

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.01.11

山东平邑“12·25”石膏矿坍塌事故 救灾中的水文地质保障

常允新¹, 徐希强², 王振涛¹, 杨培杰¹, 刘洪亮¹, 张永伟¹

(1. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014; 2. 山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276006)

摘要: 在山东平邑“12·25”石膏矿坍塌事故搜救过程中, 为保证搜救人员和被困矿工免受水害, 开展了水文地质应急调查, 发现了新的充水水源和充水通道, 通过高频率水位动态监测, 准确确定了不同充水通道的渗漏状态。在此基础上, 采取突水事故预警、充水水源疏干降压、采空区积水排放、封堵涌水通道(4号竖井)等针对性措施, 保证了井下被困矿工和搜救人员免遭水害, 幸存矿工在井下被困36天后经大口径钻孔成功提升获救。

关键词: 石膏矿; 坍塌; 水害防治; 救援; 突水预警

中图分类号: P642.21

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)01-0067-05

Hydrogeological support for the disaster relief of the “12·25” gypsum mine collapse in Shandong, Pingyi

CHANG Yunxin¹, XU Xiqiang², WANG Zhentao¹, YANG Peijie¹, LIU Hongliang¹, ZHANG Yongwei¹

(1. Shandong Provincial General Station of Geo-environmental Monitoring, Ji'nan, Shandong 250014, China;
2. The 7th Institute of Geology & Mineral Exploration of Shandong Province, Linyi, Shandong 276006, China)

Abstract: Hydro-geological emergency investigation are carried out to enhance security for rescue workers and trapped miners in the search and rescue process of gypsum mine “12·25” collapse accident in Shandong Pingyi. We discover 3 places filled with water, such as fracture karst water in roof water-resisting layer, water in adjacent caves and karst water in collapsing shafts, and identify exactly the 3 different leakage situations by high frequency water level dynamic monitoring. Effective measures are carried out to help rescue work, such as gushing accident warning, drying and decompression in space filled with water, draining water in caves and sealing waterway (No. 4 shaft), etc. Surviving miners trapped in the underground for 36 days are rescued successfully by large diameter drilling.

Keywords: gypsum mine; collapse accident; water damage prevention; rescue; early warning of water inrush

0 前言

2015年12月25日, 山东平邑玉荣石膏矿发生坍塌事故, 采空区和巷道大面积坍塌, 多人被困井下。通过生命探测钻孔在4号竖井东侧附近巷道、2号生命探测孔发现四名幸存者, 随即通过巷道和地面大口径人员提升钻孔展开救援。救援过程中开展水文地质应

急调查^[1-2], 发现坍塌事故引发了三类新的充水水源: 井下坍塌导致采空区顶板以上隔水层产生沉陷裂隙, 连通上部灰岩岩溶裂隙水^[3]; 4号竖井岩溶含水层段井壁注浆隔水层破坏导致岩溶水溃入井筒进入巷道; 南部相邻闭坑矿山老空水因矿柱挡水墙坍塌渗漏进入玉荣矿采空区。以上三类充水水源严重威胁井下搜救人员和待救矿工的生命安全^[4]。在此情况下, 通过水

收稿日期: 2017-01-04; 修订日期: 2017-02-27

第一作者: 常允新(1964-), 男, 山东荣成人, 二级研究员, 山东省政府应急管理专家组成员, 山东省减灾委员会专家委员会委员, 主要从事环境地质、地质灾害研究工作。E-mail: Changyunxinsd@163.com

位动态监测、疏干排水、封堵井筒等措施,预警突水灾害,控制井下积水水位,确保井下搜救人员不受二次伤害,保护被困矿工安全待救,为救援成功提供决策依据、争取宝贵时间。

1 地质背景

1.1 区域地理、地质背景

玉荣石膏矿位于平邑县保太镇东南 3.5 km 的万庄村与德埠村之间,地处泗水-平邑-费县断陷盆地中部。盆地南为尼山-四海山单斜山脉,向东北至蒙山断裂与蒙山山脉相接。区域地势南、北高中部低,西高东低,受地势控制,浚河由盆地北部沿地势由北而南经矿区西侧流过,汇入沭河。区域地层自南向北依次分布有太古界泰山群,古生界寒武、奥陶系,新生界古近系官庄群下桥组、常路组,第四系临沂组。工作区内主要分布第四系临沂组和古近系官庄群下桥组(图 1)。

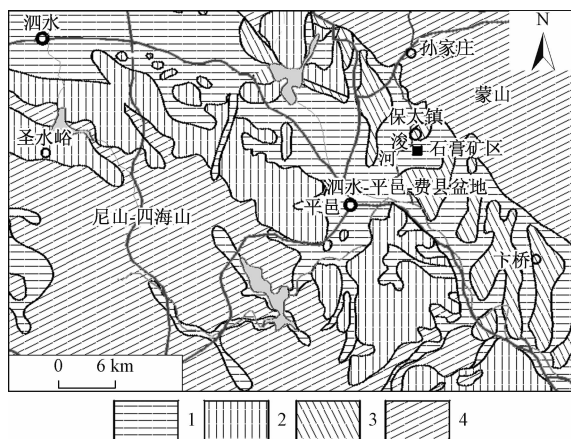


图 1 玉荣石膏矿区区域地理、地质略图

Fig.1 Yurong gypsum mine geographic and geological map

1—第四系;2—寒武、奥陶系;3—古近系;4—太古界泰山群。

1.2 矿区水文地质及采空区赋存特征

矿区自上而下依次分布第四系松散岩类孔隙含水岩组,古近系官庄群下桥组三段膏上灰岩带裂隙岩溶含水岩组和下桥组二段含膏岩带泥岩、砂岩隔水岩组。

1.2.1 第四系松散岩类孔隙水含水岩组

分布于矿区北部,岩性为黏土质砂及砂质黏土层,厚度 0.5 ~ 13 m,主要接受大气降水补给,水位埋深 1.52 ~ 5.50 m,单位涌水量小于 500 m³/d。

1.2.2 下桥组三段膏上灰岩带裂隙岩溶含水岩组

在矿区南部出露,北部被第四系覆盖,岩性为灰-暗灰色中厚层灰岩,为较深湖相沉积,厚度 55 ~ 165 m。

岩溶发育,有利于接受大气降水和孔隙水补给。岩溶发育标高 +20 ~ -10 m,溶洞揭露最大高度 0.10 m,岩溶发育不均匀,富水性差异较大,单位涌水量 500 ~ 2 000 m³/d,局部 3 000 m³/d。

1.2.3 下桥组二段含膏岩带泥岩、砂岩隔水岩组

石灰岩岩溶裂隙含水层之下,到石膏开采层之间为厚度 90 ~ 130 m 的隔水层。岩性为红褐色、灰黄色、紫灰色含膏泥岩、砂岩、泥灰岩,呈互层或夹层状产出(图 2),由于泥岩致密,砂岩及膏质泥岩胶结较好,裂隙不发育,含水性、透水性差,隔水效果良好。

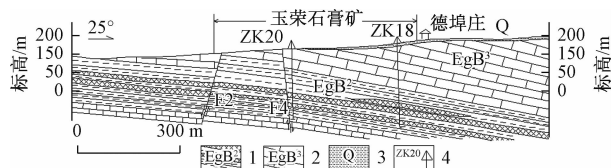


图 2 玉荣石膏矿地质剖面图

Fig.2 Geological profile of Yurong gypsum mine area

1—下桥组二段(含膏泥岩、砂岩);2—下桥组三段(膏上灰岩);3—第四系黏土质砂;4—钻孔及编号。

1.2.4 矿层及采空区赋存特征

矿体厚度 20 m,全区稳定,倾向 290° ~ 310°,倾角 14° ~ 23°。采矿方法为房柱式开采,采高 10 m,采 8 留 7,顶底板留矿,护顶层约 1.5 m,采空区埋深自南向北由 180 m 增加到 325 m。

2 矿难前后水文地质分析与预测

2.1 矿难发生前正常生产状态下充水水源及涌水量

正常生产状态下矿山没有直接充水水源,间接充水水源为第四系松散岩类孔隙水、膏上灰岩带石灰岩岩溶裂隙水和矿山南部的达玉、富饶庄矿等闭坑矿山的老空水。由于矿带为非含水层,矿层以上有含膏岩带 100 m 左右的砂岩、泥岩隔水层,阻止上部灰岩裂隙岩溶水、第四系孔隙水的补给;各竖井均采取了帷幕灌浆、井壁水泥封堵等堵水措施,阻止了膏上灰岩带岩溶水通过竖井井壁的渗漏补给。玉荣矿与南部达玉、富饶庄等闭坑矿山老空水之间留设有矿柱挡水墙,局部还做过注浆处理(图 3),阻水效果好,所以正常生产条件下矿井涌水量较小,矿井实际平均涌水量为 12 m³/d,最大涌水量为 23 m³/d。

2.2 矿难发生后水文地质条件变化及充水水源

矿难发生后,井下坍塌使矿区水文地质条件发生剧烈变化,产生以下 3 类充水水源。

2.2.1 膏上灰岩带泥质灰岩岩溶裂隙水

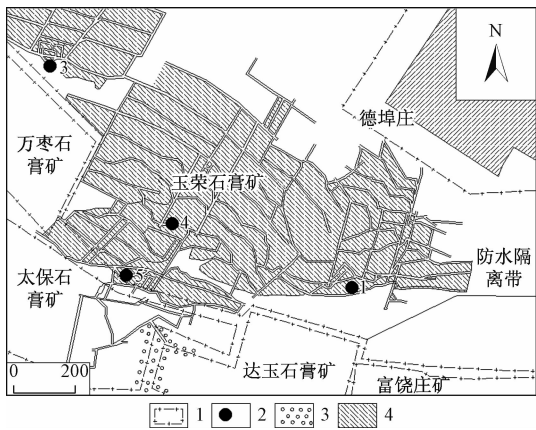


图 3 玉荣石膏矿周边矿山分布图

Fig. 3 Distribution of Yurong gypsum mine

1—矿界;2—竖井及编号;3—注浆堵水带;4—采空区。

矿难发生后,矿区上部岩溶水水位持续下降,2015 年 12 月 30 日至 2016 年 1 月 26 日,水位下降 6.89 m,下降速率稳定在 25.5 cm/d 左右(图 4)。岩溶水形成较大范围水位降落漏斗,漏斗中心位于矿区采空区(图 5)。分析认为,井下巷道和采空区发生坍塌,顶板以上隔水层结构受到破坏,冒落裂隙发育,并向上延伸到地面发生塌陷、裂缝^[5],砂岩、泥岩的隔水作用受到破坏,导致膏上灰岩带岩溶水沿裂隙进入井下,构成充水水源。

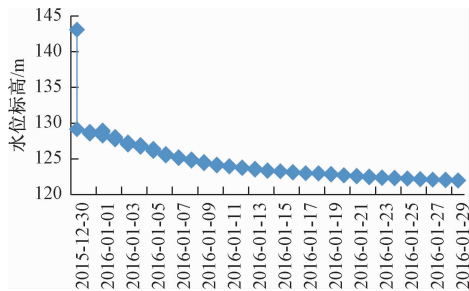


图 4 矿区膏上灰岩带岩溶水水位动态曲线图

Fig. 4 The dynamic curve of karst water level in the limestone belt in the mining area

2.2.2 闭坑矿山老空水

该矿南部相邻的达玉等闭坑矿山老空区水位标高 144 m,被困矿工所在巷道标高 -60 m,两者高差 204 m,水头压力较大。2015 年 12 月 29 日至 2016 年 1 月 26 日,老空水水位下降 5.34 m,下降速率稳定在 19 cm/d 左右(图 6)。说明坍塌事故导致两矿之间矿柱挡水墙破坏,老空水渗漏进入该矿,构成充水水源。

2.2.3 四号竖井井壁涌水

现场调查发现,坍塌导致 4 号竖井井壁注浆隔水层破坏,形成膏上灰岩带岩溶水涌水通道,岩溶水经井

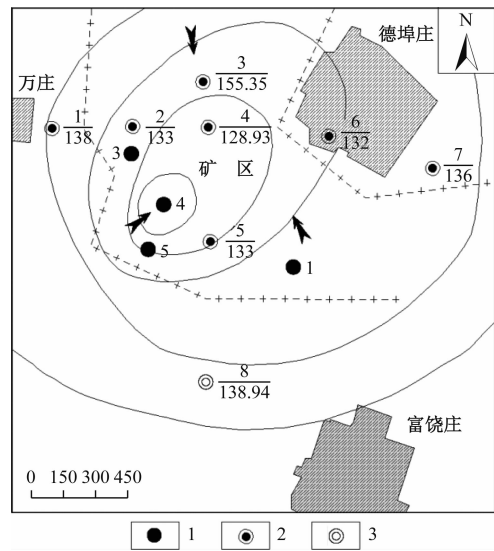


图 5 万庄—德埠庄地区岩溶水等水位线图(2015.12.30)

Fig. 5 The contour map of the karst water in the area of Wanzhuang Debuzhuang area (2015.12.30)

1—竖井及编号;2—岩溶水监测孔 · $\frac{\text{编号}}{\text{水位高程}}$;

3—老空水监测孔 · $\frac{\text{编号}}{\text{水位高程}}$ 。

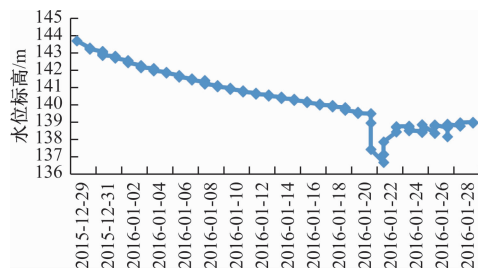


图 6 矿区南部老空水水位动态曲线图

Fig. 6 The dynamic curve of the old water level in the southe of the mining area

壁泻入竖井。由于井壁坍塌,井内坍塌堆积物厚达 80 m,顶部埋深 140 m,坍塌堆积物对井筒积水下渗进入巷道产生阻隔作用,形成泥水混合物经竖井底部马头门蠕动径流到 2 号生命探测孔,厚度达到 1.4 m,待救矿工数天无法接近 2 号生命探测孔(图 7、图 8),无法获得生存保障物资。

3 应对措施与成效

3.1 南部闭坑矿山老空水应对措施

矿难发生后,首先采取的救援措施是试图打通巷道,搜救被困矿工,搜救期间的水害风险之一是南侧闭坑矿山老空水矿柱挡水墙坍塌引发突水(图 3),严重威胁井下搜救人员和待救矿工。

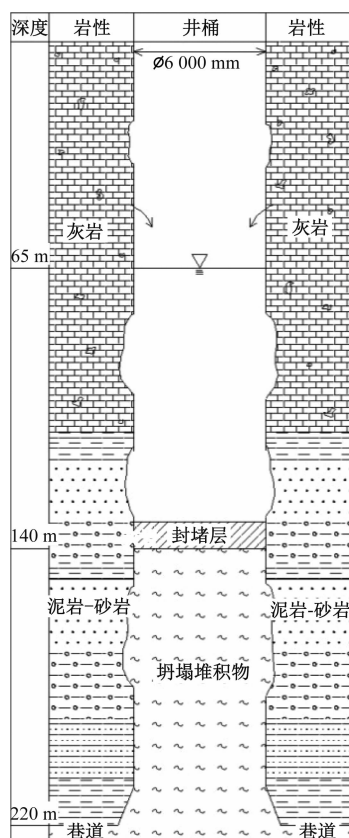


图 7 4 号竖井封堵结构图

Fig.7 4 shaft sealing structure

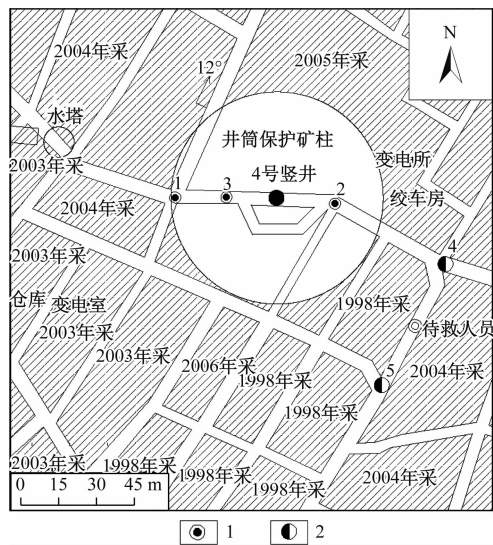


图 8 救援钻孔分布图

Fig. 8 Relief borehole distribution map

1—生命探测孔;2—人员提升孔。

防止老空水突水的措施是对老空水水位进行监测,通过水位降幅和水位下降速率分析渗漏强度,间接分析矿柱挡水墙的坍塌破坏程度及变化趋势,研判发生突水的可能性,及时发出预警。巷道搜救期间设定

5 min 水位监测频率,适时计算小时水位变幅、小时变化速率,统计 24 h 水位变幅、水位变化速率。连续监测数据显示,老空水水位 24 h 下降速率 19~40 cm/d,小时下降速率为 0.8~1.0 cm/h,5 min 下降速率保持稳定(图 6),研判矿柱挡水墙相对稳定,老空水处于稳定缓慢渗漏状态。在此基础上,对老空水进行疏干排放,降低矿柱挡水墙的压力,降低突水风险。

3.2 膏上灰岩带泥质灰岩岩溶裂隙水应对措施

由于巷道坍塌严重,且坍塌持续发生,巷道搜救可行性逐步降低,巷道搜救后期开始考虑同步开展大口径人员提升钻孔救援,救援方针的改变,预示救援时间将会延长,面临新的问题是矿区上部岩溶水通过顶板以上的沉陷、坍塌裂隙和4号竖井井壁大量进入采空区,采空区长时间积水、水位持续上升甚至发生突水,威胁待救矿工,为克服水害采取以下措施。

3.2.1 水位监测预警

对岩溶水水位进行高频率监测,最高频率为每 5 min 监测一次,及时掌握岩溶水水位动态特征和水面形态特征,适时分析突水风险。

3.2.2 疏干排放 4 号竖井岩溶水

4 号竖井井壁坍塌,注浆隔水层被破坏,岩溶水大量汇集井内,由于井内底部堆积有 80 m 的坍塌堆积物,形成相对隔水层,阻止井筒积水下渗进入巷道,使该井形成了岩溶水积水井。为降低岩溶水水头压力,以减轻岩溶水的下渗补给量,对 4 号竖井进行疏干排水,疏干排水量 $100 \text{ m}^3/\text{h}$,将水位控制在灰岩底板水平,岩溶水形成了以 4 号竖井为中心的區域水位降落漏斗,有效减少井筒内岩溶水对采空区的下渗补给量,同时减轻附近大口径人员提升钻孔钻探、成井的止水压力。

3.2.3 封堵 4 号竖井

在持续疏干排水的情况下,4号井筒仍有积水通过80 m厚的坍塌堆积物以泥水混合物的形式渗漏进入巷道,威胁待救矿工安全。为此,在4号竖井坍塌堆积物顶部淤泥层中注入水玻璃和水泥浆混合物,混合物快速凝固,形成10 m厚的人工隔水层,阻止井筒上部岩溶水向下渗漏(图7)。堵水工程竣工后,井下被困矿工随即报告巷道渗水停止,泥水混合物减退,威胁消除,取得立竿见影的效果。

3.2.4 地面打井疏干排放膏上灰岩帶泥質灰岩岩溶裂隙水

在矿山北部岩溶水下游钻探成井 5 眼(图 5),对岩溶水进行疏干排放,降低其水头压力,减少下渗补给量。

3.3 排放采空区积水

利用矿山原有设备,排水能力约 $200 \text{ m}^3/\text{h}$,同时新增两台排水能力共 $1\,100 \text{ m}^3/\text{h}$ 的备用水泵,在采空区下游排水控制水位,防止水位上涨过快淹没待救矿工,为大口径钻孔救援争取时间。

4 结论

自2015年12月25日发生坍塌事故,到2016年1月29日4名矿工通过大口径人员提升孔获救,被困矿工在地下200 m巷道中生存36天免受水害,水文地质工作发挥了重要的保障作用。救援结束10天后,矿区岩溶水、采空区、巷道以及南部闭坑矿山采空区全部积水,形成统一水位,水位高程约150 m。

矿山采空区坍塌事故,虽然直接表现为顶板稳定问题,但是往往间接造成水文地质条件的剧烈变化,产生新的涌水通道,增加新的涌水水源,井下涌水量剧增,形成次生水害。在应急救援的非正常状态下,高频率自动化水位监测工作发挥了重要作用,快速准确研判涌水通道和充水水源,有的放矢采取堵排措施保证了救援的成功,矿山水文地质应急调查工作发挥重要作用。

参考文献:

- [1] 王长申,武强,马国平,等.复杂条件下矿井水文地质类型划分方法[J].煤炭学报,2016,41(3):696-702.
WANG Changshen, WU Qiang, MA Guoping, et al. Arising issues and approaches to the hydrogeological types and complexity ranks of a complicated coal mine in China[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(3):696-702.
- [2] 罗周全,秦亚光,谢承煜,等.复杂开采环境下采场失稳垮塌过程分析[J].中国地质灾害与防治学报,2015,26(3):81-85.
LUO Zhouquan, QIN Yaguang, XIE Chengyu et al. Instability process of the slopes under complex mining environmeng[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015, 26(3):81-85.
- [3] 方宝明,常允新.西港煤矿采区地面形变分析[J].水文地质工程地质,2006,33(4):13-15.
FANG Baoming, CHANG Yunxin. Analysis of Xigang coal mining ground deformation[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006, 33(4):13-15.
- [4] 武强,崔芳鹏,赵苏启,等.矿井水害类型划分及主要特征分析[J].煤炭学报,2013,38(4):561-565.
WU Qiang, CUI Fangpeng, ZHAO Suqi, et al. Type classification and main characteristics of mine water disasters[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(4):561-565.
- [5] 常允新,王振涛,冯在敏.断裂(带)对采空塌陷及地裂缝地质灾害的影响—以山东新泰市河山子村为例[J].中国地质灾害与防治学报,2012,23(3):66-68.
CHANG Yunxin, WANG Zhentao, FENG Zaimin. Fault zone's influence on subsidence and ground fissure in mining area-A case study at Heshan village of Xintai city, Shandong Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(3):66-68.

(上接第66页)

- YANG Tianliang. Study on geological hazard database establishment and risk assessment of highway in southern Shaanxi Province Based on GIS [D]. Chang'an University, 2005.
- [13] 罗冠枝.活动断裂区高速公路地质灾害危险性评价与综合区划研究[D].中南大学,2011.
LUO Guanzhi. Study on geological hazard risk assessment and comprehensive regionalization of Expressway in active fault zone [D]. Central South University, 2011.
- [14] 王福恒.基于GIS的区域公路边坡灾害评价与预测研究[D].长安大学,2011.
WANG Fuheng. Research on assessment and prediction of regional highway slop disaster based on GIS [D]. Chang'an University, 2011.
- [15] 刘朋辉.滑坡滑动机理及风险评价研究[D].北京工业大学,2007.
LIU Penghui. Research on the mechanics of landslide and risk evaluation [D]. Beijing University of Technology, 2007.
- [16] 张雪峰.区域性山地环境的地质灾害风险评价研究[D].成都理工大学,2011.
ZHANG Xuefeng. A case study of geological hazards risk assessment in a large scale mountainous environment [D]. Chengdu University of Technology, 2011.
- [17] 菊春燕.青岛崂山风景区地质灾害风险与防控研究[D].中国海洋大学,2013.
JU Chunyan. Research on geological disaster risk and preventability in Laoshan scenic spot, Qingdao [D]. Ocean University of China, 2013.