

通透肋式拱梁隧道围岩破坏模式分析

陈修和¹, 王飞¹, 余飞²

(1 安徽省交通规划设计研究院 合肥市 230031; 2 中国科学院武汉岩土力学研究所 武汉市 430071)

摘要: 针对一种新型隧道结构型式——通透式拱梁隧道, 采用二维数值模型, 对不同岩性条件下隧道围岩的破坏模式进行了探讨, 分析结果表明: 无论是均质围岩还是非均质围岩, 围岩破坏区域由内侧拱脚向拱顶边坡扩展, 并存在与水平线呈一定角度的滑动面, 破坏模式为拱顶山坡岩体的块体滑移, 但当隧道围岩强度较高时, 上述破坏模式不明显; 深层岩体位移监测结果表明隧道围岩实际变形形态与数值计算结果基本一致。研究成果为通透式拱梁隧道加固手段和加固深度提供了依据, 对支护设计的优化具有指导意义。

关键词: 通透肋式拱梁隧道; 围岩; 破坏模式

围岩的变形破坏模式研究是开展地下工程支护结构和施工方法研究的基础, 不同的破坏模式具有不同的特征。目前, 很多学者对隧道的破坏模式进行了大量的研究, 并取得了丰富的研究成果, 一般浅埋的破坏模式分为以下几种类型: 张裂塌落、块体落石破坏、剪切破坏与复合破坏。

针对一种新的半明半暗浅埋傍山隧道结构型式——通透肋式拱梁隧道, 由于其承载模式、受力机理尚不明确, 且隧道采用“虎口”开挖的特殊方式, 使得围岩的受力更复杂, 开挖变形更大, 这些在不同程度上都加大了对围岩的扰动, 破坏了围岩原有的平衡状态。因此, 开展对该新型隧道围岩破坏模式的研究有现实意义。

1 通透肋式拱梁隧道结构型式

在传统半明半暗隧道结构型式的基础上, 结合浅埋偏压隧道的受力特点, 提出了通透肋式拱梁隧道的傍山型隧道结构型式。它的主要结构部件包括(1)拱顶锚固系统; (2)拱顶地梁; (3)肋式拱梁; (4)边墙及拱脚抗滑桩; (5)内侧拱圈; (6)仰拱。通过拱顶锚固系统加固开挖影响区域内的山坡坡体, 减小高边坡变形, 降低隧道结构物应力水平; 拱顶地梁作为隧道上部传力部件将围岩压力传递至肋梁, 并将各片肋梁连接为一个整体; 肋式拱梁为外侧的支撑结构; 边墙为下部传力部件, 将

各片肋梁和抗滑桩连接为一个整体, 并将肋梁受力传递至抗滑桩。内侧拱圈、仰拱与各部件共同构成封闭的承载系统, 增强结构物的整体稳定性。典型断面见图1所示。

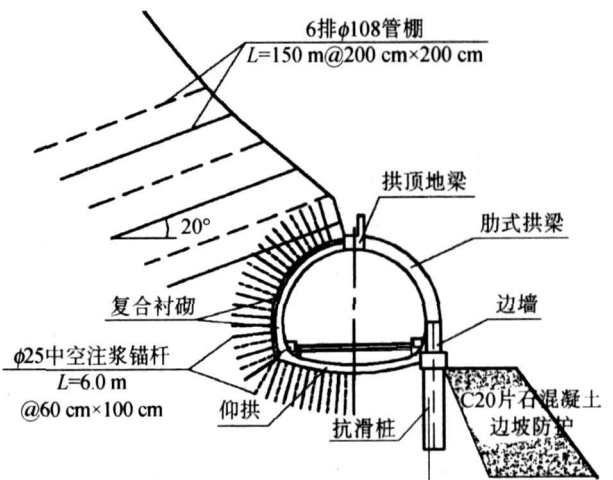


图1 通透肋式拱梁隧道典型断面

2 计算模型及参数

分析软件采用二维弹塑性软件 PHASE2 进行, 模型的上边界、下边界、右边界为山体实际边界, 左边界为隧道跨度的4倍; 约束条件为位移约束: 左边界约束横向位移, 下边界约束竖向位移, 上边界、右边界为自由边界; 为了模拟开挖后边坡的极限破坏状态, 开挖前对拱顶边坡不进行任何加固措施, 开挖

后也不进行任何支护措施。计算过程分两步进行：
 (1)建立实体模型，且不释放应力；(2)开挖洞室，释

放所有地应力且不添加支护。围岩参数按表 1 取下限值。

表 1 围岩物理力学参数的取值范围

岩石性态	弹性模量 MPa	泊松比	密度 kg/m ³	抗拉强度 MPa	抗压强度 MPa	粘聚力 MPa	内摩擦角 (°)
全风化花岗岩	0.2~0.5	0.4	2100~2400	0.1~0.2	5~10	0.04~0.07	23~29
强风化花岗岩	0.8~2.8	0.35~0.4	2300~2500	0.2~0.5	10~40	0.1~0.2	25~31
弱风化花岗岩	4.2~6.3	0.28~0.35	2500~2600	0.7~2.0	40~80	0.2~0.4	30~42
微风化花岗岩	9.0~15.0	0.22~0.28	2600~2680	0.9~3.9	90~160	0.4~1	43~50

3 围岩破坏模式分析

岩体的结构特性和强度特性是影响隧道围岩变形破坏的重要因素，通透肋式拱梁隧道属于典型的浅埋隧道，拱顶围岩的破坏主要为有限范围内的围岩塌落、块体滑移及重力式坍塌等型式，岩体强度特性在该类破坏中起着关键作用，因此，文中展开了不

同围岩岩性下破坏模式的对比分析。

3.1 拱顶均质围岩下隧道破坏模式的分析

在不同的拱顶均质围岩条件下，设计了 3 种工况对围岩的破坏模式进行了分析，各工况拱顶围岩岩性依次为全风化、强风化、弱风化，深层围岩岩性均为微风化。以工况一为例，开挖模拟见图 2 所示。

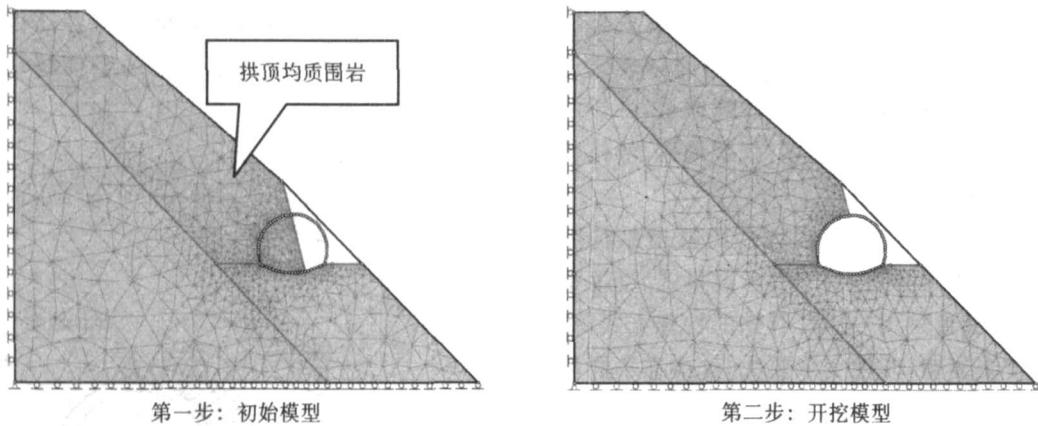


图 2 工况一模型

图 3~图 5 为 3 种不同的拱顶均质围岩条件下的边坡位移云图和屈服单元图，从图 3、图 4 中可见，对于强度较低的全风化和强风化围岩，围岩的破坏都是由内侧拱脚或接近拱脚处开始，沿着与水平线成某一角度的斜直线屈服的。从位移图中可以看出，由于隧道开挖临空，围岩发生沉降变形，从而引发边坡碎裂岩体发生向下、向坡外的剪切蠕变变形，使得拱顶处产生最大变形，拱顶一定范围内形成有明显滑移趋势的块体；从屈服单元图可以看出，围岩的破坏是由拱脚处的剪切破坏引起，逐渐发展成一个潜在的滑移面，破裂类型基本为剪切破坏，局部存在拉坏现象。综合位移云图和屈服单元图，结果表明在围岩强度较低条件下，围岩破坏模式为沿着某一斜面的块体滑移，破坏类型为剪切破坏。从图 5 可以看出，对于强度较高的弱风化围岩，围岩未出现

明显的破坏迹象。从位移图中看，由于隧道开挖临空，拱顶发生沉降变形，使得拱顶处变形较大，但未形成有明显滑移趋势的块体。在屈服单元图中无屈服单元产生。综合位移云图和屈服单元图分析结果，表明对于强度较高的岩体，即使在不加固、不支护的情况，围岩本身的自承能力能够承担由于开挖产生的应力和变形，不会因岩体内材料的破裂而形成围岩松动区域，破坏模式不再是一定范围内的块体滑移，需另作讨论。

3.2 拱顶非均质围岩下隧道破坏模式分析

为了分析在拱顶非均质围岩岩性下隧道的破坏模式，依据现场情况，选取两个典型断面，围岩岩性按实际情况设置，由表及里依次为全风化、强风化、弱风化、微风化。建立的有限元模型见图 6 所示。图 7、图 8 为 ZSK23+320 断面与 ZSK23+365 断面

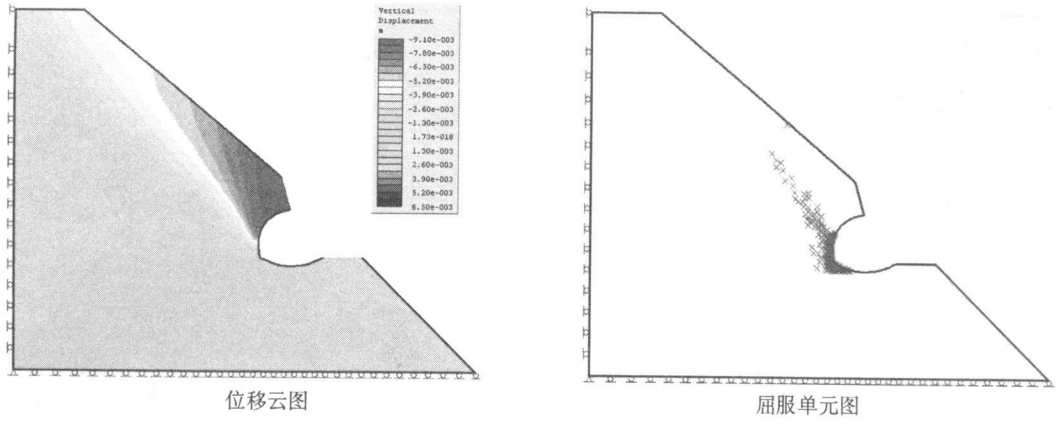


图3 工况1计算结果

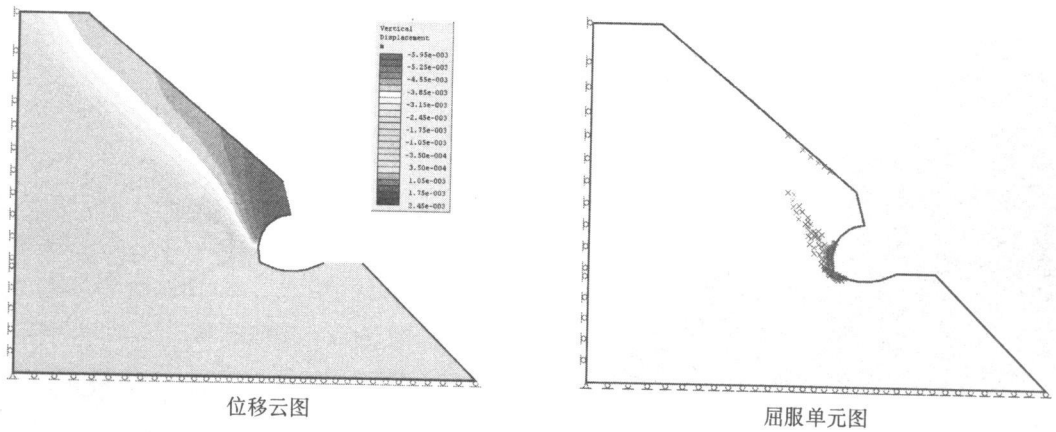


图4 工况2计算结果

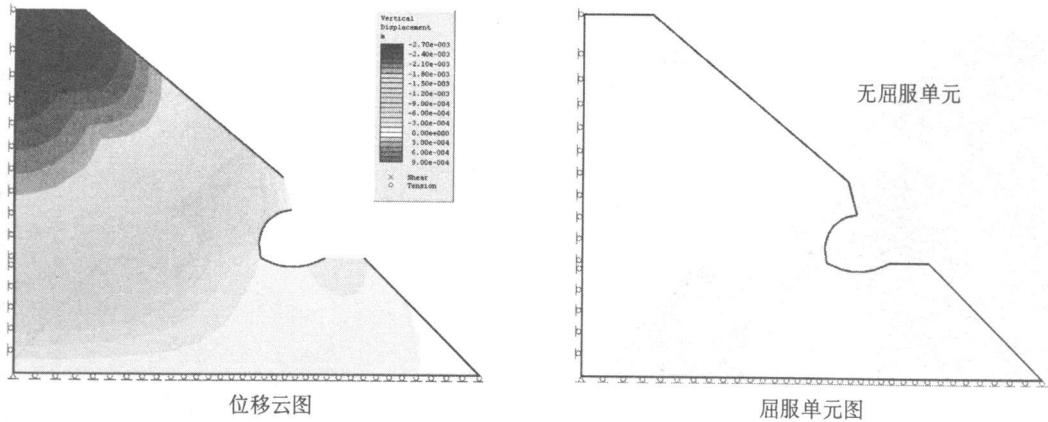


图5 工况3计算结果

的位移云图和屈服单元图,从图中可以看出,实际围岩条件下的边坡的变形破坏模式与均质围岩条件下相似,也是沿着某一斜面的块体滑移。与均质围岩条件下的破坏模式相比,非均质围岩时拱顶处的变形及屈服单元分布更集中,产生滑移变形和屈服单元的区域更明显,且破坏基本发生在表层围岩中。这主要是由于非均质围岩中表层岩体强度较低,所

以屈服破坏基本发生在该层内,而深层岩体强度较高,仅仰拱局部区域有屈服现象。拱顶非均质围岩条件下的破坏模式,说明实际围岩中隧道的破坏为表层有限范围内的块体滑移。

4 现场破坏模式论证

图9为ZSK23+320断面与ZSK23+365断面

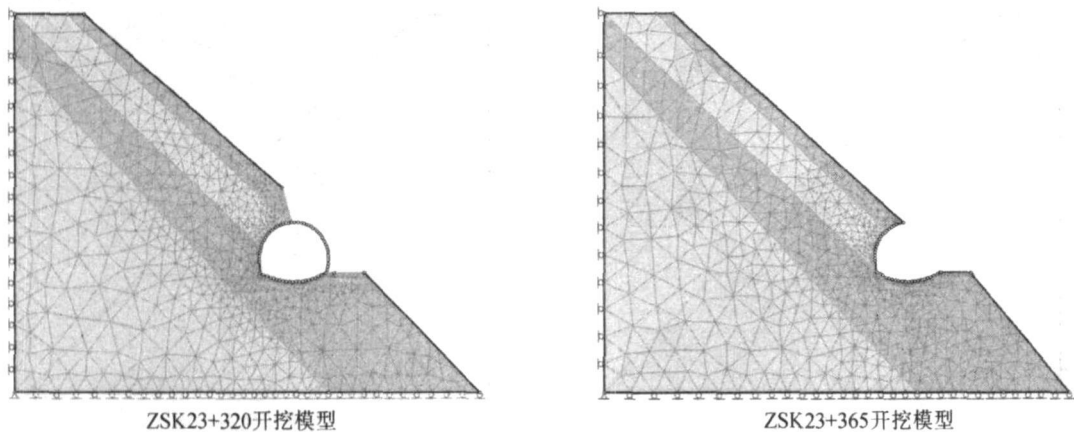


图 6 非均质围岩模型

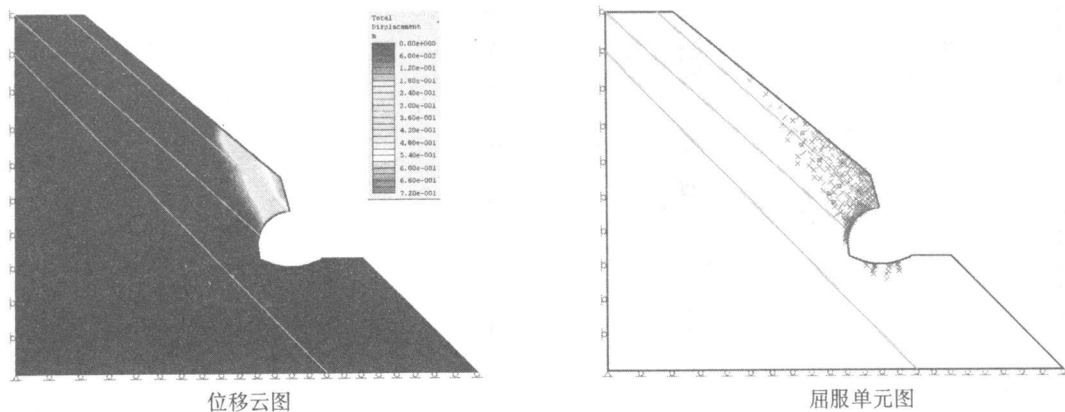


图 7 ZSK23+320 断面计算结果

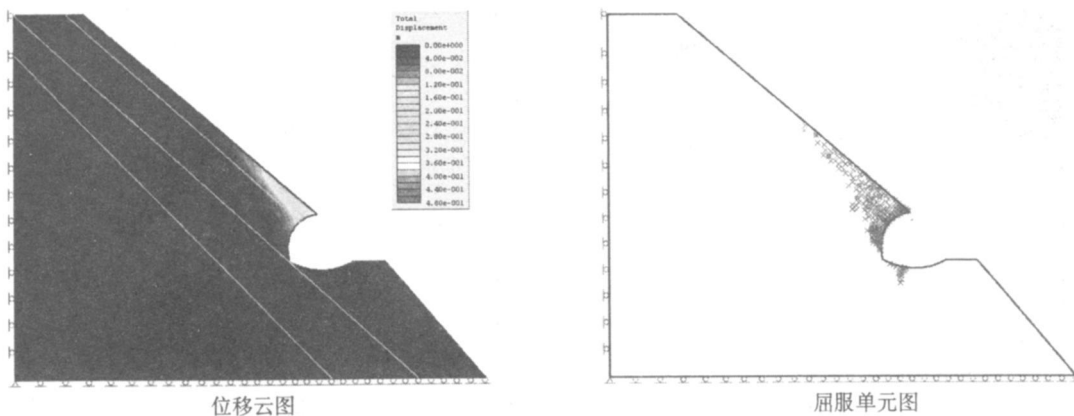


图 8 ZSK23+365 断面计算结果

的现场多点位移计监测数据,从图中可以看出,围岩变形主要发生在表层全~强风化岩体内,且变形由表及里逐渐减小,弱风化和微风化岩体内变形接近0 mm。监测数据表明,在实际情况下,围岩的变形情况与数值模拟结果相似,围岩变形主要发生在表层岩体内;从单个多点位移计监测结果来看,围岩在由表及里的变形过程中,存在着位移突减临界面,在该

面以内的围岩变形急剧减小(图中的负值是由于仪器误差引起的),这个临界面即为模拟计算结果中的破裂面。多点位移计监测的边坡变形结果表明,坡体内存在着沿某一斜面有滑动趋势的块体。

5 结论

通过均质围岩和非均质围岩条件下破坏模式的

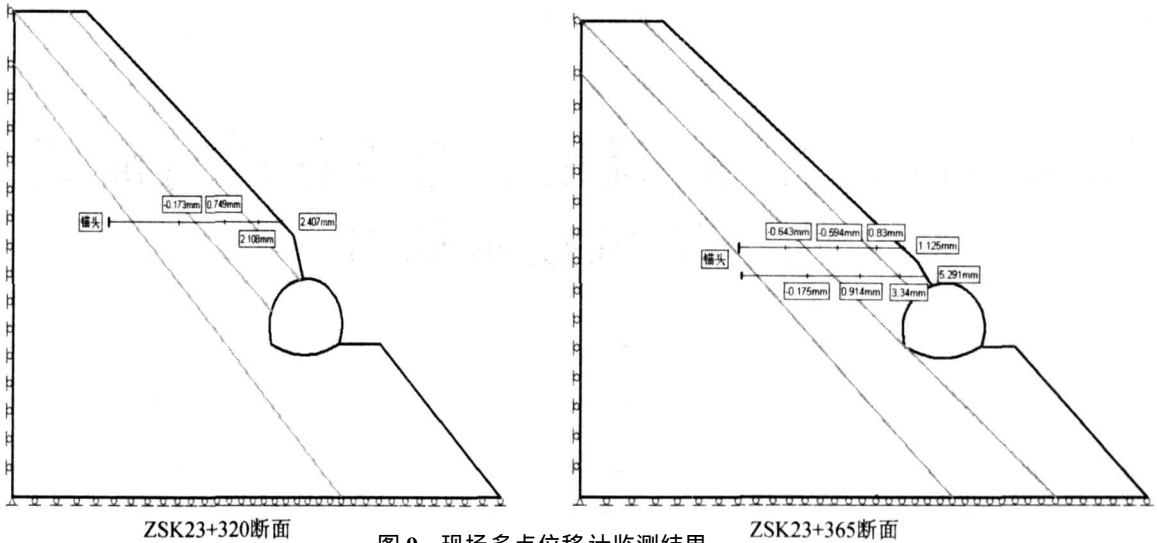


图9 现场多点位移计监测结果

分析,对通透肋式拱梁隧道围岩的变形破坏规律,初步有以下结论。

(1)无论对均质围岩还是非均质围岩,围岩的破坏都发生在表层强度较低的岩体内,沿着与水平成某一角度的斜直线剪切破坏;当表层围岩强度较高时,围岩自身承载能力高,开挖不能引起围岩的屈服破坏,破坏模式不再是表层岩体内的块体滑移。

(2)边坡深层位移监测结果,反映了隧道围岩实际变形与数值计算结果基本一致,都是发生在表层岩体内沿着某一斜面的楔块体滑移。

参考文献:

- [1] 王思敬,杨志法,刘竹华. 地下工程岩体稳定分析[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [2] 朱玮,许劲松. 破裂结构围岩破坏模式的模糊数学分析[J]. 大连理工大学学报, 1990, 30(2).
- [3] 赵洪波. 围岩破坏模式识别的支持向量机研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(2).
- [4] 高玮,杨明成,郑颖人. 隧道围岩破坏模式的进化神经网络识别[J]. 岩土力学, 2002, 23(6).
- [5] 赵兴东,段进超,唐春安,等. 不同断面形式隧道破坏模式研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 23(S2).

Analysis of Destruction Modes of Surrounding Rock of Permeable Tunnel with Ribbed Arch Beam

CHEN Xiu-he¹, WANG Fei¹, YU Fei²

(1 Anhui Communications Consulting and Design Institute, Hefei 230031, China;

2 Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: In the view of a new type tunnel with permeable ribbed arch beam, the destruction modes of the surrounding rock under different lithological character conditions by using the simplified two-dimensional numerical model are studied. The analysis results indicate that whether homogeneous rock or heterogeneous rock, the damage regions expand from medial arch foot to the vault slope, and have a sliding surface with a certain angle between the horizon. The destruction mode is the slip of the rock in the vault slope, but the destruction mode isn't obvious when the surrounding rock strength is very strong. The monitored displacement results indicate that the actual tunnel deformation patterns is consistent with the numerical results in the deep rock conditions. The research results provide the basis for the reinforcement means and the depth of the permeable ribbed arch beam tunnels, and have a guiding significance in the optimization design of tunnel support.

Key words: permeable tunnel with ribbed arch beam; surrounding rock; destruction mode