

团 体 标 准

T/CSPSTC XX—202X

水泥稳定含石灰土冷再生混合料技术规范

Technical specification for cement stabilized lime soil cold recycled asphalt mixture

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 材料要求	2
4.1 一般规定	2
4.2 水泥	2
4.3 集料	2
4.4 沥青混合料回收料	2
4.5 铣刨石灰土	3
4.6 水	4
5 基于温度域的水泥稳定含石灰土冷再生混合料配合比设计	4
5.1 一般规定	4
5.2 配合比设计	4
5.3 基于 40 ℃温度域水泥稳定冷再生混合料技术标准	5
6 水泥稳定含石灰土冷再生混合料弯拉强度	6
6.1 一般规定	6
6.2 弯拉强度标准	6
7 水泥稳定含石灰土冷再生混合料双强度质量控制技术标准	7
7.1 一般规定	7
7.2 冷再生混合料双强度标准	7
附录 A（资料性）国内道路基层温度域现状	8
附录 B（规范性）双强度质量控制技术标准分析	9
参考文献	12

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由黄河勘测规划设计研究院有限公司、长安大学联合提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：黄河勘测规划设计研究院有限公司、长安大学、XXX。

本文件主要起草人：XXX。

引 言

本文件基于通用的公路工程理论及原则编制，通过调查研究，总结经验，完善了水泥稳定含石灰土冷再生混合料的性能及评定指标，提升了冷再生混合料基层的路面性能，在广泛征求意见的基础上，编制本文件。

为规范水泥稳定含石灰土冷再生混合料技术应用，提高技术水平和性能，保证工程质量，便于施工，制定本文件。

水泥稳定含石灰土冷再生混合料技术规范

1 范围

本文件规定了水泥稳定含石灰土冷再生混合料技术的材料要求、基于温度域的水泥稳定含石灰土冷再生混合料配合比设计、水泥稳定含石灰土冷再生混合料弯拉强度、水泥稳定含石灰土冷再生混合料双强度质量控制技术标准的要求。

本文件适用于二级及二级以下公路，交通荷载等级为中、轻及基层或底基层为石灰稳定土的沥青路面大修、改扩建工程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 5749 生活饮用水卫生标准
JTG E51 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
JTG/T F20 公路路面基层施工技术细则
JTG/T 5521—2019 公路沥青路面再生技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

沥青混合料回收料 reclaimed asphalt pavement; RAP
采用铣刨、开挖等方式从沥青路面上获得的旧沥青混合料。
[来源：JTG/T 5521—2019，2.1.1]

3.2

沥青路面回收料 reclaimed materials from asphalt pavement; RMAP
采用铣刨、开挖等方式从沥青路面上获得的旧料。
注：包括沥青混合料回收料、无机回收料（RAI）。
[来源：JTG/T 5521—2019，2.1.3，有修改]

3.3

铣刨石灰土 milling lime soil; MLS
采用铣刨、开挖等方式从沥青路面基层或底基层中获得的石灰稳定土。

3.4

堤顶道路 embankment crest road

在堤防等填方路基之上修建的公路。

注：其设计与施工较一般公路有一定的差别，作为“抢险交通线”建成并投入运用。

3.5

温度域 temperature domain

冷再生基层温度受大气温度影响，通过预估模型拟合温度区间。

注：本文件温度研究区间为 20 ℃~40 ℃。

3.6

再生混合料级配 gradation of recycled mixture

沥青路面回收料级配与新矿料的合成级配。

4 材料要求

4.1 一般规定

4.1.1 在实地调研的基础上，本着就地取材原则，选择原材料。

4.1.2 沥青路面再生混合料使用的各种材料运至现场后应进行质量检验，经评定合格后方可使用。

4.1.3 不同的沥青路面回收材料及新集料应分开堆放，不应混杂，保证材料均匀一致；不同料源、品种、规格的集料不应混杂堆放。

4.2 水泥

水泥作为再生结合料或者活性添加剂时，应符合国家技术标准的要求，初凝时间大于 3 h，终凝时间大于 6 h 且小于 10h。宜采用普通硅酸盐水泥，不应使用快硬水泥、早强水泥，不应使用受潮变质水泥。水泥强度等级宜为 32.5 或 42.5。

4.3 集料

粗、细集料质量应符合JTG/T F20的有关规定。

4.4 沥青混合料回收料

冷再生混合料设计时，沥青混合料回收料的技术指标应符合表1的规定。

表 1 沥青混合料回收料技术指标

材料	检测项目	试验方法
沥青混合料回收料	含水率	JTG/T 5521-2019 附录 B
	沥青混合料回收料矿料级配	
	沥青含量	
	砂当量	
沥青混合料回收料中的沥青 ^a	25 °C 针入度	抽提, JTG E20
	60 °C 动力粘度	
	软化点	
	15 °C 延度	
沥青混合料回收料中的粗集料	针片状颗粒含量	抽提 ^b , JTG E42
	压碎值	
沥青混合料回收料中的细集料	棱角性	
注: a 用于三、四级公路或者是用于底基层的冷再生, 沥青混合料回收料中的沥青和粗细集料指标可不做检测。b 对于燃烧法不会对石质产生破坏的材料, 可用燃烧法替代抽提法获得粗细集料用于检测。		

4.5 铣刨石灰土

对铣刨石灰土经过晒干粉碎后, 进行相关指标检测, 具体检测指标为液限 (W_L)、塑限 (W_P)、塑性指数 (I_p)、含水率、不均匀系数 (C_u) 等, 指标应符合表2的规定。

表 2 铣刨石灰土技术指标

检测项目	技术要求	试验方法
含水率 (%)	≤ 3	T0103
不均匀系数 (C_u)	≥ 5	T0115
塑性指数 (I_p)	≤ 17	T0118

4.6 水

符合 GB 5749 规定的饮用水可直接作为基层、底基层材料拌和与养生用水。

5 基于温度域的水泥稳定含石灰土冷再生混合料配合比设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 基于温度域的冷再生混合料配合比设计采用垂直振动击实的试验方法，垂直振动击实试验方法应符合 JTG E51 的规定，形成冷再生混合料 $\Phi 150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 圆柱体试件。
- 5.1.2 垂直振动击实试验方法确定基于温度域的冷再生混合料最大干密度和最佳含水率。
- 5.1.3 根据国内道路基层温度域研究现状，以 40℃为试验温度进行冷再生混合料掺灰土和不掺灰土配合比设计。
- 5.1.4 适用于确定沥青路面回收料中合理的石灰稳定土掺量。
- 5.1.5 铣刨灰土作为外掺料，即铣刨灰土掺量=铣刨灰土干质量/矿料干质量。
- 5.1.6 沥青路面回收料的铣刨灰土掺量宜小于或等于 40%，推荐掺量小于或等于 20%。

5.2 配合比设计

5.2.1 矿料级配

二级及二级以下公路，交通荷载等级为中、轻及基层或底基层为石灰稳定土的的沥青路面再生工程，水泥稳定含石灰土冷再生混合料级配范围应符合表 3 的规定。

表 3 水泥稳定含石灰土冷再生混合料级配范围

筛孔尺寸 mm	37.5	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
级配范围 质量百分 率/%	90~100	-	66~100	54~100	39~100	28~84	20~70	14~27	8~47	0~30

5.2.2 水泥剂量

水泥的剂量宜为 4.5%~5.5%。

5.2.3 振动成型参数和压实度

- 5.2.3.1 无机结合料稳定冷再生混合料的压实度应符合 JTG/T 5521 的规定。
- 5.2.3.2 振动时间宜为 80 s~120 s，根据振动成型仪的工作原理和参数配置以及针对沥青混合料回收料的特点确定的仪器参数配置应符合表 4 的规定。

表 4 振动成型仪参数

工作频率 Hz	激振力 KN	名义振幅 mm	工作重量 KN		
			上车系统	下车系统	总重量
30	7.6	1.2	1.20	1.80	3.00

5.2.4 设计步骤

5.2.4.1 根据项目实际情况,对沥青混合料回收料取样和试验分析。试验和分析方法应符合 JTG/T 5521—2019 附录 B 的规定。

5.2.4.2 根据工地实际路面铣刨料级配和新集料的级配情况,确定新旧集料掺配比。

5.2.4.3 水泥剂量宜为 4.5%~5.5%,以此为水泥用量的中值,按照一定间隔变化形成 5 个水泥剂量,配置同一种矿料级配、不同水泥剂量的混合料。

5.2.4.4 按压实度的要求分别计算不同水泥剂量混合料试件应有的干密度。按计算的干密度和最佳含水率,通过垂直振动成型不同水泥剂量混合料 $\Phi 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 圆柱体试件,每组试件数量应符合 JTG E51 规定。

5.2.4.5 将试件放入温度 $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度 95% 以上的标养室内养生 6 d,取出后浸入 $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 恒温水槽中,并使水面高出试件顶约 2.5 cm。

5.2.4.6 将试件浸于 $40 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 的恒温水域箱中,浸水 24 h 后,试件取出,用软布吸去试件表面的水分,量高称重后,立即进行无侧限抗压强度试验。

5.2.4.7 根据式 (1) 确定水泥剂量。若达不到要求,重新调整配合比或更换原材料。

$$\bar{R} \geq R_d / (1 - Z_a \times C_v) \dots \dots \dots (1)$$

式中:

\bar{R} ——该组试件强度的平均值,单位为兆帕 (MPa);

R_d ——强度设计值 (表 5),单位为兆帕 (MPa);

C_v ——该组试件强度的变异系数,单位为百分数 (%);

Z_a ——保证率系数,高速、一级公路保证率取 95%, $Z_a=1.645$;其他公路保证率取 90%, $Z_a=1.282$ 。

5.2.4.8 通过 5.2.4.1-5.2.4.7 确定冷再生混合料矿料级配、掺配比、水泥剂量、最大干密度、最佳含水率。

5.3 基于 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度域水泥稳定冷再生混合料技术标准

5.3.1 基于 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度域不掺石灰土的水泥冷再生混合料技术标准

基于 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度域水泥冷再生混合料的技术标准应符合表 5 的规定。

表 5 40 °C 温度域不掺石灰土的水泥冷再生混合料技术标准

温度	层位	7d龄期无侧限抗压强度 MPa
40 °C	基层	3.2~4.7
	底基层	2.4~3.9

5.3.2 基于 40 °C 温度域掺石灰土的水泥冷再生混合料技术标准

5.3.2.1 根据 5.2 节确定基于温度域的冷再生混合料配合比，主要包括原材料检测结果、设计级配范围及级配曲线、掺配比、水泥剂量等设计参数。

5.3.2.2 确定实际工程合理铣刨灰土掺量。强度标准设计值应符合表 6 的要求。

5.3.2.3 基于 40 °C 温度域的掺铣刨石灰土冷再生混合料技术标准应符合表 6 的规定。

表 6 40°C 温度域的掺灰土时冷再生混合料技术标准

温度	层位	7d龄期无侧限抗压强度 MPa
40 °C	基层	2.3~4.4
	底基层	1.3~3.4

6 水泥稳定含石灰土冷再生混合料弯拉强度

6.1 一般规定

6.1.1 本文件为基于弯拉强度的路面结构设计计算参数。

6.1.2 弯拉强度标准采用高温养生条件：温度（60±2）°C，湿度大于或等于 95%，进行快速养生。

6.1.3 高温养生达到标准养生 90 d 龄期时同样弯拉强度所对应的短龄期养生时间为 10 d。

6.2 弯拉强度标准

水泥稳定不掺铣刨石灰土再生混合料和水泥稳定掺铣刨石灰土再生混合料，弯拉强度应符合表 7 的规定。

表 7 水泥稳定冷再生混合料 10 d 快速养生弯拉强度标准建议值

单位为兆帕

道路等级	不掺铣刨灰土冷再生材料	掺铣刨灰土冷再生材料
二级及以下	0.60~0.75	0.40~0.50

7 水泥稳定含石灰土冷再生混合料双强度质量控制技术标准

7.1 一般规定

7.1.1 双强度质量控制技术标准是在考虑最不利温度域（40℃）的条件下。

7.1.2 区别于 JTG/T 5521 中对水泥冷再生混合料技术要求仅以常温下 7 d 无侧限抗压强度作为控制标准，本文件提出基于 40℃ 温度域的 7 d 无侧限抗压强度和 10 d 快速养生弯拉强度作为双强度质量控制标准。

7.1.3 双强度质量控制技术标准包含沥青混合料回收料不掺铣刨灰土和掺铣刨灰土两套标准。

7.2 冷再生混合料双强度标准

7.2.1 水泥冷再生混合料技术要求应符合表 8 的规定。

表 8 水泥冷再生混合料技术要求

交通荷载等级		极重、特重	重	中、轻
7d 龄期无侧限抗压强度 MPa	基层	4.0~6.0	3.0~5.0	2.0~4.0
	底基层	2.5~4.5	2.0~4.0	1.0~3.0

7.2.2 本文件针对冷再生混合料考虑最不利温度下，掺铣刨灰土和不掺铣刨灰土的双强度技术标准，40℃ 温度域的冷再生混合料技术标准应符合表 9 和表 10 的规定。

表 9 40℃ 温度域的冷再生混合料技术标准

结构层	7 d 龄期无侧限抗压强度 MPa	
	不掺灰土	掺灰土
基层	3.2~4.7	2.3~4.4
底基层	2.4~3.9	1.3~3.4

表 10 冷再生材料 10 d 快速养生弯拉强度标准建议值

单位为兆帕

道路等级	不掺铣刨灰土冷再生材料	掺铣刨灰土冷再生材料
二级及以下	0.60~0.75	0.40~0.50

7.2.3 进行过配合比设计的水泥土稳定冷再生混合料，其性能需要满足表 9 和表 10 的技术标准要求。

附录 A
(资料性)
国内道路基层温度域现状

A.1 道路基层温度及设计现状

A.1.1 我国幅员辽阔，各地区的气候差异也较大，不同地区道路基层的试验温度也有很大的差异。

A.1.2 现有水泥稳定冷再生混合料的配合比设计，其设计要求的强度测定是在室温 20 °C 下确定的，与道路材料实际使用时的温度区别较大。

A.1.3 对于冷再生混合料来说，混合料中的旧沥青对温度变化比较敏感，当温度较高时，混合料的强度会有明显下降，温度的升高会对冷再生混合料基层的强度造成很大的影响，降低道路基层的承载能力，对道路结构造成破坏。

A.2 温度域的设计

A.2.1 不同深度的道路结构与大气温度的预估模型，如式 (A.1)、(A.2)、(A.3) 所示。

沥青面层温度 T_d 预估公式：

$$T_d = 1.0852T_a - 0.0684h + 4.29 \dots\dots\dots(A.1)$$

沥青路面基层温度 T_i 预估公式：

$$T_i = 1.1703T_a - 0.5053h + 3.5514 \dots\dots\dots(A.2)$$

沥青路面温度预估模型公式：

$$T = 1.1181T_a - 0.2258h + 4.1076 \dots\dots\dots(A.3)$$

A.2.2 T_d 为大气温度， h 为道路深度，且对于沥青面层，式 (A.1) 精度越高，对于基层式 (A.2) 精度较高，当对精度要求不高时也可用式 (A.3) 进行路面不同深度温度场的计算。

A.2.3 经调查可知，我国大部分地区年最高气温可达 38 °C~40 °C 左右，水泥稳定混合料做道路基层，故由式 (A.2) 可知，基层的温度为 37.7 °C 左右。考虑到误差传递性和道路使用的安全性，基层最不利温度可取 40 °C。

附录 B
(规范性)
双强度质量控制技术标准分析

B.1 基于温度域的掺灰土时冷再生混合料技术标准

B.1.1 根据冷再生混合料的试验结果，冷再生混合料的 7 d 无侧限抗压强度随着温度的升高逐渐降低，且不同温度下的冷再生混合料的强度变化结果基本一致。

B.1.2 选取最不利条件 40 °C 为基础，通过 20 °C 下的 7 d 无侧限抗压强度和 40 °C 下 7 d 无侧限抗压强度的回归方程，建立针对沥青混合料回收料的 40 °C 条件下的基层材料的强度标准值。

B.1.3 不掺灰土时，20 °C 下的冷再生混合料的 7 d 无侧限抗压强度与 40 °C 下的冷再生混合料的 7 d 无侧限抗压强度，相关性较好，相关系数 0.97，回归方程如式 (B.1) 所示。

$$y_1 = 1.322x - 2.210 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

y_1 ——40 °C 下冷再生混合料 7 d 无侧限抗压强度，单位为兆帕 (MPa)；

x ——20 °C 下冷再生混合料 7 d 无侧限抗压强度，单位为兆帕 (MPa)。

B.1.4 掺灰土时，20 °C 下的水泥土稳定沥青混合料混合料的 7 d 无侧限抗压强度与 40 °C 下的水泥土稳定沥青混合料混合料的 7 d 无侧限抗压强度相关性较好，相关系数 0.99，其回归方程如式 (B.2)。

$$y_2 = 0.994x - 0.325 \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

y_2 ——40 °C 下冷再生混合料 7 d 无侧限抗压强度，单位为兆帕 (MPa)；

x ——20 °C 下冷再生混合料 7 d 无侧限抗压强度，单位为兆帕 (MPa)。

因此，40 °C 温度域的冷再生混合料技术标准如表 B.1 所示。

表 B.1 40 °C 温度域的冷再生混合料技术标准

结构层	7 d 龄期无侧限抗压强度 MPa	
	不掺灰土	掺灰土
基层	3.2-4.7	2.3-4.4
底基层	2.4-3.9	1.3-3.4

B.2 冷再生材料 10 d 快速养生弯拉强度标准

抗弯拉试验是一种三维复合的受力状态，能够较好模拟冷再生基层在荷载作用下实际受拉状况，施工规范仍以无侧限抗压强度为半刚性材料强度指标，本文件采用无侧限抗压强度和弯拉强度共同对水泥冷再生材料进行强度质量控制。

B.2.1 最小弯拉强度的确定

B.2.1.1 根据规范计算出水泥冷再生基层的 90 d 弯拉强度设计值要求如表 B.2 所示。

表 B.2 结构层 90 d 弯拉强度计算要求值

单位为兆帕

道路等级	不掺灰土冷再生材料		掺灰土冷再生材料	
	基层	底基层	基层	底基层
二级及以下	0.5817~0.7316	0.6041~0.6891	0.3841~0.4793	0.3939~0.4510

B.2.1.2 由表 B.2 可知，同一材料做基层和底基层时层底拉应力相差不大，所算得最小弯拉强度也接近，为符合施工与设计需要，同一材料的弯拉强度不再区分基层与底基层。最终得到二级及以下道路 90 d 弯拉强度标准见下表 B.3 所示。

表 B.3 90 d 弯拉强度标准

单位为兆帕

道路等级	不掺灰土冷再生材料	掺灰土冷再生材料
二级及以下	0.6041~0.7316	0.3939~0.4793

B.2.1.3 上述强度要求是指水泥稳定冷再生材料在做基层和或底基层时所需的后期强度要求，即 90 d 弯拉强度要求，然而在材料设计及施工时，工程建设周期普遍较短。因此，需根据材料后期强度与短龄期的关系，将 90 d 弯拉强度转化为相应短龄期弯拉强度，以便达到快速确定冷再生材料设计参数和施工配合比设计控制指标的目的。

B.2.2 弯拉强度标准

B.2.2.1 考虑到弯拉强度试验龄期较长，故将 90 d 弯拉强度标准值转化为较短龄期的快速养生 10 d 弯拉强度标准。

B.2.2.2 结合弯拉强度试验中标准养生 90 d 弯拉强度与快速养生 10d 弯拉强度对应关系如表 B.4 所示，将标准养生 90 d 强度转化为快速养生 10 d 的弯拉强度要求，最终提出不掺灰土和掺有灰土的 10 d 快速养生条件下弯拉强度标准建议值，结果如表 B.5 所示。

表 B.4 快速养生弯拉强度与龄期的对应关系

回归法	高温养生弯拉强度与龄期关系式	相关系数 R2	标准养生龄期 d	弯拉强度 MPa	达到相同强度时快速养生龄期 d
对数曲线	$R_s=0.164+0.354\ln(t)$	0.901	90	0.97	9.75
幂函数曲线	$R_s=0.33 t^{0.466}$	0.863			10.1
S 型曲线	$R_s=e^{(0.295-3.018/t)}$	0.967			9.28

表 B.5 冷再生材料 10 d 快速养生弯拉强度标准建议值

单位为兆帕

道路等级	不掺灰土冷再生材料	掺旧灰土冷再生材料
二级及以下	0.60~0.75	0.40~0.50

B.2.2.3 为保证道路在建设过程中，在最短工期要求情况下，满足表 B.5 中快养生弯拉强度标准进行材料设计，对于施工中混合料的配合比设计具有实际的指导意义。

参 考 文 献

- [1] JTG D50 公路沥青路面设计规范
- [2] JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
- [3] JTG E42 公路工程集料试验规程
- [4] JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
- [5] JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- [6] JTG 3430 公路土工试验规程