

贵州牛场岩溶地面塌陷 的形成及其防治

徐文

(贵州省地矿局第二水文地质工程地质大队)

摘要 通过对牛场多孔抽水试验区岩溶地面塌陷的成因分析,阐述了大强度大降深抽水对岩溶塌陷的影响,并提出了相应的防治措施。

关键词 多孔抽水试验;塌陷;防治;贵州牛场

1 水文地质概况

牛场水源地位于贵州牛场镇北西3km处,1987年8~11月因进行抽水试验,曾一度引起多处地面塌陷,农田遭受严重破坏。

试验区位于牛场向斜西翼,属牛场水源北段,靠近清水江与乌江的分水岭,标高1110m左右。气候温湿多雨,多年平均降水量1167.53mm。NW-SE向延伸的溶蚀谷地贯通该区。谷地长近6km,宽小于0.5km,两侧侵蚀溶蚀低中山相对高差50~120m。近EW向断层横穿谷地(图1)。沿谷地西缘发育有一常年性小河——西门河,是本区岩溶地下水汇流排泄的主要场所。

区内三叠系下统茅草铺组第一至第三段(T_{1m}^{1-3})弱白云化灰岩和灰质白云岩岩溶含水岩组广布,岩层倾向北东,倾角30~37°。溶隙、溶洞发育(见表1)。溶隙以NE70~80°和NW310~340°方向最为发育,且连通性好,抽水期间水位恢复较快,一般只需0.5~2天便恢复到抽水前的静水位。地表溶沟、溶槽、溶蚀裂隙多充填亚粘

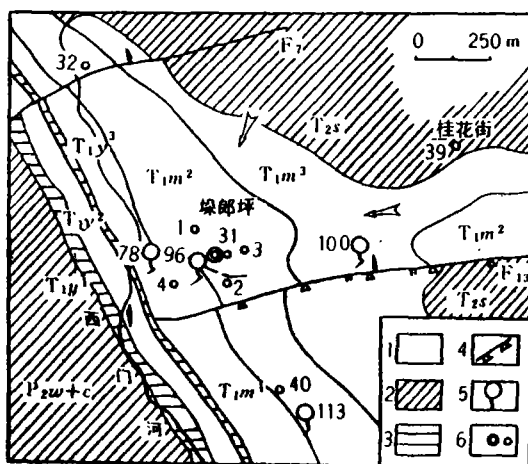


图1 试验区水文地质略图

Fig.1 Hydrogeological schematic map of the test area

1—纯碳酸盐岩含水层;2—碎屑岩夹碳酸盐岩含水层;3—隔层;4—阻水断层;5—泉;6—多孔抽水试验井及观测孔

表1 隐伏岩溶发育特征

Tab.1 Characteristics of the development of buried karst

孔号	溶 隙		溶 洞		特 征 简 述
	发育深度(m)	数量(条)	发育深度(m)	洞高(m)	
1			27.20~28.70	1.50	泥砂半充填,洞顶底板蜂窝状溶孔发育,岩心采取率25%左右
2	10.98~29.13	5			孔深13.98m冲洗液漏失,29.13m时冲洗液从96号泉流出
3	105.15以上				小裂隙和溶孔发育,溶孔孔径2~10mm,孔隙率20%左右
31	176.88以上		55.40~57.72 62.60~63.50	2.32 0.90	小裂隙多。溶洞沿小断层发育,半充填粘土,顶板溶孔发育,孔径1~10mm
32	31.38~94.58	6	85.78~86.68 99.04~101.14	0.90 2.10	溶隙中充填粘土。溶洞未充填,洞底板溶孔发育。岩心采取率0~40%
40	12.40~120.60	17	37.20~37.60	0.40	溶隙面见钙华附着。溶洞未充填。岩心采取率25~50%
主井	10.58~181.30	25	58.80~61.74 62.74~64.44	2.94 1.70	高倾角裂隙发育,钻孔揭露其宽度0.10~1.09m,部分充填粘土。溶洞在小断层面上发育,半充填砂和粘土,洞顶蜂窝状溶孔发育。孔隙率30%左右

表2 抽水强度与岩溶塌陷关系对比

Tab.2 Relation of drawdown and collapse

抽水阶段	持续时间(h)	最大降深(m)	最大出水量(m ³ /d)	塌陷发育阶段	形成塌陷坑数(个)
试 抽	5	15.56	3726	孕育期	0
洗 井	72	29.33	3726	发展活跃期	10
第一次	240	27.49	2555		6
第二次	111	27.36	1582		5
第三次	92	12.03	1516		1
第四次	34.5	10.01	1452	调整休止期	0
第五次	74.5	8.04	1516		0
第六次	264	13.19	1538		1

土或粘土,沟槽深0.5~2.0m,宽1.0~2.5m;溶隙开口宽0.05~0.2m。溶洞主要位于地表下60m以内,多沿断层面发育。洞高1~3m,洞内常见有白云岩粉末残留。 $T_1 m^{-3}$ 灰岩、白云岩含水丰富,96号、78号两泉(图1)枯季流量分别为1.43和6.02 l/s;单井抽水降深29.33m,涌水量可达3726 m^3/d (表2)。岩溶地下水的补给,除大气降水直接渗入外,还接受来自东北部中低山的碎屑岩夹碳酸盐岩地下水的侧向补给,并由北东向南西迳流,最后汇入西门河。

谷地中第四系分布广泛,以亚粘土为主,目前已全部开垦为稻田。土层厚度小,其总的变化规律是:东部较厚(4.46~5.68m),中部最薄(小于2.0m),西部介中(图2)。土层与下伏基岩间常发育有一层厚0.1~0.15m的白云岩细砂,结构松散。谷地西部和东部因雨季地下水潜水位(分别为4.02m和6.63m左右)均低于粘土层底界,粘土呈可塑至硬塑状;而谷地中部地下水水位则接近地表,粘土层处于饱水状态多呈软塑状,以致大片稻田沼泽化(烂泡田)。

2 岩溶塌陷的形态及时空分布特征

区内岩溶塌陷大多呈椭圆形、近圆形。椭圆形塌陷长轴方向主要为北西向,长度一般3.0~6.0m,深2.5~5.0m,呈井状或锅底状,锅底状者底部露出基岩(图3)。最大的塌陷长12m,

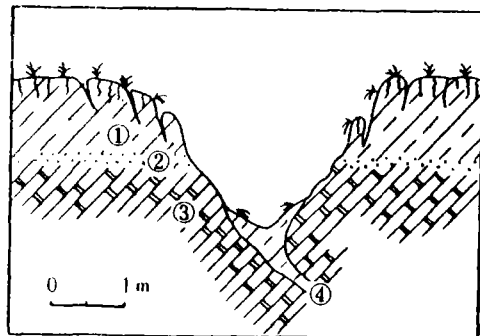


图3 岩溶塌陷剖面图

Fig.3 Sketch map of collapse

1-亚粘土层;2-细砂层;3-白云岩;4-溶蚀裂隙

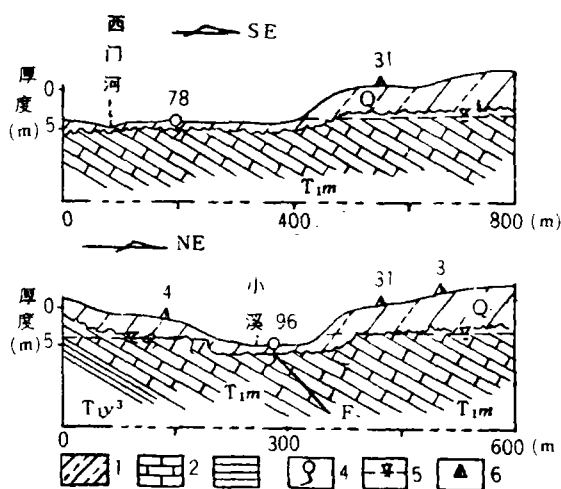


图2 盖层剖面示意图

Fig.2 Schematic sketch map of the cover

1-亚粘土;2-石灰岩;3-页岩;4-泉;5-地下
水潜水位及其流向;6-钻孔

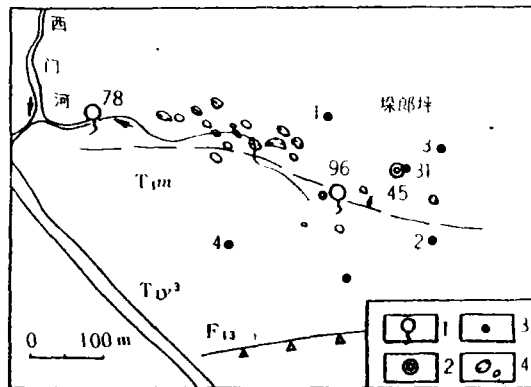


图4 岩溶塌陷分布图

Fig.4 Distribution of land collapse in the test area

1-泉;2-多孔抽水试验孔;3-观测孔;4-塌陷点

宽3.5~5.0m, 深达7.0m。近圆形塌陷规模较小, 半径0.8~1.5m, 深1.5~2.0m, 底未见基岩。在塌陷附近1~2m范围内, 地表常见向塌陷中心倾斜, 并形成宽5~8cm, 甚至达20~30cm的向心环状裂缝(图3)。

塌陷主要分布于78至96号泉之间, 沿主井北西方向集中, 而在主井南西方向上则零星无规律(图4)。塌陷的这一分布特征, 在一定程度上反映了本区北西向构造、洞隙发育和谷地中央土层薄及抽水影响范围内地表水地下水总体向西门河汇集排泄的基本水文地质条件。

在历时107天的非连续抽水过程中, 抽水试验区塌陷发生的频数相差十分悬殊(表2), 说明发育阶段与抽水关系十分清楚。

3 岩溶塌陷的形成条件及成因分析

3.1 岩溶塌陷形成的条件

岩溶洞隙、土层及流动的地下水是岩溶塌陷形成的三个必不可少的条件。对于本区, 这三个条件不仅都具备, 而且发育完好, 作用积极。如前述的浅层洞隙发育(表1); 土层厚度小, 岩性多为亚粘土, 且土层与基岩面之间普遍发育有一层白云岩粉砂; 地下水位大都位于岩土界面上下, 岩溶水补给充足, 迳流畅达。岩溶洞隙的存在, 客观上为地下水的活动及土体塌陷物的接收容纳提供了空间条件; 岩土界面附近的岩溶水, 随着大气降水补给等条件的变化呈周期性地上升下降, 使界面附近土层频频受到冲击潜蚀。而基岩之上的松散盖层多属粒间联结力弱的粘性土类, 抗冲刷能力较低, 亚粘土层之下基岩面之上的白云岩粉砂层更是一冲就散, 一浸就软, 很容易被地下水携带走而形成土洞。抽水试验前, 在谷地中央距主井北西206m处的水田中曾见到的一个近圆形、直径2.4m、深5.0m的井状老塌陷坑, 便是本区具有岩溶塌陷形成条件及其发育完好, 作用积极的最好例证。

3.2 岩溶塌陷的成因分析

本区虽具备了发育完好、作用积极的岩溶塌陷形成的条件, 而且在抽水试验以前也曾有过少量塌陷发生, 但是区内大规模的强烈的塌陷却是由多孔抽水试验引起。抽水由于水位下降, 不仅使原来处于潜水位以下的土层的浮托力消失, 土体自重相应加大及在原先的洞隙内形成负压, 使塌陷力骤然增大, 而且还使得地下水力坡度加大, 流速加快, 地下水的侵蚀冲刷能力加强。洗井阶段, 最大降深达29.73m, 水力坡度为7.33%, 其侧向冲刷力是抽水前天然地下水水力坡度1.46‰的侵蚀能力的162倍。基岩面之上的白云岩粉末及亚粘土层在地下水这种强大的侵蚀冲刷作用下, 结构不断被破坏, 细粒不断被带出。抽水期间, 自试抽到第二次正式抽水, 井中所抽出的地下水一直浑浊不清, 其中泥砂含量最高可达13%。随着抽水的持续进行和土粒源源不断被带出, 土体中土洞不断形成并向上扩展, 最后导致主井附近抽水降落漏斗范围内塌陷大量出现。抽水试验结果表明, 抽水降深幅度愈大, 塌陷愈强烈。如在洗井阶段, 水位大幅度下降, 为整个抽水过程中降深最大的一次(表2), 开泵24小时后距主井北西150m处的稻田坎便出现马鞍形破坏, 并有环形裂缝形成; 开泵不到72小时, 即有9个塌陷发生, 系整个抽水过程中塌陷发生频率最高的时段。

需要指出的是, 导致试验区土体结构破坏、塌陷发生的原因, 除大幅度降深抽水外, 断续反

复抽水也是其中之一。在抽水过程中,每当主井停抽后便发现塌坑内产生冒水和气泡上翻,甚至造成盖层破坏。这一现象表明原来储存在洞体及裂隙通道中的气体因地下水位上升受到强烈挤压,由于气体的压力传导,土体也受到大小相等的挤压作用。随着抽水试验的断续进行,土体反复受到压缩和释放,土体结构破坏不断向纵深发展,从而加速了塌陷发生的进程和增强了塌陷发生的强度。

4 塌陷发生发展阶段的初步划分

根据塌陷的发生过程,本区因抽水试验引起的岩溶塌陷可分为孕育期、发展活跃期、调整休止期。

塌陷孕育期,即试抽阶段。此期间由于抽水时间短,且降深也不太大(表2),刚抽水时,具有一定强度的亚粘土层,对地下水的冲刷侵蚀尚具有一定的抵抗能力,土体受到破坏程度较轻。随着抽水的持续进行和地下水的不断冲刷作用,土体部分颗粒被冲出带走,在岩土界面形成了土洞的雏形。一些早期形成的土洞则不断扩大。

塌陷发展活跃期,即洗井至第二次抽水阶段。本阶段由于降深大,抽水时间长,且中间停抽间隔两次,在强有力的水力冲刷和因抽抽停停洞腔产生的时正时负压力作用下,土体受到进一步破坏,土粒被运出,在降落漏斗影响范围内的土洞不断持续向上扩展,最后导致地面塌陷的大规模出现。

塌陷调整休止期,即第三次至第六次抽水阶段。此时期虽然非连续性抽水时间最长,但由于降深较小(表2),而且大规模的塌陷已经进行过,土层内应力趋于平衡,塌陷进入调整休止期。

5 防治

本区在大强度抽水试验连续引起塌陷后,采取了换泵、调小泵量、减小降深的措施,使塌陷未再持续发生。试验结束后又立即组织力量,按照图5将塌坑回填,经两年观测,各塌陷点周围地面未见变形,收到了良好的治理效果。为避免本区岩溶塌陷再次发生,建议今后开采岩溶地下水时采取如下预防和治理措施:

1. 本区具备了易于产生岩溶塌陷的基本条件,投入开采后,不宜采用大泵量大降深进行抽水。

2. 试验表明当抽水量小于 $1300\text{m}^3/\text{d}$,降深在11m左右,水基本抽清,不发生岩溶塌陷。通过多种方法计算,结合试验情况进行分析后,

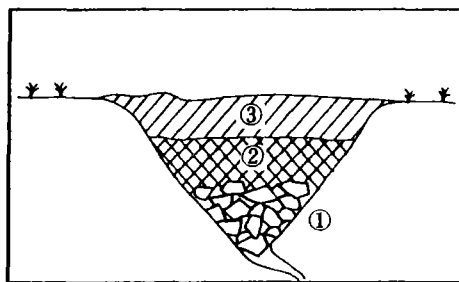


图5 塌陷坑回填结构图

Fig.5 Backfilling structure of collapse

① 大块石层; ② 混凝土石层(大

+1m); ③ 土层(大于0.5m)

建议在该溶蚀谷地中进行地下水开采时,单井出水量不宜超过 $1300\text{m}^3/\text{d}$,开采井总数以6口为宜,地下水开采总量不宜超过 $7500\text{m}^3/\text{d}$,抽水期间应保持水位相对稳定,避免抽抽停停,防止地下水位急剧反复升降。

3. 开采井应安置好有效的过滤器,防止泥砂沿井筒大量流失。

4. 在抽水降落漏斗范围内选择主要迳流方向,主要岩溶裂隙发育带和第四系盖层相对较薄的地段设立观测点,及时掌握地面变形情况,认真分析原因,采取相应的防治措施。

5. 一旦发生塌陷,应采取有效的技术方案及时将塌坑回填,防止地表水沿塌坑灌入污染地下水源、冲刷土体、促进塌陷扩展。

本文在撰写过程中承蒙本队薛立根和杨胜元同志提出宝贵意见,在此一并鸣谢!

参 考 文 献

- [1]项式均等 长江流域的岩溶塌陷,《中国岩溶》,1986年第4期
- [2]左平怡 论岩溶地面塌陷的形成过程与机理,《中国岩溶》,1987年第1期
- [3]康彦仁 岩溶地面塌陷的形成条件,《中国岩溶》,1988年第1期

FORMING PROCESS AND PRECAUTION OF KARST LAND COLLAPSE IN NIUCHANG, GUIZHOU

Xu Wen

(No.2 Team of Hydrogeology and Engineering Geology, Guizhou
Bureau of Geology and Mineral Resources)

Key words: Multidrilling Draw-Water Test; Land Collapse; Prevention and Cure; Guizhou Niuchang

Abstract

The paper deals with the multidrilling draw-water test in the Niuchang karst land collapse. According to genetic analyses, the paper explains why the karst collapses were affected by strongly drawdown. A suitable prevention and cure measure is presented.