

煤矿安全技术

陕西能源职业技术学院
资源与测绘工程学院

情境四 矿井火灾防治技术

课程单元策划设计

任务	相关知识	知识链接	课时
矿井火灾基本知识	(1) 矿井外源火灾 (2) 煤炭自然发火 (3) 煤炭自燃识别	(1) 煤炭自燃性鉴定 (2) 预防煤炭自燃措施	2
矿井火灾预防	(1) 通风防火技术 (2) 阻化剂防火技术	(1) 预防外源火灾措施 (2) 巷道布置和采煤方法防火技术	4
矿井灭火技术	(1) 火风压及其危害 (2) 火灾时的放流控制 (3) 火区管理与启封工作	(1) 矿井灭火方法 (2) 火区管理与启封方法	2

1. 理论（应知）：互动讨论（分学习小组）、案例分析；
2. 技能（应会）：验证性实训、模拟操作训练；
3. 考核方式：任务过程考评

任务1 矿井火灾基本知识

相关知识

一、煤炭自燃机理

1. 煤本质自燃性作用

破碎状态的煤由于吸收了空气中的氧气，使煤的组成物质氧化产生热量，并出现聚集热量现象，加速煤的自燃氧化生热。

2. 含黄铁矿的促热作用

煤中存在黄铁矿，它是很强的氧化剂，由于黄铁矿氧化成为，在有水分参加的情况下，形成三氧化二铁及三氧化硫时能放出热量，加速煤的氧化，促进煤的自燃。



任务1 矿井火灾基本知识

二、煤炭自燃条件及其危害性

1. 煤炭自燃条件

- (1) 煤具有自燃倾向性并呈破碎堆积状态存在（厚度大于 0.4m）；
- (2) 适量的连续通风供氧条件；
- (3) 良好的蓄热环境；
- (4) 维持煤的氧化过程不断发展的条件。

以上四个条件缺一不可。

2. 煤炭自燃的危害性

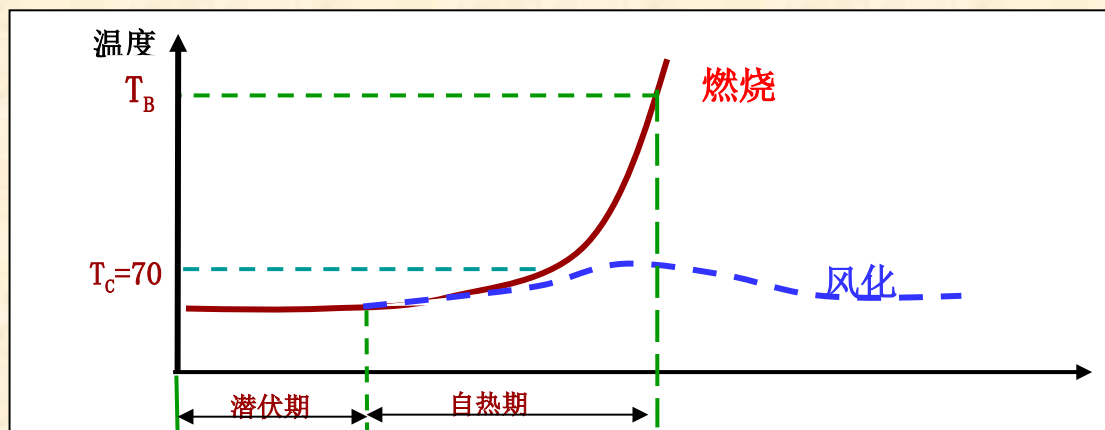
产生大量的有毒气体；造成资源和财产损失；

引起瓦斯爆炸等。



任务1 矿井火灾基本知识

三、煤炭自燃发展过程



1. 低温氧化期（又称潜伏期）

自煤层开采与空气接触氧化至煤温升高所经历的时间。

特征：以物理吸附为主，放热很小；煤表面化学形变活泼，表面颜色暗淡；燃点下降，煤质量略有增加等。

任务1 矿井火灾基本知识

2. 自热期

煤温开始升高达临界值（ $70^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ ）所经历的时间。

特征：氧化速度增快，放热量大，煤温和环境温度升高；产生 CO_2 、 CO （ $\text{CO}_2 > \text{CO}$ ）和碳氢类等产物。

3. 自燃期

煤氧复合物生成阶段到煤快速燃烧阶段的过渡时期。

特征：氧化放热速度剧增；产生的 CO 、 CO_2 （ $\text{CO} > \text{CO}_2$ ）和碳氢类等产物含量变化快；出现燃烧气味和烟雾等。

自燃发火期：煤开始接触氧气到自燃的时间。一般最短为 1.5 ~ 3 个月，长者可达 15 个月以上。

任务1 矿井火灾基本知识

三、煤炭自燃及发火期的确定

1. 煤自燃发火的确定

《矿井防灭火规范》中规定出现下列现象之一，即为自燃发火。

(1) 煤因自燃出现明火、火炭或烟雾等现象；

(2) 煤炭自热而使煤体、围岩或空气温度升高至 70°C 以上；

(3) 煤炭自热而分解出 CO 、 C_2H_4 或其它指标气体，在空气中的浓度超过预报指标，

并呈逐渐上升趋势。

任务1 矿井火灾基本知识

2. 煤自然发火期的确定

自燃发火期：煤层被揭露与空气接触氧化生热到自燃点为止，所经历的时间。

煤层最短自燃发火期：在最有利于煤自热发展的条件下，煤炭自燃需要经过的时间。

（一般最短为 1.5 ~ 3 个月，长者可达 15 个月以上）。

（1）巷道煤层自燃发火期：以自燃发火地点煤层被揭露之日起发生自燃发火为止计算的时间（一般以月为单位）。

（2）采煤工作面煤层自燃发火期：以工作面开切眼之日起发生自燃发火为止计算的时间（一般以月为单位）。

安全要求：矿井每一煤层所有采煤工作面和巷道，都必须进行自燃发火统计，确定煤层最短发火期。

任务1 矿井火灾基本知识

四、煤炭自燃的影响因素

1. 煤的自燃倾向性

(1) **煤的变质程度**：各种牌号的煤（即不同化学成分的煤）都有自燃发火的可能，一般认为煤的炭化程度越高、挥发分含量越低、灰分越大，其自燃倾向性越弱；反之则越强。。

自燃倾向性：褐煤 > 长焰煤 > 烟煤 > 焦煤 > 无烟煤

(2) 煤的孔隙率和脆性：

煤的孔隙率越大，其吸附氧的能力也越大，煤越容易自燃。

煤的脆性越大则越容易破碎，接触氧的表面积增大，其着火温度明显降低，易自燃发火。

因此，在矿井里最易发生自燃火灾的地方都是煤体较为破碎与碎煤集中堆积的地点。

任务1 矿井火灾基本知识

（3）**煤岩成分**：煤岩成分有丝煤、镜煤、亮煤和暗煤，其中，丝炭结构松散、吸氧能力强、着火温度低（ $190 \sim 270^{\circ}\text{C}$ ），是煤自热的中心，在自燃中起“引火物”的作用；镜煤和亮煤脆性大，易破碎，有利于煤炭自燃；暗煤硬度大，难以自燃。

（4）**煤的水分**：实验表明：煤中含谁率在 $1\% \sim 4\%$ 之间，助长自燃；含水率低于 1% 或大于 4% 时阻碍自燃，当煤中的水分蒸发后其自燃危险性会增大。

（5）**煤中硫和其他矿物质**：煤中含有硫和其他催化剂，则会加速煤的氧化过程。统计资料表明，含硫大于 3% 的煤层均为自燃发火的煤层，其中包括无烟煤。但当含硫量小于 1% ，其对自燃的影响则不大。

（6）**煤中的瓦斯含量**：煤层孔隙内的瓦斯能够占据煤的孔隙空间和内表面，减少了煤的吸氧量；瓦斯逸出后，使煤炭氧化更为强烈，自燃危险性增加。

任务1 矿井火灾基本知识

2. 煤层的赋存地质条件

（1）**煤层越厚与倾角**：煤层越厚，倾角越大，回采时会遗留大量浮煤和残煤；煤层越厚，回采推进速度越慢，采区回采时间往往超过煤层的自燃发火期，不易封闭隔绝采空区，容易发生自燃火灾（据统计，80 %的自燃火灾是发生在厚煤层的开采中）。

（2）**地质构造**。断层、褶曲、破碎带及岩浆侵入区等地质构造地带，煤层松软易碎、裂隙多，吸氧性强，也容易发生自燃火灾。

（3）**煤层埋藏深度**：煤层埋藏深度大，煤体的原始温度高，煤中所含水分则较少，自燃危险性较大；但开采深度过小时又容易形成与地表的裂隙沟通，也会在采空区中形成浮煤自燃。

（4）**围岩的性质**：煤层围岩坚硬、矿压显现大，容易压碎煤体，形成裂隙，而坚硬的顶板冒落难以压实充填采空区漏风大，为煤炭自燃发火提供了充分的条件。

任务1 矿井火灾基本知识

3. 开采技术

(1) 矿井开拓方式和采取巷道布置：保护煤柱的数量多，煤柱受压和破碎程度大，供风条件好，则自燃危险性大。

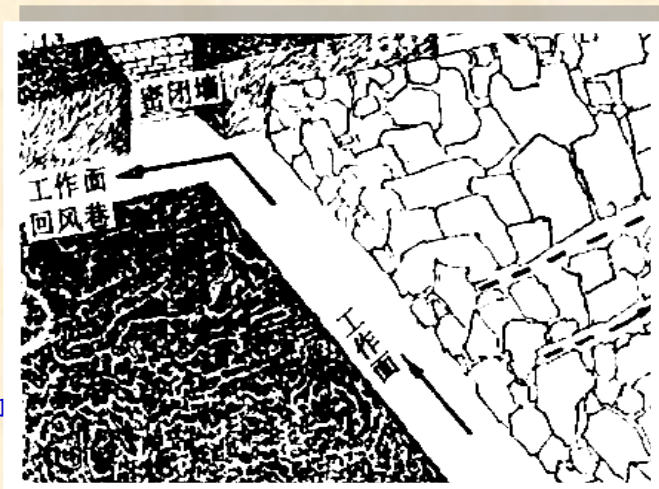
(2) 回采方法和回采工艺：回采率低、工作面推进速度慢，自燃危险性大。

(3) 漏风条件：

① 一般自然危险区的风速为 $0.4 \sim 0.8\text{m/min}$ 时最容易引起自燃；

② 采空区漏风风速为 $0.10 \sim 0.24\text{m/min}$ ，漏风量为 $0.4 \sim 0.8\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 最易发生煤的自燃。

③ 封闭采空区漏风强度在 $0.01 \sim 0.12\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ ，漏风压差在 300Pa 时，易自燃发火。



案例 1：煤炭自然发火分析

1. 易发生煤炭自燃的地点

- (1) 采空区：火源点主要分布在碎煤堆积和漏风同时存在、时间大于自然发火期。
- (2) 煤柱：火源点在压酥碎裂带。
- (3) 巷道顶煤：顶煤压酥碎裂区易发生自然发火。
- (4) 断层和地质构造区附近的煤层破碎带易发生自然发火。

2. 自然发火因素

- (1) 堆积大量的浮煤或碎煤，为自燃奠定物质条件基础。
- (2) 良好的漏风通道，为煤炭自燃提供充足的供氧条件。



案例 1：煤炭自然发火分析

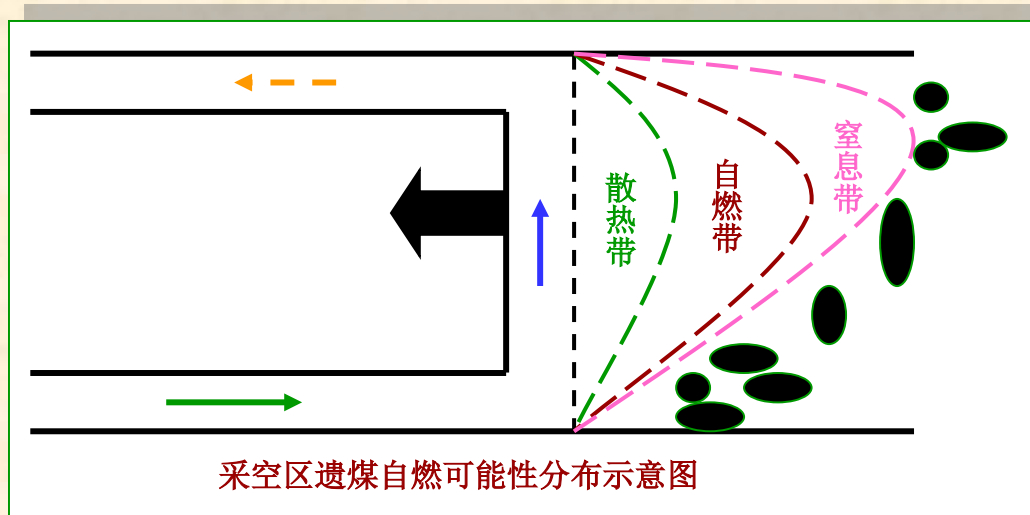
3. 采空区遗煤自燃特性分析

采煤工作面 U 型通风系统（一源一汇）的采空区，按漏风风速、采空区氧气浓度、采空区遗煤温升速度和遗煤发生自燃的可能性采空区可分为三带

散热带： $L=5 \sim 20\text{m}$ ，由于自由遗煤堆积，空隙漏风大，氧化生热 $Q < \text{散热 } Q$ 。

自燃带： $L=20 \sim 70\text{m}$ ，空隙、漏风小，氧化生热 $Q > \text{散热 } Q$ 。

窒息（不自燃）带：漏风小，氧气浓度低，



案例 2：煤炭自燃的早期识别和预报

1. 人的直接感觉

(1) 浅部开采时，冬季在地面钻孔口或塌陷区，有时发现冒出水蒸气或冰雪融化现象。井下两股温度不同的风流交汇处，过饱和的水蒸气凝聚也会出现雾气。

(2) 煤从自热到自燃过程中，氧化产物中有各种碳氢化合物，所以，在井下可以闻到煤油、汽油或松节油味。如闻到焦油气味则表明自燃已经发展到相当的程度。

(3) 从煤炭自热或自燃地点流出的水或空气，其温度较平常为高。

(4) 人有不舒适感，如头痛、闷热、精神疲乏等，这与空气中有害气体（如 CO 、 CO_2 ）的浓度增加有关。



案例2：煤炭自燃的早期识别和预报

2. 气体成分分析法预测预报

(1) 常用指标气体： CO 、 C_2H_4 、 C_2H_2 、 C_3H_6 等。

(2) 预报指标： CO 和 C_2H_4 绝对量、火灾系数、链烷比。

(3) CO 绝对量分析法：根据测点的 CO 浓度和风量 Q 计算煤的自然发火预报指标 H 。

(4) 发火系数 R 分析预测法：

在观测区采取气样，根据 $+\Delta\text{CO}$ 、 $+\Delta\text{CO}_2$ 增量与 O_2 的减少量 $-\Delta\text{O}_2$ 计算火灾系数 R_1 、 R_2 、 R_3 分析煤的自燃发展程度。

分析指标： $R_1 \approx 0.3 \sim 0.4$ ，连续增大预示自燃火灾已发生；

$R_2 > 0.005$ ，则警惕自燃值， $R_2 > 0.01$ ，表明以自然发火。

案例 2：煤炭自燃的早期识别和预报

（5）链烷比分析预测法：

采用烷系之间浓度比值分析预测煤的自燃发展程度。

常用方法有乙烷与甲烷比（ C_2H_6/CH_4 ）和丙烷与乙烷比

（ C_3H_8/C_2H_6 ）。

分析指标：比值为 0.02 ~ 0.06，煤炭处于正常状态；

比值为 0.1 ~ 0.12，进入自然发火危险阶段；

比值为 0.15 ~ 0.18，进入自然发火阶段；



煤自燃性测仪

任务1 矿井火灾基本知识

任务实施

五、煤炭自燃倾向性鉴定

1. 鉴定目的

- (1) 煤层自燃发火等级划分;
- (2) 区分煤的自燃危险程度, 采取相应的预测预防措施。

2. 鉴定标准

自燃等级	自然倾向性	30℃ 常压煤的吸氧量 /Cm ³ · (g · 干馏) ⁻¹		
		褐煤、烟煤	高硫煤、无烟煤	
I	容易自燃	≥0.80	≥1.00	全硫 (S _{vd} %) > 2.00
II	自燃	0.41 ~ 0.79	≤ 1.00	全硫 (S _{vd} %) > 2.00
III	不自燃	≤0.40	≥0.80	全硫 (S _{vd} %) < 2.00

任务1 矿井火灾基本知识

3. 鉴定方法与依据

- (1) 方法：“双气路气相色谱吸氧法”鉴定煤的自然性。
- (2) 依据：30℃ 常压条件下，每克（或 cm³）干煤的吸氧量，鉴定煤炭的自然等级。

4. 鉴定操作步骤

- (1) 加工鉴定煤样：破碎粒度 0.15cm 以下；
- (2) 制原煤试样：粉碎煤样与亚硝酸钠的重量比为 1：0.75；
- (3) 制还原煤试样：粉碎煤样与亚硝酸钠、联苯胺的重量比为 1：0.75：0.025；
- (4) 制氧化煤试样：粉碎煤样 1g 与浓度 30% 双氧水 0.5ml 混合搅拌，真空烘干后再与粉碎煤样和亚硝酸钠（重量比为 1：0.75）制成氧化煤试样。
- (5) 三种试样个装入试管，放入鉴定仪内进行升温试验。

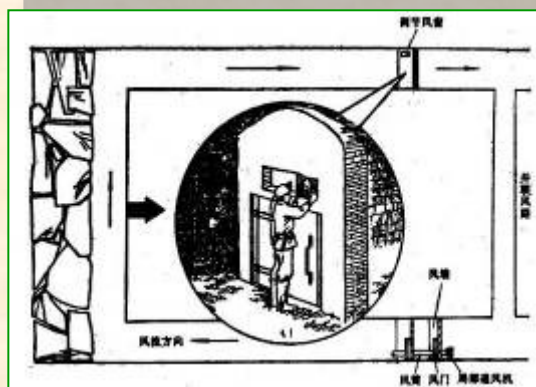
任务1 矿井火灾基本知识

六、预防煤炭自燃技术

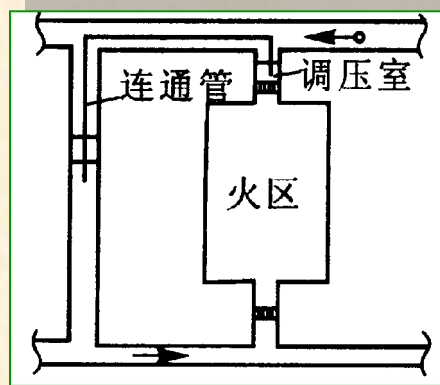
1. 均压法预防煤炭自燃

原理：通过通风方法降低漏风通道两侧的风压差，减少漏风量，防止和抑制煤炭自燃。

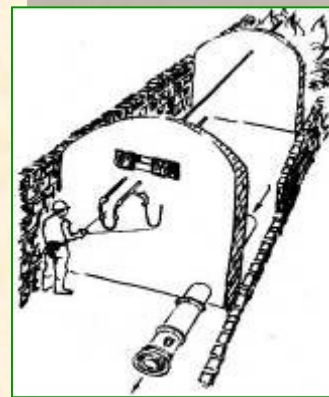
分类：根据使用条件不同，可分为开区均压与闭区均压两大类。均压技术既用来防火，也用于灭火和防止瓦斯漏出。



开区调节风窗均压防火系统



闭区连通管均压防火系统



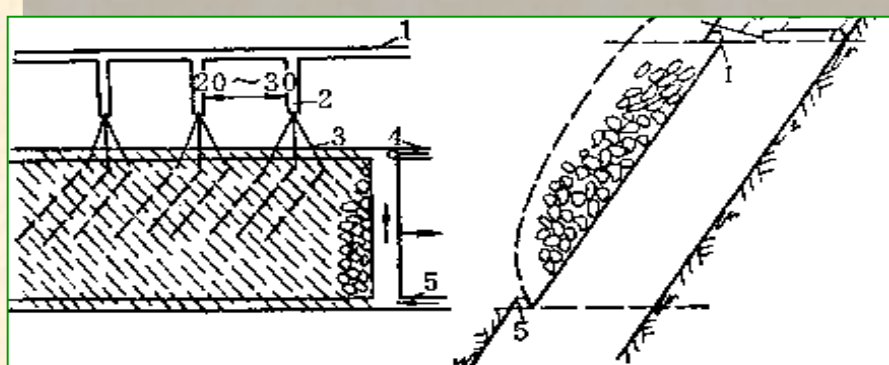
局部风机均压防火系统

任务1 矿井火灾基本知识

2. 注浆预防煤炭自燃

预防性灌浆预防煤炭自燃作用原理：用黄泥、沙子或其代用品和水按适当比例调制成泥浆，通过管路或钻孔灌进采空区。泥浆包裹住碎煤，使之与空气隔绝，防止氧化；降低煤炭自燃危险性。

（1）采前预灌：在工作面尚未回采前对其上部的采空区进行灌浆。这种灌浆方法适用于开采老窑多的易自燃、特厚煤层。

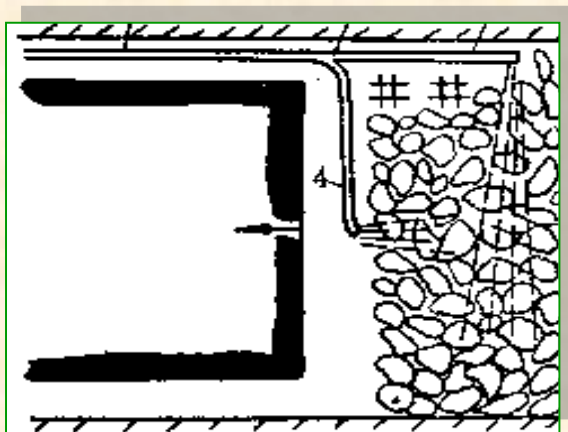


钻孔灌浆防火

任务1 矿井火灾基本知识

(2) 采后注浆：采空区封闭后，利用钻孔向工作面后部采空区内注浆。

(3) 随采随灌：随着采煤工作面推进的同时向有发火危险的采空区灌浆，是预防性灌浆采用的主要方法。随采随灌分为钻孔灌浆、埋管灌浆和洒浆三种方式。



埋管灌浆防火



喷射泥浆防火

任务1 矿井火灾基本知识

3. 阻化剂预防煤炭自燃

预防自燃作用原理：抑制煤在空气中氧化，降低煤氧化活性。

常用的阻化剂：有氯化钙、氯化镁、硝石灰和水玻璃等。

应用方法：阻化剂溶液喷洒在采空区的煤壁或者煤块上。

4. 注凝胶预防煤炭自燃

预防自燃作用原理：高温点或火点的周围煤体中注入凝胶后，封堵漏风通道，吸热降温。

5. 注氮预防煤炭自燃

预防自燃作用原理：采空区注入氮气或煤体裂隙渗入氮气。氧浓度相对降低，阻止煤体的氧化和燃烧。



制氮气装置