

山东省平邑玉荣石膏矿“12·25”事故救援过程中的水文地质问题分析

杨明¹, 郭长胜¹, 杨月², 杨启俭³

(1. 山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276006; 2. 临沂市国土资源局, 山东 临沂 276000; 3. 山东省金刚石地质研究中心, 山东 临沂 276006)

摘要: 山东平邑凹陷盆地内石膏资源丰富, 自 20 世纪 80 年代起, 区内石膏开采持续不断, 随着开采范围的不断扩大, 形成了大面积采空区, 地面塌陷时有发生。2015 年 12 月 25 日, 平邑县玉荣石膏矿、万枣石膏矿范围内发生大面积塌陷, 造成 29 名矿工被困。在施救过程中, 遇到诸多水文地质问题, 如灰岩含水岩组富水性增强; 矿坑水补给条件改变; 膏上灰岩岩溶水对采空区的大量补给; 矿区南侧老窿水的威胁和岩溶塌陷等, 直接影响了救援工作的顺利开展。针对在救援过程中出现的以上问题进行了综合分析研究, 总结了救援过程中采取的多种防治措施和经验及教训, 为同类矿山事故救援提供一定借鉴。

关键词: 玉荣石膏矿; 事故救援; 水文地质; 山东平邑

中图分类号: P641.4 **文献标识码:** B

引文格式: 杨明, 郭长胜, 杨月, 等. 山东省平邑玉荣石膏矿“12·25”事故救援过程中的水文地质问题分析[J]. 山东国土资源, 2016, 32(12): 41-49. YANG Ming, GUO Changsheng, YANG Yue, etc. Analysis on Hydrogeological Problems During the Rescue of “12·25” Accident in Yurong Gypsum Deposit in Pingyi County of Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(12): 41-49.

2015 年 12 月 25 日 7 时 52 分, 平邑县玉荣石膏矿、万枣石膏矿区内发生大面积塌陷, 造成 29 名矿工被困。灾情发生后, 各级政府及有关部门积极组织救援, 在采用井下救援方式营救出 12 名矿工后, 由于井下坍塌、水患严重, 井下救援进度缓慢, 后改用井上钻孔救援与井下巷道救援同步进行的方式, 直到井下救援被迫中止, 井上救援成为唯一的救援方式。经过救援人员 36 天的不懈努力, 终于将被困于玉荣矿 4 号井附近的 4 名矿工成功救出。此次平邑玉荣石膏矿“12.25”事故救援是国内大口径钻孔救援成功的首例, 也是世界成功救援的第三例, 在矿山救援史上具有里程碑意义。

1 矿山概况

1.1 矿山基本情况

塌陷区为万枣、玉荣石膏矿的采空区。

万枣石膏矿: 采矿权人为平邑县万枣膏业有限公司, 始建于 1994 年, 矿区面积 0.225 6 km², 开采标高 +115~-110 m。2011 年 7 月, 该矿整体转让给平邑玉荣商贸有限公司, 为待整合矿山。

玉荣石膏矿: 为生产矿山, 采矿权人为平邑玉荣商贸有限公司, 矿区面积 2.632 6 km², 开采标高 +120~-332 m。该矿始建于 1993 年, 2008 年 5 月 30 日, 该矿山与万庄石膏矿整合为一个采矿权, 设计生产规模 40 万 t/a。至 2014 年底, 矿山保有资源储量 6 545.5 万 t, 剩余服务年限 50 a。矿山采用地下开采、竖井开拓方式, 已建有竖井 4 条, 自西向东分别为 3 号、5 号、4 号、1 号井。其中, 受困人员所在的 4 号井, 井深 227 m, 主要为提升矿石和物料、升降人员、进风。

矿山主采矿层为Ⅲ矿层, 平均厚 14.40 m。井下生产采用单水平上下山布置, 平巷运输采用人工

推矿车运输,上下山运输采用调度绞车提升运输。

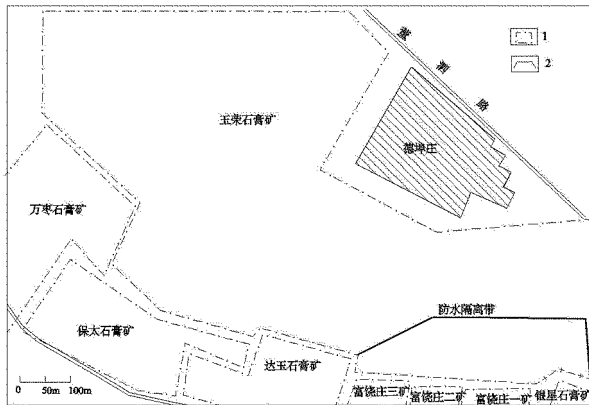
1.2 采空区概况

玉荣石膏矿采空区面积为 330 300 m²(表 1),主要形成于 1998—2014 年(塌陷区多为 1998—2008 年间的采空区),埋深+173~+325 m;万枣石膏矿采空区面积 225 600 m²,多为 2000—2012 年形成的采空区。

表 1 玉荣石膏矿采空区面积统计

年份	采空区面积(m ²)	累计采空区面积(m ²)
2007 年以前	130000	130000
2008 年开采	17000	147000
2009 年开采	20500	167500
2010 年开采	20800	188300
2011 年开采	24000	212300
2012 年开采	26000	238300
2013 年开采	62000	300300
2014 年开采	30000	330300

玉荣矿区南侧及西侧分别与富饶庄一矿、富饶庄二矿、富饶庄三矿、达玉石膏矿、保太石膏矿和万枣石膏矿相邻,2015 年 12 月 25 日前,上述矿区除保太和万枣矿外均已塌陷(图 1)。



1—矿区界线;2—防水隔离带

图 1 玉荣石膏矿及周边矿区分布示意图

1.3 塌陷概况

2015 年 12 月 25 日,位于平邑县保太镇万庄村东南的万枣石膏矿和玉荣石膏矿范围内发生塌陷,形成一近东西向条带状的碟形塌陷区。该次塌陷为大面积整体垮塌,东西长约 1 200 m,南北宽约 400 m,塌陷面积约 0.36 km²(其中万枣矿 0.162 km²;玉荣矿 0.198 km²),最大坑深约 4 m,塌陷坑四周台阶状地裂缝发育。该次塌陷类型为采空塌陷(图 2)。

塌陷造成的损失:①塌陷造成井下作业的 29

名矿工被困,塌陷当晚,救出被困矿工 12 名(1 人死亡),塌陷 36 天后又救出被困矿工 4 名,另有 13 名矿工失联;②造成 5 400 余亩农田受损;③约 200 m 的水泥道路遭到破坏;④塌陷破坏了玉荣矿矿山巷道及其设施;⑤玉荣矿 3 号和 4 号井区、万枣矿井区及塌陷区内的 10 余间民房等地表建筑物出现裂缝或倒塌;⑥塌陷造成万庄、德埠庄村周围的地下水位迅速下降,大部机民井干枯;⑦塌陷造成巨大经济损失。

1.4 前人相关研究程度

玉荣石膏矿及周边相邻的约 9 家石膏矿山均开展了地质勘查工作,并提交了地质勘查、资源储量核实等报告,如《山东省平邑县德埠庄矿区玉荣石膏矿(含扩界区)资源储量核实报告》《山东省平邑县达玉石膏矿资源储量检测报告》等;为对矿山建设及生产活动造成的矿山地质环境问题进行恢复治理,各矿山均编制了《矿山地质环境保护与恢复治理方案》,如《山东省平邑县达玉石膏矿矿山地质环境保护与治理恢复方案》《山东省平邑县万庄石膏矿矿山地质环境保护与综合治理方案》等。区内前人地质研究程度较高。

2 矿区地质背景分析

矿区属丘陵地形,切割甚微,地面标高在 150~200 m 之间,水系不发育。

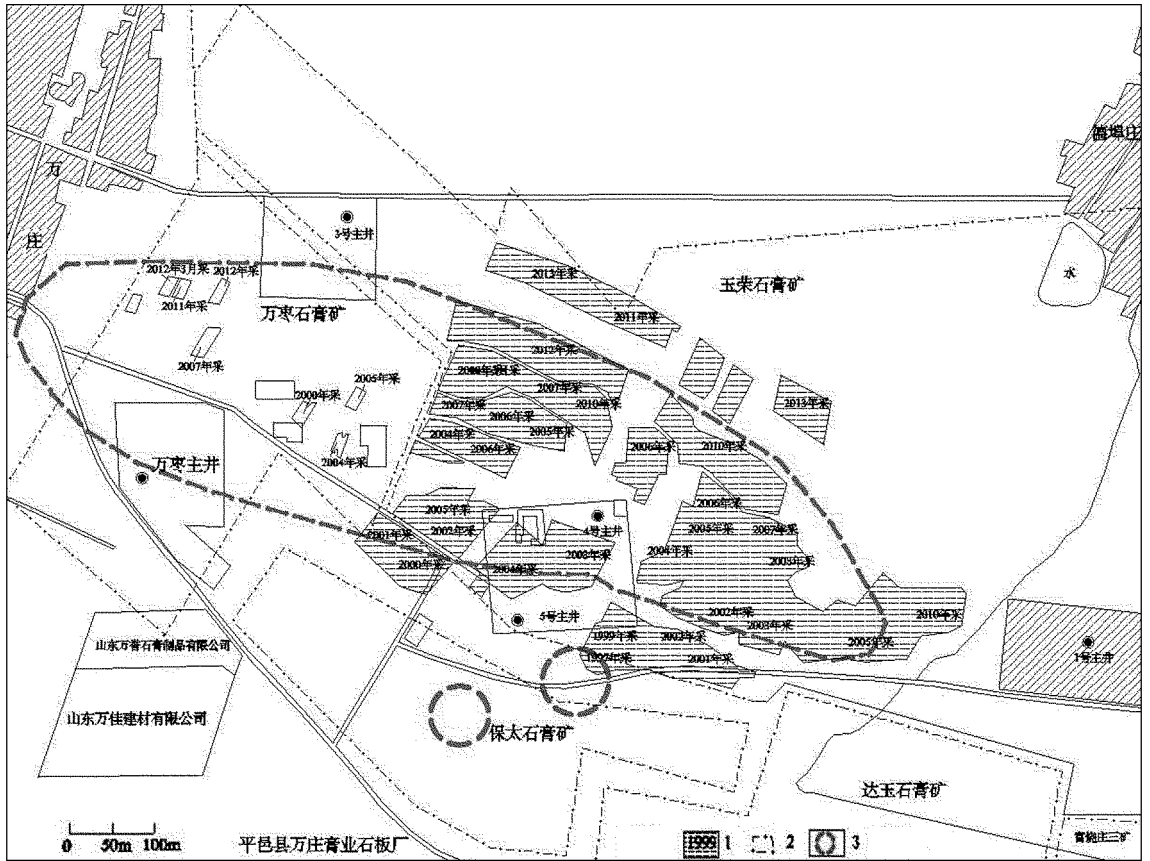
矿区位于华北板块(I)、鲁西隆起区(II)鲁中隆起(III)尼山—平邑断隆(IV)的平邑凹陷(V)西部。平邑凹陷为 NW—SE 向展布的狭长单斜盆地,其中沉积了侏罗纪、白垩纪及古近纪地层,富含石膏矿,构成了倾向 NE 的单斜构造^[1]。

2.1 地层

矿区发育地层主要为古近纪官庄群卞桥组二段和第四系。

(1)卞桥组二段:总体走向 NW—SE,倾向 NE,倾角 12°~20°。根据岩性特征自下而上分为 3 个岩性带^①:第一岩性带(膏下灰岩带):主要分布于矿区西南部边缘,岩性为厚层灰岩、泥质灰岩,顶、底部夹薄层泥灰岩。厚 15~65 m。

① 山东省第八地质矿产勘查院,山东省平邑县德埠庄矿区玉荣石膏矿(含扩界区)资源储量核实报告,2013 年。



1—采空区及形成年份;2—矿区界线;3—塌陷区范围

图 2 玉柴石膏矿塌陷位置示意图

第二岩性带(含膏岩带):是主要含石膏矿带,矿层未出露地表,主要岩性为杂色泥岩、砂岩互层,夹 3 层石膏。厚 134~189 m。

第三岩性带(膏上灰岩带):出露于矿区中南部,主要岩性为白云质灰岩。该区残留厚度 315~394 m。

(2)第四系:主要分布于矿区北部。岩性为粘质砂土及砂质粘土,厚度 0.5~13 m。

矿层特征:矿区共含矿 3 层(自上而下编号为 I, II, III),其中,III 矿层为区内主矿层,总体上呈层状产出,矿层厚度为 3.30~38.97 m,平均厚度为 14.40 m,属厚度较稳定矿层,矿层赋存标高 +13.6~-674.6 m^①。

2.2 构造

区内地层呈单斜构造。断裂可分为 NE 向、近 EW 向和 NW 向 3 组,断层对矿层均有不同程度的破坏作用^[2-3]。

区内断层出露长度一般 480~1 400 m,除 F₂ 断层倾角为 20°~40°外,其他多为高角度正断层,断距

5~65 m 不等。其中,F₄ 断层与南部 F₂ 断层形成一小型地垒(图 3)。

2.3 矿区水文地质条件

矿区位于平邑断陷盆地水文地质单元的西部,为地下水的补给径流区,地下水主要赋存于古近纪官庄群下桥组二段膏上灰岩带裂隙岩溶发育的灰岩、白云质灰岩中(图 4)。

2.3.1 含水岩组划分及其水文地质特征

依据地下水赋存条件、地层岩性、水力特征和富水性将矿区划分为 3 个含水岩组^①。

(1)第四系松散岩类孔隙含水岩组:主要分布在矿区西北部,岩性为砂质粘土,含水层厚 2.08~7.90 m,地下水埋深 1.02~5.20 m,单井涌水量小于 500 m³/d,富水性弱。

(2)碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组:大部裸露于矿区南部,岩性为下桥组二段第三岩性带(膏上灰岩

① 山东省第七地质矿产勘查院,山东省平邑县达玉石膏矿资源储量检测报告,2006 年。

带)灰岩,地表岩溶发育。据钻孔揭露,岩溶发育段标高+152.92~-5.87 m;溶洞揭露最大高度为 0.90 m,一般 0.4~0.60 m。单井涌水量一般大于

2 400 m³/d,富水性较强。以 F₁ 断裂为界,东侧富水性高于西侧;矿区南部富水性高于中北部。

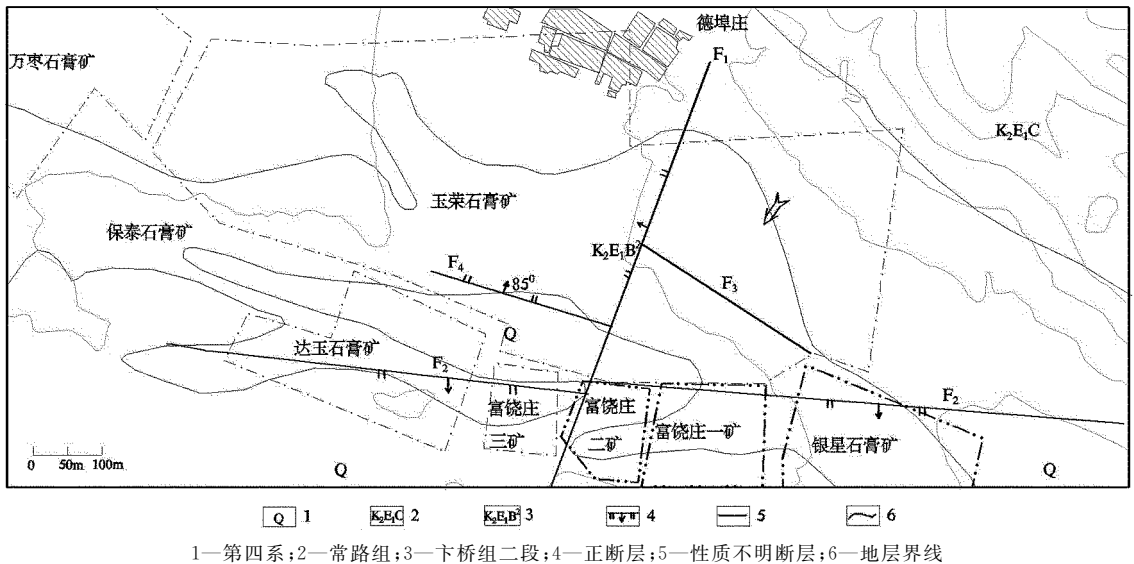


图 3 玉荣石膏矿区地质构造示意图

据玉荣矿区内的原德达石膏矿斜井施工情况,膏上灰岩裂隙、岩溶较发育,斜井岩石破碎,灰岩水沿井壁向井内涌水,排水量 5 280.0 m³/d。原德达石膏矿于 2003 年停采至今。

(3)碎屑岩类裂隙含水岩组:主要分布于矿区下桥组二段第二岩性带(含膏岩带),包括石膏矿带及膏上泥岩层,岩性为泥岩、细砂岩、膏质泥岩、石膏等,裂隙不发育,含水性差,钻孔单位涌水量小于 0.001L/S·m,为良好的隔水层顶板。

2.3.2 地下水补径排条件

区内灰岩岩溶地下水的主要补给来源为大气降水、地表水,并接受地下水的侧向径流补给;地下水自然状态下的总体流向自北东向南西,局部受地形影响,自高处向低洼处运动,与地表水径流方向基本一致;但近年来,受矿山排水的影响,矿区周边南、东、北三个方向的地下水多向矿区中心主井及南西一带径流;地下水主要通过开采、矿坑排水、地下径流等方式排泄。

2.3.3 矿床充水因素分析

由于矿层顶、底板为隔水层,所以,该矿不存在直接对矿床充水的含水层,只有当矿层顶板遭到破坏时,上部灰岩裂隙岩溶水才能对矿床产生充水,成为该矿床主要的间接充水因素^[4-5]。

该矿区南部及西部分别与富饶庄一矿、富饶庄

二矿、富饶庄三矿、达玉石膏矿、保太石膏矿、万枣石膏矿相邻。由于上述矿区均已塌陷,采空区老窿水及塌陷区的灰岩岩溶水混合形成较强的矿床充水水源。由于南部地形位置较高,故灰岩岩溶水和老窿水也是玉荣矿区矿床的主要充水因素之一。

综上所述,矿床位于当地侵蚀基准面以下,矿层顶板之上的灰岩富水性较强,同时,矿区南部存在老窿水威胁,确定矿区水文地质条件复杂程度属复杂类型^[6-7]。

3 救援过程中的水文地质问题分析

3.1 碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组富水性增强

矿区塌陷前,矿带及其顶板为隔水层,顶板之上的膏上灰岩裂隙岩溶水富水性不均,4 号主井施工时的排水量为 50 m³/h,为矿床充水的间接水源。但玉荣矿区塌陷后,膏上灰岩带碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组的富水性明显增强。

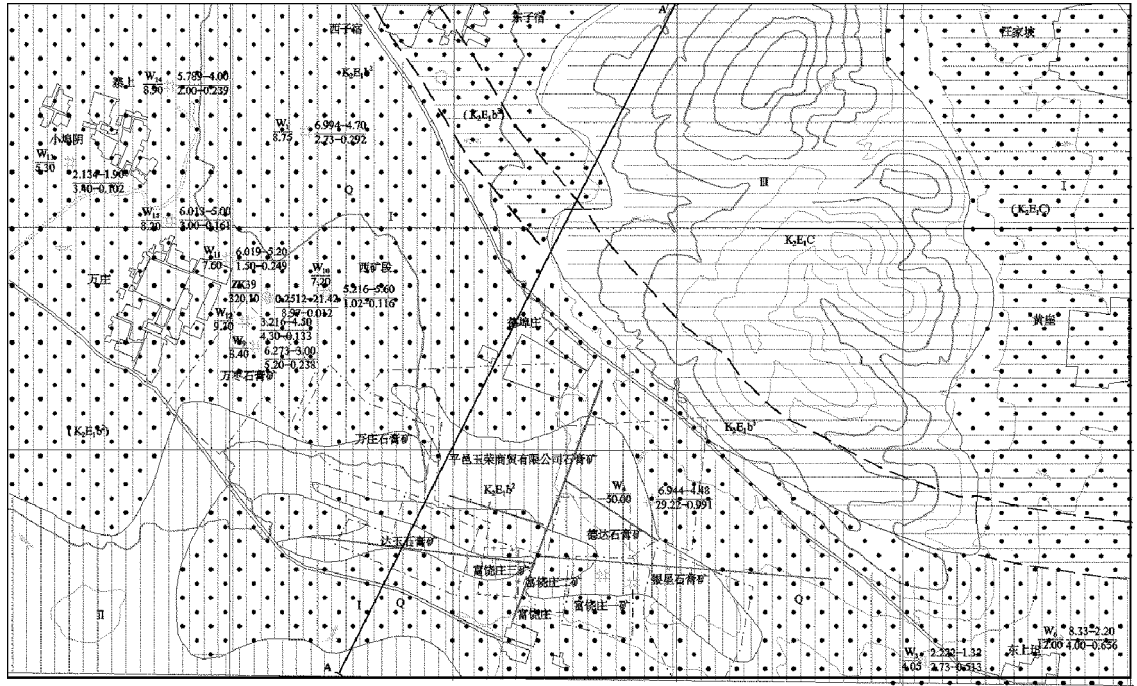
从救援过程中在矿区北部 11 巷道施工的 5 个排水孔看,灰岩岩溶发育,连通性好,富水性强,单井涌水量均大于 100 m³/h;而从 4 号主井院内的 1 号救生孔施工情况看,灰岩埋深 5~110.0 m,地下水埋深 40 m 左右,地面下 60~80.0 m 为岩溶强发育段,岩石破碎,施工过程中,80 m 深度以下,钻孔全

部漏水不返渣,单井涌水量大于 100 m³/h。

富水性明显增强,均匀性提高,为强富水的含水岩组。

由此可看出,矿区塌陷后,矿区中部的膏上灰岩

组。



A - A' 水文地质剖面

0 250m 500m

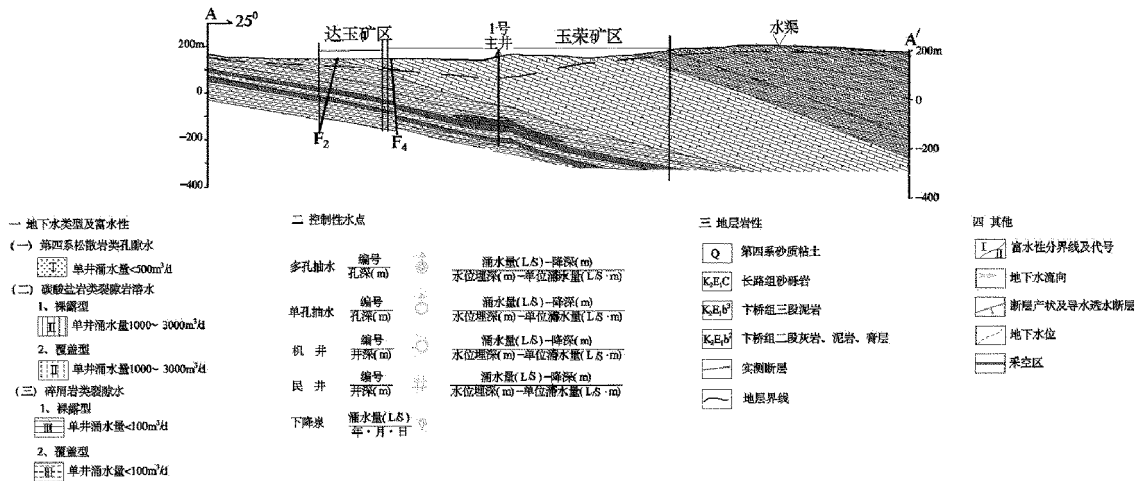


图 4 玉荣石膏矿区水文地质图

3.2 矿坑水补给条件的改变(岩溶水降落漏斗)

该区含水层主要是上部膏上灰岩带,其下分布的泥砂岩因含水性及透水性极差,成为良好的隔水层顶板。多年的生产实践证明,矿层及巷道基本上呈无水状态。

矿区塌陷后,采空区及巷道水的补给条件发生了明显变化。一是 3 号、4 号主井井筒损坏导致灰岩裂隙岩溶水通过受损井壁大量补给坑道;二是塌

陷后的某些顶板裂隙沟通了上部灰岩含水层,使灰岩含水层的水渗透到井下;三是塌陷造成矿区地下水流动场的改变,据矿区救援过程中的地下水等水位线图,矿区四周岩溶水均向 4 号主井方向径流,形成一定面积的降落漏斗,反映出岩溶水渗漏补给坑道后对岩溶水水位的影响极为明显;四是 3 号、4 号主井的损坏导致排水系统受到破坏,矿山总排水能力降低,造成井下采区水位的上升^[8]。

救援结束后,岩溶水渗漏补给坑道后对岩溶水

水位的影响仍持续扩大。至2016年3月2日,岩溶水降落漏斗向东已扩展至3 km以外的柏林附近,造成岩溶水水位大幅度下降,村民用水出现困难局面;4号主井西侧的1号救生孔水位自孔底回升约40 m,而矿区南侧老窿水的水位则下降约45 m。由此反映出采空区水与岩溶水的动平衡状态,井下水位的上升导致了岩溶水水位的大面积下降^[9]。

3.3 膏上灰岩岩溶水对采空区的大量补给

据矿山正常开采时的排水资料,4号主井正常排水量为50 m³/h左右,主要为竖井止水不严,岩溶水渗漏所致。尽管矿区西部矿段灰岩富水性相对较差,但塌陷发生后,由于受膏层顶板整体陷落的影响,导致膏上灰岩裂隙发育,F₁断裂以西的4号主井、3号主井井壁受损,灰岩富水性明显增大。

玉荣矿4号主井在岩溶水向矿坑渗漏补给过程中一度堵塞,水位埋深上升至60 m左右,当采取排水措施后,排水量达到100 m³/h时,地下水降至100 m左右,接近灰岩底板。由此反映出4号主井单井补给量可达100 m³/h。

据2016年1月11日井上井下排水资料,通过1号主井向地面排水的2台水泵,排水量达到120 m³/h;井下向深度较大的采空区排水约100 m³/h。井下排水总量约220 m³/h,基本达到井下水位的稳定状态。当井内排水停止时,井下水位则逐步上涨。所以,塌陷发生后,碳酸盐岩裂隙岩溶水通过受损的竖井成为直接补给采空区的主要水源^[10]。

3.4 矿区南侧老窿水的威胁

玉荣矿南侧存在多个矿山的大面积采空区(多已塌陷),由于该次塌陷的影响,玉荣矿与其他矿山之间隔离带的稳固性显得非常重要,南部老窿水是否会溃入该矿区成为该次救援成功与否的关键。

玉荣矿与周边矿区的水力联系:在矿区南部边界,从西到东依次与万枣矿(待整合)、保太矿(2003年因塌陷、涌水及资源枯竭等原因采矿权灭失)、达玉矿(于2011年3月因资源枯竭及透水等原因闭坑)、富饶庄三矿(与德达石膏矿打通后透水,于2008年闭坑)、富饶庄二矿(因与富饶庄三矿相通透水,于2008年闭坑)、富饶庄一矿(因与富饶庄二矿相通透水,于2008年闭坑)相邻。达玉矿与其东侧的富饶庄三个矿均已连通,赋存大量水体;而保太矿与玉荣矿之间存在三处贯通透水点。所以南部采空

区的威胁主要来自玉荣矿南侧达玉矿与保太矿之间一条30 m宽的防水隔离带以及贯通透水点的挡水墙。

堵住达玉矿及其以东矿区的来水,矿山在这条30 m的隔离带上打了35个钻孔进行了帷幕注浆,又在隔离带的两侧对采空区进行了尾砂充填,以防两侧采空区垮落后破坏隔离带,并在达玉矿与保太矿的透水点上打了一道7 m厚的钢筋砼墙,为提高堵水效果,又在墙的一侧打了5个大孔径钻孔,注双液浆、碎骨料、粗骨料,并掺水泥浆和尾砂,堵水效果较好。上述工程将保太矿与达玉矿及其以东的矿山进行了完全隔离,堵住了威胁较大的老窿水。

另外,对保太矿与玉荣矿之间的三个透水点均进行了封堵,封堵墙的厚度为8 m,钢筋砼,嵌入式,由于封堵墙周边的岩石裂隙仍有渗水现象,为减小水压,预防蓄水破坏封堵墙而造成突水,在封堵墙处留有泄水孔,并在玉荣矿的5号井井底加大水仓至4 000 m³,安装了4台水泵,排水量达400 m³/h,进行排水疏干。

玉荣矿除与以上几个矿的联系外,还与万枣矿有一贯通点,未封堵。

该次塌陷前,达玉矿与保太矿边界处的防水隔离带及挡水墙阻水效果较好,威胁较小。但该次塌陷直接影响到了保太石膏矿,2016年1月3日,在4号主井路南50 m处的保太石膏矿区内发生一处直径约20 m、深度约15 m的塌陷坑。该塌陷坑是否对挡水墙和隔离带产生影响是非常重要的;1月20日,达玉石膏矿与保太石膏矿之间的挡水墙西侧出现小面积沉降,该沉降区与南部老采空区防水隔离带和挡水墙的距离较近,存在影响的可能。因而,南部相邻矿区的老窿水是此次救援的极大隐患。

3.5 矿区周边连续出现岩溶塌陷

塌陷区周边的灰岩岩溶水因塌陷造成水位迅速下降,2015年12月28日—2016年2月21日,在塌陷区西侧的万庄村南、西南地段先后发生了6起岩溶塌陷,塌陷坑直径一般2~3 m,坑深1~4 m,陷坑呈筒状或瓮状。塌陷坑均分布在第四纪砂质粘土内(图5)。分析认为,万庄村及其周围具备形成岩溶塌陷的地质条件,近期岩溶水水位的持续下降应为塌陷的主要引发因素^[11]。

4 水文地质问题防治措施

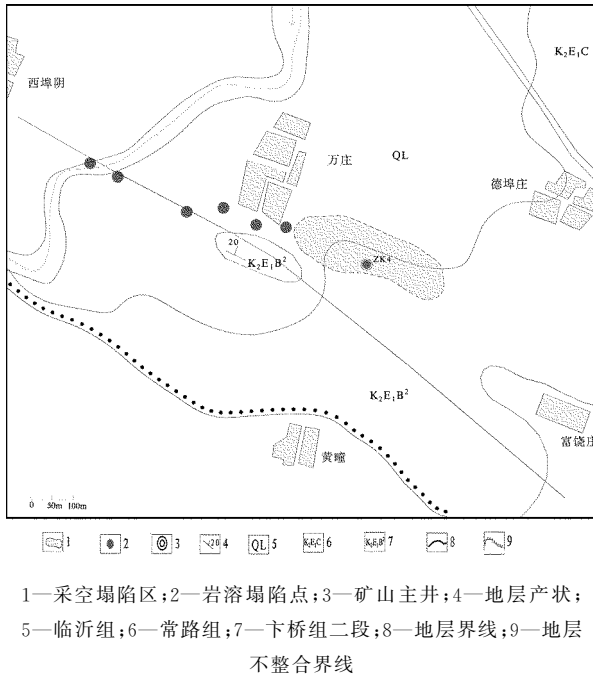


图 5 岩溶塌陷点分布示意图

4.1 矿坑水排水措施

玉荣矿塌陷后,3号、4号主井的排水设施受到损坏,至2015年12月28日,因井下水量过大,井下救援工作暂停。为尽快排水,于矿区北部12巷道处设计施工了5眼矿坑水排水孔,至12月30日早6点,5眼排水孔井深分别达到140 m、136 m、105 m、66 m和107 m,后因起动井下排水设施,排水孔施工暂停。

12月30日,起动1号主井的排水泵从井下坑道向地面排水,排水量约 $100\text{ m}^3/\text{h}$;井向下向矿区东北角的低洼采空区排水约 $100\text{ m}^3/\text{h}$ 。两处排水合计约 $200\text{ m}^3/\text{h}$,井下供排水基本达到平衡。1月2日,井下排水停止,仅剩1号主井向地面排水,井下水位呈持续上升趋势,水位上升速率 $4\text{ cm}/\text{h}$,抽水工作持续到被困矿工获救。

1月20日下午,因井下水位上升过快,大口径救生孔施工进度缓慢,为保障井下被困矿工的安全,再次将钻机转移至稳固采空区的上方施工排水孔,设计总排水量 $100\text{ m}^3/\text{h}$,起到抑制井下水位上涨的作用。1月29日,4名矿工获救后,钻孔施工也随之结束。

4.2 竖井止水措施

通过水位监测,确定岩溶水通过已坍塌的4号主井及未进行止水的1号救生孔等补给渠道补给采

空区。2016年1月2日,由于矿区4号主井坍塌严重,矿井底部出现堵塞,井内水位逐渐上升至距地表60 m处,井内水量的汇集很有可能威胁到井下被困矿工的安全,于是决定对4号主井采取止水措施。为提升止水效果,首先对4号主井进行了抽水,出水量约 $100\text{ m}^3/\text{h}$,将水位降至110 m。1月5日,利用水玻璃和水泥对4号主井采取了封堵措施,止水深度位于地面下170 m处,止水效果较好(图6)。

1月22日,对玉荣矿区3号竖井进行了调查,发现防水井壁被破坏,岩溶水透过井壁向采空区大量渗漏,涌水量约 $200\text{ m}^3/\text{h}$ 。分析认为,这些水是目前井下积水上涨的主要来源。1月26日,对玉荣矿3号主井进行了封堵,止水效果不好。1月27日,对玉荣矿3号主井重新进行了止水,首先利用块石、碎石、石子、粘土、水泥回填井筒深度70 m后,再利用水玻璃、水泥进行止水,效果良好^[12]。

有效的止水起到了防止井下突水、减少井下充水的作用,为救援工作赢得了时间。

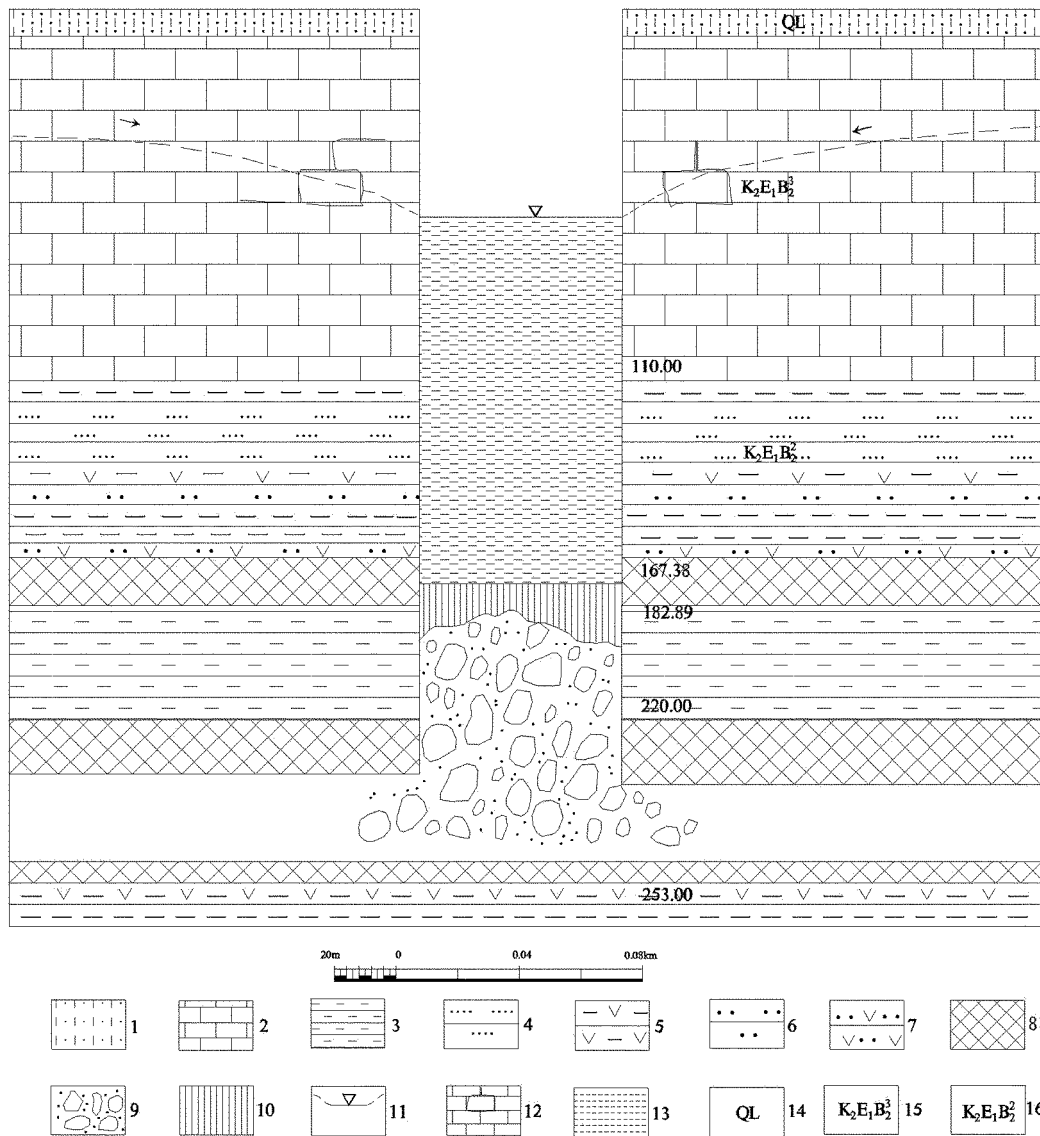
4.3 老窿水的监测预报措施

12月27日,由于矿山井下排水不畅,导致井下水位上涨。通过分析矿区水文地质条件认为,矿区除了灰岩岩溶水补给外,玉荣石膏矿南侧分布的老窿水存在与玉荣矿区沟通的可能性,提出了及时开展矿山周边地区监测地下水动态及地下水水力联系的工作方案。山东省第七地质矿产勘查院于12月27日下午在玉荣矿区南约200 m的原达玉矿废弃风井内安装了地下水动态自动监测仪,实现了瞬时连续监测,及时地掌握了老窿水的动态变化趋势。

12月28日,根据矿床充水条件,将地下水监测点增加至16个。根据监测资料及时绘制了矿区地下水位历时动态曲线和地下水水位等值线图,确定岩溶水排泄去向是井下采空区。

自2015年12月27日开展地下水动态监测起,各监测点水位均呈持续缓慢下降趋势,下降速率基本稳定;至1月11日,“南部老窿水”监测点的水位下降速率有所减缓,分析为1号主井排水回渗所致。其他各监测点水位的下降速率没有明显变化。

南部老窿水的监测基本掌握了玉荣矿区南部边界的稳定性,及时掌握了老窿水的动态变化趋势,为救援工作提供了安全信息保障。



1—砂质粘土;2—灰岩;3—泥岩;4—粉砂岩;5—含膏泥岩;6—中砂岩;7—含膏中砂岩;8—石膏矿;9—井壁坍塌物;10—止水材料;11—地下水位;12—岩溶发育段;13—水体;14—临沂组;15—下桥组二段第三岩性带;16—下桥组二段第二岩性带

图 6 玉荣石膏矿竖井止水剖面示意图

4.4 防水隔离带及挡水墙的监测与保护措施

如前所述,玉荣矿南侧相邻矿区的老窿水分布面积大、蓄水量大,与玉荣矿的距离约 50 m,水位差达 195 m,一旦与玉荣矿巷道沟通,地下水将沿南北巷道直接冲入被困矿工所处的位置。若达玉矿与保太矿之间的隔离带和挡水墙一旦出现开裂,势必造成玉荣矿突水。因此,在该次救援过程中,对该隔离带和挡水墙采取了强有力的监测与保护措施。

1月3日,在4号主井南侧的保太石膏矿区发生一处直径20 m、深度15 m的塌陷坑。该塌陷坑是否影响挡水墙和隔离带是非常重要的,通过测量

与观察分析,该塌陷坑为一孤立陷坑,波及范围较小,未影响到东部的挡水墙和隔离带。

1月10日,救援人员为方便1号主井与4号主井之间的联系,开通了一便捷车道,然而该车道就位于保太矿与达玉矿之间的隔离带和挡水墙位置的上方,下部岩性结构极其脆弱,当有车辆连续振动时,势必会破坏防水隔离带和挡水墙。发现这一问题后,救灾指挥部立即进行了改道,消除了挡水墙的不利影响因素。

1月20日,防水隔离带和挡水墙西侧出现小面积沉降,该沉降区与防水隔离带和挡水墙的距离较

近,存在影响的可能。通过对 10 个沉降监测点的监测资料分析,沉降区面积约 6 400 m²,沉降区东边缘距挡水墙约 50 m,经过历时 9 天的地形变形测量,沉降变形明显区域仅限于中心地带,对东侧隔离带和挡水墙影响不明显^[13]。

5 国内外分析对比

纵观国内矿山救援成功案例,几乎都采用了井下救援的巷道掘进方式。但在平邑石膏矿坍塌现场,地质条件复杂、坍塌严重,水患突出,巷道顶底板不稳定,所有井下救援通道都被堵死,不得已改用井上救援的方式。所以,该次事故救援成为国内大口径钻孔救援成功的首例。

此前,大口径钻孔救援两次成功的案例分别发生在美国和智利。2002 年 7 月,美国宾夕法尼亚州奎溪煤矿产生透水事情,通过地面大口径钻孔,历时 77 小时将被困 80 多米井下的 9 名矿工成功升井;2010 年 8 月 5 日,智利圣何塞铜矿发生塌方事故,33 名矿工被困于 700 m 深的井下。经过长达 69 天的营救,33 人全部成功获救,创造了人类史上被困地下时间最长、且成功生还的世界纪录,称得上是生命奇迹。

该次救援与国际成功案例对比,难度在于:①工程地质条件复杂。构成矿层顶板的泥岩、粉砂岩,遇水易软化,强度极小;井下岩石破碎,孔内坍塌、掉块严重,岩壁极不稳定,且井下巷道随时都有坍塌冒顶的可能;②水文地质条件复杂。膏层顶板之上存在灰岩裂隙岩溶水强富水层,通过损坏的竖井、塌陷形成的裂隙等渗水渠道补给坑道,极易造成淹井;③存在风险性极高的老窿水隐患。老窿水一旦与玉荣矿沟通,必将造成突水淹井事故;④井下排水困难,玉荣矿 3 号、4 号主井的坍塌损坏了井下排水系统,造成井下排水困难,水位上升迅速。因而,平邑玉荣矿的工程地质条件远不如美国宾夕法尼亚州奎溪煤矿,水文地质条件远比智利的圣何塞铜矿要复杂的多。平邑玉荣矿难首次钻孔救援成功,为日后我国事故救援积攒下宝贵的经验。

6 结语

(1)2015 年 12 月 25 日,位于平邑县保太镇万庄东南的玉荣石膏矿和万枣石膏矿的采空区范围发

生塌陷,塌陷面积约 0.36 km²,最大坑深约 4 m。

(2)矿区分布地层主要为古近纪官庄群下桥组二段。其第二岩性带(含膏岩带)为主要含石膏矿带,主要岩性为杂色泥岩、砂岩互层,矿层平均厚度为 14.40 m,矿层赋存标高+13.6~-674.6 m;第三岩性带(膏上灰岩带)主要岩性为白云质灰岩。矿床位于当地侵蚀基准面以下;膏上灰岩为强富水带,为矿床的间接充水水源;矿区南部存在老窿水威胁。故矿区水文地质复杂程度为复杂类型。

(3)矿难救援过程中遇到的水文地质问题主要有:灰岩含水岩组富水性的增强、矿坑水补给条件的改变(岩溶水降落漏斗)、膏上灰岩岩溶水对采空区的大量补给、矿区南侧老窿水的威胁以及矿区周边出现的岩溶塌陷等。

(4)矿难救援过程中采取的水文地质问题防治措施主要有:排水措施、止水措施、老窿水的监测预报措施、隔离带及挡水墙的监测与保护措施等。

参考文献:

- [1] 张增奇,张成基,王世进,等.山东省地层侵入岩构造单元划分对比意见[J].山东国土资源,2014,30(3):1-24.
- [2] 刘海军,赵建军,巨能攀.考虑地震力作用方向的危岩稳定性研究[J].三峡大学学报,2014,36(3):61-65.
- [3] 高峰,徐希强.山东省地质灾害易发程度分区评价[J].山东国土资源,2014,30(9):58-62.
- [4] 孔庆友,张天祯,于学峰,等.山东矿床[M].济南:山东科学技术出版社,2006.
- [5] 韩景敏,邵明,秦品瑞,等.山东省地质环境承载力现状及对策[J].山东国土资源,2015,31(3):34-38.
- [6] 蒋剑,郑剑峰,陈雪源,等.广西资源县某萤石矿矿山地灾害危险性评估及防治对策[J].山东国土资源,2015,31(1):51-55.
- [7] 孙茂田,张忠涛.苍山县大青山铁矿矿床水文地质特征与涌水量预测[J].山东国土资源,2015,31(2):19-23.
- [8] 孙顺.平邑县矿产资源总体规划实施环境影响分析研究[J].山东国土资源,2016,32(3):76-78.
- [9] 吕晓亮,赵秀芳,王秀凤,等.蒙阴县历史遗留采煤塌陷区现状及防治建议[J].山东国土资源,2015,31(11):30-32.
- [10] 扈媛.山东省平邑县唐家崖石膏矿区东段水文地质特征分析[J].山东国土资源,2015,31(11):38-41.
- [11] 陈万利.徐州市地质灾害防灾减灾方法研究[J].地质学刊,2014,38(1):165-168.
- [12] 于为雁,魏久传,于建龙,等.南屯煤矿 17 煤底板奥灰突水危险性综合评价[J].山东国土资源,2015,31(10):62-64.

Analysis on Hydrogeological Problems During the Rescue of “12·25” Accident in Yurong Gypsum Deposit in Pingyi County of Shandong Province

YANG Ming¹, GUO Changsheng¹, YANG Yue², YANG Qijian³

(1.No.7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Linyi 276006, China;2.Linyi Bureau of Land and Resources, Shandong Linyi 276000, China;3. Shandong Provincial Diamond Geological Research Center, Shandong Linyi 276006, China)

Abstract: Pingyi Depression basin located in Shandong Province has rich gypsum resources. Since 1980s, the gypsum mining activities have been increasing continuously. Accompanying with the continuous expansion of the mining area, mined-out areas have been increased, and the ground subsidence occurred. In December 25th in 2015, large area collapse happened in Yurong gypsum deposit and Wanzao gypsum deposit in Pingyi county. 29 miners were trapped. In the rescue process, a series of hydrogeological problems happened, such as water property of water-bearing formation in limestone has increased, supplying conditions of mine water has changed, karst water in limestone in upper part of gypsum layers give a large number of supply to mined-out areas, the threat of goaf water in south of the mine and karst collapse, etc directly affected rescue work. In this paper, hydrogeological problems during the rescue have been analyzed and studied, prevention and control measures have been summarized. It will provide some experiences and references for similar mine accident rescue.

Key words: Yurong gypsum deposit; accident rescue; hydrogeology problems; analysis