

特长超深埋山岭隧道的建造与运维

张恺瑞 张城芋 段新超 赵梦梦 胡欣宇

沈阳工业大学建筑与土木工程学院 辽宁沈阳 110870

摘要:随着社会的发展,山岭地区的居民对于开车出行的要求变高,他们对山岭的特长隧道要求也越来越严格。而特长超深埋山岭隧道本身在建造和运行与维护面临着各种灾害问题,灾害的诱因分别是高地应力、高水压、高地温、不良地质层和各种工程活动。在特长超深埋山岭隧道的建造过程中,需要逐步向智能化建造的方向去发展,这就需要重视高地应力条件的地质条件不稳定性。而在特长超深埋山岭隧道运维的过程中,需要体现出绿色节能、疏散与智能救援的理念,还要实现超前地质预报与智能维养,并最终实现“建养一体化”,并最终实现“安全、绿色、高效、智能”的目标。

关键词:深埋山岭隧道;建造;运维

1 引言

随着经济的飞速发展,交通网络规划势在必行,在高原丘陵地区修建特长超深埋隧道也在规划之中。中国《公路隧道设计规范》(1991版)把长度大于3km的隧道定义为超长隧道,一般将长度大于10km、埋深在大于500m的山岭隧道定义为特长超深埋隧道^[1]。这些隧道以公路和铁路的隧道为主,虽然更加快速且安全,但是其建造与运维的成本很高,所以降低其成本是一个重点问题。根据不完全统计值,我国的特长超深埋隧道多达57条,相比之下,国外的特长超深埋隧道仅有21条。我国在隧道的建设方面处于世界领先水平,但隧道长度略显不足。世界上最深、最长的瑞士圣哥达山底隧道长达57.1km,世界上最长的双洞高速公路隧道是秦岭的天华山隧道(长度16km)。全世界对于建设特长隧道的需求与日俱增,修建隧道的技术也逐渐成熟,特长超深埋隧道的建设进程也有许多新的发展机会。但上述隧道暴露在地应力与高地温环境之下,经过了超长距离建设与运行,面临前所未有的大挑战,需要我们采用更加新的理念和措施,使得复杂的隧道工程能够被实施。

2 地质问题与灾害

特长超深埋隧道因其安全性能好、对自然环境影响小的特点,广泛运用于交通、水利等领域。但是隧道长度不断延伸之后,隧道埋深也超过一公里,且隧道里具有复杂的地质环境,这与隧道在浅部岩体的地质环境不同。在深部岩体环境中,隧道处在地应力、高地温、高水压等不良地质环境中,施工环境非常恶劣,这使得在实际工程的建设过程当中,可能会有岩爆等地质灾害发生。高地应力、高地温、高岩溶水压的“三高”赋存环境是地质灾害的诱因。

一是高地应力,其包括上覆岩层的自重应力和地质构造运动产生的构造应力,深部岩体受到的地应力很高,一般都高于其抗压强度,这使其内部生成一个高地应力场,同时积聚了大量的变形能量。隧道受到过高的地应力时可能会引发岩爆等地质灾害,这对隧道的建设和运维的安全性有着很大的威胁,一旦没处理好,就可能延误工期,甚至造成很大的经济损失和人员伤亡。

二是高地温:从地面开始越往下掘进,地温就越高,高地温不仅对岩石的力学特性和变形性质产生显著影响,而且会导致地应力的变化。一般围岩超过30°的隧道就称为高地温隧道,高地温问题很容易让环境恶化,威胁到工作人员的人身安全。埋深越大的地方也伴随着更大的高地温现象,其产生的温度应力能够破坏隧道的支护结构,降低了结构的耐久性。

三是高水压:随着地应力与地温都升高,岩溶的水压也逐渐升高,高水压会使得岩体内部裂隙延伸的更快,同时改变岩体内部受力大小状态,引发矿井涌水的灾害和事故。超深埋隧道经过富水区时,其隧道受到周边的水压较高,容易遇到高水压问题。

四是开采扰动:开采引起的扰动使得地应力快速增加并且集中,岩体遭到压裂破坏。此时岩体受到的压力已经超出其抗压能力,这种开采扰动会引起上述“三高”环境同时存在,导致岩体内部发生不可逆的破坏,例如失稳破坏。

因此在研究特长超深埋隧道之前,首先要研究深部岩体的变形问题,进入深部环境以后,深部岩体由硬岩转变为软岩,进入塑性阶段,并发生围岩大变形现象。因此需要提前引入多种能够提前感知岩体变形或破坏的预报方法。

3 综合超前地质预报措施

在特长超深埋隧道里,上一节中的地质现象也更容易发生。为了防止这些地质问题的出现,做好超前地质预报措施成为重要任务,综合超前地质预报是将多种预报方式结合起来,包括长期预报和短期预报等。每种预报方式都有其优缺点,如果选用几种预报的方法并结合使用,那么预报的参数一般会更加准确且全面。

最基本的方法就是地质调查法,包括地表地质调查、洞内地质调查、掌子面地质等方法,地质调查法是其其他预报方法的起源与基础,方法较为简单且直接,适用于多种工程实际当中。但是预报的距离很短,不适用于特长超深埋隧道当中。且这种方法过于依赖人员经验,对施工与设计人员的要求较高。

结合隧道特点,设计了可以探测的观测系统,这种系统主要是用来探测隧道前方的地质情况。沿隧道后方放置地震源头和传感。与关注介质垂直变化的常规地震勘察不同,TSP主要关注的是介质的水平变化。在地震记录中,得到隧道前部反射波传来的信息,在数据处理过程中进行分析。此过程主要是处理测线的垂直反射信息和水平反射信息,并得到p波、SH波的时间剖面、岩石的物理参数等。了解到不良地质体的各种性质。

地质雷达法,即地质雷达法是利用电磁波在不同的相对渗透率的介质中传播时的速度不同和反射系数不同的特性,利用波形图反应层中围岩变化,观察者根据现场实际情况和雷达波形图对前方地质情况做出超前地质预报,起到指导施工的作用。地质雷达法的探测精度较好,但是探测距离有限(30m-50m),适合用在短距精准探测。地质雷达法是电磁法中的一种。

瞬变电磁也是电磁法中的一种,加载电流脉冲以发射小线圈,发生电磁感应现象。在电流的感应下,会形成一个电流方向,产生一个瞬变磁场并传输至周边的隧道。涡流会通过感应一个短磁场产生,涡流的大小与导电能力有关,是成正比的。当瞬变磁场减弱时,产生的涡流将有一个瞬态递减过程,产生二次感应磁场。使用小型探头或线圈在隧道开挖面捕获并获得二次感应磁场。

除此之外,钻探法也是常用的预报方法之一,包括超前平行隧道法和超前水平钻孔法。其中超前平行隧道法优点是直接有效,缺点是花费昂贵。超前水平钻孔法的优点是钻孔长度高,缺点是占用的施工时间长。钻探法也是获取准确的地质信息的一种重要方法,在民用建筑、机场、铁路、水库等设施进行地质钻探方面取得了效果。钻探法的主要目的是解决工程实际中出现的各种地质问题,比如地震、滑坡等。

4 智能维养

4.1 特长隧道通风

施工通风。隧道通风常用的方法有机械压入式和混合式通风等。特长超深埋山岭隧道的规模大,工程量大,隧道的长度增加后,以前的通风方法逐渐被淘汰,所以需要新的隧道通风方法来代替。特长超深埋隧道也面临很多问题,比如通风方案不合理、布局不合理等。隧道的正常运行离不开空气质量这一指标,一旦空气质量不达标,则会对施工人员的健康造成损害,甚至威胁到生命安全。因此隧道内必须要有足够的新鲜空气,隧道内氧气在空气中的占比不能低于20%,隧道的风速不得低于0.25m/s。传统的通风方式只适合短隧道,不适用于特长超深埋隧道。随着我国隧道技术的不断发展,隧道的通风理论研究也得以发展,例如可以借助流体动力学(CFD)软件分析隧道内有害气体的扩散规律。

隧道通风主要目的是能够让隧道里引入足够的新鲜空气,减少有毒气体的含量并阻止其扩散,隧道通风的方式主要有自然通风和机械通风。自然通风是直接利用隧道内外的大气压,将新鲜自然空气输送进隧道当中,这种方式不需要购买设备,节约了成本。但缺点是一次换气需要的时间较长,且污气会滞留在隧道中难以排出,这对工作人员的健康造成了损害。这种自然通风的方式只能用于长度很短的隧道,一旦隧道长度过长,就失去了适用性。

隧道通风的另一种方式是机械通风,其中一种常用的方法就是风管压入式通风。具体做法是将通风设备放置在隧道洞口,也可以安装在空气质量好的地点,采用一种压入的方式。这利用风机压力把新鲜空气从外面压入隧道内,使得隧道内新鲜空气的含量快速达标,并且把有毒气体通过管道排出^[2]。风管压入式通风相对于自然通风来说更优越,其成本很低,通风效率较高,但是仍然不能在特长超深埋隧道中得到广泛应用。

风管抽出式通风和风管压入式通风的原理类似,风管抽出式通风的原理是利用风机的压力,将掌子面处的污染物吸入通风管中,并排放到隧道外。与压入式通风方式相反,抽出式通风是将新鲜空气吸进隧道,并使其进入掌子面部位。如果使用到软风管,其硬度无法达到抽出管需要的要求,所以要用硬度高的管道,施工方需要承受更高的成本。

而将上述两种通风方式结合起来的会更好,也可以称之为风管复合式通风。这种方式是同时运行两条通风管道,即一条输入新鲜空气,另一条排出有害气体。而这种通风方式也有侧重点,如果隧道内的有毒气体含

量较大,则选择以抽出有害气体为主。如果隧道内新鲜空气含量不够,则以压入新鲜气体为主。风管复合式通风在使用时要根据现场的实际情况具体分析,同时要结合地质条件等外界条件分析。

4.2 智能救援与隧道标识

防灾救援,首先要建立防灾减灾的管理机制,制定隧道防灾与疏散的管理模式,其思路是“统一指挥、分级管理、综合救援”^[3]。建立统一的隧道防灾指挥中心,遇到紧急情况时可以快速调派人员和设备,进行统一救援。对防灾系统和设施分批次管控,制定完整的防灾计划。一方有难八方支援,一旦出现了重大且不可控的事故,信息化救援能发挥很强的功能,建立紧急信息方面的联系,以实现多方参与信息化救援的模式。这在一定程度上能够最大限度地降低隧道灾害带来的损失。

有害气体主要是由隧道火灾产生,容易造成大规模伤亡,且隧道散热系统可能会因为火灾崩溃。由于热量无法排出隧道,使得隧道内温度升高到超过隧道能够承受的限度,隧道结构被破坏。特长隧道一旦发生火灾,其破坏与严重程度远高于普通隧道。运营期间要实时监测隧道环境,主要是温度指标。隧道内温度一旦超标,应采取智能降温措施,将隧道温度降至正常范围内,这能够降低火灾带来的损失。在隧道防火方面,最近几年有了许多新思路,隧道消防系统有水幕屏蔽消防系统。

运营期隧道标识。隧道内的光线昏暗、和外界几乎隔绝^[4],驾驶员只能依靠隧道标识来辨别自己所处的位置,因此标识对于驾驶员来说很重要。标识一旦设置位置不对,或者不够明显,就会让驾驶员的判断出现失误,以至于错过重要的信息,一定程度上影响了驾驶员的出行。标识的设置也是有严格要求的,尤其是在出入口附近的标识。一旦此标识不够醒目,就容易导致驾驶员错失对标识的观察,严重时可能会引发交通事故。如果可以进行隧道标识的专项设计,采用适合的材料或灯光来

让标识更加醒目,研发更加醒目而且节能的光源,那么隧道标识也不会再成为驾驶员的苦恼。近年来对光源的设计趋向于节能化、智能化,如何精准把控隧道标识的放置位置、光照方向等也成为诸多研究人员研究的一大方向。

5 结语

由于西部山区开发是大势所趋,有些公路必须穿过这些地形复杂的区域,特长超深埋山岭隧道在这些地区的应用也越来越广泛。在特长超深埋山岭隧道建设时,首先要解决的就是深部岩体中的不良地质现象,使得隧道能够“站稳脚跟”。要保证施工的平稳与高效,可以采用超前地质预报法。超前地质预报法包含了钻探法、电磁法、地质调查法等多种方法,如若将多种方法结合使用,能尽可能地避免各种灾害的发生,保护人民安全与生产安全。隧道的运行及维护也显得尤为重要,一是要保证隧道通风的顺利,降低成本。二是要有完整的智能救援机制,在发生灾害时能够及时赶到现场处理,并予以解决。三是要选取较好的隧道标识,让驾驶员不再手忙脚乱,减少交通事故的发生。特长超深埋山岭隧道的建设与运维最终会实现智能化、绿色环保的目标。

参考文献:

- [1]徐则民,黄润秋,王士天.隧道的埋深划分[J].中国地质灾害与防治学报,2000(04):8-13.
- [2]张英,汪勇,廖如超,袁新星,康泰钟.三维激光雷达无人机树障实时测量系统研究[J].中国测试,2021,47(11):147-152.
- [3]范磊,杨昌宇.特长铁路隧道超深竖井模式下防灾疏散及救援技术研究[J].现代隧道技术,2020,57(06):1-7.
- [4]Anil Kumar Joshi,Chitra Joshi,Mridu Singh,Vikram Singh.Road traffic accidents in hilly regions of northern India: What has to be done?[J].World Journal of Emergency Medicine,2014,5(02):112-115.