

# 山东省平邑左庄石膏矿区 非采空致塌机理与治理方法

王祥永, 赵宏生, 李文君, 许艳娟, 方传昌, 王德鹏

(泰安市钰锱地质资源勘查开发有限责任公司, 山东 泰安 271000)

**摘要:**平邑左庄石膏矿区曾发生过 3 次地面塌陷, 但井下实地调查发现, 该矿区地面塌陷并非地下采空塌陷波及地表后而引发的地面塌陷。根据矿区地质环境条件、采矿方法及井巷工程布置等因素, 分析认为地面塌陷原因是矿山布置的第一开采中段未预留出足够的顶柱厚度, 致使井下回采时揭穿矿房顶柱接触到上覆第四纪松散盖层, 第四纪孔隙水携带泥砂泄入矿坑发生潜蚀作用, 在矿房顶柱与第四纪松散盖层之间形成“天窗式”砂漏, 第四纪松散盖层中逐渐形成土洞, 土洞扩大并塌陷后引发地面塌陷。

**关键词:**塌陷机理; 治理方法; 石膏矿; 平邑左庄; 山东省

**中图分类号:** TD325.4

**文献标识码:** B

左庄石膏矿区位于平邑县城东 17 km 处的卞桥镇左庄村, 大地构造位置处在鲁西隆起(Ⅱ)鲁中隆起区(Ⅱa)泗水-平邑断陷(Ⅱ<sub>a8</sub>)平邑凹陷(Ⅱ<sub>a8</sub><sup>2</sup>)盆地西部。该盆地位于蒙山凸起与尼山凸起之间, 大体呈 NW—SE 向狭长带状展布, 其形成始于中生代早期, 石膏矿床赋存于盆地内古近纪官庄群卞桥组二段陆源湖相沉积地层中。赋矿地层总体走向 320°, 倾向 NE, 倾角 22°~33°, 地表被第四纪松散堆积物覆盖, 为隐伏盲矿床(图 1)。

## 1 矿区地质

### 1.1 矿区地质特征

矿区内出露古近纪官庄群卞桥组二、三段和常路组及第四系(图 2)。

#### 1.1.1 古近纪卞桥组

该组地层走向 280°~320°, 倾向 NE, 倾角 16°~45°, 据岩性、岩相特征划分为 3 个段, 矿区分布有二、三段。其中赋矿地层二段按岩性特征又分为下、中、上 3 个岩性带: 下部岩性带为较深湖相还原环境沉积的一套灰岩、泥灰岩建造, 属石膏矿带底板, 厚 150 m 左右, 岩性以灰岩为主, 厚层状, 质纯; 夹 2~3 层杂色砾岩, 层厚 20~40 cm, 砾石成分为灰岩、石

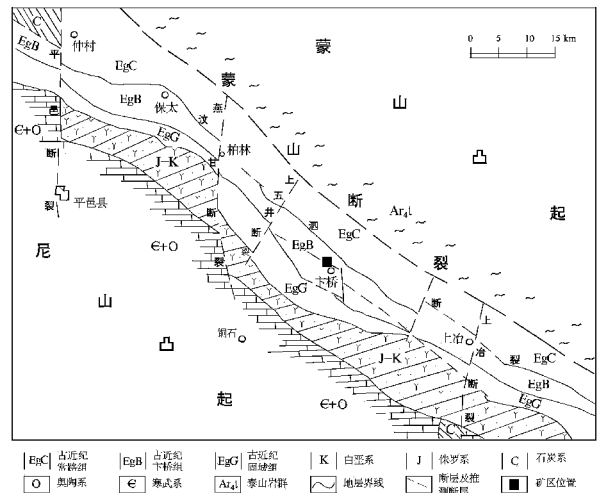


图 1 左庄石膏矿区所处平邑盆地位置示意图

英岩、泥灰岩等。中部岩性带为含膏岩带, 为赋矿地层, 厚 80~130 m, 岩性以石膏矿为主, 与紫褐色、灰黄色、紫灰色含膏泥岩、砂岩、泥灰岩呈互层或夹层状产出。上部岩性带为湖相还原环境沉积的一套灰色、黑色、灰白色、紫灰色泥灰岩, 灰岩, 泥岩, 砂岩互层组合, 厚 200 m 左右, 构成石膏矿带的顶板。三段地层分布于矿区北部, 为一套泥岩夹粉砂岩、砂岩及砾岩组合, 厚约 130 m。

\* 收稿日期: 2011-11-14; 修订日期: 2012-05-23; 编辑: 曹丽丽

作者简介: 王祥永(1964—), 男, 山东平邑人, 工程师, 主要从事水文地质、工程地质和环境地质工作; E-mail: 1229783750@qq.com。

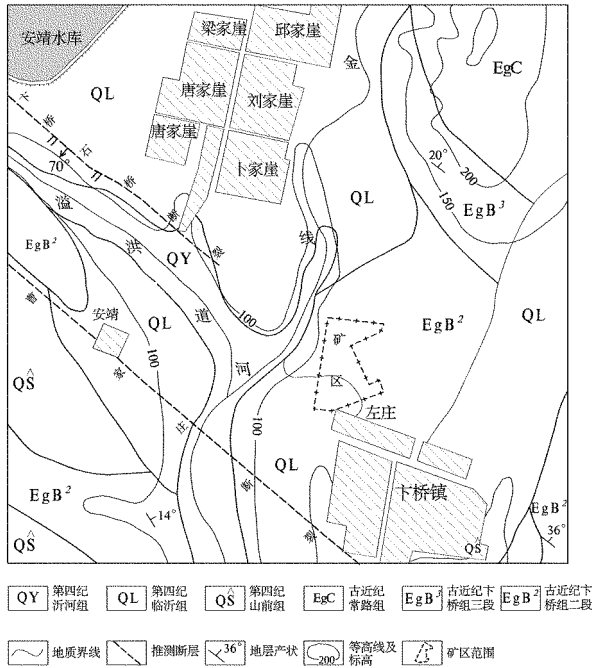


图 2 左庄石膏矿区地形地质略图

粘土、砂砾层等,属冲积、残坡积成因,厚度 1~6 m。临沂组沿河谷及两侧分布,岩性为砂质粘土、粘土质砂及砂,厚约 5~20 m。沂河组沿金线河河床分布,为河床沉积的砂、砾石、淤泥等,厚约 0.5~5 m。

1.2 岩土体工程地质特征

石膏矿层顶板围岩为上岩性带泥灰岩、灰岩、泥岩、砂岩互层组合,岩石抗压、抗剪强度低,属软弱岩石,遇水易软化、泥化、崩解,极易产生顺层滑动,其坚固性、稳定性差,地下采矿形成采空区后预留的石膏矿层顶柱易与其发生离层,造成冒顶、片帮等不良工程地质现象,故不能直接将其作为矿房顶柱。

石膏矿层结构较致密,属半坚硬岩石,完整性、连续性较好,力学强度优于顶板围岩泥灰岩、泥岩、砂岩等软弱岩石。矿山在对石膏矿层进行回采时一般预留石膏矿层 1.5~2 m 作为矿房顶柱,以维持矿房不冒顶,并保护顶板泥灰岩、泥岩、砂岩等隔水层的完整性,防止上部灰岩带岩溶裂隙水泄入矿坑。

石膏矿层底板围岩为膏质灰岩、泥质灰岩或泥灰岩,与石膏矿层呈渐变关系,结构致密,岩溶裂隙不发育,不含水,抗压、抗剪强度较大,属半坚硬岩石,回采后矿房、巷道不易发生底鼓(表 1)。

1.3 矿区水文地质条件

矿区地下水按含水介质类型可划分为第四纪松散岩类孔隙水、矿层顶板微承压岩溶裂隙水 2 类。

1.1.2 古近纪常路组

该组地层出露于矿区东北部,岩性为灰色、紫红色砾岩、砂砾岩,砾石成分主要为灰岩、片麻岩,厚度 >390 m。

1.1.3 第四系

第四纪山前组沿沟谷及山坡分布,岩性为砂质

表 1 左庄石膏矿区岩土特征值

岩石名称	产出层位	天然密度(g/cm <sup>3</sup> )	抗压强度(MPa)	抗折强度(MPa)	RQD 值(%)
含砾砂质粘土、粘土质砂、粉砂	地表第四系覆盖层	1.70~2.0	—	—	—
泥灰岩、泥岩、砂岩	矿层顶板	2.25	19.6~25.11	0.75~1.09	51.5~59.9
石膏	矿层	2.40	22.7~52.09	3.72~9.23	75~100
膏质灰岩、泥质灰岩、泥灰岩	矿层底板	2.55~2.60	30.8~47.70	4.54~5.05	95~100

1.3.1 第四纪松散岩类孔隙水

矿区第四纪松散岩类孔隙水赋存于第四纪冲积、冲洪积松散堆积物中,含水层主要沿金线河两侧呈带状分布,岩性为粗砂、中细砂、粉砂、粘土质砂等,上覆 1~2 m 粉质粘土、粘土等,地下水浅埋藏为潜水或微承压水,矿区钻孔控制厚度 4.35~24.5 m,水位埋深 0.4~6.7 m,年变幅 3.5 m 左右,含水层富水性强,径流通畅,接受大气降水及金线河水侧向补给,排泄于下游河道或矿坑中,涌水量 0.610~3.462 L/s。

1.3.2 矿层顶板微承压岩溶裂隙水

石膏矿层顶板岩溶裂隙水赋存于矿层顶板围岩泥灰岩、灰岩中,因与泥岩、砂岩呈互层产出,岩溶裂隙发育程度不均一,富水性较差,含水层单层之间水力联系差,单位涌水量 0.074 3 L/s·m。

2 采矿方法

矿山采用斜井一竖井开拓,房柱采矿法,因矿层顶板围岩为呈互层产出的泥灰岩、灰岩、泥岩、砂岩等软弱岩石,抗压、抗剪强度低,稳定性差,地下回采

时一般预留 1.5~2 m 的石膏矿层作为矿房顶柱,以维护矿房不冒顶。保安矿柱规格一般 6 m×8 m,间距 8~20 m。

### 3 矿区地面塌陷现状

矿区以往曾发生过 3 次地面塌陷,均造成了一定程度的经济损失(表 2)。

通过对矿山的调查,该矿区自投产以来共形成了 6 个中段的采空区,其埋深 26.5~130 m,段高 30~45 m。以往发生的 3 次地面塌陷,平面位置均分

布在井下一、二中段矿房顶柱出水点附近(图 3)。

第一次塌陷发生于 1998 年 3 月 2 日,陷坑位于井下一中段 8,9,13 号矿房顶柱涌水点的上部地面,共产生了 3 个直径 5~8 m 大小不等的筒状塌陷坑,陷坑最深者达 5 m,围绕陷坑中心伴生环状地裂缝,陷坑中心地裂缝愈宽、深且密集,远离陷坑逐渐变窄且稀疏以至消失,平面上陷坑呈 NW—SE 向串珠状分布,间距 15 m,25 m,陷坑展布方向与井下一中段采空区走向一致。

表 2 地面塌陷特征及经济损失统计

塌陷次序	塌陷时间	陷坑直径 (m)	陷坑个数 (个)	陷坑特征	井上下对应位置	直接经济损失(万元)
1	1998-03-02	5~8	3	陷坑呈筒状,围绕陷坑中心伴生环状地裂缝,平面上呈 EW 向串珠状排列,间距 15 m,25 m	3 个陷坑分布方向与井下一中段采空区走向一致,分别位于 8,9,13 号矿房顶板涌水点上部	1.20
2	2003-04-24	7.2×6	1	陷坑呈椭圆形盆状,中心下沉 2.5m,周围环状地裂缝宽 0.15~0.30m	井下位置对应一中段 8 号矿房顶板涌水点	0.15
3	2007-11-06	70×50	1	陷坑椭圆形,长轴近东西向,坑壁陡直,坑底积水,规模大,不稳定,翌年雨季陷坑规模进一步扩大	陷坑位置对应于井下一、二中段采空区矿房顶部	200

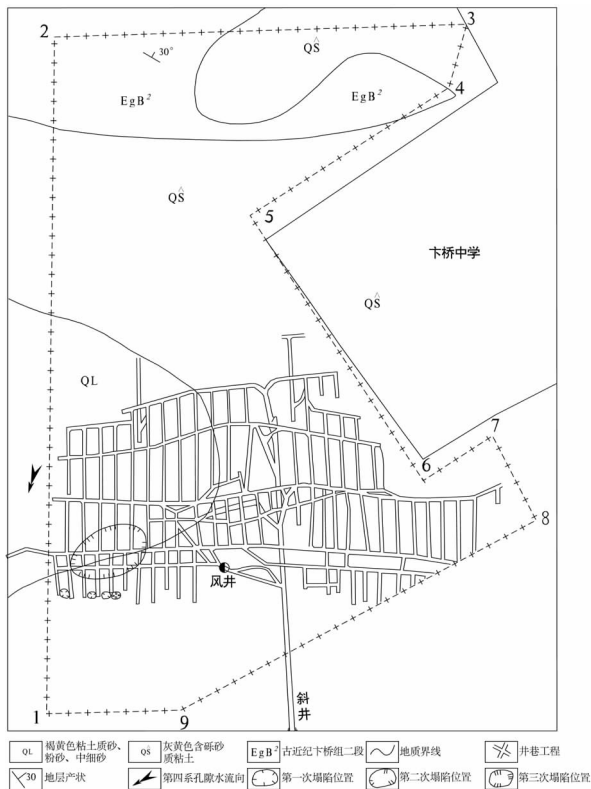


图 3 矿区地面塌陷坑位置分布示意图

第二次塌陷发生于 2003 年 4 月 24 日,产生了 1 个椭圆形盆状陷坑,直径 6 m×7.2 m,陷坑中心

下沉 2.5 m,周围伴生环状地裂缝宽 0.15~0.3 m,井下再次对应一中段 8 号矿房顶柱涌水点位置。

第三次塌陷发生于 2007 年 11 月 6 日,地面产生了 1 个大型椭圆形陷坑,陷坑四周坑壁陡直,坑底积水,塌陷时陷坑 39 m×45 m,深 20 m,塌陷发生后随即造成矿山停产,2008 年 7 月雨季到来后,陷坑又向西南方向扩大,最大规模时达 70 m×50 m,井下仍对应 8,9,13 号矿房顶柱涌水点位置。

### 4 地面塌陷形成机理

据矿山实际开采验证,在对石膏矿层回采时无地下水涌出,矿坑充水来源来自第四系孔隙水的威胁。井下实地调查发现,矿区在第一、二次地面塌陷时采空区矿房顶柱均完好无损,保安矿柱也未出现倒塌现象;第三次发生大面积地面塌陷时仅有部分矿房顶柱冒顶。据此分析认为,矿区内发生的 3 次地面塌陷均是第四纪松散层中出现了洞穴所致。

#### 4.1 井巷工程布置对地面塌陷的影响

矿区地面标高+146 m 左右,钻孔控制第四纪松散层厚度 4.35~24.5 m,该矿在矿山基建初期,将第一中段布置于+60 m 标高,段高 40 m,矿山在第一中段回采后形成的采空区埋深约 46 m 左

右。矿山在对石膏矿层回采时于 8,9,13 号矿房中揭穿应该预留的矿房顶柱,接触到第四纪松散盖层,引起第四纪孔隙水携带泥砂泄入矿坑,在揭穿矿房顶柱部位形成了多处涌水点,涌水浑浊夹带泥砂,导致在矿房顶柱与第四纪松散盖层之间形成了“天窗式”砂漏。经调查证实,3 次地面塌陷位置均是在井下矿房顶柱涌水点位置或其周围,矿山在采矿过程中需经常利用矿车清理运输巷道中的泥砂,其岩性显示为第四纪粉砂、中细砂及淤泥等。矿山也曾多次采取措施对涌水点进行堵水,但效果均不佳。

### 4.2 矿坑排水对地面塌陷的影响

矿山为了维持正常开采疏干矿坑涌水,是矿区产生地面塌陷的动力条件。第四纪孔隙水携带土体中的泥砂流入矿坑,改变了矿房顶柱涌水点附近地下水的流向,使孔隙水的天然流场发生了变化,形成了以涌水点为中心的一定影响半径的降落漏斗,降落漏斗的形成加大了孔隙水的势能,产生了水头差,使涌水点附近孔隙水的流速和坡降增大,动水压增强,对上覆第四纪松散盖层产生了较强的潜蚀作用。潜蚀作用的结果,将涌水点附近的土、砂颗粒带入矿坑,并在矿房顶柱涌水点与松散盖层之间逐渐形成土洞,土洞向上和周围扩大、发展,土洞内部的泥砂又逐渐向下迁移,泥砂又不断地被孔隙水带入矿坑,使土体中的土洞进一步扩大。雨季降水及河水位上升,又使孔隙水水位升高,水位产生上下波动,造成对第四纪松散盖层土体的反复冲蚀、淘空和搬运,使土洞再次扩大并向地表发展,从而为后来的地面塌陷准备了空间条件,同时第四纪松散盖层土体的抗剪强度也随孔隙水位的升降而变化。待第四纪松散盖层中的土洞洞顶不能支持上部土体自重时,即造成了土体陷落,形成了地面塌陷(图 4)。

## 5 地面塌陷治理方法

矿区在发生第一、二次地面塌陷后,因陷坑规模较小,仅在地表对陷坑进行了简易回填,并未从根本上进行彻底治理;2007 年 11 月 6 日发生第三次大规模地面塌陷后,使矿山停产达 9 个多月,造成了巨大的经济损失。2008 年 8 月矿山开始对塌陷坑进行治理,历时半年,花费 170 多万元。

(1)抛块石:首先向第三次地面塌陷时产生的大规模陷坑底部抛入大量块石,初始时块石进入部分

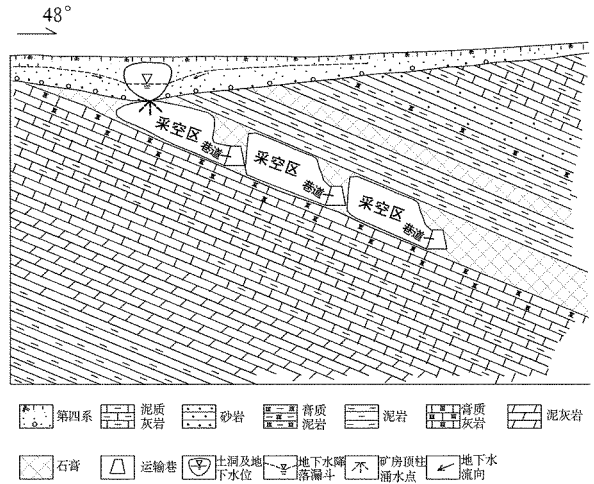


图 4 矿区地面塌陷形成机理地质概化模型示意图

已冒顶的矿房内,待块石达到一定方量后,陷坑底部才逐渐露出块石。

(2)清理:陷坑底部露出块石后,随即清理周围第四纪松散堆积物,并维护陷坑边坡的稳定,防止边坡土体再次滑入坑底。

(3)浇筑水泥封口盖板:坑底松散堆积物清理完毕后,浇筑混凝土封口盖板,厚约 5 m,待其凝固后用三合土(水泥、白石灰、粘土混合)回填 5 m,逐层夯实。

(4)回填粘土:完成浇筑水泥封口盖板、回填三合土后,再用粘土进行回填,再夯实。

(5)覆土、植树:在回填粘土接近地表时,覆土厚 2 m,恢复地表原来地貌形态,栽种杨树(图 5)。

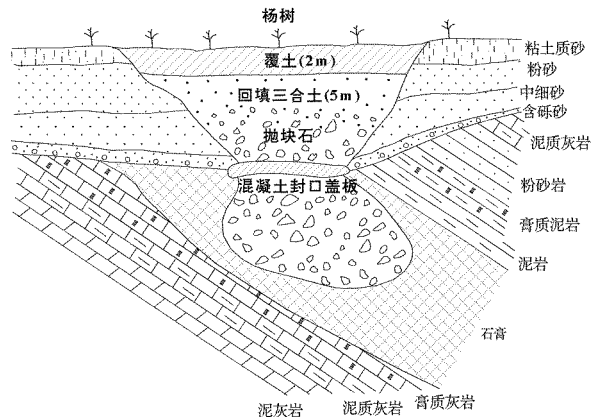


图 5 地面塌陷治理方法示意图

## 6 结语

矿区地面塌陷坑经治理后,矿山继续开采,原矿

房顶柱涌水点不再涌水,表明治理效果良好,孔隙水对第四纪松散盖层的潜蚀作用停止,也表明该文对矿区地面塌陷形成机理的分析是正确的。

### 参考文献:

[1] 王祥永, 窦连波, 李学智. 平邑县左庄石膏矿区塌陷机理探析与

防治措施[J]. 地质灾害与环境保护, 2006, (4): 75-79.

[2] 肖和平, 潘芳喜. 地质灾害与防御[M]. 北京: 地震出版社, 2000.

[3] 陈学军. 水口山铅锌矿地面塌陷机制、形成模式分析[J]. 南京大学学报(地质灾害及其防治专辑), 1991, 11.

[4] 孙本壮. 采矿概论[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1982.

[5] 孙昭铮. 井巷工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991.

## Mechanism and Management of not Excavated Areas Subsidence in Zuozhuang Gypsum Mine in Pingyi County of Shandong Province

WANG Xiangyong, ZHAO Hongsheng, LI Wenjun, XU Yanjuan, FANG Chuanchang, WANG Depeng (Yuqiang Geological Mineral Resources Exploration Limited Corporation in Tai'an City, Shandong Tai'an 271000, China)

**Abstract:** Three surface subsidence have occurred in Zuozhuang gypsum mine in Pingyi county. According to underground survey, these subsidence are not caused by the mined-out collapse. According to geological and environmental conditions, mining methods, the layout of alley and other factors, it is regarded that subsidence has been caused by not enough depth of the top columns in the first mining section. Thus, loose covering beds of the Quaternary system and in the middle of working out section become too thin. In the period of underground mining, the top columns have been penetrated, and the loose covering beds of the Quaternary system have been connected. Quaternary pore water carried sand to mines, and induced potential erosion, and formed "sky light" type hour glasses between the top columns in worked out sections and the loose covering beds of Quaternary system. Thus, soil caves in the loosing covering beds of Quaternary system have been gradually formed, enlarged and caused surface subsidence.

**Key words:** Subsidence mechanism; management method; gypsum deposit; Zuozhuang in Pingyi county; Shandong province