

· 环境地质 ·

# 枣庄南部岩溶塌陷风险预测及评估\*

万继涛 杨蕊英

(山东省鲁南地质工程勘察院)

**提要** 枣庄南部岩溶塌陷发育,严重制约着当地经济的发展,并对居民生产、生活构成威胁。通过对影响岩溶塌陷的各要素进行系统的调查,结合当地社会经济发展资料,采用信息预测的方法,对枣庄南部岩溶塌陷进行风险预测及评估,并对不同地段的岩溶塌陷风险等级进行划分,从而为枣庄市地下水资源合理开发利用、环境治理、保护与规划提供了决策依据。

**关键词** 岩溶塌陷 风险预测 防灾减灾 山东枣庄

## 1 地质背景

枣庄地处鲁中南低山丘陵区,为一盆地地形。盆地的南北边缘出露有寒武系灰岩,中心部位被第四系松散层覆盖,后者厚度一般小于 10m,下伏基岩分别为石炭系、奥陶系和寒武系。枣庄市南及东南郊分布有奥陶系灰岩,地下岩溶发育,地下水丰富,单井涌水量达  $5000\text{m}^3/\text{d}$  以上。70 年代,十里泉地段首先被开辟为枣庄市的重要工业区,之后该区和丁庄—东王庄先后被建成城市和工业供水水源地。由于大量开采地下水,枣庄南部地区于 1981 年开始产生岩溶塌陷,塌陷均分布在第四系松散层覆盖下的岩溶强发育区<sup>[1]</sup>。

## 2 岩溶塌陷风险预测及评估方法

岩溶塌陷风险预测及评估就是对一个地区岩溶塌陷这一地质灾害风险区进行预测,评估其风险度,并根据风险度(率)及时发出风险预警信号,以便采取相应的预防措施。风险区预测属信息预测,具体应用“叠置过滤模型”及“叠置过滤制图”进行,风险度评价则采用统计分析法。

对影响岩溶塌陷的各因子进行结构分析,根据其自身在构成风险区时所起作用的大小,合理地设定风险因子所占风险区总风险的百分比,即该风险因子的风险比率。风险因子是由各因子要素构成的,是计算风险度的基础。风险率为各风险因子的风险比率之和,其百分数为风险度,它是评价风险区风险等级的依据。

风险率和风险度的计算公式为:

$$RV_i = \frac{E_{ij} + E_{ir}}{n} \quad (1)$$

$$RT = \sum_{i=1}^n RV_i \quad (2)$$

\* 本文 1998 年 12 月收到,1999 年 2 月改回,游文澄编辑。

式中:  $RV_i$ —风险因子风险比率;  $E_{ij}, E_{if}$ —因子要素风险比率;  $RT$ —风险度。

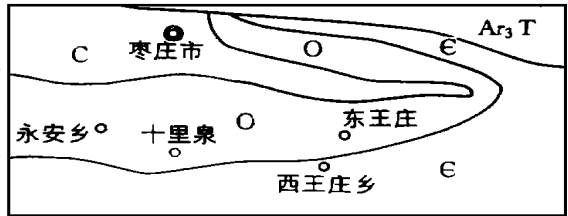
### 3 风险因子调查

#### 3.1 前提风险因子调查

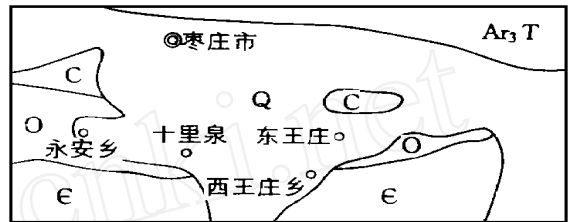
(1) 岩溶: 本区寒武系—奥陶系岩溶最发育, 为发生岩溶塌陷的主要地层, 也是预测评估的主要对象。寒武系岩性组合具有灰岩层次多, 不纯灰岩和页岩夹层多的特点。其中朱砂洞组、馒头组灰岩岩溶主要为溶蚀裂隙, 地下溶洞直径达 2m; 张夏组灰岩地表岩溶较发育, 地下岩溶主要为溶蚀裂隙、蜂窝状溶孔等; 炒米店组灰岩岩溶发育良好, 据钻孔资料, 该组灰岩地下溶洞形态为溶隙、溶洞等, 溶洞直径最大达 2.48m, 岩溶裂隙率在 3.1% ~ 20%。奥陶系灰岩和白云岩, 地下岩溶发育强, 形态为溶隙、溶洞, 岩溶大泉——十里泉就发育在该岩层中, 在开挖时遇有直径 8.3m 的大型溶洞。钻孔揭露的三山子组白云岩溶洞直径分别为 5.44m 和 3.02m; 马家沟组灰岩岩性纯, 厚度大, 岩溶发育强烈, 地表发育有长 15m, 宽 5.3m 的落水洞, 地下岩溶以溶蚀裂隙为主, 发育有直径 12.09m 的溶洞。前期的岩溶塌陷主要发生在该地层的第四系覆盖区。岩溶发育深度一般在 200m 以上, 主要发育在 45~175m, 其发育强度随着深度的增加而减弱。

(2) 覆盖型岩溶预测: 按出露情况将岩溶分为裸露型和覆盖型两类。其中覆盖型岩溶是形成岩溶塌陷的前提因素, 根据基岩地质图及地质图, 用叠置过滤制图法进行预测(图 1); 裸露型岩溶可从地质图上直接圈出。

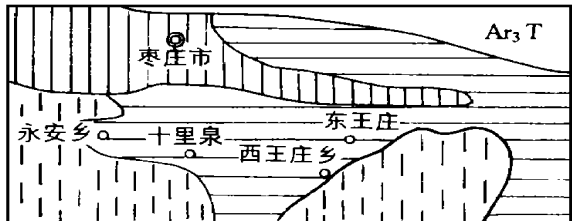
(3) 岩溶塌陷: 80 年代初, 十里泉、丁庄—东王庄地段曾多次发生岩溶塌陷。近两年



(基岩地质图)



(地质图)



(覆盖型岩溶预测图)

0 5 10km

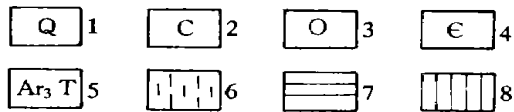


图 1 覆盖型岩溶预测图

Fig. 1 Predication sketch of covered karst

1—第四系; 2—石炭系; 3—奥陶系; 4—寒武系; 5—泰山群;  
6—裸露型岩溶区; 7—覆盖型岩溶区; 8—覆盖型含煤层

来,郭里集东谭家河沿岸也连续发生。

### 3.2 诱发风险因子调查

(1) 自然诱发因子:据有关部门预测资料,近期区内不可能有诱发岩溶塌陷的地震、洪涝等较大自然灾害发生。

(2) 人为诱发因子:由于七八十年代在十里泉、丁庄、东王庄建成城市和工业供水水源地,因而开采量逐年增加,造成地下水超采,形成了以十里泉为中心的地下水降落漏斗。该漏斗 1995 年面积为  $51.2\text{km}^2$ ,中心水位年均  $40.07\text{m}$ ,最大埋深  $30.11\text{m}$ ,成为诱发岩溶塌陷的风险因子。

### 3.3 灾害敏感风险因子调查

(1) 人口密度:区内包括市中的市郊、西王庄、安城、税郭、永安等五个乡镇,人口密度分别为  $1067, 588, 660, 530, 468$  人/ $\text{km}^2$ 。

(2) 经济密度:按国民生产总值计算,上述各乡镇经济密度为市郊乡  $1406$  万元/ $\text{km}^2$ ,安城乡  $321$  万元/ $\text{km}^2$ ,其他乡镇小于  $200$  万元/ $\text{km}^2$ 。

### 3.4 抗损强度风险因子调查

(1) 防灾减灾管理能力:枣庄市设有防灾减灾办公室,已制定汛期地质灾害防治预案,把岩溶塌陷列为重点防治对象。市郊乡因有国家重点企业——十里泉发电厂,距城区又近,因此对防灾减灾较重视,但目前治理资金缺乏,应实施的防治工程措施尚未落实。因此,市郊乡的防灾减灾管理能力评估为中等,其他乡镇评估为弱。

(2) 监测预报水平:十里泉地段因超量开采地下水而引起岩溶塌陷,枣庄市领导及有关部门对其危害性已形成共识。为防治岩溶塌陷,地矿部门在十里泉供水水源地设有地下水动态监测点,建立了地下水水情与地质灾害通报制度,及时向有关领导或部门通报地下水动态变化情况,监测预报水平评估为中等。其外围地区虽也设有观测孔,但数量太少,观测频率低,设备陈旧,监测预报水平评估为低,其他地区监测预报水平亦低。

(3) 防灾减灾措施:枣庄市政府拟调整水源地开采布局,增加新水源,但由于受资金和附近水源条件的限制,以及该区经济人口迅速增长的需要,使得该设想难以实现。十里泉电厂已实施“东水西调”工程,从苍山会宝岭水库引水,项目完成后,可减少十里泉水源地的开采量。因此,十里泉地段的防灾减灾措施评估为中等,其他地区评估为弱。

(4) 建筑物抗损强度:近年来,枣庄市新郊一些新建或改建的民用建筑,多为钢筋水泥结构;厂矿企业的重要建筑物均为正规设计,其建筑标准抗震设防为 7 级地震,抗震性较强,故抗损强度整体评估为中等。其他地区一般为民房或乡镇企业建筑物,多以石砌、砖瓦结构为主,钢筋水泥结构较少,且未经正规设计,抗损强度评估为弱。

## 4 用叠置过滤制图法预测风险区

(1) 根据“是重要的风险因子,有可判别的标志,便于图形表示”等原则,筛选“岩溶类型”、“主要工业设施分布”、“人口密度”、“经济密度”等四个风险因子分别作图(图 2)。

枣庄市人民政府,1995,枣庄市国民经济统计资料。

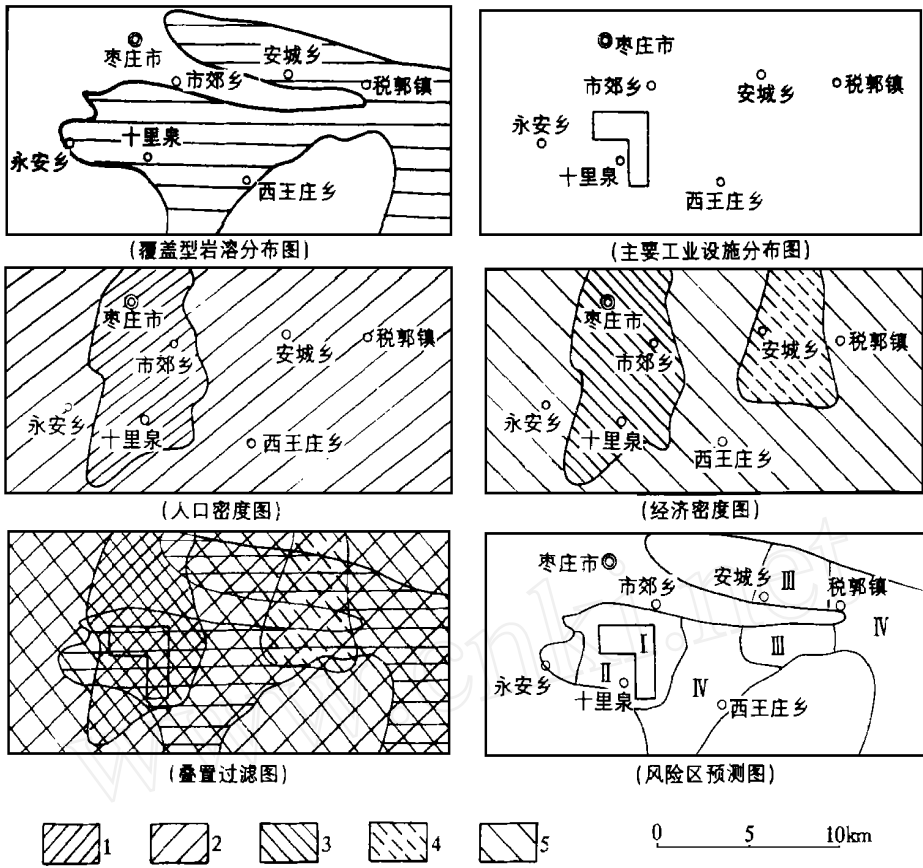


图 2 枣庄南部岩溶塌陷风险区预测图

Fig. 2 Predication sketch of risk area of karst collapse area in south of Zaozhuang city

人口密度:1—大于 1000 人/ km<sup>2</sup>;2—小于 1000 人/ km<sup>2</sup>

经济密度(国民生产总值):3—大于 1000 万元/ km<sup>2</sup>;4—300 ~ 1000 万元/ km<sup>2</sup>;5—小于 300 万元/ km<sup>2</sup>

(2) 将上述四图叠置相加,得“叠置过滤图”,再将该图中四个因子在前提风险因子基础上,圈出其重叠过滤部分,作“风险区预测图”,预测出 、 、 、 岩溶塌陷风险区。

### 5 风险区风险度评估

前提风险因子包括有无覆盖型岩溶分布和历史上有无岩溶塌陷发生,它是决定今后岩溶塌陷是否发生的内在因素,也是风险度的最重要因子<sup>[2]</sup>。因此设定该因子风险度占总风险度的 60%。其余因子风险度总计设定为 40%(其中诱发风险因子为 16%,灾害敏感风险因子和抗损强度风险因子皆为 12%),见表 1。

从表 1 中分别选择各要素的高、中、低风险比率,计算出风险因子的风险比率。再选择风险因子的高、中、低风险比率,分别计算出高、中、低风险区的风险率、风险度(表 2)。

表 1 岩溶塌陷风险比率指标设定

Table 1 Ratio quota determination of karst collapse risk area

风险因子的风险比率			风险因子要素的风险比率指标				
风险因子	风险比率 (%)	代号	因子要素 (E) 指标		代号	风险比率	
前提风险因子	60	RV <sub>1</sub>	有无覆盖型岩溶分布	有	E <sub>1a</sub>	0.5	
				无	E <sub>1b</sub>	0	
			历史上有无岩溶塌陷发生	有	发生频率 > 1 次 / 3a	E <sub>1c</sub>	0.1
					发生频率 > 1 次 / 5a	E <sub>1d</sub>	0.05
					发生频率 < 1 次 / 5a	E <sub>1e</sub>	0.01
				无	E <sub>1f</sub>	0	
诱发风险因子	16	RV <sub>2</sub>	有无诱发塌陷的自然灾害	有	预测发生频率 > 1 次 / 1a	E <sub>2a</sub>	0.08
					预测发生频率 > 1 次 / 5a	E <sub>2b</sub>	0.05
					预测发生频率 < 1 次 / 5a	E <sub>2c</sub>	0.01
				无	E <sub>2d</sub>	0	
			人工引起地下水位下降是否超过安全保护区	超	超急警线	E <sub>2e</sub>	0.08
					超警戒线	E <sub>2f</sub>	0.05
					超预警线	E <sub>2g</sub>	0.01
				未	E <sub>2h</sub>	0	
灾害敏感风险因子	12	RV <sub>3</sub>	是否位于城镇或重要设施区	是	E <sub>3a</sub>	0.04	
				非	E <sub>3b</sub>	0	
			人口平均密度		> 1000 人 / km <sup>2</sup>	E <sub>3c</sub>	0.04
					> 100 人 / km <sup>2</sup>	E <sub>3d</sub>	0.02
					< 100 人 / km <sup>2</sup>	E <sub>3e</sub>	0.01
			经济平均密度		> 500 万元 / km <sup>2</sup>	E <sub>3f</sub>	0.04
					> 300 万元 / km <sup>2</sup>	E <sub>3g</sub>	0.03
					< 300 万元 / km <sup>2</sup>	E <sub>3h</sub>	0.02
抗损强度风险因子	12	RV <sub>4</sub>	防灾管理能力强弱	弱	E <sub>4a</sub>	0.03	
				中	E <sub>4b</sub>	0.02	
				强	E <sub>4c</sub>	0.01	
			监测预报水平高低	低	E <sub>4d</sub>	0.03	
				中	E <sub>4e</sub>	0.02	
				高	E <sub>4f</sub>	0.01	
			防治措施强弱	弱	E <sub>4g</sub>	0.03	
				中	E <sub>4h</sub>	0.02	
				强	E <sub>4i</sub>	0.01	
			建筑物抗损强度	弱	E <sub>4j</sub>	0.03	
				中	E <sub>4k</sub>	0.02	
				强	E <sub>4l</sub>	0.01	

表 2 风险区风险度及风险等级评估指标设定

Table 2 Quota determination of risk degree and class

风险率	风险度 (%)	风险等级	风险区等级
1 ~ 0.78	100 ~ 78	1 级风险	高风险区
0.77 ~ 0.6	77 ~ 60	2 级风险	中风险区
0.59 ~ 0.5	59 ~ 50	3 级风险	低风险区

根据前述风险因子调查研究资料,对照表 1 所列标准得出各因子评估要素风险比率,依前述公式(1)计算风险因子的风险比率  $RV_i$ ,依据公式(2)计算风险度  $RT$ ,再参照表 2,评估出不同等级风险区,结果见表 3。

## 6 小结

枣庄南部岩溶塌陷经风险预测及评估,预测出 , , , 四个岩溶塌陷风险区,各风险区的风险度及风险等级评估结果如下:

风险区:风险度 80.8%,风险率 0.808,为岩溶塌陷高风险区;

风险区:风险度 70.0%,风险率 0.70,为岩溶塌陷中风险区;

风险区:风险率 79.0%,风险率 0.79,为岩溶塌陷高风险区;

风险区:风险度 77.0%,风险率 0.77,为岩溶塌陷中风险区。

对 , 高风险区应进一步开展危险性预测评估,即预测风险区内可能首先发生岩溶塌陷灾害的危险区,同时评估危险强度及等级。

岩溶塌陷风险预测及评估方法,综合考虑了岩溶塌陷形成、发生、发展的各有关要素,在预测参数的选择上,较以往单纯从水位下降或工程地质条件方面进行预测评估更加全面、系统。因此,其成果对该地区今后地下水资源合理开发应用、环境治理、保护与规划提供了较为可靠的决策依据。

## 参 考 文 献

- [1] 吴爱民,万继涛,李恭岩. 枣庄市岩溶塌陷形成规律及防治. 山东地质,1997,13(2):78~82
- [2] 向辑熙等. 地质灾害经济评价系统. 北京:地质出版社,1996.36~38

## RISK PREDICATION AND EVALUATION OF KARST COLLAPSE IN SOUTH OF ZAOZHUANG CITY

Wan Jitao and Yang Ruiying

(Lunan Geologic - engineering Institute)

### Abstract

Karst collapse is widely developed in south of Zaozhuang city. On the basis of survey and structure analysis of the risk factors effected karst collapse, the risk predication and evaluation have been done in this area by the methods of information predication, and the risk class of karst collapse divided. That provides scientific basis for reasonable utilization of underground water and environment managing protection and planning in Zaozhuang city.

**Key words:** Karst collapse, risk predication, hazards prevention and reduction, Zaozhuang city in Shandong province