

黄土公路隧道预支护施工技术研究

李正安^a, 柴江^b

(兰州理工大学 电信学院^a, 土木工程学院^b, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 针对目前黄土公路隧道设计与施工的现状以及存在的问题, 结合在建古浪隧道实体工程, 分析了小导管注浆超前支护施工技术的要点, 利用 ANSYS 程序建立三维实体模型分析预支护技术对开挖围岩的稳定性影响及围岩和支护结构在施工过程中的受力变化情况. 结果表明, 超前支护可以提高围岩自稳自承的能力, 减小围岩的收敛变形.

关键词: 黄土隧道; 超前支护; 数值模拟; 稳定性

中图分类号: U455.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0366(2011)04-0045-05

Study of Advanced Supporting Technology of Loess Highway Tunnels

LI Zheng-an^a, CHAI Jiang^b

(School of Telecommunications^a, School of Civil Engineering^b, Lanzhou University of Science and Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: By analyzing the status quo and practical problems existing in the design and construction of loess highway tunnels, combined tightly with the establishment of Gu-Lang loess highway tunnel, the key construction technique of advanced supporting is studied. A three-dimensional solid model of ANSYS program is used to analyze the stability of surrounding rocks and the consecutive variations of the forces of the structures. Our conclusion is: the surrounding rocks can enhance the ability of stable self-supporting and reduce the convergence of rock deformation by advanced supporting.

Key words: loess tunnel; advanced supporting; numerical simulation; stability

我国在隧道建设中虽已采用“新奥法”的设计、施工理念, 但仍以经验类比法为主. 对黄土公路隧道的设计、施工, 现行的《公路隧道设计规范》内容不仅较少, 而且也很笼统. 在应用新奥法的工程实践中, 曾针对浅埋和软岩隧道, 提出了“管超前, 严注浆, 短开挖, 强支护, 快封闭, 勤量测”八字方针. 但由于黄土围岩自稳自承能力差, 加之黄土具有湿陷性, 在施工中如何保证超前支护施工质量, 尤其注浆时如何保证加固效果及超前支护对围岩和支护结构力学性能和稳定性的影响并不清楚^[1-3]. 针对黄土公路隧道的技术特点、黄土的工程特性及黄土公路隧道在设计施工中存在的关键技术问题, 我们结合古浪黄土公路隧道的施工情况, 以数值计算作为研究手段, 总结了黄土公

路隧道施工中, 小导管超前支护的施工技术经验, 论证了采用小导管超前支护的可行性和适用性.

1 工程概况

古浪隧道为分离式, 隧道最大埋深 228 m, 隧道单洞净高 5 m, 净宽 14 m. 隧道设计车速 80 km/h. 隧道左右线出口与隧道中线位置间距为 37.3 m, 净间距为 26.44 m, 出口端坡度为 2.6%. 整条隧道处于半径为 1 200 m 和 1 400 m 的平曲线以及半径为 40 000 m 的竖曲线上. 隧道洞身段穿越区第四系上更新统风积新黄土, 下伏冲积圆砾和卵石. 风积黄土层厚度大, 潮湿, 吸水性强, 呈未固结、半固结状态, 该层无地下水, 围岩在地貌上属于岩级别划定 V

收稿日期: 2011-05-18

级。古浪隧道洞身段主要为第四系上更新黄土，圆砾土层，上更新黄土多孔、具直立节理，岩性潮湿，吸水性强，具湿陷性。圆砾土层，微胶结、潮湿，全部为V级围岩。根据现场地质情况，洞身四周围岩对洞身产生微偏压，洞身所受压力正面压力比较大。为了确保施工安全，采取早进洞、人工配合机械开挖、强支护、及时密贴、勤量测的原则进行施工。

2 小导管超前支护施工

为了确保承子面施工的安全，采用小导管对V级围岩注浆超前支护，同时要求隧道开挖后要紧跟初期支护施工，开挖和初支施作完成后要及时进行仰拱和隧底填充施工，尽早封底保护拱脚。

(1) 小导管超前支护 隧道V级围岩段在开挖施工前，因围岩破碎，极易造成坍塌，必须施作超前支护，以确保施工安全。采用小导管超前注浆预加固技术提高围岩的自承自稳能力。小导管超前注浆时沿隧道纵向在拱部开挖轮廓线外一定范围内向前上方倾斜一定角度，或者沿隧道横向在拱脚附近向下方倾斜一定角度将小导管打入地层中，借助注浆泵的压力，使浆液通过小导管渗透、扩散到地层孔隙和裂缝中，以改善土体的物理力学性能，这样既可以止水，又可以在工作面周围形成一个承载壳—地层自承拱，同时小导管又可起到超前锚杆的作用，从而达到增加土体的自稳时间，提高开挖土体自稳能力，限制地层松弛变形的目的。注浆钢管的外端通常支于开挖面后方的格栅钢架上，组成共同的预支护系统。该隧道采用的小导管规格为 $\phi = 42\text{ mm}$ ， $L = 3.5\text{ m}$ ，其环向间距40 cm，纵向每2榀钢架打一环，施工外插角 $10^\circ \sim 15^\circ$ ，小导管搭接长度1 m，采用水泥水玻璃双液浆，水泥浆水灰比(重量比)1:1，水玻璃掺量为水泥重量的5%，注浆压力一般为0.5~1.0 MPa。小导管安装如图1所示。

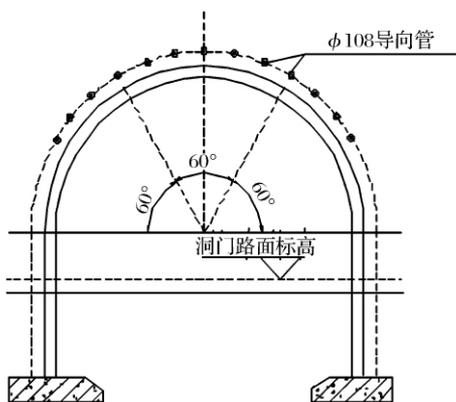


图1 小导管安装

(2) 钢拱架支撑施工 隧道围岩软弱主要因为新黄土具有湿陷性，难以自稳，必须立拱加强支护。钢架按设计尺寸先在洞外下料分节焊接制作，保证每节的弧度与尺寸均符合要求，每节两端均焊连接板，节与节之间通过连接板用高强度螺栓连接牢靠，洞外加工后试拼检查。钢架按设计要求在开挖后及时架立，钢架的脚板设在稳固的地层上，或加垫牢固的垫块。架立时要使钢架在平面上垂直于隧道中线，注意纵坡坡率，保证钢架的倾斜度使其有利于承受荷载。拱脚开挖超深时，加设混凝土垫块。钢架架设时要尽量靠近围岩，超挖较大时，拱背垫填混凝土垫块，以便抵住围岩，控制其变形发展。拱架立好后，打设锁紧锚杆，每个钢架单元不少于2根，同时用渣土将拱脚埋深20~30 cm。两排钢架间用 $\phi 22$ 钢筋拉杆纵向连接牢固，环向间距1 m，以便形成整体受力结构。

3 有限元数值模拟计算

3.1 建立 ANSYS 模型

根据地质资料和设计资料确定模型参数和模型尺寸，严格按照施工图建模，洞径取5.58 m，两侧计算边界为4倍的隧道跨度，计算区域横向50 m，竖向30 m。隧道围岩按均质弹塑性材料考虑。土体初始应力场仅考虑其自重应力，采用Druck-Prager屈服准则。初期支护结构，仅考虑锚杆和一次模筑混凝土衬砌，通过提高材料的物性参数和单元的几何常数模拟超前小导管和钢拱架的作用^[4,5]。模型计算参数见表1。

表1 模型计算基本参数

材料参数		数值
围岩弹性模量	非加固区	20 MPa
	加固区	25 MPa
围岩泊松比	非加固区	0.3
	加固区	0.28
围岩内聚力	非加固区	25 kPa
	加固区	28 kPa
围岩重度	非加固区	16.6 kN/m ³
	加固区	20 kN/m ³
初期支护弹性模量		32 000 MPa
初期支护泊松比		0.2
初期支护内聚力		—
初期支护重度		25 kN/m ³

3.2 有限元模型

隧道开挖的三维数值模拟分析中用壳单元

(SHELL63)模拟支护结构,用 SOLID45 单元模拟围岩.土体的开挖采用给这部分单元赋予“死属性”

进行模拟,而支护结构的施作采用给这部分单元赋予“生属性”进行模拟^[6-9],有限元模型如图 2 所示.

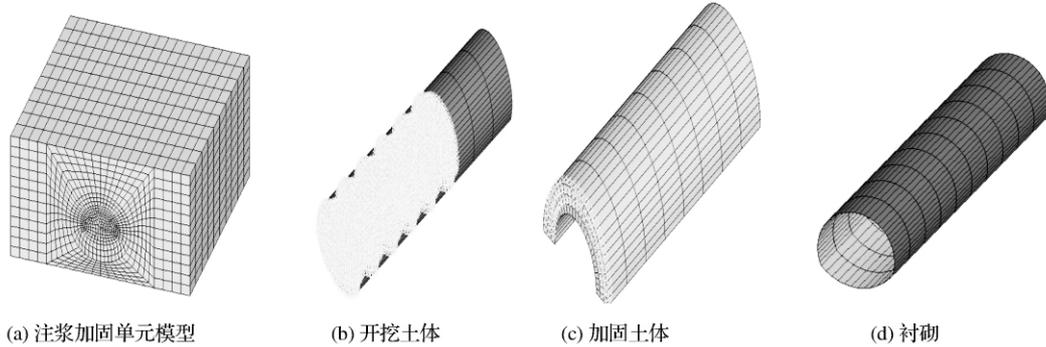


图 2 有限元模型

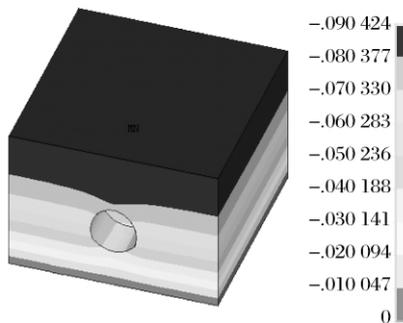
3.3 ANSYS 计算结果与分析

(1) 整体计算结果及分析 ① 围岩位移,如图 3 所示.

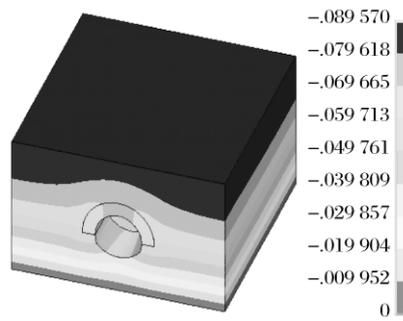
按照施工步骤,对开挖过程计算分析得到开挖引起围岩扰动后的位移场.由图 3 对比分析可知,隧道开挖过程中,隧道周围的围岩总的移动趋势是,拱顶下沉、两侧边墙张开、而仰拱向上移动,同时围岩在拱顶部分形成一个“V”形槽.从图 3 中看出,拱顶围岩塌落的高度大概在一倍的洞径左右,两侧边界位移在距洞边 5 m 左右趋于水平,说明隧道的开挖对两侧边界的影响范围大概一倍的洞径.小导管注浆超前支护后,隧道围岩拱顶下沉,两侧边墙张开,

围岩在加固土体圈顶处微微鼓起,延伸至拱肩处,说明加固土体有效地限制了洞顶的下沉,对围岩位移的限制范围主要集中在拱顶至拱肩段,对边墙的影响比较小.

总之,在隧道开挖过程中,拱顶处的围岩主要在自重作用下发生趋向临空面的位移,而拱腰处围岩不仅受重力作用还受到侧向压力的作用,拱底处主要受侧向压力作用有水平移动趋势,受约束后产生向上的位移.因此超前支护加固洞周围岩可以有效地延缓和限制拱顶围岩的变形.由时间历程分析围岩位移变化可知,开挖至衬砌的时间越短,拱顶、拱腰及拱底最终位移越小.



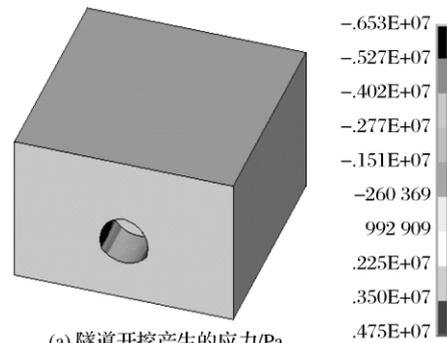
(a) 隧道开挖位移/m



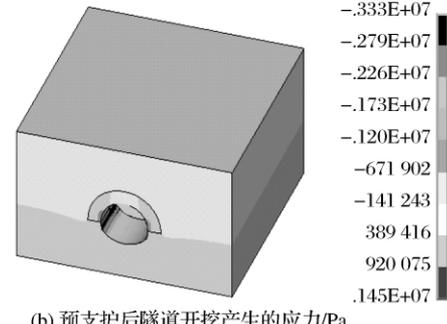
(b) 超前支护后隧道开挖位移/m

图 3 预支护前后围岩位移场

② 围岩预支护前后应力如图 4 所示.



(a) 隧道开挖产生的应力/Pa



(b) 预支护后隧道开挖产生的应力/Pa

图 4 预支护前后围岩应力场

从施工步骤中的应力场计算结果可以看出,随着隧道的开挖修建,整个地层大部分区域都是受压的,只是在隧道附近很小的区域范围内出现拉应力。

围岩应力基本对称分布,左右拱脚出现高应力区,有应力集中现象。

③ 隧道开挖后衬砌的应力、位移如图 5 所示。

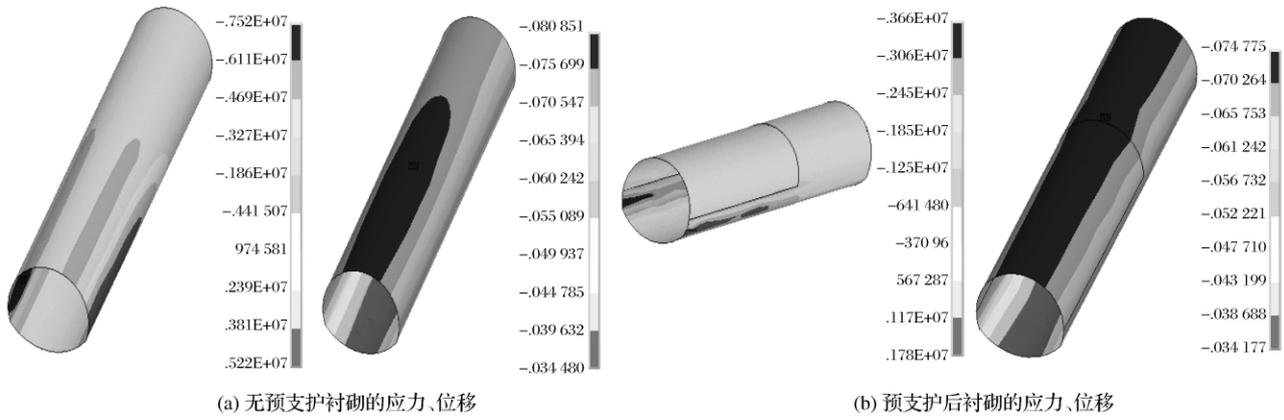


图 5 预支护前后衬砌的应力、位移

由图 5 看出隧道开挖、衬砌施作后,混凝土衬砌开始受力,在衬砌拱肩、拱脚处产生应力集中现象,其外表面产生拉应力,而在其内表面对应位置出现压应力集中。在有预支护后,衬砌在拱脚处应力集中明显,同样外侧受拉内侧受压,而拱肩处的应力集中现象消失,这主要是由于超前加固改善了拱上部的受力情况。在纵向上,随着开挖和衬砌施作的推进,

应力集中区也沿纵向延伸。从图 5 中可以看出,随着开挖支护进行,拱顶处的位移缓慢增长,而拱底处的位移则有减小的趋势。

(2) 特殊观测点计算结果及分析 选取拱顶、拱脚处关键点,对比分析其在开挖过程中纵向上位移变化,见图 6、图 7。

由图 6、图 7 可以看出,全断面开挖时,衬砌收

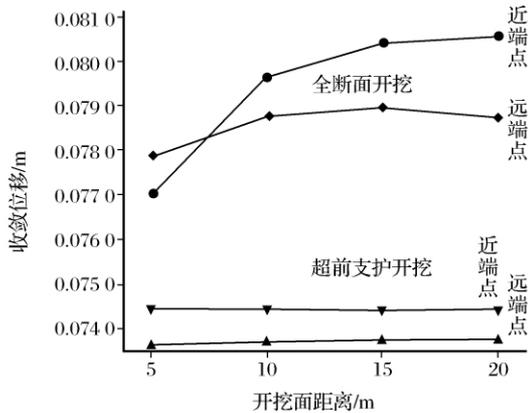


图 6 预支护前后衬砌拱顶变形发展曲线

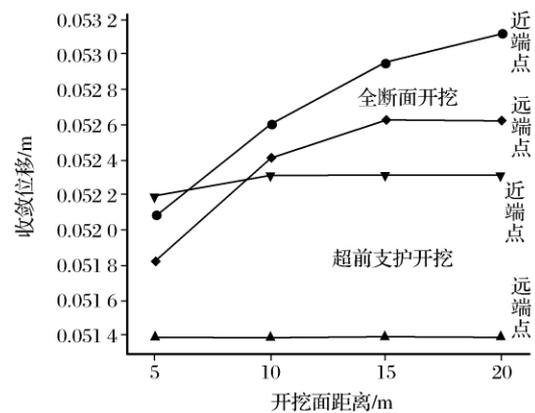


图 7 预支护前后衬砌拱脚变形发展曲线

敛变形随着围岩开挖逐渐增长,距开挖面 20 m 时逐渐趋于稳定,且距开挖面近端点变形发展快于远端点,变形值也大于远端点;当有超前支护后,隧道开挖时,衬砌收敛变形在开挖面通过后基本不再增长,距开挖面 10 m 就稳定了。同样近端点的变形值小于远端点的变形值。超前支护对于限制拱上部围岩的变形的作用明显。

4 结论

针对古浪隧道 V 级围岩的特点和施工经验教

训,对比数值模拟结果,分析围岩和衬砌支护结构的受力变形,得出以下结论:

(1) 对于相同围岩条件的黄土隧道,通过小导管注浆超前支护对围岩进行预加固可以提高开挖面周围围岩的整体形和强度,有效改善围岩和衬砌的受力变形情况;

(2) 对 V 级黄土围岩地段宜采用注浆小导管取代注浆锚杆,提高土体抗剪强度和稳定性。在施工中应狠抓超前支护施工质量;

(3) 在开挖过程中拱顶和拱脚处受力最大,变

形也最大,应予以加强,并在施工中加强监控测量。围岩收敛较小时可考虑用对拉锚杆取代临时横撑,以便于加快施工,提高工效。

参考文献:

- [1] 赵占厂,谢永利,杨晓华,等.黄土公路隧道衬砌受力特性测试研究[J].中国公路学报,2004,16(1):66-69.
- [2] 陈建勋,欧阳院平,王明年.公路隧道复合式衬砌结构数值计算及分析[J].中国公路学报,2006,21(2):74-79.
- [3] 徐林生.大断面高速公路隧道复合式衬砌结构受力监测分析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(3):24-29.
- [4] 夏永旭,王文正,胡庆安.公路双连拱隧道施工过程中中隔墙的变形及稳定性[J].中国公路学报,2007,20(5):51-58.
- [5] 王建秀,朱合华,唐易群.高速公路隧道跟踪监测及承载状况诊断[J].土木工程学报,2005,38(3):110-114.
- [6] 李围.隧道及地下工程 ANSYS 实例分析[M].北京:中国水利水电出版社,2007.
- [7] 吉小明,张选兵,白世伟.2002 深埋暗挖隧道开挖过程的模拟研究[J].岩土力学,2007,23(6):829-831.
- [8] 张延新,蔡美峰,乔兰,等.高速公路隧道开挖与支护力学行为研究[J].岩土力学与工程学报,2006,25(6):1 284-1 289.
- [9] 欧阳院平,王明年.某大断面黄土隧道施工方法的三维数值模拟[J].四川建筑,2006,26(6):64-71.

作者简介:

李正安(1982-),男,甘肃省兰州人,2007年毕业于兰州理工大学流体学院水利水电工程专业,现任兰州理工大学电信学院教师。

· 简讯 ·

冯治库博士来我院作专题报告

Dr. Feng Zhi-ku Made Report at Gansu Academy of Sciences

2011年10月12日,甘肃省高新技术产业创业服务中心主任冯治库博士应邀来我院作了题为“中小企业创新基金项目申报及企业成长”专题辅导报告。

冯治库主任以图文并茂的方式,从企业技术能力、技术资源、竞争优势、资金投入、技术环境、技术政策、技术合作、服务平台等方面对中小企业的成长进行了深入分析,同时系统地讲解了中小企业创新基金申报事宜,主要包括:创新基金简介、创新基金支持对象及方式、项目指南、项目申请流程、项目评审指标、申报材料准备等,受到与会同志的热烈欢迎。

周剑平副院长在会上做了讲话,对技术创新、成果转化和企业发展提出了三点要求:一是要从我院实际出发,准确把握技术产品化的可能性、可靠性和可行性;二是要准确把握国家及省上关于技术产品化、中小企业发展等方面的各项政策;三是要注重组织和管理方式的创新,优化市场运行方式,不断寻找适合产品发展的新途径。要把三个方面的工作紧密结合起来,努力推进全院科技产业的发展。

院属各单位 80 余人参加了会议,报告会由产业处处长陈江浩主持。

(毛鸿艳 供稿)