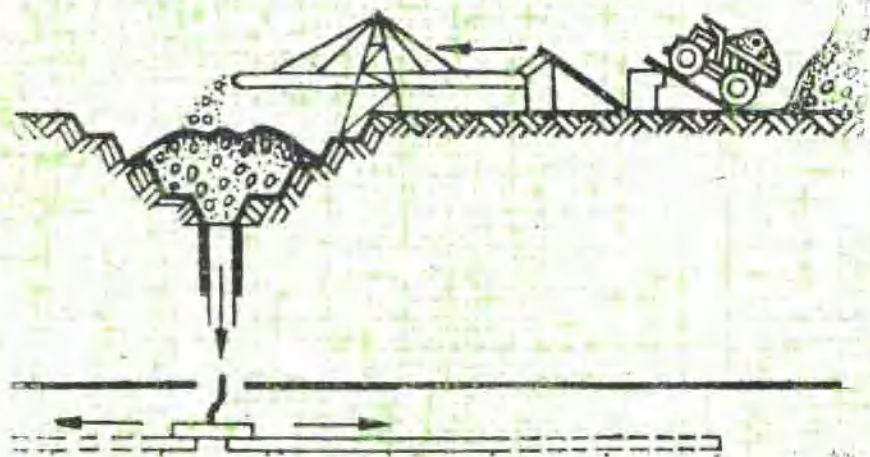


# 国外矿山充填经验

〔苏联〕 B. M. 霍米亚科夫 著



382  
11

长沙矿山研究院管道输送研究室

# 国外矿山充填经验

[苏联] B. M. 霍米亚科夫 著

长沙矿山研究院管道输送研究室

一九九〇年三月廿七日

## 内 容 提 要

本书总结了国外矿山采用充填采矿方法的经验，阐明了设计充填设备和分配系统的基本原则、充填料的物理力学特性的研究成果、矿柱计算方法、充填料组成的配合和充填采矿法合理参数的选择。

本书供矿山企业、科研设计院所的工程技术人员参考和学习。

表41个、图111幅、参考文献50篇。

· Владимир Иванович Хомяков  
ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ЗАКЛАДКИ НА РУДНИКАХ  
Москва “Недра” 1984

\* \* \*

国外矿山充填经验

〔苏联〕В. И. 霍米亚科夫 著

周问华 译 尹慰农 校

焦承祖 高泉审定

技术编辑 彭承英

\* \* \*

长沙矿山研究院印刷厂印刷

1989年5月

## 编 者 的 话

随着世界各国有色金属需求量的增加，矿产资源的减少以及开采条件的日益恶化，充填采矿法和嗣后充填的空场法在有色矿山得到了广泛的采用，并在生产中不断发展，因为采用了自行设备，完善了充填工艺和充填系统，扩大了充填料来源，改进了采矿方法，从而使采矿技术经济指标大大提高，在充分回收矿物资源、深部开采的地压控制、三下开采、防止内因火灾、利用矿山工业废料(尾矿、炉渣、废石……)等方面均发挥了重大作用，各国充填法矿山在生产中积累了丰富的经验。1973年8月曾在澳大利亚召开矿山充填国际讨论会，交流了各国充填方面的经验(详见《矿山充填》长沙矿山研究院，1975年)。苏联B.И.霍米亚科夫教授在分析研究了各国大量资料的基础上，撰写了《国外矿山充填经验》(ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ЗАКЛАДКИ НА РУДНИКАХ)系统地总结了各国采用充填采矿法的经验。霍米亚科夫教授1985年曾来我国进行技术考察，在长沙矿山研究院的技术交流中，曾介绍了他的这本著作。该书内容丰富，全面系统地阐述了充填采矿法的主要问题，包括：各种方法的现状及典型实例、充填工艺、充填机械、充填系统、充填物料及其特性、测试方法、充填体作用、地压控制等内容，是一部系统介绍国外矿山充填法经验的好书，它对我国采用充填法的矿山和有关科研院所、教学单位都有较大的参考价值。

为此，长沙矿山研究院管道输送研究室组织了该书的编译工作。该书由副译审周问华、高级工程师尹慰农同志译校，由教授级高级工程师焦承祖、高泉同志审定。

由于我们的水平所限，编译中错误之处在所难免，请读者批评指正。

编者 1989年5月

## 原 序 言

目前，随着开采深度的加大，为了有效地控制地压和更充分地回收有用矿物资源，以及提高对周围环境的保护，在地下有用矿物的开采中广泛采用了充填法。

充填法在世界各国矿山得到了极其广泛的应用，其使用经验对苏联专家有一定的意义。

作者在此书中，以现有资料为基础，系统地阐述了地下开采中充填法的主要问题：充填工艺、充填机械和使用条件；充填物料及其特性；充填系统；采矿方法的设计及其参数的选择。

1~7章阐述了回采及充填作业的工艺和机械化，以及充填法的使用条件，并作为控制地压的有效方法。

8~15章系统地介绍了美国矿务局、加拿大矿山管理局、澳大利亚昆士兰大学、瑞典工艺学院矿山部、矿山公司及各矿山试验室完成的有关充填料物理力学特性的研究方法及其结果。并对在单轴压缩和各向压缩条件下充填料的渗透特性、坚固性、变形特性及其它特性的研究工作给予了极大的关注。

研制高效可靠的充填配套设备（充填系统），是有效使用充填法的必需条件。该充填系统包括充填料的制备、输送方法和机械设各。这些内容在16章中得到了反映。

17~19章叙述了个别矿山的采矿方法，并阐述了采矿方法设计的基本原则。这些原则考虑了岩体应力—变形状态和充填料的特性。并举例介绍了用有限元法评价充填体承载能力、选择合理的回采方案及其最佳参数的经验。

# 目 录

第一篇 充填采矿法工艺和机械化	( 1 )
第一章 充填采矿法的特点和适用条件	( 1 )
1.1 概述	( 1 )
1.2 国外矿山充填采矿法机械化的一般特点	( 5 )
第二章 水平分层充填采矿法	( 9 )
2.1 概述	( 9 )
2.2 回采工作面沿走向布置的水平分层充填采矿法	( 12 )
2.3 回采工作面垂直走向布置的水平分层充填采矿法	( 21 )
第三章 嗣后充填的分段和阶段矿房采矿法	( 28 )
3.1 概述	( 28 )
3.2 加拿大“诺兰达”公司霍恩矿	( 29 )
3.3 加拿大弗林弗伦矿	( 31 )
3.4 加拿大基德克里克矿	( 33 )
3.5 加拿大森滕尼尔矿	( 35 )
3.6 加拿大国际镍有限公司各矿山	( 37 )
3.7 芬兰奥托昆普股份公司各矿山	( 40 )
3.8 加拿大吉科矿	( 41 )
3.9 澳大利亚芒特艾萨矿	( 47 )
第四章 嗣后充填房柱采矿法	( 52 )
4.1 概述	( 52 )
4.2 芬兰凯雷蒂矿和捷克斯洛伐克齐诺韦茨矿	( 52 )
4.3 爱尔兰纳温矿	( 55 )

	4.4	扎伊尔卡莫托矿	(56)
	4.5	加拿大沙利文矿	(58)
第五章		倾斜分层和垂直分层充填采矿法	(62)
	5.1	概述	(62)
	5.2	倾斜分层充填采矿法	(62)
	5.3	垂直分层充填采矿法	(63)
第六章		全面充填采矿法	(66)
	6.1	概述	(66)
	6.2	波兰铜矿床的开采	(66)
	6.3	芬兰奥托昆普公司的矿山	(69)
	6.4	南非的矿山	(70)
第七章		不稳固矿石和充填体之间宽度不大的房间矿 柱的开采	(71)
	7.1	概述	(71)
	7.2	建造分层假顶的方法	(71)
	7.3	采用下向分层充填采矿法的经验	(75)
	7.4	大直径深孔崩矿法回采充填体之间的 房间矿柱	(80)
第二篇		充填料和充填体的物理力学性质	(83)
第八章		充填料的主要性质	(83)
	8.1	概述	(83)
	8.2	充填材料的主要性质	(86)
第九章		充填料的渗透性能	(90)
	9.1	确定渗透系数值的因素	(90)
	9.2	充填料渗透性能的测定方法	(91)
	9.3	普通水砂充填料渗透性能的研究结果	(95)
	9.4	水砂胶结充填料渗透性能的研究结果	(97)
	9.5	用絮凝剂改善充填料的渗透性能	(99)
第十章		水泥胶结充填料的抗压强度	(101)

10.1	概述	(101)
10.2	美国研究充填料试块强度的方法及其 结果	(102)
10.3	加拿大研究胶结充填料强度的方法及 其结果	(106)
第十一章	采用硫化物、研磨粒化炉渣、焙烧白云石 化尾矿和其它添加剂作为胶凝材料的 胶结充填料的单轴极限抗压强度	(112)
11.1	硫化物的使用经验	(112)
11.2	芒特艾萨矿对本地材料和溶炼废渣胶 凝特性的研究	(119)
11.3	加入硅酸钠和膨胀水泥对水砂充填料 强度的影响	(126)
第十二章	充填料的密度及其提高的方法	(127)
12.1	概述	(127)
12.2	充填料的粒度组成和均匀性对其密实 程度的影响	(127)
12.3	借助振动器和炸药捣实水砂充填料	(129)
第十三章	胶结充填料在单轴压缩条件下的变形特性	(133)
13.1	概述	(133)
13.2	胶结充填料在单轴压缩条件下的变形 特性	(134)
13.3	胶结充填料的蠕变性	(139)
第十四章	充填料的压缩特性	(140)
14.1	概述	(140)
14.2	测定水砂充填料压缩特性的方法和装 置	(141)
14.3	破碎岩石的压缩特性	(151)
14.4	胶结充填料的压缩特性	(154)



第十五章	充填料在各向压缩条件下的物理力学性质(156)	
15.1	概述	(156)
15.2	澳大利亚芒特艾萨矿对各向压缩条件下胶结充填料的研究	(157)
15.3	美国对各向压缩条件下胶结充填料的研究	(162)
15.4	加拿大对各向压缩条件下胶结充填料的研究	(163)
15.5	南非共和国对各向压缩条件下胶结充填料的研究	(165)
15.6	块石充填料在各向压缩条件下的强度	(167)
第十六章	充填系统、充填钻孔及充填管路的设计与应用	(169)
16.1	水力充填系统	(169)
16.2	充填钻孔及充填管路	(180)
16.3	水力充填系统最优参数的确定	(185)
16.4	块石胶结充填料的制备和输送系统	(191)
第三篇	充填法开采的结构工艺参数	(196)
第十七章	采空区充填体在地压控制中的作用	(196)
17.1	概述	(196)
17.2	分层充填法采空区上下盘的位移值及其特点	(197)
17.3	大尺寸矿房周围岩石的变形特点	(203)
17.4	用有限元方法评价充填体的承载能力	(209)
第十八章	柱状矿柱稳定性的评价和胶结充填料合理成分的选择	(214)
18.1	斯特拉思科纳矿(加拿大)分层采矿法柱状矿柱设计的一般原则	(214)
18.2	柱状矿柱(被充填料包围的)作用机	

理的实验室研究·····	(217)
18.3 充填体内柱状矿柱作用机理的工业试 验研究·····	(221)
18.4 芒特艾萨矿(澳大利亚)充填料合理 的选择·····	(225)
第十九章 充填采矿法的地压控制·····	(227)
19.1 分层充填采矿法冲击地压的预防·····	(227)
19.2 水平分层充填法回采急倾斜薄矿体·····	(231)
19.3 垂直走向分层采矿法的地压控制·····	(232)
结束语·····	(237)
参考文献·····	(240)

# 充填采矿法工艺和机械化

## 第一章 充填采矿法的特点和适用条件

### 1.1 概 述

目前，有用矿物矿床的开采具有下述特点。

采矿深度的增大对采矿方法的选择影响极大。如加拿大的金矿和铜镍矿，矿体主要开拓巷道的深度已达2400米。加拿大117个矿山中，有59个矿主要巷道的深度超过900米，有30个矿超过1200米。加拿大有16个矿山的采矿作业深度达1200~2400米〔3〕。美国有色金属矿和金矿的开采深度达2350米。南非、巴西和印度有许多矿山的开采深度已超过3000米。由硬岩和脆性岩所组成的原岩体在高应力状态下，有产生冲击地压的危险。根据参考文献〔1〕，美国凯尔德阿连地区近12年来，因冲击地压造成的破坏和减产，估计经济损失为每吨矿石1.1美元。南非的矿山在深部开采中，有70%的工伤事故是冲击地压和岩石冒落所致，而在维斯捷尔恩季波列维尔兹矿甚致高达80%。开采深度的增大，要求采用最可靠的方法和手段来维护围岩，其中对采空区进行充填是维护围岩首要的方法和手段。

由于富矿和易采矿床的减少，要求采用回采率最高的采矿方法。

对金属和其它有用矿物需求量的与日俱增，在许多情况下，某些矿床不得不同时采用露天和地下联合开采。回采作业往往是在工业设施、水库或建筑物下面进行。因而，对保护地表和防止围岩移动要有严格要求。

目前，采选企业尾矿的堆放已成为很复杂的问题。废石场和尾矿坝对周围环境产生有害影响，并占有大量农田，而维护现有

或建设新的废石场和尾矿坝均需大量费用。

如果不推广使用充填法，就不能达到下述要求：提高地下采矿效率，改善劳动和安全作业条件，提高矿床资源的利用率和保护地表以及综合利用矿山生产中产生的废料等。

世界各国正不断增加充填采矿法比重的这一事实充分说明了这个问题。

加拿大、澳大利亚、美国、芬兰、瑞典、日本和其它国家在金属矿床开采中广泛地采用充填法。

分析国外85个矿山的资料〔3~8〕证明：在加拿大的多金属矿山，有将近一半的产量是用充填法开采的，而在澳大利亚的矿山，约有五分之一的产量用充填法开采。

在加拿大，充填法每年开采的矿石量为2700~3200万吨，占地下采矿总量的35~40%，其中87%的产量是用各种不同的分层充填法方案开采，约13%的产量是用嗣后充填的矿房法开采。近年来加拿大采矿工业，在开采深度2000米以内，出现用嗣后充填的矿房采矿法取代分层充填法的趋势〔5〕。薄矿体沿走向布置矿房，厚矿体垂直走向布置矿房，并留带状或柱状矿柱。当矿石品位较高时，可采用方框支柱法或下向分层充填法回采矿柱。

在加拿大由于矿石品位高，开采深度大，充填采矿法获得了广泛的应用。一般从矿石中可回收镍、铜、铁、硫、金、银、钴、硒、碲、铂、钨、铀、铯、钼、钒和其它元素。

充填体的主要作用是，使回采工作面的两帮稳定，保证矿柱回采时人工矿柱必要的稳固性以及为人员、设备提供作业场地。

在开采湖下矿体，以及露天地下同时开采等个别情况下，要求保护地表。

在保加利亚，充填采矿法主要用于开采有色金属矿，约占年采矿总量的16.5%。

在美国用充填采矿法每年开采的多金属矿石达400万吨左右，约占有色金属地下采矿总量的10%。主要是采用分层充填采矿法。

在日本约43%的有色金属矿石是用充填采矿法开采。对于埋藏条件很复杂的矿体，主要采用在钢筋混凝土假顶保护下的下向分层采矿法。

瑞典45个矿山中有13个采用水平分层充填采矿法。这些矿山都不大，年生产能力仅10~33万吨，所以分层充填采矿法开采的矿石量仅占全国采矿总量的5%。充填采矿法主要用于布利登、斯托拉和维埃耶蒙塔尼公司各矿山开采多金属矿。所开采的多为形状不规则的急倾斜薄矿脉，对矿石最不稳固的区段多采用下向梯段回采的分层充填法。

芬兰的多金属矿基本上归奥托昆普股份公司开采。该公司7个地下矿山年采矿石量约为392万吨，而且其中85%用充填法开采。充填的主要作用在于提高矿石的回收率和保护地表以防止附近湖水淹没矿井。

爱尔兰用充填法开采的多金属矿石达270万吨。充填体的主要作用是：支撑上部岩层，保证矿柱回采时具有稳固的暴露面，并作为下一分层回采的工作场地。

澳大利亚的最大矿山芒特艾萨铜铅锌矿，每天从致密硫化矿床中开采的铜矿石约2万吨，从平行的扁豆状急倾斜薄矿脉群中开采9000吨左右的铅锌银矿石。主要采用嗣后充填的分段平巷法开采，约20%的矿石用水平分层充填法开采。充填体的主要作用是：控制地压，降低矿石的损失贫化以及保证人员、设备的工作场地。

分析国外85个采用充填法的矿山资料（表1.1）表明，上向梯段回采的水平分层充填法开采的矿石量占很大比重（38.3%）〔3~8〕。

这种采矿方法的特点是，可以开采不同厚度、不同形状及不同稳固性围岩的矿床。水力充填、自行式凿岩设备和装运设备的使用，可大大提高此种采矿法的效率。该方法工人的劳动生产率：电耙出矿时为4.97~25（平均为15.9）吨/班；自行设备出

表 1.1

充 填 采 矿 法	矿 山 数	矿 石 开 采 量		工 人 平 均 劳 动 生 产 率 吨 / 工 班
		百 万 吨	%	
1. 上向梯段回采水平分层充填法	23	24.793	38.3	15.9※ 28.8※※
2. 阶段或分段崩矿房式采矿法※※※	23	23.699	36.7	47.3
3. 下向梯段回采水平分层充填法	10	4.251	6.5	14.7
4. 房 柱 法※※※	12	7.029	10.9	30
5. 方框支柱充填采矿法	7	1.718	2.7	7.5
6. 留 矿 法※※※	4	1.032	1.6	40.5
7. 深孔分段爆破回采矿柱※※※※	4	0.843	1.3	73.5
8. 其它充填采矿法	2	1.304	2	不祥
总 计	85	64.669	100	—

※ 电耙出矿方案

※※ 采用自行设备的方案

※※※ 译者注:均为嗣后充填

※※※※ 译者注:两侧为充填体的VCR法

矿为15~58(平均28.8)吨/工班。

嗣后充填的分段或阶段崩矿房式采矿法,按采矿量的比重比前者稍低,为36.7%。它主要用于开采矿岩十分稳固的各种不同厚度的急倾斜矿体。工人劳动生产率为20~120吨/工班,平均47.3吨/工班。

在围岩稳固的条件下开采矿石坚硬的缓倾斜和水平矿床时,可采用嗣后充填的房柱法。在此情况下,矿体采取自下而上分层开采,分层高度等于矿房高度。用此采矿法开采的矿石量占10.9%。工人劳动生产率为20~40吨/工班,平均为30吨/工班。

下向分层回采方案开采的矿石量约占6.5%,方框支柱充填采矿法约占2.7%。这两种采矿方法的劳动强度最大。其劳动生产率分别为7.5~25吨/工班和4.3~14.5吨/工班。这两种采矿方法的

使用条件是：矿石与围岩极不稳固，而且必须回采被破坏的矿柱。

用大直径深孔集中装药崩矿回采两侧为充填体宽度不大的矿柱，其采出矿量的比重不大(1.3%)，嗣后充填的留矿法占1.6%。其它的方法有倾斜分层、垂直分层充填法和全面采矿法。

## 1.2 国外矿山充填采矿法机械化的一般特点

地下矿山广泛使用了自行式的凿岩设备、装运设备及辅助设备。由于使用了这类设备，使水平分层充填采矿法的工人劳动生产率平均达到45~48吨/工班〔4〕。

轮胎式柴油设备的成功应用是与采矿工程的精心设计（并考虑所用设备的特性）、设备制造厂的密切协作、操作人员的技术水平和熟练程度以及相应的技术服务和对井下空气质量与安全的经常监测有关。

许多矿山遥控铲运机的推广，可简化分段平巷采矿法的矿块底部结构，提高矿石回采率和装载矿岩作业的安全性。

近年来，最主要的成就之一是采用165~200毫米的大直径炮孔崩矿取代51毫米小直径炮孔崩矿。大直径炮孔崩矿可用于分段平巷采矿法、阶段矿房法和矿柱回采。目前，大直径深孔的深度受设计要求的凿岩允许偏斜率的限制，当孔深小于60米时，其偏斜率不超过1%，完全符合设计要求，但随着凿岩深度的加大，炮孔偏斜率急剧上升。所以直径为152~165毫米炮孔的深度一般不超过60米。根据经济原理，并为了减少炮孔偏斜率，直径51毫米炮孔深度不能超过38米，从而限制了分段高度，并增加分段巷道的掘进工作量。

由于采用钻凿直径165~200毫米炮孔的钻机，大大提高了劳动生产率，减少了凿岩爆破工作量及巷道掘进费用，在坚硬矿石中用潜孔钻机钻凿大直径深孔的平均生产效率为3~4.5米/小时，最高为18.2米/小时。

在地下矿山用直径165毫米以上的炮孔崩矿方案的推广，为研

究用长度较短的、类似球状的药包进行地下采矿奠定了基础〔9〕。

众所周知，药包形状影响着崩矿效果。用柱状药包爆破时，爆炸气体的主要能量向垂直于炮孔轴线的水平面扩散，只有很少一部分能量作用于药包底部。采用球状药包崩矿时，扩散气体的能量均匀地分布于四周。业已确定：如果药包的长度与直径之比小于6时，则其破碎机理与爆破效果类似于标准的球状药包爆破。

在垂直炮孔中的球状或近似球状的集中药包，距自由面呈一定距离向下部拉底空间后退式分段崩矿。在此情况下，与一般爆破的区别在于，重力与摩擦力对抛掷与破碎不起负作用。由于破碎区的矿石全部下落，使爆破漏斗的尺寸增大，炮孔自下而上后退式分段爆破。

此种崩矿方法简称VCR法，由加拿大工业有限公司研究成功，其专利号为CP1012564。此法既可用于矿房回采，也可用于两侧为充填体的矿柱回采。采用球状药包爆破时，由于矿石类型不同，其凿岩爆破参数也不同。所以，必须通过试验确定这些参数。应当指出，上述方法并非对所有类型的矿石都有良好效果。

不少国家仍使用天井钻机掘进天井。加拿大国际镍有限公司的许多矿山广泛地应用天井钻机钻进直进1.3和2.1米的天井。从1964年到1976年末，共钻进天井59公里。1968年开始应用推力为1.72~2.27兆牛顿的61R型钻机，可钻进直径为1.5、2.1和2.4米，长度分别为225、180和150米的天井。1973年研制了外形尺寸相同的推力为3.4兆牛顿的RD7型钻机，可钻进直径为2.1米，长度达300米的天井。

目前正在研制可钻进直径2.7~3米天井的钻机。但是，由于设备重量及外形尺寸增大，难以在现有的巷道中使用。

用天井钻机全断面掘进天井比普通凿岩爆破法的掘进速度增加50~100%，并可提高作业安全性，降低生产费用。直径1.5米天井的掘进成本为330美元/米，而普通法掘进的成本为596美元/米。



掘进队人数减少 $2/3 \sim 3/4$ 。

用钻进法掘进天井也出现了新问题，它与普通法掘进天井的区别在于，钻进的天井壁没有支护，而普通法掘进的天井，其加固和安装是与掘进同时进行。

起初认为，钻进的天井壁是光滑的，是不会片落的。但是，加拿大汤普森镍矿的个别天井在凿进结束后即出现了破坏和片落，不得不对井壁进行了加固。因此，对钻进法掘进的天井必须研究合理的支护方法。

天井的一般支护方法是，在帮壁内安装锚杆与悬挂金属网。同时，用锚杆把木梁固定在井壁上，以便安装梯子。同时还需要建造工作平台和钻凿锚杆孔，因此这种天井支护方法的劳动强度很大。

往井壁喷射混凝土上是一种更有效的支护方法。但是，在这种情况下，天井应先用木材加固，并安装运送材料及人行的设施。

汤普森矿的工程技术人员为钻进法掘进的天井研究了一种采用波纹状钢衬板支护的方法〔10〕。在上水平集中放置许多衬板，并逐个下放至天井中（图1.1）。每个长610毫米的波纹状钢圈由两个半圆部件组成。借助风动螺帽扳手将两个半圆钢圈装配起来。

每隔6.8米安装一个梯子平台。在下部一节衬板的下面安设一个平整井壁用的平台。当衬板下放到107~122米深度后，用直径51毫米的金属锚杆将其固定在井壁上。这些锚杆嵌入每隔13.5米钻凿的锚杆孔中。

借助提升能力为27.3吨的风动绞车进行安装工作，采用直径19毫米、断裂力26.8万牛顿的提升钢丝绳。衬板的最大重量为18.2吨。采用4根承载提升钢丝绳时，其强度安全系数为5。绞车承载能力与荷载重量的最大比值等于1.6。绞车仅起制动衬板下移作用。

3个人组成的作业组每班可安装9~12米衬板。安装1米天井