

青海省五龙沟矿区坑道钻探硐室围岩稳定性分析

刘海声^{1,2}, 高元宏¹, 刘鹏¹, 梁俭¹, 张冬冬²

(1. 青海省第二地质矿产勘查院, 青海 西宁 810028; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074)

摘要:以青海省都兰县五龙沟整装勘查矿区黑石沟矿段 48 线 HSNM48-1 钻孔为例,应用 FLAC3D 数值模拟软件模拟硐室开挖变形情况,根据模拟结果确定支护措施和监控点位置。对硐室开挖支护前后竖向位移、水平位移、总位移和塑性区的数值模拟结果进行对比分析;对监控点开挖支护前后用多点位移计测量位移的真实值和用 FLAC3D 数值模拟软件计算的模拟值分别进行对比分析。通过计算对比分析可以得到,运用数值模拟软件模拟的硐室围岩变形情况,对分析硐室的位移场、确定支护措施等具有十分重要的指导意义。

关键词:坑道钻探;硐室;围岩稳定性;位移;支护;FLAC3D

中图分类号:P633.7 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2016)04-0088-05

Analysis on Surrounding Rocks Stability of Tunnel Drilling in Wulonggou Mine of Qinghai Province/LIU Hai-sheng^{1,2}, GAO Yuan-hong¹, LIU Peng¹, LIANG Jian¹, ZHANG Dong-dong² (1. Qinghai Second Geology and Mineral Exploration Institute, Xining Qinghai 810028, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: Take borehole HSNM48-1 as an example, which was at Line 48 of Heishigou ore section of equipped exploration mining area in Dulan County of Qinghai Province, FLAC3D numerical simulation software was applied to simulate the deformation of tunnel excavation; and according to the simulation results, the support measures and monitoring points were determined. Comparative analysis was made on the numerical simulation results of vertical displacement, horizontal displacement, the total displacement and plastic zone before chamber excavation supporting, and on the real values by multi-point displacement meter before and after monitoring points excavation supporting as well as the simulation values calculated by FLAC3D simulation software respectively. By the comparative analysis on the calculation results, the deformation of chamber surrounding rocks simulated by numerical simulation software can be obtained, which is very important for the displacement field analysis and the supporting measures determination.

Key words: tunnel drilling; chamber; stability of surrounding rocks; displacement; support; FLAC3D

硐室开挖后,在卸荷回弹、应力重新分布等作用下,围岩将会产生很大的变形,如果围岩岩体不能承受重新分布的应力或支护不及时,围岩将会发生塑性变形或破坏^[1]。在硐室施工过程中,数值模拟技术对研究围岩稳定性具有明显优势,是硐室围岩稳定性分析中的重要方法之一^[2-4]。对围岩的开挖进行模拟,计算开挖后硐室的围岩位移和塑性区,这对确定支护类型、加快施工进度、保障施工安全等方面具有十分重要的意义^[5-7]。

1 工程概况

1.1 矿区位置

“青海省都兰县五龙沟整装勘查矿区”位于东昆仑中段北坡五龙沟地区,西起水闸东沟沟口,东至三窝水一带。勘查区行政区划隶属青海省海西州都

兰县宗加镇管辖。

1.2 工程地质条件

勘查区地处柴达木盆地南缘,昆仑山中段北坡,区内地形复杂,山势陡峭险要,地貌上属深度切割高山区,海拔高程在 3300~4500 m 间,相对高差一般在 300~800 m。青海省都兰县五龙沟整装勘查矿区黑石沟矿段 48 线 HSNM48-1 钻孔,高程为 3100 m,垂直埋深 900 m;岩性主要为凝灰质板岩、斜长花岗岩、硅化大理岩、黑云石英片岩、花岗斑岩等;岩体呈微新岩体,总体较完整,以块状—次块状为主,总体成洞条件较好;局部洞段受萤石沟—红旗沟韧性剪切带影响,岩体完整性差;该洞为深埋洞段,地应力较高,开挖时可能会出现片帮、剥离等岩爆现象;全洞围岩中Ⅲ类围岩约占 90%,Ⅳ类围岩约占 9%,Ⅴ类围岩约占 1%。

收稿日期:2015-12-15

基金项目:青海省高新技术研究与发展计划“青海省都兰县五龙沟整装勘查矿区坑道深孔钻进与松散易溶蚀地层取心”(编号:2014-GX-201)

作者简介:刘海声,男,汉族,1990年生,硕士,从事钻探与钻井工程工作,青海省西宁市城北区朝阳西路43号,249897642@qq.com。

1.3 硐室的物理力学性质

钻孔 HSNM48-1 的硐室净断面尺寸为 7.5 m × 6.5 m (宽 × 高), 主要揭露斜长花岗岩和凝灰质板岩。具体的开挖尺寸及岩性如图 1 所示。

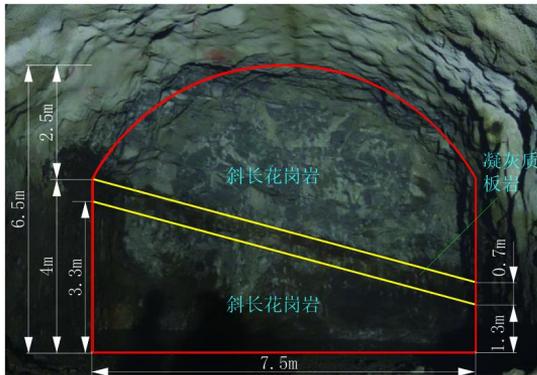


图 1 开挖断面尺寸及岩性

开挖断面岩性界定:斜长花岗岩为Ⅲ类围岩,凝灰质板岩为Ⅴ类围岩。具体岩性参数如表 1 所示。

表 1 JXF4-1 开挖断面岩性参数

围岩类别	密度/(kg·m ⁻³)	内摩擦角/(°)	粘聚力/MPa	弹性模量/GPa	泊松比	抗拉强度/MPa
Ⅲ	2600	45	1.3	14.0	0.25	2.0
Ⅴ	2200	25	0.3	1.5	0.35	0.1

2 模型的建立与计算分析

2.1 模型的建立

选取硐室各断面开挖尺寸为 6.5 m × 7.5 m × 11 m (高 × 宽 × 深), 硐室施工采用全断面一次开挖。根据圣维南原理, 隧洞开挖后的应力和应变, 仅在距硐室断面 3 ~ 5 倍隧洞开挖宽度的范围内存在影响^[8]。本文取自硐室边缘向左右及上下各 5 倍硐室直径, 即所建立的模型高 71.5 m, 宽 82.5 m, 深 11 m。本节假定所研究的岩体均为理想的弹塑性介质, 岩体地应力场的垂直向应力取上覆岩层的重力引起的应力, 计算得到 $\sigma_{zz} = -2.34 \times 10^7$ Pa, 测压系数取 1.5, $\sigma_{yy} = \sigma_{xx} = -3.51 \times 10^7$ Pa。隧洞围岩介质采用为莫尔-库伦模型 (Mohr-Coulomb Model)。FLAC3D 中建成的模型见图 2。

2.2 模型的计算分析

2.2.1 开挖不支护时硐室的应变计算

硐室开挖后, 不支护时位移和塑性区分布如图 3 所示。围岩变形总体上表现为顶拱下沉, 底板隆起, 左右边墙向内侧产生位移, 底板隆起位移大于

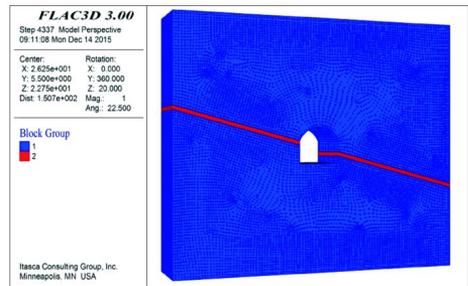
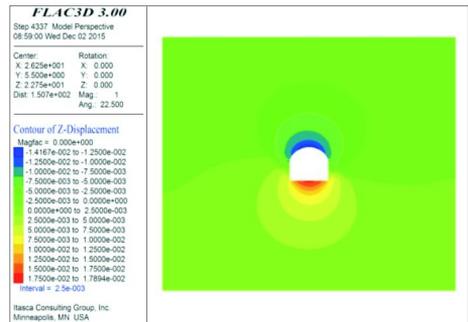
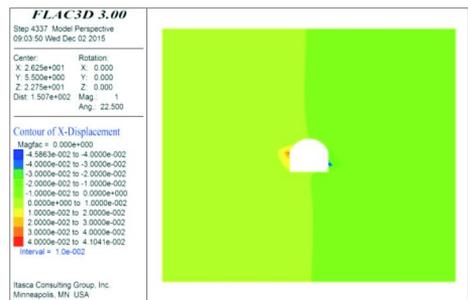


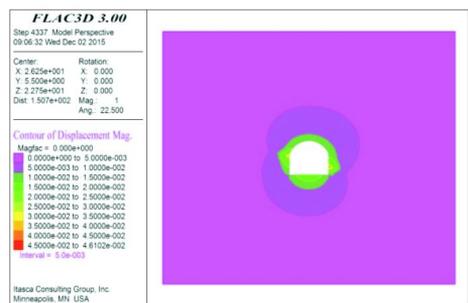
图 2 FLAC3D 中建成的模型



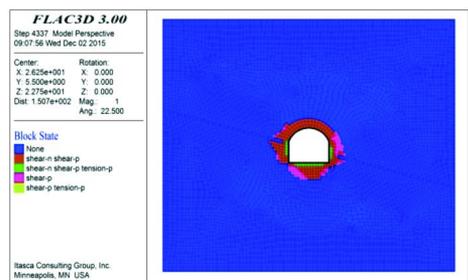
(a) 竖向位移



(b) 水平位移



(c) 总位移



(d) 塑性区

图 3 开挖不支护时位移和塑性区分布图

顶拱下沉位移。顶拱最大下沉位移为 14.17 mm;底板最大隆起位移为 17.89 mm;左边墙最大水平位移为 41.04 mm,出现在两岩性分界面处;右边墙最大水平位移为 45.86 mm,出现在两岩性分界面处。最大总位移为 46.10 mm,出现在两岩性分界面处。塑性区最大厚度为 3.85 m。

2.2.2 确定硐室支护类型

分析开挖不支护时硐室的应变计算结果,确定硐室支护类型为素喷 C30 混凝土,混凝土支护厚度为 70 mm。根据中华人民共和国国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)^[9],C30 混凝土弹性模量为 3×10^{10} Pa,泊松比为 0.2,密度为 2500 kg/m³。

开挖后分别在底板、顶拱及左右边墙喷射厚 7 cm 的 C30 混凝土。开挖支护如图 4 所示。

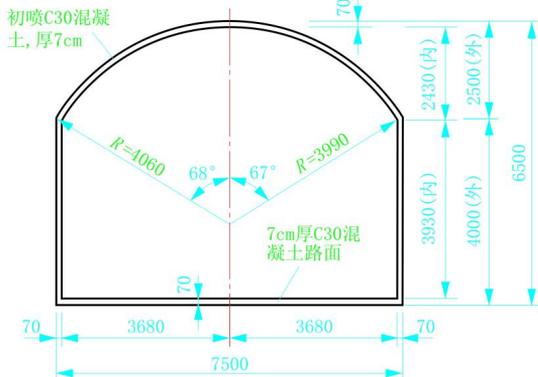


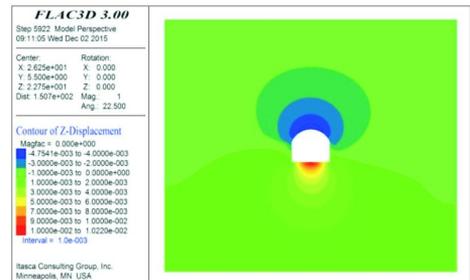
图4 开挖及支护尺寸

2.2.3 开挖支护后硐室的应力应变计算

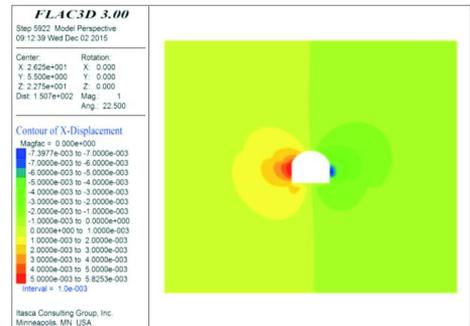
开挖支护后位移和塑性区分布如图 5 所示。影响硐室围岩稳定性的主要为顶拱和左右边墙处。支护后顶拱最大下沉位移为 4.75 mm,仅为没有支护时的 33.52%;支护后左边墙最大水平位移为 5.83 mm,仅为没有支护时的 14.21%;支护后右边墙最大水平位移为 7.40 mm,仅为没有支护时的 16.14%。最大总位移为 10.22 mm,仅为没有支护时的 22.17%。支护后塑性区减小明显,顶拱部位塑性区减小为零,左右边墙最大厚度为仅 1 m,底板处塑性区最厚,为 1.5 m,仅为没有支护时的 38.96%。

3 监控点位移测量值和模拟值对比分析

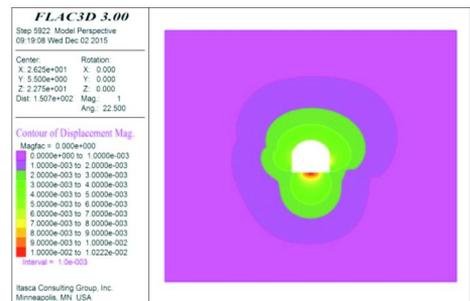
采用长沙三智电子科技有限公司生产的 SZZX - N200B 型多点位移计,观测沿钻孔轴向的位移。



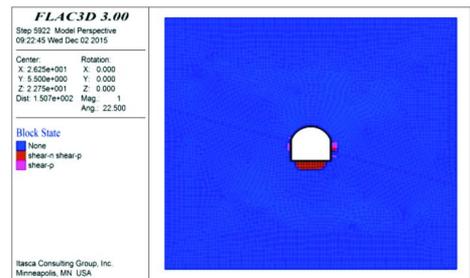
(a) 竖向位移



(b) 水平位移



(c) 总位移



(d) 塑性区

图5 开挖支护后位移和塑性区分布图

SZZX - N200B 型多点位移计量程为 200 mm,灵敏度为 0.01 mm,每隔 30 min 读一次数。可以满足测量硐室变形的要求。

顶拱处和左右边墙两岩性分界面处变形量大,对围岩稳定性影响严重,因此,我们分别在顶拱正中间位置和左边墙两岩性分界面处埋设多点位移计,入岩深度 0.5 m,测量围岩实际变形情况,并和这 2 个点的模拟位移进行对比分析。监控点布置如图 6

所示。

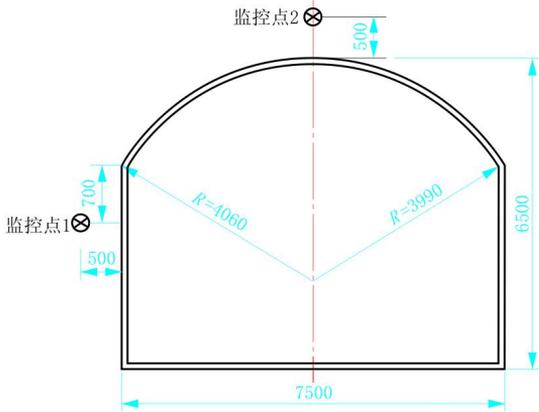


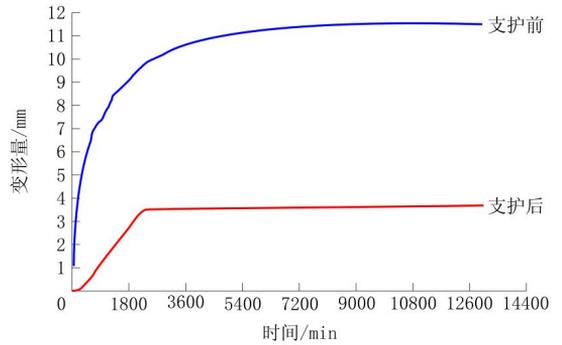
图 6 监控点布置图

3.1 监控点位移测量值分析

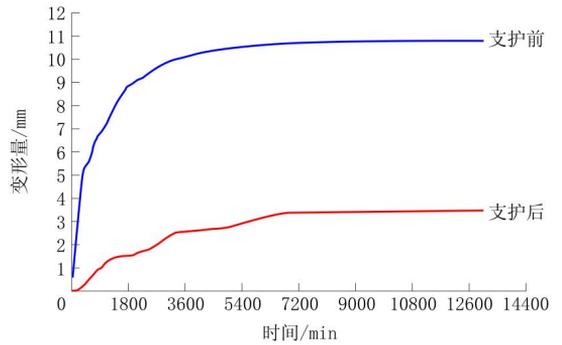
通过 SZZX - N200B 型多点位移计测得两个监控点支护前后位移对比如图 7 所示。左边墙处监控点 1 支护前后实测水平位移对比如图 7(a) 所示,未支护时在 0 ~ 1800 min 时增幅明显,在 1800 ~ 5400 min 增幅趋于平缓,超过 5400 min 后达到动态平衡,最大值约为 11.6 mm;支护后在 0 ~ 2000 min 增幅明显,之后达到动态平衡,最大值约为 3.6 mm;支护后的最大值为未支护时的 31.03%。顶拱处监控点 2 支护前后实测竖向位移对比如图 7(b) 所示,未支护时在 0 ~ 1800 min 时增幅明显,在 1800 ~ 5400 min 增幅趋于平缓,超过 5400 min 后达到动态平衡,最大值约为 10.9 mm;支护后在 0 ~ 6000 min 增幅明显,之后达到动态平衡,最大值约为 3.4 mm;支护后的最大值为未支护时的 31.19%。

3.2 监控点位移模拟值分析

通过 FLAC3D 模拟后得到两个监控点支护前后位移对比如图 8 所示。左边墙处监控点 1 支护前后实测水平位移对比如图 8(a) 所示,未支护时在 0 ~ 250 次时增幅明显,在 250 ~ 1300 次时增幅趋于平缓,超过 1300 次后达到动态平衡,最大值约为 41.5 mm;支护后在 0 ~ 750 次时增幅明显,超过 750 次后达到动态平衡,最大值约为 5.5 mm;支护后的最大值为未支护时的 13.25%。顶拱处监控点 2 支护前后实测竖向位移对比如图 8(b) 所示,未支护时在 0 ~ 750 次时增幅明显,在 750 ~ 1500 次时增幅趋于平缓,超过 1500 次后达到动态平衡,最大值约为 14.2 mm;支护后在 0 ~ 800 次增幅明显,在 800 ~ 2200 次时增幅趋于平缓,超过 2200 次后达到动态

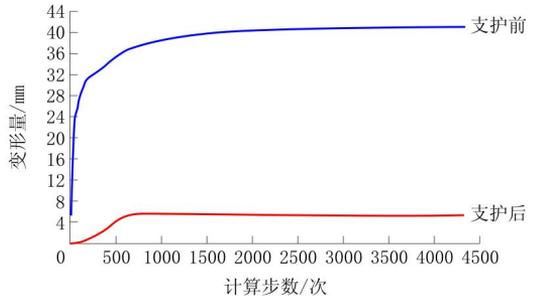


(a) 监控点1支护前后实测位移对比

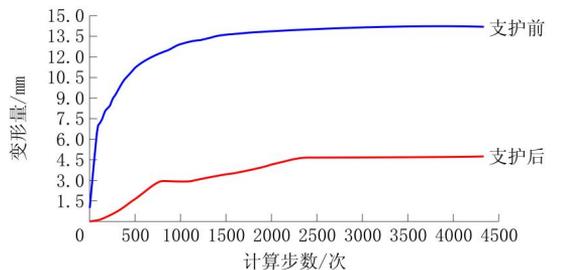


(b) 监控点2支护前后实测位移对比

图 7 监控点实测位移对比图



(a) 监控点1支护前后模拟位移对比



(b) 监控点2支护前后模拟位移对比

图 8 监控点模拟位移对比图

平衡,最大值约为 4.6 mm;支护后的最大值为未支护时的 32.39%。

4 结论与不足

4.1 结论

(1)通过数值模拟结果可以看出,青海省五龙沟矿区在硐室开挖后,水平方向的变形主要集中在两岩性分界面处,竖向变形主要集中在顶拱和底板处,应该加强支护。

(2)在硐室开挖前进行数值模拟,根据数值模拟结果确定支护类型,在现实工程中具有可行性。

(3)数值模拟时采用的模型是各项同性、连续均匀等假设的基础上完成的,但实际地层错综复杂,岩层节理发育,这些影响因素将会阻止围岩进一步变形破坏,导致监控点的测量值小于模拟值。

(4)两个监控点的实际测量值均小于模拟值,因此,在硐室开挖支护前采用数值模拟,并且按照数值模拟结果制定支护类型,可以确保硐室的安全性。

4.2 不足

(1)在模拟过程中,围岩是在各向同性、连续均匀等假设的基础上完成的。但青海省五龙沟矿区的实际地质工程条件复杂,不能精确地模拟出真实的变形情况。

(2)岩体是由岩石和结构面共同构成的,由于软件限制,未能准确模拟出地下水、工程因素等的影响,而这些也是影响围岩稳定性的重要因素。

(3)此次模拟结果对实际工程的开挖支护具有

指导意义,但模拟值和测量值之间差距较大,如果完全按照模拟结果进行支护,将会造成人力物力的浪费,如果想很切合实际情况,还需在软件选用和参数优化方面进一步研究探讨。

参考文献:

- [1] 王胜,黄润秋,祝华平. 锦屏一级水电站左岸抗力体基础处理洞室群围岩稳定性分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):72-76.
- [2] 陈旭东,秦鹏举. 浅埋偏压软岩隧道数值模拟及方案比选[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(1):77-80.
- [3] 崔志盛,赵凯,龚建伍. 公路隧道下伏采空区施工影响数值模拟分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):76-79.
- [4] 袁宝恒,吴子燕,王富生. 不同洞形围岩弹塑性稳定性的计算机数值仿真分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(2):60-63.
- [5] 徐林生. 财神梁隧道台阶法开挖施工数值模拟研究[J]. 重庆交通大学学报,2008,27(4):548-511.
- [6] 张应龙,刘增荣. 隧道围岩稳定性的有限元分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(11):56-58.
- [7] 刘昕,李新祥,郝哲. 大跨度公路隧道开挖数值模拟研究[J]. 沈阳大学学报,2009,21(3):104-107.
- [8] 董书明,辛全才,卢树盛. 断面形状对隧洞围岩稳定性的影响分析[J]. 中国农村水利水电,2011,(1):102-107.
- [9] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范[S].