

王河煤矿煤层发生矿井突水的灰色风险评价^{*}

王家海, 宋延斌, 张顺斌, 周小亮, 王 凯

(重庆市高新岩土工程勘察设计院, 重庆 400042)

摘 要: 矿井发生突水事故受诸多因素影响, 既有自然因素也有人为因素, 而其中许多因素存在灰色不确定性特征。王河煤矿位于荃巩矿区中部, 单一开采太原组一1煤层, 属带压开采, 是荃巩矿区矿井水害最为严重的矿井之一。自投产以来累计发生突水事故达50余次, 并造成淹井2次。通过对井田及与其处于同一水文地质单元且开采同一煤层的邻近矿井已发生的突水事故情况进行统计分析, 采用灰色风险模型对王河煤矿今后开采一1煤层发生矿井突水的可能性进行了评价, 计算了灰色风险率和灰色风险度, 为王河煤矿制定矿井水害防治规划提供了依据。

关键词: 矿井突水; 灰色风险评价; 灰色风险率; 灰色风险度

中图分类号: TD26

文献标识码: A

文章编号: 1673-0836(2008)06-1157-04

Mine Water Inrush Grey Risk Estimation for Coal Seam in Wanghe Coalmine

WANG Jia-hai, SONG Yan-bin, ZHANG Shun-bin, ZHOU Xiao-liang, WANG Kai

(Chongqing Hi-Tech Geotechnical Engineering Reconnaissance & Designing Institute, Chongqing 400042, China)

Abstract: There are many factors affecting mine water inrush accidents, including both natural and artificial factors, many of which have the characteristics of grey uncertainty. Wanghe Coalmine lies in the middle of Xing-Gong Coalfield, which mines -1 coal seam of Taiyuan Group only. The mining method of Wanghe Coalmine belongs to the method of mining under safe water pressure of aquifer. Wanghe Coalmine is one of the most serious of coal mine water calamity in Xing-Gong Coalfield. Accumulatively, more than 50 water inrush accidents have happened within 2 coal mine submerged accidents since the coal mine put into production. By statistic and analyzing the water inrush accidents in the coalmine and adjacent coalmines lying in the same hydrogeologic unit and mining the same coal seam, using the grey risk calculation model to estimate the risk of water inrush for Wanghe Coalmine to mine -1 coal seam, we calculated the grey risk probability and grey risk degree, which will serve Wanghe Coalmine to constitute the countermeasures of mine water inrush prevention.

Keywords: mine water inrush; grey risk estimate; grey risk probability; grey risk degree

1 引言

我国华北地区煤矿普遍受底部奥陶系灰岩岩溶水的威胁, 造成40%左右的煤炭不能正常开采^[1], 并且经常发生矿井突水甚至淹井事故。

鹤煤集团王河煤矿位于荃阳市西南部刘河镇境内, 始建于1969年, 历经多次改扩建, 现设计生产能力为30万t/a。矿井采用立井单水平上下山开拓, 单一开采石炭系太原组一1煤层。矿井水文地质条件复杂, 属三类二亚类三型水文地质勘探类

^{*} 收稿日期: 2008-08-17(修改稿)

作者简介: 王家海(1969-), 男, 四川南江人, 成都理工大学地质工程专业硕士研究生毕业, 高级工程师, 主要从事岩土工程勘察、设计及相关科研工作。E-mail: wjbo503@sina.com

型。矿井自投产以来共发生突水事件 51 次,其中突水量大于 $60 \text{ m}^3/\text{h}$ 的 26 次,并造成淹井 2 次。目前矿井涌水量为 $1200 \text{ m}^3/\text{h}$,有两处排水泵房,总排水能力为 $4750 \text{ m}^3/\text{h}$,水仓有效容积 12200 m^3 ,大巷 ± 0 水平以上已经开采完毕,矿井生产全部转入下山,并且随着东半部资源开采殆尽,矿井今后的生产重点将转向西半部。王河煤矿西与米河煤矿和新中煤矿毗邻,这两个煤矿同样开采石炭系太原组一 1 煤层,且具有相似水文地质条件。新中煤矿东半部、整个米河煤矿和王河煤矿西半部同处古城寨断裂(F27)强富水带,发生在该断裂富水带内的矿井突水事故已达数十起,其中造成新中煤矿和米河煤矿淹井各一次。新中煤矿发生 21 次矿井突水事故中,有 14 次位于该断裂富水带。王河煤矿运输大巷在向西掘进过程中亦发生多次突水事故,最大突水量达 $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ 。矿井突水频繁,已经成为威胁安全生产的最大障碍。随着开采深度的加大,煤层顶底板承受的水压力越来越大,矿井发生突水的几率也越来越高。但是王河煤矿今后发生突水的概率究竟有多大、发生突水的影响程度又有多大,尚需进行评价。

2 模型简介

“灰色”理论是邓聚龙在 20 世纪 70 年代末、80 年代初提出的,用来解决“数据少”与“信息不确定”的问题^[2,3],目前已被广泛应用到自然科学和社会科学的多个领域^[4-10]。吴泽宁等人以灰色系统理论为基础,将风险的概念及表示方法与之相结合,针对水资源系统决策过程中部分信息的不确定性,提出了灰色风险评价的计算模型和方法^[11]。王志荣等人采用该模型,对新安煤矿单个井田内现有开采水平的矿井突水资料进行统计分析,为该矿以后进入更低开采水平开采作业发生突水的风险进行了评价^[12]。本文亦采用该模型,以王河煤矿井田内和相邻开采同一煤层且处于同一水文地质单元内的两个井田已发生的突水资料为基础,对该矿进行了矿井突水的灰色风险评价。

2.1 随机事件的风险率和风险度

在风险分析中,风险率和风险度是对风险出现的可能性及大小的两种度量方法:风险率是基于风险出现的概率的度量;风险度是基于风险的变异性测度的度量,可以理解为风险的危害程度。

随机事件 A 的概率 $P(A)$ 表达为:

$$P(A) = \int_A dp; \quad (1)$$

或

$$P(A) = \sum_{x_i \in A} p(x_i); \quad (2)$$

$$P(A) = \int_A f(x) dx = E(f(x)). \quad (3)$$

式中: $f(x)$ 为 A 的特征函数; $E(\cdot)$ 为期望值。

根据事件 A 的性质,风险率有两种确定方法:

(1) 如果事件 A 为“失事事件”(如淹井事故),则事件 A 的风险率就是事件 A 的概率,即:

$$FP = P(A)$$

(2) 如果事件 A 为“安全事件”(如矿井排水能力内突水),则事件 A 的风险率就是事件 A 的概率,即

$$FP = 1 - P(A) \quad (4)$$

期望值计算式:

$$E(x) = \sum_{x_i \in A} x_i p(x_i); \quad (5)$$

或

$$E(x) = \int_A x f(x) dx. \quad (6)$$

式中: $x_i, p(x_i)$ 为离散型风险变量及相应的概率; $f(x)$ 为连续型风险变量的密度函数。

标准差计算式为:

$$= \sqrt{D(x)} = \sqrt{E(x - \bar{x})^2}; \quad (7)$$

风险度(即变异系数)计算式为:

$$FD = \frac{\sigma}{E(x)} \quad (8)$$

2.2 灰色风险率计算

将上述风险率、风险度计算方法引进到灰色系统中,得到灰色风险分析的计算模型。灰色事件 \hat{A} 的灰色概率 $P(\hat{A})$ 表达为:

$$P(\hat{A}) = \int_U \frac{\bar{\mu}(x) + \underline{\mu}(x)}{2} dp = E\left(\frac{\bar{\mu}(x) + \underline{\mu}(x)}{2}\right);$$

或

$$P(A) = \sum_{x_i \in A} \frac{\bar{\mu}(x_i) + \underline{\mu}(x_i)}{2} p(x_i). \quad (9)$$

式中: $p(x_i)$ 为 x_i 对应的概率;其它符号同前。

设灰色事件 \hat{A} 的灰色概率为 $P(\hat{A})$,则灰色风险率的计算也有两种情况:

(1) 如果灰色事件 \hat{A} 为“失事事件”(如淹井事故),则灰色事件 \hat{A} 的灰色风险率就是灰色事件 \hat{A} 的概率,即

$$FP(\hat{A}) = P(\hat{A}) \quad (10)$$

(2) 如果灰色事件 \hat{A} 为“安全事件”(如矿井排

水能力内突水),则灰色事件 \hat{A} 的灰色风险率计算公式为:

$$FP(\hat{A}) = 1 - P(\hat{A}) \tag{11}$$

灰色风险率表示灾害出现可能性的大小,其数值越大,出现灾害的可能性也越大。

2.3 灰色风险度计算

灰色事件 A 的期望值:

$$E(\hat{A}) = \frac{\int_u^x \frac{\bar{\mu}(x) + \underline{\mu}(x)}{2} dp}{\int_u^x \frac{\bar{\mu}(x) + \underline{\mu}(x)}{2} dp} = \frac{\int_u^x \frac{\bar{\mu}(x) + \underline{\mu}(x)}{2} dp}{P(\hat{A})}; \tag{12}$$

或
$$E(\hat{A}) = \frac{\sum_{x_i \in \hat{A}} \frac{\bar{\mu}(x_i) + \underline{\mu}(x_i)}{2} p(x_i)}{P(\hat{A})}。 \tag{13}$$

方差计算式为:

$$\sigma^2(\hat{A}) = \frac{1}{P(\hat{A})} \int_u^x (x - E(\hat{A}))^2 \frac{\bar{\mu}(x) + \underline{\mu}(x)}{2} dx = E(\hat{A}^2) - (E(\hat{A}))^2。 \tag{14}$$

其中,
$$E(\hat{A}^2) = \frac{1}{P(\hat{A})} \int_u^x x^2 \frac{\bar{\mu}(x) + \underline{\mu}(x)}{2} dp \tag{15}$$

灰色事件 \hat{A} 的灰色风险度计算式为

$$FD(\hat{A}) = \frac{\sqrt{\sigma^2(\hat{A})}}{E(\hat{A})} = \frac{\frac{\int_u^x \frac{1}{P(\hat{A})} (x - E(\hat{A}))^2 \frac{\bar{\mu}(x_i) + \underline{\mu}(x)}{2} dx}{\int_u^x \frac{\bar{\mu}(x_i) + \underline{\mu}(x)}{2} dx}}{\frac{\int_u^x \frac{\bar{\mu}(x) + \underline{\mu}(x)}{2} dx}{P(\hat{A})}} = \frac{\sqrt{E(\hat{A}^2) - (E(\hat{A}))^2}}{E(\hat{A})} \tag{16}$$

灰色风险度用来表示风险的高低,其数值越大,表示风险越高;反之,风险越低。

3 王河煤矿矿井突水的灰色风险评价

通过对王河煤矿井田内和与相邻的开采同一煤层且处于同一水文地质单元内的矿井已发生的突水事故资料进行整理和分析,针对矿井突水的频繁性和突水控制诸因素的不确定性,应用灰色风险计算模型对王河煤矿开采一₁煤层受奥陶系岩溶承压水的影响程度做出评价,如表 1:

表 1 矿井突水量区间及对应概率

Table 1 Coalmine water inrush range and the corresponding probability

序号 i	1	2	3	4	5
突水量区间(m ³ /h)	(0,60)	(60,600)	(600,1200)	(1200,1800)	(1800,)
水量代表值 x _i (m ³ /h)	40	300	1000	1500	3600
概率 p(x _i)	0.4	0.35	0.15	0.05	0.05
影响程度 *	0	0.5	1	1	1

*注:影响程度定义为:0——基本无影响或影响很小;0.5——影响较大,但在控制范围内;1——影响巨大,控制较难或超出控制范围

仅就“突水”概念而言,它是一个模糊概念,但对于“突水灾害”事件本身,是一个灰色事件,于是可以用一个灰数来进行表达。根据研究区历史上突水的实际情况,定义突水灰色事件 \hat{A} ,即:

$$\hat{A} = (0,0)/40 + (0,0.5)/300 + (0.5,1)/1000 + (1,1)/1500 + (1,1)/3600$$

由灰色风险率计算公式

$$P(\hat{A}) = \sum_{x_i \in \hat{A}} \frac{\bar{\mu}(x_i) + \underline{\mu}(x_i)}{2} p(x_i)$$

得 \hat{A} 的灰色概率为:

$$P(\hat{A}) = 0.4 \times 0 + 0.35 \times 0.25 + 0.15 \times 0.75 + 0.05 \times 1 + 0.05 \times 1 = 0.3$$

则 \hat{A} 的灰色风险率为:

$$FP(\hat{A}) = P(\hat{A}) = 0.3$$

由

$$E(\hat{A}) = \sum_{x_i \in \hat{A}} \frac{\bar{\mu}(x_i) + \underline{\mu}(x_i)}{2} p(x_i)$$

得 \hat{A} 的期望值:

$$E(\hat{A}) = (40 \times 0 \times 0.4 + 300 \times 0.25 \times 0.35 + 1000 \times 0.75 \times 0.15 + 1500 \times 1 \times 0.05 + 3600 \times 1 \times 0.05) / 0.3 = 1312.5$$

由

$$\sigma^2(\hat{A}) = \frac{1}{P(\hat{A})} \int_u^x (x - E(\hat{A}))^2 \frac{\bar{\mu}(x) + \underline{\mu}(x)}{2} dx = E(\hat{A}^2) - (E(\hat{A}))^2$$

得 \hat{A} 的方差:

$$^2(\hat{A}) = (40^2 \times 0 \times 0.4 + 300^2 \times 0.25 \times 0.35 + 1000^2 \times 0.75 \times 0.15 + 1500^2 \times 1 \times 0.05 + 3600^2 \times 1 \times 0.05) / 0.3 - 1312.5^2 \\ = 1213593.75$$

由式 $FD(\hat{A}) = \frac{(\hat{A})}{E(\hat{A})}$ 得 \hat{A} 的灰色风险度:

$$FD(\hat{A}) = \frac{\sqrt{^2(\hat{A})}}{E(\hat{A})} = \sqrt{1213593.75 / 1312.5} \\ = 0.839$$

由计算可知,王河煤矿开采一₁煤层的突水风险率为0.3,即发生突水的可能性为30%,且突水风险度为0.839,说明突水风险是非常大的。

4 结论

(1)通过对王河煤矿及与其相邻开采同一煤层且处于同一水文地质单元内的矿井已发生的突水资料进行统计分析,定义了王河煤矿矿井突水灾害灰色事件。

(2)通过灰色风险评价模型计算方法计算该灰色事件,得出王河煤矿开采一₁煤层的突水风险率为0.3,突水风险度为0.839。

(3)计算出的风险率和风险度是以现有矿井防治水系统为前提进行分析评价的,随着矿井防治水规划的完备、排水能力的提高、采煤方法的改进等,将减小发生突水的概率。

(4)计算结果为宏观数理统计得出的结果,可为矿井制定防治水规划提供依据,但是由于矿区水文地质条件的复杂性,对于何时何地会发生突水的问题仍无法准确回答,因此,在生产过程中切要严格遵守“加大排水能力,整体疏放,局部封堵,堵排结合”的矿井防治水原则。

参考文献:

- [1] 靳德武,董书宁,刘其声. 带(水)压开采安全评价技术及其发展方向[J]. 煤田地质与勘探,2005,33(2): 21 - 25. (JIN Dewu, DONG Shuning, LIU Qisheng. Safety evaluation technique and development tendency of safety mining above confined aquifer[J]. Coal Geology & Exploration, 2005,33(2): 21 - 25. (in Chinese))
- [2] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002. 1 - 17. (DENG Julong. Grey Theory Elements[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press,2002. 1 - 17. (in Chinese))
- [3] 刘思峰,党耀国,方志耕,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2005. 1 - 17. (LIU Sifeng, Dang Yaoguo, Fang Zhigeng, et al. Grey System Theory and its Application [M]. Beijing: Science press,2005. 1 - 17. (in Chinese))
- [4] 米鸿燕,蒋兴华. 灰色模型 GM(1,1)在建筑物沉降预测中的应用[J]. 西南林学院学报,2007,27(1): 81 - 96. (MI Hongyan, JIANG Xinghua. Application of the Grey Model GM(1,1) to Forecast of Building Settlement[J]. Journal of Southwest Forestry College, 2007,27(1): 81 - 96. (in Chinese))
- [5] 谢春丽,夏虹,刘永阔,等. GM(1,1)灰色模型在核电设备趋势预测中的应用[J]. 核科学与工程,2007,27(2): 138 - 142. (XIE Chunli, XIA Hong, LIU Yongkuo, et al. Application of GM(1,1) gray model in trend prediction of the nuclear power plants[J]. Chinese Journal of Nuclear Science and Engineering, 2007,27(2):138 - 142. (in Chinese))
- [6] 高世同,刘建平,张仁利,等. 疟疾疫情预测 GM(1,1)灰色模型的建立与应用效果分析[J]. 中国病原生物学杂志,2007(2):357 - 359. (GAO Shitong, LIU Jianping, ZHANG Renli, et al. Establishment and estimation of a GM(1,1) grey model for forecasting of malaria epidemic situation in Shenzhen Longgang areas[J]. Journal of Pathogen Biology,2007(2):357 - 359. (in Chinese))
- [7] 李黎明. 灰色模型在铁路客流预测中的应用[J]. 内蒙古科技与经济,2007(12):22 - 23. (LI Liming. Application of grey model in prediction of railway passengers[J]. Inner Mongolia Science Technology and Economy,2007(12):22 - 23. (in Chinese))
- [8] 冯学军. 灰色理论在股市预测中的应用[J]. 安庆师范学院学报,2007,13(3):14 - 16. (FENG Xuejun. Application of Grey Theory in Stock Market Prediction[J]. Journal of Anqing Teachers College,2007,13(3):14 - 16. (in Chinese))
- [9] 褚营. 灰色马尔柯夫模型在煤矿安全事故预测中的应用初探[J]. 能源技术与管理,2006(1):18 - 34. (CHU Ying. Preliminary Discussion of Application of Gray Markov Model in the Coal Mine Safety Faulty Forecast[J]. Energy Technology and Management, 2006(1):18 - 34. (in Chinese))
- [10] 钱家忠,朱学愚,吴剑锋,等. 矿井涌水量的灰色马尔可夫预报模型[J]. 煤炭学报,2000,25(1):71 - 75. (QIAN Jiazhong, ZHU Xueyu, WU Jianfeng, et al. Grey Markov Model for predicting mine discharge [J]. Journal of China Coal Society,2000,25(1):71 - 75. (in Chinese))

(下转第1168页)

对 W6 危岩体及其他坡面发育的零星危岩体小块体进行清除。

其他必要的综合治理措施:

(1) 设置排水沟,保持水流通畅。坡顶地表水由截水沟收集,汇合,再由竖向落水井直接排放到坡脚,进入城市下水道系统。

(2) 清除小块危岩、险石。

(3) 可以绿化的地方应尽量绿化,美化城市环境,但应注意避免植物根系对危岩的不利影响。

危岩治理时应进行施工期安全监测及防治效果监测。施工期安全监测对危岩体进行常规监测,以了解危岩体在施工期间的整体稳定性和由于工程扰动因素对危岩的影响,及时指导工程实施,调整工程部署、安排施工进度等。防治效果监测结合施工安全的长期监测进行,同时要针对实施的工程内容进行监测,以了解工程实施后危岩的变化特征及工程实施效果,为工程验收提供科学依据。

7 结语

大足县谭家湾危岩带位于北山石刻风景区中心部位,全长 210m,共发育 15 个危岩体,包括滑移式、倾倒式、坠落式三种破坏模式。本文在工程地质详细勘查工作的基础上,对谭家湾危岩带的成因、影响因素、破坏机制等进行了详细的分析。根据危岩体范围、规模、危岩破坏模式及已经出现的变形破坏迹象,采用地质类比法对各危岩体的稳定性进行宏观判断和定性分析。在此基础上,依据《地质灾害防治工程勘查规范》(DB50/143-2003)所提供的理论方法,分别按滑移、倾倒、坠落三种方

式对各危岩体进行了稳定性计算,计算结果表明,除个别危岩体外,危岩体在工况 1、工况 2 时稳定性一般较好,在工况 3 和校核工况时,危岩体稳定性较差。在稳定性计算的基础上,根据各危岩体的情况,进行了锚固、支撑、清除、排水等综合治理措施设计,并提出了监测要求。

参考文献:

- [1] 大足县北山石刻风景区谭家湾危岩带治理工程地质勘察报告[R]. 重庆市地质灾害防治工程勘查设计院 2006. (The investigation report for prevention of the Tanjiawan dangerous rocks in Beishan Scenic Area of Dazu Rock Carvings[R]. Chongqing Institute of Geohazards Prevention Engineering Survey and Design 2006. (in Chinese))
- [2] 大足县北山石刻风景区谭家湾危岩带治理工程初步设计报告[R]. 重庆市地质灾害防治工程勘查设计院 2006. (The preliminary design report for prevention engineering of the Tanjiawan dangerous rocks in Beishan Scenic Area of Dazu Rock Carvings [R]. Chongqing Institute of Geohazards Prevention Engineering Survey and Design 2006. (in Chinese))
- [3] GB50330-2002 建筑边坡工程技术规范[S]. (Technical code for building slope engineering [S]. (GB50330-2002) 2002). (in Chinese))
- [4] DB50/143-2003 地质灾害防治工程勘察规范[S]. (code for investigation of geohazards prevention engineering[S]. (DB50/143-2003) 2003). (in Chinese))
- [5] DB50/5029-2004. 地质灾害防治工程设计规范[S]. (code for design of geohazards prevention engineering (DB50/5029-2004) 2004). (in Chinese))

(上接第 1160 页)

- [11] 吴泽宁,王敬,赵南. 水资源系统灰色风险计算模型[J]. 郑州大学学报,2002,23(3):22-40. (WU Zening, WANG Jing, ZHAO Nan. Grey Risk Calculation Model for Water Resources System[J]. Journal of Zhengzhou University,2002,23(3):22-40. (in Chinese))
- [12] 王志荣,石明生. 矿井地下水害与防治[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003. 57-58. (WANG Zhirong, SHI Mingsheng. Mine Groundwater hazard and its prevention and cure[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press,2003. 57-58. (in Chinese))