

Factors of Collapse Process in Loess Tunnel Construction

Zuo Lian* Li Heqiu

Shaanxi Communications Construction Group Co., Ltd., Xi'an

Abstract: tunnel belongs to underground engineering, which is a typical geological engineering. The geological conditions are uncertain, especially the collapse accident of loess surrounding rock tunnel is common. The construction of loess tunnel is very difficult, the surrounding rock has almost no self-stability ability, and it is easy to cause collapse in the construction. In this paper, the process of loess tunnel collapse and its objective influencing factors are briefly discussed, which can be used as a reference for the prevention of loess tunnel collapse.

Key words: loess tunnel; collapse process; influencing factors

Received: 2019-09-18; Accepted: 2019-10-05; Published: 2019-12-04

黄土隧道施工中坍塌过程控制因素

左廉* 李贺秋

陕西省交通建设集团公司, 西安

邮箱: zuolian4904699@163.com

摘要: 隧道属于地下工程,是典型的地质工程,地质条件存在不确定性,尤其是黄土围岩隧道塌方事故屡见不鲜。黄土隧道施工难度大,围岩几乎无自稳能力,施工中极易造成坍塌。就黄土隧道塌方的过程及其客观影响因素作了简要的论述,可为相关黄土隧道预防塌方作出参考。

关键词: 黄土隧道;坍塌过程;影响因素

收稿日期:2019-09-18;录用日期:2019-10-05;发表日期:2019-12-04

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



土质类隧道或洞室开挖以后,由于围岩的 C 、 φ 值较低,周边一定范围内很快发生松弛变形。随着这些变形的逐渐扩展,使围岩的整体强度降低,同时土压增加,进而发生局部的塑性破坏,在围岩(土质体)内部出现空洞,局部发生坍塌,这就是塌方 [1]。

黄土坍塌有时是瞬间产生,有时是缓慢发展的[2]。总体上可分为三个阶段:

第一阶段隧道初期支护变形、开裂,在某一侧坍塌,然后波及拱顶和另一侧。

第二阶段初期支护和围岩局部失稳,坍塌也进一步扩大,拱顶塌落,另一侧也坍塌,形成弯隆状塌落顶。

第三阶段形成拱部坍塌,地层较浅时产生冒顶。一般坍塌冒顶多是因为二次坍塌,且都离不开水的综合效应。受连续降雨雨水渗透的影响,围岩自重增大,同时砂质黄土含砂率高,雨水渗透快,围岩承载力下降,稳定性变差。

1 初期支护的变形规律

黄土隧道初期支护的变形量与黄土性质（如新老黄土、砂质粘质黄土）、洞室跨度，尤其是土体的含水量有着密切的关系。新黄土变形量大，老黄土变形量小；砂质黄土变形量大，粘质黄土变形量小；双线隧道变形量大，单线隧道变形量小；土体含水量大时变形量大，土体含水量小时变形量小。变形的主要表现形式为初期支护的整体下沉 [3] [4] [5]。黄土隧道变形发展的规律性很强，施工监控量测资料表明：初期支护的变形发展一般分为 3 个阶段。第一阶段：上导坑开挖后 1 ~ 3, d 变形（下沉）小，拱部仅轻微下沉拱脚轻微内移，变形量一般为 1 ~ 3 cm。第二阶段：迅速发展阶段，该阶段从下半断面落底挖边墙马口开始，洞室变形发展迅速，变形量往往达到 3（无水）~ 20 cm（有水）。第三阶段：变形趋于稳定阶段，该阶段从仰拱初期支护封闭成环，仰拱模筑混凝土施工完成后开始，至二次拱墙模筑衬砌施工完成止。施工量测表明，该阶段变形（沉降）趋于稳定。

隧道开挖后总的变形量值和迅速变形阶段结束的时间，完全受控于仰拱封闭的时间，仰拱早封闭则总变形量小，仰拱晚封闭则总变形量大。黄土隧道初期支护变形量与仰拱施作时间的关系如图 1 所示。

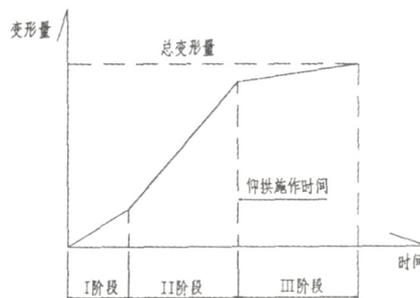


图 1 黄土隧道变形特征

在黄土体中开挖地下洞室，改变了土体中原来的应力分布状态，尤其是因开挖形成了临空面，造成了土体发生变形和位移的自由空间。如果洞室周边的围岩的强度不足以承受作用在它上面的荷载，它就会向洞室内发生变形和位移，以致失稳，向洞内塌落或滑落，造成坍塌。影响坍塌的主要因素有：围岩岩性，

地下水, 隧道浅埋、偏压, 古地貌综合效应, 施工方面, 及冲沟陷穴等地质环境。

2 洞口浅埋偏压

在隧道洞口浅埋及偏压地段, 受地表水影响大, 尤其是雨季, 开挖后自稳时间很短, 受开挖扰动后, 极易坍塌冒顶; 在埋深较大地段, 含水量适中, 自稳情况略好一些, 但是开挖后, 在地下水作用下, 多沿开挖临空面渗水, 也经常沿裂隙面发生坍塌掉块现象, 对施工危害很大。

洞口段往往形成黄土高边坡, 在干燥时强度较高, 具有较好的自稳性; 黄土工程性质特殊, 保持原始含水量时结构稳定, 增加含水量时结构不稳定, 随降雨入渗量增加, 强度降低, 边坡土体含水量逐渐增大, 其塑性破坏域不断扩大, 变形破坏过程为坡体蠕滑-后缘拉裂-变形扩展-剪出口形成-坡体滑塌。另外, 洞口浅埋段长期干燥失水发生收缩, 风化剥落, 造成裂纹、剥落掉块; 开挖减荷及边坡重力使节理张开或产生新的裂缝, 造成节理坍塌; 雨水从坡上下来直接冲刷或进入鸟、鼠洞、根孔等空洞, 不断扩大造成坍塌, 或入洞浸泡洞壁造成崩塌、滑塌。

隧道洞口段多位于岩性变化、土质疏松、强度较低的黄土坡面(坡腰或坡角); 埋深变化大, 一般埋深较浅, 地表变化大, 围岩的初始应力状态复杂; 隧道上覆土层以新黄土为主, 层厚差别大, 力学性质较差, 崩积层、坡积层往往掩盖了古地貌特征; 地下水分布无规律, 这些因素的不利组合影响效应更为显著, 若工程措施不当(比如没有超前支护、开挖方法扰动太大等)发生地质灾害的可能性很大。

3 地下水的综合效应

施工过程中遇到地下水流动、渗漏、涌水时, 黄土围岩强度显著降低, 若工程施工措施不当甚至不采取措施, 围岩很快会发生剪切破坏。

黄土隧道的含水量大小是直接影响围岩稳定, 开挖安全、初期支护、二次衬砌变形量的重要因素。根据既有黄延高速公路隧道的施工经验, 将黄土含水量分为三个等级, 针对不同黄土含水量采用不同的支护参数, 见表1。

表 1 不同黄土含水量对应支护参数

序号	黄土含水量 (%)	特征	支护参数
1	≤ 17	天然含水量	围岩稳定性好, 按普通黄土隧道设计
2	17 ~ 26	土质变软, 施工时仰拱可能积水	围岩较稳定, 仰拱开挖后喷砼封闭 (5 ~ 10 cm)
3	26 ~ 32	水从钻孔中流出, 用手掌接触开挖面, 手掌沾水	围岩稳定性差, 按有水黄土设计, 仰拱紧跟, 及时封闭, 支护加强。必要时仰拱采用钢花管压浆加固

预留变形量应根据围岩含水量确定, 含水量较大的黄土隧道变形量应在含水量小的黄土隧道变形量基础上适当增加, 但若允许预留变形量过大, 可能变形尚未达到设计值, 隧道已经发生了坍塌。

4 黄土垂直节理

黄土隧道垂直节理特别发育, 是导致隧道拱顶坍塌的关键因素, “在施工中要特别注意观察垂直节理, 判断、评价其对隧道工程的影响, 必要时应采取工程措施, 防止坍塌事故的发生。”

5 地表冲沟陷穴的影响

黄土地区一大特点是地表冲沟、陷穴发育, 地表冲沟形成地形浅埋、偏压以及陷穴发育导致地表水下渗, 从而降低围岩物理力学指标, 恶化隧道结构的受力条件。应详细收集地表冲沟、陷穴资料及线路关系, 发现后应对冲沟填土反压、陷穴应采取回填夯实、改变地表水经流条件等工程措施, 避免地表水下渗危及隧道工程 [6]。同时隧道结构予以加强。特别雨季施工应予以重视。

6 古地貌综合效应

隧道围岩可能夹有古河床、狭槽区、暗沟(穴)等古地貌, 或者夹有砂层时, 围岩应力复杂, 若工程措施不当甚至不采取措施, 也发生剪切破坏 [7]。如新贾渠沟隧道、辛店隧道 [8]、新宝塔山隧道, 施工中发现隧道拱部土石分界面附近, 有一层明显的砂层, 施工到该段时, 发现拱部坍塌不断, 经摸索实践,

采用超前小导管预注浆、短台阶法及时跟进的方法，防止砂层坍塌。

7 结论

黄土隧道塌方的原因多种多样，但客观的影响因素是决定性的，只有将黄土隧道坍塌的客观的因素搞清楚，才能做好相应的预防措施，因此，预防隧道塌方的根本措施是掌握隧道塌方过程规律，将事故终止在过程中。并加强工程地质及水文地质工作，包括运用先进的科技手段对围岩稳定性进行探测、预报、分析等工作，综合隧道现场的地形地貌为设计提供依据及指导工程施工。

参考文献

- [1] 尚占熬. 公路隧道施工常见的事故隐患 [J]. 劳动保护, 2018 (7).
- [2] C. Rampino, C. Mancuso, and F. Vinale. Experimental behavior and modelling of an unsaturated compacted soil [J]. Canadian Geotechnical Journal. 2000. 37: 748-763.
- [3] 胡再强, 沈珠江, 谢定义. 非饱和黄土的结构性研究 [J]. 岩石力学与工程学报.
- [4] 胡再强. 黄土结构性模型及黄土渠道的浸水变形试验与数值分析 (博士学位论文) [D]. 西安理工大学, 2000.
- [5] 王景明. 黄土构造节理的理论及其应用 [M]. 中国水利水电出版社, 1996.
- [6] 陈宗基. 我国西北黄土的基本性质及其工程建议 [J]. 岩土工程学报, 1989, 11 (6): 9-24.
- [7] 赵占厂, 谢永利, 杨晓华, 等. 黄土公路隧道围岩压力测试分析 [J]. 现代隧道技术, 2003, 40 (2): 58-61.
- [8] 李文华. 辛店隧道临近既有线施工方案优化与安全技术控制 [J]. 铁道建筑技术, 2011 (1): 113-115.