

金属矿采空区 灾害防治技术

The Control Techniques of
Gob Disasters in Metal Mines

宋卫东 付建新 谭玉叶 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

金属矿采空区灾害防治技术

宋卫东 付建新 谭玉叶 著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2015

内 容 提 要

本书对金属矿采空区探测、稳定性分析及治理进行了全面论述,涵盖了金属矿采空区定义与特征、探测技术、稳定性分析及处理措施等内容。全书共6章,从采空区概念及结构特征入手,首先对采空区的探测技术进行了介绍,然后对采空区稳定性分析的方法进行了详细阐述;列举了大量的矿山工程应用实例,着重介绍了隐覆采空区工程物理探测技术与明采空区三维激光精细扫描技术;综合采用理论分析、数值模拟、现场调查等多种方法,阐述了不同类型采空区的稳定性分析特征。书中介绍的 AGI 高密度电法、采空区三维激光扫描技术以及基于此的采空区稳定性分析,可为采空区灾害的防治提供参考。

本书可供从事金属与非金属矿开采理论及其工程应用的科研人员及高等院校相关专业的师生使用,也可供采矿工程技术人员及矿山生产管理干部参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属矿采空区灾害防治技术 / 宋卫东, 付建新,
谭玉叶著. —北京: 冶金工业出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-5024-7043-2

I. ①金… II ①宋… ②付… ③谭… III. ①金属矿
—采空区—矿山事故—灾害防治—研究 IV. ①TD77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 221636 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp. com. cn 电子信箱 yjcb@cnmp. com. cn

责任编辑 张耀辉 宋 良 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 禹 蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7043-2

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 固安华明印业有限公司印刷

2015 年 9 月第 1 版, 2015 年 9 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 11.5 印张; 222 千字; 174 页

45.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp. com. cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs. tmall. com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

前 言

地下开采是金属矿开采的主要方式，长期大规模开采及采后处理的滞后，形成了大量的采空区，成为矿山的重大危险源之一。准确地掌握采空区的空间位置及其形态是进行采空区稳定性分析及评价的重要前提，而正确的稳定性分析结论又是对采空区进行处理的关键前提。由于矿体赋存状态的多样性和地下开采环境的复杂性，使得金属矿采空区具有隐蔽性、动态性及聚集性等特点，也给传统的探测手段及分析方法带来局限性，因此，采空区探测技术和稳定性分析方法还需要进一步地研究完善。

本书作者通过多年的科研工作，在金属矿采空区精细探测、稳定性分析及治理方面积累了丰富的理论与实践经验，悉知目前采空区探测最新的技术及稳定性分析理论方面的新进展。为了使读者尤其是现场一线技术人员更好地理解采空区的探测技术及分析手段，本书精选了通俗易懂的材料，并选取了大量的工程应用实例，内容具体而充实。

全书共分6章，第1章对金属矿采空区的现状进行了简单介绍，第2章对采空区的概念、分类及主要特性进行了阐述，第3章结合工程实例对采空区定位及探测技术进行了全面论述和分析，第4章则对金属矿采空区的稳定性分析及治理技术进行了介绍，第5章和第6章结合工程实例对不同类型采空区的稳定性分析及处理手段进行了深入的阐述。

在本书出版之际，衷心感谢北京科技大学吴爱祥教授、胡乃联教授、高永涛教授、李长洪教授、谢玉玲教授和吴顺川教授等在科研期间给予的指导和帮助，以及杜建华博士、徐文彬博士、吴珊博士、孙新博硕士、母昌平硕士和汪海萍硕士等的辛勤付出。

在本书撰写过程中,武钢程潮铁矿、大冶铁矿、青海山金矿业有限责任公司、河北钢铁石人沟铁矿、山东招金矿业和北京咏归科技有限公司等有关单位提供了翔实的资料和数据,在此谨对上述单位表示感谢!

本书出版得到了国家自然科学基金(No. 51374033)、中央高校基本科研业务费专项资金(No. FRF-SD-12-003A)、教育部博士点基金(No. 20120006110022)的资助。

由于时间和水平所限,书中不妥之处,恳请专家、学者不吝批评和赐教!

作 者

2015 年 4 月

目 录

1 概述	1
1.1 金属矿采空区现状	1
1.2 采空区主要灾害	1
1.2.1 冒顶片帮	2
1.2.2 冲击气浪	2
1.2.3 大面积冒顶诱发矿震	2
1.2.4 突泥突水	3
1.2.5 地面塌陷及山体滑坡	3
2 金属矿采空区形成及特征	5
2.1 采空区概念及基本特征	5
2.2 采空区分类及特性	5
2.2.1 根据不同的开采方法划分	6
2.2.2 根据采空区存在时间划分	10
2.2.3 根据采空区空间形态划分	11
2.2.4 根据采空区规模大小划分	11
3 金属矿采空区的定位与探测技术	12
3.1 采空区探测技术综述	12
3.2 隐覆采空区定位与探测	12
3.2.1 高密度电法	14
3.2.2 地震映像法	15
3.2.3 探地雷达法	15
3.3 采空区激光精密探测技术	17
3.4 采空区探测工程实例	18
3.4.1 崩落法隐覆采空区的工程物理探测	18
3.4.2 采空区三维激光精细探测及分析	28
4 金属矿采空区稳定性分析与处理技术	48
4.1 采空区稳定性影响因素	48

4.1.1	采空区岩体结构类型	48
4.1.2	采空区岩体质量	49
4.1.3	采空区形态	49
4.1.4	采空区跨度	50
4.1.5	采空区倾角	50
4.1.6	周围开采影响	51
4.1.7	地下水作用	51
4.1.8	地下温度场	52
4.2	采空区稳定性分析方法	52
4.2.1	基于岩体质量分级的分析方法	52
4.2.2	理论分析方法	59
4.2.3	数值模拟分析	68
4.2.4	不确定性分析方法	72
4.3	采空区处理技术	83
4.3.1	保留永久矿柱	83
4.3.2	充填处理采空区	84
4.3.3	崩落法处理采空区	84
4.3.4	封闭采空区	84
4.3.5	联合处理法	85
5	金属矿采空区稳定性分析工程实例	86
5.1	空场法房柱式采空区稳定性分析	86
5.1.1	工程背景	86
5.1.2	采空区稳定性影响因素分析	88
5.1.3	基于莫尔-库仑准则的采空区稳定性理论分析	88
5.1.4	基于 CMS 实测的采空区稳定性数值模拟分析	94
5.1.5	采空区稳定性分析模糊综合评判	102
5.2	充填法狭长形采空区稳定性分析	105
5.2.1	工程背景	105
5.2.2	采空区稳定性影响因素分析	107
5.2.3	采空区顶板稳定理论分析法	108
5.2.4	基于 CMS 实测的采空区稳定性数值模拟分析	113
5.2.5	基于现场调查及 Mathews 稳定性图法的采空区最大跨度计算	117
5.3	崩落法隐覆型采空区稳定性分析	122
5.3.1	工程背景	122

5.3.2 岩石力学参数和地应力场	124
5.3.3 边界条件和初始平衡	126
5.3.4 模拟分析方案	127
5.3.5 计算结果分析	129
6 石人沟铁矿 -60m 水平采空区充填处理工程实例	138
6.1 石人沟采空区不同处理方案研究	138
6.2 采空区处理总体充填方案规划	138
6.3 采空区充填预处理	139
6.3.1 采空区充填挡墙设置需要考虑的问题	139
6.3.2 充填挡墙厚度计算	140
6.3.3 充填挡墙排水设计	140
6.3.4 料浆反滤层设置	140
6.3.5 -60m 水平采空区充填挡墙设计	141
6.4 采空区充填排水设计及预处理技术	151
6.4.1 井下排水方法概述	151
6.4.2 中深孔侧翼溢流脱水	152
6.4.3 采空区底部中深孔泄水	153
6.4.4 井下滤水管排水	154
6.5 采空区充填钻孔设计与施工	155
6.5.1 充填钻孔设计原则	155
6.5.2 采空区充填钻孔设计方案研究	156
6.6 充填料浆配比及浓度设计	158
6.7 充填管线布置设计	159
6.8 现场采空区充填处理施工	160
6.8.1 充填区域的选择(北分支)	160
6.8.2 充填输送参数确定	161
6.8.3 充填管线及充填钻孔布置	162
6.8.4 充填挡墙及挡墙排水设计	164
6.8.5 首充矿段现场充填效果	167
参考文献	170

1 概 述

1.1 金属矿采空区现状

地下开采是矿产资源开采的主要方式^[1]，在矿山开采过程中，通过机械切割或者爆破技术，将矿石从矿体上分离下来，就形成了采空区^[2~4]。大量未处理的采空区，严重影响着井下开采的安全，也威胁着周围居民的生命财产安全和生态环境，成为金属矿山重大危险源之一^[5]。近些年对矿物资源需求的大幅增长，迫使我国大幅度提高矿山开采强度，采空区数量大量增加，事故也随之逐年增加。国家安监总局于2014年6月17日颁布第67号令，明文规定金属非金属地下矿山企业“必须加强顶板管理和采空区监测、治理”。采空区稳定与否是保证矿山企业正常生产的关键因素之一^[6]。

我国是世界上矿山生产第一大国，据有关部门统计，我国2012年铁矿石原矿产量13亿吨，10种有色金属产量3672万吨，黄金403吨^[7,8]。目前我国拥有1万多座地下金属矿山，地下矿石产量占冶金矿山的30%，有色矿山的90%、黄金矿山的85%、核工业矿山的60%。每年从地下开采矿石总量超过50亿吨。据有关部门保守估算，我国矿山采空区体积累计超过250亿立方米，相当于三峡水库的容量^[9,10]，可以使上海市区整体塌陷30多米。地下采空区对工程的危害是显著的。

1.2 采空区主要灾害

金属矿采空区具有隐蔽性，自身失稳造成的直接灾害及次生灾害种类繁多，危害极大。对于金属矿山，采空区主要失稳形式为顶板冒落，若发生大面积顶板冒落事故，还会引起严重的次生灾害，如引发强烈空气冲击波，引起地面塌陷，造成设备陷落、建筑物倒塌及人员被埋。此外，采空区透水、有毒有害气体突出、串风、漏风和矿石自燃等也是采空区灾害的易发类型^[11]。金属矿采空区可能导致的灾害类型，如表1-1所示。

表 1-1 采空区灾害主要类型及原因

类别	危害形式	发 生 原 因	影 响 范 围
直接 影响	冒顶片帮	采空区围岩失稳	局部作业区域的人员、设备
	冲击气浪	采空区坍塌急剧压缩采空区内空气	全矿地下作业人员和设备、设施

续表 1-1

类别	危害形式	发 生 原 因	影 响 范 围
直接 影响	矿震	采空区坍塌岩石造成机械冲击和冲击气浪及岩爆的复合作用	全矿地下作业人员和设备、设施
	突泥突水	采空区内积泥、水突然涌出	全矿作业人员和设备、设施
	自燃	采空区内氧化反应热量得不到及时扩散	全矿地下作业人员和设备、设施
	串风	部分新鲜风流进入采空区	地下局部作业地点工作人员
	岩爆	采空区存在加剧了应力集中	地下局部作业地点工作人员和设备、设施
间接 影响	地面崩塌	采空区坍塌或顶板变形发展到地表	采空区上方人员与设施
	滑坡	采空区坍塌或顶板变形发展到地表	采空区上方山体

下面对主要的灾害进行介绍。

1.2.1 冒顶片帮

冒顶片帮是地下采空区顶板和边帮岩石冒落、崩塌，它是采空区导致的最直接的危害。金属矿山岩石硬度较高，因此冒顶片帮常常无明显前兆特征，具有突发性，发生频度高，难以防范，是矿山生产安全的主要危害。

根据相关统计，冒顶片帮是矿山主要的伤亡事故，2001～2007 年共发生 2232 起，死亡 2917 人，分别占事故总起数、死亡总人数的 17.0%、16.6%。

1.2.2 冲击气浪

采空区大面积顶板瞬时一次性冒落时，改变了采空区的容积，使空腔内的空气瞬时被压缩而具有相当高的压缩空气能量。冒落采空区内被压缩的空气能冲出垮冒区快速向周围流动，这种快速流动到采掘巷道与各个角落的气流形成强大的空气冲击波，对沿途巷道内的作业人员和设备产生极大危害。

2005 年 11 月 6 日，河北省邢台市尚汪庄石膏矿区因采空区顶板大面积冒落而引发了“11.6”特别重大坍塌事故，造成 33 人死亡（其中井下 16 人，地面 17 人），38 人受伤（其中井下 26 人，地面 12 人），井下 4 人失踪。

2006 年 8 月 19 日，湖南省石门县天德石膏矿老采空区大面积冒顶，造成天德、澧南两矿 9 人死亡，并造成地表大面积塌陷，房屋、牲畜受损。

1.2.3 大面积冒顶诱发矿震

矿震是开采矿山直接诱发的地震现象，震源浅，危害大，小震级的地震就会导致井下和地表的严重破坏。近年来，金属矿山矿震现象增多，强度增大。

以下为近年来我国非煤矿山由于大面积冒顶诱发矿震灾害的典型实例。

(1) 湖南省涟源市青山硫铁矿因地下采空区过大, 1996 年 7 月 1 日发生了 ML2.6 级地震, 地表少数房屋开裂破坏, 井下采场大面积冒顶, 四个采场大面积垮塌。

(2) 山东省枣庄市峰城石膏矿区, 2002 年 5 月 20 日 21 时发生大面积冒顶塌陷事件引发矿震, 井下形成强大的冲击气浪, 裹挟着泥土和矿石, 以千钧之势从井口喷出, 整个过程持续了 5 分多钟, 井旁很快堆成一座小山。能量相当于震级 ML3.6 级。

(3) 2003 年 1 月 17 日 15 时, 湘潭市花石镇泥湾石膏矿大面积冒顶诱发了 ML2.8 级地震, 造成地面开裂、沉陷, 居民房屋倒塌, 矿山设施遭受严重破坏, 损失巨大。

(4) 河北省邢台县尚汪庄石膏矿区“11.6”特别重大坍塌事故诱发了 ML3.1 级地震。

(5) 湖南省石门县天德石膏矿“8.19”重大坍塌事故诱发了 ML3.6 级地震。

1.2.4 突泥突水

采空区突泥突水是非煤矿山多发性工程地质灾害, 因其具有突发性、隐蔽性等特点, 一旦发生, 往往会发生灾难性事故。

山东莱芜铁矿谷家台二矿区 1999 年发生特大井下涌水, 导致 29 人死亡和关闭工区的特大灾害; 广西南丹县境内的大厂矿区下拉甲锡矿和龙山锡矿在 2001 年 7 月 17 日凌晨 3 时因矿坑涌水, 导致这两个矿山同时被淹, 死亡 81 人, 造成恶劣的社会影响、惨重的伤亡事故和巨大的经济损失。

1.2.5 地面塌陷及山体滑坡

由于受采空区影响造成地表塌陷及陡坡滚石的事故在国内金属矿山中越来越多。

宜昌磷矿区远安县盐池河磷矿, 自 1969 年至 1980 年因采矿在地下形成约 6.4 万平方米的采空区, 于 1980 年 6 月 3 日凌晨发生体积达 100 万立方米的塌陷, 仅 16 秒钟就摧毁了山体下的全部建筑物和坑口设施, 导致 284 人死亡, 整个矿务局毁于一旦, 造成中国硬岩采矿史上的最大悲剧。

广东省大宝山矿业有限公司铜铁矿井下生产采用空场法采矿, 由于民采抢采矿石, 乱采滥挖, 形成了大量的采空区 (超过 200 万立方米)。2004 年 11 月 27 日, 由于采空区引发了面积为 2.3 万平方米的大面积冒落, 诱发上部原露天矿边坡滑坡。据初步估计, 塌方量有 200 多万立方米。

20 世纪 80 年代以来, 我国金属矿采空区引发的地质灾害如表 1-2 所示^[12]。

表 1-2 金属矿采空区主要灾害列表

矿山名称	采空区面积/m ²	采空区体积/m ³	采矿方法	灾害发生时间	灾 害 描 述
盐池河磷矿	6.4×10^4	51.2×10^4	房柱法	1980	采矿引起山崩,摧毁地表建筑物和设施,造成 284 人死亡
刘冲矿	12×10^4	60×10^4	浅孔房柱法、浅孔留矿法	1983	采空区约 2 万平方米的顶板冒落,引发岩体移动,地表陷落
拉么锌矿	12×10^4	64×10^4	全面法、留矿法	1985	采空区突然垮落,造成地表陡坡地形约 30 多万立方米岩土顺坡滑动,使全矿生产陷入瘫痪
朱崖铁矿	3.7×10^4	46.3×10^4	无底柱分段崩落法	1987	地表突然塌陷,坑长 310m,宽 8~12m,造成 12 人伤亡,周围房屋受损
团城铁矿	7.2×10^4	86.4×10^4	无底柱分段崩落法	1989	地表机修车间突然陷落,形成直径 30m,深 11m 的陷落坑,4 人死亡
罗家金矿	4.6×10^4	27.4×10^4	房柱法、留矿法	1991	欧家界矿段突然发生坍塌,塌陷坑东西长 35m,南北宽 20m,深 20m,塌陷坑影响深度达 170m
刘冲矿	17×10^4	80×10^4	浅孔房柱法、留矿法	1992	采空区顶板发生大面积冒落,并迅速波及地表,造成塌陷
高峰锡矿	5.8×10^4		空场法	1993	地表塌陷,导致至少 13 人死亡,损毁大量井下工程,形成直径 70m,坑深约 30m 的塌陷坑
花垣锰矿	29.6×10^4	59.2×10^4	房柱法	1994	先后发生两次大规模地压活动,造成生产中断及重大经济损失
邵东石膏矿	90.5×10^4	371×10^4	房柱法	1996、2001	地面塌陷面积 26000m ² (39 亩)。诱发地面沉降 20 处,地面开裂 29 条。因沉降导致农田干涸荒芜面积达 66000m ² (99 亩),民宅开裂
铜坑锡矿	5.4×10^4	196×10^4	空场法、充填法	1998	地表陷落,陷落坑面积为 5000m ² ,死亡 20 人以上
恒大石膏矿	1.2×10^4	9.6×10^4	类房柱法	2001	顶板大面积垮落,死亡 29 人。无正规设计,全矿只有一个安全出口,且通风不畅
里伍铜矿	26.7×10^4	153.5×10^4	房柱法	2000~2003	三年间共发生 5 次较大的地表垮塌,地表垮塌总面积已达 10600m ² ,一系列地压活动曾导致矿山停产,矿量损失

2 金属矿采空区形成及特征

2.1 采空区概念及基本特征

采空区,顾名思义,是在矿山开采过程中形成且未得到有效处理的空间,煤矿中也把采空区称为“老塘”、“老窿”^[13]。对于采空区的定义,目前并没有统一的规定,《矿山安全术语》(GB/T 15259—2008)中将采空区定义为“采矿以后不再维护的地下和地面空间”,而《采空区工程地质勘察设计实用手册》中则将采空区定义为“人们在地下大面积采矿或为了各类目的在地下挖掘后遗留下来的矿坑或洞穴”。由此可见,上述定义中采空区包含了人工地下采挖的所有空间,包括巷道、溜井等。实际上,往往只有开采矿体形成的采空区才能引发较严重的地压灾害,因此本书主要讨论狭义的采空区概念,即开采矿体之后形成的空间,这也是采空区的重要特征之一^[14,15]。

在金属矿山中,通常将采空区与地压紧密联系在一起,对采空区进行处理的目的就是有效地控制地压的显现,防止灾害的发生。因此,采空区一般具有灾害的诱导倾向,这也是采空区的重要特征之一^[16]。

矿山生产往往具有很长的开采周期,采空区形成之后并不是处于绝对平衡状态,而是不断地受到周围爆破采动的影响,是一种相对平衡。在长期地压作用下,采空区围岩往往发生蠕变,甚至发生冒落片帮,造成体积和形状不断变化。随着开采进行而不断变化,也是采空区的重要特征之一^[17]。

综上所述,金属矿采空区通常具有以下特征:

- (1) 随着矿山开采而形成,是开采矿体后形成的空间;
- (2) 与地压密不可分,具有灾害诱导倾向;
- (3) 始终处于相对平衡状态,随着开采而不断变化。

正确掌握采空区的概念和特征,是进行采空区稳定性控制和灾害治理的重要前提。

2.2 采空区分类及特性

不同的金属矿山,矿体的形态具有较大的差异,赋存条件也千差万别,造成了采空区形态各异。不同类型的采空区的处理方法和灾害类型等也有区别^[18],根据不同的划分标准,采空区可划分为不同的种类。

2.2.1 根据不同的开采方法划分

采空区是开采矿体后形成的空间，因此不同采矿方法形成的采空区也存在较大差异。根据不同的采矿方法，可将采空区划分为空场法采空区、崩落法采空区及充填法采空区。

2.2.1.1 空场法采空区

空场法一般适用于开采矿石和围岩都很稳固的矿床，采空区在一定时间内，允许有较大的暴露面积。目前较为常用的包括房柱法（全面法）、浅孔留矿法及阶段矿房法^[19,20]。不同方法形成的采空区也稍有差别。

A 房柱法采空区

房柱采矿法是空场采矿法的一种，它是在划分矿块的基础上，将矿房和矿柱互相交替排列，而在回采矿房时留下规则的或不规则的矿柱来管理地压。如图 2-1 所示为早期典型的房柱法开采方案设计图。

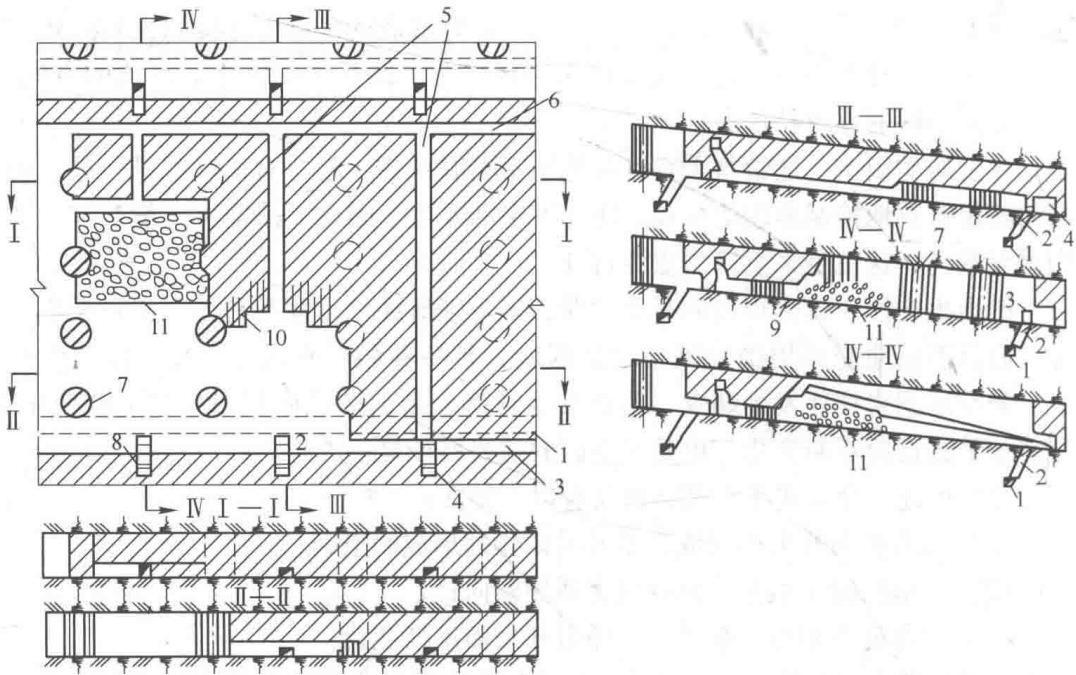


图 2-1 房柱法开采方案设计示意图

1—运输巷道；2—放矿溜井；3—切割平巷；4—电耙硐室；5—上山；6—联络平巷；7—矿柱；
8—电耙绞车；9—凿岩机；10—炮孔；11—矿石

根据该方法的结构特点可知，房柱法开采形成的采空区主要由矿柱及顶板组成，因此采空区稳定性主要取决于矿柱和顶板的稳定程度。该方法形成的采空区体积往往较大，矿房长度一般为 40 ~ 60m，宽在 8 ~ 20m 之间，采空区暴露面积

较大,且放置时间较久,因此要求围岩强度较大。

B 浅孔留矿法采空区

留矿法曾经在我国占有相当大的比重,其中浅孔留矿法是主要的方法,矿石和围岩稳固矿体厚度小于 $5\sim 8\text{m}$ 的急倾斜矿体,在我国广泛地采用浅孔留矿法开采^[21]。浅孔留矿法标准矿块设计示意图如图2-2所示。

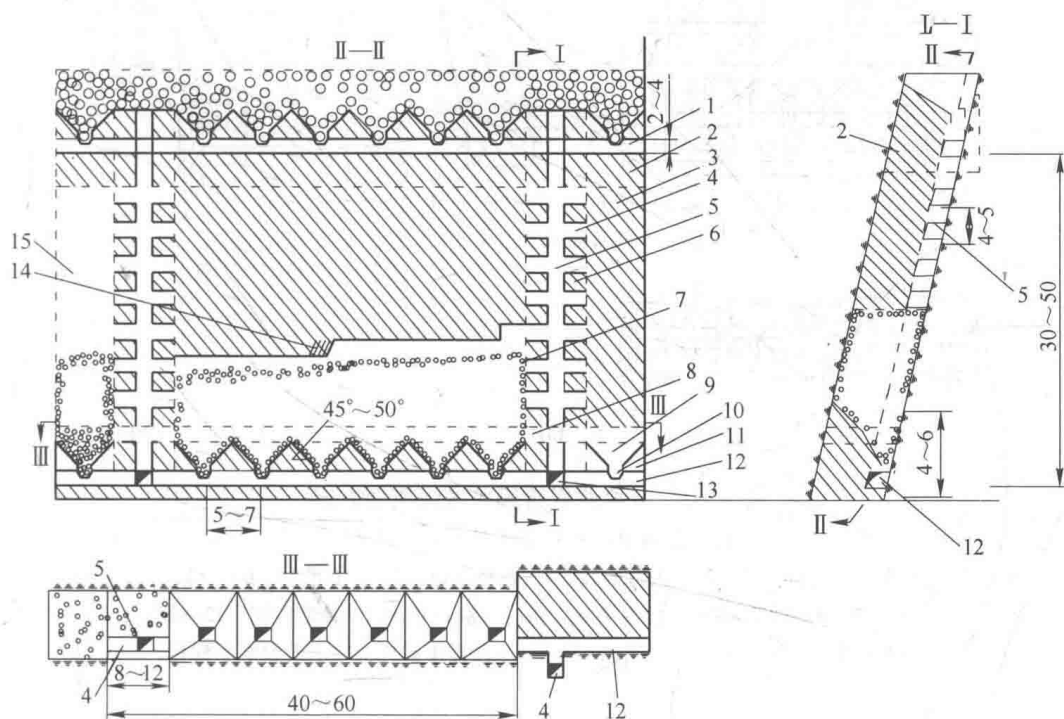


图2-2 浅孔留矿法标准矿块设计示意图

1—上阶段运输巷道(回风巷道);2—顶柱;3—采准矿块;4—人行通风道;5—人行通风天井;

6—间柱;7—崩落的矿石;8—拉底巷道;9—漏斗;10—漏斗颈;11—底柱;

12—阶段运输巷道;13—小川;14—炮孔;15—大放矿的矿房

根据浅孔留矿法结构特点及适用范围可知,采用该方法开采形成的采空区具有体积较小、容易观测、形态狭长、暴露时间较长等特点。

C 阶段矿房法采空区

阶段矿房法是用深孔落矿的采矿方法,它也是把矿块划分为矿房和矿柱两部分进行回采,先采矿房,后采矿柱,最后也要有计划地进行采空区处理^[22]。通常采用中深孔的方法进行开采,如图2-3所示为分段凿岩阶段矿房法典型方案。

根据矿体的厚度,矿房的长轴可沿走向布置成垂直走向方向。一般当矿体厚度小于 15m 时,矿房沿走向布置。当矿石和围岩极稳固时,这个界限可以增加 $20\sim 30\text{m}$ 。一般如果矿体厚度大于 $20\sim 30\text{m}$,矿块应垂直走向布置。阶段高度一

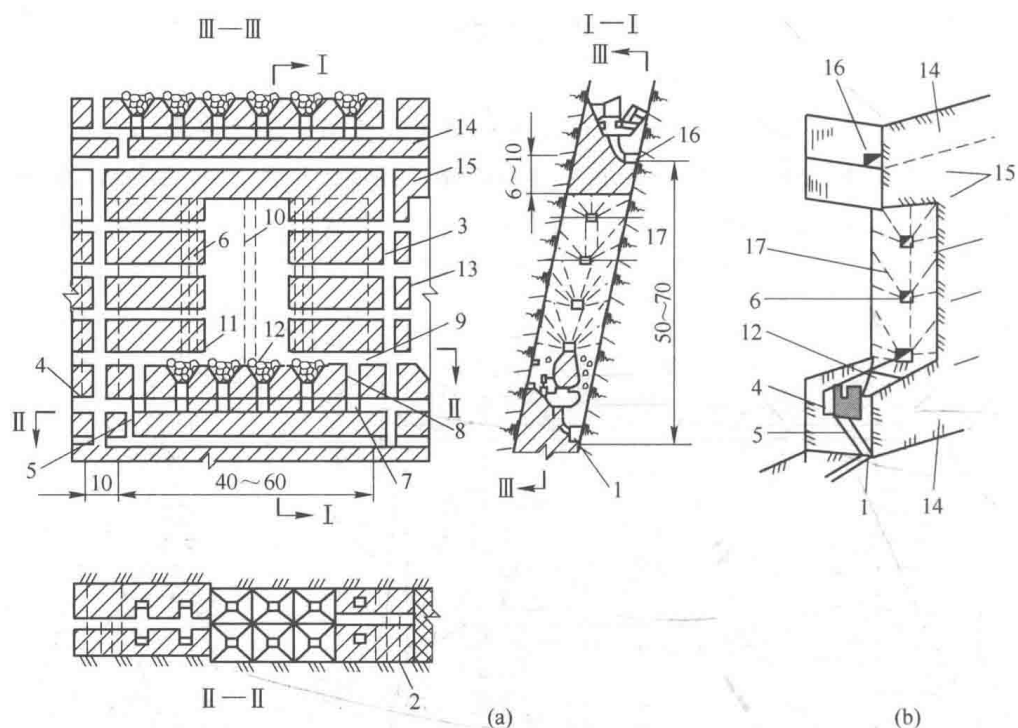


图 2-3 分段凿岩阶段矿房法典型方案

(a) 投影图; (b) 立体图 (矿房部分)

- 1—阶段平巷; 2—横巷; 3—通风人行天井; 4—电耙巷道; 5—矿石溜井; 6—分段凿岩巷道;
7—漏斗穿; 8—漏斗颈; 9—拉底平巷; 10—切割天井; 11—拉底空间; 12—漏斗;
13—间柱; 14—底柱; 15—顶柱; 16—上阶段平巷; 17—上向扇形中深孔

一般为 50 ~ 70m。阶段高度受围岩的稳固性、矿体产状稳定程度以及高天井掘进技术的限制。分步凿岩阶段矿房法的阶段高度一般为 50 ~ 70m，由于这种方法的采空区是逐渐暴露出来的，因而阶段高度可以大一些。

该方法要求围岩稳固性高，保证不发生大范围片落、冒顶等事故，同时要求矿体倾角不得小于矿石的自然安息角，一般应当为 50° 以上。所以形成的采空区往往体积巨大，但围岩稳固性较好，倾角较大，因此稳定性相对较好，但不宜长期放置，应及时进行处理。

2.2.1.2 充填法采空区

随着采矿工作面的推进，逐步用充填料充填采空区的方法称为充填采矿法^[23]。充填采矿法也将矿块划分为矿房和矿柱两步骤回采，先采矿房，后采矿柱。矿柱回采可用充填法，也可以考虑用其他方法。

充填采矿法分为垂直分条充填采矿法、削壁充填采矿法、分层充填采矿法、进路充填采矿法、分段空场嗣后充填采矿法、阶段空场嗣后充填采矿法和浅孔留矿嗣后充填采矿法七种^[24]。按照充填材料又可分为干式充填材料、水砂充填材

料及胶结充填材料三种^[25]。各种充填采矿方法的适应范围如表 2-1 所示。

表 2-1 根据矿岩稳固性、矿体厚度和倾角可选用的充填采矿法

矿体 倾角	矿体 厚度	矿 岩 稳 固 性			
		矿石稳固 围岩稳固	矿石稳固 围岩不稳固	矿石不稳固 围岩稳固	矿石不稳固 围岩不稳固
缓倾斜	薄~ 极薄	分层充填采矿法	垂直分条充填法	垂直分条充填法	垂直分条充填法
	中厚	分层充填采矿法、 分段空场嗣后充填法、 阶段空场嗣后充填法	分层充填采矿法	进路充填采矿法、 垂直分条充填法	垂直分条充填法
	厚~ 极厚	分层充填采矿法、 分段空场嗣后充填法、 阶段空场嗣后充填法	分层充填采矿法	进路充填采矿法	分层充填采矿法、 进路充填采矿法
倾斜	薄~ 极薄	浅孔留矿嗣后充 填法	垂直分条充填法、 分层充填采矿法	进路充填采矿法	进路充填采矿法、 分层充填采矿法
	中厚	分段空场嗣后充填法	分层充填采矿法、 分段空场嗣后充填法	进路充填采矿法	分层充填采矿法、 进路充填采矿法
	厚~ 极厚	阶段空场嗣后充 填法	分层充填采矿法、 分段空场嗣后充填法	进路充填采矿法、 分层充填采矿法	进路充填采矿法、 分层充填采矿法
急倾斜	极薄	削壁充填法、浅孔 留矿嗣后充填法	削壁充填法	进路充填采矿法、 分层充填采矿法	分层充填采矿法、 进路充填采矿法
	薄	浅孔留矿嗣后充 填法	分层充填采矿法	进路充填采矿法	进路充填采矿法、 分层充填采矿法
	中厚	分段空场嗣后充 填法	分层充填采矿法、 分段空场嗣后充填法	进路充填采矿法、 分层充填采矿法	分层充填采矿法、 进路充填采矿法
	厚~ 极厚	阶段空场嗣后充 填法	分层充填采矿法、 阶段空场嗣后充填法	进路充填采矿法、 分层充填采矿法	分层充填采矿法、 进路充填采矿法

随着充填采矿技术的发展，目前常用的充填采矿法主要有分层充填和嗣后充填两种方案，其中，分层充填法适用范围较广，但由于其生产效率较低，生产成本较高，主要用于矿岩，尤其是矿体破碎、稳固性差的情况；嗣后充填主要适用于矿岩条件较好的情况。

由此可知，采用充填法进行开采，由于在开采过程中已采用充填料对采空区进行了有效的处理，因此充填法采空区往往体积较小且存在时间较短，总体来说，充填法采空区由于得到了即时处理，稳定性相对较好。而对于空场嗣后充填的采空区，在进行充填处理之前，其采空区特征与空场法大致相同。