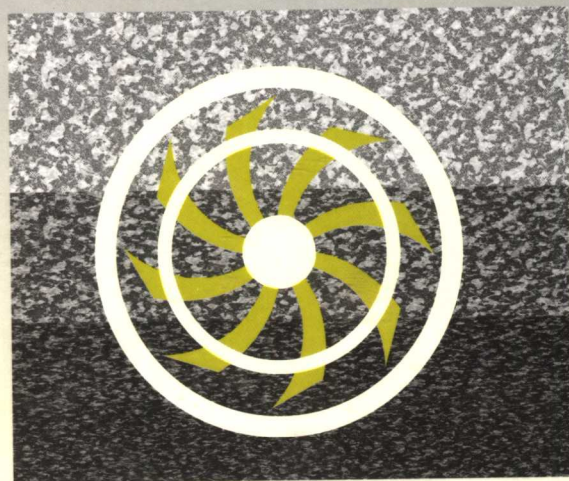


煤矿安全 新技术应用

实务全书

主编/张明



安徽音像出版社

煤矿安全新技术应用实务全书

主 编 张 明

(三)

本书是《煤矿安全新技术应用实务全书》光盘的使用说明与对照阅读手册



安徽音像出版社

目 录

第一篇 矿井通风技术

第一章 概 述	(3)
第一节 矿井通风系统的优化改造	(3)
第二节 矿井通风装备和仪器仪表的改进	(6)
第三节 矿井通风新技术	(7)
第二章 矿井通风系统优化设计及可靠性评价	(10)
第一节 概 述	(10)
第二节 通风系统优化设计原则	(11)
第三节 矿井通风系统安全可靠性评价指标体系	(14)
第三章 矿井灾变通风	(18)
第一节 概 述	(18)
第二节 火灾时期风流状态定性控制技术	(20)
第三节 计算机技术在矿井火灾救灾决策中的应用	(22)
第四节 灾变通风设备和设施	(37)
第四章 煤矿掘进通风安全技术及装备系列化	(44)
第一节 掘进通风安全技术	(44)
第二节 掘进通风安全装备和安全保护措施	(48)
第五章 矿井通风新装备及检测仪表	(53)
第一节 概 述	(53)
第二节 高性能主通风机	(55)

目 录

第三节	新型局部通风机	(60)
第四节	高性能风筒	(68)
第五节	矿井通风参数检测仪表及风门开闭传感器	(70)
第六章	通风管理	(77)
第一节	概 述	(77)
第二节	煤矿通风信息管理系统	(78)
第三节	煤矿通风事故隐患管理	(80)
第二篇 矿井瓦斯综合治理技术		
第一章	矿井瓦斯预测和监测技术	(89)
第一节	综掘工作面瓦斯预测技术	(89)
第二节	高产高效工作面瓦斯预测技术	(113)
第三节	矿井瓦斯监测技术与方法	(139)
第四节	矿井瓦斯监测、监控系统的开发	(152)
第二章	防治瓦斯、煤尘爆炸技术	(170)
第一节	小型液压风扇处理上隅角瓦斯积聚技术	(170)
第二节	无火花风机引排上隅角瓦斯技术和装置	(179)
第三节	脉动通风治理回采工作面上隅角瓦斯积聚技术及装备	(187)
第四节	防治故障电火花引爆瓦斯、煤尘技术	(198)
第五节	无电源触发式抑爆装置	(221)
第六节	隔(抑)爆技术在平顶山矿区的应用	(230)
附 录	煤矿用被动式隔爆棚安装技术规范	(246)
第三章	煤与瓦斯突出预测和防治技术	(252)
第一节	煤与瓦斯区域突出分布规律	(253)
第二节	矿井突出危险区域预测技术及装备	(272)
第三节	MJY-I型煤与瓦斯突出监测预报系统	(292)
第四节	电磁辐射法预测突出危险性技术及便携式装备	(318)
第五节	掘进工作面防突综合配套技术的应用	(334)

目 录

第六节	矿井突出危险区域预测的瓦斯地质技术·····	(350)
第七节	石门揭煤的防突技术·····	(364)
第八节	工作面突出危险性实时跟踪预测技术及装备·····	(395)
第九节	长钻孔控制爆破防治突出技术·····	(419)
第十节	煤与瓦斯突出敏感指标的预测·····	(441)
第四章	瓦斯抽放技术与装备·····	(467)
第一节	我国瓦斯抽放的现状·····	(467)
第二节	本煤层抽放与合理预抽期·····	(470)
第三节	瓦斯抽放布孔方式及交叉钻孔扩孔·····	(494)
第四节	深孔控制预裂爆破提高瓦斯抽放率·····	(517)
第五节	高位钻孔抽放·····	(542)
第六节	高位巷抽放·····	(551)
第七节	地面钻孔抽放·····	(555)
第八节	采空区瓦斯抽放工艺·····	(562)
第九节	软煤打钻抽放技术及设备研制·····	(573)

第三篇 矿井火灾防治技术

第一章	概 述·····	(595)
第一节	矿井火灾·····	(595)
第二节	矿井火灾防治技术的发展现状及趋势·····	(597)
第二章	煤炭自然发火机理·····	(604)
第一节	概 述·····	(604)
第二节	煤炭自燃机理·····	(607)
第三节	煤层自然发火危险指数评价·····	(614)
第四节	煤层最短自然发火期评价·····	(618)
第三章	矿井火灾监测及早期预测预报·····	(621)
第一节	煤炭自然发火的标志气体指标及优选·····	(622)
第二节	预测预报自然发火的方法·····	(634)

目 录

第三节 矿井火灾监测·····	(638)
第四章 矿井火灾防治技术·····	(646)
第一节 概 述·····	(646)
第二节 矿井自然发火(内因火灾)防治技术(一)·····	(648)
第三节 矿井自然发火(内因火灾)防治技术(二)·····	(667)
第四节 外因火灾防治技术·····	(690)
第五章 火区的封闭、管理与启封·····	(695)
第一节 火区密封技术·····	(695)
第二节 火区管理技术·····	(698)
第三节 火区启封技术·····	(701)

第四篇 煤矿自燃火灾防治技术

第一章 矿井火灾燃烧特征及危害·····	(711)
第一节 燃烧的基本概念·····	(711)
第二节 矿井火灾分类及危害·····	(716)
第三节 火灾时期风流紊乱及防治·····	(721)
第二章 自燃火灾机理及预防·····	(727)
第一节 自燃火灾与煤炭自燃·····	(727)
第二节 自燃火灾防治措施·····	(736)
第三章 均压防灭火技术·····	(748)
第一节 概 述·····	(748)
第二节 均压防灭火理论基础·····	(749)
第三节 均压防灭火技术措施·····	(756)
第四节 连通管均压过程定量分析·····	(763)
第五节 开区均压防灭火定量分析·····	(771)
第四章 火区火源燃烧状态分析与管理·····	(784)
第一节 气样的可靠性分析·····	(784)
第二节 火源燃烧状态的判别指标和方法分析·····	(786)

目 录

第三节 火区管理.....	(791)
第五章 均压防灭火技术应用实例.....	(795)
第六章 煤矸石自燃的危害.....	(799)
第一节 煤矸石自燃释放的有害气体.....	(799)
第二节 SO ₂ 与 CO 的危害	(800)
第七章 煤矸石自燃机理.....	(801)
第一节 概 述.....	(801)
第二节 煤矸石的低温氧化反应.....	(802)
第三节 矸石堆中氧气传输途径及对自燃的影响.....	(806)
第四节 临界风速.....	(812)
第八章 自燃矸石山灭火技术研究.....	(813)
第一节 国内外自燃矸石山灭火技术概况.....	(813)
第二节 自燃矸石山灭火应用实例.....	(818)
第九章 防止矸石山自燃的措施.....	(820)
第一节 防止矸石山自燃的基本途径.....	(820)
第二节 矸石山自燃防治应用实例.....	(822)

第五篇 煤层自燃胶体防灭火技术

第一章 绪 论.....	(827)
第一节 煤层自燃的起因.....	(829)
第二节 煤层自燃的影响因素.....	(838)
第三节 煤层自燃特点及规律.....	(851)
第四节 煤层自燃胶体灭火技术的构成.....	(858)
第二章 胶体防灭火材料.....	(865)
第一节 胶体防灭火材料类型.....	(865)
第二节 胶体防灭火材料的结构.....	(873)
第三节 防灭火胶体材料的选择.....	(885)
第三章 胶体材料的防灭火特性.....	(917)

目 录

第一节	胶体的固水性与成胶时间	(917)
第二节	胶体流动阻力	(929)
第三节	胶体的强度	(955)
第四节	胶体材料的热稳定性	(960)
第四章	胶体防灭火机理及实验	(987)
第一节	胶体防灭火机理	(987)
第二节	胶体防灭火试验	(1001)
第五章	胶体防灭火工艺及设备	(1007)
第一节	移动式注胶工艺	(1007)
第二节	管网式大流量注胶工艺	(1013)
第三节	胶体压注设备	(1019)
第六章	胶体防灭火技术的应用	(1027)
第一节	巷道自燃火灾治理	(1027)
第二节	采煤工作面自然发火防治	(1055)
第三节	邻近采空区自燃火灾治理	(1090)
第四节	其他应用实例	(1108)

第六篇 矿井煤尘防治技术

第一章	煤尘产生与扩散的控制技术	(1125)
第一节	煤层注水防尘技术	(1125)
第二节	喷雾降尘技术	(1130)
第三节	通风除尘技术	(1143)
第二章	粉尘浓度检测技术	(1154)
第一节	粉尘采样器	(1155)
第二节	测尘仪	(1157)
第三章	矿井瓦斯煤尘爆炸隔(抑)爆技术	(1160)
第一节	概 述	(1160)
第二节	被动式隔爆技术	(1161)

目 录

第三节 自动抑爆技术	(1167)
------------------	--------

第七篇 煤矿水害预防及治理技术

第一章 煤层开采引起的顶板岩体破坏	(1175)
第一节 覆岩采动破坏突水机理	(1175)
第二节 导水裂隙带的观测新方法	(1177)
第三节 煤层开采上限的合理煤(岩)柱留设	(1185)
第四节 受采动影响的土体坝体的防渗研究	(1189)
第二章 煤层开采地表沉陷及沉陷区积水的治理	(1199)
第一节 开采沉陷的研究及现状	(1199)
第二节 开采沉陷土体变形机理的离心模型试验	(1201)
第三节 试验成果分析	(1211)
第四节 开采沉陷厚松散土体的变形预测	(1228)
第五节 高潜水平原煤矿沉陷积水区治理	(1248)
第三章 煤层顶底板岩体抗水压性能的水力压裂试验	(1266)
第一节 平顶山矿区水文地质与矿井充水条件分析	(1266)
第二节 煤层顶底板岩层的物理力学性质试验	(1271)
第三节 平顶山矿务局七矿井下水力压裂试验	(1285)
第四节 煤层顶底板岩层抗水压性能的评价	(1305)

第八篇 安全仪器仪表及监测监控技术

第一章 综 述	(1319)
第一节 国内煤矿监控技术发展概况及趋势	(1319)
第二节 国外煤矿监控技术发展情况	(1323)
第三节 我国矿井安全监控技术发展方向	(1326)
第二章 煤矿安全监测系统	(1328)
第一节 概 述	(1328)

目 录

第二节	KJ90 型煤矿综合监控系统	(1329)
第三节	KJ95 型煤矿综合监控系统	(1334)
第三章	传感器新技术	(1340)
第一节	瓦斯传感器	(1340)
第二节	一氧化碳传感器	(1343)
第四章	新型安全检测仪表	(1352)
第一节	AZD-1 型智能多参数检测报警仪	(1353)
第二节	BMK-II 型煤矿气体可爆性测定仪	(1356)
第三节	WP-1 型井下煤层瓦斯压力(含量)快速测定仪	(1359)

第九篇 煤矿救护

第一章	煤矿救护发展历程	(1367)
第一节	创业阶段	(1367)
第二节	波折阶段	(1368)
第三节	发展壮大阶段	(1368)
第二章	我国煤矿应急救援体系	(1370)
第一节	管理体系	(1370)
第二节	组织体系	(1371)
第三节	保障支持体系	(1372)
第三章	矿山救护队的重要作用	(1374)
第一节	处理矿井灾变事故的主力军	(1374)
第二节	为煤矿安全生产保驾护航	(1375)
第三节	为社会抢险救灾做出突出贡献	(1375)
第四章	矿山救护队建设	(1376)
第一节	矿山救护队工作的特殊性	(1376)
第二节	救护队的任务	(1376)
第三节	救护队组织	(1377)
第四节	救护队指战员条件	(1379)

目 录

第五章 矿山救护队技术培训	(1381)
第一节 技术培训目的	(1381)
第二节 技术培训对象	(1382)
第三节 培训内容	(1382)
第四节 考核与任职资格	(1383)
第六章 矿山救护队装备	(1384)
第一节 个人防护装备	(1384)
第二节 抢险救灾专用装备与器材	(1385)
第三节 检测仪器	(1386)
第四节 通讯器材	(1388)
第五节 交通运输工具	(1388)
第六节 医疗及急救器材	(1389)
第七节 训练器材	(1389)
第八节 矿山救护设备维护与管理	(1391)
第七章 矿山抢险救灾程序	(1393)
第一节 抢险救灾指挥要领	(1393)
第二节 处理事故工作的指挥原则	(1394)
第三节 在灾区应遵守的原则	(1395)
第四节 侦察工作	(1396)
第五节 预防矿山救护队员伤亡的措施	(1398)
第八章 煤矿事故救护实例	(1402)
第一节 淮南局潘三矿“11·13”瓦斯爆炸事故抢险救护实例	(1402)
第二节 坪湖煤矿“4.11”火灾事故抢险救灾实例	(1412)

第十篇 煤矿安全技术开发

第一章 煤矿安全技术开发机构	(1421)
第一节 管理机构	(1421)
第二节 安全技术开发机构	(1423)

目 录

第二章 煤矿安全技术开发计划	(1433)
第一节 国家经贸委、科技部和国家计委的安全技术开发计划	(1433)
第二节 煤炭工业科技“十五”计划与2015年的发展意见	(1444)
第三章 煤炭企业安全投入	(1449)
第一节 概 况	(1449)
第二节 企业安全投入的几个例子	(1451)
第四章 煤矿安全技术	(1459)
第一节 煤矿通风技术	(1459)
第二节 煤矿瓦斯防治技术	(1462)
第三节 煤矿火灾防治技术	(1469)
第四节 煤矿粉尘防治技术	(1474)
第五节 煤矿安全监测系统	(1477)
第六节 其他煤矿事故防治技术	(1478)

第十一篇 煤矿水害事故典型案例分析

第一章 煤系底部或顶部厚层灰岩岩溶水的水害事故	(1483)
第一节 华北型太原组煤系基底奥陶系或寒武系岩溶裂隙水的水害事故	(1483)
第二节 华南型龙潭煤系底部或顶部厚层灰岩岩溶水突水事故	(1513)
第二章 含煤煤系薄层灰岩岩溶裂隙水水害事故	(1525)
第一节 华北型山西组大煤底部薄层灰岩岩溶裂隙水水害事故	(1525)
第二节 华北型太原组煤层顶底板薄层灰岩岩溶裂隙水水害事故	(1543)
第三章 煤系地层内顶、底板砂岩裂隙水突水事故	(1555)
第一节 煤系地层内部顶板砂岩裂隙水水害事故	(1555)
第二节 煤系地层内部底板砂岩裂隙水水害事故	(1561)
第四章 煤系盖层冲积层孔隙水和地表水突水事故	(1563)
第一节 煤系盖层冲积层孔隙水突水事故	(1563)
第二节 矿区地表水体溃入井下突水事故	(1565)

第四章 火区火源燃烧状态分析与管理

均压防灭火技术与其他防灭火技术相比,具有简便易行,经济有效等优点,均压防灭火技术的最大缺点是采空区积聚的热量不易散发,一旦均压作用消失,则可能导致火区复燃;再则,内外文献记载,采用均压有时使得火区火势燃烧得更旺至引起瓦斯爆炸。因此,均压(包括其他防灭火方法)期间,正确分析可疑火源燃烧状态(如火势大小、爆炸几率等),确保均压的安全性和可靠性非常重要。本章重点介绍火区燃烧状态分析方法及火区管理方面的有关内容。

第一节 气样的可靠性分析

防灭火期间,采样员经常要进行火区气体成分的采样以供决策人员分析、判断火区燃烧状态。但是,由于复杂的火源燃烧状态、环境条件及人员的误操作,采样员采集的气样可靠性可能降低。例如,1987年在坎伯兰矿井发生的火灾中,一个取样孔中一氧化碳浓度在连续几天内低于百万分之五后,突然增加到百万分之五十至二百,是火势发展了吗?经过分析,原来是取样泵的电机位于上风侧而取样管漏气吸入了电机的废气所致。因此,验证气样的可靠性对正确分析火源燃烧状态非常重要。正确的火源燃烧状态分析基础是气样的可靠性分析。气样的可靠性分析主要基于气体浓度变化趋势分析、特里克特比率分析及标志气体的相互关系来进行的。

一、浓度变化趋势分析

对数值与已确立的浓度变化趋势不相符的气样应该舍弃。一般地说,只要不发生环境的剧烈变化,如爆炸、巷道严重垮塌、防火墙被破坏造成积水或空气的流入流出,或大气压力急剧变化引起大量新鲜空气或二氧化碳、瓦斯等流入,那么火区气体组分浓度变化是和缓平滑的。为便于火情和发展趋势的分析,一般将检测的数据或比值画在对数或半对数坐标图上。

二、特利克特比率 T_r

特利克特比率 T_r 是一种剔除无效气样,避免错误判断的有力工具。它是根据火灾生成气体的浓度之间有一定的相互依存比例来确定的。当比例不正常时,意味着气样受到某种干扰而无效。当气样 T_r 超过 1.6 时,该气样不予考虑;若火灾的主要燃料是煤, T_r 大于 1 的气样就值得怀疑。特利克特比率公式:

$$T_r = \frac{\text{CO}_2\% + 0.75\text{CO}\% - 0.25\text{H}_2\%}{0.265(\text{N}_2\% + \text{A}_r\%) - \text{O}_2\%} \quad (4-1)$$

例如,在某次火灾中,主要风机排风处取得的气样中含有 CO_2 0.86%, CO 1.26%, H_2 1.53%, CH_4 0.94%, O_2 19.8%, $(\text{N}_2 + \text{A}_r)$ 75.6%,若仅由此决定撤走灭火人员是不应该的。因为,用(4-1)式计算的特里克特比率 $T_r = 6.4$,它远大于 1.6,所以该气样不可靠,不应作为决策依据。后来发现,产生气样不可靠的原因是取样瓶未洗净所致。若用浓度变化趋势分析,也可剔除这一不相符的气样。因此,通过气样的可靠性分析,可以帮助决策人员减少误判的可能。

三、煤炭自燃的标志气体

煤炭自燃的主要标志气体是一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO_2),氢气(H_2)和碳氢化合物,如乙烯(C_2H_4),丙烯(C_3H_6)和乙炔(C_2H_2)等。它们是按照一氧化碳(二氧化碳)—氢气—乙烯—丙烯—乙炔的顺序生成、释放,并随温度增加而增加。当温度异常时,首先出现一氧化碳(CO),随着温度升高,首先是氢气

(H₂),然后是乙烯(C₂H₄),紧接着是丙烯(C₃H₆),最后是乙炔(C₂H₂)和其他气体。由此可知,若某次化验分析只有乙烯(C₂H₄),而没有一氧化碳和氢气等气体时,就应怀疑气样采集的可靠性。

表 4-1 煤温与生成标志气体浓度的关系

煤温(℃)	CO(%)	H ₂ (%)	C ₂ H ₄ (%)	C ₃ H ₆ (%)	C ₂ H ₂ (%)
60	0.0005	0	0	0	0
120	0.0265	0.001	0	0	0
190	0.65	0.012	0.004	0.003	0.003
250	1.95	0.008	0.01	0.0040	0.0040

如表 4-1 是中等挥发分的烟煤其标志气体与温度关系,至于其他煤类也有相同的趋势。但必须注意,无论温度有多高,氧浓度有多大,一氧化碳浓度远比其他标志气浓度高,还有氢气的浓度在 250℃时反而下降,这是因为氧浓度下降使氢气释放量降低。

综上所述,通过对气样的可靠性分析,决策人员就可能对火源燃烧状态做到正确的分析及对各种防灭火措施的可靠性及安全性做到心中有数,减少火灾误报,火情误判的可能。

第二节 火源燃烧状态的判别指标和方法分析

如前所述,在煤炭的自燃过程中,其标志气体是按一定顺序生成、释放并随温度增加而增加,它们是煤类火灾所特有的气体,在这些标志气体当中,一氧化碳的涌出量相对于其他标志气体都大,并且一氧化碳只来自煤炭的燃烧或氧化以及在火灾中不会因燃烧而消耗。因此,长期以来国内外多数采用一氧化碳及其派生指标 $R_1 = \Delta\text{CO}_2/\Delta\text{O}_2$ 、 $R_2 = \Delta\text{CO}/\Delta\text{O}_2$ 、 $R_3 = \Delta\text{CO}/\Delta\text{CO}_2$ (ΔCO_2 为测点空气中 CO₂ 含量与总入风流中 CO₂ 含量之差; ΔCO 为测点空气中 CO 的含量与总入风流中 CO 含量之差; ΔO_2 为测点空气中 O₂ 的含量与总入风流

O₂ 含量之差)来判断煤炭自然发火趋势,并以此划分煤炭自燃阶段。但其临界值难以确定,即使确定了,也不能普遍适用于所有不同的矿井。因此,国内外相继采用了乙烯、乙炔链烷比(乙烷与甲烷、丙烷与甲烷之比)、烷烯比(乙烷与乙烯之比)等指标来判断煤炭自然发火趋势,实际应用中都取得了较好的效果。

一、火区燃烧状态判断准则

正确判断火区燃烧状态的基础是确定气样中各种气体检测值的可信度。一个气样测值构成图中一个点,应按变化的趋势而非单一具体检测值来分析燃烧状态。单一的气体检测值很大或很小并不重要,主要是看检测值在单位时间内的变化率。通常以气体浓度的对数值为纵坐标,以时间为横坐标绘制浓度变化图,图中包括大气压力变化及氮气、氧气、一氧化碳、二氧化碳、甲烷、氢气等气体浓度的变化。为便于了解火源燃烧状态变化趋势及进行防火安全性分析,在此提出计算气体浓度变化速率公式:

$$R = \frac{\log \gamma' - \log \gamma''}{X' - X''} \quad (4-2)$$

式中 X' 、 X'' ——分析期间时间的初、末值;

γ' 、 γ'' ——对应于时间 X' 、 X'' 的该气体的浓度百分比。

当气体浓度变化呈减少趋势时, R 值为负;气体浓度呈增加速率时, R 为正。

根据上述公式,提出如下火源燃烧判断准则:

判断准则 1:对于大多数煤矿,若某区域无正压通风采空区、封闭区和严重的巷道垮塌,由煤层涌入该区域的甲烷会稀释该区域的其他气体。

判断准则 2:在没有燃烧发生,没有或仅有少量氧气吸附的情况下,氧气的变化速率近似等于氮气的变化速率,即 $R_{\text{氧气}} = R_{\text{氮气}}$ 。

判断准则 3:如果火区火灾已经熄灭,或主要的吸收反应停止,则 $R_{\text{CO}_2} = R_{\text{CO}} = R_{\text{N}_2}$,并且所有气体的 R 值将减少,而 R_{CH_4} 增加。

判断准则 4:当氧气浓度减少速率近似于二氧化碳和一氧化碳增加速率时,火势将在发展。

判断准则 5:当氧气、二氧化碳、一氧化碳浓度以稳定速率降低或其速率近似为零时,火势处于稳定状态。当火势维持稳定状态时,若火区尚未封闭时,现在是建立防火墙,阻塞漏风通道的恰当时机。若需证实所取气样和判断结果的可靠性,在保证风量稳定和进出火源通道不变的条件下,此时也是侦察未封闭火区的适当时机。

二、火势变化判断

1. 火是否熄灭

没有火灾发生时,煤层本身会释放出氮气、二氧化碳,同时也会释放瓦斯、乙烷和丙烷等气体。在火灾初期阶段,煤层吸热升温时,上述气体随温度增加而增加。它们是煤升温热解的挥发物中的主要成分。当火焰燃烧出现时,其中可燃气体因燃烧而消耗,浓度迅速减少。表 4-2 介绍了中等变质程度的烟煤出现的这种浓度增减变化。注意温度为 60~120℃时,燃烧出现。然而在 150℃时才见到火焰。

表 4-2 所示,随着温度升高,CH₄ 浓度与烷烃类气体(CH₄ + C₂H₆ + C₃H₈)浓度的相对比例降低,C₂H₆ + C₃H₈ 的浓度与烷烃类 CH₄ + C₂H₆ + C₃H₈ 气体浓度的相对比例增加。这类相对增减规律有助于判断火区火势是否得到控制或熄灭。当火势衰减时,CH₄/(C₂H₆ + C₃H₈)的值应逐渐增加;当火势熄灭时,该值稳定于一个最大值。但是该比值只能帮助检查火势是否减弱,要使该值稳定于一个最大值是比较困难的。多年来,我国一直采用一氧化碳浓度作为判断火区火是否熄灭的重要指标,但《煤矿安全规程》对此有比较严格的限制。

表 4-2 不同温度下可燃气体浓度和相对例的变化

温度 (℃)	CH ₄ (%)	C ₂ H ₆ (%)	C ₃ H ₈ (%)	占气样 的百分 比(%)	CH ₄	CH ₄ + C ₃ H ₈	CH ₄	注
					CH ₄ + C ₂ H ₆ + C ₃ H ₈	CH ₄ + C ₂ H ₆ + C ₃ H ₈	C ₂ H ₆ + C ₃ H ₈	
16	0.119	0.005	0.124	0.96			23.8	
60	0.54	0.035	0.001	0.576	0.94	0.0652	15	有燃烧
120	0.071	0.029	0.001	0.101	0.70	0.297	2.37	无火焰