

文章编号: 0451-0712(2005)11-0225-03

中图分类号: U452.25

文献标识码: B

偏压连拱隧道合理进洞方式研究

邝宏柱¹, 何燕云²

(1. 江西省公路管理局 南昌市 330002; 2. 上海同岩土木工程科技有限公司 上海市 200092)

摘 要: 结合江西省白沙关至婺源高速公路洪家坞连拱隧道进口的施工过程,对偏压隧道进洞进行了二维有限元分析;通过模拟4种不同的进洞开挖方式,获得了偏压连拱隧道在采用不同开挖顺序施工时各阶段围岩的应力应变状态、地表沉降以及隧道支护结构中的内力变化情况;通过分析比较,优化施工方案,得到了偏压连拱隧道合理的进洞方式,为今后类似条件下连拱隧道的进洞设计提供参考。

关键词: 偏压; 连拱隧道; 中隔墙; 开挖工序; 边坡

1 工程概况

江西省白沙关至婺源高速公路的洪家坞隧道,全长748 m,是一座四车道高速公路连拱隧道。洪家坞隧道左、右线隧道进出口为Ⅰ类围岩。围岩存在具有蠕动松散结构的第四系残坡积层碎石土,平均厚度3 m,岩层强风化,以碎块、片状为主,手捏易破碎,风化节理裂隙发育,岩石多切割成碎石—碎块状,岩石软,锤击易碎散,以不规则陡倾角微张节理发育,具轻度硅化,坡度很陡,地质条件差,边坡稳定性较差。进洞口的围岩为千枚状板岩的强风化带,风化裂隙密集,属Ⅰ~Ⅱ类围岩。

隧道断面采用分片式中墙断面(曲墙),隧道单跨净宽为10.5 m,建筑限界高度为5.0 m,隧道上部岩体是一斜坡,使隧道处于严重的偏压状态,如图1所示。

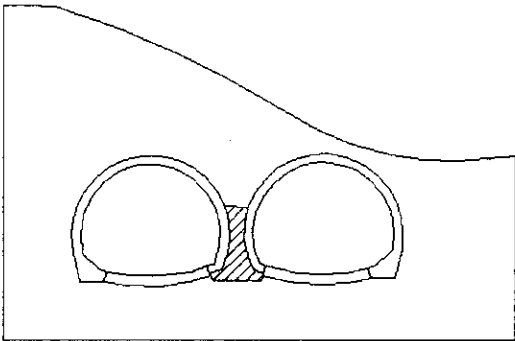


图1 洪家坞隧道进口断面

通常隧道施工工序为:中导洞开挖、支护,中隔墙浇筑;侧导洞开挖、支护、衬砌;隧道全断面或正台阶开挖、支护。对于偏压连拱隧道,合理的进洞开挖方式对减少围岩变形、地表沉降以及边坡稳定性具有重要意义。本文模拟4种不同的进洞开挖方式,并与实测资料进行比较,为偏压连拱隧道确定合理的进洞开挖方式提供理论依据。

2 计算模型与计算参数

采用平面应变理想弹塑性本构模型进行分析,屈服准则为德鲁克—普拉格屈服准则。隧道浅埋,围岩、二次衬砌均采用三角形实体单元模拟;初期支护用梁单元模拟。围岩弹性模量根据实测值应用同济曙光反演分析软件反演得出,见表1。按隧道开挖影响范围的大小,计算模型边界范围为:上边界至地表自由面;下边界至开挖洞底,距离为5倍洞高;左右边界距洞口距离分别为3倍隧道跨度。如图2所示。

表1 材料参数

材料	弹性模量	泊松比	容重 γ	凝聚力 c	摩擦角 φ	面积 A	惯性矩 I
	GPa	μ	kN/m ³	kPa	(°)	m ²	m ⁴
松散层	0.14	0.4	16		30		
围岩	0.3	0.25	23	1 000	60		
初衬	21		23			0.25	0.001 549
二衬	29.5	0.17	23	12 000	18	1 330	
中隔墙	29.5	0.17	23	12 000	18	1 330	

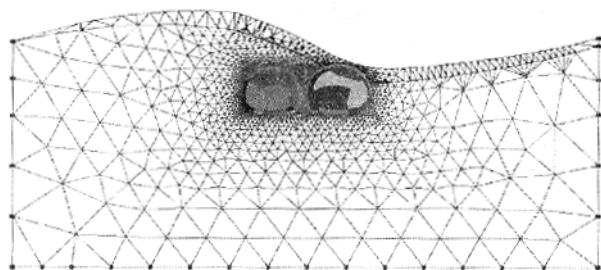


图 2 计算模型与网格划分

3 隧道施工顺序的动态数值模拟

按照隧道施工过程进行动态数值模拟,模拟分析了 4 种不同的工况,在开挖前采用施做管棚加固围岩,工况 1、工况 2 为先开挖中导洞,正洞采用上下台阶法开挖;工况 3、工况 4 为三导洞开挖;工况 1、工况 3 模拟中导洞开挖、临时支护、浇注中隔墙后先开挖隧道左洞,左洞施做初期支护后再开挖右洞;工况 2、工况 4 模拟中导洞开挖、临时支护、浇注中隔墙后先开挖隧道右洞进行初期支护,然后再开挖左洞。左(右)洞开挖后施做左(右)导洞的仰拱,左、右导洞开挖完成后,整体施做左、右洞的二次衬砌。如图 3 所示。

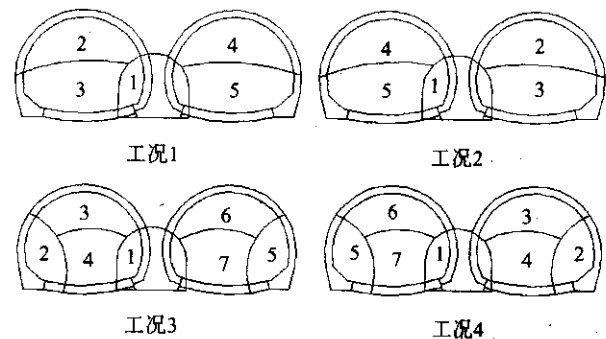
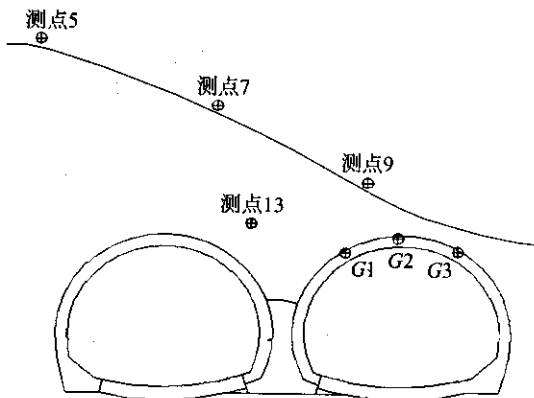


图 3 各工况开挖工序

4 计算结果与监测数据的对比

洪家坞连拱隧道采用的是工况 1 所示的施工工序,在施工过程中,对隧道洞口边坡和正洞拱顶下沉、净空收敛变形进行了全过程监测。计算参数通过反演得到,测点布置如图 4 所示。计算值与实测值见表 3,用此参数进行其他 3 个工况的计算。围岩和支护结构变形数值模拟结果与实测结果变形趋势是一致的,实测值稍稍偏大一些。可以从以下几个方面来解释实测值与模拟值之间的误差:实测点的位移为变形总位移,是一个三维的矢量值,而数值模拟是平面变形值;此外数值模拟是保证一定精度范围对实际施工的简化,其计算参数的选取与真实值存在误

差;现场的量测也会存在仪器误差和人为误差,所以数值模拟结果与实测值不可能完全吻合。



4
图 4 测点布置

表 3 数值模拟与实测位移值 mm

项目	测点 5	测点 7	测点 9	测点 13	G1	G2	G3
实测值(总位移)	-6.1	-5.0	10.4	-5.3	8.7	10.3	12.7
X 向计算值	3.72	1.18	5.64	2.53	6.84	6.26	6.62
Y 向计算值	-3.76	3.74	7.25	-4.31	4.36	7.3	9.86
位移矢量和绝对值	5.29	3.92	9.19	5.0	8.1	9.6	11.9

5 4 种工况计算结果对比分析

偏压连拱隧道的中隔墙作为支护结构的重要部分,是应力最为集中的地方,其变形与应力直接影响隧道的安全与洞口边坡的稳定。通过 4 种开挖工况的有限元计算结果,对中隔墙的应力应变、支护结构的内力和边坡的变形做一些对比分析。

5.1 中隔墙应力与位移分析

二次衬砌施做完成后,中隔墙的最大主应力、最大剪应力由小到大依次为工况 4、工况 3、工况 1、工况 2,最大主应力值见表 4。工况 1、工况 2 的最大主应力集中在右洞左下脚处,工况 3、工况 4 最大主应力集中在中隔墙中部,工况 4 与工况 2 最大主应力相差 36.5%,从中隔墙的受力来看,工况 3、工况 4 的开挖方案要优于工况 1、工况 2 的开挖方案。

在二次衬砌施做之前右洞左下脚最为薄弱,在施工时要加强支护,及时浇注仰拱。三导洞开挖法随着施工步骤的推进,应力释放比较缓和,上下台阶开挖法在施工时应力释放比较大,支护不及时很容易导致围岩变形较大,甚至失稳。从中隔墙受力来看,上下台阶开挖方案是先开挖左洞要优于先开挖右洞,三导洞开挖法先开挖右洞优于先开挖左洞。

4 种工况中隔墙的顶部的位移值见表 4。可以看

出X 向的位移:工况3、工况4 比工况1、工况2 小50%左右,这对中隔墙稳定是很有利的,即三导洞的开挖工序对中隔墙的变形影响要小一些。三导洞的施工方式相对上下台阶法工序较为复杂。

表 4 中隔墙主应力、顶部位移值

项目	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4
最大主应力/kPa	3 910.2	4 786.6	3 587.8	3 040.4
最大剪应力/kPa	1 664.6	2 118.6	1 650.9	1 402.2
X 向位移/mm	7.0	6.4	4.44	2.47
Y 向位移/mm	2.82	3.13	4.18	4.42

5.2 支护结构内力与边坡变形分析

对比初期支护的轴力,轴力最大位置都在左洞管棚右下端,4 种工况依次为 1 727 kPa、1 631 kPa、1 087 kPa、1 113 kPa。可以看出三导洞开挖工序要比上下台阶开挖工序结构受力小 36%左右。

对比 4 种工况边坡的变形,先开挖左洞要比先开挖右洞对边坡围岩的最终变形影响大,即工况 1 比工况 2 变形量大,工况 3 和工况 4 变形量大;不管是采用三导洞施工还是采用上下台阶施工对围岩变形都有很大的影响,以图 5 所示的工况 1 和图 6 所示的工况 3 为例说明。由位移矢量图可以看出,工况 1 的开挖方式较工况 3 的开挖方式对边坡的扰动要大,工况 1 隧道右洞右上角的变形量较大,中隔墙上方围岩的变形量也较大,工况 3 仅在隧道右洞右侧的变形量较大。对比两种施工方式,工况 3 的施工方式对边坡变形影响较小。总的说来对围岩变形的影响程度,从工况 1 到工况 4 是逐渐减弱的。

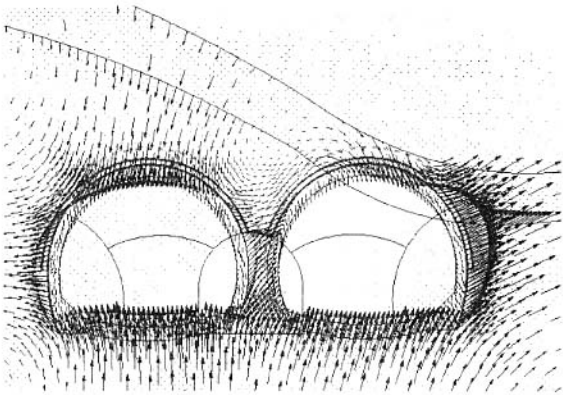


图 5 工况 1 位移矢量

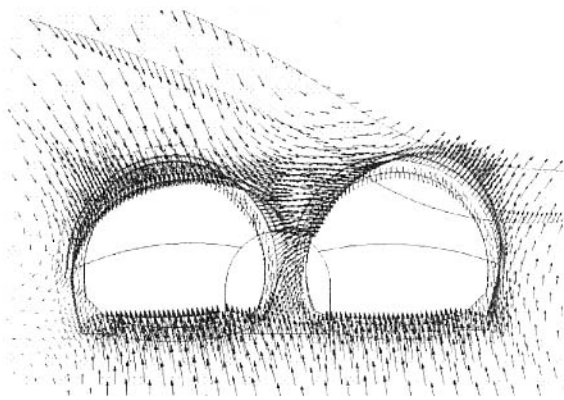


图 6 工况 3 位移矢量

6 结论

结合洪家坞连拱隧道进口,模拟了 4 种不同进洞开挖方式,对其进行了对比分析,并与实际施工工况现场量测资料进行了对比,结论如下。

(1)偏压连拱隧道采用中导洞开挖方式,结构受力最不利的位置在中隔墙和拱顶、拱腰。

(2)三导洞的施工方法和上下台阶施工方法相比,前者对结构受力和对边坡围岩变形影响要小于后者,但是施工工序相对比较复杂,因此施工应根据实际情况对多种开挖工序进行对比分析,选用既安全又经济的方案。

(3)偏压连拱隧道,先开挖浅埋段隧洞还是先开挖深埋段隧洞,根据其对围岩、边坡变形的影响,以及对中隔墙的位移、应力等,结果是各有利弊的,上下台阶开挖法先开挖深埋段较为合理,三导洞法则先开挖浅埋段较为合理。

(4)由计算结果可知,偏压浅埋的连拱隧道,处于浅埋位置的隧道的右上角其变形比较大,在施工过程中要加强监测,防止围岩变形过大导致边坡失稳或者塌方。

参考文献:

[1] 夏才初. 地下工程测试理论与监测技术[M]. 上海:同济大学出版社,1999.
[2] 孙均. 地下工程设计理论与实践[M]. 上海:上海科学技术出版社,1996.
[3] JTJ026—90,公路隧道设计规范[S].