

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.02.18

基于工作面来压特征确定顶板断裂带高度及其验证

题正义^{1,2}, 李洋¹, 乔宁¹, 秦洪岩^{1,2}, 陈明元^{1,3}

(1. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 辽宁工程技术大学采矿技术研究院, 辽宁 阜新 123000; 3. 越南煤炭集团工业及煤矿投资咨询股份公司, 越南北江 21000)

摘要: 为深入研究工作面来压特征与顶板断裂带高度的关系, 以越南河林煤矿 J7408 工作面为研究对象。首先通过实验确定顶板的岩石力学参数和综合柱状图, 应用实验数据采用关键层理论分析得出顶板的来压特征。在工作面开采前设计矿压监测方案, 对比得出理论分析矿压显现特征与实测数据反应的来压特征保持一致。根据来压特征和综合柱状图, 分析得出断裂带高度为 94.7 m, 物理探测得到顶板断裂带高度为 86.1 m。采用对比分析来压特征和顶板综合柱状图确定断裂带高度的方法得到的结果与物理探测断裂带高度的结果吻合, 说明该方法可行。

关键词: 来压特征分析; 断裂带高度; 关键层理论; 矿压监测; 围岩力学性质测定

中图分类号: TD8

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)02-0115-06

Determining the roof fracture zone height based on the characteristic of the working face pressure

TI Zhengyi^{1,2}, LI Yang¹, QIAO Ning¹, QIN Hongyan^{1,2}, TRÂN MINH NGUYỄN^{1,3}

(1. Liaoning Technical University College of Mining Engineering, Fuxin, Liaoning 123000, China;
2. Liaoning Technical University College of Mining Technology Research Institute, Fuxin 123000, China;
3. Vietnam Coal-Mineral Industries Group and Coal Mining Investment Consulting Co., LTD.
Beijing Vietnam 21000, China)

Abstract: In order to in-depth study the relationship between face pressure characteristic and the height of roof fracture zone, J7408 work face of Helin coal mine in Vietnam was selected as the research object. Its coal seam comprehensive bar chart and mechanical parameters were adopted by physics experiment in the first place. The roof weighting characteristics was studied by the result of key strata theory to analysis experimental data. Mine pressure monitoring program should be designed before mining the work face. The results about mine pressure characteristics of theoretical analysis between measured data are same. Fracture zone height was 94.7 m by analysis and the height of roof fracture zone is 86.1 m by physical detection. The height of analysis on working face pressure and coal seam comprehensive bar chart is similar to the measured data that shows this method is right.

Keywords: work face pressure's characteristic analysis; fracture zone height, key stratum theory; mine pressure monitoring program; the determination of rock mechanical properties

0 引言

随着我国煤炭装备及技术的发展, 数学、力学

和电磁学在矿山中的应用对矿山理论的研究起到了很大的促进作用。多年来以刘天泉院士、钱鸣高院士和宋振骐院士为代表的科技工作者, 经过长期

收稿日期: 2015-08-01; 修订日期: 2015-09-30

基金项目: 国家自然科学基金(51174109, 51074086)

第一作者: 题正义(1957-), 男, 吉林舒兰人, 博士, 教授, 主要从事矿山安全和特殊开采技术研究。E-mail: hongyan0408@163.com

通讯作者: 秦洪岩(1987-), 男, 辽宁锦州人, 博士, 主要从事矿山开采和技术研究。E-mail: 646855167@qq.com

的努力在矿山压力显现和顶板破坏高度的研究领域取得了丰硕的研究成果^[1-3],积累了宝贵的研究经验。

近年来王家臣、杜计平和刘长友等对矿山软煤、深井和综放等不同开采条件下矿山压力显现规律的研究也取得了很多研究成果^[4-5]。张宏伟、施龙青、齐庆新和陈荣华等分别对综放开采、大采深和高强度开采等不同条件下的顶板断裂带的高度进行了研究^[6-9]。许家林深入的研究了关键层对顶板断裂带高度发育的影响^[10-11],并且诸多学者也采用了不同的数学方法和力学方法对断裂带的高度进行了研究,积累了丰富的研究成果和大量的研究经验^[12-16]。在越南,矿山压力和顶板破坏高度的研究尚不成熟,研究方法较为单一。论文以越南河林煤矿 J7408 工作面为研究对象,应用关键层理论研究顶板来压规律,对比矿压实测数据,综合分析得出 J7408 工作面的顶板断裂带高度。研究成果会对河林煤矿的安全生产具有理论指导意义和实际应用价值。

1 研究背景

越南河林煤矿的 J7408 工作面范围地质构造简单无断层分布,顶板主要以砂岩和泥岩为主,煤层赋存较稳定,平均厚度 4.2 m,采用综合机械化开采,地面标高为 +235 ~ +290 m,工作面水平标高 -150 ~ -200 m,工作面布置见图 1。距离 J7408 工作面顶板大约 200 m 处为采空区。

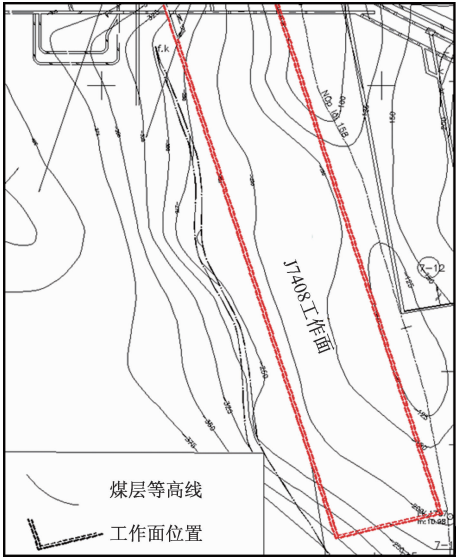


图 1 J7408 工作面布置图
Fig. 1 J7408 work face layout

2 顶底板围岩力学性质测定

2.1 煤(岩)体取样

围岩岩体样品通过 $\varphi 105\text{ mm}$ 取样钻机垂直于顶底板进行打钻而获得,并力求每类岩样的取芯长度要在 1000 mm 以上。煤岩样品力求所取煤岩样尺寸约为 300 mm 见方,且无明显裂隙的煤岩块,以降低采动对样品原始力学性质的影响。

煤(岩)体样品通过 ZS-100 钻孔取样机、切割机和磨平机进行加工打磨制成,将煤(岩)体样品加工成标准试块。具体操作步骤如下:先将现场所取煤(岩)体样品置放在 ZS-100 钻孔取样机平台上,通过取样钻机钻出 $\varphi 50\text{ mm}$ 的圆柱体,再根据所需要进行的物理力学试验要求对圆柱体进行切割,分别切成 25 mm、50 mm、100 mm 长度不等的圆柱体,最后用磨平机将试验样品端面磨平,在研磨时要求试验样品两端面不平行度不得大于 0.01 mm,上、下端直径的偏差不得大于 0.02 mm。煤(岩)体试验完成样品见图 2。



图 2 煤岩体加工完成后样品
Fig. 2 The coal and rock sample after the processing

2.2 物理力学性质实验

物理力学试验过程均按照中国煤炭工业部标准要求进行,所有力学性质(单轴抗拉、抗压和抗剪切试验)的测定均在 SANS 试验机上进行,并对试验结果进行分析整理,越南河林矿 J7408 综放面顶板岩石力学参数见表 1。J7408 工作面顶板至采空区的岩层分布见图 3。

表 1 顶板岩性及岩层力学参数统计表
Table 1 Physical and mechanical parameters statistical table of roof lithology and rock

岩性	体积力/ $\text{kN}\cdot\text{m}^3$	弹性模量/GPa	抗拉强度/MPa
细粒砂岩	27.00	35.00	8.00
砂质泥岩	25.80	18.50	5.80
砂质岩	25.50	20.50	6.10
粉砂岩	24.80	23.30	4.50
粗粒砂岩	24.00	21.00	5.00
泥岩	23.30	14.00	3.90
中粒砂岩	25.50	29.00	7.00
炭质泥岩	22.60	17.90	4.10
煤	11.00	4.20	1.30



图 3 工作面顶板综合柱状图

Fig. 3 Comprehensive bar chart of coal working face's roof

3 理论分析顶板来压特征

3.1 相关理论

关键层是指对顶板移动变形起到控制作用的岩层。坚硬岩层指变形挠度小于其下部岩层,不与下部岩层协调变形的岩层,假设第 1 层岩层为坚硬岩层,其上至第 n 层岩层与之协调变形,而第 $n + 1$ 层岩层不与之协调变形,那么第 $n + 1$ 层岩层就是视为第 2 层坚硬岩层^[3]。如果第 n 层岩层为坚硬岩层,则满足:

$$E_{n+1}h_{n+1}^2\sum_{i=1}^nh_iV_i > V_{n+1}\sum_{i=1}^nE_ih_i^3 \quad (1)$$

根据关键层位置的判别方法确定主关键层和亚关键层的位置,然后应用砌体梁理论确定关键层的初次来压步距和周期来压步距^[1]。

初次来压断裂跨距按照两端用固支梁受力分析模型进行分析,当正应力达到抗拉强度极限时,岩层将在该处发生拉裂,此时梁的断裂的极限跨距(即初次来压步距)为:

$$L_{初} = h \sqrt{\frac{2R_r}{q}} \quad (2)$$

其中: $L_{初}$ ——坚硬岩层的断裂步距;
 h ——坚硬岩层厚度;
 R_r ——坚硬岩层的极限抗拉强度;
 q ——坚硬岩层上覆岩层载荷。

基本顶的周期来压按照基本顶的臂式折断来确定:

$$L_{周} = h \sqrt{\frac{R_r}{3q}} \quad (3)$$

关键层断裂时的工作面推进距离:

$$L_{Gj} = \sum_{i=1}^mh_i\cot\alpha_q + L_j + \sum_{i=1}^mh_i\cot\alpha_h \quad (4)$$

其中: L_{Gj} ——关键层断裂时工作面推进的暴露距离;
 m ——第 j 层关键层以下岩层层数;
 L ——第 j 层关键层应用梁式力学模型计算的初次来压步距或周期来压步距;
 h_i ——第 i 层岩层的厚度;

α_q 和 α_h ——断裂时的前方和后方的断裂角。

3.2 顶板来压特征分析

由于 J7408 工作面上方约 200 m 处即为采空区,关键层的判断直到采空区为止。根据综合柱状图和试验测定的岩石力学参数,选择以上的相关理论,计算得出关键层的位置和关键层的初次来压步距和周期来压步距(表 2)。

表 2 关键层位置及断裂步距

Table 2 The position of key stratum and fracture length				
岩层序号	岩性	关键层	初次来压步距/m	周期来压步距/m
G4	砂质岩	主关键层	175.12	86.20
G8	粉砂岩	亚关键层	81.68	40.55
G12	中粒砂岩	亚关键层	59.04	33.47
G22	中粒砂岩	亚关键层	49.50	26.55

由表 2 可以看出工作面推进过程中各关键层断裂步距不同,进而会出现逐次应力释放现象。分析得出,如果四个关键层都在采动过程中发生破坏,那么在开切眼至 175.12 m 范围内会出现四次顶板断裂来压过程,且每次的来压峰值逐渐增大;在 175.12 m 至 261.32 m 范围内也同样会出现四次顶板断裂,且逐次增大的来压峰值,以后依次类推。

4 基于来压特征确定断裂带高度

4.1 矿压监测

为反映出整个综放工作面的矿压显现规律的实际情况,在综放工作面内间隔一定的距离设置一个矿压测站,一般以测站内的支架作为观测线。共布置 135 架液压支架,选择 9 个液压支架设置 9 条观测线,每条观测线上的液压支架上分别安设直读式压力表和数码连续记录压力计,同时在每条观测线支架的前后排立柱上安设尤洛卡连续监测仪记录支架立柱的循环压力变化,从而掌握整个工作面不同位置及整个综放工作面的矿压显现规律。工作面矿压观测站的布置见图 4。

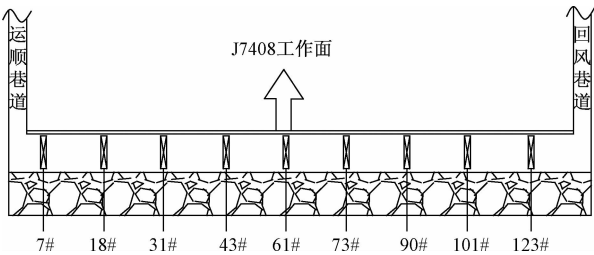


图 4 J7408 综放工作面测站布置图

Fig. 4 The face station layout of J7408 Fully mechanized coal working face

通过对工作面内液压支架循环末阻力数据的连续观测和记录,并将现场观测记录到的工作面内液压支架的载荷数据整理。在工作面正常回采期间,根据每次循环液压支架的循环末阻力读数的变化,绘制出了整个工作面内液压支架的平均循环载荷,随着 J7408 综放工作面的推进,不同推进位置时监测仪器测得的支架阻力见图 5。

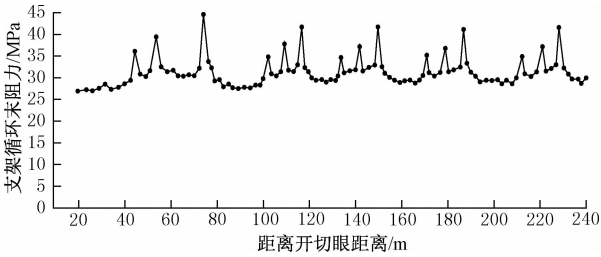


图 5 整面液压支架的 P-L 变化曲线

Fig. 5 The change P-L curve of the whole surface's hydraulic support

根据工作面正常回采期间液压支架的循环末阻力和综放工作面推进距离的变化曲线分析得出,工作面在观测期间内液压支架总共经历了初次来压 1 次,周期来压 4 次,而且每次周期来压前都会出现两次来压突然增高点,然后又恢复到原岩应力。将整个观测过程中的矿压极值点进行整理(表 3)。

表 3 不同推进距离矿压极值点数据统计表

Table 3 Extremum statistics of mine pressure on different working face advancing distance

工作面推进距离/m	顶板应力/MPa	工作面推进距离/m	顶板应力/MPa
45	35.3	151	42.4
54	38.3	173	33.7
75	44.6	181	35.9
102	33.2	189	41.5
110	36.8	214	33.9
117	41.8	223	36.5
134	32.8	231	42.7
143	36.3	—	—

4.2 断裂带高度确定

分析表 3 中数据,每次来压都会出现三个极值点,三个极值依次增大,初次来压步距为 75 m,周期来压步距平均值为 39 m。对比表 2 中的数据可以看出,如果 G4 主关键层不发生折断的情况下,则初次来压的步距为 81.68 m,周期来压步距为 40.55 m,理论计算结果与实测结果一致,而且实测数据极值点出现的位置与理论计算极值点出现的位置也一致,同样是每次来压过程出现了三次的应力释放现象。

通过以上分析得出 G22、G12 和 G8 关键层在工作面推进过程中都发生了断裂, G4 主关键层没有发生断裂, 则断裂带的高度发育到 G4 关键层以下, 通过综合柱状图可以得出断裂带发育的高度为 94.7 m。

5 断裂带高度瞬变电磁法探测

5.1 探测方案

断裂带高度的测量选择瞬变电磁法进行物理探测, 瞬变电磁法是利用不接地线圈向地下发射一次瞬变磁场, 当电流突然切断后, 在地质体内会激发产生感应电流, 产生二次磁场。二次磁场的大小地质体的导电程度有关, 低阻地质体感应二次场衰减速度慢, 电压大; 高阻地质体感应二次场衰减速度快, 电压小。二次磁场向地表传播, 地表接收线圈接收到的是由磁场变化而产生的感应电压, 进而计算出不同探测深度地质体的电阻率, 根据电阻率不同推断岩层的断裂分布情况。^[17]

探测时测线、测点的布置以“由东向西, 由南向北”的原则布置, 根据井田内勘探区域范围在勘探区布置测线、测点, 考虑本次探测目的、地表形态和目标层等因素, 测线、测点间距都选择 35 m。

5.2 探测结果分析

图 6 为工作面开采 180 m 时地质体电阻率分布图, 图中黑色直线为煤层位置。从图中可以看到从 -175 ~ -75 m 的范围形成了电阻率高阻闭合区域, 该区域与工作面的位置一致。在闭合的高阻区域以外等值线连续、均匀层状分布, 说明闭合区域以外的岩层

分布均匀, 岩层整体性没有遭到破坏, 高阻闭合区即为顶板破坏的范围, 该范围内由于采动影响出现了裂隙, 造成岩层电阻突然增大。该探测位置的煤层标高为 -160 m, 电阻率闭合圈范围的最大标高为 -75 m, 则物探结果得出断裂带的上边界距离工作面顶板为 85 m。

6 结论

(1) 理论分析初次来压步距为 81.68 m, 周期来压步距为 40.55 m, 现场实测初次来压步距 75 m, 周期来压步距 39 m, 现场实测的数据与理论分析数据保持一致, 两个结果起到了相互验证的作用。

(2) 根据实测的顶板来压规律, 可以得出主关键层没有发生断裂, 对其上部的岩层起到了保护作用, 根据来压规律得出顶板的断裂带发育到 G4 主关键层以下停止向上发育, 对比综合柱状图得出断裂带的高度为 94.7 m; 瞬变电磁法探测顶板断裂带的高度为 85 m, 与根据矿压显现规律分析顶板断裂带高度方法得出的结果一致。

(3) 理论分析和现场实测的数据都显示, 由于主关键层和亚关键层位置的不同工作面顶板的来压过程是一个应力逐次释放的过程, 在一次来压周期内的应力释放是逐次增大的。文中提出的根据工作面来压特征, 分析顶板断裂带高度预测方法在工程中也是完全可行的, 而且精度较高。

参考文献:

- [1] 钱鸣高, 石平五, 许家林. 矿山压力与岩层控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
QIAN Minggao, SHI Pingwu, XU Jialin. Mining pressure and strata control [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2010.
- [2] 刘天泉. 矿山岩体采动影响与控制工程学及其应用 [J]. 煤炭学报, 1995(1): 1-5.
LIU Tianquan. Influence of mining activities on mine rockmass and control engineering [J]. Journal of China Coal Society, 1995(1): 1-5.
- [3] 许家林, 钱鸣高. 覆岩关键层位置的判别方法 [J]. 中国矿业大学学报, 2000(5): 21-25.
XU Jialin, QIAN Minggao. Method to distinguish key strata in overburden [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000(5): 21-25.
- [4] 杜计平, 张先尘, 贾维勇, 等. 煤矿深井采场矿压显现及其控制特点 [J]. 中国矿业大学学报, 2000(1): 82-84.
DU Jiping, ZHANG Xianchen, JIA Weiyong, et al.

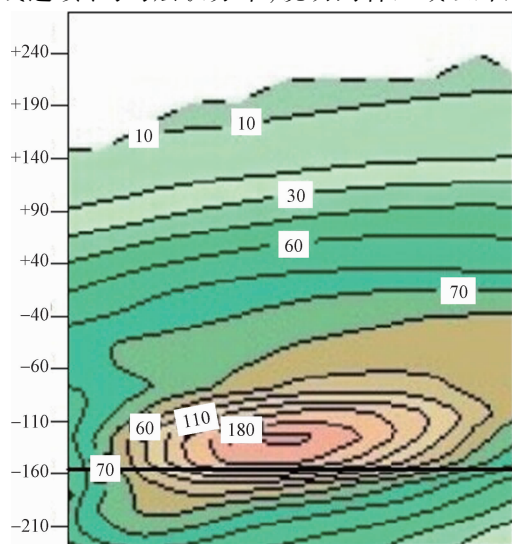


图 6 采后地质体电阻率分布图

Fig. 6 Postharvest the distribution map of geological body resistivity

- Characteristics of strata behaviors and roof control for long wall faces in deep mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000 (1): 82 - 84.
- [5] 王家臣,陈贵. 极软煤层轻放开采工作面矿山压力显现规律分析[J]. 中国矿业, 2005(12): 56 - 59.
WANG Jiachen, CHEN Gui. A study on the mine pressure law on the dead soft blast layer working face [J]. China Mining Magazine, 2005(12): 56 - 59.
- [6] 张宏伟,朱志洁,霍利杰,等. 特厚煤层综放开采覆岩破坏高度[J]. 煤炭学报, 2014(5): 816 - 821.
ZHANG Hongwei, ZHU Zhijie, HUO Lijie, et al. Overburden failure height of superhigh seam by fully mechanized caving method[J]. Journal of China Coal Society, 2014(5): 816 - 821.
- [7] 曹丁涛,李文平. 煤矿导水裂隙带高度计算方法研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(1): 63 - 69.
CAO Dingtao, LI Wenping. Estimation method for height of featured zone with water flow in coal mining area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(1): 63 - 69.
- [8] 陈峰. 基于数值模拟的采动影响下覆岩裂隙演化过程分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(2): 60 - 64.
CHEN Feng. Numerical simulation study of overlying strata crack evolution process influence by mining[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(2): 60 - 64.
- [9] 彭永伟,齐庆新,李宏艳,等. 高强度地下开采对岩体断裂带高度影响因素的数值模拟分析[J]. 煤炭学报, 2009(2): 145 - 149.
PENG Yongwei, QI Qingxin, LI Hongyan, et al. Numerical simulation and analysis on influencing factors of fractured zone height of high-strength underground mining [J]. Journal of China Coal Society, 2009(2): 145 - 149.
- [10] 许家林,朱卫兵,王晓振. 基于关键层位置的导水裂隙带高度预计方法[J]. 煤炭学报, 2012(5): 762 - 769.
XU Jialin, ZHU Weibing, WANG Xiaozhen. New method to predict the heigh of factured water-conducting zone by location of key state [J]. Journal of China Coal Society, 2012(5): 762 - 769.
- [11] 许家林,王晓振,刘文涛,等. 覆岩主关键层位置对导水裂隙带高度的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2009(2): 380 - 385.
XU Jialin, WANG Xiaozhen. LIU Wentao, et al. Effects of primary key stratum location on height of water flowing fracture zone [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009(2): 380 - 385.
- [12] 黄炳香,刘长友,许家林. 采动覆岩破断裂隙的贯通度研究[J]. 中国矿业大学学报, 2010(1): 45 - 49.
HUANG Bingxiang, LIU Changyou, XU Jialin. Research on through degree of overlying strata fracture fissure induced by mining [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2010(1): 45 - 49.
- [13] 题正义,秦洪岩,曹艺钟. 基于敏感度分析的导水断裂带高度 DM-L 优化模型[J]. 华中师范大学学报, 2014(5): 673 - 676.
TI Zhengyi, QIN Hongyan, CAO Yizhong. DM-L optimization model of height of water flowing fractured zone based on sensitivity analysis [J]. Journal of Hua Zhong Normal University (Nat. Sci.), 2014(5): 673 - 676.
- [14] 孙云普,王云飞,郑晓娟. 基于遗传-支持向量机法的煤层顶板导水断裂带高度的分析[J]. 煤炭学报, 2009(12): 1610 - 1615.
SUN Yunpu, WANG Yunfei, ZHENG Xiaojuan. Analysis the height of water conducted zone of coal seam roof based on GA-SVR [J]. Journal of China Coal Society, 2009(12): 1610 - 1615.
- [15] 陈佩佩,刘鸿泉,朱在兴,等. 基于人工神经网络技术的综放导水断裂带高度预计[J]. 煤炭学报, 2005(4): 438 - 442.
CHEN Peipei, LIU Hongquan, ZHU Zaixing, et al. Height forecast of water conducted zone with top coal caving based on artificial neural network [J]. Journal of China Coal Society, 2005(4): 438 - 442.
- [16] 马亚杰,李建民,郭立稳,等. 基于 ANN 的煤层顶板导水断裂带高度预测[J]. 煤炭学报, 2007(9): 926 - 929.
MA Yajie, LI Jianmin, GUO Liwen, et al. Heigh prediction of water fractured zone based on ANN [J]. Journal of China Coal Society, 2007(9): 926 - 929.
- [17] 付宝杰,高明中,涂敏,等. 组合硬岩层顶板破断规律及导水裂隙带电法探测[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(2): 140 - 144.
FU Baojie, GAO Mingzhong, TU Min, et al. Composite hard strata break rules and the electric tests fractured of water-conducting zone [J]. Hydrogeology & engineering Geology, 2015, 42(2): 140 - 144.