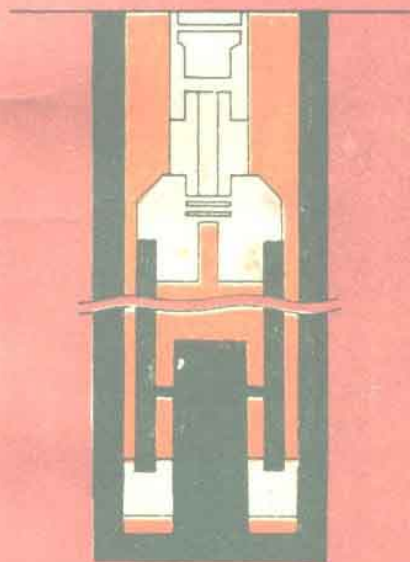


[苏] H·Д·米哈依洛娃 著

# 岩心钻探技术设计

中国地质大学出版社



# 岩 心 钻 探 技 术 设 计

TE244

001

〔苏〕 Н.Д.МИХАЙЛОВА 著

汤 凤 林 译

厚 泽 校

中国地质大学出版社

# ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ

Н.Д.МИХАЙЛОВА

М  $\frac{1904050000-154}{043 (01) -85}$  88-85

© Издательство

«Недра», 1985

岩心钻探技术设计

(苏) Н.Д.МИХАЙЛОВА 著

汤 凤 林 译

屠 厚 泽 校

责任编辑 刘先洲

责任校对 熊华珍

中国地质大学出版社出版

中国地质大学出版社印刷厂印刷 湖北省新华书店经销

开本 787×1092 1/32 印张 9.375 字数 209 千字

1988 年 4 月第 1 版 1988 年 4 月第 1 次印刷(胶印)

印数 1—2000 册 定价: 1.95 元

ISBN 7-5625-0062-2 / TD · 4

## 内 容 提 要

本书阐述了与地质勘探钻孔设计有关的现代计算方法,其中包括地面设备的计算,钻孔结构、设备和工具的选择,钻进工艺和钻进规程的论证。对冲洗剂给予了注意。讨论了洗孔、空气洗孔、钻孔和钻头的温度规程等问题。列出了孔内打捞工作和特种工作的有关资料。

本书供从事地质勘探孔钻进的工程技术人员使用,也可作大专院校“探矿工程”专业学生的教学参考书。

## 前 言

岩心钻探技术和工艺的改进，钻探科研方面取得的巨大成就，为提高勘探质量、提高钻探工作效率提供了可能性。

在复杂的自然和施工组织条件下，钻探工作的成就完全取决于合理地解决工程问题，应在具体条件下选用最合理的钻探设备、辅助设备、工具，洗孔方式，冲洗剂的性能和预计的钻探工艺。

本书试图总结概括和系统阐述固体矿产岩心钻探方面的科研成果和生产成就，以在广度和深度上满足地质勘探单位钻探工艺师和机班长的要求。

作者衷心接受读者提出的批评意见和希望。

# 目 录

## 前 言

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| 第一章 钻进方法的选择.....                      | ( 1 )  |
| § 1.岩石的物理力学性质 .....                   | ( 1 )  |
| § 2.选择岩心钻进方法的建议 .....                 | ( 6 )  |
| 第二章 钻孔结构的选择.....                      | ( 9 )  |
| § 1.概述 .....                          | ( 9 )  |
| § 2.钻孔结构论证举例 .....                    | ( 17 ) |
| 第三章 碎岩工具 .....                        | ( 21 ) |
| § 1.环状孔底(取心)用的钻头, 选择钻头<br>类型的建议 ..... | ( 21 ) |
| § 2.无岩心钻进用碎岩工具, 选择钻头类型<br>的建议 .....   | ( 35 ) |
| § 3.最经济类型碎岩工具的选择 .....                | ( 36 ) |
| 第四章 钻具 .....                          | ( 40 ) |
| § 1.钻具组成的技术性能 .....                   | ( 40 ) |
| § 2.岩心钻探用钻具类型尺寸的选择 .....              | ( 51 ) |
| § 3.钻杆柱强度计算 .....                     | ( 55 ) |
| § 4.钻杆柱强度计算举例 .....                   | ( 65 ) |
| 第五章 冲洗液 .....                         | ( 80 ) |
| § 1.岩心钻探中使用的冲洗液的简要性能及<br>其使用建议 .....  | ( 80 ) |
| § 2.泥浆的制备与加重 .....                    | ( 89 ) |

|                                        |        |
|----------------------------------------|--------|
| § 3.用化学制剂处理泥浆 .....                    | ( 94 ) |
| § 4.乳化液、聚合物溶液、聚合物膨润土泥<br>浆和泡沫的制备 ..... | (102)  |
| § 5.钻进用冲洗液需要量的计算 .....                 | (114)  |
| 第六章 洗孔 (含空气洗孔) .....                   | (117)  |
| § 1.冲洗液用量的确定 .....                     | (117)  |
| § 2.钻探水泵排送压力的计算。水泵<br>的选择 .....        | (121)  |
| § 3.空气洗孔时空气用量和压缩机压力<br>的确定 .....       | (132)  |
| § 4.泡沫在孔内循环时排送压力的确定 .....              | (139)  |
| 第七章 钻孔和钻头的温度规程 .....                   | (147)  |
| § 1.温度在钻孔中的分布 .....                    | (147)  |
| § 2.多年冻结岩石中钻进时钻孔温度规程<br>的正常化 .....     | (159)  |
| § 3.钻头在孔底工作时钻头唇部温升的计<br>算 .....        | (162)  |
| 第八章 钻进规程设计 .....                       | (174)  |
| § 1.硬合金钻进规程的设计 .....                   | (175)  |
| § 2.金刚石钻进规程的设计 .....                   | (180)  |
| § 3.冲击回转钻进规程的设计 .....                  | (190)  |
| § 4.无岩心钻进规程的设计 .....                   | (195)  |
| 第九章 钻探机组功率的确定 .....                    | (200)  |
| § 1.钻进用动力机功率的确定 .....                  | (200)  |
| § 2.根据动力机的驱动功率来确定钻探<br>机组的工艺可能性 .....  | (208)  |
| § 3.滑车系统装置的选择 .....                    | (211)  |

|                                          |       |
|------------------------------------------|-------|
| § 4.提升用动力机功率的确定 .....                    | (214) |
| § 5.计算举例 .....                           | (215) |
| 第十章 地质勘探孔的定向钻进和多井筒钻进.....                | (221) |
| § 1.概述 .....                             | (221) |
| § 2.定向孔和多井筒钻孔轨迹的设计 .....                 | (223) |
| § 3.钻孔定向钻进用技术手段 .....                    | (254) |
| 附录 1 回转钻进代表性岩石可钻性分级表 .....               | (260) |
| 附录 2 岩石研磨性程度指标 .....                     | (266) |
| 附录 3 岩心钻探设备技术性能 .....                    | (267) |
| 附录 4 液动冲击器技术性能 .....                     | (269) |
| 附录 5 岩心钻探的水泵技术性能 .....                   | (270) |
| 附录 6 气动冲击器技术性能 .....                     | (272) |
| 附录 7 地质勘探钻进用移动式压缩机<br>技术性能 .....         | (273) |
| 附录 8 根据溶液密度不同, 苛性钠<br>在水溶液中的含量 .....     | (274) |
| 附录 9 苛性钠在工业制品中的含量 (%) .....              | (275) |
| 附录 10 商品 (工业) 聚丙烯酰胺指标 .....              | (275) |
| 附录 11 不同性能泥浆的 $\eta$ 和 $\tau_0$ 值 .....  | (276) |
| 附录 12 某些冲洗液和空气的物理性质 .....                | (277) |
| 附录 13 系数 $K_1$ 值 .....                   | (278) |
| 附录 14 苏联东北一些矿区的岩石的热物理性质 .....            | (278) |
| 附录 15 坚硬岩石的热物理性质 .....                   | (279) |
| 附录 16 冻结和非冻结砂质和粘土质岩石的<br>物理性质和热物理性质..... | (281) |
| 附录 17 一些冲洗介质的热物理性质 .....                 | (283) |
| 附录 18 国产金刚石钻头的金刚石平均浓度 .....              | (284) |

|       |                               |       |
|-------|-------------------------------|-------|
| 附录 19 | КАВС 型减振润滑脂技术性能 .....         | (285) |
| 附录 20 | 钻孔“典型剖面”的计算 .....             | (286) |
| 附录 21 | Стьюдент 分布标准 $t$ , 数值表 ..... | (287) |
| 附录 22 | 钻孔地质技术施工书 .....               | (288) |
| 参考文献  | .....                         | (289) |

# 第一章 钻进方法的选择

## § 1. 岩石的物理力学性质

钻孔过程中岩石的破碎阻力主要由其物理力学性质决定。物理性质表示岩石的物理状态，其中包括岩石的密度、湿度、孔隙度、裂隙度、胶结程度、粒度、结构和构造。由其物理性质和矿物组成决定的岩石力学性质，决定岩石在各种变形形式下的破碎阻力，其中包括强度、硬度、研磨性、弹性、脆性和塑性。

岩石物理力学性质及其确定方法，岩石性质对钻头工作指标的影响，利用物理力学性质资料来计算最优钻进规程参数和设计钻头的可能性等，所有这些都是人们经常和大量研究的课题。这在著作〔21 和 32 等〕中都作了详细阐述。

决定钻孔劳动生产率的最主要因素之一是岩石可钻性。

可钻性是岩石的总括性质，是岩石全部物理力学性质用的综合指标，是判定岩石阻止钻头吃入的性能。在岩心钻探中，根据机械钻速指标把所有岩石分为十二级可钻性（附录 1）。

为了提高划分岩石可钻性级别的客观性，批准了部颁标准 ОСТ-41-89—74《岩石。检验确定回转钻进可钻性级别的方法》。根据这个标准，岩石可钻性按照 Н.И.Любимов 方法用联合计算指标  $\rho_{\text{ж}}$  的数值确定，联合

指标考虑了岩石动态强度  $F_D$  和岩石研磨性  $K_{a6p}$  (31)。

对于回转钻进方法来说

$$\rho_M = 3F_D^{0.8} K_{a6p}, \quad (1.1)$$

对于冲击回转钻进方法来说

$$\rho'_M = 2F_D K_{a6p}^{0.41}. \quad (1.2)$$

根据联合计算指标  $\rho_M$  的数值，制定了划分岩石可钻性标准的分级表 (表 1) (32)。

表 1

| 可钻性级别 | 指标 $\rho_M$ | 可钻性级别 | 指标 $\rho_M$ |
|-------|-------------|-------|-------------|
| III   | 2.0~3.0     | VIII  | 15.2~22.7   |
| IV    | 3.1~4.5     | IX    | 22.8~34.1   |
| V     | 4.6~6.7     | X     | 34.2~51.2   |
| VI    | 6.8~10.1    | XI    | 51.3~76.8   |
| VII   | 10.2~15.1   | XII   | 76.9~115.2  |

当缺乏确定联合计算指标  $\rho_M$  用的设备和不可能进行预先推断岩石性质和岩石可钻性的标定工作时，可以利用列于表 2 上按照成分和力学性质确定的岩石分类表 (21、31)。

影响岩石强度、稳定性、可钻性的重要物理性质之一是裂隙性。根据全苏勘探方法和技术研究所进行的岩石裂隙性研究结果确定了评价裂隙性的标准，并在此基础上按照裂隙性制定出了适用于岩心钻进的岩石分类表 (表 3)。岩石按裂隙性分类，是按三个指标进行的，即岩心单位块度  $K_y$ ，块数/m；岩心采取率  $B_K$ ，%；裂隙性指标  $W$ ，个数/转。裂隙

性指标按下式计算:

$$W = D_K K_y \lambda / \operatorname{tg} \beta, \quad (1.3)$$

式中  $W$ ——岩石裂隙性指标, 用钻头回转一转所遇到的裂隙平均个数确定, 个数/转;

$D_K$ ——岩心直径, m;

$\lambda$ ——考虑岩石二次破碎程度的经验系数, 为了计算可取  $\lambda = 0.7$ ;

$\beta$ ——裂隙平面同钻孔中心线的相遇角, 度。单位块度和  $\beta$  角根据从孔内提上的岩心确定 (31、34)。

钻进方法、钻头类型、钻进规程参数的选择, 都应按岩石可钻性指标和裂隙性指标进行。

表 2

| 岩石成因类型 | 岩石酸碱盐类别 | 典型品种岩石    | 物理力学性质 (平均值)  |                  |          |             | 按 $\rho_m$ 和 $\rho_{m1}$ 的可钻性级别 |
|--------|---------|-----------|---------------|------------------|----------|-------------|---------------------------------|
|        |         |           | 动态强度<br>$F_D$ | 研磨性<br>$K_{a6p}$ | 联合指标     |             |                                 |
|        |         |           |               |                  | $\rho_m$ | $\rho_{m1}$ |                                 |
| 岩 浆 岩  |         |           |               |                  |          |             |                                 |
| 深海侵入岩  | 超基性     | 橄辉岩、辉岩    | 14.0          | 1.1              | 23.3     | 29.4        | VIII—IX                         |
|        | 基性      | 辉长岩       | 13.0          | 1.6              | 30.0     | 31.2        | IX                              |
|        | 中性      | 闪长岩和石英闪长岩 | 12.0          | 1.7              | 45.8     | 29.6        | X                               |
|        | 酸性      | 花岗闪长岩、花岗岩 | 10.0          | 2.3              | 42.0     | 28.3        | X                               |
|        | 高碱性     | 正长岩、正长闪长岩 | 8.0           | 2.0              | 30.0     | 21.2        | IX                              |
|        | 碱性      | 流纹正长岩、霓霞岩 | 7.5           | 2.2              | 31.0     | 30.0        | IX                              |
| 半深海侵入岩 | 基性      | 辉长—辉绿岩    | 17.0          | 1.2              | 46.0     | 36.0        | X                               |
|        | 酸性      | 伟晶花岗岩     | 12.0          | 1.4              | 30.0     | 28.3        | IX                              |

续表 2

| 岩石成因类型 | 岩石酸碱性类别       | 典型品种岩石  | 物理力学性质 (平均值)     |          |             |      | 按 $\rho_m$ 和 $\rho_{m1}$ 的可钻性级别 |
|--------|---------------|---------|------------------|----------|-------------|------|---------------------------------|
|        | 动态强度<br>$F_D$ |         | 研磨性<br>$K_{16P}$ | 联合指标     |             |      |                                 |
|        |               |         |                  | $\rho_m$ | $\rho_{m1}$ |      |                                 |
| 半深海侵入岩 | 酸性            | 花岗斑岩    | 13.0             | 1.5      | 33.5        | 30.9 | IX—X                            |
|        | 高碱性           | 正长斑岩    | 14.0             | 1.3      | 32.0        | 31.5 | IX                              |
| 喷出岩    | 碱性            | 方沸雌煌岩   | 15.0             | 1.4      | 38.0        | 35.1 | X                               |
|        |               | 异霞正长岩   | 6.0              | 2.3      | 28.0        | 17.2 | IX                              |
|        | 酸性            | 伟晶花岗岩   | 4.5              | 2.5      | 30.0        | 13.7 | IX                              |
|        | 基性            | 玄武岩和辉绿岩 | 19.4             | 1.1      | 33.4        | 39.8 | IX                              |
|        | 中性            | 安山岩     | 16.6             | 0.8      | 26.0        | 30.3 | VIII—IX                         |
|        |               | 玢岩      | 17.5             | 0.8      | 23.0        | 49.4 | VIII—IX                         |
|        | 酸性            | 英安岩     | 11.4             | 1.2      | 30.0        | 25.0 | IX                              |
|        |               | 霏细岩     | 14.7             | 1.3      | 34.0        | 33.0 | IX—X                            |
|        |               | 流纹岩     | 13.9             | 1.8      | 38.0        | 35.2 | X                               |
|        |               | 石英斑岩    | 14.8             | 1.7      | 44.0        | 36.6 | X                               |
|        | 高碱性           | 石英钠长斑岩  | 9.8              | 1.3      | 28.0        | 22.0 | IX                              |
| 酸性     | 酸性喷出凝灰岩       | 9.4     | 1.2              | 23.0     | 20.6        | VIII |                                 |

## 沉 积 岩

|     |  |       |      |     |      |      |          |
|-----|--|-------|------|-----|------|------|----------|
| 碎屑岩 |  | 泥岩    | 10.0 | 0.6 | 11.0 | 16.7 | I—VII    |
|     |  | 硅化泥岩  | 9.7  | 1.4 | 22.0 | 23.0 | VIII     |
|     |  | 粉砂岩   | 12.0 | 0.5 | 10.6 | 18.3 | VI—VII   |
|     |  | 硅化粉砂岩 | 8.2  | 1.2 | 21.0 | 18.0 | VIII     |
|     |  | 泥质页岩  | 6.4  | 0.6 | 8.4  | 10.8 | VI       |
|     |  | 砂质粘板岩 | 5.6  | 0.8 | 10.7 | 10.3 | VI—VII   |
|     |  | 砂质页岩  | 8.9  | 0.9 | 16.2 | 10.7 | VII—VIII |
|     |  | 软砂岩   | 4.3  | 1.1 | 10.6 | 9.5  | VI—VII   |
|     |  | 砂岩    | 12.1 | 1.3 | 23.6 | 26.3 | VIII—IX  |
|     |  | 石英砂岩  | 10.8 | 1.8 | 35.0 | 27.3 | IX—X     |

续表 2

| 岩石成因类型 | 岩石酸碱性类别 | 典型品种岩石    | 物理力学性质 (平均值) |               |          |             | 按 $\rho_m$ 和 $\rho_{ml}$ 的可钻性级别 |          |
|--------|---------|-----------|--------------|---------------|----------|-------------|---------------------------------|----------|
|        |         |           | 动态强度 $F_D$   | 研磨性 $K_{a5p}$ | 联合指标     |             |                                 |          |
|        |         |           |              |               | $\rho_m$ | $\rho_{ml}$ |                                 |          |
| 碳酸盐沉积岩 |         | 砾岩        | 13.2         | 1.3           | 22.0     | 29.7        | VIII                            |          |
|        |         | 泥灰岩       | 4.6          | 0.1           | 1.2      | 4.3         | III                             |          |
|        |         | 石灰岩       | 8.5          | 0.4           | 6.5      | 11.8        | IV—V                            |          |
|        |         | 白云岩       | 11.3         | 0.4           | 8.2      | 15.3        | VI                              |          |
|        |         | 硅化石灰岩     | 11.6         | 1.1           | 21.6     | 24.4        | VIII                            |          |
|        |         | 硅化白云岩     | 20.3         | 1.2           | 46.6     | 43.9        | X                               |          |
| 火山沉积岩  |         | 层凝灰岩      | 23.7         | 1.1           | 42.4     | 49.1        |                                 |          |
| 变 质 岩  |         |           |              |               |          |             |                                 |          |
| 接触变质岩  |         | 千枚岩       | 8.2          | 0.9           | 13.1     | 15.8        | VII                             |          |
|        |         | 角岩        | 14.3         | 2.3           | 56.7     | 40.5        | X                               |          |
|        |         | 黑云母角岩     | 33.1         | 1.9           | 87.3     | 84.9        | XII                             |          |
|        |         | 大理岩       | 6.5          | 0.4           | 6.5      | 9.0         | VI                              |          |
|        |         | 斯卡隆化大理岩   | 11.0         | 0.8           | 18.4     | 20.1        | VII—VIII                        |          |
|        |         | 石榴石—辉石硅质岩 | 17.2         | 1.5           | 42.3     | 40.7        | X                               |          |
|        |         | 含矿硅质岩     | 15.3         | 1.4           | 27.0     | 35.8        | IX                              |          |
|        |         | 石英岩       | 11.5         | 2.2           | 46.0     | 31.9        | X                               |          |
|        |         | 次生石英岩     | 24.6         | 2.3           | 85.7     | 69.0        | XII                             |          |
|        | 区域变质岩   |           | 片麻岩          | 8.2           | 1.8      | 22.5        | 20.7                            | VII—IX   |
|        |         |           | 结晶片岩         | 7.5           | 1.1      | 16.5        | 16.0                            | VII—VIII |
|        |         |           | 闪岩           | 30.0          | 0.9      | 35.0        | 57.0                            | IX—X     |
|        |         |           | 含铁石英岩        | 25.5          | 1.9      | 67.5        | 65.6                            | IX       |
|        |         | 碧玉铁质岩     | 25.0         | 2.6           | 103.0    | 79.7        | XII                             |          |

表 3

| 岩石裂隙性级别 | 岩石裂隙程度 | 岩石裂隙性评价标准       |                  |             |
|---------|--------|-----------------|------------------|-------------|
|         |        | 单位块度,<br>块数 / m | 裂隙性指标,<br>个数 / 转 | 岩心采取率,<br>% |
| I       | 整块     | 1—5             | $\leq 0.50$      | 100—70      |
| II      | 弱裂隙    | 6—10            | 0.51—1.00        | 90—60       |
| III     | 裂隙     | 11—30           | 1.01—2.00        | 80—50       |
| IV      | 强裂隙    | 31—50           | 2.01—3.00        | 70—40       |
| V       | 完全强裂隙  | $\geq 51$       | $\geq 3.01$      | 60—30 (或更少) |

## § 2. 选择岩心钻进方法的建议

勘探矿床岩心钻探是用下列基本方法进行的：回转方法（硬合金钻进、金刚石钻进、无岩心钻进、冲洗液流连续取心钻进）和冲击回转方法（液动冲击钻进、液动冲击金刚石钻进、气动冲击钻进）。在许多情况下使用联合钻进。

钻进方法的选择取决于一系列因素，其中主要有：地质任务和钻孔目的、有用矿产类型、勘探网度、岩石物理力学性质及其可钻性和裂隙性，以及钻探工作地区的其它岩石地质条件和地理条件。

能否正确选择钻进方法，最终将决定钻孔的成效和钻探效率的水平。

硬合金钻进建议用于有不同程度研磨性和裂隙性的可钻性为Ⅰ—Ⅶ、Ⅷ级的岩石中。当前，硬合金钻进在勘探固体矿床时用得最多，硬合金钻进工作量达到了地质勘探孔钻进总工作量的35—40%。

建议金刚石钻进用于有不同程度研磨性和裂隙性的可钻性为Ⅴ—Ⅻ级的岩石中。金刚石钻进中使用CCK和KCKK绳索取心钻进方法。在1000m以内深度的可钻性Ⅴ—Ⅸ级岩石中使用CCK-46钻具，在1200m以内使用CCK-59和CCK-76钻具，在2000m以内使用KCKK-76钻具。

在岩石可钻性和裂隙性变化的剖面（特别是变质岩）中，使用硬合金—金刚石联合钻进是合适的。

无岩心钻进建议用于矿床（诸如煤矿、铁矿等）详查勘探时，它是作为提高钻探工作效率而又不损害勘探质量的一种手段使用的。无岩心钻进应和地球物理研究及其它研究方法配合，以便得到有关所钻岩石的必要地质资料。

使用硬合金钻进、金刚石钻进和无岩心钻进，对勘探钻进的岩石地质条件和地理条件，没有任何限制。

冲洗液流连续取心钻进是采用全苏工业联合公司《苏联地质技术》专门设计局设计的KГK-100成套技术装置进行的，它可用于钻进含有Ⅵ—Ⅶ级夹层的可钻性为Ⅱ—Ⅳ级岩石其深度达100m的钻孔。使用KГK-100成套技术装置，可在急剧提高钻探效率的条件下大大提高岩心采取率（达到100%）〔5〕。

液动冲击钻进建议用于硬度和可钻性变化的Ⅳ—Ⅻ级岩石中、用于厚层裂隙岩石（冲洗液不流失时）中和用于（利用自然弯曲规律性进行定向钻进是合理的）急倾斜矿体中，钻进深度达1000m的地质勘探孔。在一般情况下，建议在

有可靠水源和大的能量基地的工作地区，用液动冲击钻进完成大面积的钻探工作〔12、35、44、46〕。

为了进行液动冲击钻进，全苏工业联合公司《苏联地质技术》专门设计局设计并生产了统一的液动冲击器 Г76（代替 Г-7 和 ГБ-5）和 Г59（代替 Г-9 和 ГБ-6），这种冲击器通过调节改变冲洗液用量参数的办法，既可以冲击规程工作，也可以高频规程工作。液动冲击器的技术性能列于附录 5 上。

气动冲击钻进建议用来钻进深度达 100—250m 的钻孔，以便勘探贵重金属和金刚石的原生矿床和砂矿床、勘探多金属矿床、水源，建议在多年冻结岩层分布广泛地区、在冲洗液漏失条件下和在钻孔穿过坑道时使用。

为了进行气动冲击钻进，中央地质勘探科学研究所设计出了两套气动冲击钻进技术：勘探原生矿床用的 ПП 和勘探砂矿、多年冻结岩石中钻进用的 КПР。勘探用气动冲击器的技术性能列于附录 6 上。