

**宝清县建龙大雁煤业有限公司 3#、4#、  
5#、5#上、6#下、7#、8#、9#、9#上、10#、  
11#、13#、14#煤及其顶底板岩层**

**冲击倾向性鉴定报告**

矿井名称：宝清县建龙大雁煤业有限公司  
鉴定类别：委托测试  
鉴定日期：2021.01-2021.12

黑龙江科大科技开发有限公司

二〇二一年二月二十日

宝清县建龙大雁煤业有限公司 3#、4#、  
5#、5#上、6#下、7#、8#、9#、9#上、10#、  
11#、13#、14#煤及其顶底板岩层

冲击倾向性鉴定报告

矿井名称：宝清县建龙大雁煤业有限公司

鉴定类别：委托测试

鉴定日期：2021.01-2021.12

黑龙江科大科技开发有限公司

二〇二一年二月二十日

项目完成单位：黑龙江科大科技开发有限公司

参加人员：

姓名	职称/学历	专业	负责项目内容
陈刚	副教授	采矿工程	报告审核
董如国	副教授	采矿工程	报告编写
张晓宇	副教授	采矿工程	报告编写
员富博	硕士研究生	采矿工程	室内实验
叶志	硕士研究生	采矿工程	室内实验

# 目 录

1 矿井概况.....	1
2 鉴定依据与内容.....	2
2.1 鉴定依据.....	2
2.2 测试与鉴定内容.....	2
3 采样与试样加工.....	4
3.1 采样.....	4
3.2 试样加工.....	7
4 试验标准及测试方法.....	9
4.1 煤层冲击倾向性分类及指数的测定方法.....	9
4.1.1 煤层冲击倾向性标准.....	9
4.1.2 煤层冲击倾向性分类、名称及分类指数.....	9
4.1.3 煤层冲击倾向性指数测定方法.....	11
4.2 顶板冲击倾向性分类及指数的测定方法.....	15
4.2.1 顶板冲击倾向性标准.....	15
4.2.2 顶板冲击倾向性分类、名称及分类指数.....	16
4.2.3 顶板冲击倾向性测定方法.....	16
4.2.4 测定结果计算.....	18
4.3 试验设备及条件.....	20
5 煤层冲击倾向性测试.....	22
5.1 试样尺寸测定.....	22
5.2 测试结果.....	22
5.2.1 煤样动态破坏时间.....	22



5.2.2 煤样弹性能量指数.....	26
5.2.3 煤样冲击能量指数.....	31
5.2.4 煤样单轴抗压强度.....	36
5.3 煤样冲击倾向性鉴定结果.....	38
5.3.1 煤样冲击倾向性鉴定判据.....	38
5.3.2 煤样冲击倾向性鉴定结果.....	38
6 顶板冲击倾向性测试.....	40
6.1 密度测试.....	40
6.2 弹性模量测试.....	41
6.3 抗拉强度测试.....	43
6.4 顶板岩石冲击倾向指数分析.....	44
7 底板冲击倾向性测试.....	46
7.1 密度测试.....	46
7.2 弹性模量测试.....	47
7.3 抗拉强度测试.....	48
7.4 底板岩层冲击倾向指数分析.....	50
8 结论.....	51

## 1 矿井概况

宝清县建龙大雁煤业有限公司位于宝清县西南 50km，在桦南森工局岚峰林场西 2.5km，行政区划隶属宝清县小城子镇，地面均为岚峰林场经营的次生林地。宝清县通往七台河市 308 省道从区内经过，交通较为方便。该矿井交通位置示意图如图 1-1 所示。

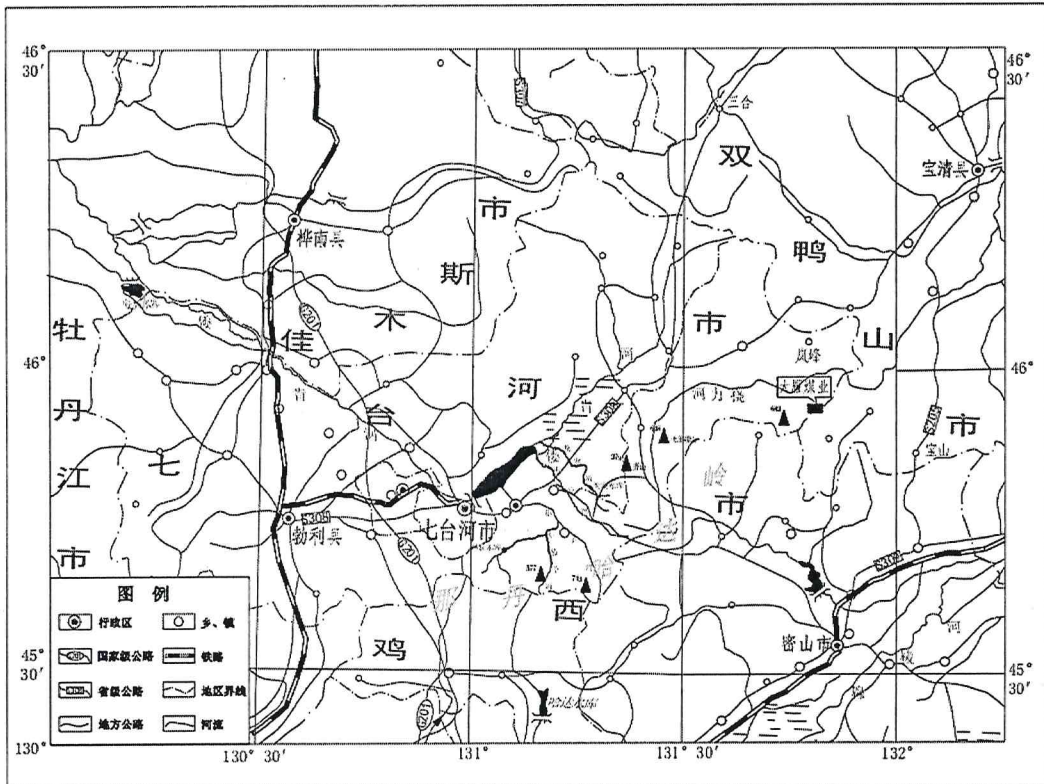


图 1-1 宝清县建龙大雁煤业有限公司交通位置示意图

原宝清县建龙大雁煤业有限公司批准开采 3#、4#、5#、5 上#、6 下#、7、8#煤层，原宝清县建龙秋城煤业有限公司批准开采 9#、9 上#、10#煤层，矿井增扩 11#、13#和 14#煤层。整合后该矿井批准开采 3#、4#、5#、5 上#、6 下#、7#、8#、9#、9 上#、10#、11#、13#和 14#煤层。

井田地层总体构造形态为浅部为一向南倾伏的单斜、深部为一宽缓的向斜，井田发育有 6 条正断层。勘查和生产实见闪长玢岩呈岩墙、岩脉侵入到煤系地层，吞蚀、破坏了部分煤层。该区煤种为焦煤、1/3 焦煤和气煤。

## 2 鉴定依据与内容

### 2.1 鉴定依据

本次测试与鉴定依据包括：

- 1) 中华人民共和国国家标准《煤和岩石物理力学性质测定方法第 1 部分：采样一般规定》（GB/T 23561.1-2009）；
- 2) 中华人民共和国国家标准《煤和岩石物理力学性质测定方法第 3 部分：煤和岩石块体密度测定方法》（GB/T 23561.3-2009）；
- 3) 中华人民共和国国家标准《煤和岩石物理力学性质测定方法第 7 部分：单轴抗压强度测定及软化系数计算方法》（GB/T 23561.7-2009）；
- 4) 中华人民共和国国家标准《煤和岩石物理力学性质测定方法第 8 部分：煤和岩石变形参数测定方法》（GB/T 23561.8-2009）；
- 5) 中华人民共和国国家标准《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》（GB/T 23561.10-2009）；
- 6) 中华人民共和国国家标准《冲击地压测定、监测与防治方法第 1 部分：顶板岩层冲击倾向性分类及指数的测定方法》（GB/T25217.1-2010）；
- 7) 中华人民共和国国家标准《冲击地压测定、监测与防治方法第 2 部分：煤的冲击倾向性分类及指数的测定方法》（GB/T25217.2-2010）；
- 8) 地质资料；
- 9) 《煤层及其顶底板岩层冲击倾向性鉴定》合同。

### 2.2 测试与鉴定内容

#### 1) 煤岩物理力学参数

依据《煤层及其顶底板岩层冲击倾向性鉴定》合同内容，本次试验测试的物理力学参数包括：煤岩样的自然块体密度、单轴抗压强度、抗拉强度、弹性模量、泊松比。

#### 2) 煤的冲击倾向性

分别测试煤样的动态破坏时间、弹性能量指数、冲击能量指数和单轴抗压强

度，综合判定煤样的冲击倾向性。

### 3) 顶底板岩层的冲击倾向性

在测试煤层顶底板岩层的抗拉强度、单轴抗压强度、弹性模量和泊松比的基础上，得到煤层顶板岩层各分层的弯曲强度，依此计算其弯曲能量指数，判定顶板岩层的冲击倾向性。



### 3 采样与试样加工

#### 3.1 采样

本次鉴定所取煤岩层为宝清县建龙大雁煤业有限公司检的 3#、4#、5#、5# 上、6#下、7#、8#、9#、9#上、10#、11#、13#、14#煤层及其顶、底板岩层的试样。取样标准遵照中华人民共和国国家标准《煤和岩石物理力学性质测定方法第 1 部分：采样一般规定》（GB/T 23561.1-2009）执行。

3#、4#、5#、5 上#、6 下#、7#、8#、9#、9 上#、10#取样地点为第 7 勘探线 701 钻孔。10#层煤层深度 13.55m，煤层厚度 0.30m；9#上煤层深度 29.10m，煤层厚度 0.60m；9#层煤层深度 49.90m，煤层厚度 0.98m；8#层煤层深度 79.55m，煤层厚度 0.42m；7#层煤层深度 99.60m，煤层厚度 0.20m；6#煤层深度 126.25m，煤层厚度 0.50m；5#煤层深度 179.15m，煤层厚度 0.33m；4#煤层深度 220.75m，煤层厚度 0.33m；3#煤层深度 278.50m，煤层厚度 0.60m。取样位置如图 3-1 所示。

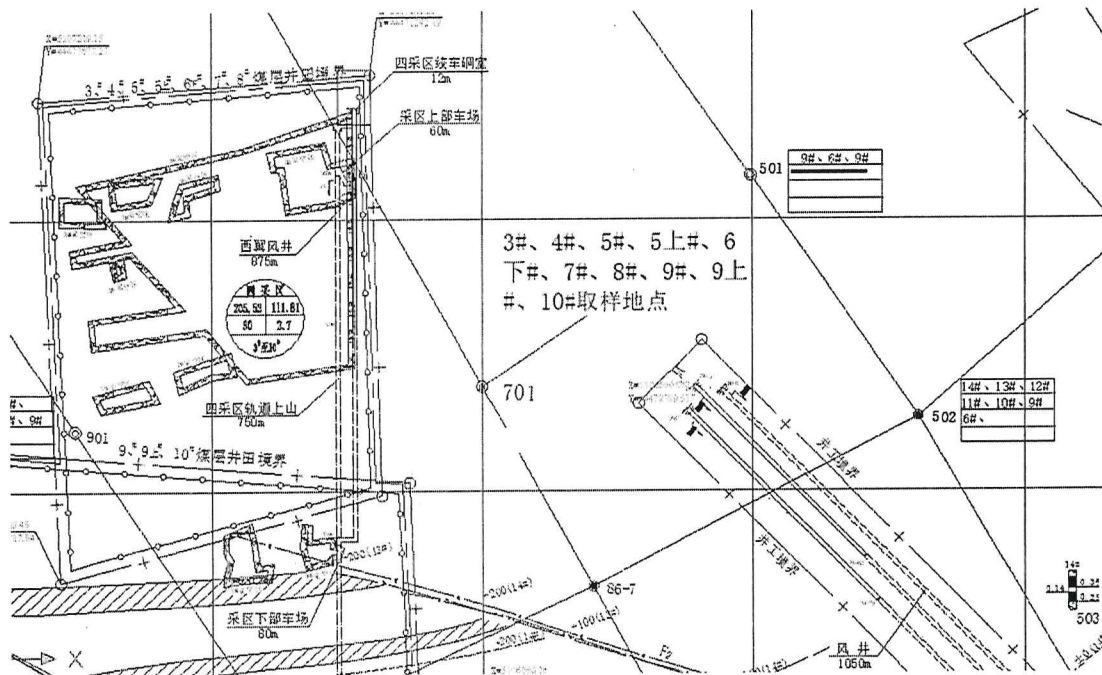


图 3-1 3#、4#、5#、5 上#、6 下#、7#、8#、9#、9 上#、10#取样位置图

11#、13#、14#取样地点为第 3 勘探线 302 钻孔，14#层煤层深度 641.05m，煤层厚度 0.61m；13#煤层深度 668.60m，煤层厚度 0.87m；11#层，煤层深度 722.65m，



煤层厚度 0.36m。取样位置如图 3-2 所示。

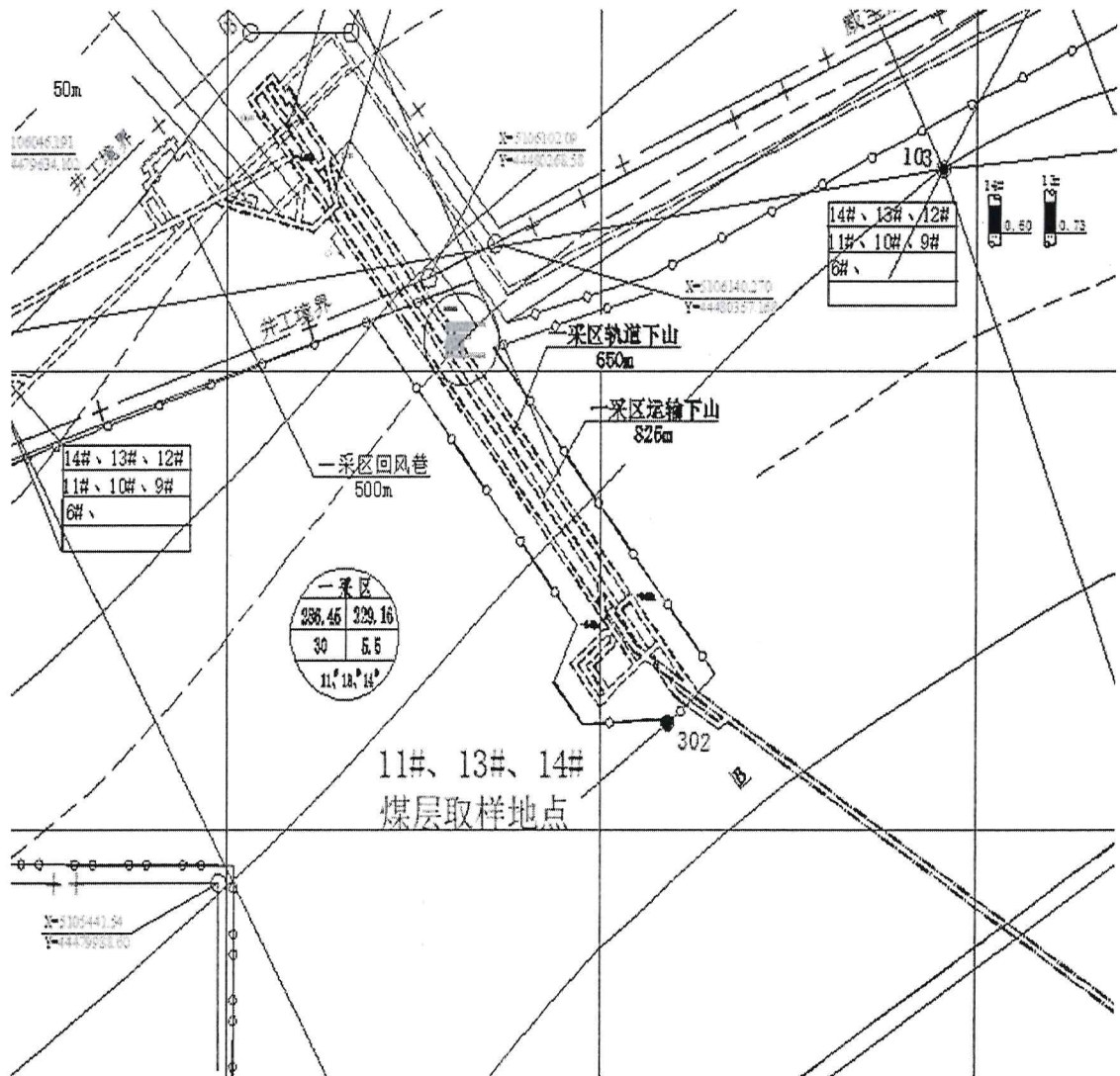
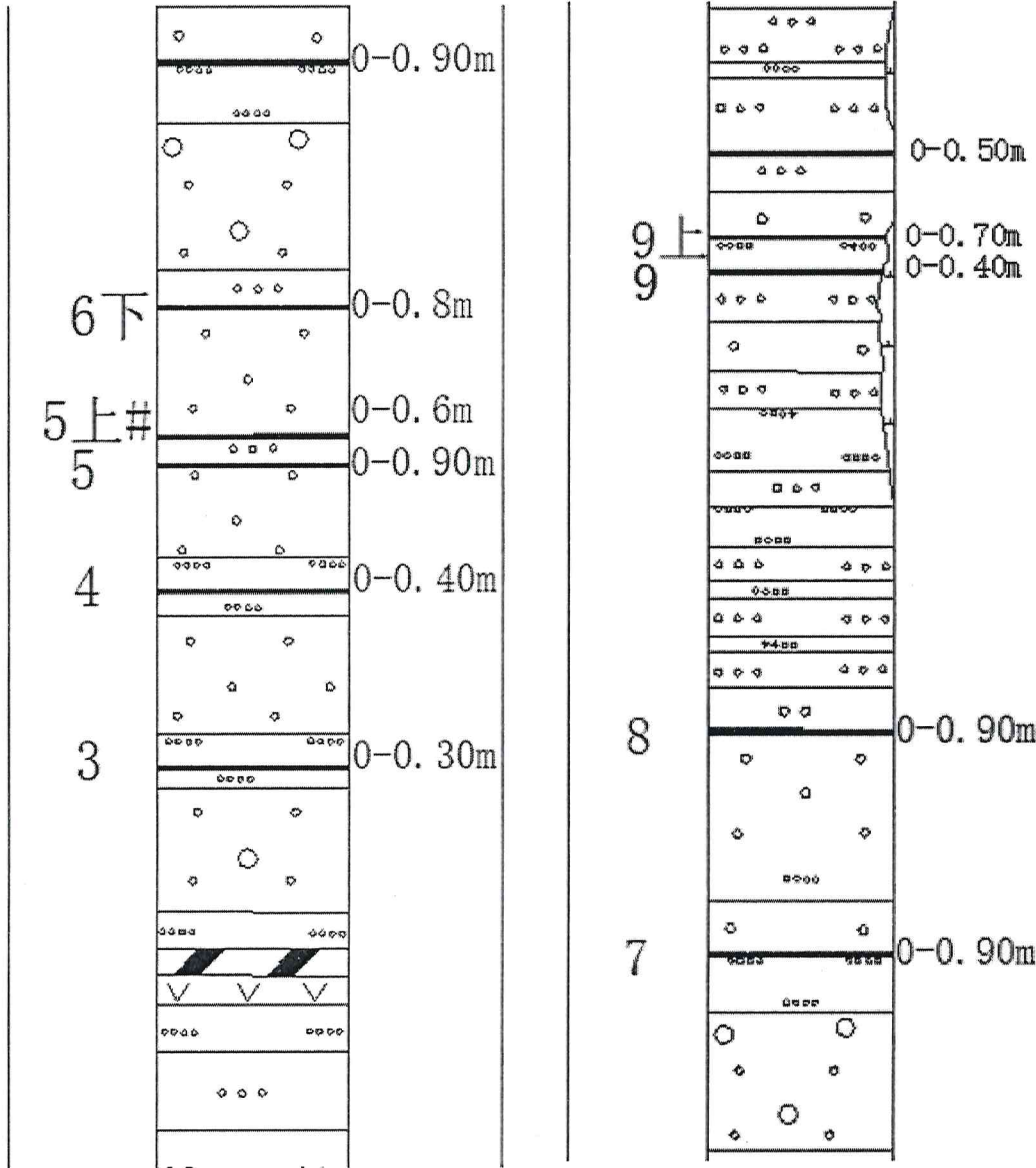


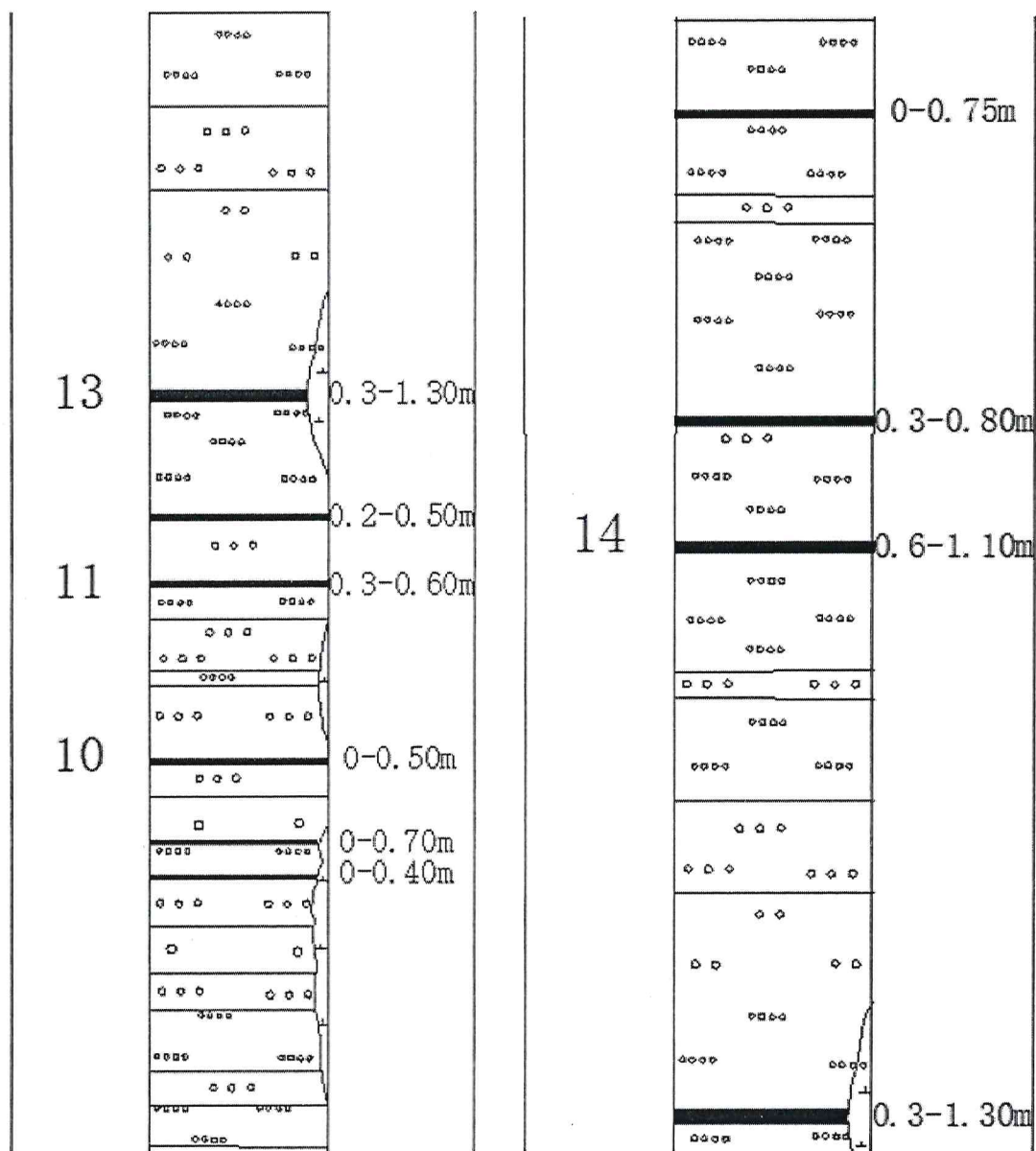
图 3-2 1#、13#、14#取样位置图

综合柱状如图 3-3 所示。



3-a 3、4、5、5上、6下、煤层柱状图

3-b 7、8、9、9上煤层柱状图



3-c 10、11、13 煤层柱状图

3-d 14 煤层柱状图

图 3-3 煤层及顶底板综合柱状图

### 3.2 试样加工

煤岩样加工设备为岩石切割机、取芯机、磨石机和磨床等。煤岩样加工步骤如下：

1) 煤样加工：用切割机将煤样切割成 50mm×50mm×100mm 的长方体试件，在磨石机上将煤试件平面磨平，研磨后两端面不平行度不应大于 0.05mm，轴向偏差不应大于 0.25°。

2) 岩样加工: 将顶底板岩石试样固定在取芯机平台上, 用金刚石钻头钻取直径为 $50^{+5}_{-2}$ mm 的试样, 用切割机将试样加工成高 100mm 和 25mm 的圆柱体试件, 在磨石机上将圆柱形试件两端面磨平, 研磨后两端面不平行度不应大于 0.05mm, 轴向偏差不应大于  $0.25^{\circ}$ 。

## 4 试验标准及测试方法

### 4.1 煤层冲击倾向性分类及指数的测定方法

#### 4.1.1 煤层冲击倾向性标准

煤体所具有的积蓄变形能并产生冲击式破坏的性质,可用一个或几个指数来衡量。根据中华人民共和国煤炭行业标准《煤层冲击倾向性分类及指数的测定方法 GB/T25217.2-2010》,煤层冲击倾向性指数包括单轴抗压强度  $R_c$ 、动态破坏时间  $DT$ 、弹性能量指数  $W_{ET}$  和冲击能力指数  $K_E$ 。本标准适用于煤层冲击倾向性分类以及在实验室条件下,能够加工成标准试件的煤的冲击倾向指数的测定,具体可分为强冲击倾向、弱冲击倾向、无冲击倾向三类。

**单轴抗压强度:**在实验室条件下,煤的标准试件在单轴压缩状态下的破坏载荷与其承压面面积的比值,用  $R_c$  表示。

**动态破坏时间:**是指煤试件在单轴压缩下,从极限强度到完全破坏所经历的时间,单位 ms,用  $DT$  表示。

**弹性能量指数:**是指煤试件在单轴压缩状态下,当受力达到某一值时(破坏前)卸载,其弹性变形能与塑性变形能(耗损变形能)之比,用  $W_{ET}$  表示。

**冲击能量指数:**是指煤试件在单轴压缩状态下,应力应变全过程曲线中,峰值前积蓄的变形能与峰值后耗损的变形能之比,用  $K_E$  表示。

#### 4.1.2 煤层冲击倾向性分类、名称及分类指数

煤层冲击倾向性按煤的冲击倾向指数值的大小分3类,类别、名称及指数见表4-1。

当  $DT$ 、 $W_{ET}$ 、 $K_E$ 、 $R_c$  的测定值发生矛盾时,其分类可采用模糊综合评判方法,四个指数的权重分别为0.3、0.2、0.2、0.3。煤的冲击倾向性强弱采用综合判定方法判断,4个指数共有81种测试结果,综合判断结果见表4-2。表中综合评价结果:1——无冲击倾向;2——弱冲击倾向;3——强冲击倾向。有8种较难进行综合判定的情况,在表中“综合评判结果”列内用“\*”标出。出现此种测量结果,推荐采



用对每个测试值与该指标所在类别临近界定值进行比较的方法综合判断冲击倾向性。

表 4-1 煤的冲击倾向性分类

类别		I类	II类	III类
冲击倾向		无	弱	强
指数	动态破坏时间/ms	$DT > 500$	$50 < DT \leq 500$	$DT \leq 50$
	弹性能量指数	$W_{ET} < 2$	$2 \leq W_{ET} < 5$	$W_{ET} \geq 5$
	冲击能量指数	$K_E < 1.5$	$1.5 \leq K_E < 5$	$K_E \geq 5$
	单轴抗压强度/MPa	$R_c < 7$	$7 \leq R_c < 14$	$R_c \geq 14$

表 4-2 冲击倾向性综合评判结果表

序号	动态破坏时间	弹性能量指数	冲击能量指数	单轴抗压强度	综合评判结果	序号	动态破坏时间	弹性能量指数	冲击能量指数	单轴抗压强度	综合评判结果
1	1	1	1	1	1	15	1	2	2	3	2
2	1	1	1	2	1	16	1	2	3	1	1
3	1	1	1	3	1	17	1	2	3	2	2
4	1	1	2	1	1	18	1	2	3	3	3
5	1	1	2	2	*	19	1	3	1	1	1
6	1	1	2	3	2	20	1	3	1	2	1
7	1	1	3	1	1	21	1	3	1	3	2
8	1	1	3	2	1	22	1	3	2	1	1
9	1	1	3	3	2	23	1	3	2	2	2
10	1	2	1	1	1	24	1	3	2	3	3
11	1	2	1	2	*	25	1	3	3	1	1
12	1	2	1	3	1	26	1	3	3	2	3
13	1	2	2	1	1	27	1	3	3	3	3
14	1	2	2	2	2	28	2	1	1	1	1
29	2	1	1	2	2	56	3	1	1	2	1
30	2	1	1	3	1	57	3	1	1	3	3
31	2	1	2	1	*	58	3	1	2	1	1
32	2	1	2	2	2	59	3	1	2	2	2
33	2	1	2	3	2	60	3	1	2	3	3
34	2	1	3	1	1	61	3	1	3	1	2
35	2	1	3	2	2	62	3	1	3	2	3

36	2	1	3	3	3	63	3	1	3	3	3
37	2	2	1	1	*	64	3	2	1	1	1
38	2	2	1	2	2	65	3	2	1	2	2
39	2	2	1	3	2	66	3	2	1	3	3
40	2	2	2	1	2	67	3	2	2	1	2
41	2	2	2	2	2	68	3	2	2	2	2
42	2	2	2	3	2	69	3	2	2	3	3
43	2	2	3	1	2	70	3	2	3	1	3
44	2	2	3	2	2	71	3	2	3	2	*
45	2	2	3	3	*	72	3	2	3	3	3
46	2	3	1	1	1	73	3	3	1	1	2
47	2	3	1	2	2	74	3	3	1	2	3
48	2	3	1	3	3	75	3	3	1	3	3
49	2	3	2	1	2	76	3	3	2	1	3
50	2	3	2	2	2	77	3	3	2	2	*
51	2	3	2	3	*	78	3	3	2	3	3
52	2	3	3	1	3	79	3	3	3	1	3
53	2	3	3	2	2	80	3	3	3	2	3
54	2	3	3	3	3	81	3	3	3	3	3
55	3	1	1	1	1						

#### 4.1.3 煤层冲击倾向性指数测定方法

煤的标准试件采用圆柱体， $\Phi 48\text{mm} \sim \Phi 55\text{mm}$ ，高径比 1.5~2.2。没有条件加工成圆柱体试件时，可采用  $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ （或  $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ ）的方形柱体。

试件两端面平行度公差为 0.05mm；试件上、下端直径之差应小于 0.20mm；轴向垂直度要求：将试件立放在水平检测台上，用直角尺紧贴试件表面，两者之间无明显缝隙。

试件制备后，放在底部有水的干燥器内 1~2d，使试件保持一定湿度，但试件不得接触水面。

##### 1) 单轴抗压强度

测定前核对煤样、岩样的名称及其编号，对颜色、颗粒、层理、节理、裂隙、风化程度、含水状态以及加工过程中出现的问题等进行描述，并填入记录表内。直径量测：在时间的上下端面附近以及中央附近的断面，测定相互垂直的两个方

向的直径，取其算术平均值为试件的直径；高度测量：高度应在试件的过中心轴的两个相交的平面内各取两点，测定两个高度值，取其算术平均值作为试件的高度。

开动材料试验机，使其处于工作状态。将试件置于材料试验机承压板中心，调整球形座，使试验机、上下承压板、试件三者中心线成一直线，并使试件上下面受力均匀。试件为脆性岩石时，应加以保护装置。以0.5MPa/s~1.0MPa/s的速度加载直至破坏。如遇到软岩石时，应选用小量程的试验机，并应适当放慢加载速度；如用刚性试验机，应选用较小的加载速度。如采用电液伺服试验机进行试验，或者采用计算机数据采集处理系统（自动监测系统），此时应将该系统调整至工作状态，并按上述加载速度连续加载直至试件破坏。当峰值出现后，继续测3s~5s后关机；如无峰值时，则至轴向应变达15%~20%时关机。记录破坏荷载以及加载过程中出现的现象，并对破坏后的试件进行描述或摄影。必要时测定干块体密度，并填入记录表内。

试件单轴抗压强度按式（4-1）计算：

$$R_c = \frac{P}{S} \times 10 \quad (4-1)$$

式中： $R_c$ ——试件单轴抗压强度，MPa；

$P$ ——试件破坏荷载，单位为千牛，kN；

$S$ ——试件初始承压面积，单位为平方厘米， $\text{cm}^2$ 。

## 2) 动态破坏时间测定

为研究煤岩的动态破坏时间，按照煤炭行业标准以0.5MPa/s~1.0MPa/s的速度对煤岩试件进行应力加载直至破坏。为测得破坏瞬间的动态破坏时间，在试件即将破坏时改用高速方法采集数据，采样频率为5ms。

煤的动态破坏时间由负荷-时间曲线确定，如图4-1所示，其中OC为加载过程，CD为破坏过程，ED为破坏时间。

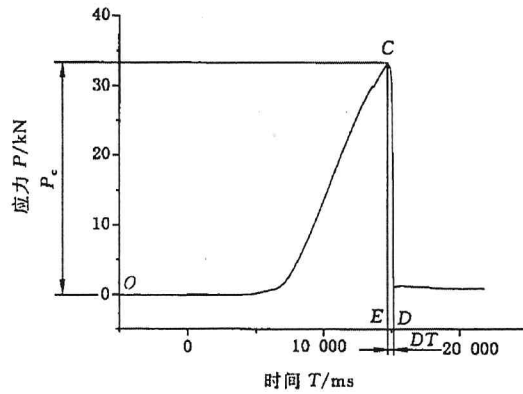


图 4-1 动态破坏时间曲线

每组试件的动态破坏时间（取整数）按式下式计算：

$$DT_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DT_i \quad (4-2)$$

式中： $DT_s$ ——平均动态破坏时间，ms；

$DT_i$ ——第  $i$  个试件动态破坏时间，ms；

$n$ ——每组试件个数。

### 3) 弹性能量指数测定

为研究煤层的弹性能量指数，对煤岩试件进行了加卸载试验。根据煤炭行业标准，以  $0.5\text{MPa/s} \sim 1.0\text{MPa/s}$  的速度对试件加载。当加载到试件平均单轴强度的  $75\% \sim 85\%$  范围后，以相同速度卸载，卸载到单轴强度的  $1\% \sim 5\%$ ；然后保持同样的加载速率对试件加载直至破坏，可以获得各试件的加卸载应力应变曲线，其弹性能量指数的计算如图 4-2 所示。

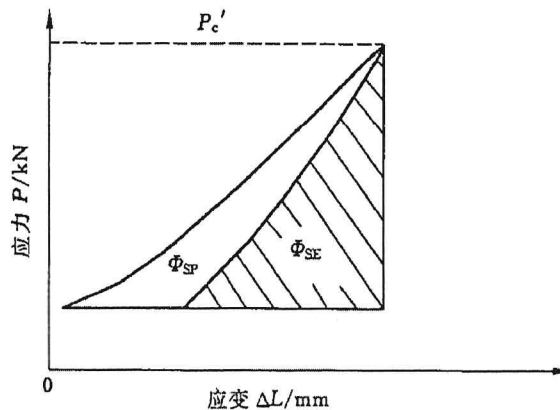


图 4-2 弹性能量指数计算图

加卸载试验的测定结果应满足式 (4-3)：



$$0.7P_c \leq P'_c \leq 0.9P_c \quad (4-3)$$

式中： $P_c$ ——试件破坏载荷，kN；

$P'_c$ ——卸载时载荷，kN。

通过试验测得煤岩典型加卸载应力应变曲线，由此可以计算煤样的弹性能量指数。

如图 4-2 弹性能量指数计算图，煤岩的弹性能量指数按式 (4-4) 计算。

$$W_{ET} = \frac{\Phi_{SE}}{\Phi_{SP}} = \frac{\Phi_{SE}}{\Phi_C - \Phi_{SE}} \quad (4-4)$$

式中： $W_{ET}$ ——弹性能量指数；

$\Phi_C$ ——总应变能；

$\Phi_{SE}$ ——弹性应变能；

$\Phi_{SP}$ ——塑性应变能。

对于一组试件，其平均弹性能量指数按式 (4-5) 计算：

$$W_{ETS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_{ETi} \quad (4-5)$$

式中： $W_{ETS}$ ——弹性能量指数平均值；

$W_{ETi}$ ——第  $i$  个试件弹性能量指数；

$n$ ——试件个数。

$W_{ET}$ 、 $W_{ETS}$ 、 $W_{ETi}$  计算结果取三位有效数字。

#### 4) 冲击能量指数测定

煤岩试件的单轴抗压强度和冲击能量指数试验可以同时进行。根据经验在电液伺服试验机上以  $0.5 \times 10^{-5} \text{mm/s} \sim 1.0 \times 10^{-5} \text{mm/s}$  的位移控制速度对试件进行准静态加载，可以测得试件的单轴抗压强度和单轴压缩下的全应力应变曲线，并进行煤的冲击能量指数计算。试验可测得的煤岩单轴压缩典型全应力应变曲线，如图 4-3 所示。



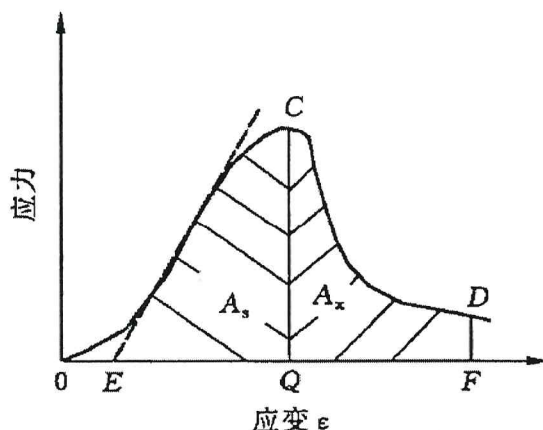


图 4-3 冲击能量指数计算示意图

煤岩的冲击能量指数按式 (4-6) 计算:

$$K_E = A_s / A_x \quad (4-6)$$

式中:  $K_E$ ——冲击能量指数;

$A_s$ ——试件峰值前积聚的变形能;

$A_x$ ——试件峰值后消耗的变形能。

对于一组试件, 其平均冲击能量指数按式 (4-7) 计算:

$$K_{ES} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{Ei} \quad (4-7)$$

式中:  $K_{ES}$ ——冲击能量指数平均值;

$K_{Ei}$ ——第  $i$  个试件冲击能量指数;

$n$ ——试件个数。

注:  $K_E$ 、 $K_{ES}$ 、 $K_{Ei}$  的计算结果取 3 位有效数字。

通过观测煤岩单轴压缩典型全应力应变曲线, 可得到峰值强度值、残余强度的初始点值, 可以根据采集的曲线上各点数据计算出  $A_s$ 、 $A_x$  的值。

## 4.2 顶板冲击倾向性分类及指数的测定方法

### 4.2.1 顶板冲击倾向性标准

岩石冲击倾向性是指岩石积蓄变形能并产生冲击式破坏的性质。根据中华人民共和国煤炭行业标准《岩石冲击倾向性分类及指数的测定方法 GB/T 25217.1-2010》, 岩石冲击倾向性指数采用弯曲能量指数来表示。弯曲能量指数

是指在均布载荷作用下，单位宽的悬臂岩梁达到极限跨度积蓄的弯曲能量，单位 kJ，用  $U_{WQS}$  表示。该指数作为岩石冲击倾向性分为强烈冲击倾向、弱冲击倾向、无冲击倾向三类。

#### 4.2.2 顶板冲击倾向性分类、名称及分类指数

顶板冲击倾向性分类按岩石冲击倾向指数值的大小分 3 类。类别、分类名称及指数见表 4-3。

表 4-3 顶板冲击倾向性评判标准

类别	I 类	II 类	III 类
冲击倾向	无	弱	强
指数/kJ	$U_{WQS} \leq 15$	$15 < U_{WQS} \leq 120$	$U_{WQS} > 120$

#### 4.2.3 顶板冲击倾向性测定方法

测定顶板岩石冲击倾向性需要测定试件的视密度、弹性模量、抗拉强度，以计算顶板的弯曲能量指数。

##### 1) 试件要求

测定抗拉强度的试件应采用圆柱体，直径宜为 48mm~54mm，厚度宜为直径的 0.25 倍~0.75 倍，一般采用 25mm。试件内的最大颗粒应小于直径的 1/10。测定视密度的试件是从岩样中选取有代表性的边长约 4~5cm 近似的立方体，修平棱角，也可用测定弹性模量的试件测定。测定弹性模量的试件尺寸为  $\Phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$  的圆柱体或  $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 100\text{mm}$  的方形柱体。

测定抗拉强度的试件数量原则上每组不少于 5 件；测定视密度的试件原则上每组 3 件；测定弹性模量的试件原则上每组 3 件。

试件制备后，放在底部有水的干燥器内 1~2d，使试件保持一定湿度，但试件不得接触水面。

##### 2) 密度测定试验

密度测定一般采用量积法。采用游标卡尺量测试件两端和中间三个断面上相互垂直的直径，精度达到 0.01mm，按平均值计算截面积；采用游标卡尺量测试

件端面周边对称的三个高度，精度达到 0.01mm，计算高度平均值。采用电子天平称量岩石试件质量，精度达到 0.01g，测量三次，计算质量的平均值。

量积法按公式（4-8）计算岩石的密度。

$$\rho = \frac{m}{AH} \quad (4-8)$$

式中： $\rho$ ——岩石容重， $kg/m^3$ ；

$m$ ——岩石质量， $g$ ；

$A$ ——试件截面积， $mm^2$ ；

$H$ ——试件高度， $mm$ 。

### 3) 弹性模量测定试验

采用岩石伺服压力试验机进行岩石试件单向压缩试验，可以测试得到岩石的弹性模量、泊松比以及单轴抗压强度。首先安装引伸计或千分表，使试件与引伸计全面接触；将试件置于试验机承压板中心，调整球形座，使试件两端面接触均匀；以每秒 0.008mm 的位移控制方式加载，测读加载过程的荷载与试件变形值，记录试件破坏荷载。

按公式（4-9）计算岩石的平均弹性模量。

$$E_{av} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \quad (4-9)$$

式中： $E_{av}$ ——岩石平均弹性模量，MPa；

$\sigma_b$ ——应力与纵向应变关系曲线上直线段终点的应力值，MPa；

$\sigma_a$ ——应力与纵向应变关系曲线上直线段始点的应力值，MPa；

$\varepsilon_b$ ——应力为 $\sigma_b$ 时的纵向应变值；

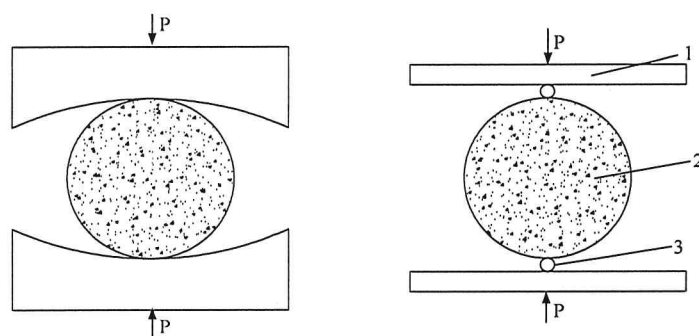
$\varepsilon_a$ ——应力为 $\sigma_a$ 时的纵向应变值。

### 4) 抗拉强度测定试验

抗拉试验标准试件应采用圆柱体，直径宜为48mm~54mm，厚度宜为直径的0.25倍~0.75倍。试件内的最大颗粒应小于直径的1/10。

测定前应仔细核对岩样名称和编号，对试件的颜色、颗粒、层理、裂隙、风化程度、含水状态以及加工过程中出现的问题应进行描述，并填入记录表内。检查试件加工精度，测量试件尺寸，并填入记录表格内。通过试件端面直径的两端，各画一条平行于轴线的直线作为加载基线。对于一般的岩石或煤试件，可使用夹具；对于使用夹具的试件，把时间放入夹具内，夹具上、下刀刃对准加载基线，

用两侧加持螺钉固定好试件；或用两根垫条放在加载基线上，垫条间用橡皮筋固定，对于软弱和较软弱的岩石宜选用胶木板垫条，见图4-4。



1——承压板；2——试件；3——垫条

图4-4 劈裂法示意图

把加有试件的夹具或装配垫条的试件放入材料试验机的上下承压板之间，调整球形座，使试件均匀承载，使刀刃、试件的中心线和材料试验机的中心线在一条直线上。启动材料试验机，施加0.1kN~0.5kN的压力，压力与试件接触后松开夹具两侧加持螺钉，然后以0.03MPa/s~0.05MPa/s的速率加载，直至破坏。软岩应适当降低速率。对于坚硬岩石和煤试件，采用直接加压方式时，应将试件放入上下压头之间，使试件的轴向与加载方向垂直，并位于压头正中部。记录破坏荷载及加载过程中出现的现象，对试件的破坏形态进行描述。非干燥试件破坏后，应取出部分碎块立即用塑料袋封装。试件最终破坏应通过两刀刃或垫条所决定的平面，否则应视为无效实验。均匀介质的岩块，如出现了特大值或特小值，应观察和分析岩块的裂隙和缺陷等情况，并在报告中加以说明。

#### 4.2.4 测定结果计算

##### 1) 试件抗拉强度

试件抗拉强度按式(4-10)计算：

$$R_t = \frac{2P}{\pi DL} \quad (4-10)$$

式中： $R_t$ ——试件的抗拉强度，MPa；

$P$ ——试件破坏载荷，N；

$D$ ——试件直径，mm；



$L$ ——试件厚度，mm。

## 2) 平均抗拉强度

每组试件的平均抗拉强度按式 (4-11) 计算：

$$R_{ts} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{ti} \quad (4-11)$$

式中： $R_{ts}$ ——平均抗拉强度，MPa；

$R_{ti}$ ——第  $i$  个试件的抗拉强度，MPa；

$n$ ——试件个数。

## 3) 竖直应力

上覆岩层载荷自煤层顶板起，自下而上，按式 (4-12) 计算：

$$q = 10^{-6} \frac{E_1 h_1^3 g (\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \dots + \rho_n h_n)}{E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3 + \dots + E_n h_n^3} \quad (4-12)$$

式中： $E_i (i=1,2,\dots,n)$ ——上覆各岩层的弹性模量，MPa；

$h_i (i=1,2,\dots,n)$ ——上覆各岩层的厚度，m；

$\rho_i (i=1,2,\dots,n)$ ——上覆各岩层的块体密度，kg/m<sup>3</sup>；

$q$ ——单位宽度上覆岩层载荷，MPa；

$g$ ——重力加速度，N/kg。

当  $n+1$  层对第 1 层的载荷小于第  $n$  层对第一层的载荷时，计算终止，取第  $n$  层的计算结果。

## 4) 单一顶板弯曲能量指数

$$U_{wQ} = 102.6 \frac{(R_t)^{\frac{5}{2}} h^2}{q^{\frac{1}{2}} E} \quad (4-13)$$

式中： $U_{wQ}$ ——单一顶板弯曲能量指数，kJ；

$R_t$ ——岩石试件的抗拉强度，MPa；

$h$ ——单一顶板厚度，m；

$E$ ——岩石试件的弹性模量，MPa。

## 5) 复合顶板弯曲能量指数

复合顶板弯曲能量指数按式 (4-14) 计算：



$$U_{WQS} = \sum_{i=1}^n U_{WQi} \quad (4-14)$$

式中： $U_{WQS}$ ——复合顶板弯曲能量指数，kJ；

$U_{WQi}$ ——第  $i$  分层弯曲能量指数，kJ；

$n$ ——顶板分层数，复合顶板厚度一般取至煤层上顶板 30m。

$U_{WQ}$ 、 $U_{WQi}$ 、 $U_{WQS}$  计算结果取 3 位有效数字。

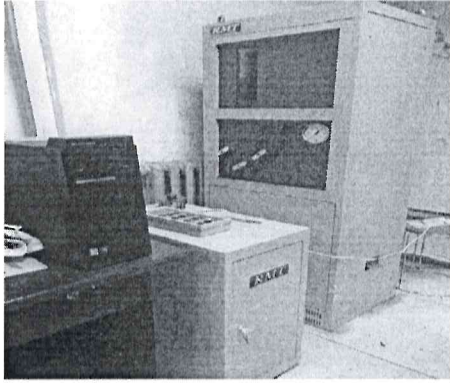
### 4.3 试验设备及条件

本次试验采用中国科学院武汉岩土力学研究所研制的 RMT-150B 岩石力学实验系统，该试验系统可以进行岩石和混凝土一类的工程材料单轴抗压试验、剪切试验、三轴抗压试验、间接拉伸试验和自动组合试验等力学性能试验。

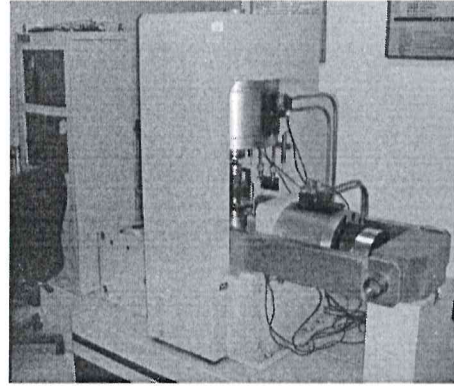
RMT-150B 岩石力学实验系统如图 4-5 所示，该控制系统控制精度高、保护功能全、可靠性能强，是一种非常理想的控制器。试验机的计算机系统采用目前市场上最先进的联想主机，软件是在 windows 环境下运行，具有良好的人机界面，可以同时得出试验力、位移、变形（轴向、径向）、围压、控制方式、加载速率等多种试验和测量参数以及多种试验曲线。试验完成后可以显示试验结果，进行曲线分析，打印试验报告。

RMT-150B 岩石力学试验机的主要技术参数有：

垂直液压缸最大出力：	1000kN
活塞行程：	50mm（1000 kN、100kN 二级）
水平液压缸最大出力：	500kN
活塞行程：	50mm（500 kN、100kN 二级）
变形速率：	0.0001~1 mm/s
加载速率：	0.01~100kN/s
最大围压：	50Mpa
围压速率：	0.001~1 Mpa/s



(a) 数据采集系统



(b) 加载系统

图 4-5 RMT-150B 岩石力学实验系统

## 5 煤层冲击倾向性测试

### 5.1 试样尺寸测定

煤样加工设备为煤岩切割机、取芯机、磨石机等。煤样加工步骤包括：

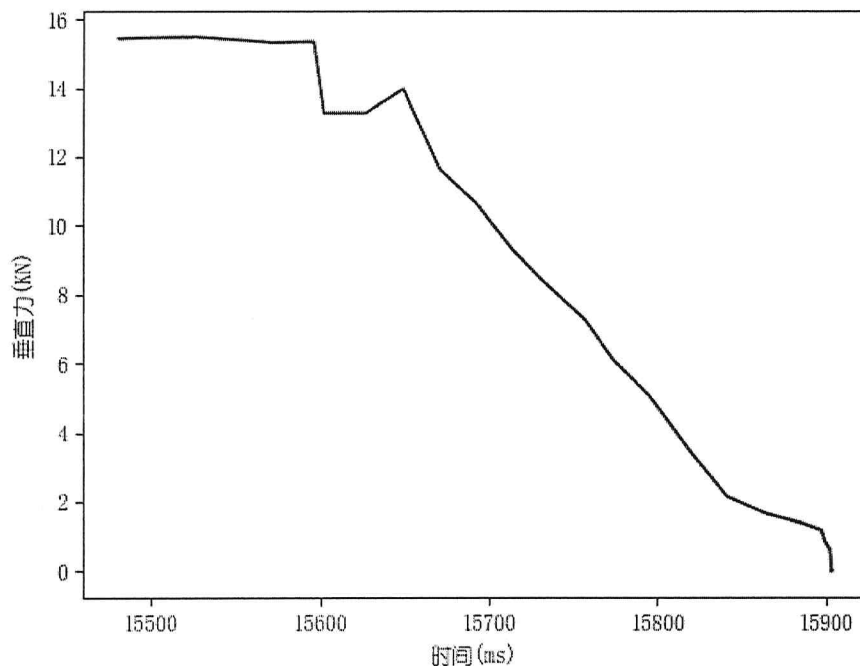
1) 将煤试块固定在煤岩切割机上，用切割机将试样切割为长约 50mm、宽约 50mm、高约 100mm 的长方体试样；

2) 在磨石机上将长方体煤样两端磨平，研磨后试样两端面不平行度不应大于 0.05mm，轴向偏差不应大于 0.25°。

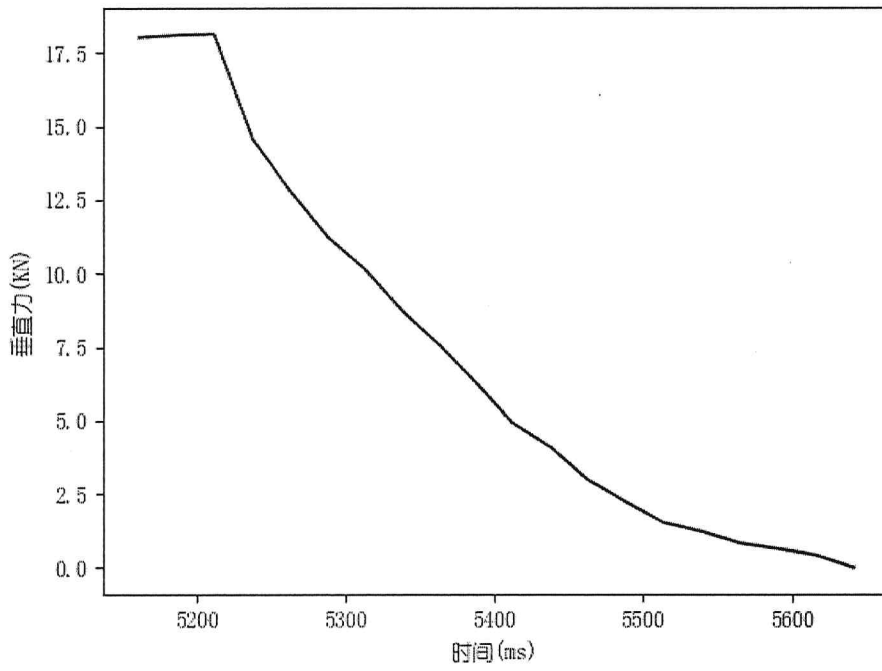
### 5.2 测试结果

#### 5.2.1 煤样动态破坏时间

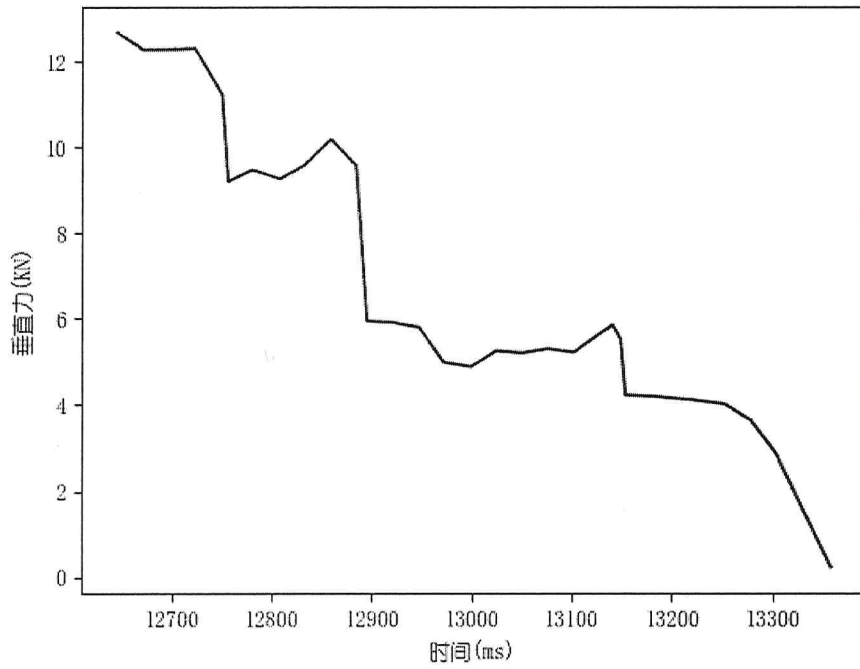
为研究煤样的动态破坏时间，按照煤炭行业标准以 0.5MPa/s~1.0MPa/s 的速度对煤样试件进行应力加载直至破坏。为测得破坏瞬间的动态破坏时间，在试件即将破坏时改用高速方法采集数据，采样频率为 1ms。



5-1-a 试件 dy-D-1

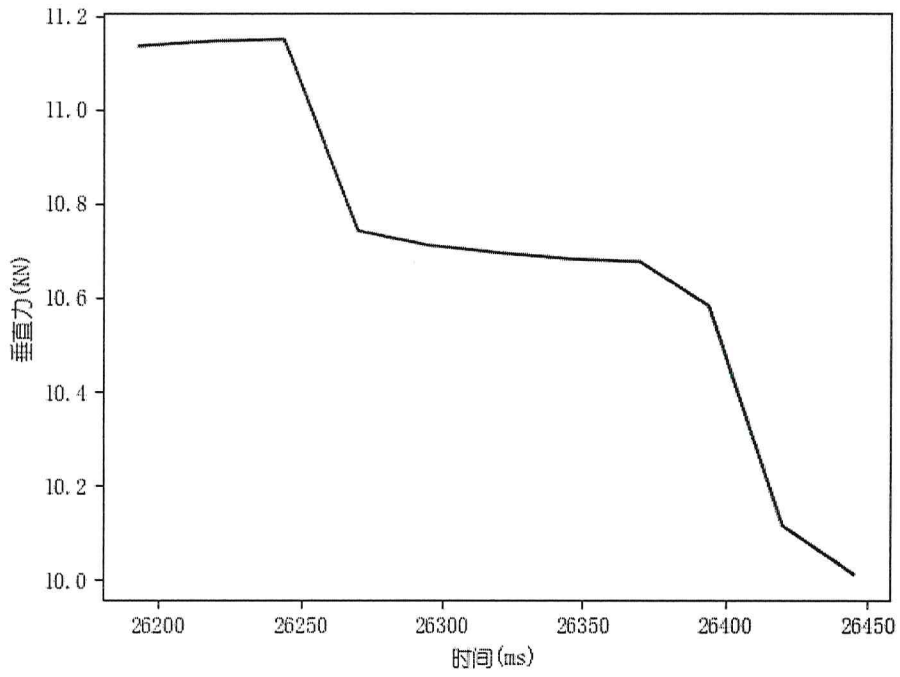


5-1-b 试件 dy-D-14

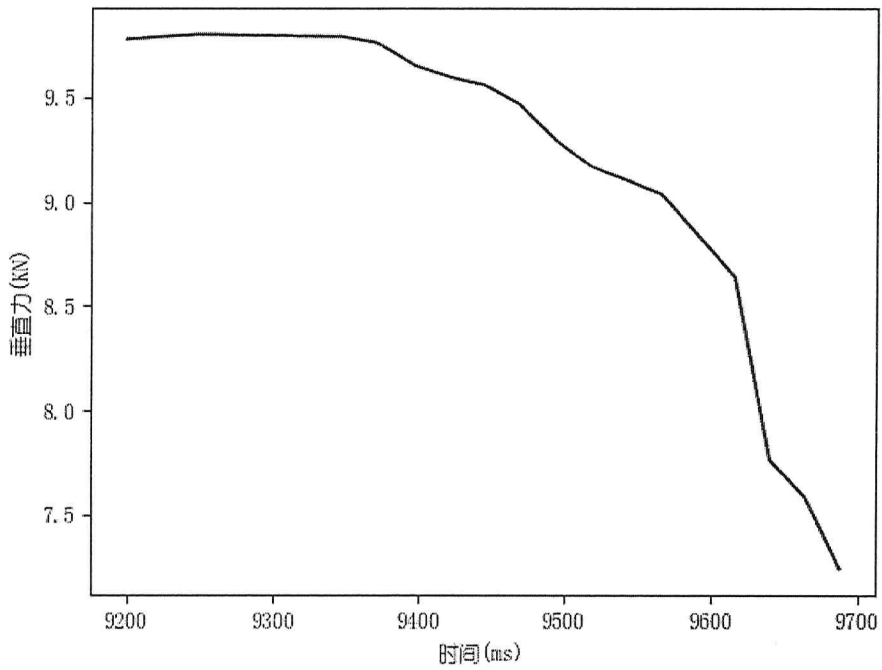


5-1-c 试件 dy-D-22





5-1-d 试件 dy-D-34



5-1-e 试件 dy-D-55

图 5-1 典型动态破坏时间曲线图

每组试件的动态破坏时间（取整数）按式下式计算：

$$DT_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DT_i \quad (5-1)$$

式中： $DT_s$ ——平均动态破坏时间，ms；

$DT_i$ ——第  $i$  个试件动态破坏时间，ms；

$n$ ——每组试件个数。

煤样动态破坏时间测定结果见表 5-1，动态破坏时间测试煤样共 5 块。

表 5-1 动态破坏时间测定记录表

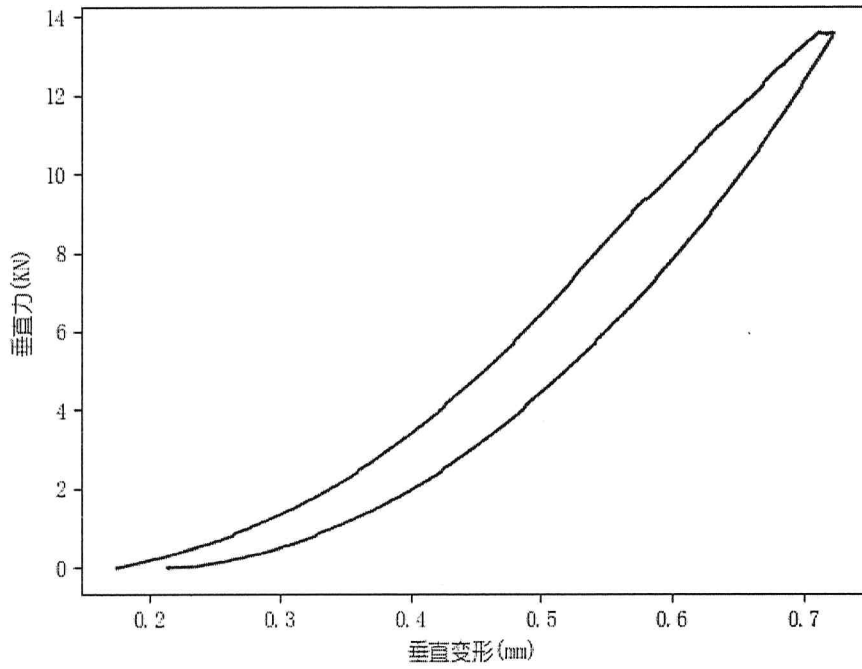
煤层号	试件编号	试件长/mm	试件宽/mm	试件高/mm	试件面积/mm <sup>2</sup>	动态破坏时间 ms	动态破坏时间平均值 ms
3	dy-D-1	50.11	50.74	99.53	2542.37	403	518
	dy-D-2	50.84	50.98	99.56	2592.02	406	
	dy-D-3	49.03	50.13	99.19	2457.71	655	
	dy-D-4	50.41	50.24	99.33	2532.85	267	
	dy-D-5	50.32	49.46	100.67	2488.92	858	
4	dy-D-6	51	50.19	100.11	2559.56	401	549
	dy-D-7	50.11	50.38	100.1	2524.59	345	
	dy-D-8	50.13	50.66	100.06	2539.59	324	
	dy-D-9	49.35	50.75	100.61	2504.5	1220	
	dy-D-10	49.71	50.7	100.05	2520.51	453	
5	dy-D-11	49.23	50.08	100.47	2465.32	441	505
	dy-D-12	49.56	50.68	100.66	2511.62	748	
	dy-D-13	49.6	50.02	100.55	2480.97	404	
	dy-D-14	49.91	50.62	100.48	2526.06	430	
	dy-D-15	50.89	50.04	100.5	2546.52	504	
5 上	dy-D-16	50.67	50.27	100.73	2546.85	390	506
	dy-D-17	50.49	50.39	100.31	2544.53	293	
	dy-D-18	50.66	50.94	99.95	2580.81	88	
	dy-D-19	50.92	50.43	100.62	2567.86	1331	
	dy-D-20	50.56	50.41	100.05	2548.96	428	
6 下	dy-D-21	49.5	50.3	100.2	2490.06	533	505
	dy-D-22	49.8	50.18	100.23	2498.89	660	
	dy-D-23	49.54	49.66	100.07	2460.42	477	
	dy-D-24	49.54	49.31	99.4	2442.83	440	
	dy-D-25	49.09	49.68	100.84	2438.59	416	
7	dy-D-26	49.84	50.9	100.45	2537.24	610	530
	dy-D-27	50.07	50.31	100.22	2519.1	512	
	dy-D-28	50.96	50.57	99.8	2577.1	925	
	dy-D-29	50.64	50.59	99.02	2561.73	156	
	dy-D-30	50.52	50.31	99.55	2541.71	448	
8	dy-D-31	50.23	50.29	99.87	2525.89	450	511

	dy-D-32	50.22	49.6	99.69	2490.9	780	
	dy-D-33	50.21	50.36	99.58	2528.91	450	
	dy-D-34	50.39	50.38	99.16	2538.58	252	
	dy-D-35	50.14	50.53	99.06	2533.55	623	
9	dy-D-36	50.85	50.12	100.41	2548.9	571	505
	dy-D-37	50.35	50.2	100.84	2527.5	80	
	dy-D-38	50.55	50.54	100.66	2554.62	867	
	dy-D-39	50.64	50.88	100.78	2576.25	878	
	dy-D-40	50.81	49.71	100.61	2526.13	127	
9 上	dy-D-41	50.32	50.86	100.33	2559.04	107	209
	dy-D-42	50.62	49.41	100.42	2501.38	435	
	dy-D-43	50.34	49.52	100.93	2492.94	114	
	dy-D-44	50.47	49.38	100.11	2492.13	298	
	dy-D-45	50.35	50.22	100.71	2528.24	89	
10	dy-D-46	50.57	50.71	100.42	2564.75	636	616
	dy-D-47	50.3	50.25	100.82	2527.53	1551	
	dy-D-48	50.45	50.53	100.93	2548.8	725	
	dy-D-49	50.82	50.54	100.78	2568.76	56	
	dy-D-50	50.94	50.03	100.88	2548.34	114	
11	dy-D-51	50.92	50.34	100.54	2563.6	298	506
	dy-D-52	50.76	50.51	100.55	2563.76	707	
	dy-D-53	50.61	50.72	100.2	2566.84	366	
	dy-D-54	50.36	50.33	99.13	2534.65	722	
	dy-D-55	49.94	50.68	99.91	2531.01	439	
13	dy-D-56	49.5	50.92	99.7	2520.58	1515	764
	dy-D-57	49.27	50.61	100.99	2493.97	501	
	dy-D-58	49.27	50.12	100.76	2469.2	757	
	dy-D-59	50.61	50.59	100.67	2560.38	421	
	dy-D-60	50.21	50.99	100.18	2559.95	626	
14	dy-D-61	50.82	49.93	100.87	2537.5	223	531
	dy-D-62	50.08	50.68	100.32	2537.81	465	
	dy-D-63	50.96	50.11	99.35	2553.7	889	
	dy-D-64	49.73	50.23	100.72	2497.71	504	
	dy-D-65	50.82	50.03	100.21	2542.24	573	

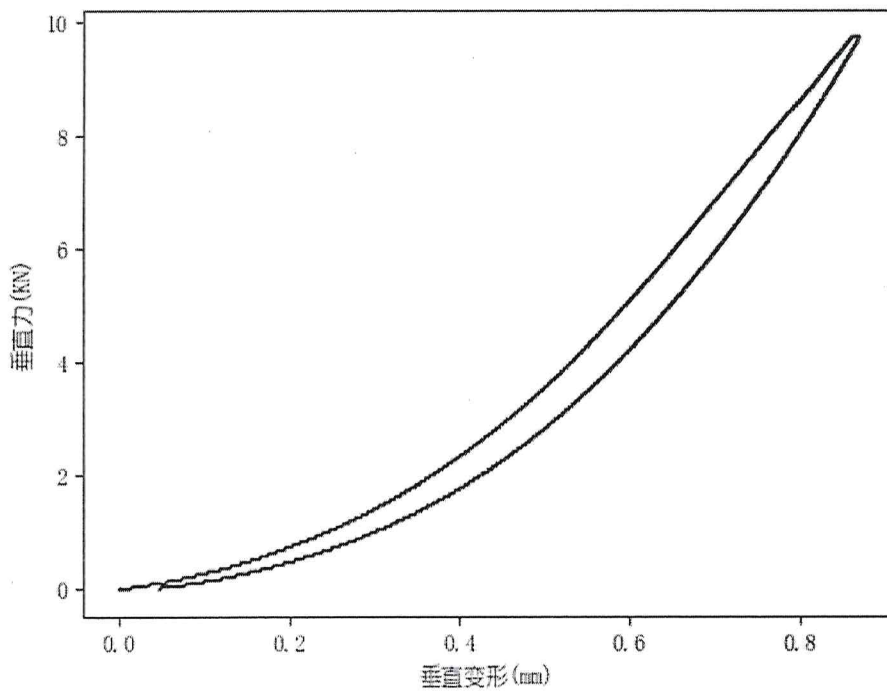
## 5.2.2 煤样弹性能量指数

为研究煤层的弹性能量指数，对煤岩试件进行了加卸载试验。根据煤炭行业标准，以 0.5MPa/s~1.0MPa/s 的速度对试件加载。当加载到试件平均单轴强度的

75%~85%范围后，以相同速度卸载，卸载到单轴强度的1%~5%；然后保持同样的加载速率对试件加载直至破坏，可以获得各试件的加卸载应力应变曲线，其弹性能量指数的典型曲线如图5-2所示。

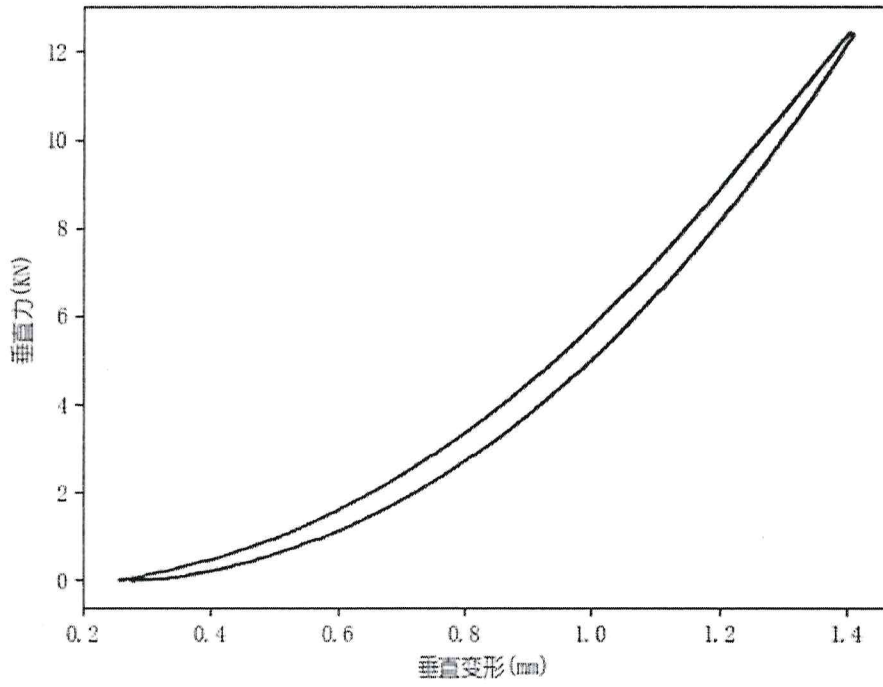


5-2-a 试件 dy-T-2

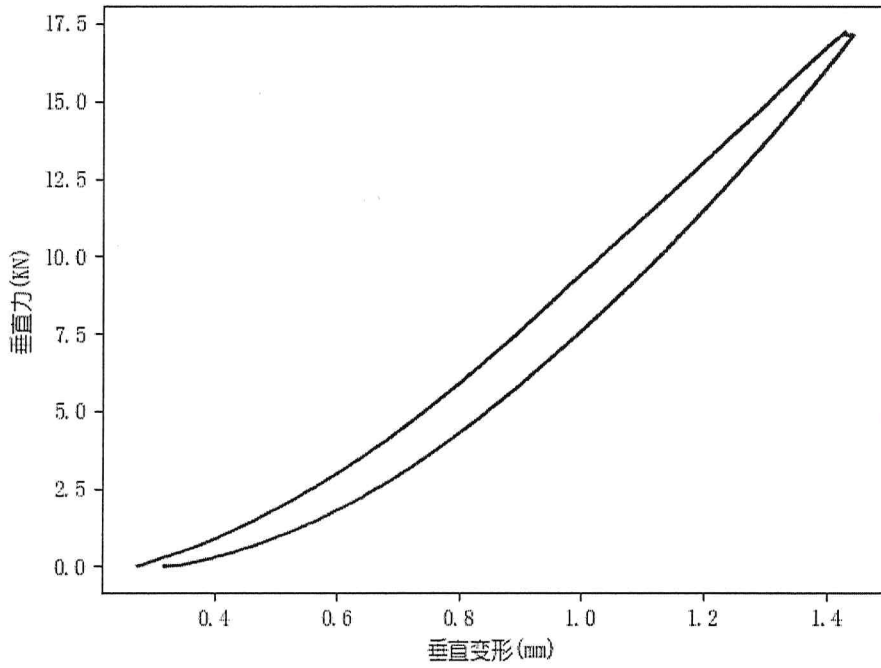


5-2-b 试件 dy-T-14

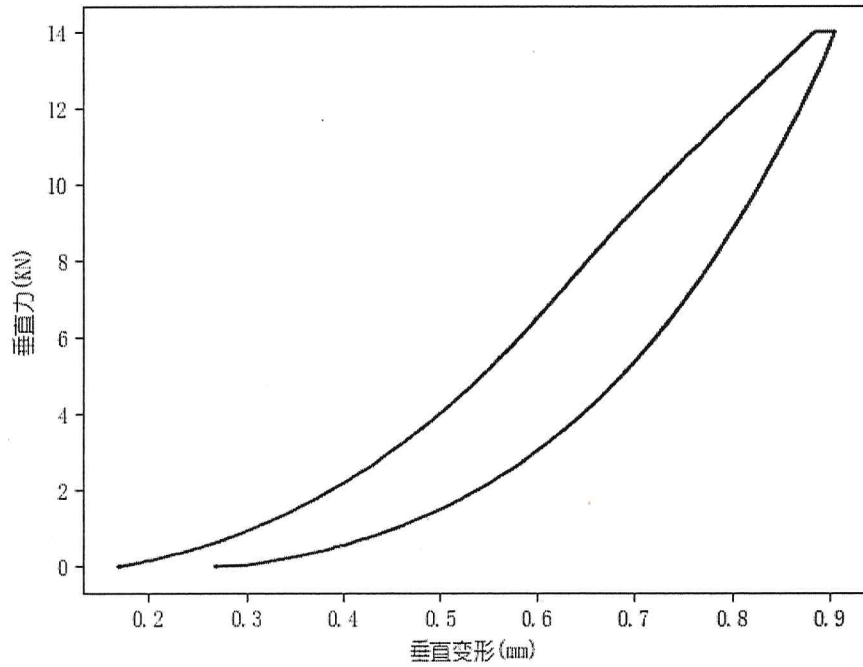




5-2-c 试件 dy-T-50



5-2-d 试件 dy-T-55



5-2-e 试件 dy-T-60

图 5-2 典型弹性能量指数曲线图

加卸载试验的测定结果应满足式 (5-2)：

$$0.7P_c \leq P'_c \leq 0.9P_c \quad (5-2)$$

式中： $P_c$ ——试件破坏载荷，kN；

$P'_c$ ——卸载时载荷，kN。

通过试验测得煤岩典型加卸载应力应变曲线，由此可以计算煤样的弹性能量指数。

煤岩的弹性能量指数按式 (5-3) 计算。

$$W_{ET} = \frac{\Phi_{SE}}{\Phi_{SP}} = \frac{\Phi_{SE}}{\Phi_C - \Phi_{SE}} \quad (5-3)$$

式中： $W_{ET}$ ——弹性能量指数；

$\Phi_C$ ——总应变能；

$\Phi_{SE}$ ——弹性应变能；

$\Phi_{SP}$ ——塑性应变能。

对于一组试件，其平均弹性能量指数按式 (5-4) 计算：

$$W_{ETS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_{ETi} \quad (5-4)$$

式中： $W_{ETS}$ ——弹性能量指数平均值；

$W_{ETi}$ ——第  $i$  个试件弹性能量指数；

$n$ ——试件个数。

$W_{ET}$ 、 $W_{ETS}$ 、 $W_{ETi}$  计算结果取三位有效数字。

煤的弹性能量指数测定结果见表 5-2，弹性能量指数测试煤样共 5 块。

表 5-2 弹性能量指数测定记录表

煤层号	试件编号	试件长/mm	试件宽/mm	试件高/mm	试件面积/mm <sup>2</sup>	弹性能量指数 $W_{ET}$	平均弹性能量指数 $\overline{W}_{ET}$
3	dy-T-1	49.87	49.34	99.94	2460.58	5.62	2.87
	dy-T-2	49.35	49.25	99.39	2430.15	2.78	
	dy-T-3	49.71	49.3	99.95	2450.52	2.69	
	dy-T-4	49.23	49.92	99.53	2457.8	2.58	
	dy-T-5	49.56	49.32	99.34	2444.52	0.67	
4	dy-T-6	49.6	49.98	99.45	2478.83	6.23	4.08
	dy-T-7	49.91	49.38	99.52	2464.52	4.64	
	dy-T-8	49.11	49.96	99.5	2453.56	0.71	
	dy-T-9	49.33	49.73	100.73	2453.51	4.58	
	dy-T-10	50.49	49.61	100.31	2504.84	4.23	
5	dy-T-11	50.66	49.06	100.05	2485.36	0.61	5.57
	dy-T-12	50.92	49.57	99.38	2523.76	7.23	
	dy-T-13	50.56	49.59	99.95	2507.04	7.85	
	dy-T-14	49.5	49.7	99.8	2459.99	7.36	
	dy-T-15	49.8	49.82	99.77	2481.1	4.82	
5 上	dy-T-16	49.54	50.34	99.93	2493.89	6.78	4.86
	dy-T-17	49.54	49.31	99.4	2442.83	6.34	
	dy-T-18	49.09	49.68	100.84	2438.59	6.41	
	dy-T-19	50.16	49.1	99.55	2462.48	0.84	
	dy-T-20	49.93	49.69	99.78	2480.94	3.95	
6 下	dy-T-21	49.04	49.43	99.8	2423.99	6.81	6.44
	dy-T-22	49.36	49.41	100.98	2439.02	6.67	
	dy-T-23	49.48	49.69	100.45	2458.61	6.51	
	dy-T-24	49.77	49.71	100.13	2474.24	5.89	
	dy-T-25	49.78	49.6	100.31	2469.17	6.33	
7	dy-T-26	49.79	50.36	100.42	2507.51	6.48	3.07
	dy-T-27	49.61	49.62	100.84	2461.71	1.46	
	dy-T-28	49.86	49.47	100.94	2466.6	1.48	
	dy-T-29	49.15	49.88	100.41	2451.31	2.57	

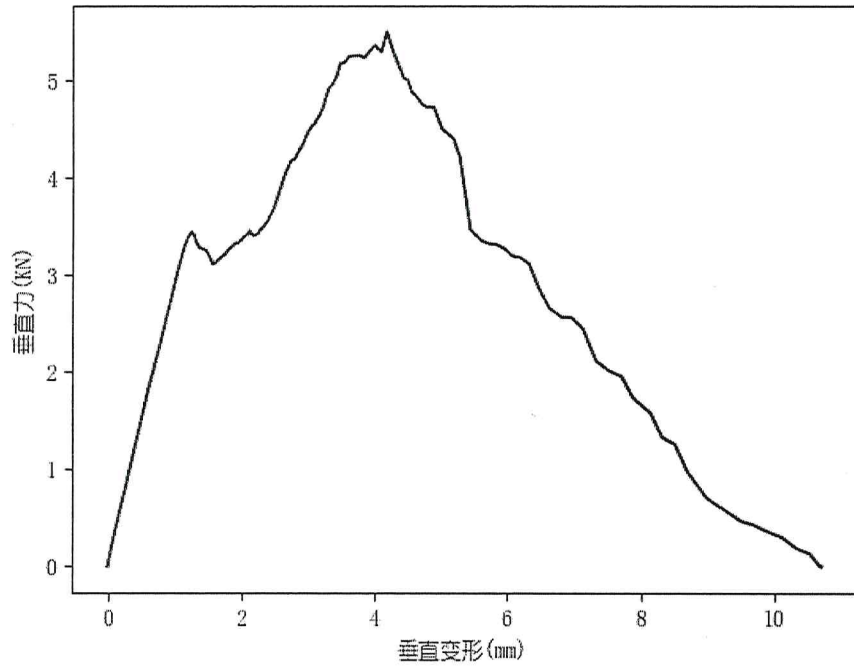
	dy-T-30	49.65	49.8	99.16	2472.64	3.35	
8	dy-T-31	49.45	49.46	99.34	2445.97	6.09	6.96
	dy-T-32	49.36	49.12	99.22	2424.87	8.21	
	dy-T-33	49.19	49.71	99.39	2445.31	8.28	
	dy-T-34	49.53	50.62	99.89	2507.3	6.86	
	dy-T-35	49.38	50.59	99.58	2497.89	5.34	
9	dy-T-36	49.66	50.48	99.07	2506.73	1.79	4.82
	dy-T-37	49.68	50.86	99.67	2526.88	7.54	
	dy-T-38	49.65	49.78	99.29	2471.91	7.16	
	dy-T-39	49.43	49.29	99.58	2436.07	6.77	
	dy-T-40	49.7	49.75	100.82	2472.62	0.84	
9 上	dy-T-41	49.55	49.47	100.93	2451.67	8.49	6.34
	dy-T-42	50.82	49.46	100.78	2513.57	5.56	
	dy-T-43	49.06	49.97	100.88	2451.71	4.33	
	dy-T-44	49.08	50.34	99.46	2470.65	6.04	
	dy-T-45	49.24	49.49	99.45	2437.01	7.28	
10	dy-T-46	49.39	49.28	99.8	2434.04	1.85	4.15
	dy-T-47	49.64	49.67	99.13	2465.58	3.56	
	dy-T-48	50.06	49.32	99.91	2468.91	3.58	
	dy-T-49	50.5	49.08	99.7	2478.51	2.17	
	dy-T-50	50.73	49.39	99.01	2505.14	9.57	
11	dy-T-51	50.73	49.88	99.24	2530.62	0.82	4.85
	dy-T-52	50.61	49.41	99.33	2501.07	6.55	
	dy-T-53	50.21	49.01	99.82	2460.68	5.34	
	dy-T-54	49.18	49.93	99.13	2455.36	5.57	
	dy-T-55	49.92	49.32	99.68	2462.29	5.99	
13	dy-T-56	49.04	49.89	99.35	2446.51	4.87	4.58
	dy-T-57	49.73	49.77	100.72	2474.8	5.23	
	dy-T-58	49.18	49.97	99.79	2457.8	5.24	
	dy-T-59	49.89	49.26	99.53	2457.8	5.66	
	dy-T-60	50.84	49.02	99.56	2492.36	1.89	
14	dy-T-61	50.97	49.87	99.19	2542.04	7.33	6.04
	dy-T-62	50.41	50.24	99.33	2532.85	0.86	
	dy-T-63	50.32	50.54	100.67	2543.29	8.35	
	dy-T-64	51	50.19	99.89	2559.56	7.97	
	dy-T-65	50.11	49.62	99.9	2486.74	5.68	

### 5.2.3 煤样冲击能量指数

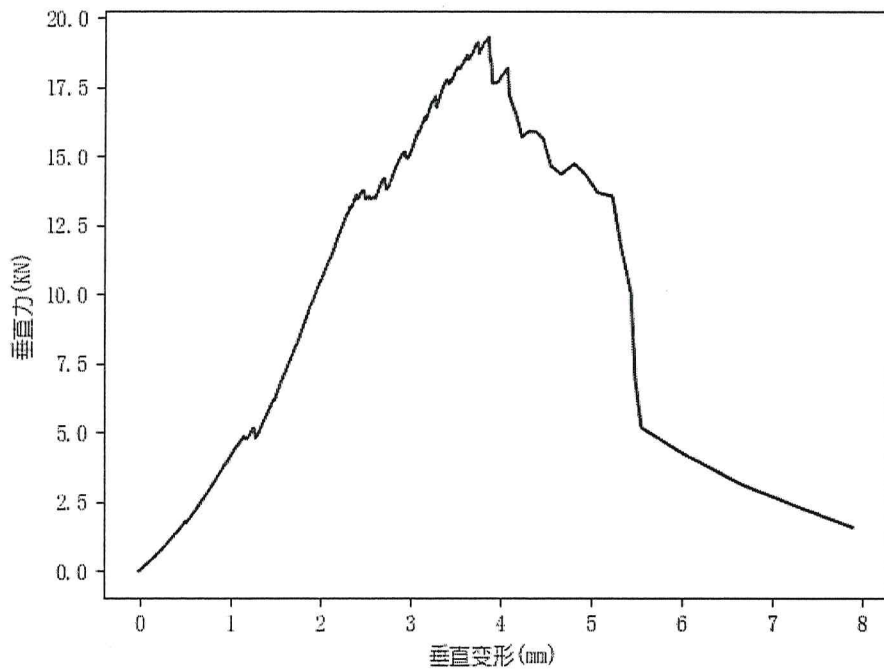
煤岩试件冲击能量指数试验可以根据经验在电液伺服试验机上以



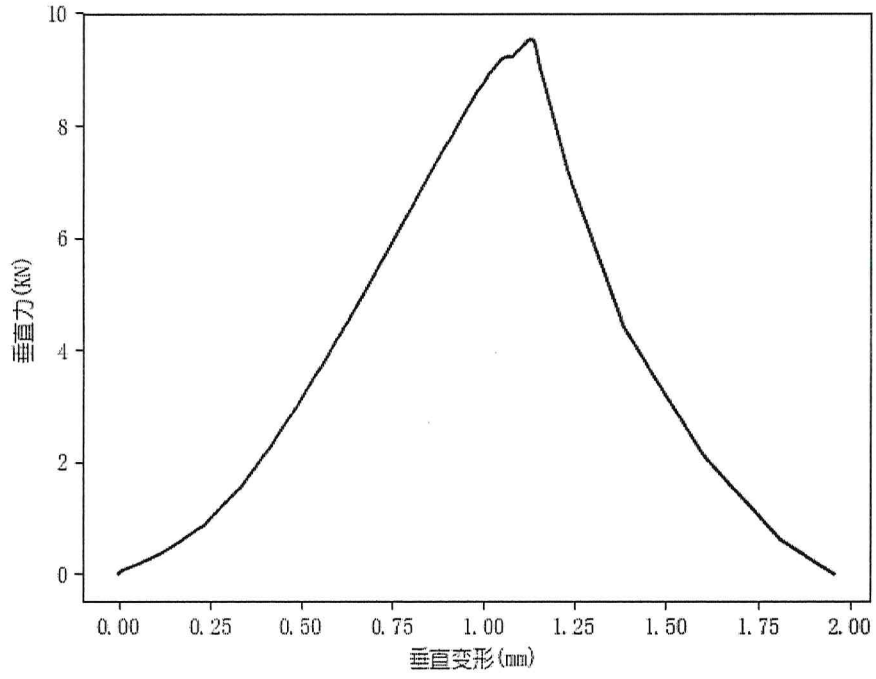
$0.5 \times 10^{-5} \text{mm/s} \sim 1.0 \times 10^{-5} \text{mm/s}$  的位移控制速度对试件进行准静态加载, 可以测得试件的单轴抗压强度和单轴压缩下的全应力应变曲线, 并进行煤的冲击能量指数计算。试验可测得的煤岩单轴压缩典型全应力应变曲线, 典型曲线如图 5-3 所示。



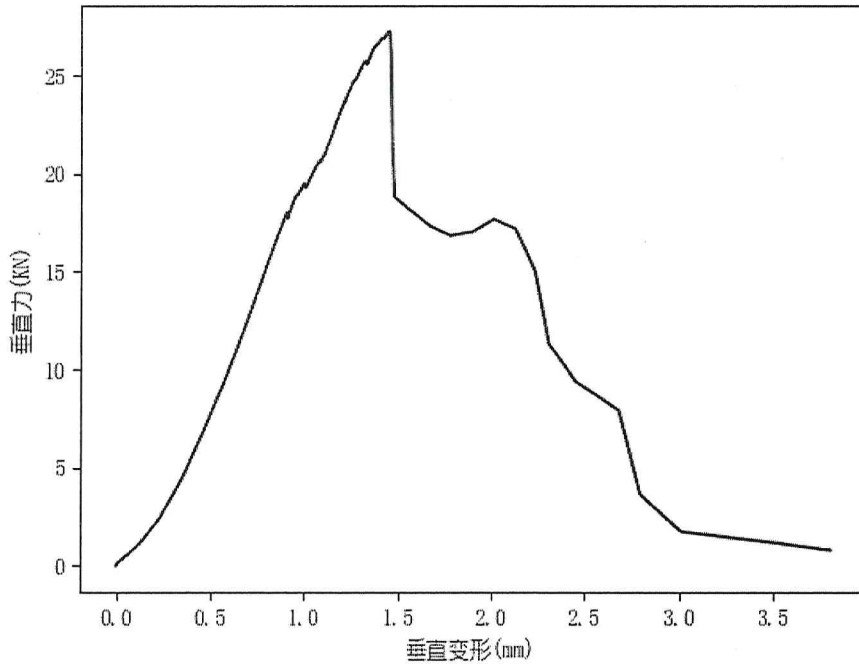
5-3-a dy-C-2



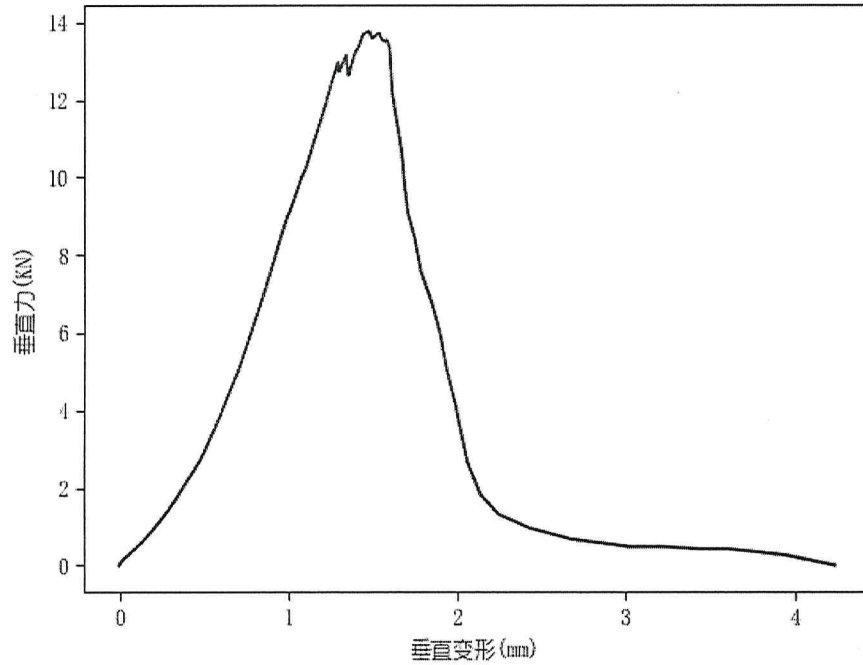
5-3-b dy-C-10



5-3-c dy-C-14



5-3-d dy-C-26



5-3-e dy-C-56

图 5-3 冲击能量指数计算示意图

煤岩的冲击能量指数按式 (5-5) 计算:

$$K_E = A_s / A_x \quad (5-5)$$

式中:  $K_E$ ——冲击能量指数;

$A_s$ ——试件峰值前积聚的变形能;

$A_x$ ——试件峰值后消耗的变形能。

对于一组试件, 其平均冲击能量指数按式 (5-6) 计算:

$$K_{ES} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{Ei} \quad (5-6)$$

式中:  $K_{ES}$ ——冲击能量指数平均值;

$K_{Ei}$ ——第  $i$  个试件冲击能量指数;

$n$ ——试件个数。

注:  $K_E$ 、 $K_{ES}$ 、 $K_{Ei}$  的计算结果取 3 位有效数字。

通过观测煤岩单轴压缩典型全应力应变曲线, 可得到峰值强度值、残余强度的初始点值, 可以根据采集的曲线上各点数据计算出  $A_s$ 、 $A_x$  的值。

煤的冲击能量指数测定结果见表 5-3。冲击能量指数测试煤样共 5 块。

表 5-3 冲击能量指数测定记录表

煤层号	试件编号	试件长/mm	试件宽/mm	试件高/mm	试件面积/mm <sup>2</sup>	冲击能量指数 $K_E$	平均冲击能量指数 $\bar{K}_E$
3	dy-C-1	50.44	49.32	99.34	2487.78	1.46	1.49
	dy-C-2	50.4	49.98	100.55	2519.01	1.13	
	dy-C-3	50.09	49.38	100.48	2473.82	1.72	
	dy-C-4	49.11	49.96	100.5	2453.56	1.74	
	dy-C-5	49.33	49.73	100.73	2453.51	1.41	
4	dy-C-6	49.51	50.39	100.31	2494.77	1.66	1.42
	dy-C-7	49.34	49.06	100.05	2420.44	1.42	
	dy-C-8	49.08	49.57	99.38	2432.93	1.36	
	dy-C-9	50.56	49.59	100.05	2507.04	1.53	
	dy-C-10	49.5	49.7	100.2	2459.99	1.15	
5	dy-C-11	49.8	49.82	100.23	2481.1	0.74	1.16
	dy-C-12	49.54	49.66	99.93	2460.42	1.12	
	dy-C-13	49.54	49.31	99.4	2442.83	1.46	
	dy-C-14	49.09	49.68	99.16	2438.59	1.28	
	dy-C-15	49.84	49.1	99.55	2447.03	1.21	
5 上	dy-C-16	49.93	50.31	99.78	2512.29	0.97	1.36
	dy-C-17	49.04	49.43	99.8	2423.99	1.37	
	dy-C-18	49.36	49.41	99.02	2439.02	2.7	
	dy-C-19	49.48	49.69	99.55	2458.61	0.86	
	dy-C-20	49.77	49.71	100.13	2474.24	0.91	
6 下	dy-C-21	49.78	49.6	100.31	2469.17	1.63	1.21
	dy-C-22	49.79	49.64	100.42	2471.24	1.37	
	dy-C-23	49.61	49.62	100.84	2461.71	1.08	
	dy-C-24	49.86	50.53	100.94	2519.1	1.31	
	dy-C-25	49.15	50.12	100.41	2463.26	0.66	
7	dy-C-26	49.65	50.2	100.84	2492.2	0.72	1.42
	dy-C-27	49.45	50.54	100.66	2499.53	1.33	
	dy-C-28	49.36	49.12	100.78	2424.87	2.86	
	dy-C-29	49.19	49.71	100.61	2445.31	0.98	
	dy-C-30	49.53	49.38	99.89	2446.15	1.19	
8	dy-C-31	49.38	49.41	99.58	2439.9	1.47	1.14
	dy-C-32	50.34	49.52	99.07	2492.94	0.93	
	dy-C-33	49.68	49.14	99.67	2441.51	1.32	
	dy-C-34	49.65	50.22	100.71	2493.37	1.01	
	dy-C-35	49.43	49.29	100.42	2436.07	0.98	
9	dy-C-36	49.7	49.75	100.82	2472.62	1.06	0.98



	dy-C-37	49.55	49.47	100.93	2451.67	0.93	
	dy-C-38	50.82	49.46	100.78	2513.57	0.61	
	dy-C-39	50.94	49.97	100.88	2545.76	1.17	
	dy-C-40	50.92	49.66	100.54	2528.71	1.15	
9 上	dy-C-41	50.76	49.49	100.55	2512.22	0.97	1.23
	dy-C-42	50.61	49.28	100.2	2494.12	0.87	
	dy-C-43	50.36	49.67	100.87	2501.76	1.32	
	dy-C-44	49.94	49.32	100.09	2463.22	1.48	
	dy-C-45	49.5	49.08	100.3	2429.83	1.52	
10	dy-C-46	49.27	49.39	100.99	2433.43	1.15	1.11
	dy-C-47	49.27	49.88	99.24	2457.62	1.21	
	dy-C-48	49.39	49.41	100.67	2440.34	1.26	
	dy-C-49	49.79	49.01	100.18	2440.46	0.64	
	dy-C-50	50.82	49.93	100.87	2537.5	1.31	
11	dy-C-51	50.08	49.32	100.32	2469.93	1.06	1.38
	dy-C-52	50.96	50.11	100.65	2553.7	2.64	
	dy-C-53	50.27	50.23	99.28	2525.33	0.87	
	dy-C-54	50.82	50.03	100.21	2542.24	1.29	
	dy-C-55	50.11	49.26	100.47	2468.59	1.05	
13	dy-C-56	49.16	49.02	100.44	2409.64	0.96	1.12
	dy-C-57	49.03	49.87	100.81	2444.9	1.11	
	dy-C-58	49.59	49.76	100.67	2467.35	1.03	
	dy-C-59	49.68	49.46	100.67	2457.06	0.98	
	dy-C-60	49	49.81	100.11	2440.81	1.54	
14	dy-C-61	49.89	49.62	100.1	2475.49	0.97	1.01
	dy-C-62	49.87	49.34	100.06	2460.58	0.99	
	dy-C-63	49.35	49.25	100.61	2430.15	1.14	
	dy-C-64	49.71	49.3	99.95	2450.52	0.93	
	dy-C-65	50.77	49.92	99.53	2534.56	1.02	

#### 5.2.4 煤样单轴抗压强度

试件单轴抗压强度按式 (5-7) 计算:

$$R_c = \frac{P}{S} \times 10 \quad (5-7)$$

式中:  $R_c$ ——试件单轴抗压强度, MPa;

$P$ ——试件破坏荷载, 单位为千牛, kN;

$S$ ——试件初始承压面积, 单位为平方厘米,  $\text{cm}^2$ 。

煤样单轴抗压强度测定结果见表 5-5。

表 5-5 煤样单轴抗压强度测定结果

煤层号	试件编号	试件长/mm	试件宽/mm	试件高/mm	试件面积/mm <sup>2</sup>	极限载荷/ KN	单轴强度/MPa	平均单轴 强度/MPa
3	dy-D-1	50.11	50.74	99.53	2542.37	15.48	6.09	3.41
	dy-D-2	50.84	50.98	99.56	2592.02	6.17	2.38	
	dy-D-3	49.03	50.13	99.19	2457.71	4.30	1.75	
4	dy-D-6	51	50.19	100.11	2559.56	27.24	10.64	4.97
	dy-D-7	50.11	50.38	100.1	2524.59	6.03	2.39	
	dy-D-8	50.13	50.66	100.06	2539.59	4.78	1.88	
5	dy-D-11	49.23	50.08	100.47	2465.32	9.43	3.83	4.39
	dy-D-12	49.56	50.68	100.66	2511.62	5.59	2.23	
	dy-D-13	49.6	50.02	100.55	2480.97	17.65	7.11	
5 上	dy-D-16	50.67	50.27	100.73	2546.85	14.64	5.75	6.08
	dy-D-17	50.49	50.39	100.31	2544.53	11.09	4.36	
	dy-D-18	50.66	50.94	99.95	2580.81	20.97	8.13	
6 下	dy-D-21	49.5	50.3	100.2	2490.06	15.25	6.12	5.92
	dy-D-22	49.8	50.18	100.23	2498.89	12.29	4.92	
	dy-D-23	49.54	49.66	100.07	2460.42	16.56	6.73	
7	dy-D-26	49.84	50.9	100.45	2537.24	16.55	6.52	6.51
	dy-D-27	50.07	50.31	100.22	2519.1	21.40	8.5	
	dy-D-28	50.96	50.57	99.8	2577.1	11.60	4.5	
8	dy-D-31	50.23	50.29	99.87	2525.89	18.59	7.36	5.93
	dy-D-32	50.22	49.6	99.69	2490.9	14.74	5.92	
	dy-D-33	50.21	50.36	99.58	2528.91	11.42	4.52	
9	dy-D-36	50.85	50.12	100.41	2548.9	22.62	8.87	7.84
	dy-D-37	50.35	50.2	100.84	2527.5	25.45	10.07	
	dy-D-38	50.55	50.54	100.66	2554.62	11.70	4.58	
9 上	dy-D-41	50.32	50.86	100.33	2559.04	10.79	4.22	5.53
	dy-D-42	50.62	49.41	100.42	2501.38	9.80	3.92	
	dy-D-43	50.34	49.52	100.93	2492.94	21.05	8.44	
10	dy-D-46	50.57	50.71	100.42	2564.75	14.67	5.72	5.25
	dy-D-47	50.3	50.25	100.82	2527.53	4.57	1.81	
	dy-D-48	50.45	50.53	100.93	2548.8	20.95	8.22	
11	dy-D-51	50.92	50.34	100.54	2563.6	10.62	4.14	6.5
	dy-D-52	50.76	50.51	100.55	2563.76	31.14	12.15	
	dy-D-53	50.61	50.72	100.2	2566.84	8.23	3.2	
13	dy-D-56	49.5	50.92	99.7	2520.58	9.56	3.79	3.92
	dy-D-57	49.27	50.61	100.99	2493.97	10.00	4.01	

	dy-D-58	49.27	50.12	100.76	2469.2	9.79	3.96	
14	dy-D-61	50.82	49.93	100.87	2537.5	13.23	5.21	5.04
	dy-D-62	50.08	50.68	100.32	2537.81	11.16	4.4	
	dy-D-63	50.96	50.11	99.35	2553.7	14.07	5.51	

## 5.3 煤样冲击倾向性鉴定结果

### 5.3.1 煤样冲击倾向性鉴定判据

煤体所具有的积蓄变形能并产生冲击式破坏的性质,可用一个或几个指数来衡量。根据中华人民共和国煤炭行业标准《煤层冲击倾向性分类及指数的测定方法 GB/T25217.2-2010》,煤层冲击倾向性指数包括单轴抗压强度  $R_c$ 、动态破坏时间  $D_T$ 、弹性能量指数  $W_{ET}$  和冲击能力指数  $K_E$ 。本标准适用于煤层冲击倾向性分类以及在实验室条件下,能够加工成标准试件的煤的冲击倾向指数的测定,具体可分为强冲击倾向、弱冲击倾向、无冲击倾向三类。

当  $D_T$ 、 $W_{ET}$ 、 $K_E$ 、 $R_c$  的测定值发生矛盾时,其分类可采用模糊综合评判方法,四个指数的权重分别为0.3、0.2、0.2、0.3。煤的冲击倾向性强弱采用综合判定方法判断,4个指数共有81种测试结果,综合判断结果见表4-1和表4-2。表中综合评价结果:1——无冲击倾向;2——弱冲击倾向;3——强冲击倾向。有8种较难进行综合判定的情况,在表中“综合评判结果”列内用“\*”标出。出现此种测量结果,推荐采用对每个测试值与该指标所在类别临近界定值进行比较的方法综合判断冲击倾向性。

### 5.3.2 煤样冲击倾向性鉴定结果

根据对煤样的动态破坏时间、弹性能量指数、冲击能量指数及单轴抗压强度的测定,可综合评判煤样冲击倾向性类别为I类,即无冲击倾向性,测定结果见表5-6。

表 5-6 煤层冲击倾向性测定结果

煤层号		动态时间	弹性能	冲击能	单轴强度	综合评判结果
3	各指数平均值	517.8	2.87	1.49	4.41	无



	冲击倾向性判定	无	弱	无	无	
4	各指数平均值	548.6	4.08	1.42	6.46	无
	冲击倾向性判定	无	弱	无	无	
5	各指数平均值	505.4	5.57	1.16	5.55	无
	冲击倾向性判定	无	强	无	无	
5上	各指数平均值	506	4.86	1.36	6.70	无
	冲击倾向性判定	无	无	无	无	
6下	各指数平均值	505.2	6.44	1.21	6.17	无
	冲击倾向性判定	无	强	无	无	
7	各指数平均值	530.2	3.07	1.42	6.82	无
	冲击倾向性判定	无	弱	无	无	
8	各指数平均值	511	6.96	1.14	6.68	无
	冲击倾向性判定	无	强	无	无	
9	各指数平均值	504.6	4.82	0.98	6.81	无
	冲击倾向性判定	无	弱	无	无	
9上	各指数平均值	208.6	6.34	1.23	6.22	无
	冲击倾向性判定	弱	强	无	无	
10	各指数平均值	616.4	4.15	1.11	6.83	无
	冲击倾向性判定	无	弱	无	无	
11	各指数平均值	506.4	4.85	1.38	5.85	无
	冲击倾向性判定	无	弱	无	无	
13	各指数平均值	764	4.58	1.12	5.47	无
	冲击倾向性判定	无	弱	无	无	
14	各指数平均值	530.8	6.04	1.01	6.66	无
	冲击倾向性判定	无	强	无	无	



## 6 顶板冲击倾向性测试

本次试验主要对顶板岩样的密度指标、弹性模量、抗拉强度等进行测试，通过中华人民共和国国家标准《顶板岩层冲击倾向性分类及指数的测定方法 GB/T25217.1-2010》确定顶板岩层冲击倾向性。

### 6.1 密度测试

本部分采用量积法测定试件的密度指标，质量测量采用电子天平，精度为 0.01g，体积测量采用游标卡尺测量试件直径和高度，精度为 0.01mm。测量试件体积时，量测试件两端和中间三个断面上的直径，按平均值计算试件截面积；量测端面周边三个点的高度，计算试件高度平均值。

本次试验对顶板试件进行测试，根据式（4-8）计算岩层试件的密度。具体的测试结果如表 6-1 所列。

表 6-1 顶板岩层试件密度测试结果

煤层号	试件编号	直径/mm	高度/mm	质量/g	密度 kg/m <sup>3</sup>	平均值
3	y-r-1	51.00	100.39	521.69	2536.87	2626.94
	y-r-2	50.48	100.12	527.86	2596.02	
	y-r-3	49.06	100.15	521.51	2747.94	
4	y-r-4	50.46	100.75	534.54	2581.93	2593.21
	y-r-5	50.34	100.68	535.39	2596.58	
	y-r-6	50.71	99.02	526.37	2601.14	
5	y-r-7	50.38	100.85	532.55	2587.45	2624.89
	y-r-8	50.69	100.30	539.23	2570.47	
	y-r-9	49.40	99.92	537.36	2716.75	
5 上	y-r-10	50.63	100.42	539.14	2573.18	2590.44
	y-r-11	50.80	99.07	524.04	2591.00	
	y-r-12	50.24	100.67	520.58	2607.16	
6 下	y-r-13	50.05	100.01	532.80	2644.41	2626.25
	y-r-14	49.52	100.61	538.60	2684.91	
	y-r-15	50.77	100.82	530.28	2549.43	
7	y-r-16	50.40	100.05	536.14	2606.59	2630.50
	y-r-17	50.09	99.74	522.33	2646.51	
	y-r-18	50.07	100.16	530.01	2638.41	
8	y-r-19	49.25	100.83	530.62	2708.14	2627.28

	y-r-20	50.65	100.54	534.16	2568.64	
	y-r-21	50.61	99.28	534.12	2605.06	
9	y-r-22	50.16	100.65	537.15	2615.78	2656.59
	y-r-23	50.03	99.80	536.34	2652.14	
	y-r-24	49.76	99.02	536.61	2701.86	
9 上	y-r-25	50.71	99.72	528.86	2583.73	2604.23
	y-r-26	50.34	99.04	526.51	2639.63	
	y-r-27	50.38	100.78	527.95	2589.32	
10	y-r-28	49.36	100.88	534.39	2694.93	2648.69
	y-r-29	50.99	99.45	532.79	2562.30	
	y-r-30	49.50	100.55	539.77	2688.84	
11	y-r-31	49.96	100.81	529.34	2632.07	2638.89
	y-r-32	49.81	100.68	538.01	2651.60	
	y-r-33	50.02	100.56	539.82	2633.01	
13	y-r-34	50.10	99.69	536.98	2646.96	2664.37
	y-r-35	50.01	99.76	536.18	2655.13	
	y-r-36	49.54	100.32	537.71	2691.02	
14	y-r-37	49.09	100.08	525.79	2746.56	2679.69
	y-r-38	49.03	100.24	531.78	2749.32	
	y-r-39	50.96	100.31	530.08	2543.20	

## 6.2 弹性模量测试

岩石弹性模量的测定是在试件单轴压缩试验下完成的,通过对加载过程中试验曲线的分析处理可以计算出所需的力学参数。

本次采用 RMT-150B 岩石力学实验系统进行岩石单轴压缩试验,加载速率为 0.5MPa/s。

根据曲线的峰前线性变化段确定两点的应力和应变值,可获得各试件的弹性模量。表 6-2 为顶板岩石的弹性模量测试结果。

表 6-2 顶板弹性模量试验结果

煤层号	试件编号	直径/mm	高度/mm	破坏荷载/kN	单轴抗压强度/MPa	弹性模量/GPa	弹性模量平均值/GPa
3	y-r-1	51.00	100.39	120.11	58.83	6.51	7.11
	y-r-2	50.48	100.12	129.23	64.59	8.36	
	y-r-3	49.06	100.15	111.67	59.10	6.45	

4	y-r-4	50.46	100.75	131.55	65.81	10.36	9.63
	y-r-5	50.34	100.68	131.52	66.12	10.62	
	y-r-6	50.71	99.02	130.16	64.47	7.91	
5	y-r-7	50.38	100.85	120.77	60.61	9.77	10.91
	y-r-8	50.69	100.30	132.65	65.77	11.77	
	y-r-9	49.40	99.92	108.53	56.66	11.21	
5上	y-r-10	50.63	100.42	124.68	61.96	11.74	8.38
	y-r-11	50.80	99.07	127.38	62.88	7.21	
	y-r-12	50.24	100.67	124.90	63.04	6.17	
6下	y-r-13	50.05	100.01	129.14	65.68	9.84	10.17
	y-r-14	49.52	100.61	115.41	59.95	11.58	
	y-r-15	50.77	100.82	124.78	61.67	9.08	
7	y-r-16	50.40	100.05	140.55	70.49	10.84	8.85
	y-r-17	50.09	99.74	128.10	65.03	6.70	
	y-r-18	50.07	100.16	144.20	73.28	9.00	
8	y-r-19	49.25	100.83	103.82	54.52	9.19	9.89
	y-r-20	50.65	100.54	121.47	60.33	10.25	
	y-r-21	50.61	99.28	144.82	72.03	10.24	
9	y-r-22	50.16	100.65	127.19	64.40	11.15	11.01
	y-r-23	50.03	99.80	124.62	63.44	10.90	
	y-r-24	49.76	99.02	109.20	56.18	10.98	
9上	y-r-25	50.71	99.72	140.05	69.39	8.66	8.33
	y-r-26	50.34	99.04	121.04	60.85	7.95	
	y-r-27	50.38	100.78	125.47	62.96	8.39	
10	y-r-28	49.36	100.88	117.86	61.62	10.32	10.70
	y-r-29	50.99	99.45	133.61	65.47	9.84	
	y-r-30	49.50	100.55	106.55	55.40	11.93	
11	y-r-31	49.96	100.81	109.75	56.00	8.80	10.72
	y-r-32	49.81	100.68	100.63	51.66	11.40	
	y-r-33	50.02	100.56	143.35	72.99	11.94	
13	y-r-34	50.10	99.69	137.71	69.88	11.09	11.09
	y-r-35	50.01	99.76	126.53	64.45	10.85	
	y-r-36	49.54	100.32	110.82	57.53	11.31	
14	y-r-37	49.09	100.08	115.36	60.98	7.74	8.77
	y-r-38	49.03	100.24	107.98	57.23	9.54	
	y-r-39	50.96	100.31	130.50	64.02	9.03	



### 6.3 抗拉强度测试

岩石抗拉强度测试采用间接拉伸法（巴西劈裂法），使用 RMT-150B 岩石力学实验系统进行，岩石试件形状为圆柱状，本次试验共进行 5 个岩样试验。试验时将抗拉夹具和压头安装在试验机上，加载速率为 0.05MPa/s。试验完成时，岩样在压头附近沿横断面断裂破坏。

通过本次试验测试出了岩石的抗拉破坏载荷，再将岩样的直径、厚度等代入式（4-10）中，可以得到岩石的抗拉强度，具体数据见表6-3所列顶板岩石的平均抗拉强度为2.93MPa。

表6-3 顶板抗拉强度试验结果

煤层号	试件编号	直径/mm	高度/mm	破坏荷载/kN	单轴抗拉强度/MPa	平均单轴抗拉强度/MPa
3	y-r-1	49.30	24.85	4.06	2.11	2.80
	y-r-2	50.79	25.75	6.37	3.10	
	y-r-3	49.51	24.32	6.03	3.19	
4	y-r-4	50.49	25.98	6.23	3.02	2.99
	y-r-5	50.73	25.85	6.73	3.27	
	y-r-6	49.39	24.70	5.14	2.68	
5	y-r-7	50.50	25.08	6.11	3.07	3.48
	y-r-8	50.28	25.42	7.76	3.87	
	y-r-9	49.78	24.07	6.59	3.50	
5上	y-r-10	50.29	25.67	4.44	2.19	2.86
	y-r-11	50.07	25.01	7.76	3.95	
	y-r-12	50.22	25.61	4.91	2.43	
6下	y-r-13	50.28	25.82	4.90	2.40	2.78
	y-r-14	49.14	24.95	4.38	2.27	
	y-r-15	50.75	25.26	7.36	3.66	
7	y-r-16	49.13	24.84	7.12	3.72	3.24
	y-r-17	50.17	25.83	6.62	3.26	
	y-r-18	50.01	25.54	5.52	2.75	
8	y-r-19	49.90	24.28	5.37	2.82	2.99
	y-r-20	50.33	25.65	5.84	2.88	
	y-r-21	50.39	25.20	6.48	3.25	
9	y-r-22	50.05	25.98	7.82	3.83	3.20
	y-r-23	50.79	25.28	7.06	3.50	
	y-r-24	49.73	24.04	4.27	2.27	
9上	y-r-25	50.82	25.31	7.35	3.64	3.48

	y-r-26	50.48	25.95	6.93	3.37	
	y-r-27	50.78	25.84	7.09	3.44	
10	y-r-28	49.39	24.03	4.38	2.35	2.76
	y-r-29	50.42	25.19	4.34	2.18	
	y-r-30	49.51	24.99	7.31	3.76	
11	y-r-31	49.27	24.89	6.34	3.29	3.46
	y-r-32	49.25	24.64	7.44	3.90	
	y-r-33	50.59	25.43	6.46	3.20	
13	y-r-34	50.15	25.05	4.59	2.32	2.46
	y-r-35	50.65	25.88	4.01	1.95	
	y-r-36	49.80	24.70	6.01	3.11	
14	y-r-37	49.36	24.22	6.46	3.44	3.68
	y-r-38	49.11	24.12	7.43	3.99	
	y-r-39	50.00	25.55	7.23	3.60	

#### 6.4 顶板岩石冲击倾向指数分析

依据国家相关标准,顶板30m以内的岩层为一层,采用4.2节中所述测试方法,按公式(4-14)计算顶板的弯曲能量指数,进行顶板岩层的冲击倾向性鉴定。表6-4为顶板弯曲能量指数计算结果。

表6-4 顶板岩层弯曲能量指数

煤层号	上覆岩层 载荷/MPa	密度 /kg/m <sup>3</sup>	弹性模量 /GPa	单轴抗拉 强度/MPa	弯曲能量 指数/kJ	冲击倾向 性
3	1.77	2626.94	7.11	2.80	14.22	无
4	1.52	2593.21	9.63	2.99	13.36	无
5	2.72	2624.89	10.91	3.48	12.89	无
5上	2.08	2590.44	8.38	2.86	11.74	无
6下	2.38	2626.25	10.17	2.78	8.42	无
7	2.55	2630.50	8.85	3.24	13.72	无
8	2.15	2627.28	9.89	2.99	10.94	无
9	2.19	2656.59	11.01	3.20	11.54	无
9上	3.87	2604.23	8.33	3.48	14.15	无
10	2.21	2648.69	10.70	2.76	8.17	无
11	2.35	2638.89	10.72	3.46	13.89	无
13	1.00	2664.37	11.09	2.46	8.80	无
14	4.36	2679.69	8.77	3.68	14.55	无

根据中华人民共和国国家标准《顶板岩层冲击倾向性分类及指数的测定方法



GB/T25217.1-2010》，计算得到宝清县建龙大雁煤业有限公司3#、4#、5#、5#上、6#下、7#、8#、9#、9#上、10#、11#、13#、14#煤层顶板岩层的弯曲能量指数小于15kJ，如表6-4所示，属于I类，无冲击倾向性。

## 7 底板冲击倾向性测试

国家标准中仅包含顶板及煤层的冲击倾向性测定方法，而未给出底板的冲击倾向性测定方法及标准，本次试验采用顶板测定标准对底板进行冲击倾向性测试。本次试验主要对底板的密度指标、弹性模量、抗拉强度等进行测试，通过中华人民共和国国家标准《顶板岩层冲击倾向性分类及指数的测定方法 GB/T25217.1-2010》确定底板岩层冲击倾向性。

### 7.1 密度测试

本部分采用量积法测定试件的密度指标，质量测量采用电子天平，精度为 0.01g，体积测量采用游标卡尺测量试件直径和高度，精度为 0.01mm。测量试件体积时，量测试件两端和中间三个断面上的直径，按平均值计算试件截面积；量测端面周边三个点的高度，计算试件高度平均值。

本次试验对底板试件进行测试，根据式（4-8）计算岩层试件的密度。具体的测试结果如表 7-1 所列。

表 7-1 底板岩层试件密度测试结果

煤层号	试件编号	直径/mm	高度/mm	质量/g	密度 kg/m <sup>3</sup>	平均值
3	y-b-1	50.94	99.05	533.11	2577.28	2600.38
	y-b-2	50.73	100.84	536.60	2552.53	
	y-b-3	49.56	100.97	521.45	2671.33	
4	y-b-4	50.23	100.19	536.17	2620.39	2602.06
	y-b-5	50.89	100.01	531.58	2556.96	
	y-b-6	50.17	100.11	524.14	2628.82	
5	y-b-7	49.40	100.36	526.61	2704.17	2666.67
	y-b-8	49.78	100.43	520.71	2661.34	
	y-b-9	50.16	99.95	531.20	2634.48	
5 上	y-b-10	50.66	99.12	534.47	2603.99	2579.42
	y-b-11	50.90	99.70	537.70	2564.92	
	y-b-12	50.55	100.91	532.55	2569.37	
6 下	y-b-13	49.59	100.53	532.88	2679.73	2643.35
	y-b-14	49.45	100.87	526.60	2685.23	
	y-b-15	50.99	99.33	533.84	2565.09	
7	y-b-16	50.37	100.46	536.25	2599.30	2601.66

	y-b-17	50.26	100.55	532.58	2607.66	
	y-b-18	50.29	100.81	532.64	2598.01	
8	y-b-19	49.75	100.83	535.34	2654.53	2595.45
	y-b-20	50.65	100.66	535.31	2565.39	
	y-b-21	50.85	99.83	534.84	2566.43	
9	y-b-22	49.65	100.72	528.37	2668.19	2646.11
	y-b-23	50.97	100.23	534.93	2543.96	
	y-b-24	49.12	100.71	534.12	2726.18	
9 上	y-b-25	50.46	100.99	524.39	2576.34	2591.85
	y-b-26	50.70	100.00	530.70	2577.03	
	y-b-27	50.20	100.23	525.74	2622.18	
10	y-b-28	50.69	100.71	537.90	2559.62	2665.01
	y-b-29	49.76	99.39	532.37	2691.62	
	y-b-30	49.26	99.50	533.76	2743.80	
11	y-b-31	49.73	99.45	533.92	2693.41	2629.52
	y-b-32	50.37	100.70	535.79	2592.71	
	y-b-33	50.44	100.04	527.27	2602.44	
13	y-b-34	49.83	100.17	533.41	2663.46	2644.75
	y-b-35	49.32	100.84	532.95	2700.08	
	y-b-36	50.61	100.59	531.37	2570.72	
14	y-b-37	50.36	99.89	520.34	2615.23	2585.88
	y-b-38	50.39	100.62	535.75	2592.37	
	y-b-39	50.77	100.80	529.90	2550.06	

## 7.2 弹性模量测试

岩石弹性模量的测定是在试件单轴压缩试验下完成的,通过对加载过程中试验曲线的分析处理可以计算出所需的力学参数。

本次采用 RMT-150B 岩石力学实验系统进行岩石单轴压缩试验,加载速率为 0.5MPa/s。本次试验共完成 5 个底板试件。根据曲线的峰前线性变化段确定两点的应力和应变值,可获得各试件的弹性模量。表 7-2 为底板岩石的弹性模量测试结果。

表 7-2 底板岩层试件弹性模量试验结果

煤层号	试件编号	直径/mm	高度/mm	破坏荷载/kN	单轴抗压强度/MPa	弹性模量/GPa	平均弹性模量/GPa
3	y-b-1	50.94	99.05	126.56	62.13	9.93	9.12
	y-b-2	50.73	100.84	141.66	70.12	10.98	

	y-b-3	49.56	100.97	100.16	51.96	6.43	
4	y-b-4	50.23	100.19	122.41	61.80	10.85	9.19
	y-b-5	50.89	100.01	131.28	64.56	9.47	
	y-b-6	50.17	100.11	136.50	69.08	7.24	
5	y-b-7	49.40	100.36	98.62	51.47	7.98	7.85
	y-b-8	49.78	100.43	112.29	57.72	6.21	
	y-b-9	50.16	99.95	122.21	61.88	9.36	
5 上	y-b-10	50.66	99.12	140.59	69.78	10.34	10.47
	y-b-11	50.90	99.70	128.54	63.22	11.31	
	y-b-12	50.55	100.91	136.56	68.09	9.77	
6 下	y-b-13	49.59	100.53	118.24	61.26	9.86	9.33
	y-b-14	49.45	100.87	108.06	56.28	7.98	
	y-b-15	50.99	99.33	133.81	65.56	10.15	
7	y-b-16	50.37	100.46	133.89	67.24	10.88	10.15
	y-b-17	50.26	100.55	141.26	71.23	9.77	
	y-b-18	50.29	100.81	120.35	60.62	9.79	
8	y-b-19	49.75	100.83	101.66	52.33	10.60	10.55
	y-b-20	50.65	100.66	122.31	60.74	10.59	
	y-b-21	50.85	99.83	132.30	65.19	10.45	
9	y-b-22	49.65	100.72	109.00	56.33	8.51	9.74
	y-b-23	50.97	100.23	141.54	69.40	10.48	
	y-b-24	49.12	100.71	110.32	58.24	10.24	
9 上	y-b-25	50.46	100.99	140.39	70.25	7.32	8.08
	y-b-26	50.70	100.00	132.76	65.79	9.21	
	y-b-27	50.20	100.23	121.56	61.44	7.72	
10	y-b-28	50.69	100.71	131.78	65.33	11.37	10.40
	y-b-29	49.76	99.39	112.46	57.86	9.71	
	y-b-30	49.26	99.50	108.74	57.09	10.13	
11	y-b-31	49.73	99.45	116.41	59.97	10.18	9.70
	y-b-32	50.37	100.70	144.23	72.41	10.74	
	y-b-33	50.44	100.04	126.62	63.39	8.18	
13	y-b-34	49.83	100.17	97.86	50.21	10.02	9.77
	y-b-35	49.32	100.84	96.35	50.45	9.88	
	y-b-36	50.61	100.59	141.62	70.43	9.41	
14	y-b-37	50.36	99.89	123.95	62.27	6.10	8.60
	y-b-38	50.39	100.62	123.26	61.83	10.73	
	y-b-39	50.77	100.80	128.56	63.55	8.97	

### 7.3 抗拉强度测试

岩石抗拉强度测试采用间接拉伸法（巴西劈裂法），使用 RMT-150B 岩石力



学实验系统进行，岩石试件形状为圆柱状，本次试验共进行 5 个岩样试验。试验时将抗拉夹具和压头安装在试验机上，加载速率为 0.05MPa/s。试验完成时，岩样在压头附近沿横断面断裂破坏。通过本次试验测试出了岩石的抗拉破坏载荷，再将岩样的直径、厚度等代入式（4-10）中，可以得到岩石的抗拉强度，具体数据见表 7-3 所列。

表7-3 底板岩石抗拉强度试验结果

煤层号	试件编号	直径/mm	高度/mm	破坏荷载/kN	单轴抗拉强度/MPa	平均单轴抗拉强度/MPa
3	y-b-1	50.21	25.55	4.99	2.48	3.29
	y-b-2	50.64	25.81	7.10	3.46	
	y-b-3	49.45	24.32	7.40	3.92	
4	y-b-4	50.45	25.56	5.92	2.93	2.75
	y-b-5	50.49	25.31	6.34	3.16	
	y-b-6	50.63	25.24	4.31	2.15	
5	y-b-7	49.97	24.68	7.19	3.71	3.50
	y-b-8	49.85	24.92	6.22	3.19	
	y-b-9	50.76	25.24	7.24	3.60	
5 上	y-b-10	50.53	25.91	7.59	3.69	3.03
	y-b-11	50.10	25.53	5.22	2.60	
	y-b-12	50.56	25.87	5.76	2.81	
6 下	y-b-13	49.28	24.33	5.70	3.03	3.54
	y-b-14	49.65	24.54	7.50	3.92	
	y-b-15	50.11	25.55	7.36	3.66	
7	y-b-16	50.14	25.81	4.04	1.99	2.44
	y-b-17	50.68	25.83	4.29	2.09	
	y-b-18	50.61	25.66	6.61	3.24	
8	y-b-19	49.12	24.83	6.15	3.21	3.50
	y-b-20	50.77	25.72	6.84	3.34	
	y-b-21	50.27	25.23	7.85	3.94	
9	y-b-22	49.93	24.29	4.66	2.45	2.61
	y-b-23	50.38	25.99	6.01	2.92	
	y-b-24	49.17	25.00	4.77	2.47	
9 上	y-b-25	50.60	25.23	7.63	3.81	3.17
	y-b-26	50.01	25.71	6.10	3.02	
	y-b-27	50.55	25.61	5.48	2.70	
10	y-b-28	50.74	25.50	6.32	3.11	3.23
	y-b-29	49.96	24.45	7.66	3.99	
	y-b-30	49.77	24.30	4.92	2.59	



11	y-b-31	49.86	24.96	7.44	3.81	3.52
	y-b-32	50.75	25.17	7.30	3.64	
	y-b-33	50.49	25.84	6.39	3.12	
13	y-b-34	49.35	24.41	7.96	4.21	3.65
	y-b-35	49.42	24.89	5.43	2.81	
	y-b-36	50.18	25.62	7.93	3.93	
14	y-b-37	50.88	25.80	5.37	2.61	3.46
	y-b-38	50.26	25.39	7.91	3.95	
	y-b-39	50.87	25.12	7.67	3.82	

## 7.4 底板岩层冲击倾向指数分析

依据国家相关标准，底板为一层，采用4.2节中所述测试方法，按公式(4-14)计算底板的弯曲能量指数，进行底板岩层的冲击倾向性鉴定。表7-4为煤层底板弯曲能量指数计算结果。

表7-4 底板岩层弯曲能量指数

煤层号	载荷/MPa	密度 /kg/m <sup>3</sup>	弹性模量 /GPa	单轴抗拉 强度/MPa	弯曲能量 指数/kJ	冲击 倾向性
3	3.81	2600.38	9.12	3.29	11.31	无
4	4.04	2602.06	9.19	2.75	6.97	无
5	4.24	2666.67	7.85	3.50	14.54	无
5上	3.73	2579.42	10.47	3.03	8.11	无
6下	3.86	2643.35	9.33	3.54	13.20	无
7	0.50	2601.66	10.15	2.44	13.33	无
8	2.33	2595.45	10.55	3.50	14.61	无
9	0.68	2646.11	9.74	2.61	14.08	无
9上	3.20	2591.85	8.08	3.17	12.70	无
10	3.66	2665.01	10.40	3.23	9.67	无
11	3.81	2629.52	9.70	3.52	12.60	无
13	3.52	2644.75	9.77	3.65	14.25	无
14	5.24	2585.88	8.60	3.46	11.61	无

根据中华人民共和国国家标准《顶板岩层冲击倾向性分类及指数的测定方法 GB/T25217.1-2010》，计算得到宝清县建龙大雁煤业有限公司3#、4#、5#、5#上、6#下、7#、8#、9#、9#上、10#、11#、13#、14#煤层底板岩层的弯曲能量指数小于15kJ，如表7-4所示，属于I类，无冲击倾向性。

## 8 结论

### 8.1 结论

依据《冲击地压测定、监测与防治方法第1部分：顶板岩层冲击倾向性分类及指数的测定方法》（GB/T25217.1-2010）和《冲击地压测定、监测与防治方法第2部分：煤层的冲击倾向性分类及指数的测定方法》（GB/T 25217.2-2010），通过实验室测定，宝清县建龙大雁煤业有限公司3#、4#、5#、5#上、6#下、7#、8#、9#、9#上、10#、11#、13#、14#煤层属于I类，为无冲击倾向性煤层，宝清县建龙大雁煤业有限公司3#、4#、5#、5#上、6#下、7#、8#、9#、9#上、10#、11#、13#、14#煤层顶板岩层属于I类，为无冲击倾向性顶板岩层；宝清县建龙大雁煤业有限公司3#、4#、5#、5#上、6#下、7#、8#、9#、9#上、10#、11#、13#、14#煤层底板岩层属于I类，为无冲击倾向性底板岩层。

### 8.2 建议

由于煤岩层取样范围有限，试验结果不能完全准确反映煤岩层的冲击倾向性，在开采过程中，煤岩层是否发生冲击地压，与其开采深度及地质环境相关，冲击倾向性鉴定结论仅说明目前取样位置及深度煤岩属性，因此，矿井开采深度过大或开采新水平时需重新进行鉴定，在遇到较大地质构造时也应慎重对待。

当煤层倾角增大时，其顶板对煤层的影响更加显著。因此，在生产过程中，应重视对工作面回采的相关顶板管理，及时采取断顶卸压、钻孔卸压等解危措施，促使顶板及时垮断，避免应力过度集中，避免冲击地压灾害的发生。

