

隧洞联合掘进机

三門峽水工机械厂編譯

科学出版社

157.16
153

隧洞联合掘进机

三门峡水工机械厂編譯

科学出版社

1972

隧洞联合掘进机

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1972年5月第一版 1972年5月第一次印刷

定价：0.60元

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

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。

……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国的社会主义革命和社会主义建设的新高潮已经兴起。工农业生产出现新的高涨，战备工作进一步加强，无产阶级专政越来越巩固，我国人民的革命精神越来越旺盛，我们伟大的社会主义祖国，欣欣向荣，蒸蒸日上。

从事隧洞工程的广大工人、革命干部和革命科技人员，坚决响应毛主席“**备战、备荒、为人民**”“**抓革命，促生产，促工作，促战备**”的伟大号召，发扬继续革命、不断革命的战斗精神，正在开展一场隧洞快速施工的群众性技术革新运动，为发展国民经济的第四个五年计划和战备工作作出贡献。

在这次史无前例的无产阶级文化大革命中，从事隧洞施工的广大工人、革命干部和革命科技人员，遵照伟大领袖毛主席关于“**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**。”“**独立自主，自力更生**”的伟大教导，以两个阶级、两条道路、两条路线斗争为纲，狠批了叛徒、内奸、工贼刘少奇的“爬行主义”和“洋奴哲学”，怀着一颗无限忠于毛主席的红心，发扬了敢想、敢说、敢干的革命大无畏精神，创造了一系列具有我国独特风格的新型的隧洞开挖机械。其中特别是“隧洞联合掘进机”的迅速发展，为我国的隧洞快速施工闯出了一条崭新的道路。

隧洞掘进机是一种新型的隧洞开挖专用设备。它的特点是：全断面机械破碎，联合作业，连续掘进。比之常规施工方法，它具有掘进速度快，洞壁匀整，超挖量小，操作安全以及可

以大大地降低工人的劳动强度和改善工作条件等等一系列极为重要的优点。可以说是目前隧洞开挖中一种较为理想的机械专用设备。

为适应我国隧洞工程施工技术的迅速发展，我们遵照毛主席关于“**洋为中用**”的伟大教导编译了《隧洞联合掘进机》一书。其中着重介绍了美国目前制造的各种型式的掘进机及其使用概况，存在问题和今后发展的趋势。以供从事隧洞开挖工程的同志们参考。

在编译过程中，我们遵循毛主席关于“**对于外国文化，……应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化**”和“**排泄其糟粕，吸收其精华**”的伟大教导，对原书一些资产阶级的观点和宣传性的部分作了删节，力求做到简明地反映出目前国外隧洞掘进机的技术发展概况。但由于我们毛泽东思想学得不够，业务水平有限，其中不免有不妥之处甚至错误，希望革命同志们批评指正。由于原书在介绍技术概况的同时渗杂了一些资产阶级观点和宣传性的东西，因此我们也希望广大读者在参阅本书时，要以马克思主义、列宁主义、毛泽东思想为武器，对本书叙述的内容进行分析、批判，吸收对我们实际工作有益的东西，为我所用。

水利电力部第十一工程局

三门峡水工机械厂革命委员会

一九七一年十二月

目 录

前 言	(i)
第一部分 用掘进机开挖的岩石分类法及其 可切割性	(1)
用掘进机开挖的岩石分类法	(1)
硬岩可切割性的分析	(10)
巷道掘进机的岩石切割原理	(27)
第二部分 几种隧洞掘进机的介绍	(68)
“加尔惠德”隧洞掘进机	(68)
“罗宾斯”隧洞掘进机——现状及其将来	(85)
“贾伐”隧洞掘进机	(112)
用于弯曲坑道掘进的激光控制测量	(117)
第三部分 几种隧洞掘进机的使用状况	(127)
在“马瑟”矿中机械开挖竖井和巷道的经验	(127)
“罗宾斯”掘进机在“奥索”隧洞工程中的使用情况	(138)
在“纳伐乔”，“印第安”灌溉工程中的隧洞开挖 (“休斯”-“蓓蒂”1型隧洞掘进机使用概况)	(144)
“哈伯格尔”隧洞掘进机的使用情况	(149)
在白松铜矿中的巷道开挖	(162)
用掘进机开挖竖井的情况	(166)

“赫克拉”矿山工程实例的调查·····	(168)
白松矿的掘进采矿(实例调查)·····	(192)

第四部分 对掘进机的基本要求及其今后的 发展方向 ·····(212)

隧洞掘进机的可靠性要求·····	(212)
关于隧洞掘进机的一些简评·····	(221)
在硬岩中竖井钻掘问题·····	(222)
“休斯”掘进机的发展·····	(224)
关于掘进机今后发展方向的讨论·····	(232)
开挖岩石隧洞的“PH”法·····	(241)

第 一 部 分

用掘进机开挖的岩石分类法及其可切割性

用掘进机开挖的岩石分类法

用掘进机开挖隧洞时，不能完全抛弃用常规方法开挖隧洞所需的地质资料，因它对于掘进机开挖来说，还是必需的。

用常规方法开挖隧洞的经验表明，隧洞掘进速度及工程费用几乎是直接同岩石的质量和实际遇到的地下水情况有关。一般隧洞开挖所选择的施工方案或施工期间可能采用的施工方法，不外乎是全断面掘进，上导洞分层开挖或多头掘进作业等，它们在很大程度上是取决于地质条件的恶劣程度。

在掌子面后方用来稳定地层所需的支撑形式及数量也是与地质条件相关的。支撑方式有锚杆栓固的模板，轻型钢支撑，以及采用密集分布的全封闭重型钢支撑和顶拱支撑等。在许多情况下，还必须用顶拱支柱、桩和胸墙来推进工作面。在隧道顶部和上部洞壁及时地喷射混凝土是最新的发展，它可以成为临时性支护，也可以是永久性支护。

地下水的流入，影响了地层的稳定性，降低了掘进速度，并降低采矿工程队的总工作效率。按照隧洞的倾斜度和排水量使用水泵排水，其费用也是极高的。在竖井中使用水泵就更成问题。为了排除地下水的不利影响，必须经常到掌子面前方灌浆，这一方法虽然可以减少地下水的流入，但大大增加了开挖时间，而且工程费用也增加了。地下水并非均匀地分

布在整个岩体中,而是集中在少数地带,一般宽度只有几米到十几米,在某些例外场合中可到几百呎。偶然也发现地下水的流向几乎与隧洞平行,此时遇到的恶劣地层就要比在宽度和厚度方面的恶劣地层要长得多。经常发生的情况是掘进工作由一优质岩石地带到一劣质岩石地带时,施工人员没有时间采取必要的措施或采用相应的施工方法以适应新的情况。为此,可以认为在掌子面前方进行钻探,是有价值的。一个大型隧洞工程用一般开挖方法施工,如遇到恶劣地层或地下水时,其掘进速度可由正常的 9、12 或 15 米/日,减少到 1.5 或 3 米/日,一般也要减少 1 米/日。显然,对恶劣地区的数量和性质推断的准确程度,将决定设计与实际施工时间和费用的接近程度。

上述是应用常规方法开挖隧洞的经验。而这种经验是否也适用于掘进机开挖呢?我们认为也可以。由于用掘进机挖洞,不会有因爆破而增多的裂纹,或使已有的裂缝扩大,因而对岩石缺陷的影响将减少,而且挖出的洞形是圆的,这是一个比较有利的形状。从这些情况看来,掘进机挖洞可减少事故。但掌子面上以及在刀头之间与靠近刀盘后面的洞顶的岩石仍会有滑落和崩落现象,这种情况是在岩石的节理和层面十分接近于开挖面时发生。在崩落地区也会出现岩石的挤出和折裂现象,这些情况和地下水的危害一样,将会在各方面妨碍掘进机的作业。

用常规方法挖洞,岩石硬度可以不必多加考虑。虽然钻头磨损,钻孔时间和爆破数额是随着岩石硬度和强度的增加而成正比和反比,但这些问题与支撑问题相比较还是次要的。加之人们已经积累了足够的经验,可以对一般遇到的各种岩石种类进行合理的估计。当用掘进机开挖时,岩石硬度指标是表示岩石对于切削,破碎和研磨的抵抗能力,这确实是很

重要的问题。岩石硬度影响了掘进速度,而更重要的是它对刀具费用和掘进机停歇时间有影响。对于中等硬度以下的岩石,正在迅速地积累一些可靠的经验。而对于高硬度岩石的经验还是十分有限的。对于那些已是成熟可用的硬岩方面的经验,应当迅速地加以总结,并介绍给有关的工程界。在下面章节中,有关岩石分类的问题,将从两个观点出发来进行讨论,即岩石的总质量和岩石的硬度。并从这两方面对岩石进行试验性的分类。

一、岩体的质量

对于工程设计和施工来说,岩体的总质量不但取决于岩石原始试样的性质,更重要的是取决于岩层不连续性的数目,种类、走向及位置。绘制地质图和用岩芯钻探进行地球物理学研究,可以得到有关估算岩石质量的资料。除使用地质资料说明外,采用某种形式的数字指标来表示更为有用。最通常的指标是岩芯回收百分比*。使用这种指标所存在的问题是,岩芯回收百分比的数值不高。这种情况不单单是由于岩石质量低劣一个因素造成的,还可能是由于其它因素。譬如由于钻井设备或钻取程序的原因所造成。同样一个较高的岩石回收百分比也不能完全表明就是优质的岩石。曾在一个严重风化、蚀变和充满粘土的断层带中见过 100 % 的岩芯回收百分比。因此这个数据就没有多大意义了。

为了克服这些问题而提出了修正岩芯回收百分比的规定(即岩石质量指标 RQD)^[1],在这个规定中只考虑计算一定长度或比其更长的岩芯,而短的岩芯都归因于岩石非连续性的

* Percentage of core Recovery——译者著

出现,例如剪碎带、断层、节理等,在这些地质缺陷同时出现的地方,岩石质量便下降,需要支撑的数量也将要增加。有用的及可以使用的岩芯长度选定为 101.6 毫米,凡小于此尺寸的岩芯在本系列中不予应用。凡大于此尺寸的属于化学蚀变的也不用。换句话说,就是只用原始的坚固的岩样。假若在钻取岩芯操作中岩心断裂,使一根本来应为 21.3~24.4 毫米含有两个节理的岩心,变成一根有新断痕的长度为 76.2 毫米的岩心。按照这个规定,这些岩芯是不能使用的,这样也未免太浪费了。因此,若能确定断裂的原因是钻孔操作或搬运损断,则这断开的两根还可以合为一根应用。“RQD”已被认为是说明岩石质量的一个比较可靠的和比较精确的指标。修正岩芯回收百分比的计算程序,可用一例题说明,如确定某个岩体的“RQD”数值,岩芯取样总长为 3048 毫米,长度大于或等于 101.6 毫米的岩芯为 1727.2 毫米,则“RQD”指标为 57%。经验表明,在工程设计和建筑施工中岩石总质量可以用“RQD”的数值来表示。近似地说,“RQD”修正岩芯回收百分比在 0~25% 为最劣岩石,这在近地表的风化岩,剪碎带和断层带中可以找到。“RQD”值在 25~50% 列为劣等岩石; 50~75% 列为一般岩石; 75~90% 列为良好岩石; 90~100% 列为优质岩石。

显然,岩石裂缝的走向和隧洞掘进的方向在本指标系列中也必须考虑在内。

一条隧洞,其岩石的“RQD”值为 0~25%,就可以预计会碰上岩石的挤出现象,该处将是折裂地层或流动性地层,需用重型钢支撑。甚至需进行表面加固或顶拱支柱。“RQD”值在 25~50%,为劣等岩石,正常施工中要求使用钢支撑。“RQD”值在 50~75% 时,为一般岩石,对这类岩石要使用什么支撑是经常碰到的问题,施工单位一般是采用钢支撑,采用的支撑

间距为 1.5~1.8 米。由于这类岩石有很多节理,在节理上经常有风化和蚀变,因而石块能滑出,这即为真正的带有裂纹的块状地层,设计人员在这类地层上经常采用岩石锚杆。当“RQD”值在 75~90% 时,为良好岩石。例如一般良好的花岗岩,除个别地方需用锚杆外,不需任何支撑。

施工中还有另一种岩石分类法,即在钻孔中测量地震速度并加以比较。例如,从洞底到洞顶上面的某一深度,或从一个钻孔到另一个钻孔,将孔内地震速度与实验室测量一原始岩芯试样的地震速度相比较。在实验室测量时,所取试样应在规定之轴向载荷下进行,此载荷应等于估算的工地覆盖层压力。对于一块巨大的,只有少量节理的、坚固的和新鲜的岩石,工地与实验室测得的地震速度之比值是常数,并等于 1,或接近于 1。但在剪碎的或轻度蚀变的岩石中,孔内地震速度便降低,速度之比值也变小。如果将此比值自乘,便与动模量成正比,则可见由此法所得到的岩石质量数值几乎与用修正岩心回收百分比所得的数值相同。因此,在工地有两种独立的指标,合在一起,就能够得出岩石质量的范围和百分比的概念。人们认为这两种方法对于岩石分类来说都比单纯使用地质资料更有价值。但是,也必须按照工地编制的地质地层图和地质结构图,由测得之各点按外推法来估计未测部分岩体的情况。用地震速比法确定岩石质量在将来可能是一种确定掘进机前方岩石质量可用的方法。在掘进机推进过程中可以连续地在掘进机前方钻孔,并进行地震速度测量。现在,掘进机已经具备,但测量仪器还有待于研究发展。

二、岩石的硬度

第二个问题是岩石的硬度。用掘进机开挖隧洞时,岩石

的平均质量与用常规方法开挖时同样重要而且不能忽视，随着盾构设计的进步以及各种技术的综合应用，将来掘进机在工作时一定能够克服各种变化的岩层，但目前仍有困难。在确定用掘进机开挖一条隧洞的难易程度时，岩石的硬度是一个重要因素，因为掘进速度和刀具费用都受到岩石硬度的影响。但岩石硬度的特性还难于掌握。它无法用一个叙述，一个试验来精确地和完整地下一个定义或确定其指标。按照试验的方式不同，可以规定各种不同的硬度指标，如现有刻痕硬度，回弹硬度，擦痕硬度和磨蚀硬度等等。无疑还会有其它命名的硬度。金属与陶瓷工业已经在硬度方面做了许多工作，并建立了一定的标准的试验方法，其中大部分已列入“ASTM”标准。岩石研究人员在研究岩石硬度和可钻性时曾部分采用过这些标准，或修正使用，也曾由他们自己创立了一些标准。

“塞米特”锤(Schmidt Hammer)是回弹锤的一种型式，最初它是在混凝土工程中用来确定拆模时间和确定混凝土强度系数的。这种测量硬度的仪器只有手电筒一样大小，它的锤击能量只有大型混凝土锤的四分之一。由于混凝土锤能将大部分强度低的岩石击碎，因而锤击能量小些是必要的。

另一种硬度计是肖氏硬度计与上述原理相同，但顶部有一只直径为 6.4 毫米的小金刚石。它由吸力提升至 305 毫米左右，然后再落下，撞击岩石并回弹。回弹高度与岩石的结构模量、强度和其他性质变化有关。岩石硬度与测试方式无关，但在原子和分子等级下的进行测试时，它与岩石种类和内力大小有密切关系。岩石内部是多晶质物质，它的硬度和其它物理性质受单个颗粒的性质以及这些颗粒间键化性质和键化强度的影响。因此，一种岩石的各种不同物理性质之间存在着相互的内部关系，如压缩强度，拉伸强度，单位重量，模量，

声速以及用不同的试验方法所测得的各种硬度等。所以如此，是因为这些物理性质是由岩石的内部结构及键化条件决定的。当等级不同的岩石混和在一起时，它们物理性质的内部关系是不容易表现出来的，因为它们的物理性质的各种数据错乱了。不同种类的岩石不只是由于本身物理性质不同和所含的矿物质有差别，而是这些矿物质颗粒在结构和构造上的排列和在矿物质的键化强度方面彼此之间也有很大的变化。同时还需考虑矿物学和孔隙度对于岩石密度和岩石磨蚀硬度的影响。假若岩石是一种孔隙度高和密度很低的砂岩，就是说它的键化作用很差。孔隙度高，则磨蚀硬度低。增加水泥(粘结剂)用量或加强压实作用可使干态密度和磨蚀硬度提高。然而，也有这种情况，当孔隙减至零时，孔隙度也接近于零，而密度提高却很少。但是颗粒和粘结材料的相互关系上却发生了重大的构造变化。因此，密度变化很小，磨蚀硬度的变化可以很大。例如砂岩可变为正石英岩或准石英岩，变化范围是很小的。但说明了一个事实，如粘结材料是氧化硅，则大部分砂岩都是石英，而其密度不超过 2.6 吨/米^3 。

关于石灰岩的内部变化，先研究了一块用方解石粘结剂进行弱粘合的多孔方解石晶体。当增加粘结压力和粘结量时，石灰岩的密度可达到比砂岩或石英岩还高的数值。理由很简单，石灰岩是由方解石组成的，它是一种较重的矿物。但是，提高密度和减少孔隙度后，而磨蚀硬度却增加很少，因为方解石在各个阶段上都是相当软的矿物，它较容易磨蚀。花岗岩和流纹斑岩是由熔融状到固体状的变化而形成的，单位重量大约与石英岩相同。当矿物学上由花岗岩或流纹斑岩变为安山岩，再变为辉长岩或玄武岩时，干态密度增加了，但磨蚀硬度却变化很小，因为它们的矿物组织成分的抗磨蚀性比石英岩小。在很多情况下，由于叶理，层理和片理等变质作

用引起的岩石构造变化,会出现密度低和磨蚀硬度小的现象。上述砂岩和石灰岩的物理性质间的关系显然是受孔隙度和密度的影响,但在其他岩石上的这种关系首先是受矿物学和岩石构造的影响。另一关系是以对数计量的弹性模量与岩石不固定的挤压强度之间的关系。对某种岩石进行上述试验得到的一系列数据在关系曲线图表上是一分散的带,如花岗岩带,玄武岩带等。因此,可以得出一个可用的弹性模量与强度之间的关系曲线图,但是它同依据矿物学及岩石构造所得的结果有很大的出入。

一般地说岩石的回弹硬度不足以判断某种岩石对于切割的抵抗能力。由于用挤压强度来测得的凝聚力和内摩擦角是重要的,因此必须使用某种仪器来测量其挤压强度。同时凝聚力也需测量,因为岩石的凝聚力能抵抗岩石被撕裂。使用一台标准的摩擦试验仪,将 NX 岩心切成片状,并在试片上钻一小孔,让摩擦仪回转 400 转,将手轮转过另一位置,再回转 400 转,然后测量试片失去的重量。

正在编制一张岩石分级图表,其内容是,挤压强度由很高到很低,磨蚀硬度由最高到高、中等直到低硬度的各种岩石。与其它方法相比较,这种图表能更好地对岩石的抗压、抗磨性能进行分级。例如将一石英岩和一石灰岩的试验数据绘制于该图上,可以清楚地表明,虽然两种岩石的强度都是相同的,但石英岩的抗磨强度为石灰岩的 15 倍,人们认为这种分级方法是可靠的。

今后的几年中,希望有更多的岩石分类法出现。这样,就可与一些制造切割岩石用的刀具和掘进机厂合作制定一种岩石分类标准,在这个标准中将用上法试验并分级,然后送给那些使用自己一套特殊方法的矿山,并研究他们的试验与此特定方法之间的关系。

参 考 资 料

- [1] Dhere, D. U., et al., "Design of Surface and Near-Surface Construction in Rock," *Failure and Breakage of Rock*, **AIME**, New York, 1967, pp. 237--302.