

湖北大冶县大广山铁矿岩溶塌陷 的预测和评价

项式均 陈 健 覃有强

(地矿部岩溶地质研究所)

摘 要 大广山铁矿位于覆盖岩溶区, 1978—1981年建井期间由于矿坑突、排水和附近的抽水试验, 陆续产生了78个塌陷, 造成河水断流倒灌矿坑、农田被毁、一些建筑物损坏、铁路断道、桥涵下沉开裂, 矿山被迫停建。

本文分析了岩溶塌陷的形成条件, 包括岩溶发育特征、第四系岩性结构和厚度、矿区岩溶水文地质条件及矿坑排水期间的变化。研究了岩溶塌陷的发育与分布规律。更重要的是探讨对矿床开发期间岩溶塌陷的发展趋势进行预测和对塌陷的主要影响以及各类建筑物地表稳定性进行评价的有效途径。应用在地质定性分析基础上结合多元统计的定量方法, 如多元回归和逐步判别分析方法取得了满意的结果。然后提出了防治塌陷的建议。

一、区域自然地理与岩溶水文地质特征

1. 区域自然地理概况

区域地形东南高、西北低。东南部为上古生界及三叠系碳酸盐岩地层组成的低山丘陵区, 标高200~600m, 最高华家山604m, 沟谷切割强烈, 相对高差150~550m。中部和西北部为中生代岩浆岩组成的低丘宽谷区, 标高40~100m, 相对高差20~80m, 地表多被残坡积层覆盖。

铜矿河为区内主要河流, 发源于殷祖附近, 经矿区西1 km处自南向北流入大冶湖。柯家沟河发源于柯家沟, 从东南向西北流经矿区东部, 于欧家港入铜矿河。矿区上游汇水面积5.6km², 河道狭窄, 流量随季节变化, 1968年12月实测流量23 l/s。上游1.1km处有一常年蓄水的方贤垅水库, 建于1972年, 土坝高12m, 库容40万m³, 洪水流量14m³/s, 1982年7月4日实测库水位标高53.50m。

本区属温暖潮湿气候区, 年平均降雨量为1374.61mm(大冶台, 1959~1980年), 最大年雨量2180mm(1954年), 最大月雨量669mm(1969年7月), 最大日雨量250.4mm(1954年6月)。4~7月为雨季。

2. 区域岩溶水文地质特征

大广山铁矿为一砂卡岩型矿床。隔水的岩浆岩组成矿体顶板, 三叠系岩溶化大理岩组成矿体底板, 并与矿区东南部广泛裸露的石炭二叠系、三叠系碳酸盐岩地层相连接, 组成一套巨厚的岩溶含水岩系, 分布面积约18km²。由于碳酸盐岩岩性组合的差异和其中砂页岩隔水夹层的影响, 其岩溶发育程度和含水性有所不同, 又可进一步划分为不同的岩溶含水岩组, 其特征见表1。它们在总体上构成多层状连通式水文地质结构。

矿区位于淮阳弧形构造、姜桥帚状构造及新华夏构造的复合地带。新华夏构造控制着灵乡岩体的产出,姜桥帚状构造则影响碳酸盐岩系的展布,形成一系列北西向的褶皱与断裂。与矿区直接有关的是柯家沟倒转向斜和北云台倒转背斜,它们受断裂切割各自缺失一翼而组成迭瓦式构造,其内侧为 I、IV 岩溶含水岩组所组成,称之为柯家沟岩溶含水的迭瓦式褶皱构造。其外侧 II、III 弱含水岩组连同隔水层可归并为一个厚约 600m 的 $P_2^1 \sim T_1^3$ 弱含水岩组,作为此含水构造的相对隔水边界。此含水构造主要沿柯家沟分布,其东西两侧相对隔水边界与地表分水岭位置接近,向东南沿断裂延伸较远(图 1)。

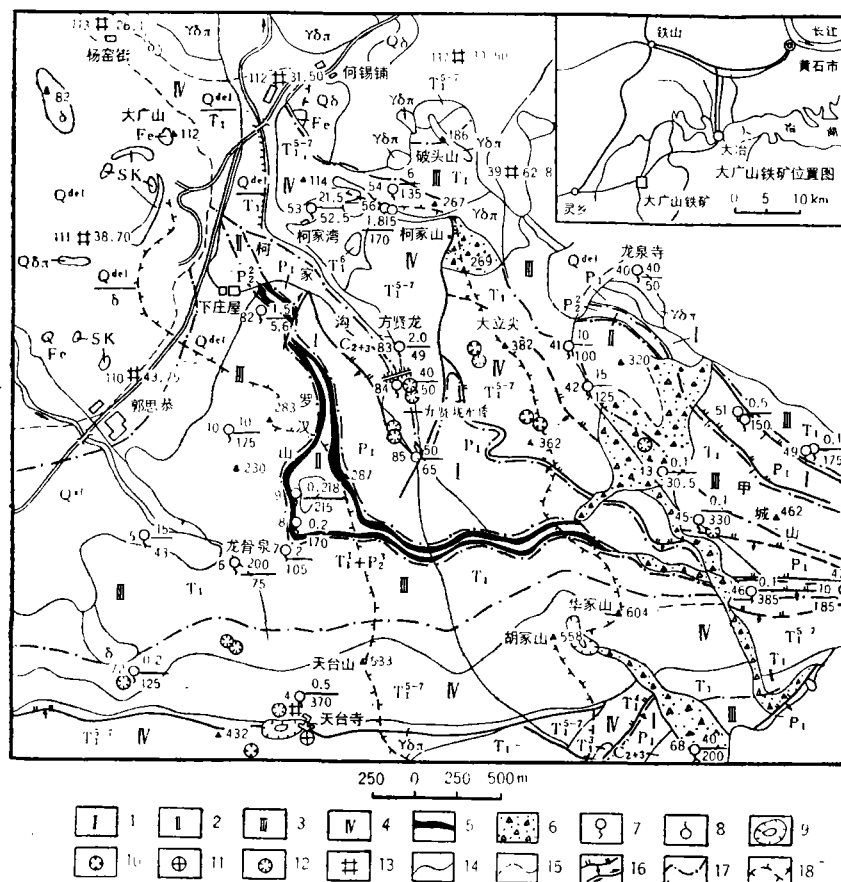


图 1 大广山铁矿区域水文地质略图 *

Fig. 1 Schematic map of regional hydrogeology in Daguangshan iron mine

- 1— $C_{2,3} \sim P_1$ 岩溶中等发育、中等含水岩组; 2— P_2^2 岩溶微弱发育、弱含水岩组; 3— T_1^{2-3} 岩溶弱发育、弱含水岩组; 4— T_1^{4-7} 岩溶强烈发育、强含水岩组; 5— $P_2^1, P_2^3 \sim T_1^1$ 砂页岩隔水层; 6—角砾岩; 7—下降泉(左编号, 右标高); 8—上升泉(左编号, 右标高); 9—岩溶洼地; 10—落水洞; 11—溶井; 12—溶洞; 13—民井(左编号, 右水位标高); 14—地质界线; 15—隐伏的基岩界线; 16—逆断层、平移断层; 17—岩溶含水岩组界线; 18—地表分水岭。

柯家沟岩溶含水构造与其南侧天台山岩溶含水构造之间水力联系的程度主要取决于岩溶系统的发育状况。岩溶系统的发育适应于水文网的演化。铜矿河为本区排泄基准面, 柯家沟

*根据湖北省地质一队, 1973 年《湖北省大冶县大广山含铁矿床 补充勘探储量报告》附图补充修改。

表1 岩溶含水岩组特征说明表
Tab. 1 Characteristics of karst aquifer systems

含水岩组		地 层			厚度 (米)	组厚 (米)	岩性组合特征	岩溶发育特征	含 水 性				
代号	名称	统	组	代号					泉流量 (l/s)	钻孔单位涌水量 l/s·m			
IV	岩 强 溶 含 强 水 烈 岩 发 育 的 组	下 三 叠 统	大 冶 组	T _{1dy} ⁷	>64	>544	肉色、灰色薄层状白云岩, 灰质白云岩, 白云岩质角砾岩	地表岩溶形态发育, 见有溶洞、溶井、落水洞、洼地等, 并有溶塌角砾岩分布	0.5~15 最大200*	0.235~ 0.790			
				T _{1dy} ⁶	41		浅灰色薄中厚层状灰岩, 含泥质条带灰岩, 角砾状灰岩。						
				T _{1dy} ⁵	290		浅黄色、肉色薄—微薄层状白云岩, 粉砂状白云岩, 角砾状白云岩						
				T _{1dy} ⁴	149		浅灰色厚层状白云质灰岩						
III	岩 弱 溶 含 微 水 弱 岩 发 育 的 组		组	T _{1dy} ³	471	541	浅灰色薄—中厚层状灰岩, 灰黄色、灰色薄—微薄层状蠕虫状灰岩, 泥质条带灰岩	地表岩溶形态不发育	1.5~10				
				T _{1dy} ²	70		浅灰色中厚层状夹薄层状灰岩, 深灰色薄层状灰岩夹页片状含泥质白云岩						
				T _{1dy} ¹	8		黄色页岩						
	隔水层	上 二 叠 统	龙 潭 组	P _{2l} ³	5	13	灰黄色含粉砂质页岩						
II	岩 含 溶 水 微 岩 弱 组 发 育 的 弱			P _{2l} ²	35	35	深灰色厚层状含生物碎屑燧石结核灰岩				地表岩溶形态不发育	0.2	
				P _{2l} ¹	10	10	黑色炭质页岩夹薄煤层						
I	岩 中 溶 中 等 含 等 水 发 岩 育 的 组	下 二 叠 统	茅口组	P _{1m}	171	824	灰黑色薄层状含炭质灰岩, 含锰灰岩, 厚层状燧石结核灰岩	地表有少量溶洞溶井。	1.5~50	0.364			
			栖霞组	P _{1q} ²	369		深灰色燧石结核灰岩						
				P _{1q} ¹	104		灰黑色薄层状含炭质灰岩						
			中上石炭统	壶天群	C ₂₋₃	180		灰白色厚层灰岩, 米黄色薄层状白云岩		0.5~8.0			

*龙骨泉, 主要由天台山北坡IV含水岩组补给, 通过断层排泄。

和矿区南部的龙骨泉河都是其次级支流,它们出山口处的沟底标高几乎相等,表明两沟之间不存在横穿沟谷的地下迳流。它们的形成时期据第四系堆积物判断至少在晚更新世以前。因此较长时期以来,这两条沟谷对各自汇水范围内岩溶系统的发育起着控制作用,柯家沟的上升泉群和龙骨泉成为各自系统的排泄点。此外,两沟间不但有地表分水岭,也存在地下分水岭(表2)。可见矿区向南沿接触带岩溶发育分属不同的系统,且其间有Ⅲ弱含水岩组阻隔,两含水构造没有密切的水力联系。

表2 柯家沟至龙骨泉河分水岭两侧地下水观测资料

Tab. 2 Observation data of groundwater table nearby divide between kejiagou and Longguquan riv

观测孔号	补 5	EG 17	HG 11	HG 12
位 置	柯家沟口下游	柯家沟口,下庄屋	下庄屋西铁路边	龙骨泉沟口,郭思恭
地面标高(m)	37.88	43.39	44.61	43.74
地下水位标高(m)	37.24	41.34	40.72	39.99
观测日期	1982年7月6日			

二、岩溶塌陷的发育特征

1. 岩溶塌陷的发育过程及其特征

(1) 岩溶塌陷的发育过程

大广山铁矿于1978~1981年建井期间及其后共塌陷78处,可分为六个塌陷回次,其发育过程见表3,具如下特征:

①塌陷与矿井突排水或抽水引起的水位降低密切相关,塌陷发育最密集的活跃时期与水位强烈下降时期相对应。

②矿井排水按其排水强度(排水量或水位降速)可分为强排式和缓排式,据统计两者的界线值大致为排水量 $6000\text{m}^3/\text{d}$ 、水位降速 $0.2\text{m}/\text{d}$ (图2)。排水强度对塌陷有明显的影

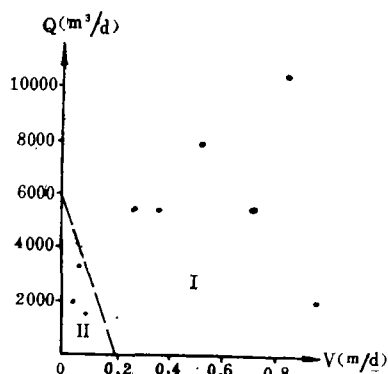


图2 按排水量(Q)和水位下降速率(V)的排水强度分区图

Fig. 2 Division of drainage intensity by drainage quantity and drawdown rate

I—强排式区; II—缓排式区

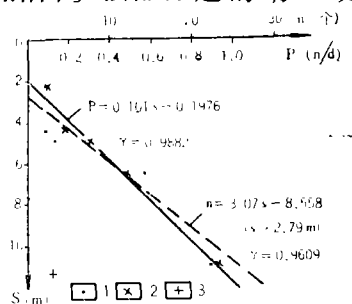


图3 水位降深(S)与塌陷数量(n)及塌陷速率(P)关系图

Fig. 3 Relationship between drawdown of groundwater and the number of collapses or collapse rate

1—塌陷数量; 2—强排塌陷速率; 3—缓排塌陷速率

注: 水位降深为距突排水点390m的Zk48孔资料。r为相关系数

表3 大广山铁矿岩溶塌陷发育过程说明简表

Tab. 3 Development process of karst collapse in Daguangshan iron mine

成因类型	塌陷回次	塌陷时期	塌陷数量	塌陷编号	分布范围	产生原因	塌陷速率 (个/日)	ZK48孔水位降低	
								降深 (米)	速率 (米/日)
井突水排水	1	1978.3.3 ~3.24	2	1,2	铁路边坡脚至河边藕塘, 170~300m	1978.2.28风井-37m突水排水, $Q = 2112 \sim 1742.4 \text{ m}^3/\text{d}$	0.091	2.34	0.97
	2	1979.2.21 ~3.4	2	3,4	河边藕塘至何锡铺村边, 305~340m	1978.12.21风井-160m北马头门11m突水, $Q = 8236.8 \text{ m}^3/\text{d}$; 79.2.17~3.12第一次强排, $Q = 4573 \sim 6898 \text{ m}^3/\text{d}$	0.167	4.41	0.51
	3	1979.4.8 ~5.6	14	5~18	柯家沟河床, 何锡铺至大何锡村北, 260~460m	1979.4.9~5.7第二次强排, Q 同上, 5.6风井水位降至-158m	0.483	6.47	0.26
	3'	1979.6.6 ~6.15	8	19~21	柯家沟河东近岸地带, 305~350m	1979.6.2~6.10第三次强排, Q 同上	0.300	5.00	0.71
	4	1979.7.21 ~80.4.8	30	22~51	柯家沟河床东侧至何锡铺、大何锡, 280~490m	矿井排水及供水井抽水, 共计约3650 m^3/d . 此期间雨量较少	0.115	11.40	0.057
	5	1980.6.22 ~7.15	22	52~73	柯家沟河床, 何锡铺至大何锡, 西侧缓坡脚, 185~432m	1980.6.13~7.2风井-160m南马头门平巷突水强排, $Q = 10800 \text{ m}^3/\text{d}$, 风井水位降至-37m左右	0.917	10.95	0.84
抽水	6	1982年 以来	2	74,78	铁路边及矿部宿舍 205~392m	在淹井修建状态下产生, 系以前矿井突排水的滞后效应			
		1979.2.24 ~3.8	3	75~77	12*孔东侧48m处 (75,76号) 及 12*孔旁	12*抽水, $S_1 = 34.89\text{m}$, $Q_1 = 1016.93 \text{ m}^3/\text{d}$ 时5.5小时后在上游48m处塌陷一处; $S_2 = 26.95\text{m}$, $Q_2 = 819.07 \text{ m}^3/\text{d}$ 时, 原塌陷扩大; $S_3 = 32.74\text{m}$, $Q_3 = 1029.02 \text{ m}^3/\text{d}$ 时, 24小时后在上游41m及孔旁各产生塌陷1处	0.230		

注: ZK48孔距突排水点390米。

58.9%, 历时97天, 塌陷速率0.091~0.917个/日, 平均0.443个/日; 缓排引起的塌陷30个, 占41.1%, 历时262天, 塌陷速率0.115个/日。前者与后者相比, 塌陷数量为1.43倍, 塌陷速率为3.85倍, 在降深相当的情况下可达到8倍。

③矿井突排水的水位降深对塌陷也有显著影响, 塌陷数(n)和塌陷速率(p)都随降深(S)增大而增加, 呈线性正相关(图3);

④矿井突排水塌陷的产生与降落漏斗的水位降深(S)和水位降速(V)两者有关(图4)。据统计风井突排水塌陷的临界判别式为:

$$[S] \leq 6 - 6V \text{ 或 } [V] \leq 1 - \frac{S}{6}, \text{ 当 } S > [S] \text{ 或 } V > [V] \text{ 时即可产生塌陷, 亦}$$

即当 $S > 6 \text{ m}$ 或 $V > 1 \text{ m/d}$ 时都必然产生塌陷。

付井-97.56m突排水时未产生塌陷, 粗略推算其临界判别式可能为:

$$[S]_{\text{付}} \leq 13.41 - 9.41V_{\text{付}} \text{ 或 } [V]_{\text{付}} \leq 1.425 - 0.106S_{\text{付}}$$

当 $S_{\text{付}} > 13.41 \text{ m}$ 或 $V_{\text{付}} > 1.425 \text{ m/d}$ 时可能产生塌陷。

(2) 岩溶塌陷的形态特征及有关变形现象

大广山岩溶塌陷的平面形态多呈圆形、椭圆形; 剖面形态多呈井状、坛状, 少数呈漏斗状。由于经历了多次矿井突排水塌陷过程, 前期塌陷多有复活扩大现象, 形成不规则形态。

塌陷规模统计于表4。直径一般1~7m, 平均6.80m; 深度一般1~4m, 平均3.38m。前期塌陷以小者为主, 后期大者增多, 最大的长轴可达30~50m。

(3) 岩溶塌陷的分布特征

大广山铁矿矿井突排水引起的塌陷分布于距风井170~490m柯家沟谷地及其西侧的缓坡地带, 包括何锡铺村及大何锡村北。塌陷区属边缘型, 南北长420m, 东西宽300m, 面积0.102km²。其分布特征如下:

①各回次塌陷距离早期较近, 后期渐远; 塌陷分布范围早期较小, 后期增大, 至第五回次达到最大。各回次塌陷距离(L)随水位降深(S)而变化, 呈正相关关系(图5):

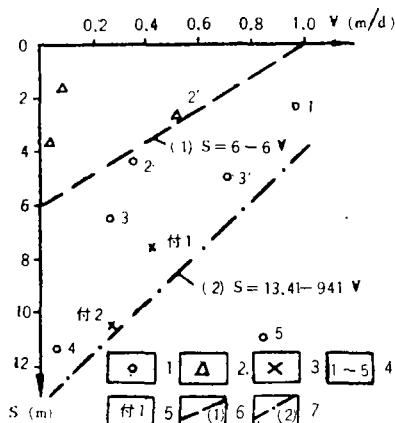


图4 水位降深(S)、水位下降速率(V)与塌陷关系图

Fig. 4 Relationship of collapse with the depth and rate of groundwater drawdown

1—塌陷; 2—未塌陷; 3—付井突排水未塌; 4—风井突排水塌陷回次(表3); 5—付井-97.56m突排水; 6—风井突排水塌陷临界曲线; 7—付井突排水塌陷推测临界曲线。注: 水位降深及降速观测资料, 风井为Zk48孔(距离390m), 付井为补5孔(距离305m)。

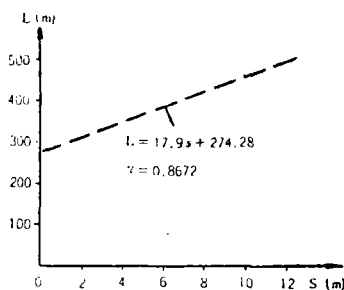


图5 塌陷距离(L)与水位降深(S)关系图

Fig. 5 Relationship between drawdown and collapse distance

第三回次塌陷距离460m, 降落漏斗影响范围800m, 其比值为0.575。

②各回次塌陷呈多次由近及远的波浪式重复扩展过程, 重复次数随塌陷回次而增多(表5)。

表4 大广山铁矿塌陷规模及频度分布表

Tab. 4 The size and frequency of collapse in the mine area

直径或深度 (m)		<1	1~<2	2~<3	3~<4	4~<5	5~<6	6~<7	7~<8	8~<9	9~ <10	10~ <15	15~ <20	20~ <30	≥30
直 径	个 数	0	6	10	15	13	9	4	5	5	1	8	0	0	2
	频度 (%)	0	7.6	12.8	19.2	16.7	11.5	5.1	6.4	6.4	1.3	10.3	0	0	2.6
深 度	个 数	7	20	12	13	10	2	9	1	0	2	2	0	0	0
	频度 (%)	9.0	25.6	15.4	16.7	12.8	2.6	11.5	1.3	0	2.6	2.6	0	0	0

表5 各主要回次塌陷的波浪式重复扩展次数

Tab. 5 The times of wavelike repeated spread in main turns of collapse

塌 陷 回 次	3	4	5
重 复 扩 展 次 数	3	5	7

③据1~74号塌陷统计, 塌坑总面积为2749.9m², 面积率 2.697%, 按塌陷个数计算, 其密度为725.77个/km², 属强烈塌陷区。但塌陷的分布不均匀, 按面积率可分为三带: 密集塌陷带, 面积率>5%, 有的地方可达20%以上, 主要沿柯家沟河床及近岸地带呈南北向条带状分布, 宽25~100m, 此外在塌陷区的东北角及西南侧也有局部分布; 星散塌陷带, 面积率1~5%, 主要分布于柯家沟河以东上带的外侧, 包括何锡铺村至大何锡村北一带; 稀疏(零星)塌陷带, 面积率<1%, 主要分布于柯家沟河以西地带。

据塌陷数量与风井距离关系的统计, 3、4、5各主要回次塌陷的分布情况基本一致。其总的关系是: 距风井160~260m为稀疏塌陷带, 260~360m为密集塌陷带, 360~500m为星散塌陷带(图6)。

④塌陷的分布规律。塌陷主要发育于下列地段: 河谷中的低平地带及地表水体附近; 距排水点较近处, 如谷地两侧残积缓坡地带; 西侧较近处发育少量塌陷, 东侧较远未见塌陷; 谷地北侧岩溶地下水的排泄带; 东北侧第四系覆盖层较薄处, 沿F₇(图7)断裂带的一些地段; 隐伏岩溶强烈发育的地段等。

2. 岩溶塌陷的形成条件

(1) 岩溶发育特征与岩溶塌陷的关系

矿区东南部碳酸盐岩广泛分布, 在柯家沟下游地段, 主要为三叠系下统大冶组上部

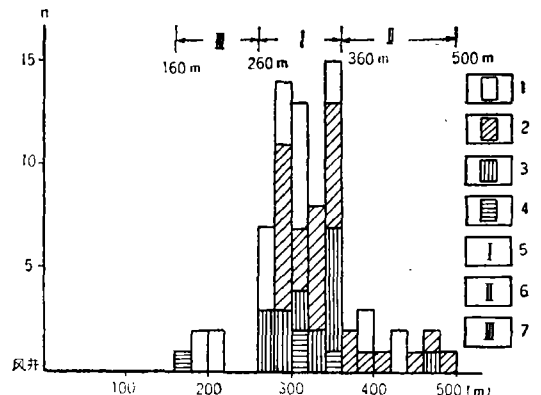


图6 塌陷数量与风井距离关系图

Fig. 6 Relationship between the number of collapses and the distance from windwell in mine area

1—第5回次塌陷; 2—第4回次塌陷; 3—第3~3'回次塌陷; 4—第1, 2回次塌陷; 5—密集塌陷带; 6—星散塌陷带; 7—稀疏塌陷带

(T_{1dy}^{4-7}) 厚层块状大理岩、白云质大理岩; 南部主要分布大冶组下部 (T_{1dy}^{3-3}) 薄层、中厚层状大理岩、页岩及石炭、二叠系灰岩。

在柯家沟谷地及缓坡地带的覆盖岩溶区, 可溶岩顶面起伏剧烈, 溶沟溶槽十分发育, 还发育有隐伏岩溶洼地和槽谷。钻孔揭露的地下岩溶形态主要是溶洞和溶隙。据统计迂洞率 59.6%; 洞高一般 0.2~3.0m, 最大 12.23m; 钻孔岩溶率单孔 0.5~70.30%, 平均 5.09%, 充填率 48.38%; 可溶岩顶面以下 30m 范围内的浅部岩溶率 9.79%, 充填率 59.44%; 强岩溶带深度一般 25~40m (标高 5~0m), 岩体接触带发育较深, 可达标高 -115.78~-124.45m, 弱岩溶带可达标高 -341.82~-514.62m。岩溶发育具有如下特点:

①受构造岩性等因素的影响, 岩溶发育不均一, 尤其是浅部岩溶带更为显著。强岩溶带主要分布于柯家沟出山口段, 上游沟道附近, 北端地下水排泄带以及局部的岩体接触带附近。

②在垂向上浅部岩溶较发育, 随深度增加而减弱。最强烈的是可溶岩顶面下 10m 范围内, 岩溶率达 14.58%。

③浅部充填程度较高, 达 60% 以上, 随深度增加而减弱。充填物主要为软~流塑状的粘性土夹砂、砾、碎石, 固结程度低。

④隐伏岩溶洞隙联结穿插组成一定的管道系统。柯家沟尾矿库及上游沟谷地段属 F 柯断裂切割的纵向谷, 为地下迳流必经之处, 有利于纵向管道的发育; 柯家沟下游谷地沿 F 路断裂也具备纵向管道的发育条件。但沿岩体接触带, 由于岩体呈指状穿插, 不利于纵向管道发育。柯家沟出山口处为断裂交汇带, 柯家沟下游端为地下水集中排泄带, 这两处岩溶管道系统发育较完善, 可能呈网络状岩溶系统、岩溶发育较均一旦强烈。

岩溶是岩溶塌陷产生的基础, 岩溶愈强烈, 岩溶塌陷密度亦愈大, 不同岩溶发育程度区塌陷数量的统计见表 6。岩溶极强区面积积极小, 其密度仍为最大。岩溶极强区和强烈区塌陷总数 69 个, 占 89.5%, 与岩溶显著区相比为 9:1。此外塌陷密集带还往往反映基岩中管道系统的分布位置。柯家沟塌陷密集带很可能与该处有一定规模和分布范围的管道系统有关。

表 6 塌陷数量与岩溶发育程度关系统计表

Tab. 6 Statistics between the number of collapses and extent of karst development

岩溶发育程度	极 强	强 烈	显 著	微 弱
浅部岩溶率 (%)	>30	10—30	5—10	<5
塌陷数量 (个)	16	53	8	0
百 分 数 (%)	20.7	68.8	10.4	0

(2) 第四系覆盖层与岩溶塌陷的关系

覆盖岩溶区上覆土层主要有分布于柯家沟谷地内的全新统冲洪积层 (Q_4^{pal}) 和分布于谷坡地带以上更新统为主的残坡积层 (Q_3^{del}), 见表 7。

土体对塌陷的影响主要有以下几方面:

①岩性的影响: Q_4^{pal} 粘性土其工程地质性状主要取决于其塑性 (稠度) 状态, 由于土层剖面一般是有 I_1 随深度增加的趋势, 自上而下性状渐趋软弱, 因而有利于土层中土洞和塌陷的发育。砂砾石层构造较松散, 在其分布地段塌陷最易发育, 塌陷数量占全部的 78.2%。

表7 大广山第四系覆盖层综合剖面岩性特征表

Tab. 7 Synthetical profile of Quaternary lithological characters in Daguangshan

时代与成因	厚度(m)	剖面分层		主要工程地质性质指标
		岩性特征	厚度(m)	
Q ₄ ^{pal}	4.24~18.95	黄褐色、褐色、灰褐色粘土, 亚粘土, 局部含有有机质, 呈饱和、可塑~软塑状; 含砂砾, 自上而下含量增多, 其成分为石英、燧石及少量灰岩、大理岩等; 具高孔隙性、高压缩性, 较松软, 其底部往往呈软塑~流塑状	3.41~12.88	γ : 1.73-1.91g/cm ³ ; ϵ : 0.88-1.05; I_p : 15-18.67; I_L : 0.52-1.28; a : 0.037-0.093cm ² /kg; E_s : 35-110kg/cm ² ; C : 0.17-0.37kg/cm ² ; ϕ : 16.5-20.2°
		黄褐、灰褐色砂砾石, 砂砾成分为石英、灰岩、大理岩等, 磨圆度和分选性都较差, 直径1~5mm, 最大可达50~70mm, 局部含亚粘土, 松散至稍密状	0~10.95	
Q ₃ ^{del}	3.26~47.1	褐色、棕红色粘土、亚粘土, 均一结构; 硬塑~可塑状, 底部基岩面附近见软塑~流塑状; 含少量碎石, 成分为磁铁矿、石英、大理岩等, 呈棱角状; 页岩残积土具较好亲水性, 易崩解; 具较高孔隙性及中等压缩性; 含少量胶体状氧化铁, 具典型红粘土特征		γ : 1.76-1.85g/cm ³ ; ϵ : 1.01-1.32; I_p : 24.5-29.8; I_L : 0.16-0.85; a : 0.02-0.05cm ² /kg; E_s : 59.7-119.6kg/cm ² ; C : 0.25-0.50kg/cm ² ; ϕ : 19.3-25.9°

Q₃^{del} 粘性土其性质与Q₄^{pal}有显著差异, 表现在孔隙比较大, 压缩性较低, 强度较高。这种特性主要与土层中含有湿热化作用形成的胶体状氧化铁有关。因此其抗塌性能相对较好。

②不同的土体类型其抗塌性能有所差异(表8)。

③土体厚度对塌陷有显著影响: 现有塌陷土体最大厚度为19m。土体厚度愈小, 塌陷愈发育, 土体厚度<10m 塌陷最发育(表9)。

④塌陷直径有随土体厚度增大的趋势。厚度5~10m, 塌陷直径一般2~6m; 厚度10~20m 的一般8~12m。其径厚比大约为0.4~0.6。

(3) 矿区水文地质特征与岩溶塌陷的关系

矿井突排水塌陷是由于人工改变地下水状况, 引起地下水的强烈活动而产生的。因此塌陷的发育程度和发展趋势取决于地下水人工流场的变化, 主要有以下几方面:

①矿井突排水塌陷产生于降落漏斗范围内, 塌陷距离与影响半径之比在大广山铁矿第三回次塌陷时已达0.575, 今后排水疏干时可能还要增大。此外, 塌陷范围将随降落漏斗的扩展而扩展。

②矿区岩溶含水岩组具分散性渗流和集中性管道流双重性质。抽排水时在浅部形成的降落漏斗具有各向连通性较好的渗流特点; 而在深处矿井突排水时, 突水通道是集中管道性质, 排水强度取决于管道在岩溶系统中的主从位置而有较大变化, 从而影响塌陷的发育。

③覆盖岩溶区上覆第四系土体含有孔隙潜水, 与下伏岩溶含水岩组组成双层含水结构, 其性质的差异对塌陷有显著的影响。在均一粘性土分布地区, 土体含水性较弱, 属上层滞水, 与下伏岩溶承压水水力联系较弱, 经观测证实, 存在水位差1~2m的双层水位, 在这些地段塌陷的发育较弱; 在砂砾石层分布地区, 砂砾石层含有较丰富的潜水, 与岩溶承压水水力联系密切, 垂向交替强烈, 在这些地段塌陷强烈发育。

表 8 土 体 类 型 表
Tab. 8 List of earth mass types

时代与成因	土 体 类 型	厚 度 (m)	分 层		抗塌性能
			岩 性	厚度 (m)	
Q_4^{P+I}	均一粘性土	3.41~12.88	粘土、亚粘土		较差
	双层状粘性土、砂砾石	4.24~18.95	粘土、亚粘土 砂砾石	3.95~10.5 0.26~10.95	最差
Q_3^{d+I}	均一粘性土	3.26~47.1	粘土、亚粘土		最好
Q_4^{P+I} + Q_3^{d+I}	双 层 状 粘 性 土	22	Q_4^{P+I} 粘性土	10	好
			Q_3^{d+I} 粘性土	12	
	多 层 状 粘性土、 砂 砾 石	6.75~17.33	Q_4^{P+I} 粘性土	4.16~8.9	较好
			Q_4^{P+I} 砂砾石 Q_3^{d+I} 粘性土	0.2~3.66 1.35~8.33	

表 9 不同厚度、不同类型土体中塌陷分布特征表

Tab. 9 collapse distribution in different thickness and types of earth mass

土体厚度 (m)		< 5	5—10	10—15	15—20	共 计
塌 陷 平 均 直 径 (m)	< 2	0	1	5	0	6
	2—4	0	20	4	2	26
	4—6	0	14	8	0	22
	6—8	1	3	7	0	11
	8—10	1	1	2	1	5
	10—12	0	2	2	1	5
	12—14	0	0	0	0	0
	14—16	0	1	0	0	1
	16—24	0	0	0	0	0
	24—26	0	0	1	0	1
	26—28	0	0	0	1	1
共 计		2	42	29	5	78
%		2.6	53.8	37.2	6.4	100
均一 土层	个	0	12	5		17
	%	0	28.6	14.7		21.8
砂砾 石层	个	2	30	29		61
	%	100	71.4	85.3		78.2

④ 塌陷与矿井突排水漏斗的水位降深有关, 塌陷数量与速率都和降深呈正相关关系。表明当漏斗水位降低至基岩面以下时, 有利于塌陷的发育。但这只是塌陷发育的有利条件而非

必要条件。水位降低未达到基岩面也可产生塌陷,反之水位降低到基岩面以下也有未出现塌陷的实例,如付井-97.56m 突水,其原因主要与无砂砾石层分布有关。

⑤矿井突排水塌陷的临界水力条件受漏斗水位降深和水位降速的双重控制。也有以漏斗的水力坡度来表征,据分析,塌陷临界水力坡降为0.16~0.36(由宝纯,1983年)。但实际上风井突排水塌陷绝大多数出现在水力坡降小于0.16的地段(距风井200m以外)。因此有必要区别两种水力坡降:漏斗的水力坡降和自上而下越流渗透的水力坡降,它们各自决定着水平迳流和垂向渗流的潜蚀冲刷能力。在漏斗坡降较小的地段,塌陷的产生往往与后者有关,作为塌陷的临界水力条件,这两种坡降都应加以考虑,甚至后者更为重要。

3.岩溶塌陷的形成机制

根据上述分析,大广山塌陷的形成机制有:

(1)潜蚀作用:是大广山塌陷形成的主要机制,包括:岩溶地下水流的潜蚀作用,使岩溶洞隙充填物被潜蚀带走,并对覆盖层底板处的松软或松散土体进行冲刷和搬运,形成土洞雏形;上覆土体中潜水或地表水向下渗透的潜蚀作用,在砂砾石层中,这种作用最为明显,可使土洞迅速扩大。如具一定封闭条件,则当岩溶地下水位迅速降低时,可形成一定的负压条件,使潜蚀作用强化;在均一粘性土层中,这种条件可使上层滞水的渗透潜蚀作用大大强化,成为塌陷形成的主要机制。因此,如前所述,负压吸蚀在这里只起着促进作用,而非主导机制。

(2)失托增荷作用:由于覆盖层具有一定厚度(一般5~15m),它只是一种促进塌陷的机制。

(3)地下水位波动的散解作用:水位的反复升降波动,使土体反复失托增压,且由于干湿交替,使土体崩解剥落而形成土洞。

(4)水击作用:矿坑突水可产生负水击作用,水流通道突然堵塞及产生正水击作用,都可使土体受到破坏而塌陷。

(5)浸泡软化作用:降雨或泡田使土体饱水增重并使其软化,可使土洞顶板失稳塌陷。

(9)震动作用:如火车、汽车、放炮爆破的震动可成为土洞塌陷的导因。

大广山塌陷往往是上述几种机制综合作用而以潜蚀作用为主导的结果。

三、岩溶塌陷的预测和评价

1. 矿井排水塌陷发展趋势的地质预测

(1) 塌陷扩展方向和范围的预测

矿床排水疏干时降落漏斗的扩展取决于矿区岩溶含水构造的展布,其扩展方向和范围决定了塌陷的扩展方向和范围。如前所述,塌陷将主要向东南柯家沟上游扩展,其范围约1.5公里左右;其次向西北的杨窑街也可能有所扩展,最远可达800m。向南则不大可能越过地表分水岭。

(2) 潜在塌陷区塌陷发育程度的预测

据前述分析,影响塌陷发育程度的因素很多,主要有:

①地形地貌:河谷低地,尤其是地表水体附近塌陷发育较强烈;坡脚缓坡地带,塌陷发

育相对较弱,山坡地段可能发育个别塌陷。

②第四系覆盖层: Q_4^{pal} 塌陷较发育,特别是砂砾石层分布地段塌陷最发育; Q_3^{del} 塌陷的可能性较小。厚度 $<10\text{m}$ 的塌陷发育; 厚度 $10\sim 20\text{m}$ 塌陷相对较少,且主要在砂砾石层分布区; 厚度 $>20\text{m}$ 的可能有个别塌陷发育。

③岩溶: 塌陷主要发育于岩溶强烈发育的地段; 岩溶显著发育的地段, 塌陷发育较少; 岩溶微弱发育的地段, 塌陷可能个别发育。

④地下水: 塌陷主要在地下水排泄区、主径流带及潜水与岩溶承压水联系密切的双层含

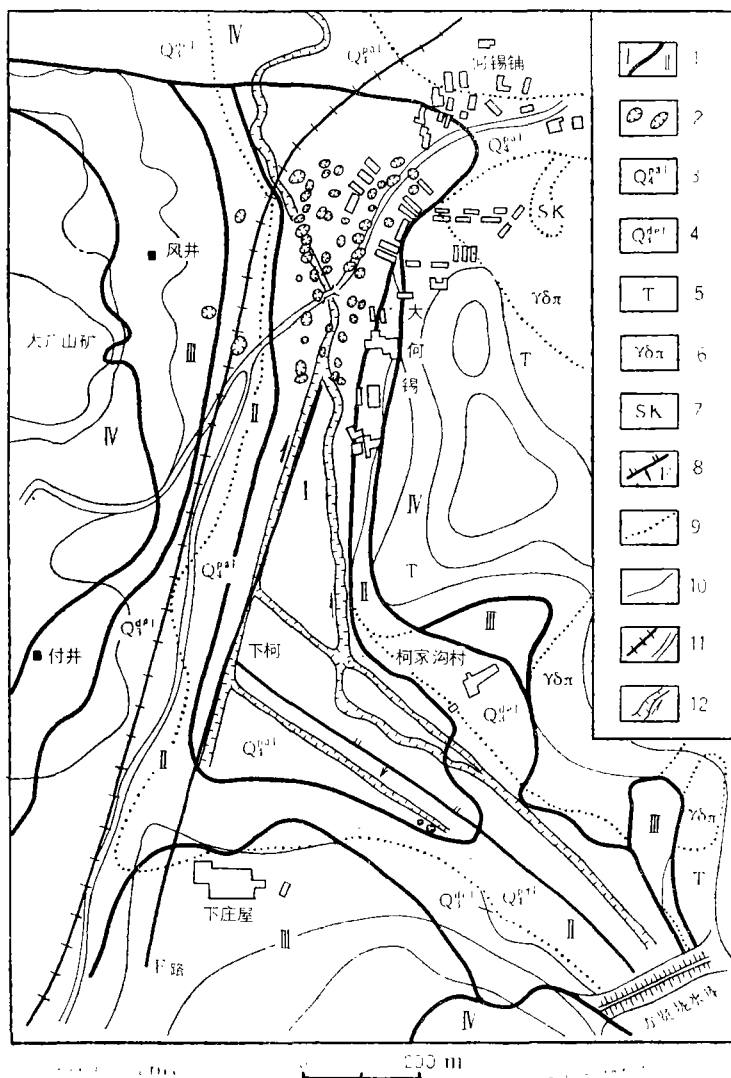


图7 大广山铁矿岩溶塌陷预测分区图

Fig. 7 Predicting division of karst collapse in the Daguangshan iron mine.

- 1—岩溶塌陷预测分区界线及代号; 2—塌陷点; 3—第四系全新统冲洪积粘土、亚粘土层, 底部砂砾石层;
4—第四系上更新统残坡积粘土、亚粘土及亚粘土碎石层; 5—三叠系灰岩、大理岩; 6—花岗岩闪长斑岩;
7—砂卡岩; 8—断层; 9—地质界线; 10—地形等高线; 11—铁路、公路; 12—渠道、河流

水结构地段强烈发育。此外与所处排水降落漏斗的位置有关：靠近漏斗中心部位，塌陷较发育；远离漏斗中心部位，塌陷较微弱。

综合上述因素，结合塌陷现状，对潜在塌陷区塌陷发育程度划分为四级，见图7及表10。

表10 湖北省大广山铁矿岩溶塌陷预测分区特征一览表

Tab. 10 Characteristics of collapse predicting divisions in Daguangshan iron mine Hubei province

分区名称及代号		严重塌陷区 I	显著塌陷区 II	微弱塌陷区 III	非塌陷区 IV
地貌特征		柯家沟河谷低平地段	河谷两侧、坡脚缓坡处	山坡及部分缓坡地段	山坡地段
第四系土层特征	地层成因	冲洪积 Q_4^{pa}	冲洪积，坡残积， Q_4^{pa} Q_3^{dl}	坡残积 Q_3^{dl}	可溶岩裸露区，以及碎屑岩、火成岩分布区
	结构类型	粘性土、砂砾石层层状结构	粘性土均一结构为主，局部为粘性土、砂砾石层层状结构	粘性土均一结构	
	岩性	亚粘土为主，粉质粘土次之，可塑~软塑状，下部为砂砾石层，砂砾成分为石英、燧石及少量大理岩、灰岩，砂砾石层局部含粘性土，呈稍密~松散状态	亚粘土为主，粉质粘土次之，呈饱和状，具可塑~软塑性，局部有砂砾石层分布，砂砾石层性状同A区	粘土、亚粘土层，湿~饱和状，硬塑~可塑性，含少量碎石，碎石呈棱角状，主要成分为磁铁矿、石英，大理岩。局部地段的基岩面附近土层呈软塑~流塑状	
下伏基岩	地层	三叠系大理岩、灰岩	三叠系大理岩、灰岩	三叠系，二叠系，石炭系大理岩、灰岩	
	钻孔遇洞率(%)	78.79	59.52	46.67	
	浅部岩溶率(%) (可溶岩面以下30米)	3.37~70.3 (19.09)	1.33~49.59 (14.32)	0.44~23.57 (7.65)	
影响塌陷的主要因素变量	压缩模量(公斤/厘米 ²)	19.0~127.7 (59.33)	(88.48)	32.6~354 (117.63)	
	液性指数	0.38~1.75 (0.767)	(0.584)	0.25~1.44 (0.401)	
	粉粒含量(%)	17~66 (46.68)	(38.16)	6~85 (29.63)	
	土层厚度(米)	3.41~18.95 (8.72)	6.75~21.91(14.23)	3.26~47.10 (12.75)	
	地面高程(米)	31.06~47.27 (37.83)	(44.65)	31.09~85.59 (51.46)	
塌陷发育程度		塌陷不同程度的发育，其分布多呈星散状，间有稀疏状，局部地段形成密集带	部分地段有塌陷发育，其分布多呈稀疏状，间有星散状，个别情况下可能出现密集塌陷	塌陷个别出现，零星分布	

2. 多元统计方法在塌陷预测评价中的应用

多元统计方法是应用数理统计方法, 在影响岩溶塌陷的诸因素中找出其主要因素进行评价。

(1) 逐步回归分析

首先对因变量(塌陷强度) y 与自变量(引起塌陷的因素) $x_1, x_2, \dots, x_n$ 进行线性相关分析, 然后用偏回归平方和组成统计量, 由预先给定统计 F 值检验自变量对因变量的影响显著程度, 从而逐个确定选入回归方程或加以剔除的自变量, 最后使得对因变量影响显著的自变量进入回归方程, 对因变量影响不显著的剔除回归方程。

①变量选取: 选取何锡铺和大何锡强烈塌陷区, 逐个计算区内64个塌陷坑面积, 并按 0.01km^2 面积划分为37个区, 求得各区的塌陷强度(塌陷面积/ 0.01km^2)作为逐步回归的因变量 y 。另选取作为影响该区塌陷强度的土体物理力学性质变量10个以及其它一些影响塌陷的变量共15个自变量(表11)。

表11 逐步回归计算选取的自变量

Tab. 11 Independent variables in multiple regression analysis

孔 隙 比	饱 和 度	液 性 指 数	液 性 指 数	粉 粒 含 量	粘 粒 含 量	压 缩 系 数	压 缩 模 量	凝 聚 力	内 摩 擦 角	地 面 标 高	土 层 厚 度	钻 孔 岩 溶 率	地 下 水 埋 深	溶 洞 充 填 率
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}

②计算和回归方程建立: 见表12。

表12 逐步回归计算表

Tab. 12 Calculation of multiple regression analysis

计算 次数	自 变 量	因 变 量	样 品 数	回 归 方 程	选出的主因素	实际检验结果
1	$x_1 \sim x_{10}$	y	11	$y = 23.73x_5 - 1.91x_8 - 820.64$	x_5, x_8	$y \leq 0$, 无塌陷; $y = 0 \sim 100$, 塌陷微弱发育; $y = 100 \sim 170$, 塌陷中强发育; $y > 170$, 塌陷强烈发育。
2	$x_1 \sim x_{15}$	y	11	$y = 285.91 - 1.67x_8$	x_8	
3	$x_{11} \sim x_{15}$	y	64	$y = 1229.63 - 34.67x_{11} + 13.53x_{12}$	x_{11}, x_{12}	

③应用讨论: 以上三次回归计算, 列出了可用于矿区预测塌陷的三组回归方程:

$$y = 285.91 - 1.67x_8;$$

$$y = 23.73x_5 - 1.91x_8 - 820.64;$$

$$y = 1229.63 - 34.67x_{11} + 13.53x_{12}.$$

表明在所选取的15个自变量中, 土体的粉粒含量 x_5 、压缩模量 x_8 、地面高程 x_{11} 、土层厚度

x_{12} 四个因素影响塌陷强度的作用显著。从该区已有塌陷分析,目前塌陷多产生于柯家沟河两岸的下游地段,地形低洼,标高一般31~35m;塌陷土体粉粒含量较高,为47~49%的亚粘土层(非塌陷区土体粉粒含量21~22%);土层厚度一般 $\leq 10\text{m}$ (非塌陷区 $> 15\text{m}$);土层的平均压缩模量为 56.24kg/cm^2 (非塌陷区为 100.99kg/cm^2)。可以认为,所选出的 x_5 、 x_8 、 x_{11} 、 x_{12} 对塌陷具有主因素作用,与实际情况吻合,具有预测意义。

(2) 逐步判别分析

① 样本组数和变量的选定

选取具代表性的EG3、EG10钻孔区和EG16、EG17钻孔区的已知样点作为塌陷和非塌陷两组样本,以 N_1 、 N_2 表示之。选取用于判别的变量15个(见表13)。

表13 逐步判别分析选取的变量

Tab. 13 Independent variables in stepwise discriminant analysis

含水量	天然容重	孔隙比	饱和度	比重	液限	塑限	塑性指数	液性指数	压缩系数	压缩模量	凝聚力	内摩擦角	地下水埋深	土层厚度
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}

② 计算:

1) 引入 $x_1 \sim x_{15}$ 15个变量,取 $N_1 = 4$ 、 $N_2 = 5$, $F_{0.05} = 10.13$,判别结果选出了液性指数 x_9 、土层厚度 x_{15} 两个变量。假设土层厚度为5、10、15m时计算了液性指数对塌陷的贡献大小。引入了未知点的5、13、18、ZK4、14、11、9、ZK2、20、21、31号等钻孔资料。结果见表14。

表14 不同厚度土层液性指数临界值

Tab. 14 Critical value of I_1 in different thickness of earth mass

土层厚度 (m)	液性指数 I_1 变化量		
	稳 定	临 界 值	塌 陷
5	0.05	0.155	0.25
10	0.23	0.335	0.45
15	0.40	0.513	0.61

2) 引入 $x_1 \sim x_{15}$ 15个变量,取 $N_1 = 3$ 、 $N_2 = 6$, $F_{0.1} = 5.54$,逐步判别选出土层厚度 x_{15} 为影响塌陷的主因素变量。采用不同的土层厚度值输入判别式验算,得到塌陷的土层厚度 h 临界值8.63m。当 $h \leq 1.5\text{m}$ 划分为I类(塌陷类),其后验概率为0.9913,塌陷极易产生;当 $h \geq 18\text{m}$ 时判别划归II类(非塌陷类),其后验概率为0.9980,地面一般无塌陷产

生。

③应用讨论: 上述两次判别结果, 选出了土层厚度及液性指数两个变量, 与实际情况相符。该区塌陷多发生于 Q_4^{Pa1} 覆盖岩溶区内, 占总数的93.6%, 而 Q_3^{d*1} 分布区仅占6.4%, 两者液性指数的比值为1.71, 说明对塌陷有预测意义。土层厚度经实际检验可作为塌陷预测的主导因素。

3. 对村庄及其它建筑物的稳定性评价

据以往资料和本次对塌陷的预测分区, 进行了村庄稳定性的评价, 见表15。

表13 矿区村庄稳定性评价说明表

Tab. 13 The evaluation of village stability in the mine area

村 庄 名 称		何锡铺*	大 何 锡		柯 家 沟		下 庄 屋
地 貌		柯家沟河谷中, 标高31.24~32.94米	柯家沟河谷东侧, 标高32.42~36.78米	柯家沟河谷东侧坡脚缓坡, 标高36.78米以上	柯家山山凹下部缓坡, 标高44.95~51.88	柯家山山凹缓坡上部, 标高>51.88	罗汉山西北山坡坡脚缓坡, 标高42.27~47.51
上 覆 土 体	岩 性	Q_4^{Pa1} : 上部褐色灰褐色亚粘土, 可塑、软塑状; 下部砂砾石, 稍密—松散	同 左	Q_3^{d*1} 褐~棕红色含碎石粘土, 硬塑~可塑状	Q_3^{d*1} 同 左	Q_3^{d*1} 同 左	Q_3^{d*1} 同 左
	厚度(米)	4.24~8.39	5.83~12.88	1.31~11.95	10.73~14.42	7.70	7.59~15.71
	承载力(吨/米 ²)	11~13	11~13	15~18	15~18	15~18	15~81
下 伏 基 岩	岩 性	T_{147}^{5-7} 大理岩	同 左	同 左	同 左	同 左	T_{147}^{1-3} 薄层、中层大理岩
	遇洞率(%)	83	83	25	50		12
	岩溶率(%)	5.51~47.90	2.08~21.16	0~14.43	0~13.96	3.22	0~0.5
含水性质及地下水位埋深(米)		承压水 0.7~1.79	承压水 3.98~地表以上0.23	承压水, 局部潜水	承压水, 局部潜水	潜水, 局部承压水	承压水, 局部潜水 1.24~2.05
所在塌陷预测分区		严重塌陷区	严重塌陷区	显著塌陷区	显著塌陷区	微弱塌陷区	微弱塌陷区
塌陷产生情况		塌陷大量产生	已有塌陷发生	未见塌陷	未见塌陷	未见塌陷	未见塌陷

* 火成岩分布区为稳定区。

铁路在何锡铺附近有190m通过严重塌陷区, 其余地段为显著塌陷区, 其中北侧平交道口以北330m地段已有塌陷5处, 稳定性相对较差, 其南大广山车站一带稳定性相对较好, ZK38孔多年抽水, 水位降深24m左右未产生塌陷。因此北段的稳定性要加以注意, 现已处理的63号大塌陷处有复活迹象, 砌石排水沟坎有下沉破裂现象, 横跨柯家沟的涵洞其缓慢下

沉现象仍在继续, 矿井排水时其变形可能加剧。

柯家沟谷地内的高压线杆处于不稳定地段, 应作专门加固处理。

方贤垅水库可能因塌陷影响坝体稳定并使库水漏失。

四、结 论

1. 大广山矿井突排水塌陷的发生发展过程受着矿井突排水动态的密切控制, 主要表现在:

(1) 矿井多次突排水导致多回次的塌陷过程。各回次中塌陷最密集的活跃时期与该次突排水水位强烈下降时期相对应, 且呈多次由近及远的波浪式重复扩展过程。

(2) 矿井突排水塌陷的发生受水位降深和降速的双重控制。其临界判别式取决于漏斗区的塌陷条件: 风井地段为 $[S]_{\text{风}} \leq 6 - 6 V_{\text{风}}$; 付井地段则可能为 $[S]_{\text{付}} \leq 13.41 - 9.41 V_{\text{付}}$ (S —水位降深, V —水位降速)。

(3) 塌陷数量、塌陷速率、塌陷距离均与水位降深具一定的相关关系, 表明水位降低至基岩面以下是塌陷形成的有利条件而非必要条件。

(4) 矿井突排水动态据排水强度可分为强排式和缓排式, 风井地段其界限值约为排水量 $6000 \text{ m}^3/\text{d}$ 、水位降速 0.2 m/d 。强排式塌陷发育强烈, 缓排式则较微弱, 在降深相当的情况下, 塌陷速率前者为后者的 8 倍。

2. 大广山塌陷的发育和分布受塌陷形成条件的影响而具有明显的规律性, 主要是:

(1) 塌陷主要发育于河谷低地, 尤其是地表水体附近, 坡脚缓坡地带塌陷较少。

(2) 塌陷主要发育于浅部(基岩面下 30 米深度范围内)岩溶率 $> 10\%$ 的岩溶强烈发育地段, 岩溶率 $5 - 10\%$ 的岩溶显著发育地段塌陷较少。

(3) 塌陷主要发育于厚度 < 10 米的近代冲洪积层分布地段, 特别是砂砾石层分布地段最为集中。

(4) 塌陷主要发育于地下水排泄区、主径流带及第四系潜水与岩溶承压水联系密切的双层含水结构地段。后者表明垂向渗流在塌陷形成中有着重要的作用。

3. 大广山塌陷的形成是多种机制的综合作用而以潜蚀作用为主导的结果。负压吸蚀在一定的条件下起着促进的作用。其依据是: 塌陷主要发育于易于潜蚀的砂砾石层分布地段, 而封闭性较好的均一粘性土中塌陷少; 水位下降未到基岩面以下即有塌陷产生, 而在均一粘性土中即使水位降低到基岩面以下也未产生塌陷; 几个主要回次的塌陷在柯家沟河床附近反复产生。这些现象都是负压吸蚀机制所无法解释的。

4. 大广山塌陷的预测和评价是在地质分析的基础上, 结合应用多元统计的定量方法进行的。地质分析包括对塌陷与其形成条件关系、塌陷与突排水动态关系的综合分析, 并通过统计求得有关参数的界线值作为预测评价的依据。多元统计方法包括逐步回归和逐步判别分析, 其目的是在影响岩溶塌陷的诸因素中找出其主导因素及其数量界线, 以验证和补充地质分析的结果, 使参与预测和评价的参数达到量化。通过大广山的实践, 可见这是一种可普遍适用的方法。

5. 岩溶塌陷的防治应贯彻预测、预防、预报和治理的防治工作程序, 预测是基础, 预防是关键。对于矿区塌陷的预防, 其中心就是对矿坑排水动态进行人工控制, 如井下采取的

超前探水、工作面注浆堵水、埋管控制放水的防治水措施,应严格执行。此外如主要进水通道的注浆堵截、地表漏塌河床的铺底堵漏等都是改善矿坑排水动态的有效措施,可根据需要采用。根据大广山的经验有两点值得特别注意:一是尽可能避免突水,特别是不要反复突水;二是矿坑排水要缓排,避免强排。这样可大大减轻塌陷的程度及其灾害。

本文参考利用了湖北地矿局地质一队、武汉冶金勘察公司及中南冶金勘探公司在大广山铁矿进行的地质勘探资料,工作中曾得到鄂东南地质队和大广山铁矿矿务局的大力协助,以及陈旻同志提供计算程序在此一并致谢。

PREDICTION AND EVALUATION OF KARST COLLAPSE IN DAGUANGSHAN IRON MINE IN DAYE COUNTY, HUBEI

Xiang Shijun Chen Jian Qin Youqiang

(Institute of Karst Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Daguangshan iron mine is located in the covered karst region, where 78 karst collapses occurred during 1978-1981 in well construction because of water gushing and drainage in shaft and pumping test in adjacent areas. The collapse blocked the river flow and caused backflow into the pit. Farmlands and some of buildings were destroyed, the railway was broken down, the bridge subsided and cracked. The mine construction was brought to a halt.

This paper deals with the conditions for karst collapse as well as karst development, the lithology, structure and thickness of the Quaternary system; the karst hydrogeological conditions and their variations during mine drainage. The development and distribution regularities of karst collapse are discussed. The paper focuses particularly on prediction of the trends of karst collapse during mining, and on approaching effective way for the evaluation of major influence of collapse and stability of ground surface for various types of buildings. Satisfactory results have been achieved in applying the quantitative method based on geological qualitative analysis and in combination with multiple statistics, such as multiple-regression and stepwise discriminant analysis. Finally a collapse prevention measures is suggested.