

《煤矿防治水规定》编制背景与要点

武 强¹,赵苏启²,李竞生³,傅耀军⁴,尹尚先⁵,刘守强¹

(1. 煤炭资源与安全开采国家重点实验室(中国矿业大学(北京)),北京 100083;2. 国家煤矿安全监察局,北京 100713;3. 煤炭科学研究总院西安研究院,陕西 西安 710054;4. 中国煤炭地质总局水文地质局,河北 邯郸 056004;5. 华北科技学院安全工程学院,北京 101601)

摘 要:为了更好地理解、贯彻落实《煤矿防治水规定》的主要精神,提升我国煤矿防治水整体技术水平,介绍了《煤矿防治水规定》的编制背景、指导思想和遵循原则,并针对新形势下煤矿水害防治存在的问题,结合典型重特大水害案例剖析,提出了《煤矿防治水规定》的编制要点和关键技术标准与规程。

关键词:煤矿;防治水;技术规定;编制背景与要点

中图分类号:TD745 **文献标志码:**A

The preparation background and the main points of *Rule of mine prevention and cure water disaster*

WU Qiang¹, ZHAO Su-qi², LI Jing-sheng³, FU Yao-jun⁴, YIN Shang-xian⁵, LIU Shou-qiang¹

(1. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining(China University of Mining and Technology(Beijing)), Beijing 100083, China; 2. State Administration of Coal Mine Safety, Beijing 100713, China; 3. Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China; 4. Hydrogeological Bureau, China National Administration of Coal Geology, Handan 056004, China; 5. Safety Engineering College, North China University of Science and Technology, Beijing 101601, China)

Abstract: In order to further understand and master the new revised *Rule of Mine Prevention and Cure Water Disaster*, and improve the technical level to prevent and cure water disaster in coal mine, the preparation background, the guiding ideology and the basic principles of the new rule were introduced. Then, according to analyze the problems existed in preventing and curing coal mine water disaster in the new situation and the typical cases of major water disasters, the main points and the key technical standards and regulations of the new rule were put forward.

Key words: coal mine; prevention and cure water disaster; technical rule; preparation background and main point

1 《煤矿防治水规定》编制背景

我国的原矿井水文地质和水害防治专项技术标准主要包括《矿井水文地质规程》(以下简称《规程》)和《煤矿防治水工作条例》(以下简称《条例》),它们分别由原煤炭工业部在1984年以(84)煤生字第550号文和1986年以(86)煤生字第629号文颁发^[1-2]。两项技术标准自颁发以来,在指导我国矿井生产过程中的水害预测、防控和治理工作等方面,起到了积极作用。但随着我国煤炭工业快速发展,目前的煤矿采掘深度与采掘层位、采掘方法与工艺、采掘环境与充水水文地质条件、科技发展与审批制度等

与前20多年前相比,均发生了深刻且明显的变化^[3],具体表现为以下7个方面:

(1)现代化大采高综合机械化采煤或一次性采全高放顶煤综采等已在煤矿区普遍应用^[4-5]。

(2)由于浅部和上组煤水文地质条件简单易采资源储量逐渐枯竭,浅部或上组煤难采、难啃的“硬骨头”和深部煤炭以及下组煤资源的开发是我国东、中部矿区目前普遍面临的选择^[6]。据不完全统计,我国目前煤矿井平均开采深度已达500多m,且每年正在以15~20m平均开拓速度向深部延伸。

(3)矿井充水水文地质条件日趋复杂,突水影响控制因素增多,突水机理和类型复杂多变。如许多煤

层底板突水事故绝非仅与水压和厚度两个因素有关;断裂、岩溶陷落柱突水显现出时效机理,其突水类型表现出延迟滞后特征等^[7-9]。

(4)采掘环境愈来愈恶化,高水压、高地应力和高水温的“三高”地质环境逐渐显现,许多矿井顶板面临因浅部关闭大量不具备安全生产的小煤矿形成的老空积水的透水威胁,底板槽受着高承压中奥陶统碳酸盐岩地下水的突水胁迫,即采掘环境处于水害的“顶威底迫”中,煤层中还时有瓦斯或煤等的突出。我们每天都是在头顶一盆水、脚踩在高承压水体的船上,时有有毒、有害气体涌出的恶劣生产环境中进行采掘工程活动的,稍有疏忽,就可能酿成重大矿难。

(5)从2005年以来连续发生了7起一次死亡人数超过30人的特别重大突水淹井事故,造成重大人员伤亡和经济损失,在国内外形成了相当的负面影响,血的教训急需对原技术标准进行修订补充。

(6)随着现代科学技术的进步,矿井防治水理念与评价预测预报方法、水害探测技术与仪器设备、防治水工程与装备等已经有了长足发展和进步^[10-13]。例如:煤层顶板水害评价的“三图-双预测法”、煤层底板水害评价的“脆弱性指数法”和“五图-双系数法”等预测预报方法;地面三维地震和瞬变电磁等勘探方法;井下掘进巷道直流电法和瞬变电磁等超前探放水方法;井下回采工作面坑透、音频电透视和高密度电法等;潜水电泵的国产化技术;井下人员定位系统;定向钻进技术等。

(7)由于煤炭工业体制的多次变化,有关审批制度发生了重大变化。

显然,原有的技术规范和标准已不能完全适应我国快速发展的煤炭工业形势,已无法满足现代煤炭安全生产所迫切需求的技术标准支撑。

2 《煤矿防治水规定》编制的指导思想和遵循原则

2.1 指导思想

坚持“安全第一、预防为主、综合治理”方针,以国家有关法律、法规为依据,突出“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”的“十六字”防治水原则和与其配套的“防、堵、疏、排、截”的“五项”综合治理措施,体现煤炭工业科学技术进步,适应煤炭行业体制改革和市场经济要求。

2.2 基本原则

(1)总结近些年来煤矿水害防控取得的成功经验和所发生的重特大水害事故教训;(2)以先进的科学技术为依据,以生产实践为基础,从我国煤炭行业

目前技术发展水平为出发点;(3)加强矿井防治水的基础工作,注重水害事故的应急救援体系和预案;(4)以保障矿井安全生产与保护地下水资源和生态环境相结合为原则;(5)坚持煤矿安全监管监察部门、煤矿企业、设计单位与科研院所相结合,做到普遍征求意见与重点分析研讨相结合,充分发挥各自的优势;(6)体现科学性、实用性和全面性,适用于在中国境内开办的各类煤矿。

3 《煤矿防治水规定》编制要点

3.1 原《规程》与《条例》内容存在的问题

(1)重复问题。在探放水、防隔水煤(岩)柱、地面防治水、注浆堵水、疏水降压开采等方面,原《规程》与《条例》的内容存在相互重复。

(2)矛盾问题。《规程》规定正常地质块段临界突水系数值为0.15 MPa/m,而《条例》则规定其临界突水系数为0.10 MPa/m。两个技术标准同时有效,却相互矛盾,在实际应用中引发了混乱。

(3)不妥问题。突水系数的计算公式为

$$T = p/M \quad (1)$$

$$T = p/(M - C_p) \quad (2)$$

$$T = p/(\sum_{i=1}^n M_i d_i - C_p) \quad (3)$$

$$T = p/[M - (C_p + h_1)] \quad (4)$$

式中, T 为突水系数,MPa/m; p 为底板隔水层承受的水压(注意不是煤层底板承受的水压),MPa; M 为底板隔水层厚度,m; C_p 为采矿对底板扰动的破坏深度,m; M_i 为各分层厚度,m; d_i 为各分层的强度比系数; h_1 为导升发育高度,m。

各公式适用条件:煤层底板承压含水层水位降低在煤层底板之前。式(1)是我国在1964年焦作水文地质大会战期间借鉴匈牙利韦格弗伦斯的相对隔水厚度概念而提出的,后经多次修改演变为式(2)、(3)和(4)。式(2)考虑了煤层底板扰动矿压破坏带,式(3)考虑了煤层底板矿压破坏带和隔水层底板岩层的岩性组合,式(4)考虑了煤层底板矿压破坏带和隔水层底板导升发育高度。

在1964年焦作水文地质大会战期间,由于当时从事矿井防治水工作的工程技术人员对矿压破坏现象和由此产生的煤层底板扰动矿压破坏带认识有限,因此,当时所提出的突水系数计算公式并未考虑矿压破坏带等因素。经过焦作、峰峰、邯郸、井陘、淄博和肥城等大水矿区的大量采掘工程和突(涌)水点的实际检验,总结发现式(1)在正常地质块段计算的临界突水系数值为0.10~0.15 MPa/m,构造破坏块段则

为 0.06 MPa/m。但在 20 世纪 80 年代中期,随着从事矿井防治水工作的工程技术人员对矿压破坏现象和矿压破坏带认识深化,以及矿压破坏带探测技术水平的提高,在 1984 年和 1986 年首次编制颁发的《规程》和《条例》中提出计算式(2)。应该说式(2)更真实地描述了我国煤层底板突水的水文地质物理概念模型,但遗憾的是,虽然计算公式刻画了突水的实际物理概念模型,但提出的临界突水系数值仍然采用的是 1964 年未考虑矿压破坏现象总结提出的临界值。显然,这是不妥的,考虑矿压破坏带得到的临界突水系数值与不考虑其的临界值肯定不同。

因此,本次《煤矿防治水规定》编制本着还原历史的原则,在目前尚未总结提出考虑矿压破坏带的大家普遍可接受的新的临界突水系数值之前,突水系数计算公式仍规定采用式(1),将来一旦提出新的临界突水系数值,突水系数计算公式还可以重新修订。

3.2 矿井水文地质类型划分问题

矿井水文地质类型划分的目的是分析矿井水文地质条件,确定水文地质类型,有针对性指导矿井水文地质补充勘探和水害预防与控制工作。由于我国地域辽阔,矿井水文地质条件复杂多变,受水害威胁的煤炭资源比重大,水害类型齐全,故水文地质类型划分对保障矿井安全生产意义重大。

考虑到我国老空积水分布范围广、大部分老空积水具体位置与形状不清以及近年连续发生的多起由老空积水诱发的重特大透水矿难,本次《煤矿防治水规定》有关矿井水文地质类型划分依据在原有依据基础上,增补了“矿井及周边老空水分布状况”和“矿井突水量”这两个新依据。

3.3 矿井水文地质基础资料问题

由于我国目前矿井所有制类型多,技术管理水平不一,再加上矿井水文地质基础资料涉及内容较多(报告、图纸和基础台帐等),部分矿井(特别是新投产矿井或非央企矿井等)可能暂时未能编制积累全部基础资料,或根据实际水文地质条件不需积累全部基础资料。但作为一个生产矿井,最基本的水文地质基础资料必须具备,它包括 3 个报告、5 份图纸和 15 类台帐。其中图纸和台帐每半年需修正 1 次。3 个报告包括井田地质报告、建井设计和建井地质报告。5 份图纸包括:矿井充水性图、矿井涌水量与各种相关因素动态曲线图、矿井综合水文地质图、矿井综合水文地质柱状图、矿井水文地质剖面图。

考虑到现代计算机技术和信息系统已在我国大部分矿区得到普及和应用,《煤矿防治水规定》第 19 条,鼓励煤矿企业研发水文地质信息管理系统,实现

矿井水文地质文字资料收集、数据采集、图件绘制、计算评价和矿井防治水预测预报一体化,提高防治水工作整体决策水平。

3.4 矿井水文地质补充调查与勘探问题

考虑到日益发展的物探和化探等先进补勘方法和手段,《煤矿防治水规定》分别在第 34 条和第 40 条增补了地面和井下水文地质补勘中的地球物理勘探和水化学与同位素分析等新技术新方法内容,这对于经济、快速、准确确定矿井充水水源和通道以及诱发近年来多次恶性透水事故的小煤矿老空积水范围、水量和边界等具有重要意义。但值得指出的是,鉴于地球物理勘探方法存在的多解不确定性特点,应该采用多种物探方法进行综合探测,以克服多解性问题和提高物探成果的可靠性;另外,物探成果一定要与钻探勘探成果相结合,经相互验证后,方可作为矿井采掘工程设计的依据。

水害防控研究对象不是固体矿产资源,而是随时随地不断流动变化的地下水。针对我国矿区目前普遍存在的仅重视矿区(井)尺度水害防控的具体战术问题研究而轻视区域尺度的战略性总体研究的现象,《煤矿防治水规定》第 21 条规定,水文地质补充调查勘探范围应当覆盖一个具有相对独立补给、径流、排泄条件的区域地下水系统,只有宏观了解包含矿区(井)在内的区域地下水系统空间位置和区域地下水补、径、排特征,才能正确分析和揭示局部矿区(井)的具体水文地质条件。

为了解决因调查勘探范围扩大而导致的调查勘探工作费用和精力等大幅提高的问题,《煤矿防治水规定》第 30 条规定,对区域尺度地下水系统的补充调查与勘探,其工作量应以收集资料和水文地质测绘调查为主,勘探为辅;而对于矿区(井)尺度的补充调查与勘探,则以水文地质物探、钻探和抽(放)水试验等勘探手段为主,辅以测绘调查。

3.5 防水闸门问题

由于部分矿井或采区已经不具备建设防水闸门条件,如:① 最高水压力大于 5 MPa;② 矿井已经不具备耐压试验条件;③ 无法真正实现分区隔离的多水平煤层群开采的矿井;④ 围岩条件差;⑤ 人性化管理的推广等。同时考虑到目前我国现代排水装备与设备的科学技术水平的大幅提高,大流量、高扬程的潜水电泵技术已经全国国产化。《煤矿防治水规定》第 66 条规定,对水文地质条件复杂、极复杂的矿井,可以选择在井底车场周围设置防水闸门,也可以在正常排水系统基础上安装配备排水能力不小于最大涌水量的潜水电泵排水系统。这项规定为确实不

具备建设防水闸门的水文地质条件复杂、极复杂矿井,指出了—个替代的选择,可以利用已建立的卧泵系统叠加待建潜水泵方案,代替传统的井底中央卧泵泵房加水闸门方案。

3.6 极端气候条件的雨季防洪问题

地球又进入了新的活动期,近年来台风、暴雨等极端气候逐渐增多,由此引发了山洪暴发、水库异常泄流、河水猛涨、河岸决口和洪水淹井等问题,如2006年受第4号强台风“碧利斯”影响,湖南省先后有200多家煤矿被淹或局部被淹;2007年“8·17”—次死亡181人的山东华源矿业有限公司透水矿难;2007年“7·29”—次被困69人的河南陕县支建煤矿透水事故。针对这些教训,《煤矿防治水规定》增补了第47、48、49、50条有关极端气候条件下的雨季防洪规定,强调矿井在雨季前应进行隐患排查治理,在雨季应对重点危险区域进行巡视检查,在暴雨洪水期间应建立井下撤人制度,并且矿井应当主动与气象、水利、防汛等部门进行联系,建立灾害性天气预警和预防机制,严防极端气候条件下引发的透水事故发生。

3.7 水体下和周边开采问题

随着煤炭工业快速发展和浅部煤炭资源的逐渐殆尽,我国在海、湖、河、水库等地表水体和老空水体下与周围的开采活动日益增多,发生了多起重特大透水事故,特别是在急倾斜煤层开采区,如2005年广东梅州大兴煤矿—次死亡6人、失踪115人、高峰透水量达13 600 m³/min的“8·7”特别重大透水事故^[14-16];2009年吉林省梅河口市中和煤矿“11·27”重大透水事故等。鉴于急倾斜煤层开采后导致顺煤层向上抽冒的机理、规律和发育高度等科学工程问题,目前认识还十分有限,抽冒的控制措施与方法还不成熟,《煤矿防治水规定》第107条的第3款规定:严禁在水体下开采急倾斜煤层。

3.8 废弃矿井闭坑问题

考虑到大量关闭的废弃矿井对周围煤矿生产形成重大安全隐患,特别是废弃积水矿井,已构成对煤矿安全生产的严重威胁,发生了多起重特大水害事故。据国家煤矿安全监察局统计资料,2006年共发生水害事故99起,其中—次死亡人数超过3人以上的45起突水事故均为老空透水事故。为了从根本上解决这个问题,《煤矿防治水规定》第18条对废弃矿井应当提交闭坑报告和报告内容等作了专门规定。由于历史原因,过去已遗留的废弃积水矿井已无法提交正规闭坑报告,只能根据后期的专门勘探和评估等工作来弥补;但现在必须立即采取措施,防止把废弃

矿井的类似问题留给子孙后代。

3.9 审批制度问题

考虑到我国煤炭工业管理体制的历次重大变化和目前所处状况,《煤矿防治水规定》对矿井水害防治工程与设计等的审批总原则是权力下移,除水体下采煤的防隔水煤(岩)柱留设和缩小安全煤(岩)柱尺寸以提高开采上限,须经省级煤炭行业管理部门审查批准外,对矿井其他水害防治工程与设计等审批均由煤矿企业自身审批负责,基本分为两级:重大安全问题的审批由企业总工程师负责;一般安全问题的审批由煤矿总工程师负责。

3.10 水害事故的应急救援预案

这部分是《煤矿防治水规定》新增加内容,根据我国煤矿灾害事故应急救援预案制订的“预防为主、防救结合”的八字基本原则,笔者认为,煤矿水害事故的应急救援预案应该包括两部分内容:①事故发生前的水灾预测预防预案;②事故一旦发生后的水灾现场救援与处置指挥。前者主要包括加强矿井防治水的基础工作,制订应急救援管理系统;提高水灾预兆信息捕捉与辨识能力,后者主要包括及时准确按照有关程序逐级上报灾情;井下遇险人员应采取科学的自救互救措施;地面现场指挥人员应根据了解的突水地点和淹没水位等信息,估算突出水量,分析被困人员所处位置,实施科学的现场救援指挥和突发事件的合理处置;井下涉险矿长、区(队)长和班组长等要充分发挥现场管理人员比较熟悉整个矿井生产安排情况的优势和作用,组织指挥井下人员不要慌乱,统—步调,寻找井下距离井筒位置最近的巷道,高效有序撤离危险区域,或寻找井下位置最高的安全地点,采取躺卧待救等正确避险方式,做好长期被困的准备。

3.11 矿井防治水原则问题

我国原有的矿井防治水基本原则是“有疑必探、先探后掘”的八字方针。应该说,这八字原则非常正确,特别是随着近年来国家对矿山生产安全的高度重视和出台的一系列政策法规与惩罚条例等,以及矿山企业自身在安全生产管理水平上的大幅提高,如果目前矿井生产现场发现了水害疑点或隐患,肯定会进行综合勘探,查清疑点或隐患后再进行采掘。这种安全意识,应该说在目前我国大部分矿山企业不存在任何问题,但现在的问题是如何来发现水害疑点或隐患?这是矿山企业迫切需要解决的难题。针对这个生产难题,《煤矿防治水规定》第3条提出了我国矿井防治水的新的“十六字”基本原则,即“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”,通过综合分析已有勘探

资料,采用科学的预测预报方法和手段,发现圈定出矿井水害疑点或隐患。同时新的防治水原则指出,先探测还不够,应该先治理了水害疑点或隐患后,方可实施回采。另外,配合新的“十六字”原则,《煤矿防治水规定》第3条还提出了与此配套的5项水害综合治理措施,即“防、堵、疏、排、截”。

3.12 露天煤矿防治水问题

这部分也是《煤矿防治水规定》新增加的内容,主要包括:露天煤矿防排水计划、措施、设施,采掘场坑底储水排水期限,露天煤矿疏干,露天采场地下水观测和疏干排水治理边坡,排土场或采场在地下水位升高情况下应采取的应急措施等。

3.13 有关罚则问题

《煤矿防治水规定》是以国家安全生产监督管理总局令的形式颁发的,与国家一般的技术《规程》或《标准》等有所区别,它除了在技术上的一些规定外,在第九章的“罚则”中规定了煤矿企业如果违反了该规定中相关条款,应承担的法律责任,以及煤矿企业违反《煤矿防治水规定》的行政处罚实施部门。

4 结 语

(1)《煤矿防治水规定》的出台,反映了我国煤矿目前的开采条件、科技发展水平和体制改革等状况,基本满足了煤炭工业快速发展之需求。

(2)《煤矿防治水规定》编制指导思想明确,所遵循的基本原则正确,体现了科学性、实用性和全面性。

(3)《煤矿防治水规定》在煤层顶底板水害评价、矿井水文地质类型划分、基础水文地质资料、水文地质补充调查与勘探、防水闸门、极端气候条件的雨季防洪、水体周围采掘、废弃矿井闭坑、审批制度和罚则等问题方面,补充完善了符合我国煤矿现实条件下的新的水害防控技术标准与规定,并且增补了应急救援和露天煤矿防治水等新规定。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国煤炭工业部.《矿井水文地质规程》(试行)[M].北京:煤炭工业出版社,1984.
- [2] 中华人民共和国煤炭工业部.《煤矿防治水工作条例》[M].北京:煤炭工业出版社,1986.
- [3] 武 强,李周尧.矿井水灾防治[M].徐州:中国矿业大学出版社,2002.
- [4] 范维唐,胡省三,成玉琪.采煤史上一场深刻的革命——我国综合机械化采煤30年发展述评[J].煤矿机电,2000(5):6-9.
Fan Weitang, Hu Shengsan, Cheng Yuqi. Technical revolution in coal mining history; 30 years development of fully mechanized coal mining in China [J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2000 (5): 6-9.
- [5] 郑存良,陈立武.厚煤层一次采全高综采高产高效技术[J].中国煤炭,1998(7):29-32.
Zheng Cunliang, Chen Liwu. Technologies for highly productive and highly efficient coal mining in fully mechanized coal faces at on-slice coal cutting [J]. China Coal, 1998(7): 29-32.
- [6] 武 强,金玉洁.华北型煤田矿井防治水决策系统[M].北京:煤炭工业出版社,1995.
- [7] 武 强,张志龙,马积福.煤层底板突水评价的新型实用方法 I——主控指标体系的建设[J].煤炭学报,2007,32(1):42-47.
Wu Qiang, Zhang Zhilong, Ma Jifu. A new practical methodology of the coal floor water bursting evaluating I: The master controlling index system construction [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32 (1): 42-47.
- [8] 武 强,刘金韬,钟亚平,等.开滦赵各庄矿断裂滞后突水数值仿真模拟[J].煤炭学报,2002,27(5):511-516.
Wu Qiang, Liu Jintao, Zhong Yaping, et al. The numeric simulations of water-bursting time-effect for faults in Zhaogezhuang Coal Mine, Kailuan, China [J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(5): 511-516.
- [9] 尹尚先,吴文金,李永军,等.华北煤田岩溶陷落柱及其突水研究[M].北京:煤炭工业出版社,2008.
- [10] 中国煤炭工业劳动保护科学技术学会.矿井水害防治技术[M].北京:煤炭工业出版社,2007.
- [11] 武 强,黄晓玲,董东林,等.评价煤层顶板涌(突)水条件的“三图-双预测法”[J].煤炭学报,2000,25(1):60-65.
Wu Qiang, Huang Xiaoling, Dong Donglin, et al. “Three maps two predictions” method to evaluate water bursting conditions on roof coal [J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(1): 60-65.
- [12] 武 强,张志龙,张生元,等.煤层底板突水评价的新型实用方法 II——脆弱性指数法[J].煤炭学报,2007,32(11):1121-1126.
Wu Qiang, Zhang Zhilong, Zhang Shengyuan, et al. A new practical methodology of the coal floor water bursting evaluating II: the vulnerable index method [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32 (11): 1121-1126.
- [13] 武 强,陈 红,刘守强.基于环套原理的ANN型矿井小构造预测方法与应用——以淄博岭子煤矿为例[J].煤炭学报,2010,35(3):449-453.
Wu Qiang, Chen Hong, Liu Shouqiang. Methodology and application on size-limited structure predictions with ANN based on loop overlapping theory: a case study of Lingzi Coal Mine in Zibo [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(3): 449-453.
- [14] 国家安全生产监督管理总局,国家煤矿安全监察局.煤矿防治水规定[M].北京:煤炭工业出版社,2009.
- [15] 国家煤矿安全监察局.煤矿防治水规定释义[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009.
- [16] 赵苏启,武 强,尹尚先.广东大兴煤矿特大突水事故机理分析[J].煤炭学报,2006,31(5):618-622.
Zhao Suqi, Wu Qiang, Yin Shangxian. Mechanism analysis of water inrush in Daxing Coal Mine [J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(5): 618-622.