

三峡工程硬岩钻凿技术浅析

俞良骥 孙建华 冯起赠

三峡工区地层表面为卵砾石层夹“块球体”，基岩以粗粒花岗岩为主，部分为细粒花岗岩微风化，抗压强度在 100 MPa 以上，硬度按可钻性为 8~9 级。

三峡主体工程为大坝、机房和永久船闸三大项，基础施工全部需采用硬岩开凿技术；附属工程如一期围堰、二期围堰、临时船闸，工区基建、生活小区建设以及交通运输专线的公路、铁路桥基，全都需要采用硬岩钻凿施工技术。为此，研究三峡工区硬岩钻凿技术，为三峡建设服务，将有重要的意义和适用性。

目前，国内外硬岩钻凿工艺有：滚刀钻头回转钻进，双轮铣开槽机、多头组合式潜孔锤、冲击反循环钻进等方法，前两种为回转型，后两种为冲击型，现按三峡工区地层特点，分析各种方法的技术经济效益。

1 大直径组合滚刀钻头回转钻进

滚刀在刀轴上自转，在钻头上公转，在旋转过程中挤碎和克取岩石。这种设备价格比较低廉，工艺方法也比较简单，正反循环均适用。要达到良好的钻进效果，刀刃应压入岩石表层，需很大的轴向压力。据资料介绍，钻孔直径每英寸合理的钻压应达 8~10 kN，按此计算直径 1.5 m 桩孔钻压应为 480~600 kN，如此巨大的钻压不仅滚刀轴承受不了，回转扭矩也无法实现。实际上滚刀钻头的钻压是靠孔内配重实现的，能达到 5 t 配重已是不错了，50 kN 钻压对压入硬度为 400~500 kg/mm² 的三峡地层中的硬岩，不能使刀刃压入岩石表层，钻进效率极低，造孔成本高，所以不适合三峡地层使用。

2 双轮铣开槽机

我国引进一台德国宝峨公司双轮铣开槽机，拟用于围堰及大坝防渗墙开槽，该机在三峡工地组装试用，由该公司专家亲自操作，仅 20 多分钟就打坏 20 多个刀齿，德国专家认为三峡工区岩石太硬，不适合用双轮铣。分析其原因：其一，是铣刀片为金刚石复合片，不耐冲击，而长江三峡河床有大量卵砾石，铣刀工作过程无法形成连续均匀的切削，而是不停地承受断续的冲击负荷，硬而脆的刀片在冲击负荷下很容易崩裂；其二，是岩石的抗压强度大，结构内聚力强，铣削时破坏一定厚度的岩石内聚力，当铣削厚度及铣轮圆周速度对刀片形成的应力超过刀片的许用应力时，刀片亦被压碎。因此，双轮铣适用于中硬以下如石灰岩、砂质砂岩、风化花岗岩、大理岩、白云岩等地层，连续切削将会有很高的效率。主坝及围堰防渗墙基岩以微风化花岗岩为主，不适合使用双轮铣开槽机。

3 多头组合式潜孔锤

CD48-7 型钻头是由 7 个直径 48 mm 的潜孔锤组成直径 1200 mm 的大直径钻头；CD60-9 型钻头是由 9 个直径 60 mm 的潜孔锤组合成的直径 1500 mm 大直径钻头。据资料介绍，上述两种组合式潜孔锤在花岗岩中钻进效率达 3 m/h。虽有如此高的效率，但设备费和使用费也高得惊人，还必须配置动力机、空压机等，设备购置费和使用费都十分昂贵；除此之外，三峡河床开孔就见水，潜孔锤靠空气排岩粉，大直径孔在钻进过程中隔水问题亦无法解决。所以，大直

径组合式多头潜孔锤在三峡工区尚无应用价值。

4 冲击反循环钻进

数吨重的钻头每次落锤对孔底可形成数万焦耳的冲击功。对硬脆岩石,总破碎功等于弹性变形功:

$$A = \pi^2 r^3 P_K^2 (1 - \mu^2) / (4E)$$

式中: A —— 总破碎功, $\text{kg} \cdot \text{m}$;
 r —— 冲击刃尖端半径; P_K —— 岩石压入硬度; E —— 岩石弹性模数; μ —— 岩石泊松系数。

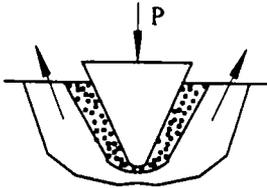


图 1 冲击刃下岩石呈现大剪切破碎

冲击刃接触岩石的时间为 $5.0 \times 10^{-4} \sim 0.35 \times 10^{-4} \text{ s}$, 岩石产生体积破碎的载荷增长速度 $V = dP/dt$, 式中 P 为刀具压入时岩石产生的应力, kg/cm^2 ; t 为应力增长到最大值的时间, s ; 一般载荷增长速度为 $20 \times 10^6 \sim 600 \times 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 。随着载荷增长速度的增加, 岩石的硬度、脆性和体积破碎功都增加, 即是对硬而脆性的岩石宜用冲击方法破碎。

三峡一期围堰采用冲击开凿防渗墙, 并试用国产冲击反循环钻机钻凿专用线桥基, 如期完成了施工任务, 并取得了经验。鉴于双轮铣开槽机不能胜任河床中心防渗墙开槽, 二期围堰全部使用国产冲击反循环钻机, 采用“两钻一抓”工艺开凿防渗墙沟槽, 两防渗墙间砂卵石用高压旋喷固结(见图 2), 建起一堵两面为钢筋混凝土, 总厚度 3.6 m 为主体的堤坝截流江水, 工程最艰巨和最重要的环节就是硬岩开槽技术。

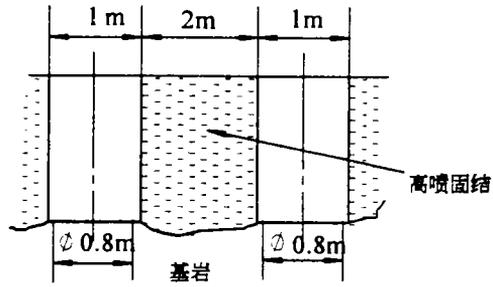


图 2

目前, 国产冲击反循环钻机有张家口探矿厂试制的 GCF-1500 型液控冲击钻, 济南探矿厂试制的 CJF-15(20) 型压梁冲击钻和由地矿部勘探技术研究所设计、葛洲坝集团公司机械厂试制的气控冲击和压梁冲击双功能冲击钻 3 种类型, 压梁式冲击频率较高, 冲程受限制, 且随孔深增大钢绳弹性变形的增加, 提锤高度随着减少, 故不适合较深孔使用; 离合冲击型受机械结构的限制, 不能实现较高的冲击频率, 但冲程不受限制, 便于实现单次大冲击功冲击, 对硬而脆的花岗岩形成体积破碎很有利。以上几种钻机采用反循环排渣, 避免了孔底岩渣重复破碎, 钻进效率较 YKC 冲击钻有明显提高。

国产冲击反循环钻机设备购置费和使用费均较低廉, 在孔深超过泵吸反循环能力时可采用气举反循环配合, 能达到二期围堰河床中心 74 m 深度开槽的要求。在三峡硬岩基础施工中采用冲击反循环工艺将获得较大的技术经济效益。

5 参考文献

武汉地质学院主编. 钻探工艺学(上册). 地质出版社, 1981.