

586757

〔苏〕 A. T. 基谢列夫
И. Н. 克鲁西尔

地质勘探井 的回转冲击钻进

地 质 出 版 社



地质勘探井的 回轉冲击钻进

A.T.基谢列夫
〔苏〕
И.И.克鲁西尔

韩军智 朱栋梁 译
李 询 校

地 质 书 局 社

内 容 简 介

本书研究了回转冲击钻进技术和工艺的最新状况,以及提高效率的途径。对用冲击脉冲进行钻进的方法作了分析。提出了钻进各种岩石的合理参数规范,推荐了最佳钻进的操作方法。阐述了有关钻孔弯曲和取心工艺问题。列举了在不同条件下进行回转冲击钻进的技术经济效益。最后,论述了回转冲击钻进的主要发展方向和前景。

本书供从事固体矿产地质勘探部门的钻井工程技术人员和科研工作者阅读。

ВРАЩАТЕЛЬНО-УДАРНОЕ БУРЕНИЕ ГЕОЛОГО- РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

А.Т.КИСЕЛЕВ

И.Н. КРУСИР

МОСКВА «НЕДРА» 1982

地质勘探井的回转冲击钻进

〔苏〕 А.Т.基谢列夫 И.Н.克鲁西尔

韩军智 朱栋梁 译

李 洵 校

责任编辑:冯士安

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行,各地新华书店经售

开本: $850 \times 1168^{1/32}$ 印张: $3^{11/16}$ 字数: 94,000

1985年11月北京第一版·1985年11月北京第一次印刷

印数: 1—2,130册 定价: 1.10 元

统一书号: 13038·新195

目 录

绪 言 (A·T·基谢列夫)	(1)
第一篇 钻进过程的研究 (A·T·基谢列夫, И·Н·克鲁西尔)	(6)
一、应用液动冲击器的主要方向	(6)
二、冲击脉冲对回转状态中岩石破碎工具的作用	(16)
三、关于施加到金刚石碎岩工具上的冲击脉冲与钻进 工艺要求减少振动和冲击之间的矛盾	(21)
四、用单个切削具破碎岩石	(23)
五、冲击脉冲的频率	(28)
六、钻进过程的研究	(35)
七、钻进过程中的合理冲击能量值	(43)
八、回转冲击钻进的实质及其特性	(50)
第二篇 回转冲击钻进液动冲击器结构的研究 (A·T·基谢列夫)	(52)
一、提高冲击频率可能性的研究	(52)
二、样机参数的分析研究	(57)
三、在试验台上研究和试验样机	(59)
四、研究空蚀现象及消除它的影响	(71)
五、高频液动冲击器结构的基本原理的研究	(75)
六、阀组合件	(76)
七、活塞面积的确定	(77)
八、ГВ-5型和ГВ-6型液动冲击器的结构作用原理和技术 特性	(78)
九、ГВ-5型和ГВ-6型液动冲击器在试验台上的钻进情 况	(81)
十、液动冲击器在孔内工作情况的研究	(82)

十一、技术经济效果.....	(83)
第三篇 钻进工艺 (A·T·基谢列夫, И·Н·克鲁西尔)	
.....	(87)
一、最优化标准及试验方法.....	(87)
二、岩石可钻性及其分级.....	(89)
结 论 (A·T·基谢列夫)	(107)

绪 言

近年来，在苏联和国外对使用液动冲击器的液动冲击-回转钻进技术和工艺的发展极为重视。

苏联各部门，如第聂伯罗彼得罗夫斯克的阿尔金矿业学院（在Е·Ф·爱泼斯坦，В·Г·亚索夫领导下），斯科钦斯基山地工程研究所（在В·Б·索科林斯基领导下），斯维尔德洛夫斯克的瓦赫鲁舍夫矿山研究所（在Г·Н·涅乌达奇，А·Н·巴茹京和Л·Г·绍罗霍夫领导下）和哈萨克矿物原料研究所（在Б·Е·斯科鲍奇金领导下），研制了一系列适用在固体矿产中勘探钻进的液动冲击器样机。

全苏钻探技术科学研究所和莫斯科的以И·М·古勃金命名的石油、天然气研究所（在А·И·塔吉耶夫，Д·Д·巴尔坎，А·М·阿沙斯基，В·И·纳扎罗夫，Ф·Ф·沃斯克列先斯基，В·М·斯拉夫斯基和В·Д·科鲁格洛夫领导下），为勘探石油和天然气也制造了液动冲击器的试验样机。

这些研究单位，研究了液动冲击器的工作循环过程，设计出单个部件及其计算方法。

苏联地质部专业设计局对液动冲击钻进的研究工作（开始时，由Л·Э·格拉夫领导，现在由А·Т·基谢列夫领导），已发展到了重要阶段。这个阶段的特点是综合地解决了有关技术问题。除了设计液动冲击器、研究其工作过程和计算数据外，还对岩石破碎工具、辅助机具及钻孔结构和钻进工艺等进行研究。上述各个科研单位的理论和实验成果正在得到应用，而其中的部分问题有的已经解决，有的正在协同进行解决。

这样做取得了良好的效果。首批生产了液动冲击器、岩石破碎和辅助工具。获得了较好的参数指标，拟定了液动冲击钻进的基本工艺。在工作中，积累了在生产条件下使用这些机具的经

验。

在这一阶段中，试制和批量生产了Г-3А、Г-5А、ГМД-2和ГВ-2型等四种类型的液动冲击器及К5БМ-6、К19М-4、К24М-6、ГПИ2М、ГПИ34М、ГПИ48М、Д4М-3和4ДГ-115К型等八种类型的钻头和凿子，以及岩心提取器和硬质合金打捞器。

全苏生产联合体《地质技术联合》（ВПО《Сонзреготе-ника》）实验工厂和化工石油机械工业部的Ф·捷尔任斯基机械制造厂，批量生产了液动冲击器、岩石破碎和辅助工具。

试制的机具经实验证明，其技术经济指标，比前些年使用钢粒钻进的指标高：

机械钻速	2~4
回次进尺长度	1.4~1.8
钻进速度	1.5~2.0

同时，每米的钻进费用降低了20~25%，由于大幅度地降低了钻孔的弯曲程度，所以提高了钻探工程质量。

苏联首创的液动冲击钻进技术，被认为是世界上一种独创的钻进方法。

但是，在1969~1970年间，采用液动冲击钻进的工作量增加并不多，稳定在每年十千米到十一万米的水平上。其主要原因是：

1. 勘探钻进方法正在由钢粒钻进向金刚石钻进过渡，钻孔直径缩小到76mm和59mm；

2. 在可钻性为10~12级和4~6级岩石中进行液动冲击钻进时，其效率较差；

3. 采用泥浆冲洗液时，液动冲击器的工作性能不稳定；

4. 难于为液动冲击钻进的有效工作提供足够的冲洗液量（250~300l/min）；

5. 钻进技术和工艺较复杂，增加了设备和钻具的重量。

对上述情况进行详细研究后，认为这种先进的钻进方法，仍具有进一步发展和在地质勘探钻孔方面普遍使用的前景。

为此，需要采取的主要任务是：

1. 缩小和订正液动冲击器和岩石破碎工具的直径，使其适应于小口径回转钻进的标准；
2. 降低冲洗液的需用量；
3. 简化冲击器的结构，并提高其工作可靠性；
4. 研制适用在泥浆洗井中有效工作的液动冲击器；
5. 设计适用在可钻性为4~12级岩石中，进行液动冲击钻进的工具和合理的工艺。

解决上述任务的困难，不仅在于难以制造出性能可靠的，适用于泥浆冲洗液的小口径液动冲击器，而且还必须使其像采用轻合金钻杆的高转速回转金刚石钻进和绳索取心钻进等先进工艺那样，具有竞争能力。

解决上述问题必须在设计开始之前，对液动过程、液动冲击器参数、破碎岩石的机理和钻进工艺等进行广泛的理论和实验研究。同时总结以往制造的液动冲击器在设计和生产使用方面的经验。

研究这些问题的主要工作是由全苏生产联合体《地质技术联合》专业设计局（СКБ ВПО《Совгеотехника》）与哈萨克矿物原料研究所（КАЗИМС），第聂伯罗彼特罗夫斯克的阿尔金矿业学院（ДГИ），以及许多生产部门共同完成的。由于深入研究了设计理论和查明了在不同地层条件下，采用各种类型的岩石破碎钻头钻进时，能获得最佳参数的液动冲击器的冲击系统，制成了小口径（76mm和59mm）液动冲击钻进的全套技术装备（КТСГ7-76和КТСГ9-59），并在可钻性为7~9级和部分10级岩石中使用。制成和广泛运用于生产中去のГВ-5和ГВ-6型高频液动冲击器；制定了在可钻性为4~7级中等硬度岩石中采用硬质合金钻头钻进和在可钻性为9~12级的硬岩中采用金刚石钻头钻进的工艺。

由于制成了用于冲击回转钻进的Г-7型和Г-9型小规格的、冲洗液流量小的液动冲击器，和用于回转冲击钻进的ГВ-5型和

ГВ-6型高频液动冲击器，使液动冲击钻进方法在提高钻进效率和工程质量方面，都取得了明显的效果。其所以如此，是因为液动冲击钻进方法具有许多优点。例如，大幅度地降低了钻孔弯曲度，减少了岩心堵塞，可以同时达到较高的机械钻速和回次进尺长度。由于有效地采用了喷射式钻具，提高了岩心取样的质量，延长了钻杆和钻进设备的寿命，减少了事故。并可综合应用液动冲击钻进进行无岩心钻进、硬质合金钻进和金刚石钻进。采用这几种钻进方法，对设备和钻杆柱的要求实际上是一样的。此外，采用ГВ-5型和ГВ-6型高频液动冲击器钻进时，其钻杆柱的扭矩降低，可在更深的钻孔钻进时获得较好的工作状态。采用泥浆冲洗液，并用硬质合金钻头和金刚石钻头以及取心器作为岩石破碎的工具和辅助机具，便促进了液动冲击钻进工作量的增长。

合理使用配有金刚石钻头的高频液动冲击器和完善新的工艺，可能扩大液动冲击钻进的使用范围，使其能在包括可钻性为12级的岩石中进行钻进。

实验结果表明，液动冲击钻进已成为固体矿产钻探的高效率钻进方法。在各种地质条件下（岩石可钻性为4~12级，钻孔深度为1,200m，用水基冲洗液或泥基冲洗液），都能有效地进行工作。

制定的技术规程和建议，在苏联批准的标准资料中和在经互会成员国合作范围内得到了反映，以及在钻探各个部门的共同长期发展钻探技术和工艺规划中都有反映。

因此，在考虑地质部门现代化需求的基础上，研制了液动冲击钻进的技术装备。从1970年普遍推广液动冲击钻进以来，所完成的工作量急剧地增加，并取得了较好的经济效益（表1）。

由于有其独特的性能，所以液动冲击钻进技术设备进入了国际市场。自1973年以来，这项钻进技术在民主德国、保加利亚、捷克斯洛伐克和匈牙利都得到了成功的应用。

近几年来，液动冲击钻进从较窄的专业技术范围发展成为地质钻探的通用钻进方法，已成为各个部门的先进钻进方法之一。

本书仅叙述了液动冲击钻进的一个方面——金刚石和硬质合金钻头回转冲击钻进的发展。

液动冲击钻进工作量及其经济效益 表 1

名 称	年					份						
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
钻进工作量 (km)	120	140	188	254	336	710	1,000	1,350	1,500	1,600	1,700	
节 约 (千卢布)	470	600	560	695	1,150	1,400	2,500	3,100	3,500	3,600	3,650	

这种方法应看成为是回转钻进工艺向新的、高质量钻进的过渡。由于岩石破碎的机理、钻进工艺和所采用的钻进机具，有其实质性的不同，所以作者们所研究的钻进方法，是采用液动冲击器进行的重转冲击钻进方法，它有别于常规的冲击回转钻进方法。

目前，采用高频液动冲击器进行回转冲击钻进，被认为是一种很有前途的钻进方法，已在实际生产中得到了广泛的应用。

本书是作者亲自进行或在亲自领导下进行的理论、实验和生产试验的总结，其中部分材料是取自同行业部门研究的工作成果。

作者相信，本书有助于掌握及进一步推广应用液动冲击器这一先进的回转冲击钻进方法。

第一篇 钻进过程的研究

一、应用液动冲击器的主要方向

1970年以前,冲击回转钻进的工作量,在整个地质勘探工程中所占的比重并不大。这是因为那时正在对该种钻进方法的有效使用范围,及其今后的发展方向进行专门的研究。

试验工作是在中央哈萨克斯坦地质局的杰斯卡斯甘地质勘探大队、西西伯利亚地质局的沙累姆地质勘探大队、东哈萨克斯坦地质局的列宁格勒地质勘探大队和伏洛希洛夫格勒地质联合体的克拉斯顿地质勘探大队等单位,在具有岩石可钻性可钻性为7~12级的岩层中进行的。

从试验结果可以看出(图1):

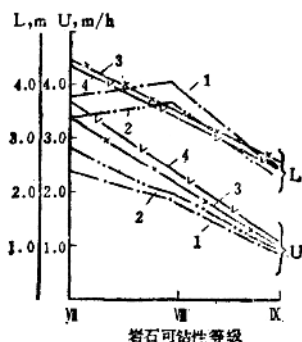


图1 各种类型液动冲击器钻进的综合数据曲线图

1—Г-3A型; 2—ГБМС-5型;
3—ГМЛ-2型; 4—Р-3М型

1. 同单次冲击能量小 ($10\sim15\text{J}$) 的 $\Gamma-3\text{A}$ 型和 $\Gamma\text{БМC}-5$ 型液动冲击器相比, 在可钻性为 $7\sim9$ 级岩石中采用 $\Gamma\text{МД}-2$ 型、 $\text{P}-3\text{M}$ 型和 $\text{P}-3\text{M}\Gamma$ 型液动冲击器钻进, 可使机械钻速提高 $15\sim40\%$, 回次进尺长度提高 $12\sim15\%$ (表2),

液动冲击器的技术性能

表 2

指 标	$\Gamma-3\text{A}$ (СКБ)	$\Gamma-5\text{A}$ (СКБ)	$\Gamma\text{БМC}-5$ (ИГД)	$\Gamma\text{МД}-2$ (СКБ)	$\text{P}-3\text{M}$ (КАЗИМС)	$\text{P}-3\text{M}\Gamma$ (КАЗИМС)
孔 径 (mm)	115、96	115、96	115、96	115	115、96	115、96
长 度 (mm)	3,765	3,850	2,300	1,650	3,050	2,000
重 量 (kgf)	144	150	100	90	90	75
单次冲击能量 (J)	50~60	60~70	50~60	70~80	70~80	70~80
冲击频率 (1/min)	1,500	1,500	1,000	1,200	1,200	1,200

注: 括号中为该型液动冲击器的设计单位。

2. 钻进可钻性为10级以上的岩石时, 钻进指标间歇地大幅度降低。因而, 即使是将冲击能量提高 $10\sim15\text{J}$, 对于有效破碎更硬的岩石来说, 显然也是不够的;

3. 在可钻性为 $5\sim6$ 级页岩类岩石中, 钻进指标迅速下降, 即使是用单次冲击能量较大而冲击频率低的 $\Gamma\text{МД}-2$ 型冲击器, 其钻进指标也比冲击能量小而冲击频率高的 $\Gamma-3\text{A}$ 型冲击器低;

4. 采用单次冲击能量为 $50\sim70\text{J}$ 、冲击频率为 $1,200\sim1,500$ 1/min 的液动冲击器时, 可保证在不同物理机械性质的可钻性为 $7\sim9$ 级的岩石中取得较好的钻进效果。但在可钻性为 $5\sim6$ 级的塑性岩石和10级以上的坚硬岩石中钻进时, 上述的冲击能量和冲击频率, 则不能保证取得有效的钻进效果。

为了寻求扩大液动冲击钻进有效使用范围的途径, 在试验台

上和野外生产中,进行了工艺试验。野外试验是在南乌克兰地质勘探大队(该地区的地层,由可钻性为7~11级的火成岩和变质岩构成)和别洛卡利特夫地质勘探大队(该地区的地层,由可钻性为5~9级的沉积岩构成)进行的。野外试验包括了具有不同物理机械性质的沉积岩、火成岩和变质岩地层(表3)。

岩石的物理机械性质表

表 3

采样间距 (m)	岩 石	该队划分 的岩石可 钻性级别	动力 硬度 F_A	研磨 性 系数 $K_{огр}$	综合 指标 ρ_M	根 据 OCT41- 89-74 规定的岩 石可钻性 级 别
215.3~223.5	花岗岩	8~9	5.88	2.25	25	9
115~116	粗粒黑云母花岗岩	9	8.00	1.98	30	9
125.1~127.5	粗粒浅粉色花岗岩	9	10.53	1.93	45	10
139.7~142.0	粗粒灰色花岗岩	9	10.0	2.28	50	10
	粉色花岗岩	10	12.5	2.2	51	10
99.8~119.7	钠长石-绿泥岩	10	28.57	0.8	43	10
202.7~203.6	钠长岩-绿泥岩	11	22.92	0.93	30	9
203.6~107.9	钠长岩-绿泥岩	10	18.22	1.25	50	10
133.1~144.5	粗粒红色正长岩	9	8.33	2.03	32	9
225~226	粗粒红色正长岩	9~10	9.10	2.28	38	10
75.7~95.3	褐红色钠长石	10	16.67	2.08	50	10
75.5~95.3	褐红色钠长石	10	16.67	2.00	50	10
95.3~99.8	薄片状钠长石	10	16.67	1.95	50	10
166.9~168.8	薄片状钠长石	10	20.0	1.8	65	11
171.4~179.8	薄片状钠长石	10	14.29	2.05	35	10
125.1~126.0	薄片状钠长石	10	11.11	2.05	30	9
146.4~165.8	浅粉色钠长石	9	11.77	2.15	30	9
168.8~171.4	糖晶状钠长石	10	20.0	1.53	68	11
135.3~138.1	片麻岩	9	9.10	1.65	25	9
223.5~224.9	片麻岩	9	14.29	1.40	28	9
87.8~88.8	片麻岩	9	16.67	1.17	30	9
125.2~128.4	碳质、泥质和泥 砂质页岩	6~7	4~6	0.55~ 1.30	7~15	6~8

试验台的钻进试验,是用可钻性为9级的列兹尼考夫花岗岩岩块进行的。

物理机械性质的主要指标是:动强度 F_d ,研磨性系数 $K_{\text{ср}}$ 和根据H·И·柳比莫夫法计算出来的综合指标 ρ_M 。柳比莫夫指出^[12, 13],无论是对回转钻进或冲击回转钻进,这种物理机械性质指标与钻进指标之间均有较好的相关性。

我们仅以部分实验成果研究了在可钻性为7~9级岩石中,提高液动冲击钻进效率的可能性,以及在可钻性为4~6级的中等硬度岩石和10~12级的坚硬岩石钻进中提高液动冲击钻进效率的有关问题。

野外试验 野外试验结果表明(图2),当增加钻具的轴向载荷和回转转速时,在最初的一段时间内,机械钻速也是随着提高的。其中增加回转转速比增加轴向载荷更能提高机械钻速。

当轴向载荷增加到6,000N和回转速度增加到67r/min时,钻速的衰减量稍有增加。当轴向载荷和回转转速继续增大时,其钻速的衰减量便增加得很快。

由对比的试验资料中可以看出,钻进页岩时,轴向载荷为4,000~6,000N,回转速度为67r/min时为最佳工作状态。

钻进页岩所用的破碎岩石工具是K19M-4型4刃钻头。用一个回次后,没有太大的磨损。

在页岩类的中硬岩石中,进行一系列钻进工艺试验的结果表明:

在中硬岩石中进行液动冲击钻进(冲击能量为50~70J,冲击频率为1,200~1,5001/min)的指标较低,经常低于普通硬质合金钻进的指标。钻进速度与岩石硬度、研磨性没有很好的相关性。

如果说,钻进较硬的岩石时(花岗岩、正长岩、片麻岩、其动强度 $F_d = 5 \sim 12$;研磨性系数 $K_{\text{ср}} = 1.5 \sim 2.5$),其机械钻速和回次进尺分别为2.0~4.0m/h和4.0~5.0m;那么,在钻进中等硬度岩石时就低得多,分别为0.6~1.5m/h和1.5~2.5m。

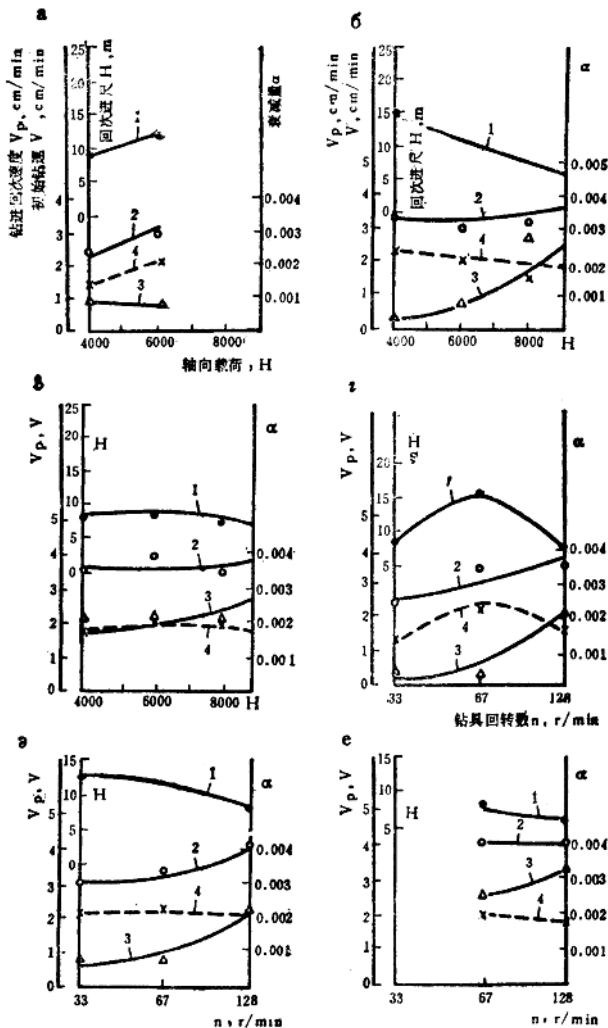


图2 页岩的钻进指标与轴向载荷、回转转速的关系曲线图

a— $n=33$ r/min; б— $n=67$ r/min; в— $n=127$ r/min; г— $P_{OC}=4,000$ N;

д— $P_{OC}=6,000$ N; е— $P_{OC}=10,000$ N.

1—最佳回次进尺; 2—初始钻速; 3—钻进速度衰减; 4—回次速度。

最佳钻进参数试验表明,在上述的冲击能量和冲击频率以及在相同的钻头结构条件下,钻进参数的变化不会引起钻进指标有实质性的提高。这是由于回转速度低,钻具回转不平稳造成的。因为在相当大的冲击能量作用下,钻头刃部对岩石冲击形成了较深的破碎穴(“梳子状”),大部分冲击作用只是在同一个破碎穴中进行重复破碎,而不是在破碎穴中间进行破碎。

大部分研究人员发现,提高钻具的回转速度时,其钻进指标增加得并不大。这与现有液动冲击破碎岩石工具的几何形状特点有关,同时也与破碎岩石工具切削具的负前角值大小有关。对于钻进中硬岩石来说,现有钻头的负前角值是不太合适的,破碎岩石的效果较差,钻进主要是依靠两次冲击之间的切削作用。因此,为了提高在中硬岩石中液动冲击钻进的效率,必须改进钻头的结构。

用单次冲击能量小,而冲击频率高(50~60J、1,5001/min)的冲击器钻进时,所取得的钻进指标较高。这说明,必须改变液动冲击器的参数(减少冲击能量,提高冲击频率)。

南乌克兰地质勘探大队的地层中,有花岗岩、正长岩、钠长岩、钠长石-绿泥岩和片麻岩。由表4中可以看出,上述各种岩石的物理机械性质指标很不一样,其中有的还较高。

Г-3 A型冲击器钻进115mm孔径时的参考数值 表4

岩 石	动力强度 (F _д)	研磨性系数 (K _{а.с.})	轴向载荷 (N)	回转速度 (r/min)
花 岗 岩	6~12	2.0~2.3	5,000~6,000	71
正 长 岩	8~10	2.0~2.3	7,000~8,000	71
钠 长 岩	11~20	1.5~2.15	7,000~8,000	71
片 麻 岩	9~16	1.2~1.7	5,000~6,000	33
钠长石-绿泥岩	18~28	0.8~1.3	3,500~5,000	48
砂泥质页岩	5~8	0.55~1.36	4,000~6,000	67

分析在坚硬岩石中的钻进工艺后，得出了如下结论：

1. 采用现有的冲击参数，钻进物理机械性质不同的各种硬岩石，其合理的钻进指标相互间比较接近；

2. 试验中通过改变规程参数，钻进指标的提高不超过10~15%；

3. 对于在试验时未能取得理想钻速和进尺的岩石，即便进一步改变其钻进参数，也未获得良好的效果。这是因为回转速度低于33r/min时，在同一个破碎穴内出现了重复冲击，造成钻具猛然转动和停止转动。而当轴向载荷超过8,000N时，会引起破碎岩石工具的切削刃部崩断。

4. 在钻进动强度和研磨性系数较大的岩石时（钠长岩和钠长石——绿泥页岩），液动冲击钻进的指标，就是在最佳钻进参数条件下、也不会超过金刚石回转钻进的指标。

试验台试验 因为现有液动冲击器不能在较大的范围内改变冲锤参数，所以单次冲击能量对钻进指标影响的试验工作，是在专门的试验台上进行的。试验台是为水平钻进而设计的，它由底座、导向架、冲击部件、回转器、液压给进缸、操作台和两个水泵站所组成。根据水锤（захват）原理设计的冲击部件，可采用变动调频轮改变其频率的方法，在较大的范围之内对冲击能量作无级调频和分挡调频。MГ155A型液压马达，作为驱动回转器的传动装置，它可以平稳地进行无级调整钻头的回转速度。水泵站装有两台HIII-46Д型水泵、三台HIII-32Д型和一台HIII-10B型水泵。

试验台的技术规格

冲击能量 (J)	30~300
冲击频率 (1/min)	740~1,050; 1,475~2,200
冲锤重量 (kg)	20; 30; 40; 50
钻具回转速度 (r/min)	10~100
轴向载荷 (N)	5,000~20,000

孔底由供水管路进行冲洗。试验台的钻进条件很接近于液动