

GC—4085 型对煤层自然发火标志 气体的分析与应用报告 概述

抚顺矿务局老虎台矿于 1907 年开采，设计年产量 300 万吨。主采煤层平均厚度 50 米，煤质为中变质程度的气煤，煤层自然发火期 1~3 个月，最短为 13 天。随着矿井开采水平的不断延深，井巷布置十分复杂，旧巷、废巷多，加之过去采用倾斜分层上行“V”型式水砂充填采煤法，尤其是近几年来，由于采煤工艺的改革，采用了综采放顶煤采煤法，冲击地压频繁发生，致使巷道和采场矿压分布不平衡，形成大量冒顶，这些冒顶容易与旧巷、老空区贯通，形成错综复杂的漏风通道，引起旧巷、采空区或浮煤自然发火。另外，位于三分层的夹层煤线—炉灰煤层（其主要成分为丝煤），极易自然发火，其最短自然发火期仅有 13 天，它往往隐含性地起着引燃层自然发火的作用。因此，该矿煤层自然发火相当严重，自 1994 年至 1997 年末，全矿自然发火形成火区或明火、冒烟、高温或一氧化碳（CO）超限等，仅记录在案的总计 225 次，其中发生明火达 51 次，占全矿火灾统计总数的 20%。而且在统计的 225 起火灾事故中，初生火灾占 85.88%。

老虎台矿在 1997 年以前，对煤层自然火灾的早期预测预报，仅采用一氧化碳（CO）和一氧化碳（CO）派生指标，但在长期的应用过程中，发现仅单一指标很难准确地预测预报矿井火灾，并发现在一些煤层自然发火已经表现出较明显的自然发火征兆的情况下，有的煤层本身就含有一氧化碳（CO）150 ppm~220ppm。为了进一步掌握表征

煤层自然火灾规律方面的有关参数，提高煤层自然发火早期预测的及时性和准确性，老虎台矿自 1997 年开始从北京市东西电子技术研究购置了 GC—4008 型和 GC—4085 型气相色谱仪 8 台，对老虎台矿井下 3 个综放面和上下顺槽面、架前、架后和 12 个煤掘工作面、旧巷、一些冒顶区一天采集气样 300 多个，进行了自然发火基础参数的分析，获得有效数据 8200 个，探索出适合老虎台矿井下煤层自然发火的标志气体指标。此后改用为一氧化碳（CO）、乙烯（C₂H₄）、乙炔（C₂H₂）及链烷比等综合指标来早期预测预报煤层自然发火，如果发现气体指标超过规定值时，就马上采取合理的治理措施，基本上做到了防患于未然。从 1998 年至 2001 年末四年间全矿煤层自然发火记录统计 61 次，其中发生明火 17 次，占全矿火灾总数的 27.88%，而且在统计的 61 次火灾事故中，初生火灾占 29.51%。比前 4 年少发生火灾 194 次。

以下就近年来老虎台矿在运用煤矿专用气相色谱仪分析气体样品，按标志气体预测预报矿井自然发火过程，进行了认真的总结分析，进一步验证和保证煤层自然发火各指标气体及其指标在矿井火灾早期预测的实用性和准确性，做一介绍。

一、煤层自然发火标志气体的生成规律

就针对老虎台矿井下煤种来说，在升温速率 1⁰C/min，供空气流量为 100m³/min，煤样量为 1g 的实验条件下，自然发火标志气体的产生规律有如下特点，但需要指出的是，不同煤样量，在不同的实验条件下，标志气体的产生规律有一定的差异。

1、 一氧化碳 (CO)

一氧化碳 (CO) 发生量随煤温的升高而增大, 总的看来, 一氧化碳 (CO) 出现的温度范围为 $38^{\circ}\text{C} \sim 81^{\circ}\text{C}$, 但具体值因采样地点的不同而异; 一氧化碳的发生增率在 70°C 以下较小, 范围在 $0.0437 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} \sim 11.2400 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$, 说明 70°C 以下为缓慢氧化阶段, 在 $70^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 范围内, 一氧化碳的发生增率上升为 $1.0359 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} \sim 27.1759 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$, 而在 150°C 以上, 则急剧上升至 $18.8182 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} \sim 66.0968 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 。从试验结果的总体来看, 一氧化碳 (CO) 作为标志气体指标, 因采样区域和地点的不同有不同的程度的变化, 就老虎台矿井下个别煤层中含有一氧化碳 (CO) 浓度 $100 \text{ ppm} \sim 200 \text{ ppm}$ 左右。

2、 烯烃气体—乙烯 (C₂H₄)

乙烯 (C₂H₄) 仅仅产生于煤自然氧化过程中, 其发生量亦随煤温的升高而增大, 并且变化关系明显而单一。由试验结果来看, 乙烯 (C₂H₄) 出现的温度范围是 $91^{\circ}\text{C} \sim 135^{\circ}\text{C}$ 。其发生增率在 $91^{\circ}\text{C} \sim 135^{\circ}\text{C}$ 范围内为 $0.0090 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} \sim 0.045 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$, 在各个煤样之间有一定的差异。从实验结果可以看出, 没有乙烯 (C₂H₄) 出现在 90°C 以前的情况, 即缓慢氧化阶段不会产生乙烯 (C₂H₄), 只要有乙烯 (C₂H₄) 产生, 就可以认为在高冒顶、旧巷和采空区内存在至少为 $100^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ 左右自然高温点, 而且煤的自然氧化已经进入氧化阶段, 这时必须采取有利措施治理, 否则会酿成大的火灾事故。

3、 炔烃气体—乙炔 (C₂H₂)

乙炔 (C₂H₂) 出现的温度范围为 $200^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 之间, 各煤样首次

出现乙炔（C₂H₂）的温度差别不大。对老虎台矿来说，只要出现乙炔（C₂H₂），可以断定煤的氧化温度至少已达到 200℃ 以上。乙炔（C₂H₂）是煤进入激烈氧化阶段并向着火燃烧阶段发展的产物，而且只有在此阶段才出现明火。由于篇幅所限，仅列出老虎台矿井下 505#采号机采南北道所采煤样的标志气体分析结果，如表 1 所示。

表 1 煤样分析结果

煤温 (°C)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	C ₂ H ₄ (ppm)	C ₂ H ₆ (ppm)	C ₂ H ₂ (ppm)	O ₂ (%)	N ₂ (%)
38	0.00	0.02	0.00	0.00	0.70	0.00	20.57	78.91
64	50.12	0.02	0.00	0.00	0.69	0.00	20.31	75.39
91	23.78	0.03	0.01	0.05	0.41	0.00	20.12	75.92
118	77.25	0.09	0.01	0.35	0.48	0.00	20.50	71.89
147	548.48	0.23	0.01	1.25	2.14	0.00	19.24	72.70
177	2046.88	0.67	0.02	5.41	7.15	0.00	17.25	74.07
212	8144.09	1.92	0.08	22.69	18.53	0.00	12.42	77.08
243	1944.21	3.20	0.18	60.28	30.14	0.00	7.22	78.97
268	27743.21	3.80	0.24	103.4	36.08	0.00	4.27	78.98
291	31447.02	4.17	0.37	141.47	38.00	4.15	2.68	78.45
311	38743.23	4.46	0.29	162.10	41.38	7.36	1.94	77.10
332	35470.53	4.78	0.31	153.85	47.68	14.64	1.52	75.74
358	36876.27	5.02	0.33	116.48	65.61	11.15	1.28	74.08
374	38156.85	5.23	0.38	83.71	125.26	7.50	0.97	72.54

二、 煤层自然发火标志气体指标分析与应用实例

老虎台矿 1996 年以前是利用 6 台 SP—2307 型气相色谱仪，进行煤层自然发火早期预测预报，但是自然火经常发生，最高的一年发生过 107 次火灾事故。从 1996 年末以来就购置了 GC—4008 型和 GC—4085 型气相色谱仪，对主要的旧区、高冒顶和机采架前、架后、上下顺槽等地点进行长期采气样分析，应用一氧化碳(CO)、乙烯(C₂H₄)、

乙炔 (C₂H₂)，三个主要指标，对未曾发火的采空区和已经发火并采取处理措施的火区、火点火情进行预测预报，收到了相当好的效果。

实例 1

1997年8月11日54001#回风南北道风桥环道顶板高顶中采样分析检测到一氧化碳(CO) 1960.45ppm, 乙烯(C₂H₄) 36.27ppm, 从指标气体来看, 已有较明显的发火征兆, 但由于其它一些原因, 当日未采取任何措施, 8月12日检测到一氧化碳(CO) 2921.28ppm, 乙烯(C₂H₄) 增加到60.84ppm, 并出现煤焦油味和轻微的烟雾, 当日放下空顶浮煤, 过一段时间再采样, 乙烯(C₂H₄) 下降到34.64ppm, 表征煤层自然发火并未彻底熄灭, 而继续采取注水处理, 8月15日分析乙烯(C₂H₄) 下降到2.52ppm, 随后逐渐消失, 火点彻底熄灭。

该地点气体分析结果如表 2

表 2

实例 1 中气体分析记录

日期	CO (ppm)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	C ₂ H ₄ (ppm)	C ₂ H ₆ (ppm)	C ₂ H ₂ (ppm)	O ₂ (%)	N ₂ (%)
8.11	1960.45	1.25	0.29	36.27	376.24	0	16.24	82.19
8.12	2921.28	1.74	1.36	60.84	631.08	0	14.61	79.94
8.12	2019.41	1.67	1.24	34.64	502.64	0	15.24	79.89
8.15	1.86	1.34	0.27	2.52	49.39	0	19.48	79.58

实例 2

1997年8月17日53006#老回风道上下顺槽砂碯砂门处采集气样中，乙烯（C₂H₄）高达491.68ppm，未出现乙炔（C₂H₂），说明煤温已发展到加速氧化阶段，同时发现砂碯往外冒青烟，立即采取得力的灭火措施已势在必行。当日打钻灌注粉煤灰处理，次日乙烯（C₂H₄）

降至 76.30ppm，随后逐渐消失，火点彻底熄灭。

该地点气体分析结果见表 3

表 3 实例 2 中气体分析记录

日期	CO (ppm)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	C ₂ H ₄ (ppm)	C ₂ H ₆ (ppm)	C ₂ H ₂ (ppm)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	备注
8.17	8241.89	15.32	2.59	491.68	1167.23	0	9.27	69.94	高顶 1
8.17	8288.13	12.09	1.47	362.70	1600.48	0	5.59	76.96	高顶 2
8.18	19617.25	6.69	0.61	76.30	56.69	0	11.91	80.07	高顶 1
8.18	977.86	0.51	0.07	11.75	48.16	0	20.14	78.49	高顶 2

实例 3

2000 年 9 月 8 日，78001#三期北顺东进联络槽掘进工作面发生火灾，当时烟和明火很大，为防止火势蔓延到北顺槽，避免发生重大事故，故将 300 多米的北顺槽两端下砂门封锁闭。9 月 9 日北顺槽砂门顶板采集气样分析一氧化碳（CO）669ppm，乙烯（C₂H₄）130ppm，乙炔（C₂H₂）21ppm，虽然火势控制住了，但已表现出较明显的火源未有完全熄灭，在火区内还有超过 120℃ 以上的高温，并且表现出较强的复燃势头，立即采取向封闭区内注水、注氮等一系列灭火源措施。连续处理 8 天，直到 9 月 16 日一氧化碳（CO）、乙烯（C₂H₄）、乙炔（C₂H₂）才完全消失，火灾彻底熄灭。在指挥部的正确领导下顺利的启封了火区密闭，又恢复了掘进生产。

该地点气体分析结果见表 4

表 4

实例 3 中气体分析记录

日期	CO (ppm)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	C ₂ H ₄ (ppm)	C ₂ H ₆ (ppm)	C ₂ H ₂ (ppm)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	备注
9. 9	669	16	62	130	1491	21	2. 88	19. 12	一、二、三
9. 10	97. 82	13. 24	45. 83	56. 51	1010. 27	9. 38	1. 53	39. 4	班采集气样
9. 11	59. 32	9. 68	41. 7	48. 24	828. 31	0. 63	4. 10	44. 52	分析
9. 12	8. 0	9. 47	38. 0	4. 07	492. 67	0	2. 04	50. 49	
9. 13	13. 07	3. 46	26. 63	1. 83	341. 68	0	5. 59	64. 32	
9. 14	11. 56	8. 0	29. 0	0	319. 47	0	6. 0	57. 0	
9. 15	1. 0	3. 19	10. 9	0	141. 31	0	3. 5	82. 41	
9. 16	0	0. 31	13. 6	0	750. 65	0	4. 28	81. 81	启封密闭

实例 4

2002 年 6 月 16 日 68002#（东）机采工作面，由于煤质比较硬，架后煤放不下来，出现大面积悬顶，为了防止大面积垮落把采空区的瓦斯压出，引起瓦斯事故。采取在工作面放震动炮的措施强制防顶，当时打了两个孔，每个孔装药量为 5kg，放炮后采集气样分析一氧化碳（CO）浓度为 10198.26ppm，乙烯（C₂H₄）409.64ppm，乙炔（C₂H₂）25.74ppm，从标志气体分析结果来看，当时放炮时很可能已有明火存在，虽然没有发现有什么烟雾，但很可能进入采空区抽放瓦斯管里，第二天采集气样分析一氧化碳（CO）、乙烯（C₂H₄）和乙炔（C₂H₂）全部消失。所以经研究怕把采空区的瓦斯引燃就不采取放震动炮的措施，而采取了高压注水的措施。

该地点气体分析结果见表 5

表 5 实例 4 中气体分析记录

日期	CO (ppm)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	C ₂ H ₄ (ppm)	C ₂ H ₆ (ppm)	C ₂ H ₂ (ppm)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	备注
6. 16	3171. 11	15. 71	51. 75	355. 77	1371	28. 42	4. 68	27. 86	74 架前梁
6. 16	10198. 26	16. 0	44. 23	409. 64	5240. 03	25. 74	4. 59	35. 18	42 架前梁
6. 21	14481. 37	27. 83	31. 37	582. 30	1844. 0	20. 33	8. 09	32. 71	61 架前梁
6. 21	6688. 90	11. 05	14. 13	365. 3	1933. 74	24. 18	15. 0	59. 82	22 架前梁

从实例 1、2 可以看出，乙烯（C₂H₄）出现时，煤的氧化确实已进入加速氧化阶段，如不及时采取措施，将会迅速加速发展（如实例 2），但在乙炔（C₂H₂）出现以前，未表现出明火的征兆，仅表现为烟雾程度亦相当严重。

从实例 3、4 中可以看到，乙烯（C₂H₄）的出现确实表明已有煤炭处于着火燃烧阶段或明火出现。如实例 3 中，着火封闭后，在砂门顶板采集气样分析乙炔（C₂H₂）是 21ppm，在封闭的火区内肯定还有灼热甚至明火燃烧的高温点存在，应根据具体情况仔细分析，尽快找到火源的准确位置，而采取有利的措施，并及时熄灭明火，然后观察乙炔（C₂H₂）、乙烯（C₂H₄）等标志气体变化情况，以判断火源的熄灭程度，密切注意防止复燃。

三、 结论

1、一氧化碳（CO）浓度与煤温之间的关系总趋势是随煤温的升高而增大，但也有不遵循这一规律的，而在一定范围内呈波动趋势；

其指标随自然发火的具体情况的不同，有较大的差异，而且一氧化碳（CO）出的温度范围宽，且出现的最低下限也很低为 38°C，加之老虎台矿的煤种有较强的自燃倾向性，因此在一些机采区、高冒顶、旧巷和采空区，特别是综采放顶煤架上放顶冒落区通常采集气样分析出现不同的 100ppm~200ppm 浓度左右的一氧化碳（CO）很难判别出煤自然氧化的过程，只能根据一氧化碳（CO）增加的速率和浓度量值，才能判别煤的氧化是否被加速或被抑制，但由于一氧化碳（CO）浓度受风流分布、采样位置、采样方法、以及其它来源一氧化碳（CO）等诸多因素的影响，就现场测试数据很难找出普遍适用的比较精确的增率和浓度值的量化指标。另外，在一些特定的环境下，煤层自然发火已表现出较强的发火征兆，甚至出现煤焦等自燃现象，而一氧化碳（CO）呈现出比较低的浓度值，如果仅依据此单一的指标处理和启封闭区，不但会延误时机，还可能造成严重的后果。因此，不宜将一氧化碳（CO）做为唯一的判别指标，应结合其他指标综合考虑。

2、乙烯（C₂H₄）是表征煤氧化进入加速阶段最灵敏的指标，随煤温的变化关系单一，这个时期一般会出现煤焦油或不同程度的烟雾等自燃征兆，它的出现将警告人们，必须及时地采取得力有效的防火措施已迫在眉睫。

3、乙炔（C₂H₂）是惟有煤进入激烈氧化趋向着火燃烧阶段才出现的产物，它的出现，标志着氧化已临近或处于着火燃烧阶段，这时采取防火的措施一定要谨慎、得力，一般防火措施已难以奏效，而且要绝对避免将高温热的煤暴露于空气中，一旦接触空气将迅速燃

烧，如果引燃瓦斯、煤尘等爆炸物，其后果不堪设想。因此这时采取措施应首先尽快地灭掉明火，然后密切注视乙炔(C_2H_2)、乙烯(C_2H_4)、一氧化碳(CO)等指标，以掌握火源的熄灭程度，防止复燃。所以乙炔(C_2H_2)又是判断已燃的煤层是否已趋向熄灭的逆指标。

4、由以上可以看出，老虎台矿利用两台 GC—4085 型气相色谱仪和 6 台 GC—4008 气相色谱仪，分析结果和现场实际应用基本一致，所以优选出的各标志气体及其指标能及时、准确地预测预报煤层自然发火的进程。

5、目前，老虎台矿应用一氧化碳(CO)、乙炔(C_2H_2)、乙烯(C_2H_4)三个标志气体指标综合判别煤自然发火的过程，并分别指导火灾防治措施，能够使机采工作面安全顺利的进行回采起到了决定性作用，而取得了明显的效果和经济效益，2001 年实际出煤 320 万吨，上缴利润 1.6 亿元，且经验十分丰富和实用，可供兄弟局矿参考与应用。

抚顺矿务局老虎台矿

二〇〇二年七月二十三日