

铁路单线长大隧道反坡抽排水技术

余漾

(中交一航局第三工程有限公司)

摘要:为解决单线长大隧道在反坡区段施工过程中遇到的涌水量大这一技术难题,深入探讨了反坡抽排水系统的设计与优化策略,从理论分析与实践应用 2 个层面展开研究,详细阐述了反坡抽排水系统的实施方案,通过对施工过程中涌水量的实时监测与数据分析,及时调整抽排水策略,有效保障了隧道反坡区段的施工安全与质量。研究结果表明,通过科学合理的反坡抽排水系统设计与实施,能够显著降低隧道反坡施工期间的涌水风险,提高排水效率,为单线长大隧道的顺利推进提供了坚实的技术支撑。

关键词:单线长大隧道;反坡抽排水技术;泵站设置;梯级抽排水

0 引言

在铁路隧道施工过程中,由于单线长大隧道具有空间狭小、施工运输组织难度大的特点。在我国西南地区单线长大隧道建设中,往往会遇到基岩裂隙水、断裂带水及岩溶富水发育且涌水量大的情况,单线隧道长距离反坡施工一旦遭遇突涌水等地质灾害,抽排水能力不足,极易导致隧道掌子面被淹,不仅会影响施工进度、造成施工成本增加,严重时更会造成人员伤亡等安全事故。

张栋^[1]以广东省鸿图隧道为依托工程,通过抽排水管管径计算、扬程计算、水泵选型,合理确定反坡抽排水参数,并确定总体反坡抽排水方案,使该隧道顺利完成施工任务。李欣^[2]针对特长隧道反坡抽排水长距离、高扬程、大流量等施工特点,根据现场实际情况确定了反坡抽排水方案,解决了反坡淹井的不利条件,保证了施工安全。廖郁^[3]的斜井反坡抽排水的总体施工方案给同类富水超长超深隧道斜井反坡抽排水施工提供了参考。

通过目前国内对单线长大隧道的反坡抽排水

的施工经验发现,西南地区单线隧道施工时,反坡抽排水的很多理论还不成熟,如泵站设置、维护管理等。针对现状,本文对单线长大隧道的反坡抽排水、设备选型、泵站泵管设置、管理维护进行了研究。

1 工程概况

1.1 工程概述

景寨隧道全长 9 509 m,最大埋深 711 m。隧道正洞线路依次为 0.3%(2 185 m)、-0.7%(600 m)、-1%(6 100 m)、-0.7%(624 m)。隧道所处区域不良地质情况比较复杂,为隧道突涌水危险带,应特别注意进口和横洞区域,该区域易造成较大渗水、涌水等危害。

景寨隧道设有 1 个斜井工区、1 个横洞工区。其中斜井工区中斜井长 800 m,斜井 1 号支洞长 573 m,斜井 2 号支洞长 641 m,承担正洞施工任务 4 302 m,坡度为 1%。按施工组织确定:反坡段(图 1)长 2 582 m,其余均为顺坡段,该工区最大涌水量为 37 500 m³/d。

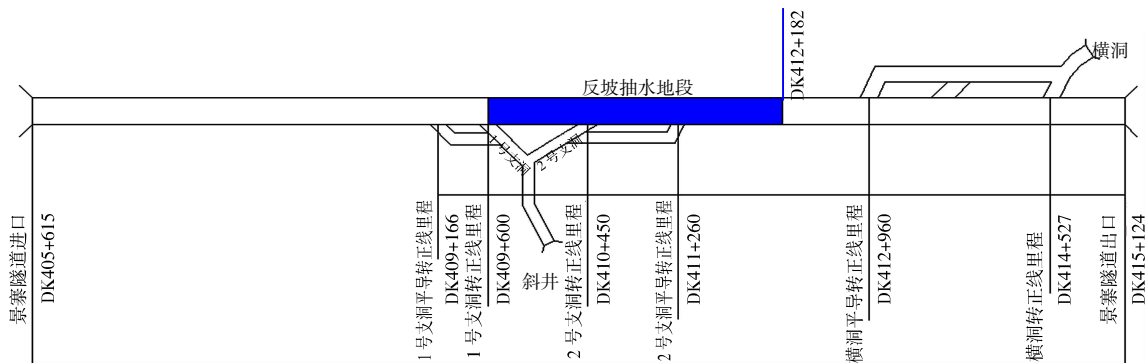


图 1 景寨隧道反坡抽排水区段示意图

1.2 地质、水文情况

本隧道属于中山地貌，为越岭隧道，其上覆第四系全新统滑坡堆积(Q_4^{del})粉质黏土、粗角砾土，坡洪积层(Q_4^{dl+pl})粉质黏土、坡崩积层(Q_4^{dl+col})碎石土，坡残积层(Q_4^{dl+el})粉质黏土及坡积层(Q_4^{dl})粉质黏土；下伏基岩为泥灰岩、砂岩及侏罗系中统和平乡组(J_{2h})页岩夹泥岩，隧道地质条件差，施工条件恶劣。

隧道地表水主要为山上自然沟水，由大气降水补给，主要类型有第四系孔隙潜水、基岩裂隙水、岩溶水。岩溶水主要受大气降雨补给，地下水径流路径为西北部山区向东南部南班河排泄。本地区为热带气候，降水主要集中在 5—9 月，且多以大雨、暴雨形式出现。隧道区构造发育，发育褶皱及断层，岩体受其影响而破碎，局部碳酸盐岩区、不同岩性接触带、断层破碎带及褶皱核部地带易富水。

2 基本原理

综合隧道施工条件和水泵结构、性能，在保障抽排水能力的前提下尽可能减少安装和维护带来的不便，因此，景寨隧道斜井工区的固定泵站和移动泵站水泵均选用干式安装的离心泵。与其

他抽排水方式相比，斜井反坡抽排水法具有一定的特殊性。斜井反坡抽排水的基本工作原理为：将工作面前方涌水及已施工完成区域隧道内所引排出的地下水汇集至仰拱附近集水坑，再采取移动式潜水泵进行排水；然后经由固定抽排水泵站将所收集到的积水排至洞外；同时根据施工实际需要，对固定式抽排水泵站的水仓容量进行综合权衡，为确保施工抽排水工作顺利实施，各固定抽排水泵站均应配备相应的备用水泵，用来及时更换，避免影响工期；必要时设置应急抽排水系统，以应对突水的风险。

3 反坡抽排水施工

3.1 反坡抽排水方法

反坡施工段采用多级泵梯级抽排水方式，掌子面设计移动抽排水设备。掌子面每开挖到一定长度后(如 500 m 或更长)，在斜井错车道处设置水仓(集水坑)和固定泵站，采用移动水泵(移动泵站)将开挖掌子面的积水抽至最近的水仓，再由水仓固定抽排水泵排至上级水仓，最后分级排出洞口后，自流到洞外沉淀池排出。长距离集水坑抽排水见图 2。

隧道抽排水分为 2 个阶段。第 1 阶段为初始

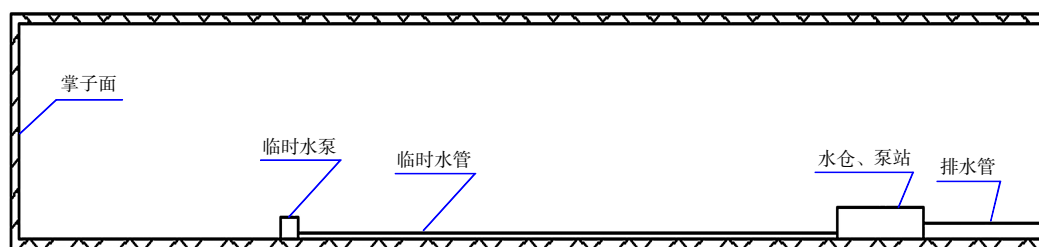


图 2 长距离集水坑抽排水示意图

阶段，在没有形成下一个固定的水仓和泵站前的抽排水；第 2 阶段为形成固定的水仓和泵站后的抽排水。

第 1 阶段：在未形成下一个固定水仓、泵站前，抽排水比较困难，特别是在涌水量大的情况。主要采用移动水泵和 $\phi 80$ mm 消防软抽排水管。移动水泵数量应根据设计最大涌水量及现场的实际情况决定。移动水泵与掌子面应保持 20~50 m 的距离，保证掌子面在突发涌水的时候积水线不超过掌子面后退 20 m 的距离。必要时需挖出临时水沟，设置 1 个小型的临时集水坑，把水引流汇集到临时集水坑，在临时集水坑安装水泵，尽量减少流到施工掌子面的水量；同时掌子面的水也

可抽到临时集水坑，从临时集水坑统一抽出洞外。

第 2 阶段：形成固定水仓和泵站之后的抽排水。该阶段的抽排水可以分为 2 个过程：1) 施工掌子面到水仓泵站的抽排水。与未形成固定的水仓和泵站前的抽排水方法相同。2) 泵站到上级泵站或洞外沉淀池的抽排水。水仓泵站建成以后，具有一定的积水能力。把掌子面的积水抽到固定的水仓，当水仓的容量达到安全警戒线时，再由水泵经正式抽排水管排到洞外。其抽排水流程为：移动水泵或推车式移动泵站将水排到固定水仓，再由固定水仓将水抽到上一个固定水仓，如此接力，最终将水排到洞外沉淀池，达到抽排水目的。抽排水管路安装布置见图 3。

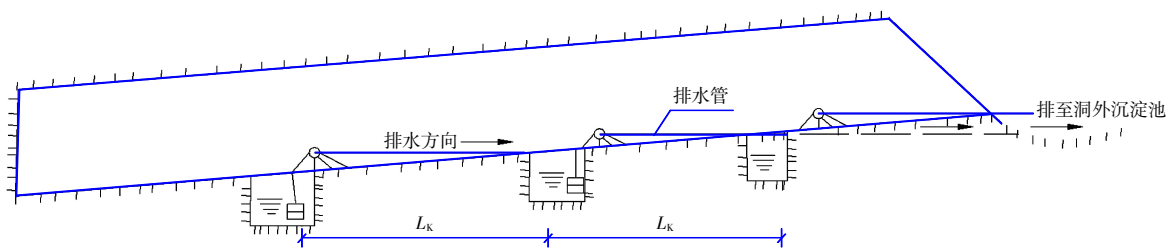


图 3 抽排水管路安装布置图

正式抽排水管应根据现场的实际情况安装,满足最大抽排水要求,与掌子面一定距离后即可安装,待水仓和泵站形成后,立刻进行水泵的安装与抽排水管连接,形成抽排水能力。所有的正常使用、备用、检修水泵要配备相应的独立管路。正式抽排水管必须连接牢固,避免漏水。考虑到抽排水管所受的自重及水的压力和重力,正式抽排水管应使用铸铁管,每节管道下设置基座,焊接牢固,抽排水管坡度应与隧道的施工坡度相同。正式抽排水管的数量根据设计最大涌水量及实际情况进行安装,各级泵站之间呈递减形式,即离洞口最近的泵站配置的抽排水管最多,最远的最少。

抽排水管每隔 6 m 用 U 形卡固定。U 形卡布置在支架中部位置,两端采用 $\phi 16$ mm 砂浆锚杆固定,锚杆长度为 1 m,锚固在边墙上,锚杆端头车丝,安装好 U 形卡后,用双螺母固定。抽排水管道接长用法兰盘固定,法兰盘处用金属垫片垫设。

3.2 泵站施工

3.2.1 设备配备原则

1) 隧道水质除地下水的本身成分外,主要还有岩石、石屑、泥浆,同时还有喷射混凝土的回弹物掺杂物,所以除考虑到需排出的水量外,还应考虑到抽排水的成分组成。洞内水量逐段递增,在各级泵站的水泵选型上,应按照抽排水能力递增原则自下而上递增。

2) 隧道施工后通过对洞内水的成分组成分析,其主要水质除地下水的本身成分外,主要还有岩石、石屑、泥浆等成分,抽排水泵考虑选用高效耐磨泵,隧道内泵站间水量递增较大,为了管理、操作维修上的方便,如泵站间高差相近,可选用型号相同水泵,便于相互调配,只是在设备数量上相应增加。工作面移动水泵采用轻便的水泵,实际操作根据水量大小在数量上予以增减。

3) 根据《煤矿安全规程》(应急管理部令第 8 号)的要求,抽排水泵站必须有工作和备用水泵。通常工作水泵按照 20 h 内排出斜井 24 h 正常涌水量的配备,备用水泵的抽排水量应不小于工作水泵的 70%、检修水泵的能力应不小于工作水泵的 25%。水文地质条件复杂的斜井,可根据具体情况在主水泵房内预留安装一定数量水泵的位置,或另增设水泵。

4) 各级泵站抽排水能力应充分配备,并有 20% 储备能力。

5) 抽排水管路必须有工作和备用水管。工作水管的能力应能配合工作水泵在 20 h 内排完 24 h 的正常涌水量;工作和备用水管的总能力,应能配合工作和备用水泵在 20 h 内排出斜井 24 h 的最大涌水量。

3.2.2 每小时最大抽排水量计算

斜井工区最大涌水量为 $37\,500\text{ m}^3/\text{d}$ 。结合实际出水量情况和实际抽排水工作时间,最大抽排水量富裕系数按 0.2 考虑,抽排水能力按照运行 20 h 排出斜井工区 24 h 最大涌水量进行计算,即斜井每小时最大抽排水量为 $2\,250\text{ m}^3$ 。

3.2.3 泵站布设

1) 泵站设置

斜井开挖至 1 号支洞和 2 号支洞交点位置处设置 1 号泵站和水仓,然后分别在 1 号支洞和 2 号支洞与正线的交点位置设置 2—3 号泵站和水仓,其中 1 号泵站为 2 级抽排水,2—3 号泵站为 1 级抽排水,最终 3 个泵站呈梯级布置,对正线进行施工抽排水。主抽排水管道采用 2 根 DN300 抽排水钢管,按核算的斜井工区最大小时抽排水量。

2) 管路设置

一级泵站单根抽排水管道总长约 700 m,每小时抽排水量为 $1\,125\text{ m}^3/\text{h}$ 。泵站垂直高度为 67 m,管路沿程损失约 42 m,考虑局部损失和水头 10 m、水泵吸程 5 m,则扬程 $H=124\text{ m}$ 。二级泵站

(2号和3号)单根抽排水管道总长约550 m,抽排水量为 $1\,125\text{ m}^3/\text{h}$ 。泵站垂直高度为50 m,管路沿程损失约30 m,考虑局部损失和水头10 m、水泵吸程5 m,则扬程 $H=98\text{ m}$ 。在同样流量、管长、材质下管径大小和管路损失是成反比的,管径越大,造成的管路损失就越小。泵站选用的水泵流量和扬程须满足以上选用的管道规格和设计的抽排水量要求。

3) 水泵型号及台数

根据以上计算结果,结合隧道工况条件,固定泵站尽量选用相同的泵型和数量配置。根据计算参数,结合以往类似项目经验,景寨隧道斜井采用卧式双吸离心泵,此种泵型结构为中开剖分式,检修及维护较为方便。考虑方便现场二次搬运、拆装维护等,水泵整机重量尽可能小且数量配置合理。1号固定泵站配置工作泵8台,备用泵2台,选用型号为DFSS200-5/2A,额定流量 $Q=300\text{ m}^3/\text{h}$,额定扬程 $H=120\text{ m}$,转速49 r/s,配套电机功率160 kW;2号和3号固定泵站共配置工作泵8台,备用泵2台,选用型号为DFSS200-5/2B,额定流量 $Q=245\text{ m}^3/\text{h}$,额定扬程 $H=98\text{ m}$,转速49 r/s,配套电机功率110 kW。

4) 抽排水供电系统

为确保不因电路问题导致隧道排水工作的间断,保证洞内抽排水正常供电,电路设置2条线路:一条线路为正常运行供电系统,另一条线路为备用供电系统。由于水泵功率较大,新用电源电压为 $380(\pm 5\%) \text{ V}$,所以泵站用电从洞外引入,直接到达每个泵站。

3.2.4 抽排水系统维护管理

建立抢修小组,制定人员值班制度,及时抢修出现问题的部位,并在生活区储备潜水泵和水

管,所有水泵配置均按使用1套、备用1套、维修1套的原则进行配置。并额外储备1台300 kW柴油发电机,当水泵出现故障时,立刻安装备用水泵,保证积水及时排出,原水泵及时修理作为备用水泵待用。当抽排水管路出现故障时,立刻将水泵连接至备用抽排水管,及时修复故障抽排水管作为备用抽排水管待用,并制定抽排水记录表进行统一管理,发现问题及时解决,并汇总问题进行总结分析。

3.3 反坡抽排水效果

景寨隧道斜井工区施工期间,反坡抽排水运行有序,保证了现场作业的施工安全。根据流量表显示,单日实际最大抽排水量达 $35\,500\text{ m}^3$,达到了理论日最大抽排水量 $37\,500\text{ m}^3$ 的94.6%。

4 结语

景寨隧道斜井工区通过反坡抽排水设计,结合对掌子面开挖揭示实际地质情况及涌水量情况,对前方施工段落进行分析与预判,将永久性泵站与临时性泵站相结合,多级泵站分段抽排水工艺取得了良好的效果,多次涌水、突水均得到了有效控制和解决,没有出现正洞工作面积水或斜井淹井的情况,为加快施工进度提供了有力条件,保证了现场正常施工。随着我国铁路隧道施工的不断发展和机械化、智能化的普及,预计反坡抽排水技术下一步将朝智能化、少人化方向继续发展。

参考文献:

- [1] 张栋. 长大富水隧道反坡抽排水施工技术研究[J]. 价值工程, 2022,41(29):68-70.
- [2] 李欣. 特长隧道大纵坡反坡抽排水施工技术研究[J]. 四川水泥, 2022(9):214-216.
- [3] 廖郁. 富水超长超深隧道斜井反坡抽排水施工技术[J]. 四川建筑, 2019,39(6):279-283.