

煤矿二氧化碳突出与研究^①

陶明信 徐永昌 马玉贞^②

(中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室 730000)

陈发源

(窑街矿务局, 甘肃 730080)

提 要:CO₂突出是煤矿生产中危害性极大的一种地质灾害。本文系统介绍了国外研究、防治CO₂突出近百年的历史概况,同时介绍了我国这一领域的概况及最新研究动态。

关键词:二氧化碳突出 煤矿 地质灾害

一、瓦斯突出与二氧化碳突出概述

在煤矿生产中,一般将煤系中的各种气体通称为瓦斯(gas)。在采掘过程中,煤系中聚集的处于高压状态的气体常突然冲跨煤岩,从巷道掘进或回采工作面以极快速度冲出,并往往携带有大量煤岩固体物质。此种过程和现象称之为瓦斯突出(gas inrush 或 gas outburst)。突出时所形成的强大冲击力不仅可摧毁巷道及其设施,而且可造成瓦斯爆炸或瓦斯窒息,造成巨大的生命财产损失。因此,瓦斯突出是煤矿生产中危害性极大的一种地质灾害。

瓦斯是由若干种成分组成的混合气体,但多以甲烷及其同系物为主。例如我国红阳煤矿三井13号层中瓦斯的组分(%)为:CH₄:92.79, C₂H₆:1.378, CO₂:2.02, N₂:3.73^③。因此,煤矿中绝大多数突出,其气体成分以甲烷或烃类^③气体为主,亦即沼气突出。全世界也有部分煤矿突出的气体成分以CO₂为主,故将此种突出称之为二氧化碳突出。

二、国外煤矿二氧化碳突出与研究概况

据现有文献记载,煤矿首次CO₂突出1894年发生于波兰的下西里西亚(Lower Silesia)煤矿;至1964年,该矿突出达1060次;到80年代中期突出达1650次。其中绝大多数为CO₂突出,如1936年11月21日和12月24日发生的两次突出,其气体中CO₂的浓度均高达97.0%。故下西里西亚煤矿是全世界最严重的CO₂突出煤矿,生命财产也由此蒙受了极大损失。如1958年10月22日发生于4号矿的特大型突出,共突出CO₂气(CO₂浓度达98.32%)达750000m³,突出到巷道的煤达

① 国家自然科学基金、气体地球化学国家重点实验室基金、中国科学院兰州分院科技开发基金联合资助项目。

② 兰州大学

③ 抚顺煤炭研究所瓦斯组分小组,突出煤层的瓦斯组分,煤矿安全,1980.No5,1-5。

5000t, 充填巷道690m。又如1941年5月10日的一次突出, 几乎使井下所有工作人员遇难⁽¹⁾。矿局方面曾对该矿历次突出的条件、现象、物质组成及强度、死亡人数等进行了档案记载。一些学者也先后对该矿突出问题进行了考察研究, 如1931年 P. A. C. Wilson 对突出区地质条件的考察研究和1936年 O. Stutzer 对突出特征的考察研究等^(2,3)。在早期研究中, 重视试验钻孔中瓦斯的压力、温度差、组分及其变化, 同时研究突出的发生、发展过程与瓦斯、构造、煤的硬度、开采条件诸因素之间的关系。

70年代初, J·奇斯(Jozef Cis)博士在参阅历次突出档案资料的基础上, 结合现场考察和实验, 对该矿 CO₂突出的分布、突出与地质构造及开采条件的关系、突出特点与机理、突出的预测预报及其防治措施等问题都进行了系统的描述与研究, 发表了专著。J·奇斯认为: CO₂聚集区分布在斜断层附近, 即突出与这种斜断层具有密切关系; 裂隙中的瓦斯压力作用是造成突出的主要原因之一, 而煤、岩的可粉碎性是发生突出的有利条件。促使突出发生的因素有: 井巷中风压突然降低; 悬帮上煤的自重; 放炮震动; 构造破碎带及载荷作用等。抑制突出发生的因素有: 煤层强度升高; 工作面及两帮堆积破碎煤岩; 已形成的突出空洞中瓦斯压力升高等。同时提出, 提前开采解放层排放瓦斯是少突出发生次数或防止突出的最有效方法之一。传统观点认为, CO₂气与第三纪火山活动有关^{(1)①}。

澳大利亚是另一个煤矿 CO₂突出较为严重的国家。在新南威尔士南部煤田、库珀盆地(Cooper Basin)和鲍温盆地(Bowen Basin)等地区煤系中聚集大量高浓度 CO₂气, 使部分煤矿成为 CO₂突出矿井。例如鲍温盆地2号矿1号平硐区在采深180m 以下后, 发生了8次 CO₂突出, 且都与断层有关。其中1954年在一条断层带附近发生过一次毁灭性大突出。突出一般发生在断层内或断层附近的高度剪切的煤层中。故突出易发生程度与断层的破裂程度和煤的粉碎程度有关, 而突出煤层的特点是多组断裂交织发育^(4,5)。

70年代中后期以来, 澳大利亚学者主要研究煤系中气体及煤、方解石等固体物质的稳定同位素(主要是碳同位素)组成特征, 以此讨论 CO₂气的成因、来源及利用前景。J. W. Smith 等的研究结论认为: 新南威尔士南部布里(Bullli)煤系中的 CO₂突出与煤层气中 CO₂浓度的增高直接相关, 同时又表现出 CO₂的¹³C 含量($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值为+16~-8‰, PDB)降低⁽⁶⁾。据研究, 采自烟煤正常煤化过程中的气样, 其 CO₂的浓度很低, 但 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值均为正值, 最高可达+16‰(PDB)(这与其母质煤的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-22.8~-24.2‰有很大差别, 表明碳同位素组成有很大变化——笔者注)。在具有突出可能的煤层气中, CO₂浓度多在70%以上, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 值(PDB)一般在-7±2‰左右, 但也有低达-10~-12‰的样品。据认为, 外部岩浆源 CO₂气渗入这些煤层, 并与煤系共同构成2个 CO₂气源。此外, 在新南威尔士南部煤田西克利夫(West Cliff)矿井煤层气中, 发现 CO₂的浓度与其 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈消长关系⁽⁴⁻⁸⁾。

除上述诸例外, 在法国、加拿大、捷克斯洛伐克等国的一些煤矿也发生过 CO₂突出。就 CO₂突出而言, 除主要发生于煤矿外, 在其它矿山或工程中也有发生。例如1953年德国一钾盐矿井突出数十万立方米 CO₂气和约1万吨钾盐; 原苏联一隧道施工中, 1977~1979年间发生了5次 CO₂与矸岩突出, 突出规模最大者为突出 CO₂10~20万 m³^{(1)②}。

在原苏联煤矿中, 虽然 CO₂突出不是主要威胁, 但全国几乎所有煤矿井下均有 CO₂气泄出

① J·奇斯, 1971, 下西里西亚煤田的瓦斯和岩石突出, 西里西亚出版社(中文油印本, 赵艾叶等译)

② A. T. 艾鲁尼等著(柴兆喜译), 各国煤矿和瓦斯突出概况, 世界煤炭技术, 1984, No. 4, 11-17

而混入井下空气中,且往往多于沼气(甲烷),故成为井下作业的主要危害。相应措施主要是井下通风以冲淡或排除 CO₂。在80年代,原苏联矿井 CO₂气研究的主要方向为:CO₂气的基础理论研究;煤井气体平衡规律及与 CO₂气成因的关系;通风方法和线路对 CO₂涌出量的影响以及预报瓦斯态势。Э. М. Соколов 强调指出,由于 CO₂气在地壳中的形成方式很多,故其成因很难确定。从其研究成果看,原苏联矿井中 CO₂气有多种来源与成因,但被称之为“技术成因瓦斯”的 CO₂气是由井巷中的煤岩在与生产技术有关的氧化反应过程中所形成的^[9]。这种成因的 CO₂气其它文献未见研究报道,似应值得注意。

三、中国煤矿 CO₂突出与研究概况

1. **营城煤矿**。我国煤矿 CO₂突出首次于1975年6月13日在吉林省营城煤矿五井发生。突出点位于侏罗系煤二层和煤三层之间的砂岩中,系掘进放炮所诱发。在起初4小时内,突出 CO₂气 14000m³,砂岩及少量煤共1005t,堵塞巷道46.2m。近70m长的巷道支架全被冲垮,顶板冒落高度为1.5~2.9m。1985年11月29日在与五井相邻的九井又因放炮诱发第二次 CO₂突出,突出 CO₂气4万多 m³,岩石750t。两次突出气体的 CO₂浓度在85%以上,突出点均距井田边界主断裂 F₂断层不到500m,而沿 F₂断裂所发育的火山岩厚度最大。突出发生后,有关方面对突出现象、构造地质条件和气体的组分与 CO₂的碳同位素组成进行了研究,初步认为 CO₂气源自火山岩,而被吸附聚集在胶岭石层及其破碎带中,而突出与 F₂断层关系密切^{[10]①}。

2. **和龙煤矿**。吉林省延边和龙煤矿松下坪井于1984年7月2日首次发生 CO₂突出,至1986年1月共发生21次突出和5次 CO₂气喷出(即无固体物质突出)。各次突出和喷出均在位于次火山岩之下的上侏罗统5B~7B煤层之间的砂砾岩中。其中规模最大的一次突出气体1750m³,岩石116t。各次突出气体的组分主要是CO₂,占79.31~96.69%,其次为N₂与CH₄,分别占1.40~16.42%和1.81~6.62%,还有微量 C₂H₆和 C₃H₈。这些突出的特点为:突出强度小但次数频繁;突出均发生在一长约700m的巷道中;在煤、岩混合巷道段也只为砂岩及砾岩固体突出物,而基本无煤突出;突出点均位于近断层处,且形成近椭圆形突出孔洞;其中绝大多数突出都是放炮所诱发的。崔仁鹤、金昌福(1987,1988)认为,该矿高浓度 CO₂气与火山岩和断裂关系密切,井区较大断层控制气体的分布,而火山岩封闭层下的小断层控制着突出点的分布。据对突出区8个气体样品的分析结果,其 CO₂浓度为79.13~96.69%,CO₂的 δ¹³C 值(PDB)为-9.1~-10.2‰,并将其成因归结为以火山无机源为主,有部分煤化有机源的混合型气体。^{②③}

3. **甘肃窑街煤矿**。甘肃窑街煤矿是继营城煤矿之后中国第二个 CO₂突出煤矿,但突出规模远远大于前者。在该矿皮带斜井1650北大巷施工过程中,在掘至 F₆₀₅断层处时发生冒顶,1977年2月3日处理冒顶时突然发生 CO₂突出,在起初20分钟内突出高浓度 CO₂气4920m³。突出发生后,改变原设计方向,从事故点后退114m后偏东开口掘进,新巷道位于距主采煤(二)层50m的底板砂岩中。1978年5月23日夜掘进至 F₆₀₄断层,24日零点放炮掘进,随炮声响,大量气体携煤、岩石同时突出,气体波及整个长13450m的巷道。当日24小时内突出气体约24万 m³;突出煤、岩

① 佚名,营城煤矿 CO₂特殊涌出的地质因素,煤矿安全,1979, No. 3, 21—28

② 崔仁鹤、金昌福,和龙煤矿松下坪井岩石与 CO₂突出特征,瓦斯地质,1987, No. 1—2, 38—45。

③ 金昌福,松下坪井 CO₂的来源及赋存规律(油印本,1987)

石1030t,充填巷道163m,且有明显的分选性。其后一直有气体从该处涌出,到目前,已从该点突出、排放出气体200多万 m^3 。其规模之大,不仅国内没有先例,国外也极罕见,而且造成了巨大损失。“5.24”突出点位于被 F_{604} 断层错开的主采煤层之间,距地表284.2m,距其东侧煤田主干断裂 F_{19} 断裂带不到50m。

“5.42”突出的灾难性后果,引起国内有关方面对 CO_2 突出问题的重视。窑街矿务局与有关方面合作,主要开展了 CO_2 的来源及赋存和 CO_2 突出防治措施两个方面的研究。据对突出气体采样测试, CO_2 的组分浓度高达96%。但随远离突出点,煤系气体中的 CO_2 浓度逐渐降低, CH_4 则相应增高。关于 CO_2 气的来源与成因,根据两次突出气 CO_2 的碳同位素组成特征(前者 $\delta^{13}C$ 值平均为-4.19‰,后者平均为-3.64‰),窑街矿务局方面曾提出 CO_2 气系无机成因,可能来自上地幔;另一种意见则认为是超基性岩(浆)热解大理岩的产物^①。1988年起,中国科学院兰州地质研究所与窑街矿务局合作,对窑街 CO_2 突出问题展开了系统的地质构造与地球化学研究。经对煤田内与 CO_2 有关的气、液、固体物质的碳、氧同位素组成进行系统研究,表明煤系中 CO_2 气的碳同位素组成发生过多方面而程度不等的分馏作用,事实上整个煤系中 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值变化很宽。因此,不能据 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值用简单对比的方法来判识该煤田 CO_2 气的成因与来源^{①②}。本次研究,新开展了氦同位素研究,突出点气体及煤田南、北部煤层气的 $^3He/^4He$ 值均为 10^{-8} 量级,为典型的壳源值,从而排除了突出气来自上地幔的可能性^{①②③}。经研究,该区超基性岩形成于海西期,而煤田形成以来,该区再无岩浆活动,亦即 CO_2 气不可能源自岩浆及其热解大理岩^②。而 CO_2 气可能源自大面积煤系地层自燃或热解^{①②④},即煤田中之烧变岩。

在突出防治研究方面,主要采取了打前探孔、震动放炮、打排放孔以排放 CO_2 卸压及测定煤系及其断裂带中的气体组分与压力等技术措施,以预测或避免突出发生。同时,在突出区地面抽放 CO_2 气。这些措施对预测预防 CO_2 突出均起到了积极作用。

四、结 语

综上所述,国外煤矿 CO_2 突出与研究已有近百年历史,在初期乃至其后一个相当长的时期,除防治措施研究外,主要是对突出现象的观察描述和从地质构造角度分析造成突出的因素、推测气体来源。70年代中期以来,运用(碳)同位素地球化学方法来研究 CO_2 气的成因与来源,同时也在探讨 CO_2 气的评价利用问题。

中国虽仅有3个煤矿发生 CO_2 突出,但危害很大。在这一领域研究中,除借鉴国外的方法与经验外,我们在近年窑街工作中还新开展了氦、氩同位素、方解石裂变径迹测年、热模拟实验及地表地化勘探等前沿领域的研究和新技术的运用,获得了若干新认识或新资料,同时加强了地质构造的基础研究,使地球化学资料的解释立足于地质基础之上。

参 考 文 献

- [1] JOZEF CIS, 1971, WYRZUTY GAZOW I SKAL W DOLNOSLASKIM ZAGLEBIU WEGLA KAMIENNEGO, Wydawnictwo “Siqsk”.
- [2] Wilson, P A C. Instantaneous Outbursts of Carbon Dioxide in Coal Mines in Lower Silesia, Germany. Trans. Am. Inst. Min. Met

① 罗玉淳,二氧化碳事故及其原因的探索,煤矿安全技术,1983, No. 3

② 陶明信等,窑街煤田地质构造与二氧化碳气体,第二届全国构造地球化学学术讨论会论文集(贵阳),1989.

- all. Eng. 1931, (94): 88—136
- [3] Stutzer, O. Carbon Dioxide Eruptions From Coal Seams in Lower Silesia. *Econ. Geol.* 1936, (31): 441—452
- [4] Smith J W. et al. The stable Isotope Geochemistry of Australian Coals. *Organic Geochemistry*, 1982, (3): 111—131
- [5] Shepherd, J et al. The Occurrence, prediction and control of outbursts in coal mines symposium, 1980, 159—171
- [6] Smith, J W et al. An Isotopic Study of the Role of Carbon Dioxide in Outbursts in Coal Mines. *Geochemical Journal*, 1980, (14): 27—32
- [7] K W. Gould 等著(陶明信译). 新南威尔士南部煤田中的 CO₂ 气体——潜在天然气评价中的一个因素. *瓦斯地质*, 1990, No. 3—4, 63—65.
- [8] Smith, J W. et al. Isotopic Studies of Australian Natural and Coal Seam Gase. *Proc. Australas. Inst. Min. Metall.*, 1985, (290): 43—51
- [9] Э. М. Соколов, Н. М. Качурин. 1987, углекислый газ в угольных шахтах, москва "НЕДРА".
- [10] 戴金星, 戚厚发, 郝石生. 天然气地质学概论. 石油工业出版社, 1989, 13—18
- [11] 李兆兴, 陶明信, 徐永昌, 陈发源. 窑街煤田碳酸盐与突出气体的同位素组成特征. *沉积学报*, 1991, 10(4):
- [12] 陶明信, 徐永昌, 陈发源, 沈平, 孙明良. 窑街煤田 CO₂ 气中氦同位素特征及其意义. *科学通报*, 1991, (12):
- [13] 徐永昌, 沈平, 孙明良, 徐胜. 我国东部天然气中非烃及稀有气体的地球化学. *中国科学(B辑)*, 1990, (6): 645—651

ON OUTBURSTS OF CARBON DIOXIDE IN COAL MINES

Tao Mingxin Xu Yongchang Ma yuzhen

(National Key Laboratory of Gasgeochemistry, Lanzhou
Institute of Geology, Academia Sinica, 730000)

Chen fayuan

(Coal Mine Bureau of Yaojie, 730080)

Abstract

CO₂ outburst is a main geological disaster in coalmines. A survey of study on CO₂ outbursts at home and abroad and the latest developments in research of China are introduced in this paper.

The CO₂ outburst in the Lower Silesia Coalmine in Poland is the most serious in the world. In China, the extraordinary outburst of CO₂ gas happened on May 24, 1978 in the Yaojie Coalmine, Gansu Province. In the research work of Yaojie, we launched study on some forward domains. Such as helium and argon isotopes, fission—track dating of calcite veins, thermal simulated experiment and so on, and got some new data and new results.

Key Words: CO₂ outburst; Coalmines; Geological disaster