

沂蒙山区南龙口岩溶地面塌陷形成机制探讨

杨明, 荣玉伟, 田洁, 杨启俭

(山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276006)

摘要:沂蒙山区南龙口隐伏灰岩分布区,上覆第四系砂砾石层、砂质黏土等,受地下水集中开采、降水等诱发因素的影响,近年来多次发生地面塌陷,导致交通干线、民房及村中道路受损,造成一定的经济损失,对当地村民的生命安全及重要交通干线构成威胁。该文初步分析研究了岩溶地面塌陷的特征、形成条件及影响因素,提出了防灾减灾措施。

关键词:岩溶地面塌陷;成因;南龙口;沂蒙山区

中图分类号:P642.26

文献标识码:A

沂蒙山区位于沂沭断裂带以西的鲁西旋扭构造分区,分布有近SN向排列的单斜盆地,各盆地南侧及中部分布一定面积的灰岩。在第四系覆盖的隐伏灰岩区具备了形成岩溶地面塌陷的地质条件,在自然和人为因素影响下,局部地段岩溶塌陷发生频繁,造成了一定的经济损失。其中,南龙口地区即是典型的一例。

1 研究区位置与地质背景

研究区位于山东省沂南县南龙口村一带,地处沂蒙山区腹地,海拔130 m左右。塌陷影响范围涉及京沪高速公路南龙口段和南龙口村,面积约6 km²(图1)。

区内地层为第四纪泥砂质卵砾石层、亚砂土、亚黏土等,厚3~10 m;下伏基岩为寒武纪朱砂洞组(原地层划分方案为馒头组)厚层灰岩,岩溶较发育。区内具备形成岩溶地面塌陷的地质条件。

区内断裂较发育。在塌陷区附近发育NE和NW向2组小规模断裂,尤其在断裂交会处,易于岩溶地面塌陷的产生。

2 研究区岩溶塌陷概况

自1984年,京沪高速公路南龙口段及南龙口村

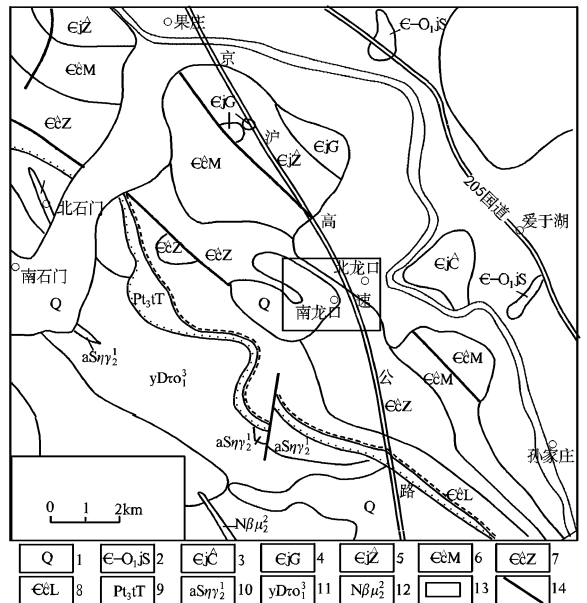


图1 南龙口塌陷区位置及地质略图

1—第四系;2—三山子组;3—炒米店组;4—崮山组;5—张夏组;6—馒头组;7—朱砂洞组;8—李官组;9—野头组;10—松山单元;11—东近台单元;12—牛岚单元;13—塌陷区范围;14—断层

一带多次发生地面塌陷,尤其2000年以来,塌陷次数不断增加,规模也逐渐增大(表1)。据不完全统计,近年来共发生地面塌陷14起,毁坏民房60余间,并造成路面、耕地破坏等现象,直接经济损失100余万元,间接经济损失数百万,且对京沪高速

* 收稿日期:2009-02-12;修订日期:2009-05-28;编辑:陶卫卫

作者简介:杨明(1982—),男,山东郯城人,助理工程师,主要从事水文地质环境地质勘查与研究工作;E-mail: yangqij@163.com。

公路运输构成威胁^①。

表1 研究区岩溶地面塌陷情况

编号	位置	形态	规模(m ²)	发生时间
1	高速公路近旁	近圆状	8	1984.6.25
2	村东沟西80m	圆状	7	2000.6.17
3	村东沟中	圆状	5	2001.5.26
4	村中居民房中	圆形	6	2003.8.28
5	村中小路	近圆形	7	2005.2.15
6	村东	近椭圆形	15	2005.4.27
7	村东南	近圆形	8	2005.5.18
8	村中	圆状	4	2005.6.20
9	村东北路边	圆状	2	2005.7.06
10	村北居民房中	圆状	7	2005.7.16
11	村前小河边	圆形	9	2006.8.27
12	村中居民庭院内	圆形	8	2006.8.29
13	村北树林	椭圆形	18	2007.6.29
14	村中	近圆形	8	2007.8.07

3 岩溶塌陷特征及分布规律

3.1 一般特征

(1)形态特征:岩溶塌陷形态平面上多呈圆形或椭圆形,立体形态多呈筒状、坛状或漏斗状。塌陷规模一般不大,陷坑直径2~5m,多孤立出现。

(2)塌陷的突发性:岩溶塌陷前大多无明显征兆,塌陷过程短,从发生到终止不超过几小时。

(3)塌陷的重复性:岩溶塌陷发生后,经过一段时间,在原塌陷坑或附近再次产生新的塌陷。

3.2 分布规律

(1)地面分布规律:塌陷多分布在南龙口村中东部,呈NE—SW向线状分布,与古冲沟展布方向一致。据统计,在已发生的14处塌陷中,位于该线上的塌陷有11处,占总塌陷坑的79%;京沪高速公路两侧2处;地下水漏斗范围内1处(图2)^②。

(2)时间分布规律:塌陷发生时间多在地下水水位迅速下降期及较大降雨后,发生的时间与地点随机性大,出现频率逐渐增高。据统计,2—4月份岩溶塌陷占总塌陷次数的15%,5—8月份占85%,9月份至第二年1月份未出现过塌陷。

(3)高速公路沿线频繁的机械振动是导致岩溶塌陷的另一诱因。

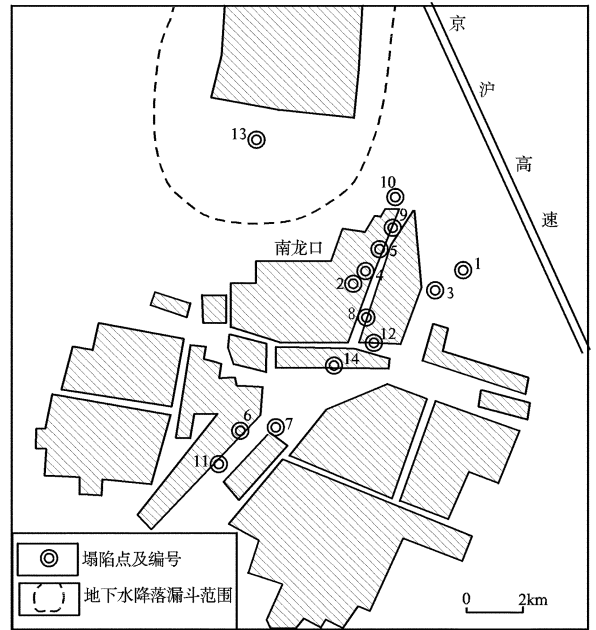


图2 南龙口岩溶地面塌陷点分布图

4 岩溶塌陷形成机制分析

4.1 地质条件分析

下伏灰岩的岩溶发育程度和上覆土层的性质、厚度是岩溶塌陷形成的基本条件。灰岩裂隙岩溶的发育是岩溶塌陷的先决条件。塌陷区位于隐伏灰岩分布区,下伏基岩为寒武纪朱砂洞组厚层灰岩,溶孔、溶隙及溶洞均较发育,易使盖层塌落的土体在流水作用下迁移,隐伏灰岩区发育的岩溶裂隙为地面塌陷奠定了特定的地质环境基础。

灰岩上覆砂土层的性质和厚度是岩溶塌陷形成的重要条件。一般情况下,覆盖层厚度小于30m易发生岩溶塌陷。塌陷区内覆盖层厚度较薄,岩性分为2种:一种为冲沟及两侧分布的冲洪积泥砂质卵砾石层,结构松散,在地下水流动过程中,充填在卵砾石中的泥砂质成分易被流水带走,产生潜蚀作用生成土洞。土层性质与土洞形成后的减压拱承载力及其稳定性有关,松散的砂砾石层拱承载力较低,故易塌陷。第四系松散层孔隙水与隐伏灰岩裂隙岩溶水有着密切的水力联系,构成双层介质统一含水体系。

① 杨启俭、王宏雷、窦连波,山东省第七地质矿产勘查院,临沂市地质环境监测报告,2006年。

② 杨启俭,山东省第七地质矿产勘查院,沂南县南龙口岩溶地质调查报告,2007年。

当地下水位下降后,上覆砂土层失去地下水对它的浮托力,这是古冲沟一线易产生塌陷的主要原因。另一种为冲沟外围的亚砂土、亚黏土,在地下水开采降落漏斗范围内及边缘地带,由于水位下降,在上覆黏性土中易产生真空吸蚀而形成土洞,直至塌陷^[1]。

4.2 地下水开采条件分析

地下水开采集中,布局欠合理。1994年后,南龙口村北相继建成3处规模较大的石英砂加工厂,截至目前,共有10家选矿厂。这些石英砂加工厂需要大量的水作为冲洗液进行选矿,而附近无充足的地表水体,故开采利用地下水。目前区内有地下水开采井7眼,集中于50 m×50 m范围以内。含水层为寒武纪朱砂洞组灰岩。由于集中大量开采地下水,水位下降迅速,在地下水降落漏斗范围内,因水位的反复升降,易造成局部上覆砂土层的流失,最终导致局部塌陷。随着开采地下水时间的延续,塌陷频率不断增高。受地下水开采影响而产生土洞有着相应的滞后时间,2000年后陆续产生的塌陷基本与集中大量开采地下水导致土洞产生的滞后时间相吻合。

另据调查,在塌陷点集中分布区附近还有村民生活用水井,自石英砂厂大量抽取地下水后,枯水期经常干涸,水位波动较大。此外,在村南菜园内,有多眼抽水浇灌菜园用的小井。这些水井的长期使用,也是形成塌陷的诱发因素之一。

2004年11月18日,南龙口村附近的饮用水井出水浑浊,成泥浆状。根据地下水浑浊的颜色、范围及延续时间等分析,地下水浑浊的原因为石英砂选矿厂排出的废水通过河床砂层补给岩溶水所致。这表明地表水与地下水联系密切。

4.3 地下水动力场分析

在岩溶塌陷物质迁移及能量转换系统中,其动能系由岩溶水势能转换而来,它是产生潜蚀及物质运移的动力条件。没有地下水的流动,岩溶塌陷不可能发生^[2]。在地质条件既定的情况下,在南龙口村北石英砂选矿厂未大量抽取地下水之前,区内地下水基本处于自然状态,水位变幅小,地下水水位仅在砂土层中波动,岩溶塌陷很少发生。但自2000年以来,由于地下水开采井的增加,且开采布局欠合理,开采强度变化大,导致水位大幅度下降,塌陷区丰水

期地下水埋深为1.5 m左右,枯水期可达8~10 m,地下水变幅较大。地下水水位经常在第四系与下伏灰岩接触带附近上下波动是产生岩溶塌陷的外动力。地下水动力场的反复变化对其周围的介质产生各种强烈的物理地质作用,使原有的水土岩体系内的力学平衡状态发生变化,引起上覆土体结构的破坏,在土层下部产生洞穴,当洞体扩大且洞顶板变薄时,洞顶支撑力小于土体的自重时,即发展成为岩溶塌陷。

4.4 降水影响因素分析

连续降雨可使灰岩上覆的第四系松散层软化,自重增加,强度降低,这些变化引起洞顶力学平衡状态的恶化。据资料分析,塌陷发生的次数与年降水量关系密切,如2005年,年降水量1115 mm,为丰水年份,该年出现塌陷6次,频率较高(图3)。此外,塌陷受次降水量大小影响较大,一般在连续降水后,塌陷次数明显增加。如2005年6月20日,该区突降多年不遇的特大暴雨,2小时降水量188 mm,当日先后发生塌陷2处,2个陷坑均呈圆形,直径在2 m左右。

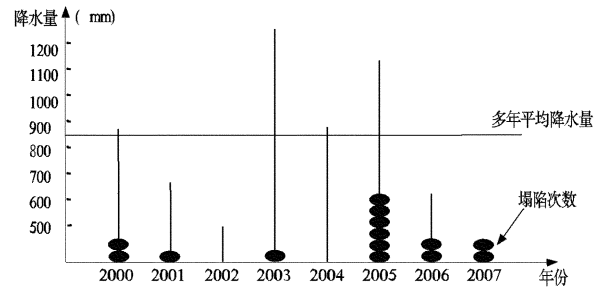


图3 塌陷频率与降水量关系图

4.5 塌陷成因类型分析

区内塌陷按成因可划分为2种类型。即以岩溶塌陷为主,局部存在第四系塌陷。

岩溶塌陷为区内主要塌陷类型,根据第四系岩性及厚度的不同,岩溶塌陷形成过程也存在差异。

渗透潜蚀型。该区产生的岩溶塌陷以潜蚀作用占主导地位。由于灰岩顶部岩溶发育,溶蚀孔洞及溶隙是地下水的良好通道,当地下水位变幅大、地下水的流速和水力坡度相应增大,水力坡度达到临界面时,砂土颗粒开始被水流携带迁移,在上覆第四系土层内形成空洞。尤其当岩溶水位在灰岩顶界面附近时,地下水的波动加快了对充填物及上覆土层的冲刷、崩解、搬运、剥落等破坏作用,加速了土洞的形成。土洞的形成改变了其原始应力状态引起洞顶坍塌。

落,在地下水不断潜蚀及土体重力作用下,土洞不断向上发展,当土层厚度较大时,洞顶可形成天然平衡拱,土洞停止发展而隐伏于地下。当土层较薄,顶部覆盖层自重压力大于土洞顶部厚度的极限抗压、抗剪强度时,或强降雨使洞顶土层饱和而强度降低时,便产生塌陷。此类塌陷主要集中分布在古冲沟内结构松散的冲洪积泥砂质卵砾石层中。

真空吸蚀型。当第四纪覆盖层为黏性土时,承压岩溶含水层相对密封,当地下水位大幅度下降、地下水位低于覆盖层底板时,在地下水面与覆盖层底板之间形成真空负压空腔带,负压水面对盖层产生液面吸吮作用,抽吸盖层的砂土颗粒,使土体遭受掏蚀,在承压浮托力消失、重力相应增加及负压吸力作用下,土体产生坍塌崩落形成土洞,其不断发展直至土体失去自拱能力而导致地面塌陷。此类塌陷主要分布在南龙口村北第四系黏性土的地下水降落漏斗范围内。

区内第四系厚度较薄,结构较疏松,当地下水位处于第四系底板之下时,降水通过第四系入渗到灰岩岩溶裂隙的过程中,就能带走砂层中的颗粒,如果形成通道,则下渗水流向此集中,冲刷力量加大,加速了土洞的掏蚀和塌陷的形成。

据在南龙口村北部布置的物探剖面线表明,灰岩顶面凸凹不平,但深部岩溶不发育。第四系冲洪积物厚度一般3~10 m,岩性主要为泥砂质卵砾石层,结构疏松,砾径一般10~30 cm,次棱角状。由于冲洪积物中巨石块及大砾石含量较多,充填其中的泥砂质成分易被地下水径流带走,于是在第四系松散冲洪积物中形成空洞,随着流水的不断侵蚀,空洞逐渐增大,在诱发因素的影响下,易形成塌陷。此类塌陷在孟良崮一带变质岩分布区的山谷中也可以见到。

塌陷区附近存在NE及NW向的小断层,但与塌陷点的线状分布不吻合。据调查表明,区内塌陷点成线状分布主要受古河道或古冲沟分布的影响。由于第四系冲洪积物以泥砂质卵砾石层为主,结构疏松,如果地基处理不好,即使不在岩溶塌陷处,也有可能出现房屋沉降不均、细小裂缝等问题。

4.6 岩溶塌陷形成机理

综上所述,岩溶塌陷必须具备特定的条件,即物质基础条件和地下水动力条件,二者缺一不可。其塌陷形成过程大致分为4个阶段:土洞未形成前→

土洞初步形成→土洞初步向上发展→地面塌陷(图4)^[3]。

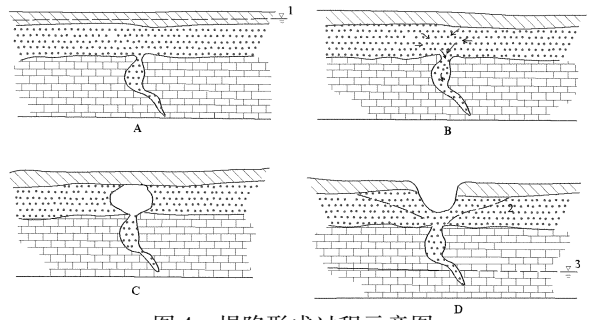


图4 塌陷形成过程示意图

A—水位下降前状态;B—地下水水位下降引起的水流潜蚀搬运阶段;C—暂时潜蚀掏空阶段;D—上伏土体塌落阶段;
1—岩溶水第四系孔隙水混合水位;2—第四系水位降落漏斗;
3—岩溶水水位

岩溶塌陷的形成机理可大致简化为:在第四系松散层覆盖的岩溶发育隐伏灰岩区,由于自然、人为因素(主要为大量抽取岩溶地下水)的作用,造成水位下降,水动力条件改变,第四系覆盖层砂土颗粒被地下水迁移,地层遭受破坏失去完整性生成土洞,形成土拱并产生拱形松动,在重力作用下失去平衡,突发地面塌陷^①。

$$\frac{Q_4 \text{ 松散层}}{\text{岩溶发育的基岩}} + \text{水动力作用} \left\{ \begin{array}{l} \text{渗透潜蚀} \\ \text{真空吸蚀} \\ \text{其他} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{土洞}} \text{地面塌陷}$$

(物质条件) (动力条件) (结果)

4.7 岩溶塌陷发展趋势预测

从区内所处的地质条件和存在的人为诱发因素分析,南龙口附近继续发生小面积岩溶地面塌陷的可能性较大。根据松散盖层稳定性评价结果,空洞顶板埋深均小于临界厚度13.13 m,松散层稳定性差^[4]。临界厚度计算公式:

$$H = \frac{2a}{\tan^2(45^\circ - \varphi/2) \tan \varphi}$$

式中:H—临界厚度(m);a—空洞长度的一半(m);
 φ —内摩擦角(°)。

据物探资料分析,地面以下10 m以上,第四系中存在多处隐伏土洞,尤以目前塌陷集中分布的地带内异常明显。因此,根据岩溶塌陷的形成条件、上覆松散层的结构特征并结合物探资料综合分析,塌

① 冯克印、姚春梅、宋长斌,山东省地质环境监测总站,山东省临沂市地质环境调查与岩溶塌陷预警系统建设研究,2005年。

陷区岩溶塌陷危险性预测评估确定为大。

5 防灾减灾措施及建议

(1) 建立地质灾害防治领导机构, 群专结合, 高度重视, 加强预防, 对村民进行预防地质灾害的宣传教育, 提高防范意识^[5]。

(2) 严禁在地质灾害易发区内新建住房, 已有民宅视情况考虑采取搬迁避让措施。

(3) 尽快对现有塌陷坑进行治理, 建议在底部用水泥或黏土封闭, 上填黏土或碎石土, 在塌陷易发区设立警示牌。

(4) 对塌陷区附近的用水企业, 应限量开采地下水, 调整开采量及开采布局, 企业要建立循环用水设施, 减少人为诱发因素的影响。

(5) 尽快开展塌陷区的勘查工作, 详细查明溶洞的规模及分布规律, 划分地质灾害危险区, 根据勘查结果采取相应的对策与措施。确需在塌陷区内进

行工程建设的, 应采取跨越、强夯、灌注填充、旋喷加固等方法, 消除或避免塌陷危害^[6]。

(6) 加强岩溶塌陷区的监测工作, 设立长期监测点, 建立完善的岩溶监测系统, 进行预测预报, 确保人身安全。

参考文献:

- [1] 徐军祥, 邢立亭. 济南泉城岩溶水数值预报与供水保泉对策[J]. 地质调查与研究, 2008, (3): 209-213.
- [2] 李佩成. 地下水动力学[M]. 北京: 农业出版社, 1993.
- [3] 吴爱民, 万继涛, 李公岩. 枣庄市岩溶塌陷形成规律及防治[J]. 山东国土资源(原山东地质), 1997, 13(2): 78-82.
- [4] 冯克印, 任翠爱, 姚春梅, 等. 地下水数值模拟在岩溶塌陷预警系统中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(2): 112-116.
- [5] 段秀铭, 郑庭明. 山东省地质灾害分区与防治对策研究[J]. 山东国土资源, 2007, 23(4): 1-6.
- [6] 张广安, 鲁峰, 渠涛, 等. 泰安市泰山区岩溶塌陷成因分析及防治措施[J]. 山东国土资源, 2007, 23(10): 31-33.

Primary Analysis on Forming Mechanism of Karst Land Collapse in Nanlongkou of Yimeng Mountainous Area

YANG Ming, RONG Yuwei, Tian Jie, YANG Qijian

(No. 7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Linyi 276006, China)

Abstract: Nanlongkou of Yimeng mountain area locates in concealed limestone area. It is covered by Quaternary sand and gravel and sandy clay strata. In recent years, due to effects of concentrated exploitation of groundwater and precipitation, ground collapse has happened few times and damaged the traffic, partial houses and roads in villages. It has threatened life security of village people and main traffic trunk. On the basis of study characteristics of karst land collapse, forming condition and influence factors, countermeasures are put forward to prevent and control geological disasters in Nanlongkou area.

Key words: Karst land collapse; genesis; Nanlongkou; Yimeng mountain area