

浅埋大跨连拱隧道施工中变形的监测与控制措施

Deformation monitoring and control measures of shallow large-span dual-linked arch tunnel

刘招伟^{1,2}, 何满潮¹, 肖红渠²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中铁隧道集团有限公司, 河南 洛阳 471009)

摘要: 详细介绍了京珠高速公路某双连拱隧道采用三导洞超前法施工过程中变形的现场监测结果与分析, 提出了抑制变形的工程措施, 对后续工程施工具有指导意义。

关键词: 浅埋大跨; 现场监测; 变形; 工程措施

中图分类号: TU 45 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000- 4548(2003) 03- 0339- 04

作者简介: 刘招伟(1962-), 男, 江西吉安人, 教授级高级工程师, 现任中铁隧道集团科研所所长, 中国地质大学在读博士生, 主要从事隧道及地下工程的科研和管理工作。

LIU Zhao-wei^{1,2}, HE Man-chao¹, XIAO Hong-qu²

(1. China Geology University, Beijing 100083, China; 2. China Railway Tunnel Group, Luoyang 471009, China)

Abstract: This paper introduces in detail the monitored deformation and its analysis in a dual-linked arch tunnel located in Jing-Zhu expressway, and points out the engineering measures to repress the deformation. The conclusions is instructive for the future engineering construction.

Key words: shallow large-span; in field monitoring; deformation; engineering measures

0 引言

京珠高速公路某双连拱隧道全长 200 m, 隧道最大开挖宽度 32.5 m, 最大开挖高度 10.89 m(见图 1), 最大埋深 40 m, 洞口浅埋段埋深 3~10 m。全隧均处于断层挤压破碎带, 地质条件差, 属 IV、V 级围岩。主要为泥质砂岩夹页岩, 岩石风化不均, 常出现“夹层风化”现象, 厚度不一。进口处及右侧露出部分灰岩, 岩体呈灰黑色, 砌体结构。其余地段均为全~ 强风化泥质砂岩夹页岩, 浅灰黄色, 岩体风化呈半岩半土状, 风化裂隙十分发育(围岩力学参数见表 1)。隧道从两座山丘间的垭口处通过, 一侧山势较高, 另一侧山势较低, 形成明显的自然偏压(地质情况见图 2)。隧道采用三导洞超前开挖, 施工工序繁多, 施工过程中各工序结构内力转换直接影响隧道的稳定。为此, 对隧道变形进

指导施工, 并针对变形情况提出了相应的工程措施, 确保了快速、优质、安全施工。

表 1 围岩力学参数

Table 1 Mechanical parameters of surrounding rock					
围岩级别	E /(10^3 MPa)	C /MPa	γ /($kN \cdot m^{-3}$)	φ /($^\circ$)	ν
IV 级	1.5	0.04	19.4	31	0.35
V 级	4.0	0.03	18.3	21	0.3

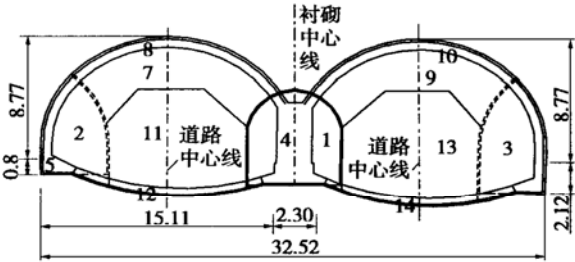


图 1 结构断面及开挖顺序示意图

Fig. 1 Cross section and excavation sequence

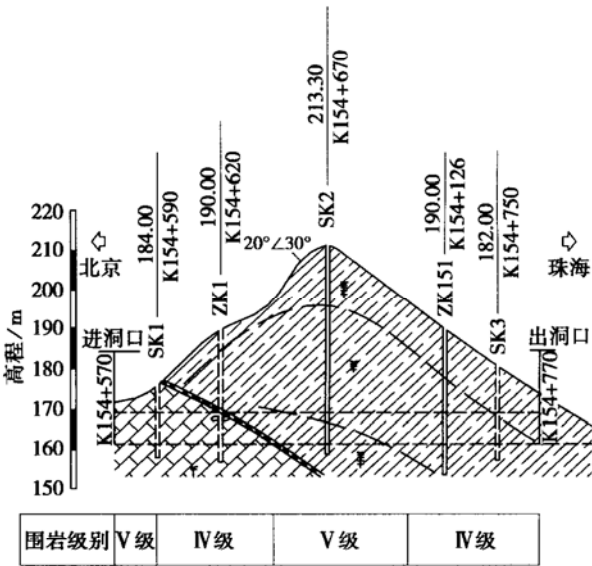


图 2 隧道地质纵断面图

Fig. 2 Longitudinal geological profile of tunnel

行了全过程的现场监测, 并及时反馈到设计施工中去,

1 变形监测分析

本隧道进行信息化施工, 及时反馈施工信息。主要进行的监测项目如下: ①洞口段地表下沉; ②洞内拱顶下沉监测; ③洞内水平收敛监测。

下沉监测使用配以 FS 型测微器的 PSSZ2 自动安平水准仪及钢钢尺及钢挂尺进行, 收敛监测采用 SD-1A 型数显式坑道收敛计进行。监测数据依据计算机绘制成曲线, 进行分析整理。

1.1 洞内变形监测分析

(1) 超前导洞变形监测分析

在导洞施工中, 进行了结构拱顶与水平收敛的监测, 沿导洞纵向每 10 m 布置一个断面, 每断面测点布置如图 3。

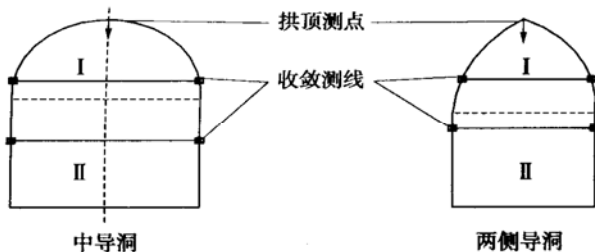


图 3 导洞测点布置示意图

Fig. 3 Layout of monitoring points in pilot tunnel

各导洞拱顶下沉测点的纵向分布及处于相近位置的 3 个导洞拱顶下沉测点的时态曲线如图 4, 5。对 3 个导洞的变形监测结果进行统计, 详见表 2。

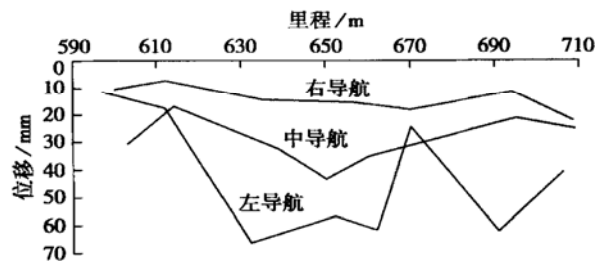


图 4 导洞拱顶下沉纵向分布

Fig. 4 Longitudinal curves of crown settlement in pilot tunnel

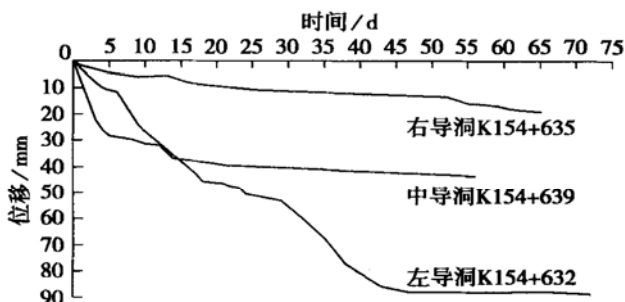


图 5 导洞拱顶下沉时态曲线

Fig. 5 Time-dependent curve of crown settlement in pilot tunnel

表 2 各导洞变形统计表

Table 2 Deformations of pilot tunnels

位置	拱顶下沉/mm		净空收敛/mm			
			上部		下部	
	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值
左导洞	44.97	66.22	65.04	131.77	27.18	50.13
中导洞	28.86	43.32	12.99	29.65	6.97	25.26
右导洞	14.14	50.05	29.34	64.05	7.65	12.45

根据统计结果及所绘制图形, 可看到:

a) 各个洞室变形大小的关系如下式所示: $U_{\text{左}} > U_{\text{中}} > U_{\text{右}}$ 。原因是洞室变形的大小与所处的地质条件有着很大的关系。根据现场揭示的情况来看, 从左到右各个洞室的地质状况依次变好, 这与监测结果是吻合的。

b) 各个洞室的变形中: 中导洞以拱顶下沉为主, 而侧导洞由于其较为狭长的形状以收敛为主。洞室的变形特征与断面的形状有关系。另外, 监测结果也表明, 由于在三导洞的台阶法施工中, 上台阶均未设临时仰拱, 没有及时的进行封闭, 造成上部的收敛要大于下部的收敛。

c) 从变形的纵向分布来看, 随着埋深的增加, 变形值逐渐增大, 说明隧道具有明显的浅埋特征, 埋深的增加使荷载增大。

d) 隧道支护结构的稳定时间也与地质条件有着较大的关系, 围岩越差, 稳定时间也越长。

(2) 正洞变形监测分析

在正洞开挖阶段进行了拱顶及收敛的监测, 沿隧道纵向每 10 m 一个断面, 测点布置如图 6。

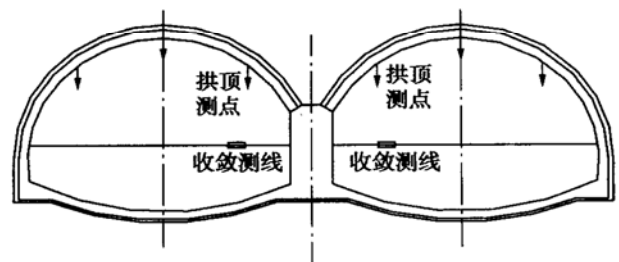


图 6 正洞测点布置图

Fig. 6 Layout of monitoring points in main tunnel

在三导洞开挖完毕后, 施作了中墙及左右边墙的二衬结构。在进行正洞开挖支护时, 主要是进行拱部的初期支护, 因此正洞的变形主要表现为拱顶下沉。从监测数据来看, 左、右隧道正洞初期支护的拱顶下沉量在 10~20 mm 左右, 而收敛值较小, 一般在 2 mm 以下, 并多数呈外扩趋势。

对左、右线正洞初期支护拱顶下沉的监测结果进行统计, 详见表 3。正洞拱顶下沉测点的纵向分布及处于相近位置的两个拱顶下沉测点的时态曲线图见图

7 和图 8。

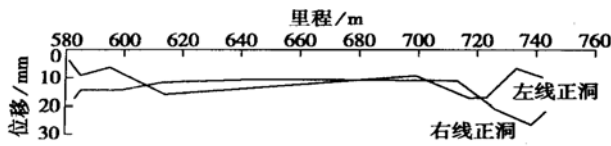


图 7 正洞初支拱顶下沉纵向分布示意图

Fig. 7 Longitudinal curves of crown settlement in main tunnel after preliminary reinforcement

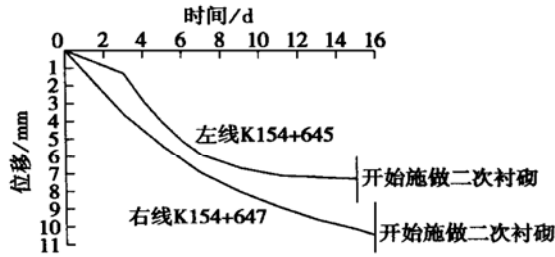


图 8 正洞初支拱顶下沉时态曲线图

Fig. 8 Time-dependent curves of crown settlement in main tunnel after preliminary reinforcement

表 3 正洞初期支护拱顶下沉统计表

Table 3 Crown settlements of main tunnel after preliminary reinforcement

位置	下沉平均值/mm	下沉最大值/mm
左线正洞	10.35	17.56
右线正洞	15.87	26.38

从表及图可以看到如下特征:

(1) 由于设计要求二次衬砌要及时跟进施做并承担施工阶段 70% 的荷载, 所以对初期支护的观测时间较短, 变形尚未收敛就已经开始施做二次衬砌, 未释放的地层荷载势必对二次衬砌产生压力, 促使二衬产生一定的变形。从现场监测结果看(本文未列出), 结构二衬的变形均在 20 mm 以下, 呈整体性下沉。

(2) 从整个隧道测到的初期支护沉降量看, 除了在两端洞口段由于右侧山势较高, 右线隧道承受较大的荷载而沉降比左线大外, 在洞身阶段左右线沉降比较一致。

1.2 地表下沉监测分析

在隧道进口端上方地表埋设了一组地表横断面, 测点布置如图 9。测点最终沉降见表 4。

表 4 测点最终沉降表

Table 4 Final settlement of monitoring points

测点	B1	B2	B3	B4	B5	B6
s/mm	-76.98	-51.49	-47.53	-82.14	-93.2	-96.45
测点	B7	B8	B9	B10	B11	
s/mm	-98.54	-105.87	-65.48	-41.86	-42.31	

注: s 为累计沉降值。

作进口端地表测点横断面各阶段沉降曲线图如图

10。

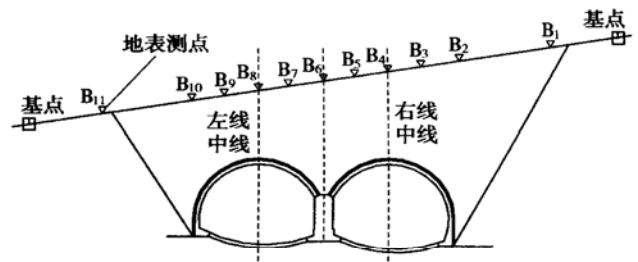


图 9 地表测点布置图

Fig. 9 Layout of monitoring points on ground surface

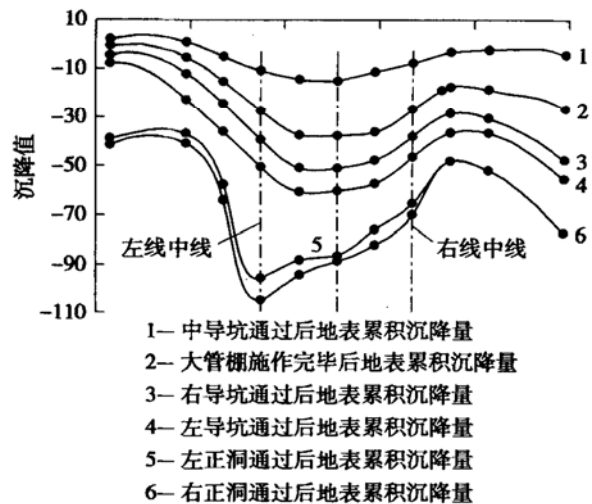


图 10 横断面各点各阶段下沉趋势图

Fig. 10 Settlement tendency of monitoring points in the cross section of tunnel during different stage

从图 10 中可看到

(1) 沉降初期, 洞口上方地表的沉降基本上呈现一漏斗状曲线, 由中心逐渐向两边扩散, 沉降主要集中于隧道正上方, 与 Peck 曲线的描述基本一致。

(2) 当中导坑通过横断面后, 地表的沉降呈现出一般的规律, 最大的沉降点位于中导坑正上方的测点, 沉降值为 14.45 mm。此时, 下方的大管棚尚未施做。

(3) 长管棚施做过程中, 这期间地表测点出现了一次较大的沉降, 沉降主要集中于左、右隧道中线之间的土体, 长管棚施做完毕后, 随着洞室的开挖, 上方地表仍发生了 40~60 mm 的沉降, 部分测点达到 80 mm。其原因主要是受到钻孔洗孔时水的影响。下层土受到水的侵蚀, 软化形成软弱面, 从而导致上层土体向下层蠕动, 形成地层沉降。

(4) 由曲线 3、4 可看到, 左、右导坑的施工对上方地表的影响基本一致, 各测点的下沉量增加了 10 mm 左右, 约占总下沉量的 12%, 左、右导坑的断面相对较小, 但由于时值雨季施工, 雨水及右导坑爆破振动的影响时使地表产生沉降的主要因素。

(5) 正洞的开挖引起地表出现第二次较大的沉降, 洞室大面积的开挖打破了原来的应力场, 表现为较大

的地表下沉。各测点下沉约 30 mm 左右, 占总下沉量的 35%。由曲线 5 可知, 沉降主要集中于左、右洞之间的土体, 其受到两侧洞室开挖的双重影响。

2 抑制过大变形的工程措施

隧道在施工过程中, 中导洞及侧洞均发生了过大变形, 引起初支结构破坏。特别是中导洞, 表现为初期喷混凝土支护表面出现较大的纵向和环向裂缝, 局部裂缝超过 3 cm, 并伴有较大的错台。施工中架设的横支撑弯曲, 钢拱架严重变形, 局部地方的工字钢被挤压成“S”型, 大量泥土沿纵、环向裂隙被挤出, 中柱顶部钢筋被压弯。通过现场监测资料的反馈, 施工中采取了以下措施, 达到了抑制过大变形的效果。

(1) 针对导坑下部开挖过程中存在较大水平应力和位移的情况, 加强了边墙初期支护及内壁临时支护。大跨连拱隧道施工一般采用导坑先行的减跨原则, 在很长一段时间是靠导坑初支结构来抵制围岩的全部荷载, 从时间效应来看, 它所单独承受荷载的时间比拱墙初期支护还要长, 况且临时支护的失稳将会增加正洞整个结构附加荷载。

(2) 右导坑的开挖对已经施作完毕的中导坑产生较大影响, 中导坑的回填必须及时, 且结构中柱的基础必须处理好。保证中柱稳定是建成连拱隧道的前提和基础。本隧道施工中将中柱和中导坑之间的空间用夯实黏土和混凝土回填, 抵制了中柱左右位移, 避免了正线隧道发生倾斜。必要时可采取灰土桩、挤密桩、树根

桩或注浆加固等措施对中柱基础进行改良处理, 提高地基承载力, 达到均衡荷载的目的。

(3) 及时施作仰拱, 封闭支护结构是改善结构受力, 抑制隧道变形的有效途径。仰拱应及时封闭是隧道施工安全的保证, 大跨隧道仰拱及时封闭更为重要。监测资料表明: 在施工完成二次衬砌到仰拱封闭前, 下沉量较大, 仰拱封闭后达到基本稳定。仰拱施工前, 隧道始终为两开口的环, 整体受力极其不利, 结构靠边墙和中柱, 承载面积小, 抗倾覆, 抗压, 抗弯均不理想, 整体受力极其不利。

(4) 控制台阶长度在 6 m 以内, 拱部二衬紧跟, 仰拱的施作必须紧跟隧道下部的开挖。

(5) 二衬在各施工阶段, 不仅是作为安全储备, 而且是极为重要的承载结构。由于开挖跨度大, 结构扁平, 开挖时产生较大的位移, 应及早施作二次衬砌, 最大限度的抑制过大的变位。

(6) 强调锚杆的作用。本隧道采用万通 WTD25 锚杆, 其形式为中空锚杆的一种, 它能够依靠注浆压力, 使锚固体与锚杆孔紧密接触, 使锚固砂浆密实, 饱满, 从而增大锚固力。注浆锚杆在施工中必须解决好排气问题, 并在浆液中加入膨胀剂, 早强剂, 以提高其功效。

参考文献:

- [1] 王效良, 等. 铁路隧道新奥法指南[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1988.
- [2] 刘招伟. 暗挖法通过浅埋密集民房区施工技术[J]. 隧道及地下工程, 1997, 18(2): 77-81.

致本刊编委及各位审稿人

为感谢审稿人的辛勤劳动, 本刊向所有审稿人均按时寄送微酬。但由于种种原因, 汇款单被退回的情况时有发生。本刊除向这些审稿人致谢、致歉外, 希望尚未收到审稿费的各位, 将您的准确地址通知本部, 以便重新补寄审稿费。并按您的要求赠阅相应刊期。

本刊编辑部