

# 铀矿床胶结充填采矿法

[苏] Н. И. 切斯诺科夫

А. А. 彼得罗索夫

Б. Ф. 谢甫琴科

原子能出版社

## 译 者 的 话

苏联原子能出版社出版的《铀矿床胶结充填采矿法》一书系统地总结了苏联和其他国家采用胶结充填采矿方法开采铀矿、有色金属和稀有金属矿床的经验，叙述了该法的工艺参数、适用条件和特点，以及技术经济指标。本书详尽地介绍了开采有火灾危险的铀矿和回采竖井井筒保安矿柱的采矿方法，描述了开采矿体围岩很不稳固的铀矿所采用的各种胶结充填法方案。这些经验对我国铀矿、有色金属和稀有金属矿床的开采，具有一定的参考价值。

东北工学院解世俊副教授、北京有色冶金设计研究总院田玉芝同志审阅并修改了译稿，在此一并表示感谢。

译者

1983年12月

## 序 言

本书在一定程度上是作者的专著《铀矿开采方法》的补充，该书在1972年由苏联原子能出版社出版。

铀矿床开采的特征，是在无条件完成矿石和金属开采计划任务并取得预期经济效益的情况下，对有用矿物开采的数量和质量指标，提出了更高的要求。

许多铀矿床都固有其造成难以开采的矿山地质特点：矿体形态复杂，矿石和围岩的自然性，由于深部开采地压控制极其复杂，地表上有水库和覆盖岩层含水量大，以及必须防止围岩塌落。此外，由于铀矿床高速度开采，部分有效储量常常留作各种形式的保安矿柱。在开采各水平储量的同时，回采这些矿柱是很必要的，在经济上是合理的。

铀矿山的上述问题，以及降低地下资源的损失和减少贫化，提高有用矿物充分回采的必要性，采用胶结充填采矿法可以得到解决。

本书总结和分析了胶结充填采矿法开采铀矿床的丰富经验，研究了采矿法参数、特点及其使用条件，以及所达到的技术经济指标。特别注意论述了其他采矿工业领域中尚未采用的高生产效率和 high 经济效果的采矿方案。提出并论述了原则上比传统方法更新的采矿法分类的原则，以便在矿山自动化控制系统计划分系统范围内，用电子计算机选择具体条件下的最佳采矿方案。

广大生产工作者、设计工作者、科研人员以及高等矿业

学院和采矿系有关专业学生了解这些经验将有所裨益。本书不想对采用胶结充填采矿法遇到的所有问题都充分论述。主要注意力集中在采矿法及各种矿山地质和开采技术条件下应用的经验。对有关胶结混合料合理成分的研究和充填工艺的选择问题注意不够，这些问题在本书参考文献的一些专著中探讨得比较广泛。

# 目 录

序言	III
第一章 铀矿山胶结充填采矿法的应用前提、分类和选择	1
1. 胶结充填采矿法的应用前提和发展	1
2. 胶结充填采矿法的分类及其在铀矿山的应用条件	18
3. 最佳采矿方案(包括胶结充填法)的选择方法	21
第二章 胶结充填房式采矿法	29
1. 影响回采矿房允许暴露面积和稳固参数的各种因素	31
采用胶结充填房式采矿法的围岩状态	37
2. 开采厚矿体的胶结充填房式采矿法	42
采后胶结充填采空区的空场采矿法回采间柱和盘区矿柱(二步矿房)	45
在分区开采和充填矿房及矿柱条件下房式采矿法在不稳固的矿石和围岩中的应用	56
3. 胶结混合料充填采空区房式采矿法的技术经济指标和改进途径	58
第三章 胶结充填房柱采矿法	68
1. 开采厚度为2.5—4米矿体的胶结充填房柱采矿法	70
2. 开采缓倾斜厚矿体的高矿房胶结充填房柱采矿法	81
3. 长壁式全面回采薄矿体采矿法	88
第四章 下向分层采矿法	93
1. 下向微倾斜分层回采胶结充填采矿法	108
2. 使用自行设备的下向水平分层回采胶结充填采矿法	119
3. 悬挂分层下向胶结充填采矿法	137
第五章 胶结充填联合采矿法	141
1. 隔墙矿柱微倾斜分层支护胶结充填采矿法(一步回采)	143
2. 分段平巷落矿的房式采矿法(二步回采)	144

第六章 有火灾危险的铀矿床的开采	153
1. 自燃铀矿床的地质构造。矿石性质	153
2. 矿石和围岩的自燃性。有火灾危险的铀矿床开采特点	156
3. 胶结充填推广前,有火灾危险的铀矿床采矿法的改进	159
分层崩落法	159
水平分层方框支柱充填采矿法	163
寻求应用空场采矿法的可能性	168
分段崩落采矿法	168
采准巷道深孔落矿的留矿采矿法	169
空场采矿法	170
联合采矿法	181
采用空场采矿法时,防火措施的制定和研究	190
第七章 脉状铀矿床生产竖井井筒保安矿柱的开采	193
1. 竖井保安矿柱开采条件和经验的概述	193
2. 回采竖井井筒保安矿柱矿脉的胶结充填采矿法	201
微倾斜分层下向胶结充填采矿法	201
水平分层上向木栅支柱胶结充填采矿法	203
上向和下向分层回采胶结充填采矿法	205
选别回采扁豆状矿体和胶结充填空区的巷道物探采 矿法	208
第八章 充填工艺和胶结充填料的制备	211
1. 充填工艺	211
2. 充填设施工艺流程	220
第九章 胶结充填料的成分和组分	231
1. 胶结充填的助凝剂	233
2. 胶结充填的填料	241
3. 胶结充填料的成分。对充填体强度的要求	243
参考文献	259

# 第一章 铀矿山胶结充填采矿法的应用前提、分类和选择

## 1. 胶结充填采矿法的应用前提和发展

采用胶结充填采矿法可以充分地、高质量地回采有用矿物，包括开采竖井的保安矿柱和其他保留的有用矿物。坚实的胶结充填体牢固地支撑覆盖岩层，有良好而安全的劳动条件，它们开辟了不留区间矿柱、隔离矿柱和其他矿柱的全面开采矿床的可能性，即采用无矿柱法开采矿床。

最近十年来，胶结充填采矿法在贵重金属矿山得到了推广。最初，在个别情况下开采各种矿柱中的富矿时，利用胶结充填维护采空区。这时，由于充填成本高、机械化水平低和工人劳动生产率低，胶结充填采矿法的应用规模，未跳出生产实验的框框。但是，在各种复杂的矿山地质条件下，每次胶结充填后，都显示了对地压控制的效率、充分和高质量利用地下资源的良好指标。

例如，泽里亚诺夫 (Зырянов) 矿<sup>[7, 8]</sup>露天采场下面的波克罗夫 (Покров) 多金属富矿扁豆体，厚2—16米，高45米，开采时将矿体划分为矿房和矿柱 (图1)。矿房中的储量已用留矿法开采。矿房用分层落矿，层高2.5米，水平炮孔深1.8—2米，直径46毫米。每隔一定距离采场与天井

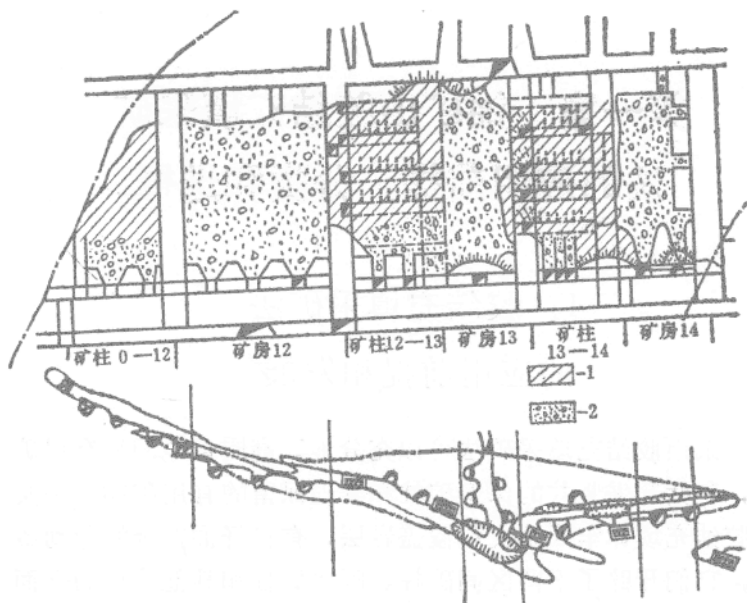


图 1 泽里亚诺夫矿波克罗夫扁豆体的人工矿柱

1——废石充填；2——混凝土

用断面  $2.25 \text{ 米}^2$  的联络道相连。落矿后，在顶柱中开掘断面为  $2.25 \text{ 米}^2$  的充填口。

放矿后，用砂砾石混合料添加水泥充填矿房。充填矿房之间的矿柱用分段平巷崩落法回采，并用疏松废石充填。在下部，在废石下面敷设混凝土底柱。经验表明，混凝土充填矿房经过30—40昼夜后，混凝土房柱就能有效地承受回采间柱的爆破地震波和冲击波的作用。回采和空区充填后；混凝土房柱成功地防止了地表的变形。

留下的顶柱和底柱，随后用水平进路充填法回采，大大



提高了采矿费用，增加了整个采矿法的采准系数，这是该采矿法的缺点。因此，建议浇灌人工顶底柱。当矿体厚度小于3.5米时，采用平板形底柱；当厚度为5—12米时，采用倾斜混凝土底柱（图2）；当厚度大于10—12米时，建议采用拱形或折线形的顶柱。

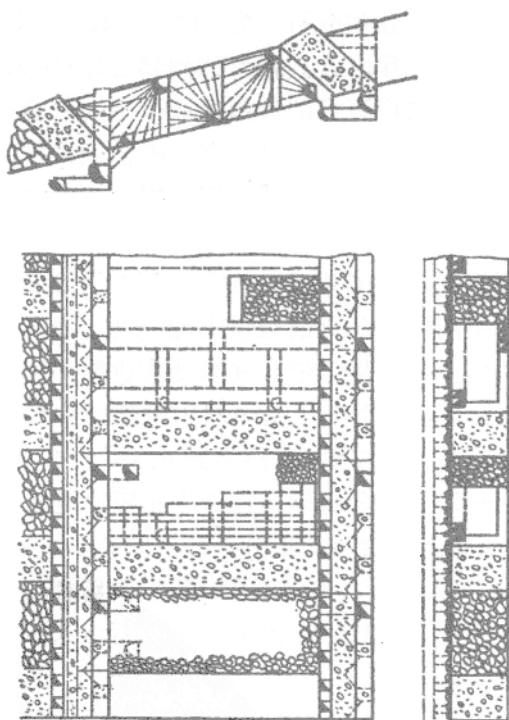


图2 混凝土底柱采矿法方案

构筑人工矿柱每米<sup>3</sup>混凝土所用的胶结混合料：1.48米<sup>3</sup>砂、砾石填料，102公斤400标号水泥和50升水。混凝土在井下用容积25升、生产能力为15—20米<sup>3</sup>/班的混凝土搅拌机

制备，用电机车牵引翻斗矿车运到各充填口。混凝土质量用立方试块压碎法进行检查，每 50 米<sup>3</sup>混凝土抽取 3 件试块。

用上述方法制备的每米<sup>3</sup>混凝土成本为 12.79 卢布。

为了降低混凝土费用，建议用巷道掘进的废石代替砂、砾石混合料。这样，每米<sup>3</sup>混凝土成本可降到 6.84 卢布。经验证明，当水泥、砂和废石比为 1:2:10.4，每米<sup>3</sup>混凝土的水泥耗量为 150 公斤时，其强度达到 55 公斤/厘米<sup>2</sup>。

开采波克罗夫扁豆状矿体西段所采用的联合充填（胶结和废石）采矿法方案的特点是，有用矿物回采率高，矿房矿量回采的损失率为 3%，间柱的回采损失率为 6%，平均为 5.25%。矿石贫化率分别为 5% 和 8%。

泽里亚诺夫矿为了开采废石充填矿房之间的中央扁豆体，试验了下向倾斜分层胶结充填法方案（图 3）。采准工作包括在矿体上盘距接触带 4—6 米处掘进脉外天井，分层高 3 米，用浅孔落矿。混凝土充填料用电耙运到各层。采用水平分层时，充填面离进路顶板不到 0.8—1 米（约占层高的 30%）。这一缺点如分层倾角按 20° 布置时就可消除。当每米<sup>3</sup>M50 号混凝土混合料的组分：砂、砾石混合料为 1.35 米<sup>3</sup>，M400 号水泥 102 公斤，水 100 升时，28 天龄期的混凝土强度达到了 50—60 公斤/厘米<sup>2</sup>。木支柱拆除后，人工顶板暴露面积达到了 20—25 米<sup>2</sup>。

泽里亚诺夫矿下向分层回采工作面的工人劳动生产率为 1.06 米<sup>3</sup>/人班，矿石损失率为 4—2%，贫化率为 6.1%。

在塔谢耶夫（Тасеев）<sup>[4, 5]</sup>、阿尔登-托普康（Алтын-Топкан）<sup>[4]</sup>、加伊（Гай）、捷凯利（Текели）等矿山采用胶结充填浇灌人工矿柱。

在塔谢耶夫矿 9 号采区，用浅孔落矿法开掘宽 3 米的矿

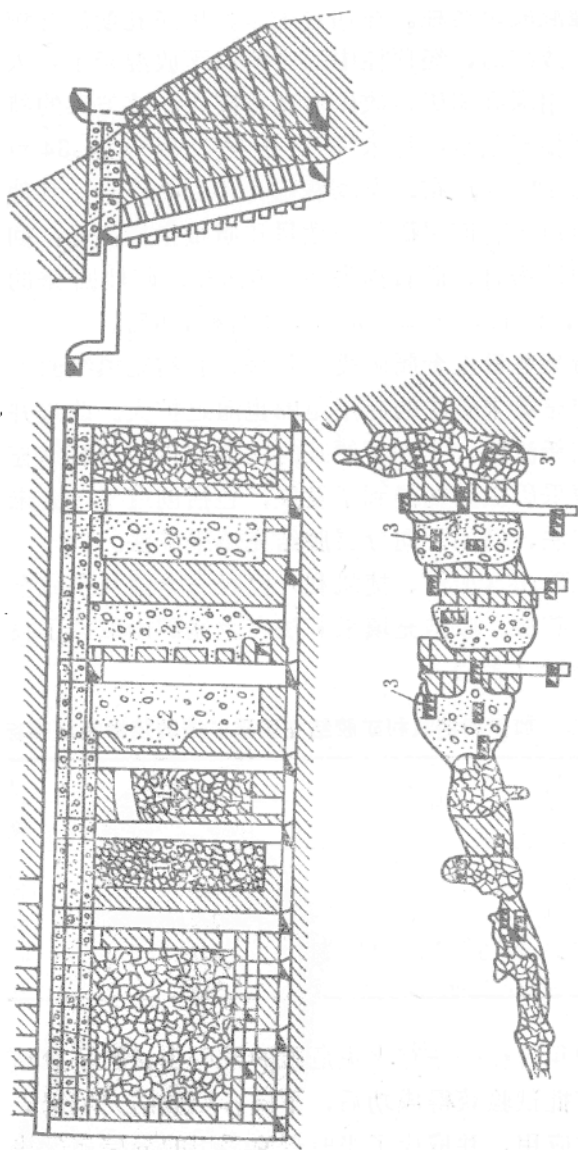


图 3 中央扁豆体的开采和矿柱的下向倾斜分层回采

1—废石充填；2—胶结充填；3—放矿溜井

房，浇灌混凝土房柱。在10号采区，用深孔崩矿开掘6米宽的矿房。放矿后，经顶柱中的充填口下放混凝土。人工矿柱间的矿石用深孔崩矿，放矿后充填废石。该方案的特征是，技术经济指标很低：每米<sup>3</sup>矿石开采费用为64.34卢布，其中工资为12.96卢布，充填费用为49.58卢布，其他材料费用为1.21卢布。回采矿石的数量和质量指标很好：回采混凝土支护的矿房时，矿石损失率为0.6%，矿柱回采的损失率为6.4%，矿石贫化率分别为5.8%和4.6%。

随着某些贵重金属矿段的开采，胶结充填经验的不断积累，胶结充填采矿法的应用范围也随之扩大。改进并制定了充填工艺新流程，找到了便宜的就地取材的新胶结充填料；胶结充填采矿法结构得到了发展，包括创造了过去未曾采用的新采矿法，例如下向分层胶结充填采矿法。

一些矿山（加伊、捷凯利）已经完全或几乎完全改用胶结充填采矿法。胶结充填采矿法在上述矿山取得了良好的技术经济指标（表1）。

**表1 加伊和捷凯利矿胶结充填采矿法的技术经济指标**

指 标	矿 山	
	加 伊	捷凯利
矿石贫化率，%	8.3	14.9
矿石损失率，%	3.2	5.8
工作面工人劳动生产率，米 <sup>3</sup> /人班	5.74	5.72
每吨矿石成本，卢布	6.95	9.45

1964年曾在一些有火灾危险的铀矿山试验了胶结充填采矿法。首批试验获得成功后，下向分层胶结充填采矿法得到了广泛的应用，并取代了当时普遍采用的分层崩落法。

胶结充填采矿法推广很快。如果说1964年在一个铀矿用这种方法只开采了总采出量的0.9%（主要回采试验采区），而在1972年则已达到100%。

与分层崩落法相比，在同样开采条件下，下向分层胶结充填采矿法（各种变型方案）工作面工人劳动生产率更高。但由于胶结充填费用高，每米<sup>3</sup>矿石开采成本比分层崩落法贵得多。几年内，在同一矿山同时采用了两种采矿法（在矿床的两翼），按采矿法分别计算的技术经济指标编制了指标比较表（表2）。分层崩落法经济上似乎可取，但尽管广泛采用了防火灌浆，该法的采用仍导致大面积内因火灾的发展。因此，开采有火灾危险的矿床不得不放弃分层崩落法，而全部改用胶结充填采矿法。这就消除了有火灾危险矿山的内因火灾。

表2 各种采矿法的实际技术经济指标

指 标	采 矿 法		
	防火灌浆 分层崩落 法 (7年平均)	电耙出矿微倾 斜分层下向胶 结充填采矿法 (5年平均)	自行装运机出 矿水平分层下 向胶结充填采 矿法 (2年平均)
工作面工人劳动生产率, 米 <sup>3</sup> /小时	0.615	0.713	0.844
回采费用, 假设单位/米 <sup>3</sup>	26.58	19.04	17.93
费用, 假设单位/米 <sup>3</sup>			
灌浆作业	11.25	—	—
充填作业	—	40.03	37.15
总费用, 假设单位/米 <sup>3</sup>	37.83	59.07	55.08

下向倾斜分层胶结充填采矿法的作业安全性和良好的技术经济指标是彻底放弃过去采用的非胶结充填采矿法的原因。

胶结充填采矿法应用范围扩大了：已开始用以开采最复杂的矿段（矿石和围岩不稳固）、保安矿柱和内因火灾扑灭后已塌陷和淤积的矿段。图4表示火灾扑灭后用微倾斜下向分层支护胶结充填法回采淤积区的矿块矿柱。已被老作业区破坏的矿柱留在不稳固的粘土-硅质页岩中。塌陷和淤积区在采空区的顶板和两帮。在这种条件下，该采矿法可以开采形状不规则的小矿段，矿石损失很小，矿块开采强度为500—800米<sup>3</sup>/月，其他技术经济指标也是可行的。

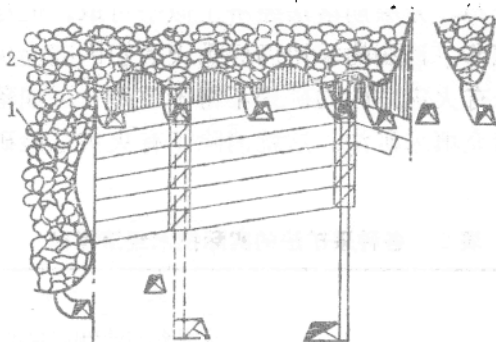


图4 微倾斜分层支护胶结充填采矿法开采火灾扑灭后的区段  
1—已塌陷和淤积的废石；2—损失的矿柱

应该指出，矿山约65%的储量赋存于保安矿柱内。当时所有矿体都在均衡开采。采用胶结充填法可以同时用露天和地下开采法开采同一矿床，由于露天采场下部和边坡部分内过去封存的矿体列入开采范围，地下开采量可增加35%。

实际上，两个大企业（露天矿和地下矿）开采一个矿床。地下矿回采作业区段距露天作业梯段50—200米。

成功地采用下向分层胶结充填法开采有火灾危险的矿床，具有下述主要优点：

1) 应用的普遍性 (可用在各种不相同的开采技术条件, 开采赋存在各种构造断层和断口中的矿体, 犹如开采赋存在稳固岩体中的矿体一样, 比较简单);

2) 储量回采的充分性 (最小损失率为 2—5%, 最小贫化率为 8—13%, 复杂矿体排除了二次回采的必要性);

3) 在构筑物下回采保安矿柱时, 可保证地表、构筑物和工程项目的完整性;

4) 保证矿床开采的均衡性和顺序性;

5) 在几个水平同时作业的可能性 (对提高企业生产能力和缩短矿床开采年限很重要);

6) 开采有火灾危险的矿床时, 排除了地下内因火灾发生的可能性;

7) 高度文明生产, 工人劳动条件良好和整个工艺过程机械化程度高。

开采日本小坂矿山宇日野鲷矿床, 曾采用了独特的下向水平分层支护和混凝土人工假顶采矿方案, 即近藤采矿法 (图5)。宇日野鲷矿床 (黑矿区) 是典型盲矿体, 赋存在距地表 100—200 米的深度, 呈层状构造, 其平面尺寸为: 长 800 米, 宽 500 米, 厚 20 米。矿石中有用组分平均品位: 铜为 2.5%, 铅为 1.3%, 锌为 4.2%, 硫 (在黄铁矿中) 为 18%, 金为 1 克/吨, 银为 90 克/吨<sup>[8]</sup>。

流纹岩赋存在黑矿硫化矿区的下盘, 而上盘为粘土质绿色凝灰岩。围岩和矿石的特点是, 硬度低, 稳固性差, 这就给采矿和选矿造成了困难。

矿床中有下列几种矿石: 1) 黑矿——黑色细粒状, 为闪锌矿、方铅矿、重晶石以及黄铜矿和黝铜矿包裹体; 2) 黄矿——黄色细粒状, 为黄铜矿和黄铁矿以及闪锌矿和方铅

矿；3) 硅化矿——致密硅化矿以及黄铜矿和黄铁矿浸染体；  
 4——硫化矿——主要由黄铁矿和少量黄铜矿组成的致密矿  
 石；5) 石膏化矿——仅赋存在硫化金属矿的下部，主要是  
 雪花石膏。

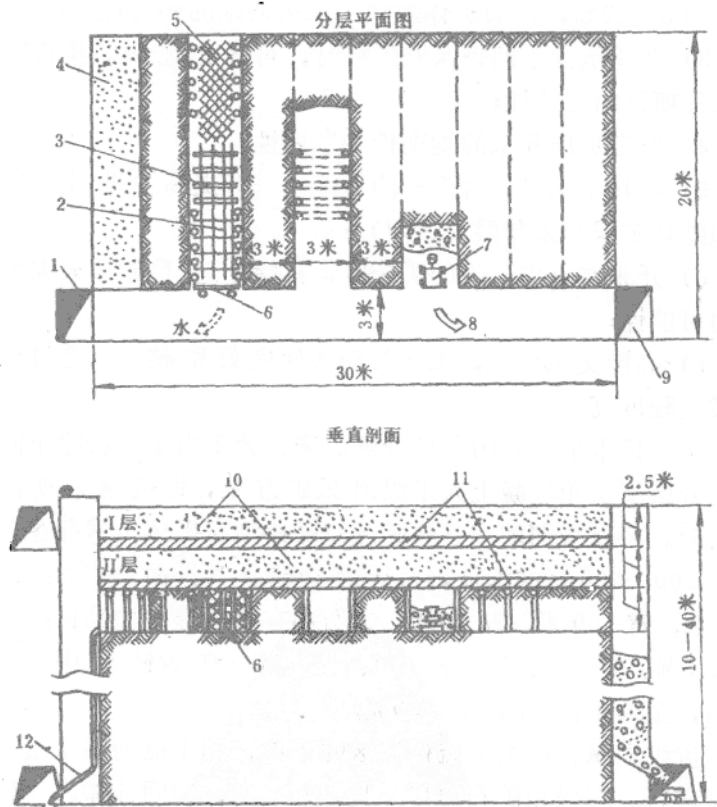


图5 下向水平分层混凝土人工假顶采矿法

- 1—矿块天井；2—钢筋（直径13毫米）；3—木板；4—充  
 填料（砂+胶凝剂）；5—金属网；6—隔墙；7—装运机；  
 8—分层运输平巷；9—溜井；10—充填料（砂+炉渣）；  
 11—混凝土假顶；12—排水管道



矿体上盘绿色凝灰岩和流纹岩混杂在一起，两者都已粘土化，不稳固，容易冒落。有些矿石很致密，但黑矿含粘土，而硅化矿为无数裂隙所破坏。总之，矿床是由不稳固矿石构成的。

矿体中矿物分布很复杂，有用矿物品位变化很大。矿石为优质矿石，但由于地压大并发展迅猛，回采困难。因此，采矿方法应满足安全生产的要求，保证充分回采和必要的回采强度。

研究和试验工作证实，下向水平分层采矿法最适合这些条件。应用该法时，充填前在回采巷道底板上敷设一层钢筋混凝土，即钢筋混凝土假顶。开采下分层时，假顶可成为护板（人工顶板）。

采矿法参数：矿块长为30米，宽为20米，分层高为2.5米。

作业从掘进矿块两翼的天井开始，天井用作放矿溜井和与分层运输平巷相通的联络道。从分层运输平巷掘进几个宽3米的进路，用两台凿岩机打眼，爆破后，进路用普通木棚支护。崩落矿石用阿特拉斯·科普柯公司的风动装运机运到放矿溜井。

进路回采后，沿底板全长敷设金属网假顶。这种假顶是用直径4毫米的铁丝编织的，以50毫米的间距敷设，再用直径为13毫米的钢筋沿进路每隔0.6米加以紧固。再用15%水泥的胶结砂浆充填金属网，形成0.5米厚的垫层。砂浆是脱泥后的选矿厂尾矿、高炉渣和水泥的混合料，其重量比为1:1:0.3。在地表制成砂浆，用管道输送到工作面。进路采后几个小时，从地表用泵扬送砂渣混合料，充填采空区。砂渣混合料由选矿厂尾矿和高炉渣按1:1重量比配成。在新进