

文章编号:1671-251X(2021)07-0115-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020120057

不同煤体结构煤岩抗拉强度测试

黄楷, 吴基文, 翟晓荣, 毕尧山

(安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽 淮南 232001)



扫码移动阅读

摘要:煤岩作为一种特殊的沉积岩,在形成后大多会经历多期构造运动,造成煤体结构的多样性,很难直接采用某一种方法进行不同煤体结构煤岩抗拉强度测试。为获得不同煤体结构煤岩抗拉强度,以淮北矿业(集团)有限责任公司孙疃煤矿10煤为研究对象,分别采用巴西劈裂试验和点荷载试验对不同煤体结构煤岩进行了测试。结果表明:①通过巴西劈裂试验测得原生结构煤、碎裂煤平均抗拉强度分别为1.174,0.710 MPa;通过点荷载试验测得原生结构煤、碎裂煤、碎粒煤、糜棱煤平均点荷载强度分别为0.368,0.248,0.112,0.041 MPa。②煤的点荷载强度与抗拉强度具有较好的线性相关性,对点荷载强度与抗拉强度测试结果进行线性拟合,获得点荷载强度与抗拉强度的转换关系式,进而根据关系式计算得到碎粒煤、糜棱煤平均抗拉强度分别为0.345,0.126 MPa。③从原生结构煤到碎裂煤、碎粒煤再到糜棱煤,即随着煤体结构破坏程度增加,煤岩抗拉强度显著降低,且下降幅度呈逐渐增大趋势。

关键词:煤体结构;煤岩抗拉强度;点荷载强度;巴西劈裂试验;点荷载试验
中图分类号:TD315 文献标志码:A

Tensile strength test of coal and rock with different coal structure

HUANG Kai, WU Jiwen, ZHAI Xiaorong, BI Yaoshan

(School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology,
Huainan 232001, China)

Abstract:Coal and rock, as a special sedimentary rock, mostly undergoes multiple phases of tectonic movements after its formation, resulting in the diversity of coal structures. Therefore, it is difficult to directly use a certain method to test the tensile strength of coal and rock with different coal structures. In order to obtain the tensile strength of coal and rock with different coal structures, taking No. 10 of Suntuan Coal Mine of Huaibei Mining (Group) Co., Ltd. as an example, the Brazilian splitting test and the point load test are conducted on coal and rock with different coal structures. The results show the following three points. ① The average tensile strengths of primary structure coal and fractured coal measured by Brazilian splitting test are 1.174 and 0.710 MPa respectively. The average point load strengths of primary structure coal, fractured coal, crushed coal and mylonite coal measured by point load test are 0.368, 0.248, 0.112 and 0.041 MPa respectively. ② The point load strength and tensile strength of coal have a good linear correlation. The point load strength and tensile strength test results are linearly fitted to obtain the conversion equation between the point load strength and the tensile strength. According to the equation, the calculated average tensile strengths of crushed coal and mylonite coal are 0.345 and

收稿日期:2020-12-26;修回日期:2021-07-15;责任编辑:盛男。
基金项目:安徽高校科研平台创新团队建设项目(2016-2018-24)。
作者简介:黄楷(1997—),男,安徽六安人,硕士研究生,主要研究方向为煤矿工程地质和水文地质,E-mail:3304222437@qq.com。通信作者:吴基文(1961—),男,安徽舒城人,教授,博士,主要研究方向为煤矿工程地质与灾害防治、矿山地质灾害及煤田地质等,E-mail:jwwuust@163.com。
引用格式:黄楷,吴基文,翟晓荣,等.不同煤体结构煤岩抗拉强度测试[J].工矿自动化,2021,47(7):115-119.
HUANG Kai,WU Jiwen,ZHAI Xiaorong,et al. Tensile strength test of coal and rock with different coal structure[J]. Industry and Mine Automation,2021,47(7):115-119.

0.126 MPa respectively. ③ From primary structure coal to fractured coal, crushed coal and cinder coal, the tensile strength of coal rock decreases significantly with the increase of the damage degree of coal structure, and the decline tends to increase gradually.

Key words: coal structure; coal and rock tensile strength; point load strength; Brazil splitting test; point load test

0 引言

煤岩抗拉强度是煤岩在单轴拉应力作用下达到破坏时所承受的最大拉应力^[1],是重要的煤岩力学参数之一。由于煤体结构的特殊性,煤岩抗拉强度的获得较困难。许多学者开展了煤岩抗拉强度测试研究:张泽天等^[2]对原煤试件进行单轴直接拉伸试验,测得煤抗拉强度;刘荣茂^[3]通过原位水压致裂法获得的煤抗拉强度较实验室数据大 10 倍以上;颜志丰^[4]、许多等^[5]通过巴西劈裂试验对煤岩抗拉强度进行了测试;赵毅鑫等^[6]采用半圆弯拉试验和巴西劈裂试验对煤样抗拉强度进行了对比测试;吴基文等^[7]对煤块波速及其抗拉强度进行了测试和分析,建立了波速-抗拉强度关系式,通过原位的波速测试,即可根据关系式确定煤体抗拉强度;苏承东等^[8]采用巴西劈裂试验、点荷载试验及捣碎法等对煤样抗拉强度进行了测试,得到了不同测试方法之间的转换系数;吴基文等^[9]、翟晓荣等^[10]采用套筒致裂法测定煤抗拉强度;陈江峰等^[11]分析了不同煤岩抗拉强度测试方法及其存在问题。以上研究主要针对结构完整、容易制样的煤岩进行抗拉强度测试;但煤岩作为一种特殊的沉积岩,本身强度较低,在形成后大多会经历多期构造运动,导致煤岩构造裂隙、节理或层面发育,煤体结构受到不同程度破坏,造成煤体结构的多样性,很难直接采用某一种方法进行不同煤体结构煤岩抗拉强度测试^[12-14]。因此,本文以淮北矿业(集团)有限责任公司孙疃煤矿 10 煤为研究对象,分别采用巴西劈裂试验和点荷载试验对不同煤体结构煤岩进行抗拉强度和点荷载强度测试,建立点荷载强度与抗拉强度的转换关系式,获得不同煤体结构煤岩抗拉强度,可达到定量分析煤岩抗拉强度的目的,为获得结构破碎煤岩抗拉强度提供了途径。

1 研究区概况

孙疃煤矿含煤地层为石炭系、二叠系,其中石炭系煤层薄而不可采,二叠系煤层下石盒子组为主要含煤地层、山西组次之。矿井内主采煤层有 5 层,其中 10 煤层为主采煤层之一,煤层厚度为 0~5.38 m,平均厚度为 2.67 m。矿井处于淮北煤田南部童亭

背斜东翼,总体上为一走向近于南北、向东倾斜的单斜构造,倾角为 10~20°,平均倾角约为 16°。矿井内大中型断层较发育,-800 m 以浅共揭露落差≥5 m 的断层 347 条,其中正断层 346 条,逆断层 1 条。

2 煤样采集及煤体结构特征

对孙疃煤矿 10 煤进行取样,采样点为 1011 工作面 and 1047 工作面。在中小型断裂构造密集发育区域和煤田大型断层两侧因受局部应力场影响,煤层破碎程度大,主要发育碎粒煤和糜棱煤;在断层稀疏区域,煤体结构基本保持原生状态,主要发育原生结构煤和碎裂煤。不同煤体结构煤样如图 1 所示。原生结构煤基本未发生构造变形破坏,原生结构保存较好,主要呈完整块状或板状,煤体致密坚硬,难以捏碎,宏观煤岩组分清晰可见,构造裂隙基本不发育,主要发育内生裂隙(图 1(a));碎裂煤受构造变形程度较轻,煤体结构较完整,主要呈块裂状,煤质较坚硬,不易捏碎,煤体构造裂隙和外生裂隙、继承性裂隙较发育(图 1(b));碎粒煤受构造应力作用明显,原生结构基本遭到破坏,层理难以辨认,常见揉皱和滑面,煤体破碎、疏松,多被构造裂隙切割成碎块(图 1(c));糜棱煤煤体破碎程度最高,原生结构遭受严重破坏,完整性极差,多呈鳞片状和揉皱状,构造裂隙密集发育,局部揉皱变形明显,手捏易破碎成粉粒(图 1(d))。

3 试验设备及方案

原生结构煤和碎裂煤结构较完整,煤体较坚硬,满足制作标准样的要求,因此采用巴西劈裂试验对原生结构煤和碎裂煤进行抗拉强度测试。煤样经过取芯和机器打磨,制作成直径约为 50 mm、厚度为 25~50 mm 的标准样。试验仪器采用美国 RMT 万能材料试验机。测试及计算过程依据 GB/T 23561.10—2010《煤和岩石物理力学性质测定方法第 10 部分:煤和岩石抗拉强度测定方法》。

针对结构破碎、煤体松软的碎粒煤和糜棱煤,无法直接测得抗拉强度。因此对原生结构煤、碎裂煤、碎粒煤和糜棱煤进行点荷载强度测试。试验仪器采用 STDZ-3 型数显点荷载仪。测试及计算过程依据 GB/T 23561.13—2010《煤和岩石物理力学性质测

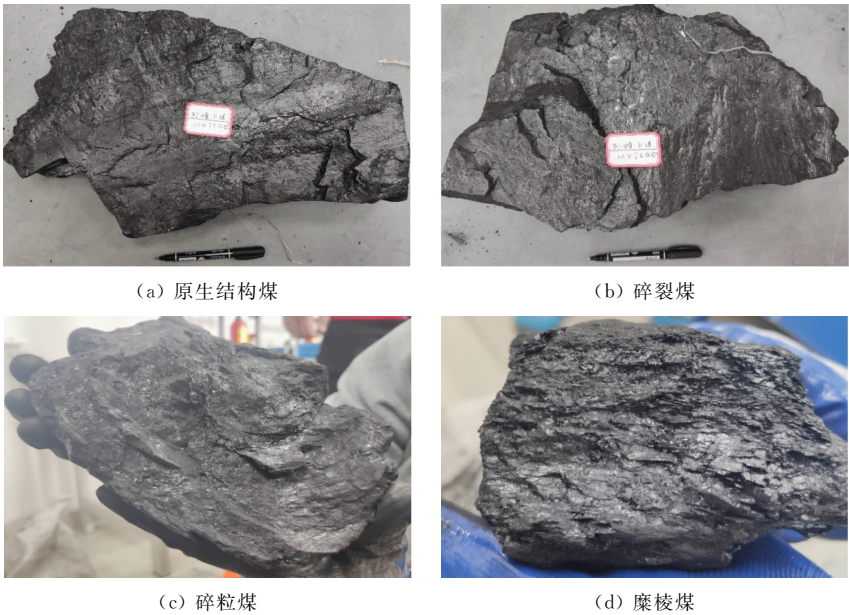


图 1 不同煤体结构煤样

Fig. 1 Coal samples with different coal structures

定方法 第 13 部分:煤和岩石点荷载强度指数测定方法》。

不同煤体结构煤样数量及编号见表 1。

表 1 煤样数量及编号

Table 1 Quantity and serial number of coal samples				
煤体结构	巴西劈裂试验		点荷载试验	
	煤样数量/个	煤样编号	煤样数量/个	煤样编号
原生结构煤	10	I-1—I-10	10	I-11—I-20
碎裂煤	10	II-1—II-10	10	II-11—II-20
碎粒煤	—	—	10	III-1—III-10
糜棱煤	—	—	10	IV-1—IV-10

表 2 巴西劈裂试验结果

Table 2 Results of Brazilian splitting test

编号	抗拉强度/MPa	编号	抗拉强度/MPa
I-1	1.235	II-1	0.881
I-2	1.010	II-2	0.621
I-3	1.235	II-3	0.808
I-4	1.562	II-4	0.793
I-5	1.212	II-5	0.688
I-6	1.102	II-6	0.517
I-7	0.963	II-7	0.654
I-8	1.037	II-8	0.644
I-9	1.296	II-9	0.826
I-10	1.089	II-10	0.668

4 试验结果及分析

4.1 巴西劈裂试验结果

巴西劈裂试验结果见表 2。原生结构煤抗拉强度为 0.963~1.562 MPa,经计算可得平均抗拉强度为 1.174 MPa,离散系数为 0.141;碎裂煤抗拉强度为 0.517~0.881 MPa,经计算可得平均抗拉强度为 0.710 MPa,离散系数为 0.151;原生结构煤和碎裂煤抗拉强度离散系数均较小,表明试验结果较稳定。

4.2 点荷载试验结果

点荷载试验结果见表 3。原生结构煤点荷载强度为 0.272~0.496 MPa,经计算可得平均点荷载强度为 0.368 MPa,离散系数为 0.190;碎裂煤点荷载强度为 0.205~0.288 MPa,经计算可得平均点荷载强度为 0.248 MPa,离散系数为 0.099;碎粒煤点荷载强度为 0.052~0.151 MPa,经计算可得平均点荷载强度为 0.112 MPa,离散系数为 0.255;糜棱煤点

荷载强度为 0.023~0.066 MPa,经计算可得平均点荷载强度为 0.041 MPa,离散系数为 0.364;原生结构煤和碎裂煤离散系数均较小,表明试验结果较稳定;碎粒煤和糜棱煤点荷载强度离散系数相对较大,表明试验结果稳定性较差;随着煤体结构破坏程度增加,离散系数总体呈增大趋势,主要是由于碎粒煤、糜棱煤受构造应力作用较强,结构破坏严重,煤体内部构造裂隙发育,影响强度变化。

4.3 点荷载强度与抗拉强度的相关性

巴西劈裂试验测得的原生结构煤抗拉强度为碎裂煤的 1.65 倍,点荷载试验测得的原生结构煤点荷载强度为碎裂煤的 1.48 倍,说明原生结构煤和碎裂煤之间抗拉强度及点荷载强度下降趋势较一致,也间接说明了使用巴西劈裂试验结果和点荷载试验结果进行拟合的可行性。将原生结构煤和碎裂煤抗拉强度与点荷载强度试验数据进行线性拟合,得到抗

表 3 点荷载试验结果
Table 3 Results of point load test

编号	点荷载强度/MPa	编号	点荷载强度/MPa
I-11	0.429	Ⅲ-1	0.151
I-12	0.300	Ⅲ-2	0.110
I-13	0.382	Ⅲ-3	0.108
I-14	0.496	Ⅲ-4	0.125
I-15	0.366	Ⅲ-5	0.120
I-16	0.334	Ⅲ-6	0.140
I-17	0.272	Ⅲ-7	0.137
I-18	0.318	Ⅲ-8	0.052
I-19	0.460	Ⅲ-9	0.077
I-20	0.319	Ⅲ-10	0.100
Ⅱ-11	0.288	Ⅳ-1	0.066
Ⅱ-12	0.217	Ⅳ-2	0.030
Ⅱ-13	0.272	Ⅳ-3	0.026
Ⅱ-14	0.254	Ⅳ-4	0.046
Ⅱ-15	0.253	Ⅳ-5	0.039
Ⅱ-16	0.205	Ⅳ-6	0.035
Ⅱ-17	0.234	Ⅳ-7	0.023
Ⅱ-18	0.234	Ⅳ-8	0.027
Ⅱ-19	0.273	Ⅳ-9	0.052
Ⅱ-20	0.248	Ⅳ-10	0.064

拉强度与点荷载强度的关系曲线,如图 2 所示,可看出点荷载强度和抗拉强度之间具有较好的线性相关性。拟合公式为

$$R_t = 3.08I_{s(50)} \tag{1}$$

式中: R_t 为抗拉强度; $I_{s(50)}$ 为点荷载强度。

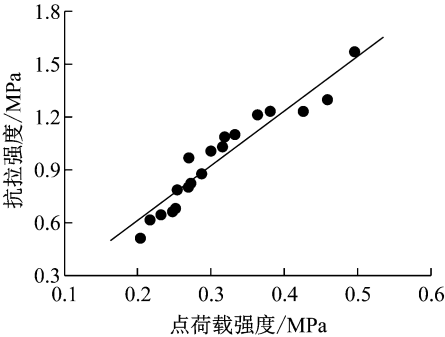


图 2 点荷载强度与抗拉强度关系曲线
Fig. 2 Relationship curve between point load strength and tensile strength

由式(1)可知,抗拉强度是点荷载强度的 3.08 倍,相关系数为 0.958,表明曲线拟合度高,通过点荷载强度计算抗拉强度是可行的。因此,针对结构破碎、无法直接测试抗拉强度的碎粒煤和糜棱煤,可依据式(1)进行强度转换,得到两者抗拉强度,见表 4。碎粒煤抗拉强度为 0.160~0.465 MPa,经计

算可得平均抗拉强度为 0.345 MPa;糜棱煤抗拉强度为 0.071~0.203 MPa,经计算可得平均抗拉强度为 0.126 MPa。

表 4 碎粒煤与糜棱煤抗拉强度计算结果
Table 4 Calculation results of tensile strength of crushed coal and mylonite coal

编号	抗拉强度/MPa	编号	抗拉强度/MPa
Ⅲ-1	0.465	Ⅳ-1	0.203
Ⅲ-2	0.339	Ⅳ-2	0.092
Ⅲ-3	0.333	Ⅳ-3	0.080
Ⅲ-4	0.385	Ⅳ-4	0.142
Ⅲ-5	0.370	Ⅳ-5	0.120
Ⅲ-6	0.431	Ⅳ-6	0.108
Ⅲ-7	0.422	Ⅳ-7	0.071
Ⅲ-8	0.160	Ⅳ-8	0.083
Ⅲ-9	0.237	Ⅳ-9	0.160
Ⅲ-10	0.308	Ⅳ-10	0.197

4.4 不同煤体结构煤岩抗拉强度特征

由表 2 和表 4 可知,不同煤体结构煤岩抗拉强度呈以下特征:原生结构煤、碎裂煤、碎粒煤、糜棱煤平均抗拉强度分别为 1.174, 0.710, 0.345, 0.126 MPa,即随着煤体结构破坏程度增加,煤岩抗拉强度显著降低;原生结构煤抗拉强度是碎裂煤的 1.65 倍,碎裂煤抗拉强度是碎粒煤的 2.06 倍,碎粒煤抗拉强度是糜棱煤的 2.74 倍,即从原生结构煤到碎裂煤、碎粒煤再到糜棱煤,煤岩抗拉强度下降幅度呈逐渐增大趋势,这是由于随着煤岩受到构造应力的增强,煤体结构基本遭到破坏,致使构造裂隙极其发育,从而大大降低了煤岩抗拉强度。

5 结论

(1) 通过巴西劈裂试验测得原生结构煤、碎裂煤平均抗拉强度分别为 1.174, 0.710 MPa;通过点荷载试验测得原生结构煤、碎裂煤、碎粒煤、糜棱煤平均点荷载强度分别为 0.368, 0.248, 0.112, 0.041 MPa。

(2) 煤的点荷载强度与抗拉强度具有较好的线性相关性,对点荷载强度与抗拉强度测试结果进行线性拟合,获得点荷载强度与抗拉强度的转换关系式,进而根据关系式计算得到碎粒煤、糜棱煤平均抗拉强度分别为 0.345, 0.126 MPa。

(3) 从原生结构煤到碎裂煤、碎粒煤再到糜棱煤,即随着煤体结构破坏程度增加,煤岩抗拉强度显著降低,且下降幅度呈逐渐增大趋势。

参考文献(References):

[1] 吴基文,闫立宏.煤岩抗拉强度两种室内间接测定方法比较与成果分析[J].岩石力学与工程学报,2004,23(10):1643-1647.
WU Jiwen, YAN Lihong. Comparison study on two kinds of indirect measurement methods of tensile strength of coal in lab[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(10): 1643-1647.

[2] 张泽天,刘建锋,王璐,等.煤的直接拉伸力学特性及声发射特征试验研究[J].煤炭学报,2013,38(6):960-965.
ZHANG Zetian, LIU Jianfeng, WANG Lu, et al. Mechanical properties and acoustic emission characteristics of coal under direct tensile loading conditions[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(6): 960-965.

[3] 刘荣茂.水压致裂强度测试法在断层防水煤柱合理留设中的应用[J].煤炭工程,2010,42(12):6-8.
LIU Rongmao. Application of hydraulic fracturing method to rational set-up of water prevention coal pillar in mine fault[J]. Coal Engineering, 2010, 42(12): 6-8.

[4] 颜志丰.山西晋城地区煤岩力学性质及煤储层压裂模拟研究[D].北京:中国地质大学(北京),2009.
YAN Zhifeng. Research of the coal mechanical properties and coal reservoir fracturing simulation in Jincheng district [D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2009.

[5] 许多,张茹,高明忠,等.基于间接拉伸试验的煤岩层理效应研究[J].煤炭学报,2017,42(12):3133-3141.
XU Duo, ZHANG Ru, GAO Mingzhong, et al. Research on coal bedding effect based on indirect tensile test[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(12): 3133-3141.

[6] 赵毅鑫,龚爽,姜耀东,等.基于半圆弯拉试验的煤样抗拉及断裂性能研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(6):1255-1264.
ZHAO Yixin, GONG Shuang, JIANG Yaodong, et al. Characteristics of tensile strength and fracture properties of coal based on semi-circular bending tests [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016, 35(6): 1255-1264.

[7] 吴基文,姜振泉,樊成,等.煤层抗拉强度的波速测定研究[J].岩土工程学报,2005,27(9):999-1003.
WU Jiwen, JIANG Zhenquan, FAN Cheng, et al. Study on tensile strength of coal seam by wave velocity [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(9): 999-1003.

[8] 苏承东,唐旭,倪小明.煤样抗压、拉强度与点荷载指标关系的试验研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(4):511-515.
SU Chengdong, TANG Xu, NI Xiaoming. Study on correlation among point load strength, compression and tensile strength of coal samples [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(4): 511-515.

[9] 吴基文,樊成.煤块抗拉强度的套筒致裂法实验室测定[J].煤田地质与勘探,2003,31(1):17-19.
WU Jiwen, FAN Cheng. Laboratory test on tensile strength of coal piece by sleeve fracturing technique [J]. Coal Geology & Exploration, 2003, 31(1): 17-19.

[10] 翟晓荣,吴基文,王广涛,等.基于套筒致裂法的煤体抗拉强度测试研究[J].工程地质学报,2018,26(增刊1):430-434.
ZHAI Xiaorong, WU Jiwen, WANG Guangtao, et al. Experimental study on calculation of the tensile strength of coal based on the sleeve fracturing method [J]. Journal of Engineering Geology, 2018, 26(S1): 430-434.

[11] 陈江峰,白洪阳,晏磊,等.煤的抗拉强度测试方法及其存在问题[J].煤矿安全,2013,44(6):217-219.
CHEN Jiangfeng, BAI Hongyang, YAN Lei, et al. Coal tensile strength test methods and their problems [J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44(6): 217-219.

[12] 程远平,雷杨.构造煤和煤与瓦斯突出关系的研究[J].煤炭学报,2021,46(1):180-198.
CHENG Yuanping, LEI Yang. Causality between tectonic coal and coal and gas outbursts[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(1): 180-198.

[13] 琚宜文,姜波,侯泉林,等.构造煤结构-成因新分类及其地质意义[J].煤炭学报,2004,29(5):513-517.
JU Yiwen, JIANG Bo, HOU Quanlin, et al. The new structure-genetic classification system in tectonically deformed coals and its geological significance [J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(5): 513-517.

[14] 艾池,李晓璇,李玉伟,等.煤中弱面对煤岩抗拉强度影响的力学试验分析[J].中国煤炭地质,2017,29(2):53-56.
AI Chi, LI Xiaoxuan, LI Yuwei, et al. Mechanical test analysis of impact on tensile strength from weak planes in coal [J]. Coal Geology of China, 2017, 29(2): 53-56.