

承压破碎煤矸石力学性能研究

王 伟,惠文如,王泽洋,王路珍,孔海陵

(盐城工学院 土木工程学院,江苏 盐城 224051)

摘要:为了研究煤矸石作为路基填筑材料时的力学性能,进行了标准煤矸石的单轴压缩试验、变角剪切试验和劈裂试验,以及破碎煤矸石的压实试验。测试得到了煤矸石的抗压强度、内聚力、内摩擦角和抗拉强度等基本力学性能指标,还得到了 5 种 Talbol 幂指数下,承压破碎煤矸石的应力-应变曲线。研究表明:(1)煤矸石的拉压性能差别较大,抗拉强度是抗压强度的 8 倍;(2)破碎煤矸石压实过程中,应力呈先缓慢增大后快速增大的变化规律;(3)随着 Talbol 幂指数的减小,低应力水平时试样的变形量较大,高应力水平时试样的变形量较小。研究结果可为煤矸石作为路基填筑材料的推广应用提供试验依据和理论参考。

关键词:承压破碎煤矸石;力学性能;Talbol 幂指数;应力

中图分类号:TU45 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2016)01-0062-04

长期以来,煤矸石只是作为一种伴随煤炭生产而产生的固体废物存在。随着人类对能源可持续发展的迫切需求和环境保护意识的增强,煤矸石变废为宝也逐渐成为学者们关注的研究课题之一。破碎煤矸石作为路基填筑材料是值得推广应用的,具有重要的理论价值和工程意义。

煤矸石在国外已经广泛用于公路和铁路的路基填筑、水利堤坝构筑、工民建中地基垫层等诸多工程^[1-2];在国内,煤矸石用于地基垫层也受到关注^[3-6]。文献[3-4]对不同密实度煤矸石地基承载力的研究表明:煤矸石地基的密实程度对容许承载能力影响较大;文献[5-6]对徐州地区路用煤矸石的基本力学特性及颗粒破碎细化规律进行了试验研究,提出了适合于煤矸石的本构模型。

很多学者都认识到破碎煤矸石的粒径是影响路基充填性能的重要因素之一,而在考虑破碎煤矸石的配比时,很少学者考虑连续级配问题。本项目采用 Talbol 连续级配公式,对破碎煤矸石用作路基填筑材料的压实力学性能展开研究。

1 煤矸石基本力学性能

煤矸石用作路基填筑材料前,首先需要了解煤矸石的基本力学性能。本文主要测试煤矸石的单轴抗压强度、抗剪强度和抗拉强度。

通过单轴压缩试验测试煤矸石的单轴抗压强度。取标准圆柱形试样 5 件,公称尺寸为直径 50 mm、高度 100 mm。根据下式计算煤矸石试样的单轴抗压强度 σ_c 。

$$\sigma_c = \frac{P^*}{\frac{\pi}{4}d_s^2} \tag{1}$$

其中, d_s 为试样直径,mm; P^* 为试验过程中,试样承受的最大载荷,kN。煤矸石试样单轴抗压强度测试结果见表 1。

利用楔形剪切仪进行煤矸石变角剪切试验,测试其抗剪强度。取标准圆柱形试样 5 件,公称尺寸为直径 50 mm、高度 50 mm。根据文献[7]得到煤矸石试样在剪切面上的正应力 σ_{cut} 和切应力 τ_{cut} 分别为

收稿日期:2015-10-09

基金项目:江苏省高等学校大学生创新创业训练计划重点项目(2015018)

作者简介:王伟(1996—),男,江苏泰州人,主要研究方向为破碎岩体渗流理论。

通讯作者:王路珍(1982—),女,山西应县人,副教授,博士,主要研究方向为破碎岩体渗流理论。

$$\sigma_{\text{cut}} = \frac{P^*}{d_s h_s} (\cos \alpha + f \sin \alpha) \tag{2}$$

$$\tau_{\text{cut}} = \frac{P^*}{d_s h_s} (\sin \alpha - f \cos \alpha) \tag{3}$$

其中, h_s 为试样高度, mm; f 为摩擦系数, 由摩擦校正试验决定, 通常可以忽略。试验时, 剪切角度 α 分别取 35° , 45° , 55° , 65° 和 75° 。

表 1 煤矸石试样单轴抗压强度测试结果
Table 1 The test results of uniaxial compressive strength of coal gangues

直径 d_s / mm	高度 h_s / mm	抗压强度 / MPa	平均值 / MPa
49.5	100.0	100.56	95.75
49.8	100.5	88.76	
49.9	101.0	92.48	
49.5	100.1	102.76	
50.0	103.5	94.20	

通过对 5 个角度数值进行线性拟合得到内聚力 C 和内摩擦角 Φ , 根据公式 $\tau = \tan \Phi \cdot \sigma + C$, 得如图 1 所示的正应力 - 切应力曲线。煤矸石试样抗剪强度的测试结果见表 2。

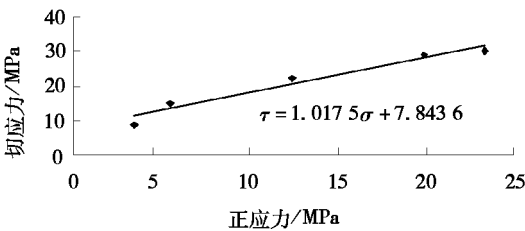


图 1 剪切面上正应力 - 切应力曲线
Fig.1 The normal stress - shearing stress curve on shearing plane

表 2 煤矸石试样抗剪强度测试结果
Table 2 The test results of shear strength of coal gangues

直径 d_s / mm	高度 h_s / mm	剪切角 / ($^\circ$)	正应力 / MPa	切应力 / MPa	内聚力 / MPa	内摩擦角 / ($^\circ$)
49.8	52.2	35°	23.4	30.1	7.84	45.5
49.5	52.2	45°	19.9	28.8		
49.4	52.2	55°	12.4	22.3		
49.6	52.1	65°	5.43	14.8		
50.0	52.1	75°	3.42	8.9		

由表 2 中正应力与切应力测试结果可以看出, 试样的正应力与切应力均随着剪切角度 α 的

增大而降低, 且剪切面上所受的正应力越大, 试样被剪破坏前该面所能承受的切应力也越大。因为剪切破坏前试样既要克服内聚力, 又要克服剪切面上的摩擦力, 且正应力越大, 摩擦力也越大。

通过劈裂试验测试煤矸石的抗拉强度。取标准圆柱形试样 5 件, 公称尺寸为直径 50 mm、高度 25 mm。根据文献[6]得到煤矸石抗拉强度 σ_t 的计算公式为

$$\sigma_t = \frac{2P^*}{\pi d_s h_s} \tag{4}$$

煤矸石试样抗拉强度的测试结果见表 3。

表 3 煤矸石试样抗拉强度测试结果
Table 3 The test results of tensile strength of coal gangues

直径 d_s / mm	高度 h_s / mm	抗拉强度 / MPa	平均值 / MPa
50.0	24.5	12.86	12.45
49.5	24.7	16.42	
49.9	25.2	9.88	
50.1	26.4	10.40	
50.0	24.2	12.68	

由标准煤矸石试样基本力学性能的测试结果可见: 煤矸石的内摩擦角较大, 抗压强度和抗剪强度也较大; 煤矸石的内聚力较大, 即其抗压强度与抗拉强度差距较大, 抗压强度约为抗拉强度的 8 倍。

2 承压破碎煤矸石应力 - 应变关系

为了全面掌握破碎煤矸石用作路基填筑材料时的压实特性, 试验前将煤矸石筛分为 0 ~ 2 mm, 2 ~ 5 mm, 5 ~ 10 mm, 10 ~ 20 mm, 20 ~ 30 mm, 30 ~ 40 mm, 40 ~ 50 mm 和 50 ~ 60 mm 8 种粒径。采用 Talbol 连续级配公式

$$P = \left(\frac{d}{D} \right)^n \times 100\% \tag{5}$$

其中, P 为不同 Talbol 幂指数时各粒径范围的质量百分比; d 为破碎岩石当前粒径, mm; D 为破碎岩石中最大粒径, mm; n 为 Talbol 幂指数。Talbol 公式可用来全面掌握连续级配的级配范围问题, 具有重要的实际意义。

试验分别取 $n = 0.2, 0.4, 0.5, 0.6$ 和 0.85 组, 每组样本的总质量为 50 kg, 8 种粒径的质量分配见表 4。

由表 4 可见, Talbol 幂指数 n 越小, 低级粒径