

某地下洞室围岩松动区深度的测试与分析

董燕君¹ 黄志鹏² 陈赛超¹

(1. 中南勘测设计研究院,湖南长沙 410014;2. 水利部岩土力学与工程重点实验室重庆岩基研究中心,重庆 400014)

【摘要】 地下洞室开挖后,地应力重新分布,在洞室围岩周围形成一定深度的松动区,松动区深度的确定对评价围岩稳定性和指导洞室支护设计都具有重要意义。利用围岩超声波测试成果和施工期位移监测成果,通过对比分析确定出某洞室围岩松动区的深度范围,为选择合理的围岩支护参数提供依据。

【关键词】 围岩松动区厚度;声波测试;位移监测

【中图分类号】 TU 452;TU 454

Test and Analysis for Surrounding Rockmass Disturbed Zone of Underground Cavern

Dong Yanjun¹ Huang Zhipeng² Chen Saichao¹

(1. Mid-south Design & Research Institute for Hydroelectric Projects, Changsha 410014, Hunan;

2. Chongqing Rock research Centre of the Key Laboratory of
Geotechnical Mechanics & Engineering of MWR, Chongqing 400014, China)

【Abstract】 The excavation of the underground chamber causes the redistribution of the geostress, and certain thickness of the disturbed zone produced surrounding rockmass. It is important to measure out the thickness of the disturbed zone for evaluating the stability of the surrounding rockmass and designing the support of tunnel. Comparing the results of supersonic test with the results of monitoring the displacement during the construction, the scope of the tunnel wall rocks disturbed zone can be measured, and the fit parameters is offered for support of the wall rocks.

【Key Words】 thickness of the disturbed zone; ultrasonic test; displacement monitoring

0 引言

地下洞室开挖后,地应力将在围岩中重新分布并产生应力集中现象。若围岩应力小于岩体强度,围岩只产生弹性变形和塑性变形,不发生破裂;如围岩应力大于岩体强度,围岩就会破裂,发生大的变形。这种变形、破坏从洞室周边逐渐向深部扩展,直到在一定深度达到新的应力平衡为止,最终在洞室周围形成松动破裂区,称之为围岩松动区^[1-3]。它是围岩性质、地应力等多种因素的综合指标,不仅能综合地反映岩体性质、原岩应力、断面形式、开挖方式等因素对围岩稳定的影响,而且能定量的反映围岩支护的难易程度。松动区的确定不但对评价围岩稳定性和指导洞室布置至关重要,并且为进行合理、经济的支护设计提供了有效的依据^[2,4]。本文通过对某洞室围岩声波的测试成果以及施工期洞室围岩的

位移监测成果的对比分析,最终确定出洞室围岩松动区的深度,从而为选择合理的围岩支护深度提供依据。

1 工程地质概况

某洞室长约千余米,断面尺寸宽×高为=15 m×19 m,深埋段上覆岩体厚 250~350 m,水平埋深 180~250 m。沿线出露地层为中上三叠统杂谷脑组第二段 T2-3Z2(6)层灰色~深灰色薄~中厚层状条带状大理岩夹绿片岩条带,少量角砾状大理岩, T2-3Z2(7)层厚层状大理岩、条纹状大理岩。沿线岩体新鲜,嵌合紧密,其中 T2-3Z2(6)层岩体多呈中厚层状结构,部分为薄层状结构, T2-3Z2(7)层岩体多呈厚层~块状结构。其中声波测试洞段,围岩为深灰色薄~中厚层状大理岩,少量角砾状大理岩,层面裂隙发育,层间挤压错动带较发育,延伸较远,

性状较差,岩体完整性差,围岩类别以Ⅳ类为主,部分为Ⅲ₂类,围岩不稳定。

2 围岩松动区声波测试及成果分析

2.1 围岩松动区声波测试原理

岩体与其它介质一样,当弹性波在岩体中传播时要发生几何衰减和物理衰减,在岩体中不同力学性质的结构面上弹性波要发生散射、折射和热损耗等物理现象,使得弹性波能量不断衰减造成波速降低。由弹性波的波动理论可知,在无限各向同性介质中的波动方程^[5]为:

$$\begin{cases} \frac{1}{v_p^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \\ \frac{1}{v_s^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \end{cases}$$

式中: v_p 为纵波波速; v_s 为横波波速。

基于均匀各向同性弹性半空间的边界条件及初始条件求解可得纵波和横波在岩体中的传播速度 v_p 和 v_s 为:

$$\begin{cases} v_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \\ v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\mu)}} \end{cases}$$

式中: E 为岩体的弹性模量; ρ 为岩体密度; μ 为岩体的泊松比。

由于纵波具有传播速度快、能量高、现场容易实现等特性,一般仅利用纵波从事围岩松动范围的探测。由波动方程的解可以看出,声波在岩体中的传播速度与岩体的弹模、密度、泊松比等物理力学指标存在密切的相关性。声波的波速随介质裂隙发育、密度降低、声阻抗增大而降低,随应力、密度增大而增加。因此,测得的声波波速高则说明围岩完整性好,波速低说明围岩存在缝隙,围岩有破坏发生。可见,通过测试巷道围岩一定深度范围内的岩体弹性波波速(纵波 v_p),并根据其分布变化情况,便可推定围岩的松动区范围。

2.2 围岩松动区测试方法

目前工程应用中确定围岩松动区的方法较多,根据原理的不同可以分为:声波法测试、多点位移计测试、地质雷达法测试、地震波法测试、电阻率法测试、渗透法测试等方法^[4,6~8]。这些方法均采取在试验洞段中选取若干个具有代表性的断面进行测试,根据所测得的多组围岩参数来确定松动区的大小。本次测试采用单孔声波测试法,采用单发双收探头进行测试。首先,在测试部位按设计深度钻孔,成孔

后清洗孔壁,然后将声波探头置入孔中,孔内注满水(孔口装有堵水装置)以使探头和孔壁有良好的声耦合,在钻孔中每间隔20 cm测试一次声波速度,取得一系列从孔口到孔底沿深度方向分布的波速值。

2.3 围岩松动区声波测试成果分析

声波测试洞段围岩主要以薄~中厚层状Ⅳ类大理岩为主,根据工程可研阶段在洞室区域进行的大量的声波测试成果,Ⅳ类大理岩原岩声波速度分布范围为2700~4400 m/s,结合对现场围岩分布情况的调查分析,初步确定以波速小于3000 m/s的岩体为松弛岩体。

2005年3月中旬,在K0+915m~K0+940 m洞段,对洞室右侧壁14个单孔及顶拱的10个单孔分别进行了声波测试,各测点波速平均值沿孔深的分布曲线见图1。

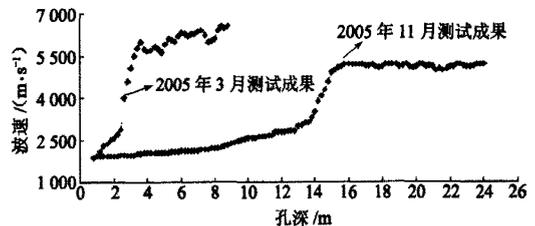


图1 K0+902~K0+938 m洞段围岩声波波速沿孔深分布曲线

由测试结果可以看出,在距孔口2~4 m范围内,随孔深增加围岩波速由1800 m/s逐渐上升到2800 m/s左右,波速曲线增加趋势相对较缓,当孔深超过2~4 m后,围岩波速由2800 m/s迅速上升至5000 m/s左右,波速曲线发生突变,此后曲线便呈平缓状态波动。根据波速沿孔深的这种分布特性可以推断出:右侧壁围岩松动区一般为2.0~3.0 m,顶拱围岩松动区深度一般为2.5~4.0 m。

2005年9月下旬,在K0+990~K0+995 m洞段右侧壁,利用两个锚索孔进行了单孔声波测试,根据测试成果,围岩松动区深度约为5.5 m,声波波速约为1800~2500 m/s。

2005年11月上旬,利用K0+902~K0+938 m洞段的12个锚索孔,进行了单孔声波测试,数据经过处理后,各测点平均波速值沿孔深的分布曲线见图1。根据测试结果,围岩松动区深度一般为12.6~14.0 m,声波波速为2600~2900 m/s。

3 利用施工期位移监测成果进行围岩松动区深度分析

施工期间该洞室共布设有5个位移监测断面,

自2005年6月开始,随施工的推进先后安装埋设了11套三点式位移计,对围岩变形情况进行监测。每套位移计各测点的埋深情况为:1#测点埋深4.5m,2#测点埋深12.0m,3#测点埋深22.5m。由于处于松动区内的围岩比原始岩体变形大,因此,可以利用不同深度围岩的位移监测成果来分析确定围岩松动区的深度。

现在以最深的3#测点为基点来分析位移变化情况。根据一年多来的位移监测成果可以看出,各套位移计的孔口部位、1#测点和2#测点相对3#测点的位移量呈明显的级差关系分布,其中,位移最大的为孔口部位,其次为1#测点,位移最小的为2#测点。现以靠近声波测试洞段的K0+920m和K0+922m断面的 M_3^1 和 M_{11}^1 位移计为例来分析围岩位移变化情况。

三点式位移计 M_3^1 于2005年8月8日埋设于洞室K0+920m断面左边墙部位,从2005年8月20日开始测读数据。从位移监测结果可以看出,各测点位移测值均在2005年8-11月份洞室下层开挖和砼支护期间位移变化较大,随着施工结束,位移渐趋稳定。从位移量值上看,各测点位移大小呈明显的级差关系。其中,孔口部位位移量最大,是1#测点位移量的1.1~2.3倍;1#测点位移量仅次于孔口部位,位移量值基本都保持在2#测点位移量的4~6倍;2#测点位移量值最小,位移基本在1mm以内波动,变形不明显。围岩位移(选取2006年10月底成果)沿钻孔深度分布曲线见图2。

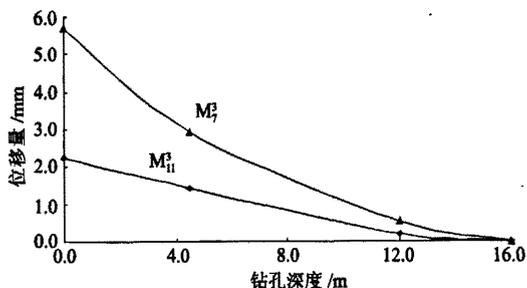


图2 围岩位移沿钻孔深度分布曲线

三点式位移计 M_{11}^1 于2005年11月10日埋设于K0+922m断面右边墙部位,从2005年11月15日开始测读数据。从位移监测结果来看,各测点位移大小也呈明显的级差分布关系,其中孔口部位位移量是1#测点的1.1~3.5倍,1#测点位移量大小仅次于孔口部位,位移量是2#测点的4倍以上,2#测点位移量值最小,变化不明显(见图2)。

可以看出,处于不同深度的围岩其位移监测值遵循以下规律,即孔口部位岩体位移最大,随着深度的增加,围岩位移由最大值逐渐开始衰减,直到12.0m深度围岩位移基本在零值附近摆动,位移变化不明显。根据围岩位移沿深度分布的这种规律可以断定,围岩松动区应在12.0m左右深度范围。

4 声波测试与位移监测结果的对比分析

由洞室围岩松动区的3次声波测试结果可以看出,随着时间的推移,围岩松动区深度也在不断加深。2005年3月中旬测试结果表明,围岩松动区深度一般为2.0~4.0m;2005年9月下旬测试结果表明,围岩松动区深度约为5.5m;2005年11月上旬测试结果表明,围岩松动区深度一般在10~14m。围岩松动区深度随时间推移不断加深,是围岩变形随时间推移由浅表层向深部不断发展的结果。根据最终测试结果,围岩松动区深度应在10~14m。

位移监测结果显示,导流洞围岩在施工期位移增加较快,随着施工的逐渐结束,围岩位移在2006年1-2月份基本趋于稳定;从围岩向临空面发生位移的量值大小看,各测点位移呈明显的级差关系分布。根据这种分布规律所断定的围岩松动区深度大致在12m左右。

如果考虑到采用多点位移计进行变形监测,由于测点布置的不连续性以及测点数目较少,所测得的围岩松动区深度精度不高的因素,可以看出声波测试和位移监测结果所揭示出的围岩松动区深度结果基本是相符的,所反映出的围岩变形随深度增加而减小、随时间推移变形向深部扩展的规律也是一致的,同时可以看到,前面声波测试以小于3000m/s波速值作为松弛岩体的界定值其取值是合适的。因此,通过对声波测试和位移监测成果的比较与分析,可以断定该洞室围岩的松动区深度一般应在10~14m范围内。

5 围岩变形特征

以上的分析中可以看出围岩松动圈厚度随时间增加较快,从2005年3月到2005年11月,围岩松动圈厚度从2~4m增加到12m,该段时间围岩位移增加较快,以位移计 M_3^1 为例(见图3),位移量相当于总位移量的90%。

从施工情况来看,2005年4月20日该洞室第I层开挖结束,5月25日第II层开挖开始进行。可以看出,松动圈迅速扩展时期正是洞室第II层全面开挖时期,可见,第II层开挖对围岩的稳定性影响甚大。从实际情况来看,该洞室在第II层开挖过程

中,受开挖卸荷影响围岩应力调整较快,其中 K0+915 m~K0+990 m 桩号段拱脚和右侧边墙均出现裂缝并伴随掉块现象发生,后采取锚杆、锚桩加固、施工支洞封堵及衬砌等支护措施,围岩变形才得到控制,由于监测反馈及时,避免了围岩垮塌等严重事件的发生。

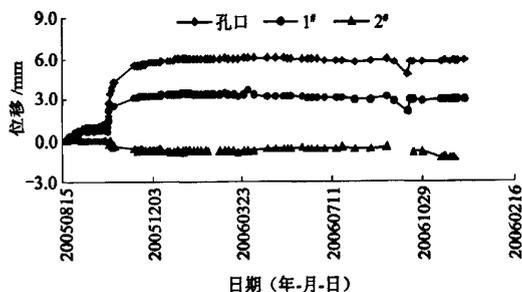


图3 K0+920 m 断面 M₂ 多点位移计位移历时曲线

6 结论

1) 声波测试和位移监测结果表明,该洞室围岩的松动区深度一般在 10.0~14.0 m,因此,该洞室围岩合理的支护深度应在 14.0 m 以上。

2) 声波测试和位移监测结果均显示,围岩松动区范围有随时间增长而扩大的趋势,这种变化由围岩浅层开始逐渐向深部推进,最终趋于稳定。特别对于地质结构复杂区域,围岩松动区范围随时间增长趋势非常明显,如不及时支护,最终可导致塌方等严重事故发生。

3) 利用多点位移计法测试围岩松动区范围是可行的,但多点位移计测点布置不连续、测点数目少,所测定的围岩松动区深度精度不高。因此,要想获得较好的测试结果,就要适当加密多点位移计的测点数目,或采用其它精度更高的测试手段如滑动测微计法。

4) 利用声波法确定围岩松动区深度的关键是确定原岩声波速度,但受环境、地质等条件的影响,真正意义上的原岩波速不易准确测得,一般采用测试-预估法确定。因此,利用施工期其它变形监测成果来评估、校核声波测试结果,不失为一种好方法。本文利用声波测试结合施工期位移监测成果来确定围岩松动区的深度,不但可以提高松动区深度测试的精度,而且可以节约测试成本,这种结合是十分有益的。

参考文献

- [1] 黄志鹏,周江平. 锦屏一级水电站左岸导流洞施工期监测及围岩稳定分析[J]. 长江科学院院报, 2006, 23(4): 56-59.
- [2] 董方庭,宋宏伟,郭志宏,等. 巷道围岩松动圈支护理论[J]. 煤炭学报, 1994, 19(1): 21-32.
- [3] 董方庭. 巷道围岩松动圈支护理论及应用技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [4] 李仲奎,莫兴华,等. 地下洞室松动区模型及其在反馈分析中的应用[J]. 水利水电技术, 1999, 30(1): 49-51.
- [5] 贾颖绚,宋宏伟. 巷道围岩松动圈测试技术与探讨[J]. 西部探矿工程, 2004, 16(10): 148-150.
- [6] 史永东,张凯,等. 弹性波测试技术在巷道围岩松动圈测试中的应用[J]. 煤炭学报, 2002, 18(6): 1-4.
- [7] 蔡成国,孟照辉之,熊昌盛. 围岩松动圈地球物理方法检测[J]. 西部探矿工程, 2004, 16(7): 87-89.
- [8] 李海发. 隧道岩体多点位移测试[J]. 山西建筑, 2000(1): 145-146.
- [9] 孙根民,郝长生. 软岩地区多点位移计埋设及变形特性技术研究[J]. 西部探矿工程, 2005, 17(3): 47-51.

收稿日期: 2008-11-07

(上接第 33 页)

- [5] 张克恭,刘松玉. 土力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [6] 赵树德. 地基弹塑性承载力 $K \neq 1.0$ 时的计算公式[J]. 西安建筑科技大学学报, 1995, 27(3): 294-298.
- [7] 崔江余,宋金峰. 地基临塑荷载的分析[J]. 工程力学, 1998, 15(4): 96-100.
- [8] 王瑞甫,王贻荪,曹喜仁. 考虑泊松比影响的条形基础临界荷载工程计算[J]. 勘测科学技术, 2002(6): 27-30.
- [9] 李刚,王贻荪,尚守平. 平面和空间问题地基承载力理论公式的泊松比效应[J]. 湖南大学学报, 2001, 28(5): 80-85.
- [10] 李顺群,李勇军,丁威. 基于广义 Mises 条件的地基塑性区的确定[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(10): 42-45.
- [11] 袁聚云,徐超,赵春风,等. 土工试验与原位测试[M]. 上海: 同济大学出版社, 2004.

收稿日期: 2008-08-25