

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.S0.025

含水砂层隧道施工控制技术

王忠双

(中国铁建大桥工程局集团有限公司,天津 300308)

摘要: 文章以兰州至中川机场九合二号隧道为工程背景,首先采用摩尔库伦准则和新意法原理,对含水砂层掌子面的失稳机理进行解释,接着针对掌子面的失稳机理,在隧道施工前进行降水和集水明排等方案,使得隧道开挖在无水状态下进行,然后对掌子面前方土体进行深孔注浆加固,提高地层的强度和刚度,在施工过程中,综合采用双层临时仰拱和临时插板的方式,对隧道轮廓和掌子面地层施加人为的约束,提高隧道的稳定性。

关键词: 含水砂层;隧道稳定;隧道掌子面;三台阶

中图分类号: TU451 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2015)S0-0129-04

The construction control techniques of tunnel in sand stratum under water

Wang Zhongshuang

(China Railway Construction Bridge Engineering Bureau Group Co., Ltd., Tianjin 300308, China)

Abstract: This paper illustrated the instability mechanism of tunnel face in sand stratum under water by using the theory of Mohr-coulomb yielding criteria and the NITM method on the background of the second JiuHe tunnel in the railway from LanZhou to ZhongChuan airport. The drainage measures were taken to deal with the water in the stratum before tunneling and deep-hole pre-injecting measures were taken to improve the strength and stiffness of stratum. The double temporary invert and temporary sheeting were setup to provide artificial restriction for tunnel to improve the stability of tunnel.

Key words: sand stratum under water; stability of tunnel; tunnel face; the three-bench method

隧道施工中最困难的问题一直都是地质条件的问题,比如软弱围岩、断层破碎带、溶洞、高地应力、富水砂层等。中国西北地区穿越含水未固结砂岩的隧道施工已成为重大的国际难题^[1]。比如兰渝铁路胡麻岭隧道^[2],穿越一座水库和一条河流,有 3.25 公里穿越第三系饱和富水粉细砂地层,形成众多大小不等的水囊,受施工扰动的影响,围岩液化十分严重,存在突水涌砂等安全隐患,施工进度深受影响,该项目被列为全路头号重难点工程。

兰渝铁路桃树坪隧道也是穿越第三系富水粉细

砂地层,该地层岩性软,成岩作用差、稳定性差,富水条件下粉细砂层软化现象明显,常呈流塑状,无自稳,大断面隧道施工困难。文章以兰州至中川机场铁路线路中的九合二号隧道出口段为工程背景,对含水隧道施工中安全控制技术进行研究。

1 工程概况

九合二号隧道为双线隧道,总长为 2 870 m。洞身围岩为 IV 级、V 级、VI 级围岩。洞身纵坡依次为 2 393 m 的 10.5%、387 m 的 10%,为单面上坡。隧

收稿日期:2015-03-15

基金项目:中国铁建大桥工程局科技项目(2013-1)

作者简介:王忠双(1975-),男,高级工程师,主要从事隧道施工研究,(E-mail)382757242@qq.com。

道洞身 99.8 m(左线)、右线 109.8 m 位于直线段外,其余位于曲线段,进口段曲线半径为 1 200 m,出口曲线半径 800 m。

隧道出口 HK9+787 进洞采用 $\Phi 108$ 管棚管(长 30 m)+ $\Phi 42$ 小导管注水泥浆,洞口段 V 级围岩采用三台阶加临时仰拱法;洞身 V 级围岩采用三台阶加临时仰拱法,拱部 $\Phi 42$ 超前小导管,每根长 3.5 m,环向间距 0.4 m,纵向间距 2.4 m,每环 41 根。

九合二号围岩为第三系中新统砂岩(N_1^{ss}),呈砂状,隧道左侧(面向对掌子面)拱部及边墙较松散易出现流砂现象,右侧砂岩自稳性好,较硬。在隧道进洞施工过程中,隧道掌子面多次发生塌方并导致仰拱坍塌形成空腔(图 1),危及隧道施工的安全。

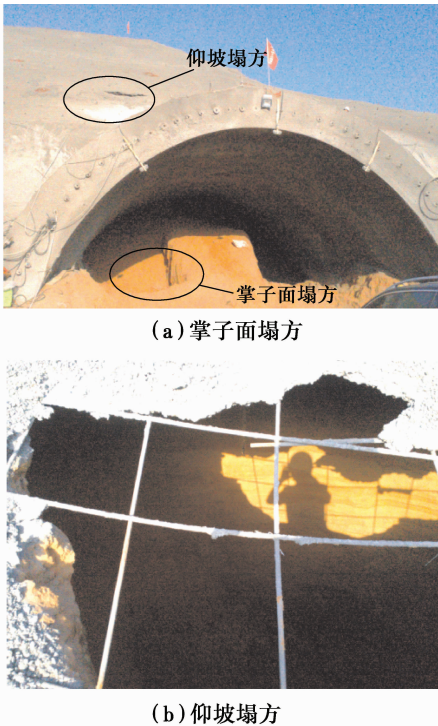


图 1 隧道掌子面及仰坡塌方

2 失稳机理

含水未固结砂层隧道在开挖的时候极易导致掌子面塌方并且引发其他类型的坍塌,下面从摩尔库伦准则和新意法的原理对该类地层塌方的原因进行解释。

2.1 摩尔库伦准则

由地层应力的分布特点可知,地层垂直方向为第一主应力,隧道掌子面横向方向为第二主应力,垂直于隧道掌子面方向为第三主应力(图 2)。

根据摩尔库伦准则,对于砂土等无粘性土地层,其剪切强度线经过坐标轴的原点(图 3),而掌子面在开挖之后,第三主应力很快降到。这情况下,除非

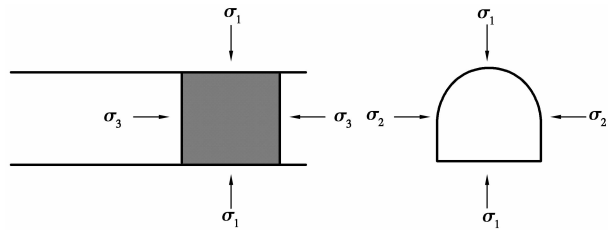


图 2 隧道周边地层主应力

地层的摩擦角为 90° (这显然是不可能),否则地层必然进入塑性状态。

而对于隧道拱部轮廓线以上的地层,虽然第三主应力没有降到 0,由于剪切强度线穿过坐标轴的原点,地层仍然容易被剪切破坏。因此,含水砂层隧道一旦开挖,就将面临掌子面失稳的风险,需要采取辅助措施以保持其稳定。

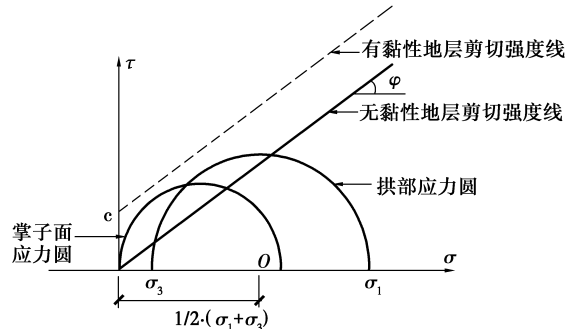


图 3 摩尔库伦屈服准则

2.2 新意法原理

新意法^[3-5]是研究隧道掌子面稳定的一种理论,该方法按隧道开挖之后掌子面的约束压力与掌子面挤出变形之间的关系曲线(图 4),将掌子面的力学行为分为以下 3 种类型。

1)A 类的隧道掌子面为稳定状态,极限约束压力和掌子面挤出变形之间为线性关系或近似线性关系,主要指的是比较完整的岩石类地层,掌子面不需要任何加固措施就可以保持自稳。

2)B 类为短期稳定状态,主要指的是粘土类的地层,当约束压力逐渐减小时,掌子面进入塑性状态,但挤出变形仍在较小的范围内,掌子面在短期内是可以自稳的。

3)C 类的隧道掌子面为不稳定状态,随着约束压力的减小,掌子面挤出变形急剧增加直至掌子面失稳,主要指的地层即为砂或卵石等无粘性土地层,需要采取预加固措施保持隧道的稳定。

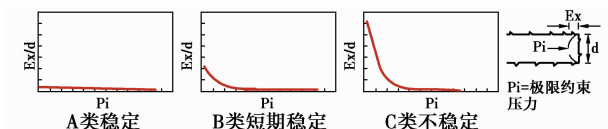


图 4 新意法判断围岩类别

掌子面前方核心土体的受力如下所示。掌子面前方土体在暴露之前,在隧道纵向上,受到前后土体的土压力和土体自身的剪应力。

$$F_1 + F_2 = F_3 \quad (1)$$

$$\int p_1(x, z) dx dz + \int \tau(x, z) dx dz = \int p(x, z) dx dz \quad (2)$$

式中: F_1 为 A 块土体的土压力; F_2 为 B 块土体的剪应力; F_3 为 C 块土体的土压力。

在土体 A 开挖之前,土体 B 的剪切变形较小,所受的剪切应力也较小。

当土体 A 被开挖之后,其施加在土体 B 上的土压力 $p_1(x, z)$ 也会随之消失,而土体 B 所受到右侧的土压力 $p(x, z)$ 仍然存在,此时土体 B 的剪切变形将增加,土体自身的剪切应力增加,从而抵抗右侧的土压力。

在无任何加固措施的情况下,土体自身剪切应力的合力等于右侧土体土压力的合力(式 3、4),如图 5 所示。

$$F_2 = F_3 \quad (3)$$

$$\int \tau(x, z) dx dz = \int p(x, z) dx dz \quad (4)$$

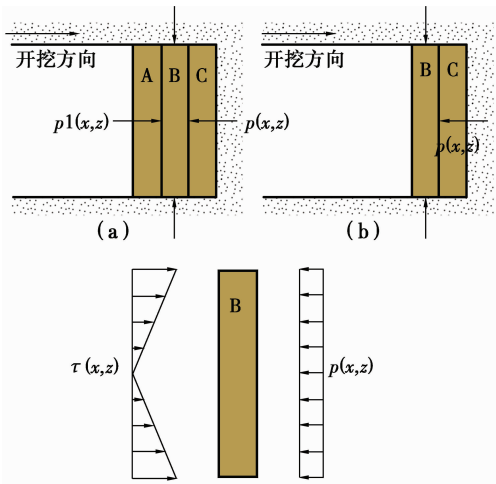


图 5 掌子面土体受力

对于砂层等无粘性土或低粘性土地层,土体自身可提供的剪切应力合力较小,无法抵抗 C 块土体的土压力,此时只有认为施加约束压力或提高土体自身的强度和刚度,否则,土体将会因受力不平衡而导致掌子面失稳。

3 控制措施

为了保持隧道施工过程的安全,在施工前对地下水进行处理,对未固结砂岩采取深孔注浆措施进行加固,在施工的过程中,同时采用双层临时仰拱和

临时插板等方式。

3.1 水的处理

水的存在会导致未固结砂岩出现崩解、丧失强度的现象,而且水压的存在也会对掌子面上地层产生不利于稳定的侧向压力,因此对于此类地层,在隧道开挖之前必须采取地下水处理措施,使得开挖工序在无水状态下进行。

3.1.1 水的危害 地下水的主要危害形式主要有土的渗透变形、砂土液化 2 种形式。其中,地下水引起的隧道掌子面塌方等情况也属于土的渗透变形。

土的渗透变形从形式上说有流土、管涌、接触冲刷、接触流失 4 种类型,粘性土的渗透变形主要是流土和接触流失 2 种类型。土的渗透变形特征应根据图的颗粒组成、密度和结构状态等因素综合分析确定。

3.1.2 控制措施 地下水的控制应根据工程地质和水文地质条件、基坑周边环境要求以及支护结构形式选用截水、降水、集水明排或其组合方法。

当降水会对基坑周边建筑物、地下管线、道路等造成危害或对环境造成长期不利影响时,应采用截水方法控制地下水。采用悬挂式帷幕时,应同时采用坑内降水,并根据水文地质条件结合坑外回灌措施。在本项目中,主要采取的降水方案为真空降水和集水明排相结合的方式处理砂岩中的含水层。

3.2 深孔注浆

3.2.1 加固原理 在隧道开挖前,通过钻机在工作面进行钻孔,再利用双液注浆泵通过二重钻杆向前方土体内注入水泥-水玻璃双液浆以及水玻璃化学浆液,对隧道工作面进行放射型注浆加固止水。注浆时先使用固结时间较短的水玻璃化学浆进行限制注浆,这一工序可以减少在双液注浆时注浆压力的损失,还可以防止土层里的动态水把固结时间较长的双液浆稀释冲走而不能达到理想的加固效果。待限制注浆完成后进行加固注浆^[6]。

加固注浆使用双液浆,注入的水泥-水玻璃双液浆发生化学反应,将岩层颗粒间存在的水强迫挤出,使颗粒间的空隙充满浆液并使其固结,达到改良围岩的目的。其注浆的特性是使围岩岩层黏结力、内摩擦角值及其密度增加,起到加固作用;颗粒间隙中充满了不流动且固结的浆液后,使土层透水性降低,而形成具有一定强度和止水效果的地下连续固结体,从而达到止水、加固的目的。

3.2.2 加固范围 如图 6 所示,深孔注浆加固厚度为 1 500 mm,加固范围为上层导洞拱部 180 度及扣拱拱部范围。根据加固范围(拱部 180 度)及加固

厚度(1 500 mm),以及深孔注浆的浆液有效扩散范围(一般 800 mm),本车站超前深孔注浆孔共设置两层,上下层间距为 700 mm,两孔之间间距为 800 mm。

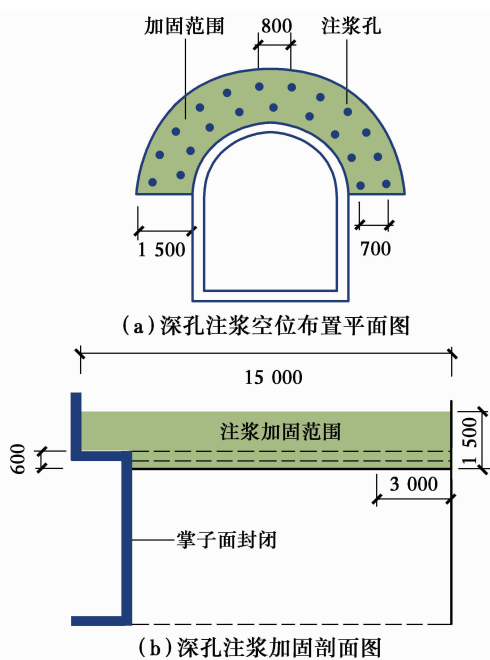


图6 深孔注浆示意图

3.3 临时支护

3.3.1 双层临时仰拱 由于隧道开挖采取的是三台阶法,导致隧道闭合的仰拱与掌子面之间距离过长,而未固结砂岩强度和刚度较低,开挖后易产生较大变形,为防止隧道的收敛变形导致衬砌结构侵占建筑限界,在开挖过程中,采取两层临时仰拱进行支护,如图 7(a)所示,并在两层仰拱之间安装立柱,保证仰拱的稳定性。



(a) 双层临时仰拱



(b) 临时插板法

图7 临时支护措施

3.3.2 临时插板 由前文新意法的原理可知,砂层粘结强度低,无法抵抗核心土体的土压力,开挖之后掌子面极易失稳,为了最大限度保证掌子面的稳定,在开挖过程中采用分块开挖的方式,每开挖一部分,就在掌子面上临时安装木板,如图 7(b)所示,并用钢管焊接在木板之上,通过衬砌结构、钢管和木板之间的焊接,对掌子面地层施加人为的约束压力,防止掌子面因过度变形而松弛坍塌。

4 结论

通过上文的研究,可以得到以下结论。

1)水对砂岩的稳定性很大,穿越含水砂层的隧道首要工序是降水,使得隧道施工在无水条件下进行。

2)无粘性或低粘性的砂层自身稳定性较差,无法通过自身的剪切应力抵抗前方核心土体的土压力,需要采取辅助措施保持其稳定。

3)采用深孔注浆可以提高开挖地层的强度和刚度,增加掌子面的稳定性。

4)双层临时仰拱和临时插板可以为隧道轮廓提供人为的轮廓和掌子面约束,有利于隧道施工过程中的稳定。

参考文献:

- [1] 吉小明, 吕纬. 含水砂层隧道围岩失稳破坏机制及控制研究现状综述[J]. 岩土力学, 2009, 30(增刊2): 291-296.
- [2] 冷雅梅. 胡麻岭隧道第三系富水低渗透性粉细砂地层施工方法和工程措施探讨[J]. 现代隧道技术, 2013, 50(2): 158-163.
- [3] 李斌. 软弱围岩大断面隧道开挖面稳定性及控制研究[D]. 西南交通大学博士学位论文, 2012.
- [4] Li B, Hong Y, Gao B, et al. Numerical parametric study on stability and deformation of tunnel face reinforcement with face bolt [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2015, 47: 73-80.
- [5] Li B, Qi T Y, Wang Z, et al. Back analysis of grouted rock bolt pullout strength parameters from field tests[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2012, 28: 345-349.
- [5] 倪茂光. 富水砂层注浆试验研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.