

# 高速铁路湿陷性黄土隧道下穿高速公路施工技术分析

邹峰

中铁十一局集团第二工程有限公司, 湖北 十堰 442000

**[摘要]**在基础设施建设水平不断提升的时代下,对于高速铁路的建设工作一直稳定开展,且高速铁路在铁路建设工程中所占比例不断提升,对于隧道建设的条件要求提升。在地质条件方面,如果隧道穿过具有湿陷性黄土或是其它自稳能力较差的岩体时,初期支护工程量较大,施工也具有一定的安全风险。为了改进施工质量,提升施工速度,我们需要细致分析在这一过程中的施工操作方法与监测管理的要点。

**[关键词]**高速铁路;湿陷性黄土;下穿;高速公路

DOI: 10.33142/aem.v2i2.1627

中图分类号: Z87

文献标识码: A

## Analysis of Construction Technology of Collapsible Loess Tunnel Underpass Expressway of High Speed Railway

ZOU Feng

China Railway 11th Bureau Group Second Engineering Co., Ltd., Shiyan, Hubei, 442000, China

**Abstract:** In the era of continuous improvement of infrastructure construction level, the construction has been carried out steadily and the proportion of high-speed railway in railway construction projects has been increasing, so the requirements for tunnel construction conditions have been improved. In terms of geological conditions, if the tunnel passes through collapsible loess or other rock mass with poor self stability, the amount of initial support work is large and the construction also has certain safety risks. In order to improve construction quality and speed up it, we need to analyze the construction operation methods and monitoring management points in this process carefully.

**Keywords:** high speed railway; collapsible loess; underpass; expressway

### 引言

目前城市化进程不断加快,国务院在2014年就审查通过了《中长期铁路网规划》中对铁路规划建设进行了说明,以此为基础提出了新的技术要求。随着措施不断地落实到位,目前的建设过程中也会大量地出现岩土工程问题,特别是我国的黄土稳定底层,如果要进行下穿高速公路的大断面隧道工程,那么在施工之前就要充分考虑到地表变形控制、施工技术选择等内容,从而提出针对性控制措施,减少后续工作产生的问题。

### 1 工程概述

某隧道全程约为7200m,位于低山丘陵地区,线路走向和山体走向保持大致平行,隧道下穿某高速公路,地质为硬塑,局部具备自重湿陷性黄土、粉质黏土,呈现出夹层分布,隧道围岩类型为V级加强。隧道下穿高速公路左右与中间隔离带接近,左右幅宽12m,中间隔离带宽25m,公路和隧道较差角度为 $70^\circ$ ,路面至隧道的顶距离为24m。

另外下穿段隧道开挖面积较大,接近 $180\text{m}^2$ ,这也给区域内的隧道施工带来了一定的难度。因此也要更好地控制下穿段合理的支护等施工参数,减少路面沉降。

### 2 施工整体规划

#### 2.1 施工方案确定

在对施工现场进行调查研究和实地考察后,结合现场的实际情况和前期施工经验,确定洞内拱墙外部设置好超前大管棚,然后通过局部加固的方式加固好掌子面,并且预埋灌浆管,在中台阶开挖之间做好顶拱注浆,开始整体的支护设置。洞身开挖选择上、中、下台阶的分别开挖模式,按照人工开挖配合机械设备开挖的原则,在快速循环的模式下注意封闭工作和量测工作,在相关数据信息的支持之下保持仰拱及时封闭成环,二次衬砌工作也应该随之展开。

在前期的地质预报工作中,如果地质雷达显示此段有异常反射波存在,那么应考虑到区域内的土体类型展开支护工作避免产生其它质量问题。具体可以通过地质雷达试验来进行,如图1所示。

除去地质雷达试验外还可以按照需求选择面波试验、平板载荷试验和桩间土试验。例如试坑开挖就是以图 2 所示的方法进行。

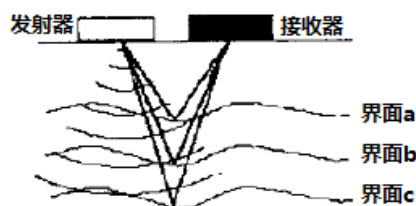


图 1 地质雷达探测



图 2 试坑开挖

## 2.2 支护施工

超前支护工作选择热轧无缝钢管，管壁区域打孔，梅花形布孔，钢管轴线和衬砌外缘的夹角需控制为不超过  $10^\circ$ ，径向误差不超过 20cm，环向误差不超过 10cm。这样一来，可以直接选择钢架的腹部区域设置好导向孔。管棚注浆选择水泥注浆模式，水泥浆的水灰比控制在 1:1，注浆压力为 2.0MPa 以下。

隧道顶拱范围内选择热轧无缝钢管和钢架联合应用的模式，将小导管环相间距控制在合理范围内，纵向间距同时做出调整，每根导管的长度设置为 3m。掌子面的加固工作选择喷射混凝土配合玻璃纤维锚杆进行全断面封闭加固模式，玻璃纤维锚杆水平交错布置，在开挖之后立即开展掌子面加固工作，封闭范围可以从岩隧道初期支护轮廓线再往外扩充一定范围。

## 2.3 隧道开挖施工

如图所示，掌子面的局部进行加固的过程中需要考虑到湿陷性黄土隧道的特征，所以选择人工配合挖掘机作业的方式进行开挖，开挖过程中上台阶需预留一部分核心土，中台阶选择临时仰拱法。之后装载机将所有废渣运出施工场地。当然，在这一过程中的重点在于防止支护沉降变形情况，所以在针对性措施的处理方面要符合技术标准，避免中台阶和下台阶同时开挖。黄土湿陷性系数按照以下标准计算。

$$\delta = \frac{h_p - h'_p}{h_0}$$

其中  $h_p$  为黄土在加压压力下稳定后高度， $h'_p$  为浸水作用下下沉稳定后高度， $h_0$  为土试样原始高度。如果结果在 0.0015 以上，判定为湿陷性黄土。

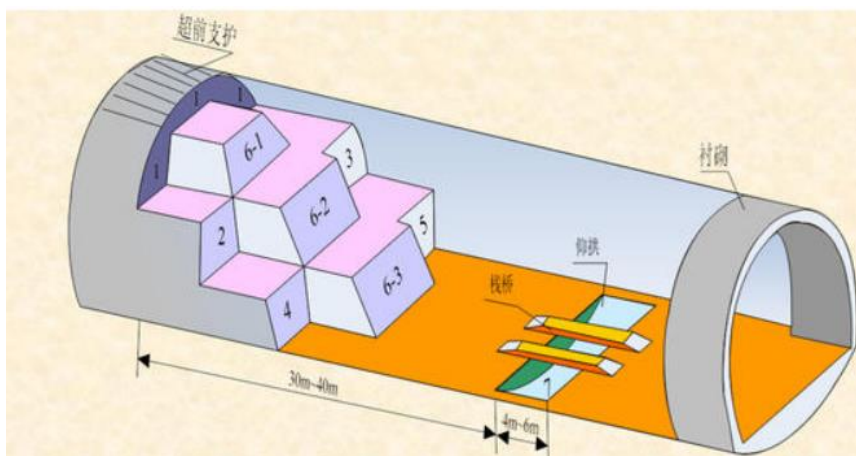


图 3 洞身开挖断面图

具体来看，上台阶预留核心土后开挖并支护，拱部超前支护后掌子面局部进行加固，在预留核心土后架设钢架。中台阶和下台阶的单侧不对称，仰拱在开挖支护的过程中必须完成钢架锁脚施工工作。核心土开挖时开挖上台阶预留的核心土部分，开挖进度和上台阶循环保持一致。当所有混凝土都达到终凝之后再行仰拱填充混凝土浇筑，并做好一次成型的要求。

## 2.4 支护施工

初期支护时就要综合地分析型钢钢架和锚杆等设备材料的选择。一般来说钢架可以直接在加工厂进行预加工，直接将成品运送至工作现场，配合机械设备进行立架即可。喷射混凝土选择大型机械湿喷作业，钢架在加工环节中注意对称钻的直径要求。在参数要求上，顶拱  $110^\circ$  范围内选择超前小导管进行超前支护，小导管每环设置数量控制结束后采用 1:1 的重量比进行水泥浆注浆工作，临时仰拱支护钢架做好设置支护要求后，喷射混凝土选择湿喷工艺。连接筋内外侧想换间距设置为 1m，锁脚连接钢板在加工厂内部焊接完成保证焊接质量，台阶两侧拱脚锁脚锚管选择无缝钢管。

## 3 地表沉降控制措施

由于黄土地区的浅埋隧道工程本身地质条件较差，围岩的变形速度快，原因在于开挖面没有良好的自稳能力，使得隧道施工时容易对地表产生不利影响，例如引起地表区域的沉降。在前文中也提到了沉降支护控制的重要性。当铁路隧道近距离下穿高速公路进行施工时，就应对地表沉降进行合理控制。下沉量侧与净空变化量测可以按照图 4 所示布线。

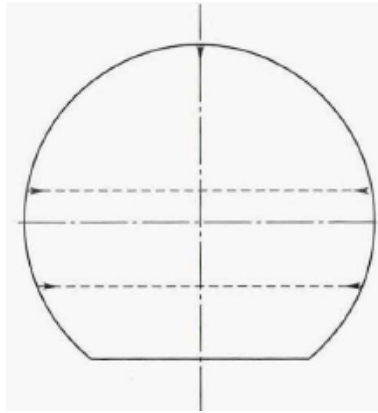


图 4 测线布置

## 3.1 地表沉降控制方法

### (1) 地层预加固

地层预加固的方法主要围绕两个方面的内容展开。一是预注浆法，根据注浆位置的不同我们可以将注浆模式划分为洞内注浆与洞外注浆两种方式。前者利用的是超前小导管注浆技术，借助超前浆液的作用来显著第改变掌子面前方区域的围岩特征，让隧道在通过地层时具有足够的安全性。另外，地表注浆一般在浅埋隧道内得到应用，在地表注入一定的浆液后，围岩的物理特性和整体性能都会受到影响，但可以地表沉降问题起到良好的预防效果<sup>[1]</sup>。

### (2) 锚杆法

锚杆法指的是全长砂浆锚杆，以注浆来保障加固区的岩土强度，与周围砂浆、岩土体形成锚固体，一方面提升岩土的摩擦阻力，另一方面保障完成性，加固地层。按照作用机理来看，可以如下表 1 所示的要求。

表 1 锚杆法预加固的围岩强度数据

围岩强度	预加固前	预加固后	增加系数
粘聚力	$C_0$	$C_i$	$a_1$
内摩擦角	$\Phi_0$	$\Phi_1$	-
单轴抗压强度	$R_{b0}$	$R_{bi}$	$a_2$

通常情况下，如果在破碎的地层中使用砂浆锚杆，既可以实现对地层周围区域空隙的填充，也可以基于锚杆中心展开加固工作。锚杆与锚杆之间相互连接形成锚杆群，发挥整体功能的前提下，地层的整体作用和稳定程度都得到了显著改善，锚杆的杆身强度也远大于围岩周边的强度，对于剪胀力的应对效果更佳显著。而超前插入结构的应用可以按照材料的使用差异划分为不同类型，其加固机理都是通过向掌子面超前搭设管棚等结构，在对周围围岩发生挤压作用的同时，减少隧道拱部围岩向内侵入的变形过程，实现控制地表和地中位移的效果<sup>[2]</sup>。

### 3.2 施工方法的优化方式

#### (1) 开挖模式

在开挖方式的选择上,湿陷性黄土的自稳能力较差,即便我们采取相应的预加固方法,仍然无法选择全断面开挖方式。此时为了保障围岩的稳定性,可以选择多部开挖法或压缩空气法等措施。前者主要是将整个施工过程进行分解,将大断面划分成为不同的小断面,然后再进行开挖和支护工作。在这种模式下,开挖面积越小,说明开挖划分的区域越多。但此时的施工进度也会受到影响。对此,在保障施工安全程度的前提下,应该更好地对方法进行规划,有效地控制地表沉降和地中位移现象<sup>[3]</sup>。预切槽法利用事先设置好的切口通过注浆进行预支护,这样一来,无论是软土地层还是一般土层,预支护模式的作用都能得到发挥。但对于某些坚硬岩层且难以开槽的区域,其使用范围可能会受到影响。

压缩空气法利用加压设备直接将空气压力施加在掌子面区域,以此为基础稳定隧道掘进的过程。对于湿陷性黄土等含水量较大的地层,此类施工方法的优势比较明显,在配合预加固措施的辅助后,可以有效地控制地表沉降,也说明了压缩空气法可以让我们更加合理地优化施工的参数要求。例如在台阶程度方面,施工环节不可设置过长的台阶长度,一般设置在3m左右为宜,一方面是为了保障施工空间,另一方面是为了降低支护闭合所花费的时间。

#### (2) 支护模式的调整

如果施工区域内的环境对于地表沉降比较敏感,那么在隧道工程设计环节中通常涉及到支护层面的问题,对于自稳能力较差的围岩来说,开挖后的现场监测工作非常重要,且早封闭措施对于调整支护结构的受力也比较有利,控制地表沉降的速度。在这一方面有研究进行了混凝土喷射的性能试验,结果也表明随着纤维长度的增加,纤维喷射混凝土的强度和延展性有了很大改观,如果我们将传统的钢筋网混凝土用它进行替换,也能够在地表控制沉降方面起到更加稳定的作用。基于稳定性的要求,按照老化理论,应力、应变和时间之间存在着密切联系,流变状态可以表示为:

$$\varepsilon = f(\sigma, t)$$

同样,老化理论还可以体现出材料的应力松弛过程,反映了混凝土性能与时间之间的特性,为强度提升提供了一定的参考,

#### (3) 超前支护和初期支护的作用

由于施工区域潜在的土体坍塌风险和掌子面的稳定问题,我们在控制地表沉降的过程中应该对下穿段进行超前支护和初期支护,并考虑到管棚进度的问题。另外,在临时支护的混凝土产生开裂、剥落等现象时,也应该考虑提升初期支护刚度的方式,来控制下穿高速公路时的荷载附加情况,控制好初期的支护参数<sup>[4]</sup>。

## 4 结束语

隧道开挖本身会产生非常明显的扰动现象,围岩的原始应力平衡状态受到影响后,应力会因此而重新分布,岩体的强度与受力状态也会因此受到干扰。所以,为了充分体现出承载方面的需求,就需要在岩体出现塑性变形的过程中,考虑到开挖引起的变形引发地表下沉、围岩变形现象。因此,在未来的高速铁路湿陷性黄土隧道穿越高速公路的施工过程中,我们应分析隧道开挖支护等方面存在的问题,解决好变形、控制,在确保安全质量的前提下实现快速施工、稳定施工。同时,黄土地质的特殊性要求下,我们也可以建立岩土体本构模型,结合现场施工进度来掌握变性规律,确定最佳支护时机或是预留变形量等。

### [参考文献]

- [1]何军,张旭.湿陷性黄土隧道应力应变特性的离心模型试验研究[J].陕西建筑,2016(4):48-52.
  - [2]李洋,雷胜友,李梦莎,等.高速铁路基下长短桩处理的湿陷性黄土地基沉降分析[J].中国科技论文,2015,10(7):794-797.
  - [3]赵文轲,秦峰,卫轶科.全站仪非接触隧道变形量测方法在老营庄隧道湿陷性黄土地质段的应用[J].公路隧道,2016(3):16-18.
  - [4]王立新,王俊,李储军.大厚度自重湿陷性黄土地层条件下复杂地铁隧道工程方案研究[J].现代隧道技术,2016,53(2):157-164.
- 作者简介:邹峰(1982-),中级工程师。