

文章编号: 1673- 9469(2010) 04- 0026- 04

# 级配碎石柔性基层固体体积率指标研究

陈艳琼

(福建交通职业技术学院, 福州 350007)

**摘要:** 级配碎石的固体体积率是其级配设计的重要控制指标, 对级配碎石的强度和抗变形能力有着重要的影响, 本文通过大量的试验研究了级配设计、粗集料性能以及细集料性能对级配碎石固体体积率指标的影响规律, 提出了固体体积率的指标控制取值, 为级配碎石的设计和施工提供了有利的参考。

**关键词:** 级配碎石; 固体体积率; 影响因素; 指标要求

**中图分类号:** U416. 217

**文献标识码:** A

## Study of solid volume ratio index of graded broken stone

CHEN Yan-qiong

(Fujian Communication Technology College, Fujian Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** Solid volume ratio is an important control index for grading design of graded broken stone; this index has an important effect to the ability of strength and deformation resistance. Through a large number of experiments, this paper has studied the grading design and performance of aggregate affect to the solid volume ratio index, and has proposed the control value of solid volume ratio index. These are great helpful to the grading design and construction control of graded broken stone pavement.

**Key words:** graded broken stone; solid volume ratio; effect factors; control index

级配碎石作为柔性基层或组合式基层沥青路面结构的重要层位, 其质量的优劣决定着路面结构的成败, 我国现行施工技术规范中没有级配碎石的配合比设计控制指标, 在总结国内外使用经验的基础上, 当前我国通常采用的两个控制指标为 CBR 值和固体体积率。

重型击实 CBR 是目前各国级配碎石最普遍采用的混合料强度标准, 但使用经验表明, CBR > 100% 只是一个一般性指标, 比较容易达到, 对级配碎石的设计和施工起不到实质的指导作用; 而固体体积率则是与级配碎石强度和抗变形能力均有密切的关系的重要指标。当设计合理的级配碎石的压实度达到 100% 时, 级配碎石固体体积率才可达 85% (重型击实标准) 以上, 能够显著提高级配碎石的使用性能。

### 1 固体体积率指标

南非的沥青路面结构中沥青层厚度较薄, 因此其对级配碎石的要求非常高: 对于重交通道路的级配碎石基层, 固体体积率 > 86% - 88%; 而对于中交通道路级配碎石, 固体体积率 > 85%; 新西兰研究认为, 若固体体积率 < 85%, 级配碎石基层存在容易产生变形等损坏的不足。

为研究级配碎石固体体积率对使用性能的影响, 本文采用不同料场的材料按设计配合比、最佳含水量、最大干密度采用轮碾机成型级配碎石试件, 每组两块, 然后放到车辙试验机上进行车辙试验(常温)。试验中, 三种级配碎石试件的固体体积率代表值分别为 1 号 80.6%、2 号 84.1%、3 号 86.9%, 试验记录试件变形量随时间的变化结果如图 1 所示。

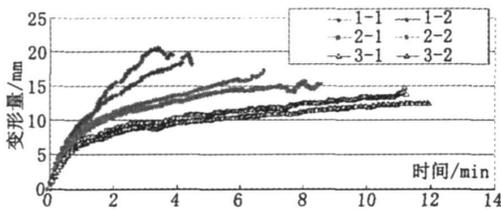


图1 固体体积率对级配碎石变形影响曲线

Fig.1 Curve of solid volume ratio affect on the deformation resistance

由图1可以看出, 固体体积率指标对级配碎石材料的抗变形能力有着非常显著的影响, 随着固体体积率的增加, 其抗变形能力明显提高。图中1号级配的固体体积率为80.6%, 随着碾压次数的增加, 其本身的变形量呈同比增加趋势, 并很快就破坏; 2号级配固体体积率达到84.1%, 碾压初期其变形较快, 但随着时间的增加, 其变形速率逐渐降低并趋于一个恒定较低的水平; 3号级配固体体积率为86.9%, 试件在试验初期有相对稍快的变形, 随着时间的增加, 试件的变形速率很快就趋于稳定, 并在试验时间达到10min之后, 其变形量几乎不再明显增加。

分析认为, 当级配碎石的固体体积率较低时 (< 85%), 其内部是一个不稳定的系统, 在外部荷载的作用下, 材料很快变形并受到塑性破坏; 而当体积率达到85%以上时, 级配碎石内部形成嵌挤的良好力学结构, 受到外部荷载时, 材料颗粒之间不会继续产生塑性流变, 表现出良好的强度与抗变形性能。所以, 级配碎石固体体积率指标取为85%是较为合理可行的。

## 2 固体体积率指标的影响因素

固体体积率作为反映级配碎石性能的综合指标, 受到级配设计、原材料性能、施工质量等多种因素的影响, 本文从级配设计、粗集料性能和细集料性能三个大方面对其进行了研究。

### 2.1 级配设计的影响

级配类型: 不同的级配设计通过调整矿料的比例关系可以实现提高材料密实度的目标, 级配碎石的级配设计对其固体体积率有着重要的影响, 是提高固体体积率的最佳途径。本文针对某高速公路级配碎石原材料来源的23个料场, 以固体体积率为设计控制指标, 分别对其进行了粗中

细三种不同级配类型的设计与调整, 数据如图2所示。

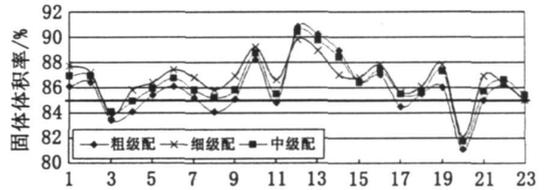


图2 级配设计对固体体积率指标的影响

Fig.2 Influence of grading design on the solid volume ratio index

由图2试验结果可以看出, 不同来源的原材料由于其本身性能限制, 其固体体积率指标的调整范围是受到限制的, 有的级配碎石通过调整级配, 可以实现固体体积率由< 85%提高到> 85%的要求, 如图2中的3、8、11和17号料场, 而有些料场的原材料即使调整级配也很难达到要求, 如3号20号料场。

通过试验数据可以得出, 一方面, 从粗中细不同类型对比来看, 固体体积率与级配类型并没有固定的相关关系, 有的材料细级配有利于固体体积率指标的提高, 而有的材料则粗级配的固体体积率指标更高, 也有部分料场的固体体积率最大值为中级配; 另一方面, 不同的级配对固体体积率指标的影响程度并不相同, 根据本文23组数据显示, 通过调整级配可以实现的固体体积率变动范围最大为2%左右, 最小只有1%, 即在材料性能一定的情况下, 有的级配碎石无法通过调整级配来满足固体体积率指标要求。

混合料0.075mm通过率: 我国历来习惯采用水洗法中小于0.075mm颗粒部分的含量作为细集料的含泥量, 但细集料质量控制的目的是控制其中的泥土部分, 而不是细砂或石粉, 因此0.075mm通过率指标适用于天然砂的质量控制, 而不太适用于机制砂和石屑。对于非天然砂细集料0.075mm通过率指标主要是为了控制合成级配中的0.075mm筛孔通过率。图3中1、2、3分别代表粗中细三种级配类型(下同), 合成级配0.075mm通过率与固体体积率指标的关系如图3所示。

由图3可以看出, 混合料中0.075mm通过率对固体体积率有一定的影响, 随着混合料0.075mm通过率的增加, 混合料的干密度整体在增加, 相应的固体体积率也有所增加, 但增加0.075mm含量对于提高固体体积率指标是有限的。根据使用经验, 级配碎石最大干密度的峰值对应的0.075mm

通过率一般为 6~8%，若通过此途径来提高固体体积率，使得混合料 0.075mm 通过率超过适宜的限值，则会在一定程度上牺牲级配碎石层的渗水性能，所以不宜为提高固体体积率而强制调整该指标超出其合理范围。

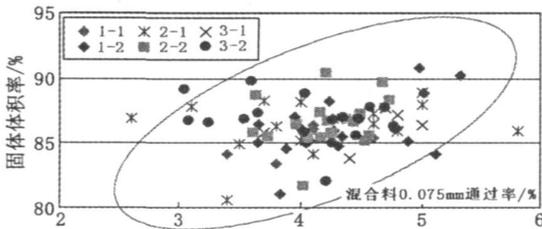


图3 混合料0.075mm通过率对固体体积率指标的影响  
Fig.3 Influence of passing the 0.075mm sieve percentage on the solid volume ratio index

### 2.2 粗集料性能的影响

材料强度: 级配碎石强度主要来源于碎石本身强度及碎石颗粒之间的嵌挤能力, 因此粗集料的磨耗值、压碎值和软石含量等强度指标对级配碎石混合料的强度具有重要影响。我国现行基层施工规范中只要求压碎值作为级配碎石粗集料的强度技术指标, 规定对于高速公路和一级公路, 压碎值不小于 26%。图 4 所示为粗集料压碎值与固体体积率的关系。

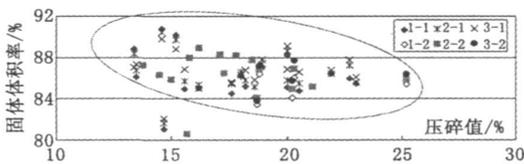


图4 粗集料压碎值对固体体积率指标的影响  
Fig.4 Influence of coarse aggregate crushing value on the solid volume ratio index

由图 4 数据可以得出, 除个别点之外, 随着粗集料压碎值的增加, 级配碎石的固体体积率整体呈降低的趋势。分析认为, 随粗集料强度的降低, 在级配碎石拌合、摊铺及压实过程中, 更多的粗集料会在外力作用下破碎, 原来设计的级配会细化变异, 根据级配设计理论, 细集料含量的过度增加会提高混合料的空隙率, 即固体体积率的降低。但是, 这种固体体积率指标降低的趋势处于一定的范围之内, 随原设计级配类型的不同而不同。

粗集料针片状: 集料的针片状是控制材料质量的重要指标之一, 除了破碎工艺的差异之外, 针片状指标主要受石料本身性能的影响。图 5 所示为级配碎石中粗集料针片状含量与固体体积率关系。

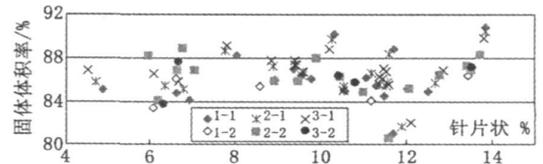


图5 粗集料针片状对固体体积率指标的影响  
Fig.5 Influence of flat and elongated Particles percentage on the solid volume ratio index

由图 5 可以看出, 当粗集料针片状在 6% ~ 14% 之间变化时, 级配碎石的固体体积率指标基本没有明显的变化趋势。分析认为, 针片状的存在虽然在一定程度上会造成材料空隙率的增加, 降低固体体积率指标, 但针片状颗粒在施工过程中更容易被折断破碎为更小粒径的颗粒, 这些小颗粒的填充作用在一定程度上可以抵消针片状增加对空隙率提高的影响, 所以粗集料针片状在一定范围内变化时, 总体上不会对级配碎石的固体体积率指标产生影响。

### 2.3 细集料性能的影响

细料质量控制是指控制细料中有害物质的含量, 如有机物、粘土等。目前规范体系用于细集料有害物质控制的指标有含泥量、液限、塑性指数、砂当量以及亚甲蓝值。

液限与塑性指数: 细集料的液限和塑性指数越大, 表明细集料质量越差。图 6 和图 7 分别表示细集料液限和塑性指数对级配碎石固体体积率指标的影响。

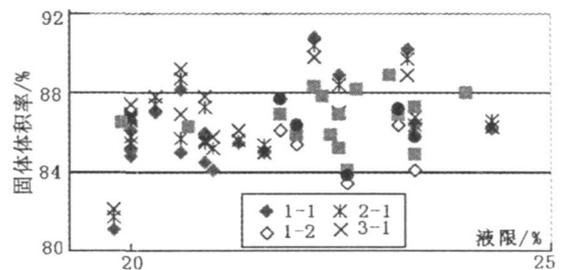


图6 液限对固体体积率指标的影响  
Fig.6 Influence of liquid limit of fine aggregate on the solid volume ratio index

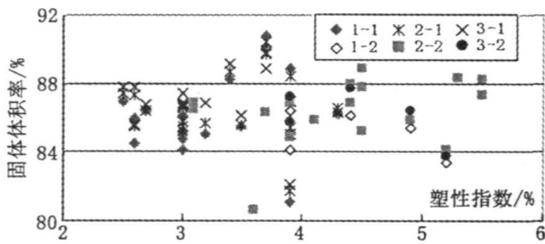


图7 塑性指数对固体体积率指标的影响

Fig.7 Influence of plasticity index of fine aggregate on the solid volume ratio index

由图6和图7可以看出,细集料的液限和塑性指数对固体体积率指标没有明显的影响规律。级配碎石层在路面结构中的重要作用之一就是排水,材料本身的空隙率高达15%~20%,级配碎石中细集料的作用在于提供填充和力学传递作用,在高空隙率情况下,其本身的液限与塑性指数指标对固体体积率指标并不产生直接的影响,该指标的差异主要对材料的力学性能会有一些的影响。

砂当量的影响:由于液限和塑性指数的试验误差较大,目前较倾向采用砂当量或亚甲蓝指标代替液限和塑性指数指标来控制细集料的质量,如沥青混合料只采用砂当量或亚甲蓝值,而没有液限和塑性指数。图8为砂当量与固体体积率的变化曲线。

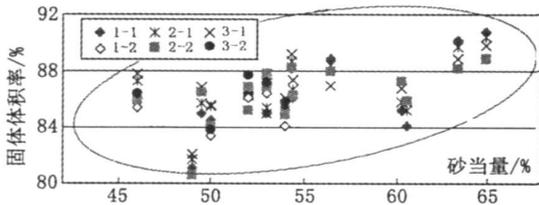


图8 砂当量对固体体积率指标的影响

Fig.8 Influence of sand equivalent of fine aggregate on the solid volume ratio index

由试验数据可以看出,砂当量对级配碎石的固体体积率指标有一定的影响。细集料砂当量增加,表明细集料中密度较低的塑性物质含量降低,其相应的固体体积率会增加,混合料的抗变形能力也会得到提高。在实际级配碎石配合比设计时,有时由于细集料较脏,砂当量较低,其固体体积率往往偏低,在更换干净的石屑或细集料后,固体体积率指标一般会有较大的提高。但是,这并非表明,砂当量达到要求,固体体积率指标就没有问题。

### 3 结论

1) 级配碎石材料的固体体积率对其强度和抗变形能力有着显著的影响,其指标控制值宜取为85%。

2) 级配碎石通过调整级配设计可以在一定程度上提高其固体体积率指标,但其可调整的范围有一定的限制,最大约为2%。

3) 粗集料对固体体积率的影响主要体现在级配变异对混合料空隙率指标的影响,粗集料强度的提高和针片状含量的减少有利于固体体积率指标的稳定。

4) 细集料总体上对级配碎石固体体积率指标的影响不大,细集料质量较差会对材料力学性能产生不利的影响。

### 参考文献:

- [1] 曹建新. 级配碎石混合料组成设计的试验研究[J]. 公路, 2004(2): 107- 111.
- [2] 李长江, 栾海, 张宏伟. 级配碎石柔性基层设计参数的研究[J]. 公路, 2004(7): 153- 159.
- [3] 王龙, 冯德成. 提高级配碎石基层使用性能的方法[J]. 中国公路学报, 2006, 19(4): 40- 45.
- [4] 范兴华. 级配碎石的级配研究[J]. 北方交通, 2007(8): 16- 19.

(责任编辑 刘存英)