

隧道专题情报资料

73—04号
总 023 号

提高独头岩巷掘进速度的 几个关键问题

交通部科学研究院西南研究所情报室

一九七三年七月四川峨眉

内 容 简 介

本文收集了国内外独头岩巷快速掘进的技术资料约180例，把这些实例中的技术指标加以计算整理，以快慢次序排列找出它与掘进速度的关系，绘制出一些图表便于查看。然后把这些技术指标影响月进度的大小，对照比较研究分析后，找出快速掘进的关键问题。并把国内情况与国外进行比较找出先进和差距之处。可供掘进队现场指挥人员和领导干部欲提高岩巷掘进速度的参考。

由于我们的政治思想和技术业务水平低，加以技术资料尚不够齐全，缺点和错误之处在所难免，请同志们指正。

内 容 简 介

本文收集了国内外独头岩巷快速掘进的技术资料约180例，把这些实例中的技术指标加以计算整理，以快慢次序排列找出它与掘进速度的关系，绘制出一些图表便于查看。然后把这些技术指标影响月进度的大小，对照比较研究分析后，找出快速掘进的关键问题。并把国内情况与国外进行比较找出先进和差距之处。可供掘进队现场指挥人员和领导干部欲提高岩巷掘进速度的参考。

由于我们的政治思想和技术业务水平低，加以技术资料尚不够齐全，缺点和错误之处在所难免，请同志们指正。

目 录

一、概 述.....	(1)
二、快速掘进必须分秒必争.....	(1)
1.掘进一米耗时与月掘进速度的关系.....	(2)
2.用掘进一米耗时来衡量进度.....	(2)
三、组成月掘进速度的三个指标.....	(4)
1.重点突击多循环.....	(4)
2.选择最优炮眼深度.....	(5)
3.提高爆破效果.....	(7)
四、决定掘进速度的循环作业.....	(11)
1.循环作业时间的分析.....	(11)
2.提高钻眼速度缩短钻眼时间.....	(13)
3.提高装碴速度缩短装碴时间.....	(16)
4.缩短装药放炮和通风时间.....	(18)
五、提高掘进速度的具体步骤和方法	(18)
1.改变炮眼深度.....	(18)
2.改变工班制.....	(19)
3.增加工班循环数.....	(20)
六、小 结.....	(21)

(一) 概 述

在铁路选线时往往遇到长隧道方案和展线方案两个方案的选择问题。展线方案往往在投资方面比长隧道方案大得多；线路总长度比长隧道方案长得多，每年将付出较大的运营费；线路限制坡度较大，有时要采用补机或改变机车类型。但是长隧道方案又因不能在国家规定的通车期限内来完成，以致不得不舍弃长隧道方案而采用展线方案。这就给隧道施工进度提出了快速施工的课题。

衡量快速施工的标准为自开工至完工的平均单口月成洞。不论采用全断面一次开挖法或分部开挖法，平均单口月成洞受着平均单口月掘进速度的控制，因此领先工序的快速掘进是铁路隧道快速施工中起决定性的工序。

在快速掘进中，平均月掘进速度固然是很重要的，但在实践中它不可能是均衡前进的，往往是逐月提高的。这样就需要对于达到最高月掘进速度的可能性进行分析，以期提高平均月掘进速度的水平。

在小断面巷道的快速掘进中，苏联米尔加利姆萨依金属矿于一九六五年四月，在10米²断面岩石平巷中，用了三十一天时间，创造月掘进1237.6米的记录。我国湖南新晃汞矿于一九七三年三月在6米²巷道中，用三十一天时间创造707.3米的记录；萍乡煤矿青山矿，于一九七〇年八月在7.5米²岩巷中，用三十天时间创造月掘进610.1米的记录。从国内外快速掘进的速度来看都是很高的，但是平均掘进速度还不够高，国外一般平均月掘进速度为50~70米之间。我国燃化部在一九七一年为平均月掘进61.8米。

在大断面巷道中，美国平汗露天矿于一九五八年在40.2米²断面中，用二十五天时间创造416米的纪录。弗拉蒂赫德铁路单线隧道南口，于一九六七年在52.7米²断面中，用二十六天时间掘进398.4米。我国×××二号铁路单线隧道，于一九六六年十月，用全断面钻孔台车，三十一天时间掘进200.58米。由于我们在大断面方面收集的資料太少，不再进行分析。

我们收集了国内外小断面巷道快速掘进的实例约一百八十例，以速度快慢为顺序排列成表。将其中与月掘进速度有关的技术指标，绘制成图表便于查看。并将这些技术指标影响月掘进速度的大小，进行分析比较，找出起决定性的因素，以供现场指挥人员和领导干部参考。

由于我们收集的资料偏重于进度方面，对于质量、劳动生产率和造价方面不再分析。只能在快速掘进技术指标的定性方面说明一些问题，对于定量方面的问题仅作为参考罢了。

(二) 快速掘进必须分秒必争

岩巷快速掘进是一个分秒必争的问题，指挥人员要精打细算时间的账，否则掘进速

度是不会提高的。

(1) 掘进一米耗时与月掘进速度的关系

掘进一米耗时与月掘进速度有着极其重要的关系，也是衡量掘进速度的一个标准。从理论上来讲，三十个有效工作日的掘进速度为

$$S = \frac{720}{t} \text{ (米)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：t——掘进一米耗时（小时）

720——30个有效工作日的小时数（小时）

根据附表（1）和（4）的国内外156个资料统计，三十个有效工作日的掘进一米耗时，也符合上述的理论公式。其关系如图（1）所示。

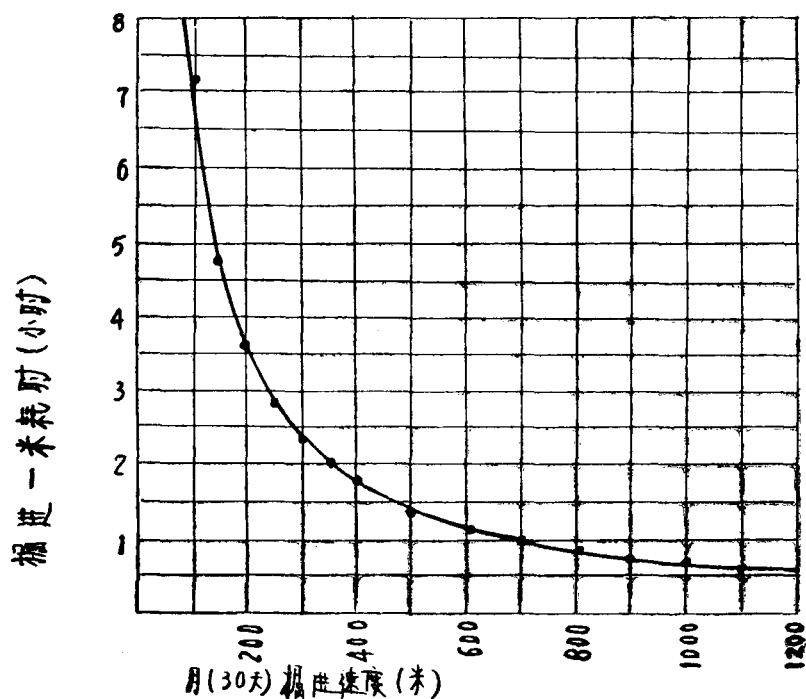


图 1

由图（1）可以看出，掘进一米耗时越短，月（三十天）掘进速度就越高。因此欲提高月掘进速度，势必要想尽一切办法来缩短掘进一米耗时。

(2) 用掘进一米耗时来衡量进度

掘进一米耗时，为循环时间除以每循环的进尺。而每循环进尺又等于炮眼深度与炮

眼利用率的相乘积，故掘进一米耗时为

$$t = \frac{T}{l\eta} \text{ (小时)} \dots\dots\dots (2)$$

式中：T——循环时间（小时）
 l——炮眼深度（米）
 η——炮眼利用率

由公式(2)可以看出，循环时间越短，炮眼深度越深，炮眼利用率越高，掘进一米耗时就越短，那么进度就越高。但是由于许多因素的限制又不能把它当成简单的算术式看待。

毫无疑问在炮眼深度和炮眼利用率固定不变的情况下，缩短循环时间就可有效地缩短掘进一米耗时，这也是提高掘进速度的关键问题。同理在循环时间和炮眼利用率固定不变的情况下，将炮眼深度适当地由浅眼加深也会缩短掘进一米耗时；在循环时间和炮眼深度固定不变的情况下，由较低的炮眼利用率适当地提高也会缩短掘进一米耗时。

同时我们要看到，循环时间、炮眼深度和炮眼利用率三者互相影响的关系。譬如将炮眼深度加深以后有时候会延长循环时间，那么这时就要用掘进一米耗时来衡量对于掘进速度是否有利。又如将循环时间缩短并将炮眼深度由深减浅，有时候对于掘进速度反而有利，这时也要用掘进一米耗时来衡量。

此外譬如最优炮眼深度的问题，爆破效果的好坏，掏槽形式的好坏，正常的炮眼利用率以及炮眼堵泥或不堵泥等等问题，均需应用掘进一米耗时来衡量，才能知道对于掘进速度是否有利。

缩短循环时间对于减少掘进一米耗时起着显著的作用，根据国内外151个资料的统计，缩短循环时间对于掘进一米耗时的关系，如图(2)所示。

由图(2)可以看出，循环时间越短，则掘进一米耗时就越小，这说明循环时间对于掘进速度的影响是很显著的。图中国内的循环时

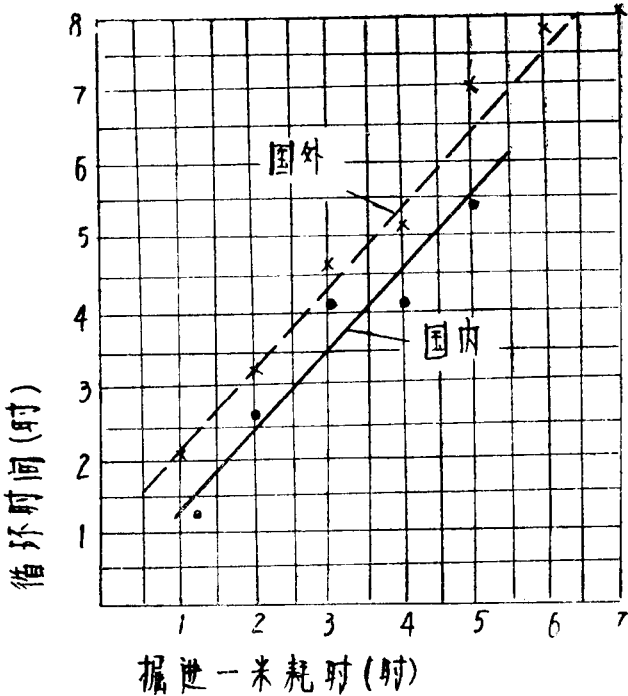


图2

间比国外的短，这是因为国内采用的炮眼深度比国外的浅的原因。

至于怎样才能缩短循环时间，将在后面叙述。循环时间与月完成循环数之间，它们是反比关系，三十天完成循环数为：

$$N = \frac{720}{T} \text{ (个)} \dots\dots\dots (3)$$

式中：T——循环时间（小时）

缩短循环时间和月完成多循环，实际上是一回事。

（三）组成月掘进速度的三个指标

月掘进速度是由月完成循环数、月平均炮眼深度和月平均炮眼利用率三者的相乘积所组成。月掘进速度为：

$$S = N \cdot l \cdot \eta \dots\dots\dots (4)$$

式中：N——月完成循环数（个）

l——月平均炮眼深度（米）

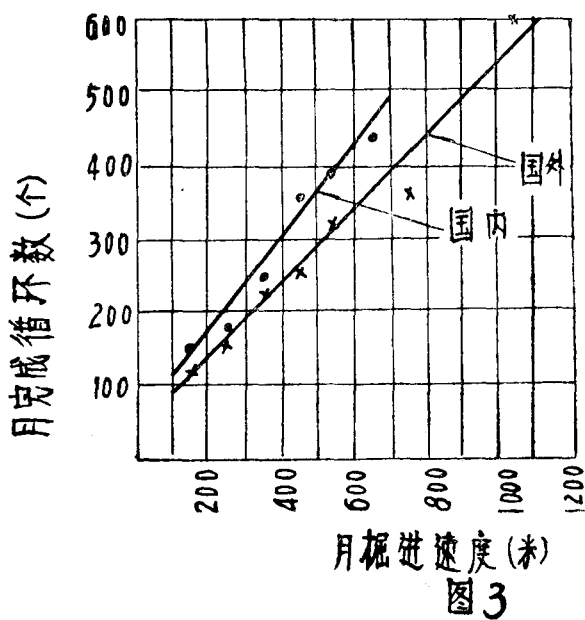
η ——月平均炮眼利用率（%）

从上式来看是一个简单的算术式，但是在实践中又不能单纯地把它当作一个简单的算术式来对待。这是因为在三个指标中，有的指标大有潜力可挖，有的指标潜力很有限。另一方面在三个指标中还存在着互相影响的因素。

（1）重点突击多循环

在岩巷快速掘进中，实行多循环是大有潜力可挖的。一般的水平多半是八小时完成一个循环，每月完成八十五至九十个循环，外每月曾完成过六百多个循环，国内也有完成五百多个循环的。这样在多循环这个指标上，就有可能增加到七倍之多。因此不能不令人注意实行“多循环”问题。

由附表（1）和附表（4）一百四十八个实例的统计，按月掘进速度划分求其循环数的平均值绘成曲线，其月完成循环数与月掘进速度的关系如图（3）所示。



由图（3）可以看出：月掘进速度的提高与月完成循环数的增加有着很大的关系。这也充分地说明在快速掘进中重点突击多循环有着极其重要的意义。由国外资料看月完成循环数有可能增加七倍之多，由国内资料看月完成循环数有可能增加五倍之多，大有潜力可挖。从国内和国外资料相比较，在相同的月掘进速度下，国内的循环数比国外的多，这是国内采用“浅眼多循环”的关系，今后应向最优炮眼深度多循环发展。至于怎样才能完成多循环，将在第四节循环作业中来研究。

（2）选择最优炮眼深度

最优炮眼深度，意即合理的、适当的炮眼深度。炮眼深度与巷道断面面积的大小、快速掘进水平（其中包括机具设备情况和钻工熟练程度等）、掘进一米耗时和掏槽形式等有关。

在小断面巷道中，根据国外九十八个资料统计，其平均深度为二米。国内五十六个资料的平均深度为1.56米。在国内外 40 ~ 107 米²大断面中的炮眼深度为2.3至5.66米。

根据国外小断面九十七个资料和国内五十六个资料的统计，以进度划分，其炮眼平均深度与月掘进速度的关系如图（4）所示。

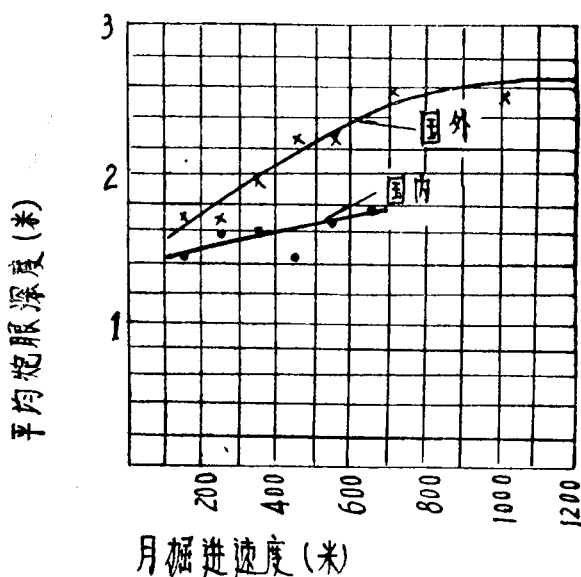


图 4

由图（4）可以看出：炮眼深度随着月掘进水平的提高，有向深眼发展的趋势。从国外资料来看，随着月掘进速度的提高，炮眼深度加深约百分之八十。从国内资料来看，炮眼深度加深仅约百分之二十五，今后仍应向深眼发展，对掘进速度才会有利。

炮眼深度与巷道断面面积的大小有关。断面面积越大，爆破时受到巷道的夹制作用就越小，可以采用较深的炮眼。根据国内外大小断面资料的统计，炮眼深度与巷道断面面积的关系如图（5）所示。

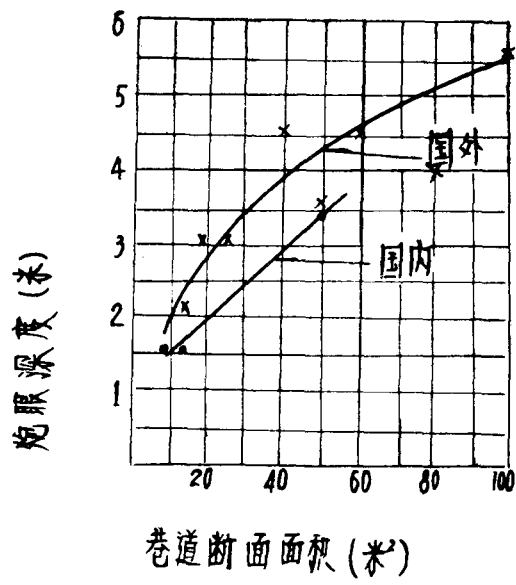


图 5

炮眼深度与小断面面积(15米²以内)也能看出有一定的关系，根据国内外一百二十八个资料统计的结果如图（6）所示。

由图（6）可以看出，在小断面中，国外当巷道断面面积超过9米²以后就将炮眼深度加大。国内在巷道断面面积16米²以内，尚未加大炮眼深度，仍采用浅眼。今后也应根据巷道断面面积的大小，采用较深的炮眼。

采用较深的炮眼，首先应训练钻工打眼技术，将炮眼打直，否则不仅钻眼速度下降，严重的会卡住钢钎。同时还要提高工作面的风压，以免钻速下降太多。

炮眼深度与掘进一米耗时有关。当采用的炮眼深度过分

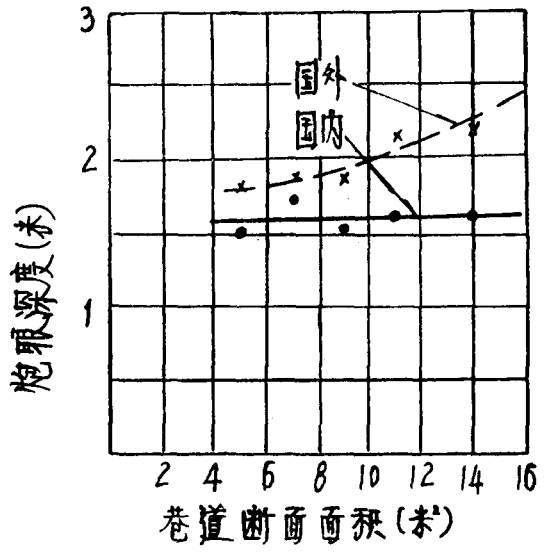


图 6

浅时，则装药、放炮、通风、找顶、钻眼和装碴的准备工作等辅助作业的次数加多，因而延长了掘进一米所消耗的时间，对于掘进速度不利。但是采用的炮眼深度过深时，因眼壁阻力增加，钻眼速度下降，延长了钻眼时间增加了掘进一米所消耗的时间，对于掘进速度仍然不利。

我国煤炭部门的分析意见：采用现有的掘进设备，在小断面巷道中，最优炮眼深度介于1.5~2.5米之间。采用这种深度可保证掘进每米巷道所需的时间最少。如图（7）所示。

苏联的资料分析意见：在小断面巷道中用轻型钻机钻眼时，采用二米左右的炮眼深度为最优。用重型钻机钻眼时，采用2.25米左右的炮眼深度为最优。如图（8）所示。

炮眼深度与掏槽形式有关。中空直眼掏槽因受巷道断面的夹制作用较小，宜采用较深的炮眼，斜眼掏槽因受巷壁宽度的限制就要比较的浅一些。

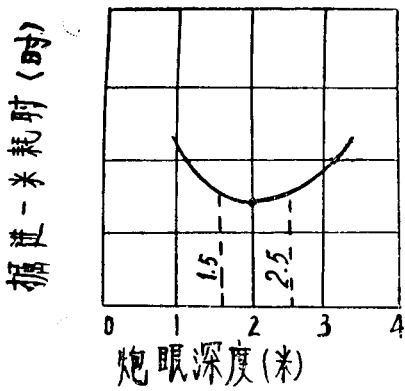


图7

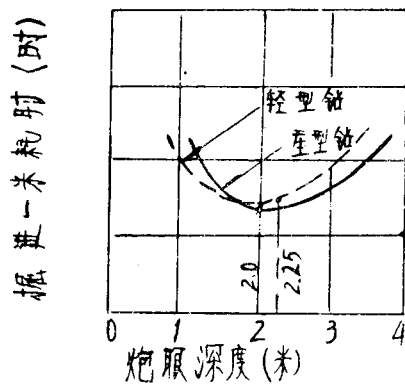


图8

（3）提高爆破效果

爆破效果之好坏，应看炮眼利用率之高低，炮眼数目之多少，也就是单位炸药用量之多少，炸下之石块是否便于装碴，对于巷道顶板是否有损坏，以致造成超挖等。其中以炮眼利用率之高低较为重要。但爆破效果之好坏应以掘进一米耗时为标准。

炮眼利用率对于月掘进速度有一定的影响，但是炮眼利用率在百分之八十至九十之间

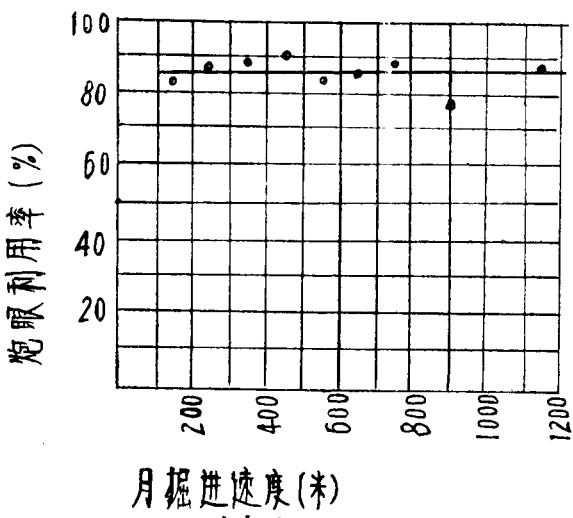


图9

即可认为基本正常。由国外九十六个资料统计，炮眼利用率的总平均值为百分之八十六。国内四十九个资料统计，炮眼利用率的总平均值亦为百分之八十六，也说明了这个问题。

由国外九十七个资料统计，以月掘进速度来划分，其炮眼利用率的平均值对于月掘进速度的关系如图（9）所示。

由国内四十九个资料统计，以月掘进速度划分，其炮眼利用率的平均值，对月掘进速度的关系如图（10）所示。

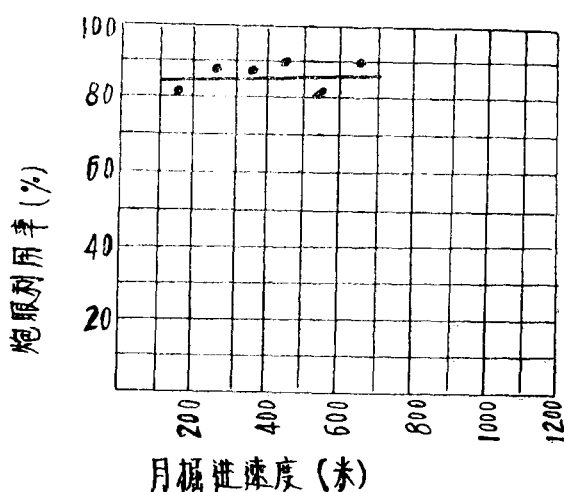


图10

由以上图（9）和图（10）来看，不论国内或国外，炮眼利用率在月掘进速度的提高时并无明显提高的趋势。这是因为快速掘进队的指挥人员，是依靠多循环和加深炮眼两个指标来提高掘进速度的。在以炮眼利用率基本正常的情况下，不再过分地追求以炮眼利用率的提高来提高掘进速度的缘故。

这里特别指出的问题是，炮眼利用率是爆破效果的重要指标，但是不能单纯的考虑炮眼利用率。增加炮眼数目将会延长钻眼时间，二者的关系应当以掘进一米耗时来衡量。在硬岩中，炮眼利用率设若已经达到百分之九十五，假设再增加炮眼数目来提高炮眼利用率，虽然炮眼利用率稍有提高，但是对于掘进一米耗时就不一定有利。同理，在软岩中炮眼利用率在百分之九十五以上时，就要适当地减少几个炮眼，不仅对掘进一米耗时有好处，也不致造成超挖现象。

炮眼利用率太低应该怎么办？如果炮眼利用率在百分之七十以下，甚至百分之六十都不到，那么首先应该检查：爆破器材是否合格，是否采用一定的掏槽形式，是否按图打眼，是否按规定的起爆次序依次起爆等等基本操作技术。以上各方面如果都很好，只

要增加几个炮眼，也就是说增加了单位炸药用量，炮眼利用率是会提高的。

“石质太硬爆不下来！”是不是因为石质太硬就爆不下来呢？炮眼利用率是不是随着岩层硬度的增加而降低呢？根据国外八十八个资料的统计，炮眼利用率与岩层坚固系数的关系如图（11）所示。

根据国内四十二个资料统计，炮眼利用率与岩层坚固系数的关系如图（12）所示。

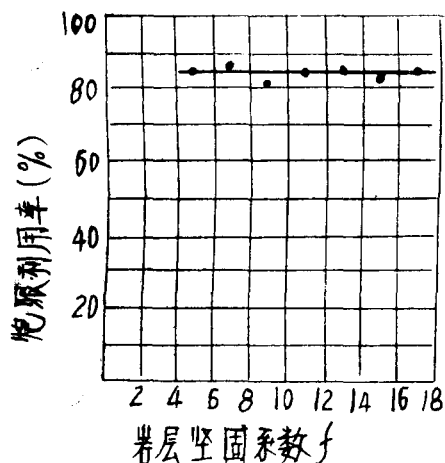


图 11

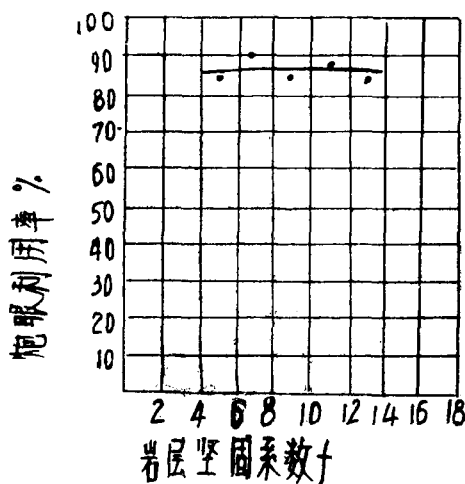


图 12

由图（11）和（12）可以看出，国外和国内资料表明，炮眼利用率并未因为岩层的坚固性增加而降低。这是因为他们掌握了基本钻爆技术，并适当地采用与岩层硬度相适应的炮眼数目。

炮眼数目的增减意味着单位炸药用量的增减，这是因为每个炮眼内应按规定的装填率来装药。譬如掘进眼一般的装填率约为炮眼深度的三分之二，掏槽眼和底板眼要比三分之二多一些，周边眼要比三分之二少一些。把每个炮眼内都装满炸药是不适当的。

根据国外小断面七十个资料统计，总平均每平方米断面上的炮眼数目为 3.1 个。国内小断面三十四个资料统计，总平均每平方米断面上的炮眼数目为 2.9 个。

单位炸药用量，根据国外小断面五十二个资料统计，每爆下一立方原岩实用炸药量总平均为 2.4 公斤。根据国内二十五个资料统计，每爆下一立方原岩实用炸药量总平均为 2.3 公斤。

掏槽形式共分斜眼掏槽和中空直眼掏槽两大类。斜眼掏槽，由于使用的炮眼数目较少，钻工容易掌握至今仍被广泛采用。但在小断面中因受巷壁的限制，不便于打很深的炮眼。中空直眼掏槽为新型的掏槽形式，受巷道的夹制作用较小，但炮眼数目和炸药用量，一般要比斜眼掏槽为多。至于那一种掏槽形式比较好，不能单纯地拿炮眼利用率的高低来衡量，应当以掘进一米耗时为标准。

除了炮眼利用率外，还要考虑爆下的岩块大小便于装碴机装碴。有时增加了几个炮眼（即增加单位炸药用量），虽然延长了钻眼时间，可是缩短了装碴时间。总的说来还是有利的。

在平行作业中实行抛掷爆破，可以使石碴堆离开掌子面，钻工就能多打一至二排上部炮眼。不仅减少扒碴工作量，还可以减少打下部炮眼的时间，对掘进有利。

关于引爆方法：在大断面或有瓦斯的隧道，要用电力引爆。在小断面巷道中采用电力引爆或火爆均可以。苏联和捷克在完成1237.6米和1021.3米时，采用的是火爆。

兹将月完成循环数，炮眼深度和炮眼利用率三项指标与月掘进速度的关系，结合所收集国内外快速掘进的实例，编制成表（1），以便现场编制计划时的参考。编制计划时可根据自己工班制的情况，每班完成循环数最好为整数。此外，对于月完成循环数要留有余地，一般情况月完成循环率为百分之九十五，也有按百分之九十考虑的。

月（30天）掘进速度表

表（1）

工班循环制	循环时间(小时)	循环数(个)			炮眼利用率为80%时的掘进速度(米)			炮眼利用率为90%时的掘进速度(米)		
		每班	30天最大数	循环率为95%时	炮眼深度(米)			炮眼深度(米)		
					1.5	2.0	2.5	1.5	2.0	2.5
3班3循环	8	1	90	85	102	136	170	115	153	191
4班4循环	6	1	120	114	137	182	228	154	205	257
3班6循环	4	2	180	171	205	273	342	231	308	385
4班8循环	3	2	240	228	273	365	456	308	410	513
3班9循环	2h40'	3	270	256	307	409	512	345	460	576
4班12循环	2	3	360	342	410	547	684	462	615	770
3班15循环	1h36'	4	450	427	511	682	854	577	769	960
4班16循环	1h30'	5	480	456	548	730	912	615	821	1025
3班18循环	1h20'	6	540	513	616	821	1026	692	923	1154
4班20循环	1h12'	7	600	570	683	912	1140	770	1022	1282
3班21循环	1h08'	8	630	598	717	957	1196	807	1076	1345
4班24循环	1	6	720	684	821	1094	1368	923	1230	1540

（四）决定掘进速度的循环作业

循环作业的形式共分顺序作业和平行作业两种。在进度较低为了缩短循环时间，多采用平行作业；当进度较高时为了实行多台钻机同时作业，减少与装碴的相互干扰以及减轻笨重的扒碴工作，多采用顺序作业。国外在月掘进200~300米以上时，基本上都采用顺序作业。国内除少数实例外，均采用平行作业。

顺序作业是以钻眼、装药、放炮、通风和装碴三大项依次进行作业为一个循环，其余架设支撑、铺设轨道等多与钻眼平行作业。既然三大项是顺序作业的，那么每一项都直接占用了循环时间，因此提高每一项工作的效率，缩短作业时间，都会直接影响掘进速度。

平行作业大致又分为两种形式，其一是打上部眼与装碴平行作业，然后再按装碴、打下部眼、装药、放炮、通风的顺序为一个循环。其优点是打上部眼利用了装碴机在后边装碴的时间。其缺点是增加一些干扰，打下部眼时钻机不能太多。全部装碴、打下部眼和装药、放炮、通风三大项中，提高每一项工作效率，缩短作业时间（其中装碴占循环时间的比重较大），都会直接影响掘进速度。

其二是钻眼和装碴完全平行作业，然后与装药、放炮、通风顺序作业为一个循环。其优点是钻眼和装碴只有一项占用了循环时间，其缺点是干扰性太大，需要笨重的体力劳动将工作面的碴子逐渐地扒开，才能打下部眼。这种形式除装药、放炮、通风一项直接影响循环时间外，当装碴时间比钻眼时间长的时候，装碴是直接影响循环时间的主要矛盾，就要重点解决装碴效率问题，这时解决钻眼效率是无济于事的。反之，当钻眼时间比装碴时间长的时候，就要重点解决钻眼效率的问题，这时解决装碴效率也是无济于事的。时间长者，即为矛盾的主要方面，有时可能是装碴有时可能是钻眼。随时注意解决主要矛盾，调整各方面的关系，促进掘进水平的不断提高。

（1）作业时间的分析

在循环作业中，钻眼和装碴时间占循环时间很大的比重，装药、放炮、通风其次。在顺序作业的实例中，一般情况是支撑的架设多与钻眼平行作业，因此不占用循环时间。在平行作业的实例中，由于钻眼和装碴已经有所干扰，因此支撑的架设往往会占用一部分循环时间。

根据国外顺序作业40个实例的统计，钻眼和装碴平均各占总循环时间的百分之四十左右，装药、放炮、通风平均占百分之二十左右（其中装药放炮占百分之十一·五，通风占百分之八·五）。

兹将国外顺序作业中，钻眼、装碴和装药、放炮、通风三项的掘进一米耗时，与月掘进速度的关系绘制如图（13）所示。

由图(13)可以看出：在顺序作业中，钻眼、装碴和装药、放炮、通风三项的掘进一米耗时越小，月掘进的速度就越高。

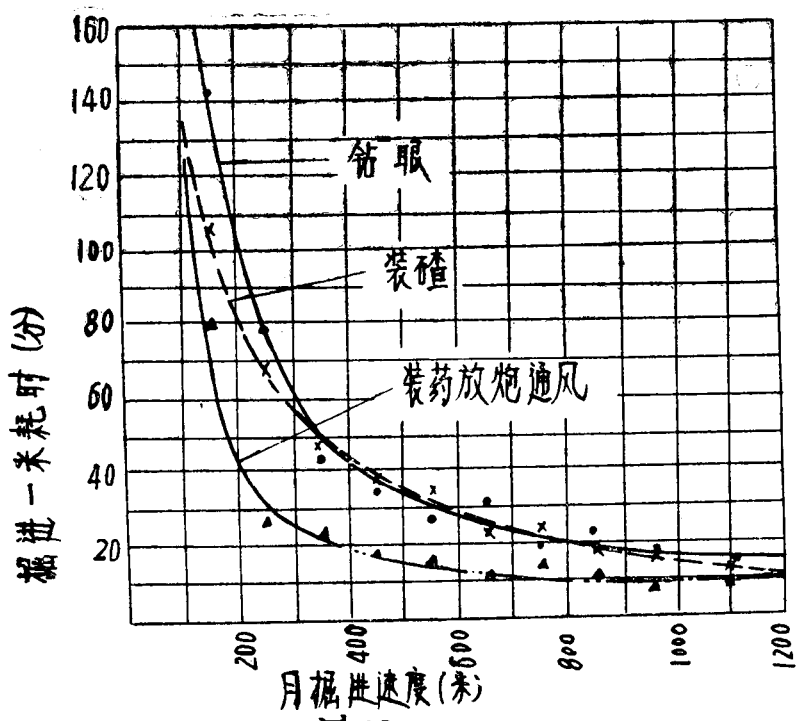


图13

根据国外平行作业30个实例的统计，架设支撑与钻眼、装碴平行作业，或部分占用循环时间。钻眼时间平均占循环时间的百分之六十三，装碴占百分之五十四，装药、放炮、通风平均占百分之十八（其中装药放炮占百分之八，通风占百分之十）。

兹将国外平行

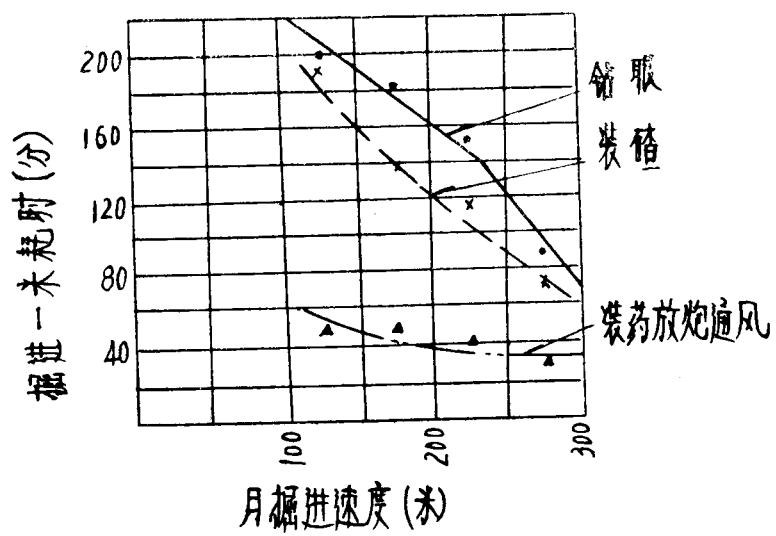


图14

作业中，钻眼、装碴和装药、放炮、通风三项的掘进一米耗时与月掘进速度的关系绘制如图（14）所示。

由图（14）可以看出：国外在平行作业中，钻眼、装碴、和装药、放炮、通风三项的掘进一米耗时，随着月掘进速度的提高而降低。其中钻眼时间比装碴时间长，应重点解决钻眼效率问题。

根据国内22个平行作业的资料统计，钻眼时间平均占循环时间的百分之五十，装碴占百分之五十四，装药、放炮、通风共占百分之二十三（其中装药、放炮占百分之十四，通风占百分之九）。

兹将国内平行作业中，钻眼、装碴和装药、放炮、通风三项的掘进一米耗时与月掘进速度的关系绘制如图（15）所示。

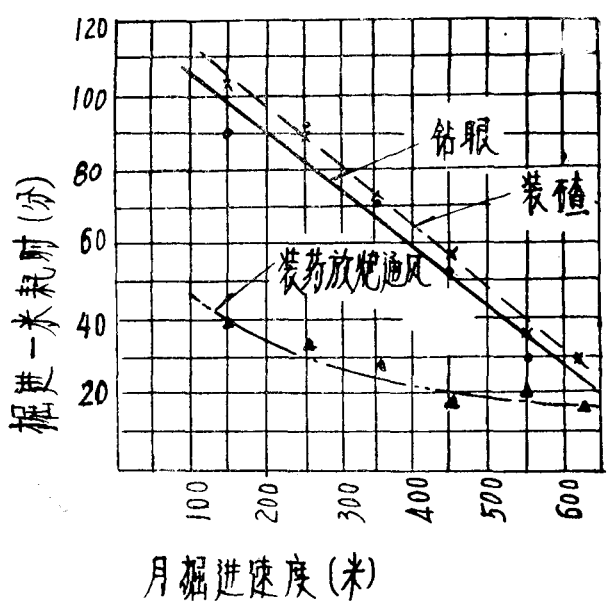


图 15

由图（15）可以看出：国内在平行作业中，钻眼、装碴和装药、放炮、通风三项的掘进一米耗时，随着月掘进速度的提高而降低。国内装碴时间比钻眼时间为长，这说明我们的装碴效率低，应重点解决装碴问题。装药、放炮、通风时间占循环时间的百分比应缩减至百分之二十至百分之十八。

（2）提高钻眼速度缩短钻眼时间

钻眼速度与月掘进速度有着直接影响的关系，必须努力提高钻眼生产率，才能完成