

煤矿安全生产事故统计分析 & 预测研究^①

沙迪^{②*} 李雨成^{* **} 田叶^{***} 朱诗豪^{***} 陈晓军^{***}

(* 辽宁工程技术大学安全科学与工程学院 阜新 123000)

(** 矿山热动力灾害与防治教育部重点实验室(辽宁工程技术大学) 阜新 123000)

(*** 辽宁工程技术大学安全科学与工程学院 葫芦岛 125000)

摘 要 为了有效减少煤矿安全生产事故和指导国家煤矿事故控制政策的制定实施,对 2007 - 2016 年 777 起煤矿事故发生规律(时间分布、地域分布、事故等级)进行了综合分析,并结合三次指数平滑预测模型和交叉验证法对 2017 - 2019 年煤矿事故发生起数进行了预测。分析表明,2007 年是煤矿事故发生最多的一年,2007 - 2009 年呈断崖式下降,2010 年有小幅上升趋势,之后逐年下降;贵州、湖南等地质条件不稳定的省市是煤矿事故防控的重点;一般事故最多,其次是较大事故和重大事故;三次指数平滑法预测表明,2017 - 2019 年事故发生起数分别为 13、6、0 起,而交叉验证法预测值分别为 11、2、0 起。对煤矿事故规律的研究和事故起数的预测,对制定完善的安全管理措施和减少煤矿事故的发生具有重要意义。

关键词 煤矿事故,事故统计,事故分析,三次指数平滑法,交叉验证法

0 引言

通过对近 10 年发生的煤矿安全事故进行统计,了解到瓦斯问题最为严重。其治理难度大,常造成重大人员伤亡及财产损失,因此瓦斯事故预防是我国煤矿安全事故预防的重中之重^[1,2]。我国现有煤矿的开采方式多为井工开采,但是井下的条件比较特殊,生产的过程繁琐、复杂,另外还要受到各类自然灾害的威胁,因此,煤矿事故发生的概率比较大^[3]。通过分析煤矿事故的发生规律^[4-6],以达到控制和预防煤矿事故发生的目的,对企业的安全生产具有重大意义。我国应用 SPSS 软件^[7]和数学建模方法,为事故的预测奠定了基础。同时通过对大量煤矿事故的总结,为今后煤矿安全事故的控制和预防提供了合理的科学依据。

我国学者对于煤矿安全事故进行了大量的研究工作。文献[8]通过分析瓦斯积聚的原因、引爆火源和地点,分析事故发生的特点以及耦合规律。文献[9,10]对于特大瓦斯爆炸事故的案例,从施工、安全管理等方面客观地对瓦斯爆炸事故发生的原因进行了分析,进而提出了需要管理阶层反思的问题。文献[11,12]分析了煤矿事故中由于人的因素导致的瓦斯爆炸事故及度量,并利用爆炸环境与特征源进而研究了瓦斯爆炸的规律。通过上述文献,我们了解到目前主要研究方向是针对某起特别重大事故进行详细的分析,以及通过对各类煤矿事故进行简要分析^[13-15],从而提出相应的对策措施,尚缺乏对我国煤矿事故的多类别进行详细的研究,并通过对事故类型的分析研究进而发现规律,达到预测的目的。本文从国家安全生产监督管理总局等网站了解到近 10 年国内 777 起煤矿事故案例,希望对煤矿安

① 国家自然科学基金(51204089),辽宁省教育厅科研(L2014131)和辽宁省自然科学基金(201602355)资助项目。

② 女,1994 年生,硕士生;研究方向:矿井通风与粉尘防治;联系人,E-mail: 514800041@qq.com
(收稿日期:2017-08-21)

全事故进行交叉综合分析并应用各类统计图,直观明了地显示出最近 10 年我国煤矿事故发生的情况,并采用三次指数平滑法和交叉验证法对未来三年事故发生起数进行预测。以此提供今后我国煤矿预防和控制的重点方向,旨在降低煤矿事故,减少经济损失以及对未来事故发生情况的预测提供参考和依据,并为促进煤矿企业的发展和事故的安全决策提供理论支持。

1 煤矿事故类型与事故等级分析

1.1 事故类型分析

通过统计和分析近 10 年煤矿安全事故,得到了各类事故所占比例,如图 1 所示。

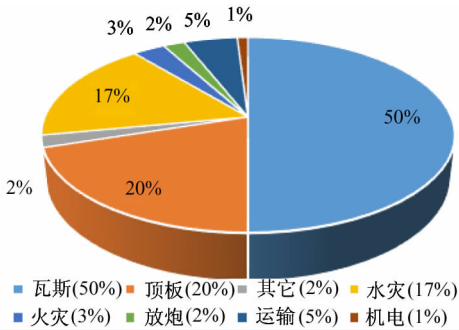


图 1 近 10 年煤矿各类事故所占比例

由图 1 可以看出,近 10 年来,瓦斯事故发生的次数最多,占到 50 %,顶板事故数量位居第二,占到 20 %,水灾事故占到 17 %,位居各类事故数量第三。因此瓦斯防治是我国煤矿安全事故防治中的重中之重,提出积极有效的安全决策以及应对措施,使企业在今后的安全生产过程中,能够充分提高对事故因素的警惕性,并且在事故发生后能够尽快地实施应急救援措施。运输事故虽然发生的概率相对较小,但是该类事故是可以通过提高管理水平,加强监督管理制度避免的。火灾,放炮,机电以及其他事故的发生大多与人的因素有关,加强对机电设备的管理力度,制定严格的防火措施,定期对企业人员以及井下人员进行安全教育,提高工作人员的素质,提高自救自保意识和抗灾能力,完全有可能控制这些事故的发生。这也反映出,重视安全检查工作在企业生产过程中的重要性。

1.2 事故等级分析

我国 2007 年颁布的《生产安全事故报告和调查处理条例》规定,按事故造成的人员伤亡情况将事故划分为一般事故(3 人以下)、较大事故(3 ~ 9 人)、重大事故(10 ~ 29 人)以及特大事故(30 人及以上)4 个等级。因此对近 10 年的事故作出相应统计,其等级分布如图 2 所示。

由图 2 可以看出,近 10 年较大事故所占比例最大,高达 72 %,其次是重大事故和一般事故,所占比例分别为 15 %、11 %。特别重大事故所占比例虽小,但是单次造成的损失却是最严重的。无伤亡事故虽然不多,但是也会给企业及国家造成一定的经济损失,这是不可以忽略的。

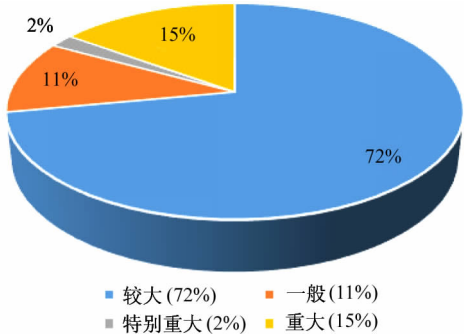


图 2 近 10 年各等级事故所占比例

根据近 10 年来煤矿安全生产事故等级绘制的折线图如图 3 所示。从整体看,各等级事故数量呈下降趋势。2007 - 2009 年呈断崖式下降,在 2007 年召开的全国煤矿瓦斯治理现场会提出建立“通风可靠,抽采达标,监控有效,管理到位”的瓦斯综合治理工作体系,着重强调通风工作在矿井生产过程中的重要性,说明国家对于煤矿事故的发生给予高度重视。在 2009 - 2010 年事故发生起数有上升趋势,很重要的原因是由于煤炭的需求量变大,导致越来越多的人投入到这个行业中来,一些小煤矿手续不齐全,安全管理水平很低,安全措施也不到位,这也是导致事故发生的直接原因。但是在 2010 年以后大致呈稳定下降趋势。2010 年国家煤矿安全监察局对煤矿事业进行了进一步整改,主要是以“煤炭整合、有序开发”为重点,对中小煤矿进行整合和改造,坚持“安全第一,预防为主,综合治理”的方针,全面提高安全生产水平,加大安全管理力度等措施使

煤矿事故的发生起数逐年下降并达到稳定状态。

由图3还可以看出,在2009-2013年间,重大事故有略微的上升趋势,虽然所占比例不大,但其造成的伤亡人数和经济损失足够引起重视。在近10年间,一般事故的波动较大,极不稳定,只要管理得当,这类事故是完全可以避免的。特别重大事故发生起数趋于稳定,在近5年内平均每年发生不到1起。虽然基本有效地控制了这类事故的发生,但是一旦发生将对国家和社会造成严重的损失,在管理上仍然不能松懈。所以,在今后的煤矿事故预防工作中,应对重大事故的预防给予高度重视,并且对建立大型矿井事故的应急救援预案高度重视,尽可能减少事故发生时造成的伤亡及财产损失。

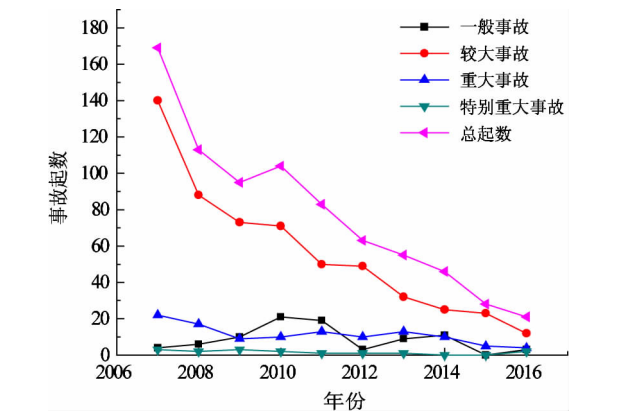


图3 近10年等级事故的折线图

2 煤矿事故的地域分布特点

通过对事故进行地域分布统计可知,贵州、湖南、云南、山西、四川事故起数最多,详细数据见表1,可以说这5个省份是我国煤矿事故发生重点区域。

表1 近十年重点省份煤矿事故起数					
地点	贵州	湖南	云南	山西	四川
事故起数/起	127	90	70	59	57

通过事故地域分布特点和地质条件进行分析后发现,这五省(直辖市)存在共同的地貌:海拔落差大,地貌复杂,地质构造多为断层。贵州、湖南地下水系丰富且多溶洞,故造成其两省份发生事故较多,

而像西藏地质条件稳定的省份,发生事故的数量则较少。

煤矿安全事故的发生多为产煤大省,这为我国新阶段的煤矿安全管理提供了新思路,我们应该重点监督和管理产煤大省,这样既可以保证事故率的降低,又可以节约人力和经费。

3 各类事故数量分析及趋势分析

为直观展示煤矿各类事故发展的趋势,对2007-2016年间的瓦斯、顶板、机电、放炮、水灾、火灾、运输以及其他事故起数分别进行统计,如图4所示。

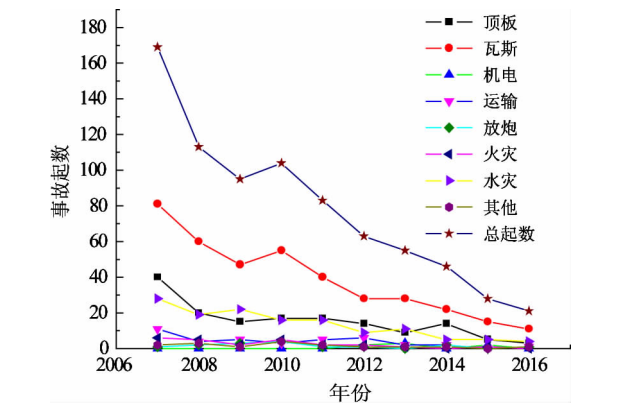


图4 各类事故近十年的走势

由图4可以看出瓦斯事故在2010年有小幅度上升,其原因是瓦斯事故作为井下常见的事故类型,发生过程迅速,很难控制。一些新起的小煤矿安全技术措施落后,既不能及时发现和预测事故的发生,也不能在事故发生后建立完善的应急救援预案。但从总体上看事故起数呈现明显下降趋势,这也足以说明通过国家先后提出的“先抽后采,以风定产,监测监控”和“通风可靠,抽采达标,监控有效,管理到位”的管理体系同国家先进的科学技术水平融合,基本控制了瓦斯事故的发生;顶板事故(冒顶、片帮、顶板坍塌)起数在2007年到2008年呈断崖式下降,之后事故数量趋于平稳,虽有小幅度增加,但总体呈下降明显;水灾事故在近十年内的整体数量呈下降趋势,但是波动较大,极不稳定,说明我国对于水灾事故并没有制定良好的预防措施,同时也说明预防此类事故的困难性,足够引起企业的重视;运输

事故在近 10 年内趋于稳定。运输事故一般由人为因素而引起的,所以企业应该重视安全教育,加强安全人员的培训工作,使其具有良好的职业素养;火灾事故在 2007 年是近 10 年最多的一年,之后虽有波动,但整体下降,2012 - 2015 年,平均每年不到 1 起,说明该类事故是完全可以避免的。放炮事故在近 10 年稳定下降,这类事故只要企业加强对员工的安全教育,严格执行安全管理制度,并随时更新煤矿安全事故应急救援预案,这类事故是可以避免的。其他事故和机电事故基本处于平稳态势,大多是人为因素造成的,这类事故也具有可避免性。

因此,国家相关的法律法规、安全培训教育、领导的工作能力显得尤为重要,公司高层领导应该严格把控每一关,在以人为本和安全第一的前提下对煤矿进行管理。

4 事故起数预测

4.1 时间序列平滑法

时间序列平滑法是利用时间序列的数据资料进行短期预测^[16,17]。过去的时间序列的数据存在着某种基本形态,假定该形态短期内不发生改变,可以作为预测下一时期状况的基础。进行平滑的目的,就是要消除时序的极端值,取较平滑的中间值为依据来进行预测^[18]。

我国近 10 年煤矿安全事故造成的人员死亡数量如图5所示,发现数据具有非线性减少的趋势,那

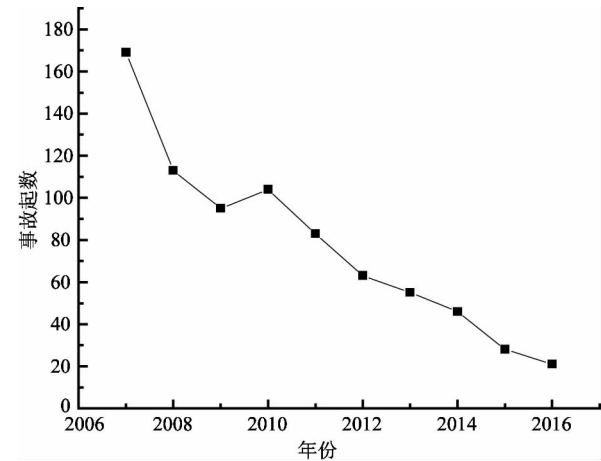


图 5 近 10 年事故发生起数趋势图

么一次、二次指数平滑法都不能应用于该序列的预测。这种情况下,可以采用三次指数平滑法建立非线性模型进行预测。

三次指数平滑法通常用于短期预测,它是在二次平滑值的基础上又进行了一次平滑,可以用它来估算二次多项式的参数值。根据文献[19]建立数学模型为

$$\hat{y}_{t+m} = a_t + b_t m + c_t m^2 \tag{1}$$

式中 t 是初始值所在的年份, m 为开始预测后的年数, a_t, b_t, c_t 为预测参数。

4.2 事故预测

根据近 10 年煤矿发生事故起数统计数据,应用三次指数平滑法预测 2017 - 2020 年这 4 年的煤矿事故起数。

应用三次指数平滑法进行预测必须首先估计初始值 $S_0^{(1)}, S_0^{(2)}, S_0^{(3)}$ 。本次统计的煤矿事故发生起数为近 10 年(见表 2),且不能忽略初始平滑值对预测值的正常影响,经过反复试算,可以取前 4 个数据的平均值作为平滑初始值,如下式所示:

$$S_0^{(1)} = S_0^{(2)} = S_0^{(3)} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} \tag{2}$$

表 2 近 10 年煤矿事故发生起数

年份	事故起数/起	年份	事故起数/起
2007	169	2012	63
2008	113	2013	55
2009	95	2014	46
2010	104	2015	28
2011	83	2016	21

从图 5 中可以看出,时序有明显的变化趋势, α 取值通常在 0.3 ~ 0.5 间,经反复计算可知,当 $\alpha = 0.45$ 时,预测值最为精确。代入数据可得: $S_0^{(1)} = S_0^{(2)} = S_0^{(3)} = 120$, 结果数据如表 3 所示。

递推法得 $S_{2016}^{(1)} = 34.2598, S_{2016}^{(2)} = 48.6632, S_{2016}^{(3)} = 62.8714, a_{2016} = 19.6612, b_{2016} = -6.6931, c_{2016} = -0.0653$, 所以 $\hat{y}_{2016+T} = 19.6612 - 6.6931 T - 0.0653 T^2$, 故当 $T = 1$ 时,2017 年的预测值为 13; $T = 2$ 时,2018 年的预测值为 6; $T = 3$ 时,2019 年的预测值为 0。

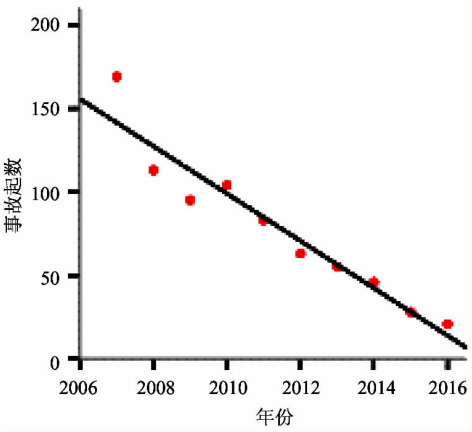
表 3 三次平滑法预测计算表

年份	Y_t (事故起数/起)	一次指数 平滑式	二次指数 平滑式	三次指数 平滑式	a_t	b_t	c_t	预测值
初始值		120	120	120				
2007	169	142.05	129.9225	124.4651	160.8476	12.6884	2.2326	
2008	113	128.9775	129.4973	126.7296	125.1703	-3.7977	-1.1003	
2009	95	113.6876	122.3829	124.7736	98.6877	-10.7477	-2.1102	
2010	104	109.3282	116.5083	121.0542	99.5139	-6.0867	-0.8817	
2011	83	97.4805	107.9458	115.1554	83.7596	-8.2388	-1.0897	
2012	63	81.9643	96.2541	106.6498	63.7803	-10.6520	-1.3034	
2013	55	69.8304	84.3634	96.6209	53.0217	-9.0068	-0.7616	
2014	46	59.1067	72.9979	85.9906	44.3170	-7.2251	-0.3007	
2015	28	45.1087	60.4477	74.4963	28.4791	-8.3016	-0.4319	
2016	21	34.2598	48.6632	62.8714	19.6612	-6.6931	-0.0653	
2017								13
2018								6
2019								0

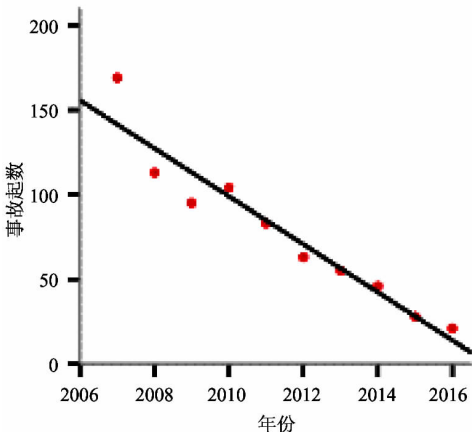
4.3 交叉验证法及预测

由图 5 可以明显地看出事故发生起数随年份逐

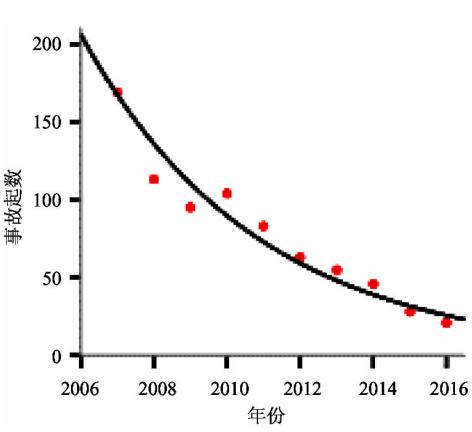
渐减少,为了得到更好的拟合数据,分别建立线性与非线性模型^[20],如图 6 所示。



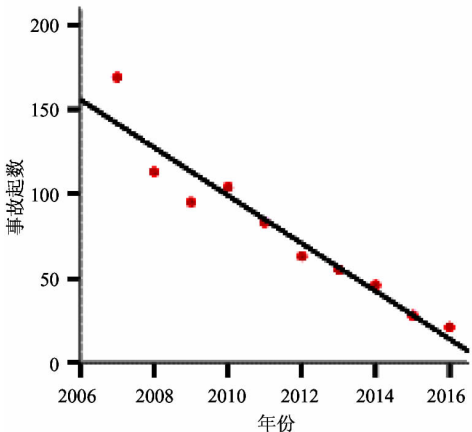
(a) 线性模型



(b) 二项式模型



(c) 指数模型



(d) 对数模型

图 6 模型拟合的数据图形

采用 LOO-CV 交叉验证法计算模型拟合的均方误差 (MSE) 为: $MSE_{(线性)} = 146.3$; $MSE_{(二次多项式)} = 105.3$; $MSE_{(指数)} = 120.6$; $MSE_{(对数)} = 101.4$ 。显然, 对数模型拟合的效果最佳, 得到的拟合函数为: $y = -157.7\ln x + 457.63$, 因此, 2017 - 2019 年的事故发生起数预测值分别为 11、2、0 起。

4.4 预测结果分析

以 2007 - 2010 年数据作为样本, 运用三次指数平滑法预测 2017 - 2019 年事故发生起数, 结果如图 7 所示。每年事故发生数随时间逐年递减, 这与近几年全国重视安全管理问题有很大的关系。受统计年限限制, 本研究采用方法可进行较为精准的短期预测, 为安全生产提供指导意义; 通过模型对 2017 - 2019 年事故发生起数的短期预测发现, 至 2019 年我国煤矿安全事故起数为 0 起, 达到理想安全状态, 我国安全管理水平上升至新的台阶, 但并不排除因自然因素, 如板块运动、地震等不可控制因素带来的强制诱发事故, 为此需要相关部门做好自然灾害预防。时任国务院副总理张德江于 2007 年召开的全国煤矿瓦斯治理现场会指出建立“通风可靠, 抽采达标, 监控有效, 管理到位”的瓦斯综合治理工作体系, 着重强调了通风工作在矿井生产过程的重要性并取得了显著的效果, 也说明了国家对于煤矿事故的发生给予高度重视。并且在 2008 年的煤矿生产中, 取得了显著的效果。

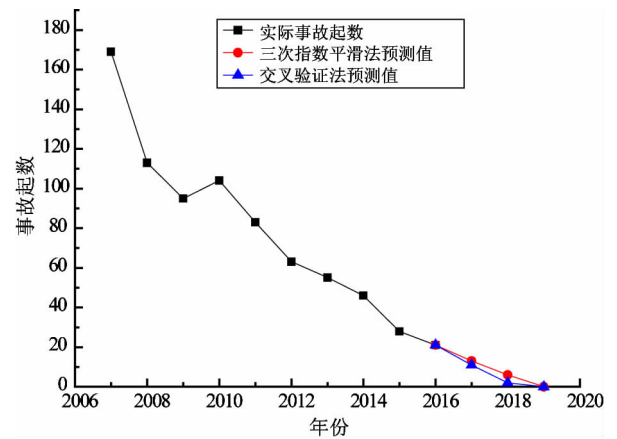


图 7 事故起数原值与预测值对比图

从预测的数据来看, 三年之后煤矿事故的发生可以控制住。即使是这样, 我们仍然不能松懈对煤

矿的安全管理, 继续加强煤矿安全建设, 杜绝煤矿事故的发生。

5 结 论

在未来的较长时间内我国的基础能源仍是煤炭, 煤炭在我国消费结构和能源的生产中占有较大比重, 通过近 10 年煤矿各种事故统计分析, 得到以下结论:

(1) 煤矿事故发生起数在 2010 年以后进入稳定期。发生地点多为产煤大省, 在各等级事故统计当中虽然特别重大事故比率较低, 但其引起的单次伤亡人数及财产损失却极其巨大, 这也为我国现阶段制定完善的安全管理制度提供了新思路。

(2) 煤矿事故发生起数在 2007 - 2009 年呈断崖式下降, 这说明 2007 年建立的“通风可靠, 抽采达标, 监控有效, 管理到位”的瓦斯综合治理工作体系取得了显著的效果, 也说明了国家对于煤矿事故的发生给予高度重视。由于煤矿的需求量变大, 导致越来越多的人投入到这个行业中来, 一些手续不齐全的小煤矿安全管理水平、安全措施均不到位, 使事故发生起数有小幅度上升趋势。之后国家加大安全管理力度等措施使煤矿事故的发生起数逐年下降并达到稳定状态。

(3) 通过三次指数平滑法和交叉验证法对未来三年事故起数进行了预测, 可知事故发生起数逐年减少, 至 2019 年, 我国煤矿事故起数为 0, 说明我国安全管理水平已得到明显提高。而预测值只是依据往年事故规律进行总结, 并对短期内的事故发生起数进行预测, 因此实际数据与预测值可能会有所偏差。

参考文献

[1] 景国勋, 段振伟, 程磊, 等. 瓦斯煤尘爆炸特性及传播规律研究进展[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(4): 67-72

[2] 田文艳, 董增寿. 基于灰色关联分析法的煤矿伤亡事故统计研究[J]. 太原科技大学学报, 2014(02): 102-104

[3] 王树玉, 刘伯, 刘景华, 等. 煤矿五大灾害事故分析和防治对策[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2006. 1-

- [4] 靳运章. 我国煤矿事故特征规律及组合预测模型研究:[硕士学位论文][D]. 西安:西安科技大学安全科学与工程学院, 2016. 22-35
- [5] 景国勋. 2008-2013 年我国煤矿瓦斯事故规律分析[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(5): 353-356
- [6] 龙威成, 刘明举, 陈志胜, 等. 基于多源瓦斯数据融合的瓦斯赋存规律研究方法[J]. 煤炭科学技术, 2009(2): 42-46
- [7] 徐金潇. 基于 SPSS 软件的煤矿安全事故分析及预测[J]. 能源技术与管理, 2015, 40(6): 122-123
- [8] 李润求, 施式亮, 罗文柯. 煤矿瓦斯爆炸事故特征与耦合规律研究[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(2): 69-74
- [9] 董连华, 董汉鹏, 韩志刚, 等. 对芦岭煤矿一起瓦斯爆炸原因的再认识[J]. 煤矿安全, 2008, 39(11): 97-99
- [10] 浑宝炬, 马连河. 对林西矿瓦斯爆炸事故的思考[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(8): 78-80
- [11] 陈红, 祁慧, 谭慧. 中国煤矿重大瓦斯爆炸事故中的人因及度量[J]. 科技导报, 2005, 23(10): 41-44
- [12] 陈红, 祁慧, 谭慧. 基于特征源与环境的煤矿重大瓦斯爆炸规律[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(6): 793-796
- [13] 蓝航, 陈东科, 毛德兵. 我国煤矿深部开采现状及灾害防治分析[J]. 煤炭科学技术, 2016(1): 39-46
- [14] 孙继平. 煤矿事故分析与煤矿大数据和物联网[J]. 工矿自动化, 2015, 41(3): 1-5
- [15] 朱月敏. 煤矿安全事故统计分析:[硕士学位论文][D]. 阜新: 辽宁工程技术大学安全科学与工程学院, 2012. 27-54
- [16] 田甜, 李星野. 时间序列的分频与建模[J]. 统计与决策, 2010(9): 15-17
- [17] 刘罗曼. 时间序列分析中指数平滑法的应用[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2009, 27(4): 416-418
- [18] 朱庆明. 煤矿事故统计分析与预测研究:[硕士学位论文][D]. 青岛: 山东科技大学矿业与安全工程学院, 2010. 9-23
- [19] 朱庆明, 张浩. 三次指数平滑法在煤矿事故预测中的应用研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(4): 103-106
- [20] 王怀亮. 交叉验证在数据建模模型选择中的应用[J]. 商业经济, 2011(10): 20-21

Statistical analysis and prediction of coal mine production safety accidents

Sha Di^{***}, Li Yucheng^{**}, Tian Ye^{***}, Zhu Shihao^{***}, Chen Xiaojun^{***}

(* College of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000)

(** Key Laboratory of Mine Thermo-motive Disaster and Prevention, Ministry of Education, Fuxin 123000)

(*** College of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125000)

Abstract

In order to effectively reduce the amount of accidents in coal mine production and guide the formulation and implementation of the national policy for coal mine accident control, the laws of 777 coal mine accidents of 2007-2016 in their time distribution, geographical distribution and accident level are analyzed comprehensively, and the third index smoothing prediction model and the cross validation are used to forecast the number of coal mine accidents in 2017-2020. The analysis indicates that the year of 2007 was the most serious year of the coal mine accident, and the accident number rapid declined in the period of 2007-2009, with a slight upward trend in 2010, and then declined year by year; Guizhou, Hunan and other cities with geological conditions were the major targets for coal mine accident prevention and control. The forecast using the third index smoothing prediction model shows that the accident numbers of 2017, 2018 and 2019 are 13, 6, 0, respectively, while the cross validation method gives the results of 11, 2, and 0. It is of great significance to improve the safety management measures and reduce the occurrence of coal accidents by studying the law of coal mine accidents and the prediction of the number of accidents.

Key words: coal mine accidents, accident statistics, accident analysis, cubic exponential smoothing, cross validation