

溶气气浮机在 TBM 施工隧洞的应用

张德君¹ 王明华¹ 丁永哲²

1 中铁十一局集团第五工程有限公司 2 天津建新泰隧道工程有限公司

DOI:10.32629/bd.v4i2.3120

[摘要] TBM掘进机是一种集机、电、液压、传感、信息技术于一体的隧道施工成套设备,可以实现连续掘进,能同时完成破岩、出碴、支护等作业,具有快速、优质、高效、安全、环保、自动化和信息化程度高等特点,用水量大,污水再利用意义重大。

[关键词] TBM施工污水再利用; 特点; 应用; 措施

TBM施工过程中,隧洞沿线富水断层带会向洞内渗漏水,并在流动过程中与灌浆或喷砼水泥、沿途掉落的岩渣岩粉、岩渣中夹带的润滑脂、液压和润滑系统漏液、TBM冷却弃水等混合,导致隧洞排出的污水达不到污水排放标准,而且大量的涌水会威胁隧洞施工安全,为保证隧洞施工安全,并适应工程污水排放标准,需要对隧洞排污系统进行专项研究。

同时由于水资源的宝贵,在污水净化的基础上,合理利用净化水作为TBM冷却水,对TBM施工经济效益和社会效益都有明显的改善。

1 工法特点

溶气气浮机应用工法特点:①合理利用洞内空间,实现洞内污水治理;②实现机械清淤,减少人工清淤作业强度;③采取强制机械压力过滤,去除水中杂质与悬浮物,进一步净化水质;④根据洞内TBM冷却用水量,在洞内实现净化水的合理调配。

2 适用范围

水利、矿山、铁路、公路、石油等TBM施工隧洞施工污水处理。

3 工艺原理

(1)在原多级沉淀池的基础上,增加板框压滤机清除淤泥,由机械化代替人工作业,避免了大量的人工清淤作业施工。(2)在多级沉淀池出口与溶气气浮机入口处投放PAC与PAM,实现污水溶气气浮。(3)增加多级机械强制过滤器,确保排污水质达标排放。(4)实现排污净化水体的合理利用。

4 工艺流程及操作要点

4.1 工艺流程图

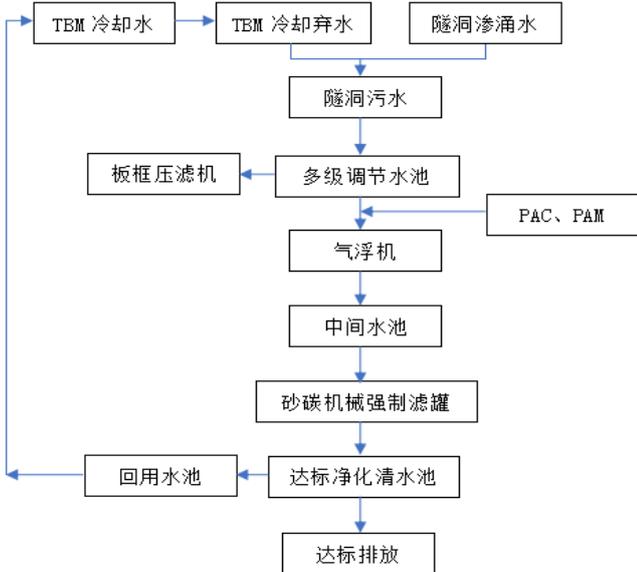


图1 工艺流程图

4.2 施工操作要点

4.2.1 水量估算

TBM冷却水针对每一台TBM设备厂家都有铭牌额定用水量,除刀盘喷水随泥渣带出,剩余约70%会成为弃水进入排污系统。

根据设计地质资料、水文资料和当地气象资料,参考沿线地质勘探、物探和补勘资料,并结合隧洞支护方式确定TBM施工期隧洞正常涌水量和最大涌水量。

4.2.2 污水处理系统规模确定

污水处理系统规模主要依据多级沉淀池容纳水体滞留时间确定,为保证悬浮物沉淀效果,一般要求水体在沉淀池中滞留30分钟左右;也可以加深沉淀池或改良沉淀池提高沉淀效率,缩短滞留时间。

4.2.3 溶气气浮机工作原理

(1)基本原理。经加药反应后的污水进入气浮机的混合区。与释放后的溶气水混合接触,使絮体粘附在细微气泡上,然后进入气浮区,絮凝体在气浮力的作用下浮向水面形成浮渣,下层的清水经集水器流至清水池后,一部分回流作溶气水使用,剩余清水通过溢流口流出。气浮池水面上的浮渣聚集到一定厚度以后,由刮沫机刮入气浮机污泥池后排出。

(2)用途及特点。气浮应用与给排水及废水处理中,它可以有效去除废水中难以沉淀的轻浮絮体、絮凝的胶体物质、油类物质等。①处理能力大、效率高、占地少。②工艺过程及设备构造简单,便于使用、维护。③能消除污泥膨胀。④气浮时向水中曝气,对去除水中的表面活性剂及臭味有明显效果,同时由于曝气增加了水中的溶解氧,为后续处理提供了有利条件。

(3)设备运行。①加水:使气浮池清水达到水位线(污泥槽斜板上沿下去5mm左右),气浮池水位的高低可用集水管出口处的气浮池水位调节装置调节,或者控制进水流量将气浮池水位控制在污泥槽(11)斜板上沿下去5mm左右。②溶气系统试运行:开启空压机,控制空压机起停气压,将稳压罐气压控制在5.5~6.0Kg/cm²左右,关闭控制阀(3)及溶气出水阀(14),启动水泵(2),然后逐渐打开控制阀(3),压力表①(4)及压力表②(5)压力逐渐上升,一直达到泵所够达到的压力,一般4.5~5.0Kg/cm²。此时可打开溶气水出水控制阀(14),溶气水通过溶气出水阀(14)进入气浮池释放器(9),释放至气浮池。气浮池水中出现大量微气泡使清水变成乳白色,即可认定溶气系统溶气正常。气浮池泥渣浮起后可将刮沫机(4)的电器旋钮开关旋转至自动位置。溶气水的压力可看溶气罐(6)上的压力表(5)读数,该压力的大小可用控制阀(14)开启的大小在水泵(2)可供压力范围内调整,一般取3.5~4.5Kg/cm²。压力越高溶气水量越大,气浮池微气泡密度越高。溶气系统的气体是由空压机提供的,由于溶气水不断将罐内空气带走,罐内空气逐渐减少,水位不断上升,当水位上升到一定位置时,自动液位控制系统将控制电磁阀接通,稳压罐空气进入溶气罐(6),溶气罐水位下降,当水位下降到一定位置时,自动液位控制系统将控制电磁阀断开,停止供气。如此

往复循环,通过电磁阀的启闭来保持溶气罐内的空气量。③气浮运行:在溶气系统工作正常的前提下,将加药反应后的污水送入气浮系统,流量先小一些,待运行正常可逐渐增大至额定值。其流量大小可安装流量计来测定,也可按经验根据气浮池集水管出水水花的大小来估算。④溶气水量的确定:一般溶气水水量控制在污水量的20~30%,由于各种废水的SS含量不同,从理论上讲溶气水水量也应按污水SS含量来确定。本设备采用TJ型释放器的流量是由释放器本身释放能力所决定。其流量变化随溶气压力而变化,压力高流量大,压力低流量小。本设备如果采用可调释放阀门时则流量可用释放阀门的大小来调整溶气水流量。⑤气浮池水位的调节:气浮池水位的高低将影响沫的效果。水位低浮渣不易入污泥槽,水位太高大量的水将进入污泥槽。一般工作时水位可略低一些。刮沫机水位可适当提高一些。其水位调整可用集水管出水口气浮液位调整口来调整,或者调整污水进水阀门来控制。

4.2.4板框压滤污泥脱水

污泥经浓缩、消化后,尚有约95%~97%的含水率,体积仍很大。污泥脱水可进一步去除污泥中的空隙水和毛细水,减少其体积。经过脱水处理,污泥含水率能降低到70%~80%,其体积为原体积的1/10~1/4,有利于后续运输和处理。

污泥机械脱水方法有过滤脱水、离心脱水和压榨式脱水等,过滤脱水又有真空过滤与压力过滤;离心脱水是用离心机进行脱水;压榨式脱水是用螺旋压榨机或滚压机进行脱水。常用的是压力过滤和离心脱水方法。

污泥过滤脱水是以过滤介质两面的压力差作为推动力,使污泥水分被强制通过过滤介质形成滤液,而固体颗粒被截留在介质上形成滤饼,从而达到污泥脱水的目的。

板框压滤机是最先应用于化工脱水的机械。虽然板框压滤机一般为间歇操作、基建设备投资较大、过滤能力也较低,但由于其具有过滤推动力大、滤饼的含固率高、滤液清澈、固体回收率高、调理药品消耗量少等优点,在一些小型污水厂仍被广泛应用。

4.2.5机械强制过滤

机械过滤器也称为压力式过滤器,是纯水制备前期预处理、水净化系统的重要组成部分。材质有钢制衬胶或不锈钢,根据过滤介质的不同分为天然石英砂过滤器、多介质过滤器、活性炭过滤器、锰砂过滤器等,根据进水方式可分为单流式过滤器、双流式过滤器,根据实际情况可联合使用也可以单独使用。

全自动机械过滤器适用于要求经过过滤出水浊度一般在5毫克/升以内能符合饮用水水质标准的工业用水或生活用水的工矿企业和城镇给水处理设备。对工业污水中的悬浮物固体物等有很好的去除效果。水中含有的悬浮物凝聚的片状物用沉淀方法所不能去除的粘结胶体颗粒,可将水通过压力过滤器内所装的滤层,使水达到透明。

机械过滤器也称压力过滤器是纯水制备的前期预处理,水净化系统的重要组成部分,其材质有钢衬胶或不锈钢制成,因滤器填充介质不同,用途与作用各有区别。一般有石英砂过滤器、活性炭过滤器、锰砂过滤器。根据实际情况可单独使用也可联合使用。

多介质过滤器的介质是石英砂,无烟煤等。功能是滤除悬浮物机械杂质、有机物等,降低水的浑浊度。活性炭过滤器介质为活性炭,目的是吸附、去除水中的色素、有机物、余氯、胶体等。锰砂过滤器的介质为锰砂,主要去除水中的二价铁离子。

机械过滤器是利用一种或几种过滤介质,在一定的压力下,使原液通过该介质,去除杂质,从而达到过滤的目的。其内装的填料一般为:石英砂、

无烟煤、颗粒多孔陶瓷、锰砂等,用户可根据实际情况选择使用。

机械过滤器主要是利用填料来降低水中浊度,截留除去水中悬浮物、有机物、胶质颗粒、微生物、氯嗅味及部分重金属离子,使给水得到净化的水处理传统方法之一。

工作原理:机械过滤器(又名多介质过滤器、石英砂滤器)。是一种压力式过滤器,利用过滤器内所填充的精制石英砂滤料,当进水自上而下流经滤层时,水中的悬浮物及胶体颗粒被去除,从而使水的浊度降低。性能:主要用于水处理除浊、软化水、电渗析、反渗透的前级预处理,也可用于地表水、地下水等方面。可有效地去除水中的悬浮物,有机物、胶体、泥沙等。

4.2.6排污水体合理利用

达标净化水体总水量较小时,净化水体存放回到回用水池,主要以满足TBM冷却需要,多余水体直接排出洞外。

TBM冷却系统利用净化水体,可以较少洞外供水,降低供水成本,实现水资源综合利用。

5 材料与设备

5.1材料与设备清单

表1 溶气气浮机水处理系统设备配置清单

序号	名称	规格	单位	数量	备注
1	YW-35气浮机	7.6×2.3×2.4	台	1	碳钢防腐
2	输送机	L=5米	台	1	组合件
3	加药装置	1000L双桶	套	2	组合件
4	石英砂、活性炭过滤罐	Φ2.4×3.28	台	1	碳钢防腐
5	板框压滤机	X(B)M A70/870	台	1	全自动
6	多级调节沉淀池		套	1	
7	中间水池		套	1	
8	净化水池		套	1	
9	回水池		套	1	

6 质量保证措施

6.1规划设计质量保证措施

(1)在项目决策阶段,应做好市场调研,选择设计资质、机械配置和人员素质满足产品开发的企业进行和系统规划设计和产品研发。(2)明确系统规划、设备选型指标和设计要素,确保产品设计功能、性能满足使用需求。(3)组织设计联络和沟通交流,确保进度指标和各项边界条件的贯彻。(4)组织进行图纸会审。(5)对作业层进行技术交底,确保设计目标的实现。(6)规划设计应满足《污水综合排放标准》(2019)要求。(7)规划设计过程应充分考虑洞内涌水的变化以及突发大涌水的影响。

6.2加工制造质量保证措施

生产制造过程的质量控制通常包括工艺准备的质量控制、制造过程的质量控制、辅助服务过程的质量控制。

(1)工艺准备的质量控制。工艺准备是根据产品设计要求和生产规模,把材料、设备、工装、能源等资源系统地、合理地组织起来,明确规定生产制造方法的程序,分析影响质量的因素,采取有效措施,确保生产按规定的工艺方法和工艺过程正常进行,提高工作效率,降低制造成本。(2)制造过程的质量控制。制造过程的质量控制是指从材料进厂到形成最终产品整个过程对产品质量的控制,是产品质量形成的核心和关键的控制阶段,其质量职能是根据产品设计和工艺文件的规定以及制造质量控制计划的要求,对各种影响制造质量的因素实施控制,以确保生产出符合设计意图和规范质量并满足用户或消费者要求的产品。制造过程质量控制的基本任务是:严格贯彻设计意图和执行技术标准,使产品达到质量标准;实施制造

过程中各个环节的质量保证,以确保工序质量保证,以确保工序质量水平;建立能够稳定地生产符合质量水平要求的产品的生产制造系统。(3)辅助服务过程的质量控制。①采购的质量控制;②辅助材料、公用设施和环境条件的控制。

6.3 现场实施质量保证措施

(1)严格按设计规划图纸进行洞内多级调节水池、中间水池、达标净化水池、回用水池的布置。(2)水池施工过程中,严格按设计图纸进行设备和管路布置。(3)系统集成后,按设计要求进行单机调试、系统联合试运转,确保满足设计指标。(4)现场应有加大水量的试验条件。(5)验收通过后,签订完工验收证书。

6.4 运行管理质量保证措施

(1)建立健全污水综合处理运行管理制度和操作规程。(2)设置全程监控系统。(3)按操作规程要求检查板框压滤机作业效果,如多级调节水池如发现污泥排放不及时,则需要考虑人工或增加辅助清淤机械,确保污水沉淀效果。(4)严格按照操作规程进行溶气气浮机作业和机械过滤器的运行和维护保养,确保污水出来效果。(5)合理调配回用水量,既要保证经济实用,也要兼顾隧洞排水安全。

7 安全保证措施

(1)对施工技术人员进行技术和操作培训,针对一些技术特点和操作要领作重点讲解和现场示范。(2)对用电的排水设备和水处理设备要确保电路安装的正确,检查转向是否正确,设置接地装置及标志,要严格按照安全用电相关规范及操作规程办理,做到一机一闸一漏。(3)水泵的冷却采用下一个泵站抽上来的水直接浇至排水泵上进行冷却。(4)针对隧洞施工的特点,施工人员对隧洞内排水沟及内污泥杂物要及时进行清理,对管路要定期检查维修,定期用清水进行冲洗。(5)在集水泵进水口包裹铁窗纱,同时把水泵或进水口放在竹管内,可以防止污泥及杂物进入而发生堵塞。(6)当水位下降超过底座,间隙出水时,应立即停机检查,运行一段时间后,须进行保养和维修确保设备正常运转。对隧洞内的抽水设备要定期进行安全检查,并派专人负责管理。(7)对易损的排水设备及管理配件要有必要的储备和供应上的保障。(8)当水处理系统存在轨道穿行时,应设置信号管制,防止交通事故发生。(9)洞内抽水或污水处理机械应使用电力机械,不得在隧洞内使用内燃机。关键水处理或抽水设备应有一定的备用台数。(10)如发现工作面大量涌水,应立即令工人停止工作,撤离到安全地点。

8 环保措施

8.1 废水处理方案

(1)生产废水来源。①隧洞涌水与围岩渗水。在隧洞施工过程中,由于岩石的破坏、开挖、松动而导致的存在于地下裂隙中的天然水,其类型多为基岩或岩溶裂隙地下水潜水或承压水等。隧洞涌水与围岩渗水水量变化幅度较大,但水质总体稳定,一般属于无人污染的天然水。其水质取决于原生地质环境,可能会因原生地质环境而存在特殊的盐或重金属污染物。②TBM刀盘掘进、隧洞爆破开挖钻孔作业、爆破产生的岩粉与水混合后形成污水。③混凝土施工、灌浆作业时产生的废水。④混凝土拌和站产生的废水;⑤TBM液压和润滑系统、现场机械设备维修和冲洗废水;(2)废水处理要求。①清污分流原则。按照清洁生产的原则,隧洞涌水与围岩渗水属于清洁的天然水,应单独收集、利用或排放。但当TBM隧洞施工或TBM掘进开挖施工时都会诱发隧洞涌水、围岩渗水与施工废水同步产生。因此,除极个别的特殊情况,隧洞涌水和围岩渗水一般很难与施工废水彻底分开。加之隧洞作业空间相对狭小且封闭,废水多为混合后引出洞外处理。②接纳水体水质要求。废水处理的程度取决于接纳

水体的水功能要求。山区环境一般属于河流的源头区或水源保护区,其水质一般均可达到地表水环境质量Ⅲ类及以上标准。如果施工区位于水源一级保护区,则禁止一切与水源保护无关的活动如果在一级保护区以内,则或者实现零排放,或者处理后达到地表水Ⅲ类以上水质标准后排放。地表水环境质量标准与污水综合排放标准限值差距较大,施工过程若排放废水,对水质的处理要求极高,难度极大。③山区的环境特点。由于山岭隧洞施工多发生在山区,该环境特点为道路、电力、通讯、输送管道等建设条件较差,给污水处理工程带来了极大不便山区早晚温差大,晚间和冬季气温较低,不利于污水生物处理中微生物的生长和繁殖;山区环境一般地质灾害较多,土层薄,多岩石,施工不易,施工成本较高;山区一般为河流的上游或源头,水量不大,稀释自净能力弱,水质洁净,对废水的排放标准要求极高。(3)废水处理工艺方法。①平流初沉。平流初沉是一种物理沉淀作用,在初沉池中完成。平流初沉对施工废水的水质、水量进行了调节,可以发挥废水处理设备正常功能,此外废水中比重重大、颗粒大的泥沙也能在初沉池中沉淀。初沉池进水口安装简易格栅,栅条间距20mm,采用Φ8钢筋焊接,将漂浮物、大颗粒物去除。格栅采用人工进行安装、拆卸、清渣。初沉池采用浆砌石或混凝土结构,池底设污泥斗,污泥斗容积一般应能满足2d~3d的污泥量,泥沙定期人工清理或用砂泵输送到污泥浓缩池进行处理。为保证较好的沉淀效果,施工废水在初沉池中的停留时间为1.5h~2h,进水区流速宜<30mm/s~40mm/s,有效水深一般为2.5m~4.0m。②酸碱中和。酸碱中和在反应池中进行,在隧洞施工废水中加入盐酸进行中和,使废水的PH值达到排放标准。经初沉的废水泵送至反应池,在管道上采用计量泵加入浓度10%盐酸,在反应池中机械搅拌,混合均匀,充分反应,采用试纸检测PH值是否达到排放要求,如不满足,调节盐酸计量泵流量,直至满足要求为止。因混凝剂具有适用的PH值范围,为保证良好的处理效果,酸碱中和一般在混凝作用之前进行。③混凝作用。混凝作用也在反应池中进行,初沉后的废水在投加盐酸中和后,同样在管道上采用计量泵加入混凝剂聚合氯化铝(PAC)和助凝剂聚丙烯酰胺(PAM),机械搅拌,混合均匀。反应池采用钢板焊制,池深一般为4m左右,其容积应能满足混凝时15min~20min。混凝反应后的废水采用浊度仪控制其浊度一般不超过15度,如不满足,可调节计量泵流量。④斜管沉淀。混凝反应池处理后的原水自流进入斜管沉淀池,经过斜管底部的配水区进入斜管。在斜管中,水流从下向上流动,依靠斜管的高效沉淀性能,使得水中的大颗粒絮体分离出来,然后沿斜管滑落至池底部,采用排泥泵排至污泥浓缩池。斜管沉淀池采用钢板焊制,排泥槽高度0.8m,配水区高度1.3m,斜管区高度0.9m,清水区高度1.0m,水在斜管沉淀池中停留时间为30min~60min。斜管采用蜂窝六边形乙丙共聚塑料斜管,板厚0.55mm,斜管管径50mm,斜管有效长度L=1000mm,安装倾角60°。斜管沉淀具有处理效率高、停留时间短、占地面积小等特点。⑤自清洗过滤。经斜管沉淀处理后的水排入过滤水池,进一步进行过滤,过滤采用智能型全自动过滤器,装配有功能较强的智能控制系统和电力驱动的自清洗装置。待处理水泵送进过滤器滤筒内部,然后通过滤桶,杂质被拦截在过滤筒内壁,过滤后的达标水从出水口流出排放。当滤筒内壁的杂质越积越多,在滤筒内表面形成滤饼,并使滤筒内外逐渐形成压差,当压差达到控制器预设值时,将启动自清洗过程,清洗废水回流至初沉池。⑥污泥处理。初沉池及斜管沉淀池中的污泥定期经板框压滤机排入连续皮带机运出洞外。

8.2 废水排放方案

(1)生产废水必须进行预处理,达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)的一级标准后,才能排放。或者经处理达到《城市污水再生利用》

(GB/T18920-2002)的标准后,回收利用。(2)在排放过程中做好排水设施的修建,确保不造成水土流失或产生新的污染。(3)废水排放分为生活污水、普通施工废水、含油废水处理和排放,在各施工区设置废水沉淀池。沉淀池根据各施工区现场实际情况,设置三级或四级沉淀池,沉淀池池体有效容积需经过分析计算评估。沉淀停留时间不小于0.5h,剩余污泥定期清除。沉淀池具体尺寸根据现场实际情况进行调整,但必须满足施工废水处理的需要。

9 效益分析

9.1 配置及经济分析

表2 溶气气浮机污水处理方案表

方案	名称	单位	数量	单价(元)	合价(元)
溶气气浮机污水处理方案 I 方案一	YW-35 气浮机	套	1		486800
	1000L 加药装置	套	2		
	石英砂、活性炭过滤罐 $\phi 2.4m \times 3.28m$	套	1		
	板框压滤机 X(B)M A70/870	套	1		
	排泥输送机 L=5m	套	1		
	多级调节沉淀池	套	1		
	中间水池	套	1		
	净化水水池	套	1		
	回用水池	套	1		
	排水泵站	套	1		
	劳务费	人.班		80	
	电费	kwh		1.0	
	合计 A				

方案	名称	单位	数量	单价(元)	合价(元)
一体化污水处理方案 I 方案二	一体化污水处理装置	套	1		
	多级调节沉淀池	套	1		
	中间水池	套	1		
	净化水水池	套	1		
	回用水池	套	1		
	排水泵站	套	1		
	劳务费	人.班		80	
	电费	kwh		1.0	
	合计 B				
差值 F1=A-B					

9.2 结论

(1)主体投资：溶气气浮机污水处理方案主体工程投资50万元。(2)运行费用：溶气气浮机污水处理方案运行费用6万元/月。(3)净化水再利用。溶气气浮机污水处理方案可实现污水净化再利用,每年可节省水及排水费用上千万元,污水净化后满足TBM冷却水要求,特别对缺水地区经济性意义非凡。

[参考文献]

[1]邓铭江,谭忠盛.超特长隧洞集群TBM试掘进阶段存在的问题与施工技术发展方向[J].现代隧道技术,2019,56(05):1-12.

[2]邵伟.TBM施工工法在水电站引水隧洞的应用研究[J].黑龙江水利科技,2019,47(12):165-169.

[3]洪松,孙宝升.深埋长隧洞TBM施工超长距离独头通风解决方案研究[J].海河水利,2019,(05):34-37+50.