

文章编号:1001-1986(2004)06-0045-03

# 河南省煤矿水害的构造控制作用研究

王志荣<sup>1,2</sup>, 胡社荣<sup>1</sup>, 陈玲霞<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学资源与安全学院, 北京 100083; 2. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**河南省煤矿系我国大水矿区, 水害问题严重制约全省煤炭工业的发展。本文根据大量原始水文地质资料和矿井突水案例, 综合分析和研究了煤田构造对矿井突水的控制作用, 并提出了相应的研究对策, 对矿井水害的治理具有一定的实用意义。

**关键词:**煤田构造; 矿井突水; 水害控制; 灾害防治; 河南省

**中图分类号:** P641.4 **文献标识码:** A

## 1 引言

河南省煤田位于华北古板块南部, 为典型的华北型石炭二叠系煤田, 构造位置处于稳定区与活动带之间的过渡区域。中生代构造运动导致板内煤系地层强烈变形和矿井地质灾害的频发。尤其是地下水害, 与国内其他产煤地区乃至世界主要产煤国家相比, 无论从受水威胁的面积上, 还是类型上, 或严重程度都是罕见的, 已引起国内外的广泛关注。

## 2 煤矿水害成因分类

分析河南省煤矿的水害现状, 以及建国以来历次突水淹井事故, 根据其形成机理, 矿井水害大致可分为采掘型突水和构造型突水两种基本类型。

### 2.1 采掘型突水

采掘型突水指煤矿在建设生产过程中, 巷道直接揭露含水层或采区采动裂隙切割至含水层而造成矿井充水。在河南省矿井采掘型突水表现为: 煤层底板太原组  $L_{7-8}$  (平顶山矿区为  $L_2$ ) 岩溶含水层或煤层顶板下石盒子组诸砂岩含水层直接向矿坑充水。采掘型突水形成机理简单, 静水储量有限。正常情况下若无构造影响形成含水层之间的水力联系, 则将其疏干即可, 矿井防治水相对简单。

### 2.2 构造型突水

构造型突水 (又称断层型突水), 主要指由于断层构造造成煤层直接与含水层对接, 或由于构造破碎带造成各含水层之间的水力联系而引起的突水。这种类型的突水, 水量大且速度快, 大规模的淹井事故都属此型。

断层带本身不仅赋存大量地下水, 成为矿井充水水源, 它还能使各个被切割的含水层发生水力联系,

形成充水网络。焦作矿区的九里山井田, 是构造型突水的一个典型。井田为隐伏型煤田, 单斜构造, 倾向南东  $150^\circ$  左右, 倾角  $10 \sim 16^\circ$ 。区内发育两组断裂构造, 一组为北东东向, 主要有马坊泉断层; 另一组为北西向倾向断层, 主要有方庄断层和魏南断层。上述两组断层均属张扭性高角度正断层, 构成地堑型断块构造。该矿自 1982 年 8 月至今, 已发生大于  $5 \text{ m}^3/\text{min}$  的  $L_8$  灰岩突水 7 次。最大突水水量  $34 \text{ m}^3/\text{min}$ , 稳定水量  $30 \text{ m}^3/\text{min}$ 。7 个主要突水点, 均分布在矿井两翼的一二采区回采工作面上。该地段是北东东向断层和北西向断层的交汇地段, 各种规模的断层密集分布。常常使下盘二灰 ( $L_2$ ) 和奥灰 ( $O_2$ ) 含水层抬起, 直接与现采块段的直接充水含水层  $L_8$  对接, 或者与对盘的二叠系煤系地层相接触而引起突水。矿井虽经多年排水,  $L_8$  水位最大降深约 90 m, 大部分煤层仍承受较大水压, 特别是赋存在井田中部地堑构造下陷断块中的煤层水压高达 3.50 MPa, 矿井仍受突水威胁。

## 3 煤矿水害的构造控制因素

豫西煤田构造, 主要是以掀斜断块为主要标志的伸展构造和沿盖层中软弱层位发育的重力滑动构造, 是河南省煤田尤其是豫西煤田内最富特色的构造现象 (马杏垣, 1981; 李万程, 1979; 王昌贤, 1984; 曹代勇, 1985), 两者与早期形成的宽缓褶皱一起构成矿区盖层的构造骨架。

豫西煤田上述构造特征与我国其他地区相比都具有独特之处, 断块掀斜的张裂作用使含煤岩系变得岩石破碎, 裂隙密布, 为岩溶的发育和地下水的赋存创造了有利条件。尤其是沿煤层发育的重力滑动构造, 直接造成矿体构造破坏和“三软” (软顶、软底、

收稿日期: 2004-02-24

作者简介: 王志荣 (1963—), 男, 浙江嘉兴人, 郑州大学副教授, 中国矿业大学 (北京) 博士研究生, 环境与水利工程专业。





软煤)煤层的形成,严重威胁矿井安全生产。而且随着煤炭资源的不断开发,越来越多的矿井,其中有相当一部分大型骨干矿井(如平顶山)已进入深部开采,构造控水问题尤其突出显现。

### 3.1 褶皱构造对矿井突水的控制作用

褶皱构造对矿井突水的控制作用首先表现为:褶曲两翼地层倾角的大小决定了含水层的出露面积和分布范围。含水层倾角越缓,出露的面积越大,地下水补给面积越大,矿井突水就越严重(表 2)。

此外,褶皱构造还控制着岩溶地下水的径流和富集。背斜构造轴部一般发育纵张裂隙,既有利于地下水活动和岩溶作用的进行,又往往形成相对富水地段。发育在豫西荥密背斜轴部的圣水峪泉就是一个很好的例子,其流量曾达  $0.663 \text{ m}^3/\text{s}$ 。此外背斜构造的倾伏端也是地下水的富集部位,位于超化背斜东倾伏端的超化泉群流量也曾达  $1.03 \sim 2.05 \text{ m}^3/\text{s}$ 。向斜构造轴部情况比较复杂,中性层以上地层受挤压后呈密实状态,岩溶发育程度差;中性层以下岩层受拉张后呈破碎状态,岩溶发育往深处延伸。新密复向斜近轴部抬起端的超化煤矿,奥灰发育标高深达  $-265 \text{ m}$ ,矿井深受奥灰水害威胁。同一构造区的芦沟煤矿于 1997 年 5 月 4 日发生特大淹井事故,突水点位于接近岳村向斜核部的 26 采区下山外环水仓处。该地带小断层密集分布,二<sub>1</sub>煤层底板保留的隔水层厚度仅  $0.5 \sim 0.6 \text{ m}$ 。在强大的水压与矿压共同作用下,奥灰水突破底板进入巷道,突水点最大涌水量达  $3\,440.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ,全矿总涌水量达  $4\,187.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ,最终造成矿井被淹。

### 3.2 断层构造对矿井突水的控制作用

豫西煤田盖层构造的断块掀斜作用,导致了岩体的伸展运动和拉张变形,在地层内部制造出大量空隙,因而对矿区水文地质条件最富有控制意义。大量突水事例表明,断层构造往往是构成各种水源进入矿井的直接通道,它能引发矿坑突然涌水甚至大规模淹井事故。因而研究断层本身的水理性质(持水性、给水性、渗透性)及水理性质的时间效应对矿井水害防治都是非常有意义的。

众所周知,断层的透水性主要受断层的力学性质、两盘的岩性条件、构造岩胶结程度、构造岩抗压强度、断层带静水力动水力的大小及采矿活动等因素的影响。豫西煤田内断层的透水性及对水害的控制作用也理应从上述诸因素进行综合分析。

#### 3.2.1 断层力学性质对矿井突水的影响

压性或压扭性断层常形成断层泥和伴生剪节理,断层带平直且比较致密,透水性弱。豫西郑州矿

表 2 可溶岩裸露程度与突水量统计表(据李栋臣,1996)

矿区名称	裸露区 /km <sup>2</sup>	分布区 /km <sup>2</sup>	开启 程度	泉水流量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	最大突水量 /m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup>
安阳矿区	289	604	0.478	1.45 ~ 2.23	24.4
鹤壁矿区	545	1313	0.415	6.43 ~ 8.43	225
焦作矿区	1073	1592	0.67	10 ~ 13	320
荣巩矿区	264.8	780	0.25	2.26	60.5
新密矿区	168.5	811.5	0.208	2.206	75.25
朝川矿区	15	130	0.11	< 0.3	17.4

区大平煤矿位于著名的芦店滑动构造南缘挤压带内,矿区逆冲断裂发育。如西大巷揭穿落差约  $80 \text{ m}$  的  $F_8$  断层,该断层带宽仅为  $2 \text{ cm}$ ,青灰色断层泥致密坚硬,无任何渗水现象,因而被大巷顺利通过。正是由于上述构造特征,使该矿自 1986 年投产以来从未发生过断层突水,如此简单的矿井水文地质条件在矿井水患严重的豫西地区实属罕见。

张性或张扭性断层常形成构造角砾岩和伴生张节理,断层带宽且比较疏松,透水性好。特别是多组断层的交汇地带往往赋存丰富的地下水。豫西新密矿区发育东西向、北西向和北东向的 3 组高倾角张性断层,最大断距达  $1\,500 \text{ m}$ ,对地层的切割十分强烈。断层带或断层交汇带极为富水,如灰徐沟翻花泉群就出露在北东向灰徐沟断层与东西向铁匠炉断层的交汇处,泉水流量达  $0.156 \text{ m}^3/\text{s}$ 。超化矿生活区 4 号水井就是布置在樊寨断层与河西断层交汇处,在  $378 \text{ m}$  遇断层破碎带,可满足  $2\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  的供水需要。

#### 3.2.2 断盘及岩性对矿井突水的影响

河南省豫西煤田的断层构造,具有其上盘在掀斜作用下作旋转伸展运动的特征。正断层上盘近断面一带张应力集中,岩性破碎,裂隙密布。位于新密矿区南缘的月湾断层,在河南省密县平陌—超化一带广泛出露,该断层下盘震旦系红色粉砂岩岩性极为坚硬,无任何构造变形迹象。而上盘  $P_2^1$  上石盒子组泥质粉砂岩强烈破碎,张裂隙密度为  $12 \text{ 条}/\text{m}$ ,宽度达  $120 \text{ m}$ 。断层上下盘这种构造变形的强烈差异,使得断层上盘岩性破碎或岩溶充分发育,为地下水富集创造了外部条件。如郑州矿务局的五里店正断层、染匠沟正断层和樊寨正断层,其上盘破碎带都极其富水。巷道揭露上述断层的上盘后,矿井随即发生灾害性淹井事故,突水量分别为  $1\,400 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $800 \text{ m}^3/\text{h}$  和  $1\,724 \text{ m}^3/\text{h}$ 。义马矿务局新安煤矿主要边界断层也属于这种情况。如井田西部的  $F_{38}$  正断层,上盘十分富水有泉水出露,流量为  $694.8 \sim 1\,360.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,下盘 001 孔抽水试验  $q = 0.014 \text{ m}^3/\text{h}$ ,基本不含水。井田东部的  $F_2$  正断层,据 81 号孔揭露在上盘山西组





层位发生漏水, 而据 3501 孔下盘抽水试验  $q = 0.004 \text{ m}^3/\text{h}$ , 基本不含水, 表明该断层上下盘空隙发育(或含水性)极不均匀。河南省煤矿几乎所有大规模突水、淹井事故均发生在正断层上盘断面附近。

此外, 断层两盘的岩性也影响着地下水的富集。当断层两盘都是坚硬脆性岩石时, 断层带的破碎程度就会相对变大。郑州矿务局王沟煤矿工业广场水井终孔层位为  $F_1$  断层带, 断层两盘均为坚硬的奥陶系灰岩, 断层水水量十分丰富, 在水位降深 4 m 时, 就出水  $8\ 200 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 如断层一侧为坚硬岩层, 另一侧为软弱岩层时, 断层带的破碎程度就会相对变小, 透水性也会变弱; 当断层两盘均为软弱岩层时, 则断层会呈现弱透水甚至隔水性质。

### 3.2.3 断层带岩体强度对矿井突水的影响

矿坑对断层破碎带的揭露, 改变了围岩的应力状态。地下洞室周边首先产生应力集中带, 使得强度本来就低的构造碎屑发生剪切破坏, 从而形成一定范围的塑性圈。随着地下水原始渗流场边界条件的改变和地下水动力满足一定条件时, 断层破碎带就会发生其特有的矿井水害最高形式—碎屑流事故。

矿井碎屑流灾害的形成大致分为两个过程: 第一, 断层带中的构造碎屑胶结微弱, 抗剪强度低, 在地应力作用下逐渐破碎, 岩体力学性质随即向土颗粒力学性质转变。第二, 当渗流场水力坡度大于临界水力坡度时, 构造碎屑将被地下水带出岩体空洞形成碎屑流。

郑州矿务局王庄煤矿 45081 工作面于 1999 年 4 月 7 日从运输大巷向北开口进巷, 在 65 m 处第三次揭露  $F_8$  断层( $210^\circ \angle 80^\circ$ ,  $h = 14 \text{ m}$ ), 4 月 25 日断层带开始出水, 并伴有巨大响声, 初始涌水量  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ , 水中夹带大量泥砂碎屑, 呈黄褐色浑浊状。6 月 1 日 11 时水量逐渐增大, 最大涌水量为  $324 \text{ m}^3/\text{h}$ , 6 月 4 日水量逐渐趋于稳定( $220 \text{ m}^3/\text{h}$ ), 水质开始变清。矿井总涌水量接近最大排水能力, 严重威胁矿井安全生产。

整个突水过程正好说明了矿井地下水机械潜蚀的突水机理: a. 在强大的水头压力及矿山压力的共同作用下, 断层带应力不断集中并达到极限状态。岩体破坏时伴随着巨大响声而发生应力释放; b. 灰岩裂隙及断层带中的碎屑颗粒在动水力的作用下产生渗透变形而形成碎屑流; c. 奥陶系灰岩空隙中的颗粒被带走后, 水量逐渐增大并趋于稳定。

### 3.2.4 断层带时间效应对矿井突水的影响

工程实践和试验表明, 岩石和岩体均具有流变

性。特别是软弱岩石、断层破碎带及碎裂结构岩体, 其变形的时间效应明显, 蠕变特征显著。有些断层突水, 往往不是荷载过高, 而是在应力较低且不变的情况下岩体即产生了蠕变。因此, 当采矿活动引起矿压变化时, 断层带的水理性质会伴随着巷道的冒顶、底鼓、片帮等变形而发生变化。

郜城井田  $F_1$  断层带在勘探阶段并不富水, 经抽水试验断层带寒武系层位  $Q$  仅为  $0.1 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。矿井投产后布置卸载坑检查孔, 断层带奥陶、寒武系石灰岩含水层  $Q$  达  $2 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ , 有一孔竟达  $73 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。有的断层甚至在采掘工程穿过一段时间后, 发生滞后突水。例如鹤壁五矿南翼二水平中间下山, 在穿过  $F_{304}$  一小分支断层(落差  $0.4 \text{ m}$ )数日后, 其底板鼓起, 随即发生  $L_8$  灰岩突水, 突水量高达  $1\ 210 \text{ m}^3/\text{h}$ , 险淹二水平; 五矿三水平南大巷, 在掘过一条落差  $1.5 \text{ m}$  的断层(断层带宽  $6 \text{ m}$ )10 d 后, 发生  $L_8$  含水层突水, 突水量为  $285 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

上述实例警示, 对矿井揭露的所谓隔水断层, 也要认真研究断层带内构造岩的流变性并严格监控其水理性质随时间的变化, 绝不可掉以轻心。

## 4 结语

大量矿井水文地质资料和突水案例表明, “构造控水”在河南省煤矿是一个普遍存在的地质现象, 也是当前煤田地质研究领域出现的新问题, 它不仅包含传统构造地质学的内容, 而且还涉及岩体力学、流体力学和水文地质学等知识。矿井地质工作者在掌握煤田构造几何学、运动学和动力学特征的同时, 还须侧重研究构造软弱岩体的物理性质、力学性质、水理性质以及对采掘工程的影响, 为矿井地质灾害(尤其是地下水害)防治提供新的理论依据, 亦为我国煤田地质学的不断发展和完善作出应有的贡献。

## 参考文献

- [1] 牛景才, 赵苏启. 郑州矿区找水布井的体会[J]. 中州煤炭, 1992, (5): 34-36.
- [2] 赵苏启. 登封一新密煤田滑动构造的水文地质特征[J]. 煤田地质与勘探, 1993, 21(1): 53-54.
- [3] 刘生优. 淮北期里矿六煤层水害防治探讨[J]. 焦作矿业学院学报, 1993, 12(4): 10-15.
- [4] 冯国栋. 土力学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [5] 王志荣等. 河南省煤矿水害防治探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 1994, 5(3): 21-24.
- [6] 李正根. 水文地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1980.
- [7] 王志荣. 小浪底水库蓄水运行对矿井水害防治的影响评价[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(5): 61-65.
- [8] 王志荣. 郜城井田  $F_1$  滑动构造工程地质水文地质特征及灾害防治[J]. 地质灾害与环境保护, 2003, 14(4): 21-24.



文章编号: 1001-1986(2004)06-0048-04

# 大柳树坝址岩体破坏机制分析

王勇智, 戚 炜, 门玉明, 彭建兵

(长安大学地质工程系, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 大柳树坝址区存在大面积、大范围的岩体松动破坏现象。为进一步研究其松动破坏的成因机制, 在详细调查区域地质背景条件及区域地震动力作用基础之上, 提出了地震动力作用与岩体松动现象的内在联系, 并通过动力模拟试验和动力数值分析, 进一步证明岩体松动破坏现象与历史上该地区发生的强烈地震具有密切关系。因此, 在目前的工程地质条件下, 一旦发生较大强度的地震活动, 坝址区所遭受的破坏程度会更大, 对拟建的水利工程设施将产生严重威胁。

**关键词:** 岩体松动; 地震动力; 模拟试验; 大柳树坝址

**中图分类号:** TU452 **文献标识码:** A

## 1 引言

黄河黑山峡河段从甘肃省靖远县大庙村入峡, 至宁夏回族自治区中卫县小湾村上游出峡, 全长 71 km。大柳树坝址位于峡谷出口以上 2 km。前期的勘察表明, 大柳树坝址区存在大面积、大范围内岩体松动现象。其主要特征是应力释放, 结构面张开, 密度显著下降<sup>[1]</sup>, 而且大量的勘探工程揭露和多种方法测试实际资料表明, 大柳树岩体松动现象无法用风化、静力卸荷及褶皱构造给以科学合理的阐释<sup>[1]</sup>。课题组提出了大柳树岩体的地震松动成因机制, 进行了坝址区坝基岩体地震动力模拟试验和坝基岩体的动力三维有限元模拟计算。

## 2 地质背景条件

### 2.1 区域构造背景

研究区地处青藏高原东北缘, 大地构造上属祁连褶皱带的走廊过渡带东段, 位于三大构造单元的交界处。东面是鄂尔多斯块体, 西北部为阿拉善块体, 西南部由祁连地槽褶皱系的主体构成, 是一个活动构造带<sup>[2]</sup>。大柳树地区恰位于该构造块体内部次级构造单元的分界带, 即分割香山断褶和甘塘一中

卫断陷的中卫一同心断裂带内。

### 2.2 新构造运动

由于第三纪以来, 青藏高原块体受到印度板块向北持续挤压作用, 导致高原块体南北方向大幅度收缩与垂直方向上的快速隆升, 并成为全球大陆地壳晚第三纪以来活动性最强、上升幅度最大的地区。因此, 该区为全球陆内地震活动最为集中而强烈的分布区带之一。在此过程中, 由于祁连山褶皱系位于青藏高原的东北缘的峰端地带, 同时受到东面的鄂尔多斯地块、北面的阿拉善地块的限制, 在高原块体的推挤下产生强烈的新构造变动, 最显著的构造效应是发育一系列与其周边走向平行的弧顶指向东北的弧形活动构造带。这些活动断裂带规模大, 延伸长度可达 200~500 km, 控制着本区现今活动格局。其中, 中卫一同心断裂带为 1709 年中卫 7.5 级地震发震断裂带<sup>[3]</sup>。

### 2.3 坝址区构造

大柳树坝址区位于中卫一同心活动断裂带中, 由十数条压扭性逆冲断层组成, 各断层规模不一。断裂带总体宽约 4.5 km, 在坝址区近东西向排列, 南边以 F<sub>1</sub> 为界, 北边以 F<sub>202</sub> 为界。中间有 F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>7(8)</sub>、F<sub>203</sub>、F<sub>201</sub> 等。这些断层平面上近东西向平行展

收稿日期: 2004-03-05

基金项目: 甘肃省科学技术委员会资助项目(G01-0016)

作者简介: 王勇智(1969-), 男, 江苏省姜堰市人, 长安大学讲师, 在读博士, 从事地质工程与岩土工程的教学与科研工作。

## Tectonic control on water hazards of coal mine in Henan Province

WANG Zhi-rong<sup>1,2</sup>, HU She-rong<sup>1</sup>, CHEN Ling-xia<sup>2</sup>

(1. College of Resource and Security Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

2. College of Environmental and Hydraulic Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** The coal mine of Henan province is surely the abundant water mining area in China. Serious water problem restricts the development of coal industry of this province. On the basis of a large amount of hydrogeological data and example of mining water bursting, a synthetical and systematical study about the tectonic control on mining water bursting is presented in this paper and corresponding research methods are proposed.

**Key Words:** coal structure; mine water bursting; water disaster control; prevention of hazard; Henan Province