

文章编号: 0451-0712(2006)01-0155-05

中图分类号: U416. 216

文献标识码: B

卵石砂石统料混凝土路面试验研究

赵尚传¹, 傅 智¹, 赵晓明², 王毅轩²

(1. 交通部公路科学研究所 北京市 100088; 2. 洛阳市县乡道路建设管理处)

摘 要: 许多县乡路直接沿河道而行, 卵石与砂子统料便于就地取材, 材料来源广泛, 不需要筛分和破碎, 可以降低工程造价。但是并不是任何粗集料统料或砂石统料都可应用。本文主要研究了卵石砂石统料混凝土的工作性、弯拉强度和变形性能, 确定了适用于公路水泥混凝土路面卵石砂石统料可用的级配范围, 给出了砂石统料卵石混凝土路用性能判据, 探讨了在三级和四级等低等级公路上采用砂石统料卵石混凝土的可行性。

关键词: 道路工程; 卵石砂石统料混凝土路面; 试验研究

许多县乡路直接沿河道而行, 卵石与砂子统料便于就地取材, 材料来源广泛, 不需要筛分和破碎, 直接利用可降低工程造价。《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30-2003) 中明确规定不得使用不分级的粗集料统料。但是, 鉴于西部地区的经济水平、原材料来源以及以往低等级道路的施工经验, 粗集料统料乃至砂石统料也可以有条件地应用于低等级道路混凝土配制。但是并不是任何粗集料统料或砂石统料都可应用, 其级配必须满足一定范围, 拌制的混凝土拌和物的工作性、抗裂性和强度都需要满足水泥混凝土路面的设计、施工质量要求。本文进行了卵石砂石统料混凝土路用性能的试验研究, 探讨了在低等级的三级和四级公路上采用砂石统料卵石混凝土的可行性。

1 粗细集料合成级配

《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30-2003) 中规定, 卵石混凝土最大粒径为 19 mm, 在较低等级公路上, 骨料最大粒径可以适当放大, 但不易过大。本文以最大粒径 37.5 mm 进行控制, 研究其可用级配范围。

为了确定砂石混合级配曲线的边界, 试验取两种极端情况作为边界条件: 以质量通过百分率计, 上边界曲线取细砂的上边界与最大粒径 37.5 mm 的上边界的合成级配曲线, 砂率为 45%; 下边界曲线取粗砂的下边界与最大粒径 37.5 mm 的下边界的合成级配曲线,

砂率为 25%。这样的级配范围基本上包含了常用的最大粒径 37.5 mm 混凝土粗细集料级配范围。

砂石统料的试验级配如表 1, 砂石统料的试验级配曲线见图 1 所示。将这两个边界的各个粒径进行 6

表 1 砂石统料各筛孔通过百分率

筛孔尺寸 mm	通 过 百 分 率/%						粗砂砂率 25%—2
	细砂砂率 45%—1	5 点等分后的曲线					
		1	2	3	4	5	
37.5	100	100	100	100	100	100	100
31.5	100	99.4	98.7	98.1	97.4	96.8	96.2
26.5	89	86.4	83.9	81.4	78.8	76.2	73.7
19	78	74.2	70.3	66.4	62.6	58.8	54.9
16	67	63.1	59.2	55.4	51.5	47.6	43.7
9.5	58.8	54.4	50	45.7	41.3	36.9	32.5
4.75	50.6	45.9	41.2	36.6	31.9	27.2	22.5
2.36	47.8	42.6	37.3	32	26.8	21.6	16.3
1.18	47.8	41.3	34.8	28.3	21.8	15.3	8.8
0.6	40.6	34.5	28.3	22.2	16.1	10	3.8
0.3	23	19.4	15.8	12.1	8.5	4.9	1.3
0.15	7.2	6	4.8	3.7	2.5	1.3	0.1

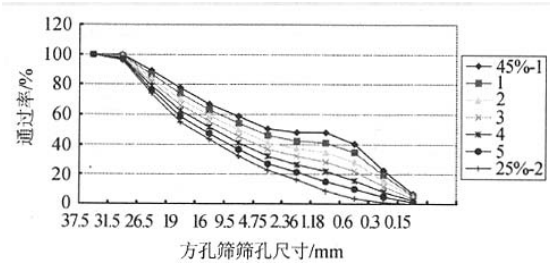


图 1 砂石统料试验级配曲线

等分,连接各个等分点,得到 5 条级配曲线,这样共得到 7 条试验级配曲线。

2 水泥用量及水灰比

根据中轻交通等级水泥混凝土路面常用水泥用量,分别选用 300 kg 和 360 kg 两个水平,水灰比选用 0.5 和 0.6 两个水平。考虑到中轻交通等级水泥混凝土路面建设条件,没有掺用减水剂,因而没有进行更低的水灰比试验。

3 考察的路用性能

对分别由这 7 条级配曲线控制得到的混凝土的路用性能进行分析,以此来确定统料混凝土的合理使用级配范围。这些性能和测试方法包括下列内容。

(1)工作性。

①坍落度:按《公路水泥混凝土路面试验规程》(JTJ 052-94)测定。

②粘聚性:目测评估。

③粗细集料分离程度:目测评估。

④表面抹面状态:在振动台上振动 10 s 后抹面难易程度。

(2)弯拉强度。

按《公路水泥混凝土路面试验规程》(JTJ 052-94)测定。

(3)变形能力。

采用环试件,内径 164 mm,外径 294 mm,12 h 后拆模,置于温度 $(26\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、风速 6 m/s、湿度 $(60\pm 5)\text{RH}$ 的室内环境中,测量其开裂的时间。

对于可以采用定量描述的指标,直接采用指标

的量值进行分析,而对于不便于量化定性描述的指标,如第一项中②至④项,分为 6 个级别,每个级别给予相应的分值进行分析,各个级别及相应分值见表 2,试验过程中的实际情况可以根据各个级别进行打分,中间状态可以采用线性插值。

表 2 混凝土粘聚性、离析状况、抹面状态
分级及各级别代表值

粘聚性		离析状况		抹面状态	
好	5	无	5	易	5
较好	4	轻微	4	较易	4
尚可	3	不严重	3	尚可	3
较差	2	较严重	2	较难	2
差	1	严重	1	难	1
很差	0	很严重	0	很难	0

4 试验及结果分析

(1)试验选用原材料及配合比。

水泥采用河北鹿牌 P.O32.5,砂石统料混凝土试验配合比如下表 3。

表 3 砂石统料混凝土试验配合比

编号	水泥用量/(kg/m ³)	水灰比	统料用量/(kg/m ³)
1	300	0.5	2 000
2	300	0.6	1 970
3	360	0.5	1 910
4	360	0.6	1 874

首先对编号第 1 组进行试验,各筛孔的砂石统料筛分级配见表 4。

表 4 砂石统料筛分级配

编号	各筛孔尺寸(mm)的分计筛余量/(kg/m ³)												
	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	<0.15
L0A	0	0	220	220	220	164	164	56	0	144	352	316	144
L1A	0	12	260	244	222	174	170	66	26	136	302	268	120
L2A	0	26	296	272	222	184	176	78	50	130	250	220	96
L3A	0	38	334	300	220	194	182	92	74	122	202	168	74
L4A	0	52	372	324	222	204	188	102	100	114	152	120	50
L5A	0	64	412	348	224	214	194	112	126	106	102	72	26
L6A	0	76	450	376	224	224	200	124	150	100	50	24	2

(2)试验结果分析。

首先对 L0A 进行试验,混凝土拌和物干涩,分

散,没有粘性,装入试模振动 1 min,没有浆体,成型非常困难,经分析,认为细集料太多,而水灰比偏小,

无法形成浆体,因而混凝土拌和物显得非常干涩。选取中间的级配曲线进行试验,混凝土拌和物也比较干涩,基本无浆体,装入试模振动 1 min,有少许浆体,抹面较困难。经过以上试验,在不使用减水剂的情况下基本上可以排除掉使用水灰比 0.5、水泥用量 300 kg 的可能性。

重点进行了水泥用量 300 kg、水灰比为 0.6 和水泥用量 360 kg、水灰比为 0.5 的两组试验。

①水灰比 0.6、单位水泥用量 300 kg 的试验结果。

假定容重 2 450 kg,单方统料用量为 1 970 kg。各筛孔砂石统料重量见表 5。

表 5 砂石统料筛分级配

编号	各筛孔尺寸(mm)的分计筛余量/(kg/m ³)											
	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	<0.15
L0B	0	216.7	216.7	216.7	161.54	161.54	55.16	0	141.84	346.72	311.26	141.84
L1B	11.82	256.1	240.34	218.67	171.39	167.45	65.01	25.61	133.96	297.47	263.98	118.2
L2B	25.61	291.56	267.92	218.67	181.24	173.36	76.83	49.25	128.05	246.25	216.7	94.56
L3B	37.43	328.99	295.5	216.7	191.09	179.27	90.62	72.89	120.17	198.97	165.48	72.89
L4B	51.22	366.42	319.14	218.67	200.94	185.18	100.47	98.5	112.29	149.72	118.2	49.25
L5B	63.04	405.82	342.78	220.64	210.79	191.09	110.32	124.11	104.41	100.47	70.92	25.61
L6B	74.86	443.25	370.36	220.64	220.64	197	122.14	147.75	98.5	49.25	23.64	1.97

按拌和物试验现象观察和表 2 给出的各砂石统料级配曲线混凝土拌和物性能和状态评价标准,给工作性中的 3 项定性指标评分,例如下列评分。

L0B:混凝土拌和物无明显浆体,粘聚性差,粘聚性取值 1;拌和物非常干涩,松散,离析严重,取值 1;振动 10 s,无浆体,再振 20 s,出现少量浆体,粘稠性高,抹面困难,抹面状态取值 1;这组砂石统料混凝土拌和物工作性差,试件制作困难。

L6B:浆体明显,浆量较少,粘聚性较差,粘聚性取值 2;粗细骨料分离,离析较严重,取值 2;进行坍落度试验时,振捣棒捣插困难,提起坍落度桶时,拌和物散落;试件成型过程中,表面有粗骨料突出,抹面较困难,抹面状态取值 2。

将按表 2 标准给出的各级配曲线砂石统料混凝土拌和物各工作性指标的评分结果、弯拉强度和变形各项性能汇总于表 6 中。

表 6 各级配曲线砂石统料混凝土性能

编号	坍落度 cm	粘聚性	离析 程度	抹面 状态	变形	弯拉强度 MPa
L0B	0	1	1	1	16 h 表面龟裂	3.0
L1B	1	2	3	2	24 h 不裂	3.21
L2B	1.8	3	4	4	24 h 不裂	3.02
L3B	3.4	5	5	5	24 h 不裂	2.71
L4B	8.4	5	5	5	24 h 不裂	2.87
L5B	13.9	4	3	5	24 h 不裂	2.7
L6B	15.5	2	2	2	24 h 不裂	2.79

注:水灰比 0.6,单位水泥用量 300 kg。

从表 5 中工作性和变形角度而言,2~4 的级配曲线可用,而从路面混凝土对强度要求角度而言,水灰比 0.6,单位水泥用量 300 kg 这组混凝土均没有达到轻交通路面混凝土设计弯拉强度 4.0 MPa 的要求。下面缩小水灰比、加大单位水泥用量进行第二轮试验。

②水灰比 0.5,单位水泥用量 360 kg 试验结果。

水灰比采用 0.5,单位水泥用量 360 kg,水泥品种仍然采用 32.5(R)普通硅酸盐水泥,假定容重 2 450 kg,单方统料重 1 910 kg,各筛孔砂石统料重量见表 7。

按表 6 相同的方法进行各砂石统料混凝土拌和物工作性、硬化混凝土弯拉强度变形开裂特性试验,各项性能试验结果见表 8。

(3)砂石统料级配优化。

从变形抗裂性角度来看,L0C 细料多,尤其是 0.3 mm 以下的细料比例大,吸水量大,在相同水灰比条件下,混凝土拌和物浆体少,干涩,很难做出比较光滑的平面,表面不容易出现宏观裂缝;从级配曲线 1 开始,试件振动成型过程中开始出现浆体,试件表面和模板接触面比较光滑,宏观裂缝很容易显现。虽然从级配曲线 1 到级配曲线 6 均在不同时间出现了裂缝,但是在严酷的试验条件下出现开裂的时间都比较长。

从强度和工作性角度而言,结合第一次的试验结果,这样划分的级配曲线只有级配曲线 3 到级配

表7 砂石统料筛分级配

编号	各筛孔尺寸(mm)分计筛余量/(kg/m ³)											
	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	<0.15
L0C	0.0	210.1	210.1	210.1	156.6	156.6	53.5	0.0	137.5	336.2	301.8	137.5
L1C	11.5	248.3	233.0	212.0	166.2	162.4	63.0	24.8	129.9	288.4	255.9	114.6
L2C	24.8	282.7	259.8	212.0	175.7	168.1	74.5	47.8	124.2	238.8	210.1	91.7
L3C	36.3	319.0	286.5	210.1	185.3	173.8	87.9	70.7	116.5	192.9	160.4	70.7
L4C	49.7	355.3	309.4	212.0	194.8	179.5	97.4	95.5	108.9	145.2	114.6	47.8
L5C	61.1	393.5	332.3	213.9	204.4	185.3	107.0	120.3	101.2	97.4	68.8	24.8
L6C	72.6	429.8	359.1	213.9	213.9	191.0	118.4	143.3	95.5	47.8	22.9	1.9

表8 各级配曲线砂石统料混凝土性能

编号	坍落度 cm	粘聚性	离析 程度	抹面 状态	变形	弯拉强度 MPa
L0C	0	2	2	2	24 h 不裂	3.79
L1C	0.6	3	3	3	24 h 裂	3.84
L2C	1.5	3	3	3.5	23.5 h 裂	4.42
L3C	3.7	4.5	4.5	4.5	19.5 h 裂	4.65
L4C	5.6	5	5	5	19 h 裂	4.42
L5C	6.2	4.5	4.5	5	20 h 裂	4.0
L6C	7.6	2	1	3	20 h 裂	3.81

注:水灰比0.5,单位水泥用量360 kg。

曲线5之间的级配满足路面混凝土施工坍落度20~70 mm、设计弯拉强度4.0 MPa的要求。

表9 粗细集料的组合级配曲线

编号	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%											
	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
L23C	100	98.7	83.9	70.3	59.2	50	41.2	32	28.3	22.2	12.1	3.7
L56C	100	96.8	76.2	58.8	47.6	36.9	27.2	16.3	8.8	3.8	1.3	0.1

按表9粗细集料的组合级配曲线配制水灰比0.5,单位水泥用量360 kg 配制砂石统料混凝土,试验结果见表10。

表10 组合级配曲线砂石统料混凝土性能

编号	坍落度 cm	粘聚性	离析 程度	抹面 状态	变形	弯拉强度 MPa
L23C	2.5	4.5	5	4	22 h 裂	4.22
L56C	8.7	3.5	2	4.5	20.5 h 裂	3.91

注:水灰比0.5,单位水泥用量360 kg。

级配曲线2的粗集料部分与级配曲线3的细集料部分组合后的编号L23C 试验性能尚能满足要求,而级配曲线5的粗集料部分与级配曲线6的细集

级配曲线2的弯拉强度和变形可以满足要求,但是工作性较差,主要原因是其细集料偏多,需水量大,若要改善其工作性,必须加大用水量,增加水灰比,这样容易导致混凝土强度、抗裂性、抗冻性等性能变差;级配曲线6 砂率太小,粗集料用量大,易发生离析。根据以上分析,对边缘的级配曲线进行重新组合:以级配曲线2的粗集料部分与级配曲线3的细集料部分进行组合,这样减小了级配曲线2的细集料的比例,以级配曲线5的粗集料部分与级配曲线6的细集料部分进行组合,减小级配曲线6的粗集料含量,验证其性能,看其是否满足工作性、强度和变形的要求,以确定可用级配曲线的区间。复合后的粗细集料的组合级配曲线见表9。

料部分组合后编号L56C 离析仍然比较严重,而且弯拉强度也较L5C的4.0 MPa 略低。

5 满足三项技术要求的砂石统料路面混凝土的推荐级配

(1)砂石统料混凝土技术判据。

①弯拉强度:4.0 MPa。

中、轻交通路面混凝土的设计弯拉强度4.0 MPa,该试验是没有掺用减水剂和引气剂的结果,适当使用外加剂(减水剂或/和引气剂)或真空吸水技术后,降低水灰比或有适宜含气量,该试验砂石统料混凝土弯拉强度完全可以达到4.5 MPa。不使用外加剂或真空吸水技术,弯拉强度只能达到4.0 MPa。大量水泥混

凝土路面工程实践表明:《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003)规定中、轻交通的三级和四级公路水泥混凝土路面应使用外加剂或真空吸水之一是正确的,否则,设计弯拉强度达到了,施工可靠度无保证。

②塑性收缩抗裂性,现场开裂时间:15 h。

比较了砂石统料混凝土与严格控制粗细集料的各级单级配的路面普通混凝土后,经综合分析,在风速 6 m/s、相对湿度(60±5)%、温度(26±2)℃较严酷条件下,将混凝土开裂时间定为15 h。若混凝土在这样的条件下15 h不开裂,认为施工过程中做好养护工作、及时切缝,可以避免混凝土面板的塑性收缩开裂。因此,将此条件下的15 h开裂定为抗裂与否的临界判据。

表 11 满足中、轻交通 3 项技术要求的砂石统料卵石混凝土级配范围

编号	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%											
	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
L23C	100	98.7	83.9	70.3	59.2	50	41.2	32	28.3	22.2	12.1	3.7
L5C	100	96.8	76.2	58.8	47.6	36.9	27.2	21.6	15.3	10	4.9	1.3

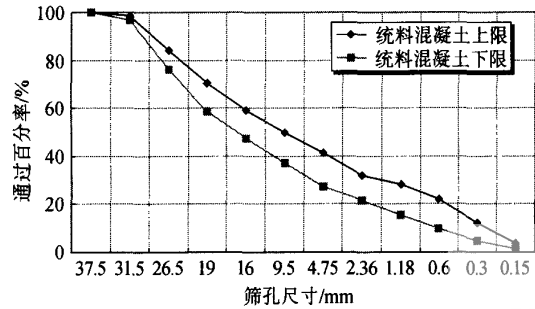


图 2 满足 3 项技术要求的砂石统料卵石混凝土级配区间

从最终确定的级配曲线区间来看,从砂率角度,最大砂率为41.2%,最小砂率为27.2%。砂率控制在图2的级配范围内,可以满足中、轻交通公路路面砂石统料卵石混凝土3项技术要求,供实际三级和四级公路农村公路水泥混凝土路面工程参照使用。

需要指出的是:砂石统料混凝土弯拉强度明显偏低。上述试验数据表明:在不采取任何降低水灰比技术措施时,即不采用外加剂与真空吸水技术,勉强能达到中轻交通弯拉强度4.0 MPa的要求。所以,砂石统料混凝土的使用必须满足3个条件:

①只能使用在三级、四级公路和农村公路水泥混凝土路面工程中,不可使用在二级以上(包括二级)高等级公路水泥混凝土路面中;

③工作性。

将满足4种塑性混凝土路面施工工艺要求的坍落度:0~70 mm、粘聚性与抹面状态尚可、离析不严重,定为路面混凝土工作性的判据。

(2)砂石统料路面混凝土的推荐级配。

按照上述3项技术指标判据并综合以上砂石统料路面混凝土的试验结果,在满足弯拉强度、塑性开裂变形与拌和物工作性3项技术要求时,砂石统料卵石混凝土的级配曲线的级配区间可以级配曲线23为上限、以级配曲线5为下限,推荐为三级和四级或等外中、轻交通公路路面砂石统料卵石混凝土实际工程参照使用的级配曲线区间。如表11为满足3项技术要求的砂石统料卵石混凝土级配范围,图2为满足3项技术要求的砂石统料卵石混凝土级配区间。

②在低等级公路水泥混凝土路面中使用砂石统料混凝土路面时,应满足本文所提出的砂与卵石的组合级配范围,不允许随意降低水泥混凝土高级路面技术标准;

③当砂石统料卵石混凝土弯拉强度仅满足设计弯拉强度,而不能满足施工可靠度时,应在混凝土中掺用减水剂、引气剂或使用真空吸水技术以保证施工可靠度要求。

6 结语

(1)砂石统料卵石混凝土的弯拉强度、塑性收缩抗裂性和工作性在本文给出的级配区间范围内,可以满足三级和四级等中、轻交通公路路面混凝土性能要求。

(2)本文为研究卵石砂石统料的合理级配范围,没有对混凝土采取任何特殊措施,而在这种条件下,砂石统料卵石混凝土弯拉强度可以达到4.0 MPa,如果需要再提高,则可通过掺加减水剂或使用真空吸水工艺等措施减小水灰比来实现。

(3)使用卵石砂石统料是为便于就地取材、降低混凝土造价而进行的研究,研究结果表明可以在三级和四级等中、轻交通公路上使用,而不可应用于高等级公路水泥混凝土路面中。