

高性能二灰稳定碎石混合料设计方法研究

郑南翔¹, 吴传海²

(1. 长安大学教育部特殊地区公路工程重点实验室 西安市 710064;

2. 广东省公路交通科学研究所 广州市 510420)

摘 要: 分析规范设计方法存在的不足, 提出了基于路用性能的高性能二灰稳定碎石集料的级配范围和设计方法——HPLFA 设计方法。并通过设计实例和试验工程进行了验证, 证明使用 HPLFA 方法设计的基层混合料具有优良的综合路用性能, 能够有效地防止由于基层引起的路面早期破坏。

关键词: 高性能二灰稳定碎石; HPLFA 设计方法; 集料级配; 配合比

随着国民经济迅速发展, 公路交通量急剧增加, 这对公路路面的主要承重层——基层提出了更高的要求。基层的强弱和好坏对整个路面, 特别是沥青混凝土路面的强度、使用质量和使用寿命都有十分重要的影响。二灰稳定碎石材料具有较高的强度、板体性能、比其他基层材料更好的抗裂性能, 以及应用二灰稳定碎石可以变废为宝, 减少工业废渣对环境的危害, 降低工程造价等优点, 在高等级公路基层的修筑中得到了越来越普遍的应用。

二灰稳定碎石基层上铺筑沥青混凝土路面, 较普遍出现的问题是沥青混凝土路面开裂后易发生基层唧浆等冲刷破坏, 从而导致从开裂处沥青混凝土路面逐渐发生大面积网裂松散等早期破坏。究其原因主要是目前设计和施工规范所定的集料级配以及混合料设计方法存在缺陷, 二灰稳定碎石集料在混合料中的含量确定时无准确的量化技术标准, 以致用规范所定方法难以设计出综合路用性能最优的二灰稳定碎石混合料。因此对二灰稳定碎石设计方法进行改进就显得非常重要。

1 高性能二灰稳定碎石混合料设计方法——HPLFA 设计方法

笔者根据多年的工作经验和理论分析, 提出基于多项路用性能为评价指标的高性能二灰稳定碎石混合料设计方法, 简称 HPLFA (High Performance Lime Flying-ash Aggregate) 设计方法。所谓高性能二灰稳定碎石混合料设计是指: 根据

路用性能的技术要求, 选择良好的集料级配、恰当的二灰(石灰: 粉煤灰)配合比, 确定混合料合理的集料(结合料)含量, 以便设计出力学性能、耐疲劳性能、抗冲刷性能、抗裂性能等诸方面均具有良好路用性能的基层材料。它是路面设计的重要组成部分, 通过 HPLFA 设计方法进行材料组成设计, 能够使路面设计建立在科学、经济、合理的基础上。

HPLFA 设计方法包括初始配合比和最终生产配合比 2 个步骤, 最终完成高性能二灰稳定碎石混合料配合比设计。

1.1 材料的选取

合格的原材料是确保二灰稳定碎石混合料具有优良性能的前提, 因此使用前必须对原材料的各项基本性能进行测试。

(1) 石灰是粉煤灰水化反应的激发剂, 其活性大小直接决定了二灰稳定碎石的早期强度, 应对其有效氧化钙、氧化镁的含量提出最低要求。《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034-2000)中规定用于二灰稳定碎石的消石灰应在Ⅲ级以上, 并应尽量缩短石灰的存放时间。

(2) 粉煤灰必须具有一定的活性, 其中 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的总含量应大于 70%, 粉煤灰的烧失量不应超过 20%; 粉煤灰的比表面积宜大于 $2500 \text{ cm}^2/\text{g}$ (或 90% 通过 0.3 mm 筛孔, 70% 通过 0.075 mm 筛孔)。

(3) 集料要求具有一定的强度, 作为高等级公路基层用的二灰稳定碎石集料压碎值不能大于 30%,

外形应尽量接近立方体,最大尺寸不应超过 31.5 mm。集料应具有一定的级配,级配范围符合表 1 的规定。

表 1 推荐级配及级配范围

筛孔尺寸/mm	31.5	19.0	9.5	4.75	2.36
通过百分率/%	上限	100	71	41	17
	中值	97.5	62	31	12
	下限	95	53	21	7

1.2 集料级配

集料最优级配的选择主要是通过各集料级配下的二灰稳定碎石混合料综合路用性能评价以及施工离析性检验来确定。作者曾用 K 法计算出多种集料级配、间断级配及现行规范推荐级配,进行二灰稳定碎石混合料力学性能、疲劳性能、抗裂性能及抗冲刷性能试验,用灰色系统评价理论进行综合路用性能的评价并检验混合料的施工离析性,最终推荐出表 1 所列的最优集料级配范围。

1.3 混合料设计步骤

1.3.1 石灰与粉煤灰比例确定

根据石灰和粉煤灰的性能,以及具体使用要求确定二灰配合比。在进行二灰配合比设计时,可按石灰:粉煤灰为 1:2、1:2.5、1:3 或 1:4 等制备试件,确定各自的最佳含水量和最大干密度,然后测定同一龄期和同一压实度试件的抗压强度,结合使用要求与经济性选取合适的二灰配合比。

1.3.2 结合料与集料比例的确定

(1) 初始配合比。

在上面所得的二灰配合比的基础上,根据集料的松散(堆积)空隙率和捣实空隙率变化(结合料的体积含量),制备 5 种不同配合比的二灰稳定碎石混合料试件。

设集料的松散空隙率(可以实测)为 n ,集料的捣实空隙率为 n' ,则结合料体积含量可分别取为: $\frac{3n-n'}{2}$ 、 n 、 $\frac{n+n'}{2}$ 、 n' 或 $\frac{3n'-n}{2}$,由于 1 个单位实方体的混合料质量等于结合料质量与集料质量之和,可将其换算为质量百分含量。

①通过试验,测定所选级配集料松散状态(堆积)下干容重 γ_1 ,捣实状态下干容重 γ'_1 ,集料的平均相对密度 ρ ,结合料的最大干密度 γ_2 ,从而可知 $n = 1 - \frac{\gamma_1}{\rho}$, $n' = 1 - \frac{\gamma'_1}{\rho}$ 。

②设结合料体积含量为 V_2 (分别取为: $\frac{3n-n'}{2}$ 、 n 、 $\frac{n+n'}{2}$ 、 n' 或 $\frac{3n'-n}{2}$),则 1 个单位实方体中,集料占有的体积为 $V_1 = 1 - V_2$;从而可知,混合料最大干密度 $\gamma_0 = \rho \cdot V_1 + \gamma_2 \cdot V_2$,结合料与粒料的重量比为: $(\gamma_2 V_2 / \gamma_0) : (\rho V_1 / \gamma_0)$ 。

③通过计算定出 5 个初始配合比。

配合比 1 为 $(\frac{3n-n'}{2} \cdot \frac{\gamma_2}{\gamma_0}) : \frac{\rho(1-\frac{3n-n'}{2})}{\gamma_0}$;

配合比 2 为 $\frac{n\gamma_2}{\gamma_0} : \frac{\rho(1-n)}{\gamma_0}$;

配合比 3 为 $(\frac{n+n'}{2} \cdot \frac{\gamma_2}{\gamma_0}) : \frac{\rho(1-\frac{n+n'}{2})}{\gamma_0}$;

配合比 4 为 $\frac{n'\gamma_2}{\gamma_0} : \frac{\rho(1-n')}{\gamma_0}$;

配合比 5 为 $(\frac{3n'-n}{2} \cdot \frac{\gamma_2}{\gamma_0}) : \frac{\rho(1-\frac{3n'-n}{2})}{\gamma_0}$ 。

(2) 试验选定最佳初始配合比。

①确定各种二灰稳定碎石级配集料的最佳含水量和最大干密度(用重型击实试验法)。

②按最佳含水量和预定干密度制备试件(预定干密度由试验得到的最大干密度和规定达到的压实度计算求得)。

③试件在规定温度下保湿养生 6 d,浸水 24 h 后,按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057-94)进行无侧限抗压强度试验,根据规范强度标准选取最佳配合比。有条件的情况下,还应综合考虑其力学性、抗冲刷性、耐疲劳性、抗裂性等诸项路用性能。

(3) 最终生产配合比确定。

现场铺筑试验路,根据施工现场二灰稳定碎石混合料离析性和结构性调整配合比。在施工前还应再做离析性摊铺验证,如果发生离析,宜适当调整材料配合比或者减少摊铺宽度,以最后确定的高性能二灰稳定碎石混合料为最终生产配合比。

2 设计实例

2.1 材料的选取

石灰为 I 级消石灰, $\text{CaO} + \text{MgO}$ 含量为 60.9%;粉煤灰为火电厂湿排粉煤灰,各指标见表 2,符合相关技术标准要求。

集料为石灰岩,压碎值为 16.7%,集料合成级

表 2 粉煤灰性质

比表面积 m ² /g	密度 g/cm ³	化学成分含量/%					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO+MgO	其他	含碳量
6.71	2.25	50.80	32.78	4.64	5.68	6.1	8.72

配符合表 1 的范围要求。

2.2 石灰与粉煤灰比例确定

按石灰:粉煤灰为 1:2、1:2.5 和 1:3 制备试件,确定各自的最佳含水量和最大干密度,然后测定同一龄期和同一压实度试件的抗压强度,结合使用要求与经济性选取石灰:粉煤灰为 1:2.5。

2.3 结合料含量的试验设计

根据试验可知,所选取级配集料的松散状态(堆积)下干容重 $\gamma_1 = 1.69 \text{ g/cm}^3$;捣实状态下干容重 $\gamma'_1 = 1.86 \text{ g/cm}^3$;集料的平均相对密度 $\rho = 2.78 \text{ g/cm}^3$;结合料的干密度 $\gamma_2 = 1.194 \text{ g/cm}^3$ 。

由“体积法”,在松散状态下 1 个单位实方体中,集料占有的体积 $V_1 = \frac{\gamma_1}{\rho} = 0.61$;结合料占有体积 $V_2 = 1 - V_1 = 0.39$;混合料最大干密度 $\gamma_0 = \gamma_1 + \gamma_2 \cdot V_2 = 2.156$;则结合料与集料的重量比 $(\gamma_2 \cdot V_2 / \gamma_0) : (\gamma_1 / \gamma_0) = 21.5 : 78.5$ 。同理可得,在捣实状态下 1 个单位实方体中,粒料占有的体积 $V_1 = \frac{\gamma'_1}{\rho} = 0.67$;结合料占有体积 $V_2 = 1 - V_1 = 0.33$;混合料最大干密度 $\gamma_0 = \gamma'_1 + \gamma_2 \cdot V_2 = 2.25$;则结合料与集料的重量比 $(\gamma_2 \cdot V_2 / \gamma_0) : (\gamma'_1 / \gamma_0) = 17.5 : 82.5$ 。

根据松散状态和捣实状态下集料的空隙率(分别为 39%和 33%),即结合料占有的体积比,我们可以变化这样几种结合料体积含量:介于松散和捣实之间,即 $(39\% + 33\%) / 2 = 36\%$;比松散状态含量更多,即 $(V_2 + 36\%) / 2 = 39\%$, $V_2 = 42\%$;比捣实状态更少,即 $(V_2 + 36\%) / 2 = 33\%$, $V_2 = 30\%$ 。这样,我们就可知道变化的 5 种结合料体积含量分别为:42%、39%、36%、33%和 30%;又根据实方体中混合料的重量为结合料与集料 2 部分重量之和,可得结合料的重量比分别为 23.5%、21.5%、19.5%、17.5%和 15.5%。为了便于叙述,依次将其称为 1 号配合比、2 号配合比、3 号配合比、4 号配合比和 5 号配合比。试验得出初始配合比和击实结果见表 3,7 d、28 d 无侧限抗压强度见表 4。

得出二灰稳定碎石初始配合比石灰:粉煤灰:碎石 = 6.0:15.5:78.5。

2.4 最终生产配合比确定

表 3 不同集料含量混合料最大干容重和最佳含水量

初始配合比	混合料配合比 (石灰:粉煤灰:碎石)	最佳含水量 %	最大干容重 g/cm ³
1 号	6.5:17.0:76.5	10.9	2.02
2 号	6.0:15.5:78.5	9.7	2.06
3 号	5.5:14.0:80.5	9.0	2.09
4 号	5.0:12.5:82.5	7.8	2.14
5 号	4.5:11.0:84.5	6.9	2.16

表 4 不同集料含量二灰稳定碎石 7 d、28 d 强度指标

编号	抗压强度/MPa		备 注 (石灰:粉煤灰:碎石)
	7 d	28 d	
1 号	1.032	2.27	6.5:17.0:76.5
2 号	1.158	2.56	6.0:15.5:78.5
3 号	1.046	2.27	5.5:14.0:80.5
4 号	1.134	2.23	5.0:12.5:82.5
5 号	1.191	2.04	4.5:11.0:84.5

通过现场铺筑试验路,强度和其他路用性能均满足要求,如没有发现离析现象存在,满足各施工工艺要求时,最终生产配合比石灰:粉煤灰:碎石 = 6.0:15.5:78.5。

以上即为高性能二灰稳定碎石混合料设计方法—HPLFA 设计方法。

3 试验路验证

从 1998 年开始,作者用 HPLFA 设计方法先后在如下几条高速公路、一级公路上修筑了试验路:1998 年陕西省西安~洋峪口一级公路全长 20.48 km 全线应用;2002 年陕西省西安~户县高速公路全长 31.75 km 全线全幅应用;2002 年甘肃省兰州市柳沟河~忠和高速公路长约 20 km 全幅应用;2001 年河北省邯郸市二级公路试验段。以上应用 HPLFA 设计方法的路段运行时间最长的约 6 年,最短约 2 年。

经检测,沥青混凝土路面在初期 3 年内几乎无开裂,少数后期出现沥青混凝土路面开裂处即使未进行贯缝养护,也未见裂缝处有引发沥青混凝土路面发生大量早期破坏的迹象。特别是运行近 6 年的西安~洋峪口一级公路,近 6 年来路面为零养护,进一步证明了用 HPLFA 设计方法设计的二灰稳定碎石混合料具有很优良的路用性能。

4 结语

(1)推荐出最优二灰稳定碎石集料的级配范围

文章编号: 0451-0712(2004)07-0076-05

中图分类号: U417

文献标识码: B

预应力锚索框架型地梁的内力计算

宋从军, 周德培

(西南交通大学土木工程学院 成都市 610031)

摘 要: 提出了预应力锚索框架型地梁内力的一种计算方法, 即把框架地梁分解成单梁, 按温克尔(Winkler)假定计算各单梁的内力, 由此进行框架地梁的尺寸和配筋设计。在内力计算中同时考虑框架地梁的锚索张拉阶段和工作阶段。通过实际工程说明了计算方法。

关键词: 预应力锚索框架型地梁; 内力; 计算方法; 张拉阶段; 工作阶段

预应力锚索框架地梁是加固开挖后难以自稳的高陡边坡的一种有效结构, 它因具有工期短、机械化程度较高、施工条件好、效果显著、外形美观等优点, 而被山区公路建设广泛采用。另外框架地梁在合理加固坡体的同时, 还可在框架内进行植被, 达到绿化防护的目的。目前对于预应力锚索和锚索桩的设计计算已有较为成熟的方法, 但是对于预应力锚索框架地梁的内力计算还没有公认的有效方法^[1~9], 也没有相应设计规范, 设计单位一般都采用经验类比法来估算地梁内力, 或者采用简单的倒梁法加以计算。由此得出的结果与实际情况出入很大, 有必要加以改进, 提出一种较为合理的计算方法。本文在考虑框架地梁与土体共同作用的情况下, 提出了预应力

锚索框架型地梁内力的一种计算方法, 即把框架地梁分解成单梁, 按 Winkler 假定计算各单梁的内力, 由此进行框架地梁的尺寸和配筋设计。在内力计算中同时考虑框架地梁的锚索张拉阶段和工作阶段。计算结果得到了试验数据的验证。

1 地梁型式与基本假定

1.1 地梁型式

地梁结构有多种型式, 图 1 是其中之一。由 2 片纵梁和 2 片横梁组成 1 个框架单元, 每片纵梁的中点以及纵梁与横梁交点处设有锚索, 共 6 根。这 6 根锚索既将框架固定于坡面, 又加固坡体。横梁对称布置于纵梁两侧。在纵、横梁交点处, 纵梁有一定的外

收稿日期: 2004-02-27

即 OKG(最佳 K 法级配) 级配范围, 修正了目前《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014-97) 及《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034-2000) 中对二灰稳定碎石集料级配规定的缺陷。

(2) 得出了高性能二灰稳定碎石基层材料系统的设计方法, 即 HPLFA 设计方法及相应的试验方法。用本文提出的设计方法设计的二灰稳定碎石混合料力学性能完全满足现有规范要求, 并且在力学性能、抗裂性能、抗冲刷性能、疲劳性能等综合路用性能方面远优于按现行规范设计的二灰稳定碎石混合料。在陕西省西安~沔峪口一级公路、陕西省西安~户县高速公路、甘肃省兰州市柳沟河~忠和高速公路的应用, 验证了本方法的可行性和合理性。

(3) 该方法理论依据充分, 步骤清晰明确、科学, 简便可行, 便于推广应用。

参考文献:

- [1] 张登良. 加固土原理[M]. 北京: 人民交通出版社, 1990.
- [2] 林绣贤. 半刚性基层沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1991.
- [3] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [4] 郑南翔. 半刚性基层材料抗裂性能研究[D]. 西安公路学院硕士学位论文, 1988.
- [5] 姜爱峰, 任惠清. 二灰碎石组成配合比设计[J]. 同济大学学报, 1999, (6).