

金川二矿区大体积充填体变形机制 与变形监测研究

彭府华¹, 李庶林², 李小强³, 邹龙³, 王虎³

(1. 长沙矿山研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012; 2. 厦门大学, 建筑与土木工程学院, 福建 厦门 361005;
3. 金川集团股份有限公司二矿区, 甘肃 金昌 737104)

摘要: 针对金川二矿区大体积充填体稳定性问题, 简要论述近年来地表岩移和井下地压显现特征, 并开展大体积充填体的变形机制研究。制定针对大体积充填体变形的监测方案: 采用自制的变形监测装置对 1 150 ~ 1 200 m 水平 50 m 高充填体的相对变形进行监测, 采用水准仪对大体积充填体和围岩体的下沉变形进行量测。监测结果表明, 大体积充填体综合下沉变形速率为 16.00 ~ 51.44 mm/月, 最大累计下沉量达 515 mm, 大体积充填体自身相对变形速率为 1.953 ~ 28.585 mm/月, 最大累计相对变形为 285.85 mm。进一步分析大体积充填体综合变形、自身相对变形和围岩体变形的发展趋势。研究成果对于深刻认识二矿区大体积充填体的稳定性、围岩体的变形等提供了重要的依据。

关键词: 采矿工程; 大体积充填体稳定性; 变形机制; 变形监测

中图分类号: TD 32

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2015)01-0104-10

DEFORMATION MONITORING OF BULKY BACKFILL IN NO.2 MINE AREA IN JINCHUAN

PENG Fuhua¹, LI Shulin², LI Xiaoqiang³, ZOU Long³, WANG Hu³

(1. *Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China*; 2. *School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China*; 3. *Mining Area No.2, Jinchuan Group Co., Ltd., Jinchuan, Gansu 737104, China*)

Abstract: The characteristics of surface subsidence and ground pressure in recent years in No.2 mine area, Jinchuan were briefly described and the mechanism of deformation was carefully analyzed. A monitoring scheme was implemented based on the results of deformation analysis. A device was made to monitor the relative deformation of bulky backfill of 50 m in height at the altitude level of 1 150 to and 1 200 m. Bubble level was used to monitor the vertical displacement of the bulky backfill and the surrounding rock. The monitoring results shows that the rate of total deformations of measurement points is 16.00 – 51.44 mm/month and that the maximum accumulated deformations is 515 mm. The rate of relative deformations at measurement points is 1.953 – 28.585 mm/month, and the maximum accumulated relative deformations is 285.85 mm. The development trends of the total deformation, the relative deformation and the deformation of surrounding rock are also studied.

Key words: mining engineering; bulky backfill stability; deformation mechanism; deformation monitoring

收稿日期: 2013-10-28; **修回日期:** 2014-04-01

作者简介: 彭府华(1987-), 男, 2013 年于长沙矿山研究院采矿工程专业获硕士学位, 现任助理工程师, 主要从事采矿与矿山岩石力学方面的研究工作。E-mail: fuhupeng@126.com。通讯作者: 李庶林(1963-), 男, 现任教授、硕士生导师。E-mail: shulin.li@163.com

DOI: 10.13722/j.cnki.jrme.2015.01.011

1 引言

金川二矿区为我国特大型地下矿山，矿体厚度大，水平投影面积大，走向长度长。该矿矿体与围岩体较为破碎、地应力大，为难采型地下矿床，采用的采矿方法为机械化盘区下向分层水平进路胶结充填采矿法。该矿经过数十年的连续大面积开采，形成了约 1 500 万 m^3 的大体积充填体结构。自 20 世纪 80 年代开始，大体积充填体的稳定性就引起了人们的关注，为了确保上部大体积充填体的稳定性和矿山安全生产，矿山在 1 150 m 水平还专门设计预留了一层水平矿柱。自 2003 年起，矿山开始回采 1 150 m 水平矿柱。近年来地表沉降加剧，上下盘围岩体中建(构)筑物产生变形，甚至破坏等，严重影响到了二矿区的安全生产和企业的可持续发展。大体积充填体的作用机制、稳定性问题再次受到金川公司领导和二矿区技术人员的高度关注。

针对金川二矿区大体积充填体的稳定性问题，自 20 世纪 80 年代该矿山相关技术人员就开始着手有针对性的地压监测研究，并由相关单位进行了专项研究^[1]，但该研究只是在进路采场中埋设应变计和应力计，针对的是进路充填体的变形和应力监测，并没有涉及到对大体积充填体变形的量测和沉降量测。之后，高建科等^[2-3]也在采场进路和围岩中进行了应力和位移监测，并针对充填体的变形规律得出一些结论。20 世纪 90 年代以来，对大体积充填体的作用机制持续开展了数值模拟研究，如长沙矿山研究院和金川有色金属公司^[4]针对上部大体积充填体的稳定性、1 250 m 贫矿开采等进行了较为全面的数值模拟研究。

国外学者对充填体的变形也是采用应变计和钻孔伸长仪进行监测，如 D. R. Tesarik 等^[5]利用伸长仪对 Cannon 金矿采场充填体垂直位移进行了监测，这种监测只是数米范围内充填体变形监测，没有进行大尺度监测。

近年来，关于水平矿柱开采和充填体稳定性问题，马崇武等^[6-8]开展了有意义的数值模拟研究，但其重点还是侧重于水平矿柱开采中地应力的变化。赵海军等^[9]采用数值模拟方法，研究了急倾斜矿体开采的岩移规律和变形机制。另外针对金川镍矿地表岩移问题，金川公司和国内大专院校、科研院所做了一些研究工作，并取得了很好的成果，如马凤山等^[10]对地表岩移特征进行了多年的 GPS 监测，获

得了较为丰富的实测数据，并据此研究了地表岩移特征和发生机制；李 晓等^[11]对地表产生的地裂缝进行了调查和监测研究，并在此基础上讨论了充填法开采引起的岩体移动和地裂缝形成的条件。针对上覆岩层岩移问题，刘增辉等^[12]利用光纤传感器技术，对金川镍矿 14 行风井围岩变形和稳定性问题建立了实时岩移变形监测系统，并进行了实时监测和分析。这些研究都是基于地表岩体或者上覆岩层中局部构(建)筑物的变形破坏问题，并没有对井下采空区域内的大体积充填体的变形问题，特别是大体积充填体的稳定性进行实地监测与研究。

2011 年，针对 1 150 m 水平矿柱的回采、上部大体积充填体的稳定性、上覆岩层的移动、上下盘围岩体中建(构)筑物的稳定性等诸多技术难题，金川公司专门列出重大项目——二矿区矿山安全稳定性评估及对策研究，其中，大体积充填体的稳定性、大体积充填体的变形与受力特点的现场监测是该项目的主要研究内容^[13]。本研究即为该项目中针对金川二矿区 1 150 m 水平矿柱以上大体积充填体稳定性进行的研究。

2 工程地质与岩移现状

2.1 二矿区工程地质概述

金川矿区广泛出露下元古界古老深变质岩系，主体为经历高级变质的复杂错动的龙首山群杂岩。龙首山群构造形成了金川含矿超基性岩体的围岩。地层走向北西，倾向南西。含矿超基性岩体被一组近东西的断层错为 4 段，相对划分为 4 个矿区，自西向东依次为三、一、二、四共 4 个矿区，全长 6.5 km。金川二矿区主采 1 号矿体，长 1.6 km，水平最大宽度为 200 m，平均宽度 98 m，倾角 $65^\circ \sim 75^\circ$ ，延深千余米，为典型的急倾斜厚大矿体。二矿区属于高应力矿山，主应力接近水平，为北东—南西向，应力值比较高，为中等偏上的高地应力区。最大主应力随深度的增加而增大，最大主应力可达 30 ~ 50 MPa。二矿区岩体裂隙发育(见图 1)，主要以挤压性断裂为主，如 F1, F16 断层，此外还有 2 组“X”型扭性断裂，一组南北方向，规模小、数量多，另一组近东西向，规模较大、数量少^[14]。

二矿区矿床的主要岩石为混合岩、大理岩、片麻岩及片岩等，这些岩石的单体强度都在中等及以上。但由这些岩石形成的岩体其节理、裂隙发育或极为发育，在大的构造应力作用下，岩体破碎、片

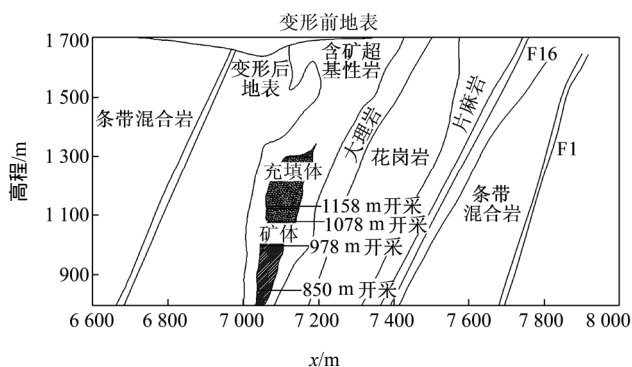


图1 20行工程地质剖面图

Fig.1 Engineering geological section at row of No.20

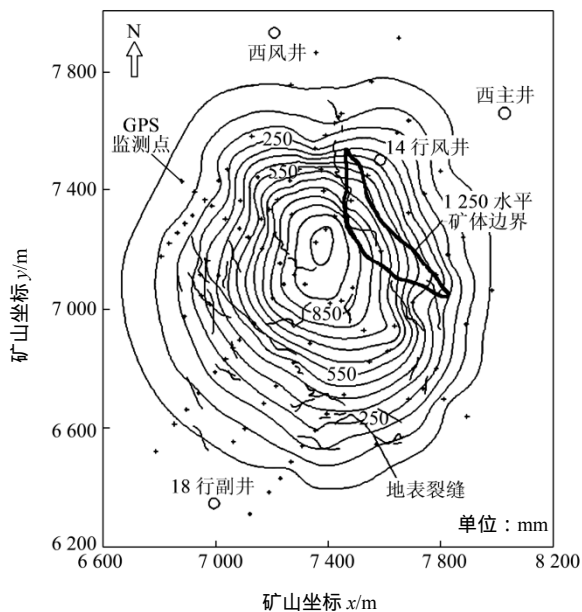
冒严重，变形大。矿区地表水系不发育，几条小河均为季节性河流，岩体中仅有第四系冲击洪积层含水，但含水层不厚、含水量不大。总体上，二矿区的工程地质条件很复杂，但水文地质条件属于简单类。

2.2 地表沉降变形

金川二矿自1983年投产以来，经过数十年的开采，导致大范围围岩体移动、上覆岩层的沉降变形、地表开裂等问题越来越严重。2005年14行回风井受岩体移动影响突然垮塌，造成了巨大的损失。目前二矿区地表6~26行之间出现了几十条裂缝，裂缝的延展方向基本与矿体走向一致，变形破坏严重的区域为10~22行范围，并形成了一个以14~18行为中心的近似椭圆形的移动沉陷盆地，面积达到2.5 km²，岩移区域内裂缝最大宽度超过1 m；地表移动盆地分布呈现为上盘沉降区大，下盘沉降区小（上盘大致为下盘的2~3倍），在沉陷较大地段的三维位移速率为100~170 mm/a，月平均位移量为8.3~14.2 mm^[9]。地表沉陷盆地和典型的地表裂缝如图2所示。



(a) 典型的地表开裂照片



(b) 地表沉陷盆地图

图2 地表裂缝和沉陷盆地图

Fig.2 Surface cracking and subsidence basin

2.3 井下围岩体变形

金川二矿区不仅地表出现了大范围的沉降，井下巷道工程变形破坏也异常剧烈和频繁，如图3所示，从1995~2012年，二矿区采矿量稳步增加，基本上呈线性变化，而井下巷道返修量增加幅度相比出矿量的增加要快得多，从巷道返修量曲线拟合来看，呈指数增加。由此可见，随着井下采矿范围和充填体体积的不断增加，井下围岩受采矿扰动影响有明显加速增大的趋势。

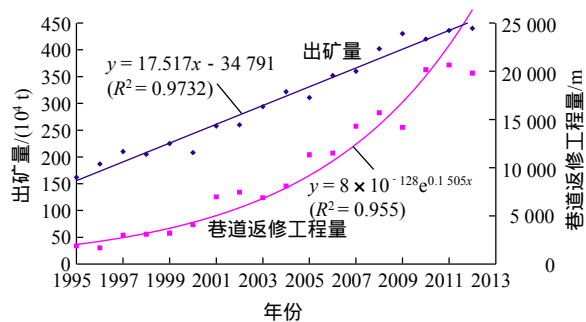


图3 巷道返修工程量与出矿量

Fig.3 The amount of road tunnel repairing work and the ore production in tonnage

2.4 大体积充填体变形

金川二矿区大体积充填体存在较为明显的宏观变形和破坏现象，通过现场调查，大体积充填体变形主要体现在以下几个方面：(1) 大体积充填体内预设的回风巷道变形、破坏明显。(2) 几乎所有调

查的大体积充填体内预设的回风巷道都产生了明显的下沉，与其对接的穿脉巷道之间有超过 1 000 mm 的下沉，如图 4 所示。(3) 采场进路的顶板充填体沉降变形明显，时有较大变形和垮落现象发生。



图 4 1 200 m 充填回风巷变形照片

Fig.4 The photo of deformation of back-blow airway in backfill at 1 200 m level

3 大体积充填体作用与变形机制

3.1 大体积充填体作用机制

充填体作为一种充入采空区中的人工构筑物，具有支撑开挖空区周边围岩体、限制围岩体变形，从而控制地压的作用。充填体在采后充入采空区，在时间上存在滞后性，另外，充填体自身还存在一定量的变形，因此，充填体不可能完全阻止围岩体变形，导致围岩体向开挖区域产生移动变形。

需要特别指出的是，金川二矿区 1 150 m 水平矿柱也具有支撑上下盘围岩体，限制围岩体变形，同时起到支撑上部大体积充填体的作用。由于近年来水平矿柱的开采导致其支撑作用逐渐消失，这种多年的共同作用将由大体积充填体承担。因此，大体积充填体的支撑作用效果以及稳定性问题，就显得尤为重要了。图 5 给出了开挖区大体积充填体、水平矿柱、上下盘围岩之间的相互关系。矿体的开挖诱发围岩体向采空区产生岩移，虽然充填体的充入可以有效地限制围岩的变形，但围岩体仍然存在一定程度的移动变形。

3.2 大体积充填体变形机制

二矿区大体积充填体是在多次充填中形成的，这决定了大体积充填体结构的复杂性：充填体作为一种人工介质具有非均质性和各向异性；同时，充填工艺导致的充填不接顶形成的空区、充填体交界面上的离层等形成的宏观空区。大体积充填体复杂

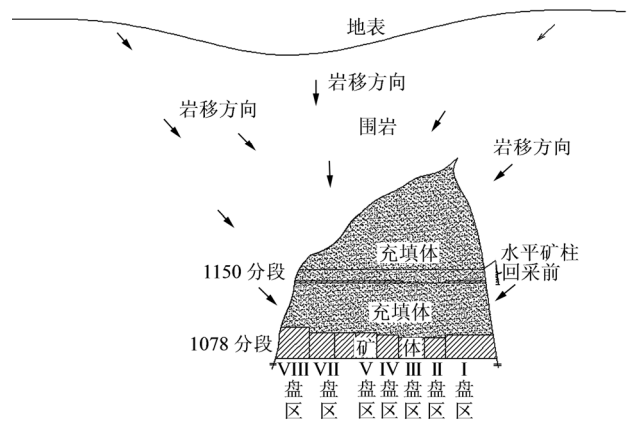


图 5 大体积充填体作用机制示意图

Fig.5 Diagram of action mechanism of bulky backfill

结构决定了其受力变形的复杂性。图 6 为大体积充填体变形机制示意图。

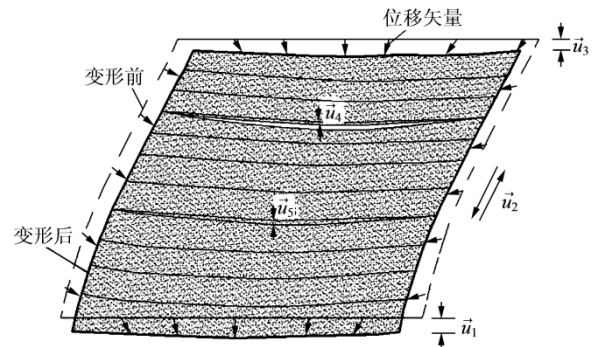


图 6 大体积充填体变形机制示意图

Fig.6 Diagram of deformation mechanism of bulky backfill

由于金川二矿区围岩体破碎、地应力大，在开采过程中，上部大体积充填体在自重应力和围岩应力共同作用下，与围岩体一起向下部开采区域产生整体移动，大体积充填体和围岩体的共同变形用 $\overset{I}{u}_1$ 表示。另外，大体积充填体作为一种采后充入采空区形成的介质，与周围岩体形成了接触面，在复杂的应力环境中，这种接触面上可能产生错动，即在接触面的切向产生变形不协调现象，这种错动变形用 $\overset{I}{u}_2$ 表示。大体积充填体作为一种复杂的人工结构，其自身变形比较复杂，总体上可分为自身的固结引起的压缩变形 $\overset{I}{u}_3$ ，不接顶空区压缩闭合变形 $\overset{I}{u}_4$ ，以及各个充填层界面之间的层间离层变形 $\overset{I}{u}_5$ 。

根据上述分析，充填体的变形总体上分为两大部分：一部分为充填体与围岩体共同下沉产生的变形、充填体与围岩体交界面上产生的错动变形，这两部分变形的矢量和统称为充填体整体变形 ΣU_1 ；

另一部分为大体积充填体自身变形量 ΣU_2 ，包括充填体的压缩变形、充填体不接顶空区的压密变形以及充填交界面上的离层变形。两部分变形用公式表示分别为

$$\Sigma U_1 = \overset{\text{I}}{u}_1 + \overset{\text{I}}{u}_2 \quad (1)$$

$$\Sigma U_2 = \overset{\text{I}}{u}_3 + \overset{\text{I}}{u}_4 + \overset{\text{I}}{u}_5 \quad (2)$$

$\Sigma U_1, \Sigma U_2$ 的和即为大体积充填体在综合作用影响下的综合变形量 ΣU ：

$$\Sigma U = \Sigma U_1 + \Sigma U_2 = \overset{\text{I}}{u}_1 + \overset{\text{I}}{u}_2 + \overset{\text{I}}{u}_3 + \overset{\text{I}}{u}_4 + \overset{\text{I}}{u}_5 \quad (3)$$

4 大体积充填体变形监测与分析

4.1 变形监测方案

通过上述变形机制可知，大体积充填体可能存在 5 种变形，大致分为 ΣU_1 和 ΣU_2 两大部分。根据井下现场实际监测条件，对大体积充填体的综合变形量 ΣU 和充填体的自身变形量 ΣU_2 进行监测。

考虑到目前二矿区的巷道工程、大体积充填体中现有通道的可利用性，选择 1 150 m 水平与 1 200 m 水平之间的充填体作为监测对象，并监测 1 200 m 水平 III 盘区的 17 川和 IV 盘区的 16 川 2 条回风巷道和其中的 3 个回风井的变形。大体积充填体综合变形量测量采用水准仪监测，大体积充填体自身变形则是通过测量 50 m 厚充填体之间的相对变形来反映充填体的自身变形。测点位置平面图和位置情况如图 7 和表 1 所示，图中，8，10 等指行线编号。

4.2 监测手段

结合矿山现有的测量手段和设备、生产中允许的条件等，对大体积充填体综合下沉量采用水准仪

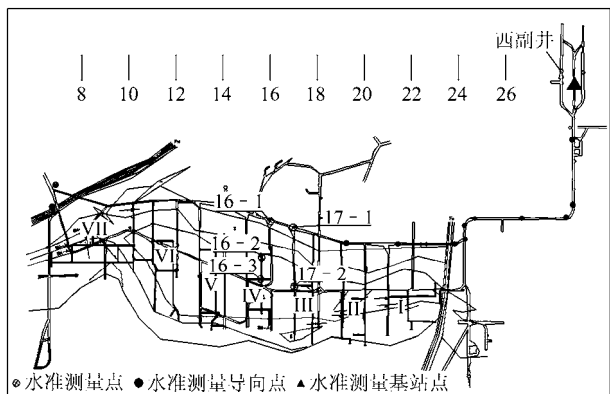


图 7 大体积充填体变形测量点位置平面图

Fig.7 The positions of deformation measurement point of bulky backfill

测点编号	位置情况	回采情况	测量方式
17-1	III 盘区，下盘脉外运输巷顶板	1 200 ~ 1 150 m 水平范围 III 盘区已回采结束	水准测量
17-2	III 盘区，靠近矿体厚度和走向方向的中间位置	1 200 ~ 1 150 m 水平范围 III 盘区已回采结束	水准测量 自制位移计测量
16-1	IV 盘区，下盘脉外运输巷顶板	正在回采 1 154 m 分层	水准测量
16-2	IV 盘区，靠近矿体走向方向的中间位置，靠近矿体下盘与围岩交界处	正在回采 1 154 m 分层	水准测量 自制位移计测量
16-3	IV 盘区，靠近矿体厚度和走向方向的中间位置	正在回采 1 154 m 分层	水准测量 自制位移计测量

监测。在围岩岩移影响线外的西副井附近设立测量用的基站点，如图 7 所示。每次测量时利用导向点从基站点开始往测量点测量。

中段高度达到 50 m 的大体积充填体自身变形监测在国际上没有先例，也没有适合的监测仪器，现有的多点位移计不能满足现场要求。因此，笔者根据矿山监测环境和实际监测需要自行开发了一种位移计装置，图 8 为其结构示意图。位移计由以下几个方面组成：

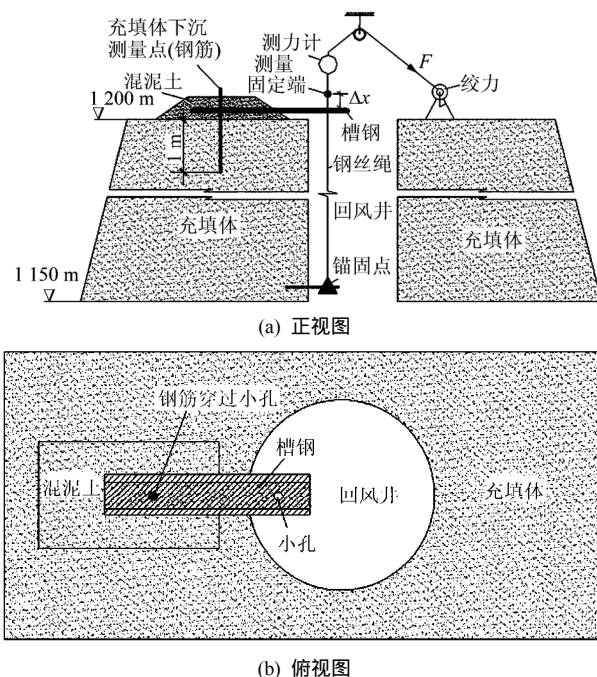


图 8 大体积充填体变形监测结构示意图

Fig.8 Diagram of deformation monitoring structure for bulky backfill

(1) 锚固点：锚固点是用来固定下部测量点的，安装时在测量点处埋设一根锚杆，再将锚固点固定在锚杆上。

(2) 钢丝绳：用来传递位移。

(3) 槽钢：作为相对变形监测的上部测量点，并起到测量平台的作用。

(4) 测量固定端：槽钢处测点和锚固点之间的变形，通过钢丝绳的传递，可以利用测量固定端与槽钢之间的位移量 ΔX 来表示。

(5) 测力计：每次测量时保持一样的力，使钢丝绳张紧。

(6) 绞车：使钢丝绳在每次测量时保持张紧。

(7) 游标卡尺：使用 1 000 mm 大量程数显式游标卡尺，用来测量变形量，精度达到 0.01 mm。

4.3 监测数据分析与变形特性

4.3.1 监测与数据分析

(1) 监测计划

现场监测包含充填体综合变形监测和充填体自身相对变形监测两部分。充填体变形监测要进入大体积充填体的回风巷道工程内，污风、灰尘大，监测条件极差，人员进入困难，安全性较差；同时，大体积充填体的综合变形测量时的基准点远离回风井的相对测量点，测量时导向点多、工作量大。鉴于这些因素，每隔 2 个月同时测量一次相对变形和综合变形。近 1 a 的监测数据表明，这种监测计划是比较合适的，能够较好地满足对监测数据分析的要求。

(2) 监测数据整理与分析

测点安装完成后，以第一次测量值作为初始值。首次测量工作是从 2012 年 10 月份开始的，表 2 3 分别为测点综合变形量和相对变形量的监测数据。围岩中测点 16-1 和 17-1 的平均变形速率分别为 9 和 3 mm/月，累计下沉量分别为 72 和 20 mm；测点 16-2 的综合变形速率为 16 mm/月，累计综合变形量为 160 mm，相对变形速率为 1.953 mm/月；测点 16-3 的综合变形量和相对变形量最大，累计综合变形量达到 515 mm，平均综合变形速度为 51.44 mm/月，平均相对变形速率为 28.585/月；测点 17-2 累计综合变形量为 381 mm，平均综合变形速度为 38.1 mm/月，平均相对变形速率为 19.349 mm/月。图 9，10 分别为测点综合变形和相对变形随时间变化曲线。

表 2 测点综合变形量数据统计表

Table 2 Deformation data at measurement points

测点编号	监测时间	变形测量值/m	下沉量/mm	累计下沉量/mm	下沉速度/(mm·月 ⁻¹)	平均下沉速度/(mm·月 ⁻¹)
	201210	1203.250				
	201212	1203.229	21	21	10.5	
16-1	201302	1203.226	3	24	1.5	9.0
	201304	1203.201	25	49	12.5	
	201306	1203.178	23	72	11.5	
	201210	1198.582				
	201212	1198.569	13	13	6.5	
16-2	201302	1198.535	34	47	17.0	16.0
	201304	1198.502	33	80	16.5	
	201306	1198.450	52	132	26.0	
	201308	1198.422	28	160	14.0	
	201210	1197.335				
	201212	1197.245	90	90	45.0	
16-3	201302	1197.136	109	199	54.5	51.5
	201304	1197.032	104	303	52.0	
	201306	1196.912	120	423	60.0	
	201308	1196.820	92	515	46.0	
	201210	1203.482				
	201212	1203.473	9	9	4.5	
17-1	201302	1203.477	-4	5	2.5	3.1
	201304	1203.478	-1	4	0.5	
	201306	1203.468	10	14	5.0	
	201308	1203.462	6	20	3.0	
	201210	1197.508				
	201212	1197.423	85	85	42.5	
17-2	201302	1197.358	65	150	32.5	38.1
	201304	1197.280	78	228	39.0	
	201306	1197.188	92	320	46.0	
	201308	1197.127	61	381	30.5	

4.3.2 大体积充填体变形特性

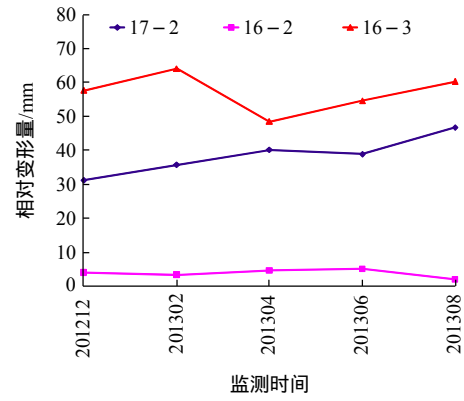
(1) 大体积充填综合变形特征

从大体积充填体综合变形监测结果可以看出，大体积充填体整体下沉明显，各测点间的下沉量有所不同，平均下沉速率达到 16.00 ~ 51.44 mm/月，在 10 个月的监测时期内，测点中最大累计下沉量达到 515 mm。这说明大体积充填体在综合作用影响下存在较大的下沉变形，对比地表岩体岩移速度 (8.3 ~ 14.2 mm/月^[9])，井下大体积充填体下沉速度明显大于地表。

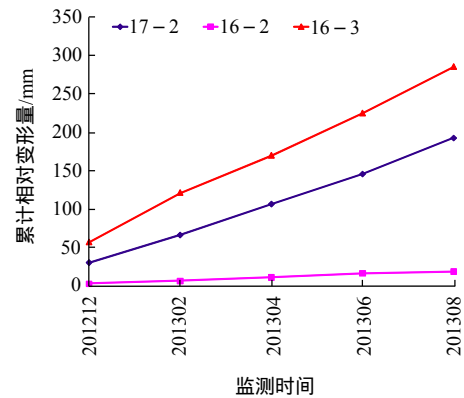
表 3 测点相对变形量数据统计表

Table 3 Relative deformation data at measurement points

测点编号	监测时间	变形测量值/mm	相对变形量/mm	累计相对变形量/mm	相对变形速度/(mm·月 ⁻¹)	平均变形速率/(mm·月 ⁻¹)
17-2	201210	218.72				19.349
	201212	187.36	31.36	31.36	15.680	
	201302	151.47	35.89	67.25	17.945	
	201304	111.15	40.32	107.57	20.160	
	201306	72.12	39.03	146.60	19.515	
16-2	201308	25.23	46.89	193.49	23.445	1.953
	201210	201.82				
	201212	197.73	4.09	4.09	2.045	
	201302	194.27	3.46	7.55	1.730	
	201304	189.56	4.71	12.26	2.355	
16-3	201306	184.34	5.22	17.48	2.610	28.585
	201308	182.29	2.05	19.53	1.025	
	201210	236.45				
	201212	178.64	57.81	57.81	28.905	
	201302	114.41	64.23	122.04	32.115	
16-3	201304	65.74	48.67	170.71	24.335	28.585
	201306	11.00	54.74	225.45	27.370	
	201308	194.46	60.40	285.85	30.200	



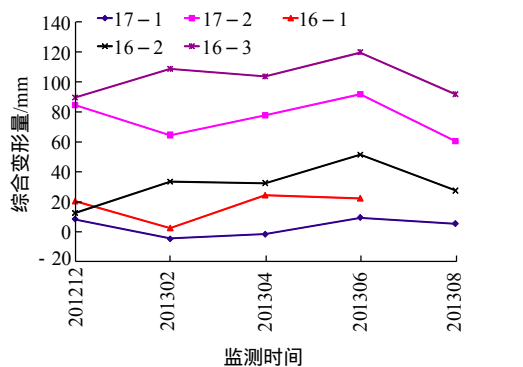
(a) 相对变形量



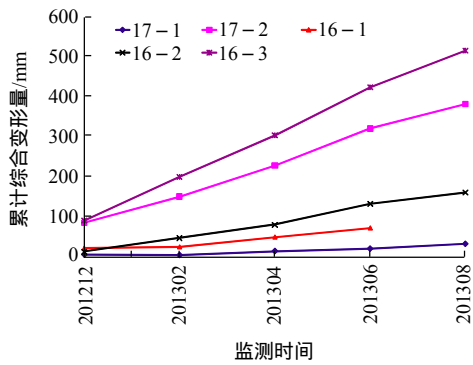
(b) 累计相对变形量

图 10 测点相对变形随时间变化曲线

Fig.10 Curves of relative deformations of measurement points versus time



(a) 综合变形量



(b) 累计综合变形量

图 9 测点综合变形随时间变化曲线

Fig.9 Change curves of total deformations of measurement points with time

大体积充填体存在的下沉变形是导致二矿区出现较大范围岩移的主要原因之一，1 150 m 水平矿柱的回采是否加剧大体积充填体的变形、甚至出现突变失稳，因此，大体积充填体下沉变形趋势是矿区技术人员关注的关键问题。图 11 为测点累计综合下沉量拟合曲线，从拟合结果可知，测点 16-2，16-3 和 17-2 的拟合结果分别为

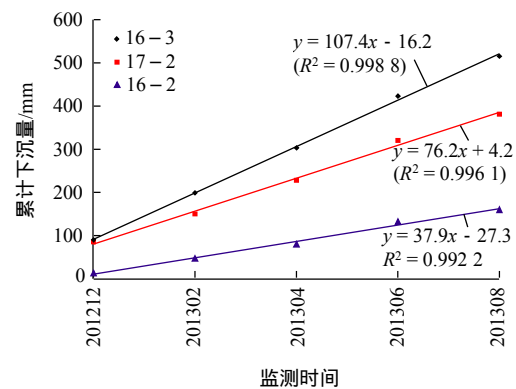


图 11 测点累计下沉变形拟合曲线

Fig.11 Fitting curves of accumulated total deformation

$$\left. \begin{aligned} y &= 37.9x - 27.3 \\ y &= 107.4x - 16.2 \\ y &= 76.2x + 4.2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

拟合度 R^2 均大于 0.99，这说明 3 个测点下沉趋势均为线性变化，且拟合度非常高。拟合结果表明，在监测时间范围内大体积充填体以稳定的速率下沉变形，并没有出现突变失稳。

另外，拟合直线的斜率大小意味着测点综合下沉变形速率大小，从拟合结果可以看出，测点 16-2 的下沉速率明显小于充填体内的其他测点，测点 16-3 和 17-2 的综合下沉变形速率是测点 16-2 的 2~3 倍。从测点 16-2 的实际位置来看，它处在矿体下盘与围岩体的交界处附近，这说明下盘位置的充填体下沉速度比其他位置慢，这和地表沉降区的分布特征(上盘沉降区大，下盘沉降区小，上盘大致为下盘的 2~3 倍)相吻合。

(2) 大体积充填体自身变形特征

根据测点相对变形测量结果，测点均存在一定的相对变形，其中相对变形速率为 1.953 ~ 28.585 mm/月。由此可见，大体积充填体自身存在较大的变形，大体积充填体自身变形是导致二矿区大范围岩移的一个不能忽视的原因之一。图 12 为测点累计相对变形拟合结果，可以看出，测点 16-2，16-3 和 17-2 的累计相对变形拟合结果分别为

$$\left. \begin{aligned} y &= 4.081x - 0.061 \\ y &= 55.949x + 4.525 \\ y &= 40.361x - 11.829 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

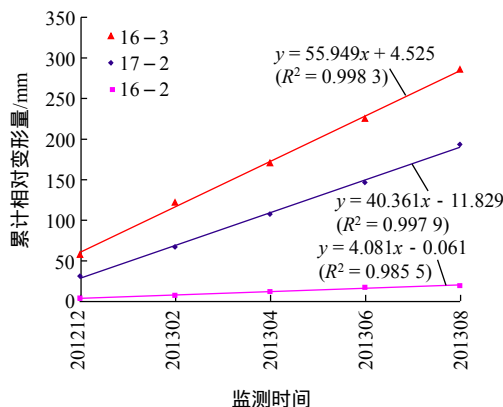


图 12 测点累计相对变形量拟合结果

Fig.12 Fitting results of accumulated relative deformation

3 个拟合公式的拟合度都大于 0.98，结果表明，3 个测点相对变形趋势均为线性变化。测点 16-3

相对变形速率比 17-2 稍大，测点 16-2 远小于其他 2 个测点，测点 16-2 位于矿体与围岩体的交界处附近，这说明在沿矿体厚度方向上，中间位置的充填体自身变形速率比边缘处要大。

(3) 围岩体采动影响下变形特征

根据表 2 和 3 的监测结果可知，测点 16-1 和 17-1 平均变形速率分别为 3.1 和 9.0 mm/月，这两个值是 1 200 m 水平 16 川和 17 川脉外运输巷处围岩的变形速率，即为采动影响下该点处的变形速率。图 13 为测点 16-1 和 17-1 变形拟合曲线。拟合结果表明，2 个测点变形趋势呈二次多项式关系，也就是说在采动影响下，围岩体变形趋势呈非线性关系。与大体积充填体综合变形发展趋势相比，与围岩共同变形趋势并不是线性关系，这是因为采动影响是由多个因数控制，比如进路开挖位置、开挖时间和充填时间等。

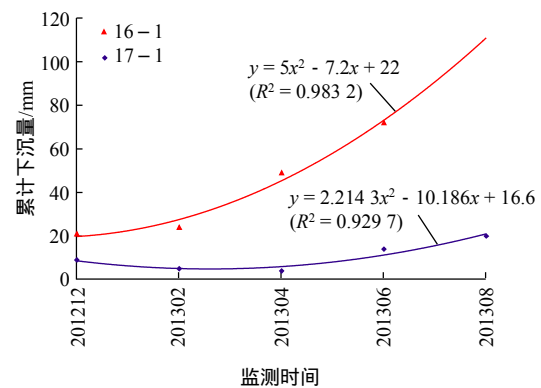


图 13 测点 16-1 和 17-1 变形拟合结果

Fig.13 Deformation fitting results at measurement points 16-1 and 17-1

(4) 水平矿柱开采对大体积充填体变形的影响

由监测结果可知，III 盘区测点 17-2 的综合变形量和相对变形量都明显小于处在 IV 盘区测点 16-3 的测量结果。III 盘区在监测前已经完成了水平矿柱的回采，IV 盘区在监测过程中正在回采最后一分层，图 14 为测点 16-3 和 17-2 的位置纵剖面图，图 15 为测点 16-3 和 17-2 测量结果。由此可知，处于回采位置上方的充填体下沉速度比处在已经完成回采位置上方充填体下沉速度明显更快，这说明大体积充填体下部回采给充填体下沉变形提供了自由空间，下方回采加速了大体积充填体的变形速率。III 盘区所在水平矿柱回采结束后，上方充填体并没有出现加速下沉，这说明水平矿柱回采后，

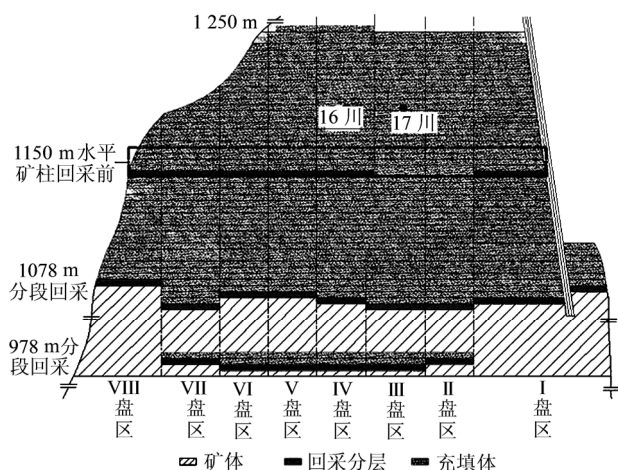


图 14 水平矿柱回采情况与测点位置纵剖面图

Fig.14 The situation of pillar mining and longitudinal plan of measurement points

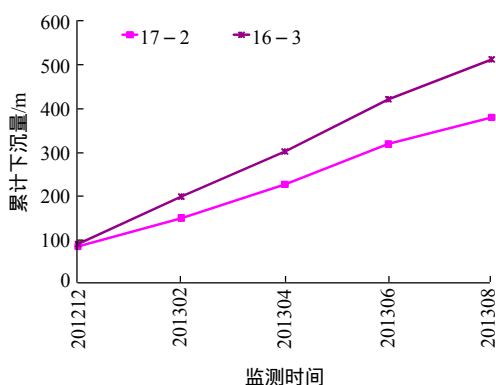


图 15 测点 17-2 和 16-3 测量结果

Fig.15 Measuring results at points 17-2 and 16-3

大体积充填体的稳定性并没有出现突变情况，但是目前水平矿柱整体还没有完全回采结束，对大体积充填体的变形还需要继续监测。

5 结论

(1) 通过对大体积充填体的作用机制和变形机制分析，将大体积充填体变形归纳为大体积充填体的相对变形和与整体变形两大部分组成，为实际工程中对充填体的变形监测提供了依据。

(2) 采用自制的装置和水准仪监测相结合，首次对金川二矿区大体积充填体综合下沉变形和高达 50 m 的充填体自身变形进行了监测，通过自行研制的装置解决了 50 m 高大体积充填体自身变形难以监测的难题。

(3) 大体积充填体在综合作用影响下以明显的速度整体下沉变形，平均下沉速率达到 16.00 ~

51.44 mm/月。同时充填体自身也存在变形，平均变形速率为 1.953 ~ 28.585 mm/月。从目前监测数据的变化趋势来看，大体积充填体的变形呈线性增加，并没有出现突变现象。

(4) 处于回采位置上方的充填体下沉速度比处在已经完成回采位置上方充填体下沉速度明显更快，III 盘区所在水平矿柱回采结束后，上方充填体并没有出现加速下沉，这初步说明水平矿柱回采后，大体积充填体的稳定性并没有出现突变情况。矿体下盘位置的充填体下沉速度比其他位置慢，其他测点的绝对下沉量是下盘位置的 2 ~ 3 倍。

(5) 监测数据已经表明了大体积充填体具有显著变形的特点，并且变形还以线性特性增长。同时，1 150 m 水平矿柱目前还没有完全回采结束，水平矿柱回采结束后，水平矿柱上部 and 下部充填体将形成一个整体，对井下和地表的构(建)筑物可能产生更大的破坏性影响。因此，针对大体积充填体的变形监测要进一步持续下去，预防大面积灾难性事故的发生。

参考文献(References) :

- [1] 金川有色金属公司,长沙矿山研究院. 金川二矿区一号矿体下向胶结充填大面积充填体作用机制试验研究[R]. 长沙:长沙矿山研究院,1990.(Jinchuan Non-ferrous Metals Company, Changsha Institute of Mining Research. Experiment study on action mechanism of bulky backfill by using downward strip cut and backfill stopping method of No.1 ore body in Jinchuan No.2 mine area[R]. Changsha: Changsha Institute of Mining Research, 1990.(in Chinese))
- [2] 高建科,杨长祥. 金川二矿区深部采场围岩与充填体变形规律预测[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(增2):2 625-2 632.(GAO Jianke, YANG Changxiang. Deformation rule of wall rock and filling in deep stope in deposit 2 of Jinchuan[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(Supp.2): 2 625-2 632.(in Chinese))
- [3] 常忠义,张鸿恩. 不留矿柱下向大面积胶结充填体的地压控制效果[J]. 岩石力学与工程学报,1996,15(2):128-134.(CHANG Zhongyi, ZHANG Hong'en. Effects on controlling ground pressure with continuous downward consolidated backfilling and without pillars[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1996, 15(2): 128-134.(in Chinese))
- [4] 长沙矿山研究院,金川有色金属公司. 金川二矿区采场地压与监测技术研究[R]. 长沙:长沙矿山研究院,1998.(Changsha Institute of Mining Research, Jinchuan Non-ferrous Metals Company. Stope ground pressure and monitoring technology research in Jinchuan No.2

- mine area[R]. Changsha : Changsha Institute of Mining Research , 1998.(in Chinese)
- [5] TESARIK D R ,SEYMOUR J B ,VICKERY J D. Instrumentation and modeling of the Cannon Mine's B-North orebody[C]// Proceedings of the 4th International Symposium on Mining with Backfill. Montreal : A. A. Balkema , 1989 : 119 – 128.
- [6] 马崇武,慕青松,徐有基,等. 金川二矿区 1 150 m 中段水平矿柱的屈服破坏过程[J]. 岩土工程学报, 2005, 30(3) : 361 – 365.(MA Chongwu , MU Qingsong , XU Yongji , et al. Yield process of the 1150-m horizontal jamb in Jinchuan No.2 mine area[J]. Chinese Journal of Geotechnical and Engineering , 2005 , 30(3) : 361 – 365.(in Chinese))
- [7] 韩斌,姜立春,唐小超,等. 深部高应力动态环境下水平矿柱开采稳定性研究[J]. 金属矿山, 2004, 33(8) : 9 – 12.(HANG Bin , JIANG Lichun ,TANG Xiaochao ,et al. Study on stability of horizontal pillars in mining in deep high stress dynamic environment[J]. Metal Mine , 2004 , 33(8) : 9 – 12.(in Chinese))
- [8] 侯哲生,李 晓. 金川二矿区水平矿层几何非稳定性分析的突变模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(增 1) : 2 868 – 2 871.(HOU Zhesheng , LI Xiao. Catastrophe model for analysis of geometrical instability of horizontal ore layer of mine zone No.2 Jinchuan nickel mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering , 2007 , 26(Supp.1) : 2 868 – 2 871.(in Chinese))
- [9] 赵海军,马凤山,丁得民,等. 急倾斜矿体开采岩体移动规律与变形机制[J]. 中南大学学报 : 自然科学版, 2009, 40(5) : 1 423 – 1 429.(ZHAO Haijun , MA Fengshan , DING Demin , et al. Law of ground movement and its deformation mechanism induced by mining steep deposit[J]. Journal of Central South University : Science and Technology , 2009 , 40(5) : 1 423 – 1 429.(in Chinese))
- [10] 马凤山,袁仁茂,邓清海,等. 金川矿山地表岩移 GPS 监测及岩体采动影响规律[J]. 工程地质学报, 2007, 15(增 2) : 84 – 97.(MA Fengshan ,YUAN Renmao ,DENG Qinghai ,et al. GPS monitoring of ground movement and mechanism of underground mining influence in Jinchuan mine[J]. Journal of Engineering Geology ,2007 ,15(Supp.2) : 84 – 97.(in Chinese))
- [11] 李 晓,路世豹,廖秋林,等. 充填开采引起的地裂缝分布特征与现场监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(7) : 1 361 – 1 369. (LI Xiao ,LU Shibao ,LIAO Qiulin , et al. Distribution characteristics and field monitoring of ground fissures caused by backfill mining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering , 2006 , 25(7) : 1 361 – 1 369.(in Chinese))
- [12] 刘增辉,高 谦,许风光,等. 基于光纤技术的井筒围岩稳定性实时监测系统[J]. 沈阳工业大学学报, 2013, 35(2) : 230 – 235.(LIU Zenghui , GAO Qian , XU Fengguang , et al. Real-time monitoring system for stability of shaft surrounding rock based on optical fiber technology[J]. Journal of Shenyang University of Technology , 2013 , 35(2) : 230 – 235.(in Chinese))
- [13] 彭府华,王 虎,李庶林,等. 金川二矿区大范围地压监测方案及初步成果分析[J]. 金属矿山, 2013, 42(4) : 15 – 18.(PENG Fuhua , WANG Hu , LI Shulin , et al. Wide range of pressure monitoring scheme and preliminary analysis in Jinchuan No.2 mine area[J]. Metal Mine , 2013 , 42(4) : 15 – 18.(in Chinese))
- [14] 金川有色金属公司,中国岩石力学与工程学会金川分会. 金川镍矿开采的工程地质与岩石力学问题[R]. 金昌 : 金川有色金属公司, 1996.(Jinchuan Non-ferrous Metals Company , Jinchuan Branch of Chinese Society for Rock Mechanics and Engineering. Engineering geology and rock mechanics problems of mining in Jinchuan[R]. Jinchang : Jinchuan Non-ferrous Metals Company , 1996.(in Chinese))