

一种新的大跨度洞室收敛变形监测方法探索

岳永峰, 罗延婷, 王耀邦, 王泉伟

(黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

摘要:地下洞室开挖后开挖面各点都会发生位移变化,尤以断面方向变形最为明显。因此,及时监测断面收敛变形情况并预测变形趋势,对施工及工程安全具有重要意义。探索了一种安全高效的大跨度洞室收敛变形监测方法。详述了监测实施方案并对误差作了分析,进而提出了减小误差的措施。该法弥补了传统监测方法在大跨度洞室收敛变形监测上的不足,可站立于地面操作,避免了高空作业,极大地提高了监测作业效率。

关键词:收敛变形; 监测方法; 误差分析; 大跨度洞室

中图法分类号: TV698

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.09.002

1 研究背景

大跨度洞室一般跨度在10 m以上,为保证开挖安全,多采用新奥法进行施工。新奥法施工需同时对围岩变形进行监测,并将监测信息及时反馈给设计与施工方,以便修改设计和采取技术措施^[1]。

地下洞室开挖后,开挖面各点都在发生位移变化,尤以断面方向变形最为明显,及时监测断面收敛变形情况,对施工及工程安全具有重要意义^[2]。

工程施工中,留给收敛变形监测的时间往往很短,一般的小跨度洞室可以由地面人员直接用收敛计(如石墨杆收敛计^[3]或钢尺收敛计)量测,安全而高效;而大跨度洞室由于跨度大、边墙高,需要监测的点位难以直接接触,往往被迫高空作业,再加上各种管线的妨碍,使收敛变形监测工作变得异常困难且危险较大。

因此,探索一种安全高效的大跨度洞室收敛变形监测方法,对提高施工效率及保障工程安全具有重要意义。

2 变形监测原理

大跨度洞室断面多采用城门洞型,一般需监测其拱顶与洞底间、两侧起拱线间及边墙间收敛变形情况,为便于监测,提高效率,规避高空作业风险,监测点建

议采用以下方法布置(图1):在垂直于洞室的同一断面上布置监测点1~6,其中,点1位于拱顶中间,点2位于点1正下方底板,点3,4位于两侧起拱线处(同一高度),点5,6位于两侧边墙(同一高度,站立于地面可触及)。假设本次所测数据为 l, h ,初次所测数据为 l', h' 。

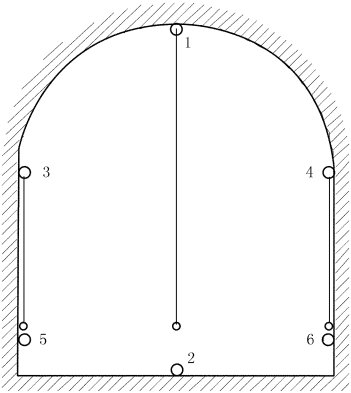


图1 收敛变形监测点布置示意

2.1 竖向收敛

设1,2点相对于上次测量时的竖直位移增量分别为 $\Delta y_1, \Delta y_2$,则1,2点间相对于上次测量时的竖直位移增量为

$$\Delta y_{12} = \Delta y_1 + \Delta y_2 \approx l'_{12} - l_{12} \quad (1)$$

2.2 水平收敛

设 3~6 点相对于上次测量时的水平位移增量分别为 $\Delta x_3, \Delta x_4, \Delta x_5, \Delta x_6$ 。以 3、6 点为例,其水平收敛变形计算示意图 2。

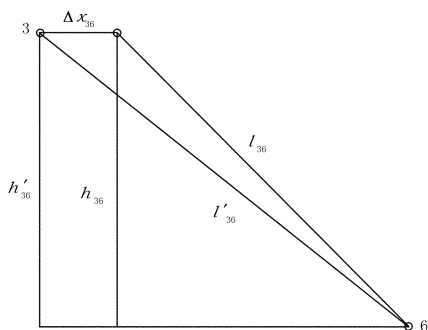


图 2 水平收敛变形计算示意

由图 2 知,3、6 点相对于上次测量时的水平位移增量为

$$\Delta x_{36} = \Delta x_3 + \Delta x_6 = \sqrt{l'^2_{36} - h'^2_{36}} - \sqrt{l^2_{36} - h^2_{36}} \quad (2)$$

同理,4、5 点相对于上次测量时的水平位移增量为

$$\Delta x_{45} = \Delta x_4 + \Delta x_5 = \sqrt{l'^2_{45} - h'^2_{45}} - \sqrt{l^2_{45} - h^2_{45}} \quad (3)$$

两式相加得

$$\begin{aligned} \Delta x_{36} + \Delta x_{45} &= \Delta x_3 + \Delta x_4 + \Delta x_5 + \Delta x_6 \\ &= (\sqrt{l'^2_{36} - h'^2_{36}} + \sqrt{l'^2_{45} - h'^2_{45}}) - \\ &\quad (\sqrt{l^2_{36} - h^2_{36}} + \sqrt{l^2_{45} - h^2_{45}}) \end{aligned} \quad (4)$$

又因为

$$\Delta x_{34} = \Delta x_3 + \Delta x_4 \quad (5)$$

$$\Delta x_{56} = \Delta x_5 + \Delta x_6 \approx l'_{56} - l_{56} \quad (6)$$

(5)式与(6)式相加,得

$$\begin{aligned} \Delta x_{34} + \Delta x_{56} &= \Delta x_3 + \Delta x_4 + \Delta x_5 + \Delta x_6 \\ &= (\sqrt{l'^2_{36} - h'^2_{36}} + \sqrt{l'^2_{45} - h'^2_{45}}) - \\ &\quad (\sqrt{l^2_{36} - h^2_{36}} + \sqrt{l^2_{45} - h^2_{45}}) \end{aligned} \quad (7)$$

故

$$\begin{aligned} \Delta x_{34} &\approx (\sqrt{l'^2_{36} - h'^2_{36}} + \sqrt{l'^2_{45} - h'^2_{45}}) - \\ &\quad (\sqrt{l^2_{36} - h^2_{36}} + \sqrt{l^2_{45} - h^2_{45}}) - (l'_{56} - l_{56}) \end{aligned} \quad (8)$$

3 变形监测方案

3.1 材料准备

(1) 带钢环的锚固头数个(视需要而定)。

(2) 钢丝数条(视需要而定),要求所选钢丝变形模量大,温度变化时变形小。钢丝一端为锚固端,另一

端为自由端,固定钢环。钢丝长度根据监测点高度而定,要求监测时站立于地面可轻松触及,记录钢丝长度 L 。

3.2 仪器准备

(1) 收敛仪。可选用美国基康公司的 GK1600 钢尺收敛计^[4],其技术指标为,测量范围 30 m,重复性为 ± 0.127 mm。

(2) 水准仪。如苏光 DS05 自动安平水准仪,其技术指标为,每千米往返测量高差标准偏差不大于 0.5 mm,最短视距 1.6 m,测微范围 10 mm,测微尺格值 0.1 mm,可估读值 0.01 mm。

3.3 材料安装

大跨度洞室一般自上而下开挖,可在开挖过程中对监测点定位并安装 1,3,4 点锚固头(带钢丝),待开挖至底板高程后安装 2,5,6 点锚固头(不带钢丝)。2 点锚固头需进行保护(如挖坑后锚固,上盖钢板保护),以免遭汽车等碾压破坏。

另外,在 3,5 点锚固头正下方及 4,6 点锚固头正下方底板处可分别安装锚固头(不带钢丝),监测时作辅助用。

3.4 监测实施

为及时了解洞室的收敛变形情况,材料安装完成后应尽快按《工程岩体试验方法标准》(GB/T 50266 - 2013)及收敛仪和水准仪的说明进行监测。监测时,水准仪高度应低于 5,6 号点,且应立于底板变形趋于稳定处(距离掌子面一定距离)。具体步骤详述如下:

(1) 收敛仪两端挂钩分别挂在 5,6 号监测点锚固头钢环上,测得读数 l_{56} ;

(2) 收敛仪钢尺端挂钩挂在 1 号监测点钢丝自由端钢环上,另一端挂钩挂在 2 号监测点锚固头钢环上,测得读数 l_2 ;

(3) 收敛仪钢尺端挂钩挂在 3 号监测点钢丝自由端钢环上,另一端挂钩挂在 6 号监测点锚固头钢环上,测得读数 l_6 ;

(4) 收敛仪钢尺端挂钩挂在 4 号监测点钢丝自由端钢环上,另一端挂钩挂在 5 号监测点锚固头钢环上,测得读数 l_5 ;

(5) 收敛仪钢尺端挂钩挂在 3 号监测点钢丝自由端钢环上,另一端挂钩挂在其正下方底板锚固头钢环上,用水准仪测得钢尺读数 h_3 ;

(6) 收敛仪钢尺端挂钩挂在 5 号监测点锚固头钢环上,另一端挂钩挂在其正下方底板锚固头钢环上,用水准仪测得钢尺读数 h_5 ;

(7) 收敛仪钢尺端挂钩挂在 4 号监测点钢丝自由

端钢环上,另一端挂钩挂在其正下方底板锚固头钢环上,用水准仪测得钢尺读数 h_4 ;

(8) 收敛仪钢尺端挂钩挂在6号监测点锚固头钢环上,另一端挂钩挂在其正下方底板锚固头钢环上,用水准仪测得钢尺读数 h_6 。

根据观测目的、工程需要和围岩收敛情况确定观测时间间隔^[5]。

3.5 变形计算

(1) 1,2号监测点竖向收敛

$$\Delta y_{12} = \Delta y_1 + \Delta y_2 \approx l'_{12} - l_{12} = l'_2 - l_2 \quad (9)$$

(2) 5,6号监测点水平收敛

$$\Delta x_{56} = \Delta x_5 + \Delta x_6 \approx l'_{56} - l_{56} \quad (10)$$

(3) 3,4号监测点水平收敛

$$\Delta x_{34} \approx (\sqrt{l'^2_{36} - h'^2_{36}} + \sqrt{l'^2_{45} - h'^2_{45}}) - (\sqrt{l^2_{36} - h^2_{36}} + \sqrt{l^2_{45} - h^2_{45}}) - (l'_{56} - l_{56}) \quad (11)$$

式中,

$$l'_{36} = L_3 + 2L_{\text{钩}} + l'_6, h'_{36} = L_3 + h'_3 - h'_6 \quad (12)$$

$$l'_{45} = L_4 + 2L_{\text{钩}} + l'_5, h'_{45} = L_4 + h'_4 - h'_5 \quad (13)$$

$$l_{36} = L_3 + 2L_{\text{钩}} + l_6, h_{36} = L_3 + h_3 - h_6 \quad (14)$$

$$l_{45} = L_4 + 2L_{\text{钩}} + l_5, h_{45} = L_4 + h_4 - h_5 \quad (15)$$

以上各式中, L_1, L_3, L_4 分别为锚固于点1、3、4的钢丝长度(含自由端钢环半径); $L_{\text{钩}}$ 为收敛仪挂钩长度。

计算出 $\Delta y_{12}, \Delta x_{34}, \Delta x_{56}$ 后,绘制其与时间的关系曲线,从而判断洞室收敛变形趋势。

4 误差分析

4.1 误差影响因素

(1) 常规因素。包括人、仪器、材料及材料安装等因素。

(2) 特殊因素。如挂钩不能始终处于钢环圆心。

(3) 计算因素。竖向变形计算中未考虑1,2点产生的水平位移差;水平变形计算中未考虑5,6点间产生的竖向位移差,此类变形虽轻微,但也会给计算结果带来误差,而 Δx_{56} 的计算误差会传导给 Δx_{34} ,使其计算结果也产生误差,这也正是上文公式中采用“ \approx ”的原因。以5,6点为例,现分析两监测点发生竖向位移差时带来的计算结果误差,见图3。

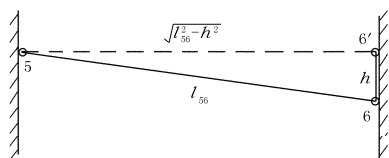


图3 水平收敛变形计算误差分析示意

两监测点发生竖向位移差时带来的计算结果误差为

$$S = l - \sqrt{l^2 - h^2} \quad (16)$$

当洞室跨度为10 m,两监测点产生竖向位移差0.1 m时,即 $l \approx 10$ m, $h = 0.1$ m,产生的误差 $s \approx 0.0005$ m。

4.2 减小误差的措施

(1) 选用变形模量大且受温度、湿度等影响小的钢丝及锚固头;锚固头及钢丝自由端钢环强度要高、刚度要大,在满足收敛仪挂钩顺利插入的前提下尺寸尽可能小,以使挂钩始终位于钢环圆心附近。

(2) 安装材料时应进行定位,使所有监测点位于同一断面内,使1,2点位于同一竖直线内,使3,4点(5,6点)位于同一水平线内。

(3) 用收敛仪量测时应施加基本相等的拉力。

(4) 水准仪支撑应于距掌子面一定距离且(洞室底板)变形趋于稳定处。

5 工程应用

中国科学院高能物理研究所大亚湾中微子实验站工程,主要包括用于中微子实验装置装配及运行的5个地下实验大厅及连接这些实验大厅的隧道。其中的2号实验大厅长约25 m,横断面呈城门洞形,宽约15 m,拱顶高约15 m,起拱线高约11 m。实验厅围岩为燕山期花岗岩,节理走向主要为近SN、NW、NNE向,节理倾角多大于50°,延伸长度一般为1~5 m。

在实验厅布置监测断面,并按图1布置监测点。每天监测1次,连续31次(设初次量测为第0次),在连续监测近20次后,实验大厅收敛变形趋于稳定。

6 结语

本文所提出的大跨度洞室收敛变形监测方法简便易行,站立于地面即可操作,能极大地提高工作效率,规避高空作业风险,既可监测大跨度洞室洞顶及底板间任一竖向收敛变形,又可监测边墙间任一高度的水平收敛变形,成功解决了大跨度洞室收敛变形监测的难题,具有较好的工程实际意义。

参考文献:

- [1] 张国联,刘斌.高墙大跨度洞室的机械法收敛量测系统改进[J].有色矿冶,1996,(1):35-39.
- [2] 伍文锋.溪洛渡水电站地下洞室群施工期监测与反演分析[J].人民长江,2013,(4):59-62.
- [3] 吴火兵,王林伟.石墨杆收敛计在锦屏电站左岸边坡监测中的应用[J].人民长江,2009,(18):103-104.
- [4] 杨浩.等效法收敛计变形监测[J].测绘通报,2011,(12):35-

39.
- 2013)[S]. 北京:中国计划出版社,2013. (编辑:郑毅)
- [5] 王建洪, 邬爱清, 盛谦, 等. 工程岩体试验方法标准 (GB/T 50266

A new monitoring method for convergence deformation of large – span caverns

YUE Yongfeng, LUO Yanting, WANG Yaobang, WANG Quanwei
(Yellow River Engineering Consulting Co. , Ltd. , Wuhan 450003, China)

Abstract: The deformation would occur at every points of a cavern after excavation, especially in the transversal direction. So, the timely monitoring on the convergence deformation of cavern and further prediction of the deformation trend is significant to the engineering safety. We put forward a safe and efficient measuring method for large – span cavern. The measuring scheme is discussed and the error analysis is conducted to provide error – reducing measures. The new monitoring solution overcomes some deficiencies of traditional method for large – span cavern as it could be applied by engineers standing on ground, so as to avoid working high above the ground and increase the measuring efficiency.

Key words: convergence deformation; monitoring method; error analysis; large – span cavern

(上接第 4 页)

Research on emergency braking force curve of full balanced vertical shiplift

ZHANG Li¹, LIAO Lekang²

(1. Huadian Zhengzhou Mechanical Design Institute, Zhengzhou 450015, China; 2. Changjiang Institute of Survey, Planning Design and Research, Wuhan, 430010, China)

Abstract: The emergency braking in failure of power and electrical drawing system is vital to the safe operation of full balanced vertical shiplift. In the case of emergency braking, we should ensure the braking safety, make the braking distance shorter than the design requirement, and also avoid the inertia shock to the drawing system as well, so the correct loading of the braking force is a key technology for the design of the braking system in the electrical drawing system. We put forward the basic pattern of the emergency braking force curves and the value determination principle for some key parameters on the basis of the experiences gained from some shiplifts. The computational program and method for the kinematic feature in emergency braking process and the load condition of the driving system are presented. A calculation that takes Geheyuan first – grade shiplift project as an example has been performed, which proves the practicability and rationality of the suggested curve and also reveals the loading characteristics of the driving system under various loading cases.

Key words: emergency braking; braking force curve; impact load; braking distance; shiplift