

浅论矿山工程地质灾害控制

王启明¹, 周爱民²

(1. 国家安全生产监督管理局, 北京 100013; 2. 长沙矿山研究院, 长沙 410012)

摘要: 矿山工程地质灾害是矿山生产中最常见的灾害事故, 所造成的生命财产和经济损失, 以及不良社会影响, 严重制约了国民经济和矿山企业的可持续发展。分析了矿山产生工程地质灾害事故的类型与原因, 阐述了矿山工程地质灾害的控制与防治技术, 认为通过采用适当的工程地质灾害控制技术、控制措施和控制工程, 实行预防为主的控制方针, 可以有效控制矿山工程地质灾害的发生。

关键词: 地质灾害; 灾害防治; 微震监测; 预警技术

1 国内外矿山工程地质灾害浅析

我国是一个采矿大国, 且是一个最大的发展中国家, 正处于以开发和利用矿产资源为主要特征的工业化过程中。八十年代以来, 由于国家经济的发展对矿产品的需求量增大、市场经济条件下形成的对国有矿山企业的冲击、个别矿山片面追求经济效益、安全管理和环境保护意识的淡化、开采技术及设备的相对落后、民采的干扰等, 导致矿山多年开采积聚的灾害隐患爆发、开采环境不断恶化, 矿山工程地质灾害问题日趋严重, 造成人员伤亡、环境破坏、矿产资源严重浪费。近年来, 金属矿山冒顶、突水、地表塌陷等重大工程地质灾害事故不断发生, 矿山灾害事故难以抑止, 而且存在的各类灾害隐患未能及时有效的消除。频繁发生的矿山灾害事故给国家、矿山企业以及矿区的广大人民群众造成了巨大的生命财产和经济损失, 产生了不良的社会影响, 严重制约了国民经济和矿山企业的可持续发展。

国外矿山行业在工程地质灾害控制技术、控制措施和控制工程方面的投入很大, 实行以防为主的控制方针, 防范于未然, 因而最大限度地降低了矿山工程地质灾害的发生。如美国 2000 年非油气矿山的事故死亡人数仅 40 多人, 其中地下金属矿山的最大安全隐患还是放矿溜井, 约有 75% 的事故与放矿溜井有关。据澳大利亚矿业委员会统计, 1997 年矿山发生灾害事故共死亡 33 人, 其中 10 人死于冒顶, 其余的与大型设备的违规操作有关。其他如英国、日本和加拿大等国家也是如此。可见国外发达国家在工程地质灾害的控制方面取得了很显著的成效。

综观国内外矿山安全状况, 可初步得出以下认识: 金属矿山事故原因以冒顶、塌陷、岩爆、涌水和滑坡等工程地质灾害为主; 矿山安全的影响因素还包括开采技术、矿工素质和安全管理等。为了建设一个最安全的矿山, 各个国家均付出了最大努力。在发达国家和中等发达国家, 采矿工业已发展成为最安全的行业之一。但是, 我国矿山尤其煤矿和建材矿是最不安全的行业。近年矿山事故率接近于美国 20 世纪初叶的水平。这说明我国经济水平正处在初级发展阶段, 也反映了发展中国家的基本特征。同时, 矿山安全状况的好坏还是一个国家综合实力强弱的反映。

2 矿山工程地质灾害隐患分析

矿山工程地质灾害主要是指因开采引起矿山地应力重新分布, 导致岩移和岩体破坏等灾变状况。这些灾害隐患可以通过矿山岩石力学工程设计和矿山工程地质灾害控制与预防技术来消除。但由于金属矿山的地质条件恶劣, 地压灾害隐患多, 其影响因素复杂。从矿床地质构造、地应力环境条件、岩层软弱带、岩体裂隙、地下水、地热, 以及开挖影响等各方面, 均相互制约着采矿工程和围岩的稳定性。

2.1 矿山工程地质灾害类型

矿山边坡和尾矿坝滑坡是地表较常见的工程地质灾害类型, 除此之外, 由地压引起的工程地质灾害还包括以下几种类型。

(1) 地表塌陷。由于浅部空区或较大范围的采动影响, 在近地表的岩移活动中, 有可能对地表建筑和道路等构成一定危害, 有些甚至引起山体滑移。在

矿山较为普遍,造成危害较大。可能由爆破诱发或岩层移动到一定程度时爆发采空区大范围塌落冲击。由于空区的突发性崩塌,还会产生巨大的地震波、空气冲击波等灾害。

(2) 采场冒顶。冒顶灾害事故最为普遍,包括岩层脱落、块体冒落、不良地层塌落,以及由于采矿和地质结构引起的各种垮塌。特别是岩矿稳定性差的难采矿体及软弱夹层,易发生较大规模的垮落,引起采场和巷道冒顶事故。

(3) 深部岩爆。矿山进入 1000 m 以下深部开采后,高应力条件下的硬岩层往往会发生岩爆。如我国冬瓜山铜矿开拓达 1100 m,深部有岩爆声和岩石弹射现象;红透山铜矿开拓达 1337 m,在采深 1100 m 左右,大片采区花岗岩柱及上下盘发生多次岩爆,井巷工程严重破坏,给生产造成危害。

(4) 地下水穿透和突发涌水。虽然突发性大量涌水不是直接由地压引起,但与采矿作业有密切关联,一旦接近积水的巷道和采空区,或遇到溶洞和地下暗河等,在隔离岩层突然失稳的情况,易造成灾害。

(5) 非正常生产引起的灾害事故。一些民采小矿点违反规程,不遵循客观条件乱采乱挖,不处理空区、打乱开采顺序、破坏隔离和保安矿柱,等等,因而常引发灾害事故。

2.2 矿山井下工程地质灾害源

(1) 软弱破碎岩层与含水岩层: 软弱破碎岩层是导致矿山工程地质灾害的直接工程地质条件,这类岩层又是矿床赋存条件中常见的岩层,因而多数矿山都需要在这些岩层中布置工程;尤其是这些岩层富含地下水时,造成的危害更大。因此,开采这类复杂岩层条件下的矿床时,必须特别重视,采取必要的灾害防治措施。(2) 山坡角和地应力集中构造区: 这些区段往往水平应力异常,采场和巷道容易冒顶、片帮和坍塌。应结合主应力影响等因素实施防治措施,才能达到良好的实效。

(3) 急倾斜薄矿脉群采区: 这类采区水平方向及垂直方向的应力集中都比较突出,且相邻采场地应力相互干扰,需要妥善地布置采矿工程和实行合理回采方案,并施行有效的监控和有关防治措施,才能根本消除灾害隐患。

(4) 缓倾斜中厚以上矿体采区: 往往由于矿体的连续性,形成层状的空区,若是空场法或房柱法,易形成大片空区连通,一旦隔离矿柱被破坏,可能造

成大面积地压灾害。

(5) 厚大特大矿体或重叠矿体采区: 由于二次地应力的重新分布、扰动十分复杂,随着空区的不断扩大,地压活动加剧,存在突发性垮塌冲击的隐患。

(6) 露天转地下矿山的过度带: 过渡带为应力集中区,且露天采场与地下采场互相影响,存在复杂的岩石力学问题,易引发灾变。需要因地制宜地消除灾害隐患,才能最大限度回收资源。

3 矿山工程地质灾害控制与防治技术

过去,矿工仅凭经验来预测事故征兆,其中敲帮问顶就是最常用的方法。随着科学技术的不断进步,预测事故征兆的手段也不断得到改进,预测水平越来越高。事故征兆预测由经验方法向科学预测技术发展。近几年,国内外矿山积极采用新的预警技术,有效控制了矿山工程灾害的发生或减少了人员伤亡和财产损失。尤其以微电子技术和信息技术为先导的新技术革命的成果,迅速渗透到矿山领域。例如,美国、加拿大、澳大利亚等国的采矿生产工艺正向遥控和自动化发展,采矿工业正由劳动密集向技术密集转化,矿山生产高度机械化和计算机化。针对地表岩移,地下采场冒顶、片帮、岩爆,露天滑坡,尾矿坝失稳以及矿山突水等灾害源,则通过现代科学技术成果,将事故发生率降低到最低水平。这一切变革也促使一些国家的矿山工人在结构和素质上发生重大变化。技术的巨大变化促使矿工更年轻,技术更熟练,效率更高,同时工作条件变得更安全卫生。实践表明,只有高素质的矿工,才能适应现代化矿井生产的需要。

矿山工程地质灾害的控制是一项系统工程,必须依靠完善法律、社会、经济、行政等各方面手段,经过长期的努力来实现。增加安全投资并完善投资的实际效果,无疑是一项尽快控制和扭转灾害多发的重要措施。依靠科学技术进步,则是促进生产效率的提高和控制矿山工程地质灾害的根本保证。

3.1 微震监测系统

矿山微震监测技术的应用已有数十年的历史,国外目前已进入了广泛应用阶段,国内也已在少数矿山投入应用。微震监测设备正朝高集成性、小体积、多通道、提高探头灵敏性等方向发展。目前已有十六通道、三十二通道、四十八通道和六十四通道的设备投入使用。信号处理方面,在数据采集与存储,波形识别,排除噪声(音)等方面取得了很大的进

展,特别是在波形识别上可以区别不同类型的波(如 P 波、S 波、噪音等),这为提高有用信号的可靠性提供了保障。在矿山地压灾害预报应用方面,主要是通过提高对微震事件的定位精度,实现对地压灾害的预报。目前定位精度随设备性能的改进和信号识别功能的增强而大为提高。在自动监测和信息远程传送方面,微震数据实现了从“地下”到“地表”的远距离传送,甚至通过调制调解电路送至更远的地方。

自 80 年代以来,微震监测技术已在国外的深井金属矿山全面推广应用。目前,该技术在南非和印度的深井金矿、美国的深井多金属矿山,加拿大和澳大利亚的深井金属矿山得到了广泛的应用,应用范围覆盖数十个矿山,在深井地压监测方面取得了良好的效果。

微震监测技术已成为深井矿山地压监测预报的最主要的、先进的高新技术,它突破了传统地压监测的局部性、不连续性、劳动强度大、安全性差的严重弊端,实现了深井矿山地压灾害监测的自动化、信息化和智能化,代表了深井地压监测的发展方向。

国内已在一些矿山成功地采用了单通道或多通道的声发射监测系统。但微震监测系统与声发射监测系统在功能上有区别,微震系统低频、高能、监测范围大,主要是对大事件,声发射则是高频、低能、监测范围小。对于深井大范围开采的矿山必须采用微震系统才能进行有效监测。因而随着国内逐步进入深井开采,正在注重微震技术的研究,并取得了一些成果。在国家“十五”攻关课题中,长沙矿山研究院结合凡口铅锌矿的深井地压问题开展了微震监测技术的攻关研究。不仅对于解决凡口铅锌矿深井地压问题具有重要的实际意义,而且对于采矿行业来说具有很好的技术带动性和示范作用,为在我国深井矿山的进一步推广应用,促进我国地压管理的现代化具有重要意义。

3.2 金属矿山灾害信息系统

矿山安全信息系统是长沙矿山研究院针对金属矿山的灾害隐患和安全事故研究的一种矿山安全系统。该系统以生产过程中所能获得的各种信息为输入,能够全面评价我国金属非金属矿山安全状况,使安全主管部门及时掌握安全信息,科学地预警矿山安全隐患,达到预防、控制、减少甚至避免事故发生的目的。

近年来,地理信息系统(GIS)在国内外防灾减灾领域得到广泛的应用,我国矿山也已开始从事这

方面的研究工作。防灾减灾是一项系统工程,涉及到对灾害的监测、诱因分析、预报、评估、防灾、救灾等各个方面,其每个过程和环节都与空间的地理要素密切相关,如灾害发生的时空分布、强度与频度、灾情评估等,而地理信息系统是一个有效的和有利的工具。利用具有庞大空间分析功能的地理信息系统,建立金属矿山地质灾害防灾减灾系统,建立地质灾害信息库和信息网络,确保信息畅通,保证信息资源共享,可为分析灾害、防治灾害提供决策依据。

3.3 矿山充填新技术

矿山充填是从采矿工艺的根本消除矿山工程灾害的一条有效途径。矿山充填新技术可以充分利用矿山尾矿和废石,使回采空间随矿石的采出而被充填,能保护围岩不发生塌陷、消除或减少尾矿库,实现采矿工业安全生产与环境协调发展。包括高浓度全尾矿胶结充填技术、赤泥胶结充填技术、废石水泥浆胶结充填技术和废石砂浆胶结充填技术等矿山充填新技术。

新技术实现了充填作业全盘机械化和管道化,大大降低了工人的劳动强度,而且为矿山机械化和自动化奠定了基础;具有充填效率高、充填体水泥用量少、充填成本低和充填料浓度高等特点;充填系统和充填工艺简单可靠,对材料要求与应用条件宽松,适用面广,能应用于不同条件的矿山充填,几乎能够解决我国各种开采条件、各种开采规模和不同地域的金属矿山胶结充填技术难题。

这些技术已在工业生产中得到应用。如铜坑锡矿应用新技术有效地充填了遗留采空区,消除了安全隐患,保障了矿山的正常开采秩序;丰山铜矿应用新技术有效地抑止了山体滑坡隐患和井巷坍塌危害,消除了地面洪水直灌井下导致的淹井危害;铜绿山铜矿应用新技术有效保护了古铜矿遗址和露天边坡的安全稳定,取消了二期工程尾矿库。

我国由于受充填工艺成本高和效率低的制约而难以推广矿山充填,与矿业的可持续发展开采模式不相称,与全球性环境保护和安全生产要求不协调。新技术简化了工艺、拓广了原料来源、大幅度降低了成本,提高效率和改善作业条件,因而有十分广泛的应用前景。

3.4 预测预警技术

(1) 地震层析 X 射线摄影。地震层析 X 射线摄影机对测定地下矿山深部矿柱的相对应力是一种很有用的工具,通过连续探测,可监测高应力区,为在掘进前采取解除应力措施或避开这些高应力区进行掘

进创造了条件,从而可保证在安全的应力状态下进行掘进作业。应用地震层析X射线摄影机识别高应力区具有技术可靠、成本低、效率高等优点。

如测得高应力区,则可在(2)岩层稳固性雷达探测。雷达探测技术可以探明岩体中的空洞和裂隙构造,为工程布置和隐患处理提供依据。为了提高采矿生产的安全性,加拿大基德克里克锌矿采用岩层稳固性探测雷达监测底柱的稳定性取得很好的效果。应用该仪器测定矿囊在底柱中的位置,监测采场顶板和帮壁构造以评价充填时序的影响,并将测得的废石胶结充填区空隙和裂隙用于评价废石胶结充填体的质量。

(3) 携带式热应力监测。深井高温显著降低劳动效率和作业人员识别能力,导致操作失误而发生事故。澳大利亚芒特艾萨铅锌矿,原岩温度达60℃。因此,监测岩石温度对矿工所产生的热应力影响成为急待解决的问题。美国陆军环境医学研究院和西澳大利亚柯廷大学合资开发一种携带式热应力监测计,业已研制成功并投入批量生产。这种监测计具有多种功能,即:评价人员在某一特别的热环境下可持续工作多长时间;监测各种环境参数;选择与工作强度和着装相适应的环境参数;提出诸如工作/休息循环时间和预防干燥所要求的供水量等建议数据。同时,还可测量湿球/干球温度、空气冷却量、平均辐射热温度、风速和相对湿度,以及接收有关着装、工作负荷和工作强度方面的输入数据。

(4) 射频发送器跟踪。随着矿山机械化和自动化程度的日益提高,人员和设备都在相对独立的位置上工作。从安全和监控的角度上看,人员和设备的作业位置是一重要问题。西澳大利亚 Impro 工业技

术公司研制一种射频发送器跟踪系统。射频发送器安装在矿工的备用电池盒内,用无线电传送方式每隔半秒向矿山接收站发送特定电码(矿工矿灯号码和姓名),包括日期、位置等信息;矿山接收站计算机对这些信息进行处理并报告矿工所在位置。这种系统对井下救援工作具有重要作用。

4 结束语

矿山工程地质灾害主要取决于矿山开采技术条件、采矿工艺与技术、矿工素质和安全管理等因素,是矿山技术经济能力综合实力的反映。国外矿山的经验和国内先进矿山的实践表明,针对地表岩移,地下采场冒顶、片帮、岩爆,露天滑坡,尾矿库坝失稳以及矿山突水等工程地质灾害源,利用现代科学技术成果,采取适当的工程地质灾害控制技术、控制措施和控制工程,实行“预防为主”的控制方针,是能够防患于未然的。

参考文献:

- [1] 周爱民. 金属矿山安全现状与防治新技术[J]. 采矿技术, 2003, 3(2).
- [2] 邓红卫, 周爱民, 黄筱军. 采场地质灾害分析评价与控制[J]. 采矿技术, 2004, 4(1).
- [3] 玉子庆, 蔡汉迁, 罗一忠. 大厂铜坑矿岩层活动监测预报研究[J]. 采矿技术, 2003, 3(2).
- [4] 王春来, 徐必根, 李庶林. 凡口铅锌矿深部岩体声波测试研究[J]. 采矿技术, 2003, 3(1).
- [5] 周爱民. 中国充填技术概述[A]. 第八届国际充填采矿会议论文集[C]. 矿业研究与开发, 2004, 24(增刊).
- [6] John D. Lupton. 空区监测系统和采场分析[A]. 第八届国际充填采矿会议论文集[C]. 矿业研究与开发, 2004, 24(增刊).

(上接第19页)

行,不同阶段的水化产物和反应特征不同,其中由 C_4AH_{13} 向钙矾石转变吸收 $Ca(OH)_2$ 而使粉煤灰的CaO吸收值增加;

(4) 粉煤灰对 $Ca(OH)_2$ 的吸收是非平衡吸收,原因一方面在于粉煤灰中的 Ca^{2+} 溶出,另一方面也与水化产物的转变和水化产物中 Ca^{2+} 、 OH^- 的含量不同有关。

参考文献:

- [1] Bijen J V, Selst R. Cement equivalence factors for fly ash[J]. Cement and Concrete Research. 1993, 23: 1029 ~ 1039.
- [2] Xu A, Sarkar S L, Nilsson L O. Effect of fly ash on the microstructure of cement mortar[J]. Materials and Structures. 1993, (26).

- [3] 钱觉时, 范英儒, 明德华, 等. 粉煤灰活性的激发[J]. 重庆建筑大学学报, 1995(3): 111 ~ 113.
- [4] Caijun Shi, Robert L Day. Chemical activation of blended cements made with lime and natural pozzolans[M]. C. C. R. 1993, 23(6): 1389.
- [5] 潘群雄, 王路明, 徐风广, 等. 煅烧硬石膏激发粉煤灰水泥活性影响因素的探讨[J]. 水泥, 1997(1): 8 ~ 10.
- [6] Shama R N, Ghosh S N, Mathur V K, Solankey A K. A Study on the morphology and microstructure of activated India fly ash[A]. 9th International Congress on the chemical of cement[C]. New Delhi, India, 1992(2): 125.
- [6] 解强. 粉煤灰的活性[J]. 粉煤灰综合利用, 1991, (1).
- [7] 建筑科学院. 水泥化学分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1979: 752 ~ 755.