

热力暗挖隧道工程超前注浆加固技术

庞炳涛

北京建工路桥集团有限公司, 北京 100000

[摘要] 根据实际施工案例, 对目前常见的多种注浆方式技术及其在各种环境下热力隧洞暗挖施工中的运用情况进行了剖析, 并给出了不同注浆材料方式的分类选择方式, 为在类似条件下的热力隧洞注浆方式施工提供了借鉴。隧洞施工在采用断裂带或含水岩石地层等恶劣地质地段时, 通过超前注浆能有效保持作业面和孔壁围岩的平衡, 切断渗漏途径, 确保隧洞安全施工。通过剖析超前灌浆的加固原理, 对隧洞施工超前灌浆过程中的泥浆选择、预灌浆岩体结构动力和抗渗性能和灌浆工程设计基本参数等方面加以了研究。

[关键词] 热力暗挖隧洞; 超前注浆; 加固施工技术

DOI: 10.33142/aem.v4i7.6456

中图分类号: U455.4

文献标识码: A

Advance Grouting Reinforcement Technology for Thermal Underground Tunnel Engineering

PANG Bingtao

BCEG Road and Bridge Construction Group Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract: According to the actual construction cases, this paper analyzes the common grouting methods and technologies and their application in the concealed excavation construction of thermal tunnel under various environments, and gives the classification and selection methods of different grouting materials, which provides a reference for the grouting construction of thermal tunnel under similar conditions. When the tunnel construction adopts bad geological sections such as fracture zone or water bearing rock stratum, the advance grouting can effectively maintain the balance between the working face and the surrounding rock of the hole wall, cut off the leakage path and ensure the safe construction of the tunnel. By analyzing the reinforcement principle of advance grouting, this paper studies the selection of slurry, the dynamic and impermeability of pre grouted rock mass structure and the basic parameters of grouting engineering design in the process of advance grouting in tunnel construction.

Keywords: thermal tunneling; advance grouting; reinforcement construction technology

引言

由于中国隧道建造量巨大, 因而难以避免地要应对各种的恶劣地质问题, 如断块破碎带、软岩膨胀土层、涌水涌沙、强瓦斯保护环境、高压地应力和超高地温等。当经过上述的恶劣地质区域时, 施工作业效果通常都会降低, 还出现了衬砌料和设备严重损坏的情况。目前, 处理断层破裂带中的涌流现象比较有效的措施, 是采用超前灌浆方法来固结松散围岩、切断渗漏途径。目前用作通过暗挖隧洞稳定掌子面、抑制土壤地表沉降和加固巷道围岩的辅助施工方式, 主要有超前地小导管、注浆方法加固、冻结、管棚等。但一般最普遍的方式仍然是用超前的注浆方法加固地层。热力隧洞的注浆方法, 一般有渗透性扩大、劈裂扩大、裂隙充填、高压喷出等四类。并依据围岩体特征选用灌浆方法。渗透注浆的材料在不破坏岩层结构土粒排列规律的前提下, 将浆液填充在土粒缝隙中, 与土粒相互粘结形成整体。渗透注浆法适宜于通透性好、孔隙率大、粒径在 0.5mm 以上的砂砾层。高压喷射注浆材料是指将泥浆从喷嘴外成喷射流态撞击并破碎混凝土体, 泥浆与土体搅拌后混合并产生固结体, 进而产生夯实土质地层的效果。适合于地下水流量不是非常大的细沙类土地、黏性土质、泥沙和人工填土等地层^[1]。

1 超前灌浆作用机理

灌浆法使其物理性能改变的各种方式。当泥浆在扩散过程中, 以就地充填等各种方法填补岩层缝隙, 并堵塞渗透途径, 从而增加了围岩的硬度, 并促进了围岩的稳定性。超前注浆的形成原理和施工工艺大致包括以下几个方面: 如混凝土喷射管隧道的开挖、混凝土喷射管隧道的钻孔、喷射前的准备、泥浆的准备、灌浆、灌浆方法和材料管理等。

1.1 对破碎土壤地层的影响

破碎岩体的预注浆加固机理是基于这种岩体的自身结构。通过使用高压渗透水泥填充和建造裂缝, 在岩体中形成新的扩散相, 导致大量新相在岩体强度颗粒表面萌生, 伴随泥浆凝结并开始生长发育, 幼苗相互交叉连接, 裂隙孔洞即为坚硬的骨子所贯通, 因此, 它形成了原生矿物颗粒和水泥凝析油的混合物, 显著提高了其硬度、完整性和抗渗性^[2]。

1.2 对含水地层的作用

最初应变场和线性渗流场都处在相当安静的动态稳定中, 而挖掘时损坏了岩块的最初应变场, 的转变导致了线性渗流场的转变, 从而引起岩块线性渗流场产生变形, 引起了突水或岩块渗透变化等。采用渗透灌浆法填补岩体低强度裂隙, 可以把裂缝内及孔洞中的地下水排挤出并生成一个防水渗漏帷幕, 从而防止了地下水对岩块的渗入,

将孔隙水压力直接作用于胶结体外围。在水泥预注浆设计中,需要提前确定最大允许渗透速率,希望采用预注浆方法在洞室工作面前方形成一个不透水区域,以降低线性渗透速率,以保证施工安全。

1.3 超前灌浆浆材

浆材的使用和浆液的配制对砂浆施工的产品质量、经济效益及其工期都有很大影响。浆材或浆液,通常需要对周围环境无污染的,对人身无危害,才能符合工程建设标准;混凝土的粒度、流变性能均应符合岩石的特点,在使用条件下混凝土可到达所设定的扩散范围。对岩体灌浆通常选用混凝土当作灌浆材料,对致密岩石常宜选用超细混凝土等湿磨砂,含水岩石常选用混凝土-水玻璃等混凝土。

使用水泥水玻璃水泥,其实最重要的问题是合理使用水泥的含量。水泥配料的基本原则应根据进水量和进浆量确定;对于进水量大、进浆速度快的,采用胶状时间长短的比例;相反,在涌水量较小而进浆率较慢时,则可采用凝胶化持续时间长一点的比例。然而,根据我国各地现有的室内建筑材料理论和工艺实践经验,水玻璃材料的含量一般为 30~45,作为较高的突然含量标准,水泥和玻璃浆液的最佳使用方式一般为:,水泥材料的水灰比为 0.8 : 1~1 : 1.混凝土材料和水玻璃材料的重量比为 1 : 0.6~1 : 0.8用这种方法配制的混凝土停留时间约为 1~2min,抗压强度变化范围约为 9~24MPa。

混凝土预注浆的关键是通过注浆方法控制成型材料的胶结时间。砂浆凝结时间一般控制在 1~2min。当涌水或堵塞较大时,速凝灌浆的凝结时间约为 10~30s。双液砂浆的胶凝时间与水灰比、水玻璃含量、体积比、环境温度和混凝土类型密切相关。胶凝时间随水泥浆掺量的增加而缩短。当与其他要求相同时,水玻璃溶液含量的降低将缩短凝胶时间。体积比与凝胶时间垂直。当水灰比和水玻璃溶液含量相等时,胶凝时间随水玻璃溶液体积的增加而增加^[3]。

2 隧道工程超前灌浆加固设计

灌浆参数的设计是一个动态过程,一般分为三个阶段:有必要对灌浆地层进行必要的讨论,并解释项目实施过程中可能出现的问题;根据对灌浆地层地质条件的初步了解和研究,实施了灌浆方案设计;在施工过程中不断检查评价灌浆方案设计的正确性与合理性,把从工程建设中所获得的信息及时反馈。

2.1 超前灌浆范围的确定

砂浆保护范围通常根据灌浆目的提前规定。如果事先砂浆的主要用途是堵水和防渗,也可以选择面积较小的砂浆区域,以减少砂浆工作量,并节省灌浆材料;但当在重要目的为保护巷道围岩时,为了提高砂浆能力和建筑施工安全性,可以选择大面积的砂浆区域。在前苏联巷道注浆加固作业中,支护带厚度一般为 3~5m,而我国煤矿部门巷道厚度一般为 2~3m。日本隧道施工时,一般围岩的半直径一般为隧道半直径的 2~4 倍;当围岩较差时,可取隧道半径的 3~6 倍;当围岩条件相当差时,它可能是直

径的八倍左右。

在实际工程施工中,可根据工程施工的地理和水文特征、防护和防渗需要,参考现有的相关工程施工技术标准,选择安全、经济的加固范围。通过一定的数据计算方法,还可以分析不同工况下的合理灌浆范围,作为判断合理灌浆范围的重要依据。

2.2 灌浆段长度选取

水泥灌浆段的长度,即灌浆孔在隧道轴线上的投影孔径比。灌浆孔径比的选择主要根据钻孔特征、钻孔灌浆效果、灌浆孔的有效孔径比等多种因素确定。截面孔径比越大,有效孔径比越小。一般来说,同一断面内应将同一裂隙水平的地层隔开,泥浆应均匀分布。裂缝等级差异较大的土层不能划分为同一段,以提高灌浆质量。当涌水量较大且裂隙较宽时,灌浆段应较小,否则应较大。同时,灌浆段的直径也应与灌浆成型泵的供浆能力有关,以确保水具有合理的扩散半径^[4]。

随着施工时实际状况的变化,工程设计中灌浆段的长度也有很大不同。一般来说,根据水泥砂浆截面长度分为较长截面长度和较短截面长度,它们各自相应的方法是长孔灌浆和短孔注浆成型,但二者方法各有优缺点。至于灌浆工程设计则要结合具体工程建设的地理、河流水文特征、设备的情况,及施工的具体条件来制定最优化的方法。

在使用 TBM 技术进行隧洞开挖时,因为 TBM 技术一般自带有钻性很大的超前意识钻机,以便调动设备能力,为提升加固堵水效果,还应采用较长的注浆材料成型段,一般可取到 30m 以上。对于在富水性断层破碎带的砂浆过程中,它所采用的泥浆一般有水泥水玻璃双液砂浆、聚氨酯砂浆等,虽然这些泥浆均带有高速凝特性,但若考虑涌流对泥浆渗透性的影响,则应选取较小的注浆成型段的直径,通常可以选取在 10~15m。

2.3 灌浆参数的设计

超前注浆的主要设计参数包括:注浆范围、注浆压力 P、浆液扩散半径 R 和浆液比重,这四个参数都是彼此密切联系和影响最大的。明确了注浆成型范围,可以通过泥浆的扩散半径,并决定了注浆材料孔的间排距离,以便安排好了灌浆施工日期。而水泥的扩散半径则受到注浆成型压力和水泥比重的影响,而这二种影响都是可以人为控制的。无论是增强围岩或是控制地下水渗,对其实施的预灌浆与保护区域的选择,对灌料花费和建造难易都有很大负面影响。

注浆成型压 P 值可依据岩性、处理目的、施工要求和涌流水压等各种因素做现场测试判断。通常用水量越高,灌浆效应就愈好,但过大的用水量会使浆液冲出灌浆区域,或损伤围岩。压强的选择还和所选用的注浆成形方式相关,浸润、填充等注浆方式时的压强通常较小一些,而使用劈裂、挤出等注浆方式时则选择了最大的压强。而对含水岩石地层压力则选择了最恶劣静水压力的 2~3 倍。所以,注浆成形压强应该符合所设计泥浆扩散范围内的条件,同样也不会产生岩体变形水力抬动,而注浆成形所产生的上

抬动力则为(假定压强是线性减小及在一圆形展开的裂隙平面内)泥浆分散半径范围大,对确定钻机孔距、排距等布置方式有重要参考价值。在渗透灌浆法中,水泥的扩散半径与灌浆压力和裂隙中的孔径成反比,因此它与水泥的塑性屈服强度成反比。鉴于不平衡的特点,泥浆散布过程往往是无序的,因此灌浆散布半径无法精确测算,可采用调节灌浆压强、泥浆的灌注力量以及限制灌浆持续时间,来调节灌浆的散布半径范围。

3 注浆技术在中国热力隧道工程建设中的运用

注浆技术在热力隧洞暗挖施工中的运用,依其工程技术目的、应用要求等差异,大致包括如下几种形式。

3.1 改良地层的力学性质进行的注浆

高井热电站热力管网工程的主体地面岩性类型为中强风化、深节理、裂缝发育、胶结类性质较差的片岩、页岩、砂岩等,部分区域还具有断层破裂带,造成巷道围岩的自稳能力极差,成型较难,故针对隧道岩层状况,用超前性导管进行1:1水泥浆和水玻璃混合双液泥浆,灌注后填补了岩层构造裂缝。水泥浆在灌注水压的影响下,成脉状迅速渗透到破裂疏松岩体结构中,并把里面的空气、水分排除,将疏松碎裂体胶结、胶化,生成具备一定硬度和抗渗性阻水力强的胶结体,以此增强围岩的热稳定性、抗渗性和稳定性。将超前性的小导管和胶结体组成了一个具备一定硬度的小壳体,在壳体的保证下完成了隧洞开凿工程建设。较好地解决了隧道拱顶容易坍塌的困难^[5]。

3.2 通过流砂层进行的注浆

为了安全通过流水泥层,需要做好超前预注浆料、固结砂浆层,防止涌砂事故。目前,国内外在应用于暗挖隧道以稳定掌子面的方法超前于注浆材料的建设工法中,主要包括单液浆、普通双液浆以及双管注浆材料加固建设工法等。针对施工地面的实际状况,运用了双管注浆技术克服了粉细砂、杂填土等复杂地层的施工困难。有效保证了地基建设的安全性,并获得了良好的经济效益和社会效益。

4.3 隧道内通过现有建筑、城市主干道以及铁路而进行的流注浆

随着温力隧道的建设进行施工,也有可能对周围住宅基础建设产生干扰,因此施工中需要采用适当保护措施。并经过多次对比各种施工方式,最后计算采用在拱处施做的水平旋喷桩加形砧支撑为沉降率最少的方式。使用水平单管或双管钻头磨损,每15m左右为一条施工段;每一段纵向搭接距离2m,水平桩长度为17m左右,孔径为300mm,水平桩的中心间距为250mm,水平桩之间互相咬合约50mm,共31根,形成混凝土拱棚。使隧道附近的砧主体均受到了固结,从而增加了砧体的强度和自稳能力。在施工的全过程中对地面和建筑的沉降情况进行了检测,地面最大沉降范围仅为7mm~9mm,房屋的最大沉降范围为2mm,从而真正保证了主路和地面建筑的安全性。

3.4 为过河段隧道止水进行的注浆

注浆方法堵水是指利用注浆方法管将泥浆均衡地注

入结构物附近的岩层组织上,将浆液以充填、渗入和挤密等方法,在赶走了土粒间或岩层裂缝内的水分和废气之后,再占领其部位,经人工作用经过一定时期后,浆液与原来疏松的土粒间或裂隙胶结类形成了一种新的结石体,进而达到了堵水的目的。在管线施工中,过引水渠区域部分土层为含有饱和水的软塑粉质黏土,且上层土壤存在河道地表水和地层滞水的影响。但由于饱和水淤泥质粉质黏土在施工后的自稳能力极差,容易塌陷,对地表下沉也不易控制,严重时还可能出现洞内涌泥的现象,使施工工作无法正常开展,所以需要混凝土主体进行注浆材料并加强止水。针对地层实际情况,通过超前的劈裂注浆方式支护可达到较好的抗坍塌效果,有效保障了建筑安全。同时实现注浆方式的止水加固目标,使过河流顺畅通过,未出现涌水和坍塌的发生。

3.5 为保护管线进行的注浆

热力隧洞开挖施工会不可避免地造成施工地段相应范围的土壤产生下沉和位移,因为热力隧洞通过的范围内有各种既有管道,过大的土层变化会造成管道损伤,需要对地层注浆进行管道维护。

为了提高隧道内上部岩层的整体稳定性,并抑制土壤地层变化,减少地表的下沉,还必须通过对拱顶土体进行注浆方法加固。针对本段岩层的各种地质状况,对粉细砂~粘土地层根据劈裂型注浆方法的原理,利用袖阀管进行了后退型分段注浆;对中粗砂~细砂砾碎石层按照热渗透注浆材料的原理,通过钢花管进行了全孔一次性灌浆,从而保证了暗挖隧洞初期支护的稳定性,并有效地抑制地面沉降。从而实现了保护管道的目的。

4 结语

注浆方法及技术还在高温高压隧洞建设中的许多方面使用过,包括充填竖井门及隧洞内初期支护背部材料的补充注浆方法,防治隧洞内大坍塌的注浆材料加固方法,为加强竖井马头门保护而进行的超前大管棚注浆保护方法等方面。从工艺上来看,目前注浆材料的工艺技术已经相当成熟,但为了更充分发挥其功能仍需要进行新注浆方法材料和注浆装置的研发,而唯有如此方可提高注浆材料技术在不同条件下的适应性。

[参考文献]

- [1]杨国亮.地铁暗挖隧道工程中的深孔注浆施工技术[J].低碳世界,2020(3):5101-102.
 - [2]赵沛.平面联系三角形测量在地铁暗挖隧道中的应用[J].智能城市,2020(4):55-56.
 - [3]甘雨,崔红利,江杰,林锐.联合机械开挖在复杂结构暗挖隧道中的应用[J].公路,2020(5):25-26.
 - [4]李刚.地铁暗挖隧道单线突变双线转换施工技术[J].铁道建筑技术,2020(7):32-33.
 - [5]赵良云,张运涛.暗挖隧道下穿既有地铁站变形控制及影响分析[J].西安科技大学学报,2020(5):29-30.
- 作者简介:鹿炳涛(1986-)男,河北省沧州市人,汉族,大学本科学历,一级建造师,研究方向为热力隧道施工。