**[类 型]**技术工艺

**[关键词]**智能抽排水管理，PCL编码控制器，自动除泥

公路隧道自动化智能反坡排水技术

JWC2021-162

甘肃路桥建设集团有限公司

杨鹏、马睿驰、单静云、张永成、吕虎

**1.成果简介**

**1.1技术背景**

目前，公路隧道反坡抽水主要由水仓管路和泵站组成，一般采用伸入主洞侧方开挖施工积水坑的方式，水仓施工进度慢。各级泵站的联系采用专职值班人员通过通讯协调配合抽水，效率不高还存在不可避免的人为疏漏，随着科学技术的进步和电气自动化及无线智能化的发展，传统专人值守抽水的方式渐于淘汰，新型智能自动排水既能实现安全要求，又可节能降低成本。本技术通过敦当试验段Ⅱ标阿尔金山斜井及阿尔金山隧道主洞自动化抽排水的应用可有效解决反坡排水问题。配合自动清淤系统，故障报警系统，减少成本浪费。同时，保障现场施工安全，也从侧面促进了施工进度。

**1.2解决的主要问题**

实现隧道洞内积水快速排出洞外，减少水资源的二次污染，以及有效减少人为控制过程中的时间浪费，降低材料设备消耗量。同时降低了隧道抽排水的安全风险。

**1.3适用范围**

适用于开挖断面30㎡以上，隧道内存在裂隙水，最大涌水量在500m3/d以上需进行反坡排水的各类隧道。

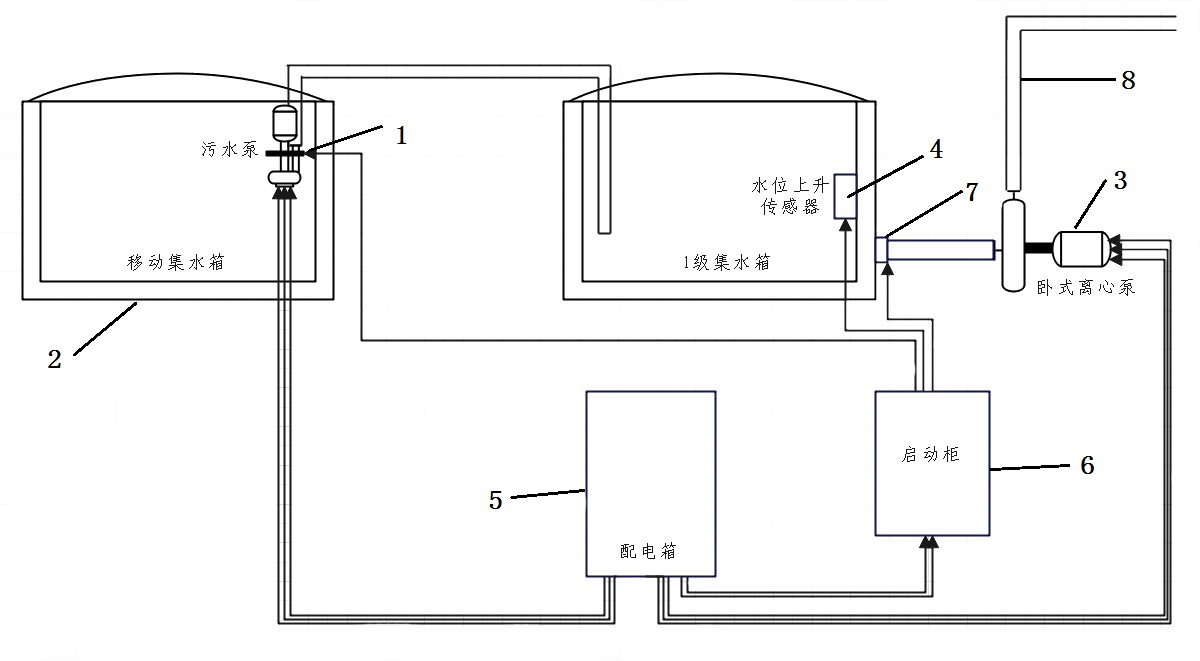
**1.4技术特点**

为实现智能自动和手动遥控的智能抽排水管理，在每一级泵站启动箱内接入三维旋钮开关箱和长距离遥控继电器﹑液位继电器﹑PCL编码控制器﹑故障报警系统进行联合控制。

**2.技术内容**

**2.1工作原理**

为实现智能自动和手动遥控的智能抽排水管理，在每一级泵站启动箱内接入三维旋钮开关箱和长距离遥控继电器﹑液位继电器﹑PCL编码控制器﹑故障报警系统进行联合控制。其原理是隧道内设置集水井，汇集隧道内的地下水，再用污水泵将水抽排集中至一级集水箱。一级集水箱旁设置高扬程卧式离心泵泵站，通过智能控制系统，待一级集水箱水位至水位上限时，通过液位传感器自动识别启动控制柜（频繁启动易发热加设小型风扇进行散热，减少故障）启动卧式离心泵电机工作抽排水，在启动抽水的同时启动除泥系统，将污水通过管道抽至二级集水箱，同原理再由二级集水箱通过高扬程卧式离心泵接力抽至三四级集水箱，最终由N级集水箱通过卧式离心泵抽至洞外，最终经洞外排水沟将水排至洞外三级污水沉淀池，经过过滤净化后排入河道。待集水箱内水位下降至下限水位时，会通过液位继电器自动断开电路停止抽排水。随着洞深加深各级泵站启动时电压因电损电压降低和波动，为此在水泵站附近安装补偿增容柜实现不稳定电压实时调整，保证泵站电机顺利安全启动。（附图1）



**图1 隧道反坡智能自动抽排水平面布置示意图**

**2.2操作要点**

2.2.1推算隧道最大出水量

隧道出水量分正常出水量和最大出水量，正常出水量是根据大气降水入渗法和地表下径流模数法，按照经验参数计算取两者平均值。最大出水量根据水文地质勘察规范中，最大出水量概略预测表查找计算得出。通过综合考虑雨季雨水，取正常出水量的3倍和最大出水量两者平均值，作为隧道最大可能出水量。阿尔金山隧道主洞设计单洞最大涌水量约为6350m3/d，单洞反坡排水涌水量为1587.5m3/d，每小时的涌水量为66.1m3/h。根据斜井设计地下水主要为基岩裂隙水，第四系松散堆积层孔隙水。预计最大涌水量Q=1590m3/d，每小时的涌水量为66.3m3/h。

③根据出水量确定各类抽水设备参数

要确定抽水机配置及数量，泵站的级数，集水箱的布置位置及容量，管道直径。

1）泵站级数

按照公式：

L：反坡抽水长度L=1400， Z：隧道排水纵坡坡度Z=14.88%，

H：水泵扬程H=90m，r：考虑到高原折减系数取0.5。

N=4.63 考虑到高原效率低和安全因素，按照5级集水箱考虑。

2）抽水机配置及数量

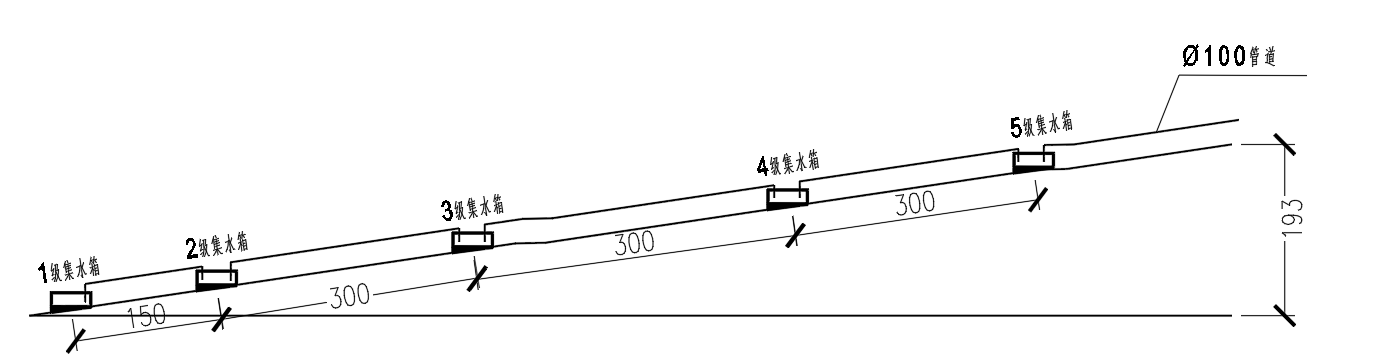
按照最大可能出水量确定，综合考虑水泵各泵站之间的距离和扬程以及有效的排水量确定泵的型号规格。同时因泵的流量越大扬程越小，扬程越高流量也就越小。要综合考虑几方面的因素确定泵的型号。活动水泵用9.2kw,380v,内径65，扬程30～50m，和22kw,380v,内径100，扬程30～50m潜水污泥泵，固定集水箱水泵处采用扬程80～100m,电压380V，功率35KW高扬程卧式离心泵。并且在集水箱处应备用一台离心泵，作为应急设备。在考虑泵机型号时还应该考虑一定的安全储备，按照1.3倍最大出水量进行考虑。

3）集水箱的容量

泵站集水箱容量按日最大出水量考虑和隧道净空宽，在保证集水箱不影响行车的情况下按照10～15min最大出水量进行考虑。位置应按照已确定的泵站级数和选择的泵机及现场条件综合考虑。水箱容量按公式：。（M：最大出水量 M=1590m3，T：积水时间取T=14min N=16m3）集水箱采用无盖5m×3m×1.5m=22.5m3长方体钢水箱。

4）管道直径选择

管道直径应满足隧道内每小时的最大出水量，还应综合考虑卧式离心泵工作时水的流速。大于最大涌水量时，排水管满足要求。参考公式： （D：管道内径；L：隧道每小时可能最大出水量，L=66.3m3/h；l：泵机流速取2.3m/s D=0.101mm）。取排水管路直径100mm。

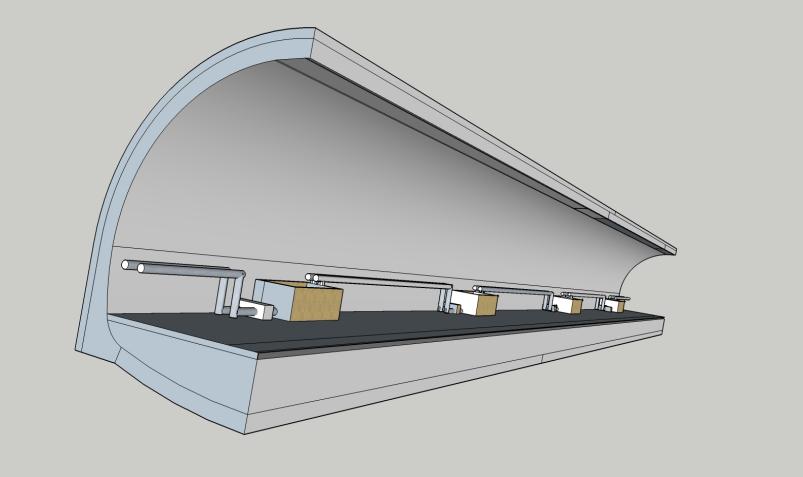


**图2 隧道反坡智能自动抽排水泵站布置示意图**

④安装各级集水箱和抽水管路

各级集水箱采用6mm厚钢板焊接制成无渗漏矩形无盖水箱，焊接过程中，为保证大体积水箱稳定性，在水箱内部中间位置采用ø42无缝钢管设置一层水平支撑梁。底部四个角点部位设置钢制滚轮，以便于后期移动水箱。为避免水箱在施工期内发生因锈蚀而无法使用的现象，在水箱焊制完成检漏合格后要做防锈蚀处理，内部采用普通防锈漆处理，外部采用反光防锈漆进行防锈蚀处理。集水箱制作完成防锈处理之前进行满水试验，检验水箱的渗漏情况，水箱渗水量不超过2L/(㎡.d)为合格。

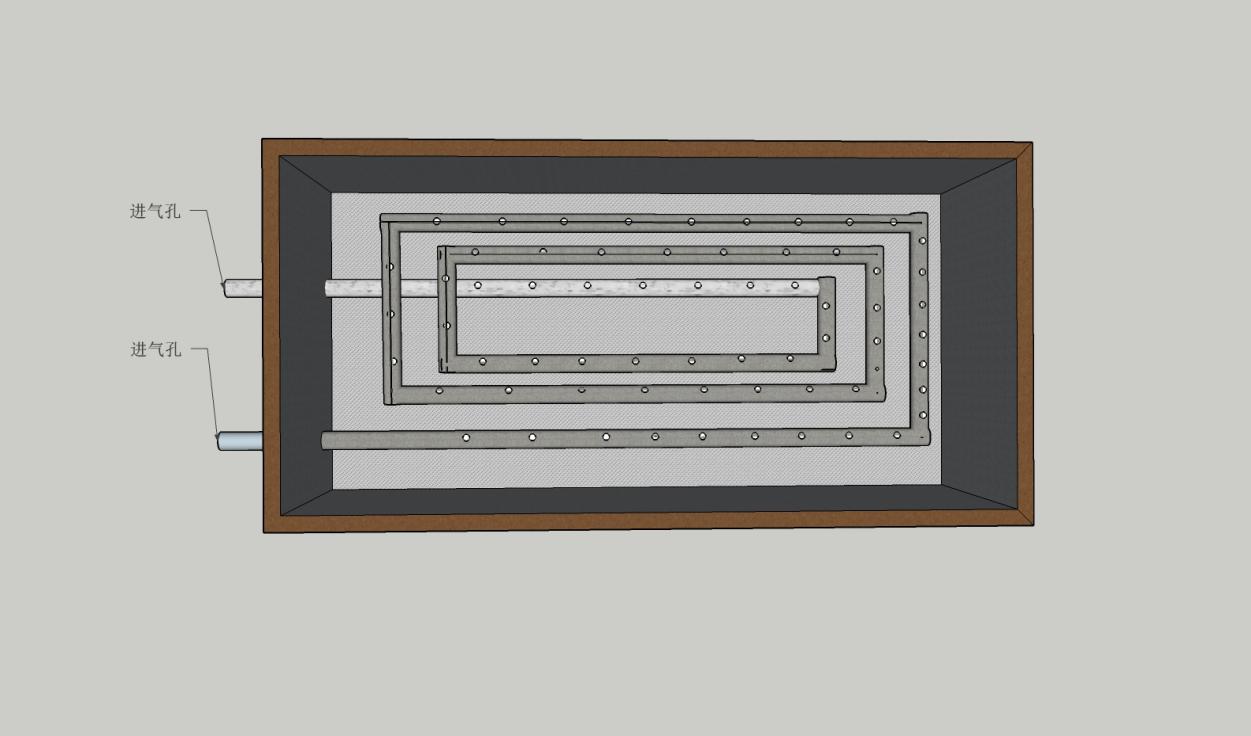
排水管路沿压风管侧边墙布置，按边墙拱脚以上1.5m高控制，采用5×5角钢焊接成的角撑作为固定撑，角撑间距沿边墙纵向间距10m布置。抽水管路安装过程中应注意各接头部位法兰的密封，保证接头部位不出现漏水现象。根据洞内预测出水量，再结合选配的抽水设备，按一套管路抽排水，备用一套管路作为应急抽水管路，管材均采用100mm无缝钢管。采用专业队伍进行现场排水管实施，管路安装必须平、直、顺，并且弯度平缓，避免转锐角弯，以减小管路沿程阻力和局部力，并且要加强日常维修和管理，避免返工现象发生。隧道施工冬季施工不可避免，为保证冬季洞内施工时，抽排水管路不会出现结冻现象，对进洞口500m范围内管路需采取保温措施。采用螺旋布设电热带加热，并在外层包裹双层无纺土工布进行保温。



**图3 隧道反坡自动抽排水泵站布置纵断面图**

⑤安装自动除泥系统

为能解决集水箱抽水过程中的水箱底部沉积淤泥实现自动排出，在水箱底布设除泥系统。主要在集水箱底部以上10cm位置安装一层压力等级PN1.0的40PE管“回”字型供气管路，最外边PE管距集水箱周边20cm，两PE管间距按照40cm控制。管底120度范围内按50cm交错布两排孔，孔径按8mm控制。洞内压力风管风分两路通过分管与通风孔相接，并在通风孔口安装电磁控制阀。在抽水过程中，整个淤泥稀释悬浮助排系统的启停控制连入PLC编码控制器进行智能控制，在启动抽水后延时5秒自动开启电磁阀，从通风孔内通入0.65Mpa压力风进行淤泥沉积物稀释悬浮，沉积物颗粒伴随卧式离心泵排水一并排出洞外。当抽水过程停止时通过PLC编码控制器会给电磁阀一个关闭信号，关闭电磁阀停止供风。在长时间间断不连续供风运行后，势必会出现通气管里因沉积物堵塞的现象发生，因此要在根据巡视检查情况进行维护，疏通过程中采用反冲洗后疏通的方式进行。需疏通时，两通风孔一个孔作为入水口一个作为出水口，由入水口通过小型泵通水冲洗，冲洗后两孔再按通风孔通风疏通。

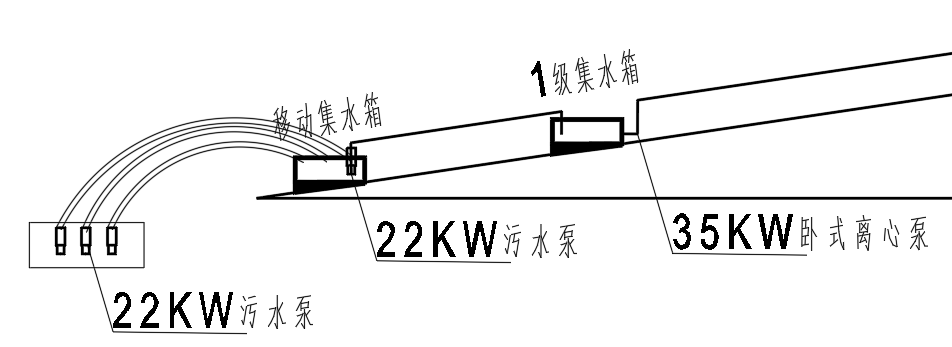


**图4 隧道反坡自动抽排水集水箱除泥系统布置平面图**

⑥安装各类抽水泵

洞内抽水泵的分布地方分别在掌子面及仰拱临时集水坑、移动式临时集水箱、固定各级集水箱以及临近固定泵站中心水沟检查井内。涌水由临时集水坑排至移动式临时集水箱采用9.2kw,380v,内径65钢丝软管，扬程30～50m，和22kw,380v,内径100钢丝软管，扬程30～50m的潜水污泥泵。移动式临时集水箱至一级级集水箱采用22kw,380v,内径100钢丝软管，扬程30～50m的潜水污泥泵。一级级集水箱至二级到五级集水箱采用35KW扬程90m的高扬程卧式离心泵进行接力排水。各级集水箱在临近固定泵站中心水沟检查井内采用9.2kw,380v,内径65钢丝软管，扬程30～50m的潜水污泥泵进行截留积水抽排。

各级泵站离心泵安装过程中要求进水口必须安装滤水罩，出水口管路设置止回阀。要求离心泵水平设计，进水口与出水口要垂直。其他各类污水潜水泵均采用吊架与铁丝垂直调在临时集水坑或检查井内。



**图5 掌子面排水水泵布置示意图**

⑦设置配电线路

洞内电路的设置是隧道抽水的关键，为能确保洞内排水能正常进行，不会因为电路问题造成抽排的中断，设置排水专用线路，并备用一条线路，作为应急专用线路。

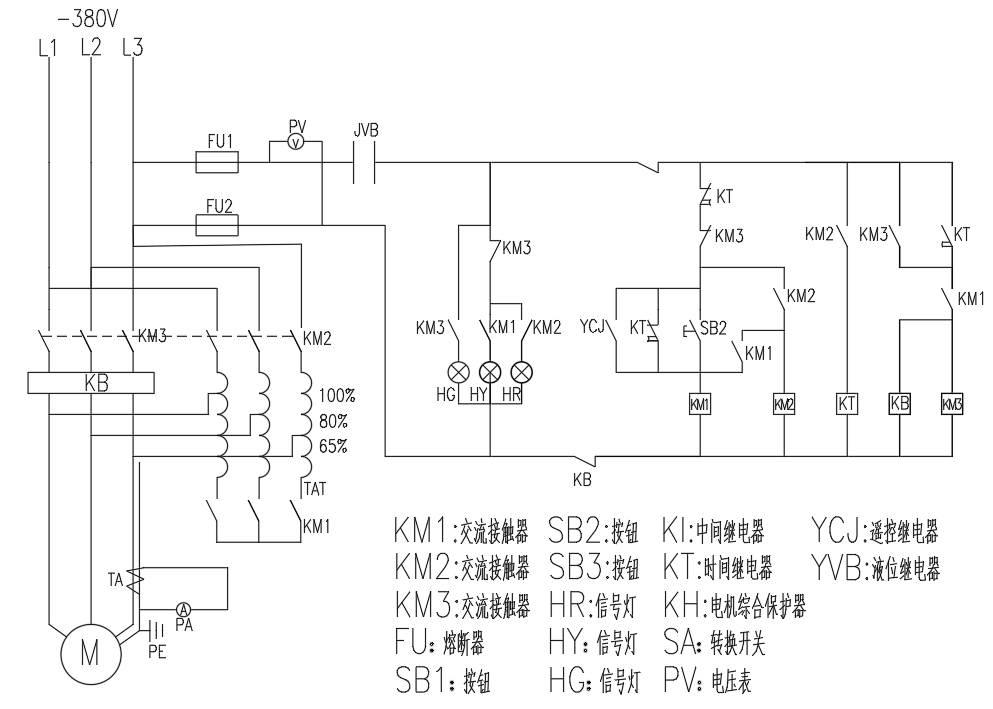


**图6 高压进洞布置示意图**

隧道内集水箱和排水管路都是按照最大累计涌水量确定，因各级泵站泵机按满负荷工作，还必须考虑满足最大排水要求时额定功率下的的变压器和电线。同时为确保隧道排水系统在任何情况下的可靠性，还需备用满足额定功率的发电机。按照功率(P:发电机总功率,各电机的功率之和，r一定的折损系数高原系数参照0.70取值，p=572KW）。考虑到抽水专线在进洞后随着洞身的延伸会出现电损导致泵站电机无法正常启动，进洞专线只能满足距洞口前三个泵站满负荷工作电压，在隧道掘进至2#缓冲平台时，需要将高压引入洞内。专用电缆采用电缆支架距隧底4m高位置布置。

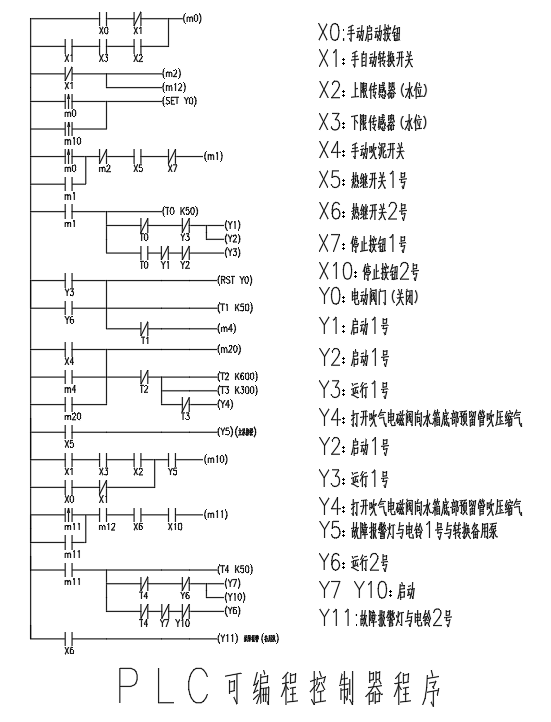
⑧安装水泵自动化控制启停设备

为实现大功率泵机的安全顺利启动，抽水过程中能自动抽水。卧式离心泵机启动采用自耦降压启动柜、液位继电器、时间继电器、遥控继电器、温度控制开关、电压电流表、电动机综合保护器组成自动化控制启停系统、三位旋钮开关等。通过液位继电器实现水位线达到高位线时，液位继电器接通电路,时间继电器通过延时控制启动自耦降压启动柜启动泵机抽排水，待水位达到低水位时，液位继电器工作断开电源实现停止抽排水。在启动正常开关处并联接入遥控继电器，当液位继电器未能正常工作时，用遥控器远程控制启停卧式离心水泵。



**图7 采用液位继电器实现自动化抽水泵机启动接线改进示意图**

启动电路中加入PLC可编程控制器写入控制程序，在水箱里安装一个水位上限传感器，一个水位下限传感器。当集水箱水位到达上限传感器时，上限传感器给PLC一个启动控制信号，然后水泵启动控制柜开始启动，当水泵启动完成进入运行状态时，在进水口处的电磁闸阀会自动打开给水泵供水（设置进水阀减小电机启动时，造成的启动大电流对供电线路其他设备的影响）。当水泵正常运行后安装在水箱底部的“回”字型供气管路会自动通入压缩空气，对集水箱内的淤泥进行吹气稀释，让淤泥与水充分的稀释混合悬浮，进而让悬浮颗粒与水一起由水泵抽送至洞外。当水箱水位到达下限传感器时，传感器会给PLC一个停止信号，让其停止排水并关闭吹气电磁阀。当水泵在运行当中水泵出现故障PLC会自动报警，并自动转换到备用水泵进行排水作业。作业过程中采用两台卧式离心泵，一台作为备用主泵出现故障会自动转换到备用泵抽排水，如果上限水位传感器故障5秒后报警并指示，然后5秒后PLC会自动识别后启动备用主机水泵运行。



**图8 采用PLC可编程控制器自动化程序**

⑨检查验收并进行抽排水试验

各级泵站设备及管路和配电线路架设完成后要进行抽水试验，试验要采用分级逐个试验的方式进行。首先，由隧道底部经污水潜水泵将水抽至第一级集水箱至水箱蓄满水时，按照一路排水管进行抽排试验。然后，开启一级泵站泵机进行抽排至二级集水箱试验。在抽水过程中多次观察记录实际抽水过程中水箱水位下降情况，按照均值推算实际抽水效率。在每一级泵站试抽过程中进行观测推算抽水效率，在抽水过程中如发现某一级自动抽排水系统运行中出现失灵等现象，及时查找原因解决。

⑩正常运行

管路及各级泵站逐个试验抽水过程中试验合格后，开始进行洞内排水系统全部运行后排水量计算，当排水量大于等于隧道内正常涌水量，排水系统就能满足洞内排水的需要正常运行。

**3.应用效果**

通过阿尔金山隧道智能抽排水的应用和大岭山隧道智能抽排水的引用，当采用智能自动抽排水与传统手动控制抽排水工艺相比较，抽水过程中主要节省人工，空载时的用电浪费和设备维修费用以阿尔金山隧道斜井1401m计算，按照隧道掘进至1401m抽排水1年进行效益分析。每日可节省人工至少4个，每天可节省人工费成本880元，每天可节省用电成本467.4元，每年节省设备维修至少5次。

节省劳务费用：（1920-1040）/d×365d=321200元。

节省电费费用：（3156-2682.6）元/d×365d=172791元

设备损坏及维修费：1000×12-1000×5=7000

总计年节省费用：321200+172791+7000元=500991元。

隧道内施工的空间，相对密闭。施工机械的油烟，岩体开挖产生的粉尘颗粒及混凝土施工，势必会对洞内渗水造成二次污染。通过智能自动抽排水系统快速将积水排出洞外，有利于减少水资源的二次污染，同时，施工环境优化保护了施工人员的身心健康。总体抽水过程中减少电的使用量，实现节约能源、保护环境的目的。

智能自动化抽排水是一种新型的抽排水方式，利用液位继电器，遥控继电器和PLC可编程控制器在水泵中的自动启停控制，可有效减少人为控制过程中的时间浪费，降低材料设备消耗量。同时，自动化抽水设备安装拆除方便、快捷，可有效的节约社会劳动力资源。

**4.推广应用前景**

本技术在阿尔金山隧道斜井和阿尔金山隧道出口的反坡排水中得以应用，采用自动化抽排水系统，实现了自动清淤，故障自动报警，抽水控制自动化，减少了劳动力资源，降低了施工的安全风险，整个施工过程中未发生安全事故，并且为前方施工提供了有利保障，降低了工程成本的消耗，在经济上，节约了成本费用。智能自动抽排水系统操作简单、方便，操控性极强。其效益、安全性均得到了有效保证，具有挺高的推广应用价值。为今后隧道反坡抽排水施工积累的宝贵的经验，具有较高的推广价值。