

徐州东部软岩矿区冲击矿压机理分析*

缪协兴

(中国矿业大学 徐州 221008)

孙海 吴志刚

(徐州矿务局 徐州 221000)

摘要 从软煤层的冲击倾向性等方面分析了软岩矿区发生冲击矿压事故的机理,并结合生产实践总结出了软岩矿区冲击矿压事故的三大特征,提出了相应的防治措施。

关键词 冲击矿压,软岩,冲击倾向性,防治

分类号 TD324

1 引言

冲击矿压^[1~7]是影响煤矿安全生产的恶性灾害之一,也是世界各主要采矿国家面临的共同难题。随着采区的扩大和采深的增加,冲击矿压事故越来越多,并且越来越严重。徐州矿区在500 m采深前,从没有出现过冲击矿压现象。当采深进入600 m以后,经常发生冲击矿压事故,对煤矿生产造成了严重的威胁。更为严重的是,徐州东部属“三软”矿区(即煤层软、底板软、顶板软),近年来也发生了几次冲击矿压事故,并且,这些事故均被专家鉴定为二级以上的严重型冲击矿压。矿压专家预言,冲击矿压问题将成为“21世纪矿压研究的焦点”,特别是软岩矿区冲击矿压事故的发生,给冲击矿压理论与防治研究提出了严峻的挑战。

2 徐州东部软岩矿区冲击矿压事故概况

徐州东部矿区1层和2层煤是主采煤层,主要分布在权台、旗山、董庄和大黄山等矿,3层煤呈片状,节理发育,煤质较软,硬度系数 f 为1.0左右,煤层直接顶为泥质页岩,抗压强度 σ_c 为20.0 MPa左右,煤层底板为灰色泥质页岩,其抗压强度 σ_c 小于10.0 MPa。

在类似于徐州东部矿区的地质条件下,一般传统的研究认为不可能发生冲击矿压。事实上,在权台

矿3127乙工作面材料道掘进中,旗山煤矿2122开切眼过程中,以及旗山矿13104综放工作面回采过程中,发生了3起较为严重的冲击矿压事故。

权台煤矿3127乙工作面材料道掘进迎头冲击矿压事故。1991年7月10日,当材料道掘至279 m处,夜班4时左右放第一茬炮时,迎头频繁发生煤炮声,当到6时20分放第二茬炮时,发生了冲击矿压并伴随一股强大的空气冲击波。灾后发现,风带多处损坏,迎头向后18 m长的40 t溜子向上帮整体移动了0.6~1.0 m,其他铁料杂物崩到上帮,靠下帮的溜子全部倒向上帮一侧,巷道断面严重缩小,下帮出现0.4~0.6 m宽,0.3~0.4 m深的沟槽。

旗山煤矿2122综采工作面开切眼期间冲击矿压事故。1995年4月12日,当时切眼已施工36.5 m,第二茬放炮后,突然一声巨响,围岩震动,现场粉尘弥漫。在事故现场看到,从切眼台棚向上和向外共有70棚支架顶梁发生双向弯曲,80%的支架煤帮侧或上帮侧棚腿内伸呈倒扎角状。前进侧煤帮及上帮棚腿均内移并错位,切眼内局部地段因断桩而漏顶。切眼靠煤帮侧和运道上帮侧各25.2 m和31.8 m的煤体明显整体外移,平均位移量0.6 m。切眼摆设的长34 m的40 t溜子及运道30 m的40 t溜子均整体向老塘侧和下帮位移,位移量平均0.8 m,溜头虽已固定但位移仍达1.0~1.2 m。

旗山煤矿13104综放工作面回采期间冲击矿压事故。1997年5月11日上午10点48分左右,忽然听到一声巨大而沉闷的响声,整个工作面都明显感

1998年2月16日收到初稿,1998年6月16日收到修改稿。

* 国家自然科学基金重点项目(59634030)和煤炭科学基金项目(95采10104)资助。

作者 缪协兴 简介:男,1959年生,博士,1993年毕业于中国矿业大学北京研究生部工程力学专业,现任博士生导师、岩石力学与岩层控制煤炭工业重点实验室主任,主要从事现代力学理论及在采矿工程中的应用研究工作。

到了较大的震动。响动过后，回风道顶部多处发生明显冒落，工作面自 98 ~ 107 号支架煤壁出现明显片帮，由于底板鼓起，造成工作面溜头向顶板移动。运输道自出口向外 60 m 范围内，巷道发生严重变形，主要表现为底板鼓起，且起伏较大，拱型棚梁多处崩裂、卡兰、螺丝多处崩出和损坏。长 28 m 的 40 t 溜子被掀翻、倾斜及位移。150 型皮带输送机自机尾向外 60 m 范围内，架杆、上下托滚掉落，架腿倾斜严重，整个工作面无法生产。

3 松软煤层发生冲击矿压的机理分析

3.1 煤的冲击倾向性

煤层具有冲击倾向性是发生冲击矿压的必要条件。大量的试验研究和生产实践表明，发生冲击矿压的煤层具有突然破坏并在瞬间释放大量的弹性变形能的能力，而各类煤层储能和突然破坏的行为有所不同。对于松软煤层，虽然它的弹性模量 E 较硬煤层小，但在同样水平应力 σ 作用下，其应变能（仅指弹性应变）大，因而所能储存的弹性应变能 $\mu = \frac{1}{2} \sigma^2 \epsilon$ 相对硬煤层不一定小。因此，单从可释放的弹性应变能方面看，软煤层像硬煤层一样，完全可能发生冲击矿压。当然，所储能量要具备瞬间可释放性。对此，人们研究出了多种可测定的煤的固有冲击倾向性指标。国内外常用的冲击倾向性指标有弹性性能指数 W_{ET} 和冲击能指数 K_E 等。所谓弹性性能指数 W_{ET} ，是指煤样在单轴压缩条件下，破坏前所积蓄的弹性变形能 F_S 与产生塑性变形所消耗的能量 F_K 的比值。所谓冲击能指数 K_E ，是指煤样在单轴压缩条件下的全应力应变曲线峰值前所积蓄的变形能 F_S 与峰值后所消耗的变形能 F_K 的比值。

根据我国煤炭工业部 1987 年颁布的《煤层冲击倾向性鉴定试行技术规范》，对权台煤矿 3116 工作面、3209 工作面、3127 工作面和旗山矿 2121 工作面、2124 工作面、1122 工作面煤样分别进行了冲击倾向性测定，测定结果见表 1。

表 1 徐州东部矿区煤层冲击倾向性

Table 1 The rupture possibility of coal in some mines in eastern of Xuzhou

取样点	W_{ET}	K_E	冲击倾向性
权台 3116	1.87	1.21	无冲击
权台 3209	1.41	0.80	无冲击
权台 3127	1.25	0.89	无冲击
旗山 2121	2.12	1.41	中等冲击
旗山 2124	2.67	1.64	中等冲击
旗山 1122	1.59	1.07	无冲击

单从表 1 的测定结果看，软岩矿区煤层的冲击倾向性较低。但是，煤炭工业部颁布的测试规范中忽略了有关煤样的含水率问题。徐州东部矿区煤层较为松软，经测定，其孔隙率 $\epsilon = 8.95\%$ ，原始含水率 $W_0 = 1.5\%$ 左右。松软煤层的吸水能力很强，以 3127 乙煤样测定的结果为例，其饱和含水率竟高达 7.2%。为了解权台煤矿 3127 乙工作面煤层冲击倾向性与含水率的关系，详细测定了含水率 W 分别为 1.5%、3.0%、4.5%、6.0% 时煤样的力学特性和冲击倾向性指标，具体测定结果见表 2。

表 2 3127 乙煤层力学特性和冲击倾向性 W_{ET} , K_E 与含水率 W 的关系

Table 2 W_{ET} , K_E vs W at 3127 B in Quantai mine

$W / \%$	E / GPa	σ_c / MPa	W_{ET}	K_E	冲击倾向性
1.5	2.31	8.33	2.72	1.49	中等冲击
3.0	1.45	7.12	1.45	0.91	无冲击
4.5	1.13	6.54	1.19	0.80	无冲击
6.0	0.92	6.12	1.03	0.73	无冲击

从表 2 中可以清楚地看到，煤的强度和冲击倾向性随其含水率 W 降低而显著增长，并且这种变化是非线性的（见图 1, 2），当 W 的值由 3.0% 变化到 1.5%，这种变化更加强烈。 $W = 3.0\%$ 左右时，刚好是煤样被加工后的一般含水状态，而 $W = 1.5\%$ 左右时，刚好是代表煤样的原始含水状态，所以，如不注意到这一点，就有可能误判煤层的原始冲击倾向性。

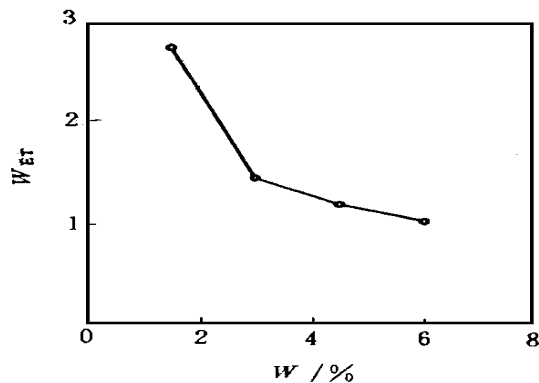


图 1 煤的 W_{ET} 与 W 的关系

Fig. 1 W_{ET} vs W

3.2 煤层中的应力状态

煤层中的应力状态是煤层发生冲击性破坏的重要条件。地应力（包括构造应力）和开挖（采动）应力的叠加，在煤体自由面附近形成应力高度集中，使该区域煤体中积聚大量的弹性变形能，这种弹性变形能的突然快速释放即为冲击矿压。软岩矿区与硬岩矿区相比，构造应力在冲击矿压中的作用更为突

出,分析软岩矿区发生冲击矿压的实例更能说明这一点。

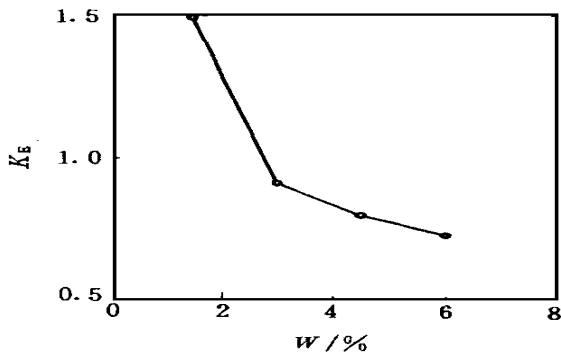


图2 煤的 K_E 与 W 的关系

Fig.2 K_E vs W

权台煤矿 3127 乙工作面材料道掘进迎头发生冲击矿压的主要原因是:材料道由向斜轴的一翼进入向斜轴心时,由于构造应力的作用,使得轴心处煤体中积聚了大量的弹性变形能,巷道的开挖正好为弹性变形能的释放提供了有利的条件;另一方面,由于 3114 南、3114 中及 3127 中工作面开采后在周围岩体及煤层中形成支承压力峰值,当材料道掘进过程中产生的超前动压与前方采空区一侧的支承压力在峰值处产生叠加后,所聚集的能量瞬间释放,形成了冲击矿压。

构造应力是造成旗山煤矿 2122 切眼冲击矿压的主要原因。构造应力主要是由不牢河向斜构造和新 9 号逆断层挤压所致的。煤层走向在 2122 及 1121 工作面之间受影响发生了较大的变化。不牢河向斜两侧发育有许多压性逆断层,在 -700 水平和 -585 水平施工巷道时,曾多次穿过该向斜轴,均发现应力异常增大,矿压显现剧烈,煤(岩)体十分破碎,施工中多次发生了高冒。新 9 号逆断层是明显的压性闭合型断层,在穿过新 9 号逆断层或其附近施工的巷道时,均发生了压力异常现象,并且煤岩层形态受挤压作用变化较大,影响范围大。

3.3 冲击矿压的诱发因素

一般发生冲击矿压都需要有一定的诱发因素,井下放炮、采场来压以及其他矿震等,都可能诱发冲击矿压,软岩矿区发生的冲击矿压也同样具有明显的诱发因素。权台煤矿 3127 乙工作面材料道的冲击矿压是在掘井放炮约 1 min 后发生的,掘井放炮是其直接诱发因素。旗山煤矿 2122 切眼冲击矿压是在开切眼放炮约 3 min 后发生的,开切眼放炮是其直接诱发因素。

4 结 语

通过软岩矿区冲击矿压的机理与防治研究,得出软岩矿区冲击矿压现象具有如下 3 大特征:(1)软岩矿区具有发生较严重型冲击矿压事故的可能,但频度小,难发现。(2)由于软岩矿区围岩较为松软,容易产生粘塑性变形而使其内部积聚的弹性变形能缓慢耗散,突然释放形成冲击矿压的概率小于硬岩矿区。因此,用让压支护使其弹性能缓慢释放可作为防治软岩矿区冲击矿压的首选途径。(3)软岩矿区煤层孔隙度高,注水容易,并且在初始含水率阶段增加煤体水分,能使其冲击倾向性指标明显降低。因此,用注水法降低软岩矿区煤层冲击倾向性将十分有效。

在徐州东部软岩矿区矿压机理研究成果的基础上,开展了对软岩矿区的防治研究工作。例如,权台煤矿 3127 乙工作面自 1991 年发生冲击矿压后,封闭了 6 a,鉴于有关软岩矿区冲击矿压机理的研究取得了进展,于 1997 年恢复了该工作面的掘进与回采工作。在权台煤矿 3127 乙工作面材料道掘进中,共监测到 9 次煤粉异常情况,都能做到及时发现、及时预报、及时处理,避免了几次可能发生的冲击矿压事故,在工作面回采过程中,运用注水法,大大降低了煤层的冲击倾向性。钻屑法和围岩变形动态观测联合运用,发现 1 次十分严重的围岩压力异常情况,也做到了及时预报、及时处理,避免了可能形成的冲击矿压事故。

参 考 文 献

- 1 章梦涛,徐曾和. 冲击地压和突出的统一失稳理论. 煤炭学报, 1991, 16(4): 48~52
- 2 李玉生,张万斌,王淑坤. 冲击地压机理探讨. 煤炭学报, 1984, 9(3): 1~8
- 3 Ortlep W D, Stacey T K. Rock burst mechanisms in tunnels and shafts. Tunnelling and Underground Space Technology, 1994, 9(10): 59~65
- 4 章梦涛. 冲击地压失稳理论与数值计算. 岩石力学与工程学报, 1987, 6(3): 197~204
- 5 王淑坤. 冲击地压机理. 岩石力学与工程学报, 1996, 15(增): 500~503
- 6 张晓春,缪协兴,翟明华等. 三河尖煤矿冲击矿压发生机制分析. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(5): 508~513
- 7 潘一山,王来贵,章梦涛. 断层冲击地压发生的理论与试验研究. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(6): 642~649

MECHANISM ANALYSIS OF ROCKBURST IN SOFTROCK MINES IN EASTERN OF XUZHOU

Miao Xiexing¹ Sun Hai² Wu Zhigang²

⁽¹⁾ China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008 China)

⁽²⁾ Xuzhou Coal Mining Bureau, Xuzhou 221000 China)

Abstract The rockburst mechanism in softrock mines is discussed in details from the standpoint of the rupture possibility of soft coal. Three features of softrock burst are summerized, and some responding treatments are proposed.

Key words rockburst, softrock, possibility of rockburst, treatment

巴黎高等矿业学院简介

法国国立巴黎高等矿业学院(ENSM)创立于 1783 年,是法国最古老的高等学府之一。1816 年搬迁至目前的地址:60 ,Bd. Saint-Michel, 75006 Paris。1967 年在枫丹白露(Fontainebleau)和埃夫立(Evry)建立分部,1976 年又在索非亚(Sophia)和尼斯(Nice)建立分部。

(1) 人员组成如附表。

人员	巴黎总部	枫丹白露	国立高等 技术学院	马恩-拉 -瓦莱	巴莱佐	埃夫立	索非亚
教研人员	71	92	6	6	49	37	70
管理与技术人员	163	80	4	2	5	48	40
博士生,硕士生	94	77	2	12	37	70	92
其他学生	425	70			3	7	60

每年授予博士学位约 100 个,深入学习文凭(硕士 DEA)学位 50 个。在外国学生中,非洲生源居第一,欧洲居第二,美洲与亚洲生源数相近,外国学生占 20%~30%。

(2) 教育体系

根据教学方式与培训目的,分八个不同分支:矿山土木工程培训部,高等技术研究所,国家技术培训部,高等计算机及自动化研究所,专业硕士班,高级专业培训班,博士培养班,继续教育培训部。年经费约 3.8 亿法郎,其中国家拨款约 2 亿法郎。

(3) 硕士专业设置

地质材料,沉积盆地的定量方法与模拟,水文、水文地质及地质统计与水化学,土力学及其工程,化学及有机材料转换过程特性,能量转换,冶金学及材料学,力学与材料,材料物理与特性,工业系统的计算机方法,信号自动化与处理,经济模拟与数学方法(策略优化分析),工业经济,管理科学方法。

(4) 博士专业设置

工程地质,定量水文及水文地质学,地下开采技术与经济,沉积盆地动力学及资源,化学及有机材料转换过程特性,能量学,材料科学与特性,数学与自动化,实时计算技术、机器人及自动化,工业经济、管理及工程,经济技术社会学。

(5) 研究领域及研究中心

地球科学及环境科学:工程地质中心(巴黎总部),地质信息中心(枫丹白露),地下开采及地质中心(枫丹白露),地球物理研究中心(枫丹白露)。材料转换及能量转换研究:材料转换研究中心(巴黎总部、巴黎的伊夫特国立高等技术学院),能量中心(巴黎、索非亚、马恩-拉-瓦莱)。材料科学及材料性质:材料中心(埃夫立),固体力学实验室(为巴黎高等矿业学院、巴黎道桥学院、巴黎综合理工学院联合实验室,属法国国家科研中心(CNRS)的一个研究单位),材料研究中心(索非亚)。应用数学、计算机及自动化:计算机研究中心(枫丹白露),自动化与系统研究中心(枫丹白露),应用数学中心(索非亚),地质统计中心(枫丹白露),数学形态学中心(枫丹白露),机械人研究中心(巴黎)。社会经济科学:工业经济中心(巴黎),科技管理中心(巴黎),经济技术社会学中心(巴黎)。

(余诗刚供稿)