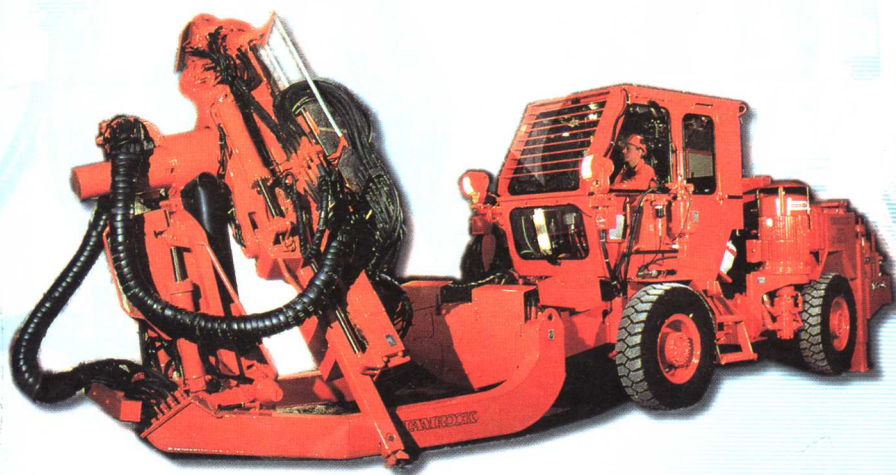


地下采掘与工程机械设备丛书

# 地下凿岩设备

周志鸿 马飞 张文明 毛纪陵 编著



冶金工业出版社

TD421.2

Z-979

地下采掘与工程机械设备丛书

# 地下凿岩设备

周志鸿 马 飞 张文明 毛纪陵 编著

北 京

冶金工业出版社

2004

## 出版者的话

地下采掘与工程机械设备在国民经济发展中具有十分重要的地位,是现代各类矿山开采以及交通、水电、国防建设等大型施工必不可少的高效、先进的技术装备,此类设备的制造业也是国民经济中的重要行业。

地下采掘与工程机械设备主要包括钻孔设备、装载设备、运输设备和辅助设备。现代的地下矿山开采广泛采用凿岩钻车、装药车、地下铲运机、锚杆支护钻车、喷射混凝土设备、运矿自卸车、移动式碎石机、撬毛机、维修车、运人车、运料车、加油车和升降台等先进设备,促进了地下开采工艺的发展。现代化的矿山开采,需要先进的开采工艺和高度机械化的地下采掘与工程机械设备。

随着我国加入世界贸易组织,我国的地下矿山开采业与采掘机械设备制造业都面临参与国际竞争的机遇和挑战。国外先进的采掘机械设备将有更多的机会进入中国,中国的设备也会有更多的机会走向世界。在这种情况下,我国从事地下采掘与工程的管理人员、技术人员和使用维修人员都急需了解这类设备,尤其是国外同类先进设备的工作原理、技术指标和维护方法;国内从事该类设备制造业的工程技术人员为了研制出能参与国际竞争的地下采掘成套设备,也要掌握相关的设计理论与方法;有关科研院所的研究人员和大专院校相关专业的师生也迫切需要了解该类设备的最新技术与最新发展。

我们推出的这套丛书,全面介绍了地下采掘与工程机械设备的结构原理、设计理论与使用维护方法,力求反映国内外最新进展。相信从事相关工作的各类专业人员都能各取所需,提高我国地下采掘与工程机械设备的制造与使用维护水平。

欢迎从事地下采掘与工程机械设备研究、开发与管理应用的专家、学者以及工程技术人员参加本丛书的著述。

2004年6月

# 前 言

凿岩是一种在岩(矿)石中钻凿出特定要求眼孔的工程技术,是矿山生产和石方工程的首要工序。它广泛应用于冶金、化工行业等各类矿山和地质、石油、建筑、水电、交通、国防等领域的石方工程中。在露天矿山常称大直径凿岩作业为穿孔,煤炭系统则称凿岩为钻眼,有时也将回转切削钻孔方式称为钻眼,而这种方式主要用于软岩和煤层的凿岩作业。按破碎岩石的不同方法,凿岩可分为机械方法和非机械方法凿岩两大类。机械方法凿岩根据不同的破碎机理,可分为四种方式,即:(1)冲击破碎,用于破碎中硬度以上岩石,如冲击式凿岩机就属此种方式;(2)切削破碎,用于软岩和煤层,回转钻机和电钻属此种方式;(3)碾压破碎,用于中硬度以上岩石,牙轮钻机属此种方式;(4)磨削破碎,用于硬岩取岩芯,金刚石钻机属此种方式。非机械方法凿岩有高压水射流凿岩、热力凿岩和激光、电子束、超声振动切削以及等离子焰等方法。

在地下矿山采掘作业中,主要用机械方法凿岩,因其影响后续工序和工程施工的速度、质量、安全和成本,所以得到使用部门、设计制造部门、研究工作者的高度重视。近些年来地下凿岩设备发展非常迅速,不断推陈出新,已形成百花齐放的局面。因此,如何根据具体条件选好用好凿岩设备,是使用单位的领导、技术人员、操作与维修人员的重要工作。本书的主要目的就是为上述人员提供这方面的知识。书中主要讲述凿岩设备的工作原理、结构性能、选型和使用维修方面的内容,对凿岩机械的发展史也做了简述,使读者了解其发展过程与动态,更便于结合具体情况选用凿岩设备。

本书由北京科技大学周志鸿主编。第1、7(除7.2节外)、8章由周志鸿编写,第4、6、9、10章由马飞编写,第2、3章及7.2节由张文明编写,第5章由毛纪陵编写。

本书的编写工作,自始至终得到了高澜庆教授的关注和支持。他为本书提供了许多资料,提出了宝贵意见,并且审阅了全书。编者在此向高教授表示衷心的感谢。

山特维克·汤姆洛克公司丁珂先生、阿特拉斯·科普柯公司陈汝华和谭守锋先生、长沙矿山研究院机械厂、嘉冶矿山钻具公司、沈凿公司、天风公司提供了产品资料。南京梅山铁矿吴文章和江春杰先生提供了该矿液压凿岩机的使用经验。北科大王保申老师,研究生高丽稳、许同乐同学也为本书的编写做了许多工作。编者在此一并致谢!

书中的错误与不当之处,欢迎读者批评指正。

编 者  
2004年3月于北京

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1 概论 .....                   | 1  |
| 1.1 凿岩设备发展简史与趋势 .....        | 1  |
| 1.2 冲击凿岩作业所需基本功能与设备组成 .....  | 3  |
| 1.3 地下凿岩设备的分类 .....          | 5  |
| 1.3.1 凿岩机械按使用动力分类 .....      | 6  |
| 1.3.2 按用途和行走方式分类 .....       | 6  |
| 1.3.3 按辅助设备分类 .....          | 6  |
| 2 岩石性质与凿岩原理 .....            | 7  |
| 2.1 岩石的物理力学性质 .....          | 7  |
| 2.1.1 岩石的组织与构造 .....         | 7  |
| 2.1.2 岩石的物理性质 .....          | 8  |
| 2.1.3 岩石的力学性质 .....          | 8  |
| 2.2 岩石的可钻性分级 .....           | 10 |
| 2.2.1 普式分级法 .....            | 10 |
| 2.2.2 可钻性和磨蚀性指数分级法 .....     | 11 |
| 2.2.3 东北工学院(现东北大学)分级法 .....  | 11 |
| 2.3 凿岩原理 .....               | 13 |
| 2.3.1 碾压破岩原理 .....           | 13 |
| 2.3.2 切削破岩原理 .....           | 14 |
| 2.3.3 冲击破岩原理与分析、轴推力的计算 ..... | 14 |
| 3 冲击凿岩钎具 .....               | 18 |
| 3.1 概述 .....                 | 18 |
| 3.1.1 钎具的组成与分类 .....         | 18 |
| 3.1.2 钎头与钎杆的连接 .....         | 19 |
| 3.2 钎头 .....                 | 20 |
| 3.2.1 钎头的类型、优缺点和应用范围 .....   | 20 |
| 3.2.2 钎头的结构与参数 .....         | 22 |
| 3.2.3 钎头的材质 .....            | 23 |
| 3.2.4 钎头的使用与维修 .....         | 30 |
| 3.3 钎杆 .....                 | 34 |
| 3.3.1 钎杆的分类与结构 .....         | 34 |

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 3.3.2 | 钎杆的材料 .....                 | 38 |
| 3.3.3 | 钎杆的破断与寿命 .....              | 38 |
| 4     | 气动凿岩机 .....                 | 41 |
| 4.1   | 气动凿岩机的分类、结构组成与应用范围 .....    | 41 |
| 4.1.1 | 气动凿岩机的分类 .....              | 41 |
| 4.1.2 | 气动凿岩机的结构组成 .....            | 42 |
| 4.1.3 | 气动凿岩机应用范围 .....             | 42 |
| 4.2   | 气腿式凿岩机的构造及其动作原理 .....       | 43 |
| 4.2.1 | YT23(7655)型气腿式凿岩机 .....     | 43 |
| 4.2.2 | YT24型和YTP26型凿岩机的特点 .....    | 52 |
| 4.3   | YSP45上向式凿岩机 .....           | 54 |
| 4.4   | 导轨式凿岩机和附属装置 .....           | 57 |
| 4.4.1 | 内回转导轨式凿岩机 .....             | 57 |
| 4.4.2 | 外回转导轨式凿岩机 .....             | 59 |
| 4.4.3 | 导轨式凿岩机的附属装置 .....           | 61 |
| 4.5   | 气动凿岩机主要性能参数的计算与分析 .....     | 68 |
| 4.5.1 | 冲击能 .....                   | 68 |
| 4.5.2 | 冲击频率 .....                  | 69 |
| 4.5.3 | 钎子转数(回转速度) .....            | 70 |
| 4.5.4 | 转矩(回转扭矩) .....              | 71 |
| 4.5.5 | 耗气量 .....                   | 72 |
| 4.5.6 | 耗水量 .....                   | 72 |
| 4.5.7 | 气动凿岩机的凿岩速度及其影响因素 .....      | 72 |
| 4.6   | 气动凿岩机国内外产品概况 .....          | 76 |
| 4.6.1 | 气动凿岩机国内产品概况 .....           | 76 |
| 4.6.2 | 气动凿岩机国外产品概况 .....           | 76 |
| 4.7   | 气动凿岩机的使用、维护与故障处理 .....      | 79 |
| 4.7.1 | 凿岩机的使用 .....                | 79 |
| 4.7.2 | 凿岩机的日常维护 .....              | 81 |
| 4.7.3 | 凿岩机的故障处理 .....              | 81 |
| 5     | 液压凿岩机 .....                 | 86 |
| 5.1   | 液压凿岩机的分类与工作原理 .....         | 86 |
| 5.1.1 | 后腔回油前腔常压油型液压凿岩机冲击工作原理 ..... | 86 |
| 5.1.2 | 前腔回油后腔常压油型液压凿岩机冲击工作原理 ..... | 88 |
| 5.1.3 | 双面回油型液压凿岩机冲击工作原理 .....      | 89 |
| 5.1.4 | 无阀型液压凿岩机冲击工作原理 .....        | 90 |
| 5.2   | 液压凿岩机的主要性能参数、结构参数与选型 .....  | 91 |

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 5.3   | 国外液压凿岩机的产品概况 .....    | 92  |
| 5.4   | 国内液压凿岩机的研制与使用概况 ..... | 95  |
| 5.5   | 液压凿岩机基本结构 .....       | 99  |
| 5.5.1 | 冲击机构 .....            | 100 |
| 5.5.2 | 转钎机构 .....            | 104 |
| 5.5.3 | 钎尾反弹能量吸收装置 .....      | 104 |
| 5.5.4 | 供水装置 .....            | 105 |
| 5.5.5 | 润滑与防尘系统 .....         | 106 |
| 5.5.6 | 液压反冲装置 .....          | 106 |
| 5.6   | 液压凿岩机的液压系统与自动控制 ..... | 107 |
| 5.6.1 | 典型系统介绍、分析与比较 .....    | 107 |
| 5.6.2 | 液压凿岩机的自动控制 .....      | 116 |
| 5.7   | 液压凿岩机的使用与维修 .....     | 116 |
| 5.7.1 | 液压凿岩机的用油 .....        | 116 |
| 5.7.2 | 使用液压凿岩机的基本要求 .....    | 122 |
| 5.7.3 | 液压凿岩机的现场测试 .....      | 125 |
| 5.7.4 | 液压凿岩机常见故障及处理 .....    | 126 |
| 6     | 其他动力的凿岩机 .....        | 128 |
| 6.1   | 概述 .....              | 128 |
| 6.2   | 电动凿岩机 .....           | 128 |
| 6.2.1 | 曲柄连杆气压活塞式电动凿岩机 .....  | 129 |
| 6.2.2 | 偏心块冲击活塞式电动凿岩机 .....   | 130 |
| 6.2.3 | 弹簧-活塞销式电动凿岩机 .....    | 131 |
| 6.3   | 水压凿岩机 .....           | 131 |
| 6.3.1 | 水压凿岩机研制与应用概况 .....    | 131 |
| 6.3.2 | YST24 型支腿式水压凿岩机 ..... | 132 |
| 7     | 掘进钻车 .....            | 135 |
| 7.1   | 掘进钻车的分类与组成 .....      | 135 |
| 7.1.1 | 掘进钻车的分类 .....         | 135 |
| 7.1.2 | 掘进钻车的组成 .....         | 135 |
| 7.2   | 掘进钻车的基本部件与系统 .....    | 136 |
| 7.2.1 | 推进器 .....             | 136 |
| 7.2.2 | 钻臂 .....              | 137 |
| 7.2.3 | 行走底盘 .....            | 146 |
| 7.2.4 | 动力系统 .....            | 147 |
| 7.3   | 国产掘进钻车 .....          | 151 |
| 7.3.1 | CGJ-2 型气动掘进钻车 .....   | 151 |

|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 7.3.2 | 水星 14 型双臂全液压钻车         | 155 |
| 7.4   | 国外掘进钻车                 | 157 |
| 7.4.1 | 瑞典阿特拉斯·科普柯公司全液压掘进钻车    | 157 |
| 7.4.2 | 汤姆洛克公司全液压掘进钻车          | 160 |
| 7.5   | 掘进钻车的选择、使用与维修          | 167 |
| 7.5.1 | 掘进钻车的选择                | 167 |
| 7.5.2 | 掘进钻车的使用                | 168 |
| 7.5.3 | 掘进钻车的维修                | 169 |
| 8     | 采矿钻车                   | 172 |
| 8.1   | 采矿钻车的分类                | 172 |
| 8.2   | 采矿钻车的基本动作与组成           | 174 |
| 8.2.1 | 基本动作及完成动作的机构           | 174 |
| 8.2.2 | 基本结构组成                 | 175 |
| 8.2.3 | 动力与传动、操纵装置             | 175 |
| 8.3   | 国产采矿钻车                 | 176 |
| 8.3.1 | 国产轮胎式气动采矿钻车            | 176 |
| 8.3.2 | 国产液压采矿钻车               | 178 |
| 8.4   | 国外采矿钻车                 | 182 |
| 8.4.1 | 阿特拉斯·科普柯公司采矿钻车         | 182 |
| 8.4.2 | 汤姆洛克公司采矿钻车             | 195 |
| 8.5   | 采矿钻车的维护与保养             | 210 |
| 8.5.1 | Simba H252 型采矿钻车的维护与检修 | 210 |
| 8.5.2 | 汤姆洛克公司系列采矿钻车的维护与保养     | 217 |
| 9     | 地下潜孔钻机                 | 220 |
| 9.1   | 地下潜孔钻机的基本组成、工作原理与工作参数  | 220 |
| 9.1.1 | 地下潜孔钻机的基本组成            | 220 |
| 9.1.2 | 地下潜孔钻机的工作原理与特点         | 220 |
| 9.1.3 | 潜孔钻机工作参数的确定            | 221 |
| 9.2   | 地下非自行式(支架式)潜孔钻机        | 223 |
| 9.2.1 | QZJ 型井下潜孔钻机            | 224 |
| 9.2.2 | MG-100 轻便钻机            | 224 |
| 9.3   | 地下自行式潜孔钻机(潜孔钻车)        | 226 |
| 9.3.1 | 履带式潜孔钻车                | 227 |
| 9.3.2 | 轮胎式潜孔钻车                | 228 |
| 9.3.3 | 国外典型产品介绍               | 228 |
| 9.4   | 潜孔钻机的使用与维护             | 231 |
| 9.4.1 | 潜孔钻机的使用                | 231 |



|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 9.4.2 潜孔钻机的维护 .....             | 231 |
| 9.5 水压潜孔钻机 .....                | 231 |
| 10 地下潜孔凿岩钻具 .....               | 234 |
| 10.1 潜孔冲击器 .....                | 234 |
| 10.1.1 潜孔冲击器的分类与基本结构 .....      | 234 |
| 10.1.2 潜孔冲击器的工作原理与结构分析 .....    | 235 |
| 10.1.3 潜孔冲击器的主要零部件 .....        | 239 |
| 10.1.4 国内、外主要气动潜孔冲击器的技术特征 ..... | 244 |
| 10.1.5 冲击器基本工作参数的选择 .....       | 245 |
| 10.1.6 潜孔冲击器的润滑和维修 .....        | 247 |
| 10.2 钻头 .....                   | 249 |
| 10.2.1 刀片型钻头 .....              | 249 |
| 10.2.2 柱齿型钻头 .....              | 250 |
| 10.2.3 柱片混装型钻头 .....            | 251 |
| 10.2.4 分体钻头 .....               | 251 |
| 10.2.5 国外潜孔冲击器用钻头图例 .....       | 252 |
| 10.3 钻杆 .....                   | 252 |
| 参考文献 .....                      | 254 |

# 1 概 论

## 1.1 凿岩设备发展简史与趋势<sup>[1~3]</sup>

随着社会的不断发展,手锤打眼已不能满足生产要求,人们开始寻求采用机械等方法凿岩的途径。早在 1813 年,特里维西克(R. Trevithick)就发明了蒸汽冲击凿岩机;1844 年,英国人布隆顿发明了一种以压缩空气为动力的凿岩机,但都因存在很多问题不能实用。1855 年法国人方丹默罗(Fontainmoreau)第一个取得了气动冲击凿岩机的专利。1857 年,意大利工程师萨梅勒(G. Sommeiler)所设计的压缩空气凿岩机在阿尔卑斯山塞尼峰隧道得到实际应用,因此一般把 1857 年当做凿岩机的诞生年。当时的凿岩机是活塞与钎杆连为一体的,这样不但多消耗了动力,而且限制了冲击频率的提高,因此凿岩速度较低。1884 年,美国人舍根特(H. C. Sergent)首次取得冲击活塞与钎杆分离的冲击凿岩机专利,奠定了现代凿岩机的基础,这时的凿岩机仍用实心钎杆,不能钻下向的孔。1897 年,美国人雷诺(J. G. Leynner)研制成功空心钎杆,以压气或水冲洗钻孔,并改进了配气阀和转钎机构(采用棘轮棘爪螺旋棒转钎),使凿岩机冲击频率由 6~7Hz 提高到 30Hz,制造出第一台现代轻型气动凿岩机,这是凿岩史上的一次重大突破,但发展至此仍然还都是手持式气动凿岩机。1938 年,德国人制成了气腿和碳化钨钎头,这对凿岩机的发展起到了推动作用,该成果不仅减轻了操作者的体力劳动,而且增加了推进力。有了碳化钨钎头,钎头的磨修次数大为减少,不仅提高了凿岩效率,还为深孔接杆凿岩开辟了道路。

气腿式凿岩机和钎头的不断完善对凿岩机的能量和效率又提出了新的要求,因为具有棘轮棘爪回转机构的凿岩机(称内回转凿岩机)的冲击能量与转钎扭矩成比例增减,因此在实际操作中无法实现某一凿岩参数单值增减,影响了凿岩机的性能。20 世纪 60 年代初期,开发出冲击与回转机构分开的独立回转凿岩机(称外回转凿岩机),其冲击能量和转钎扭矩两个参数可以分别调节,以适应不同性质岩石的要求,使凿岩机在最佳凿岩参数下工作。随着凿岩机功率的增大,气腿式凿岩机已不能满足要求,另外为了减轻操作者的体力消耗,出现了架柱式支承的凿岩机,到 20 世纪 50 年代又出现了多种自行式气动钻车。

在凿岩机不断发展的同时,随着孔深的增加,人们注意到深孔接杆凿岩在钎杆接头处散失的冲击能量较大,因而提出了将凿岩机送入孔底的设想,美国英格索尔—兰特公司首先在 1932 年获得这一专利权。但受当时各种条件限制,直到 20 世纪 40 年代末,才开始在矿山使用。真正与现代潜孔冲击器结构相接近的,则是 1951 年比利时工程师安德列·斯坦纽依科设计制造的潜孔冲击器,它不仅减少了能量传递损失,还大大降低了噪声。之后,潜孔钻机不断改进完善并在地下和露天矿山得到推广,气压由最低的 0.5~0.6MPa 上升至 20 世纪 70 年代初的 1.4~1.75MPa,70 年代末又增加到 2.1~2.46MPa,并在井下 VCR 采矿法中也得到成功应用。

在潜孔冲击器的使用过程中,美国休斯敦公司于 1951 年首先开始研制柱齿型钻头,

这是凿岩用钻头的一次重大革新。到 20 世纪 60 年代末期,国外露天矿大孔径钻孔已普遍使用这种钻头,70 年代中期这种钻头又在井下较小直径钻孔中得到推广。这种钻头与焊合金片的钻头相比,其优点是制造工艺简单,使用中修磨次数少,所需回转扭矩小,寿命长等。

由于气动凿岩机具有结构简单和制造容易、价格低廉、维修方便等优点,所以各类气动凿岩机在矿业开发和石方工程中得到广泛使用,在生产和建设中发挥了巨大作用。但它是以压缩空气为介质传递能量的,因此存在着两个根本性弱点:一是能耗大,它在地下矿山的能量利用率只略高于 10%;二是作业环境恶劣,即噪声大、油雾大。为了解决这些问题,人们一直在探索新的传递能量介质。早在 1876 年德国人布兰德(V. Brandt)就发明了一台用水力驱动的“凿岩机”,虽然用了液体传动,但只是旋转式,我们只能称它为钻机(凿岩机是以冲击为主的)。20 世纪 20 年代,英国人多尔曼(Dormann)在斯塔福德(Stafford)制成一台液压凿岩机,由于当时工业水平还不高,液压技术也不够完善,故未能用于生产。到 60 年代,国外出现了多种液压凿岩机专利,并有多家公司开始研制液压凿岩机。1970 年法国蒙塔贝特(Montabert)公司首先制成第一代可用于生产的液压凿岩机,随后瑞典、英国、美国、德国、芬兰、奥地利、瑞士和日本等国陆续研制出各种型号的液压凿岩机并相继投放市场。在 20 世纪 70 年代研制液压凿岩机但未投入市场的有苏联、波兰、南非和我国等。一经生产实践,就显示出了液压凿岩机的优越性。它与气动凿岩机相比,大幅度降低了能耗(仅为同量级气动凿岩机耗能的  $1/3 \sim 1/4$ );纯钻孔速度提高了一倍以上;改善了作业环境(噪音可降低  $10 \sim 15\text{dB(A)}$ ,无油雾);主要零件寿命长,钎具消耗少;为凿岩作业实现自动化创造了有利条件。20 世纪 70 年代初期投放市场的液压凿岩机虽然显示出巨大的优越性,但也暴露出设计中的种种缺陷,因此各公司都在改进完善设计,并向系列化迈进。如蒙塔贝特公司最初推出的 H50、H60 型液压凿岩机,到 1976 年已被 H45 和 H70 型代替。阿特拉斯·科普柯(Atlas Copco)公司在 70 年代前期市场上只有一个型号的产品,到 80 年代初已发展到 7 个型号。这十年液压凿岩机总销售数量也有限,据文献[4]的统计,总共只有 2000 多台。20 世纪 80 年代是液压凿岩机迅速发展和成熟阶段,发达国家的地下矿山广泛采用了液压凿岩设备。各国的制造公司为了提高竞争力,都加快了产品的更新换代,并向多品种方向发展。20 世纪 90 年代液压凿岩机又向新的方向发展,如增大功率,以提高钻孔速度(如 Cop1440 与 Cop1838 型冲击功率已提高到  $20\text{kW}$ ,在  $200\text{MPa}$  的花岗岩中钻  $\phi 41\text{mm}$  的孔径,凿岩速度可达  $3\text{m/min}$ );改进结构和钎具质量、提高钻孔经济性(如 Cop1838 液压凿岩机的钻孔速度比 Cop1238 型提高 80%,大修时间间隔延长一倍以上);增设反打装置、提高成孔率等,相应的全液压掘进与采矿钻车也得到快速发展。

为了提高劳动生产率和节能降耗、降低成本,采矿向深孔大直径方向发展,要求钻孔深度和直径增大,而液压凿岩机钻孔深度达到 35m 后,钻孔偏斜率不易得到保证。为解决此矛盾,瑞典卢基公司所属 G. Drill 开发公司研制出 Wassara 水压潜孔冲击器,于 1990 年在卢基公司马尔姆贝里耶矿装于 AMV 钻车上试验,至 1992 年 4 月已钻进了 100000m。试验成功后,该公司与阿特拉斯·科普柯(Atlas Copco)公司合作,研制了配 Wassara 水压潜孔冲击器的 Simba W469 遥控钻车,1995 年在基律纳铁矿试验取得了很好效果。该水压潜孔冲击式钻车将液压凿岩机的节能高效与气动潜孔冲击式钻机的无接杆处能量损失、炮孔精度好的优点结合起来,因此它与重型液压凿岩机相比,其优点是凿速不随孔深的增加而降

低,保证了钻孔精度、降低了钻杆费用。它与气动潜孔冲击式钻机相比,除大量节省能源外,凿岩速度也是气动的 2.5~3 倍,且一名操作工可同时遥控 3 台这种钻车。

随着科学技术特别是电子技术与计算机技术的飞速发展,全液压钻车不断向遥控、自控、智能化方向迈进。早在 1972 年,挪威工程合同公司就开始研制钻车自动控制系统,在试验室实现了计算机控制的单臂钻车定位和钻孔试验;1978 年研制出第一台三臂微机控制样机;1973 年日本东洋公司开始研制微机控制的全自动凿岩钻车(称凿岩机器人),到 1984 年已生产数台,用于掘进作业;美国钢铁公司于 1978 年研制了一台用微机控制的液压锚杆钻车钻进速度自寻最优的试验装置;1982 年瑞典阿特拉斯·科普柯公司申请了一项微型计算机控制凿岩机的专利;1983 年法国蒙格贝特公司在一台完备的 BUPEC50 型钻臂上装了一套微型计算机控制装置;1984 年芬兰的汤姆洛克(Tamrock)公司研制出 DATA-MATIC 微机控制的三臂掘进钻车,并开始在挪威的隧道工程中应用;1985 年推出了首台计算机自动控制的 Data Solo 型采矿凿岩钻车,该钻车于 1995 年在加拿大国际镍公司斯托比矿实现了自动化凿岩。20 世纪 90 年代中期以后,国外一些先进矿山都实现了掘进、采矿凿岩钻车的遥控和机器人化。

此外,由于液压凿岩设备的液压油泄漏不但污染环境,而且浪费宝贵的石油资源,所以人们又开始研究以纯水为介质的凿岩设备。但真正着手开发水压凿岩机则是由于生产的需要,因南非矿山随着开采深度的增加,井下温度不断升高(达 50~60℃),就需要通风和冷却;对于深度超过 1800m 的矿山,用于冷却工作面的冷却水就有 18MPa 的静压力,这些能量如被利用起来,可有效地驱动一些井下的采矿设备。根据这一设想,南非矿业联合会研究中心(COMRO)于 20 世纪 70 年代后期开始考虑研究这一课题,1992 年前后南非终于将支腿式水压凿岩机用于井下生产(为英格索尔-兰特公司在南非制造)<sup>[5]</sup>。与此同时,瑞典卢基公司的 Wassara 水压潜孔冲击器也用于井下生产,这就更提高了研究纯水凿岩设备的信心。我国在 1993 年由湘潭高新区凿岩机械研究所研制出第一轮 YST23 型两台支腿式水压凿岩机。以纯水为传递能量介质的凿岩机的突出优点是价格便宜、抗燃性和环保性好、压缩系数小。但存在着泄漏大、润滑性差、气蚀性强、有一定的腐蚀性、运行温度范围窄等缺点。如能解决上述缺点(如采用又耐磨又抗腐蚀且有自润滑的材料、采用新型密封材料与新型密封结构等),水压凿岩机将会在 21 世纪得到推广。

## 1.2 冲击凿岩作业所需基本功能与设备组成

凿岩要根据炮眼的布置和每一炮眼(孔)的深度、角度要求来进行,因此冲击凿岩作业所需基本功能有冲击、回转、推进、冲洗和变幅、移位六种(前四种功能如图 1-1 所示)。

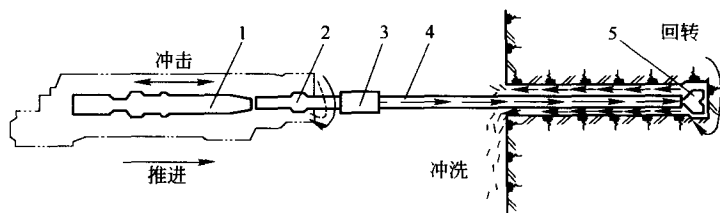


图 1-1 凿岩作业基本功能示意图

1—活塞;2—钎尾;3—接杆套;4—钎杆;5—钎头

(1) 冲击功能的作用是使岩石破碎。供给凿岩机(图 1-1 中双点划线所示)的能量推动缸体内活塞 1 作往复运动,当活塞向右运动时,加速到一定速度,冲击钎具(图 1-1 中的 2、3、4、5)将能量以应力波的形式通过钎具传递给岩石,使岩石破碎。凿岩机完成冲击功能的部分称为冲击机构(通称冲击器)。冲击能和冲击频率是其主要参数指标。

(2) 回转功能是使钎头 5 每冲击一次回转到一个新的位置,进行新的岩石破碎。同时在回转过程中也可将已发生裂纹的岩石表面部分剥落下来。这一功能由凿岩机的回转机构完成,转钎扭矩和转钎速度是其主要参数指标。

(3) 冲洗功能是从炮孔内清除被破碎下来的岩屑。如果冲洗不足,炮孔底部将发生重复凿磨,不但使凿孔速度减慢,而且使钎头加速磨损,甚至在个别情况下卡钻。冲洗介质多用压力水或压缩空气。用压缩空气时,为防止产生粉尘,必须有岩粉收集器等除尘装置或气水合用。用压力水做冲洗介质时,因通过凿岩机的部位不同,可分为中心给水和旁侧给水两种。

(4) 推进功能有两个作用,一是推动凿岩机和钎具压向岩石工作面,并使钎头在凿孔时始终与岩石接触;二是从炮孔中退出钎具,准备凿下一个炮孔。用手直接拿着凿岩机推进的凿岩机,称为手持式凿岩机,用支腿做推进的称为支腿式凿岩机(如图 1-2 所示),用推进装置(通称推进器)推进的称为导轨式凿岩机。推进器可安装在柱架或台架上(如图 1-3 所示),也可安装在钻车上(如图 1-4 所示)。

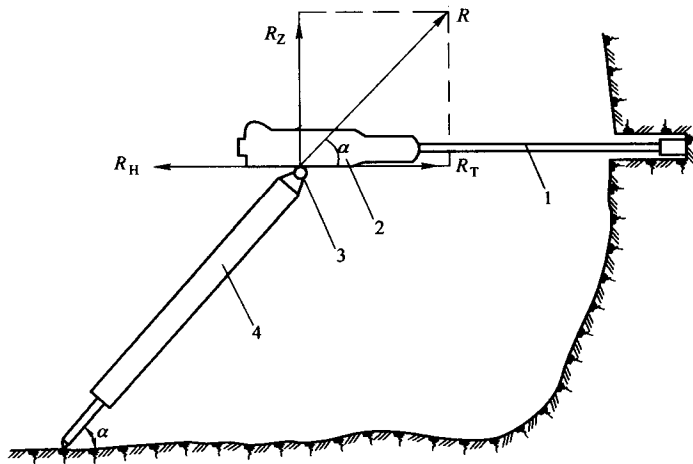


图 1-2 支腿式凿岩推进

1—钎具;2—凿岩机;3—连接轴;4—气腿

(5) 变幅与移位功能指当工作面上的炮孔有各种不同角度和位置时,就需要由变幅机构来调整凿岩机(也可用人力)。打完一个炮孔后需将凿岩机移到下一个炮孔位置,打完一个工作面后,需要移至下一个工作面,这就需要有移位功能,移位功能可用人力或钻车完成。

由上可知,为完成机械化凿岩作业,所需设备(含机具)应包括:钎具、凿岩机、推进与支撑、变幅、移位等机构(含支腿、台架和钻车),其中自动化钻车是现代化的设备。

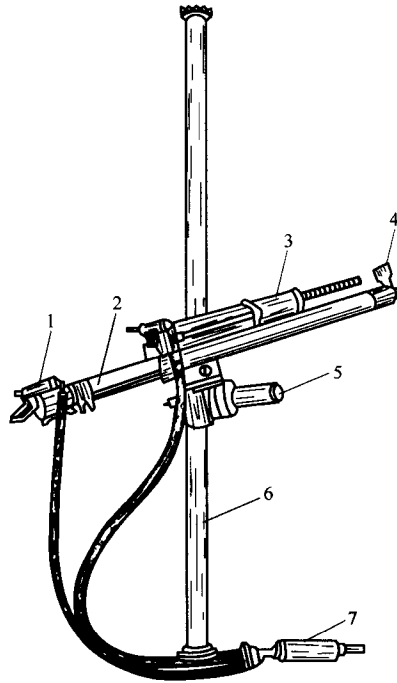


图 1-3 柱架支撑推进

1—推进马达；2—推进器；3—凿岩机；4—夹钎器；  
5—横臂；6—立柱；7—自动注油器

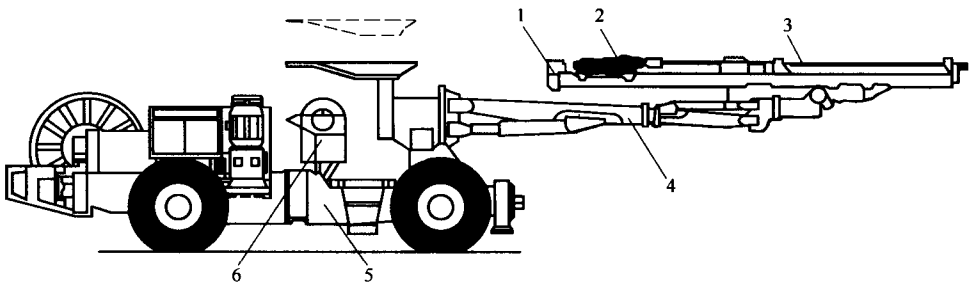


图 1-4 钻车支撑推进

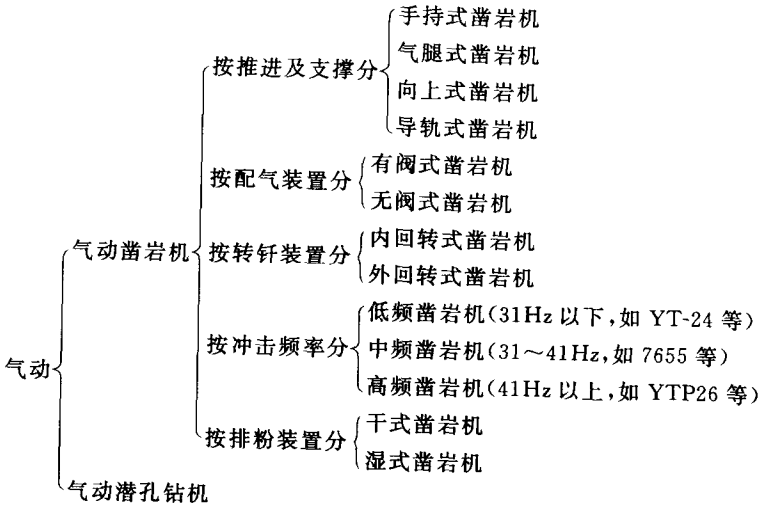
1—推进装置；2—凿岩机；3—钻臂及变幅机构；5—钻车底盘；6—控制系统

### 1.3 地下凿岩设备的分类

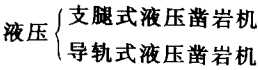
现代地下凿岩设备最主要的是凿岩机、潜孔钻机、凿岩钻车和附属设备。根据其使用的动力不同、条件不同等，其分类如下：

1.3.1 凿岩机械按使用动力分类

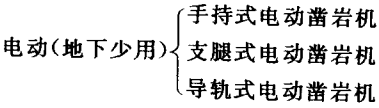
(1) 气动：



(2) 液压：



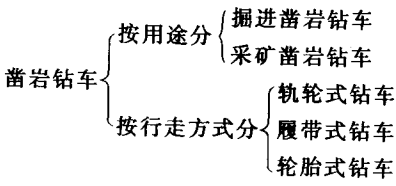
(3) 电动：



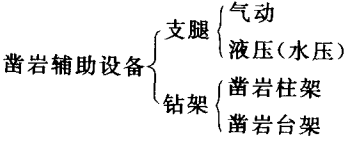
(4) 内燃凿岩机(只有手持式,地下不用)。

(5) 水压凿岩机和水压潜孔冲击器。

1.3.2 按用途和行走方式分类



1.3.3 按辅助设备分类



## 2 岩石性质与凿岩原理

### 2.1 岩石的物理力学性质<sup>[6,7]</sup>

凿岩作业的主要对象是岩(矿)石,为了合理地选用(或设计)钎具和凿岩机械,以及探求高效率、低能耗的岩石破碎方法,必须对岩石的物理力学性质有所了解。

#### 2.1.1 岩石的组织与构造

岩石是有一定化学成分和构造特点的矿物集合体,是组成地壳的主要物体。岩石按成因的不同可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。

(1) 岩浆岩是由一种高温硅酸盐熔融体冷凝、结晶出来的矿物组成,它又分为深成岩和表流岩。深成岩为致密的晶体构造,具有较大的强度,这类岩石有花岗岩、正长岩、闪长岩等;表流岩则多为玻璃质构造,具有很高的硬度,这类岩石有玄武岩、安山岩、流纹岩等。

(2) 沉积岩是地表或近地表的岩石受到风化(机械破碎或化学分解),经过搬运和沉积,再经沉岩作用(压固、胶结和再结晶)而形成的岩石。它主要是由黏土类矿物、碳酸盐和二氧化硅类矿物所组成,如石灰岩、砂岩、页岩等。

(3) 变质岩是由已存在的岩浆岩和沉积岩,因为物理和化学条件的改变,使原有岩石的矿物成分和结构构造发生变化而形成的。这一形成过程,一般是在高温高压条件下进行的,故变质岩以形成变质矿物、片理和重结晶为特征,如大理岩就是石灰岩的变质岩。

岩石的组织是指构成岩石的矿物颗粒的成分、大小、形状及其相互间的排列位置,以及连接这些颗粒的胶结物质的种类和连接特点而言的。一般岩石可分为粗粒组织、斑状组织、玻璃状组织。岩石颗粒越致密,含孔隙越少,岩石就越坚固。

岩石的构造是指矿物颗粒在岩石中的排列情况,这是岩石在生成时和生成后受动力地质作用而形成的一种状态,如层理、片理、节理、裂隙、非均质性等。

层理是沉积岩中产生的层状结构特征。片理是变质岩中片状、块状、柱状物在压力作用下平行排列而成的薄片状的结构特征。一般垂直于层理或片理面时容易凿孔,而斜交于层理或片理面凿孔时容易产生偏滑现象,且易卡钻。

裂隙是由于地壳运动导致岩石破裂后,两侧岩块沿破裂面形成的裂缝。由于裂隙使岩石分割成具有一定几何形状的块段或碎块被称为节理。裂隙与节理发达的岩石在凿孔时易发生振动、卡钻。

岩石的性质,因其组织和构造的不同而差别很大。在选用凿岩机与钎具时,必须注意岩石的个性特点及具体的凿岩条件,选用不当就会产生“不适应”,如1982年我国某一隧道工程中,选用了瑞典Sandvik公司的两种名牌钎头( $\phi 48\text{mm}$ 十字形、 $\phi 57\text{mm}$ 九球齿钎头),就发生了“不适应”<sup>[8]</sup>,不但给国家造成损失,也延误了工作。所以了解岩石的物理力学性质,对选用不同的凿岩机械和钎具有着重要的意义。



## 2.1.2 岩石的物理性质

凿岩常用岩石的物理性质有密度、容重、孔隙度、松散性、含水性等。

(1) 岩石的密度( $\rho$ )是指不包括孔隙体积在内的单位体积岩石的质量(俗称重量)。

$$\rho = \frac{m}{V_s}$$

式中  $V_s$ ——岩样中固相骨架体积,  $\text{m}^3$ ;

$m$ ——此体积的岩样质量,  $\text{kg}$ 。

(2) 岩石的容重 $\gamma$ (标准中应叫容质量,但习惯称容重)是指包括孔隙体积在内的单位体积岩石的质量。

$$\gamma = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_s + V_p}$$

式中  $V_p$ ——岩石中孔隙的体积,  $\text{m}^3$ ;

$V$ ——岩样总体积,  $\text{m}^3$ 。

实际上岩石中都含有一定的孔隙体积,故密度的概念只在计算时使用。

(3) 岩石的孔隙度 $P$ 是岩石中所含孔隙的体积与岩石总体积之百分比,即:

$$P = \frac{V_p}{V} \times 100\%$$

(4) 岩石的松散性(又称碎胀性)指整体岩石被破碎后,自然堆积的体积比整体岩石的体积增大,这种特性称松散性。松散状态的岩石体积与原岩石体积之比,称为岩石的松散系数。

(5) 岩石的含水性一般可用其含水量来表征,岩石含水多少取决于其孔隙的大小和数量,岩石的孔隙越大、裂隙越多,水对它的影响越大。在孔隙度很小的岩石中,例如岩浆岩,用水浸透后,强度无明显降低;但在孔隙度很大的岩石中,如石灰岩和砂岩,用水浸湿后,强度显著下降。

## 2.1.3 岩石的力学性质

岩石的力学性质是指岩石在受载过程中所表现出来的性质,它取决于岩石的组成和结构,并与加载方式有关。主要有变形特性、强度特性和表面特性。岩石的变形特性包括弹性、塑性和脆性;强度特性包括抗压强度、抗剪强度、抗拉强度和抗弯强度;表面特性包括硬度和研磨性等。这些力学性质对钻进速度、碎岩功耗和钻(钎)头寿命等有直接影响。

### 2.1.3.1 岩石的弹性、塑性和脆性

弹性、塑性和脆性是物体受外力作用后,对变形的不同表现。弹性是固体在卸去所加载荷后,恢复原来状态的性能。当所加载荷卸去后,固体保持其变形的性能称为塑性(即变形不能随之消失)。脆性是固体在载荷作用下,不引起残余变形的性能,这就是岩石的弹性极限与强度极限很接近,因此外载荷达到岩石的弹性极限时,固体很快完全破碎。衡量岩石弹性的指标是弹性模数 $E$ 和泊松比 $\mu$ (岩石的 $E$ 和 $\mu$ 一般不是常数,在很大范围内变化)。

岩石是由不同矿物组成的集合体,由于矿物成分和结构特点,造成岩石变形不均匀,所以岩石的应力和应变之间的关系要比均质物体复杂得多,并不符合虎克定律。由于多数造岩矿物属于理想的脆性体,其塑性都不大,有的基本无塑性,所以岩石的塑性变形主要是由