

文章编号: 0451-0712(2005)12-0140-06

中图分类号: U414.103

文献标识码: A

级配碎石的级配选择

袁峻¹, 邵敏华¹, 黄晓明²

(1. 同济大学交通运输学院 上海市 200092; 2. 东南大学交通学院)

摘要: 级配碎石层材料的强度较低,主要来源于碎石颗粒本身的强度以及碎石颗粒之间的嵌挤力。为了得到较高强度和稳定性的材料,采用反映材料强度的指标 *CBR* 值,对级配碎石的级配以及试件的成型方式这两个影响因素进行了分析。

关键词: 级配碎石; *CBR* 值; 级配; 成型方式

级配是影响级配碎石强度与刚度最重要的因素。一般来说,密实的级配易获得高密度,从而使级配碎石获得高的 *CBR* 值、回弹模量及抗永久变形能力^[1]。当材料具有较大密实度,并有较好透水性的级配,即是我们所寻求的最佳级配。国内有关级配碎石级配设计方法主要有以下两种:连续级配的设计方法以及参考体积设计法设计沥青混合料而引入的填充系数法。但由于理论模型与实际情况有差距,仅根据这些理论并不能设计出性能良好的级配碎石,需要将理论与实践相结合得到所需的级配。

1 试验材料与试验方法

1.1 材料的基本性能

爱尔兰根据 30 年无粘结材料使用经验表明,石灰岩是所有作为级配碎石材料中最好的。其主要原因:石灰岩容易轧制成四方形形状,容易达到级配要求,同时其细颗粒中碳酸盐含量较高,在拌和中和水一起对粗集料起到胶结料的作用^[2]。因此本次试验采用轧制的石灰岩作为级配碎石层的材料,其各项性能指标为压碎值:19.5%;液限:26;塑性指数:5;针片状颗粒含量:<12.2%。

1.2 级配

通常认为影响级配的因素主要有最大粒径,公称粒径及集料中通过 5 mm(40 号筛)、0.5 mm 和 0.074 mm(200 号筛)含量等。在本试验中选取最大粒径为 31.5 mm 和 26.5 mm 的级配进行研究,按照我国的标准,相应的公称粒径均为 19 mm。各国相应

的级配控制指标见表 1 和表 2。

表 1 最大粒径为 31.5 mm 的碎石级配范围

级配范围	日本	法国	加拿大	中国
公称粒径碎石通过率/%	75~92.5	85~100	90~100	85~100
4.75 mm 筛通过率/%	30~65	30~53	35~60	29~54
0.425 mm 筛通过率/%	10~30	5.5~21	10.5~22	6~17
0.075 mm 筛通过率/%	2~10	2~10	0~5	0~7

表 2 最大粒径为 26.5 mm 的碎石级配范围

级配范围	加拿大	FHWA	美国加州
公称粒径碎石通过率/%	80~100	97~100	90~100
4.75 mm 筛通过率/%	55~70	35~47	35~55
0.425 mm 筛通过率/%	7~23	12~21	8~25
0.075 mm 通过率/%	0~5	4~8	2~9

参考各国各级控制筛孔的通过率,各控制筛的通过率大致为表 3 所示。按照表 3 中取值的上限、下限以及中值,以形成平滑曲线为原则,通过插值确定其他各级筛孔的通过率,得到本文试验的级配。如表 4、图 1 和图 2 所示。

表 3 建议控制筛号的通过率

最大粒径/mm	31.5	26.5
公称粒径碎石通过率/%	85~100	90~95
4.75 mm 筛通过率/%	30~55	35~55
0.425 mm 筛通过率/%	8~20	8~20
0.075 mm 筛通过率/%	2~10	2~10

表 4 本试验选用级配

级配类型	通过下列方筛孔(mm)的质量百分率/%												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
A 31.5 细	100	95	85	82	77	70	55	43	33	25	19	14	10
B 31.5 中间	100	95	85	76	71	62	45	30	21	16	11	8	6
C 31.5 粗	100	95	85	76	66	51	30	19	12	8	5	3	2
D 26.5 细	—	100	90	84	78	70	55	43	32	24	18	13	10
E 26.5 中间	—	100	90	83	78	69	47	32	23	17	12	9	6
F 26.5 粗	—	100	90	79	69	57	35	22	14	9	6	4	2

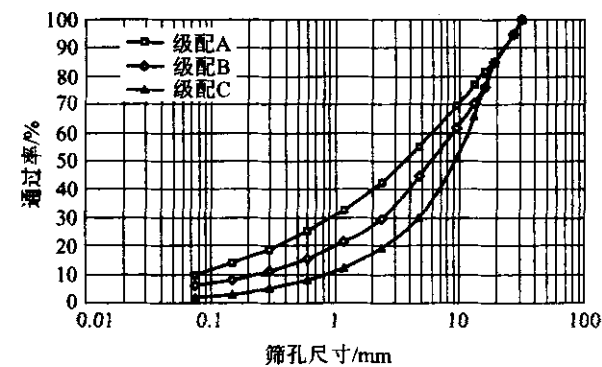


图 1 最大粒径为 31.5 mm 碎石的 3 种级配

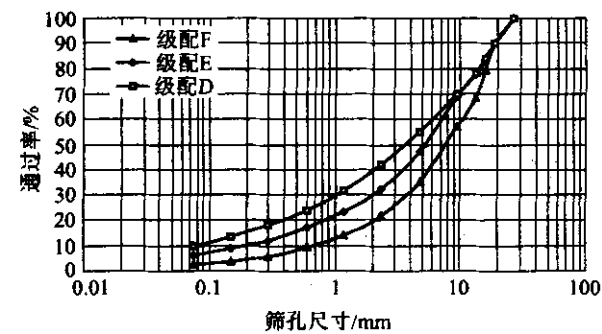


图 2 最大粒径为 26.5 mm 碎石的 3 种级配

1.3 成型方法

室内成型无粘结材料试件的方法通常有静压成型、击实成型、振动成型、搓揉压实成型和剪切旋转压实。根据现场实际施工情况以及室内成型条件分别采用击实成型和振动成型两种方法进行比较。

1.3.1 击实成型

在这一方法中试件在坚硬的模具中成型，一定质量的锤由一固定的高度下落，并分层击实一定的次数。这一成型方法的主要缺点在于集料的方向性以及分布与现场压实并不相同。因此，这样的成型方法就很难达到试验的重现性。在击实成型方法中可以控制的主要变量为击实锤的质量，落锤的高度以

及每层击实的次数。如果任何变量的改变可以在较低的含水量下得到较大的密度，则增大的压实功主要作用为改变材料的级配而不是进一步压实。有研究表明击实过程中将有大的骨料被击碎，通常重型击实可使试件中 1.0~1.5 cm 以上的颗粒含量减少 15%~20%，从而改变原来良好级配并影响嵌挤作用发挥。

1.3.2 振动成型

在这一方法中，试件放置在坚固的模具中，在材料的表面放置一重物。试筒的外壁被轻击后，整个试筒以及试件放置在振动仪器上振动成型。通过使用振动成型方法可以减少试件级配的改变。振动成型与击实成型相比，粗集料之间相互嵌挤较好，能够充分发挥骨架的强度，细集料作为填料能充分填充骨架的空隙。振动成型的方式与现场施工的方式相近。在振动压实后，由于颗粒之间的相对位置发生了变化，出现了相互填充现象，颗粒之间的间隙减小。较大颗粒之间的紧密接触也增大了被压实材料的内摩擦阻力，使基础的承载能力随之提高。

2 不同成型方法下最大干密度和最佳含水量的确定

本研究分别采用击实法(T0131—93)^[3]和振动成型法确定各级配的最佳含水量。重型击实采用直径15.2 cm×高12 cm 试筒分3层击实，每层击实98次。振动成型法仍采用重型击实法相同试筒，将其固定于振动台上，振动台频率为60 Hz，振幅2 mm，以模拟路上实际压实情况。压块施加压力为13.8 kPa，分3层振实，每次振动时间为5 min。

不同成型方式下以及不同级配的最佳含水量和最大干密度如表5所示。

对于最大粒径为31.5 mm 碎石的3个级配材料的含水量与干密度在不同成型方式下的关系，可通过图3、图4和图5表示。最大粒径为26.5 mm 碎石的级配也具有相似的密度走势。

表 5 不同成型方式下的最佳干密度和含水量

级配类型	重型击实		振动压实	
	干密度/(g/cm ³)	含水量/%	干密度/(g/cm ³)	含水量/%
31.5 粗	2.244	3.5	2.127	3.7
31.5 中	2.412	4.7	2.409	5.3
31.5 细	2.421	5.5	2.378	5.8
26.5 粗	2.201	4.3	2.125	4.6
26.5 中	2.384	5.0	2.379	5.2
26.5 细	2.435	5.3	2.412	5.6

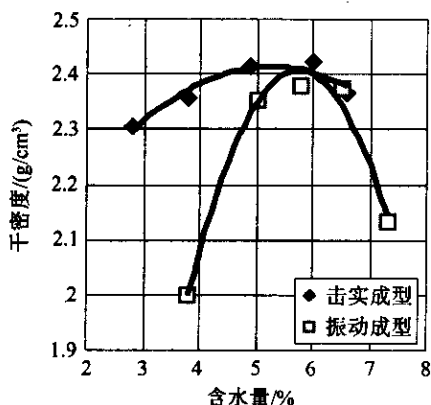


图 3 31.5 细两种成型方式下的密度曲线

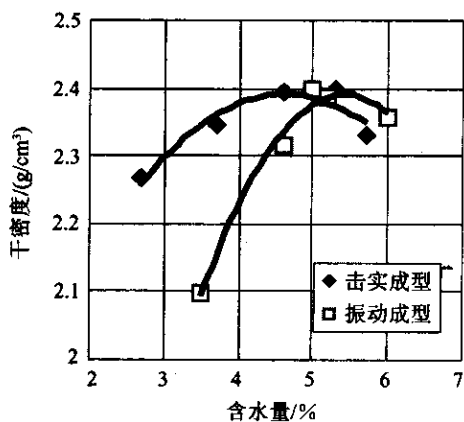


图 4 31.5 中两种成型方式下的密度曲线

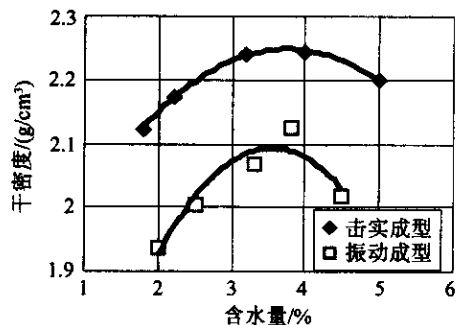


图 5 31.5 粗两种成型方式下的密度曲线

由以上的图表可见,对于同一级配,两种成型方法下的最佳含水量基本相近,但振动成型的最佳含水量略高于击实成型 0.2%~0.3%。两种成型方式密度曲线,粗颗粒含量比较大时击实成型比较平缓,而振动成型的密度变化比较大,对比可以看出,含水量的变化对于振动成型的影响比较大,含水量偏离最佳含水量,可能导致干密度大大减小。而当较细的集料含量增加时则产生相反的趋势。所以,对于振动成型方法,级配中粗颗粒含量多时尤其要控制好试件的含水量。

对于同一种成型方法,集料中细颗粒含量越多,最佳含水量越大。这是由于细集料的吸水作用。对于最佳含水量处的干密度,31.5 细和 31.5 中两种级配在不同的成型方式下最大干密度基本相近。但级配 31.5 粗在两种成型方式下的最大干密度有一定的差距。分析其原因,可能是由于此种级配所含粗集料较多,振动成型后,试件中仍有一些空隙没有充足的细集料来填充,故干密度较小;而击实成型时,在击实锤的冲击下,粗集料被击碎,从而填充了试件中的空隙,因而得到了较大的干密度。

3 不同成型方式下的力学性能评价

CBR 是评价无粘结粒料力学性能的一个指标,它同时反映了材料的竖向刚度和剪切强度。由于其测试方法简单,测试仪器比较常见,因此就无粘结粒料的 *CBR* 强度进行分析。级配的含水量按照表 5 取值,以保证在不同的成型方式下得到最大干密度。

3.1 两种成型方法在最佳含水量下的 *CBR* 值

在最佳含水量下配置 6 种级配的混合料,每一种混合料在每一种成型方法下成型 3 个试件。分别做重型击实和振动压实实验,按照《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)中的 (T0134—93)^[3] 方法求得其在最佳含水量时的干密度和 *CBR* 值,见表 6。

表 6 不同成型方式下 CBR 实测值

级配	击实成型					振动成型				
	含水量 %	干密度 g/cm ³	平均值 g/cm ³	CBR %	平均值 %	含水量 %	干密度 g/cm ³	平均值 g/cm ³	CBR %	平均值 %
31.5 粗	3.5	2.244	2.224	46	55	3.7	2.103	2.139	59	68
	3.5	2.230		57		3.7	2.125		63	
	3.5	2.199		62		3.7	2.188		83	
31.5 中	4.7	2.422	2.420	190	188	5.0	2.426	2.419	205	205
	4.7	2.424		194		5.0	2.412		200	
	4.7	2.414		181		5.0	2.420		210	
31.5 细	5.5	2.389	2.392	134	127	5.8	2.432	2.420	130	138
	5.5	2.405		129		5.8	2.407		138	
	5.5	2.381		118		5.8	2.423		145	
26.5 粗	4.3	2.204	2.204	44	39	4.6	2.130	2.124	59	57
	4.3	2.210		35		4.6	2.125		63	
	4.3	2.199		38		4.6	2.118		50	
26.5 中	5.0	2.322	2.370	167	156	5.2	2.406	2.380	205	184
	5.0	2.414		144		5.2	2.382		178	
	5.0	2.374		158		5.2	2.352		168	
26.5 细	5.3	2.440	2.422	94	92	5.6	2.410	2.403	110	108
	5.3	2.405		109		5.6	2.407		128	
	5.3	2.421		73		5.6	2.392		85	

3.2 成型方式对 CBR 值的影响

从图6和图7可以看出,不论最大粒径的值为多少,相同的材料和级配,使用振动成型能够得到较大的 CBR 值。这可以说明振动成型方式要优于击实成型方式。

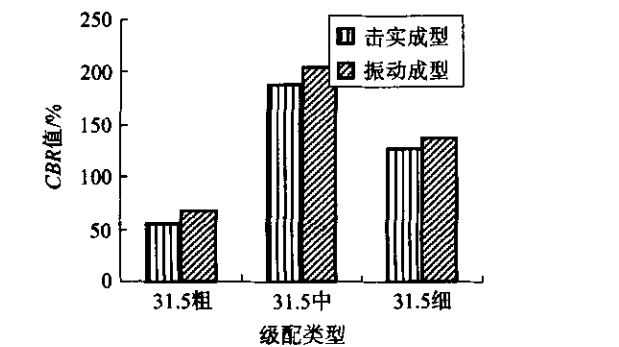


图 6 D_{max} 31.5 级配不同成型方式 CBR 值

3.3 最大粒径与 CBR 值关系

室内试验表明:最大粒径为 31.5 mm 的 CBR 均值要大于最大粒径为 26.5 mm 的级配。集料的最大粒径越大,其 CBR 值越大,即强度、刚度也就越大,如图 8 和图 9 所示。

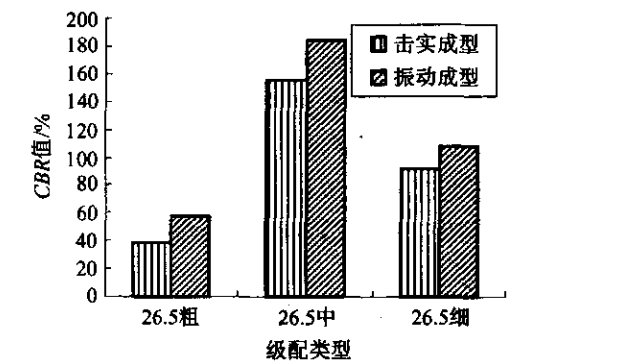


图 7 D_{max} 26.5 级配不同成型方式 CBR 值

何兆益^[4]通过对各种室内成型试件的 CBR 测试试验表明,最大粒径越大,集料中起骨架作用的粗集料相对较多,从获得级配碎石最大 CBR 值来看,最大粒径以 37.5 mm 为最佳;而最大粒径为 50 mm 可以获得最大干密度,37.5 mm 次之,31.5 mm 最小。国外一般认为,良好施工、较大粒径的级配碎石作为基层,可以显著提高路面的强度,路面弯沉较小且在服务期间变化不大,从而显著提高沥青路面结构的抗疲劳性能,并降低了车辙深度。

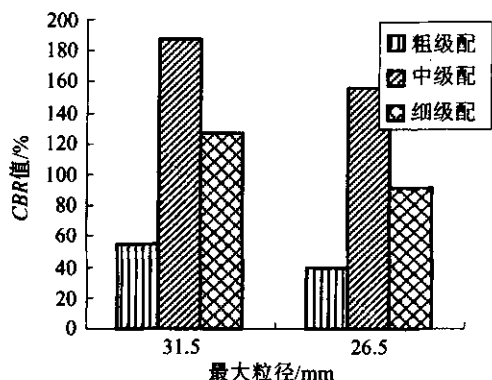


图8 击实成型下不同最大粒径的CBR值

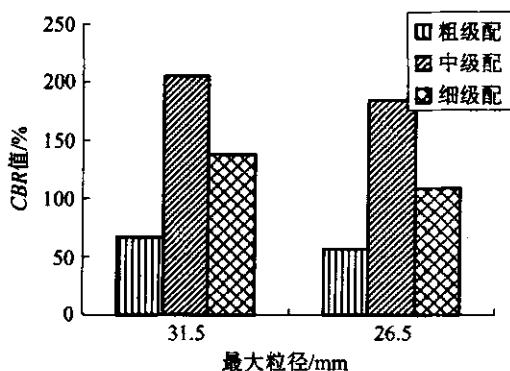


图9 振动成型下不同最大粒径的CBR值

但最大粒径越大,在运输、摊铺过程中的粗细颗粒离析会成为主要问题,一旦施工中发生离析,其性能会大大降低。采用较大的粒径时,也不容易机械整平,而且用于拌和及整平的设备容易磨损。林有贵和罗竞^[4]对工程实践研究表明最大粒径为37.5 mm的级配碎石施工中离析较大,而31.5 mm的不易离析,质量均匀,并建议级配碎石的最大粒径不宜超过31.5 mm。

一般而言基层的最大粒径较底基层的最大粒径小,底基层的粒径较大,特别在潮湿地区、冰冻地区的底基层采用较大的粒径。

因此级配碎石最大粒径的确定,应该综合考虑最大粒径对级配碎石性能的影响以及具体的气候条件,并确保施工中不离析。一般建议最大粒径取31.5 mm 或者 26.5 mm。

3.4 细集料含量对强度的影响

对于级配碎石,我国是以4.75 mm(圆孔筛为5 mm)作为细、粗集料的划分标准。粗细含量不同对级配强度的影响见图10以及图11。

室内试验表明,4.75 mm 以下颗粒含量与CBR值呈驼峰关系,当4.75 mm 含量在45%左右CBR具

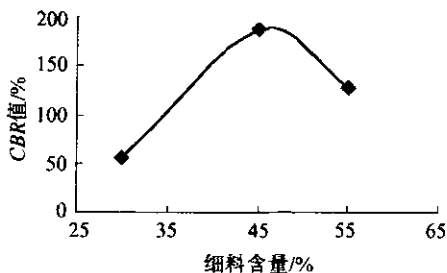


图10 击实成型最大粒径31.5 mm

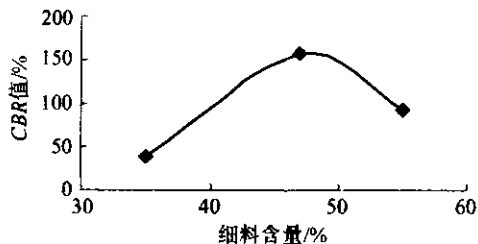


图11 击实成型最大粒径26.5 mm

有最大值,但是在最佳值的左侧,即0.5 mm 筛通过率较低的一侧,随着4.75 mm 筛通过率的降低,强度会迅速下降,即在0.5 mm 筛通过率较低的一侧其对强度影响敏感,而在4.75 mm 筛通过率大于4.75 mm 筛最佳通过率的右边,相对而言其通过率对强度的影响敏感性低些,因此0.5 mm 筛通过率可取偏大一些。即细集料含量小时会导致强度较小。

3.5 0.075 mm 筛通过率对集料强度的影响

不同级配当小于0.075 mm 粒径碎石的含量不同时,强度也各不相同。室内结果可见表12和表13。

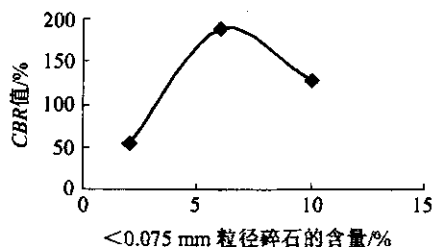


图12 击实成型最大粒径31.5 mm

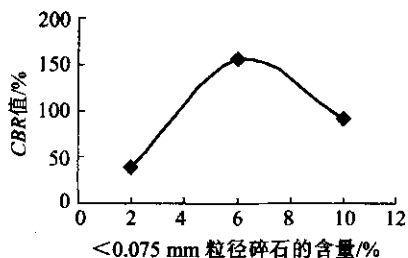


图13 击实成型最大粒径26.5 mm

从图12和图13可以看出。0.075 mm 粒径碎石的含量对于 *CBR* 值也具有驼峰曲线,在 6%左右达到最大值。随着 0.075 mm 筛通过率增加,集料的强度增加,当达到某一含量后(6%)则强度又会随着 0.075 mm 筛通过率增加而迅速降低,同样在最佳值的左侧即 0.075 mm 筛通过率较低的一侧,随着其通过率的降低,强度降低较大,而在最佳值右侧随着通过率的增加,抗剪强度降低缓慢一些。

4 结语

CBR 值是反映材料强度的一个指标,通过对不同级配在不同成型方法下的试验成果可以看出以下两点。

(1)与击实成型方法相比,振动成型方式能够更好地保证级配碎石材料的级配不被改变,并得到较

大的 *CBR* 值。含水量对振动成型的试件影响比较大,因此对于振动成型,特别是级配中粗颗粒含量较多的试件要控制好试件的含水量。

(2)最大粒径大时,级配的强度一般也比较高,但也应同时考虑施工时不宜取值过大。在考虑最大粒径后应控制级配的公称粒径对应筛孔通过率即控制级配集料中超粒径颗粒(即粒径大于公称直径颗粒),以减少粗颗粒之间的干扰,增加混合料的均匀性,形成稳定的骨架,提高其施工性能,并减小施工中的离析问题,便于施工机械的整平,减少施工设备的磨损。由于通过 4.75 mm、0.5 mm 和 0.075 mm 筛的含量对 *CBR* 值的影响呈驼峰曲线。参考国内外的级配范围,建议级配碎石的级配范围如表 7 所示,以取级配范围的中值为宜,级配可偏上限。

表 7 推荐的级配碎石级配范围

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率1%							
	31.5	26.5	19	9.5	4.75	1.18	0.6	0.075
最大粒径 31.5 mm 碎石	100	90~100	80~90	50~70	30~55	15~35	10~25	2~10
最大粒径 26.5 mm 碎石	—	100	85~95	55~70	35~55	15~30	5~15	2~10

参考文献:

[1] 何兆益. 碎石基层防止半刚性路面裂缝及其路用性能研究[D]. 东南大学,1997.

[2] Davitt Sean. Irish Experience in the Use of Unbound Aggregates in Roads 1970 — 2000 [A].Unbound Aggregates in Road Construction[M]. 2000.

[3] JTJ 051—93,公路土工试验规程[S].

[4] 林有贵,罗竞. 级配碎石基层的回弹模量及沥青路面设计弯沉的研究[J]. 中南公路工程,2001,26(4).

Gradation Selection of Graded Broken Stone

YUAN Jun¹, SHAO Min-hua¹, HUANG Xiao-ming²

(1. Transportation College, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Transportation College, Southeast University, China)

Abstract: The strength of graded broken stone is low and it depends on the strength of granule in itself and the interaction between granules. For gaining high strength and stability of unbound aggregate, *CBR* is used as an index that reflects the strength of material, the impact of gradation and shaping modes for the graded broken stone are analyzed.

Key words: graded broken stone; *CBR* value; gradation; shaping mode