

文章编号: 0451-0712(2006)06-0197-06

中图分类号: U457.2

文献标识码: B

黄土公路隧道病害分析与处治措施建议

来弘鹏, 杨晓华, 林永贵

(长安大学公路学院 西安市 710064)

摘要: 针对新庄岭黄土公路隧道地表裂缝和衬砌开裂的病害特征,探讨了病害产生机理,并运用仿真、实测等手段详细分析了病害原因。分析表明:地表裂缝导致黄土浸水,从而使土体强度降低,变形增大,扩大了围岩塑性区范围和变形压力,恶化了衬砌结构受力状况,导致了衬砌结构局部出现裂缝。此外,根据隧道病害状况,提出了采用挖槽夯土法处治地表裂缝,采用环氧树脂嵌补及凿槽嵌入钢拱架法处治衬砌开裂的建议。研究结果为分析和处治黄土公路隧道病害提供了依据。

关键词: 隧道工程; 黄土公路隧道; 病害分析; 处治措施

随着西部大开发战略的实施,黄土地区交通建设不断发展,黄土地区公路隧道不断增加。而黄土形成时代相对较晚,其物理力学性质相对较差。加之黄土地区的地形地貌、水文地质、气候等条件比较复杂,导致黄土地区隧道修筑与运营过程中病害较多。为了预防和处治黄土隧道中不同类型的病害,同时给黄土隧道的科学设计、合理选取参数、制定行之有效的施工工艺,保证黄土隧道结构的长期稳定提供必要的理论基础,黄土隧道的病害与处治技术研究已成当务之急。本文通过对位于甘肃省新庄岭黄土公路隧道的病害调查和理论分析,探讨了黄土公路隧道病害类型与机理,并给出了处治措施建议,供同行参考。

1 工程概况

新庄岭隧道位于榆中县境内,分上下行线。上行线桩号K60+800~K62+255,长1 455 m;下行线桩号K60+818~K62+240,长1 422 m。隧道地处黄土山梁,地表被厚层黄土所覆盖,地层岩性单一,工程地质水文条件简单。根据勘探资料,隧道位置分布的地层岩性从上至下可分为两层,上层为第四系上更新统新黄土(Q₃^{su}),浅黄色,土质较均匀、疏松、大孔隙,垂直节理发育,层厚4.6~40 m,山顶较厚,隧道进出口及中间沟底较薄;下层为第四系中更新统老黄土(Q₂^{u-pl}),与上伏黄土呈不整合接触,灰黄、褐黄、红褐色,土质较均匀,结构较致密,局部较疏松。山顶为水浇地,隧道洞身土体含水量较大,结构稳定

基金项目:国家西部交通建设科技项目(2001 318 000 21)

收稿日期:2005-11-16

的防爆型轴流式抽风机,且只留工作面附近的联络横通道,外围其余联络横通道全封闭,从而利用平导通风将正洞开挖面稀释后的瓦斯等有害气体抽出。

通科设计院、中铁隧道局等处等单位有关领导、技术人员的支持和帮助,在此一并致谢!

3 结语

通渝隧道煤层瓦斯段的施工过程中,由于采取了上述安全、有效的施工技术方法,故未发生任何煤层瓦斯突出和伤亡事故,成功施工的实践表明,上述施工技术方法是可行的,对类似工程施工也有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] JTJ 042-94,公路隧道施工技术规范[S].
- [2] 铁路瓦斯隧道技术规范[S].
- [3] 刘洪伟, 罗占夫. 瓦斯隧道施工中的射流通风技术[J]. 世界隧道,2003,(3).
- [4] 徐建国. 隧洞施工中防治煤与瓦斯突出[J]. 岩土工程界,2001,4(5).
- [5] 罗校光. 云台山隧道瓦斯隧道施工设备配置方案探讨[J]. 岩土工程界,2003,6(7).

研究工作过程中,得到了重庆市公路局、重庆交

性较差。

隧道断面轮廓设计采用单心圆方法,一次模筑混凝土衬砌和二次模筑混凝土衬砌都为C25混凝土,一次衬砌拱顶厚45 cm,在起拱线处厚65 cm,二次衬砌厚为35 cm。仰拱采用C20混凝土,厚度45 cm,仰拱与路面填充层采用15号片石混凝土,格栅拱纵向间距为2 m。

2 病害特征

2.1 地表裂缝

(1)隧道于1999年11月8日开始正式施工,开挖采用先拱后墙法。2000年3月,开挖到300 m左右时,山体表面沿隧道走向分别在左右两侧出现裂缝。随着隧道掘进施工,山体裂缝也相应发展。直到隧道贯通后,山体裂缝也贯通。地表裂缝最宽处达到5 cm。同时,山顶出现了许多陷穴、溶洞,见图1、图2所示。

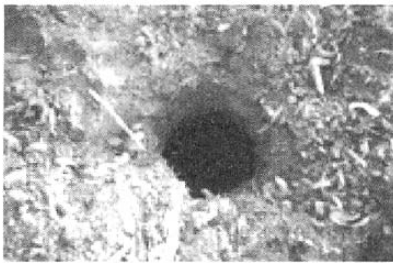


图1 陷穴、溶洞



图2 地表裂缝

(2)隧道地表裂缝基本上是从洞口拱脚处以黄土内摩擦角的角度沿仰坡延伸至仰坡上方的地表,然后以距隧道中轴线25~30 m的距离沿中轴线两侧平行于轴线随隧道掘进而向前延伸。当延伸至覆盖层较厚的地段,中轴线两侧的裂缝逐渐向一起汇合。

(3)新庄岭山顶为水浇地,隧道运营期间,由于农民浇地灌溉,地表裂缝变宽、溶洞增加。

2.2 衬砌开裂

在2002年8月18日隧道交验以前,隧道结构各部位未发现裂缝。自2003年5月份起,此时正值地表农田灌溉以及雨水较多季节,在隧道内开始发现裂缝,裂缝主要出现在拱顶、墙部。超声波探伤检测结果表明,二衬裂缝深度超过25 cm的有18处,小于25 cm的有9处,且深度均大于10 cm。裂缝统计结果见图3、图4所示。

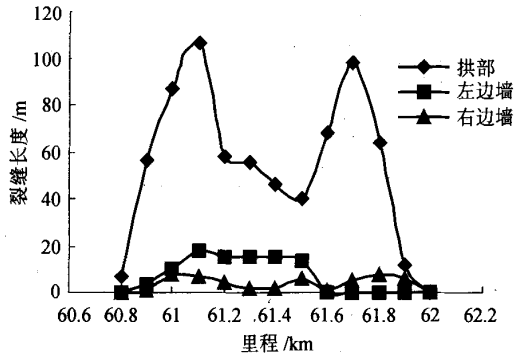


图3 上行线洞内裂缝长度(每100 m累计)

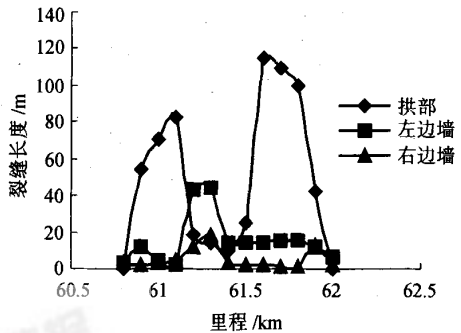


图4 下行线洞内裂缝长度(每100 m累计)

3 病害原因分析

3.1 机理分析

(1)地表裂缝。

由于垂直节理发育且侧向围压较小,因此黄土地区隧道围岩在变形(尤其是拱顶下沉)、应力调整过程中,按太沙基理论产生破裂面,破裂面长期发展并达到地表,在地表产生裂缝,其特征是沿洞轴线近对称分布。

由于地表裂缝的形成,促进了地表水的入渗。运营期间,季节性降水、农业灌溉用水极易沿这些裂缝下渗,黄土产生次生变形破坏,地表裂缝进一步恶化。

(2)衬砌开裂。

由于裂缝的存在,使农民在引水灌溉农田时,水

从地表裂缝流入地下,加之当时为雨水较多的季节,雨水也不断地灌入地表裂缝,浸湿隧道周围土体,恶化隧道结构的受力与变形形态。致使隧道拱顶局部沿纵向出现裂缝。

3.2 仿真分析

从理论上进一步分析新庄岭隧道的地表裂缝恶化及衬砌开裂原因,采用商业软件对典型断面进行了仿真计算。

(1)几何模型。

在有限元计算中,边界约束条件对计算结果影响较大。因此,为尽量减少二维有限元模型中边界约束条件对计算结果产生的不利影响。计算模型的边界范围按照以下原则进行了确定,即有限元计算模型所取的地层范围是:水平方向隧道两边的宽度均以35 m为限,垂直方向隧道下的距离为35 m,而隧道上方按实际埋深取值。

(2)本构模型。

有限元数值计算结果精度,主要取决于本构模型的合理性和计算参数的准确性。为考虑土体的非线性选用 Drucker-Prager 模型进行弹塑性分析,Drucker-Prager 模型使用 DP 屈服准则,是对 Mohr-Coulomb 准则的近似,以此修正 Von Mises 屈服准则,即在 Von Mises 表达式中包含一个附加项。文中对一次衬砌和二次衬砌采用弹性体分析。土体与衬砌间的接触作用通过选用软件中的接触单元来实现,而两次衬砌之间也采用接触单元来模拟二者之间由于加设防水层只传递压应力而不传递摩擦力的特性。

(3)单元网格。

一次衬砌和二次衬砌用二维平面应变单元进行模拟;围岩也用二维平面应变单元进行模拟。网格采用精度较高的手动控制划分。

(4)计算工况说明。

新庄岭隧道地表裂缝恶化及衬砌开裂是由于隧道施工完成后,季节性降水、农业灌溉用水入渗(即黄土浸水)造成的。计算中采用三种工况对这一过程进行了模拟,第一种为采用隧道施工时的参数来模拟隧道及周围土体刚施工完的受力变形性状;第二种为隧道施工完成以后,通过改变土体参数来模拟土体浸水但还未饱和时,隧道及周围土体的受力变形性状;第三种为隧道施工完成以后,采用土体饱和参数来模拟土体浸水饱和时,隧道及周围土体的受力变形性状。

(5)计算参数选取。

土体计算参数是参照文献[1]和文献[2]选取,计算参数如表1。一次衬砌为考虑格栅拱架作用,采用等效刚度的原理将混凝土的参数进行了调整,具体为:弹性模量 $E=30$ GPa,泊松比 $\mu=0.2$ 。二次衬砌弹性模量 $E=28$ GPa,泊松比 $\mu=0.2$ 。

表1 黄土计算参数

项目	弹性模量 MPa	泊松比	容重 kN/m ³	粘聚力C kPa	内摩擦角 (°)
工况一	120	0.33	18	150	23
工况二	60	0.33	18	54	22.8
工况三	20	0.33	18	18	22

(6)计算成果分析。

①围岩塑性区分析。

由图5~图7的塑性区分布图可知,工况一仅在边墙外侧及仰拱靠近边墙的底部出现小部分塑性区;工况二不仅使工况一原有塑性区范围增大,而且拱腰处出现了类似猫耳朵的塑性区;工况三则在前两种工况原有塑性区显著增大的同时,还在拱顶处出现了大范围的塑性区。这说明随着土体浸水量的增加,由于黄土的水敏性,即天然低湿度下明显高强度和低压缩性的黄土,一旦浸水会发生强度大幅度降低和变形突增的特性。致使土体强度明显降低,围岩塑性区显著扩大。尤其是工况三,隧道拱顶上方大范围塑性区的形成,使围岩出现了松动塌落,降低了围岩的自承能力,致使土体中原来由围岩承担的地层压力,转嫁到衬砌结构上,严重恶化了衬砌结构受力性状。这一计算结果正好验证了新庄岭隧道衬砌开裂的现象。

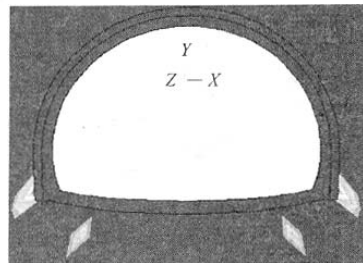


图5 工况一围岩塑性区

②土体位移分析。

为分析黄土浸水对土体位移的影响,列出了工况二、工况三隧道拱顶上方由于土体浸水而产生的工后竖向增量位移及三种工况隧道水平洞径方向的水平位移,见图8、图9。

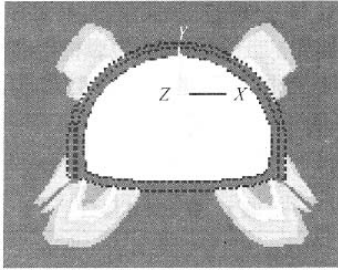


图 6 工况二围岩塑性区

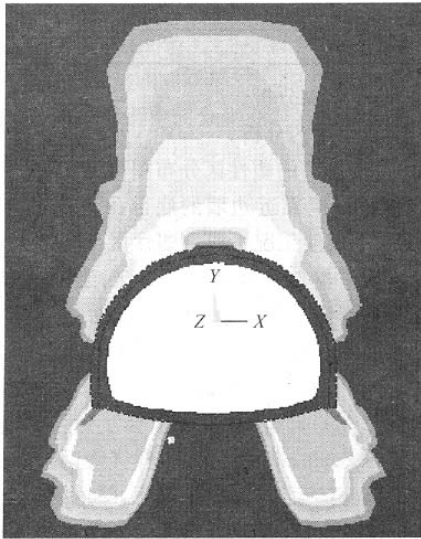


图 7 工况三围岩塑性区

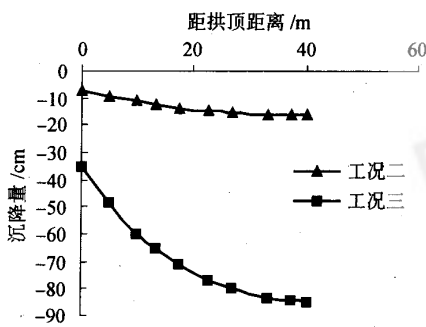


图 8 拱顶上方土体竖向位移

由图 8 可知,浸水导致拱上土体呈整体下沉趋势。随着土体含水量的增加隧道拱顶上方土体竖向位移明显增大,这也进一步解释了隧道地表变形恶化的现象。

不同工况下沿隧道水平洞径方向各点水平位移曲线如图 9 所示, U_x 表示各点的水平位移(以向洞内位移为正)。不同工况下,各点 U_x 随位置不同的变

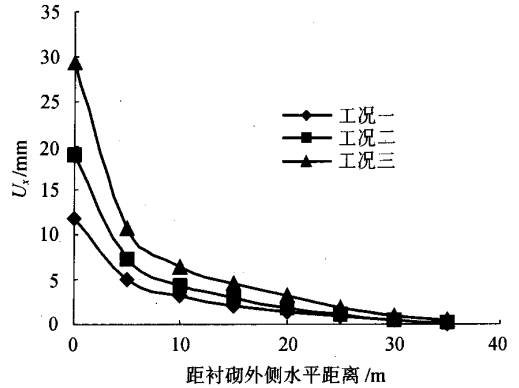


图 9 水平洞径方向土体水平位移

化大体一致,在衬砌外侧水平距离 10 m 范围内水平位移变化明显,即随着距衬砌结构距离的增大,土体水平向洞内的位移明显减小。10 m 范围以外虽然土体水平向洞内的位移随着距衬砌结构距离的增大仍在逐渐减小但减小幅度明显变小,最后土体水平向洞内的位移趋于 0。比较不同工况下对应点的土体水平位移发现,随着土体含水量的增加,隧道衬砌外侧水平距离 10 m 范围内水平位移明显增大,土体与衬砌接触点位移增加最大,工况一该处位移为 11.9 mm,工况二此处位移为 18.9 mm,工况三该处位移增为 29.3 mm。

综合图 8 和图 9 可得出,随着土体浸水量的增加,土体的强度降低,变形增大,而土体要完成这部分增大的位移,势必要对衬砌产生挤压,形成变压力。随着围岩变形的进一步发展,衬砌所受形变压力逐渐增大,衬砌所承担的支持力逐渐增大。这也是新庄岭隧道衬砌开裂的原因之一。

③衬砌结构拱顶应力分析。

三种工况下隧道衬砌结构拱顶内外侧最大主应力计算结果见表 2。

表 2 隧道衬砌结构内外侧最大主应力 MPa

工 况	拱 顶		边 墙	
	内 侧	外 侧	内 侧	外 侧
工况一	0.9	-1.8	-1.6	1.02
工况二	1.8	-5.2	-4.6	1.9
工况三	3.5	-12.7	-11.8	3.75

由表 2 可知,随着土体含水量的增加,衬砌结构内外侧最大主应力明显增加,由该结果可知,工况三衬砌结构内侧最大主应力值已经超过了混凝土的极限强度,所以衬砌结构开裂。

3.3 实测分析^[1]

新庄岭隧道现场测试内容包括:拱圈围岩压力、边墙围岩压力、仰拱围岩压力、二衬和一衬接触压力、一衬边墙底部压力和二衬边墙底部压力、二衬混凝土应变和格栅拱钢筋轴力。这里仅列出拱圈、边墙、仰拱围岩压力、二衬和一衬接触压力、一衬边墙底部压力和二衬边墙底部压力进行分析。测试压力盒布置见图10、测试曲线见图11和图12所示。

实测结果表明,出现拱部围岩压力、二衬压力突然增大现象时,正值地表农田灌溉以及雨水较多季节,隧道周围土体有水浸入。上面的计算结果及分析基本解释了这一变化现象。

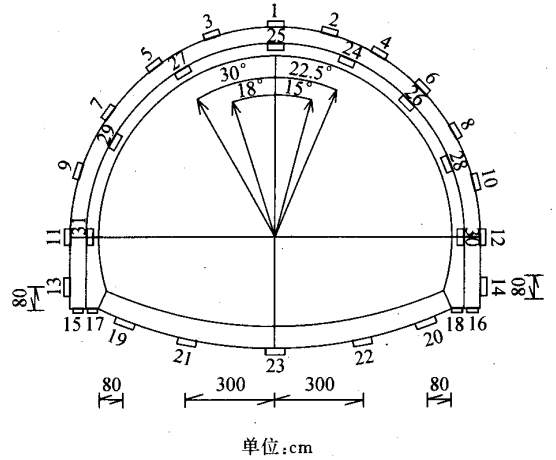


图10 压力盒布置

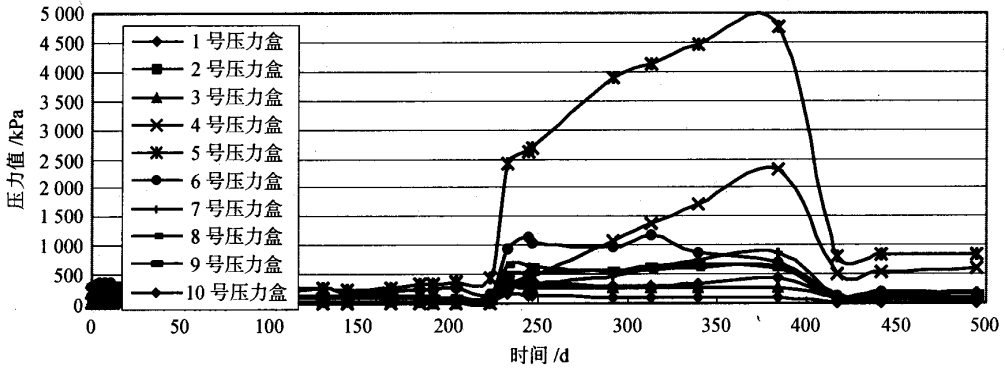


图11 拱部围岩压力时间变化曲线

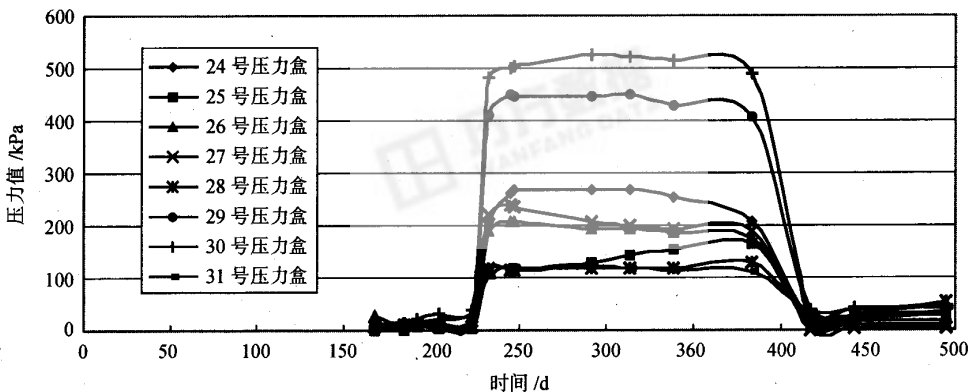


图12 二衬压力时间变化曲线

4 建议处治措施

4.1 地表裂缝

处治地表变形时,首先应处理地表已有的裂缝、陷穴、溶洞,同时应注意完善防排水系统。具体措施如下。

洞顶地表裂缝及陷穴、溶洞立即抓紧时间处理,防止地表水(农灌水、雨水)灌入对隧道造成危害。地表裂缝处理可沿裂缝走向开挖深1.0 m、宽0.6 m的沟槽,然后用素土夯实回填密实至地表,并修筑土垄高出地面。

4.2 衬砌开裂

衬砌开裂是在围岩压力作用下,衬砌因变形而发生的一种破坏。衬砌开裂病害处治应从两方面进行:一方面应提高围岩自身的力学性能,增强自承能力,减小围岩压力;另一方面,增加支护体的刚度和强度。由于新庄岭隧道衬砌开裂是运营期间发生的,所以实施增强围岩自承能力方案比较困难,这里建议增加支护体的刚度和强度。具体措施如下。

(1)衬砌裂缝的处治。

衬砌裂缝 $<5\text{ mm}$ 时,采用环氧树脂嵌补。

(2)嵌补钢拱架加固。

衬砌裂缝 $\geq 5\text{ mm}$ 时,二次衬砌凿槽嵌入全封闭I16工字钢架,凿槽尺寸为 $20\text{ cm}\times 25\text{ cm}$,型钢架间距为1榀/m,并用膨胀水泥嵌补,使钢架与衬砌形成整体。

5 结语

通过仿真和实测结果分析得出黄土浸水导致土

体强度降低,变形增大,从而增大了围岩塑性区范围和变形压力,恶化了衬砌结构受力状况,导致了衬砌结构局部出现裂缝。

针对该隧道的病害特征,提出了整治措施。

本文旨在抛砖引玉,以引起隧道设计和工程技术人员对这一问题的重视。

参考文献:

- [1] 赵占厂.黄土公路隧道结构工程性状研究[D].长安大学博士学位论文,2004.
- [2] 党进谦,李靖.非饱和黄土的结构强度与抗剪强度[J].水利学报,2001,(7).
- [3] 刘祖典.黄土力学与工程[M].陕西科技出版社,1996.
- [4] 谢定义.试论我国黄土力学研究中的若干新趋向[J].岩土工程学报,2001,23(1).
- [5] 赵占厂,谢水利,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,2004,17(1).

Disease Analysis for Highway Tunnel in Loess and Treatment Countermeasures

LAI Hong-peng, YANG Xiao-hua, LIN Yong-gui

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: On the basis of the disease evolution of Xinzhuangling Highway Tunnel in loess, the disease reasons are analyzed through numerical simulation and field observation. The results show water infiltration results in the decrease of soil strength and the increase of soil deformation. Water infiltration results in the increase of rock plastic area and deformation press. Water infiltration results in the deterioration of mechanical characteristics on lining and the crevices of the lining. Besides, considering the actual disease of the tunnel, the earth's surface splits should be maintained by excavating loess and tamping, the lining splits should be maintained by resin and steel lattice girder implanting. The results provide theory for treating these diseases of highway tunnel in loess.

Key words: tunnel engineering; highway tunnel in loess; disease analysis; treatment countermeasure