采用振动羊足碾与三轮压路机配合碾压时，每层的压实厚度可以根据试验适当增加。当压实厚度过

大超过上述规定时，应采用分层铺筑、分层碾压的方法。下层压实达到要求后，及时铺筑上层并压实，两层碾压间隔时间不宜过长。每层的最小压实厚度为 100mm，下层宜稍厚。

6.4.6 石灰复合稳定土结构层宜在当天一次性碾压完成。水泥复合稳定土和水泥石灰复合稳定土路拌法施工时，采用流水作业法，应严密组织，尽可能缩短从铺水泥拌和到碾压终了的延迟时间，此时间不应超过 3~4h，并应短于水泥的终凝时间。采用集中厂拌法施工时，延迟时间不应超过 2h。具体延迟时间由试验（路）确定。

6.4.7 两次施工的接缝处应充分压实，铺前应将前次碾压的端部垂直挖除再衔接。

6.4.8 应将室内重型击实试验法确定的干密度作为压实度评价的标准密度。

6.4.9 复合稳定土基层压实标准应符合表 6.4.9 的规定。

表 6.4.9 复合稳定土基层材料压实标准（%）

公 路 等 级		水泥稳定材料	石灰稳定材料
高速公路和一级公路		≥98	—
二级及二级以下公路	稳定细粒材料	≥95	≥95

6.4.10 复合稳定土的底基层的压实标准应符合表 6.4.10 的规定。

表 6.4.10 复合稳定土底基层材料压实标准（%）

公 路 等 级		水泥稳定材料	石灰稳定材料
高速公路和一级公路	稳定细粒材料	≥95	≥95
二级及二级以下公路	稳定细粒材料	≥93	≥93

6.4.11 高速公路和一级公路在极重、特重交通荷载等级下，底基层的压实标准可提高 1~2 个百分点。

6.4.12 土质路基路床压实标准应符合表 6.4.12 的规定。

表 6.4.12 路基路床压实度要求表

路基部位		路面底面以下深度 (m)	压实度 (%)		
			高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
填方路基	上路床	0~0.30	≥96	≥95	≥94
	下路床	0.30~0.80	≥96	≥95	≥94

注：1. 表列压实度系按《公路土工试验规程》(JTG E40) 重型击实试验所得最大干密度求得的压实度；

2. 当三、四级公路铺筑沥青混凝土或水泥混凝土路面时，应采用二级公路的规定值；

6.4.13 压实后应表面平整、无轮迹或隆起，且断面整齐，路拱符合要求。严禁压路机在已完成的或正在碾压的路段上调头和紧急制动，以保证结构层表面不受破坏。碾压后应立即检测，若压实度不合格，应及时补压，直至合格为止。

6.5 养生

6.5.1 复合稳定土基层、底基层碾压完成后，应立即进行养生。养生期一般不少于 7d，方可进行下一层次的施工。

6.5.2 复合稳定土的养生期间应保持一定的湿度，不应过湿或忽干忽湿。应选择适当可行的养生方式。宜采用塑料薄膜覆盖养生，覆盖塑料薄膜前应先洒水湿润；可裸露洒水养生，每次洒水量以表面湿润为宜，洒水间隔时间白天

2~4h 一次，夜间 3~6h 一次。

6.5.3 秋冬气温达到 10℃ 以下时，复合稳定土材料基层、底基层宜少量或停止洒水养生；对没达到养生期的，应采用塑料薄膜其上加素土（厚度 100~200mm）覆盖，并注意维护，至次年气温达到 10℃ 以上时方可清除。

6.5.4 复合稳定土材料基层、底基层养生期内，应封闭交通，控制车辆通行。

7 施工质量管理与质量检验

7.1 一般规定

7.1.1 道路复合稳定土施工，应建立质量管理、质量检查验收制度。

7.1.2 质量管理包括所用材料的标准试验、铺筑试验段、施工过程中（工序间）的质量管理。

7.1.3 建立、健全工地试验、检查及验收制度，各项数据必须真实、可靠、完整。

7.1.4 各个工序完工后，应检查和验收；合格后，方可进行下一个工序。凡经检验不合格的部分，必须进行整改重做。

7.1.5 基层施工结束后，应清理杂物、整理现场，按规定复耕或绿化。

7.2 铺筑试验路

7.2.1 复合稳定土路面基层、底基层在正式开工之前，应铺设不少于 200m 长的试验路段，验证混合料配合比设计，确定混合料拌和、摊铺及碾压等施工方法的合理性和可行性，并检验各项质量指标所达到的水平。

7.2.2 通过试验路段验证室内复合稳定土混合料配合比设计中的各种材料比例是否适应工艺要求，并根据需要加以调整。

7.2.3 通过混合料试拌，确定所用拌和机具和拌和方法，准确控制固化剂以及结合料、土的使用数量及其含水率，以保证拌和的均匀性。

7.2.4 通过试铺对摊铺机具技术性能加以验证，复核并确定松铺系数、铺筑厚度、宽度、长度及相关机械参数。

7.2.5 通过碾压试验，对压路机械性能、参数取用，碾压方法及压实效果、效率做出评价，并根据实际情况加以改进。

7.2.6 对水泥复合稳定土基层、底基层，应通过严密组织拌和、喷洒固化剂、整形、碾压等工序来缩短延迟时间，并规定允许的拌和时间。

7.2.7 试验段完成后，应对混合料技术指标及所铺基层、底基层质量进行全面检验评定，提出改进措施。

7.2.8 试验段完成后，应写出试验报告，确定选用的施工配合比，确定使用机械的性能、参数及台数，制定出切实可行的施工方法和操作要求。

7.2.9 将试验段确定的施工参数作为施工过程中质量控制的标准。

7.3 施工质量管理

7.3.1 道路复合稳定土施工，必须建立健全工地试验室、质量检查等项制度；配备原材料、混合料以及路面基层、底基层检测等必备的试验检测仪器和设备。

7.3.2 道路复合稳定土施工必须设专职人员跟踪检测，做到项目数据齐全、真实可信。

7.3.3 道路复合稳定土各层铺筑后，均应按本标准要求检查验收；经审查批准后，方可进行上层次铺筑。对强度等指标达不到规定值的基层、底基层，应查出原因，加以处理。凡经检验不符合本标准质量标准要求的，必须采取相应的措施，最终都要达到要求。

7.4 施工质量检验

7.4.1 道路复合稳定土工程质量检验，应按《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1）中的有关规定进行。

7.4.2 道路复合稳定土质量检验包括：所用材料标准试验及施工检验；混合料配合比试验及施工均匀性检验，技术指标检验验证；试铺路段技术指标全面检验及施工中质量控制和检查验收。

7.4.3 道路复合稳定土开工前及施工过程中，必须对拟采用的材料按表 7.4.3 要求的频度进行试验。

表 7.4.3 道路复合稳定土单质材料试验项目和要求

材料名称	试 验 项 目	目 的	频 度	试 验 方 法
石灰	含水率	确定原始含水率	每天使用前测 2 个样品	T 0801/ T 0803
	有效钙、镁含量	确定石灰质量	做材料组成设计和生产使用时分别测 2 个品, 以后每月测 2 个样品	T 0811/ T 0812/ T 0813
	残渣含量	确定石灰质量	做材料组成设计和生产使用时分别测 2 个品, 以后每月测 2 个样品	T 0815
水泥	强度等级和初、终凝时间	确定水泥的质量是否适宜应用	做材料组成设计时测 1 个样品, 料源或强度等级变化时重测	T 0505/ T 0506
粉煤灰	含水率	确定原始含水率	每天使用前测 2 个样品	T 0801/ T 0803
	烧失量	确定粉煤灰是否适用	做材料组成设计前测 2 个样品	T 0817
	细度	确定粉煤灰质量	做材料组成设计前测 2 个样品	T 0818
	SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Fe ₂ O ₃ 含量	确定粉煤灰质量	每天使用前测 2 个样品	T 0816
细集料	含水率	确定原始含水率	每天使用前测 2 个样品	T 0801/ T 0803
	级配	确定级配是否符合要求, 确定材料配合比	每档材料使用前测 2 个样品, 使用过程中每 2 000m ³ 测 2 个样品	T 0327
	液限、塑限	求塑性指数, 审定是否符合规定	每种细集料使用前测 2 个样品, 使用过程中每 2 000m ³ 测 2 个样品	T 0118/ T 0119
	毛体积相对密度、吸水率	评定粒料质量, 计算固体体积率	使用前测 2 个样品, 使用过程中每 2 000m ³ 测 2 个样品	T 0328/ T 0352
	有机质和硫酸盐含量	确定是否适宜于用石灰或水泥稳定	有怀疑时做此试验	T 0151/ T 0341
固化剂	气味	确定固化剂是否适用	固化剂进场、施工过程中随时嗅察	
	色泽	确定固化剂是否适用	固化剂进场、施工过程中随时观察	
	pH 值	确定固化剂是否适用	固化剂进场, 1 次/10t; 配合比设计, 1 次/每个料源	本标准: 3.2.1 条; 附录 A
	溶解性	确定固化剂是否适用	固化剂进场, 1 次/10t; 配合比设计, 1 次/每个料源	本标准: 3.2.1 条; 附录 A
	密度	确定固化剂是否适用	固化剂进场, 1 次/10t; 配合比设计, 1 次/每个料源	本标准: 3.2.1 条; 附录 A
	固含量	确定固化剂是否适用	固化剂进场, 1 次/10t; 配合比设计, 1 次/每个料源	本标准: 3.2.1 条; 附录 A
	总酸(碱)度	确定固化剂是否适用	固化剂进场, 1 次/10t; 配合比设计, 1 次/每个料源	本标准: 3.2.1 条; 附录 A

7.4.4 道路复合稳定土铺筑前和施工过程中必须按表 7.4.4 的要求对混合料进行检测，以检查各项技术指标是否满足技术要求。

表 7.4.4 道路复合稳定土施工过程中混合料检验项目

检 验 项 目	检 验 频 度
混合料最大干密度	每个工日
混合料级配	每 2 000m ² 1 次
含水率	每 2 000m ² 1 次
结合料剂量	每 2 000m ² 1 次

7.4.5 对于复合稳定土路面基层，应钻取钻件（基层芯样）检验其整体性。取芯时龄期：水泥基层为 7~10d，石灰基层为 20~28d。宜选用直径 100mm 或 150mm 的钻头。钻孔时钻机应放平、垂直并稳定，高速钻进。

对取出的钻件，应检测其厚度和密度（压实度）。对芯样整体性和钻孔应作具体分析：

- 1 取出厚度 70%以上的芯样，表明基层已有较高强度；
- 2 取出少量厚度芯样或取不到完整芯样，应检查孔洞。如孔壁光滑坚硬，表明基层强度可以满足要求；
- 3 孔壁粗糙，较松软，表明强度不足；
- 4 没有完整的孔壁，表明没有形成强度。

上述第 1、2 类状况应为符合要求；第 3 类表明如加强养护，强度可增长；第 4 类表明，此时如已达到设定的取芯龄期，则该工程应返工重铺。

7.4.6 道路复合稳定土完工后，达到养生龄期或上一层次铺筑前必须进行全面检查，检查内容包括完工后的外形和质量两方面。检查时，应根据需要进行单项抽检，除查阅原始记录外，还应抽检实体。检查项目、频度、标准的内容见表 7.4.6。

表 7.4.6 复合稳定土路面基层、底基层检查项目和质量标准

基层类别	检查项目		频 度	质 量 标 准	
				高速和一级公路	二级及二级以下公路
基层	纵断高程 (mm)		二级及二级以下公路每 20m 1 点；高速公路和一级公路每 20m 1 个断面，每个断面 3~5 点	+5~-15	+5~-20
	压实度 (%)		6~10 处	符合标准	符合标准
	平整度 (mm)		每 200m ² 处，每处连续 10 尺 (3 米直尺)	—	10
	厚度 (mm)	均值	每 1500~2 000m ² 6 点	≥-8	≥-10
		单个值		≥-10	≥-20
	横坡度 (%)		每 100m 3 处	±0.3	±0.5
	宽度(mm)		每 40m 1 处	>0	>0
底基层	纵断高程 (mm)		二级及二级以下公路每 20m 1 点；高速公路和一级公路每 20m 1 个断面，每个断面 3~5 点	+5~-15	+5~-20
	压实度 (%)		6~10 处	符合标准	符合标准
	平整度 (mm)		每 200m ² 处，每处连续 10 尺 (3 米直尺)	≤12	≤15
	厚度 (mm)	均值	每 1500~2 000m ² 6 点	≥-10	≥-12
		单个值		≥-25	≥-30
	宽度 (mm)		每 40m 1 处	+5, -15	+5, -20
	横坡度 (%)		每 100m 3 处	±0.3	±0.5
	水泥或石灰剂量 (%)		3~6 处	设计值	设计值

注：1 压实度的极限低值为：标准值-4.0%；

2 水泥或石灰剂量的极限低值为：水泥设计值-1.0%；石灰设计值-2.0%。

7.4.7 抗压强度检查评定时，应对施工试件按式(5.4.9)计算方法评定。其他项目应同时检查施工记录与抽检，确认记录正确后，综合评定。施工检查记录不足或不可信时，应以实测为准。

附录 A 土质固化剂技术指标检验方法

A.1 适用范围

本试验方法适用于电离子溶液类土质固化剂。

A.2 仪器与试剂

A.2.1 仪器

A.2.1.1 烘箱：0℃~300℃, 1 台。

A.2.1.2 分析天平：量程不小于 50g，感量 0.0001g，1 台。

A.2.1.3 SX₂-5-12 型箱式电阻炉：1 台。

A.2.1.4 烧杯：100mL，5 个。

A.2.1.5 滴定管：碱性 50mL 1 支；酸性 50 mL 1 支。

A.2.1.6 三角烧瓶：100mL，6 个；250mL，6 个。

A.2.1.7 容量瓶：1000mL，2 个。

A.2.1.8 称量瓶：φ 50 mm×30 mm，1 个。

A.2.1.9 移液管：25 mL，1 支。

A.2.2 试剂

A.2.2.1 基准试剂：无水碳酸钠 (Na₂CO₃)，1 瓶。

A.2.2.2 分析纯：盐酸 (HCl)，1 瓶。

A.2.2.3 分析纯：氢氧化钠 (NaOH)，1 瓶。

A.2.2.4 酚酞指示剂(0.1%)：1 瓶。

A.2.2.5 蒸馏水。

A.2.2.6 甲基红-次甲基蓝混合液指示剂(0.2%): 1 瓶。

A.2.2.7 甲基橙指示剂(0.05%): 1 瓶。

A.3 标准溶液的配制和标定

A.3.1 盐酸 (HCl) 标准溶液的配制和标定

A.3.1.1 配制方法

盐酸 (HCl) 标准溶液 0.2mol/L 的配制: 量取分析纯浓盐酸 (HCl) 18mL, 注入 1000mL 水中, 摇匀待标。

A.3.1.2 标定方法

在分析天平上, 分别称取三份已在 270~300℃ 灼烧至恒重的基准无水碳酸钠 0.2~0.25g, 称准至 0.0001g; 分别置于 250mL 的三角烧瓶中, 加入已驱赶 CO₂ 的蒸馏水 50mL, 摇匀溶解; 加 2~3 滴甲基橙指示液, 用配制好的盐酸溶液滴定至溶液由黄色变为橙色, 煮沸 2min, 冷却后继续滴定至溶液再呈橙色, 同时做空白试验。计算盐酸 (HCl) 溶液的浓度:

$$C_{(\text{HCl})} = \frac{m}{(V - V_0) \times \frac{M_{(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)}}{1000}} \quad (\text{A.3.1.2})$$

式中: m —Na₂CO₃ 之质量, g;

V —HCl 溶液之用量, mL;

V_0 —空白试验 HCL 溶液之用量, mL;

$M_{(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)}$ —以 (1/2Na₂CO₃) 为基本单元的摩尔质量 (52.99g/mol)。

A.3.2 氢氧化钠 (NaOH) 标准溶液的配制和标定

A.3.2.1 配制方法:

称取 10g 分析纯 NaOH, 溶于 100mL 无二氧化碳的水中, 摇匀, 注入聚乙烯容器中, 密闭放置至溶液清亮。用塑料管量取上层清液, 用无二氧化碳的水稀释至 1000mL, 摇匀。

A.3.2.2 标定方法

用 25mL 移液管吸取上述配好的溶液, 移至三角烧瓶中, 用新鲜配制的已知浓度盐酸 (HCl) 标准溶液来滴定, 用酚酞作指示剂滴定至溶液无色为终点。

$$C_{(\text{NaOH})} = \frac{C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{NaOH}}} \quad (\text{A.3.2.2})$$

式中: C_{HCl} —HCl 溶液的浓度, mol/L;

V_{HCl} —HCl 溶液的用量, mL;

V_{NaOH} —NaOH 溶液的用量, mL。

取三次试验结果的平均值为准。

A.4 固形物含量测定

A.4.1 碱性土质固化剂固形物含量的测定

准确称取 5~10g (准确至 0.0001g) 碱性土质固化剂, 置于 100mL 已称重的烧杯中, 连同烧杯放入已恒温至 105℃ 的烘箱中, 烘干至恒重后称重。计算固形物百分含量:

$$\text{固形物}(\%) = \frac{m_1 - m_0}{m - m_0} \times 100 \quad (\text{A.4.1})$$

式中: m_0 ——烧杯重量;

m ——烘前样重 + 烧杯重量;

m_1 ——烘后样重+烧杯重量。

A.4.2 酸性土质固化剂固形物含量的测定

准确称取酸性土质固化剂样品1~2g（准确至0.0001g），用已标定好的氢氧化钠（NaOH）中和至pH=8.0，准确记录消耗的NaOH毫升数，并计算NaOH的质量 m_2 ，将已中和好的样品放入恒温为105℃的烘箱中，烘干至恒重。计算固形物百分含量：

$$\text{固形物(\%)} = \frac{m_1 - m_0}{(m - m_0) + m_2} \times 100 \quad (\text{A.4.2})$$

式中： m_0 ——烧杯重量；

m ——烘前样重+烧杯重量；

m_1 ——烘后样重+烧杯重量；

m_2 ——中和消耗NaOH的质量。

A.5 总碱度测定

准确称取碱性土质固化剂样品 0.3~0.5g（准确至0.0001g），置于250mL三角烧瓶中，加蒸馏水约50mL，以溴甲酚绿-甲基红混合指示剂，用0.2mol的标准盐酸（HCl）溶液滴定，滴定至溶液由绿色变成酒红色为终点，记下所消耗HCl的毫升数。计算样品的总碱度（样品的总碱度以消耗的HCl质量计）：

$$\text{样品总碱度 (HCl, g/100g)} = \frac{M \times V}{m} \times \frac{36.5}{1000} \times 100 \quad (\text{A.5})$$

式中： M ——HCl标准溶液的摩尔浓度， mol/L；

V ——消耗HCl标准溶液的毫升数， mL；

m ——称取样品的质量， g。

A.6 总酸度测定

准确称取酸性土质固化剂样品0.1~0.5g（准确至0.0001g），置于250mL三

角烧瓶中，加蒸馏水约50mL，以甲基红-次甲基蓝混合液为指示剂，用0.5mol的标准氢氧化钠（NaOH）溶液滴定，滴定至溶液由无色变成红色为终点，记下所消耗NaOH的毫升数。计算样品的总酸度（样品的总酸度以消耗NaOH的质量计）：

$$\text{样品总酸度 (NaOH, g/100g)} = \frac{M \times V}{m} \times \frac{40}{1000} \times 100 \quad (\text{A.6})$$

式中: M ——NaOH标准溶液的摩尔浓度， mol/L;

V ——消耗NaOH标准溶液的毫升数， mL;

m ——称取样品的质量， g。

A.7 pH值的测定

用pH广泛试纸测定。

A.8 溶解性的测定

按《液体有机化工产品水混溶性试验》(GB/T 6324.1)规定测定。

A.9 密度的测定

电离子溶液类土质固化剂密度的测定，按《原油和液体石油产品密度实验室测定法(密度计法)》(GB/T 1884)规定进行。

附录 B 材料设计参数参考资料

B.1 复合稳定土基层、底基层材料设计参数

复合稳定土基层、底基层材料设计参数，见表 B.1。

表 B.1 复合稳定土基层、底基层材料设计参数

复合稳定土类别	配合比	抗压回弹模量 E (MPa) (弯 沉计算用)	抗压模量 E (MPa) (拉 应力计算用)	劈裂强度 σ (MPa)
水泥复合 稳定土	水泥: 3%~8% 固化剂: 0.015%~0.030%	1000~1300	2500~3200	0.35~0.50
石灰复合 稳定土	石灰:4%~10% 固化剂: 0.015%~0.030%	700~1000	2400~3000	0.30~0.40
水泥石灰 复合稳定土	水泥:1%~8%; 石灰:3%~10% 固化剂: 0.015%~0.030%	1000~1300	2600~3500	0.40~0.55

注：上列参数指标在压实度为 97%及以下时取中、低值，压实度为 97%以上时取中、高值。

B.2 无机结合料稳定材料基层、底基层材料设计参数

无机结合料稳定材料基层、底基层材料设计参数，见《公路沥青路面设计规范》(JTG D50) 附录 E。

附录 C 本标准用词说明

为准确地掌握标准条文，本标准对要求严格程度的用词特作如下规定：

- 1 表示很严格，非这样做不可时：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做时：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做时：

正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”；

- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

附件

道路复合稳定土应用技术标准

条文说明

征求意见稿

1 总则

1.0.1 复合稳定土路面基层具有足够的强度和稳定性，是一种能够承担相应交通荷载作用的路面结构层，所建成的道路在多年使用中，各项技术指标和路用性能显示良好，具有显著的经济效益和社会效益。

各类道路包括市政、厂矿、林区、水利堤顶等道路。

1.0.4 本标准在编写过程中主要参考了如下国家标准、行业标准和地方标准：《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20），《公路沥青路面设计规范》（JTG D50），《公路路基设计规范》（JTG D30），《公路路基施工技术规范》（JTG F10），《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG E51），《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1），《原油和液体石油产品密度实验室测定法（密度计法）》（GB/T1884），《液体有机化工产品水混溶性试验》（GB/T6324.1），吉林省地方标准《石灰粉煤灰稳定材料路面基层底基层技术规范》（DB 22/T 470）等。

1.0.9 本标准更新时主标准号不变，引用标准时均采用最新标准。

2 术语

2.0.1 复合稳定土

试验表明，大部分土质固化剂对土直接稳定时，虽然能使土质颗粒间更加紧密和坚固，但最大的问题是遇水散解。在这种混合料中加入适量的结合料（水泥、石灰以及粉煤灰等），通过优化配比，很好地解决了这种散解状况，并且强度和耐久性能也有了提高。因此，很多土质固化剂单独使用效果不明显，需与水泥、石灰等结合料共同使用。同时，某些土质固化剂可以克服水泥或石灰在稳定细粒土时所出现的一些不利特性，如收缩性大、易软化、水稳定性差的问题。由于这两方面材料的互补作用，从而发生了本质的变化，使混合料的力学性能得到了改善和提高。

2.0.2 土质固化剂（电离子溶液类）

土质固化剂是能够对土进行化学处理，从而改变土质的工程性质。

土质固化剂的作用是利用强离子压缩颗粒表面的双电层，中和土颗粒电荷，减弱土表面与水的化学作用力，从根本上改变土颗粒的表面性质，使其趋于憎水性。同时通过层间的离子交换作用压缩土团体颗粒尺寸，促进土的稳定和强度的形成，提高耐水性。

土质固化剂采用的表面活性剂多为含有磺酸基团的表面活性剂。亲水的磺酸基团，对土的表面有极强的吸附性能，亲油端形成了憎水性。这一现象是所有表面活性剂的通则。它的稳定原理是固化剂中无机组分在土中能形成类似于水泥的组分的高度分散体，其粒度可以达到纳米级。这些新生成物能同土颗粒发生更有效的交联，形成土的板体的强度。

还有一种是粉状土质固化剂，其作用与溶液类的相同。

征求意见稿

3 原料和材料

3.2 土质固化剂

3.2.1 表 3.2.1 中：

细粒组土粒：指小于 0.075mm 的颗粒。

溶解性：能迅速溶解于溶剂中，形成均匀透明的溶液。

固含量：液体中所含固形物的总量，包括液体中的可溶物经干燥后可以形成固体的所有化学物质和不可避免的杂质。

总酸度：指中和 100g 土质固化剂消耗氢氧化钠（NaOH）的质量。

总碱度：指中和 100g 土质固化剂消耗盐酸（HCl）的质量。

所使用的固化剂应通过省级环境分析测试部门所进行的重金属检测认定，表明该土质固化剂未见汞、铬、铅、铜、砷等超标；确认通过绿色产品的认证。

3.6 土

3.6.1~3.6.6 是指符合复合稳定土需要确定的不同的土的标准及其在复合稳定土混合料中与各种结合料的适用要求。

4 结构层设计

4.1 一般规定

4.1.1 见《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)。

4.1.3 通过室内试验与对实体工程检测结果的比较,表明复合稳定土的程度能满足规范对半刚性路面基层混合料技术指标的要求;通过复合稳定土路面基层稳定性、整体强度以及抗收缩性等指标与常规无机结合料稳定类材料的对比,表明复合稳定土具备技术的可靠性。

1 复合稳定土抗压强度

试验数据表明,复合稳定土各龄期的无侧限抗压强度均强于相同材料、相同配合比的常规混合料(即下列各表中固化剂剂量为 0 的材料)。工程实践中,通过选用适宜的材料和确定合理的配合比,能够满足本章中各类混合料 7d 无侧限抗压强度设计的要求。

1) 水泥复合稳定土无侧限抗压强度试验,结果见表 4-1。

表 4-1 水泥复合稳定土无侧限抗压强度试验结果

材 料 配 合 比			7d 无侧限抗压 强度（MPa）	28d 无侧限抗压 强度（MPa）	90d 无侧限抗压 强度（MPa）
水泥：土		固化剂用量（%）			
粉 质 土	8：92	0	2.90	3.0	4.60
		0.015	3.10	4.70	6.80
		0.020	3.30	5.10	8.0
		0.025	3.52	5.20	8.30
	6：94	0	2.30	2.70	3.90
		0.015	2.60	4.40	6.20
		0.020	2.80	4.70	7.80
		0.025	2.80	4.50	8.10

粉 土 质 砂	4: 96	0	1.40	1.82	2.80
		0.015	1.54	2.20	5.0
		0.020	1.90	2.80	5.80
		0.025	2.0	2.70	5.60
	8: 92	0	1.10	—	—
		0.015	1.56	—	—
		0.020	2.0	—	—
		0.025	2.5	—	—
	6: 94	0	1.00	—	—
		0.015	1.42	—	—
		0.020	1.80	2.9	—
		0.025	2.1	—	—
	4: 96	0	0.82	—	—
		0.015	1.10	—	—
		0.020	1.54	—	—
		0.025	1.90	—	—

2) 石灰复合稳定土无侧限抗压强度试验，结果见表 4-2。

表 4-2 石灰复合稳定土无侧限抗压强度试验结果

材料配合比			7d 无侧限抗压 强度（MPa）	28d 无侧限抗压 强度（MPa）	90d 无侧限抗压 强度（MPa）
石 灰：土		固 化 剂 用 量（%）			
粉 质 土	4：96	0	0.60	0.84	1.08
		0.015	1.02	2.0	2.5
		0.02	1.16	2.3	2.7
		0.025	1.08	1.90	2.4
	6：94	0	0.74	0.94	1.12
		0.015	1.14	2.2	2.6
		0.02	1.26	2.4	2.9
		0.025	1.20	1.96	2.7
	8：92	0	0.82	1.06	1.32
		0.015	1.18	2.3	2.7
		0.02	1.30	2.6	3.1
		0.025	1.34	2.5	2.7
	12：88	0	0.88	1.18	1.44
	4：96	0	—	—	—

粘 质 土		0.015	2.0	2.0	6.1
		0.02	1.71	2.6	4.0
		0.025	2.0	2.8	3.5
	6: 94	0	0.86	1.24	2.8
		0.015	1.76	2.2	3.6
		0.02	2.44	3.1	6.9
		0.025	1.73	2.2	3.9
	8: 92	0	—	—	—
		0.015	1.87	2.7	7.0
		0.02	1.14	1.6	3.5
		0.025	1.1	1.58	3.4
	12: 88	0	1.12	1.48	3.0
碱 土	4: 96	0	—	—	—
		0.015	0.988	1.78	2.1
		0.02	0.91	1.68	2.1
		0.025	0.988	1.62	2.3
	6: 94	0	—	—	—
		0.015	0.8	1.62	2.2
		0.02	0.957	1.12	2.1
		0.025	0.957	1.48	2.7

3) 水泥石灰复合稳定土无侧限抗压强度试验, 结果见表 4-3。

表 4-3 水泥石灰复合稳定土无侧限抗压强度试验结果

材 料 配 合 比			7d 无侧限抗压 强度（MPa）	28d 无侧限抗压 强度（MPa）	90d 无侧限抗压 强度（MPa）
水泥：石灰：土		固 化 剂 用 量（%）			
粉 质 土	4：6：90	0.025	2.5	4.1	4.5
	5：5：90	0.025	2.7	4.4	5.1
	6：4：90	0.020	3.9	5.0	5.9
	5：3：92	0.020	3.5	4.4	5.3

2 复合稳定土路面基层钻件 (芯样) 的抗压强度和完整性

复合稳定土路面基层现场钻取芯样在试验路上进行。试验路的基本情况如下:

1) 天一身线试验段: 乾安县农村公路天字井—身字井线 (四级路) 让字段 (K0+800~K1+815.9) 于 2001 年 7 月竣工。路面宽 5m, 路面基层结构为石灰类复合稳定土 (粉质土和黏质土), 基层 (单层) 180mm 厚; 沥青混凝土面层

30mm 厚；设计初期交通量为 300 辆/d，测定时交通量达到 1,000 辆/d。

2) 科一铁线试验段：省道一级路科尔沁右翼中旗—铁力线乾安过境段，路面宽 24m，长 1.2 km。底基层和基层采用水泥类复合稳定土（粉质土），底基层 150mm 厚，基层 250mm 厚，沥青混凝土面层厚 70mm，2004 年 10 月竣工。设计初期交通量为 3,000 辆/ d，测定时交通量 6,000 辆/ d。

2008 年 4 月对两条试验路钻取芯件，芯样显示完整；同时制成标准试件，经饱水后进行无侧限抗压强度试验，结果见表 4-4。

表 4-4 不同龄期复合稳定土路面基层试验路钻件无侧限抗压强度检测结果

序 号	路线名称	取样地点	配合比	竣工时强度（MPa）	芯样强度（MPa）
1	天一身线	1K+772	(石灰:粉质土)+ZL 固化剂=(6:94)+0.015%	1.62	12.62
2		1K+778	(石灰:粉质土)+ZL 固化剂=(6:94)+0.02%	1.41	22.68
3		1K+785	(石灰:黏质土)+ZL 固化剂=(6:94)+0.015%	1.76	17.30
4		1K+792	(石灰:黏质土)+ZL 固化剂=(6:94)+0.02%	2.04	24.48
5	科一铁线 乾安过境段	83K+800	(水泥:粉质土)+ZL 固化剂=(6:94)+0.03%	2.80	16.9
6		83K+850	(水泥:粉质土)+ZL 固化剂=(6:94)+0.03%	2.76	18.6
7		83K+900	(水泥:粉质土)+ZL 固化剂=(6:94)+0.03%	2.75	19.4

无机结合料稳定材料的特点是强度和刚度随龄期增长。复合稳定土在土质固化剂的作用下，改善了土的压实性状，提高了土的强度。从检测结果看，石灰类复合稳定土经过 7 年的荷载作用和自然环境下冻融、水侵蚀，仍然保持较高的强度；水泥类复合稳定土经过 4 年荷载作用后，强度仍然很高。因此，复合稳定土材料具有较高的后期增长强度，并保持相对的稳定。

3 复合稳定土水稳定性

复合稳定土基层材料的水稳定性试验结果见表 4-5。试验表明，稳定土掺加固化剂后水稳定性有所提高（表中固化剂剂量为 0 的为常规材料），同时，随着试件龄期的增长，水稳定性逐渐增强。另外，通过对室内试验的试件和试验

路的钻件进行 180d 和 1 年的浸水观察，未发现散解现象，且强度损失较小，因此，复合稳定土具有较好的水稳定性。

表 4-5 复合稳定土水稳定性试验结果

材料配合比		饱水抗压强度 (MPa)			干抗压强度 (MPa)			水稳定性系数		
结合料: 土	固化剂 用量 (%)	7d	28d	90d	7d	28d	90d	7d	28d	90d
石灰: 土=	0.02	1.16	2.3	2.7	1.46	2.6	3.0	0.79	0.88	0.90
4: 96										
石灰: 土=	0.02	1.26	2.4	2.9	1.54	2.7	3.2	0.82	0.89	0.91
6: 94										
	0	0.74	0.94	1.12	1.20	1.22	1.34	0.62	0.77	0.84
水泥: 土=	0.02	1.90	2.8	5.8	2.2	3.2	6.3	0.86	0.88	0.92
4: 96										
水泥: 土=	0.02	2.8	4.7	7.8	3.2	5.2	8.2	0.88	0.90	0.95
6: 94										
	0	2.3	2.7	3.9	2.8	3.1	4.3	0.82	0.87	0.91

注：水稳定性系数为饱水抗压强度与干抗压强度之比。

4 复合稳定土冻稳定性试验

《公路沥青路面设计规范》(JTG D50) 规定，复合稳定土作为“稳定类型”为“细粒土”的稳定类材料，根据所处公路的交通荷载等级及其基层层位，可不作抗冻性能检验。材料的冻稳定性是耐久性能的重要组成部分，而复合稳定土作为一种基本的、常用的基层材料，有必要研究它的冻稳定性。表 4-6 是不同配合比的复合稳定土试件冻融循环试验结果，表 4-7 为常规材料二灰碎石、二灰土冻融循环试验情况，可作比较分析。

表 4-6 复合稳定土冻融循环试验结果

材料配合比		冻融前抗压 强度(MPa)		冻融后抗压强度 (MPa)			耐冻指数		
结合料: 土	固化剂 用量 (%)	28d	90d	28d (5 次)	90d (5 次)	90d (10 次)	28d (5 次)	90d (5 次)	90d (10 次)
石灰: 土=	0.015	2.0	2.5	1.02	1.12	0.70	0.51	0.45	0.28
	0.02	2.3	2.7	1.30	1.30	0.70	0.56	0.48	0.26
	0.025	1.90	2.4	1.18	1.22	0.76	0.62	0.51	0.32
石灰: 土=	0.015	2.2	2.6	1.34	1.24	0.68	0.61	0.48	0.26
	0.02	2.4	2.9	1.54	1.68	0.86	0.64	0.58	0.30
	0.025	1.96	2.7	1.22	1.52	0.70	0.62	0.56	0.26
水泥: 土=	0.015	2.2	5.0	1.46	2.75	1.64	0.66	0.55	0.33
	0.02	2.8	5.8	2.10	3.71	2.05	0.75	0.64	0.35
	0.025	2.7	5.6	1.86	3.42	2.12	0.69	0.61	0.38

水泥: 土=6: 94	0.015	4.4	6.2	3.16	3.72	2.42	0.72	0.60	0.39
	0.02	4.7	7.8	3.80	5.46	3.28	0.81	0.70	0.42
	0.025	4.5	8.1	3.60	6.08	3.32	0.80	0.75	0.41

注：耐冻指数为冻融后与冻融前抗压强度之比。

表 4-7 二灰碎石、二灰土冻融循环试验结果

材料名称		抗压强度 (MPa)		冻融抗压强度 (MPa)		耐冻指数	
		28d	90d	28d (10 次)	90d (10 次)	28d (10 次)	90d (10 次)
二灰碎石 石灰: 粉煤灰: 碎石	5: 15: 80	1.86	3.72	0.57	1.97	0.30	0.52
	8: 32: 60	2.79	4.83	0.33	1.94	0.12	0.40
	10: 40: 50		4.66		1.84		0.39
二灰土 石灰: 粉煤灰: 土	8: 45: 47		0.93		0.48		0.52
	10: 40: 50		1.12		0.87		0.78
	12: 45: 43		2.21		1.29		0.58

5 复合稳定土抗收缩试验

1) 复合稳定土抗收缩试验包括干缩试验结果比较、温度收缩试验结果比较和路面基层裂缝调查结果的比较。

复合稳定土和水泥土材料的干缩试验

由于水分挥发和混合料内部的水化作用，混合料的水分不断减少，由此发生的诸如毛细作用、吸附作用、分子间力的作用等会引起无机结合料稳定材料体积收缩。干缩试验是对比复合稳定土和常规半刚性基层材料水泥土不同混合料在不同含水状态下的收缩情况。复合稳定土基层和水泥土基层干缩试验结果，见表 4-8。

表 4-8 复合稳定土和水泥土干缩试验结果对比

(石灰:土)+固化剂 =(6:94)+0.02% (最佳含水率 W=12.5%)		(水泥:土)+固化剂 =(8:92)+0.03% (最佳含水率 W=12.5%)		(水泥:土)+固化剂 =(6:94)+0.03% (最佳含水率 W=12.0%)		水泥:土=8:92 (最佳含水率 W=13.5%)		水泥:土=6:94 (最佳含水率 W=13.0%)	
线缩率 ($\times 10^{-6}$)	含水率 (%)	线缩率 ($\times 10^{-6}$)	含水率 (%)	线缩率 ($\times 10^{-6}$)	含水率 (%)	线缩率 ($\times 10^{-6}$)	含水率 (%)	线缩率 ($\times 10^{-6}$)	含水率 (%)
0.01	10.33	0.01	9.47	0.01	9.69	0.06	10.47	0.08	10.13
0.02	9.66	0.02	8.79	0.02	8.93	0.11	9.68	0.10	9.28
0.05	9.43	0.03	8.57	0.03	8.65	0.11	9.41	0.11	9.00

0.02	8.99	0.04	8.08	0.04	8.10	0.13	8.80	0.12	8.41
0.09	8.06	0.05	7.07	0.06	6.96	0.17	7.61	0.14	7.32
0.22	7.04	0.08	6.20	0.11	6.05	0.17	6.58	0.17	6.39
0.25	5.99	0.09	5.54	0.13	5.32	0.19	5.81	0.19	5.63
0.29	5.04	0.12	5.03	0.15	4.79	0.22	5.27	0.21	4.19
0.20	3.36	0.14	4.21	0.18	3.96	0.24	4.37	0.24	4.16
0.30	2.59	0.16	3.66	0.20	3.44	0.26	3.81	0.26	3.60
0.30	1.93	0.18	3.02	0.22	2.97	0.28	3.35	0.30	3.14
0.29	1.50	0.19	2.81	0.23	2.59	0.29	2.94	0.31	2.74
0.29	1.20	0.21	2.52	0.23	2.31	0.30	2.62	0.32	2.43
0.29	0.97	0.22	2.22	0.24	2.04	0.31	2.37	0.33	2.20
0.29	0.74	0.23	2.00	0.24	1.79	0.32	2.10	0.34	1.93
0.29	0.59	0.24	1.85	0.24	1.59	0.33	1.87	0.34	1.70
0.29	0.49	0.25	1.61	0.25	1.41	0.33	1.66	0.35	1.54
0.29	0.36	0.25	1.44	0.25	1.31	0.33	1.50	0.35	1.36
0.29	0.31	0.26	1.27	0.25	1.18	0.34	1.36	0.35	1.22
0.29	0.29	0.26	1.15	0.25	1.06	0.34	1.24	0.35	1.16
0.29	0.24	0.27	0.99	0.25	0.89	0.34	1.07	0.35	0.96
0.29	0.24	0.27	0.91	0.25	0.83	0.35	0.96	0.36	0.85
		0.28	0.78	0.25	0.68	0.35	0.83	0.36	0.74
		0.28	0.70	0.25	0.62	0.35	0.74	0.36	0.63
		0.29	0.56	0.25	0.45	0.35	0.63	0.37	0.54
		0.29	0.51	0.25	0.40	0.36	0.54	0.37	0.48
		0.29	0.41	0.25	0.33	0.36	0.44	0.37	0.38
		0.29	0.36	0.25	0.27	0.36	0.36	0.37	0.32
		0.29	0.30	0.25	0.21	0.36	0.27	0.37	0.25
		0.29	0.28	0.25	0.18	0.36	0.21	0.37	0.25
		0.29	0.28	0.25	0.18	0.36	0.19	0.37	0.25

2) 复合稳定土材料的温度收缩试验

低温收缩试验是对比复合稳定土和常用半刚性基层材料不同混合料在各级负温度作用下的收缩状态，以评价复合稳定土基层材料的抗冻裂效果。复合稳定土混合料低温收缩试验结果见表 4-9，几种常用的半刚性基层材料的低温收缩试验结果见表 4-10。

表 4-9 复合稳定土低温收缩试验结果

材料配合比		龄期 (d)	温度收缩系数 ($\times 10^{-6}$)				
结合料: 土	固化剂 剂量 (%)		0℃	-5℃	-10℃	-15℃	-20℃
石灰: 粉质土 =4: 96	0.015	90	1.50	19.20	18.60	19.10	24.50
石灰: 粉质土 =6: 94	0.015	90	1.60	30.30	23.80	28.90	31.60

石灰：粉质土 =6：94	0.02	90	1.30	20.70	21.20	25.30	26.10
水泥：粉质土 =4：96	0.015	90	1.40	21.20	24.10	27.50	32.90
水泥：粉质土 =6：94	0.015	90	1.70	23.10	38.80	31.70	38.50
水泥：粉质土 =6：94	0.02	90	1.20	22.50	27.20	28.00	33.60
石灰：粘质土=4：96	0.015	90	2.30	23.70	34.40	36.90	44.80
石灰：粘质土=6：94	0.015	90	2.00	21.50	29.00	-----	54.40

表 4-10 几种常用的半刚性基层材料低温收缩试验结果

混合料 名称	材料配合比	龄期 (d)	温度收缩系数 ($\times 10^{-6}$)				
			0℃	-5℃	-10℃	-15℃	-20℃
水泥稳定砂砾	5 : 95	90	9.54	10.36	10.99	11.37	11.61
二灰碎石	8:32:60	90	7.00	7.94	8.53	8.52	9.00
	10:40:50	90	14.88	14.59	14.47	16.01	16.12
	5:15:80	90	11.69	12.51	10.49	14.16	14.60
石灰土	8:92	90		41.75	51.20	63.83	64.00
	10:90	90		60.15	54.00		62.19
二灰土	8:45:47	90	6.94	40.62	53.33	48.88	45.00
	10:35:55	90	8.89	40.00	44.50	41.80	40.95
	10:45:45	90	4.16	5.62	23.33	34.02	35.71
	12:35:53	90	9.16	4.16	18.66	29.44	32.26

3) 复合稳定土路面基层冻裂调查

天—身线复合稳定土路面基层冻裂情况调查（表 4-11）和复合稳定土与水泥稳定砂砾路面基层裂缝调查结果对比（表 4-12）。

表 4-11 天—身线复合稳定土路面基层冻裂调查结果

土质名称	配合比 (石灰:土)+ 固化剂	里 程 桩 号	路段 编号	横缝 条数	平均 间距 (m)	10mm 以上 条数	最大 宽度 (mm)	开 裂 率 (m/1000 m ²)
粉 质 土	(4:96)+0.015%	k0+800~k0+900	01	11	9	3	19	110
	(6:94)+0.015%	k0+900~k1+000	02	11	9	7	18	110
	(6:94)+0.02%	k1+000~k1+090	03	9	10	1	10	90
	(4:96)+0.02%	k1+110~k1+200	04	7	13	6	18	70
粘 质 土	(4:96)+0.015%	k1+210~k1+305	05	5	19	—	7	50
	(6:94)+0.015%	k1+310~k1+380	06	6	12	—	7	60
	(6:94)+0.02%	k1+402~k1+500	07	7	14	—	9	70
	(4:96)+0.02%	k1+505~k1+596	08	8	11	—	6	80
	石灰: 粘土 12:88	k1+600~k1+755	09	22	7	—	—	220

表 4-12 复合稳定土与水泥稳定砂砾路面基层裂缝调查结果对比

路线名称	基层材料名称	路段 长度 (m)	横缝 条数	平均 间距 (m)	裂缝总 长度 (m)	最大 宽度 (mm)	开裂率 (m/1000 m ²)
乾安县东环城路一级路 (2005 年建)	水泥稳定砂砾	213	19	11.2	531	7	104
乾安县科铁线一级公路 (2004 年建)	复合稳定土 (粉质土)	200	11	18.2	248	5	52

6 路面弯沉值检测

通过对天—身线和科—铁线路面弯沉值的检测可以看出，复合稳定土路面基层经过多年荷载作用和自然环境下的冻融和水侵蚀等，弯沉值变化较小，说明其整体强度随龄期的增长而提高，并且具有较好的耐久性能；另外，从科—铁线乾安过境段的弯沉检测结果总体上看，水泥稳定砂砾基层路段的弯沉值大于复合稳定土基层路段，说明复合稳定土基层的整体性强度高于水泥稳定砂砾基层。见表 4-13（表中“2002 年 5 月 6 日”栏和“2008 年 5 月 3 日”栏，时间为“季节性冰冻地区的春融时节”，当属于“路况最不利季节”的值，在一年中弯沉值表现为最大）和表 4-14。

表 4-13 天—身线不同龄期回弹弯沉值

土质名称	路段编号	基层材料配合比		不同龄期回弹弯沉值 (0.01mm)					
		石灰:土	固化剂用量 (%)	2001 年 7 月 17 日	2001 年 8 月 11 日	2001 年 10 月 14 日	2002 年 5 月 6 日	2002 年 10 月 8 日	2008 年 5 月 3 日
粉质土	01	4:96	0.015	63.7	50.7	27.7	58.5	54.7	52.7
	02	6:94	0.015	68.4	46.9	23.6	66.0	48.5	56.1
	03	6:94	0.020	87.4	50.3	25.7	55.0	51.6	57.3
	04	4:96	0.020	72.1	60.1	29.6	74.3	55.2	54.2
粘质土	05	4:96	0.015	68.4	48.5	29.0	69.8	52.9	59.4
	06	6:94	0.015	62.3	53.1	29.5	54.0	50.9	51.6
	07	6:94	0.020	52.9	48.3	23.4	63.6	47.2	53.9
	08	4:96	0.020	46.7	36.7	21.2	58.3	47.6	53.4
	09	12:88	0	93.6	68.1	44.2	77.8	59.3	63.0

表 4-14 科—铁线乾安过境段一级路不同时间弯沉检测值

里程桩号	不同时期的弯沉值 (0.01 mm)								基层材料配合比
	2004 年 10 月 20 日				2008 年 5 月 3 日				
	上行车道		下行车道		上行车道		下行车道		
	左	右	左	右	左	右	左	右	
83K+950		20		10		14		8	复合稳定土 (水泥:土)+ 固化剂 =(6:94)+0.03%
83K+930	16		12		8		18		
83K+910		22		2		20		6	
83K+890	8		8		4		8		
83K+870		24		22		22		8	
83K+850	10		24		8		8		
83K+830		10		12		16		10	
83K+810	8		20		12		10		
83K+790		6		16		4		6	
83K+770	14		16		12		8		
83K+750		6		12		4		10	
83K+730	14		8		16		6		水泥稳定砂砾， 水泥:砂砾=6:94
83K+710		14		18		30		4	
83K+690	30		4		16		14		
83K+670		18		2		24		2	
83K+650	16		14		8		14		
83K+630		16		14		18		12	
83K+610	18		8		62		6		
83K+590		12		30		8		4	
83K+570	24		14		10		6		
83K+550		18		22		18		28	
83K+530	24		8		8		8		
83K+510		14		20		18		6	
83K+490	26		16		14		10		
83K+470		20		18		14		4	
83K+450	10		14		12		16		

4.2 结构层设计要求

4.2.2 见《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)、《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)。

4.2.3、4.2.4 见《公路路基设计规范》(JTG D30)、《公路路基施工技术规范》(JTG F10)。

5 混合料组成

5.1 一般规定

5.1.3 一般表示如：水泥剂量为 2.5%、石灰剂量为 3.5%，土的剂量应为 94.0%，固化剂用量为 0.020%，则复合稳定土混合料的配合比表示为：（水泥：石灰：土）+ 固化剂(%)=（2.5:3.5:94.0）+0.020%。

5.4 强度试验及计算

5.4.3 复合稳定土混合料配比中，不同的土质固化剂对土的稳定效果相差较大，应根据不同的土质情况选用。不论使用何种固化剂，在使用前都应按规定进行配比试验和检测，只有当混合料性能达到要求时，才能使用。

复合稳定土混合料通过试配找出最佳配合比。固化剂的用量同结合料的用量之间、它们与混合料强度之间没有对应的关系。

固化剂在限定的范围内用量的变化，影响混合料的密度也随之发生变化。一般情况下，用量增加，混合料的最大干密度增大，具体情况见表 5-1。

表 5-1 混合料最大干密度随固化剂增加的变化表

混合料配合比		最佳含水量 (%)	最大干密度 (g/cm ³)
结合料：土(%)	固化剂剂量(%)		
石灰：土= 4：96	0.015	13.5	1.87
	0.020	12.8	1.89
	0.025	12.5	1.92
石灰：土=	0.015	14.0	1.86

6: 94	0.020	13.3	1.88
	0.025	12.8	1.90
水泥: 土= 4: 96	0.015	13.6	1.90
	0.020	13.2	1.91
	0.025	13.0	1.92
水泥: 土= 6: 94	0.015	14.5	1.91
	0.020	13.9	1.93
	0.025	13.5	1.94

5.4.4 试件不应按击实试验所得的最大干密度制作，而应按与规定的现场压实度相应的干密度制作。

5.4.9 式 (5.4.9) 就是观测值的下波动限 ($\bar{R}-Z_{\alpha/2}S$)，应大于或等于设计抗压强度 R_d 。

5.5 结合料的计算和掺加范围

5.5.4 复合稳定土混合料组成与土质有关系，与公路等级、所处层位也有关系。表 5-2 为几项复合稳定土结构层的工程的配合比组成，可供混合料配制时参考。

表 5-2 几项复合稳定土工程的配合比

工程项目名称	层位	土质名称	配合比 (%)			
			水泥	石灰	土	固化剂
302 国道长白高速公路 辅道农安段	底基层	黏质土	-	6.0	94.0	0.020
302 国道长白高速公路 辅道大安段	底基层	低液限黏土	-	5.0	95.0	0.015
通化-丹东高速公路 快大茂段	底基层	风化山砂	3.5	-	96.5	0.015
203 国道二级路前郭段	底基层	粉土质砂	1.0	4.0	95.0	0.015

203 国道二级路长岭段	底基层	粉土质砂	1.5	3.5	95.0	0.020
辽宁朝阳葫-六公路	底基层	砂砾土	3.5	-	96.5	0.015
河北沧州开发区主干道	底基层	低液限黏土	2.0	3.0	95.0	0.014

征求意见稿

6 道路复合稳定土施工

6.1 一般规定

6.1.4 施工期（包括养生）温度对复合稳定土的强度有很明显的影响。实践表明，施工期温度高，复合稳定土的强度相应也趋高。

具体施工期限可根据当地本年度当时的气候确定。

6.2 路拌法

6.2.4 石灰复合稳定土层铺路拌法施工

7 配制固化剂稀释液、喷洒固化剂稀释液

2) 固化剂的稀释比例应根据混合料的平均含水率适时调整，以保证固化剂用量的准确。当混合料的平均含水率较低时，固化剂稀释的倍数应大些，相反，倍数应小些。当出现混合料的平均含水率较大时，可以通过翻拌、晾晒或加少量的石灰等降低多余的水分；为了保证拌和后的混合料在最佳含水率时碾压，配制固化剂稀释液时应考虑拌和遍数、施工时间以及气温对含水率的影响。在计算稀释比例时，可根据实际情况适当将混合料的最佳含水率提高 1 ~ 2 个百分点，以弥补碾压过程中水分的损失。

含水率过大，既会影响混合料可能达到的密度和强度，又会明显增大混合料的干缩性，使结构层容易产生干缩裂缝；含水率过小，会影响混合料可能达到的密度。

6.4 碾压

6.4.5 影响复合稳定土强度的主要因素除了材料、配合比及养生条件外，压实度也是重要因素，而且对复合稳定土的强度影响很大。采用同种材料、同种配合比，在相同条件下对压实度不同的复合稳定土试件进行无侧限抗压强度试验，测试结果见表 6-1 和图 6-1。显然，随着压实度的提高，复合稳定土的强度会明显提高，尤其是在压实度达到 95%以上时，28d 抗压强度提高的幅度更大。另外，由于复合稳定土易于压实，因此，通过提高压实度来提高复合稳定土的强度是可行的。

表 6-1 不同压实度的复合稳定土无侧限抗压强度试验结果

材料配合比		压实度 (%)	7d 无侧限抗压强度 (MPa)	28d 无侧限抗压强度 (MPa)
石灰: 土	固化剂用量 (%)			
6: 94	0.02	90	0.90	1.34
		93	1.06	1.64
		95	1.18	1.80
		98	1.32	2.50

注：土为吉林前郭县腰围子土场低液限粘土， $I_p=13.2$ ；石灰为吉林双阳产Ⅲ级消石灰。

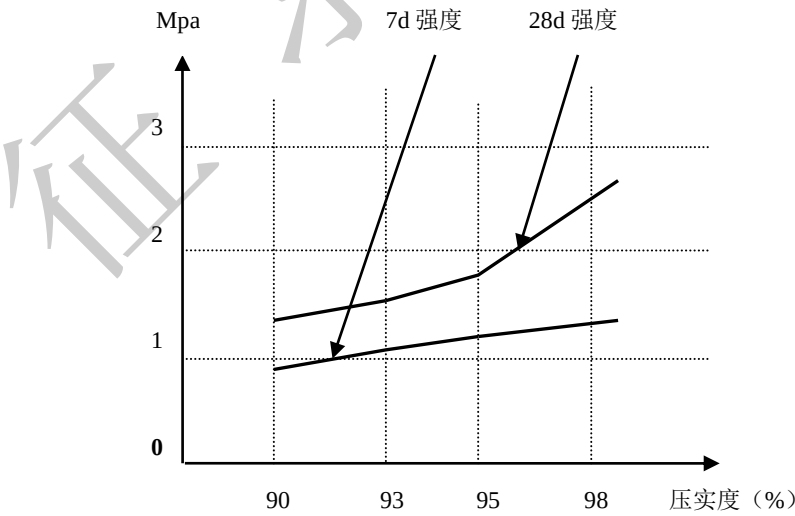


图 6-1 复合稳定土压实度与抗压强度关系图

6.4.6 从加水水泥拌和到碾压结束的延迟时间对水泥复合稳定土和水泥石灰复合稳定土混合料的强度和所能达到的干密度有明显的影响。实践表明，延迟时间愈长，混合料强度和干密度的损失愈大。

6.5 养生

6.5.3 秋季低温期铺筑的复合稳定土基层，应做好防护措施；如不失水、不反复冻融，经过越冬的基层到春季强度仍然继续增长，不会受到影响。

7 施工质量管理与质量检验

7.2 铺筑试验路

7.2.2 试拌试铺时，对混合料的各种材料的比例要严格按设计控制，以便检验工艺的可行性，或调整配合比来适应工艺要求。

7.2.3 试拌中，应注重机具性能的发挥和参数的正确选取，尤其是材料称量的准确性、用水量及拌和的均匀性。

7.2.5 不同土质、不同配合比碾压效果有所不同，需要通过试铺碾压确定。

7.4 施工质量检验

7.4.1 按照本章所提出的复合稳定土基层、底基层的质量检验内容，在各个环节各道工序上全面检查，控制质量指标，以便发现问题及时解决处理。

7.4.2 土质固化剂在混合料中的含量比例较少（一般仅为干混合料全部质量的 0.01%~ 0.03%），加之土质的多样性和成分的复杂性，目前还未有直接有效的检测方法检测到其含量。通过对结构层混合料抗压强度测定值的对比和分析，可以间接检测固化剂的使用情况。现正在探讨和研究比如利用一种示踪剂来显示和检验固化剂的加入情况。这些问题有望在以后的应用中得到解决。目前工程中主要通过现场管理和质量监督来控制。

7.4.5 钻取芯样是检验复合稳定土路面基层整体性最直观可信的方法。养生期、气温以及混合料组成最大粒径和取芯机的性能、操作方法等因素，都可能对取芯结果产生的影响，应尽量排除。

征求意见稿