

# 矿山充填

国际会议论文集

(1973.8.)

长沙矿山研究院译

1975.10.

# 毛主席语录

开发矿业。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

中国人民有志气、有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

洋为中用。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

# 说 明

充填采矿法的应用，在国外已有较长久的历史。近年来，由于矿山开采深度和生产规模日益增加，作业条件更加复杂，为了充分开发地下资源，许多国家均在大力开展科学研究，寻求来源广、性能好、价格便宜的充填材料，采用先进的充填工艺与不断提高矿山充填的机械化自动化水平，以提高充填效率、改进充填质量，降低充填费用，从而进一步促进了充填采矿法的发展。

1973年8月，由澳大利亚矿冶学会西北昆士兰分会主办，于芒特艾沙举行了一次矿山充填国际讨论会，有澳大利亚、加拿大、印度、日本、瑞典、美国、扎伊尔、赞比亚等14个国家共约240多名代表参加。会上提出了24篇学术论文，内容涉及充填材料的选择和制备、充填工艺系统的设计与操作、充填体的结构特性及质量控制、充填材料测试设施、絮凝剂的应用以及用炉渣、粉煤灰一类火山灰物质和硫化矿物代替部分水泥的试验情况等方面。这些论文比较全面系统地概括了迄今为止矿山充填已有的研究成果，基本上能反映近几年中各国充填采矿现已达到的生产技术水平 and 今

后的发展动态，具有一定的参考价值。现将此次讨论会论文集（由澳大利亚矿冶学会西北昆士兰分会整理出其中22篇论文印发）译出，以供我国矿山的领导干部、生产工人、工程技术人员以及有关采矿教学、科研与设计部门的工作人员参考。由于我们的政治思想水平及业务能力均很有限，谬误之处，敬希批评、指正。

# 目 录

1. 充填在采矿中的作用及充填料的性能……………( 1 )
2. 澳大利亚芒特艾沙矿块石胶结充填系统的研究与设计  
……………( 23 )
3. 最合理利用矿山充填体而应考虑的地质力学因素……………( 41 )

## 第一部分：充填体设计的合理方法

4. 最合理利用矿山充填体而应考虑的地质力学因素……………( 56 )

## 第二部分：作为结构成分的充填体反应机理的研究

5. 莫佛里拉矿（赞比亚）尾矿充填站……………( 80 )
6. 与胶结充填料特性有关的水泥性质……………( 95 )
7. 关于水砂充填料胶结剂的述评……………(103)
8. 利用磁黄铁矿作充填料胶结剂的试验研究……………(122)
9. 地下矿山充填作业中的硫化矿物……………(139)
10. 胶结充填体的结构特性……………(155)
11. 测试胶结充填料的实验室设备……………(170)
12. 瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院采矿系关于矿山充填的  
研究与调查……………(185)
13. 高分子絮凝剂在锌公司及新布罗肯希尔公司井下充填  
料中的应用……………(196)
14. 干式充填料的设计与评价……………(205)

15. 水砂胶结充填料的设计与矿山生产计划安排的关系……(219)
16. 卡莫托矿水平分层充填法大型矿房几何尺寸……(230)
17. 波得·珀西瓦伦司矿1895—1972年期间的采矿充填作业  
 .....(249)
18. 霍姆斯特克金矿的水砂充填……(258)
- √ 19. 北布罗肯希尔有限公司水砂充填的地下储砂仓……(282)
20. 采矿工业中的皮带运输机……(292)
- √ 21. 砂泵的最佳设计……(302)
22. 芒特艾沙矿山公司水砂胶结充填站的设计和作……(312)

# 充填在采矿中的作用及 充填料的性能

M.H.Dickout

## 摘 要

本文评述了由加拿大岩石力学咨询委员会充填分会通过最近一次考察已予肯定的包括胶结充填在内的充填作业在采矿史上和近代采矿中所起的作用。文中概述了机械化分层充填法、下向分层充填法、房柱式分层充填法和在胶结充填体之间用深孔崩矿回采矿柱等现代采矿方法中的充填实践情况；对于一座自动化的充填站和在用迴转牙轮钻机打输送水砂充填料的钻孔方面的最新发展情况，本文也作了简要的叙述。

本文还综述了加拿大、美国和澳大利亚关于充填料性能的实验室和现场试验研究的若干重要成果以及充填分会这次所获得的最新情报资料。由于篇幅有限及无法获得适当的资料，故其他国家的同类情报未能概括在内。

## 引 言

充填的目的是为了对矿山的安全和经济的生产作业有所助益，并制止或限制矿区地表的破坏。最常用的是由尾矿或冲积砂制备的水砂充填料。但是其他充填材料如块石或块石与水砂混合物，在加

拿大诺兰达的介珂(Geco)矿及澳大利亚的芒特艾沙(Mount Isa)矿进行大规模开采的采矿方法中也有重要的用途。为了改变水砂充填料的特性并提高其有效性能,常用硅酸盐水泥等作为添加剂。

## 历 史

1951年莱特福特(Lightfoot)曾报导:1864年在美国宾夕瓦尼亚州的一个煤矿区进行了第一次水砂充填以保护一座教堂的基础。1884年,在该州的另一矿山曾将废渣用水力充填到井下以控制火灾。1909年,在南非的威特瓦特斯兰,与此大约同时,还有德国的煤矿和澳大利亚与美国科罗拉多州的金矿,首先实行了水砂充填。其他地方如博特(Butte)矿在1920年以前、古巴的马塔洪伯(Matahombre)铜矿在1927年、塔斯马尼亚(澳大利亚)的芒特莱尔(Mount Lyell)铜矿、北罗德西亚(今赞比亚)的莫佛里拉(Mulfulira)矿和美国的霍姆斯退克(Homestake)金矿分别在1929—1932年期间均有采用充填的早期记载。水砂充填的应用不断得到推广,至第二次世界大战以后,已成为世界上许多矿山的正规作业。在六十年代中期,已普遍采用硅酸盐水泥或其他适当的胶结材料加入充填料中以使之胶结。由于水砂充填与胶结充填这后一发展成果相结合,有可能产生许多新的采矿方法并能促使现有的采矿方法进行广泛的改革和实现机械化,从而为更有效地进行采矿作出了贡献。

与水砂充填的推广应用相配合,还建立和改进了充填站和充填料输送系统。与此同时,关于如何确定与获得充填料所需具备的性能以及充填料在矿山中如何发挥其作用也已开始着手进行研究。

## 充 填 料 的 作 用

充填分会最近的考察表明:目前最常用的是由选厂尾矿制备的

水砂充填料。1971年在所有有报导的矿山充填到井下的10830000吨充填料中，有8240000吨为选厂尾矿水砂料，1370000吨为废石，870000吨为冲积砂，350000吨为包括干砂、冶炼炉渣、浮选废石……等在内的其他杂料。用了228000吨水泥来浇制地板和使充填料胶结。这些矿山的矿石，90%是用回采与充填同时进行的方法生产的；而这些矿石中有70%是用上向分层充填法采出的。

虽然在世界许多地方，控制地表沉陷和地下火灾是水砂充填的两项重要用途，但在这些有报导的矿山中，充填料主要不是用于控制地表沉陷。这些矿山认为：充填料的最主要的功用是护帮；其次是浇注工作面地板；第三才是充填采空区和处理尾矿。这些矿山还表明：就护帮而言，充填料的首要作用是使生产矿房与相邻矿柱得到稳固，其次是在中、小型矿山中使联络通道和边界矿柱稳固；而在大型矿山则认为是稳固周围采场和矿带。在护帮这一范畴之内，控制地表沉陷被列为最次要的作用。

## 一、充填采矿法

### 1. 分层充填采矿法

近年来采用装—运—卸设备(以下简称铲运机)的机械化分层充填法已占有显著地位；可是通常的使用电耙出矿和手持式凿岩机打水平炮眼进行爆破或用上向凿岩台车打眼进行大量爆破的分层充填法仍继续在采矿中发挥其重要作用。例如国际镍公司安大略分公司于1972年用分层充填法采出的3600000吨矿石中，用机械化方法采出的占73%；用普通方法采出的占27%。机械化充填法采场的工班产量高出54%，而在高度机械化的矿山中则高出90%。

1969年，怀利(Wyllie)对世界各地的机械化分层充填采矿进行了一次综合评论。他报导说这种方法是加拿大坎培尔·基布加玛(Campbell Chibougamau)矿山有限公司于1959年在亨德逊(Hen-

derson) 矿首创的；该方法发展很快，就产出的矿石量而论，加拿大和澳大利亚居于最前列。

该方法的大概情况是：通过一系列斜坡道或天井连通采场，从构筑在充填体中的或在矿体附近的围岩中掘成的矿石溜井运出爆破下的矿石；如产量很大，最好采用后一种办法，因为在充填体中构筑的钢筒矿石溜井的寿命，平常只限于通过100000—150000吨矿石。

用柴油或压风驱动的轮胎式铲运机将矿石装运至矿石溜井，常用的是1—5.5码<sup>3</sup>(0.765—4.2米<sup>3</sup>)的铲运机。自1969年怀利的报告发表以来，铲运机有向更大型发展的趋势。目前8码<sup>3</sup>(6.1米<sup>3</sup>)的铲运机已很普遍，并正在采用11码<sup>3</sup>(8.4米<sup>3</sup>)的铲运机。

在生产中普遍采用的凿岩方法是用上向凿岩机打与水平成50°—65°的倾斜炮眼，两个方向上的孔距均为4—5呎(1.22—1.53米)。上向凿岩机安装在台车上。也可采用机动的多机凿岩台车打水平炮眼，采场工作面象掘进巷道一样向前推进。在要求回采之后紧接着进行充填以充分支撑采场侧帮的矿山，这一方法是必不可少的。

在一切有必要支护的地方均普遍采用了杆柱支护岩层。如仅用杆柱还不能为人员与设备提供所需要的安全保障，则广泛地采用金属网或带钢配合杆柱进行支护。也有采用喷射混凝土的。

1968年，伊沃坎加斯(Ieokangas)、珀迪(Purdie)和波义德(Boyd)发表了一篇关于芒特艾沙矿分层充填法的详细资料。采场中央有一人行天井，断面为10呎×12呎(3.05米×3.6米)，所有设备包括卡德勒—邓维尔(Gardner—Denver)型双机台车、瓦格勒(Wagner)ST—5型铲运机和瓦格勒PT10型服务车，进行采场物料运搬和撬松石。据报道，包括凿岩、爆破和出矿作业在内的采场工班效率是很高的，达100吨。

尽管许多地方早已采用了斜坡道作为联通采场的通路，但是在

布雷迪 (Brady)、沃维 (Ower)、安尼尔 (Annear) 等三人于1969年发表的报告中, 仍然举了C.S.A矿有限公司所属的科巴 (Cobar) 矿的做法为例对此方法作了详尽的说明。

## 2. 下向分层充填法

水砂充填的应用使国际镍公司的弗洛德斯托比 (Frood Stobie) 矿能够采用下向分层充填法安全而经济地回采在很大地压下遭破碎的矿柱, 其中许多矿柱即使是不惜任何代价也不可能用上向充填法回采出来。1961年, 皮戈特 (Pigott) 和哈尔 (Hall) 第一次详细报导了这一方法, 而麦克克利迪 (McCreedy) 和哈尔则于1966年报导了由于采用水泥来胶结充填料而给这一方法带来的许多改进。在该方法中, 首先在待采矿块的上面安设一个底梁, 在底梁上铺上一层合适的假顶, 并进行充填。充填体一经脱水, 即可进行下一个分层的回采, 并按顺序一个个分层进行下去。

方框支架法的工班效率为5—10吨之间。1972年, 普通的下向分层充填法可达14吨/工班, 而采用贾科 (Jarco) 130A型铲运机出矿的机械化采场则已达到15.9吨/工班。

如采用立柱支撑假顶, 由于工作面进尺仅限于6呎 (约1.83米) 左右, 铲运机的规格和运动范围被迫缩小, 使产量也受到限制。如果能将假顶用锚定在顶柱或上面充填体中的钢杆柱安全地吊挂起来, 这些限制便都可以消除, 成本也可大大降低。

为了证明吊挂假顶是切实可行的, 国际镍公司的列瓦克 (Levack) 矿将进行一项试验。大致的配置如下图1—1所示。

加拿大能源、矿山与资源部矿山司伊略特 (Elliot) 湖研究所的黑德勒 (D.G. Hedley) 在用仪表测量钢杆柱的载荷、胶结充填体的内摩擦角和粘结强度和其他理论性研究方面参加了协作。

1970年, 威佛尔 (Weaver) 和刘卡 (Luka) 报导: 尾矿与水泥之

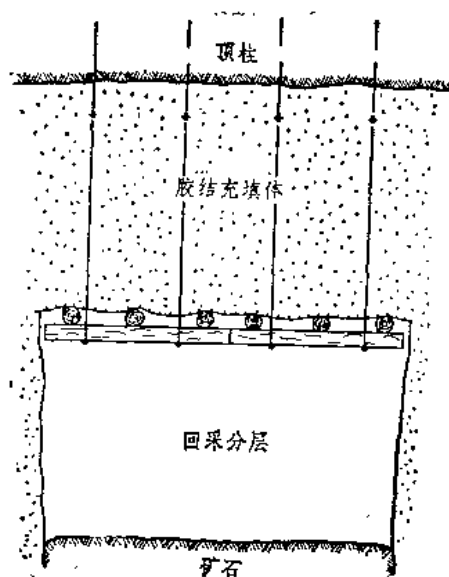


图1—1 带有悬挂假顶的下向分层充填法

比为30:1的胶结充填体的粘结强度值为  $10-15 \text{ 磅/吋}^2$  ( $0.7-1.1 \text{ 公斤/厘米}^2$ )。虽然这一特定的胶结充填体的现场粘结强度还不知道，但黑德勒已算出，其强度肯定在  $6 \text{ 磅/吋}^2$  ( $0.4 \text{ 公斤/厘米}^2$ ) 左右；因为用目前的木支柱来支撑任一厚度的充填体是令人满意的，而直径为  $3/4 \text{ 吋}$  (19毫米) 的预应力钢杆柱与目前的木支柱强度大致相等，因此从理论上看来，可以将假顶安全地吊挂起来。

### 3. 房柱式(Post Pillar)分层充填法

房柱式分层充填法是机械化分层充填法的一种改进形式，在此法中相邻矿房之间的壁柱，通过在其中采掘矿房而被缩小成为房柱。如图1—2所示。房柱是不予回采的。

1973年，克利兰(Cleland)和辛夫(Singh)报导了鹰桥镍公司的斯特累斯康纳(Strathcona)矿房柱式分层充填法的发展情况。国

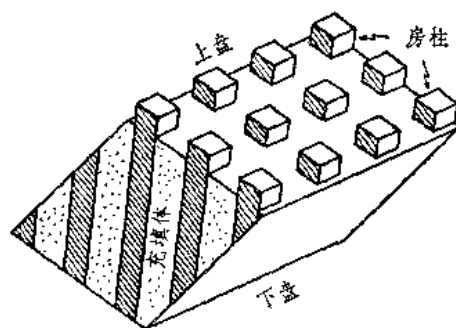


图1—2 房柱式分层充填法

际镍公司的一些矿山也在采用这一方法。如矿体的几何形状适宜，工班产量可达到空场法或崩落法所达到的水平。1972年加拿大采矿手册引用的斯特累斯康纳矿的工班产量为48.0吨。1973年第一季度，国际镍公司的科雷蒙(Coleman)矿和斯托比矿用房柱式分层充填法的工班产量分别为51.6吨和54.4吨。

目前房柱设计的安全系数为0.8至1.0，主要取决于包围房柱使之稳固的充填体的约束作用。为此目的，鹰桥镍公司倾向于采用胶结水砂充填体与水泥含量高的地板，而国际镍公司则采用普通水砂充填体与胶结充填地板。

迄今为止，该法仅限于距地表深度在3000呎(915米)以内的采场中方得到成功的应用，而在深部采场中对矿柱要求具备的条件则还没有确定下来。克利兰和辛夫对斯特累斯康纳矿在房柱式分层充填法中有关岩石力学方面的研究成果有过很好的综述，而其中最重要的一点是肯定了由于应力重新分配给采场顶板和承载壁柱而使矿柱的载荷减轻，这确是一个值得考虑的重要论点。进一步的研究将表明：一旦应力已重新分配到采场顶板和承载壁柱之中，正处于破坏之中的房柱所必须承担的载荷将只是其上面松动岩层的重量。如

果确属这种情况，则适于采用机械化分层充填法的任何深部采场均可采用这种方法。

一个矿块既经确定适于用充填法回采，就必须进行经济分析，以便确定究竟是采用先采矿房继采矿柱、分二步骤把全部矿块采出来的办法，还是按尽可能提高回收率、用一步骤的房柱式分层充填法回采，可以获得更多的利润。一般言之，后一种方法除很富的矿体外，在所有的矿体中均能获得最大的利益；由于其采矿速度更快，故不须考虑早期可资利用的资金的时间价值问题。

为了举例说明，表1示一虚拟的对比，表中的成本与价格和任  
表1           〔假设矿山现场地表矿仓中1吨  
                  矿石的残余价值为20加元/吨〕

|                   | 用下向充填法回采矿柱<br>的机械化分层充填采场             | 房柱式分层充填法                             |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 一步骤回采矿量，%         | 60                                   | 100                                  |
| 二步骤回采矿量，%         | 40                                   | 0                                    |
| 矿石损失率，%           | 0                                    | 14                                   |
| 可回收的未贫化矿石，吨       | 1                                    | 0.86                                 |
| 一步骤回采贫化率，%        | 5                                    | 5                                    |
| 二步骤回采贫化率，%        | 10                                   | —                                    |
| 平均贫化率，%           | 7                                    | 5                                    |
| 贫化物量，吨            | 0.070                                | 0.043                                |
| 采出的被贫化矿石，吨        | 1.070                                | 0.903                                |
| 每吨贫化矿石的价值         | 0.935价值单位/吨                          | 0.952价值单位/吨                          |
| 一步骤回采每吨矿石成本       | 9.50 加元                              | 8.50加元                               |
| 二步骤回采每吨矿石成本       | 17.00加元                              | —                                    |
| 过磅后采出矿石平均每<br>吨成本 | 12.50加元                              | 8.50加元                               |
| 每吨现场矿石总利润         | $1.07 \times 0.935$<br>(20.00—12.50) | $0.903 \times 0.952$<br>(20.00—8.50) |
| 或                 | 7.50加元                               | 9.89加元                               |

何具体的生产作业无关。表中所用“矿石价值”一词，是指从矿石内可回收金属的价值中减去采矿水平以外的全部费用。所谓每吨矿石的成本是指送到矿山地表矿仓中的每吨矿石所分摊的全部费用。

在加拿大迄今为止的经验表明：在一切适于采用机械化横向分层充填法的任何矿体中，房柱式分层充填法都是值得加以考虑的。

## 二、在胶结充填体之间用深孔崩矿回采矿柱

在此法中，用深孔崩矿回采矿房，并用胶结料充填；随后用同样的方法回采矿柱，并用普通的充填料充填。

### 1. 芬兰奥托昆布阿依(Outokumpu Oy)公司

已知此法第一次大量采用是50年代早期在芬兰奥托昆布阿依矿山公司。目前在缓倾斜矿体中的实际做法，称之为混凝土矿柱采矿法，是将矿体分成许多生产采场，其宽度交替为6米和8米。宽6米的采场采完后，即用低标号混凝土充填。1958年马芒(Maman)报导，其混凝土规格为2份经破碎和过筛的砾石、1份选厂尾矿，每立方米混凝土用水泥207磅(即124公斤/米<sup>3</sup>)，三个月后的抗压强度大约为250磅/吋<sup>2</sup>(18公斤/厘米<sup>2</sup>)。混凝土凝固后，即回采宽8米的矿柱，然后用尾矿进行水力充填。回采高度限于20米。在矿体厚度超过这一高度的地方，则以20米作一个分段按顺序回采。用在采场中作业的铲运机或电耙出矿。这一方法可用深孔崩矿全部回收矿石，同时还能有效地控制地层。布朗(Brown)于1972年参观了奥托昆布的凯列梯(Keretti)矿，据他报导，该矿雇用180名工人，日产矿石2000吨。

### 2. 诺兰达矿山有限公司介珂分公司

1970年，麦克利阿德(Mcleod)和斯次瓦兹(Schwartz)报导了诺兰达公司介珂分公司胶结充填的应用情况，包括对该矿为完全回采一个矿体而采用深孔爆破充填采矿法的叙述。据1972年加拿大采

矿手册引用的生产率数字，采场工班产量为44吨，全矿工班产量为18吨，说明这一方法是有效的。

一步骤矿房沿走向长70呎(21.35米)，上下盘之间矿体厚30—150呎(9.15—45.75米)，上部厚度约为40呎(12.2米)。倾角几乎是垂直的。矿房高度限于400呎(122米)，在矿体超过这一高度的地方，于其上已充填好的矿房下面再布置第二个回采矿房。

将一步骤矿房拉底，并用40呎(12.2米)的预应力注浆钢丝绳杆柱护顶。沿矿房整个高度拉开切割槽，采出大约25%的矿石。矿房中其余的矿石量随后采用深孔爆破。由于侧帮不稳固，出矿时必须使矿房保持充满。为了做到这一点，将从地表采石场采来的块石利用重力通过一套复杂的溜井系统运到矿房中心的顶部。较粗的块石倾向于朝矿房的两帮滚动，而细块石则停留在其中间。

矿石出完后，用30:1的尾矿水砂胶结充填料浆将块石堆填实。在靠近矿房侧帮的粗块石中，胶结料浆的渗透是良好的，但由于所用的胶结充填料仅只有采出矿石量的10%，总的渗透率是不高的。

充填体脱水后，在相邻的一个长70呎(21.35米)的分层中按同一方法继续进行回采。在回采一步骤矿房时，沿走向长达120呎(36.6米)的房间矿柱可以留下来不采。这些矿柱可以按照与矿房大致相同的方法随后再进行回采，但是届时块石堆不必用胶结充填料浆填实。

介珂矿采用这一方法的效果是良好的。据称金属回收率接近100%，而贫化率保持在14%以下。

### 3. 芒特艾沙矿

1972年，马修斯(Mathews)在他出席加拿大第八届岩石力学讨论会时，报导了为全部回采一个庞大矿体而计划采用的一种复杂的分段采矿法。按此方案，该矿体被分成许多方形矿块，每边长120呎(36.6米)，高达800呎(244米)。将这些矿块标明为一步骤、二步骤、

三步骤，如图1—3所示。

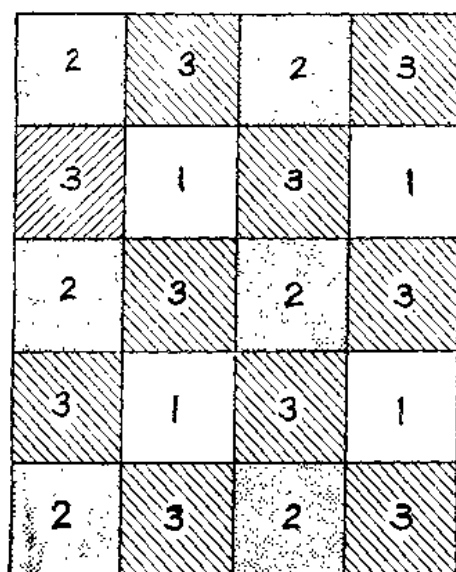


图1—3 芒特艾沙矿分段回采顺序平面图

在一步骤矿房中，按矿房全高采掘出一中心切割槽，矿块的其余部分则进行爆破使这一空间完全填满。当矿房出空后，即用块石胶结充填料将空间填满，每立方码矿房充填料中，包含0.67实体立方码( $0.5\text{米}^3$ )的分级块石和0.33立方码( $0.25\text{米}^3$ )的胶结充填料浆。在矿房底部的分级块石中1吋(25.4毫米)以下的最多占25%。胶结充填料是用硅酸盐水泥、研磨的铜反射炉渣和已脱泥的尾矿配制的，在15磅/吋<sup>2</sup>(1.1公斤/厘米<sup>2</sup>)的侧限压力下，其三向抗压强度为150磅/吋<sup>2</sup>(10.5公斤/厘米<sup>2</sup>)。由此构成的块石胶结充填体可以不予支撑地站立，按三步骤矿房回采的具体要求，其自立高度可达134呎(40.87米)，跨度可达40呎(12.2米)。

二步骤矿房与一步骤矿房的角与角相对，并采用与一步骤矿房