

Б. К. 謝列达
〔苏〕Д. И. 沙 仁 合著
К. Г. 布博克

冶金工业部有色冶金設計总院 譯



硫化矿床内因火災的 預防和扑灭

中国工业出版社

硫化矿床内因火灾的 預防和扑灭

〔苏〕Б.К.謝列达 Д.И.沙 仁 К.Г.布博克 合著

冶金工业部有色冶金設計总院 译

中国工业出版社

本书系根据苏联冶金工业出版社1959年出版的Б.К.謝列达、Д.И.沙仁和К.Г.布博克合著的“Предупреждение и тушение эндогенных пожаров при разработке месторождений сульфидных руд”一书譯出。

本书簡要地介绍了硫化矿床的特征和开采方法。阐述了內因火灾发生的原因、預防和扑灭的方法。分析了防火灌漿和灭火灌漿的各种方法；指出了这些方法的适用条件、优缺点和灌漿的主要参数。书中还介绍了灌漿区的隔絕和排水工作、灌漿钻孔的钻进工作和泥漿的加工、运输工作等。最后还介绍了灌漿工作的一般組織，以及采矿与灌漿的配合等問題。

本书供矿山企业、科学研究机构和設計部門的工程技术人员閱讀，也可供矿业学院学生参考。

Б.К.Середа, Д.И.Сажин, К.Г.Бубок
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ТУШЕНИЕ ЭНДОГЕННЫХ
ПОЖАРОВ ЗАИЛИВАНИЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ СУЛЬФИДНЫХ РУД
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ Свердловское отделение 1959

* * *

硫化矿床內因火灾的預防和扑灭
冶金工业部有色冶金設計总院譯

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯

(北京市布口71号)

中国工业出版社出版 (北京依圓園路15号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $87/8$ ·字数229,000

1964年2月北京第一版·1964年2月北京第一次印刷

印数001—775·定价(10-6) 1.40元

*

統一书号: 15165·2691 (冶金-456)

前 言

要提高有色金属产量，就必须增加矿石采掘量。矿石采掘量不仅要靠兴建新的矿山企业，而且还要靠加强现有生产企业的矿石采掘工作来提高。

除了这些因素以外，防止坑内自燃火灾也是提高矿石产量的重要因素。

坑内自燃火灾不但会破坏采矿工作的正常进展和恶化坑内的劳动条件，而且会使矿石产量降低和成本提高；此外也会造成严重的工伤事故。因此，研究坑内火灾预防和扑灭的问题，是一个重要的任务，解决这个任务，对进一步提高矿石产量有很大的意义。

在开采有自燃性矿石的矿山，预防和扑灭坑内自燃火灾的主要方法，是向火灾区灌注泥浆。

其他的防火方法（喷水，洒石灰水，撒氧化抑止剂），有些被证明无效，有些是否适于硫化矿石的开采条件尚待证明，所以不建议采用。

近年来矿山企业和科学研究机关的工程技术人员在改进灌浆的操作技术、研究其科学原理方面作了许多工作，但是在技术文献中还没有很好的介绍。在现有关于灌浆法预防和扑灭坑内火灾的文献中，主要是根据煤矿的经验阐述这个问题的。

编写本书的目的，在于介绍金属矿山用灌浆法预防和扑灭坑内火灾的最新经验。

本书着重介绍了其他著作中讲述较少或完全未涉及的一些问题。因此，在现有文献中已充分阐明的打钻和粘上采掘问题，本书叙述较少或全未涉及。

本书作者是：K.Γ.布博克（第一和第二章），Л.И.沙仁（第

五、六、八、十一章和第七章的第6节)和Б.К.謝列达(第三、四、九、十章和第七章的第1、2、3、4、5节)。

作者向本书的評閱人 А.Х.別努尼 教授和額米雷夫工程师,以及本书的編輯 У.Х.巴基洛夫 副博士表示衷心的謝意,他們对本稿提出过宝贵的意見,最后整理本稿时考虑了这些意見。

在写作过程中作者还曾得到工程师 Н.Д.克魯道戈夫斯基、В.Я.馬納科維依、В.И.巴欽科和 Г.Ф.特拉派茲尼科維依的帮助。作者在此表示謝意。

作者希望本书能对工程技術人員和設計人員有所帮助。欢迎讀者指正。

Б.К.謝列达

Д.И.沙 仁

К.Г.布博克

目 录

前言

第一章 烏拉尔含銅黃鉄矿山簡述	1
第一节 矿床地质	1
第二节 采矿方法	2
第三节 火災情况	5
第二章 坑內自燃火災及其預防和扑灭方法	8
第一节 內因火災发生的原因	8
第二节 防火和灭火方法	13
积极方法	15
消极方法	21
防火隔牆的结构和修建	22
临时隔牆	23
永久隔牆	24
隔牆的修筑順序	30
联合方法	31
第三章 灌漿方法	32
第一节 灌漿方法的分类	32
第二节 灌漿方法	33
通过崩落区的陷坑和裂隙进行灌漿的方法	33
通过地表钻孔灌漿	34
通过坑內钻孔灌漿	36
用坑內管道的灌漿方法	39
通过脉內坑道隔牆的灌漿方法	39
通过脉外坑道隔牆灌漿的方法	43
利用专用坑道揭露的空洞和裂隙进行灌漿的方法	45
联合灌漿法	47
利用地表钻孔的联合灌漿法	47

利用坑内钻孔的联合灌浆法	50
第三节 根据采矿技术条件选择灌浆方法	53
矿体倾角	53
矿体厚度	53
通过坑内钻孔灌浆时矿体极限厚度	54
利用崩落区的陷坑和裂隙灌浆时矿体厚度	62
用管道通过脉外坑道隔墙灌浆时矿体厚度	62
利用专门坑道揭露的陷坑和空洞进行灌浆的矿体最大厚度	63
采矿方法	64
采准工作	64
采矿深度	65
第四章 灌浆参数和灌浆工作顺序	72
第一节 灌浆参数	72
分层崩落和小中段崩落法的采空区	72
充填采矿法的采空区	76
灌浆材料的数量	78
用崩落法采矿时灌浆材料数量的确定	79
采用充填采矿法时灌浆材料数量的确定	83
灌浆钻孔的数量	87
采用崩落采矿法时钻孔数量	87
采用充填采矿法时灌浆钻孔数量	89
钻孔的布置和深度	90
通过地表钻孔灌浆时钻孔布置和深度	91
通过坑内钻孔灌浆时钻孔的布置和深度	99
采空区的送浆制度	106
通过钻孔灌浆	107
通过脉内坑道隔墙灌浆	112
通过脉外坑道隔墙灌浆	112
第二节 灌浆工作顺序	113
按矿体面积灌浆	113
矿体全部面积同时灌浆	113
沿走向分区灌浆	115

沿走向和厚度分区(盘区)灌浆	117
按采空区高度灌浆	118
第五章 灌浆区的隔绝和排水	121
第一节 灌浆区段的隔绝	121
隔绝的目的	121
隔绝灌浆区的方法	121
隔墙的位置、规格和施工技术	126
隔墙的计算	135
第二节 灌浆区的排水	137
井下水量平衡的检查	137
隔绝区内水的澄清	139
通过钻孔排水工作	144
沉泥池及其计算	151
第六章 打钻	156
第一节 灌浆钻孔钻进概述	156
第二节 鑽塔和安全平台	158
第三节 鑽机	158
第四节 打鑽設備和工具	161
第五节 鑽进工藝	164
第六节 打鑽工作的組織	166
第七节 排水鑽孔的鑽进	169
第七章 造漿和泥漿的运输	171
第一节 松散土壤的特性	171
第二节 粘土	175
第三节 对灌浆材料的要求	176
第四节 灌浆用粘土的实验室鑑定	180
体重	181
比重	182
自然湿度	183
粒度組成和含砂量	183
粘土的可塑性	185

MgO胶体混合物	187
第五节 泥浆厂	187
泥浆厂的工艺流程	188
泥浆质量的检查	203
用称量法检查泥浆的稠度	204
用液体比重計检查泥浆稠度	207
泥浆厂工作量的統計	210
第六节 輸浆管道和供水管道	212
第八章 灌漿工作的組織	222
第九章 采矿工作与預防性灌漿的配合	228
第一节 采准工作	228
第二节 小中段高度	236
第三节 灌漿前的回采工作	241
第四节 預防性灌漿的时间	243
第十章 各种灌漿方法的經濟評價	247
第一节 一些矿山的实际灌漿成本	247
第二节 各种方法的灌漿成本比較	249
第三节 灌漿的相对費用	253
第十一章 用灌漿法扑灭和預防內因火灾的实例	254
第一节 “赤卫軍”矿山	254
坑內火灾的扑灭	254
預防性灌漿	258
第二节 捷格嘉尔矿山	261
1949~1953年間坑內火灾的扑灭	261
預防性灌漿	265
灌漿工作的技术經濟指标	266
第三节 捷克利矿山	267
参考文献	273

第一章 烏拉爾含銅黃鐵礦山簡述

第一节 矿床地质

烏拉爾含銅黃鐵礦矿床賦存于烏拉爾东坡綠石岩体的噴出凝灰頁岩帶內。矿体围岩为鈉长斑岩、玢岩、石英絹云母頁岩、石英絹云母綠泥石頁岩和綠泥石頁岩。

矿床形状可分：扁豆体，脉状体和不規則体三种。矿体具有胀大、收縮和分枝等变化，有受到构造变动而产生断开現象的矿体，也有不断开而成連續埋藏的矿体。

矿体长度主要在 50 米和 250 米之間，有时长达 500 米。个别的长达 1300 米和 4500 米。

矿体厚度在胀大部分为 20~25 米，个别扁豆体可到 40~50 米；最大厚度为 180 米。

每个矿床一般都由几个或多个矿体組成。矿体不論是沿走向或順傾斜都成雁形分布。傾角一般在 30° ~ 90° 之間（ 60° ~ 90° 者为最多）。在个别情况下矿体有逆傾斜現象。

矿床的尖灭深度一般达 400~500 米，个别的达 900 米。

发生自燃火災的矿床为块状的硫化矿石。后者的矿物組成大多为中粒和細粒的黃鐵礦、黃銅礦和閃鋅礦的顆粒集合体，也有少量的砷黝銅礦，銅藍和輝銅礦。非金属矿物有石英、綠泥石和絹云母。黃鐵礦在矿石中的含量达 80~85%，黃銅礦—6~9%，閃鋅礦—3%，非金属矿物—3~12%。

块状硫化矿石的化学成分如下：硫—40~46%；銅—1.0~3.0%；鋅—2%。

布利亚瓦克矿床矿物組成的特点，是含銅矿物主要为銅藍、黃銅礦和銅的硫酸盐类。銅矿的全部銅金属在次生硫化物內占

66%，在硫酸盐内占27%，在原生硫化物内仅占7%。

“第三国际”矿山的矿石含锌较高，达7%，而在个别矿体达到15~18%。

大多数矿床具有明显的地质垂直环带，即氧化带，淋滤带，胶结带和原生带。

矿石的硬度和稳固性在多数情况下也是沿垂直方向变化的。当矿床由淋滤带向胶结带过渡时，矿石是由极不稳固的松软状态逐渐变为裂隙发达的块状体。矿体上部的矿石很碎，小于30毫米的碎块竟达70~80%之多。而120~150米以下的矿石具有裂隙和中等稳固性。

不同矿床的围岩的物理性质也各有不同。下盘岩石一般是稳固的，岩石的普氏硬度系数为8~12。在矿体和围岩的接触带内有时可发现岩石受次生作用的蚀变现象。下盘钠长斑岩变成了松散的高岭土化岩体，后者在掘进坑道时常常塌落，在遇到水时就会变成流砂状物质。类似现象也出现在捷格嘉尔矿床内和新列文矿床的上部。

矿体的上盘岩石一般都是相当稳固的。普氏系数 $f=6\sim8$ 。只是“第三国际”矿床和新列文矿床的情况例外，其岩石曾受到次生作用的强烈蚀变。这些矿山的石英絹云母頁岩变成为松散、不稳固体，遇水成流砂物质。

第二节 采矿方法

烏拉尔含銅黃鉄矿矿区的采矿方法，曾经历了4个时期的演变。现将每个时期的特征分述如下。

1931年以前多数矿床的上部是用露天方法开采的。随着采矿工作的延深，改用了坑内采矿。也有一些矿山是一直采用地下方法开采的。当时在坑内主要采用水平分层充填法采矿。根据矿石和围岩的硬度，采矿时使用支柱或不用支柱。曾广泛地采用过木垛支柱，以后又采用过方框支柱。以脉外坑道的废石作充填料。

这个时期的特性有以下几点：各矿山的采矿方法相同；坑内遗留有大量含铜品位低的高硫矿石；采空区用木材充填，由于机械化程度低（特别是矿石搬运和充填），采矿强度很低。

坑内经常有矿石塌落，这就造成了大量矿石的集中损失。这些易于氧化的矿石和大量的坑木引起了自燃火灾。

1931~1939年各矿山广泛地采用了分层崩落法和小中段崩落法。同时也开始采用其他采矿方法（表1）。

表1 烏拉尔各矿山开采容易发生火灾的块状硫化矿石时
各种采矿方法的比重（对产量的百分比）

采 矿 方 法	年 度												
	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	
无支柱充填法.....	13.4	11.0	10.0	10.2	13.3	12.3	13.0	14.2	15.5	16.3	24.0	18.4	
支柱充填法.....	55.0	52.0	38.5	26.0	8.4	10.7	16.2	10.0	18.0	14.0	11.6	6.8	
小中段崩落法.....	0.1	—	7.4	40.5	47.0	36.1	41.0	26.0	6.8	8.4	12.0	7.9	
分层崩落法.....	0.7	5.5	9.0	10.0	19.0	27.2	29.5	47.0	56.2	58.0	52.0	41.8	
留矿法.....	27.3	30.0	33.8	12.9	4.2	2.6	0.1	0.1	0.1	—	0.2	0.1	
小中段法.....	—	—	0.1	0.3	8.0	11.1	0.2	2.7	3.4	3.3	0.2	25.0	
矿块崩落法.....	—	—	1.2	0.1	0.1	—	—	—	—	—	—	—	
露天开采法.....	3.5	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
共 计	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

采 矿 方 法	年 度										
	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954
无支柱充填法.....	16.1	11.5	13.2	11.8	10.0	10.0	8.4	7.3	5.8	4.0	2.0
支柱充填法.....	6.3	6.0	7.1	5.3	5.0	4.7	6.7	7.5	6.3	7.0	9.0
小中段崩落法.....	11.4	11.7	10.3	16.3	17.4	13.2	19.4	18.6	17.6	18.0	19.0
分层崩落法.....	36.2	46.5	50.0	38.8	38.5	49.0	46.0	46.0	50.5	58.0	57.0
留矿法.....	0.2	5.5	2.4	7.0	10.0	12.2	11.3	12.7	13.6	6.0	5.0
小中段法.....	29.8	18.8	17.0	20.8	19.1	10.9	8.2	7.9	6.2	7.0	8.0
矿块崩落法.....	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
露天采矿法.....	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
总 计	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

当时为了提高改建和新建企业的生产能力，进行了高效率采

矿法的探索和研究，所以采用了許多新的采矿方法。

但是，由于坑木消耗量很大（有时 >0.2 立方米/立方米矿石），和矿石损失率很高（在某些区段达25—30%），所以象第一期那样，为产生坑内自燃火災提供了条件。結果，各矿山火災的情况恶化了，火災的次数也有增无減。

第3时期是从1939年6月苏联銅业管理局和烏拉尔矿业科学技术协会召开的采矿方法會議开始的。这个會議的目的就是要总结烏拉尔含銅黄铁矿矿床开采中所取得的經驗。會議通过了以下決議〔1〕：

- 1) 充填采矿法为开采块状硫化矿的主要方法；
- 2) 分层崩落法只能在那些无法采用更安全的采矿法的采区内使用；
- 3) 空场法和留矿法可作为联合采矿法的組成部分，用来回采矿房或者单独地用于厚度不大的矿体；
- 4) 严禁采用矿石損失率較大的因而容易引起火災的小中段崩落法。

烏拉尔各矿山贯彻會議的决定中得到了某些良好的效果。1942年以充填法采出的矿石量达到35.6%，而1939年为24.2%。分层崩落法的采用比重，自1939年的47%，上升到1942年的52%，而小中段崩落法也相应地从26%減少到12%。但是崩落法的采用比重并未降低，因此各矿山的火災繼續恶化。

1941~1945年間，大量地采用了小中段采矿法，同时留矿法也用得更广了。这两类采矿方法的比重由1941年的3.3%上升到1944年的30%。这些采矿方法主要是作为联合采矿法的組成部分，用来回采矿房。与此同时，充填法的比重有所下降，从1942年的35.6%減少到1945年的17.5%。但崩落法的比重却仍然保持原有的水平。

从回采矿房过渡到用崩落法（分层崩落和小中段崩落）回采矿柱的同时，火災的数量显著地增加了。火災的情况达到了使矿柱回采工作有全部停止的危險程度。

用小中段法采出的矿房矿石体积，仅占用联合采矿法开采矿块储量的30~35%；65~70%的矿石留在临时矿柱（房间矿柱、顶柱和底柱）内。矿柱的回采速度较低，落后于矿房的采掘。于是，未采出的矿柱中矿石的数量便急剧地增加了。在某些矿山中，未采出矿柱的高度达到180米（即3个中段）；并且由于火灾情况严重使许多矿山的矿柱回采工作更加复杂了。可以进去观察的采区（如捷格嘉尔矿）的温度高到55~60°。采矿工作开始不久，便在坑道内出现火焰，于是回采被迫停止了。

采矿方法发展的第4个时期是1951~1952年。从1948~1949年间开始广泛地采用灌浆灭火法，得到了良好的效果，使以前因火灾原因而封闭的采矿区段重新投入了生产。同时许多矿山也掌握了实行预防性灌浆措施的崩落采矿法。

这个时期的特点就是采用预防性灌浆的崩落法。用分层崩落法采掘的矿量增加了。并且开始采用预防性灌浆的小中段崩落法。后者在以前是不允许用来开采高硫矿床的。在一些矿山中，也用中段强制崩落法来采掘块状硫化矿。这样，采用预防性灌浆，并配合其它措施（如强力的局部通风〔2〕），便为在含铜黄铁矿山推广高效率的崩落法创造了条件，使内因火灾减少到最低程度。

第三节 火灾情况

烏拉尔矿区第一次自燃火灾是1906年，发生在巴什馬科夫矿（图利亚）的別斯契列夫矿井中。为了扑灭火灾，曾在坑内和地表完全隔絕了火灾区段〔3〕。该区火区隔絕多年之后，該矿终于在1918年被水淹沒。

第二次火灾是1913年发生在卡拉塔矿井中〔4〕。由于沒有灭火經驗和缺少防火工具，只好用水把矿井淹沒。

1953年以前烏拉尔矿区火灾不多，但是在这以后却增长很快。

烏拉尔矿区在1932~1955年間的火灾次数列举如下：

年份	火災次數 (對總數的%)	年份	火災次數 (對總數的%)	年份	火災次數 (對總數的%)	年份	火災次數 (對總數的%)
1932	0.68	1938	1.01	1944	5.42	1950	10.15
1933	1.01	1939	2.70	1945	8.22	1951	6.13
1934	1.01	1940	2.37	1946	7.21	1952	4.74
1935	1.01	1941	3.38	1947	5.52	1953	2.70
1936	2.03	1942	6.43	1948	5.84	1954	4.40
1937	1.35	1943	4.05	1949	8.91	1955	3.73
總計						100.0	

在1941~1947年間，自燃火災的數量增長極快；在這一時期幾乎未曾採用過有效的防火措施。

火災發生最多的是厚度較大的礦體〔5〕。這種情況，可從1934~1951年間所收集的資料得到証實：

礦體厚度（米）	火災次數（%）
5~10	21.1
10~20	34.9
>20	44.0

根據上述數據可知，小於5米的礦體未曾發生過火災。火災發生最多的是厚度大於20米的礦體。

茲把不同採礦深度上的火災數量統計列表如下：

採礦深度（米）	火災次數（%）
0~50	24.6
50~100	58.1
>100	17.3

從上述資料可知，在50~100米深度處的火災最多。但是卻不能就此得出結論，認為採掘深度達50~100米時火災的危險性最大。現在已有不少的火災發生在更深的水平。如在捷格嘉爾礦的130~190米中段就發生了火災。“赤衛軍”礦的火災是在184~244米中段發生的。在北卡拉巴什礦山的第15水平（距地表500米）有CO排出。由此可見，坑內火災是隨着回采工作向下延伸的。

在 50~100 米的深度上火災发生最多的原因為：在这一深度采矿時，各矿正好对火災未采取措施；缺乏一定的防火經驗；对火災給予采矿的影响認識不足。

与坑內火災做斗争（主要是灭火）的工作量很大，支出了很多資金（表 2）。

表 2 坑內灭火工作量

(1931~1955)

工 作 名 称	工 作 量	
	所 有 矿 山	捷 格 嘉 尔 矿
钻 孔 (个)	5479	4170
钻 孔 深 度 (米)	350862	212358
灌漿用固体量 (立方米)	1557882	722805
灌漿用水量 (立方米)	8642532	5242000

1955 年以后，烏拉尔各矿山基本上采用了預防性灌漿。于是灭火工作量和費用有了显著的降低。

第二章 坑內自燃火災及其預防和撲滅方法

第一节 內因火災發生的原因

內因火災是采空區內礦石產生氧化作用的結果。鐵、銅、鉛和鋅等金屬的硫化物均易於氧化。在氧化過程中放出熱量，蓄積的熱量使氧化介質的溫度逐漸升高，而最終產生火焰。

根據 B.M. 奧基葉夫斯基的說法，硫化物的氧化過程可分下列幾個階段：

1. 硫化物自空氣中吸附氧。這時空氣中的氧分子吸附在硫化礦石的破碎的新鮮表面上，放出少量的熱。

2. 空氣中的氧分子固定在硫化物的表面上。這時物理吸附變為化學吸附，也就是氧原子進入硫化物晶格內而形成新化合物的晶胞，即硫化物氧化的最初產物——硫酸鹽。化學吸附的結果，在硫化物上形成一層化學反應復蓋層（按照 И.Г. 勒蘇〔7〕的說法叫“鈍化層”）。隨著復蓋層的增厚，氧化速度就逐漸降低，因為氧不容易透過復蓋層擴散。

在所有硫化礦物中最易自燃的是黃鐵礦，烏拉爾的黃鐵礦型礦床礦石的主要部分就是這種礦物。黃鐵礦氧化時，每吸收 1 立方厘米氧氣，就要放出 3.3~4.3 卡的熱量。

礦石的粉碎程度對黃鐵礦的自燃具有很大影響。礦石的粒度與其燃點的關係如下：

粒度（毫米）.....	0.2	0.1~0.2	0.1
燃點（°C）.....	472	405	325

礦石的水分對自燃起催化作用。圖 1 為用絕熱量熱器進行干黃鐵礦和濕黃鐵礦自燃試驗的結果。從圖中可以看出，濕礦氧化過程要快於干礦。