

岩石掘进机译文集

第 二 集

21.5

科学技术文献出版社

毛 主 席 语 录

深挖洞，广积粮，不称霸。

备战，备荒，为人民。

认真学习外国的好经验、也一定研究
外国的坏经验——引以为戒。

编 辑 说 明

为促进我国科学技术事业的发展，达到本世纪内实现四个现代化的伟大目标，继1977年6月出版的“岩石掘进机译文集”之后，现续出第二集，以供国内科研、设计、生产与教学等单位的有关人员参考。

本集主要译自近期国外会议录、技术报告与期刊论文，内容包括岩石掘进机研究、设计、制造、作业、应用情况、高压水射流辅助掘进及连续螺旋钻爆机掘进隧道的研究等。

参加本集译校工作的单位有：煤炭部技术委员会，煤炭科学研究院情报资料室，上海煤矿机械研究所情报组，煤炭部情报所情报一室，一机部上海第一石油机械厂，水电部科技情报所，中国矿业学院，北京钢铁学院采矿系，铁道部第二工程局科研所及中国人民解放军有关单位等，对他们的协助深表感谢。发稿前我们曾对照原文作过一些修改，以求统一。限于政治业务水平，错误不当之处仍会不少，希予批评指正。

由于本译文集译自国外资料，希读者本着“洋为中用”方针，有选择、批判地参考利用。

中国科学技术情报研究所

1978年9月

目 次

1. 岩石掘进机设计与掘进作业 预测年度报告 (美)	(1)
2. 全断面掘进机的新型设计 (西德)	(5)
3. 实验室切割数据与隧道掘进机性能的关系 (美)	(9)
4. 隧道掘进机研究——在岩石中盘形滚刀割槽间的 相互作用 (美)	(21)
5. 适应各种地质条件的全机械化隧洞掘进机——硬 岩样机的掘进经验 (意)	(33)
6. 岩石掘进机的研究——意大利作业情况的分析 (意)	(43)
7. 蒂森FLP35型岩巷掘进机的规格、设计、制造 与作业 (英)	(50)
8. 岩石掘进机在煤矿巷道掘进中的应用 (美)	(55)
9. 有关深水平金矿使用岩巷掘进机的某些问题 (南非)	(70)
10. 高压水射流辅助岩巷掘进机掘进 (美)	(78)
11. 高压水射流辅助岩巷掘进机掘进 (美)	(94)
12. 水炮的破岩试验 (美)	(101)
13. 采用连续螺旋钻爆机掘进隧道的研究 (美)	(109)

岩石掘进机设计与掘进作业预测 年度报告*

奥兹杰米尔, L.; 米勒, R.; 王逢旦 (美)

摘 要

本文提出隧道可钻性的试验和理论分析。

我们承担了盘形滚刀 (以下简称盘刀) 与硬岩、易碎岩石之间相互作用的一项综合的理论分析。根据切割的几何形状并假定岩石因受相邻切割而剪切破碎, 推导出决定刀具受力的预测公式。

考虑到刀具磨损的影响, 对锐刃盘刀受力的已有预测公式进行了修正。选用环形磨损面来模拟现场刀具磨损情况。

对锐刃盘刀和人工磨钝的盘刀进行了广泛的实验室试验。这些不同的切割试验结果的分析表明: 切深, 间距和刀刃角是影响刀具性能很重要的变量。刀具直径则不是重要的变量。

从人工磨钝的刀具试验中认为磨损对刀具性能的不利影响会随着切割间距的增加而减小。这就断定, 在较小切割间距时, 磨损对刀具性能更加有害。

发现某些第二位变量的相互作用特别是岩石类型的作用是存在的, 但与主要变量的影响相比其重要程度要低些。

为了模拟现场各种复合刀具方式, 借助实验手段研究了不同切割方式的影响 (方式是指一定数量的刀具以专门排列和切割顺序去切割一定宽度的岩石)。发现单个刀上的受力随着所用方式的不同而变化, 但总的切割性能是不变的。有人提出: 机器的掘进尺寸和刀数给定后, 现场的掘进性能不会受到刀盘上刀具排列的影响。

发现用推导来的预测公式计算刀具上的理论受力值, 与实验室的观察结果十分一致, 尤其是锐刃盘刀。而磨钝刀具受力在理论上的特性也与试验观察结果相符, 即在较小切割间距时, 磨损对刀具性能更加有害。

小型和大型切割结果的比例关系看来是可能的。这里要提出的是取决于岩质结构的无论是晶粒破坏还是岩体破坏的产生都会对研究比例关系的成果产生不利的影响。

从隧道掘进试验现场取得的掘进数据被用来检验现场可钻性预测的理论公式的正确性。发现, 现场的数据相当分散, 因而预测的成果不是绝对的。总之, 公式看来可计算切深的上限, 特别在低推力时是这样。

用刀具作压头进行的初步实验室压入试验, 看来有希望利用压入试验作为预测刀具受力

编注* 本报告是美国科罗拉多矿业学院掘进工程与岩土力学研究所受国家科学基金会委托而进行的一项研究工作的进展报告, 原文共313页, 在此仅转载了前后四段。

和现场掘进性能的一种简单方式。

推导出来的预测公式指出了岩石无侧限抗剪强度，尤其对刀具间距宽的机器来说，将控制掘进的困难程度。

为了最有效地综合和应用全部的理论 and 实验成果，写出了用以预测计算现场掘进性能的计算机程序。这种程序可以在给定的机器运行参数和适当的岩石性质情况下，估算出机器推进速度，单个刀具负荷，需要的功率以及由于刀具平均磨损量而减少的切深量。

引 言

世界各国对地下掘进的需求正在快速增长。迅速发展的世界人口和技术，要求提供日益增多的矿石以及提供发达国家快速都市化所需的地下设备，需要不断地改进现有的掘进技术。这就显然要求工业界和研究单位共同努力来有效地改善地下掘进工艺并探索新的效率高的掘进技术。

今天机械式隧道掘进机使真正高速、高质量隧道掘进系统的前景变得合理。特别在软岩到中硬岩范围内，这些机器以低成本达到了惊人的掘进速度。此外，隧道掘进机开挖的圆孔，不震碎岩洞，所需支护较少，岩石坍塌较少。还有超挖量少，因而对需要衬砌的隧道可有显著的节约。

然而，在硬岩中进行机械式隧道掘进仍然可成为真正连续的可靠的地下掘进手段。不精确的可钻性预测连同普通过高估计推进速度造成了机械掘进的多次失败。这种不成功的经验妨碍了承包商采用隧道掘进机进行地下掘进，尽管机械掘进比常规的钻爆法具有许多优点。

研究计划是通过实验室和现场研究，结合对刀具和岩石相互作用进行充分的理论分析来改进掘进机的性能和设计。

研究的主要任务是：

- (1) 进行刀具和岩石间相互作用的理论分析，从而透彻地了解盘刀破岩机理；
- (2) 根据上述分析的结论，推导出相应的预测公式以预计刀具的受力和现场的掘进性能；
- (3) 考虑刀具的磨损，修改推导出的公式；
- (4) 进行大量的锐刃盘刀和钝刃盘刀的实验室试验，以提供大量的十分广泛的数据来检验推导公式的正确性；
- (5) 把预测公式应用于实际的现场掘进中；
- (6) 通过实验室的试验，研究现场各种刀具布置方式对总的掘进性能的影响；
- (7) 研究从实验室的压入试验来估计刀具受力的可能性；
- (8) 进行两种切割尺寸的试验并确定是否能从一种切割尺寸来满意地预计另一种切割尺寸。

结 论

根据理论的发展、实验室内切割试验结果和现场掘进试验数据，可以得出下列结论：

1. 双斜面楔块切入岩石而形成碎片，其成因有两种解释。其一，由于楔块作用而引起的剪切破坏；其二，径向张拉裂缝扩展到表面。究竟发生的哪种破坏仍是个争论中的问题，

但至少可以认为,表面破裂是由张拉裂缝引起的。微小裂纹、劈理、层理、叶理和残余的应力集中引起的岩石内部的缺陷,对发生的破坏方式也可能起着重要作用。

2. 将在各种几何形状的盘刀下面产生的切口拍照下来,证实如同在楔块的作用下确实存在着压碎带和径向裂缝。还可看到,不论刀具刃角角度有多大,切口中心线两侧各存在着一条主要的径向裂缝,但从照片上几乎看不到所预料的初始中心裂缝,认为可能是这种裂缝最初曾产生,但当第二批主要裂缝出现时它就合上了。

3. 根据盘刀下面出现的径向裂缝的长度和方向,以及根据可能是由于张力破坏而形成的岩石表面纹理,可以断定,对于相邻切槽岩石因张力破坏是不可能的。为了直观地观测岩石破坏的正确机理,用高速摄影机拍摄了盘刀切割岩石的动作,有些大的碎片似乎是由于剪切形成的,这从碎片的逐渐旋光度(gradual rotation)可以看出。但是,也出现过与爆破相类似的剧烈碎裂作用,同时在刀尖周围有高速岩末喷出。由于挤压作用,在紧邻刀痕的岩石中,积聚有大量能量的明确迹象。对破裂面还作了微观分析,不用冲洗,这些破裂面就看得非常清楚;看来破裂是沿着晶体界面产生的。这种观测结果,似乎可以证明是张力破坏,但注意到破裂面无任何正向力,所以还得说它也是纯剪切破坏。最后,虽然没有确凿证据说明是哪一种破坏形式,但是,发生剪切破坏的证据比张力破坏的证据多,因而假定所发生的是剪切破坏。

4. 对用于锐刃盘刀的室内试验结果的方差检定分析表明:切深、刃角和间距是影响刀具性能的重要参数,发现刀具直径对垂直力的影响很小,实际上,它对滚动阻力没什么影响。

5. 在分析锐刃盘刀切割试验结果中发现,各个参数间有一定的相互作用,由于设计的限制,相互作用的影响不可能与单个参数的影响分开,这样,就会在推导的性能关系中引起较大偏差。但是,已有的相互作用不会大到足以使任何变量和因变量之间导出的基本关系发生大的逆转。

6. 发现垂直力的峰值约为平均值的两倍,而侧向力的峰值与平均值的比值则变化相当大。由此可以断定,在碎石形成过程中,刀具侧向力变化不定,是造成侧向力的峰值与平均值的比值变化不一致的根本原因,而岩石类型对比值的大小似无影响。

7. 室内试验是在SP(间距比切深)比值很大的范围内进行的。试验结果表明,刀具受力是随着SP比值的增大而不断增大。根据这些试验结果还可以确定,当刀具按最佳或大于最佳SP比值布置时,切割一定宽度的岩石用的力最小,而间距紧密的刀具使岩石造成不必要的过度破碎。因此,欲达一定的切深,就需要较大的推力。为了使掘进机在现场有效地掘进,建议刀具应按最佳或大于最佳间距布置。由于刀具磨损通常是根据滚行距离来计算的,掘进机上刀具越少,开挖单位体积岩石的刀具费用也会越低。

8. 盘形滚刀的磨损是选用环形磨损面来表示的。用人工磨钝的刀具进行的室内试验表明,一些参数的相互作用,尤其是有关岩石类型的那些参数的相互作用是存在的,但其影响与那些主要参数的相互作用是微小的;其中,最主要的是磨损对刀具受力的影响。方差检定分析指出,试验程序所包括的参数中磨损是最(原文误为最不——译注)重要的一个参数。还观测到,刀具磨损增加刀具作用力的程度,主要取决于切槽间距。室内试验数据表明,相邻切槽间距越小,磨损对刀具性能的有害影响越大。

9. 磨损作用依赖切槽间距的观点进一步被各次试验岩面的直观结果所证实。当切槽间距小时,观测到岩石在磨损刀具作用下发生的破坏几乎完全是挤压破坏。挤压破坏程度高的这一结果正好说明了输入岩石的能量高、刀具作用力大。从大间距切割试验来看,钝刃刀切

出的岩面与早期试验中锐刃刀切出的岩面非常相似。容易看得出来的唯一差别只是沿钝刃刀轨迹的岩石压碎带宽一些。

10. 模拟现场各种刀具布置方式所进行的室内试验表明, 刀具作用力随所用刀具布置方式而变, 但发现总的切割性能与刀具布置方式无关。这一结论的实际意义是: 对于一定的掘进机直径和刀具数量来说, 其掘进作业效率不受刀盘上刀具布置方式的影响。刀盘上刀具怎样布置只是影响单把刀具的作用力和机械结构的受力状态。

11. 用导出的预测公式计算的理论作用力值与锐刃盘刀试验观测值发现很吻合。但是, 用修正的预测公式来计算钝刃刀具的作用力的初始意图却是不成功的。在所试验的三种类型岩石中, 都发现预测值与观测值相差大到不能容许的程度, 以致难以断定修正公式的正确性。从各个角度反复分析这个偏差之后, 当两个力的偏差的百分数用 SP 比值来表示时, 则发现偏差有一个较稳定的趋势。计及这个影响, 就进一步修正了这个公式, 发现其结果给钝刃刀具作用力提供了较好的估计值。钝刃刀具作用力的理论状况随切槽间距增大而增大, 并与试验观测值相符, 磨损对刀具性能的有害影响随相邻切槽间距增大而缩小。

12. 为了确定能否从小比例试验结果推算原尺寸试验结果, 做了对大、小两种尺寸的试验, 并进行了比较, 观察到, 根据小比例尺寸试验描绘的预测曲线的斜率始终比原尺寸切割试验的斜率小。认为这可能是粒度 (grain size) 影响引起主要破坏型式变化的结果。显然, 对大比例尺寸和小比例尺寸切割试验结果间的换算仍需要进一步广泛试验, 特别是要在各种不同的物理和机械性质的岩石上进行试验。

13. 从华盛顿州的斯凯科米什 (Skykomish) 的一个掘进机试验工地获得了现场试验数据, 并用它来校核现场掘进机预测公式的正确性。由于现场数据极为分散, 因此, 预测成功与否不能断定。总的来说, 这一公式似乎是预测切深的上限, 尤其是小推力的上限, 因为公式假定掘进机的推力全部传给刀具, 而实际上, 诸如机器与边墙摩擦等因素消耗部分推力, 推力全部传给刀具是不可能的。当然, 机械切深随作用于刀具上的推力降低而按比例地减少。此外, 预测值却是根据锐刃刀具得出的, 故机器上刀具的磨损也会促使进刀速度比预测值低。事实上, 研究了几个任意的磨损值, 发现新的预测进刀速度与现场实际数据较接近。

14. 进行了初步的室内压入试验目的是估计实际的切割作用力。为了提供刀具与作用力之间的直接相关性, 用刀具本身做压入器。试验结果成功之处在于: 似乎很可能首先将压入作用力与那些单独切槽的作用力发生关系, 然后再与多条切槽的作用力发生关系。但是, 这个方法在力与间距关系曲线上只能给出一个点, 为了绘出完整的关系曲线, 还得需要更多的试验数据。

15. 根据预测公式, 岩石的无侧限抗剪强度有可能控制掘进的难点。刀具间距大的那些掘进机尤为如此。只有在刀具间距布置得很小时才可以认为岩石抗压强度做为一个岩石可钻性的指标, 这时, 主要的破坏方式是压碎。

建 议

建议在下列几个方面继续研究:

1. 应进一步研究岩石向邻近切槽破坏的机理。虽然, 本研究指出了有剪切破坏存在, 但论据尚非结论性的。我们认为, 光弹性模拟试验用于这方面的研究可能是有用的;

2. 为了改进用小比例尺试验结果估算原尺寸切割试验结果的换算系数, 必须用不同类

型的岩石做更多的试验。为了确认导出的换算系数的普遍性,还须用不同几何尺寸的刀具做上述两种比例尺的试验;

3. 用刀具本身做压入器简易地进行室内压入试验,把它做预测刀具作用力的一种方法似乎是很有前途的。用刀具做压入器消除了与几何尺寸变更有关的问题,而若用球齿做压入器就会出现此问题。但是,如何将一个侧限的压入试验结果变换到相邻又相互影响的沟槽情况下仍有问题;

4. 为了检验导出的预测公式的正确性,本研究最重要的建议是:广泛搜集现场掘进数据。若要工业界采用预测公式做为岩石可钻性的预测手段,这项工作就是绝对必需的。

殷耀章、黄文为 译自《Mechanical tunnel boring prediction & machine design Annual report》—Ozdemir L., Miller R., Wang F. D., 1977, PB—271978, abstract 1—2, 264—270 李瑞麟 校

全断面掘进机的新型设计

霍斯特, H. (西德)

根据美国和欧洲的成就整整十年前人们就开始研制并使用全断面掘进机,并使这种机器能采用直径大于10米的刀盘进行全岩掘进。这个目的在此期间已经达到。根据这里所讲到的技术装有滚刀的刀盘如今可以钻进各种岩石,即使遇到很坚硬的岩石与一般爆破方法相比也还没有超过经济限度。

优越性

下列优点如今不再被忽略:

- 采用全断面掘进机可达到较高的掘进速度,
- 可少使用一些人员,
- 工作安全性得到改善,
- 掘出来的毛断面质量较好。

尽管有这些成就仍然存在2个主要困难,为此机器制造者互相进行分析,以便帮助最终突破这项钻进技术。

主要困难

1. 在极端坚硬和磨励性岩石中的钻进。

目前由于刀具费用过高还无法采用机掘法进行这项工作。为了能与普通的钻爆法进行比较,每立方米岩石的刀具费用必须在50马克以下。目前还不是这样。

2. 在地质破坏区的机械掘进。

已经证明,在这些地区采用普通方法掘进效率很低,但是全断面掘进机及其附件投资大,在掘进地质破坏段很长的巷道时,由于设备无法充分利用,排除地质故障十分费工,就会在经济上担风险。

需更好了解的是目前的技术能克服多少地质破坏的部分。这些将以德马克有限公司的全

断面掘进机为例（图1）予以说明。

支撑和运输

假如在变换的岩层中需特别精确地保持掘进方向的话，那么这台全断面掘进机的双重支撑毫无疑问是必要的。如图2所见的那样，水平面（左边）上支撑板的布置是一个改进，它考虑到了经常遇到的岩石应力并避开易于冒落的地带。

以往的经验指出，采用此种装置可以不间断地掘进长的巷道，因为小的地质断层带本身不会影响到机器的掘进。



图1 一台标准的全断面掘进机的机身

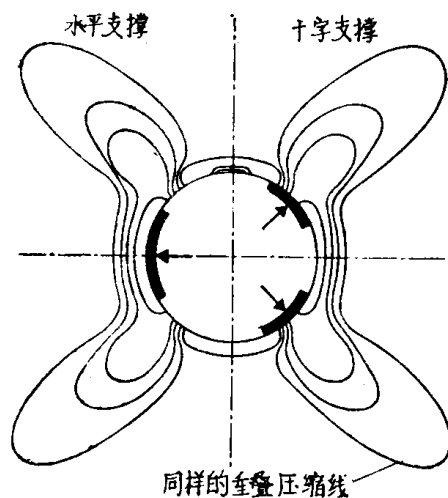


图2 从岩石应力角度考虑有利的支撑装置（左边）和不利的支撑装置的布置

还有一优点是将运输部件敷设在掘进机下面。尽管它并不能防止故障，但它便于帮助排除冒落的碎石。坑道要求经常清底，以保证机器顺利地工作。采用这种布局可以合理地排矸并能避免机器的沾污。此外通过这种布局可给掘进机上部留出空间，以便进行所要求的巷道支护工作。

加固岩层的特别措施

为了使全断面掘进机克服较大的地质破坏，需要采取附加措施。岩层的加固工作必须尽可能早些实施，最好能在水平巷道掘进前就开始。但这个问题的解决就技术上来说可惜不是那么简单的。因为全断面掘进机本身占据着空间，就不得不将就一下了。凡是掘进机进行破岩的地方，就没有进行岩层加固作业的位置。这项工作从时间和空间上看，只能放在以后来做。

还应考虑得远一些，即为了从经济着眼提高其灵活性和适应性，必须无条件使用必需的加固岩层的工作。为此应创造这种可能性，即按照具体要求选择支架的形式和安装地点，以便能同时达到最佳掘进效率。

新的设计

两年来在北英格兰已将一台德马克公司的全断面掘进机投入生产，这台机器由 Baresel 公司、Züblin 公司、A·Monk 和铝铬矿业公司所经营。隧道长度约29公里。直径3.5米。预计会遇到各种不同的地质断层。

新的设计设想，为了保护岩层，机器采用一种新式的护顶通过液压缸压向隧道顶部（图3）。这块护顶盖住整个机身并在钻进时也处于撑紧状态。它带压向前滑动。压力可在10和20千牛顿/米²之间变动。此外这个护顶装置分成三部分。这样可便于拐弯并可进行局部拆卸。

正常情况下应首先实行机身和操作台之间的岩层加固工作。为此目的这里安装了一平台，从平台可进行各种不同形式的支护，如环形支架、喷射混凝土或锚杆等。

假如护顶承受不住岩石压力，可卸下护顶的后两个部分，以便使加固岩层的作业提前进行。这里必须提及的是：对这种较小的直径仅仅只能采用较短的金属背板或环形支架来支护，此外掘进效率必然降低。采用这台机器已经掘进了4000米的水平巷道。可以这样说，这个设计初次试验，其效果已经得到最好的证实。

大直径的设计

另一种设计在鲁尔区罗森莱（Rossenray）煤矿得到应用（图4）。这台全断面掘进机已经掘进5公里多的水平巷道并由克虏伯通用建筑公司、Frölich和Klupfel公司、Walter和Wisoka协会所经营，由于位置有利的关系，这台6米直径的掘进机允许沿机体安装一个环形支架。最初曾采用了一自动化支架安装机，用这个支架安装机在工作面后面约5米的地方安装支架（图5）。各个环形支架的结构件在一金属网皮带运输机上被送进一个漏斗形装置并在那里交给一个旋转机构，由它将各个构件连接起来。采用这一装置可在10分钟以内安装一全套刚性环形支架。

但是开工后不久由于强烈的岩石变形使得这一装置失去作用。以后就决定人工安装支架。这在前支撑前面即可进行。在这种情况下支护地点离工作面距离只有2.3米。为了能进行这项工作，中间护顶要相应缩短。这种可能性事先已考虑到。这台全断面掘进机上的护顶尽量向前推移，使得工作面裸露的顶板仅有300毫米未被支撑。

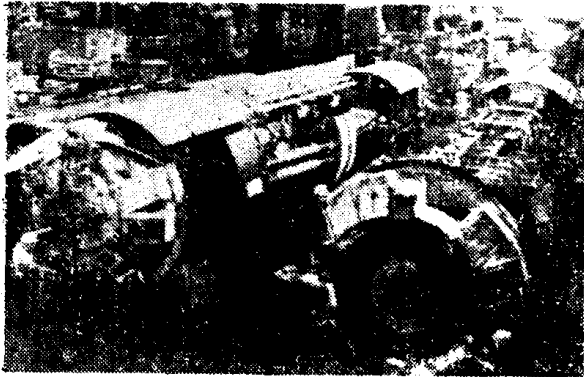


图3 带护顶装置的全断面掘进机



图4 鲁尔煤矿公司的全断面掘进机

尽管人工安装支架只能看作为暂时的办法，仍有必要提及的是：安装一个环形支架仅用了25分钟。这种支架装置允许从750到1500毫米，具有各种不同的架间距。至今仅使用750和1000毫米的距离。过去每6小时一班安装12个环形支架并不罕见。

这里非常有益的是能够使两个支撑部分相互独立地移动位置，以便能调整支护间距尤其重要的是在变更架间距时不会因为支架工作而影响机器工作的时间。

新的机械化支架安装机

作为进一步改进的是即将完成一种机械化支架安装机，将由它来代替人工作业。第一个

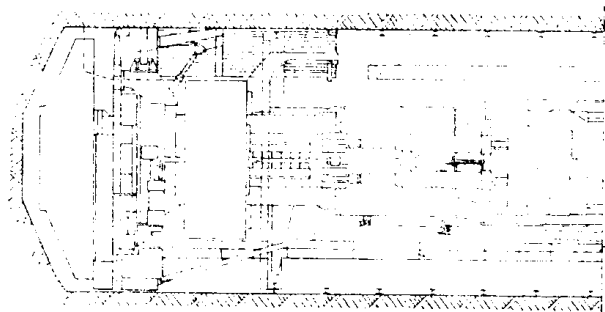


图5 罗森莱煤矿TVM54-58/60型全断面掘进机旁的自动化支架安装机

环形支架离工作面的距离仅为1.8米。这里所积聚的经验应作为继续克服地质断层的起点。

劳动组织的影响

除技术上的发展以外还应指出另一个重要的克服地质断层的可能性，这是对工作过程起决定性影响的，即“时间”这个因素。岩层加固工作是关系到岩层稳定性的问题。因此无条件的需要一个连续作业过程。这就必须谈到劳动组织的问题，怎样才能最好的使用全断面掘进机？怎样才能使保养与工作循环连接起来？

劳动组织系统的比较

至今有两种不同的劳动组织形式可在此进行一下比较。第一种情况是（图6）：24小时三班制进行掘进。只有当掘进机作业中断时，才进行修理和保养工作。

根据统计指出掘进机的利用率总计27%。只有当工程领导人员和施工人员互相最佳配合时，这种系统才能很好地起作用。其缺点是技术操作视意外故障的多少而定，各部件的技术效能未能通过系统的足够准备工作而被充分发挥。

第二种劳动组织看来是较好地解决问题的一种方式。这种劳动组织可见图7。有一班专门进行机器的维修和保养。在24小时的整个掘进工作中，连续有6小时在夜班进行维修。这里使用受过特别培养的人员。因此在配备掘进作业班的人员时重点应放在矿工的质量上。根据计划中预定的检验项目进行保养工作。根据统计证明了这种处理的正确性，在没有什么大变动的情况下机器的使用率可达50%以上。这是可能的，因为机器制造者近几年来已成功地

掘进 运输 更换滚刀 敷轨
剥岩 供电、供水、通风
保养 修理 其他

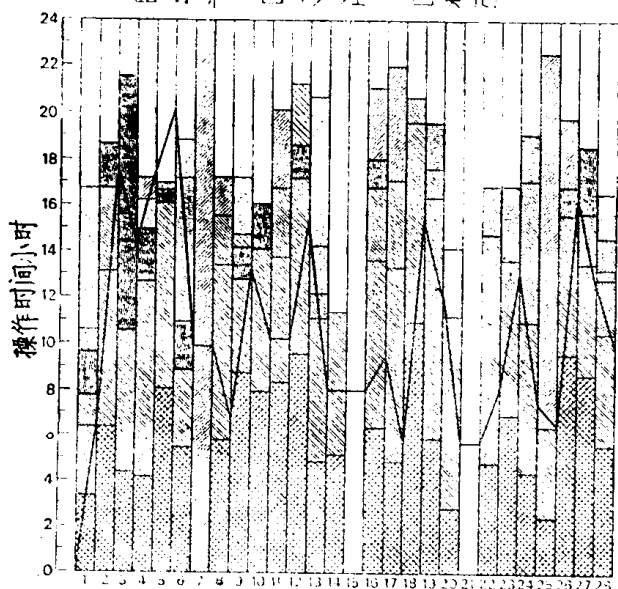


图6 根据需要进行保养和修理的24小时掘进工作制的作业图表

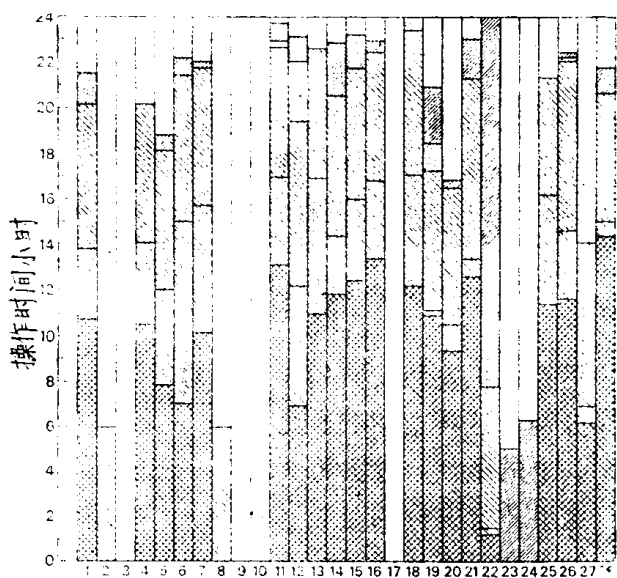


图7 采用专门保养班进行保养和修理的24小时掘进工作制的作业图表

使一些零件得到改进,以致80%达到工程要求。在这里注重一个专门的保养措施是先决条件。

标准化和计划

如果能决定统一的刀盘直径,则对隧道和平峒的施工单位都有好处。由此可减少机器尺寸的不同规格。生产者可以进行小批量的系列化生产,从而有利于降低机器的制造成本。机器的重复使用也似乎是可能的。此外做计划时还应尽早考虑机器的使用,以便在确定线路时就考虑到如何将上述技术在通过地质破坏地带时得到最好的使用。

综述

现有的、已被应用的技术已经通过了考验。在地下交通的设施、供水、排水通道的设施以及在采矿工程中越来越多地使用了这种技术,但是显然由于其费用的限制它的使用范围还不够广。为了发展现有的技术,还要走新的路子。这条路子应使掘进机能够掘进遭到地质破坏的较长的水平巷道。如能彻底地解决这个问题,则将使全断面掘进机更卓有成效地得到应用。

冯佩娟 译自Glückauf 1977, 113, Nr.2, p. 70—73, 赵国华 校

实验室切割数据与隧道掘进机性能的关系

拉 德, P.F.* (美)

摘要: 在寻找实验室数据与现场得到的数据间关系的努力中,美国矿业局进行了在不变正压力和不变切深情况下的岩石切割试验,研究了独立的和相干涉的割槽间距区,确定了最优的刀间距和临界的刀间距。在实验室的工作中,研究了独立的和相干涉的二种割槽的比能、岩屑重量、割槽深度、切割系数和岩屑大小分布的影响。在现场操作中,对推进力,扭矩,钻进速度和岩屑大小的分布等参数作了研究。在实验室切割结果与现场性能数据之间得到了令人满意的相互关系。

前 言

虽然,在过去的二十年中,已作出了重大的进展⁽¹⁾,但就当前的情况来看,地下开凿的技术状态仍跟不上其他有关领域的进展。但是,为了开发新的矿藏,开辟运送人和材料的地下运输通道,更完善的地下开凿方法是非常期望的。

目前,继续寻找完善的隧道掘进方法常常需要对每一种新的革新或新的发展作出现场的 평가。而这种评价的缺点是:成本高,时间的重复以及还需要建立在不同控制参数值情况下的操作系统,然而,用这种方法也只能取得有限的进展。

为达到节省费用和得到更快的效果,革新设备计划的评价可在实验室中用仪器装备来做

* 克莱姆森大学土木工程系副教授

出，并可重复一系列的实验；直到某一特殊设计优点的明确迹象建立为止。按照在实验室中试验新的隧道开凿技术的方向来扩大我们的工作，我们有希望在发展快速，有效的地下开凿技术上作出有意义的进展。在本文中，提出的研究和建议，目的在于使这一目标更接近一步。

在过去十年中，美国矿业局双城采矿研究中心进行了有关掘进机设计，掘进机性能的各种各样的研究计划。从1970年以来，他们很积极地参加了高级研究计划署（ARPA）的快速掘进研究计划的管理和监督⁽⁴⁾。在本文中，将ARPA与科罗拉多矿业学院（CSM）按H0210043号合同取得的一些实验室岩石切割结果，与双城采矿研究中心（TCMRC）在所内做的岩石切割试验的结果在一起讨论并表示出来。然后把这些试验结果分别与经由ARPA管理的H0210043和H0210013号合同及科罗拉多矿业学院，Holmes，和Narver，Anaheim，Calif等分别在现场做的研究结果相比较。

实 验 的 程 序 和 设 备

实验室岩石切割试验，既可按恒切深方式，也可按恒正压力方式来做。在恒切深方式中，割刀固定在相对于岩石表面相应的位置上，随着它在岩石表面上的移动，切入岩石。因此，切入深度，或叫割槽深度，是在试验开始时，预先调好的，例如1毫米（0.04英寸）。测量并记录下作为这一切入结果的正压力，割刀力和可能的割槽宽度。在恒正压力方式试验中，割刀在岩石表面移动，而由液缸产生的一个几乎不变的正压力，把割刀推向岩石表面。在这些试验中，正压力在试验时是预先调好的，而割槽深度，切割力则作为正压力的函数，被测量或记录下来。

科罗拉多矿业学院的实验室岩石切割数据，是用一台经过改装的铣床，其上装有一把6英寸（15.2厘米）盘形滚刀，在恒切深情况下得到的。切深值在0.03~0.12英寸（0.75~3毫米）这一范围，以0.33英寸/秒（8.2毫米/秒）横向速度切割岩石试样。双城矿业局的实验室岩石切割数据，是用一台特殊设计的恒推力机器上做得，其上装有一把7英寸（17.8厘米）割刀，在法向推力为7000磅（3170公斤）和3英寸/秒（7.6厘米/秒）横向速度下切割岩石。

科罗拉多矿业学院的各实验是在科罗拉多州Golden城做的，在由三个隧道所在地取得的直径为6英寸（15厘米）岩芯上做的。三个隧道是：在科罗拉多州的纳斯特隧道，芝加哥的Lawrence Avenue隧道和科罗拉多州的Climax隧道。表1列举这些岩石的一些地质数据和强度数据。双城矿业局的实验主要是在市场上买来大理石，石灰岩，花岗岩和石英岩块上做的，试样大小约为24英寸×24英寸×8英寸（610×610×103毫米）。

在实验室岩石切割实验中，加到割刀轴上的正压力和水平力，通过测量二个经适当调整的应变测量系统的输出量来测出。然后，正压力和切割力由应变计输出读数中计算出来。由带状卡片记录器记录下的切割力就是加在割刀轴上的力，如图1。这一数值与从同一机器上得到的数据来比较是足够的。如果从二台实验室切割机器上得出的结果进行比较时，那末必须要做校正。因为对不同的割刀直径和加载的几何条件，是不能作比较的。为了一致性的目的，本文中，用加到岩石表面上的力来推算比能和切割系数的数值。在岩石表面的力，或叫做岩石阻力，用在轴上测得的力乘上刀尖和轴的杠杆臂系数来确定。切割系数的数值，通过把已校正过的切割力除以正压力得到。由经校正的切割力做的总功，被总的岩屑重量来除，

可得到那个割槽的比能数值。在每一个试验中，也确定出割槽的几何尺寸数据（见图2）和岩屑大小的分布情况。

Nast隧道的现场钻进数据，由美国垦业局供给科罗拉多矿业学院⁽⁸⁾，这数据，沿着隧道长度方向，按岩石质量从劣到优被分为七个级别。这些区分是按岩石的结构和岩石均匀性情况为基础的。每班记录下并算出推进力，钻进速度，切割系数和比能。

在芝加哥的Lawrence Avenue隧道的数据，由劳伦士制造公司提供到科罗拉多矿业学院⁽⁸⁾。从这些数据中，计算出前进速度和比能。

岩屑大小分布情况，由Holmes和Narver公司从现场收集的样品中获得⁽¹⁾，这些样品取自岩屑离开掘进机皮带机的地方。岩屑被送到各商业实验室，按ASTM C136-67标准方法进行试验，用筛分来区别粗细。

表1 岩石试样的性质

岩 石	地 质 种 类	抗 压 强 度		视在密度 (克/厘米 ³)	肖氏硬度 (回跳硬度单位)
		千磅/英寸 ²	百万牛顿/米 ²		
田纳西大理石	Holston石灰岩	10.4	71.4	2.69	49.5
Valders石灰岩	科德尔白云岩	15.7	108.4	2.55	56.2
	马尼斯蒂克地层				
角闪黑云	St. Cloud灰色	26.6	183.4	2.72	84.4
花岗闪长岩	花岗闪长岩				
巴雷花岗岩	巴雷花岗岩	31.9	220.2	2.64	102
Sioux石英岩	Sioux石英岩	81.2	559.2	2.64	89.1
纳斯特隧道	细粒花岗岩	13—24	89.5—165.5	2.65—2.69	—
Lawrence Avenue 隧 道	细粒石灰岩	8.0	55.1	2.81	46

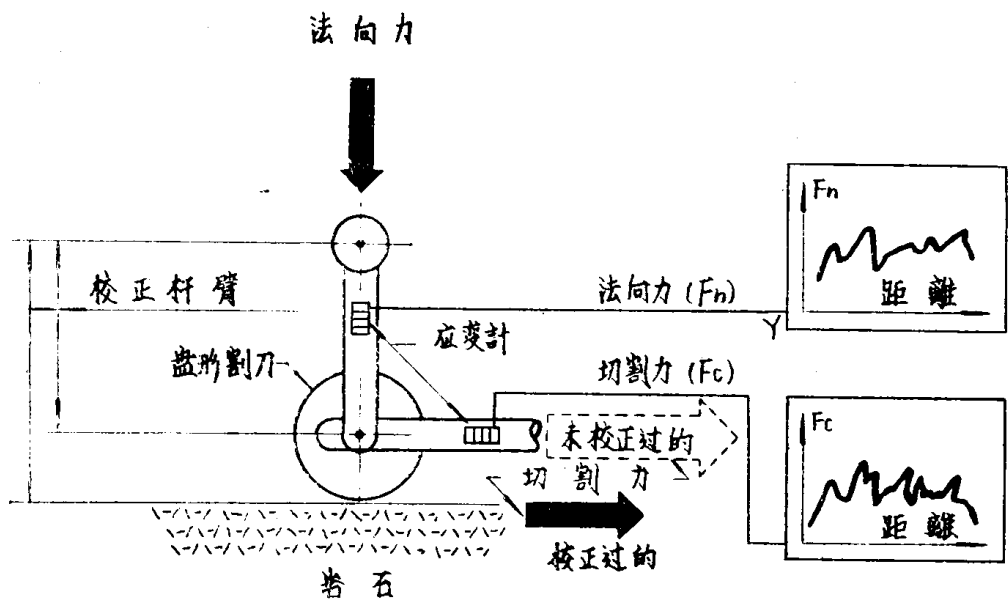


图1 线性割刀装置仪器简图

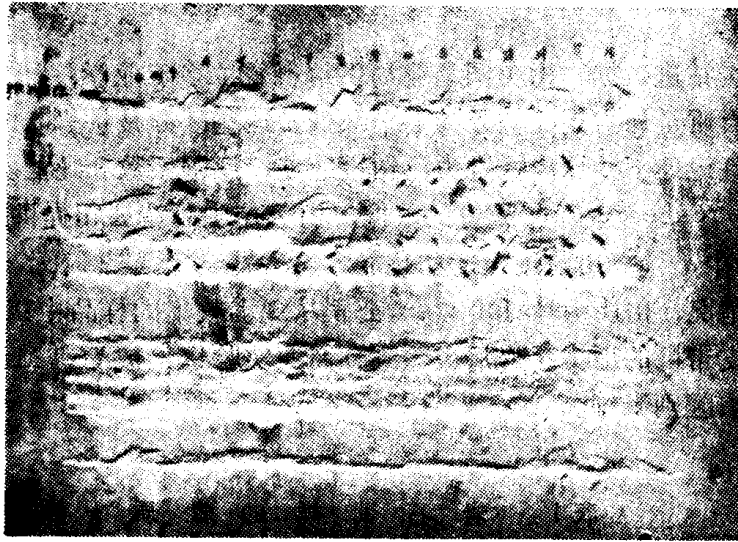


图2 在石灰岩中割槽的外貌（依照Rad与Olson⁽⁶⁾）

结 果 和 讨 论

在一特定的岩石上，滚动岩石切割元件的性能通常取决于正压力，割槽深度，割刀直径，盘刀的包角，切割速度，槽距和割刀的锐利程度。这些参数互相都有关系，以致如果某一个参数增加了，可以通过减少另一个相应的参数来保持切割性能不改变。有时，可有规则地改变二个或三个参数而不影响整个切割性能。此外，Rad和McGarry⁽⁵⁾，Rad和Olson⁽⁶⁾指出，为了切割过程的特殊方面的研究目的，若干个这种参数，例如，比能值，切割系数，岩屑大小分布等，可以有规则地从它们的现场数值中降低，而不显著的影响其切割结果。

割刀设计的一个更重要的特性是环境，在这样环境下，割刀能很好地工作，而对另一些环境，割刀便不能很好地工作。Rad和Olson⁽⁶⁾将切割性能作为间距的函数进行了研究，并划分了三种基本性能作用区。研究结果表明，割槽间距的增加，类似于增加切割速度，增加割刀直径和割刀的包角，也类似于减少正压力和割槽深度。这发现表明，不管改变什么参数来得到不同的性能水平，这里讨论的概念对实验室和现场研究都是适用的。

性 能 作 用 区

对一定的割刀直径，一定的正压力，平行割槽间存在一个临界的间距。临界间距是二个槽之间不产生干涉的最短距离，如图3所示。换句话说，临界间距即是二相邻槽间发生干涉的最大距离。在间距稍为大于临界间距时，二槽变得互不干涉，而在间距稍为小于临界间距时，二相邻槽间有相互劈裂作用。在二互相干涉槽间，由相互劈裂形成的碎片，比二个不相干割槽产生的碎片要多得多。也即是在相干涉区，岩屑量比不相干涉区要多得多，因而比能值比不相干区的比能值为小。如图4示。对于比能和岩屑大小，在临界间距时和较大间距的不相干割槽时，经确定，是相同的。

对于每一组切割情况，都存在一个最优间距，在此间距下，可得到最大岩屑量，最低的

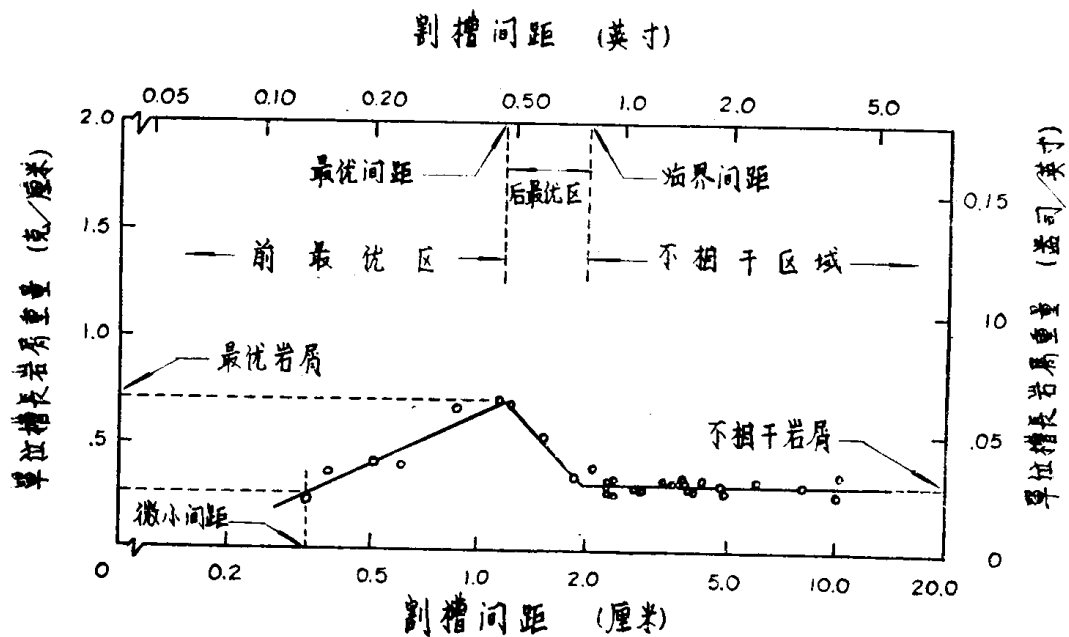


图3 灰花岗岩由岩屑重量定义的性能区(依据Rad与Olson⁽⁶⁾)

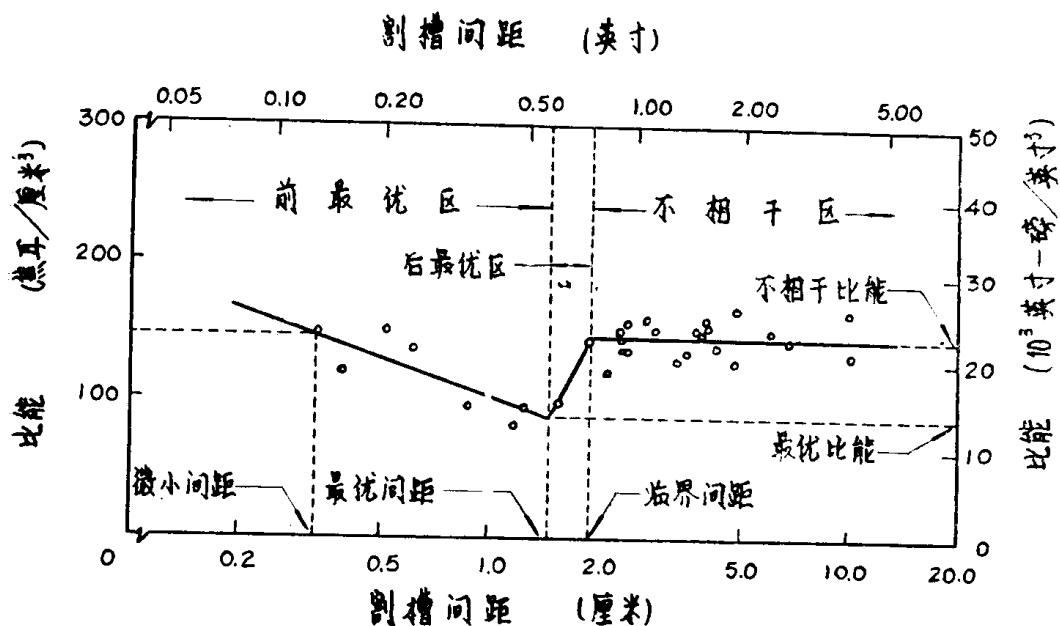


图4 灰花岗岩由比能值定义的性能区(依据Rad与Olson⁽⁶⁾)

比能值,如图5示。对割槽的最优间距稍作增减,都会产生降低切割效率的后果。

随着割槽间距减小到临界间距以下,碎片的平均尺寸从在不相干间距下产生的碎片尺寸不断增大⁽⁷⁾,但是,如果间距值小于最佳间距,最大碎片的尺寸将受到割槽间距值的控制,因此,较小间距时的碎片尺寸也较小^(5,7)。为方便区别前最优区起见,用在每一系列中的最小间距被任意地叫做微小间距。对这间距下的岩屑数值,比能值等已作过适当地报道。

虽然,割刀在前最优区范围工作时,会受到相当大的侧向力,但设计一个使割刀在前最优区工作的机器有时仍是需要的。因为在这样一个设计中,如果切割条件变坏(正推力下降,