

平洞掘进施工工艺的常见问题与改进措施

毛启平¹ 王显伟¹ 李 军² 杨 帆³ 陈建宇⁴

1. 四川省地质工程勘察院集团有限公司 四川成都 610000

2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 四川成都 610000

3. 四川省地球物理调查研究所 四川成都 610000

4. 四川省地质工程勘察院集团有限公司 四川成都 610000

摘 要: 平洞掘进施工过程中, 施工工艺在不同洞段的运用和选择发挥了重要作用。本文基于A项目平洞掘进施工工艺在不同洞段运用时存在的问题, 及时调整施工工艺, 通过在0~6m段实施风镐施工工艺、6~21.4m段实施扒渣机掘进施工工艺、21.4~35.0m段实施1850型TBM掘进施工、35.0m~120m采用钻爆法掘进方式, 以达到破岩, 增强岩体自稳性, 提高掘进效率, 顺利完成对坚硬岩层洞掘进的目的。

关键词: 平洞掘进; 施工工艺; 扒渣机掘进施工; 钻爆法掘进

一、工程案例

渔巴渡变形体位于毛尔盖水电站库首右岸渔巴渡沟上游山脊, 紧邻坝址, 与坝址的距离在500m左右。监测平洞设置在高程2155m处平台靠坡面位置, 能够监测变形体的稳定性, 其中该平洞洞长在120m处, 其监测平洞的位置示意图如1所示:

渔巴渡变形体前期开挖处理之后边坡呈现了三角形的形状, 高程为2307m, 坡高为150m。在开挖过程中除了要对第七级马道以上覆盖层边坡进行处理, 应重点对基岩边坡做好掘进的准备。究其原因, 通过考察该项目的基岩, 该基岩由不同种类的岩石构成, 其中这些基岩包括T3zh1-5中厚层石英砂岩夹薄层绢云母千枚岩、炭质千枚岩, 石英砂岩所占比例较高, 即为70%左右, 千枚岩在30%左右。本项目综合考量和评估不同基岩



图1 监测平洞位置示意图

之后基于不同洞段使用了不同施工工艺, 即风镐施工工艺、扒渣机施工工艺、185型TBM施工工艺、钻爆法施工工艺。

二、平洞掘进施工工艺运用面临的常见问题

1. 风镐破岩掘进施工工艺常见的问题

风镐破岩施工过程中主要借助风镐与空压机进行相互配合, 风镐钎子在空压机的作用下可对石方进行有力的撞击, 这一工序可实现破岩的目的。石方在撞击以后人工在使用簸箕将其装进斗车之中, 并运送到渣场。风镐破岩流程比较复杂, 最大的优势可以产生较小的成本, 但是由于采用人工掘进的方式, 所以掘进的效率较低, 项目产生的价值较小。

风镐破岩的施工流程为: 准备资源→调试作业→清理作业→破岩作业→渣石运输。

施工准备环节: (1) 准备好2台风镐、1台4立方空

作者简介:

1. 毛启平 (1990.11-), 男, 汉, 四川泸县人, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑行业。
2. 王显伟 (1976.03-), 男, 汉, 四川成都人, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑行业。
3. 李军 (1968.12-), 男, 汉, 四川崇州人, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑行业。
4. 杨帆 (1990.08-), 男, 汉, 四川成都人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 建筑行业。
5. 陈建宇 (1992.09-), 男, 汉, 四川泸县人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 建筑行业。

压机、4名工人、1台斗车及若干风管等资源；（2）针对空压机进行调试，确保输出的气压能够稳定在4~6Mpa；测试风镐各部件的连接处是否稳定，钎子的灵活性等，避免在作业施工中出现各种故障。（3）施工区域的清理工作。表面浮石以及杂物等进行清除，并规划好出渣的路线，保障斗车可以将其安全顺利地运输到渣场。破岩作业：（1）工人手持风镐，对准岩石需要破碎的部位，借助钎镐的冲击力，实现对岩石的有效破击。（2）使用分区破碎的方式，将作业面划分为若干个小块之后，在将其破碎，每一个区域的岩石破碎后，及时将其清理，再进行下一区域作业的掘进工序。

该施工工艺存在掘进进程慢、人工成本消耗较高等劣势。由于本项目平洞掘进主要位于山体的变形之处，本身岩层的自稳定较差，孤石比较多，所以在掘进过程中不适合使用这一工艺。

2.扒渣机破岩掘进施工中存在的问题

扒渣机施工过程中同样借助空压机供风所产生的冲击力，通过在机械中安装破碎头，实现对岩体的撞击达到破岩掘进的目的。在实施该工程项目的掘进工作时，还应使用超前锚杆支护的方式使岩体稳定性得到有效保障。其中在进行洞内的支护时，主要使用钢拱架和网喷混凝土掘进的方式。在达到破岩之后，施工人员将破碎头进行更换，借助履带将其运输到三轮车上将其运输到渣场位置。这一施工工艺的机械性较高，可用于本项目的平洞掘进工程。

扒渣机施工工艺主要的流程为：设备的调试→地质的探测→破岩与支护→出渣作业→循环掘进。

破岩操作时，做好定位与钻孔的准备，将破碎头角度调整到最佳的破岩位置。超前锚杆进行设置时，可使用机载锚杆钻机将锚杆设置在掌子面之上，其间距在1.0 ~ 1.2m处，总长度在3 ~ 4m左右。在进行破岩时，可使用分层破岩的方式，保障层高在0.8 ~ 1.2m左右，使用破碎头直接向岩体进行冲击，每一次的破岩进深应控制在1.5 ~ 2.0m左右。如图2所示：

每次破碎后使用履带将其运输到三轮车上将其运输到渣场位置。如图3所示：

为了保障岩洞的稳定性，在进行破岩后应安装好钢拱架，设置钢筋网（ $\phi 6 \sim 8\text{mm}$ ，网格间距 $200 \times 200\text{mm}$ ）。

喷射的混凝土厚度在100 ~ 150mm。锚杆间距为 $1.5 \times 1.5\text{m}$ ，长度在3 ~ 4m左右。其中锚杆与钢拱架、喷射混凝土的各项参数标准如表1所示：



图2 破碎头施工



图3 渣土的运输

表1 各项关键技术参数

	技术参数
支护参数	超前锚杆： $\phi 25\text{mm}$ 中空注浆锚杆，环向间距 $0.4 \sim 0.6\text{m}$ ；锚杆拉拔力试验合格率 $\geq 90\%$
	钢拱架： I16 或 I18 工字钢，纵向连接筋 $\phi 22\text{mm} @ 1.0\text{m}$ ；钢拱架安装垂直度偏差 $\leq 2^\circ$
	喷射混凝土： C20 ，速凝剂掺量 $3\% \sim 5\%$ ；喷射混凝土回弹率控制在：拱部 $\leq 25\%$ ，边墙 $\leq 15\%$

在完成一个循环之后，扒渣机在向前不断推进和移动，在新的作业面上重复以上的工艺操作，直至达到设计进尺。本项目正处于山体变形体上，孤石比较大，岩石的稳定性也较差，在应用该工艺进行掘进之后，需要进行支护处理工作。而由于工字钢在进行安装时，安装的时间较长，投入的资本高于产值等问题成为使用该工艺的最大弊端。

3.185型TBM掘进

该项目施工过程中借助掘进机的头部钻头进行回旋，以实现推进，在前进时施工人员应铺设钢轨，如图4所示：



图4 铺设钢轨

铺设的钢轨结合TBM掘进机的尺寸进行安装，在发电机的带动下，结合掘进中的流量表，如果出现转速增加但是泵的流量并没有明显变化的情况，说明此处的岩石硬度较高，施工人员应增加推动的压力。同时，锚杆钻机在进行操作的过程中应提前检查钻机泵的油位、检查钻杆和钻头是否良好等，当一切准备就绪后，开展钻孔工作。采用履带输送岩石至三轮车转移至指定弃渣场。在掘进后也需要利用钢拱架进行支护，并喷射混凝土。由于施工该工艺进行支护处理时，工字钢安装时间为1天，资源投入较高等，使得本项目的成本高于产值，该工艺不太适合这一项目。

4. 钻爆法掘进

钻爆法主要是在施工中联合使用空压机和凿岩机进行钻孔，在钻孔完成之后装入炸药，精准定位定点需要爆破的位置实施爆破。爆破完成后，人工将洞内的渣土进行转移，并使用三轮车进行渣土的运输。该施工工艺的具体流程为：钻孔→装药放炮→排烟通风→清撬→支护→出渣。

本项目考虑到山体变形的问题，使用这一工艺时将药量缩小实施爆破，通过每天进行3米的掘进，可在固定的时间内完成施工任务。同时，该工艺的适应性较高，技术也比较成熟，造价较低等，已经成为目前平洞施工中比较适合的施工工艺手段。

三、平洞掘进施工工艺运用的安全保障措施

1. 钻孔安全问题的有效保障

在钻眼之前，施工人员应检查工作面是否安全；灯光照明是否良好；支护以及顶板是否牢固；岩石是否松动等，一旦发现有松动的岩石，可做好相应的支护措施。对于钻孔过程中所使用的凿岩机质量进行控制，尽量使

用带有捕尘器的凿岩机进行钻眼，当设备工具使用一段时间后，操作人员还应对设备进行修理、更换等，从而切实保障钻孔的安全性。

2. 支护安全保障措施

各个掘进施工工艺在运用时均需要做好支护的工作，对于危险地段，项目应指派专人进行检查，一旦出现支护变形或者支护损坏的问题，可及时进行改进和做好加固的措施。对于在开挖之后喷射的混凝土未达强度要求或者围岩稳定性较差的问题，应及时采取措施进行支护加固。

3. 洞内的通风和防尘安全措施

洞内通风与防尘安全是保障人身安全的重要环节，因此在实施钻爆法施工时应该注重人员的安全问题，由专门人员进行通风管理，当通风机运转的过程中，应避免人员在风管进口和出口位置停留。施工人员应佩戴防尘罩，控制在洞内的时间等，风管与掌子面的距离应在50m左右。并在喷射混凝土施工时应采用湿喷的方式，避免使用干式的凿岩机产生较大的尘土。

结论

平洞掘进施工工艺的运用和选择，对确保施工质量具有重要作用。本文结合项目实际的情况，针对不同掘进施工工艺运用时存在的问题进行了分析，并提出了一系列的安全保障措施，通过优化支护、爆破安全、钻孔、勘察等方面的安全措施，从而避免平洞掘进施工中可能会发生的安全事故。这一研究将为更多水利工程开展平洞掘进施工工艺的运用提供借鉴和参考，切实提升水利工程项目的质量。

参考文献

- [1] 陈雨生. 长距离小断面隧洞建设中TBM与钻爆法联合施工技术研究[J]. 水利技术监督, 2025, (06): 212-215+225+279.
- [2] 刘亚军, 段任荣, 尚书毫, 等. 水利工程复杂地层TBM施工工效分析[J]. 广东水利水电, 2023, (03): 68-74.
- [3] 刘彦章. 水利工程TBM施工技术应用研究[J]. 低碳世界, 2020, 10(09): 34-35.
- [4] 谢燕升. 水利工程TBM、钻爆隧洞方案的造价编制和比选[J]. 广东水利水电, 2018, (08): 79-82.