

孙锡良, 陈亮晶, 欧 健, 等. 湖南宁乡煤炭坝镇富家村岩溶地面塌陷成因分析及防治建议[J]. 中国岩溶, 2018, 37(3): 421-426.
DOI:10.11932/karst20180313

湖南宁乡煤炭坝镇富家村岩溶地面塌陷 成因分析及防治建议

孙锡良, 陈亮晶, 欧 健, 陈文东

(湖南省地质矿产勘查开发局 402 队, 长沙 410004)

摘 要: 本文依据岩溶地面塌陷理论对宁乡煤炭坝镇富家村岩溶地面塌陷的成因、发展趋势进行了研究。根据勘查发现, 研究区岩溶地面塌陷具有分布密度高、塌陷规模大、塌陷回填后稳定性差, 具有继续变形甚至再次塌陷的特点。通过对区内地质环境条件分析发现, 区内覆盖层厚度较薄, 岩溶极为发育, 煤炭坝矿区排水形成巨大的降落漏斗, 孔隙水与岩溶水存在巨大的水头差, 导致区内岩溶地面塌陷的发生。同时, 区内开采灰岩矿, 形成大面积采空区, 对岩溶地面塌陷的发生起到了强大的促进作用: 一是提供了巨大的物质储存空间; 二是大大减小了物质运移途径。塌陷回填堆积在溶洞的土体受地下水的冲蚀潜蚀发生运移, 上方土体失去支撑而不断流入采空区, 造成塌陷回填后稳定性差。

关键词: 岩溶地面塌陷; 成因分析; 采空区; 湖南宁乡

中图分类号: P642.26

文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2018)03-0421-06

0 引 言

2017 年 3 月 10 日和 4 月 2 日, 宁乡市煤炭坝镇富家村连续发生两次大规模岩溶地面塌陷, 形成两个塌陷坑(分别命名为塌 1、塌 2), 面积分别为 3 400 m²、50 m², 深度约为 15 m、10 m。塌 1 形成后, 塌坑壁处于不稳定状态, 为防止塌坑向外发展, 当地政府立即采取了应急回填措施。塌 2 初始塌坑面积约 50 m², 虽及时回填, 但塌坑不稳定, 经过回填—塌陷多次循环, 塌坑面积不断扩大, 最后将周边一栋民房吞没。截止 2017 年 8 月该塌坑面积已扩大至近 3 000 m², 累计回填土量达数万立方米, 塌坑壁仍处于不稳定状态。塌坑周边居民和厂矿企业较为集中, 岩溶地面塌陷直接危及 28 户 130 余居民的生命财产安全; 同时给附近 3 处厂矿企业及大量基础设施造成严重威胁^[1]。鉴于此状况, 需要查明区内岩溶地面塌陷地

质灾害形成原因、发展趋势, 为当地政府的地质灾害防治提供技术支撑, 以达到减灾防灾目的。

对于岩溶地面塌陷国内很多学者进行了大量研究^[2-13], 如蒋小珍等^[2]对单层土体结构岩溶土洞的形成机理进行了研究; 林丹等^[3]对矿坑排水与岩溶地面塌陷的关系进行了研究; 赵博超等^[4]对岩溶塌陷的影响因素与模型开展了研究等。根据岩溶地面塌陷理论, 岩溶地面塌陷的发生应具备岩溶发育条件、覆盖层条件及地下水动力条件。岩溶发育程度、覆盖层厚度性质是地质历史时期形成的, 短期内自然因素难以使其发生突变, 而地下水动力条件受季节和人为因素等的影响易于发生改变。因此, 一般情况下, 岩溶地面塌陷是地下水动力条件受人为或季节影响等发生改变, 地下水在运移过程中对上覆土体的渗透潜蚀破坏作用加强而诱发的。本区岩溶地面塌陷除具有一般地区岩溶地面塌陷的普遍特征外, 还存在塌陷数

基金项目: 湖南省国土资源厅科研项目(编号: 2007-23)

第一作者简介: 孙锡良(1963—)男, 高级工程师, 水工环地质专业, 注册土木工程师(岩土), 主要从事水工环地质、岩土工程工作。E-mail: 3110227709@qq.com。

通信作者: 陈亮晶, 男, 研究员级高级工程师, 水工环地质专业, 注册土木工程师(岩土), 主要从事水工环地质、岩土工程工作。E-mail: clj51842@163.com。

收稿日期: 2018-02-20

量多(分布密度高)、塌陷规模大和大部分塌陷经回填后稳定性差的特征;这些特征与采空区的存在有着密切的关系。

前人的文献主要是对自然形成的作为塌陷物质的储存空间和运移途径的溶洞、溶蚀裂隙在岩溶地面塌陷所起的作用进行研究,而对人工形成的地下空间(采空区)对岩溶地面塌陷的发生所起到的作用研究不足。因此本文除根据岩溶地面塌陷理论对宁乡煤炭坝镇富家村发生的岩溶地面塌陷特征进行研究总结外,还分析了采空区对岩溶地面塌陷的影响。

1 研究区概况

1.1 地形地貌

研究区为溶蚀丘陵地貌,地势整体南东、北西两侧相对较高,中部陈家冲冲沟地势较低,冲沟走向 30° ,区内地面标高在 $109\sim 130\text{ m}$ 之间,最高点位于陈家冲东北侧山坡顶,最低点位于中部陈家冲组居民聚居区;地形有一定起伏,坡度 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。场地内及周边区域以农田、水塘、荒地和林地为主,其中冲沟中上游沟底分布有三口水塘,面积 $400\sim 5\,000\text{ m}^2$ 。居民多居住在冲沟及冲沟与山坡的交接处。

1.2 地层岩性

研究区地表均为第四系残坡积土层覆盖,下伏基岩主要为二叠系上统长兴组(P_2ch)、二叠系上统龙潭组(P_2lt)、二叠系下统茅口组(P_1m)、栖霞组(P_1q)地层。第四系(Q)土体,厚度为 $12.3\sim 23.8\text{ m}$,土层为单层结构,岩性为粉质黏土、砾质黏土,砾石成分主要为硅质岩角砾。砾质黏土具强烈的水解分散性质,据钻探岩芯现场浸水试验,砾质黏土浸水 $5\sim 10\text{ min}$ 后完全散解。二叠系上统长兴组(P_2ch)分布于研究区西北侧,出露于煤炭坝复式向斜核部,岩性为:底部为灰~灰黑色生物灰岩,厚 35 m ;下部为硅质岩及硅质灰岩,厚 205 m ;上部灰白色厚层状灰岩已全部被风化溶蚀不复存在。二叠系上统龙潭组(P_2lt),出露于研究区的北部,沿着向斜南东翼呈条带状分布,主要由黏土、煤层、泥岩、砂质泥岩夹菱铁矿、细砂岩和生物灰岩等组成,全厚 $5.72\sim 38.00\text{ m}$;含煤2层,Ⅰ煤层不可采,Ⅱ煤层属可采的中厚~厚煤层。二叠系下统茅口组(P_1m)分布于研究区中心范围,岩性以灰~灰白色厚层状灰岩及泥质灰岩为主。二叠系下统栖霞组(P_1q)分布于研究区东南部一带。该组岩性分为四段,从上到下为:硅质灰岩、硅质岩,厚约 140 m ;泥灰岩、页岩,厚约 70 m ;厚层灰岩,厚约 365 m ;炭泥

质页岩夹泥灰岩,厚约 23 m 。

1.3 地质构造

研究区位于煤炭坝复式向斜东北翼(图1),其核部为长兴组,两翼为龙潭组和茅口组。龙花逆断层(F_1)位于研究区西北部,大片茅口组、栖霞组、壶天群推覆于龙潭组、长兴组之上。沙子坡正断层(F_2)位于研究区西北部、煤炭坝复式向斜北段南东翼,断层走向 $NE45^{\circ}$,倾向NW,倾角 70° ,断距 $20\sim 80\text{ m}$ 。

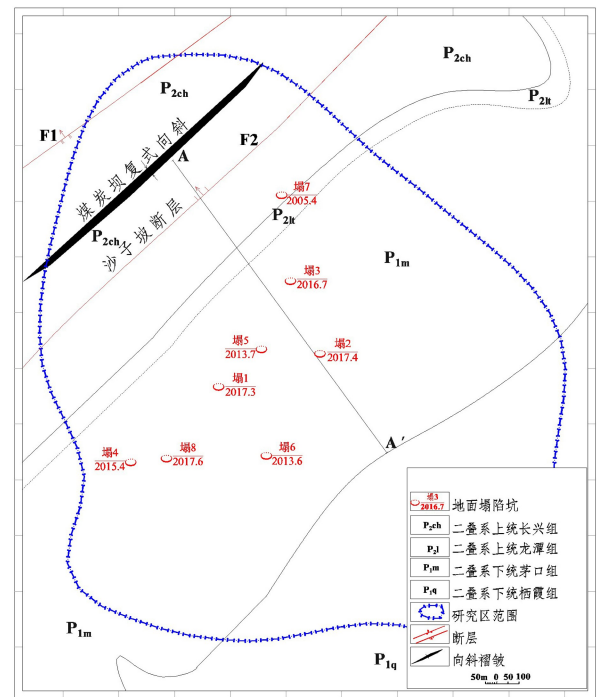


图1 研究区地质构造图

Fig. 1 Map showing geological structure of the study area

1.4 水文地质条件

研究区内可分为第四系孔隙含水系统和岩溶含水系统。第四系孔隙含水系统含水层岩性为粉质黏土、砾质黏土,厚约 $12.3\sim 23.8\text{ m}$,富水性贫乏~弱富水,水位埋深 $1.5\sim 10.5\text{ m}$,与下伏基岩水力联系密切,区内民井只在降雨后一段时间内有水可取,其余时段全部漏失。岩溶含水层为研究区内最主要的含水层,岩性为灰岩,岩溶发育;煤炭坝煤矿开采期间,研究区地下水位标高在 -120 m 以下。因煤炭坝矿区现已停采,区内地下水位有所恢复,勘查期间岩溶地下水位埋深大于 70 m (图2)。研究区地形相对平缓,第四系覆盖层结构松散,有利于地表水入渗补给。区内雨量充沛,降雨多集中于春夏季,大气降水补给是研究区内地下水主要补给来源,水塘渗漏是地下水另一个补给来源。区内第四系孔隙水接受大气降水、地表水的入渗补给后,以垂直渗漏的方式补给岩

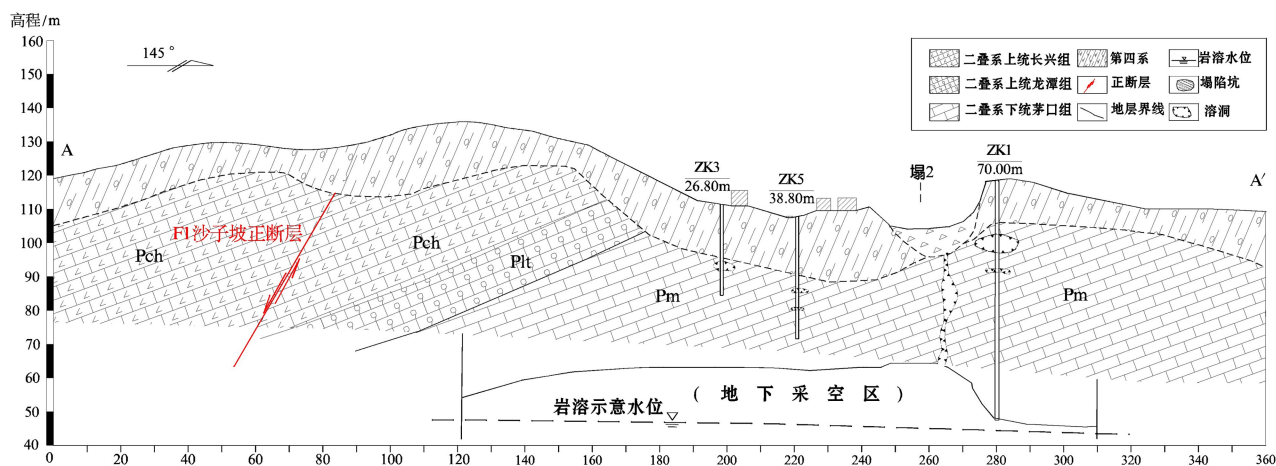


图 2 A—A'水文地质剖面图

Fig. 2 A—A' Hydrogeological profile

溶水为主,同时区内受局部地形地貌的控制,呈散流由山顶山坡向冲沟运移,除部分为人工取水外,大部分最终也是渗漏补给岩溶水。

研究区位于煤炭坝煤矿疏干排水形成的降落漏斗的贺石桥强径流带上,距煤炭坝煤矿地下水疏干排水降落漏斗中心 4~5 km。由于煤炭坝煤矿开采形成的降落漏斗还远未恢复,岩溶地下水通过岩溶管道等途径自北东至西南方向降落漏斗中心径流。

1.5 岩溶发育特征

根据文献[8],综合考虑影响和控制岩溶发育的岩性、构造、地下水动力条件、地表径流等因素将研究区划分为强岩溶发育区。在研究区所进行的钻探工作统计(钻孔全部分布在 P_1m 中),钻孔线岩溶率最高 20.24%,平均线岩溶率 11.07%,钻孔见洞率 100%。综合以上分析,研究区内岩溶极为发育。

1.6 人类工程经济活动

煤炭坝地区煤炭资源丰富,素有“湘中煤都”之称。1958年以来累计探明各级储量 5 418 万吨。煤炭坝矿区早在百余年前就已被开发,之后从 1964 年到 1967 年先后改造,兴建了西峰仑、跃进、竹山塘和五亩冲四对矿井。该矿成立约 60 年来,共产原煤 3 350 万吨,2014 年已将煤矿全部关闭。在煤矿开采后期,开采标高达 -480 m,矿坑排水量最大达 $12\,869\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,降落漏斗中心地下水位已降至 -200 m(-200 m 以下岩溶含水层富水性差)^[8]。

在研究区内的矿业活动为宁乡市新城建筑厂灰岩矿的开采,灰岩矿开采历史悠久,开采层位是二叠系下统茅口组灰岩。该矿 1982 年开始地下开采,生产规模为 $13.2 \text{ 万吨} \cdot \text{年}^{-1}$,开采高度 $20 \sim 40 \text{ m}$ 不等,顶板支护方式为预留灰岩安全柱,采矿揭露的溶

洞采用钢筋混凝土封堵,2016年3月起矿山停采。矿区面积为0.307 9 km²(图3),矿权开采标高为-16~118 m。由于灰岩矿已经关闭,且采空区内部积水,仅能调查部分采空区及巷道,调查发现采空区渗水渗泥现象严重,但顶板未出现整体失稳现象,仅在封堵溶洞地段局部出现坍塌现象,可见钢筋裸露,混凝土支护部分失效。上覆覆盖层在地下水的作用下通过溶蚀裂隙、溶洞渗漏并堆积于巷道内,塌2下巷道内堆积粉质黏土约为5 m³,呈软~流塑状(巷道调查时塌2尚未发生)。

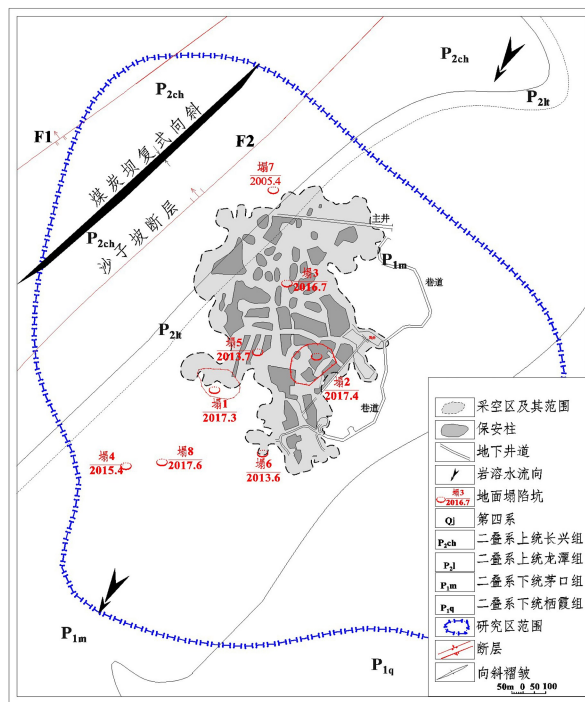


图 3 研究区采空区分布图

Fig. 3 Spatial distribution of goafs

2 地面塌陷成因分析

2.1 岩溶地面塌陷分布特征

经统计,研究区共发生塌陷 8 个^[1],其中岩溶地面塌陷 7 个,塌 7 为采空塌陷,见表 1,其分布面积 0.82 km²,岩溶地面塌陷分布密度为 8.53 个·km⁻²。

表 1 研究区地面塌陷坑统计表^[1]
Table 1 Statistics of ground collapses

编号	发生时间	规模	稳定性
塌 1	2017.3.10	不规则形,长径约 80 m、短径约 50 m、深度约为 15 m	发生后对其进行了填埋,但稳定性仍较差
塌 2	2017.4.2	椭圆形,长径约 10 m、短径约 5 m、深度约 10 m	多次回填,回填后继续变形、塌陷,稳定性差
塌 3	2016.7	圆形,直径约 1.5 m、深度约 1.4 m	填埋后相对较稳定
塌 4	2015.4	圆形,直径约 0.5 m、深度约 6 m	多次填埋,继续往下塌陷,每年需对其重新填埋,稳定性差
塌 5	2013.7	不规则形,长径约 8 m、短径约 2 m、平均深度约为 5 m	每年均有下沉开裂现象,均需对塌坑进行重新填埋,稳定性差
塌 6	2013.6	一大一小两处塌陷	填埋后相对较稳定
塌 7	2005.4	长径约 10 m、短径约 5 m、深度约 5 m	分布煤炭坝煤矿跃进采区,为跃进采区采空塌陷,不参加统计分析
塌 8	2017.6	长 0.5 m、宽 0.2 m、深度 2.0 m	处于不稳定状态,报告编制期发生

区内岩溶塌陷从 2013 年开始发生,2013 年发生 2 个,2015 年 1 个,2016 年 1 个,2017 年 3 个。岩溶地面塌陷按地形地貌统计主要分布在冲沟或缓坡与冲沟过渡地带,共 6 处;分布在山坡相对低洼地段 1 处。研究区可溶地层为茅口组(P_1m)、栖霞组(P_1q)及长兴组(P_2ch),岩溶地面塌陷全部分布在茅口组(P_1m)分布区;在宁乡市新城建筑厂石灰石矿采空区内 5 处,采空区周边靠近煤炭坝矿区中心 2 处(塌 4、塌 8)。

本区岩溶地面塌陷有如下特点:一是呈现逐年增强的趋势;二是主要分布在相对低洼的地段,低洼地段利于降水汇集和水塘长期渗漏,导致地下水可以长期对土体产生潜蚀作用;三是采空区范围内的塌陷较采空区外的塌陷规模大且数量多。

2.2 岩溶地面塌陷成因分析

(1)覆盖层条件。区内第四系覆盖层的厚度在 12.3~23.8 m 之间,岩性为粉质黏土、砾质黏土,其

中粉质黏土天然容重 $1.9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,压缩模量 7.8~8.9 MPa,内摩擦角为 18° ,粘聚力为 40 kPa^[1],力学性质较差。砾质黏土土体结构松散,具强烈的水散性,易于产生渗透破坏形成土洞。这些因素为区内岩溶地面塌陷创造了条件。

(2)岩溶发育条件。如前述,研究区内可溶岩分布广泛,其中茅口组(P_1m)灰岩根据钻探资料统计线性岩溶率最高 20.24%,平均线性岩溶率 11.07%;钻孔见洞率 100%,岩溶极为发育。因此,茅口组(P_1m)灰岩岩溶强烈发育,其溶洞、溶蚀裂隙为研究区岩溶地面塌陷的形成提供了物质储存空间和运移途径。

(3)地下水动力条件。研究区内可分为两层地下水即松散岩类孔隙水和岩溶水。松散岩类孔隙水水位埋深在 1.5~10.5 m 之间。岩溶水水位埋深大于 70 m,二层水存在巨大的水头差。巨大的水头差引起松散岩类孔隙水的垂直入渗作用强烈,伴随着强烈的潜蚀作用,土体不断遭受潜蚀破坏,加速了土洞的发展。研究区处在贺石桥径流带,岩溶水向降落漏斗中心汇流,煤炭坝矿区开采后期,研究区岩溶水水力坡度 5.18%^[9],现矿区停采,岩溶水位有所恢复,但水平径流仍很强烈。强烈的水平径流不断冲蚀溶洞充填物,不断地为土洞的形成和发育提供物质储存空间。

(4)采空区。采空区的存在为地面塌陷的形成提供了巨大的物质储存空间,同时大大减小土洞形成过程中物质运移途径和阻力,加速了土洞的形成。通过对巷道及采空区的调查,巷道及采空区内顶板渗水渗泥现象严重,上方土体通过溶洞、溶蚀裂隙与下方采空区连通。采空区对岩溶地面塌陷的产生所起作用表现在两个方面:一是采空区为塌陷提供巨大的物质储存空间;根据矿区的生产规模和开采年限,初步估算采空区容积达 $400 \times 10^4 \text{ m}^3$,采空高度在 20 m 以上;塌陷发生(或回填)后,堆积在溶洞中土体在第四系水垂直渗漏补给岩溶水过程中,又被潜蚀破坏,溶洞中的土体随着水流加上重力作用不断进入采空区,造成地面出现持续变形或再次塌陷。二是采空区揭露了部分溶洞,且局部地段顶板厚度仅 10 余米,上方土体通过溶洞、溶蚀裂隙与采空区连通,缩短了物质的运移途径和阻力。在采矿时期,因安全需要,对顶板、揭露的溶洞进行了维护,可以有效地防止上方土体进入采空区;而目前矿区已停采,无人管理顶板及封堵的溶洞,可能存在顶板失稳、溶洞封堵塌落失效的现象,上方土体甚至可以仅依靠重力作用进入采空区,更加速了土洞的形成和塌陷的发生。

(5)塌陷成因。研究区覆盖层厚度较薄,力学性

质差,易被潜蚀破坏;区内岩溶发育,为地面塌陷提供了物质储存空间。岩溶水位远低于孔隙水位,孔隙水垂直入渗补给岩溶水,在入渗补给岩溶水的过程中不断对上覆土体产生潜蚀破坏,将潜蚀破坏的土体带入溶洞,在覆盖层中形成土洞;进入溶洞的物质随着强烈的水平径流向煤炭坝降落漏斗中心运移和在重力、渗透作用进入采空区,掏空溶洞。随着潜蚀、径流的不断持续,覆盖层中形成的土洞不断扩大,发展到一定阶段,在降雨等因素作用下,土洞失稳产生塌陷。

研究区发生7个岩溶地面塌陷坑中,塌4、塌8分布在采空区外靠近煤炭坝矿区中心。根据文献[8],塌4、塌8所处位置为研究区内冲沟(北东向)与北西向冲沟交汇处,其覆盖层厚度在10~15 m,单层结构,冲洪积成因土层,力学性质较差;该区处在岩溶强烈发育区,茅口组(P_1m)灰岩岩溶强烈发育;同时塌4、塌8处在煤炭坝矿区降落漏斗中心边缘,岩溶水与第四系水存在巨大的水头差,第四系水不断垂直渗漏补给岩溶水,渗漏补给岩溶水过程中对土体产生强烈的潜蚀作用,加速土洞的形成与发展,导致塌陷。因其处在采空区的下游(按目前地下水流向),采空区对其影响较小。而塌1、2、3、5、6的发生与发展除与塌4、8有类似的影响因素外,与宁乡市新城建筑厂灰岩矿采空区的存在有极大的关系。

3 岩溶地面塌陷防治

3.1 岩溶地面塌陷的发展趋势

(1)研究区内7个岩溶地面塌陷,仅2个塌陷目前处于相对稳定状态,5个塌陷处在持续变形的不稳定状态,塌陷坑及周边的变形迹象十分明显。其中塌2在调查期间的10余天时间内,经过了填埋—塌陷—再填埋—再塌陷,反复5次回填工作后,仍继续变形,塌坑的大小和深度均不断扩大。塌5于2013年发生,对该处塌坑前后经过了4次回填工作,但目前仍不稳定,混凝土硬化地面出现了一条长约8 m、宽约20 cm的变形裂缝,且仍在持续变长、加宽。

(2)煤炭坝煤矿虽停采,但地下水位远未恢复,周边地下水向漏斗中心汇流,加之研究区位于贺石桥径流带,地下水水平径流强烈,不断冲蚀溶洞充填物,为塌陷提供物质储存空间;同时区内孔隙水与岩溶水存在的巨大水头差短期内无法消失,孔隙水补给岩溶水的垂直入渗作用仍然存在,伴随土洞形成的潜蚀作用也存在。区内仍存在发生岩溶地面塌陷的覆盖层条

件、岩溶发育条件和地下水动力条件,未来仍会发生岩溶地面塌陷。同时,巨大的采空空间短期内无法全部充填,老塌陷将会持续变形、复塌。因此研究区将会迎来更为猛烈的岩溶地面塌陷。

3.2 地质灾害防治建议

基于对研究区地面塌陷的现状、成因及发展趋势分析,由于岩溶发育的不均匀性和模糊性,无法准确预测岩溶地面塌陷发生的具体地点,预防难度大;采取如注浆、采空区回填等工程措施彻底消除区内隐患将耗资巨大,不可取。仅对已发生的塌坑进行简单的回填治理也无法从根本上消除隐患,且回填后塌坑的稳定性差,可能会继续变形甚至复塌。因此,对研究区岩溶地面塌陷易发地段即新城建筑厂灰岩矿采空区及周边居民实施整体搬迁避让方案。由于实施整体搬迁避让工程无法短期内完成,应分步实施,首先对采空区上方居民实施搬迁,然后对采空区周边危险区实施搬迁。在分步实施过程中还要采取以下措施:

(1)在搬迁避让工程完成之前,建立地质灾害监测预警网络,即建立以群测群防监测为主、群专结合的地质灾害监测预警网络,对区内开裂民房、地表沉降和地下水位动态等进行监测;

(2)在搬迁避让工程完成之前,对区内危害较重的房屋进行适当维修加固;

(3)建立完整的排水系统,如有可能,对区内三口水塘进行填埋,对地表裂缝采用水泥砂浆、黏土填充,减少地表水入渗,降低地面塌陷发生的机率。

(4)区内若继续发生岩溶地面塌陷,必须尽快对塌陷坑进行回填,一方面可减少地表水入渗减轻地质灾害再次发生的可能性,另一方面可防止由于塌陷坑带来的次生灾害的发生。

4 结 论

(1)煤炭坝镇富家村岩溶发育、覆盖层较薄且力学性质差具有强烈遇水分解性是岩溶地面塌陷的产生内在因素;煤炭坝矿区疏干排水形成巨大的降落漏斗造成研究区孔隙水与岩溶水存在巨大的水头差,孔隙水垂直渗漏补给岩溶水,加强了地下水的潜蚀作用,促进土洞的形成与发展,是岩溶地面塌陷的主要诱发因素。新城建筑厂灰岩矿采空区对岩溶地面塌陷发生起到强烈的促进作用。采空区为塌陷提供了巨大物质储存空间,同时缩短了物质运移途径,加快

了土洞的形成以致塌陷。

(2)煤炭坝矿区疏干地下水形成的降落漏斗远未恢复,研究区的垂直入渗作用和水平径流强烈;同时新城建筑厂石灰石矿停采,采空区顶板、溶洞封堵因无人管理将失效;本区岩溶地面塌陷的发生可能会更加频繁和剧烈。

(3)对区内岩溶地面塌陷的防治建议实行搬迁避让工程,在搬迁避让完成以前做好监测工作。

(4)地下水动力条件是促发岩溶地面塌陷的重要条件之一。由于研究区岩溶水位埋深大,未能准确探测岩溶地下水位,因此本文只能定性研究地下水动力条件对岩溶地面塌陷发生的影响。在今后的研究中,要建立并完善地下水监测体系,加强地下水动力条件的监测,掌握岩溶水位变化特征及其对塌陷发育的影响。

参考文献

- [1] 孙锡良,欧健,陈亮晶,等.湖南省宁乡县煤炭坝镇富家村地灾应急抢险地面塌陷地质灾害勘查报告[R].长沙:湖南省地质矿产勘查开发局 402 队,2017.
- [2] 蒋小珍,雷明堂,管振德.单层土体结构岩溶土洞的形成机理[J].中国岩溶,2012,31(4):426-432.
- [3] 林丹,游省易,唐小明.矿坑排水与岩溶地面塌陷的关系[J].中国岩溶,2016,35(2):202-210.
- [4] 赵博超,朱 蓓,王弘元,等.浅谈岩溶塌陷的影响因素与模型研究[J].中国岩溶,2015,34(5):515-521.
- [5] 万志清,秦四清,李志刚,等.土洞形成的机理及起始条件[J].岩石力学与工程学报,2003,22(8):1377-1382.
- [6] 尹若钧,盛智勇.郴州市岩溶地面塌陷分布规律及防治措施探讨[J].地质灾害与环境保护,2005,16(2):143-146.
- [7] 袁道先,蔡桂鸿.岩溶环境学[M].重庆:重庆科技出版社,1988.
- [8] 皮建高,孙锡良,陈亮晶,等.湖南宁乡大成桥地区地面塌陷地质勘查报告[R].长沙:湖南省地质矿产勘查开发局 402 队,2013.
- [9] 陈亮晶,孙锡良,皮景,等.湖南宁乡大成桥地区岩溶地面塌陷分布特征及影响因素分析[J].中国岩溶,2014,33(4):490-497.
- [10] 金晓文,陈植华,曾斌,等.岩溶塌陷机理定量研究的初步思考[J].中国岩溶,2013,32(4):437-446.
- [11] 雷明堂,蒋小珍,李瑜.岩溶塌陷试验、评估与管理方法研究[J].地质灾害与环境保护,2002,13(1):18-22.
- [12] 张苍松.岩溶地面塌陷的成因与防治[M].北京:中国铁道出版社,1994.
- [13] 《工程地质手册》编委会.工程地质手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [14] 中华人民共和国地质矿产部.岩溶地区工程地质调查规程 DZ/T 0060-1993[S].1993.

Cause analyses and prevention suggestions for the karst collapse in the Fujia village of Hunan, China

SUN Xiliang, CHEN Liangjing, OU Jian, CHEN Wendong
(402 Geological Prospecting Party, Changsha, Hunan 410004, China)

Abstract Based on the theory of karst ground collapse, this work studied the genesis and development trend of the karst ground collapse at the Fujia Village, Ningxiang Coal Mine. Previous surveys show that high distribution density, large collapse scales, poor stability after backfilling, and continual deformation or even collapse again characterize the study area. Analysis of the geological environment conditions reveals that the thickness of the cover layer is relatively thin and karst is developed in this area. Meanwhile a huge falling funnel formed in the drainage of the coal dam mining area. Furthermore, a vast large hydraulic gradient is present between the pore water and karst water, which leads to the occurrence of karst ground collapse in the area. At the same time, a huge goaf formed in the limestone mine within this area, which has greatly promoted the occurrence of karst ground subsidence. And its functions are as follows. First, it provides a huge material storage space. Second, it greatly reduces the material migration path. The soil in the area is transported by the erosion of groundwater. The upper soil loses its support and continuously flows into the goaf, resulting in poor stability after backfilling of the pit and the collapse of the old collapsed pit.

Key words karst collapse, cause analysis, goaf, Ningxiang

(编辑 吴华英)