

济南苏家庄铁矿矿区地面塌陷成因分析

王庆兵^{1,2},高宗军¹,段秀铭²,吴丽莉²

(1. 山东科技大学地质学院, 山东 青岛 255510; 2. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250012)

摘要:在对济南苏家庄铁矿矿区地质环境条件、矿山开采现状调查基础上,基于地面塌陷特征及成因分析,从矿山地球物理特征、井巷工程、地下水水位、矿体及围岩工程地质性质等因素出发,论证了矿区塌陷的成因。调查研究表明,在200 m的瞬变电磁法探测深度范围内视电阻率等值线水平变化相对平缓,采空区未见明显的采空区分布异常;采空区总体积仅约9 218 m³,远小于矿坑塌陷坑总体积58 665.8 m³;竖井与塌陷坑、塌陷坑与采空区水位高差巨大且稳定,达到了58.93~64.11 m;矿井巷道闪长岩、灰岩及大理岩围岩整体性好,力学强度高,因此由采空塌陷造成的地面塌陷可能性很小。在此基础上,结合矿区地形地貌、地层结构、松散盖层、动力条件及矿坑排水等因素综合分析,认为该矿区的地面塌陷是由矿山开采过程中长期排水所引起。

关键词:矿坑排水;土洞;塌陷;济南苏家庄铁矿

中图分类号:P642.26 **文献标识码:**A

0 引言

矿区地面塌陷是矿山在开采过程中产生的最主要的矿山地质灾害之一,其发生、发展过程具有隐蔽性和突发性等特点,不但能造成矿区地面塌陷,同时给矿山的建设和安全运营带来严重影响。苏家庄铁矿位于济南东郊,为一在建矿山,2009年7月发生矿区地面塌陷。通过对矿区内地层、构造、水文地质条件等调查,结合地面塌陷(采空塌陷与岩溶塌陷)形成条件综合进行分析,初步揭示了苏家庄铁矿矿山地面塌陷的成因,为及时处理该矿山地面塌陷提供了技术支持。

1 地质环境条件概况

苏家庄铁矿矿区地处暖温带半湿润大陆性季风气候区,多年平均年降水量640.1 mm。区内地势较平

坦,主要分布有奥陶纪马家沟组灰岩及第四系松散层(图1),矿区及附近区域内分布的岩体是济南基性岩体的一部分,岩性为辉石闪长岩,经热液蚀变为蚀变闪长岩。第四系(Q)在区内广泛分布,厚度约为50 m,为二元结构,上部为粘质粉土,下部为粉质粘土夹砾石。灰岩位于第四系地层之下,分布于矿区内的西北、东南部,顶板埋深约为50 m。受岩浆岩侵入影响,在与岩浆岩接触带附近,一般蚀变为白色至灰白色大理岩。灰岩岩溶发育,岩溶以孔洞和溶隙为主,连通性较好。

矿区第四系松散岩类孔隙水水位埋深3~4 m,单井涌水量约为1.215 L/s·m。岩溶裂隙或裂隙岩溶承压水单井涌水量约为2 160~4 320 m³/d,水位标高25.12 m。地下水主要补给来源为大气降水入渗补给及农业灌溉回渗补给,地下水总体流向由东南向西北径流。人工开采、大气蒸发及向下游径流是主要排泄方式。

第一作者简介:王庆兵(1974-),男,高级工程师,博士研究生,主要从事水工环工作。E-mail:wqb1232001@163.com。

收稿日期:2009-11-07

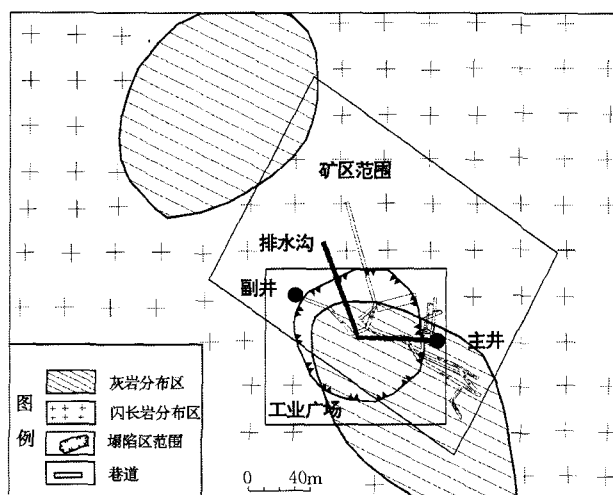


图1 矿区塌陷区及矿井巷道分布图

Fig. 1 Distribution of ground collapses and laneway in the mining area

2 矿山开采基本特征

苏家庄铁矿始建于1999年6月,由于种种原因,自1999年6月至2009年7月26日,十年来一直处于基建状态,共开拓巷道总长约620 m,巷道埋深97~110 m,包括地下水水仓、主井、风井和东西盲井。

矿山正常排水量约为300 m³/d,最大排水量约为600 m³/d。通过排水管道进入工业广场外的排水沟进行排放,井下排水水质浑浊,需要不定期对排水沟清淤,以保证正常排水。由于清淤不及时,工业广场经常出现回水现象。

3 地面塌陷特征

2009年7月25日上午7点左右,苏家庄铁矿矿区工业广场内的主、竖井之间发生地面塌陷,持续约2个小时。塌陷坑呈椭圆形,南北宽约85 m,东西长约95 m,深约6.12 m(水面以上),塌陷区平面面积约5 866 m²,塌陷坑底面积约为4 528 m²。塌陷除了造成工业广场内停放的拖拉机及废弃铁架等坠入坑内及供电电线杆被折断外,还造成北侧围墙倒塌约24.8 m,部分路基受到破坏。

4 地面塌陷成因分析

造成矿山发生地面塌陷的原因主要有两种:一是采空塌陷,二是岩溶塌陷。根据对苏家庄铁矿矿区实地调查与实测资料综合分析,采用排除法对造成矿山地面塌陷原因进行了分析。

4.1 采空塌陷成因分析

4.1.1 地球物理特征分析

为了查清矿区地层分布及岩溶发育情况,根据矿体的走向并结合地面塌陷现状,采用瞬变电磁法按垂直、平行矿体走向和环绕塌陷坑布置七条剖面,探测深度为200 m。通过综合解译物探成果,在各测线探测深度内视电阻率等值线水平变化相对平缓,无明显错动,浅部地层分布相对均匀,采空区未见明显的采空区分布异常;灰岩分布区内岩溶发育强烈,溶洞主要分布在灰岩与第四系接触地带,孔洞大小一般为0.2~0.5 m不等。

4.1.2 矿山井巷工程分析

根据相关调查资料,截止到2009年7月25日,苏家庄铁矿一直处于基建状态,矿山采空区总体积约为9 218 m³,矿坑塌陷坑总体积约为58 665.8 m³,塌陷坑体积远大于采空区体积。从采空区体积与塌陷坑体积对比分析,苏家庄铁矿地面塌陷由采空塌陷造成的可能性小。

4.1.3 地下水水位分析

地面塌陷发生后,及时进行矿区地下水水位动态监测。根据监测(表1),塌陷坑内的水面标高为24.82~25.26 m,主竖井内的水位标高为-39.09~-37.99 m,副竖井内的水位标高为-33.91~-32.27 m,矿区西北侧赵仙庄第四系孔隙水水位标高为27.8~27.98 m,北部冷水沟岩溶水水位标高为28.68~28.69 m。竖井内的水位与塌陷坑内水面高差达到了58.93~64.11 m。从水位分析看,塌陷坑水位与采空区内水位差巨大且稳定,说明矿坑水与塌陷坑水之间未发生水力联系,由此推断由矿体采空造成地面塌陷的可能性小。

表1 地下水水位对比特征表

Tab. 1 Comparison properties of the groundwater table

时间	塌陷坑内水位标高/m	主竖井水位标高/m	副竖井水位标高/m	孔隙水水位标高/m	区域岩溶水水位标高/m
7月25日	20.50			27.8	28.69
7月29日	24.82			27.8	28.68
8月2日	25.02	-39.09	-33.91	27.98	
8月3日	25.26	-37.99	-32.27		

4.1.4 矿体及围岩工程地质性质分析

苏家庄铁矿为接触交代式矽卡岩型磁铁矿矿床,矿体顶、底板主要为闪长岩,局部矿体顶板为灰岩(大理岩)。矿石容重 4.16 t/m^3 ,岩石容重 2.8 t/m^3 ,松散系数为1.5,矿石硬度系数为5。按岩石强度分类,闪长岩、灰岩及大理岩为硬质岩石^[1],整体性好,力学强度高。据井下现场调查,矿体及围岩工程地质性质较好,矿山巷道在矿层内建设,截面面积仅为 $2.5\text{ m} \times 3.0\text{ m}$,同时对软弱带及时进行了支护处理。从矿体及围岩工程地质性质,结合矿层开采截面面积及处理措施分析,地面塌陷由采空陷落造成的可能性小。

根据物探分析、矿区井巷工程体积分析、地下水水位对比分析及矿体及围岩工程地质性质进行综合分析,矿区由采空造成的地面塌陷可能性小。

4.2 岩溶塌陷成因分析

根据岩溶塌陷的成因和形成的力学机制分析,诱发岩溶塌陷产生的原因有多种,如气象水文地质原因、工程地质原因、人类活动及其它多种原因,岩溶塌陷产生的多因素成因造成其塌陷的力学机制也是多方面的,岩溶塌陷点在发生、发展至最后形成地表塌陷坑的整个过程中是多种力学机制叠加或组合^[2]。多种力学机制同时作用或先后作用,或周期性作用,最后导致塌陷的产生。

岩溶塌陷成因分析主要是从地形地貌、地层结构、松散盖层、动力条件等方面进行分析岩溶塌陷可能性^[3~5]。

4.2.1 地质背景条件分析

4.2.1.1 地层结构分析

矿区及其附近区域地表分布第四系松散层,下覆灰岩及闪长岩。灰岩主要分布在矿区的西北部及东南部,与第四系松散地层直接接触,从地层结构分析,矿区存在产生岩溶塌陷的地质环境条件。

4.2.1.2 岩溶发育程度分析

矿区位于济南岩体边缘地带,受岩浆岩穿插影响,灰岩蚀变为大理岩。根据《山东省济南市保泉供水水文地质勘探报告》,苏家庄矿区及其附近区域,大理岩的岩溶极为发育,岩溶以孔洞和溶隙为主,其中溶隙约占41.17%,溶孔约占8.51%,孔洞约占50.32%。矿区内灰岩岩溶发育,连通性良好,成为坍塌土体的暂时储存场所和物质转移通道,为岩溶塌陷产生和发展创造了条件。

4.2.1.3 松散盖层条件分析

上覆松散盖层岩土体是地面塌陷(岩溶塌陷)的

物质来源,盖层土体既是塌陷的破坏体,也是影响塌陷的重要因素,其物理力学性质、结构组成及厚度等都对地面塌陷的形成产生重要影响。

(1)从松散盖层土体抗剪强度分析

塌陷体的抗塌力主要由地下水浮力与源于土体抗剪强度的侧壁摩擦阻力组成,地下水水位下降时,浮力不断减少。抗塌力主要由外侧摩擦阻力组成。根据区内工程勘察资料,松散盖层土体粉质粘土抗剪强度(C)为 $20 \sim 17(\text{KPa})$,内摩擦角(Φ)为 $5.8^\circ \sim 18.1^\circ$,盖层土体抗剪强度低。

(2)松散盖层含水量

矿坑排水过程中,经常发生矿坑水回流至工业广场现象。此外,塌陷发生之前,由于雨量充沛,松散层地下水水位明显升高,矿区范围内盖层土体含水量增大,直接影响区内抗塌陷力、致塌力及真空吸蚀作用的大小,主要表现在三个方面:

①随着松散盖层含水量的增高,盖层土体的粘聚力及内摩擦角减小,抗剪强度降低,抗塌力降低;

②根据相关研究成果知,随着松散盖层含水量增高,受静水压力作用影响,使松散盖层土体天然容重增加,进而松散盖层土体致塌力增大。

③随着松散盖层含水量增高,盖层土体孔隙中水气比例增加,土体透气性降低,封闭性增强,有利于形成真空负压,增大盖层土体致塌力(图2)。

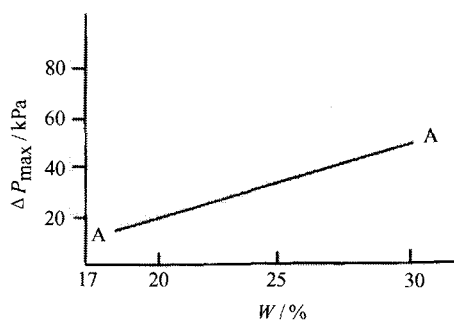


图2 含水量与真空负压关系图

Fig. 2 The relationship between the water content and the vacuum negative pressure

受矿山排水回流及降雨入渗影响,矿区范围内松散盖层含水量升高,造成盖层土体的粘聚力及内摩擦角减小,抗剪强度降低,抗塌力降低,土体天然容重增加,土体孔隙中水气比增加,土体透气性降低,封闭性增强,有利于形成真空负压,增大致塌力,为岩溶塌陷产生创造了条件。

(3)从松散盖层土体的结构分析

根据岩溶塌陷研究资料,均一的粘土抗塌性能相

对较好,而二层或多层结构最易产生塌陷。苏家庄铁矿区覆盖层土体结构为二层结构(上部为粉质粘土,下部粉质粘土夹砾石),从盖层土体的结构分析,矿区范围内易产生岩溶塌陷。

(4) 土层厚度对岩溶塌陷的影响

一般来说,岩溶塌陷大部分发生在土层较薄的地区,尤以小于 15 m 的地方为多。在苏家庄铁矿区,第四系厚度相对较厚,约为 50 m,厚度大,从土洞发育到地表塌陷的产生时间就长。此外,由于土层厚,随着土洞的发展,土洞直径逐渐扩大,造成地面塌陷坑直径愈大,苏家庄铁矿地面塌陷直径 85~95 m,其塌陷坑口面积在山东省内居于首位。

4.2.2 地下水动力条件分析

矿区内分布的灰岩为岩浆岩侵入形成的捕掳体,与周围地区水源地联系差。由于井巷工程施工需要进行井巷排水,将地下水水位降至巷道以下。据调查,从 1999 年 6 月至地面塌陷发生前,矿山一直进行井下排水。岩溶裂隙水是矿床充水的主要来源,矿山排水势必造成矿区局部岩溶地下水下降^[6],枯水期灰岩地下水水位低于灰岩顶板,丰水期灰岩地下水水位上升,高于灰岩顶板,岩溶地下水水位在灰岩顶板上下频繁产生波动,丰水期地下水水位标高为 15.6~29.78 m,枯水期水位标高为 -31.2~-21.5 m,矿山采排地下水,造成地下水水位在灰岩顶板与第四系底板之间波动,为岩溶塌陷产生创造了动力条件。

4.2.3 矿坑排水调查分析

苏家庄铁矿从 1999 年建设开始一直进行井下排水,排水量约 300 m³/d,最大排水量约为 600 m³/d。在排放过程中,经常出现浑浊现象,需要不定期对排水沟进行清淤,以确保矿山排水通畅。据矿主介绍,在塌陷发生前一段时间(约 20 余天),地下水浑浊现象明显提高,苏家庄铁矿在地下水排放过程中不仅排放了地下水,同时也在排放泥土。

在矿区范围内,第四系松散层与灰岩直接接触,且灰岩内岩溶裂隙及孔洞发育,受地下水位波动影响,第四系松散层物质通过裂隙通道产生移动,盖层土体产生失稳形成土洞。在土洞发育发展过程中,土洞规模不断向地表扩大发展(图 3)。受矿坑排水回流及丰水期岩溶水水位上升影响,矿区盖层含水量不断

增大,局部处于饱和状态,导致盖层土体的抗剪强度降低,土体自重增加,加速了土体破坏。由于矿区土层较厚,土洞在形成过程中直径不断扩大,最终使上覆盖层失去支撑而陷落形成巨大的地表塌陷坑。可见,苏家庄铁矿区地面塌陷的直接原因是由矿坑疏干排水造成。

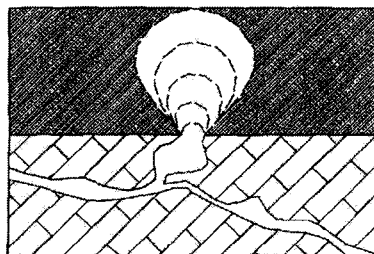


图 3 岩溶塌陷形成过程示意图

Fig. 3 Sketch map of the formation process of karst collapse

5 结 语

本次工作通过对济南苏家庄铁矿区地质环境条件、矿山开采现状及地面塌陷调查,结合地面塌陷特征,从采空塌陷及岩溶塌陷成因分析出发,结合矿山地球物理特征、井巷工程、地下水水位及矿体、围岩工程地质性质、地形地貌、地层结构、松散盖层、动力条件及矿坑排水等因素,通过排除法对苏家庄矿区地面塌陷的成因进行了分析,矿山地面塌陷是由于矿山长期抽排地下水引起岩溶塌陷造成,该认识为及时开展矿山地面塌陷治理及防治提供了依据。

参考文献

- [1] 常士骝,张苏民,项勃,等. 工程地质手册(第三版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1992:553—557.
- [2] 贺可强,王滨,杜汝霖. 中国北方岩溶塌陷[M]. 地质出版社,2005:45—53.
- [3] 高宗军. 岩溶地面塌陷形成机理与成因模式研究——以山东泰安—莱芜为例[J]. 中国工程科学,2008,10(4):38—43.
- [4] 程星. 岩溶塌陷机理及其预测与评价研究[M]. 地质出版社,2006:14—30.
- [5] 张之淦. 岩溶发生学[M]. 广西师范大学出版社,2006:138—156.
- [6] 高宗军,孙文广,唐蒙生,等. 泰安—旧县水源区岩溶水开采与地质环境的关系[J]. 山东地质,2001,17(3):86—92.

Origin of ground collapse at the Sujiazhuang iron mine in Jinan City

WANG Qing-bing^{1,2}, GAO Zong-jun¹, DUAN xiu-ming², WU Li-li²

(1. Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 255510, China;

2. Geo-environment Monitoring Station of Shandong Province, Jinan, Shandong 250012, China)

Abstract: Based on the survey to geologic conditions and exploitation situations at the Sujiazhuang iron mine, the features and origin of ground collapse is expounded by means of the analysis on geophysical features, sinking and driving engineering, groundwater table and engineering geologic features of the ore body and surrounding rocks. The results show that the horizontal change of apparent resistivity isoline is relatively gentle within the 200 m probe scope with transient electromagnetic method and that there is no obviously abnormal distribution of goaf; the total volume of goaf is only about 9 218 m³ that is much smaller than the total volume, 58 665. 8m³, of the collapse pit; the water head between the shaft and collapse pit and that between the collapse pit and goaf are very high and stable, up to 58. 93~64. 11 m; the integrity and intensity of the surrounding diorite and limestone as well as marble are quite well, so the probability of ground collapse led by goaf collapse is very small. According to the above situation and the comprehensive analysis on the landform, stratum structure, overlying cap, dynamic conditions and mine drainage as well as other factors, it is believed that the ground collapse is caused by long term pumping during exploitation.

Key words: mine drainage; earth cave; ground collapse; Sujiazhuang iron mine in Jinan

(上接第190页)

(IUGS)、国际水文地质学家协会(IAH)岩溶委员会、国际水文计划(IHP)、人与生物圈计划(MAB)、社会科学及人文科学部门社会变革管理计划(SHS—MOST)、国际会议、国际培训等平台,充分扩大中心的国际影响,发挥网络优势,发挥中心的组织协调作用,加强与国际组织、国内机构、政府部门与非政府组织间的沟通与联系,搭建不同形式和层次的学术交流平台,促进岩溶领域国际信息交流与合作;注重学术交流、培训、咨询、出版、传播岩溶科学知识,就国际岩溶区资源环境问题扩大咨询活动;广泛开展与国际组织、科研机构和商业团体的合作,加强与国际同行的技术合作和联合科研,围绕各国面临的重大的岩溶区资源环境问题,积极组织开展多领域、多层次、多形式的技术评估和决策咨询等活动,汇集专家和技术人员的智慧及力量,充分发挥中心的决策咨询和技术支撑作用,积极为岩溶区的经济社会发展建言献策;要大力开展岩溶技术培训。充分发挥联合国教科文二类中心的机构优势,中心的组织优势、人才优势和技术优

势,紧紧把握经济社会新发展、岩溶研究发展新趋势,举办各类国际培训班,为发展中国家培训管理和技术方面的人才。

中心学术委员会主任袁道先院士作了总结讲话。他表示此次会议讨论的问题以及委员们所提出的建议对中心工作将大有裨益;中心未来的五年将着力于包括人才、管理和制度等方面的自身能力建设,广泛的国内外交流与合作、岩溶刊物出版、岩溶知识的社会普及和学生教育,尤其注重开展岩溶地区的科研实践,解决现实问题,促进世界岩溶区经济社会的持续健康发展;同时希望借助联合国教科文组织这一平台向中国政府、国际机构、其他组织和个人进行多渠道筹资,解决中心的资金来源问题,并且从岩溶动力系统、气候变化、岩溶含水层和岩溶生态系统管理四个方面考虑启动国际合作项目,与各国科研人员共同研究探讨,攻克资金注入门槛。

(卢茜 供稿)