

文章编号:1671-8879(2009)05-0012-05

沥青面层集料级配分布特征与质量控制

扈惠敏¹, 沙爱民², 孙业香³

(1. 合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 长安大学 公路学院,
陕西 西安 710064; 3. 安徽省交通勘测设计院, 安徽 合肥 230011)

摘 要:依托合肥—徐州高速公路路面工程, 现场检测集料级配指标, 研究了集料级配检测数据的变异性水平及规律性, 发现沥青面层用集料单级配及合成级配数据呈正态分布, 可以采用平均值与均方差 2 个指标来判断集料级配指标, 平均值与目标配合比的设计值比较, 均方差利用正态分布判别变异性的符合性。结果表明: 对于集料级配质量控制, 筛孔通过率指标除变化值的偏差要求外, 还应该控制其变异性; 集料级配关键筛孔 4.75 mm 和 2.36 mm 的均方差应分别小于 1.0 和 0.7。

关键词:道路工程; 沥青面层; 集料; 级配; 统计分布; 技术指标; 质量控制

中图分类号: U414.4

文献标志码: A

Gradation distribution and quality control of aggregate in asphalt pavement

HU Hui-min¹, SHA Ai-min², SUN Ye-xiang³

(1. School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China;
2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. Anhui
Province Institute of Communications Survey and Design, Hefei 230011, Anhui, China)

Abstract: This paper studied variability level and statistical law of aggregate gradation data, based on the detection of on-site aggregate gradation index of Hefei—Xuzhou expressway pavement project. It is indicated that the aggregate gradation data show the normal distribution. The determining of the quality of aggregate gradation can use two indices, the average and standard deviation. The average value is compared with the designed value of target mixture rate, the standard deviation uses normal distribution to determine the variability level. The results show that: to the quality control of aggregate gradation, it is necessary to control the variability of sieve mutative value through rate; the standard deviation of aggregate gradation on key sieves with 4.75 mm and 2.36 mm should be less than 1.0 and 0.7 respectively. 9 tabs, 2 figs, 11 refs.

Key words: road engineering; asphalt pavement; aggregate; gradation; statistical distribution; technology index; quality control

0 引言

在施工质量管理中, 根据检测数据评定质量优

劣, 并以此为依据进行质量改进。在沥青面层质量检测数据中, 存在以下两方面的特征^[1-2]: 一是质量的变异性, 工程质量是在一定的条件或称质量要素

收稿日期: 2008-10-17

基金项目: 国家西部交通建设科技项目(2003 318 223 34)

作者简介: 扈惠敏(1971-), 女, 河北枣强人, 高级工程师, 工学博士, E-mail: hhm1971@126.com。

(人员、机械、原料、工艺、环境)下形成的,这些质量要素在施工、生产过程中,不可能保持不变,故工程产品的质量由于受一系列客观因素的影响,而在生产过程中不停地变化着,这就是工程产品质量的变异性;二是工程方面质量变异的统计规律性,产品质量的变异是具有统计规律的,根据概率论及数据统计方法,对数据进行分析,可以精确找出质量变异的幅度,以及不同大小的变异幅度出现的可能性,即找出产品的分布,这就是工程质量变异的统计规律。集料级配检测数据也具有这样的规律性。集料在沥青混合料组成中发挥骨架作用,是沥青混合料力学性能的主要来源,因此是影响沥青路面质量的主要因素。集料级配是影响沥青混合料路面性能的重要因素^[3]。集料级配通过影响沥青混合料级配,从而影响沥青路面的动稳定度、耐久性等路用性能,因此也是施工质量控制及研究的重点内容。在沥青混合料性能的研究中,混合料级配是众多研究者关注的内容,但影响混合料级配的关键因素是集料的级配,

表 1 A5 标段集料级配变异系数

集料规格	1 [#] 料			2 [#] 料			3 [#] 料		4 [#] 料							备注
筛孔/mm	19	16	13.2	16	13.2	9.5	9.5	4.75	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075	
通过率 变异 系数	0.074	0.429	0.778	0.030	0.222	0.988	0.025	0.696	0.002	0.063	0.094	0.125	0.159	0.154	0.199	T1+T2+ T3
	0.038	0.105	0.714	0.010	0.328	0.782	0.031	0.685	0.004	0.049	0.067	0.102	0.143	0.112	0.107	T1
	0.049	0.202	0.595	0.042	0.083	0.409	0.022	0.242	0	0.052	0.088	0.114	0.152	0.148	0.089	T2
	0.113	0.662	0.915	0.015	0.707	0.660	0.014	0.875	0	0.058	0.114	0.168	0.191	0.214	0.336	T3

注: T1 为料堆取样方式; T2 为机口取样方式, T1、T2 检测单位相同; T3 为另一检测单位检测数据。

根据 4 种规格集料的级配筛分结果,采用 1[#]料、2[#]料、3[#]料、4[#]料、矿粉之间的比例为 24% : 17% : 18% : 37% : 4%,进行级配合成,并计算集料合成级配各档筛孔通过率的平均值及变异系数(表 2),以便清晰地了解加工集料的级配变化。

检测数据及计算结果显示,A5 标段石灰岩集料

而对集料级配的分析与研究工作却进行的很少。为此,本文从概率统计的观点分析研究集料的级配分布特征。

1 集料级配变异水平

采集合肥—徐州(合徐)高速公路北段路面工程 A1、A5 两个标段的集料级配的检测数据(限于篇幅,仅列出 A5 标段数据),分析集料级配的变异性分布规律及影响因素。

A5 标段加工用于中、下面层的石灰岩集料为 23×10⁴ t,集料级配检测数据 38 组,4 种集料规格分别为 1[#]料(15~25 mm)、2[#]料(10~15 mm)、3[#]料(5~10 mm)、4[#]料(小于 5 mm)。沥青混合料级配类型为 AC-20C。

根据集料级配检测数据^[4],计算 A5 标段生产 4 种规格集料的级配变异系数(表 1)。从表 1 中可以看出,A5 标段石灰岩集料(单粒级)筛孔通过率变异系数在 0.002~0.988 之间。

合成级配筛孔通过率(级配)变异系数在 0.015 6~0.180 1 之间,总的趋势是细集料的级配变异性大于粗集料的级配变异性。集料不同规格(单粒级)级配变异性是形成集料合成级配变异性的直接原因。同时,在集料合成级配中,各种集料的组成比例也是重要的影响因素。

表 2 A5 标段集料合成级配变异系数

筛孔/mm	19	16	13.2	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075	备注
通过率平均值/%	96.230	84.192	72.097	59.363	44.471	33.579	25.042	17.753	12.716	10.811	7.529	
均方差	1.497 2	3.715 4	3.850 8	1.208 8	2.437 1	1.848 3	1.974 9	1.716 8	1.384 0	1.066 1	0.788 1	
变异系数	0.015 6	0.044 1	0.053 4	0.020 4	0.054 8	0.055 0	0.078 9	0.096 7	0.108 8	0.098 6	0.104 7	
通过率平均值/%	95.408	81.731	69.008	58.808	42.723	32.315	24.785	17.500	13.131	10.900	7.969	T1
均方差	1.049 2	2.414 9	3.378 7	1.055 5	1.911 9	1.386 1	1.547 5	1.370 5	1.286 7	0.850 5	0.458 9	
变异系数	0.011 0	0.029 5	0.049 0	0.017 9	0.044 7	0.042 9	0.062 4	0.078 3	0.098 0	0.078 0	0.057 6	
通过率平均值/%	96.882	86.129	74.165	59.641	45.759	34.888	25.953	18.329	12.636	11.041	7.106	T2
均方差	1.023 0	2.327 0	2.379 3	1.248 0	1.587 1	1.367 4	1.724 5	1.612 4	1.353 7	1.018 0	0.263 3	
变异系数	0.010 6	0.027 0	0.032 1	0.020 9	0.034 7	0.039 2	0.066 4	0.088 0	0.107 1	0.092 2	0.037 1	
通过率平均值/%	96.025	84.075	72.600	59.800	44.575	32.850	23.525	16.937	12.213	10.175	7.713	T3
均方差	2.264 4	5.498 0	4.187 1	1.264 9	3.107 5	1.659 6	2.223 7	2.175 1	1.572 4	1.339 2	1.389 2	
变异系数	0.023 6	0.065 4	0.057 1	0.021 2	0.069 7	0.050 5	0.094 5	0.128 4	0.128 7	0.131 6	0.180 1	

2 级配数据概率分布

概率分布是将变量在总体中的取值与其发生的概率二者相联系的数学模型。概率分布有 2 种模型,即离散概率分布与连续概率分布。在质量管理中,常见的离散概率分布有二项分布与泊松分布;连续概率分布有正态分布等。质量管理中最常用的是正态分布,如图 1 所示(图 1 中, $\varphi(x)$ 为正态分布密度函数; x 为随机变量; μ 为样本均值; σ 为方差)^[5-6]。

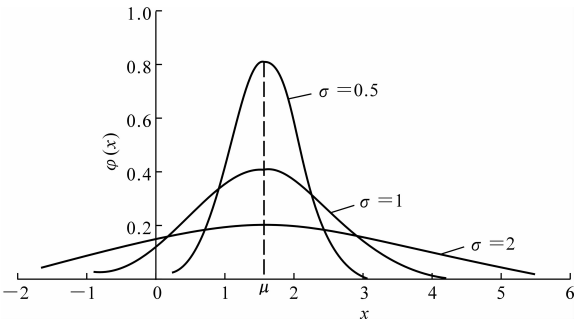


图 1 正态分布曲线

根据图 1 得出的正态分布曲线下不同面积即为概率的大小,总体数值有 68.26% 落于 $\mu \pm \sigma$ 界限的范围内,有 95.46% 落于 $\mu \pm 2\sigma$ 界限的范围内,有 99.73% 落于 $\mu \pm 3\sigma$ 界限的范围内,这个结论在质量管理中是非常重要。本文从以上观点出发,研究集料级配的数学分布特征,并将结果用于确定级配的控制指标,提出集料级配的质量控制方法。

根据集料级配(单级配)数据,分析其数据分布特征,选取主要筛孔 19、16、13.2、9.5、4.75、2.36、0.075 mm 进行分析,如表 3~表 5 所示。并以 1# 料 19 mm 筛孔通过率数据为例,用 χ^2 检验方法验证级配数据是否符合正态分布。

如果直接用表 3 中数据作检验,数字较大,计算繁琐,通过下式变换,可把列表中组的分点和组中值变得简单一些。

$$Y = \frac{X - 86}{4}$$

式中: X 为筛孔通过率; Y 为数字简化后的通过率。

利用 Y 的组中值求 y_i^* 、 s_y^2 (y 的子样方差),从而可写出 Y 的正态分布;再用此分布和 Y 的分组区间,可计算得出分布概率 p_i ,这个 p_i 与利用 X 的数值直接计算得到的 p_i 相同。把计算 χ^2 值的过程列成表的形式,如下页表 6 所示,计算式为

$$\sum_{i=1}^9 m_i y_i^* = 16$$
$$\bar{y} = 0.421\ 1$$

表 3 1# 料级配数据分布

19 mm 筛孔			16 mm 筛孔		
通过率范围/%	通过率中值/%	此区间样本数量/个	通过率范围/%	通过率中值/%	此区间样本数量/个
62~64	63	1	56~62	59	5
72~74	73	1	50~56	53	3
74~76	75	1	44~50	47	3
76~78	77	3	38~44	41	8
78~80	79	3	38~32	35	2
80~82	81	4	32~26	29	3
82~84	83	8	26~20	23	9
84~86	85	3	20~14	17	2
86~88	87	4	14~8	11	0
88~90	89	5	8~2	5	1
90~92	91	2	0~2	1	1
92~94	93	2			
94~96	95	1			

表 4 2# 料级配数据分布

13.2 mm 筛孔			9.5 mm 筛孔		
通过率范围%	通过率中值/%	此区间样本数量/个	通过率范围%	通过率中值/%	此区间样本数量/个
86~90	88	1	13~15	14.0	1
82~86	84		11~13	12.0	1
78~82	80		9~11	10.0	3
74~78	76	1	7~9	8.0	2
70~74	72	8	5~7	6.0	6
66~70	68	11	3~5	4.0	12
62~66	64	3	3~1	2.0	11
58~62	60	3	0~1	0.5	2
54~58	56	0			
50~54	52	1			
46~50	48	2			
42~46	44	0			
38~42	40	3			
34~38	36	0			
30~34	32	2			
26~30	28	1			

表 5 3# 料、4# 料级配数据分布

4.75 mm 筛孔			2.36 mm 筛孔		
通过率范围%	通过率中值/%	此区间样本数量/个	通过率范围%	通过率中值/%	此区间样本数量/个
47~53	50.0	1	90~96	93	1
41~47	44.0	2	86~90	88	4
35~41	38.0	3	82~86	84	7
29~35	32.0	3	78~82	80	13
23~29	26.0	10	78~74	76	6
23~17	20.0	2	74~70	72	6
17~11	14.0	6			
11~5	8.0	3			
0~5	2.5	7			

表 6 χ^2 值计算过程

X 分组	Y 分组 (b_{i-1}, b_i)	y_i^*	m_i	$y_i^* - \bar{y}$	$p_i = \Phi(b_i - \bar{y}/s_y) - \Phi(b_{i-1} - \bar{y}/s_y)$
62~66	(-5, -4)	-4.5	1	-4.92	0.002 0
66~70	(-4, -3)	-3.5	0	-3.92	0.012 0
70~74	(-3, -2)	-2.5	1	-2.92	0.046 3
74~78	(-2, -1)	-1.5	4	-1.92	0.123 5
78~82	(-1, 0)	-0.5	7	-0.92	0.212 2
82~86	(0, 1)	0.5	11	0.92	0.250 7
86~90	(1, 2)	1.5	9	1.92	0.199 5
90~94	(2~3)	2.5	4	2.92	0.106 7
94~98	(3~4)	3.5	1	3.92	0.038 5

注: b_{i-1}, b_i 为各组的边界值; $\Phi(x)$ 为正态分布函数。

$$s_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^9 m_i (y_i^* - \bar{y})^2 = \frac{1}{n} (92.826) = 2.443$$

$$s_y = 1.563$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^9 \frac{(m_i - np_i)}{np_i} = 0.821\ 1$$

查统计手册^[6],可知 $\chi_{0.05}^2 = 9.488$

$$\chi^2 = 0.821\ 1 < \chi_{0.05}^2$$

式中: m_i 为频数; y_i^* 为变换后的组中值; \bar{y} 为样本平均值; n 为样本数量。

χ^2 检验法检验结果显示,1[#] 料 19 mm 筛孔通过率数值分布符合正态分布,其他筛孔通过率可以用同样方法检验。由此可以认为,沥青面层集料级配检测数据符合正态分布,但当原材料加工出现异常时,则会出现偏离正态分布的情况。

使用目标配合比进行级配合成,集料合成级配各档筛孔通过率的分布具有同样的特征,列举关键筛孔 4.75 mm 和 2.36 mm 筛孔通过率,见表 7;其通过率的正态分布曲线如图 2 所示。根据表 7、图 2 可以得出:4.75 mm 筛孔通过率中值的平均值为 44.47%、均方差为 2.44;2.36 mm 筛孔通过率中值的平均值为 33.58%、均方差为 1.85。

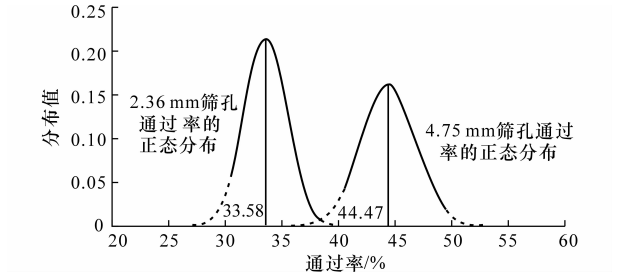


图 2 4.75 mm 和 2.36 mm 筛孔通过率中值的正态分布曲线

3 分布特征在质量管理中的应用

分析集料级配的分布特征,就可以掌握集料级

表 7 集料合成级配数据分布

4.75 mm 筛孔			2.36 mm 筛孔		
通过率 范围/%	通过率中 值/%	此区间样 本数量/个	通过率 范围/%	通过率中 值/%	此区间样 本数量/个
41~42	41.5	9	30~31	30.5	3
42~43	42.5	4	31~32	31.5	7
43~44	43.5	4	32~33	32.5	2
44~45	44.5	3	33~34	33.5	12
45~46	45.5	9	34~35	34.5	7
46~47	46.5	3	35~36	35.5	6
47~48	47.5	3	36~37	36.5	1
48~49	48.5	2	37~38	37.5	1
49~50	49.5	1			

配的变异性,而质量控制的目的是使技术指标的变异性控制在一定的水平上,以尽量消除变异性对产品最终质量的影响^[7]。

3.1 集料级配的符合性

集料级配的符合性包括均值与变异性 2 个方面。合徐高速公路中、下面层确定的 AC-20C 级配见下页表 8,其油石比为 4%~4.5%。分析 A5 标段集料级配的符合性,首先用各筛孔通过率的平均值与标准配合比进行比较。关键筛孔 4.75、2.36 mm 筛孔的通过率分别为 44.5%、33.6%,与设计值的偏差分别为 1.5%、3.1%,其控制指标分别取为 $\pm 3\%$ 、 $\pm 2\%$,因此 4.75 mm 筛孔通过率符合要求,而 2.36 mm 筛孔通过率不符合要求,2.36 mm 以下的颗粒偏少。由于 4[#] 料的规格小于 4.75 mm,要使 2.36 mm 筛孔通过率符合要求,必须调整 4[#] 料的级配,使 4[#] 料 2.36 mm 筛孔通过率加大,即 4[#] 料变细。根据 4[#] 料级配检测数据,2.36 mm 筛孔的通过率要加大 3%~6%。

根据正态分布曲线的概率分布特征,检测数据有 99.73% 落于 $\mu \pm 3\sigma$ 界限的范围内。A5 标段集料合成级配 4.75 mm 和 2.36 mm 筛孔通过率的均方差分别为 2.44 和 1.85,3 σ 分别为 7.32 和 3.55,均大于控制要求的数值 3 和 2。如果用这个数值反推级配变异性的指标,4.75、2.36 mm 筛孔通过率的均方差应分别小于 1.0 和 0.7。

在集料生产及进场过程中采用以上的方式,可以实现集料级配的动态过程控制,统计分析的周期宜为 $1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4$ t,检测频率可以根据质量水平自定,但不能低于规范要求^[8]。

3.2 级配改进措施

当级配平均值或级配变异性(均方差)不符合要求时,可以通过调整目标配合比及采取以下各项措施进行改进。

表 8 AC-20C 改进型级配

筛孔/mm	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100	97.5	83.5	73.0	60.0	43.0	30.5	22.0	16.0	12.0	9.0	6.0

3.2.1 破碎机筛孔的设置

加工集料的破碎机的筛孔的合理设置,会显著影响集料级配的变异性。为减小集料级配的变异性,应将控制集料级配的关键筛孔设定为破碎机的受控筛孔,这样集料的级配就比较稳定。破碎机的受控筛孔一般大于对应的集料级配控制筛孔。加工 AC-20 型沥青混合料用集料,集料可选 15~25 mm、10~15 mm、5~10 mm、小于 5 mm 共 4 种规格,破碎机筛孔可定为:23、16、11、5 mm(4 mm)。

在实际施工中,出现过破碎机筛孔选择不当而导致相应集料级配变异性大的情况。某标段在石料加工初期选择 22.5、13.5、8、5 mm 共 4 档破碎机筛孔,经检测其集料变异性非常大。

3.2.2 集料规格的选定

从减小集料变异性角度考虑,生产集料规格必须明确,并且集料分档要均衡、清晰。所谓“清晰”,即每种集料之间,交叉颗粒要少,如生产 10~20 mm、15~25 mm 共 2 种规格集料,就是分档不清晰,互有交叉。所谓“均衡”,就是颗粒粒径逐渐变化,控制筛孔均匀分布。为减少生产集料级配的变异性,在集料生产时,建议按表 9 选用集料规格。

表 9 沥青面层用集料规格

沥青混合料类型	集料规格/mm			
	1#料	2#料	3#料	4#料
AC-25	20~30	10~20	5~10	<5
AC-20	15~25	10~15	5~10	<5
AC-16	15~20	10~15	5~10(或 3~10)	<5(或<3)
AC-13	10~15	5~10	3~5	<3

3.2.3 破碎机产量的均衡性

当破碎机产量定的过高时,石块破碎负荷增大,破碎出集料的形状、大小都将发生变化,并且使集料筛分效率降低,使各种规格集料不能有效筛分,集料易形成分档不清晰(如 1#料中含较多 2#料等),级配波动较大,即变异性增大^[9-11]。因此,保持破碎机产量的均衡性,有利于保持破碎集料级配的稳定性。

3.2.4 破碎机筛板的材料

在集料生产过程中,筛网易磨损,使筛孔变大,或出现破损,均会影响集料级配的稳定性。所以,在选择破碎机筛板时,应选择材料强度高、不易磨损的筛板。

3.2.5 破碎机加工集料所使用原材料的变化

破碎机加工集料使用的原材料可能是直接开采的块石,也可能是经过初碎的小料石(粒径通常在

5~10 cm),在加工过程中,不能混杂使用,否则也会引起加工集料级配的变化。

3.2.6 取样方式的影响

根据文献[8],粗集料有 2 种取样方式:一种从料堆上取样;另一种从皮带运输机上取样,应在皮带运输机机尾的出料口取样。2 种取料方式得到的数据变异性结果不同。皮带出料口取样方式变异性小于料堆取样方式,故在施工控制中,应尽量使用皮带出料口的取样方式,更能反映集料加工的实际级配变化,且数据变异性小。

4 结 语

(1)沥青面层用集料级配单级配及合成级配数据具有正态分布特征, χ^2 检验法检验结果显示数据符合正态分布。

(2)分析级配数据分布,可以判断集料级配的质量符合性;判断时采用 2 个指标,平均值与均方差;平均值可与目标配合比的设计值进行比较,均方差利用正态分布的 3 σ 原理判别变异性的符合性。

(3)根据统计过程控制原理,结合施工技术要求,筛孔通过率控制指标除变化值的偏差要求外,还应该控制其变异性,关键筛孔 4.75 mm 和 2.36 mm 的均方差应分别小于 1.0 和 0.7。

(4)当级配平均值、级配变异性(均方差)不符合要求时,可以通过调整目标配合比及采取以下措施进行改进:破碎机筛孔的设置;集料规格的选定;保持破碎机产量的均衡性;破碎机筛板选用耐磨损材料;避免破碎机加工集料时使用原材料的变化;采用正确的取样方式。

(5)按照《公路沥青路面施工技术规范》的要求,进行集料级配的控制已无法达到质量控制的目的;使用本文提出的控制指标及统计过程控制的方法,可以有效地保持集料级配的符合性与稳定性,减小变异性。

参考文献:

References:

[1] 王祖和. 项目质量管理 [M]. 北京:机械工业出版社, 2004.
[2] 张公绪. 新编质量管理学 [M]. 北京:高等教育出版社, 2001.