

文章编号: 0253-9993(2008)01-0042-05

# 煤矿重大瓦斯爆炸事故致因的概率分析及启示

周心权<sup>1</sup>, 陈国新<sup>1,2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083; 2. 国家安全生产监督管理总局, 北京 100713)

**摘要:** 基于对煤矿特别重大瓦斯爆炸事故致因的统计和概率分析, 揭示了近年来大多数煤矿特别重大瓦斯爆炸事故发生在正常生产条件下的低瓦斯“安全”区域的新特点和规律; 分析在煤矿集约化生产的新形势下, 加强对瓦斯突发事件致使“安全”区域的状态动态转换成危险区域, 以及原发性灾害诱发继发性灾害重大隐患防治的必要性和可能性; 并以瓦斯事故防治为例, 提出了建立煤矿安全生产高可靠性安全保障机制的相关工程技术管理措施。

**关键词:** 瓦斯爆炸; 概率统计; 瓦斯突发事件; 高可靠性安全保障

中图分类号: TD712.7 文献标识码: A

## The probability analysis of occurrence causes of extraordinarily serious gas explosion accidents and its revelation

ZHOU Xin-quan<sup>1</sup>, CHEN Guo-xin<sup>1,2</sup>

(1. National Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining &amp; Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. State Administration of Work Safety, Beijing 100713, China)

**Abstract:** Based on the statistics and probability analysis of the occurrence causes of extraordinarily serious gas explosion accidents, revealed the new characteristics and regularity of the occurrence causes in the serious gas explosion accidents, that meant the most serious gas explosion accidents occurred at the ordinal “safe area” with lower gas concentration in the recent years. The necessity and possibility of the prevention and control, for the serious hidden dangers induced by the dynamically state change in ordinal “safe area” to dangerous state with the unexpected gas released and the secondary disasters induced from the ordinal disasters, were analyzed. As an example for setting up the new safe guarantee mechanism with the high reliability, presented the engineering technology and management measures in the prevention and control of gas disaster in coal mines.

**Key words:** gas explosion; probability analysis; unexpected gas released; safe guarantee with the high reliability

2004 年末至 2005 年末, 我国煤矿发生 6 起一次死亡百人以上特别重大事故, 其中瓦斯煤尘爆炸事故占 5 起。2006 年, 全国煤矿未发生一次死亡百人的事故, 百万吨死亡率比 2005 年降低 27.4%, 显示煤矿瓦斯治理已初显成效。然而, 要实现煤矿瓦斯治理和煤矿安全生产水平稳步提高, 尚需做更多工作。本文基于近年来重特大瓦斯爆炸事故发生规律, 从安全工程技术管理角度来进行分析, 如何进一步提高煤矿瓦斯治理和煤矿安全生产水平。

### 1 近年来煤矿重特大瓦斯爆炸事故发生的新特点

近年来, 是 1960 年以来煤矿特别重大事故的高发期。① 2004-10-22, 郑州大平矿难, 死亡 148 人

收稿日期: 2007-03-05 责任编辑: 毕永华

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(50534090); 国家重点基础研究发展计划(973)基金资助项目(2005CB221506)

作者简介: 周心权(1945—), 男, 江西吉安人, 教授, 博士生导师。Tel: 010-62331942, E-mail: zxq@cumtb.edu.cn

(突出的瓦斯逆流进入进风区, 架线电机车火花诱发瓦斯爆炸); ② 2004-11-27, 铜川陈家山矿难, 死亡166人(工作面进回风联络巷封闭后瓦斯积聚扩散至下隅角, 该处强制放顶, 窜火诱发瓦斯爆炸); ③ 2005-02-14, 阜新孙家湾矿难, 死亡214人(冲击地压引起原低瓦斯风道瓦斯超限, 带电检修, 引起瓦斯爆炸); ④ 2005-07-04, 梅州大兴煤矿水灾, 死亡123人(小断层发育, 超强度开采, 防水煤柱破坏, 引起水淹区突水淹井); ⑤ 2005-11-27, 七台河东风矿难, 死亡171人(煤仓违规放炮引起煤尘爆炸); ⑥ 2005-12-07, 唐山刘家屯矿难, 死亡108人(风流短路, 开切眼回柱高瓦斯涌出集聚, 回柱钢缆摩擦火花引爆)。

2004-10-22—2005-12-07发生的6起死亡百人以上、以及2000—2005年39起死亡30人以上的特别重大瓦斯煤尘爆炸事故的原因分析, 可以发现, 近年来绝大多数煤矿重大瓦斯爆炸事故并未发生在人人警惕的高瓦斯区域, 而是发生在容易忽视的低瓦斯区域。往往是瓦斯突发事件(如突出或瓦斯突然涌出, 违章处理盲巷集聚瓦斯, 大小矿连通集聚瓦斯涌入大矿, 放顶煤采煤法顶煤塌落瓦斯大量涌出、突然停电停风或风门打开瓦斯集聚等)使得原来的低瓦斯区域转变为存在重大隐患的高瓦斯区域所致。

2000—2005年期间发生一次遇难人数在30人以上特别重大瓦斯爆炸事故36起, 遇难人数2481人。其中, 由于瓦斯突发事件而造成瓦斯浓度达爆炸限的事故起数为23起, 占整个数量的63.9%, 遇难人数1747人, 占总遇难人数的70.4%(图1(a), (b))。在这36起事故中, 低瓦斯矿井发生瓦斯爆炸事故15起, 遇难人数676人, 分别占41.7%和27.2%; 在这15起低瓦斯煤矿的事故中, 由于瓦斯突发事件造成事故10起, 占66.7%, 死亡人数492人, 占72.8%(图1(c), (d))。

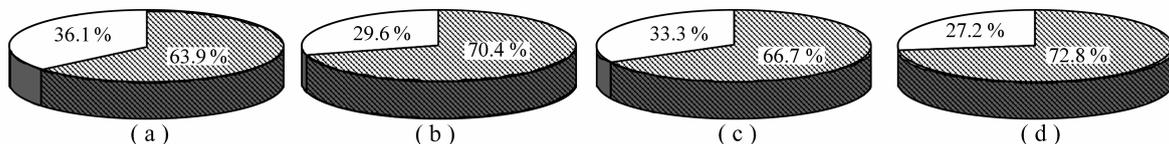


图1 瓦斯突发事件造成的瓦斯爆炸事故和遇难人数比例

Fig. 1 The accident proportion of gas explosion and amount of miners lost lives in gas explosion induced by unexpected gas released event

以上结果同样说明瓦斯突发事件是造成瓦斯爆炸事故发生的主要因素。瓦斯突发事件引发了60%以上的特别重大瓦斯爆炸事故, 造成近70%的人遇难。低瓦斯矿井爆炸事故中近70%是由于瓦斯突发事件引起的, 遇难人数比超过了70%。瓦斯突发事件已成为井下瓦斯爆炸事故的罪魁祸首, 瓦斯突发事件致使低瓦斯矿井以及高瓦斯矿井的“安全”区域所存在的重大隐患应引起煤矿领导和职工的重视。

上述5起死亡百人以上特别重大瓦斯煤尘爆炸事故有4起发生在国有重点矿, 为什么当前人员素质、技术及装备相对较强的现代化国有重点矿会发生这样大的灾害? 为什么近年来特别重大瓦斯爆炸事故往往发生在低瓦斯的所谓“安全”区域, 这是人们十分关注的问题。

## 2 瓦斯突发事件致灾的防治是当前煤矿安全生产技术管理的薄弱环节

危险源是指工业活动中危险物质或能量超过临界量的设备、设施或场所<sup>[1]</sup>。煤矿存在许多危险源, 但对于某些隐藏的危险源的存在及致灾影响却认识不足。近年来, 我国煤矿, 特别是国有重点煤矿多次发生的特别重大事故, 显示一个共同规律, 即大部分事故并非发生在传统意义上的高瓦斯区域(如上隅角, 高瓦斯涌出的采掘工作面及回风巷道, 瓦斯尾巷等), 而往往发生在正常状况下是“安全的”, 但是由于突发事件的出现, 如瓦斯异常涌出, 使得原来的低瓦斯“安全”区域转变为存在重大隐患的危险区域, 然而这种动态变化未能被发现, 基于传统的侥幸心理, 违章作业, 导致特别重大事故的发生。

所谓突发事件, 是指那些事前难以预测、带有异常性质、严重危及社会秩序、在人们缺乏思想准备的情况下猝然发生的灾害性事件<sup>[2]</sup>。突发事件至少应该包括5个基本要素: 突然爆发, 难以预料, 必然原因, 严重后果, 需紧急处理<sup>[3]</sup>。近年来大部分煤矿重大事故未发生在传统意义上的高瓦斯区域, 说明多

年来煤矿安全工作发挥了重要作用。而近年来特别重大事故的多次发生,说明在亟待解决的新生产形势下出现的新矛盾,即高度集中化、高强度生产与高可靠性安全保障的矛盾。人们往往仍按常规意义下的理解进行安全技术管理,重点放在高瓦斯区域、存在重大危险源的区域,这无疑是正确的,但忽视了异常条件下“安全”区域会变为“危险”区域的动态变化,而且因为人们在低瓦斯“安全”区域往往麻痹,更容易违章,其致灾可能性更大。因此,加强煤炭企业安全基础管理,需要适应煤矿高度集中化生产的发展趋势,为其提供高可靠性安全保障,但高可靠性安全保障不仅包括人们熟知的原发性灾害的防治,以及对高瓦斯区域的重点防治,而且包括人们容易忽视的,在突发事件影响下,“安全”区域转化为“危险”区域的动态致灾可能性的预警和防治,以及原发性灾害转变为更大的继发性灾害的防治。

### 3 煤矿瓦斯爆炸事故的概率分析

在瓦斯爆炸防治认识上通常存在 2 个误区:① 高瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸的概率远高于低瓦斯矿井(区域);② 对于一个矿井,瓦斯突发事件发生概率太小,不至于碰巧引发瓦斯爆炸。

#### 3.1 瓦斯突发事件发生及诱发瓦斯爆炸事故的概率分析

如图 2 所示,在未加任何保护措施的情况下,井下瓦斯浓度达爆炸限事件和出现点燃源事件之间无必然联系,相互独立。假设高瓦斯矿井(区域)两个事件出现的概率分别为  $P_1$ 、 $P_2$ ;经采取常规瓦斯控制措施  $a$ 、点燃源控制措施  $b$  后,瓦斯浓度达爆炸限或点燃源出现的概率分别降低为  $aP_1$ 、 $bP_2$  ( $a$ 、 $b$  为系数,  $0 < a < 1$ ,  $0 < b < 1$ );根据概率乘法定理<sup>[4]</sup>,高瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸的概率为  $aP_1 \times bP_2$ 。

同理,假设低瓦斯矿井(区域)在未加任何保护措施的情况下,井下瓦斯浓度达爆炸限或出现点燃源的概率分别为  $P_3$ 、 $P_2$ , (在未加保护措施的情况下,出现点燃源的概率并不依高、低瓦斯矿井(区域)而变,故仍等于  $P_2$ )。低瓦斯矿井(区域)瓦斯浓度达爆炸限的概率远低于高瓦斯矿井(区域),设  $P_3 = cP_1$ ,  $c$  为系数,  $0 < c \ll 1$ 。

采取常规瓦斯控制措施  $a_1$  后,瓦斯浓度达爆炸限的概率降低为  $a_1P_3$ ,  $a_1$  为系数,  $0 < a_1 < 1$ 。由于低瓦斯矿井(区域)瓦斯防治管理和装备要求较低,故  $a_1 > a$ , 但  $c \ll 1$ , 所以  $a_1c < a$ 。因  $a_1P_3 = a_1cP_1$ , 故  $a_1cP_1 < aP_1$ , 即低瓦斯矿井(区域)瓦斯达到爆炸限的概率  $a_1cP_1$  仍然低于高瓦斯矿井(区域)的概率即  $aP_1$ ;与此相反,经过常规点燃源控制措施  $b_1$  后,其点燃源出现的概率降低为  $b_1P_2$ ,  $b_1$  为系数,  $0 < b_1 < 1$ ;由于低瓦斯矿井(区域)防爆管理和装备要求较低,且在“安全”区域,更易出现侥幸心理,违章概率加大,根据经验可知,  $b_1 > b$ , 即  $b_1P_2 > bP_2$ , 其点燃源出现的概率高于高瓦斯矿井(区域)。这样,低瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸的概率为  $a_1P_3 \times b_1P_2$ , 即  $a_1cP_1 \times b_1P_2$ 。对比高瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸的概率  $aP_1 \times bP_2$ , 前一项较高瓦斯矿井(区域)低,后一项较高。因此,高、低瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸的概率在同一数量级,即  $aP_1 \times bP_2 \approx a_1cP_1 \times b_1P_2$ , 而非人们直观认为的“高瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸的概率远高于低瓦斯矿井(区域)”。

人们之所以认为高瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸的概率远高于低瓦斯矿井(区域),是混淆了 2 个概念:① 未计入高瓦斯矿井(区域)通过对瓦斯、点燃源的严格管理所发挥的效果,高瓦斯矿井(区

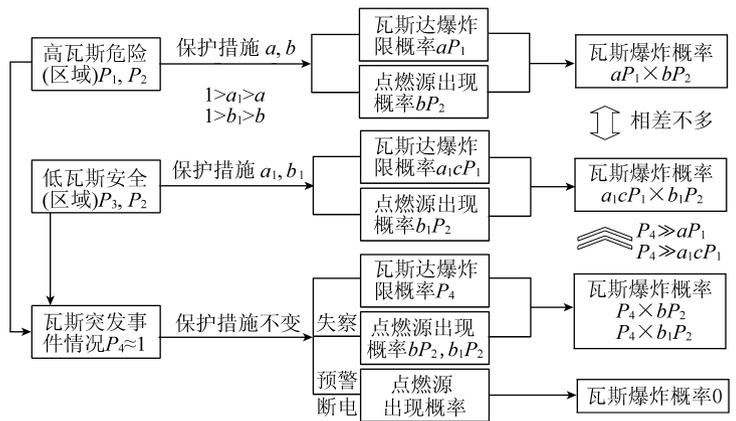


图 2 瓦斯突发情况下瓦斯爆炸事故可能性概率分析  
Fig. 2 The probability analysis of gas explosion possibility in the case of unexpected gas released event

域)提供的保护措施( $a, b$  ( $a \ll 1, b \ll 1$ ))致使瓦斯达到爆炸限的概率 $P_1$ 和出现点燃源的概率 $P_2$ 分别减小至 $aP_1, bP_2$ ; ②发生瓦斯爆炸的概率与瓦斯达到爆炸限概率的差别, 瓦斯爆炸的概率 $aP_1 \times bP_2$ 是瓦斯达到爆炸限的概率 $aP_1$ 与出现点燃源的概率 $bP_2$ 的乘积。

### 3.2 瓦斯突发事件引发瓦斯爆炸的概率分析

如图2所示, 假设高、低瓦斯矿井(区域)在现有的常规保护措施条件下, 发生瓦斯突发事件之后, 其瓦斯浓度达爆炸限的概率为 $P_4$ , 根据经验, 瓦斯突发事件往往造成瓦斯大量涌出, 瓦斯浓度达爆炸限, 即 $P_4 \approx 1$ ; 由于煤矿较普遍缺乏对瓦斯突发事件及时侦知、分析预警、正确应对的有效措施, 在对瓦斯突发事件失察的情况下, 高、低瓦斯矿井(区域)点燃源出现的概率仍分别为 $bP_2, b_1P_2$ , 根据概率乘法法则, 则发生瓦斯爆炸的概率分别为 $P_4 \times bP_2, P_4 \times b_1P_2$ . 因 $P_4 \approx 1 \gg aP_1, P_4 \approx 1 \gg a_1cP_1$ , 故瓦斯突发事件发生时, 高、低瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸的概率 $P_4 \times bP_2$ (或 $P_4 \times b_1P_2$ ) $\gg aP_1 \times bP_2 \approx a_1cP_1 \times b_1P_2$ , 表明突发事件对诱发低瓦斯矿井(区域)瓦斯爆炸的严重影响. 又因 $b_1P_2 > bP_2$ , 瓦斯突发事件发生时, 高瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸的概率 $P_4 \times bP_2$ 低于低瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸的概率 $P_4 \times b_1P_2$ , 说明瓦斯突发事件对低瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸有更大的影响。

### 3.3 概率分析结论

(1) 低瓦斯矿井(区域)瓦斯超限概率比高瓦斯矿井(区域)低, 但出现点燃源的概率比高瓦斯矿井高. 所以, 采取常规瓦斯控制措施后, 低瓦斯矿井(区域)与高瓦斯矿井发生瓦斯爆炸的概率在同一数量级, 概率相近, 即 $aP_1 \times bP_2 \approx a_1cP_1 \times b_1P_2$ .

(2) 突发事件使高瓦斯矿井发生瓦斯爆炸事故的概率提高许多, 即从 $aP_1 \times bP_2$ 提高至 $P_4 \times bP_2$ , 因 $a_1cP_1 < aP_1$ , 使低瓦斯矿井发生瓦斯爆炸事故的概率提高更多, 即从 $a_1cP_1 \times b_1P_2$ , 提高至 $P_4 \times b_1P_2$ .

(3) 由于高瓦斯矿井发生瓦斯突发事件, 影响其进风区(低瓦斯区域)的概率要比低瓦斯矿井发生瓦斯异常高, 而两者在点燃源控制措施相近, 所以, 因瓦斯异常, 高瓦斯矿井的低瓦斯区域发生瓦斯爆炸的概率比低瓦斯矿井高。

(4) 发生瓦斯突发事件后, 其瓦斯超限的概率接近100%, 但是由于低瓦斯矿井在火花控制方面远远不如高瓦斯矿井, 所以低瓦斯矿井(区域)发生瓦斯爆炸事故的概率远高于高瓦斯矿井(区域),  $b_1P_2 > bP_2$ , 即低瓦斯矿井(区域)对瓦斯突发事件的抵抗能力更差。

因此, 概率分析表明, 瓦斯突发事件引发瓦斯爆炸的概率远比正常情况下瓦斯爆炸出现的概率大, 低瓦斯矿井(区域)对瓦斯突发事件的抵抗能力更差, 近年煤矿瓦斯事故发生的特点也验证了概率分析的推断, 因此, 煤矿瓦斯管理一定要注意加强对瓦斯突发事件引发瓦斯爆炸这一重大隐患的防治工作。

## 4 高可靠性安全保障是集约化生产条件下防治煤矿重大瓦斯爆炸事故的基础

### 4.1 高可靠性安全保障的概念

煤矿集中化生产是我国煤矿生产发展的必然趋势, 不少国有重点煤矿往往是一矿、一井、一面生产, 越来越多的矿井加大了开采强度, 矿井年产量逐年递增, 生产高度集中化. 然而, 在煤矿安全技术管理方面, 仍采用传统安全技术管理的模式. 一旦发生事故, 即出现群死群伤的特别重大事故, 出现集约化生产与开采强度增大与未实现高可靠性安全保障的矛盾, 这是煤矿重大瓦斯爆炸事故频发的安全技术管理层面的原因. 做好安全生产, 是要求把煤矿事故降低到社会可能接受的水平, 这种目标又随社会经济的发展而日趋严格. 比如, 近年来, 美国煤矿一年死亡30人左右, 达到社会可以接受的水平, 而我国, 尽管煤矿伤亡事故和人数逐年显著下降, 一年死亡4000多人, 仍未达到社会可能接受的水平。

传统的煤矿安全技术管理往往认为, 原发性灾害诱发更大的继发性灾害或者防治突发事件的致灾影响, 因其发生概率小, 在这些方面采取安全技术管理措施, 加大安全生产成本, 有些“得不偿失”; 而高可靠性安全保障的安全技术管理则认为, 这是保证煤矿安全生产, 特别是建立煤矿集中化生产的高可靠性安全保障机制所必须付出的生产成本. 这往往是传统安全生产观与国外发达国家安全生产观的重要差别。

因此, 改变传统煤矿安全生产观念, 建立煤矿安全生产的高可靠性安全保障技术管理机制和体系是进一步提高煤矿生产本质安全度、提高煤矿安全生产水平的必由之路. 高可靠性安全保障至少应包括以下 3 方面内容: ① 传统意义上的安全防范 (正常状态的重大隐患防治); ② 异常状况改变“安全状态”重大隐患的防治; ③ 应急救援能力的提高, 斩断原发性灾害向继发性灾害转化的致灾链.

由于对传统意义上的安全防范较为熟悉, 下面以瓦斯事故防治为例, 提出如何做到煤矿安全管理的高可靠性安全保障的第 2, 3 方面的内容.

#### 4.2 高可靠性安全保障的煤矿安全技术管理的建设

(1) 以瓦斯爆炸防治技术管理为例, 在安全技术管理较好的矿区, 传统意义上的安全防范仅重点关注高瓦斯区域的瓦斯管理工作, 这无疑是十分重要的, 但往往忽视低瓦斯区域受到突发事件影响致使“安全”区域的状态发生动态转换这一重大隐患的防治, 忽视斩断原发性灾害向继发性灾害转化的致灾链等高可靠性安全保障技术管理措施.

实现高可靠性安全保障, 就应该考虑本矿各低瓦斯“安全”区域受各类突发事件 (瓦斯突然涌出或突出冲击地压发生, 违章排放盲巷集聚瓦斯, 大小矿连通时小矿集聚瓦斯涌入大矿, 放顶煤采煤法顶煤塌落瓦斯大量涌出等) 影响下, 转变为重大隐患的可能性及其防治; 灾害预防处理计划必须对于本矿不同易发灾害区域, 制定针对性、可靠性和可操作性强的人员撤退、风流控制和灾害处理的不同的优化方案, 并防止或减少诱发继发性灾害的可能; 要做到高可靠性安全保障, 采区、工作面应有有效的隔爆、抑爆设施和措施, 应设置避灾硐室; 要做到高可靠性安全保障, 《煤矿安全规程》应对于突发事件隐患防治作出更明确的规定: 如各“安全”区域受各类突发事件影响下, 转变为重大隐患的可能性分析及其防治; 如采区、工作面设计必须考虑工作面带式输送机巷发生火灾时, 采区、工作面施行风流局部反风的可能性; 如基于对正常生产的安全技术管理, 传感器断电范围系传感器的上风侧, 要做到高可靠性安全保障, 为防治瓦斯突发事件致灾, 传感器断电范围系传感器的下风侧电器等条款.

(2) 以瓦斯突出矿井安全管理为例, 即使在安全技术管理较好的矿区, 传统意义上的安全防范仅注意如何防止瓦斯突出的发生, 这无疑是十分重要的, 但往往忽视如何减少突出后的致灾影响, 仅仅考虑安装防突风门; 而建立异常状况改变“安全状态”重大隐患的防治, 斩断原发性灾害向继发性灾害转化的致灾链等高可靠性安全保障, 就应该考虑瓦斯突出后, 监测监控系统的管理及其响应的及时性, 就应该考虑高压瓦斯流可能造成的瓦斯逆流入侵区域的判定及其致灾隐患的防治, 就应该加强可能出现的瓦斯逆流入侵区域的信息侦知、分析和抗灾能力, 并加强对可能入侵区域的电器设备的防爆管理; 应注意设置防突风门并不一定能挡住高压瓦斯流, 事故案例显示, 高压瓦斯流即使不会破坏防突风门, 也可能穿过防突风门与巷壁、水沟等间隙, 逆流一段距离; 还应注意传感器的相关参数 (位置、数量、种类、响应时间) 的合理选择如何有助于及时发现并综合分析瓦斯突出的相关信息, 发出预警并及时采取防治措施.

因此, 在煤矿集中化生产的新形势下, 在重点作好传统意义上的安全防范 (正常状态的重大隐患防治) 的同时, 不能忽视异常状况改变“安全状态”重大隐患的防治, 不能忽视提高应急救援能力, 斩断原发性灾害向继发性灾害转化的致灾链. 只有这样, 才能在继续加强高瓦斯区域重点防范的基础上, 注意对突发事件影响致使“安全”区域的状态发生动态转换这一重大隐患的防治, 进一步完善煤矿重大灾害事故防治体系, 提高安全生产水平.

#### 参考文献:

- [1] 吴宗之. 论重大危险源监控与重大事故隐患治理 [J]. 中国安全科学学报, 2003, 13 (9): 20~23.
- [2] Victor Y Haines, Merrheim Grégoire, Mario Roy. Understanding reactions to safety incentives [J]. Journal of Safety Research, 2001, 32 (1): 17~30.
- [3] 刘玉梅. 论突发事件的偶然性与必然性 [J]. 内蒙古财经学院学报 (综合版), 2005, 3 (1): 101~104.
- [4] 李裕奇. 概率论与数理统计 (上册, 第 2 版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004. 31.