

Bow-tie 模型对残药爆炸的安全风险分析

吴霄¹ 杨长辉² 姜道阳¹ 郑派¹ 陈佳璇¹

1 浙江省隧道工程集团有限公司 2 梅州市地质环境监测站

DOI:10.12238/pe.v3i4.15079

[摘要] 利用Bow-tie模型对残药爆炸发生危险隐患、产生事故的具体因素以及产生后果影响进行安全评判,其分析的主要重点方向放在较为薄弱的产生风险及组织控制的环节上。基于此,本文通过该模型对矿山残药发生爆炸的安全风险等级进行分析,经过对一些具体事故的分析,归纳总结出产生事故的具体因素及产生的危险后果,探讨造成残药爆炸的原因。并且从人员管理,风险管控和组织安全的角度出发,为预防矿山残药爆炸事件的发生,提供科学的理论依据和实际的指导。

[关键词] 风险分析; Bow-tie模型; 残药爆炸事故

中图分类号: X928.7 **文献标识码:** A

Safety Risk Analysis of Residual Explosive used by Bow-tie Model

Xiao Wu¹ Changhui Yang² Daoyang Jiang¹ Pai Zheng¹ Jiaxuan Chen¹

1 Zhejiang Tunnel Engineering Group Co., Ltd.

2 Meizhou Geo-environmental Monitoring Station

[Abstract] The Bow-tie model is used to make a safety evaluation on the hidden dangers, specific factors of accidents and consequences of residual drug explosions. The main focus of the analysis is on the weaker links that generate risks and organizational control. Through the analysis of the safety risk level of the explosion of the residual chemical in the mine, through the analysis of some specific accidents, the specific factors of the accident and the dangerous consequences are summarized, and the construction measures that cause the explosion of the residual chemical are discussed, and the organization and management and other reasons. From the perspective of personnel management, risk control and organizational safety, it provides scientific theoretical basis and practical guidance for preventing the occurrence of mine residue explosions.

[Key words] risk analysis; Bowtie model; residual explosive accident

引言

我国矿山体系的发展日渐完善,数字矿山、智能化矿山等先进理念逐步的深入到一些大型矿山^[1-2]。但是目前矿山开采技术使用的大多还是钻爆开采技术,所以在开采的过程中,由于工艺、工人管理等问题的原因,存在残药被引爆的危险,这在矿山的开采过程中是一种不能被接受的安全事故。比如国内的准噶尔宝山露天矿在进行大爆破时,多次发生炮孔中含有导爆管雷管拒爆的事故产生;根据南非矿业和该地能源部门的不完全统计,约有30%~40%的爆破伤亡危害事故产生的主要原因是爆破后的盲炮没有得到有效的识别或处理不当造成的。因此对矿山爆破残药的产生和爆炸事故的风险等级的分析显得迫在眉睫。

当前,对安全风险分析的方法较多。通常都可以从定性和定量两个不同的角度对危险源进行评价分析。其中Bow-tie模型分析法主要关注于在风险控制及系统管理二者间的相互关联上。文

章针对残药爆炸存在危险,运用Bow-tie模型,建立事故树、事件树对事故的发生原因以及会产生的严重后果进行分析,找出原因并且通过此方法去寻找预防此类事故发生的安全手段。

1 巷道掘进中残药爆炸的风险因素分析

经过对相关文献的查阅^[3],总结梳理之后,将矿山残药发生爆炸的主要原因分为两个方面:一是残药的出现;二是出现能将残药引爆的能量。前者主要的风险因素可以分为人、物、环境、管理等四个方面,后者主要是人员操作的过程中疏忽大意,对前者的出现不重视,在残留炸药存在的情况下,依然使用钻机等设备间接或直接的冲击残药,造成残药的爆炸,引发安全事故。

1.1 残药的出现

1.1.1 人员因素

通过对发生残药爆炸事故的分析,可以发现由于爆破操作人员受教育程度不同,员工素质不同,会造成其在实际操作过程

中能力的差异,导致装药、连线质量参差不齐。大致可以将人员的因素主要分为以下几种:(1)在对爆破网络进行串并联连接时,出现漏连;(2)在进行装药时,将炸药过于捣实,造成炸药钝化;(3)在操作过程中,用力不当,造成雷管脱位。

1.1.2物的因素

炮孔中残药的出现主要可以分为以下几种关于物的因素:雷管、连接网络、炸药、起爆器材四个方面。

雷管方面主要的可以分为:(1)在领取的雷管中,存在雷管的脚线破皮,造成短路或漏电;(2)在单次爆破中使用了不同生产厂家所生产的雷管和不同批次的雷管。

连接网络主要是在进行大型爆破,有很复杂的爆破网路时,由于工作人员的疏忽会发生漏连的情况,其次就是整个爆破网络的电阻过大。

炸药:(1)对于混装炸药,会出现比例不均衡或搅拌不均匀;(2)装药的药卷直径太小,导致炸药的爆速降低,达不到临界直径,所以传爆不能顺利的进行。

起爆器:(1)起爆器能量不足以起爆整个爆区;(2)爆破网路中的爆破母线与起爆器接触不良。

1.1.3环境因素

施工环境对残药残管的出现也有很大的影响,其中最主要的是考虑以下几个方面:(1)地下水的出现,将使得粉末状炸药或铵油炸药在作业过程中使其因炮孔内部累积大量的水量,其由于潮湿而使炸药的爆速降低甚至较为严重的失效;(2)掘进地区存在溶洞,通常爆破施工人员在装药的过程中才发现溶洞,在堵住之前就已经有部分炸药落入溶洞内,便形成残药。

1.1.4管理方面

在实际的生产生活中,对人员的培训是很重要的。管理方面主要分为:(1)对人员进行全方位的培训;(2)还应该注重于对人员的监督和监管。

1.2能量的出现

现今,在矿山的开采过程中,主要采用的方法是钻爆开挖技术,凿岩机钻孔是造成残留炸药爆炸的主要能量。以下是部分国产气腿式风动凿岩机的性能参数如表1。

表1 部分国产气腿式风动凿岩机主要技术参数表

型号	凿孔直径/mm	冲击功/J	冲击频率/次*min ⁻¹	扭矩/N·m	生产厂家
YTP-26	36~45	>59	2600	>17.6	湘潭风动工具厂
YT-26	34~43	>59	2000	>15	天津风动工具厂
YT-27	34~45	>75	2600	>20	八分矿山机械有限公司
YT-28	34~42	>70	2600	>18	耿力机械有限公司

本文主要基于对岩石硝铵炸药为例展开分析,分析其在冲击荷载的作用下发生爆炸的概率事件。通过对其进行室内试验研究得出:当硝铵炸药为0.05g,在锤重为10kg的高度为25cm处下落的条件下,重复进行25次平行试验,其中得出的试验结果

为:在本试验中发生爆炸的可能性为32%~40%,即在外力重锤自由下落时所产生的冲击功为24.5J时,硝铵炸药发生爆炸的可能性为32%~40%^[4]。根据表1中的数据统计,不难发现所有型号的气腿凿岩机的冲击功均大于冲锤产生的冲击功24.5J,均大于两倍以上。则由此推算出凿岩冲击设备在冲击炸药引起爆炸的概率也将远大于32%~40%。

当然在实际的生产过程中,炸药的感度还会受影响。例如炸药的物理状态、装药密度、温度、一些土壤等杂质的掺入,都将会使得炸药在爆炸过程中的感度增高或降低。

2 Bow-tie模型在分析残药爆炸事故中的应用

2.1 Bow-tie模型

我们可以将模型引入爆破安全研究中^[5]:Bow-tie模型分析方法也被称之为在“三角模型”的基础上,以蝴蝶结的方法对基本事件进行初风险评估分析。通过其分析可以更好的评价产生风险的情况,以更好的助于人们对风险系统的了解和对其风险进行防控。简单说,在Bow-tie模型分析中主要是把顶上事件作为分析的核心组成,并按产生风险等级的强度向前分析其导致事故发生的可能因素,再向后分析顶事件发生后可能产生的后续事件,并有针对性地设置产生事故的屏障以此来进行危险防控。

2.2事故原因分析

综合分析上述残药爆炸事件发生的原因,运用Easy Draw软件绘制事故树。

残药和残管是否发生标准作为事故树的顶上事件,对其展开一系列的定性分析,得到:

$$\begin{aligned} T &= M_1 * M_2 = (M_3 + M_4 + M_5 + M_6) * M_2 = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + \\ &X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25}) * X_{26} \\ &= X_1 X_{26} + X_2 X_{26} + X_3 X_{26} + X_4 X_{26} + X_5 X_{26} + X_6 X_{26} + X_7 X_{26} + X_8 X_{26} + X_9 X_{26} + X_{10} X_{26} + X_{11} \\ &X_{26} + X_{13} X_{26} + X_{14} X_{26} + X_{15} X_{26} + X_{16} X_{26} + X_{17} X_{26} + X_{18} X_{26} + X_{19} X_{26} + X_{20} X_{26} + X_{21} X_{26} + X_{22} X_{26} + \\ &X_{23} X_{26} + X_{24} X_{26} + X_{25} X_{26} \end{aligned}$$

通过计算可以得出该事件的最小割集有25个,说明造成事故发生的故障模式有25种,系统的危险性较高。对结构重要度的计算方式有许多种,用下式计算结构重要度,是被广大学者认可,并且计算简便的。

$$I_k(i) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{1}{m_r(X_i \in E_r)} \quad (i=1,2,3,\dots)$$

式中:k表示为最小割集的总个数,其为25;m_r表示为在最小割集中的基本事件的个数。

计算可得:

$$I_{25}(1) = \frac{1}{25} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{50} \quad I_{25}(2) = \frac{1}{25} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{50}$$

$$I_{25}(3) = \frac{1}{25} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{50} \quad I_{25}(4) = \frac{1}{25} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{50}$$

.....

$$I_{25}(25) = \frac{1}{25} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{50} \quad I_{25}(26) = \frac{1}{25} \times$$

$$\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \dots \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}$$

通过上式可得: $I_{25}(26) > I_{25}(25) = I_{25}(24) = I_{25}(23) = I_{25}(22) \dots = I_{25}(1)$ 。

结构重要度分析结果表明,在发生残药爆炸的事件中,凿岩机冲击残孔(基本事件26)这一因素优先于其他因素。采用事故树分析方法判别出产生事故危险的原因,大致可以分为安全政策: $X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{18}, X_{20}, X_{22}, X_{23}$; 组织机构职责: $X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}$; 安全教育与培训: $X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}$; 物的安全目标: $X_1, X_2, X_5, X_6, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{12}$; 风险管理: X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 , 安全监督: X_{21}, X_{19} , 其他因素。根据结构重要度,对bow-tie图进行简化。

2.3 Bow-tie模型的事故后果预测

事件树用ETA表示,其建立对发生事故所造成的不良结果进行分析,确定其接近危险时,所产生的不同后果及风险等级进行分析,其具体情况如图1所示。



图1 风险等级图

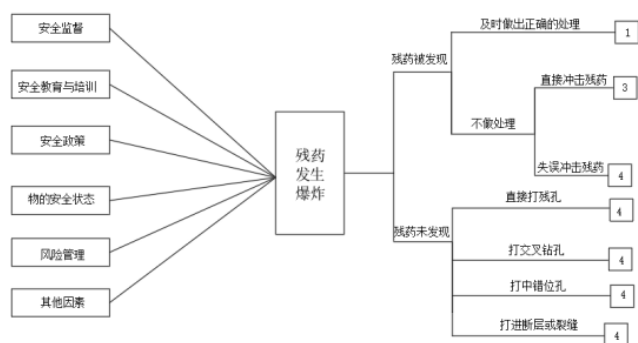


图2 Bow-tie图

利用事件树分析残药发生爆炸, 残药被发现及时得到处理这两种后果。通过风险等级图, 可以得到发生残药爆炸事故的概率大概为0.2975, 不会发生爆炸的概率为0.7025。根据上述的分析结果, 绘制简化的Bow-tie图(见图2)。

通过图2可以看出残药发生爆炸这一安全事故产生的结果是我们所不能接受的。可以发现其主要原因是安全监督不到位、安全教育和培训得不到重视、安全政策未落到实处、一些物品的安全状态得不到保障、对风险的管理不及时不科学等因素造成。

3 结论

(1) 通过对残药爆炸事故的总结, 运用Bow-tie模型对事故发生的原因、事故发生后可能产生的后果进行分析, 计算结构重要度和事故发生的概率, 得出导致残药爆炸的两个关键因素, 一是残药的出现, 二是出现能够将残药引爆的能量(凿岩机钻孔)。(2) 运用Bow-tie模型对爆破作业过程中残药爆炸导致人员伤亡的事件进行分析, 包括对人、物、环境、管理等方面的综合性系统性的分析。使得管理者对事故的发生过程及后果有一个系统、直观的认识, 能够为矿山安全管理人员去完善管理系统提供有力帮助。(3) 在矿山爆破作业过程中, 对残药发生爆炸的安全性进行风险分析, Bow-tie模型具有直观、迅速、有效、准确、简洁等特点, 能够提前的辨识风险, 预估事故的风险等级。

[参考文献]

[1]叶磊,汪泽.互联网与爆破安全管理融合技术研究[J].工程爆破,2021,27(2):130-134.

[2]刘健修.我国爆破行业安全管理标准体系构建[J].工程爆破,2019,25(5):79-82.

[3]国家安全生产监督管理总局.爆破安全规程:GB6722-2014
[S].北京:中国标准出版社,2015.

[4]张金泉,高文乐,毕卫国.炮孔残药在冲击作用下爆炸的可能性分析[J].煤矿安全,2010,41(2):103-104+111.

[5]赵珂玓,张义平,雷振,等.改进AHP-模糊综合评价在工程爆破安全评价中的应用[J].中国矿业,2019,28(8):160-164.

作者简介:

吴霄(1994--),男,汉族,浙江衢州人,工程师,硕士研究生,主要从事采矿工程、工程爆破等方面的研究工作。