

塌陷灾害与防治丛书

# 塌陷与国民经济发展

主 编 纪万斌

副主编 林景星 袁志梅 孟 晖 唐 灿

李小梅 郝梓国 陈 庆 王维平



地震出版社

封面设计 邢秀芬

ISBN 7-5028-1437-X



9 787502 814373 >



ISBN 7-5028-1437-X/P·894

(1943) 定价: 15.00 元

塌陷灾害与防治丛书

# 塌陷与国民经济发展

主 编 纪万斌

副主编 林景星 袁志梅 孟 晖

唐 灿 李小梅 郝梓国

陈 庆 王维平

地 震 出 版 社

1998

## 内 容 提 要

本书以经济可持续发展为指导思想,系统研究国家重大经济建设项目中塌陷灾害造成的损失和影响。运用国土经济学、环境地质学、水文学、工程地质学、地震学等理论,选取典型实例,对国土规划、城市建设、交通运输、江河航运以及矿山开发进行塌陷风险预测和评估,对各类塌陷的环境治理和恢复生产措施提出合理建议和切实可行的方案,以达到减灾防灾,确保国民经济可持续发展的目的。

本书可供研究塌陷地质环境与经济学专业人员、高校师生、国家环保和国土开发决策部门人员参考。

### 塌陷灾害与防治丛书 塌陷与国民经济发展

纪万斌 主编

责任编辑:李 玲

责任校对:耿 艳

\*

社 社 出版

北京民族学院南路9号

北京红星黄佳印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行  
全国各地新华书店经售

\*

787×1092 1/32 5 125印张 120千字  
1998年12月第一版 1998年12月第一次印刷  
印数:0001—1000

ISBN 7-5028-1437-X/P·894  
(1943) 定价:15.00元

防 治 塌 陷  
造 福 人 類

於 海 濱

一九二八年六月

加强  
基础  
理论研究

促进  
国民  
经济发展

萧序常  
1998.11.

# 塌陷灾害与防治丛书

## ——《塌陷与国民经济发展》编委会

主    编    纪万斌

副  主  编    林景星    袁志梅    孟  晖

唐  灿    李小梅    郝梓国

陈  庆    王维平

编写人员    纪万斌    林景星    袁志梅

孟  晖    唐  灿    李小梅

郝梓国    陈  庆    王维平

尹训河    纪凤东    纪凤程

## 序 言

人口、资源、环境是制约经济发展的三大要素，对经济正在腾飞的我国来说，如何使经济的高速度与多达 12 亿的人口、有限的资源、脆弱的生态环境相互适应协调，以保证经济能够长期、稳定、可持续地发展，不仅关系到现今的国富民强，也是子孙后代繁荣昌盛的关键。

国土资源是一切经济发展的基石和根本，也是不可替代的自然资源。随着工业化、城市化进程，对土地资源巨大的需求和大规模的开发占用，已导致宝贵的土地资源紧缺、退化乃至破坏，这正在成为我国生态环境中的一大隐患。地面塌陷是对国土资源威胁最大的一种地质灾害，它在工业、城市、农业、矿业、交通、旅游等主要经济领域中造成了多种危害，不仅导致了巨额的经济损失，更危及人民生命财产的安全，影响了社会的安定。

本文从地面塌陷与经济可持续发展的最新发展战略理论出发，通过众多实例，论证其对经济、环境以及生态的相互制约关系；从国土经济学与生态环境相结合的角度，讨论塌陷灾害的预防治理和风险评估；为合理开发利用国土资源，规划制定我国最新的“区域经济”框架提供科学依据。



1997 年 6 月 20 日



# 目 录

第一章 塌陷灾害概述.....	(1)
第一节 塌陷的分布及其对国民经济的影响.....	(1)
第二节 矿山塌陷及岩溶塌陷的研究概况.....	(19)
第三节 塌陷灾害的分类.....	(31)
第二章 工业塌陷子系统.....	(37)
第一节 我国工业化进程与塌陷灾害.....	(37)
第二节 工矿城市塌陷灾害的影响特征.....	(41)
第三节 工矿城市塌陷实例.....	(56)
第三章 农业塌陷子系统.....	(78)
第一节 塌陷对农业的影响.....	(78)
第二节 农业塌陷灾害实例.....	(90)
第四章 交通运输塌陷子系统.....	(100)
第一节 塌陷灾害对交通运输的影响及特点.....	(100)
第二节 交通运输塌陷灾害实例.....	(109)
第五章 旅游塌陷子系统.....	(121)
第一节 地面塌陷对旅游风景区的影响及特点.....	(121)
第二节 旅游风景区塌陷灾害实例.....	(123)
第六章 我国主要经济区塌陷灾害的风险评估及 综合治理.....	(127)
第一节 塌陷灾害风险评估的重要性和必要性.....	(127)
第二节 塌陷灾害的风险评估.....	(128)
第三节 土地生态系统的破坏与塌陷区的 综合整治.....	(140)
第四节 矿产开采沉陷引起的环境危害及其 整治费用效益分析方法.....	(147)
参考文献.....	(156)

# 第一章 塌陷灾害概述

## 第一节 塌陷的分布及其对国民经济的影响

地质环境是人类赖以生存和发展的最根本的生活环境，它处于不断的变化之中，有些变化会导致灾难性的后果。对某些急剧而强烈的地质环境变化，如地震和火山喷发等，人类目前还不能有效地预防；而缓慢的地质环境变化又常常不易为人们所察觉而被忽视。随着生产和社会的发展，人类自身的活动也加剧了这些变化。这些使人类的生命和财产遭受到损失的地质环境的变化(或地质过程)，就是所谓的地质灾害。

塌陷是地球表层的固态物质，由于自然或人为的因素，在重力的作用下，向下移动而形成的，是我国突出的地质灾害之一，要预防和治理塌陷，首先必须查清其分布、发生、发展的规律及其形成机制，才能针对性地防治和有效地协调塌陷灾害与国民经济的关系。

### 一、塌陷灾害的分布

我国是一个人口众多、地域辽阔的大国，塌陷灾害分布广泛，给人民生命财产造成严重损失，成为国民经济可持续发展的制约因素。在各种灾害中，塌陷灾害以其造成的人员伤亡较多、经济损失巨大，并且具有突发性、多发性和影响持久性而占有突出的地位。

塌陷灾害在我国可分为岩溶塌陷、矿山采空塌陷、地面

沉降和地裂缝四种。这四种塌陷灾害在我国的分布及其危害情况见表 1.1 ~ 1.3。

### (一)岩溶塌陷的分布

岩溶塌陷主要分布于岩溶强烈及中等发育的覆盖型碳酸盐岩地区。我国岩溶塌陷主要分布于广西、广东、贵州、云南、四川、江西、湖南、湖北、河北等省区。华南岩溶塌陷多且强，华北相对少且弱。据初步调查，全国岩溶塌陷总数为 2841 处，塌陷坑为 33192 个，塌陷面积  $332.28\text{km}^2$ 。人为因素是诱发岩溶塌陷的主要原因。如在 632 处岩溶塌陷中，自然塌陷 192 处，占总数的 30.4%；人为因素诱发的塌陷 432 处，占总数的 68.4%，成因不明的 8 处，占 1.2%。据统计湖南省因人为因素诱发的岩溶塌陷占总数的 86.6%，塌坑占总数的 99.8%；广西地区因人为诱发岩溶塌陷占总数的 77.24%。调查表明，凡是过量抽汲岩溶地下水的地区，都是岩溶地面塌陷发育强烈及损失惨重的地区。人为因素诱发的岩溶塌陷点多，突发性强，塌坑大小形状不一，小者不足  $1\text{m}^2$ ，大者达几百平方米；且发育具有持续性、重复性，发育时间及分布范围也比较集中，因此造成的危害很大。每年因岩溶塌陷造成的直接经济损失安徽省约 436.8 万元；辽宁、湖南两省年均分别达到 5000 万元和 3378 万元；云南省年均约 1000 万元，估计全国每年因岩溶塌陷造成的直接经济损失在 1.2 亿元以上。

### (二)矿山采空塌陷的分布

矿山采空塌陷广泛分布于我国各地的矿山及其周围地区，其中又以煤矿采空塌陷最为突出。黑龙江、山西、安徽、江苏、山东等省是采空塌陷的严重发育区。据不完全统计，在全国 20 个省区内，共发生矿山采空塌陷 180 处以上，塌

表 1.1 全国岩溶塌陷、矿山采空塌陷情况表 (据段永侯, 1993)

地 区	省 市 区	岩 溶 塌 陷										矿山采空塌陷	
		总 计 (个处/km <sup>2</sup> )	成 因 类 型					成 因 不 明 (个处/km <sup>2</sup> )	年均 经济 损失 (万元)	总 计 (个处/km <sup>2</sup> )	年均 经济 损失 (万元)		
			自然 塌 陷 (个处/km <sup>2</sup> )	矿坑 排水 (个处/km <sup>2</sup> )	抽 水 (个处/km <sup>2</sup> )	蓄水 引水 (个处/km <sup>2</sup> )	表水 下渗 (个处/km <sup>2</sup> )	振动 加载 (个处/km <sup>2</sup> )					
东 北	辽宁	230/11.2	3/3/		1/1/		1/1/		5000	66/88.92			
	黑龙江	1/1/		1/1/						66/322.9			
北 华	吉林	2/2/		1/1/	1/1/					88/63.87			
	北京	+								162/11/			
北 北	天津	—								—			
	内蒙古	1/1/	1/1/							—			
	河北	451/83/20	52/52/	23/23/	286/6/	1/1/		89/1/		88/13.5			
	山西	+								29/29/247			
西	新疆	+								+			
	青海	2/2/	2/2/							—			
北	宁夏	—								3/3/9.7			
	甘肃	—								3/3/1.2			
	陕西	2/2/				2/2/				+			

续表

地 区	省 市 区	岩 溶 塌 陷								矿 山 采 空 塌 陷		
		总 计 个/处/10 <sup>3</sup>	成 因 类 型						成 因 与 明 显 点 数 个/处/10 <sup>3</sup>	年 度 经 济 损 失 元/万	总 计 个/处/10 <sup>3</sup>	年 度 经 济 损 失 元/万
			自 然 塌 陷 个/处/10 <sup>3</sup>	矿 坑 排 水 个/处/10 <sup>3</sup>	抽 水 个/处/10 <sup>3</sup>	潜 水 引 水 个/处/10 <sup>3</sup>	表 水 下 渗 个/处/10 <sup>3</sup>	振 动 加 载 个/处/10 <sup>3</sup>				
华 东	上 海	—								—		
	江 苏	40/21/		2/2/	2/2/					10/73/26	2200	
	浙 江	17/5/		1/1/	16/4/					5/3/0.5/		
	山 东	361/177/		159/4/	196/9/			6/4/		9/9/30	5000	
	福 建	33/33/	1/1/	2/2/	2/1/1/					—		
中 南	江 西	1382/82 7.3.54	233/32/	682/13 11.82	449/22 11.72	5/5/	1/1/	12/1/		53/21/	2400	
	安 徽	295/22/1.86	2/2/	247/12/1.72	31/8/0.11					436.8	74/49/4.47	
	台 湾											
中 南	广 西	3520/21.97 7.73.8	500/500/	4/1/	1560/16/	43/1/	3/1/	129/3/0.4	22/1/	+		
	广 东	8741/19/25.60		8694/4 25.60	43/3	5/1/			3/1/	4/2/		

续表

地区	省市	岩 溶 塌 陷								矿 山 采 空 塌 陷		
		总 计 (个/处/km <sup>2</sup> )	成 因 类 型						成 因 不 明 (个/处/km <sup>2</sup> )	年均 经济 损失 (万元)	总 计 (个/处/km <sup>2</sup> )	年均 经济 损失 (万元)
			自 然 塌 陷 (个/处/km <sup>2</sup> )	矿 坑 排 水 (个/处/km <sup>2</sup> )	抽 水 (个/处/km <sup>2</sup> )	雷 水 引 水 (个/处/km <sup>2</sup> )	表 水 下 渗 (个/处/km <sup>2</sup> )	振 动 加 载 (个/处/km <sup>2</sup> )				
中	海 南	1/1/		1/1/						—		
	湖 北	58/4.7	16/1.6/	21/2.1/	12/1.2/	4/1/		1/1/	4/1/	+		
南	湖 南	13808/127 67.12	19/1.9/	7199/53/65	153/44/2.12	120/1.1/				1000/1.3 12.27	3000	
	河 南	1/1/	1/1/							26/2/40.8		
西 南	四 川	58/5.8/	32/3.2/	8/8/	3/3/	14/1.4/		1/1/		+		
	云 南	1560/5/4.26	7/1/		8/1/	13/1.3/		7/1/	19/1/	—	1000	
	贵 州	2131/1.07/20.2	58/2.6/	15/1.2/	1826/5.4/	115/6/	4/1/	4/1/	1/1/	100/8/9.44		
	西 藏	+								—		
合 计		33192/2841 1332.28	927/6.94/	17060/1.59 194.14	4607/2.06/5.95	318/5.8/	9/1/	249/2.2/	49/8/	1595/5.80 11.50	9436.8	9660

注：— 表示无或极不发育；+ 视进行统计；空格表示情况不明。

表 1.2 全国地面沉降情况表 (据段永侯, 1993)

省区、市)	沉降区 (km <sup>2</sup> /处)	发育分布简要说明
上 海	850/1	上海市地面沉降始于 1920 年, 至 1964 年已发展到最严重的程度, 最大降深 2.63m, 以后逐步控制, 现处在微沉和反弹的状态
天 津	10000/1	自 1959 年始, 除蓟县山区外, 10000km <sup>2</sup> 的平原区均有不同程度的沉降, 形成市区、塘沽、汉沽 3 个中心, 最深达 2.916m, 最大速率 80mm/a
江 苏	379.5/4	自 60 年代初苏、锡、常三市分别出现地面沉降, 到 80 年代末累计沉降量分别达 1.10m、1.05m、0.9m, 目前已连成一片, 现最大沉降速率达 40 ~ 50mm/a、15 ~ 25mm/a、40 ~ 50mm/a
浙 江	262.7/2	宁波、嘉兴两市自 60 年代初开始, 到 1989 年累计沉降量最大分别达 0.346m、0.597m, 现最大沉降速率分别达 18、41.9mm/a
山 东	52.6/3	菏泽 (1978 年发现)、济宁 (1988 年发现)、德州 (1978 年发现) 三市, 累计沉降量分别达 0.077m、0.063m、0.104m, 最大沉降速率分别达 9.68mm/a、31.5mm/a、20mm/a
陕 西	177.2/1	自 50 年代后期开始西安市及近郊出现 7 个地面沉降中心, 最大累计沉降量达 1.035m, 最大沉降速率达 136mm/a

续表

省(区、市)	沉降区(km <sup>2</sup> /处)	发育分布简要说明
河 南	59/4	许昌(1985 年发现)、开封、洛阳(1979 年发现)、安阳最大沉降量分别为 0.208m、不详、0.113m、0.337m、安阳为区域性沉降 沉降速率 65mm/a
河 北	36000/10	整个河北平原自 50 年代中期开始沉降,目前已形成沧州、衡水、任丘、河间、霸州、保定、一亩泉、大城、南宫、肥乡、邯郸 10 个沉降中心,沧州最甚,累计沉降量达 1.131m、沉降速率达 25.5mm/a
安 徽	360/1	阜阳市 70 年代初出现沉降,1992 年最大累计沉降量达 1.02m、沉降速率达 60~110mm/a
黑龙江	1/4	哈尔滨、大庆、齐齐哈尔、佳木斯出现了房屋开裂、地面形变等地面沉降的前兆,它们均存在地下水超量开采等地面沉降主发因素
山 西	200/4	太原市(1979 年发现)最大沉降量 1.967m,沉降速率 0.037~0.114mm/a,大同市(1988 年发现)、榆次、介休最大沉降量分别为 0.06m、不详、0.065m、沉降速率分别为 31mm/a、10~20mm/a、5~7.5mm/a
北 京	313.96/1	自 50 年代末开始沉降,中心位于东郊,最大累计沉降量达 0.597m,目前趋势减缓
云 南	1/1	昆明市火车东站地段发现地面下沉



续表

省(区、市)	沉降区 $\text{km}^2/\text{处}$	发育分布简要说明
广东	0.25/1	60 ~ 70 年代湛江市出现地面沉降, 最大降深 0.11m, 后由于控制地下水开采已基本控制
海南	1	90 年代发现海口市最大沉降量达 0.07m, 目前还没有造成危害
福建	9/1	1957 年开始, 福州市发现地面沉降, 目前, 最大累计沉降量达 678.9mm, 沉降速率 2.9 ~ 21.8mm/a
合计	48655.21/45	全国基本上发育在长江下游三角洲平原、河北平原、环渤海、东南沿海平原、河谷平原和山间盆地等地区, 年均直接损失 1 亿元以上

表 1.3 全国地裂缝情况表 (据段永侯, 1993)

省 (市、区)	成因类型						合 计		年均经 济损失 (万元)
	抽排水		采 矿		构造、岩土变形				
	条/处	km <sup>2</sup>	条/处	km <sup>2</sup>	条/处	km <sup>2</sup>	条/处	km <sup>2</sup>	
陕西					11/1	45.08	95/2	45.08	
山东	26/6	11.047	29/10	5.814	5/3	27.49	60/21	44.35	2000
湖南	+	+	2/2	约 1.5			7/1	约 1.5	
湖北							+	+	
河南							130/130	26.0	
安徽					60/47	3.0	60/47	3.0	
河北							177/65	186.7	
贵州					316/18	15.80	316/18	15.80	

续表

省 (市、区)	成因类型						合 计		年均经 济损失 (万元)
	抽排水		采 矿		构造、岩土变形				
	条/处	km <sup>2</sup>	条/处	km <sup>2</sup>	条/处	km <sup>2</sup>	条/处	km <sup>2</sup>	
云南							2/2	+	
广西					9/9		9/9	+	
广东	1/1				96/88	3.51	97/89	3.51	
江西					22/3	2.20	22/3	2.20	
四川					3/3	0.5	3/3	0.5	
吉林			4/2	1.54	29/2	1.0	33/4	2.54	
黑龙江	8/3	0.10					8/3	0.10	
山西					50/30	15.5	50/30	15.5	
宁夏			4/1				4/1	+	
合计	35/10	11.15	39/15	8.85	592 /206	114.08	1073 /434	346.78	

注：+表示该地有地裂缝存在，但无统计数字。

坑超过 1595 个，塌陷面积大于 1150km<sup>2</sup>。资料表明，塌陷灾害中矿山采空塌陷的危害最大，造成的损失最重。我国矿山采空塌陷出现于 90 年代以后，尤其是近 10 年来，随着采矿业的发展，尤其是大量集体、个体企业进行采煤、采矿活动，造成矿山采空塌陷频频发生。统计资料表明，国营、集体、个体三方造成的矿山采空塌陷是个体大于集体大于国营。经有关部门测算，全国每采万吨煤平均塌地 3 亩[注：1 亩 = (10000/15)m<sup>2</sup>，下同]，高者可达到 3.85 亩。如吉林省每采 1000t 煤平均塌地已达 15.1 亩；安徽省淮北煤田每天采

50000t煤，塌地约20亩，一年塌地近万亩，因而全国每年因采煤塌地要达 $70\text{km}^2$ 还多。黑龙江省鹤岗煤矿开采70多年来，已塌陷 $41.97\text{km}^2$ ，塌陷区需搬迁的房屋总建筑面积为 $139.7 \times 10^4\text{m}^2$ ，仅搬迁费就需要4.9亿元，且不断有人员伤亡事故发生。采空塌陷面积一般较大，平均在几百平方米以上，大者如湖南杨梅山煤矿塌陷，长2km，宽1km，深12m。塌陷面积达百万平方米。山东省每年因采煤塌陷造成的直接经济损失约为5000万元，江苏省每年也达到2260万元损失，经估算全国矿山采空塌陷每年造成的直接经济损失约为3.17亿元。

### (三)地面沉降的分布

地面沉降主要分布在东南沿海及大江河河口三角洲地区、河谷平原及山间盆地。长江下游三角洲平原区，如上海、苏州、无锡、常州等；河北平原，如沧州等；环渤海地区，如天津等；东南沿海平原，如宁波、嘉兴、湛江等；河谷平原和山间盆地，如西安、太原等。地面沉降主要是由于地下水的超量开采所致；有些地区则是和地质构造有关，如西安；石油开采也可导致地面下沉，如大庆、任丘、塘沽等。在沉降面积和沉降深度上，以天津、上海、苏州、无锡、常州、沧州、西安、太原、阜阳等地最为严重；在发展趋势上，以天津(最大沉降速率 $80\text{mm/a}$ )、安徽阜阳(沉降速率 $60 \sim 110\text{mm/a}$ )、山西太原(沉降速率 $114\text{mm/a}$ )等地区最为严重。另外，有些地区的地面沉降还具有区域性整体下沉的特点，如具有区域性下沉特点的有苏州、无锡、常州等地整体沉降面积达数百平方公里，安阳以东地区达数千平方公里，天津、河北平原地区达 $10000\text{km}^2$ 以上。地面沉降的主要危害包括防泄洪能力下降、抵抗风暴潮能力降低、建筑物地基破

坏、桥下净空高度变小影响航运和泄洪，以及雨季地表积水等。在地面沉降发现最早的上海市，上述几个方面的危害都比较严重，如地表积水，外滩防洪被迫不断加高，建筑物地基变形、桥梁错断，桥下净空高度减小等。我国地面沉降最严重的天津市不仅存在上述危害，而且在塘沽由于地面标高的损失，还加重了风暴潮的危害，塘沽沉降中心的地面标高已不足 1m，遇风暴时海水上涨 5 ~ 6m，现有防潮堤不足以阻挡海浪，造成海水大面积入侵。1985 年 8 月 2 日和 19 日，潮位达 5.5m，新港造船厂，东大沽一带被海水淹没，直接经济损失达 1.2 亿元；1992 年 9 月 1 日，潮位达 5.93m，由于更大面积的海水淹没，直接经济损失约达 3 亿元。

#### 四)地裂缝的分布

地裂缝的分布没有很强的区域性规律，成因也较多，主要有抽排水(如山东、广东、黑龙江等地)、采矿(如吉林、宁夏等地)和新构造运动、岩土体变形(如山西大同、安徽、广西等地)等。地裂缝的长度一般为数十米至数百米，宽度一般为数厘米至数十厘米，垂直落差在数厘米至数十厘米，最长者可达数公里(如山西大同机车厂至大同宾馆的裂缝长度达 5km)，最宽者可达 10m 以上(如吉林临江砬子沟煤矿玄武岩石面上的地裂缝最宽处达 18m)，垂直落差最大者也达 1m 以上(如吉林深江市七道江镇狼洞沟地裂缝达 1.1m)。地裂缝和地面沉降在成因上有一定联系，有时在一些地区会同时出现，其危害性更大。地裂缝的主要危害是造成房屋开裂，破坏地面设施等。如西安市地裂缝穿越 91 座工厂、40 所学校、公用设施 60 处、村寨 41 个，其他单位 97 个、道路 60 处；围墙 427 处、132 幢楼房受破坏和影响；其中 20 幢全部或部分拆除，1057 间平房受毁，8 处文物古迹受损或受

到危害。广西武宣县城自 1962 年以来，由于地裂缝有 45% 的房屋遭到破坏，局部地段甚至达 85%。大同市 80 年代以来，由于地裂缝所造成的经济损失已达 2000 万元以上，山东因地裂缝和膨胀土变形每年损失 2000 万元。

中国塌陷地质灾害分布见图 1.1。

## 二、我国主要经济区的塌陷灾害

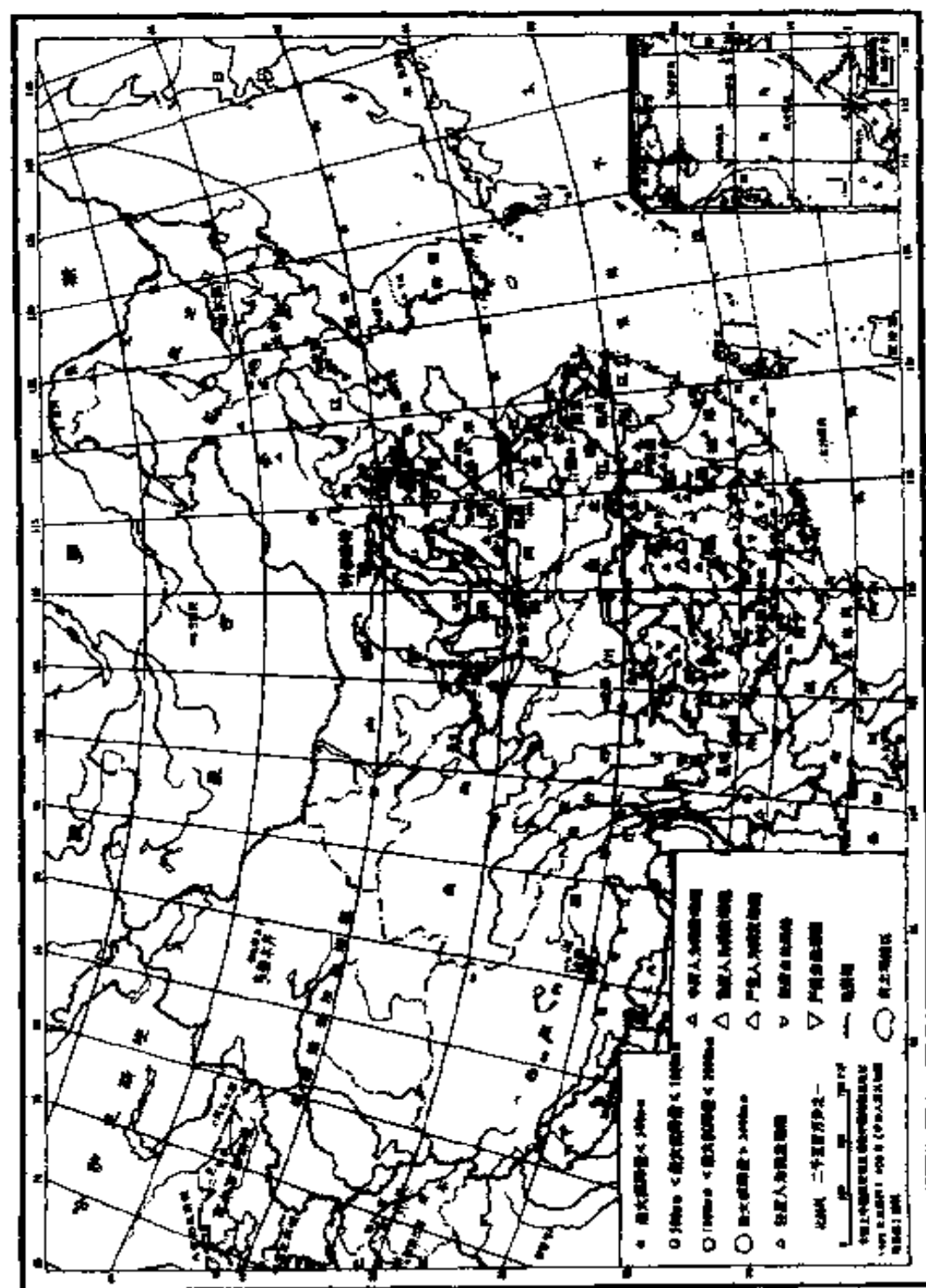
### (一)东北经济区

包括黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古东部地区。本区地处东北平原，土壤肥力较高，人均耕地较多；石油储量大，是大庆油田、抚余油田所在地；水能资源丰富，经济基础较强，原油、汽车的年产量占全国的一半，发电设备占全国的三分之一，重型机械在全国也占有重要地位。

辽宁和黑龙江是区内塌陷灾害多发区。东部几个大型煤矿区(鸡西、鹤岗、双鸭山、七台河等煤矿)和抚顺、阜新、本溪等矿区采空塌陷尤为严重，影响地面建筑物、铁路、公路的稳定性。近年来，采空区地面塌陷造成房屋倒塌和人身伤亡事故时有发生，严重地危害区内人民生命和国家财产的安全。区内岩溶塌陷灾害以辽宁省境内瓦房店和海城地区最为严重，大连、本溪、鞍山、辽阳、杨家杖子矿区也有发生。

### (二)京津唐经济区

本区经济实力雄厚，工农业总产值约占全国的 6% - 7%，冶金、化学、机械、轻纺、电子、建材工业都在全国占有重要地位，交通运输发达，矿产资源比较丰富，铁矿石保有储量为 54 亿吨，占全国的 11% 左右；煤炭保有储量为 80 亿吨，其中肥煤储量 26 亿吨，占全国 9%；大港、渤海重点勘探开发区石油储量丰富，渤海油田预计到本世纪末可获得数亿吨储量。本区经济发展的主要问题是：水资源严重



此图据文宝碑(1996)改编

短缺，工业过分集中于市区、局部地区环境质量恶化。

50年代末至90年代初，天津市区、塘沽区、汉沽区三个沉降中心地面累计沉降量已达2.63、2.83、2.15m，天津、廊坊南部和唐山西南部累计沉降量大于100mm的范围已达12000km<sup>2</sup>。地面沉降使塘沽有5km<sup>2</sup>地面低于海平面，汉沽约有20km<sup>2</sup>地面与海平面持平。压缩地下水开采量可有效地控制地面沉降的发展。自1986年天津市实施压缩深层水开采量，并开展地下水人工补给，使沉降速率迅速减缓，由1985年的86~100mm下降到1990年的15~19mm。

岩溶塌陷主要发生在唐山市和秦皇岛市柳江水源地。矿坑排水和地震诱发的岩溶塌陷坑1100多个。1984年6月唐山范各庄煤矿发生岩溶塌陷突水事故，损失达5.6亿元。

### (三)长江三角洲地区

本区包括江苏省的苏州、无锡、常州、南通、扬州、泰州、镇江、南京；浙江省的嘉兴、湖州、杭州以及上海，总面积约42245km<sup>2</sup>。

区内的上海是我国最大的经济中心，综合性工业基地和最大的外贸口岸。本区农业生产集约化程度较高，是我国著名的鱼米之乡；工业技术基础雄厚，门类齐全，综合配套能力强，经济效益高；科技文化先进，智力资源丰富；内外贸易发达；城镇化程度高，交通运输方便，拥有我国最好的内河航运网和最集中的江海港群，铁路和公路、航空运输均较发达，旅游资源十分丰富。

长江三角洲地区软弱粘性土累计厚度较大，部分地区集中开采地下水，形成区域性地下水位降落漏斗，浙江省海宁—上海吴淞口、江苏省吴江—浏河口，上海北部地区、杭嘉湖和苏锡常地区是地面沉降集中区，而苏北广大地区和苏

南局部地区地面沉降量不大，常州、苏州和无锡市三市 1988 年地下水最高开采量达  $105 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ，已形成地区性的降落漏斗，随着开采量的增加，常州市沉降中心最大累计沉降量达 863mm，苏州市沉降中心最大沉降量达 1100mm，无锡市沉降中心最大沉降量达 1050mm，大于 300mm 的沉降区已连成片，总面积已达  $1412\text{km}^2$ 。南通市 1981 ~ 1983 年累计沉降量达 118mm，平均每年沉降量达 39mm，并有逐年加大的趋势，南通市 1970 ~ 1976 年累计沉降量达 300mm。

#### (四)东南沿海经济区

本区地处南亚热带，水分、热量充足，土壤肥沃，盛产亚热带水果和经济作物。海岸线曲折，多天然良港，水产资源丰富。本区水陆交通方便，有门类齐全的工业和比较好的文化技术基础，食糖、水果罐头、家用电器等产品产量在全国居于前列，有较强的竞争能力，随着南海油气资源的开发，石油化工也有良好的发展前景。本区亚热带、热带经济作物在全国占有突出的地位，有建立外向型经济的优越条件。

区内地面塌陷多见于覆盖型岩溶地区和矿区，抽水、矿山排水而引起的地面塌陷较为普遍。由于地下水的过量开采，在福州市出现了地面沉降，沉降中心位于该市地热田北段五四路一带，中心最大累计沉降量达 678.9mm，近年来沉降速率有所加快，如 1991 年 6 月至 1992 年 6 月最大沉降量就达 70mm 以上，大于 50mm 的渔区达  $0.51\text{km}^2$ ，大于 10mm 的区域达  $4.2\text{km}^2$ ，福州地面沉降现正面临一个急剧发展阶段。地裂缝主要分布于雷州半岛，以胀缩土地裂缝为主。

#### (五)中部经济区



包括内蒙中部地区、山西、河南、安徽、湖北、湖南、江西七个省份，国土面积约  $271 \times 10^4 \text{km}^2$ ，长江以北地区每平方公里人口数为 474 ~ 647 人，是我国人口较密集地区之一。区内地形复杂，气候类型多样。以山西为中心的能源基地，全区煤炭保有储量 5000 多亿吨，占全国的三分之二，品种多，质量优，吨煤投资和生产成本大大低于全国平均水平。全区工业基础较好，为能源、重工业和化工综合开发提供了良好条件。以武汉为中心的长江中游沿岸地区水陆交通方便，矿产资源丰富多样，工业已形成以纺织、冶金、化工、机械、食品等部门为主的生产体系。自然条件好，农业生产发展潜力大。近几年区域内的联合发展较快，促进了地区经济增长，湘赣丘陵区有丰富的钨、铋、铅、锌和重稀土等矿产资源，其中钨探明储量占全国的 47%，铋占全国的 93%，重稀土占全国储量的一半以上，水能资源可开发量  $420 \times 10^4 \text{kW}$ ，水土光热条件好，宜于发展农林业。

以山西为中心的能源基地因煤炭大量开采，地面塌陷和地裂缝多有发育。在煤炭资源开采较早的大同一雁北地区，晋中、晋西南地区，晋城—焦作地区，渭北地区，石嘴山地区，采煤造成的地面形变都比较严重。大同矿区发生过 40 多次大面积顶板冒落、塌陷事故，由于采空区地面形变和不均匀沉降，使开采区出现长 400m 的地裂缝，裂开面陡立，深不见底，不仅毁坏农田、房屋，而且还严重威胁着人畜的生命安全。焦作地区，采空区塌陷面积已达  $52 \text{km}^2$ 。岩溶塌陷主要分布于鄂州—黄石、大冶—九江一带的多金属矿产开发区，强烈开采地下水引起的地面塌陷主要发育在湘、赣岩溶区。如郴州市因过量开采地下水，1982 ~ 1987 年发生塌陷 125 次，直径最大达 34m。

#### (六)西南经济区

包括西藏、四川、贵州、云南四个省份。本区经济发达区为乌江干流沿岸区、攀西—六盘水经济区、澜沧江中游水电、有色金属区。乌江沿岸区水能丰富，矿产资源富集，煤炭保有储量约 185 亿吨，锰矿保有储量 8400 万吨，约占全国 20%，攀西—六盘水区能源和矿产资源十分丰富，可开发的水能资源约  $6400 \times 10^4 \text{ kW}$ ，其中可建成百万千瓦以上的电站坝址有 12 处，光热水条件好，宜于农作物生长。煤炭保有储量 638 亿吨，铁矿探明储量 77 亿吨，其中钒钛磁铁矿探明储量 68 亿吨；有色金属资源也很丰富，并伴生多种贵重和稀有金属。澜沧江中游水电区已拥有丰富的自然资源，澜沧江水能可开发量达  $2000 \times 10^4 \text{ kW}$ ，区内有锌、铅、锡、锑等多种有色资源，此外还有大理石等建材资源。区内光、热条件优越，生物种类繁多，是我国重要的动植物宝库。区内旅游资源丰富，有历史文化名城大理、以苍山、洱海为中心的风景区，可供建设一个旅游圈。

四川盆地、贵州、云南是岩溶塌陷多发区，重庆市郊歌乐山、中梁山在隆脊岩溶谷地发生了较多的岩溶塌陷。著名旅游圣地四川兴文石海洞乡原系一大型岩溶塌陷，形成长 650m、宽 490m、深 208m 的塌陷洼地。贵州地区碳酸盐岩广布，岩溶发育，岩溶塌陷时有发生，成为贵州省主要地质灾害之一，省内塌陷 102 处，塌坑 2231 个。其中自然塌陷 26 处，主要发育在地下水流动迅猛、变幅大的岩溶洼地、槽谷中。由于大量开采地下水、采矿疏干排水、修建水库蓄水等引起的人为塌陷 76 处，塌坑 2171 个，主要集中在水城、六枝、安顺、贵阳、遵义等地。云南省岩溶塌陷危害较严重的地区主要有昆明市、个旧市、曲靖市和贵昆铁路西段。

## (七)西北经济区

包括新疆、甘肃、青海、宁夏、内蒙西部和陕西，是经济开发程度相对较弱的地区。以兰州为中心的黄河上游地区水能资源丰富，是黄河水系的水能富集区，可开发利用的水能资源  $1000 \times 10^4 \text{ kW}$  以上；有色金属矿产资源丰富，已初步形成以兰州为中心的有色金属、能源、石油化工、机械等工业基地。乌鲁木齐—克拉玛依地区有丰富的石油、煤炭、石灰石等资源，光、热、土地资源也有明显的优势，工农业已有一定的基础，集中了全疆工业固定资产和总产值的 70% 以上。

区内黄土湿陷、地裂缝、地面沉降等灾害发育，强湿陷性黄土主要分布在甘肃东部、陕北、晋西、宁南地区，由亚砂土和亚粘土组成，具有大孔隙，垂直节理发育，易崩解溶蚀，孔隙比大于 1.0，中等湿陷区主要分布在汾渭流域、豫西三门峡等地。有原生和次生两种黄土。弱湿陷性黄土主要分布在青海东部、兰州地区、伊洛河中、下游等地，平均湿陷系数 0.029，平均孔隙比 0.86 ~ 0.97，多为次生黄土。

西安是陕西的省会，也是世界闻名的文化名城，但在西安市郊，地裂缝和地面沉降普遍发育，灾害逐年加剧，危害日趋严重。目前已在西安城郊发现 11 条地裂缝，为现今仍在活动的构造地裂缝，展布范围达  $155 \text{ km}^2$ 。由于超量开采地下水出现较大范围的不均匀沉降。东起纺织城，西至汉城路，南由三爻村起，北达辛家庙止的范围内，累计沉降量超过 100mm 的沉降区面积达  $200 \text{ km}^2$ ，其中存在 7 个沉降中心，地处西安南郊的沉降中心累计沉降量已超过 1000mm，最大沉降速率达  $136 \text{ mm/a}$ 。

世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》一书中，

把“可持续发展”归纳为“既能满足当前的需要，又不危及后代满足其发展需要的能力”。它强调与后代公平享用共有的资源，留给后代同样或更好的资源基础。可持续发展的实质是以自然资源永续利用为前提的发展模式，人类在地球上生存、繁衍和发展，一刻也不能脱离自然资源的支撑。

本着可持续发展的原则，防治塌陷灾害，进行经济建设，是一项“功在当代，利泽千秋”的重要使命。塌陷灾害虽然具有强烈的随机性和极大的危险性，但它不是无法抵御的，塌陷是可以防治的，塌陷防治具有十分重要的环境效益。虽然塌陷防治需要投入大量的资金，却没有直接的经济产出，即似乎没有明显的经济效益，这是长期以来人们忽视开展防塌工作的一个主要原因。但从本质上讲，塌陷防治也是一种经济建设。塌陷的发生总是造成巨大的经济损失，而投入(和损失相比)少得多的资金进行塌陷防治能有效地减少这种损失，这种减少了的经济损失应当说是塌陷防治的最直接的经济效益。从这个意义上讲，塌陷防治符合可持续发展的思想，是一种特殊类型的经济建设，也是一种新的经济建设观念，这样，我们才会积极、主动地进行塌陷防治的投资，减少塌陷对国民经济造成的巨大损失。

## 第二节 矿山塌陷及岩溶塌陷的研究概况

### 一、矿山塌陷研究概况

本世纪以来，世界各国都先后投入了大量的资金和技术力量开展矿山塌陷的研究。俄罗斯、波兰、德国、澳大利亚、英国、加拿大、美国等，对矿山塌陷的理论和“三下”开采(即建筑物下开采、水体下开采和铁路下开采)技术都进行了

深入的研究，并取得了一定的成果。50年代起，在我国的一些主要矿区，如淮南、开滦、抚顺、阜新、峰峰、大同、鹤岗、新汶、阳泉、本溪等地，先后建立了地表观测站，开展了对矿山开采沉陷的观测研究工作。40多年来，我国不仅积累了上千条观测线的实测资料，并由此对矿山塌陷的基本规律有了进一步的认识，而且还提出了具有我国特色的预测方法。

长期的矿山塌陷理论研究和生产实践表明，矿山塌陷的研究涉及相当宽的科研领域，需要测量、采矿、力学、电子计算机、建筑、地质等许多学科的知识。近二三十年来，这些学科的成果特别是电子计算机方面的新成果不断被引进到矿山塌陷的研究中来，使矿山塌陷的研究得到了飞速发展。目前，矿山塌陷已成为一门独立的边缘学科，但和国民经济的发展及现代化建设的需求相比，目前的矿山塌陷的研究还很不够，还应在理论研究、科学试验、应用技术开发和模拟、测试技术研究上做更多的工作。

有用矿物被采出以后，开采区域周围的岩体的原始应力平衡状态受到破坏，应力重新分布，达到新的平衡。在此过程中，使岩层和地表产生连续的移动、变形和非连续的破坏(开裂、冒落等)，即为矿山塌陷。

岩体本身是一种非常复杂的介质，它不仅由各种不同性质的岩层组成，而且还由于各种地质作用(如褶皱、断层、开裂、火成岩侵入、陷落柱等)而产生了大量的不连续面，岩体在受到各种不同的开采方法的开采影响时，产生的塌陷是一个在时间上和空间上都非常复杂的过程。在时间上来说，在移动过程中其形式和大小在不同的时间是不同的，随着时间的推移，其形式和大小逐渐趋于稳定。从空间上来

说，若地下开采的范围较小，开采的矿物埋藏深度较大，则塌陷波及的范围往往只局限于开采区域周围的岩体；若开采范围较大，开采矿物的埋藏深度较小，则塌陷波及的范围会从岩体发展到地表，引起地表移动。

原岩体内的应力是处在三相压缩的平衡状态的。巷道开掘破坏了应力场的平衡，改变了应力的分布，在巷道侧壁形成了增压区，顶、底板附近形成了减压区，并且压应力转化为拉应力，由此巷道周围岩石有可能部分甚至全部被破坏。采空区尺寸增大时，在一定条件下则会引起采空区上部地层的破坏和移动，直至达到地表，这种情况在岩层较软、采空区通常很大的煤矿中，必然出现。在金属矿山由于岩石较硬，采空区相对较小，残留矿柱多，在一定时间内往往不会出现大范围移动，但随着采深增大，采空区暴露时间长，大面积的岩石和地面移动，在一些矿山往往可能发生。

矿山塌陷是一个复杂的时、空发展过程，其形成机制涉及到许多重要理论问题，特别是与矿山压力、岩层移动等问题有密切联系。近百年来，许多矿业国家为了采矿设计、设备制造、采矿安全及塌陷区预测和治理等方面的需要，对矿山塌陷的形成机制进行了深入研究，提出了许多假说和理论。但由于岩层本身结构、构造、岩性、成分等因素的复杂多变及现场观察、实测困难等原因，至今未能形成一个完善的矿山塌陷理论。现将已有假说和理论综述于下：

#### (一)拱形冒落理论与压力拱假说

拱形冒落理论和假说的实质是借用巷道顶板岩石的成拱作用，认为采掘工作在悬岩内部形成空间，引起覆岩冒落。当冒落形成一个近似于拱的形状时，就不再继续冒落。但是，已形成的压力拱（顶板和底板均有类似的压力拱），将随工作面不断推进而扩大，直到拱顶达到地表为止。

在覆岩岩性坚硬、结构简单的地层中，常常形成类似拱形的冒落，所以这个理论曾得到广泛应用。但是实际上，这个理论和假说仅适用于掘进坑道与跨度较小的采空区，而与大面积采空区覆岩破坏、冒落的实际情况并不相符。

## (二)悬臂梁(板)冒落理论与冒落岩块碎胀充填理论

悬臂梁(板)冒落理论把工作面和采空区上方顶板视为梁或板，初次冒落后，一端固定在前方矿壁上，另一端可自由悬露或支撑在垮落的岩石上。在覆岩弯曲沉落时，这个梁或板被先垮落的岩石支撑，这时，可能只产生弯曲而不被折断。当悬梁延伸长度很大时，便会发生有规律的周期性折断，引起周期采压。这个理论与大面积回采引起的顶板冒落的实际情况很接近，因而至今仍被应用。

冒落岩块碎胀充填理论认为开采空间引起了覆岩冒落，而冒落的岩块会自然地碎胀充填采空区，因而限制了冒落的发展，使之趋于稳定。

实际上，以上两种理论可以互为补充，两者结合起来，解释长壁式工作面和大面积采空区覆岩破坏情况，更符合实际。

## (三)冒落岩块铰结理论与砌体梁平衡假说

冒落岩块铰结理论是 50 年代初期由原苏联学者库兹涅佐夫提出的。他认为工作面上覆岩层的破坏可分为两个带，位于其上的叫规则移动带，位于其下的叫不规则垮落带。不规则垮落带又分为两部分，上部垮落时，按原方向较规则排列；下部垮落时，岩块杂乱无章，这些不规则冒落的岩块可以自由地冒落到采空区。而规则移动带的岩块之间保持一定联系，相互铰合形成一条多环节的铰链，规则地在采空区上面下沉。

我国学者发展和完善了冒落岩块铰结理论，认为工作面地区呈现影响较大的是断裂带岩层，带中已破断的岩块如同砖石结构的砌体，形成的平衡结构称之为“砌体梁”，外形象梁，实际是拱。并提出，开采后的上覆断裂带岩层分为三个区：A区为矿壁支撑区，B区为离层区，C区为重新支撑区。每层结构的平衡借助于块与块之间由于水平挤压力引起的摩擦力。

以上关于研究覆岩破坏、引起矿山塌陷的理论和假说，虽在矿山开采中引起了重要指导作用，但均不够完善，还有待进一步补充和发展，使之更接近于实际规律，更有利于防止采空塌陷，指导矿山设计与安全开采。

## 二、岩溶塌陷研究概况

岩溶地面塌陷是一种地质灾害，是近代出现的岩溶地质学的分支科学。它的出现，除古岩溶塌陷受控于自然因素外，多数塌陷都受人类工程活动的影响。人为因素导致的塌陷规模大，发展快，危害性强，因此引起广泛的关注。

岩溶塌陷的研究涉及到多类学科，诸如岩溶学、水文地质学、水力学、土质学、岩石力学、地质环境及人文学等。岩溶塌陷的时间跨度很长，古至任何地质时期，新则至今日的每时每刻。空间甚广，地球上凡有碳酸盐岩、硫酸盐岩分布的地区，都可能发生岩溶塌陷。

### （一）岩溶塌陷的含义

岩溶塌陷是指岩溶上方的岩、土体在自然或人为因素作用下引起变形破坏，并在地面形成塌陷坑（洞）的一种岩溶动力地质作用与现象。这一定义包括以下几方面的含义：

①岩溶塌陷是由于岩溶洞隙的存在而产生的，这些岩溶洞隙是岩溶作用的结果，它们大多是早期形成的，但也有在



特定条件下如易溶岩类(盐岩、石膏或成岩固结程度低的碳酸盐岩等)在强溶蚀性水作用下新近形成。岩溶塌陷不同于非岩溶或假岩溶洞隙及人工开挖洞隙产生的塌陷,如黄土塌陷、冻土塌陷及矿山开采塌陷等。

(2)岩溶塌陷体既可以是组成岩溶洞隙顶板盖层的各类基岩,如各种可溶岩、碎屑岩、火成岩等,也可以是覆盖于可溶岩之上的各类松散土层。

(3)岩溶塌陷的过程是由岩溶洞隙上方的岩土体和赋存其中的水、气所组成的综合体系,在自然或人为因素作用下,引起其所作用的动力因素的变化,产生各种破坏其稳定平衡状态的力学效应,从而导致地面塌陷的过程,这里强调的是过程的结果即地面塌陷。按塌陷过程可分为突发性塌陷和缓发性塌陷。前者发生突然,一般无前兆;后者塌陷过程较缓慢,一般经历局部下沉—环形裂缝—塌陷的变形过程。总的来说,岩溶塌陷都经历过溶洞(隙)→塌陷或溶洞(隙)→土洞→塌陷的过程。

(4)岩溶塌陷造成局部地表的破坏,并参与漏斗、洼地、落水洞、溶井、天生桥、障谷等各种地表形态和微地貌的形成与演化,是岩溶发育一定阶段的产物。因此,岩溶塌陷也是一种类型的岩溶作用和现象,可形成于不同的历史时期,既有古岩溶塌陷,也有现代岩溶塌陷。

(5)岩溶塌陷是一种特殊的水土流失现象,水土通过塌陷向地下流失,影响着地表环境的改造和改变,形成具有鲜明特色的岩溶地貌。

## (二)岩溶塌陷的形成机制

岩溶塌陷的形成机制,有潜蚀论、真空吸蚀论、气爆论、液化论等多种说法。每一种成因理论都是针对某一种诱发因

素而建立的。岩溶塌陷形成比较复杂，尚不能完全用固体力学理论或渗流理论加以解释，它是受多种因素的影响，多种力作用产生多种力学效应而发生的，塌陷成因应该是多机制的，绝非用一种理论就能解释所有塌陷的形成，也不能认为某一种解释就具有普遍意义。

塌陷的形成机制有以下几方面的含义：

(1) 塌陷的产生是受多种因素影响，如自然降雨、干旱、洪水、地震、人为的抽水、矿坑排水、突水、振动加载等，有时还可是自然及人为因素叠加影响的结果。

(2) 塌陷的形成往往具有一因多效的作用，即一种诱发原因往往产生多种力学效应，造成岩土体破坏而引起塌陷。如矿坑排水可引起渗流潜蚀效应、失托增荷效应、真空吸蚀效应等而引起塌陷产生。

(3) 在由溶洞→土洞→塌陷的形成过程中，岩土体可受到不同力的作用，塌陷的不同发展阶段受力状态亦不同。一个孕育期较长的土洞，其受力情况绝非用一种作用力可以解释。

(4) 一个地区往往具有多种塌陷共存的局面，如一个水源地的塌陷，主要由抽水引起，但此地历史上往往有自然塌陷存在。现代人类活动如建筑加荷作用，车辆振动、灌溉的地表水渗透都可加剧或诱发塌陷产生，从而出现多种成因塌陷的共存局面。

由于试验与实际观察难度较大，许多学者只能从理论上进行分析、推断，故对岩溶塌陷的机制众说纷纭。

了解岩溶塌陷的机制不仅是理论问题，更重要的是采取的防治措施要具有针对性。做到技术可靠，经济合理，理论有据。

### (三)岩溶塌陷的基本特征

#### 1. 岩溶塌陷的个体形态特征

(1)平面形态: 塌陷坑(洞)的平面形态特征具有圆形、椭圆形、长条形、不规则状及复合状等几种形态。

圆形塌陷坑(洞)是塌陷的最主要形态,尤其在土层塌陷中最为常见。当土层厚度在 5m 以上时,圆形塌陷可占总数的三分之二以上。它的形成由土洞发展而成,土洞本身有一种“拱”的作用,由拱承受上部土体的自重压力。当拱破裂不能承受上部土体重量,土洞扩展,便形成地面塌陷,其平面形态即为圆形。

塌陷坑周围常常可以见到一些呈环形断续分布的裂缝,长数十厘米,宽一般小于 3 ~ 5cm, 开口状,上大下小。实际上这是塌陷周边土体在重力作用下的一种卸荷裂隙,裂隙进一步发展,土体垮塌,塌陷扩大。

有的塌陷在未形成地面明显的坑或洞前,可以见到裂隙围绕一定中心形成一种环形裂隙,这是地下土洞的应力拱已遭到破坏,土地尚未陷落的表现,预示着塌陷即将产生。

当土层具各向不均一性或下部开口溶洞、裂隙呈长条状时,可形成椭圆形塌陷。其长短轴之比一般介于 1.5:1 ~ 3:1 之间,当长短轴之比大于 3:1 时,则形成长条状塌陷。

不规则状塌陷多出现于塌陷比较密集的地方,由多个塌陷坑组合而成,或者是下部溶洞本身不规则,土层厚度又很薄时可以看到。基岩塌陷的平面形态,多形成不规则状。

复合状塌陷多是由于老塌陷的复活,或塌陷在同一地点的重复出现而成。新形成的塌陷坑较原有塌陷坑小,则出现不同形态或同一形态塌陷的叠加复合,构成一些特殊的复合形态。

②剖面形态：岩溶塌陷的剖面形态，有坛状、井状、漏斗状、碟状、复合状等几种。

坛状塌陷为口小肚大的坛状，是岩溶塌陷的最主要形态之一，尤其在土层厚度大于 5m 塌坑较小时最为常见。坛状塌陷还可是其他塌陷形态的初始阶段，是土层中土洞的应力拱遭受破坏，逐层剥落的结果。

井状(筒状)塌陷形如井或筒，四壁陡直，深度与直径之比一般介于 3:1 或更大，这也是岩溶塌陷的重要形态之一，尤其在粘性土和基岩塌陷中最为常见。它多是因土层中土洞的应力拱或溶洞顶板破坏迅速，岩土体在自重作用下迅速陷落形成。有时坛状塌陷周边裂隙带垮落，塌坑扩大，也可形成井状塌陷。

当塌坑直径与深度比在 2:1 ~ 1:1 左右时为漏斗状塌陷，直径与深度之比大于 3 时，成为碟状塌陷。漏斗状或碟状塌陷形成可有两种情况：①土层中土洞为圆筒状，向上发展时，塌落的土体略少于土洞空间体积，便形成漏斗状塌陷，若土洞为扁圆形，陷落土体略等于土洞空间体积，便形成碟形塌陷。②由于坛状或井状塌陷，四周垮落，堵塞洞底发展而成。当塌陷的盖层为双层或多层结构，或塌坑底部溶洞口被堵塞，可形成井状与漏斗状，井状与坛状等的复合形态。

## 2. 岩溶塌陷的规模

岩溶塌陷的规模包括三个方面的含义：

(1)个体塌坑的大小；

(2)一个塌坑点上塌坑数的多少，或塌陷影响范围内单位面积上塌坑多少；

(3)塌坑影响范围的大小。

岩溶塌陷的大小，主要受可溶岩岩溶发育程度、溶洞开口大小及土层厚度控制。开口溶洞愈大，塌坑愈大，反之则小。土层厚度大的可孕育较大的上洞，形成较大的塌坑；砂性土往往塌坑直径较大，按塌坑直径大小，把塌陷分为小于5m、5~10m、10~20m和大于20m四个等级。

一个塌陷点塌坑数的多少及影响范围大小，主要受引起塌陷的因素决定。一般来说，塌陷主要出现于大水岩溶矿床排水突水过程中，大型岩溶盆地(洼地)抽水，有时也能造成数百或上千个塌陷坑。

按每个塌陷点上产生的塌坑数的多少，可将塌陷点划分为四个等级：塌坑数大于100个，为巨型塌陷；塌坑数在50~100个之间，为大型塌陷；塌坑数在10~50个之间，为中型塌陷；塌坑数小于10个，为小型塌陷。

一般塌坑多的塌陷点，其影响范围大，塌坑少的其影响范围小。单井抽水产生数个塌坑，影响范围一般为数百平方米至数千平方米，而矿坑排水、突水、降深上百米，产生塌坑上千个，其影响范围可达数万平方米。

### 3. 岩溶塌陷的强度

岩溶塌陷的强度，包括时间与空间的概念，单位时间内产生的塌坑数的多少，是一种时间强度概念，称塌陷速率；而单位面积内产生塌陷坑的多少，是一种空间强度概念，称塌陷密度。塌陷速率的大小，主要决定于引起塌陷的作用力的大小和变化速率，多与地下水位降深的大小和降速成正比，抽水水位降深大、速度快的，塌陷产生的速率就大；而抽水水位降深小、速度也小的，往往只引起少量塌坑或不产生塌陷(表1.4~1.5)。

表 1.4 凡口矿区排水强度与塌陷分布关系表

排 水 中 段		B <sub>12</sub> 孔	50m 中段	0m 中段	-40m 中段
水位降低 $S/m$		13.48	33.36	74.89	121.29
排水量 $Q/(m^3/h)$		5900	9600	17700	33700 ~ 59200
塌 陷 / 个		24	218	315	593
塌陷 半径 $m$	南北向 (短轴)	378	1250	1850	2010
	东西向 (长轴)	556	1320	2150	2550

(据《隐伏岩溶类型矿区水文地质特征及勘探方法》)。

表 1.5 叶花香矿排水强度与塌陷关系表

时 间	1972 ~ 1974.2	1974.2.8 ~ 1974.2.21	1974.2.8 ~ 1974.2.21
试 段	试验前	放水 1	放水 2
水位降低 $S/m$	56.87	75.92	92.35
排水量 $Q/(m^3/h)$	770	1237	1641
塌陷坑个数/个	14	4	26
塌陷频率 / (个/d)	0.02	0.29	0.81

(据肖有权资料, 1989)。

凡口矿 1965 年 12 月 0m 中段突水前 18 天, 塌陷速率 0.6 个/d, 突水时水位急骤下降, 塌陷速率猛增至 3.73 个/d, 恢复排水时, 水位再度下降, 增加到 4.52 个/d, 突水点关闭水位恢复, 逐渐减少为 3.4 个/d 和 1.9 个/d。江西丰城煤矿云庄矿, 放水期间, 刚打开 10 号放水井, 地下水以  $660m^3/h$  溢出, 仅 3min 便在其南 40m 的地面出现直径 10m 以上的大塌坑, 可见塌陷产生的速率之高。

实际资料中, 由于塌陷影响面积较难圈定且大部分小于

0.1km<sup>2</sup>，难以进行详细计算。对资料较详细的 344 个塌陷点进行的计算表明，极强的塌陷仅占 5.3%，强至中等的塌陷占 15.7%，弱塌陷占 79%。

#### 4. 岩溶塌陷的散布特征

一个塌陷点上塌坑群体的组合特征主要由可溶岩的分布、岩溶发育程度及塌陷的数量多少决定。散布特征有以下几种情况：

(1) 岛状或零星状：是一种最主要的散布特征。它可以由可溶岩呈岛状分布引起，如水口山矿区塌陷主要分布于香花坪、桥头、茶子园几个岩溶分布区；也可以由发育不均一引起如煤炭坝矿的塌陷，主要集中于岩溶发育的上洋泉，大成桥泉等地段。大量呈岛状或零星状散布的塌陷，是因塌坑数少（一般 1 - 5 个）所致。水城盆地 14 口井单井分散抽水引起的塌陷，多以井为中心在 200 ~ 400m 内散布，使整个盆地内塌陷也呈岛状散布。

(2) 带状散布：由于可溶岩岩溶具有条带状发育特征，塌陷具线状或带状散布，如湖北铜荃山矿区岩溶主要沿青山河一带发育，塌陷沿其呈南北向条带状散布。

(3) 面状散布：主要在浅部岩溶发育较均一、塌坑数量较多的地方出现，如广东马口矿区、凡口矿区塌陷上千个，都是面状散布，凡口矿塌陷散布面积达  $830 \times 10^4 \text{m}^2$ 。

#### 5. 岩溶塌陷的周期性和重复性

岩溶地区的塌陷，由于形成条件或诱发因素周期性的变化，塌陷也出现周期性强弱的变化，停止与活跃的交替，并在一个地区反复出现。例如气象因素的多年性变化，引起地下水位大幅度升降，可使一些岩溶洼地、谷地中产生周期性大规模的塌陷；每年雨季、旱季交替，也可使塌陷有周期性。

强弱变化；人为因素诱发的塌陷，往往在诱发因素变化时，如抽水降深的加大，新的突水点产生，都可引起塌陷的重新活跃和增多。

广西桂平金田上坡头，位于一洪积扇前缘河流阶地上，表部为亚砂土及砂砾石，厚度较大，下伏为泥盆系灰岩、白云岩，有近南北向断裂分布，该地自 1945 年以来，大约每隔 10 ~ 20 年出现一次塌陷，表现出塌陷形成的周期性和重复性。

### 第三节 塌陷灾害的分类

以系统论为指导，地质灾害是灾害系统分类中的次级灾害系统，而塌陷灾害又是地质灾害系统分类中的次级灾害系统，因此探讨塌陷灾害的分类也是灾害学研究的基本问题之一，同时又是长期以来存在不同观点的问题之一。这一工作的开展将会促进对灾害研究的深入，并使灾害的防御和减轻工作建立在科学的基础上。

#### 一、现行塌陷分类的分析评价

世界上存在着各种各样的塌陷灾害。当前在社会上，甚至在地质界对塌陷灾害都还没有一个清楚分类，以致人们在口头上、文件中，甚至在科教文献里，都出现了混杂的、甚至含混不清的塌陷名称。虽然塌陷灾害的科学分类不是一件容易的事，但为了深入研究塌陷灾害及其预测和防治，对塌陷分类进行某些探讨还是值得的。

当今对塌陷的分类，不应局限于只讨论某几类突出的重大塌陷，而应该研究整个塌陷的分类。长期以来，对塌陷分类的含混不清的原因是多方面的。首先，由于各门学科和灾



害科学及防灾技术的进步，学科之间的相互渗透和联系，国民经济建设对塌陷的预测和防治提出了多方面的要求，加之各类塌陷的连锁性和群发性特征，原有的分类已不能适应需要，导致对塌陷分类观点的不一致，这种观点的分歧是完全正常的；其次，为了适应人们的习惯，总想力求在原有传统分类的基础上作些补充，结果给分类的合理性造成了一定的局限；再则，由于分类标志不够明确，有些分类方案甚至出现了混乱状态。

表 1.6 中仅列出塌陷的一级分类标志，还可按不同标志进一步细分。对于前两种标志，虽然有不同看法，例如对特大塌陷、重大塌陷、一般塌陷的划分，这些是具体应用中客观存在的事实，并不涉及科学概念的根本分歧，也不影响学科的发展，而比较重要的是后三个标志，尤其是受灾体的分类。这里可以看出，根据受灾对象的不同进行塌陷系统分类仍然是一个复杂的问题，这主要因为受灾体可以按照不同性质来区分。进行这种区分应当是有原则的，那就是按照人类社会系统的子系统的划分来进行。不过，由于人类社会系统可以按照不同的性质划分为不同类型的子系统，所以塌陷的受灾体分类也会是各种各样的。再者，一个具体的塌陷往往同时需要从塌陷性质分类和受灾体分类两个方面进行限定（例如，淮南矿区采空塌陷就既从塌陷的性质——矿山采空塌陷，又从受灾体——淮南矿区对这个塌陷进行了限定）。这种塌陷是列入性质分类之列还是受灾体分类之列，容易造成混乱。按塌陷的动力学因素分类，以人为—自然复合塌陷为例，因为自然塌陷与人为塌陷并无绝对界限，异类塌陷有可能互为因果、彼此叠加，可导致“天灾人祸、祸不单行”，无独有偶，互激同步的后果。例如天文、气象、水文等因素可能触发和诱发地震，地震则可衍生山崩、滑坡、地裂缝、

表 1.6 塌陷分类标志

分类标志	塌陷后果	塌陷影响区域	塌陷动力学因素	塌陷成因	受灾体
分   类	特大塌陷	国家性塌陷	自然塌陷	岩溶塌陷	城市塌陷
					农村塌陷
	重大塌陷	地区塌陷	人为塌陷	矿山塌陷	陆地塌陷
	一般塌陷	局部塌陷	自然-人为复合塌陷	黄土湿陷及塌陷	海洋塌陷

火山塌陷、矿山塌陷等群灾伴生，人为因素同样可导致上述灾害。所以说，有的塌陷很难说是受到自然的或人为的或人为-自然复合因素的影响。这样也容易造成含混不清的概念。随着科学技术和社会经济的发展和进步，对于塌陷的分类有了许多改进，但由于受到原有惯用分类法的影响和认识上的局限，有的还存在分类系统标志的不全面和具体塌陷归类上的混乱。以上分类标志比较起来，塌陷的成因标志分类是主要的而且是常用的一种分类方法。但目前看来，该塌陷分类在全面性和系统性方面也有不尽完美的地方。地面塌陷按成因大致可分为以下几类：地面沉降、地裂缝、渗透变形、砂土液化、黄土湿陷、冻土融沉、火山塌陷、地震塌陷、岩溶塌陷、矿山塌陷、崩塌、冲塌、滑塌等。由于人类活动对地表自然界干预的加剧，导致了人与自然矛盾的激化，特别是人地关系的失调，破坏了地表自然界的动态平衡，增加了威胁人类生存的异化力量，即人文塌陷已经发生。这是前面述及的塌陷成因分类未表述的。为此，人们在研究现有分类的基础上，从地球表层系统出发，着重对分类系统和分类标

志方面提出一些看法，以期对塌陷有个较为严密而明确的划分。

## 二、地球表层系统与塌陷系统分类

### (一) 地球表层系统

1885 年，德国学者李希霍芬首次提出了“地球表层”(Erdober flache)的概念。他将岩石圈的外壳称为地球标志，并认为它是地理学研究的核心。其后，他又将地球表层的范围扩大到包括地面的上、下层，进而指出地理学的任务在于几种研究地球表层互相联系的各种现象，特别在于人与地球之间的联系。

地球表层系统是地表岩石圈、土壤圈、大气圈、水圈、生物圈等相互交错渗透的地圈与类圈“众合为一”的复合物质系统。它的范围广于生物圈，通常以大气圈对流层高度(极地上空约 8km，赤道上空约 17km，平均 10km)为其上界，以岩石圈顶部(陆地上约 5 ~ 6km，海洋上平均深 4km)为其下界。

著名科学家钱学森先生(1983, 1986)倡议创立地球表层学，目的是为了借助系统科学理论与方法，深刻揭示地表非生物、生物和人巨型系统的运动规律，并找出使地表环境改善与进化的理论依据，显然它将为解开天—地—生—人关系提供一把钥匙。

人类在地表的诞生和发展，标志着地球表层系统——天、地、人巨型系统的出现。诸种天文因素、地理—地质因素、人为因素共同作用于地球表层，使地表变成了地球内圈于外圈、地球与天体之间的矛盾激化的焦点，势必导致地球内外物质的力学运动、物理运动、化学运动、生命运动等诸种基本运动形式在地表的综合效应，构成了地球表层系统运

动状态随时间变化的动态性特征和复杂因果网络，影响地球表层的演化和发展，打上了生物地质作用、人类地质作用改造地球表层的深刻烙印。在现代工农业生产大发展的社会背景下，尤其是急功近利式的自由化大生产和自由竞争，加速了地球表层全面社会化的进程，人类社会对地球表层的影响日益增长；人为掠夺式地开发和耗费地球自然资源，加剧了人地关系的严重失调，导致了自然界对人类的报复和惩罚，激发了一系列自然动因与社会动因同时作用于人类社会的叠加效应。因此，对塌陷的分类研究，需要以系统论为指导，从地球表层的整体观去探讨塌陷的系统分类问题。

## （二）塌陷分类原则与分类系统

以系统理论为指导，以地球表层系统结构为依据，在对塌陷进行分类前，首先要研究和确定其分类的原则和标志。为此，拟定以下 5 点为分类的基本原则：

（1）分类的系统 and 层次要明确，某一种塌陷的特征只能用一种分类标志（包括多层次标志）来解释。

（2）任何一种塌陷应按其主要标志划归与相应的类型之中，不使其产生这种或那种可能性。

（3）不能把不同成因的塌陷归为一类。

（4）塌陷分类要能适应较长一段时期的发展。

（5）兼顾学科分类和塌陷分类的关系，既考虑塌陷分类的科学概念，又照顾长期以来传统的分类习惯。

根据上述原则和分类标志，提出了按系统论划分的塌陷分类法，见表 1.7。

系统论的塌陷分类方法，对当今一般塌陷都是适用的，都能在相应的等级系统中找到其相关位置，在一定程度上解决了某些塌陷分类归纳中的矛盾。

因自然塌陷系统成熟度较高，且多有著述，故本书立足于新的视点——社会塌陷系统，将塌陷灾害与工业、农业、交通运输业、旅游业相结合，这对实现经济社会的可持续发展具有现实和长远的意义。

表 1.7 按系统论划分的塌陷分类表

按塌陷 动力学标志的 一级塌陷系统	按地球表层 结构标志的 二级塌陷系统	按塌陷 性质标志的 三级塌陷子系统	按塌陷 成因标志的 塌陷元素
自然 塌 陷 系 统	地 球 塌 陷 系 统	构造塌陷子系统	火山塌陷
			地震塌陷
			地裂缝
			砂土液化
			砂土液化
		地貌塌陷子系统	地面沉降
			崩塌、冲塌、滑塌
			黄土湿陷及塌陷
			冻土融沉
			冻土融沉
		水文塌陷子系统	岩溶塌陷
			海岸坍塌
			渗透变形
			渗透变形
			渗透变形
社会塌陷 系 统	人文塌陷 系 统	工业塌陷子系统	
		农业塌陷子系统	
		交通运输塌陷子系统	
		旅游塌陷子系统	
		旅游塌陷子系统	

## 第二章 工业塌陷子系统

### 第一节 我国工业化进程与塌陷灾害

#### 一、工业化发展阶段与环境

##### 1. 传统发展阶段

世界上几乎所有的发达国家工业化进程都经历了传统发展的三个阶段:

(1)初期自然发展阶段,生产水平低下,生产规模小,多为家庭作坊式或小集体形式,以手工劳动为主,其时对资源的利用和占有还处于供大于求,或供求基本平衡。

(2)快速上升(自由竞争)阶段,工业革命打破了家庭式小生产的樊笼,大量的劳动力涌向城市,进入工厂。依靠科学技术进步使工业生产水平飞速发展,生产规模越来越大,城市不断地向四周扩展、蚕食,畸形发展,有限的资源已无法满足日渐膨胀的生产、生活需求,供需平衡开始遭受破坏,城市的生态环境逐渐恶化。

(3)停滞调整阶段,三废(水、气、渣)大量就地排放,污染了城市的天空、水源和土地,各类自然或人为灾害频繁发生,城市变得越来越不适应人类自身的生存;资源的紧缺和供需平衡的失调,各类灾害的治理和环境保护费用庞大的支出已使工业发展受阻,人们不得不调整不再适宜的产业结构,给城市减压、松绑。和上升阶段人口大量涌入城市相反,人们纷纷迁出城市,在自然环境更安适的附近村镇寻找自己

的居所，以缓解城市生活的各种压力。

## 2. 可持续发展阶段

80 年代提出的可持续发展是一种新的思想和发展战略，可持续发展主要包括资源和生态环境的可持续发展，经济可持续发展和社会可持续发展。

可持续发展包括两个基本点：一是强调人和自然间的和谐统一，而不能以耗竭资源，牺牲环境换取繁荣；二是当代人和后代人应享有同等的发展和消费的机会，当代人不能自私、片面地只追求今世的高消费和高速度。与传统的经济理论相比，“持续发展”的提出显示了极为深刻的哲理和丰富的内涵。

我国工业和城市化进程起步较晚，目前正处于发达国家的第二阶段并正在向第三阶段过渡。由于我国长期处于落后的半封建半殖民地社会环境中，人口多，底子薄，工业发展仅是解放后三四十年的时间，工业生产中还存在高速度、低效益、高投入、低产出的落后现象；计划经济体制下的产业结构不合理，资源价格长期偏低，环保意识薄弱等等，在传统的增长方式影响下，我国经济发展付出了沉重的环境代价。

## 二、我国的主要工业布局及塌陷发育概况

1949 年后，中国工业布局已经由原来偏集中于东部沿海少数城市，逐步向内地纵深发展；由平原向山区发展。近 40 年来，已在全国各地建立起一系列由大中型工业项目和工业城市组成的工业基地。其中，具有全国意义的工业基地遍及 22 个省、市、区。就工业的各个部门来说，能源工业方面有晋、豫、冀东、渭北、两淮、六盘水等大型煤炭基地；大庆、胜利、冀中、克拉玛依等大型石油和天然气工业基地。原材

料工业方面，有黑龙江大庆、北京燕山、上海金山、山东齐鲁、甘肃兰州、川滇黔交界地区等 10 大石油和天然气化学工业基地；鞍一本、京津唐、上海、武汉、攀枝花等 9 大钢铁基地等。以地域而言，中国已初步建成的综合性大型工业地区和工业地带，有长江三角洲、京津唐地区、辽中南地区、鄂东地区、珠江三角洲、成渝地区、晋中地区及呼(和浩特)包(头)地区等将近 20 个。其中最重要的是：以上海为中心的长江三角洲工业基地，京津唐综合性工业基地，以沈阳和大连为中心的辽中南重工业基地。

我国的工业化、城市化进程，也是资源供需由平衡向不平衡发展；生态环境由适宜向不适宜乃至恶性循环方向演变的过程。工业体系特别是重工业体系以大量消耗水资源、能源、矿产资源、生物资源，大量占有利用土地资源，大量集中使用劳动力资源为特征。通常是工业体系(或城市)规模越大，对各种资源的需求量也越大；工业发展速度越快，各种资源消耗的速度也越快。经济高速增长，人口高度密集和资源的枯竭和环境的恶化同步发展。工业体系无一不承受着越来越沉重的压力，受到有限的资源和脆弱的生态环境两方面严峻的挑战。

工业塌陷就是对资源和环境危害最大的人文地质灾害之一。在该子系统中，人既是塌陷类灾害的受害者，又是灾害的始作俑者。人类以自己的聪明才智创建了城市、工矿、水利工程，发展了高度的物质文明；人类又以自己的贪婪、愚昧、急功近利面造成了城市(工矿)的畸形发展、衰亡和毁灭。这样的实例在许多工业化程度高的国家已屡见不鲜。我国工业化起步虽晚，但发展速度很快，在大力发展工业生产的同时也出现了诸如：重大工程选址时偏重政治、经济、地



理要素而忽视地学和环境因素；重视各种资源的开采与开发忽视生态环境保护；传统的经济发展理论是：最大限度地开采利用各种资源(在人的经济技术条件许可情况下)，因此而产生了“竭泽而渔”、“杀鸡取蛋”等掠夺式的生产方式；限于目前的经济技术水平，资源浪费较大，利用率低，重复利用及回收率低，既是造成资源紧缺的主要原因，也是造成环境恶化、塌陷灾害频繁的原因之一。

工业塌陷子系统的塌陷灾害种类繁多，上面归纳的四大类八种模式都有发生(详见表 2.1)。现从我国主要的工业布局和塌陷灾害发育概况，塌陷灾害对工业承受的影响特征，工业城市主要的塌陷灾害类型以及多个典型实例进行详细论述。

表 2.1 我国工业基地的塌陷灾害

基 地 名 称	基 地 特 征	工 业 产 值	受以下塌陷灾害的影响			
			地面沉降	岩溶塌陷	采空塌陷	地裂缝
长江三角洲	综合性	占全国 1/5	严重 (见实例)			严重
京津唐地区	综合性	占全国 1/10	严重 (见实例)	较严重 (见实例)	严重 (见实例)	
辽中南地区	重工业			比较严重	严重	
兖鲁 - 两淮 地区	能源				严重	严重
攀西 - 六盘水 地区	能源、重工业			严重		
成渝地区	综合性			严重 (见实例)		
珠江三角洲	“轻型”工业			较严重		
鄂东地区	钢铁			严重		
晋中地区	能源			严重	较严重	严重

续表

基 地 名 称	基 地 特 征	工 业 产 值	受以下塌陷灾害的影响			
			地面沉降	岩溶塌陷	采空塌陷	地裂缝
呼包地区						
哈长地区			严重			
闽南三角洲	轻型加工					
红水河	有色金属, 电力			严重		
乌江干流 地区	能源, 矿产			较严重		

## 第二节 工矿城市塌陷灾害的影响特征

### 一、城市塌陷灾害特征

#### 1. 塌陷灾害种类多

除火山塌陷外, 表 1.8 中所列的各种成因的塌陷在我国城市中均有发生。由于城市人口集中、经济发达, 对各类资源的需求量巨大, 资源和环境的矛盾十分突出, 许多城市的塌陷与人为因素有关。

#### 2. 塌陷灾害分布集中性与影响的广泛性

每个城市由于所处的地理位置、地质条件不同以及城市发展层次的不同各自分布着不同类型、不同风险水平的塌陷灾害。我国东部地区是全国受灾最严重的地区之一。从辽宁丹东到广东, 各大河流三角洲人口稠密、工业大城市集中, 成为易灾区, 且灾害影响广泛, 有些城市塌陷灾害已连成了带或区。如苏、锡、常三城市地面沉降已相互连结成一个巨大沉降区域。由于城市是人类对地质环境破坏最严重的地

区、人口和财富又相对集中，任何类型的塌陷，无论其大小，一旦发生，都深刻地影响着社会的安定和经济的可持续发展。

城市是工业的中心，具有人口集中、建筑物集中、生产集中、财富集中、灾害集中等特点。基于这一特性，城市中发生的塌陷灾害具有损失重、影响大、灾害连发性强、治理困难、且与城市同步增长的特点；由于经济发展的不平衡，各地区城市化速度、水平高低不同，同样强度的灾害对城市经济、人口、社会等方面的破坏和损失明显不同，表现出明显的区域差异性，一般说沿海地区重于内陆地区，开放地区重于经济落后地区。

### 3. 灾害的连发性

城市灾害中一种灾情的出现，常常表现为多种灾因的复杂叠加；一些平常的灾度，又往往会在城市中酿成大灾；一个高等级、高强度的地质灾害发生后，常常诱发一连串的次生灾害，这种现象即是灾害连发性(灾害链)。如因地面沉降而引起海水入侵，地面沉降—海水入侵便可称为灾害链。

## 二、我国工业城市几种主要的塌陷类型

城市塌陷灾害种类繁多，直接影响着国民经济建设和人民生命财产的安全。随着经济的发展，塌陷灾害也逐年增加，就其致灾情况可分以下几种类型：

### 1. 地面沉降及地裂缝

座落在第四系松散软土层上的城市，尤其是沿海城市，由于过量开采第四系含水层中的地下水，使地下水位不断下降，导致地面发生沉降和地裂缝。

### 2. 岩溶塌陷

中国可溶性碳酸盐岩的出露面积约  $91 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，加上埋藏于不同深度的碳酸盐岩地层，总面积达  $340 \times 10^4 \text{ km}^2$

以上，碳酸盐岩分布面积占全国总面积的 37%，其出露面积占全国（未计入南海诸岛）总面积 9.7%。丰富的岩溶地下水资源成为碳酸盐岩分布区城市的主要供水水源（尤其在北方）。在大量开发利用岩溶地下水资源及开采地下矿藏面排出岩溶水时，往往导致地面发生岩溶塌陷。

### 3. 采矿塌陷

人类对矿产资源的开发和利用程度越来越高，尤其是煤炭资源在我国能源消费构成中占 70% 左右。采煤造成的采空塌陷危害尤为突出。

### 4. 水利水电工程造成的塌陷

水库蓄水或水电站截水时，往往因潜蚀重力作用造成塌陷灾害，危及水利工程的安全和正常运转。此外还有震动或排污引起的塌陷（详见实例）。

## 三、塌陷对工矿城市的影响

### （一）地面沉降对工业城市的影响

#### 1. 我国城市地面沉降发育分布特征

多少年来，地面沉降已经成为世界上许多大城市的重要公害问题。近 30 年来，我国地面沉降灾害经历了从发生到发展再到日趋严重的三个阶段。1964 年在我国大陆地区，仅有上海、天津两大城市存在地面沉降灾害，80 年代存在地面沉降灾害的城市增加了北京、西安、常州、无锡、嘉兴、杭州、宁波、太原等，到 90 年代据有关资料，我国已发生地面沉降的城市多达 50 余座，并有扩大之势。个别地区的地面沉降已随城市群的发展，联成一片，或由市区向郊区扩展，由老工业中心向新开发区发展。

我国城市地面沉降现状见表 2.2。由表 2.2 可见，我国地面沉降具有以下特点：

表 2.2 我国工业城市地面沉降现状一览表

工业 区 (带)	城 市	地 貌 部 位	区域地面沉降		发现或 观 测 时间/a	相 关 因 素 分 析	备 注
			累计沉降 量/m	年沉降量 (mm/a)			
长 江  三角洲  工业区	上海市	长江入海 口平原	2630	200 (最大值)	21 ~ 65	开采地下水	1966 ~ 1986 年间 ， 年均沉降量 1.7 mm/a
	苏州市	长江三角 洲平原	1050	67.3	89 测	开采地下水	水位下降 10m 的漏 斗，范围(含三市)共 5000km <sup>2</sup>
	无锡市	长江三角 洲平原	1025	31.4	89 测	开采地下水	
	常州市	长江三角 洲平原	900	50.24	89 测	开采地下水	
	南通	长江三角 洲平原	300			开采地下水	
	嘉兴	长江三角 洲平原	597	41.9	89 测	开采地下水	
	杭州	长江三角 洲平原	155			开采地下水	
京津唐  工业区	大港	海河下游 滨海平原	1230			开采地下水	
	天津市 (市区)	海河下游 滨海平原	2460	200	59 ~ 85	开采地下水 构造下沉 4.1mm/a	面积 900km <sup>2</sup> ，1986 - 1989 年均沉降量 由 86mm 降为 24mm
	塘沽区	同上	2595	231.0	同上	同上	部分地面低于海面
	汉沽区	滨海平原	1899		57 — 83	同上	
	北京市	山前冲洪 积平原	590		70	同上	面积 600km <sup>2</sup> ，波及 近郊区

(据钟立勋、孟晖, 1996)。

续表

工业 区 (带)	城 市	地 貌 部 位	区域地面沉降		发现或 观 测 时间/a	相 关 因 素 分 析	备 注
			累计沉降 量/mm	年沉降量 /(mm/a)			
其 他	安阳市	黄河下游 大平原	337	37.4	1980 ~ 1989	开采地下水 构造下沉	1989年精测
	阜阳市	淮河冲洪 积平原	835	105.4	1970 ~ 1990	开采地下水	1990年3月复测
			1020	92.5	1992	构造下沉	
	沧州市	滨海冲积 平原	1000.6	100.0	1980 ~ 1987	同上	面积 9336km <sup>2</sup> , 构 造下沉 10 ~ 30mm/a
	保定市	山前冲洪 积平原	6509.0	10 ~ 20	1977 ~ 1987	开采地下水	
	西安市	内陆断陷 盆地	1509	187.0	1970 ~ 1989	开采地下水 构造下沉	迭加构造下沉量 2 ~ 3mm/a
	太原市	同上	2514 (吴家堡 1988年)	175.0 00年平均 均值)	1956 1978 1988	开采地下水 构造下沉	位于市南郊晋阳湖
	大同市	同上	60	31	1988	开采地下水	
	宁波市	滨海平原	> 350 (1988年)	180.989 (年)	自 60 年 年代初	同上	
	湛江市	滨海平原	110	同上	60 ~ 70 年代	同上	由于控制地下水开 采已基本得到控制
工业区	海口市	滨海平原	70	同上	90年代	同上	
	福州市	滨海平原	678.9	2.9 ~ 21.8	1957	同上	
	台北市	台北盆地	1900			同上	
	屏东县	河流冲积 平原	1800			同上	

(1)发生地面沉降的地区在地理位置上主要分布在东部冲积大平原、大江大河(河口)三角洲平原、滨海冲积平原及内陆断陷盆地的地区。在工业分区上主要集中分布在长江三角洲和京津唐这两大综合性工业基地中心,珠江三角洲及晋中地区工业基地中心也有较多分布,其他平原区的工业基地已有零星分布。除沉积物的特殊性质之外,主要与开采地下水有关。

(2)部分城市地面沉降正处于急剧下沉的发展阶段,应引起有关部门的重视,尽快地开展勘察、研究和治理工作。如天津市塘沽区和汉沽区、太原市、西安市、苏州市、无锡市、常州市、阜阳市、沧州市等,因地面沉降灾害而引发的其他自然灾害频繁发生,危害之大是众所周知的。如滨海的塘沽港区,因地面沉降已有部分地面低于海平面,多次遭受洪水、海潮,特别是风暴潮的袭击。苏、锡、常三市地区据1986~1988年不完全统计,仅因地而沉降造成的内涝积水一项直接经济损失就超过1000万元,间接经济损失更大,而且难以估计。

(3)开采其他矿产资源而导致的地面沉降。除抽汲地下水引起的地面沉降外,因开采石油和天然气、抽汲卤水用溶矿法开采固体矿产等也将会引起区域性地面沉降。这在我国目前虽不突出,但已发生了一些问题。如大庆油田、山东金矿就存在这种潜在危险。

## 2. 地面沉降对城市的影响

(1)地面标高的损失。地面沉降引起的地面标高的损失造成许多环境问题,如风暴潮的入侵,河道行洪及堤防抗洪能力下降,地裂、堤裂、建筑物开裂、土地盐碱化加重等。

(2)加重防洪负担。地面高程损失,严重减弱河流防洪泄

洪能力。如塘沽耳闸累积沉降 2.62m，防潮闸沉降 1.18m，使海河原设计  $1200\text{m}^3/\text{s}$  的泄洪能力，减至  $400\text{m}^3/\text{s}$ ，河口又严重淤积。现在海河入海段两侧大堤沉降 1.3 ~ 2.19m，地面高程为 -0.5m，行洪  $400\text{m}^3/\text{s}$  时，局部地段就有漫堤危险，内涝全靠抽排。

沉降改变了原有地形坡度。排水管网坡度变小，个别地段出现倒坡，一遇大雨，市区大面积淹泡，1977 年 7 月底，天津市由于暴雨积水，直接经济损失达 2 亿元。长江三角洲地区，也因地面沉降加重内涝，损失严重。

(3)加重风暴潮的破坏和损失。地面沉降使沿海防潮大堤高程损失，防强潮侵袭能力降低。如天津市沿海防潮堤顶面高程损失 0.5 ~ 1.3m。1985 年 8 月 19 日风暴潮侵袭，新港、塘沽沿海和船厂被潮水淹泡，直接经济损失近亿元，宁波市甬江河口大堤也随地面沉降而下降，曾几次大潮上岸，淹没码头、仓库和工厂。加重了强潮的破坏和损失。

(4)造成城市低洼，使积水难以排除。例如苏州市因大量超采地下水，造成严重的地面沉降，到目前累计下沉量已达 1m 左右。1991 年雨季，降水量并非历史最高记录，然而却造成苏州市被洪水淹没，其洪涝灾害却是空前的。在华北地区，最大的潜在危险在天津市。天津市 1970 年的海拔高程为 3.278m，到 80 年代末期已经降到 1.5m 左右。如果再不采取切实可行的措施加以控制，仍按照这样的速度沉降下去，到公元 2008 年将降到海平面以下，到那时，不仅海河水不能入海，而且海水还将顺海河返流回天津市，整个天津市都将变成“水上公园”。其实远远不用等到那个时候，假若在最近几年，华北地区再次出现像 1963 年那样的大洪水，天津市恐怕就在劫难逃。且不说海河水系汇集天津后难以入



海，就天津市本身的降雨积水也不可能顺利排除，其后果是很难想象的。80年代后期，天津市政府已经采取了一些措施，引滦入津，控制地下水的开采等。目前又在制订进一步治理的措施。今后天津市的下沉速度将得到一定控制。

(5)引起地面裂缝。造成房屋损坏，路面开裂，过去已发现一些地方因地面沉降造成地裂缝，例如邯郸市、西安市等。

(6)建筑物基础下沉，使用功能降低。如铁路路基下沉、铁轨凸起、桥墩错位、地下管道断裂、建筑物倾斜、抗震能力减弱，使地震的次生灾害加重等。比较典型的是天津塘沽海门大桥，该桥是开启式64m跨度提升桥，正位于地面沉降的漏斗中心地带，由于桥两端沉降差达135mm，使桥不能提升，影响海河通航。

(7)观测和测量标志失效。海岸和河口的水位、潮位观测基准，地形测量的三角点和埋石点均因地面沉降而不断改变高程，原有高程基准失效，必须每年根据地面沉降测量资料进行及时改正，否则观测资料无法利用。

(8)建筑填土工程量大量增加。沿海地区工业民用建筑场地，一般要求地面高程为3~4m，由于沉降地面高程只有1~2m，像塘沽市区有5km<sup>2</sup>的负标高区，汉沽区地面高程为0m左右，建筑时均需大量填土，天津无缝钢管厂，仅场区填土一项，多用投资上亿元。

(9)加重盐碱化和沼泽化。地面沉降使地下水位埋深变浅，导致滨海洼地排水困难，已经改良了盐碱地，再次盐化；沉降还使海水倒侵，如天津为防止海水向市区倒灌，专门修建了海河二道闸。

总之，地面沉降不仅给城市地区工农业生产带来严重的

危害，而且使自然生态环境恶化，如不重视防治，会导致城市毁灭。

### 3. 地面沉降城市的承灾特性

(1) 发生地面沉降的城市均是我国重要的工业基地或中心，人口集中，工业生产和社会财富集中，因此地面沉降所造成的危害和影响相对于一般地区而言十分巨大。如以上海为中心，包括苏州、无锡、常州、杭州等城市在内的长江三角洲工业基地，是我国规模最大、效益最高的综合性大型工业基地，其工业产值几乎占全国的  $1/5$ 。该地区地面沉降所造成的危害直接影响我国国民经济的发展，社会影响极大。

(2) 发生地面沉降的城市主要位于江、河三角洲平原区或滨海平原区，地势平坦，海拔较低。沉降使地面标高不断降低，容易引起与水有关的次生灾害，如使河流防、泄洪能力减弱，更易发生洪、涝灾害；加重风暴潮的危害；使海水入侵更为容易等。

(3) 城市建筑物集中，市政发展迅速，地面沉降使地面标高降低、地表形态改变，无疑使原有建筑物受损害，新的建筑工程难度加大。

(4) 城市地面沉降影响范围广，涉及内容多，治理极为困难。

### (二) 地面塌陷对工业城市的影响

我国共有近 640 座 (1995 年) 大中小城市，地面塌陷对城市的影响与矿山企业的相似，只是城市人口密度较高，因此，塌陷灾害不仅影响城市建设，而且危及人民生命安全，如唐山市中心区岩溶塌陷，从 1914 年至今已出现了 12 处，经济损失达数千万元。武汉市自 1977 年以来，在长江两岸一级阶地上发生了中南轧钢厂、阮家港、陆家街 3 起岩溶

地面塌陷，地面分别形成 5 个、3 个和 1 个塌陷坑，造成学校停课、工厂停产，直接经济损失百万元以上。

### 1. 城市抽汲地下水引起的岩溶塌陷

据不完全统计，我国大、中城市中有近 40 座处于岩溶地区。由于近年来这些地区抽汲岩溶地下水量剧增，地下水位骤降，加之城市地面建筑荷载逐年增加，城市岩溶塌陷灾害事件时有发生，以至造成工厂、居民住宅、学校等房屋地基失稳，建筑物受到破坏，地下管网受损，一级道路交通、供水、供电中断等事故发生。

### 2. 城市建筑施工引起的地面塌陷

城市建筑施工本身也经常引起地面塌陷而造成重大损失。如广州市由于地铁掘进，于 1996 年 11 月 9 日凌晨 1 时，在华贵路 122 ~ 138 号 50m 路段发生地面塌陷，地面下沉总深 1.46m，使 9 幢 2 层高楼房出现不同程度的损坏，受损的房屋需拆除，33 户 91 人已安全疏散，地铁盾构机停工 3 天，估计经济损失约 400 万元（朱淮江，1996）。又如，1996 年 10 月 6 日 11 时许，由于建筑工地基础施工不当，引起广州市天河路 23 号万新大厦南侧附近的慢车道及人行道发生地面塌陷，下陷长 40m、宽 20m、最大深 3m，使数间临时工棚倒塌，天河路单向行车中断 2 天，估计直接经济损失约 100 万元。

### 3. 采煤引起的城市地面塌陷

我国有煤炭资源蕴藏的城市约占 80%，其中，有近 1 百座煤矿城市因采煤而引起地面沉陷或破坏，严重地面沉陷的有 40 多座，例如阳泉矿区沉陷面积达  $60\text{km}^2$ ，焦作矿区  $51.7\text{km}^2$ ，抚顺矿区  $50\text{km}^2$ 。

### 4. 震动或加载引起的塌陷

震动或加载，是使覆盖岩溶区处于接近极限平衡状态的隐伏土洞产生塌陷的诱因，它往往与其他因素联合作用。该类塌陷全国共有 29 处，占人为塌陷的 6.0%，占全部岩溶塌陷的 3.59%。如武汉中南轧钢厂堆料场的塌陷，就是在抽水的潜蚀作用形成隐伏土洞的基础上，经钢锭和煤堆的加载而形成的。震动引起的塌陷在铁路路基附近较为常见。贵昆线 K 586 至 K 612 一段长 26km，位于丘状溶原，多漏斗洼地，覆盖层厚度不足 10m 的残坡积红色粘性土上，地下水位在基岩顶板以下。1974 ~ 1980 年沿线路基塌陷 4 段共发生 38 个塌陷坑。其中，浑水塘车站、秧田冲车站及其区间内最为发育，见塌陷坑 25 个。单个塌坑规模小，都发生于雨季。其成因除了地表水下渗外，主要是火车通过时的震动。

#### 5. 地表水及污水下渗引起的塌陷

在厂矿建筑区，由于场地排水不良造成地表水下渗和地表污水下渗溶滤也能导致塌陷的产生，全国已发现 9 处。如云南镇雄板桥氮肥厂厂址，覆盖层为亚粘土、含卵砾粘土层，厚 5m 左右，发育有土洞数十个，地下水位埋深 7.6 ~ 15.7m，位于基岩顶板以下。1972 年产生塌陷坑 15 个，使工厂设备陷落，其中 13 个塌陷坑分布于流水池和污水池一带，显然其产生与地表水和污水下渗作用有关。

#### (三)采空塌陷对矿山企业的影响

矿山开采对周围环境产生很大影响，产生一些地面塌陷、地面变形、环境污染等问题。而地面塌陷灾害也严重影响着矿山企业的开发和经济效益。

地面塌陷不仅毁坏矿山附近的农田、地面建筑、工业和民用设施，而且常使地表水灌入矿坑，为此需要增加排水设施和费用，对塌陷的一带，要付征地费、赔偿费。如安徽省

铜陵市小街 1989 年暴雨引起的塌陷灾害, 受灾面积  $51 \times 10^4 \text{m}^2$ , 直接经济损失就达 1.6 亿元之多。这些无疑对矿山企业是巨大的损失。有些矿区因考虑塌陷的环境影响及其他因素, 不得不暂时停止采矿。据统计 (张宝明, 1990), 到 1989 年全国采煤塌陷区面积已达  $8.67 \times 10^4 \text{ha}$ 。徐州、兖州、淮南、淮北矿区历年统计表明, 每采万吨煤地表沉陷  $0.15 \sim 0.1 \text{ha}$ , 积水深达  $2.5 \sim 4 \text{m}$ 。我国平原区年采煤 2 亿余吨, 按每采万吨煤平均沉陷  $0.2 \text{ha}$  计, 年塌陷面积达  $0.4 \times 10^4 \text{ha}$  以上。

地面塌陷对矿山企业的危害主要表现在以下四个方面:

### 1. 破坏地面建筑

矿山开采引起地表的移动, 其方向多变, 速度不匀, 引起地表建筑物的破坏, 致使不得不耗费大量资金赔偿和搬迁。以淮南地区为例, 由于该矿区开采煤层多, 地表沉陷量大, 连续时间长, 区域内建筑物经受多次方向不同性质各异的移动变形影响, 因而一般损坏均较严重。况且该矿区潜水位较高, 塌陷区极易积水, 受害建筑物很难修复。据初步预测, 1991 ~ 2000 年淮南矿区因开采影响需迁村 65 个, 计 7126 户,  $534450 \text{m}^2$  建筑。开滦矿区至 1990 年已搬迁 161 个村庄, 耗资 7 亿多元, 预计到 2000 年随着塌陷还需搬迁 3 个城镇、75 个村庄, 耗资 10.7 亿元以上。显然, 采煤塌陷带来的经济问题和社会问题也是相当严重的。

### 2. 破坏工业、民用设施

采煤引起的地表塌陷及地表变形移动对区域范围内的工业和民用设施造成损害。这些设施包括铁路及其桥涵、地下管线、输电线路和河堤等。

以淮南煤矿为例，在矿区沉陷范围内，国铁水张支线穿越李一矿东翼。该矿 1975 ~ 1990 年间从铁路压煤中共采出 436 万吨，致使路基累计沉陷 10.40m，向西偏移 1.74m。开采沉陷对铁路的危害除使路基下沉位移外，还因地表变形引起轨距、轨缝变化。

淮南煤矿的新庄孜和李嘴孜两矿都在淮河河床下和淮河河堤下开采，十余年已出煤 1500 万吨。采煤沉陷对淮河河堤的危害十分严重，原有堤坝沉陷到常年淮河水位线下，不得不加宽加高以保证其防洪作用。即使如此，地面沉陷还由于降低了堤坝的稳定性，减弱了抗洪能力。

开采沉陷对地下管线的损害主要表现为：地表移动变形对管壁产生的拉、压、剪等附加应力超过管线极限时，使管壁断裂；改变管路的原坡度，致使流通不畅，效率降低；高潜水矿区因地表大面积积水，管线故障不便查明维修。

开采沉陷对输电线路的损害主要是由于地表移动变形使塔(杆)的基础下沉、倾斜、位移，导致塔(杆)歪斜、档距改变，从而影响线路的弛度和高度。这种危害对高架铁塔尤为严重。

### 3. 增加征地费用，加重企业负担

采矿引起塌陷后，塌陷土地农民无法利用，矿山企业因此常需付征地费。如江苏省大屯矿区年产煤炭 400 万吨，年塌陷土地 149ha，年征地费 3354 万元，吨煤成本将负担 8.4 元。淮北煤矿年生产原煤 1800 余万吨，累计万吨征地率 0.28ha，每年因塌陷征地 28.3ha，征地费用高达 3000 余万元。开滦矿区到 1991 年底共征用塌陷地、新迁村庄土地共 3444ha，付征地费 12177.7 万元，并上交耕地占用税 3366.1 万元。这些征地费的使用情况可以分为几类：比较好的村庄

将部分征地费投入乡镇企业、农村副业，为失去土地的农民谋生解决了出路。这类村庄所占比例较少，多数村庄已把征地费按人头分给农民，早已花光吃净。这部分村庄农民种地无田，就业无门，生产生活问题给地方政府造成了巨大压力。许多无事可干的农民只能靠矿吃矿，利用各种理由和借口要矿山帮助、赞助，有的直接卡要，达不到目的则滋事生非，政府为协调这类关系付出了大量精力，企业也为此做出了让步，但纠纷仍是层出不穷，严重影响了矿山生产和社会安定。

#### 4. 增加排水设施和费用

在我国南方地面塌陷后，常使地表水灌入矿坑，为此需增加排水设施和费用。如湖南省水口山煤田塌陷，塌坑 800 多个，毁农田 400 余亩，拆迁民房  $4000\text{m}^2$  多，洪水期由地表灌入坑道的水量约  $200 \times 10^4 \sim 300 \times 10^4\text{m}^3$ 。涟邵煤田三矿区塌陷，塌坑 7300 多个，影响范围达 74ha，影响农田灌溉 4 万多亩，28 条河流受影响，山区水库受影响 180 处，井泉受影响 310 处。增加了排水设施和费用，如娄底恩口煤矿 1990 年 7 月塌陷引起的山洪灌入淹井事件，直接损失约 4000 万元。

目前，从科学技术和经济效益等方面考虑，矿山开采的地面塌陷问题，它的防治尚有一定的难度，只有尽量做好预测工作，避免人身伤亡及由此产生的严重经济损失。此外，塌陷出现后应及早治理，防止形成恶性循环。很多矿山重视河道治理工作，其原因就是它可形成更严重的塌陷和矿井淹没事。封堵地面塌坑后，也可防止岩溶水输入量的增加，减少突水、突泥的威胁。

#### (四)地面塌陷对水利工程的影响

在岩溶山区洼地、谷地的小型水库及少量中型水库，由于水体增荷、渗漏潜蚀及雨季地下水位迅猛变化产生的正负压力和冲爆等多种作用，常使库区产生塌陷，造成水库报废或损害。这类塌陷全国共有 125 处，主要分布于贵州、四川、湖南三省。以湖南省为例(表 2.3)，水利工程引起的塌陷 11 处。分别在展溪、汝城、保靖、花恒、永顺、新化等地。对水利工程均有不同程度的影响。

又如云南以礼河水槽子水库，水库建成后自 1958 ~ 1965 年每年塌陷数十个，累计达 117 个，形成长 400m、宽 100m 的塌陷区，库水漏失。

表 2.3 湖南省水利工程引起地面塌陷一览表

编号	名称	地层岩性	塌陷原因	塌 陷				影响
				个数	长/m	宽/m	深/m	
1	花恒小排吾水库塌陷	$\epsilon_2$ 灰岩	渠水渗漏	1	116	109	25	
2	辰溪长田湾水库主干渠瓦房山塌陷	$C_{2n}$ 灰岩	渠水渗漏	1	120	5		水库被毁
3	辰溪大有湾塌陷	$\epsilon_1$ 泥质灰岩白云质灰岩	渠水渗漏	2	12	8	10	另一塌洞直径 4m
4	汝城王桂塘塌陷	$D_{3n}$ 灰岩	渠水渗漏	1	30	30	4	塌陷总面积 706.5m <sup>2</sup>
5	汝城文明水库塌陷	$D_{2q}$ 灰岩	渠水渗漏	1	35	35	1.5	塌陷总面积 961.62m <sup>2</sup>
6	永顺松柏水库引水渠道塌陷	$O_1$ 灰岩	渠水渗漏	120				



续表

编号	名称	地层岩性	塌陷原因	塌陷				影响
				个数	长/m	宽/m	深/m	
7	保靖塘口湾水库塌陷	$\epsilon_{1q}$ 灰岩	库水位变化	3	21	16	18	水库漏水
8	保靖五苏水库塌陷	$\epsilon_{2h}$ 灰岩	库水位变化	1	1	1	1	影响水库蓄水
9	新化白岩毛岭塌陷	$\epsilon_{2+3}$ 灰岩	水库蓄水	4				影响区面积 0.002km <sup>2</sup>
10	辰溪宋家坪塌陷	$C_{2h}$ 灰岩	渠水渗漏	1	75	50	13	
11	凤凰樱桃坳水库塌陷	$\epsilon$	水库蓄水	1				

此外,在峰丛丘陵洼地中的水库,其下往往有暗河管道发育,也易塌陷,如江西德兴万村挂袍山水库塌陷。这类水库地下水位埋深很大,但季节变化带常达到地表。在这种情况下,其处理一定要采取通气或减压措施,作为地下管道的调压井才能收效。

蓄水和坑道排水、抽水还往往引起红层岩溶塌陷。它们产生于洞隙型岩溶发育的白垩纪、老第三纪钙质胶结灰质砾岩、砂砾岩(湘、赣)及侏罗纪的泥灰岩夹层(四川)中。其规模一般较小,零星分布。

### 第三节 工矿城市塌陷实例

#### 一、城市地面沉降灾害实例

##### (一)苏、锡、常地区城市地面沉降灾害与经济损失分析

地处长江三角洲腹地的苏、锡、常(苏州、无锡、常州)三市,因强烈开采地下水诱发的地面沉降地质灾害日趋严重,已成为国土开发、环境保护乃至经济发展的一大制约因素。

### 1. 地面沉降灾害发育特征

苏、锡、常地面沉降在 60 年代就初露端倪。目前,三城市沉降中心的累计最大沉降量已超过 1000mm。

苏州市自 70 年代以来,经济突飞猛进,为满足工农业生产的需求,对第Ⅱ、第Ⅲ承压水大量开采,引起地下水位大幅度下降,诱发了地面沉降灾害,1970 ~ 1983 年苏州城区年均沉降量约 10 ~ 20mm,近年来,沉降速率有所加快,达 20 ~ 40mm/a,已形成齐门外大桥等数个沉降中心,600mm 沉降等值线范围已逾 150km<sup>2</sup>。

无锡市城区地面沉降在 60 ~ 70 年代发展较快。累计沉降量达 600mm,80 年代以来,市区地下水开采虽然得到一定程度的控制,但因其外围锡山市强烈开采地下水,致使地面沉降仍以较快速度发展,目前地面沉降速率平均为 15 ~ 30mm/a。据初步统计 600mm 沉降区面积约 60km<sup>2</sup>,并呈西移趋势。由于地面沉降的差异性,锡山市的石塘湾、无锡市钱桥镇相继产生了地裂缝灾害,地裂缝带总体宽 50 ~ 60m,由数条呈雁行排列的次级裂缝组成,呈北东东向延展几十米至数百米不等,造成几十户居民住房开裂。

常州市地面沉降灾害发育于 60 年代末期,晚于苏、锡,但发展迅猛。1983 年以前,市区地下水开采量低于允许开采量( $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ),之后骤增至  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  以上,据监测资料反映,1982 ~ 1984 年是地面沉降的顶峰期,平均达 80mm/a,1985 年以后,沉降有所缓解,平均 20 ~ 45mm/a,

但仍高于苏、锡二市，目前累计最大沉降量已达 1050mm。

苏、锡、常三市地面沉降发展至今，已相互连接成沿沪宁线(京杭运河)分布的一沉降洼地，地面沉降量大于 300mm 的面积已超过 1000km<sup>2</sup>，三市外围县(市)亦已出现地坪开裂、井管升高等地面沉降迹象。

纵观地面沉降的发生发展过程，皆与地下水的开采强弱紧密相关。当地下水位低于-30m 标高时，苏、锡、常地区即产生地面沉降，且沉降量与地下水开采量(地下水位埋深)的大小呈同步变化趋势。

## 2. 地面沉降经济损失分析

地面沉降灾害是一种渐进过程，所造成的直接经济损失评估与滑坡、岩溶塌陷等突发性地质灾害相比更为复杂。首先，其影响项目难免挂一漏万，其次，因监测、统计工作不足，使受灾项目的灾情动态变化过程难以全面掌握。本次(直接)经济损失分析将在约定灾情平稳发展的前提下，对以下受灾项目采用调查统计(中心城市)与类推法(区域)结合进行。估算出全区自 1980 年以来地面沉降造成的经济损失。主要受灾项目有：

(1)地面高程 位于太湖平原的苏、锡、常，地面标高 2 ~ 4m，地面高程本就十分宝贵，地面沉降的产生，导致新建建筑物必须填高基础，以满足规划设计部门的需要。

统计沉降量大于 300mm 范围内待建开发区的面积(约定建筑占其 50%)及旧城改造规模(5%)等资料，若平均填高 400mm，则耗资 89162 万元。

(2)河流水文条件 地面沉降使得低洼、水网化的苏、锡、常地区防洪泄污能力更为脆弱，遭受洪水侵袭的频率、程度相应增大。据统计，1980 年以来，三市地面沉降严重

地区因水灾造成居民受淹、工程停产损失达 23050 万元。

(3)水利、防洪工程 因地面沉降,使得区域防洪能力下降,为此而修建挡水堤、加高护岸、增建泵房、涵闸等工程支出约 8600 万元。

(4)市政设施 因地面不均匀沉降导致市政管道(自来水管、煤气管、排污管等)变形或断裂,仅此造成的直接经济损失达 12200 万元。

(5)农业生产 地面沉降导致农业生产抗洪排涝能力下降,进而延长农田受水淹、涝渍的时间,造成农业减产。据统计,1980 年来,全区农田(沉降量 300mm)累计受灾亩次达 771.4 万,按每亩次降低效益 30 元计,则损失达 23142 万元,而肥力损失、劳力投入及因地面沉降引起地表水体吐故纳新滞缓造成水质自净能力下降对渔业等造成的损失则难以估算。

(6)建筑物 地面沉降造成大量集水建筑物损坏、维修频率加快、电耗增加,诱发的地裂缝灾害,造成房屋毁坏,另外在汛期沿河两岸码头、仓库失效等损失达 3400 万元。而地面下沉对已建建筑物的损失(水淹时间延长、倾斜)难以估算。

(7)基准点 因地面下沉,造成全区数百个水准点及其他测量标志失效,自 1980 年来,损失达 648 万元。

(8)限制地下水开采 为控制区域地下水位下降,缓解地面沉降速度,通过行政手段在一些地区禁采地下水而封井,经济损失达 1300 万元。

据不完全统计,1980 年来,全区因地面沉降灾害造成的直接经济损失达 161502 万元,其中对地面高程的损失最

大，占全部损失的 55.2%。地面沉降地质灾害在苏、锡、常地区的主要危害是导致区域防洪能力大为下降，如 1991 年百年不遇的特大洪涝灾害，苏、锡、常三市的直接经济损失近百亿元，而地面沉降地区正是受灾最惨重的地区，可以说，地面沉降是造成损失如此惨重的主要因素之一。

## (二)天津地区地面沉降实例

### 1. 基本特征

天津地区 1965 ~ 1988 年各时期地壳形变发展演化特征按几次定格记录情况如下：

(1)天津地区沉降漏斗至 1975 年面积不足  $600\text{km}^2$ ，沉降中心仅有市区和汉沽两处，其中以市区最为显著，最大沉降速率为  $62.9\text{mm/a}$  (平均差以后的结果，以下同)。汉沽为  $44.1\text{mm/a}$ 。除这两个沉降中心外，外围仅有武清、黄骅两处沉降较强烈，但年变化速率不超过数毫米。

(2)截止至 1979 年，区内沉降区面积已猛增至  $3000\text{km}^2$  以上。如果加上西侧任丘和南侧的沧州两沉降区将超过  $4000\text{km}^2$ 。天津、汉沽、武清等沉降中心均已连成一片，形成了大型复合漏斗，市区最高沉降速率已达  $89.5\text{mm/a}$ ，汉沽由于叠加了唐山大地震的震后效应，最高形变速率达  $322.8\text{mm/a}$ ，沧州沉降中心为  $28.6\text{mm/a}$ ，任丘为  $11.8\text{mm/a}$ 。

沉降区发展的特点是向南向西大范围扩展，多个沉降中心快速活动，而北侧形成了明显的梯度带。

(3)1979 ~ 1983 年沉降区进一步扩展至  $6000\text{km}^2$  以上。在南侧已连成一体的多个沉降中心的基础上，北侧又发育了固安沉降中心，内部发育了唐宫屯沉降中心。各中心的沉降速率为：天津  $113.3\text{mm/a}$ ，汉沽  $118.0\text{mm/a}$ ，塘沽  $107.0\text{mm/a}$ ，任丘  $40.0\text{mm/a}$ ，唐宫屯  $68.3\text{mm/a}$ ，固安  $4.6\text{mm/a}$ 。

这一时期整个沉降区除继续向西向南扩展之外，北部梯度带已移至宝坻、下仓的山前冲洪积扇一带，并开始与北京地区的沉降区相连接。

(4)1983 ~ 1988 年 5 年间的沉降状况是：整个沉降区面积超过  $7000\text{km}^2$ 。各沉降中心沉降速率为天津  $56.5\text{mm/a}$ ，塘沽  $67.8\text{mm/a}$ ，汉沽  $76.1\text{mm/a}$ ，唐宫屯  $54.5\text{mm/a}$ ，任丘  $77.1\text{mm/a}$ ，沧州  $74.5\text{mm/a}$ ，霸县  $57.4\text{mm/a}$  和固安  $36.0\text{mm/a}$ 。此期间除沉降区进一步扩大，沉降中心又有增加外，许多中小城镇沉降的发展此时已接近沿海地区。任丘沉降区的扩展为全区之冠。相反，天津市区则由于控制地下水开采，沉降明显减缓。

经过 1965 ~ 1988 年的发展演化，天津及其附近地区已成为一个规模巨大，具有多个强烈下沉中心的超大型复合地面沉降漏斗；沿海区的沉降总量超过了内陆，漏斗区的开口朝向渤海湾。

## 2. 天津地面沉降的成因

(1)过量开采地下水引起地面沉降。天津地区深层地下水的开发始于 1923 年，过量开采地下水引起的地面沉降至 1959 年才被发现，而大规模工农业用水是从 60 年代后半期才开始的。据金东锡等人的研究，50 年代初期天津仅有深井 20 余口，而至 1988 年就增至 400 余口。1970 ~ 1971 年平均地下水开采量为  $0.89 \times 10^8\text{m}^3$ ，地面沉降为  $40\text{mm/a}$ ，1972 ~ 1985 年平均开采量增加至  $1.0 \times 10^8 \sim 1.2 \times 10^8\text{m}^3$ ，沉降量为  $75 \sim 120\text{mm/a}$ ，1986 年停井减采，开采量由  $0.96 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$  降至 1988 年的  $0.67 \times 10^8\text{m}^3/\text{a}$ ，地面沉降由  $62\text{mm/a}$  减缓为  $24\text{mm/a}$ 。可见抽取地下水是造成地面沉降的直接原因。资料明显证实地面沉降的发展趋势与开采强度呈线性相

关的关系。

2)构造活动引起的地面沉降。就整个华北地区而言,渤海湾及其沿岸是新构造活动沉降最为强烈的地区。除基底活动构造各单元之间存在相对的沉降活动之外,许多地貌资料也说明全新世晚期本区一直处于强烈的下沉运动之中,例如最新的沉积层存在、贝壳堤的分布、海河口水下溺谷等等。近年来使用水准测量资料后认为,从1910~1953年北炮台(位于塘沽北侧)验潮站反映了大沽原点趋势性下沉速率为 $5.6\text{mm/a}$ 。同时据1931年天津市区内某水准标志计算市区下沉速率为 $4\text{mm/a}$ 。上述数据反映的是天津市大量开采地下水之前的状况,因此可以认为 $4\sim 6\text{mm/a}$ 可能是本地区趋势性构造下沉的活动量级。

强烈的地震活动会造成地堑盆地区的继承性下沉,这在华北地区强震活动的研究之中已得到了证实。唐山大震曾波及天津及沿海地区,并在汉沽地区形成了一个下沉中心,宏观调查部分地段下沉量超过 $1.5\text{m}$ ,这包含了地基液化等水文地质因素,水准测量的结果最大沉降量也达数百毫米。

因此,我们可以得出结论,天津地区强烈的地面沉降灾害主要是由于过量开采地下水造成的,构造沉降是第二位的原因,两者相差超过了一个数量级。造成本地区标高损失的第三个原因是海平面上升,但由于这一活动也仅仅是毫米级的,因此这一因素的影响也是次要的。

### 3. 地面沉降对本区环境的影响

天津地区地面沉降所造成的环境变化,主要表现在地面标高的大量损失、海平面不断的相对上升、海河水系功能的减退以至消失,以及它们所引起的多种次生灾害。

首先,地面标高的损失和海平面的相对上升使得海水入

侵的危险和风暴潮灾害大为增加。这集中表现在天津地区所受的风暴潮灾害损失愈来愈大。1949年以来,塘沽沿岸受风暴潮之灾9次,最近两次分别为1985年8月19日和1992年9月1日,最高潮位分别为5.2m和6.14m(大沽高程)。无论从潮位的高度还是经济损失来看都大大超过了前7次。对这一问题如果不采取及时的治理和预防措施而听任其发展,沿海地区,尤其是天津(塘沽),将会被上升的海面所淹没,而无需等待(IPCC对全球海岸所估计的)百年以后。

其次,海河作为本地区的最大水系,由于地面沉降,河床和河口严重淤积而使河流作用大为降低。原设计1200个流量,如今400个流量也难通过。这不仅危及汛期排洪泄洪,而且由于地表排水不畅,沿岸出现沼泽化,河口三角洲不能充分发育而被波浪、潮汐所改造。海岸线将阶段性向陆地推移。此外河口防潮闸目前已很少开放,由于缺少沉积物的来源,将使海岸的侵蚀变得非常强烈。

除此之外,地面标高降低,大量积水洼地的形成,使得海水倒灌,潜水面升高,加重了土壤的盐碱化,导致地表水质污染,给整个城市排水系统造成重大的影响。仅水文地质条件的恶化等近期灾害就足以使工农业生产和经济活动遭受重大的损失。

总之,本区所受地面沉降的直接灾害和间接灾害都是严重的。海平面上升,河流调节功能的丧失以及由此带来的一系列地理环境因素的变化,将是本地区未来几十年中人们所关心和要解决的问题。

渤海湾沿岸地区已成为全球未来几十年海平面上升影响最严重的地区之一。与日本、美国等几十个曾发生过强烈沉降的工业化地区相比较,在沉降速率和变化趋势方面是相



似的。随着天津及邻区工业化的发展，使得华北半干旱地区水资源严重短缺，增加淡水供应将是一个必然的需求。在这种情况下，要减采地下水以延缓地面沉降，改善本区环境条件将是十分严峻的任务。

## 二、矿山采矿塌陷实例

### (一)开滦矿务局范各庄煤矿塌陷及危害

#### 1. 煤矿塌陷状况

开滦矿务局范各庄矿 1958 年破土动工，1964 年 10 月投产，年产 180 万吨的大型现代化矿井，到 1990 年底全矿共产原煤 5600 多万吨。但是，大量煤炭的开采，给矿区周围环境带来巨大影响。到 1990 年底，全矿共征用塌陷水淹地 489.6ha，塌陷波及地面积 200ha，总计塌陷面积约 690ha，平均每采万吨煤造成 0.12ha 的塌陷地，先后搬迁了 11 个村庄，一座小学，涉及到 1488 户，搬迁 7305 人，拆除房屋 6410 间，总计费用 6300 余万元。

从全局来看，所辖 11 个生产矿井，有的是近百年的老矿，有的则是刚刚投产的新井，到 1988 年底，全局已累计生产原煤 7.54 亿吨，经过长期开采已形成  $60\text{km}^2$  的采空区。塌陷区面积已达  $1.05 \times 10^4\text{ha}$ ，加之矿区范围内的小煤矿塌陷地 570ha，整个矿区已形成 11070ha 塌陷区。按照全局近几年煤田生产实际情况，塌陷体积平均为采出体积的 70% 左右。塌陷波及面积为开采面积的 1.2 ~ 1.3 倍。全局平均每采万吨煤毁地 0.057ha 左右。按此比例计算，到 2000 年末，全局还需征用土地约 5333ha。也就是说，到 2000 年，全局范围塌陷地累计将达到  $1.103 \times 10^4\text{ha}$ 。相当于 15 个范各庄乡现有耕地面积的总和。同时，还将搬迁 3 个城镇，75 个

村庄，涉及村民约 6 万余人，累计耗资预计将超过 10.7 亿元。

## 2. 塌陷带来的危害

(1)造成土地资源的极大浪费。唐山市 1952 年有耕地面积  $66.53 \times 10^4 \text{ha}$ ，到 1988 年减少了  $11.34 \times 10^4 \text{ha}$ ，平均每年递减约  $0.33 \times 10^4 \text{ha}$ ；人均耕地面积 1952 年为 0.186ha，到 1990 年为 0.09ha，低于全省的 0.12ha。1970 年全市人口 524 万，1990 年则上升到 657.14 万（1976 年还经过地震灾害）。据统计，全市人口以每年 1.58% 的速度上升，而耕地面积却以每年 1.9% 的速度递减。同时，全市现有约  $2 \times 10^4 \text{ha}$  的废弃地，而且每年还有大量的土地被废弃，其中开滦塌陷造成的废弃地就占一半以上，这无疑给全市的土地资源管理造成压力。

(2)增加了社会的不安定因素。因采煤塌陷需要搬迁的村庄，新庄址往往设在煤层露头以外，距原有耕地距离加大，农民耕种不便，增加了迁庄倒户工作的难度。搬迁费用不断提高，附加条件越来越多，企业难以承受。处理不当，就造成工农之间的矛盾，增加了社会不安定因素。

(3)加大了企业负担。随着煤田生产的发展，开采而造成的塌陷面积日趋扩大，塌陷征地和搬迁补偿费随着物价逐年上涨，而煤炭价格实在太低，致使企业亏损逐年加大。1990 年，范各庄矿征地费用达到 15 万元/ha，全年塌陷征地 25.6ha，耗资 384 万元，开滦局平均征地费已上升到 31.5 万元/ha，1990 年全局征地 167ha，耗资 5260 多万元。使得吨煤成本净增 2.84 元，每售一吨煤就赔 30 余元。1990 年范各庄亏损 4200 万元，预计全年亏损 5100 万元；1990 年开滦局亏损 2.6 亿元；预计全年亏损 5.8 亿元。

(4)破坏地面景观。由于采煤塌陷，目前该矿以工业广场为中心，形成了南北两大塌陷区。其中北坑积水面积约90ha，南坑积水面积179ha，长年积水，特别是每年雨季前后，污水汇聚于南北大坑，绿苔遍布，杂草丛生，使之形成了污水坑，水质污染严重。

### 3. 塌陷区复垦造田效益分析

为了减轻塌陷造成的危害及可持续发展，根据国家“土地复垦规定”。在当地乡政府和矿务局领导的大力支持下，该矿进行了塌陷区土地复垦工程，并已初见成效。

(1)经济效益。从1979年开始往南坑回填矸石，到1990年已回填总矸石量867.7万吨，根据测算：每回填1万吨矸石比堆成矸石山少占地0.12ha，征地费按15万元/ha计，10年(1984年因突水2年未出煤)间，可减少征地费1561.86万元，平均每年减少排矸石征地费156.19万元。同时在已回填的28.67ha塌陷区，有9.33ha作为建筑用地(煤气厂8ha，塑料厂1.33ha)，可节省建筑征地费140万元。到1991年已复垦9.33ha，共投入24.91万元，平均每公顷投入2.67万元，如将近20ha回填塌陷区全部复垦后，按现最低征地价格9万元/ha售给农民，可得土地转让费约120多万元。

(2)社会效益。1991年，在复垦田中种植了大量树苗、农作物和蔬菜。将粮食作物和蔬菜廉价出售，起到了较好的社会效果。

(3)环境效益。通过复垦，使得常年暴露在外的废弃煤矸石，得到掩埋，大大减少了SO<sub>2</sub>的排放量和粉尘污染，净化了空气。同时，使被破坏的地面生态系统得到了明显改观。

## (二)北京西山地面塌陷

### 1. 概况

北京西部山区的煤炭开采历史，可上溯到距今 800 多年前的金代。自本世纪上半叶，西部山区的煤炭逐渐成为京、津、保地区的重要能源供应地。进入本世纪 80 年代以来，煤炭开采业已经成为许多村、镇经济的主要来源。伴随着现代高强度的开采，这些乡镇及村办煤矿的浅层开采，造成许多地表塌陷及灾害，并呈加剧发展的趋势。

西山煤矿区东自万寿山，西至百花山，北迄斋堂，南到周口店，面积约  $1370\text{km}^2$ ，行政区辖包括房山、门头沟和丰台以及海淀的部分地区。到目前为止，本区煤炭开采地共涉及 21 个乡、镇和 10 个国营矿山，已发现的小煤窑达 2850 座，其中 80 年代以来开采的达 800 余座，位于密集居民区内的详查区老窑密度达  $1.4\text{座}/100\text{m}^2$ 。

## 2. 地面塌陷的主要表现形态及发育状况

西山地区有资料记载的地面塌陷见于 40 年代末，尤以门头沟地区为多，塌坑达数百个。

近期发生的地面塌陷涉及 17 个乡镇和 9 个国营矿山，有 200 余处，共见有千余个塌陷坑、几百条地裂缝、近百处山头滑塌和地面不均匀下沉区。

北京西山地区地面塌陷的主要表现形式是地面不均匀下沉。地表塌陷盆地是由于大规模的地下开采，主要是国营矿山的开采，在采空区上方地表产生的沉陷盆地。由于地下岩层倾角的不同、开采深度、采空区面积、顶板管理方法、开采工作面的移动等因素变化，造成盆地地表各部位的移动、变形性质和大小均不一样。一般情况下，塌陷盆地边缘的变形强度及变化大，从而造成的灾害比盆地中部更为明显和剧烈。

塌陷坑在本区分布较广，按其几何形态可划分为：

(1)漏斗形坑，纵截面为倒三角形，常见的直径一般为2 ~ 10m，大者可达20m，深1 ~ 5m。

(2)锅底形坑，底部为浅弧状，纵截面似倒梯形，常见直径在2 ~ 10m。

(3)井筒形坑，坑口圆形或不规则形，坑壁陡直，深度较大。坑口直径常在5 ~ 10m，深大于10 ~ 20m。

(4)锥形坑，截面呈梯形，口小肚子大，其规模一般较小。

(5)长沟形塌坑，宽几米至几十米，长十几米至几百米，此类塌坑往往规模较大。

地裂缝主要是由地下采动引起的地表拉伸变形而成。单独出现或成组出现亦或与塌陷坑及其他塌陷类型伴随出现。规模大小不等，一般长10 ~ 30m、宽0.01 ~ 0.30m，最大的长达几百米，宽达1m以上。依其在平面上分布的几何形态可分为直线状、折状、弧状、分叉状。依裂缝两侧岩层的相对运动方向又可分为张性地裂缝和单向下落性地裂缝。

在本区还常见有两种塌陷类型：一类是因采煤引起岩体失稳而产生的滑塌，其规模大小不等，最大者可达数万方；另一类为地面不均匀下沉。其与地表塌陷盆地的区别是：前者规模相对较小，在变形区内地表变形无一定规律；而后者与向斜煤盆地密切相关，规模较大，地表变形规律性较强。

### 3. 塌陷造成的主要灾害

由于北京西山地区人口稠密，村镇、工矿企业较发达，因此塌陷造成的危害较大。同时，面临北京市政府提出的提前实现小康水平的发展目标，山区村镇的大规模改扩建的需求越来越大，预防和治理塌陷灾害，面临越来越紧迫的形势。

地面塌陷在北京西山地区自解放前至今均有发生，它与小煤窑的开采相关，在时间上形成两个高潮期，一是本世纪40年代，一是近10年以来。以后者造成的危害较大，并有逐渐加重的趋势。

地面塌陷多集中在小煤窑采区附近，全区广布。国营矿山开采造成的塌陷多控制在深山地区，往往发育在地层倾角较大的地区，在其采空区上方多存在老、小窑采空区。同时国营矿山经常在开采前对可能发生的危害采取预防措施。

本区地面塌陷约有总量46%的地点发生在荒山上，造成山区地表植被的破坏，引发水土流失等环境地质问题。有约54%的地点形成了各种类型的灾害，主要表现在以下几个方面：

(1)人员伤亡：由于近年来塌陷呈急剧发展趋势，已造成人员伤亡。例如：1993年2月16日房山区金鸡台因采煤形成塌陷坑，造成房屋陷落，死亡2人，重伤1人；1993年7月门头沟区北岭乡安家滩村一青年，进入已形成的地表塌陷坑中突然陷落被埋身亡。

(2)住宅损失：为充分利用地下资源，国营矿山为减灾避灾而有计划地全部或部分搬迁的居民点达36个，据不完全统计，至少耗资2858万元。本区因采煤造成居民点房屋出现裂缝、塌陷、成灾后全村或部分迁移的有9处，据不完全统计，耗资约400万元。至1993年底，因房屋出现裂缝、塌陷险情或居住在不明老采空区上，存在安全隐患随时可能发生灾害的有十几处。如门头沟区政府所在地，解放前老窑密集，但地下采空区分布至今不明，近年来时有塌房事件发生，存在着重大隐患。

(3)道路破坏：共见有几十处影响或破坏了国道、矿区公

路和乡村大车道。公路护坡、路基开裂坍塌，涵洞桥梁裂缝，甚至造成整段公路报废，一些地段目前仍存在安全隐患。

(4)影响铁路运输：共见有数处影响了矿区大、小铁路。例如门头沟大台矿区地段附近，地裂缝造成门头沟—木城涧矿区铁路路基及桥涵出现裂缝，目前仍在发展中。

(5)水电设施受损：共有 7 处影响了高压输电线路，其中 4 处造成破坏后被迫改道，1 处涉及到华北电网，电力部门不得不耗资 20 余万元停止小煤窑的继续开采，以保护电网安全；有 8 处影响了地表水利设施。如门头沟区军庄镇北大渠，因国营矿开采造成地表沉降，大渠报废使该村减少水浇地 2800 亩。

(6)耕地林木损失：共见有近百处塌陷破坏了耕地，总量在千亩以上，给山区本来就稀少的耕地造成损害；有几十处造成林木的损失，包括果树、人工林及自然林，沉陷总数达数千棵，受影响的总量更大。

另外，因采矿造成的次生地质灾害也较严重，如煤矿开采将区域浅层地下水疏干，造成了房山区龙宝峪村居民生产、生活用水发生严重困难，无法继续生存而不得不耗资 30 余万元异地迁村。这类灾害在西山地区具有普遍性。在近期华北山区严重干旱的背景下，采矿活动又将浅部地下水疏干，给打井找水抗旱带来了严重困难。

### 三、城市岩溶塌陷实例

#### (一)重庆市岩溶塌陷

岩溶塌陷是重庆地区较严重的地质灾害之一。重庆地区的岩溶塌陷主要分布于市区周围的条形背斜山地区，大都是由于采煤、开凿铁路或公路隧道以及管井抽取地下水等人类工程活动引起的。这些岩溶塌陷多具有突发性和破坏性，给

国家建设和人民生命财产造成了威胁和损失，使自然环境遭受了不良影响及破坏。

### 1. 岩溶塌陷分布概况

重庆地区在地质构造上由一系列北北东向的平行背斜和向斜组成。背斜轴部出露三叠系和二叠系碳酸盐岩夹煤系地层，背斜两翼和向斜地区则广布三叠系和侏罗系砂岩、泥岩地层。在地貌上，背斜成山，向斜成谷。背斜山地岩溶槽谷发育，形成有名的“川东型”岩溶槽谷，有的是“一山一槽”，有的是“一山两槽”，槽底高程在海拔 500m 左右，高出山外丘陵约 200m。槽谷中串珠状岩溶洼地、漏斗、落水洞发育，槽底普遍覆盖有数米至十余米的亚砂土或亚粘土。背斜山地富含岩溶水，但常被志留系页岩和二叠系煤系地层所阻隔，水位浅，其水位多波动于覆盖层和基岩交界面上下。

在重庆地区的背斜山地，碳酸盐岩分布区，常因人类工程活动引起岩溶塌陷。自 60 年代以来，在华蓥山背斜的李子垭、溪口，观音峡背斜的杨柳坝、天府、歌乐山、中梁山，温塘峡背斜的临峰，龙王洞背斜的团标寺及龙骨溪背斜的南桐万盛等地，均先后诱发过不同规模的岩溶塌陷。

上述岩溶塌陷属采煤引起的有李子垭、杨柳坝、天府、中梁山、团标寺、临峰等 6 处；属开挖铁路隧道引起的有歌乐山 1 处；属管井抽取地下水引起的有溪口、南桐万盛 2 处。据调查资料统计，重庆地区的 9 处岩溶塌陷区共有塌陷点 57 个，塌陷点的形态一般为圆形或椭圆形，直径 5 ~ 15m，小者 1 ~ 2m；塌陷深度一般为 2 ~ 10m，深者达 50 ~ 100m；塌陷区范围 1 ~ 2km<sup>2</sup>，影响范围 2 ~ 8km<sup>2</sup> (表 2.4)。

### 2. 典型实例



(1)歌乐山岩溶塌陷区:歌乐山岩溶塌陷位于重庆市西约15km 的观音峡背斜南段歌乐山岩溶槽谷区,该槽谷呈南北

表 2.4 重庆地区岩溶塌陷特征

地点	构造部位	地层	产生原因	塌陷数量/处	塌陷深度/m	塌陷范围/km <sup>2</sup>	影响范围/km <sup>2</sup>	发生时间
李子坝	华蓥山复背斜中段	T-P	采煤	5	50 ~ 100	2 ~ 3	12.5	1984 - 1989 年
溪口	华蓥山复背斜南段	T	抽取地下水	3	2 ~ 3	<1	<1	1980 年以来
杨柳坝	观音峡背斜北段	T	采煤	>5	3 ~ 5	2 ~ 3	6 ~ 7	1960 年以来
天府	观音峡背斜北段	T	采煤	>5	3 ~ 6	2 ~ 3	7 ~ 8	1960 年以来
歌乐山	观音峡背斜南段	T	开挖隧道	9	2 ~ 9	0.5	2 ~ 3	1973 年以来
中梁山	观音峡背斜南段	T-P	采煤	18	1 ~ 5	2 ~ 3	7 ~ 8	1964 年以来
临峰	温塘峡背斜南段	T	采煤	>5	2 ~ 4	1 ~ 2	4 ~ 5	1977 年以来
团标寺	龙王洞背斜	T	采煤	>4	20 ~ 30	3	12	1966 年 8 月
南桐万盛	龙骨溪背斜	T	抽取地下水	3	<1	<1	<1	1988 年以来

向,沿三叠系嘉陵江组地层走向延伸,长约 10km ,宽约 1km ,槽底高程 500m ,槽底被第四系亚粘土覆盖,厚 4 ~ 5m ,下伏嘉陵江组灰岩,厚 450m ;岩层倾向东,倾角 50° ~ 62°,岩溶强烈发育,地下水丰富。1972 年由于修建襄渝铁路,在该槽谷北段山脚开凿中梁山铁路隧道,标高 300m (比槽谷底低 200m),隧道横穿观音峡背斜,长约 4km 。该隧道

施工中大量涌水；1975年3月实测隧道西端出口排水量为 $6506\text{m}^3/\text{d}$ ；1976年8月实测东端进口排水量为 $2141\text{m}^3/\text{d}$ ，总排水量为 $8647\text{m}^3/\text{d}$ 。由于长期大流量排泄隧道顶部岩体中的岩溶地下水，造成隧道两侧 $2 \sim 3\text{km}$ 范围内地下水位下降，逐渐疏干形成降落漏斗。1972～1974年在隧道南 $450 \sim 720\text{m}$ 的歌乐山槽谷地面发生9处岩溶塌陷。塌陷点多数为圆形漏斗状，直径 $8 \sim 16\text{m}$ ，少数为椭圆形，长轴 $13 \sim 15\text{m}$ ，短轴 $8 \sim 11\text{m}$ 。塌陷深度一般 $2 \sim 6\text{m}$ ，最深 $9\text{m}$ （表2.5）。地面塌陷区范围 $0.5\text{km}^2$ ，危及成渝公路、新开寺居民住房安全，造成农田毁坏，水田、水池漏水，数十个泉水疏干或流量减少。

表 2.5 歌乐山岩溶塌陷特征

编号	塌陷形状	直径 $\text{m}$	深度 $\text{m}$	层位	距隧道距离 $\text{m}$	塌陷时间	亚粘土厚度 $\text{m}$
1	漏斗状塌陷	14	3	$T_{1j}$	450	1972年5月	4～5
2	漏斗状塌陷	15～11	9	$T_{1j}$	500	1974年5月	4～5
3	漏斗状塌陷	16	6	$T_{1j}$	500	1973年8月	4～5
4	漏斗状塌陷	11	3.5	$T_{1j}$	550	1973年8月	4～5
5	漏斗状塌陷	13.5～8	4	$T_{1j}$	520	1973年8月	4～5
6	漏斗状塌陷	8	1	$T_{1j}$	570	1973年8月	4～5
7	漏斗状塌陷	10	2	$T_{1j}$	650	1973年8月	4～5
8	漏斗状塌陷	8	1	$T_{1j}$	530	1973年8月	4～5
9	漏斗状塌陷	3.5	1	$T_{1j}$	720	1973年8月	4～5

②中梁山岩溶塌陷区。中梁山岩溶塌陷区位于重庆市南西约 $15\text{km}$ 的观音峡背斜南段中梁山煤矿区。该煤矿南北长 $11\text{km}$ ，东西宽约 $2\text{km}$ ，主要开采二叠系煤层，已有数十年

开采历史。自 1956 年起扩大开采，在东翼新建南平洞、北平洞，洞口标高分别为 274m、286m，两平洞相距 3475m，平洞长 2500m，平洞横穿观音峡背斜三叠系须家河组砂岩和嘉陵江组、飞仙关组、二叠系长兴组灰岩等 4 个主要含水层。北平洞施工至 1100 ~ 1300m 嘉陵江组灰岩顶部时，遇溶洞突水 3 次，其中最大一次流量  $9200\text{m}^3/\text{d}$ ，并携带大量泥沙，将装岩机推出 50m 余，迫使停工 20 余天。北平洞突水后的第二天，在其南约 500 ~ 1000m 的地表发现 5 处岩溶塌陷。南平洞于 1964 年 6 月 24 日暴雨期，发现飞仙关组岩溶突水，流量达  $56040\text{m}^3/\text{d}$ ，携带大量泥沙，次日在南平洞约 700m 的达家沟发现数个地面塌陷点。由于南、北平洞长期大量排泄地下水（仅南平洞的排水量达  $5000 \sim 8000\text{m}^3/\text{d}$ ，最大  $23000\text{m}^3/\text{d}$ ），致使矿区南北约  $8\text{km}^2$  范围内形成了地下水区域降落漏斗，导致 29 个泉水疏干，19 个变成间歇泉，23 个泉流量减少 80%。此外，因开采区逐渐扩大，引起南北平洞间石埡口一带的地表沿长兴组与飞仙关组地层交界地带呈串珠状塌陷，1964 ~ 1966 年曾发现地表塌陷点 9 处，以后仍不断产生，一般以圆形漏斗状塌陷为主，直径 2 ~ 8m，并伴有众多地表开裂，宽 2 ~ 35cm，长数米至数十米，其分布范围与地下采空区基本一致。

(3)团标寺岩溶塌陷区。团标寺岩溶塌陷位于重庆市北约 30km 的江北县龙王洞背斜西翼的江北煤矿区，该煤矿主要开采三叠系上统须家河组底部煤层。1966 年 8 月 27 日在洞深 985 ~ 1000m 处发生矿洞掌子面穿水，流量达  $777.6 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ ，并携带大量泥沙、灰岩块石。穿水后 3 ~ 7 天在平洞北的团标寺、苟和兴一带的地下发生大规模岩溶塌陷，

其垮塌轰鸣声响彻 5km 之远。并有地震发生，震级约 3 ~ 4 级，使门、床、桌震动，柱、壁晃动，房瓦掉落。这次塌陷范围约  $3\text{km}^2$ ，塌陷中心为团标寺，有感地震范围约  $5\text{km}^2$ 。事隔两个月后，在  $12\text{km}^2$  范围内发现地下水位急剧下降，5 个自流涌水钻孔水头消失，水位下降 40 ~ 47m， $3 \sim 6\text{km}^2$  范围内的泉水全部疏干。

(4)李子垭岩溶塌陷区。李子垭岩溶塌陷位于重庆市北约 70km 的华蓥山复背斜中段。该区长期开采二叠系煤层。80 年代初为扩大开采，新建 572m 标高主平洞，横穿华蓥山复背斜的三叠系和二叠系数个岩溶含水层，自 1982 年以来在矿区上部的邻水县望月、龙须、苏家等 3 个村  $12.5\text{km}^2$  范围内，不断发生岩溶塌陷，导致地表水、地下水疏干。据调查，有 57 个泉水疏干或流量减少，造成 2700 余人无生活饮用水源，3000 多亩水田无水灌溉。该煤矿采空区岩溶塌陷深度达 50 ~ 100m，目前仍在扩大。

此外，在华蓥山复背斜的溪口和龙骨溪背斜南桐万盛等低位岩溶槽谷区，由于地下水资源丰富，自 70 年代以来，随着经济建设的发展，需水量增加，因此，大量抽取地下水作为供水水源，日开采水量达  $5000 \sim 10000\text{m}^3$ ，从而也招致这一带的地面产生了塌陷，并危及房屋建筑安全和造成农田毁坏等。但总的看来，这类由管井抽取地下水引起的岩溶塌陷和采矿、开凿过山隧道引起的岩溶塌陷相比，其规模和危害要小得多。

### 3. 形成机理

重庆地区岩溶塌陷的形成和地下水大量排泄密切相关。从上面介绍的几个典型实例可以看出，重庆背斜山地区的岩溶塌陷，几乎都是由于人为因素(采煤或开凿隧道)，导

致岩溶地下水大量排泄后发生的。由于地下水的突然大量排放，致使水动力条件急剧改变，其具体表现：一是地下水位迅速降低；二是在降落漏斗范围内，水力坡度突然增大，流速加快。其后果，一方面减少了对岩土体的浮力；另一方面增强了地下水流对原有洞穴、溶隙、裂隙中堆积充填土层、岩屑、碎块石等的潜蚀、冲蚀以及液化作用，并将其带走。如中梁山、江北等煤矿区，在岩溶塌陷之前，矿洞突水时，水流都携带大量泥沙、岩块等，证明这种潜蚀、冲蚀作用确实存在。当然，地下水的作用是一个复杂过程，近年来，国内外不少学者作过卓有成效的研究，在理论上提出了不少见解。就重庆地区的岩溶塌陷机理而言，研究者却甚少。如有的论著提出“气蚀”、“气爆”说，即认为塌陷是由于地下水位变化，造成含水介质空间内气体压力的变化产生的。关于这种作用对重庆地区岩溶塌陷形成的意义，可以江北煤矿团标寺塌陷为例。如前所介绍的，江北煤矿1966年8月24日在洞深985~1000m遇溶洞、炮眼喷水、水头达7~8m，被迫对溶洞进行封闭。3天后改在另一巷道掘进，据现场矿工反映，放炮数秒钟后，发现有一股奇特的强压“冷气”冲出洞口，并将停放在洞身483m处的9部运输车斗（每部600kg）推出了洞口。紧接着，约4分钟后原封闭溶洞穿水，流量大于 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。高压地下水携带大量灰岩岩块，来势凶猛，将洞口工业设施全部冲毁，冲出距离达500m余。更有甚者，巷道中一扇门竟被推到29m高的一废巷道中，这说明当时的水压、气压确实是很大的。溶洞突然穿水后，时隔一周，在周围 $5\text{km}^2$ 范围内即发生了大规模地下岩溶塌陷。由上述现象不难看出，由于急剧排水，引起地下水动力场改变发生的“气蚀”、“气爆”作用，在岩溶塌陷形成机理中是存在的。

因为这类塌陷往往形成的过程很短，有的还伴随地震（如江北团标寺塌陷），破坏性较大。因此，这类机理颇值得进一步研究。

总之，重庆地区的背斜山区，由于地下水的大量排泄，引起地下水动力条件改变是导致岩溶塌陷的主要原因。

## 第三章 农业塌陷子系统

### 第一节 塌陷对农业的影响

#### 一、我国的农业区划及塌陷分布特征

广义的农业包括种植业、畜牧业、渔业和林业，这是利用土地、水、气候等自然资源，开发利用生物资源以满足人类生活需要的国民经济最基本的产业部门之一。农业生产具有非常强的地域性和综合性，在我国存在着三条十分重要的农业地理界线——400mm 年等降水量线、青藏高原边缘线和秦岭—淮河线。

这三条农业地理线，就把中国陆上部分大体划分成四大农业区域，即北方旱地农业区域、南方水田农业区域、西北牧业与灌溉农业区域和青藏高寒牧业与农业区域。这四大农业区域，是中国陆地部分农业生产重大地域分异的反映。

#### (一)我国十大农业区

按照自然条件和社会经济条件，以及农业生产的基本特征，东部区域秦岭—淮河线以北的北方地区，可以分成四个农业区：东北区、内蒙古及长城沿线区、黄淮海区和黄土高原区；此线以南的南方地区，可以分成三个农业区：长江中下游区、西南区和华南区。这样，陆上西部区域二个农业区，东部区域七个农业区，再加上海域部分一个海洋水产区，全国可初步划分为十大农业区。各区情况简介如下：

#### 1. 东北农业区

本区包括黑、吉、辽(除朝阳市外)三省及内蒙古东北部大兴安岭地区,面积  $95.3 \times 10^4 \text{km}^2$ 。是全国农垦历史较晚,人均耕地较多,森林资源丰富,又有大量优质的宜农荒地,是提供大量商品粮、大豆、木材等农林产品的重要生产基地。

## 2. 内蒙古及长城沿线牧农林区

本区包括内蒙古包头以东地区(除大兴安岭区外)、辽宁朝阳市、河北承德市和张家口地区、北京市延庆县、山西晋北和晋西北地区、陕北榆林地区沿长城各县、宁夏盐池和同心县,面积  $80.1 \times 10^4 \text{km}^2$ 。本区处于东部平原向内蒙古高原,由半湿润向半干旱及干旱地区的过渡地带,是个草原广阔、农牧兼营,在全国畜牧业生产中占有重要地位的一个农业区。

## 3. 黄淮海农业区

本区位于长江以南,淮河以北,太行山及豫西山地以东,包括北京市大部、天津市、河北省大部、河南省大部、山东省全部、安徽和江苏两省淮北地区,面积  $44.4 \times 10^4 \text{km}^2$ 。是一个平原辽阔、农垦历史悠久,人口稠密、垦殖指数较高、耕地面积最多,全国旱粮和棉花、油料的主要产区。

## 4. 黄土高原农林牧区

本区位于太行山以西、青海日月山以东、伏牛山及秦岭以北、长城以南,包括河北省西部少数县份、山西省大部、河南省西部、陕西省中北部、甘肃中东部、宁夏南部及青海东部,面积  $40.6 \times 10^4 \text{km}^2$ 。是一个大部分为黄土覆盖的丘陵和高原,水土流失严重,以杂粮生产为主,产量不稳不高,亟待综合治理的农业区。



### 5. 长江中下游农林养殖区

本区位于淮河—伏牛山以南，福州—英德—梧州线以北，鄂西山地—雪峰山线以东，包括河南省南部、苏、鄂、湘大部，沪、浙、赣全部，闽、粤、桂北部，面积  $96.9 \times 10^4 \text{km}^2$ 。本区是一个地处亚热带，平原、丘陵、低中山交错分布，热量、水分、土地条件都比较富饶，人多地少，农、林、渔业都比较发达，农业生产水平较高的农业区。这里一向是稻谷、棉花、油菜籽、麻、茶叶、蚕丝、生猪、木本油料、淡水及海洋渔业等主要农作物基地或集中产区，在中国农业生产中占有举足轻重的地位。

### 6. 西南农林区

本区位于秦岭以南，百色—新平—盈江线以北，宜昌—溆浦线以西，川西高原以东，面积  $100.8 \times 10^4 \text{km}^2$ 。该区地形复杂，山地丘陵占优势，自然条件和农业生产垂直分布差异显著的重要亚热带农林产区，亦是我国重要的粮食、油菜籽、甘蔗、烟叶、茶叶、桑蚕丝、生猪产区，以及经济林、用材林、畜产品的主要生产基地之一。

### 7. 华南农林热带经济作物区

本区位于福州—大埔—英德—百色—新平—盈江线以南，面积  $49.6 \times 10^4 \text{km}^2$ 。地处南亚热带及热带，四季常青，一年多熟，是我国唯一的热带经济作物的适宜种植地区。

### 8. 甘新农牧林区

本区位于包头—盐池—天祝线以西，祁连山—阿尔金山以北，面积  $225.4 \times 10^4 \text{km}^2$ 。是一个气候干旱、地广人稀、少数民族聚居，以依靠高山雪水或黄河河水灌溉的农业和牧业为特色的农牧林区。

### 9. 青藏高原牧林农区

本区面积  $226.9 \times 10^4 \text{km}^2$ ，是一个大部分为海拔 4000m 以上的高原和山地，以放牧畜牧业为主，农、林、牧业生产都带有高寒特色的农业区。

#### 10. 海洋水产区

面积约为  $120.8 \times 10^4 \text{km}^2$ 。港湾岛屿众多，形成面积辽阔、条件优越的浅海渔场，是中国主要的海洋渔业基地所在。

### (二) 各农业区的塌陷灾害分布

除海洋水产区外，塌陷地质灾害广布 9 个农业区，尤以农业经济最发达的长江中下游、黄淮海平原以及黄土高原为重，详见表 3.1。

表 3.1 我国主要农业区岩溶及塌陷灾害分布一览表

农业区名称	碳酸盐岩分布及岩溶发育	岩溶塌陷	地面沉降	地裂缝	采空塌陷
东北农业区	碳酸盐岩零星，岩溶发育微弱	弱	弱	弱	中
内蒙古及长城沿线牧农林区	碳酸盐岩零星分布，岩溶微弱发育	弱	弱	弱	弱
黄淮海农业区	碳酸盐岩分布较广，岩溶强烈—中等发育	强	强	强	强
黄土高原农林牧区	碳酸盐岩分布较零星，岩溶中等—微弱发育	强	中	中	强
长江中下游农林养殖区	碳酸盐岩分布较密集，岩溶强烈发育	强	强	中	中
西南农林区	碳酸盐岩分布广泛且密集，岩溶强烈发育	强	强	弱	中
华南农林热带经济作物区	碳酸盐岩广泛分布，岩溶强烈发育	强	弱	弱	弱
甘新农牧林区	碳酸盐岩较零星，岩溶弱发育	弱	弱	弱	弱
青藏高原牧林区	碳酸盐岩较广泛分布，岩溶弱发育	弱	弱	弱	弱

## 二、塌陷对农业的影响和危害

### (一)塌陷对土地资源的破坏

塌陷对农业最大的危害是破坏土地资源。我国土地紧缺，人多地少的矛盾十分突出。我国现有耕地面积总共为142455万亩，人均耕地仅1.36亩，不足世界人均占有耕地(5.5亩)的1/4，现在耕地还在以每年600~700万亩的速度锐减，人口却以每年1500万的速度剧增。塌陷造成的土地损失不仅加剧了人多地少的矛盾，而且严重制约了农业的可持续发展。我国的人口主要集中在东部经济区，那里的人均占有耕地远低于全国平均值，土地更为珍贵，而塌陷又恰恰在这些地区最为发育，因此所造成的影响相对更大。

在我国大部分煤矿区位于农业区，矿山开采沉陷(特别是采煤)对农田的破坏尤为突出。据不完全统计，截至1990年底，我国国有煤矿因开采塌陷土地面积达 $30 \times 10^4 \text{ha}$ ，平均开采万吨煤塌陷土地面积0.2ha。其中东部平原矿区占1/3，约 $10 \times 10^4 \text{ha}$ 是良田。随着采煤量的增加，塌陷面积的扩大，1993年塌陷面积就达 $2 \times 10^4 \text{ha}$ ，按15万元/a·ha计，年直接经济损失在30亿元以上。按1994~2000年煤炭工业七年发展规划，平均每年计划采煤12亿吨，估计每年塌陷土地面积 $2.4 \times 10^4 \text{ha}$ ，2000年以后，每年塌陷土地面还将以4%~5%的速度递增。

岩溶塌陷造成的土地损失也很严重。据不完全统计，已在全国23个省区发生778处以上的岩溶地面塌陷，塌坑近30000个。

塌陷对土地的破坏方式主要可分为两类，即直接破坏和间接破坏。直接破坏是地面突然发生坍塌成为坑洞，造成土地的直接损失。这种破坏多为岩溶塌陷引起。

1988年6月12日至7月4日，江西省吉安县永和乡亘中村产生岩溶地面塌陷，塌陷坑10个，其中最大直径达52m，另外还出现地裂缝数十条，波及范围约 $6 \times 10^4 \text{m}^2$ ，毁坏农田、水渠，危及村民安全。该处塌陷东距赣江大堤仅1km。在吉安县境内还有类似的岩溶地面塌陷多处，它们威胁赣江大堤安全长达21km。又如1980~1985年，广西玉林县分界圩产生岩溶地面塌陷坑400个，主要由于久旱无雨、区域地下水下降引起。

塌陷对土地造成的间接破坏是通过地面发生缓慢沉陷变形、开裂等使农田生态环境发生改变，逐渐变成沙化、盐渍化、沼泽化和劣地，降低了土地的可使用性。这种影响又可分为两种类型。

#### 1. 高潜水位地区

在高潜水位地区，地表沉陷引起地下水位相对上升而接近或超出地表，使土地发生盐渍化或沼泽化。

(1)当潜水位接近地表时，潜水蒸发量增大，在蒸发作用下，地下水中的盐分大量积聚地表，造成土壤盐渍化，并且随着潜水位埋藏深度越小，地表积盐现象越严重。这是因为当地表沉陷到一定深度，地下潜水(中的盐分)能够补充土壤水盐分时，就可能发生土壤盐渍化。

(2)当潜水面上升接近地表，并达到了农作物根系所及的范围时，它将阻止作物根系向下发展，阻碍作物对水分和土壤养分的吸收，抑制根系的生长，造成作物减产。

(3)当地表沉陷使地面标高低于地下水位时，地下水将长期出露，使大片农田沼泽化成为永久性积水区。再者，由于地表塌陷使地势相对低洼，在雨季大气降水汇集塌陷区，地表变形使原有的排水系统失效，不能排除积水，使农田受

淹，甚至形成沼泽地。沼泽化后的土地，正常农田生态系统完全消亡，转化为半封闭型的、功能低下的沼泽、湖泊生态系统。这种状况在我国东部农业区的枣庄、兖州、大屯、淮南、淮北等矿区相当严重。

徐州、兖州、淮南、淮北矿区历年统计表明，每采万吨煤平均沉陷土地  $0.15 \sim 0.3\text{ha}$ ，积水深达  $2.5 \sim 4\text{m}$ 。江苏省大屯矿区年产煤炭 400 万吨，年塌陷土地  $149\text{ha}$ ，年征地费 3354 万元，每吨煤成本将负担 8.4 元。我国平原区年采煤 2 亿余吨，按每采万吨煤平均沉陷土地  $0.2\text{ha}$  计，年塌陷面积达 0.4 万  $\text{ha}$  以上。开滦煤矿经过 110 余年的开采，已形成约  $60\text{km}^2$  的采空区，全矿区塌陷面积  $11172.7\text{ha}$ ，其中积水面积 2000 余  $\text{ha}$ 。预计到 2000 年开滦煤矿还将占地  $5333\text{ha}$ ，其中约  $2800\text{ha}$  为塌陷地，约  $2500\text{ha}$  用于压煤村庄搬迁。

## 2. 低潜水位地区或丘陵山区

在低潜水位地区或丘陵山区，塌陷对农田的影响主要是地表倾斜和拉伸变形引起。

(1) 受拉伸变形的地表将产生许多裂缝，致使耕作层土壤水蒸发量增大，田间持水力降低；裂缝孔隙的增多还将造成降雨或灌溉时土壤养分的淋溶和土壤侵蚀加剧，导致水土流失；同时，土壤的拉伸和压缩变形对作物的根系也产生一定伤害。这些都将造成农作物生长缓慢和减产。

(2) 地面沉陷使得农田地表坡度发生改变，坡度增大，增加了地表水（浇灌水或淋水）的流速和流量，从而加快了土壤的侵蚀和肥料养分的流失，水土流失加剧，对作物生长带来了不利影响。这种情况在山区更为严重。

据美国农业部的研究成果，地表倾斜从“缓斜到中等缓斜”的坡度最容易引起风蚀和水蚀。坡度为  $60 \sim 80\text{mm/a}$

时，农作物产量和生产力指标下降，坡度再大则明显下降。一般来说，当地表坡度大于  $20\text{mm/a}$  时，农田灌溉将开始受到影响；当地表拉伸变形为  $2 - 4\text{mm/a}$  时，地表就开始产生明显的裂缝。此外，塌陷造成土地局部凹陷，将引起近地表空气温度变化，对作物生长产生不利影响。

土地是一种可再生资源。塌陷使土地的再生周期延长，削弱了它的使用效率，这种延长有的是数年、数十年，严重者可达数百年，将影响数代人的使用。这严重违背了可持续发展的指导思想。随着社会经济的发展，我国的土地资源日趋匮乏。尽管从 1986 年开始加强了土地管理，但高速的工业化和城市化发展使每年的耕地量总在减少（见表 3.2）。耕地是农业最重要的生产要素。耕地资源减少，影响农业生产的同时，人口的增长、人民生活水平的提高却对农产品的需求日益增加，这更引起农用土地资源的紧张，土地资源的供需矛盾更加尖锐。

表 3.2 1991 ~ 1995 年我国耕地资源减少情况（单位： $10^4\text{ha}$ ）

时 间	1991	1992	1993	1994	1995
减少量	33	49	49	47	41
百分比	0.33	0.49	0.49	0.47	0.41
备 注	1990 年耕地总面积：9930.5 1995 年耕地总面积：9497				

## （二）对农业生产水平的影响

塌陷破坏了农田生态环境，使原有的良田变成盐渍化、沼泽化或高低不平、丧失养分的劣地，必然降低农业生产水平。

淮北市塌陷区面积为  $62.73\text{km}^2$ ，共 17 个乡镇，95 个行

政村，农业人口 14.6 万人，劳动力 6.5 万个，土地总面积  $196.4\text{km}^2$ ，现有耕地 10 万亩，人均耕地 0.69 亩，现有塌陷面积 9.4 万亩。塌陷区塌陷前农业生产比较正常，主要作物平均亩产都在  $250 - 400\text{kg}$  以上。塌陷后，因积水土地无法耕种，种植业收入下降 80% 以上。年减产粮食约 4000 多万  $\text{kg}$ 。因此，塌陷区近 10 万农民主要依靠国家供应粮食。1987 年塌陷区农村社会总产值 25771 万元，人均收入 534 元，粮食总产 41712t，肉食总产 1984t，水产品总产 847t。塌陷区生产力水平低，特别是水产业亩产只有  $29.5\text{kg}$ 。塌陷区资源分布面广，形状不规则，水底障碍物多，给养殖、捕捞和管理带来不便，由于塌陷区是封闭型锅底状，无客水流入，枯水季节水面缩小，四周多为沼泽地。还有一部分塌陷区下陷很浅，雨季成为沼泽，枯水季节为荒滩，必须加以改造治理，才能适于农、林、牧、渔各业的发展。

根据美国世界经济研究所的研究，由于耕地减少，在 1990 ~ 2030 年之间，中国谷物产量将严重下降。中国将面临严峻的缺粮问题，预期的工农业发展目标将因供地不足而难以实现。

### (三)对土地利用方式和产业结构的影响

塌陷后，土地一般不能再耕种，也不能作为村庄和道路。形成水面的大部分长期荒芜，只有少部分土地农民自发地进行粗放经营。

就产业结构讲，塌陷后失去土地的农民由以第一产业为主转为以第二、第三产业为主；在第一产业内部，由以种植业为主转为以养殖业为主；种植业内部由以粮食为主转向经济作物为主。

### (四)对农民居住条件和社会安定的影响

塌陷迫使村庄搬迁，新庄址往往距原有耕地距离加大，使农民耕种不便。开滦矿务局范各庄矿到 1990 年底先后搬迁了 11 个村庄、1 座小学，涉及到 1488 户 7305 人，拆迁房屋 6410 间。预计到 2000 年末全局还将搬迁 3 个城镇、75 个村庄，涉及村民约 6 万余人。西北地区农民大多居住窑洞，塌陷往往使窑洞变形、裂缝、塌方、倒塌，严重影响村民居住。陕西铜川矿区有 300 孔窑洞不同程度地受塌陷影响。另外，塌陷使农民失去土地，无田可种，无业可就，生活来源困难。失业和贫困往往带来犯罪率上升等许多社会问题的出现。

#### (五)对农业水资源的破坏

农业水资源是由地表水和地下水组成。塌陷可造成地表水和地下水漏失。

##### 1. 对地表水资源的破坏

塌陷使水库渗漏。建在岩溶发育地区的水库，由于地下岩溶空洞或暗河的存在，在库水压力及库水位升降、地表—地下水流渗透、地下水位的急剧变化等引起的动力作用下造成水库塌陷，使水库产生严重渗漏，甚至成为干库。如陕西桃曲坡水库，库容  $4300 \times 10^4 \text{m}^3$ ，1974 年建成后库盆产生塌坑 6 个，日漏水量  $4.54 \times 10^4 \sim 5.77 \times 10^4 \text{m}^3$ 。1975 年 10 月在坝前 1km 处集中漏水，漏水量达  $204 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ，16 天内库水全部漏光。后对库底塌坑洞穴进行封堵，仍漏水严重。1976 年 7 月中旬突然出现两个塌陷漏斗，将库水再次全部吸光，渗漏量达  $28 \text{m}^3/\text{s}$ ，至 1978 年共产生塌陷 20 多处。又如湖北平阳一号水库，坝高 15.3m，蓄水后坝前库内出现 20 多个塌洞，无法蓄水，被迫在下游另建一个水库。再如广西丹八圩水库，库容  $2000 \text{m}^3$ ，蓄水后突然一声巨响，坝附



近产生三个塌坑，水库漏水，至今未能修复。

在我国南方，约有 20% 以上的中小型岩溶水利水电工程都发生过水库或坝基塌陷，大部分都伴有渗漏发生。水库渗漏不仅影响农业灌溉用水，而且影响水电站对农业电力资源的供应。

当塌陷坑或塌陷裂缝与河水贯通时，造成河水流入地下，不仅使地表水资源减少，而且改变了地表水和地下水的循环方式，影响农田生态环境。另外，塌陷还使雨水或洪水灌入岩溶塌陷落水洞或矿井采空区，改变了地表的径流条件。例如，1984 年 6 月 25 日晚至 26 日凌晨，湖南涟邵恩口矿区连降大暴雨，洪水冲垮木杉河堤，流量约  $8000\text{m}^3/\text{s}$  的河水灌入河边的岩溶塌陷落水洞，导致该河岸附近的木杉小煤窑被淹，水流沿着小煤窑巷道及岩溶通道直接灌入矿井，使河水资源遭受损失的同时对矿井也造成了巨大危害。

## 2. 对地下水资源的破坏

塌陷破坏了覆岩的岩石力学性质和地下水动力状况，造成地下水流量、流向都被改变，地下水位大幅度下降，使水源断水干涸。

## 三、塌陷对农业影响和危害的特点

塌陷从发生时间上讲，可分为突发性塌陷和缓慢性沉陷两种。突发性塌陷是在短时间内突然发生的垂直陷落，多为岩溶塌陷或与岩溶塌陷有关的采空塌陷，南方农业区发生最多。突发性塌陷往往面积较小，对土地造成的损害也较小。缓慢性沉陷是地面长时间发生的缓慢下沉变形，多为煤矿开采或过量开采地下水引起，一般发生在平原地区。缓慢性沉陷面积往往较大，对土地的影响范围也较大。

塌陷造成的危害可分为直接危害和间接危害。直接危害是塌陷所直接造成的破坏，多为突发性塌陷所为，如地面开

裂变形造成的对土地、农业设施和农房的毁坏等。间接危害是塌陷通过诱发另一种灾害而造成的危害，多为缓慢性沉陷所为，如塌陷造成土地盐渍化、沼泽化和水土流失等次生灾害，这些次生灾害又影响农作物生长，造成农业减产。

塌陷对农业造成的最主要危害是破坏土地资源，减少耕地面积，严重影响了土地的可持续利用性，破坏了土地的再生自生能力。这种破坏有的是可恢复的，如那些塌后地形地貌无明显变化的丘陵山地，只要将局部漏斗或塌坑和裂缝填堵，土地加以平整即可耕种；但中东部平原区的地面沉降和大量开采沉陷，不仅无法恢复其原有的地面高程和平坦度，而且由于地势低下而造成的常年积水状况也难以改变。这使再生资源难以再生，可持续发展难以实施。

#### **四、保护耕地资源，促进农业持续发展**

土地作为重要的生产要素，需要满足社会经济发展的各个方面的需求。然而土地资源总量是有限的，在分配到不断发展的各个行业利用过程中产生矛盾是必然的。但是，农业是经济效益小、社会效益大的产业，在市场经济条件下，由于目前调控机制还不健全，受经济比较利益的驱使，造成许多地区将农业用地转向非农产业利用，大量耕地被占用和毁坏，其结果导致土地资源大量从社会效益和生态效益高的产业流向经济效益高的产业，造成整个社会经济系统不平衡发展，难以实现可持续发展的目标。土地资源是国家重要的经济资源，是人类的宝贵财富，进行合理利用和保护将具有深远意义。土地是国民经济各部门生产和发展的物质基础，国家应通过调整土地利用结构宏观调控国民经济各部门发展速度。因此，尽快建立全国土地资源垂直管理体制是持续利用和保护土地资源的战略决策，也是保证社会经济持续发展的关键。

由于农业用地对土壤的水、肥、气、热要求严格，所以适宜的农用土地资源更加紧张。美国世界经济研究所所长布郎曾预言“粮食问题今后很可能将取代军事安全成为各国政府关心的头号问题”。尤其对中国这样一个拥有十几亿人口，且每年以 1400 万人口增长的大国，粮食问题将更加突出。保护耕地资源除应采取法律措施外，在行政管理上同样应消除地方垄断。加强农村土地的国家调控更加迫切地摆在人们的面前。我国应制订一系列调动农民生产积极性的政策，包括缩小城乡差别，减少工农产品比价，理顺农产品内部价格关系等，从经济政策上鼓励土地用于农业生产。

## 第二节 农业塌陷灾害实例

### 一、两淮煤矿塌陷及对当地农业经济的影响

#### (一)塌陷区概况

两淮(淮南、淮北)煤矿位于安徽省北部，北临陇海线，南迄淮南市，西到阜阳市，东过津浦线，跨 2 市 11 县，南北长 150km，东西宽 60 ~ 80km，含煤盆地面积 10122km<sup>2</sup>，其中含煤面积 2000km<sup>2</sup>，占两市土地面积的 41.4%。已探明储量 226 亿吨，保有储量 221 亿吨，已开发利用 94 亿吨。矿区土地适应性强，农业资源丰富，是传统农业耕作区，农作物播种面积  $43.7 \times 10^4$ ha，其中粮食播种面积  $36.5 \times 10^4$ ha。

淮南煤矿淮河以南矿区，平均每开采万吨煤塌陷土地 0.158ha。淮北煤矿地下煤层倾斜角较小，每开采万吨煤塌陷土地 0.283ha。至 1987 年，两淮矿区塌陷面积已有  $1.1 \times 10^4$ ha，占两市全部耕地面积的 4.52%。由于土地塌陷和人

口增长，淮南市每一农业人口占用耕地面积由 1949 年的 0.31ha 下降到目前的 0.064ha。淮北市所辖三区每一农业人口仅占耕地 0.043ha，人多地少的矛盾十分突出。据预测，到 2000 年两淮煤矿塌陷耕地将达到  $2.37 \times 10^4$ ha，占两市全部耕地面积的 9.7%。

## （二）塌陷对当地农业经济的影响

### 1. 对农业生态环境的影响

煤矿塌陷破坏了原有水系，使已建水利工程和设施不能发挥效益；封闭的塌陷区水体，削弱了排污能力，水体污染严重，土壤盐碱化也日益严重；原有大量耕地变成荒芜的水面和沼泽地，一些旱地生物逐渐减少和消失。

### 2. 对土地利用方式和产业结构的影响

塌陷后的土地一般不能再耕种，也不能作为村庄和道路。形成的水面大部分长期荒芜，只有少部分由农民自发地进行粗放经营。

就产业结构讲，塌陷后失去土地的农民由以第一产业为主转为以第二、第三产业为主；在第一产业内部，由以种植业为主转为以养殖业为主；种植业内部粮食为主转向经济作物为主。

### 3. 对人口及劳动力就业结构的影响

两淮矿区由于土地塌陷，大量农民失去耕地，使原来比较宽松的就业条件变得十分紧张。据 1989 年统计，农转非人口待业率为 70%。按每公顷耕地平均承载农业人口 8.25 人计算，到 2000 年，两淮矿区还将有 10 万农业人口完全失去耕地，这些农民只有少部分转为非农业人口。以淮北市为例，14 万失去土地的农民中只有 4 万人转为非农业人口，在其余的农业人口中，有 60% 仍在遭到破坏的土地上耕种、

养殖，即使已办理了农转非手续的农民，因就业转移困难，有的仍然从事农业生产。

#### 4. 对区域生态环境、经济环境、社会环境的影响

矿区塌陷使大片土地荒芜，削弱了生物美化环境、净化空气、防止环境污染的功能，特别是大量煤矸石、粉煤灰在没有结合复土还田进行处理的情况下，含有大量铜、铬、镉、铅、钾等化学元素，是严重的污染源。淮北电厂每年向塌陷区排放的  $80 \times 10^4 \text{m}^3$  粉煤灰中，氟含量竟达  $29 \times 10^4 \text{kg}$ 。降尘量超过国家标准，出现酸性降水，淮北地下水已存在氨、氮、硝酸亚氮、亚硝酸盐的污染。城市环境质量日益下降。

大片土地荒芜必然减少对城市粮食、肉食、水产、蔬菜的供应。塌陷区每年少收 0.5 亿公斤粮食，城市就要每年从外地调进几千万公斤粮食，仅此一项，经济损失相当大。贫困的农民由于购买力不足，还将使城市工业失去一块广阔的农业市场。

地表塌陷深浅不一，浅塌陷区深度为 2m 左右，种植农作物不能抗淹涝，发展养殖业难以蓄水，不少成为沼泽洼地；中塌陷区深度为 2 - 10m，一部分积水，一部分成为沼泽洼地；深塌陷区深度为 10m 以上，一般形成大面积水域。中、深塌陷区不能种植农作物，可发展养殖业，但由于水面大，水底杂物多，单产较低。此外还有不稳定塌陷区，由于其地表仍在变化，开发难度较大。

目前，塌陷区农民的生活来源相当程度是由三个因素支持的：一是征地拆迁赔偿金；二是靠矿井支持；三是进工矿做的临时工。然而，赔偿金终会吃完用尽，矿井开采完毕将要撤离，这三个支持因素将逐渐消失。若不积极对塌陷土地

资源进行综合治理，塌陷区农民生活水平将难以维持。据调查，淮北市相山任圩镇 2387 户中，有 690 户缺粮，占调查户的 28.9%，贫困户占总数的 17.9%。近年来，淮南、淮北两市的社会犯罪率居全省之首，农民上访不断，恶性案件不断发生。

黄淮海农业区是我国最重要的农业生产基地之一，又是各类塌陷最为发育、危害最为严重的地区之一。两淮煤矿是我国重要的煤炭生产基地，煤矿开采塌陷所造成的危害不仅在该农业区而且在东部平原区都具有代表性。

## 二、陕西渭北煤田地表塌陷及对当地农业经济的影响

陕西渭北煤田地处黄土高原地区，煤矿开采引起的地表塌陷与非黄土层覆盖区和平原矿区相比，具有下沉系数大、地表裂缝发育和诱发山体滑坡等特点，总结和研究这一地区的地表塌陷规律，对于指导西北地区乃至全国黄土丘陵区地表塌陷的防治具有十分重要的意义。

### (一)煤田概况

渭北煤田位于陕北黄土高原南缘，自东向西分布于韩城、合阳、澄城、白水、蒲城、铜川和耀县等 7 个县市，东西长 220km，南北宽 37 ~ 50km，面积约 10000km<sup>2</sup>，煤系地层走向由东北向南展布，素有“渭北黑腰带”之称。

煤田总体构造为一单斜，地层走向北东，倾向西北，倾角 5° ~ 15°，含煤地层为石炭二叠系的太原组和山西组，共含煤 11 层，其中可采和局部可采煤层 7 层，单一煤层厚度 1 ~ 5m，煤种以瘦煤、贫煤为主，探明储量 6170 亿吨。经过 40 多年的开发建设，已建成铜川、蒲白、澄合和韩城四大矿区，成为陕西省主要的煤炭生产基地。

煤田地处黄土高原地区，地形复杂，梁峁相间，冲沟发

育，沟谷深切，黄河从煤田东部流过，洛河从煤田中部流过。由于长期受地质外动力的作用和新构造运动的影响，生态环境脆弱，水土流失严重。

煤田地处关中平原东部，是陕西工农业较发达地区，西(安)一侯(马)铁路横贯东西，西(安)一延(安)铁路穿越南北，公路纵横交错，农田广布，村庄和人口密集，为地表塌陷敏感地区。

## (二)地表塌陷规律

从煤田的地表塌陷实际调查和观测资料分析来看，渭北煤田地表具有以下规律和特点：

### 1. 下沉系数大

由于黄土层覆盖厚度大，黄土层大大降低了覆盖层的平均硬度，地表下沉系数大，较非黄土覆盖区增大 28%，初采下沉系数可达 0.85 以上。

### 2. 移动角大

上覆黄土垂直节理发育，基岩移动一旦传递到地表，地表就出现垂直裂缝，因此，黄土层移动角较一般冲击层移动角大。一般冲击层移动角为  $45^{\circ}$ ，而渭北煤田黄土层移动角一般为  $53^{\circ} \sim 64^{\circ}$ 。

### 3. 地表移动变形周期短，传递速度快

受湿陷性黄土层覆盖影响，工作面开采引起上覆岩层能迅速传递到地表，地表移动开始阶段和活跃期短，地表下沉值主要发生在活跃期阶段。如蒲白矿区马村煤矿 14506 工作面地表移动起动距为平均采深的 0.33 倍，地表最大下沉点下沉速度开始阶段仅为 49 天，活跃期阶段为 222 天，活跃期地表下沉值占总下沉量的 89%。

### 4. 地表裂缝发育

受采动影响，地表裂缝在采空区周围呈有规律的分布，该特点是黄土地区所特有的。据实测资料分析，当地表水平拉伸变形值达到  $0.8 \sim 2.2\text{mm/m}$  时，地表往往出现裂缝，而且，土层结构不同，塌陷裂缝的特点也不同。土质偏硬地区，地表塌陷呈脆性变形，地表裂缝延展连续，并有明显落差；土质偏软地区，地表塌陷呈柔性变形，地表裂缝延展多不连续，无明显落差。

### 5. 容易诱发山体滑坡

从渭北煤田各矿区地表塌陷实际调查看，地表塌陷在原上平坦地区出现下沉盆地，而在梁峁沟谷斜坡上容易出现滑坡。

### (三)地表塌陷环境影响特征

调查表明，由于开采中对矿井工业设施，铁路专用线以及河流等一般均留设有保护煤柱，因此渭北煤田受塌陷影响的对象主要是村庄建筑、农田耕地、水井水泉以及公路、输电线路等。

#### 1. 破坏村庄建筑，影响村民居住

区内村庄房屋结构一般为土木和砖土结构，且多为窑洞，抗变形能力极差。塌陷往往使房屋受损，严重影响村民居住。房屋受塌陷影响的特征为土窑塌方、倒塌，砖窑裂缝、窑面前倾、门窗变形、地基上鼓。

从铜川矿区 300 孔窑洞受塌陷影响的调查资料看，窑洞受塌陷影响的程度与采煤方法、窑洞所处工作面的位置、地形及工程地质条件和窑洞结构均有关系。

#### 2. 影响农田耕种，造成粮食减产，沟坡滑坡和增加水土流失

区内农业发达，农田广布，在地形较平坦的原上，产生塌陷盆地，塌陷裂缝影响农田耕种，土壤保墒和农田灌溉，



一般减产 20% ~ 30%。但由于黄土层对塌陷裂缝的吸收、缓冲和充填作用，经过一段时间后（0.5 ~ 2 年），塌陷裂缝往往会自然恢复，也就是说，塌陷对土地耕作的影响是可逆的。而在地形坡度较大的山坡、沟谷、河谷一带，塌陷诱发滑坡，造成表土剥落，基岩裸露，林木倾倒，植被破坏，造成新的水土流失。

### 3. 井、泉泄漏，影响村民饮水

与陕西其他矿区相比，渭北煤田因缺失第三纪上新统粘土层隔水层，煤层开采后受导水裂隙和地表裂隙的作用，往往造成井泉泄漏、枯竭，严重影响村民饮水。如韩城下峪口矿塌陷影响吕家岭和荆家坡等村庄泉水泄漏和水井干枯，影响村民吃水，该矿用汽车拉水，以解决村民用水问题。

## 三、抚顺矿区采煤沉陷及其对耕地的破坏

抚顺矿区正在开采的有两个井工矿（老虎台矿和龙凤矿）和一个西露天矿。煤矿的开采塌陷直接影响周围环境并破坏耕地。

### （一）地下开采塌陷的规律

#### 1. 地质条件

抚顺煤田位于新生代第三系煤田，海拔标高为 +700 ~ +110m。煤田西自古城子河，东至东洲河，近东西走向，长 18km，由南向北倾斜，南北平均宽为 2.0km，面积 36km<sup>2</sup>。构造较复杂，断层较多，其中 F<sub>1</sub> 号断层由于逆断作用，将第三系含煤层在向斜北翼深部切断，构成煤田北部边界大断层，煤田内部有 F<sub>6</sub> 号断层，将煤田分成东、西两部。F<sub>6</sub> 号断层以西称为西部，有胜利井田（已停产保城），西露天矿田；东部有老虎台井田，龙凤井田，还有尚未开采的东露天矿田。

抚顺煤田为轴向近东西不对称的向斜构造，东部龙凤矿井田呈不对称的向斜，北翼煤层倾角较陡，一般为  $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ；老虎台井田东部煤层北翼为覆瓦状构造所切割，老虎台井田西部及胜利井田东部，煤层北翼为  $F_1$  号断层切割，成为向斜倒转，到煤层西端（西露天矿田西部）向斜封闭轴部升起。煤层最大潜伏深度为 1130m（老虎台井田西部）。

煤层厚度由西往东逐渐变薄，西部西露天矿田最厚为 130m；老虎台井田为 38 ~ 97m，平均为 55m；龙凤井田为 8.1 ~ 51.0m，平均为 19.3m。煤层底板为炭质泥岩，泥质页岩、凝灰岩。顶板为油母页岩，厚度为 84 ~ 185m，平均为 110m。绿色页岩，泥灰岩段，层厚为 137 ~ 600m，平均为 450m。

## 2. 采矿条件

抚顺矿区为特厚倾斜煤层开采，采煤方法除西露天矿为露天顶板露煤移动折返坑线开采方式外，老虎台矿、龙凤矿为竖井斜井混合阶段石门开采方式，采煤方法为“倾斜分层仰斜 V 型长壁水砂充填”采煤法。顶板管理方法采用水砂充填采空区，充填材料为废页岩矿渣，采充比一般为  $0.7\text{m}^3/\text{t}$  作用，废页岩矿渣充填体压缩率为 10%。自 1988 年先后在老虎台矿和龙凤矿开始综采，放顶煤冒落开采试验。开采深度为老虎台矿 660 ~ 710m；龙凤矿为 610 ~ 720m。

## 3. 沉降基本规律

抚顺矿区虽然采用水砂充填采空区，但地表沉陷值仍然很大。根据岩移观测资料计算，沉陷盆地的体积等于采空区体积的 48% ~ 54%。万吨煤塌陷率为  $350\text{m}^2$ 。下沉盆地面积为采空区面积的 6 ~ 12 倍。当采出厚度和采空区面积达到一定时，经过 3 ~ 6 个月时间，地面开始沉降，形成一微小

的下沉盆地  $W_1$ 。当采厚和采空区面积继续增加时， $W_1$  继续下沉，直至该采区的煤层全部采完后，由于上覆岩层的传递作用，一般需要经过 38 ~ 60 个月后，地面才能形成一个稳定的沉陷盆地  $W_2$ 。

根据抚顺矿区岩层移动的机理，当煤层采出后，采空区上覆岩层形成“三带”，依次为破裂带、离层带和弯曲带，顶板岩层一起向下沉降，沉降速度由下向上延缓，形成的弯曲程度愈接近地面愈小，沉陷盆地成尖底，属于非充分采动条件下的沉陷盆地。到下个水平开采时，该盆地继续沉降。开采后地面沉陷的速度是逐渐加大，最大下沉速度达 5.1 ~ 17.1mm/d，这种沉降盆地没有突然塌陷坑，是在缓慢过程中形成的。一般地表沉陷深度最大为采出厚度的 12% ~ 20%，重复采动为 40%，冒落开采为 45% ~ 70%。

## (二)沉陷破坏耕地情况

抚顺矿区的老虎台矿和龙凤矿，东西走向长 9km，南北平均宽 2.5km，沉陷面积为  $22.5\text{km}^2$ ，影响建筑物面积为  $160 \times 10^4\text{m}^2$ ，影响耕地 478ha，西露天矿剥离排矸场占用耕地 1213.3ha。

两个井工矿虽然采用水砂充填采空区，但由于是特厚倾斜煤层开采，地面累计下沉：龙凤矿为 12 ~ 15m；老虎台矿为 14 ~ 17m，地面从东至西已沉陷成 15 个积水泡子，其中老虎台矿 9 个水泡子，积水面积 48.4ha，积水深度达 2 ~ 5.6m，积水体积  $128.4 \times 10^4\text{m}^3$ ；龙凤矿 6 个水泡子，积水面积为 35ha，积水体积  $69.4 \times 10^4\text{m}^3$ ，积水深度达 6.4m。盆地中央沉陷深度已超过潜水位标高，形成常年积水，使原有农作物不能耕种，已造成绝产。塌陷盆地拐点部分，虽没被水淹，但地面沉降较大的裂缝和条带状地堑沟，平行于采

区走向方向，宽达 6 ~ 10m，深 0.1 ~ 1.2m，使菜田不能灌溉，造成严重减产，成为半绝产坡地，总面积为 85ha。

几年来由于井工采煤向深部水平发展，导致了对地面耕地破坏的增加，人均占有耕地逐年减少，引起了各级领导的重视。在能源部、东煤公司、国家和省市土地管理部门的领导支持下，于 1991 年初组织力量编制了《采煤塌陷区复垦还田综合治理工程规划》，并付诸实施。一年来已复垦还田 6.7ha。经过试种，效果良好。1991 年投资 317.7 万元，经济效益 631.3 万元，综合效益 959.3 万元。

## 第四章 交通运输塌陷子系统

### 第一节 塌陷灾害对交通运输的影响及特点

交通运输是国民经济基础构成中的一个重要部门。它既是第三产业重要行业之一，社会生产和生活的必要条件，又是一个独立的社会物质生产部门。实现旅客和货物在空间的位移是交通运输的目的和基本功能，因而，运输便成为社会再生产过程中不可缺少的重要环节。交通运输业作为商品流通及社会经济周转的物质基础，尤其是随着国民经济的日趋现代化，生产力布局的展开，各地区生产专业化与协作的加强，各地区、各经济部门、各企业之间经济联系必然会更加广泛和密切，这就要求及时地把原料、燃料、半成品、种子、化肥和农药等各类物资送往工厂、企业和田间，把产品送往加工企业和消费地区，以保证社会生产能够周而复始地进行。没有现代化的交通运输，现代经济生活就要停滞，社会再生产过程也就无法进行，从这个意义上讲，现代经济同现代交通运输是相辅相成的。

目前，我国已初步形成全国综合运输网，以铁路干线为主，水路、公路、民用航空和管道等各种现代交通线路相互衔接，地区分布遍及沿海、内地。综合运输网的骨架就是所谓“六横六纵”。“六纵”是指纵贯南北的主干线：①哈大铁路与沿海运航线；②京沪铁路；③京广铁路；④北同蒲（太原至大同）—太焦（太原至河南焦作）—焦枝（焦作至湖北枝

城)一枝柳(枝城至柳州)一黎湛(广西黎塘至广东湛江)铁路;  
⑤宝成(陕西宝鸡至四川成都)一成昆(成都至昆明)铁路; ⑥京九铁路。“六横”指的是: ①滨州(哈尔滨至内蒙古满洲里)和滨绥(哈尔滨至绥芬河)铁路干线; ②京沈、京包(北京至包头)、包兰(包头至兰州)和兰新(兰州至乌鲁木齐)铁路干线; ③陇海和兰新铁路干线; ④长江干流航道; ⑤浙赣、湘黔(湘潭至贵阳)、贵昆(贵阳至昆明)铁路干线; ⑥南昆铁路。

这些交通命脉目前也正受到塌陷灾害的影响和危害。铁路、公路沿线的塌陷近年来日渐增多, 造成车站建筑物损坏、路基沉陷、道轨悬空、桥涵开裂倒塌、隧道施工导坑灌水突泥等灾害, 使铁路断道停车事故时有发生, 甚至造成火车脱轨。有的地方列车长期限速慢行, 造成巨大损失, 不利于经济的可持续发展。

据铁道部门的调查统计, 在 1983 年铁路岩溶塌陷不足 20 处, 到 1992 年发展到近 500 处。其中, 最严重的近 60 处, 已经造成 3 次列车颠覆, 中断行车累计 2000 多小时以上。黄石地区大广山支线已断道 12 年之久至今未恢复。造成的直接经济损失, 一个工点少者几十万元, 多者达 3000 万元以上, 间接经济损失则无法估算。

### 一、地面塌陷对交通运输的影响

地面塌陷对交通运输的影响主要反映在三个方面, 即: 对铁路运输的影响, 对公路运输的影响和对江河航运的影响。

#### 1. 对铁路运输的影响和危害

地面塌陷在我国铁路上最早发现于浙赣线分宜车站。1964 年因路旁工厂抽水产生了 2 个穴坑, 后随抽水时间的延长、抽水量加大, 塌陷随之增至 1988 年的 84 处之多。

近 30 年来,岩溶塌陷已构成铁路工程地质环境的一大灾害。到 1989 年 3 月止,全路共发生岩溶塌陷 470 余处,其中危害较大的 55 处。55 处中,由于抽取地下水致塌的 22 处,坑道中地下水渗流致塌的 15 处,降雨入渗致塌的 5 处,河水位涨落或地表积水入渗致塌的 7 处,成因尚未查明的 6 处。塌陷分布如图 4.1 所示。

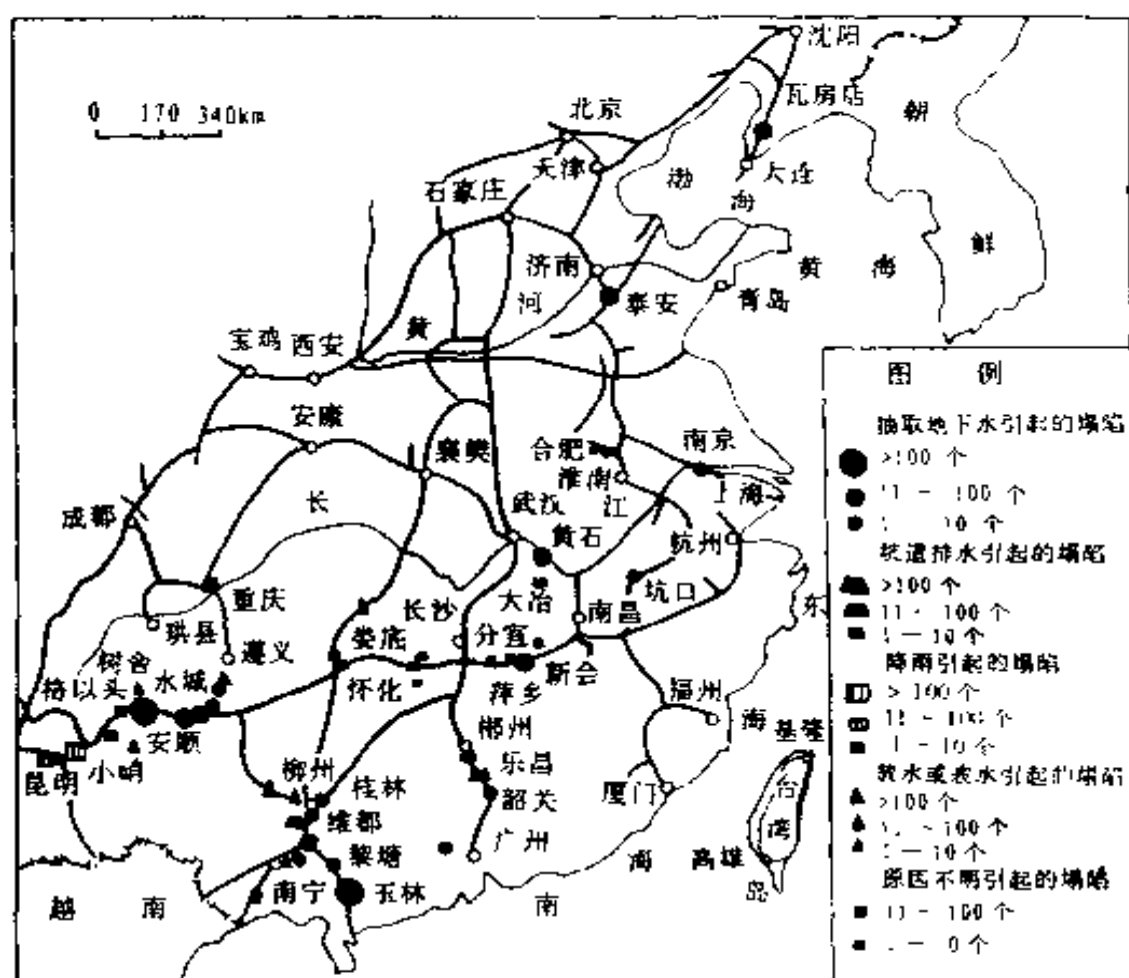


图 4.1 铁路沿线地面塌陷分布示意图

(据铁道部第二勘测设计院, 1991)

地面塌陷造成 3 次列车颠覆，中断行车 2000 小时以上，直接经济损失和整治费用，一个工点可多达 3000 多万元。对社会环境的损害则无从估计。

随着工农业及人民生活用水量的增加，为寻求流量稳定、且不污染或少污染的地下水，因而抽取地下水的势头迅速增加，由此引起的地面塌陷将有增无减，对铁路运输的危害不可忽视。

铁路沿线的地面塌陷一般有两种。一种是在岩溶地区修建铁路隧道，引起涌水、涌泥和地面塌陷等环境灾害；见表 4.1 (不完全统计)。另一种是在可溶岩地区修建路基工程，由于线路附近大量抽取地下水或者工程引起地下水运移条件的变化，也可引起严重的地面塌陷等环境灾害，见表 4.2 (不完全统计)。

表 4.1 铁路隧道岩溶塌陷简表 (据钱惠国, 1994)

线路	地 质 环 境			塌 陷	原 因
	覆盖层	基岩特征	岩溶特征	规 模	分 析
衡广复线大塘山隧道	2 ~ 15m 粘砂土和砂粘土	中泥盆统东岗岭灰岩，紧密倒转向斜，节理裂隙发育	0 ~ 200m 垂直岩溶，50 ~ 200m 水平岩溶发育，200m 以下岩溶发育微弱	影响 1.5km <sup>2</sup> ，塌陷 200 余处，地面开裂，泉水干涸	竖井和隧道涌水，涌水量 4000 ~ 15000V/d，大量抽，排地下水
衡广复线南岭隧道	第四系砂粘土盖层厚 0 ~ 30m	下石炭统岩关组大塘组灰岩砂页岩，构造复杂 NWW、NNE 向张性断裂发育	地表岩溶裂隙，溶洞、溶蚀洼地发育，充填砂粘土，与地表贯通性好	影响线路两侧 1600m，地面塌陷近百处，损失耕地 34.5 亩，泉水干涸，影响灌溉面积 593.8 亩	洞内涌水，涌泥，最大涌水量 8.1 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d，涌泥 30000m <sup>3</sup>



续表

线路	地 质 环 境			塌 陷	原 因
位置	覆盖层	基岩特征	岩溶特征	规 模	分 析
襄渝线 中梁山 隧道	3m 砂粘土	三叠系飞仙关组、嘉陵江统泥灰岩、灰岩，背斜构造，节理裂隙发育	地表溶洞漏斗，落水洞发育，地下水丰富	影响宽度达1.5km，最大塌陷面积247m <sup>2</sup> ，地下水位急剧下降，泉水干涸，地面岩溶塌陷复活，新生塌陷70余处	隧道内涌水达1.8 × 10 <sup>4</sup> - 5.4 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d
襄渝线 大巴山 隧道	砂粘土覆盖层0 - 30m	震旦系古生界灰岩，强烈褶皱断裂区，岩层破碎	地表岩溶发育	地面下沉、开裂，发生塌陷，深5 - 7m，直径大于20m	隧道揭露岩溶裂隙，涌水11000m <sup>3</sup> /d
衡广复线 波罗坑 隧道	第四系堆积层，破碎岩层厚10 ~ 20m	中泥盆统东岗岭灰岩		70m 以上地面出现塌陷	施工导致坍方，涌水流入大量粘性流泥夹块石

表 4.2 铁路路基工程岩溶塌陷简表(据钱惠国, 1994)

线路 位置	地质环境			塌陷 规模	原因 分析
	覆盖层	基岩特征	岩溶特征		
长大线瓦房店	3 - 16m 砂 粘土 砂类 土含砾粘 土	震旦系、寒武 系灰岩	基岩面下 10m , 岩溶率 21.5% , 10m 以下<3% , 潜 水埋深 0.5 - 5m	形成 28 个塌陷坑, 影响范围 1.8km × 0.7km	线路附近 强烈抽 水, 形成 4km <sup>2</sup> 的降 落漏斗, 中 心降深超 过 70m

续表

线 路 位 置	地 质 环 境			塌 陷 规 模	原 因 分 析
	覆盖层	基岩特征	岩溶特征		
浙赣线 分宜车站	10m 厚粘土 夹砾石	二叠系茅口 灰岩	钻孔岩溶率 34.3% - 41.4%	塌陷 70 余处, 影响 范围长 2.4km	附近工厂 抽取地下 水, 水位最 大下降 5m
津浦线 泰安车站	10 - 30m 砂粘土, 粉 砂, 卵石, 粘土夹砾 石	寒武系, 奥陶 系灰岩, 节理 发育	岩溶发育在高程 90m 以上, 以裂隙 型为主, 线岩溶率 <5% - 15%, 溶 沟, 溶槽发育	路基下沉, 路基范围 内 28 处塌陷, 泰安 地区发生近百处地 面塌陷	地下水日 抽取量 $5 \times 10^4$ t, 水 位下 降 40m
淮南复线九龙 岗一大树园间	上更新统 冲积粘土 厚 11.27 ~ 16m	寒武系灰 岩, 裂隙发育	岩溶率 10% ~ 16%, 潜水埋深 4 - 6m	涵洞护坡拉裂, 出现 16 处塌陷, 串珠状分 布	150m 深 井, 日抽水 量 1000 ~ 1500t, 井 位距线路 仅 30 - 160m
沪宁线, 南京岔线	第四系粘 土, 砂粘土	三叠系周冲 组白云质灰 岩, 硅质灰 岩, 角砾状灰 岩, 含石膏, 裂隙发育	钻孔遇岩溶率 15%	建成 80 年来未发生 塌陷, 1984 年起塌 陷 7 处, 威胁行车	大量抽取 地下水, 带 走溶洞充 填物和覆 盖层土
贵昆线马过河 —千海子, 浑 水塘—秧田冲 小哨站内	第四系, 坡 残积层厚 度较大	古生界白云 岩, 白云质灰 岩	地表典型的溶、 溶槽岩溶地貌	多次塌陷, 2 次颠覆 列车	覆盖层潜 蚀
成昆线牧羊村 —读书棚	3 - 5m 粘 砂土, 砂粘 土	白云质灰 岩, 节理, 裂隙发育	地表岩溶发育	塌陷 52 次, 影响线 路 210m	
来合支线 河里站	2 - 10m 砾 石土, 砂粘 土	灰岩		70 年以来塌陷 100 余处, 地面变形范围 1600m × 400m, 铁 路两侧水库干涸, 影 响行车的塌陷 13 处	煤矿突 水, 最大突 水量 640 - 680t/h

续表

线 路 位 置	地 质 环 境			塌 陷 规 模	原 因 分 析
	覆盖层	基岩特征	岩溶特征		
黎洛线 K148	粘砂土厚 2 - 8m	灰岩		1981年1月,一夜发生407个陷坑,路基下沉	抽水抗旱
宜联线塘坝 大渠	10 - 30m 粘砂土	二叠系灰岩	地表岩溶发育	1972年发生4个陷坑,影响桥梁墩台倾斜下沉	旱季地下 水位下降

## 2. 对公路的影响和危害

公路在经过覆盖型浅层岩溶分布区时,容易遭致塌陷;修建桥梁时,桥基易出现差异变形。塌陷对公路的危害在广西和云南两省比较突出。如广西都安公路因红水河水涨落幅度达 20 - 30m,导致塌陷,公路路堤一移再移,条件恶化。昆明市区道路,因大量抽取地下水而多处路面形成坑洼。

## 3. 对江河航运的影响和危害

我国是水资源比较丰富的国家,江、河、湖泊众多,河流总长度达  $42 \times 10^4 \text{ km}$ ,具有发展内河航运的优良条件。受自然条件限制,内河航道主要分布在东部沿海和秦岭—淮河以南的广大地域,河道网密布,水源充沛,无冰冻期,全年可通航。内河航道以长江水系、珠江水系、黑龙江水系、淮河水系为主体,其中长江干流航道是我国综合交通运输网的主干线之一,被称为“黄金水道”,故此,江、河海岸坍塌对航运的影响也是不容忽视的。

我国辽东半岛、山东半岛、江浙沿海和海南等地的海岸冲刷塌落问题比较严重,并造成港口破坏等一系列危害。河流塌岸问题在长江流域中下游的江苏、江西、湖北、四川等地比较严重,黄河两岸宁夏的陶乐县和永宁县比较严重,常

破坏港口、建筑等设施。随着对外开放的不断扩大，沿海地带开放强度的增加，这一问题也会越来越突出，将不利于这些地区的可持续发展。

长江河岸坍塌总长 66.4km，面积 41.633km<sup>2</sup>；湖北省枝江至九江河段沿岸总长 891.5km，塌岸 136 处，合计长度 328.76km，占江岸总长度的 36.9%；鄂州市巴铺大堤岸凹岸顶点的崩险段因主泓南移，最大崩岸宽 1200m；黄梅李英乡—刘佐乡段窑，黄石—阳新，黄柏山闸至雷山属塌岸最为严重段，塌岸速率 40 ~ 113m/a；宜昌—沙市段，河岸坍塌点 18 处，规模小则 10 ~ 20m<sup>3</sup>，最大可达 1800m<sup>3</sup>。

江苏省江、海岸坍塌比较严重，主要发生在靖江、杨中、镇江、仪征和南京等江段。例如，1995 年 7 月 11 日江苏扬州地区泰兴市口岸镇高港村永长圩江岸发生大面积坍塌，总长 150m，宽 70m，深达 15m。坍塌点距主江堤仅 2m，经济损失逾百万元。

江西省的赣江东大堤清江—南昌段，每年汛期，河水暴涨，河岸受侵蚀冲刷易产生塌岸，其中以拖船埠—丰城段最为严重，河岸每年后退数米，最大达数十米，鄱阳湖西面的蚌湖、大湖池边岸亚砂土，由于风浪的侵蚀，常形成崩塌，规模一般小于 1000m<sup>3</sup>。

黄河两岸，塌岸主要发育在上游和下游，自 1950 年以来，在黄河宁夏段共发生大规模塌岸地段 20 余处。尤以陶乐县、永宁县境内河段为严重。陶乐县自 1949 ~ 1985 年，黄河河床东移 1 ~ 4km，坍塌土地面积约 8 万余亩（据段永侯等，1993）。

黄河下游在河南孟津至山东高村段，河段长 270km，为游荡性河段，河槽极不稳定，易坍塌坐湾。东坝头至高村因

渠距上宽下窄、泄洪不畅，是历史上溃决较多河段，有豆腐腰之称。

江岸大规模坍塌，还会造成人员伤亡，船只沉没，堵江断航等巨大损失。如四川省涪陵地区乌江鸡冠岭崩塌事件，造成断航4个多月，死伤9人，失踪12人，击沉大小轮船4艘、毁坏年产6万吨兴隆煤矿等巨大损失。此外，河湖堤岸坍塌导致决口、洪涝灾害，在长江中游平原、洞庭湖、鄱阳湖平原，屡屡发生，造成农业歉收，土地渍水，人民生命财产受到损失，危害较大。

## 二、塌陷灾害对交通运输影响的特点

塌陷灾害对交通运输网的影响，其严重程度除了与塌陷灾害发生的时间、强度和性质有关外，还和铁路、公路、航道自身的特性有关。由于铁路、公路、航道是由路轨、公路、机车、轮船、车站、港口组成的串联线性体系，它具有脆弱易损性（仅塌 $1\text{m}^2$ 就会引起灾祸）、敏感性（一站受损波及全线）、连锁性（一车出事，全线瘫痪）和时限性（一车误点，全线行车陷入混乱）。因此，塌陷灾害对交通运输的影响和造成的灾情损失往往要远远超过矿区、城市或经济开发区。是影响我国可持续发展的重要因子。

另一方面，如果在铁路、公路建设初期，在选线勘查时，本着防灾治灾的思想，亦可使塌陷灾害损失降低。勘查时利用综合勘查方法不仅省时保证质量，而且降低了勘查成本。例如铜九线（安徽省铜陵市至江西省九江市）鄱阳湖地段选线勘查<sup>①</sup>，此地段构造、岩体复杂，存在着岩溶、湖岸坍塌等不良地质现象，为线路方案的选择带来了直接的影响，此次

---

①中国铁路工程总公司地质物探试验研究中心，铁路地质综合勘查技术应用的研究——验证工点成果报告，1996年7月

勘查中遵循由遥感—工程地质调绘—物探—钻探的综合勘查工作方法，7个月完成任务。不仅提高了勘查质量，而且降低了勘查成本。本次采用综合勘查方法实际支出约为30万元，节约勘查费用24.45万元，经济效益是显著的。

## 第二节 交通运输塌陷灾害实例

### 一、铁路塌陷

#### (一)瓦房店塌陷

长大铁路 K111+140 段路堤，位于侵蚀谷地，洪冲积层厚度约 10m，基岩为泥质灰岩与砂岩，断裂发育。从 1987 年 8 月 8 ~ 31 日，在双线铁路路基上共发生塌陷 10 次，塌陷坑 6 个。附近林地塌陷坑 10 余个，造成供水管路悬空，通讯电杆陷没，31 户民房开裂，耕地遭破坏。中断行车 6 次，封锁线路 8 小时 5 分。耗勘测设计及整治费用 220 万元。

经调查，塌陷系附近 1 ~ 2km 处瓦房店轴承厂过量抽水所致。该厂打深井 4 口，1986 年 3 月启用 3 口。于 1987 年 2 月，造成三家子村 18 口井和赵家洼 17 口民井干涸，村房开裂。7 月开始出现塌陷，至 8 月 8 日共形成塌陷坑 21 个。随着深井的停抽，各民井水位开始回升，塌陷频率亦随之锐减。

抽取地下水致塌的其他较严重地区尚有：浙赣铁路分宜车站，1964 ~ 1974 年塌陷 70 余坑，影响线路 2.4km，整治费用约需 1000 万元。津浦铁路泰安车站，1977 ~ 1982 年塌陷坑 25 个，路基下沉，站房开裂，列车限速通过，年损失 40 万元，整治费已达 3000 余万元。淮南铁路支线九龙

岗至大柿园间，1973 ~ 1985 年塌陷坑 16 个，致使该线 5 年后才开通，整治费近 200 万元。精光铁路山子背车站，1986 年塌陷 2 处，路基开裂，注浆整治费用 65 万元。沪宁铁路南京岔路口地区，1984 ~ 1987 年塌陷坑 8 个，注浆用料 1367.7 吨。云浮铁路支线龙盘围地段因桥涵施工抽水，导致 1984 ~ 1985 年塌陷坑 10 个，注浆耗资 60.6 万元。皖赣铁路硬石岭车站，1954 ~ 1989 年塌陷坑 16 个，1989 年中断行车 12 小时，经济损失 1300 万元，整治费用约需 500 万元。

## (二)大瑶山隧道古坳塌陷

京广铁路复线大瑶山隧道中部 K1994 段，穿过向斜构造溶蚀槽谷，距地表深度约 400m，由灰岩、白云质灰岩、泥灰岩等构成。K1993 附近有断裂宽 176m，已胶结阻水，在上盘约 1km 范围内坑道中相继 5 处集中涌水，水量达 8000t/d，导致地面于 1986 年 4 月 11 日至 1989 年 4 月 9 日相继发生塌陷 300 多个，房屋开裂 37 间，许多稻田被破坏弃耕，影响了 800 多户农民正常生活。1990 年 5 月 26 日 3 时，隧道中 K1994+637 处突然涌水和泥沙，淹没轨道高 1m 多，中断行车 15 小时(见图 4.2)。

坑道突水致塌的实例还有：京广铁路南岭隧道突水突泥，1980 ~ 1986 年地面塌陷 5 段共 65 坑，断道 6 小时，整治耗资 244.3 万元。襄渝铁路中梁山隧道 1970 ~ 1974 年塌陷坑 48 个，使当地井泉涸竭 37%。来合铁路支线河里车站因附近煤矿突水导致 1970 年塌陷 100 余坑，影响了路基稳定。

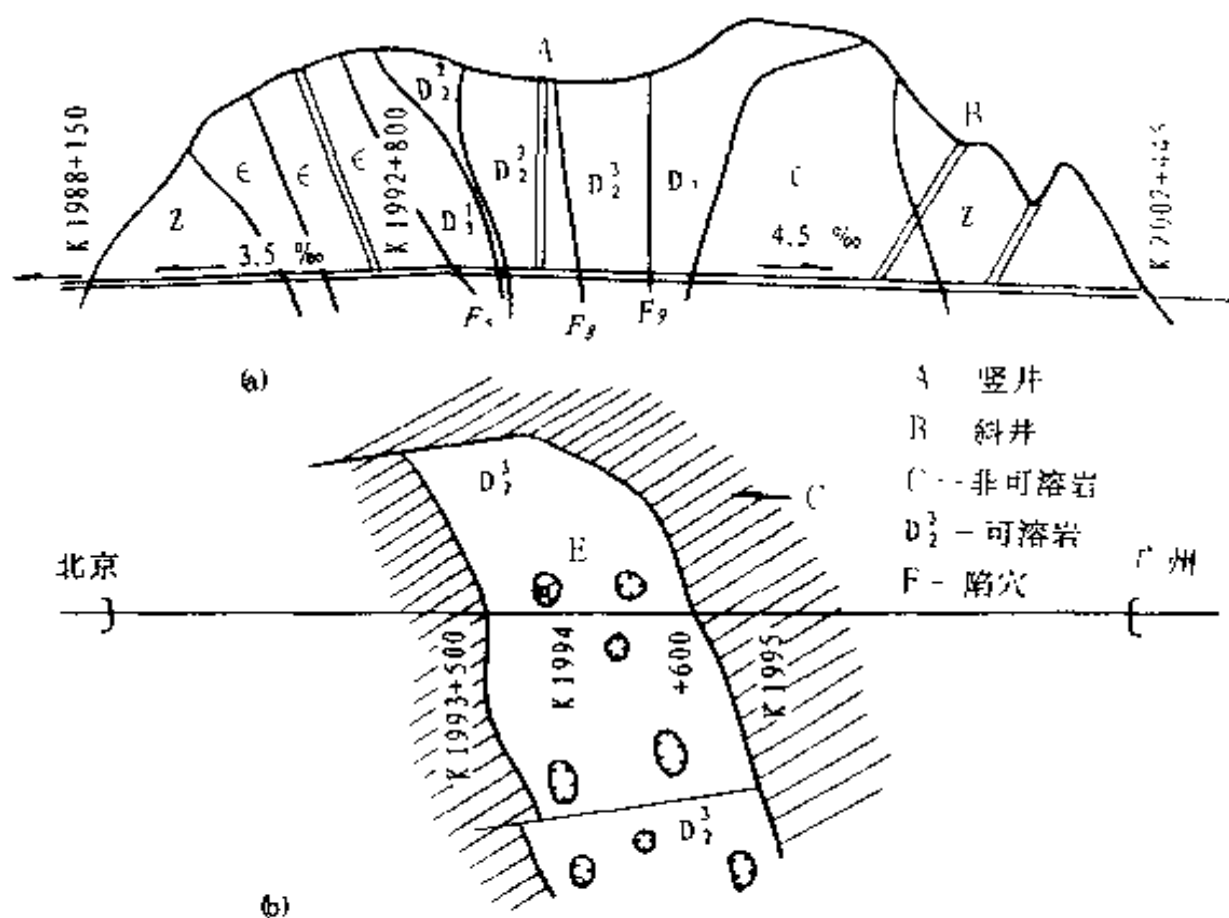


图 4.2 大瑶山隧道地质构造与塌陷示意图

(据蒋忠信等, 1996)

### (三)格以头塌陷

贵昆铁路 K413+897 段路基，位于岩溶槽谷中，基岩为茅口灰岩，岩溶发育，有溶沟、溶槽及落水洞等。1985 年 7 月 6 日零时 38 分，产生 5 处塌陷，导致货物列车颠覆一节，脱轨 2 节，破坏枕木 240 根，线路长 175m，中断行车 15 小时 18 分。塌陷前一天，大雨滂沱。其中一塌陷处有落水洞。7 月 8 日，塌陷坑向昆明方向延伸 8m，总长 10.7m，线路下沉 0.15m，同时钢轨下沉 40mm。30 日勘测时又发



生长 6.5m、宽 5.0m、深 2.0m 的陷坑。

此外，贵昆铁路渗雨致塌的地段还有：K534+082 处 1979 年突然塌陷，致使 2502 次列车颠覆，断道 2 小时 35 分；K606+475 处 1976 年塌陷，断道 38 小时 30 分。成昆铁路牧羊村至读书铺间 210m 范围内，1965 ~ 1981 年塌陷 52 个，累计断道 61 小时。宜珙铁路支线塘坝大桥，1972 年塌陷坑 2 个，致使墩台歪斜报废，不得不改建涵洞通过。

#### (四) 干海子等塌陷

振动非致塌的基本条件，但是当土洞已形成，则振动可诱发塌陷。贵昆铁路干海子 K534，格以头 K413+897，都是列车尾部 3 节货车箱颠覆；盘西铁路车转弯站等三处，在行车后即发生塌陷。表明都为振动诱发所致。

振动触变液化致塌的实例有：京广铁路衡韶段许家洞车站，1980、1981 年因改河大爆破导致砂砾岩中两次塌陷，陷坑最大直径 8 ~ 10m，深达 14.5m，分别断道 5 小时及 2 小时 25 分。京广铁路韶广江村大桥，因钻探触变液化，导致墩台塌陷 2 处，只能改孔跨通过。

#### (五) 玉林塌陷

地表水入渗致塌有放水灌溉入渗与坑洼积水入渗两种情况。黎湛铁路 K148 路堤，位于山间洼地带，基岩为石灰岩夹泥岩。1980 年下半年大旱，河水断流。大量抽取地下水抗旱使水位下降 7m 后，于 1981 年 1 月 3 日由水库突然大范围放水灌田，1 月 4 日 3 时，地下振动有声，4 时地裂喷发雾气、水及泥沙，最高达 7m；10 时集中塌陷，零星塌陷延续至 8 日，在宽 700m、长 200m 的平坦稻田中产生了 407 个陷坑。其中最大一个长 150m、宽 50 余 m，深 10m 余。

最深陷坑达 72m 。使塌陷区左侧路基下沉，列车慢行达 7 个月之久。

#### (六)广东云浮硫铁矿支线龙盘路堤岩溶地面塌陷<sup>④</sup>

本段路堤位于丘间谷地，地势平缓，略向南微倾，多辟良田。表层为第四系洪积、冲积砂粘上夹砂砾石、碎石上，厚 3 ~ 26.5m 。下伏基岩为下石炭系灰黑色纹状灰岩，中厚层，单斜，倾角 45° ~ 55°，岩溶发育。

本工点 DK29+348.5 的 1 ~ 4.5m 盖板涵挖基抽水施工后，在路堤填筑过程中的一年时间内，路堤坡脚先后突发 9 次地面塌陷，坍坑直径多数为 1 ~ 3.8m ，深 0.5 ~ 2.5m ，最大直径 11m ，深约 4.5m 以上。在分析资料的基础上，配合施工过程开展地质工作，利用电法勘查准确查出岩溶发育带，因地质资料准确，将长桥改为路基设涵，节约工程造价约 100 万元，保证了 1985 年顺利通车。

### 二、江河塌岸

#### (一)江西省九江市彭泽县长江大堤马湖段特大塌滑实例<sup>⑤</sup>

1996 年 1 月 8 日下午 6 时 10 分，江西省九江市彭泽县长江大堤马湖段发生特大塌滑灾害，960m 长的新修标准堤全部沉陷江中，塌滑宽度达约 200m ，总体积约  $600 \times 10^4 \text{m}^3$ 。灾害死亡人数达 24 人，重伤 5 人，21 户 92 间房屋塌入江中，造成危房 18 户 124 间。江边造纸厂码头、工房全部被毁，一艘泵船和两艘正在卸货的船只沉入江底。毁坏

---

④中国铁路工程总公司地质物探试验研究中心，铁路地质综合勘查技术应用的研究——铁路地质综合勘查成功实例，1996 年 7 月。

⑤地矿部赴赣灾害调查组，江西省九江市彭泽县长江大堤马湖段特大塌滑灾害的调查报告，1996 年 2 月 20 日。

耕地 272 亩，损失牲畜 135 头。据彭泽县政府初步测算，造成的经济损失达 4671 万元。

### 1. 地质环境背景

长江大堤马湖段特大塌滑所处的地质环境有两大特点：第一是该堤段位于长江右岸(南岸)，正处于长江主流线顶冲段，受长江水流冲刷强烈；堤下游两岸小孤山、大孤矾紧锁江口，造成江水滞流涡旋，冲掏堤岸。第二是组成该堤岸的地层岩性和岩土体地质结构。该地区为覆盖性岩溶区。上部为厚约 30m 的第四系全新统冲积层组成。该层的顶部为亚砂土、亚粘土层，厚约 10m；其余皆为粉细砂层，厚约 15 ~ 20m。下部为石炭系中上统至二叠系下统厚层状灰岩，厚度大于 290m，其线溶溶率达 10% 以上，岩溶发育。据邻区地表观测，溶洞可分数层发育，长度可连续达 1km 以上，溶洞宽度一般为 5 ~ 15m 不等。据最新钻孔资料(大堤塌滑后，在新建大堤轴线附近的 ZK<sub>1</sub> 钻孔揭露)，在灰岩中发育有直径超过 2.5m 的溶洞(钻孔因故障未能揭穿到底)。彭泽县城内曾因抽水试验造成过地面塌陷。

根据区域地质、水文地质资料，彭泽县城及附近地区为一岩溶洼地。基岩构造线方向为北东至南西向，沿该段长江有一组正断层，倾向北西，倾角 17°，地层产状倾向北西，倾角 35° ~ 45°。构造控制着岩溶的发育和分布。当时正值枯水季节，但地下水位埋深很浅，仅有 2m 左右，地下水位(高程 13m)和长江水位(高程 5.3m)相差 7.7m，形成强劲的向下和侧向补给长江的地下水流，提供了在松散地层产生潜蚀作用和渗透变形的动力条件。

江底河床标高 -20 ~ -21m，松散上层水下稳定坡角在 25°左右。在江水侧蚀严重的堤岸地段，前缘边坡角大于 35°

左右。

## 2. 塌滑变形破坏的特征

长江大堤马湖段的堤岸变形破坏从时间上分为两次、从空间上分为4段,自南西往北东依次为C、D、E、F段。其中C、D、E三段为1996年1月8日6时发生的,且连为一体,总长960m;而F段则是1996年1月3日14时发生的,且离E段有400~500m之遥,长度约180m,宽约110m。

C段(现造纸厂码头南西端),长约200m。该段大堤已全部淹没于江水之下。从水下地形剖面分析,其堆积物往江心铺延约200m,后壁和壁后裂缝面倾向长江,塌陷后边坡约 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 坡度,呈阶梯状塌滑。

D段(现造纸厂码头及村庄所在地),长约200m,宽约100m,为一椭圆形水槽。水槽外侧(靠江)保留原堤坝的残积物。槽沟深约8m,加上原堤面高度(原堤高出水面15m),共计陷落23m。水平向位移不大。水槽内侧土体呈阶梯状座滑,堤内堤面及房屋残体倾向岸内。水槽内仍零星可见去冬新加宽堤坝使用的黄色填土。据现场目击者介绍,房屋是垂直陷落的,船等物品似被“吸入”江水之中。离塌岸150m处一压水井变浑浊,为江岸破坏扰动地下水所致。此段江岸主要为塌陷破坏。

E段(塌陷区北东端),长约200m。部分陷入江中,部分保留岸边。呈阶梯状滑坡。张裂缝宽0.50~1m,裂面倾向长江,原堤面及房屋倾向堤内,水平滑移距离可达50m,属江岸塌滑。

F段在平面上塌岸后壁呈两个弧形相连,位于彭朗吼南西约850m。1996年1月3日14时发生第一次塌岸,沿江

长约 75m，宽约 85m。随后 1 月 6 日、1 月 9 日连续向北东向坍塌，延伸长度达 120m，到目前，该段岸坡仍在变形，总长度已达 180m 左右，宽度达 110m。塌后坡角约  $30^{\circ}$ 。后壁张裂缝发育，裂面倾向堤内。该段塌陷未造成人员伤亡。

据有关人员介绍：从 1995 年 12 月 16 日开始使用大型机械作业加高加固这段堤岸，工程刚于年底结束，就接连发生塌岸现象，直至 1996 年 1 月 8 日特大塌滑灾害的发生。

### 3. 塌滑变形破坏的原因及形成机制分析

本次长江边岸塌滑灾害的规模及破坏形式，在江西省乃至整个长江的岸线边坡破坏中均属罕见，其形成原因和机制不是一般边岸冲刷所能解释的，应结合当地的地质条件、河水动力条件和堤岸变形破坏过程中出现的各种现象进行综合分析认识。

D 段，以垂直位移(陷落)为主，水平位移较小。其水下地形与未塌滑岸段很相似，未有多大扰动。该段是县造纸厂原码头所在地。据调查，原堤角外有 40m 宽的滩地，故原码头向江心延修了 40m 以上。显然，江水不能直接导致侧蚀该段坡脚，用“涡崩”难以解释这段塌岸形成的原因，而可以塌陷导致堤坝破坏做出统一的解释。塌陷形成过程经历土体潜蚀—土洞形成—诱发塌陷—塌陷调整四个阶段。在上岩界面附近，由于地下水的潜蚀作用，将土层中大量粉细砂颗粒沿岩溶溶隙带到溶洞中，在土层中形成土洞和软弱带。当土洞和软弱带发育到一定程度，可对堤坝造成两种方式的破坏。一种是在外加荷载或机械振动的触发下，产生突然垮塌，导致上部堤坝陷落。破坏形式以垂直位移为主；另外一种当江水侧向冲刷到土洞和软弱地带后，因堤底突然失去支撑，造成塌、滑破坏。破坏形式以水平位移为主。土洞和

软弱地带的形成需要一个积累的时间，但一旦形成，在外部因素的触发下，塌滑便会突然发生。整个破坏过程时间短，速度快，范围大、塌陷后壁在重力作用下发生局部应力调整——产生座滑和小规模崩塌。

D 段堤岸破坏性质属于前者，C 段、E 段属于后者，且三者有生成联系。在长期江水冲刷和地下水潜蚀作用下，D 段首先产生塌陷，诱发因素是因加固工程对堤坝的机械震动和加土荷载。D 段塌陷震动，加速了江岸砂土液化破坏，同时牵动 C、E 段产生连锁性塌滑。由于 C 段正处于主流顶冲深泓线上，已具备江水侧蚀堤脚、形成悬岸的不利条件，因而堤岸破坏彻底，整个堤坝全部淹没江中，滑塌土体铺在近 200m 的河床上。E 段也是以滑塌破坏为主，但因受到 D 段和 NE 端未塌堤岸的限制，岸坡上还残留较多塌体。

F 段是于 1 月 3 日发生破坏的，其后壁呈两个弧形相连，裂面内倾，是较为典型的崩塌破坏。

这里对马湖堤坝塌滑原因的分析，是初步认识，有待更详细的钻探和物探资料的验证。

#### 4. 下一步工作建议

(1)采区区域应以宏观防治和局部治理相接合，预防为主综合治理为方针，加强对该地区未塌滑堤坝的管理和监测工作，特别是汛期的监测工作，以防御更大灾害的发生。

(2)修建新堤是必要的，并需抓紧进行，但该地区特定的地质条件必须引起有关方面的高度重视。抓紧做好拟建坝基的工程地质勘查工作，掌握坝基岩土地质结构和深部岩溶发育状况，以便有针对性的采取必要的工程处理措施，保证新建堤坝的安全。

(3)区域地质调查资料表明，从湖口到彭泽展布着一条长

达 62km，宽 2 ~ 4km 岩溶发育地带，江西境内的长江大堤和许多重要城镇、乡镇工业区都分布在这一地带内。这一地带的工程地质勘查和地质环境评价工作应引起各级领导的重视。建议国家有关部门考虑立项，开展这一地带的工程地质勘查与地质灾害调查工作，为江岸减灾、国土整治提供地质依据。

马湖大堤破坏所造成的严重损失告诫我们：切实加强地质环境管理，是促进沿江经济发展和保证社会安定的重要条件。

## (二)四川省涪陵地区乌江鸡冠岭山体崩塌灾害实例

1994 年 4 月 30 日 11 时 45 分，四川省涪陵地区武隆县乌江鸡冠岭发生大规模山体崩塌，造成人员伤亡、船只沉没、矿山损毁和堵江断航等重大灾害。

山体崩塌发生在乌江左岸，地处武隆县兴顺乡，下距涪陵市(乌江汇入长江口)35.7km。4 月 30 日 11 时 45 分山崩(简称“4.30”崩塌)，崩落体积约  $3.97 \times 10^6 \text{m}^3$ ，崩塌块石大部分堆积于斜坡上，且刨蚀了斜坡表层残坡积物，小部分入江形成乱石坝。其后，在变电所一带，零星崩塌不断发生。在崩积区，6 月 24 日晚中雨引起龙冠嘴以西的崩积物小规模坍滑。7 月 2 日 22 时至 3 日 4 时持续暴雨，3 日下午斜坡崩积体大部分启动坍滑(简称“7.3”坍滑)，部分崩积物入江，在原乱石坝的上游形成第二道乱石坝，同时加宽了原来的乱石坝，加剧了航道阻塞。目前，斜坡上尚有大量崩积物，西南侧发育多条裂缝切割的危岩体(变电房一带)，二者都有再次崩塌或坍滑入江成灾的可能。

崩塌造成死亡 4 人，伤 5 人，失踪 12 人，击沉拖船、驳船各 1 艘和小渔船 2 只，伤驳船 1 艘，毁年产 6 万吨兴隆

煤矿，直接经济损失 988 万元，断航 4 个多月，给该区造成了巨大的损失。

### 1. 山崩的前兆及其成因机制

据调查，1994 年 1 月下旬开始，在现已崩塌的山体后缘出现裂缝；2 月中旬兴隆煤矿风井附近水池开裂漏水；3 月中旬矿井拱圈严重开裂，无法衬砌；4 月 23 日发生小规模崩塌，煤矿风井进口 40m 距离内掉石、变形明显；4 月 26 日矿井上部裂缝张开并不断增大，及时撤出矿工；4 月 29 日一夜之间裂缝增宽 7cm，以至 4 月 30 日中午发生大规模崩塌。据目击者说，大规模崩塌发生时响声隆隆，在乌江龙冠嘴一带升起冲天尘柱，遮天蔽日。

山崩的原因有以下几方面：

(1) 此地河谷深切(多在 700m 以上)，山高坡陡，具备崩塌的临空条件。

(2) 岩层陡倾，具备向 E 或向 NE 倾倒、开裂以致崩塌的地质结构条件。在鸡冠岭主崩区，主要是岩块式倾倒—崩塌，它起因于前述两组节理与缓倾的层面构成的块状岩体结构。在变电房一带，陡倾的岩层构成层状结构，岩体变形以板状弯曲式倾倒—崩塌为主。

(3) 采矿诱发作用。此次大规模崩塌，并无降雨等自然因素的突然变化，斜坡中段挖煤采空，是不容忽视的重要而直接的原因。

据调查，崩塌区临江地段的煤柱在解放前曾被开采，采空区宽达 800m 以上。近年来新建的兴隆煤矿，于高程 519.6m 开挖了采煤主井，深 1100m；于高程 631.6m 开挖了风井，深 930m。在风井中向上开挖立山 88.4m，与核桃煤矿主井(井底高程 720m)连通。在开挖过程中，原有煤柱也被开采一空。



崩塌前夕，主井井口内 30m、风井井口内 100m 范围的岩体严重破坏、垮塌并剪出。

(4)降雨作用。长期降雨对岩体起到软化和化学风化作用，尤其是对崩积体的坍塌起了主要作用。“6.24”小坍塌和“7.3”大坍塌证明了降雨特别是持续的大雨、暴雨，是诱发崩积体失稳的主要因素。

(5)人为因素的影响。人工爆破也是影响山体稳定的因素之一，江边正在修建的“双白公路”（白涛—白马）经常实施爆破，其多次震动作用是不容忽视的，尤其对采空的山体更是如此。

## 2. 防治对策

根据以上分析，采煤和降雨是诱发山体失稳崩塌或坍塌的主要因素，所以工程措施应针对这两方面进行地质工程处理。

(1)对鸡冠岭整个山体，目前宜禁止采煤，在切实调查研究基础上，划分开采区、保护区和禁采区。

(2)对变电房危岩体：宜覆盖裂缝，以防裂缝继续进水，从而减小水压力、应力与水化学腐蚀作用；松动危险的中间地段表层，易爆破削方；在南北两端，可以采用适量的锚固约束。

(3)对斜坡崩积体：①针对其稳定性的不均匀分布，可分区进行锚固支挡；②对光滑的崩积底界面，可注砂浆加糙，防止继续降雨导致  $f$  值明显降低；③修建黄崖沟引水排水工程；④崩积体上修建集水沟。

(4)对人江的崩积体：可在左岸固坡，右岸水下炸礁清航。

## 第五章 旅游塌陷子系统

### 第一节 地面塌陷对旅游风景区的影响及特点

地面塌陷对旅游风景区的影响主要表现在岩溶风景区。我国的许多著名风景区，如桂林山水、云南石林、黄果树瀑布等，均以其绚丽奇妙的岩溶风光为其特色。岩溶风景是整个岩溶环境系统的一部分，脆弱性或环境容量较低也是其基本的特点。岩溶风景资源是一种不可更新的资源，因而正确处理好开发与保护的关系是十分重要的。

#### 一、岩溶地区的风景特点

##### 1. 岩溶风景资源以自然风光为基础

风景旅游区主要是人们审美活动的场所，是一种美学环境，此种特殊功能决定了对风景旅游区的环境质量要求也与一般地区有所不同。

有些岩溶旅游区是自然风光、城市风光以及人文风景的综合，如“泉城”济南，就是由市区趵突泉泉群、黑龙泉水群、珍珠泉泉群、五龙潭泉群等 119 个岩溶泉同济南市的城市风光融为一体的风景名胜城市。桂林市则不但是拔地而起的峰林山景及“江作青罗带”的漓江与城市建筑的结合，而且由于它有 2000 多年的悠久历史，还有许多珍贵的历史古迹和人文景观。如公元前 214 年秦代开凿的灵渠，以及近

2000 件摩崖石刻。仅西山一处就有 200 座大大小小的唐代佛像，雕刻在一个岩溶洼地周围的悬崖削壁之间，增加了桂林山水的光辉。有些岩溶区虽然远离城市，但由于其独特的岩溶景观也发展成了重要的旅游点，如云南路南石林，距离昆明市 120 余公里；黄果树瀑布，距离贵阳市也有 100 余公里；四川黄龙、九寨沟地区，更是位于边远的高寒山区，全靠溪沟中多级钙化瀑布和雪山森林等自然风光影映交辉，构成了一种令人神往的美学环境。

### 2. 洞景常常是岩溶地区重要的旅游内容

岩溶地区的风景资源，可分为山景、水景和洞景，尤以洞景为岩溶地区所特有。有的岩溶旅游区被称为“地下公园”或“地下宫殿”正是这种特点的写照。如辽宁谢家崴子水洞就是洞景与水景的结合。此外还有杭州瑶琳仙境、江西龙宫洞、北京万佛堂、淄博朝阳洞、柳州都乐岩、贵州织金打鸡洞等。

### 3. 岩溶自然景观的脆弱性

不论是岩溶山景、水景或洞景，都属于岩溶环境系统的一部分，因此脆弱性也是其基本特点之一。岩溶风景资源的脆弱性，不但在于岩溶山景、水景或洞景一旦遭到破坏或损害就难以恢复，而且还由于旅游资源在美学方面的特殊功能带来的更为细腻的高层次精神方面的享受。这种要求同人类在其他方面的要求有时是矛盾的，例如在泉水风景区附近提取岩溶水，可以满足人类生产、生活必不可少的用水要求，但取水过多，泉水断流，风景就失去了其主要内容。在峰林或石林风景区开山炸石，可以满足人类就近取得建筑石料或水泥原料的需要，但对于美学环境却造成了很大损害。因此，对于岩溶风景资源的开发和保护，必须在综合考虑岩溶环境系统的特点和人类对各种岩溶资源的需求（水、矿产、

森林、旅游资源等)的基础上,针对美学环境的特殊要求,进行专门的研究、规划和管理。

## 二、地面塌陷对旅游风景区的影响

### 1. 自然环境问题

岩溶峰林旅游区常发生危石崩塌问题。如柳州鱼峰山公园在 70 年代曾因危石击伤游人而关闭月余进行清理。1987 年贵州七星公园游览洞口也发生危石崩塌险些砸伤游人。英国约克郡游览区大部分岩溶泉和地下河水质均因补给区普遍有泥炭分布而呈咖啡色,这些问题是开发岩溶旅游资源前要首先加以考虑的。

### 2. 因开发其他资源而产生地面塌陷

由于开发岩溶水资源、森林资源、矿产资源和石油资源等而引起地面塌陷。杂乱无章的大小塌陷坑、塌陷洼地,不仅使地貌景观失去审美价值和旅游资源的功能,而且景观附近的水资源、矿山资源也相应遭受破坏,使矿山建设和开发水资源等经济活动受到阻碍,制约了旅游和其他资源开发等方面的发展。因此需要在更高层次上的综合环境规划和有效的环境管理才能解决。

岩溶水资源的开发,引起了许多以水景为主要内容的旅游点出现地面塌陷。如昆明市区的翠湖,因过量开采地下水,使湖水干涸,湖中发生多处塌陷。

## 第二节 旅游风景区塌陷灾害实例

### 一、岩溶湖泊的变迁

云南昆明市的翠湖原来受九龙池泉水(流量  $5000 \sim 7500\text{m}^3/\text{d}$ )的补给,常年不干,湖面面积  $0.25\text{km}^2$ ,水深  $2 \sim$

3m (图 5.1), 近年来更有人批海鸥前来过冬, 在湖上低空飞翔, 十分壮观。但由于昆明市工业及城市供水需求量增加, 翠湖地区岩溶地下水的开采量也日益加大, 解放初为  $2000\text{m}^3/\text{d}$ , 1974 年为  $5000\text{m}^3/\text{d}$ , 1975 年部分湖区干涸, 1976

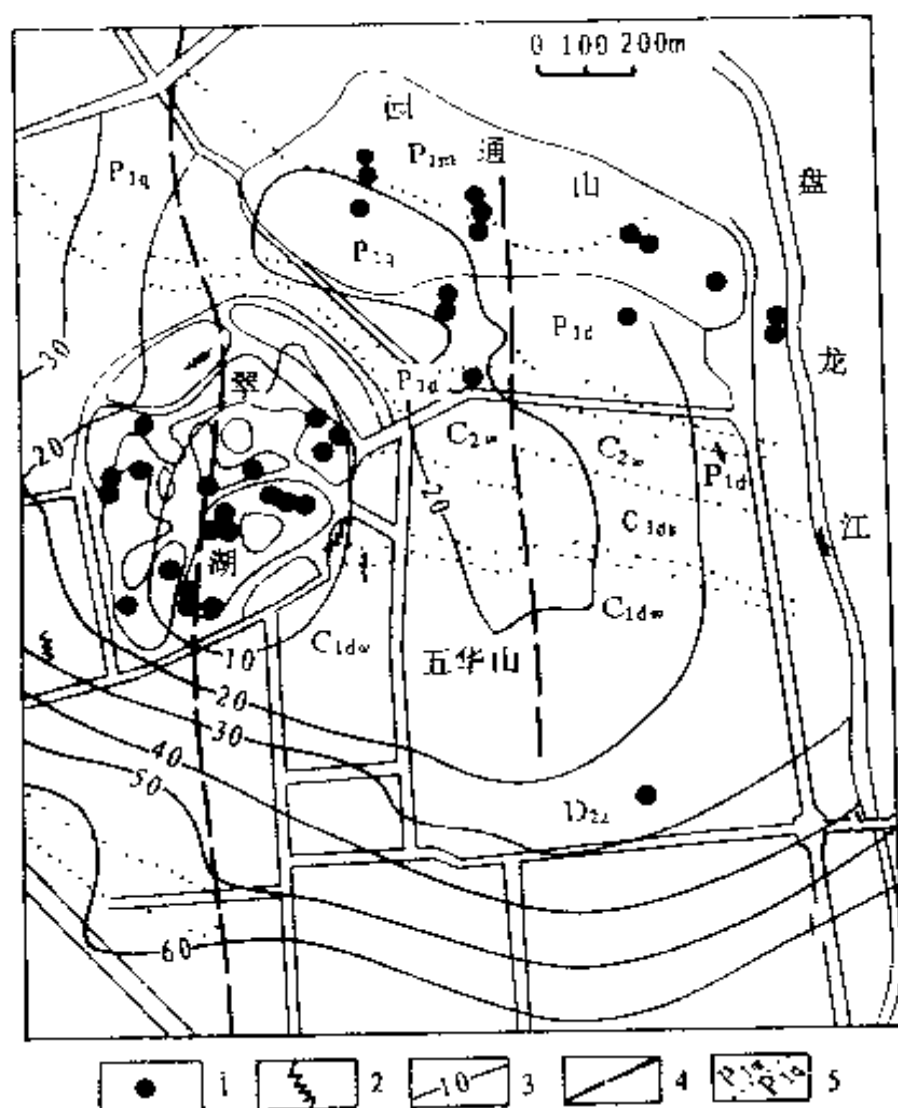


图 5.1 云南昆明市翠湖—园通山风景区岩溶塌陷分布图  
(据袁道先等, 1988)

1. 塌陷点; 2. 地裂; 3. 第四系等厚线(m);  
4. 断层; 5. 地层界线及代号

年九龙池断流。至 1983 年翠湖附近共开采水井 28 眼，加之人防洞施工排水，日排地下水  $30000\text{m}^3$ ，在该区形成了一个大型降落漏斗，长  $2.7\text{km}$ ，宽  $2\text{km}$ ，其中心水位下降达  $14.05\text{m}$ ，致使湖水干涸，九龙池也变成了一个落水洞，湖中发生多处塌陷，并出现堤面变形、房屋开裂、亭台倒塌、桥梁破坏、路面下沉开裂等现象。

## 二、采煤对岩溶洞穴的破坏

湖南冷水江市的波月洞及其附近的清泉洞、长纱洞为一长达  $2500\text{m}$  的洞穴系统(图 5.2)，洞内不但有丰富多彩的石

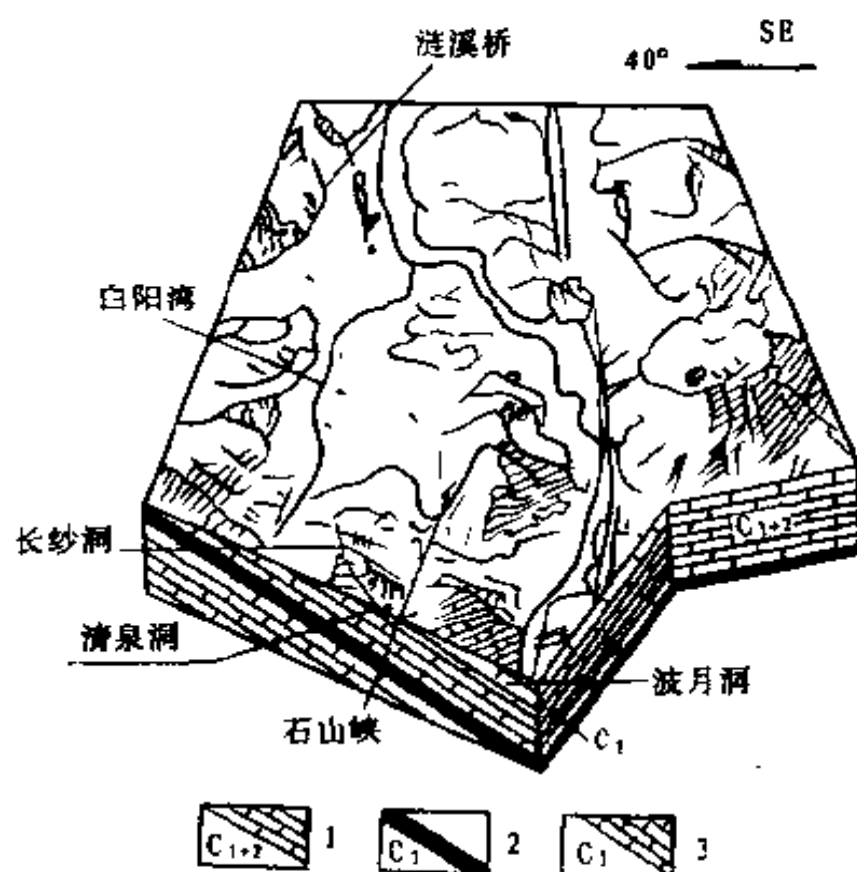


图 5.2 湖南冷水江市波月洞风景区与下石炭统煤系地层的关系  
(据袁道先等, 1988)

1. 中、下石炭统灰岩; 2. 下石炭统煤层(含水煤系); 3. 下石炭统灰岩

幔、石柱、石帘、钟乳旗、云盆、边石塘、鹅管，可同芦笛岩相媲美，而且有各种类型的溶蚀形态，如贝窝、窝穴、天沟、边槽等，构成一个巨大的地下岩溶“博物馆”，加上有附近山景水景配套，是一个人有发展前途的风景旅游区。但煤炭工业部门已规划开采埋藏于波月洞体下约 200m 的工业煤层，并设计在距洞 300m 处建年产 50 万吨的主、副井，30 年开完。下伏煤层采空后，势必导致波月洞洞体的沉降、拉裂和塌陷。而且与煤矿有关的各种地面设施，如堆煤场，运煤火车站，工人新村等，将从西、北、东三面包围波月洞，有的设施甚至设在距洞口仅数十米处。显然，煤矿的开采和保护洞穴资源的矛盾是十分尖锐的，它需要进行更深入的论证，并从更高层次上进行全面考虑才能作出恰当的决策。

### 三、矿区疏干排水对岩溶风景区的影响

以秋景闻名于世的南京栖霞山风景区，是个融自然山水与古刹、园林为一体的幽美去处。它不仅是重要的文物和游览胜地，而且还是江南有名的多金属矿基地，优质、规模巨大的铅锌银(含金)矿床向栖霞寺的西南方向展布，距栖霞寺最近水平距离仅约 200m。由于矿坑排水，矿区地下水位降落，漏斗在不断扩大，致使岩溶区不断发生塌陷。1981 年 6 月，寺前秀美的明镜湖发生塌陷，湖中曲桥断裂，彩虹亭倒毁， $3400\text{m}^3$  的湖水漏失一空，不仅破坏了优美的风景旅游资源，使园林发展被制约，而且使矿山建设受阻，损失惨重。

1995 年 4 月 10 日，该风景区的霜红园内又发生岩溶塌陷，塌陷坑直径 13.5 ~ 17.7m，深达 8 ~ 10m，影响范围  $40\text{m}^2$  内出现裂缝，毁坏公园林木、花草等景点资源，造成经济损失达 200 多万元。

## 第六章 我国主要经济区塌陷灾害 的风险评估及综合治理

### 第一节 塌陷灾害风险评估的 重要性和必要性

随着工业化进程对土地资源巨大需求和大规模地占用、开发、挖掘，已导致土地资源的紧缺、退化乃至破坏。地面塌陷其根源来自岩石环境，其现象和危害则反映在土环境系统内，表现为土层的压缩、变形、下沉、开裂和陷落，由于塌陷所造成的土地资源破坏往往是不会自行恢复的（即不可再生），故成为对我国国土资源威胁最大的地质灾害之一。

据预测，到 2010 年，我国人均耕地将减至联合国提出的人均耕地危险线 ( $0.053\text{km}^2/\text{人}$ ，王家梁, 1995)。土地是人类赖以生存的基本资源；“劳动和土地是形成财富的两个最原始要素”，是“一切财富的源泉”（卡尔·马克思），说明土地是不可替代的物质资源；一切自然资源都附着于土地，这意味着土地利用的合理与否影响着一切自然资源的合理开发利用；土地的优化配置实际上包括了作为自然资源的土地与作为社会资源的劳动结合一体的配置。而塌陷的风险评估，是在分析区域岩溶发育特征的基础上，对地面塌陷灾害发生的可能性以及灾后损失进行评价、预测，这对重大工程选



址、土地区划及矿山开采的合理布局、抽汲岩溶地下水、水利工程及水库设计、布局等的减灾防灾工作均具有重要的理论和现实意义。

我国由于四大资源的不足，必须选择一条与发达国家的不同的资源组合方式，不能再走传统发展工业的老路，其核心思想就是建立一个低度消耗能源的节约型国民经济体系，以促进资源节约、杜绝资源浪费，降低资源的消耗，提高资源利用率和单位资源的人口承载力，以增强资源对国民经济的保证程度，缓和资源的供需矛盾，这是克服资源危机的基本国策。

在这个基本国策指导下，为保护土地资源，积极治理各类塌陷灾害并对可能发生塌陷类灾害的地区进行预测和风险评估是十分重要的和必要的。

## 第二节 塌陷灾害的风险评估

### 一、评价方法简介

本世纪 70 年代以来，不少国家的环境学家在地质环境质量评价及预测方面做了有益的探索。对区域性综合研究而论，所采用的评价方法大致可以分为三类：①以加权分级指标为基础的评价；②经济评价；③风险评价。

#### (一)不同评价方法的基本思路及实例

##### 1. 加权分级指标体系

主要是在环境科学领域内发展起来的评价方法，其基本思路是：人类环境是由许多要素组成，这些要素又可以分解成许多因子，这些构成因子作为整个环境的一个局部，其形状是由整体环境的形状决定的。反之，通过这些构成因子也

可作为了解整体环境的窗口。基于这一原理，为了描述环境要素或环境整体质量，可以根据所研究问题的性质，选择一定数量的评价参数——环境要素的构成因子，将其转换为可比指标；再根据各指标的相对重要性进行加权综合，即可得到环境要素的质量指标，进而求出整体环境的质量指标。例如西班牙坎塔布里亚大学 A.森得雷罗教授等建立了该方法的一整套工作模式：地球表层的人类环境包含了三组要素：非生物要素（地表与基岩物质、地形地貌、地质过程、气候特征等）；生物要素；人类活动要素。其中非生物要素是人类环境最持久的基础，故又可以划分为一级单元（MD 环境），是根据气候和大区域性构造地貌单元确定的；二级单元（MD 系统），是根据岩性与地貌因素圈定的；三级单元（MD 单元），主要反映土壤、地质活动过程、动植物特征。从基岩、地形、气候、土壤、活动过程和生物组合等角度衡量，每一个单元都具有相对的均一性，可用综合指标来表征。针对不同的土地利用方案，对各有关环境因子按“质量”和“脆弱性”两种准则进行半定量分级赋值，得到各 MD 单元（动力地貌单元）的相对应参数，然后给各参数一定的权重（通过专家咨询等方式确定），最后计算各单元的综合指标值，并以此来度量该单元对某种土地利用方案的适宜性或承载力。这种方法颇灵活，适用性广，曾用于西班牙的区域规划、土地利用分区、自然公园的规划管理、海岸带旅游业发展潜力与影响评价及生物资源评价等，并可与风险评价相结合用于地质灾害的评价工作。

若用在预测评价时，如何在未来人类活动及地质环境参数之间建立更确切的定量关系，则是方法成败的关键，也是今后研究的主要任务。

## 2. 经济评估与灾害风险评估

(1)经济评估的实质是用货币形式表征自然(地质)环境的质量及人类活动对其产生的影响。它常用于评价地质环境中的资源(水、土地、矿、能源)及累进式的地质灾害(沙化、水土流失等)以及整治措施的效果评估,运用市场价值法、人力资本法、机会成本法、工程造价法等进行“定价”。

(2)风险评估一般更适于突发性或不确定因素较强的地质灾害,如地震、崩、滑、流、塌、海岸灾害等。风险包括两层含义:一是某种灾害发生的概率( $P_c$ );二是事件的后果( $C_v$ )。风险( $R$ )则定义为这两个因数的函数:

$$R = f(P_c, C_v)$$

风险评估虽然也以货币值的形式给出,但它和经济评估的实质、基本原理和方法有明显的不同,由于其分析评价的对象具有很大的不确定性,对所得出的货币值应用概率的观点去理解,事实上这种信息也十分有价值,可直接纳入地质灾害的管理与减灾规划中去。它的局限性在于对基础地质数据和社会经济数据要求很高,若详细数据不足则难以得到有用的结果。

如美国加州地质总体规划(1970 ~ 1973 年),具体步骤如下:

(1)首先确定主要地质灾害及其权重系数,根据加州具体情况选择了十大灾害,依照各种灾害的严重程度作了分区,然后假设一个典型化城市单元(面积的三分之一,3000 人,财产总值 9000 万美元),模拟它在各个不同的灾害分区中预计损失值(居民年人均损失),并将它作为这类灾害的相对权重系数(地质灾害指数)—— $CP$ 。

(2)用经纬网格覆盖全州,分别计算各网格内不同类型、

不同严重程度有威胁的地质灾害指数 ( $GP$ ) 总和, 作为居民所承受各种灾害造成的每年人均总损失值。

(3) 以 1970 年为基准年, 考虑到人口增长以及 30 年内预计会变为城镇化的地区范围, 计算出各城镇网格单元之中受到各种地质灾害 (问题) 影响的人和年数 ( $PY$  值)。

(4) 引入优先指数 ( $PP$ ), 用以确定需优先考虑的地区、地质灾害以及应优先采取的措施。

$$PP = GP \times PY \times IF$$

式中  $IF$  为紧迫性指数, 它根据城镇化时间先后而定。对于 1970 年已城镇化地区, 因采取措施已为时已晚, 定  $IF = 0$ 。

再引入灾难指数 ( $DF$ ) 对  $PP$  值进行修正,  $DF$  值主要考虑每次灾害事件造成的死亡人数, 这也是优先选择的一个重要条件。

$$PP = GP \times PY \times DF \times IF$$

对于同类地质灾害而言, 总损失大的应排在优先治理的序列前头。

同理, 还可计算治理效益的高低, 并根据减少损失值高和效益/费用比值高的应优先进行治理。

## (二) 我国地面沉降灾情评估

地面沉降是一种缓发性地质灾害, 它具有成灾周期长, 不易伤人和损财, 但区域性蔓延时会引起一系列的社会、经济、环境问题, 治理十分困难的特点。

对地面沉降的衡量指标有: 累积沉降量, 沉降范围和沉降速度。

### 1. 灾情评估的基本思路

地面沉降的灾情评估应属环境经济学的范畴, 在对地面沉降灾害的规模、程度和趋势调查研究的基础上, 评价它的

环境价值、社会经济价值与灾害的对应关系，再估价它的现状和预测未来的破坏损失，最后提出预防、预测和控制措施及其经济效益评估。

## 2. 灾情评估方法

地面沉降灾害既是一种自然灾害，又具有对社会的各种影响。因此，它具有自然属性和社会属性双重性。前者包括成因机制、灾害发生发展过程、规模、强度、延续时间、范围、发生概率等；后者包括灾害对人类生存、对社会经济、对生态环境带来影响的程度等等。它的经济评估可归结成四个方面：危险性评价→易损性评价→破坏损失评价→防治效益评估，见图 6.1。

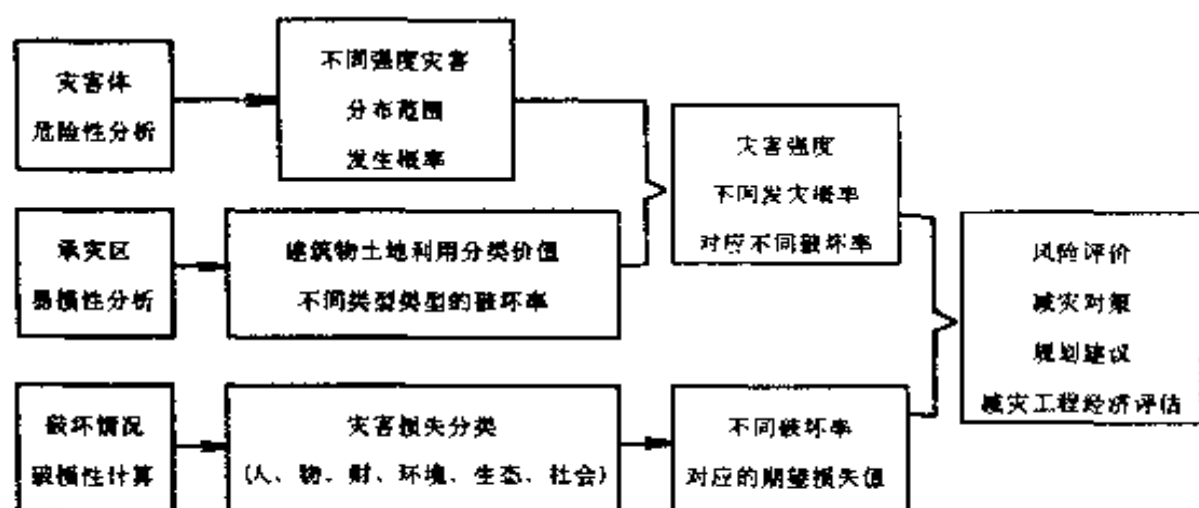


图 6.1 地面沉降灾情经济评估框图

(1)地面沉降的危险性指标确定：根据累积沉降量的大小划分成：极大(大于 1000mm)，大(600 ~ 1000mm)，中(300 ~ 600mm)，小(100 ~ 300mm)，微(小于 100mm)5 个等级；也可根据沉降规模、累积量、速率和均匀性，承灾区高程等因素综合表示。

(2)易损性分析: 主要包括物质易损性(承灾区的土地资源状况、建筑物及基础设施数量)以及可能受损情况和经济损失(沉降对经济发展的制约和影响, 造成其他资源受损情况)。按小单元统计各个网格中的财产价值及其与整个区域的总财产值之比, 表征为各单元的易损性指数, 计算公式如下:

$$Y_{2ij} = \frac{W_{ij}}{W_i}$$

式中  $Y_{2ij}$  为反映单元的易损性指数;  $W_{ij}$  为单元  $j$  中第  $i$  种评价对象的财产值;  $W_i$  为第  $i$  种评价对象的范围内财产值。

(3)破坏损失评价: 包括直接经济损失和间接经济损失两类, 计算公式如下:

$$S_1 \text{ (直接经济损失)} = W_i \cdot P_i \cdot R_i$$

$$S_2 \text{ (间接经济损失)} = K \cdot S_1$$

式中  $W_i$  为表示  $i$  种评价对象的实物损失量;  $P_i$  为  $i$  种评价对象的市场价格;  $R_i$  为  $i$  种评价对象的实物损失率,

$$R_i = i \text{ 实物破坏量} / i \text{ 实物总量}.$$

(4)防治效益评估: 主要包括减灾工程的直接经济效益指标  $Z$ (元), 减灾效益比  $b$  和投效比  $b'$ , 计算公式分别为:

$$Z = J - T$$

式中  $J$  为采取特定减灾措施后灾害损失减少量;  $T$  为减灾技术的直接费用以及采用减灾技术后对其他方面造成影响的间接费用;

$$b = Z / T$$

$$b' = (J - L) / T$$

式中  $L$  为投入防治费  $T$  的直接费用部分在相同时间段(一般以年计)的利息值。

### 3. 天津地面沉降评估实例(据张梁、袁国华等, 1996)

#### (1) 天津市地面沉降损失评估结果

据上述方法及公式, 对天津市地面沉降进行了评估, 其破坏损失评估结果见表 6.1。

表 6.1 天津市地面沉降灾害破坏损失计算结果

损失项目		截止 1986 年时的损 失(万元)	控沉后至 1993 年时的 损失(万元)	若不控沉则 1993 年时的 损失(万元)	控沉后至 2000 年预计 损失(万元)	不控沉至 2000 年时预计损失 (万元)
直接 损 失	安全高程 损失 (万元)	810750	854160	1019895.6	856935	1227126.6
	测量成果 损失 (万元)	1388.34	1916.92	1916.92	2266.92	2266.92
	含水层结 构损失 (万元)	27000	28500	34000	28600	40900
	合计	839138.34	884576.92	1055812.52	887801.92	1270293.52
间接损失	间接损失 (万元)	839138.34	884576.92	1055812.52	887801.92	1270293.52
总损失	(万元)	9230521.74	9730346.12	11613937.72	9765821.17	13973228.72

(据张梁、袁国华等, 1996)。

#### (2) 天津市地面沉降控制工程经济效益评估结果

控制地面沉降的工程措施一次性投资为  $C_0 = 5730$  万

元；长期投资金额为  $C_b = 180$  万元/年。若从 1956 年就开始投资预防地面沉降，到 1993 年，则 38 年的总投资费用  $C_1$  为： $C_1 = C_a + 38 \times C_b = 12570$  (万元)。到 2000 年，45 年的总投资费用： $C_2 = C_a + 45 \times C_b = 13830$  (万元)。事实上若从 1956 年开始控制地面沉降，1986 年的控沉投资完全可以避免，所以预防地沉的效益应为地沉的点损失或预测总损失，在表 6.1 中可以查得：若从 1956 年开始防沉，到 1993 年则可以取得  $B_1 = 11613937.72$  万元的效益；到 2000 年取得  $B_2 = 13973228.72$  万元的效益。

计算结果表明，对地面灾害的预防不仅能控制 (或减缓) 灾害的发生、发展，还会产生巨大的经济效益，而且预防效果远远大于控沉效果。

因此，对地面沉降的最佳对策是预防为主，而对已发生的地面沉降灾害地区，则是越早治理越好。

## 二、岩溶塌陷的预测预报

### 1. 预测基本思路及方法

由于塌陷预测的重要性，各国学者进行了一系列的研究，提出各种方法，归纳起来有三种。

(1) 目前岩溶塌陷的预测主要是从分析塌陷的基本地质条件入手，多采用地质定性预测和半定量一定量的经验公式。用数理统计来确定岩溶塌陷可能产生的岩土体移动变形值的函数形式和预测参数。如典型曲线法、剖面函数法等，虽然计算公式来源于理论推导，但其参数均来源于实测资料，所以可认为是基于实测资料的经验法 (类比法)。

(2) 理论模拟法是采用连续介质的力学原理或非连续介质力学理论建立的各种理想化的数学模型，用以计算影响岩体变形、运动的应力分布。由于模型概化和参数取值有时仍



难以准确地反映岩土体内变形移动与破坏机理，往往会出现“失真”的结果。

(3)物理模型法是按相似理论用相似材料制作的物理模型，用以模拟岩溶塌陷的地表变形移动和破坏的情况。也由于概化的原因，还难以达到定量评价的程度，只用于定性研究各种条件下岩溶塌陷的机制和特征。

## 2. 预测所需资料

(1)地质条件，无论采用哪种方法，在进行塌陷预测时都必须首先研究预测对象的地质条件，包括上覆岩土体的岩性、岩相、结构、厚度及分布规律和成因。

(2)水文地质条件包括上覆岩土体的颗粒结构、富水性、埋藏条件、水位、水质、渗透性、含水层空间分布和厚度变化、隔水层分布及隔水性能，地下水的补径排条件等。

(3)地表水的水文条件、流量、水位、水质、季节变化、地表水与地下水的水力联系等。

(4)工程地质条件包括上覆岩组的物理、力学和水理性质、结构构造特征，节理裂隙发育及断层密度、充填、产状；原岩内应力状态、松散层中饱水粘土的压缩特性、主要压缩层的厚度、位置及固结压力、压缩及膨胀指数和次固结指数等。

(5)开采条件包括设计的采水或排水采矿的层位、埋深、采厚(水位降深)，采区尺寸、采矿(水)方法以及顶板管理等。

只有在详细而周密地了解塌陷区地质原形的基础上，正确地概化成基本模式，才能取得定性和定量关系和参数，较好地开展预测和预报工作。图 6.2 为用经验公式进行预测的框图。

## 2. 岩溶塌陷的监测预报

监测工作对岩溶塌陷的预报起到了十分重要的作用。主要包括地面、建筑物、水井(井、泉、矿井和水库)的长期观测以及塌陷前兆的监测。塌陷区前兆监测主要包括抽排水引起的地表积水,泉水干涸,水库蓄水引起的地面冒气,喷水,植物的变化,异常声响,建筑物开裂,倾斜,地面环形裂缝,地下土层垮落,井泉的水位,水量,水温,水质,含沙量的突变等。

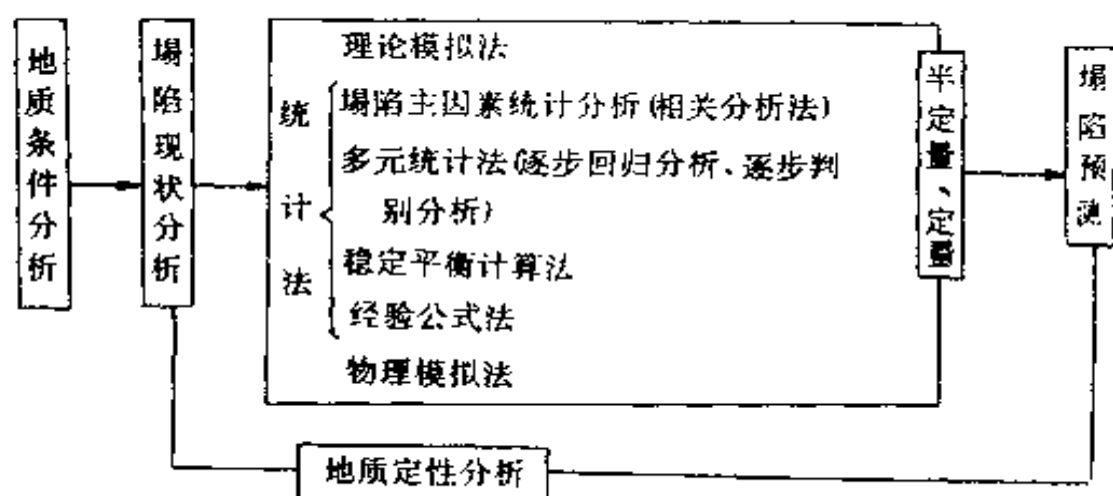


图 6.2 岩溶塌陷预测程序框图

### 三、岩溶塌陷的预防

塌陷预防是在预测的基础上进行的。根据预测资料和地区工程项目的实际需要,制订切实可行的预防措施,即根据塌陷产生的原因耦合有关影响因素采取相应的预防措施。

#### 1. 区域宏观控制

对区域经济规划或计划实施的项目中有塌陷威胁的地区,应进行岩溶塌陷的环境地质论证,对塌陷诱发因素进行合理的协调和适当的控制。这项工作主要应在重大工程项目的选址和可行性研究阶段进行,对岩溶发育区布置重大工程

应十分慎重，多采取避、绕、躲的原则。如实在无法回避时，则需进行专门的论证工作，查清岩溶发育规律，采取工程措施，切忌盲目兴建。

## 2. 供水水源地的塌陷预防

主要控制地下水开采动态，优化开采方案和管理模型。其措施是：分散抽水，远离建筑密集区，抽取深层地下水，避免一次性大降深强抽，控制地下水位变幅（在基岩面以上），避免时抽时停，在抽水工艺上设置合适的过滤器等。

## 3. 矿山塌陷预防

关键是人工控制矿坑排水动态，解决好矿坑疏干排水强度、井下突水和地表水倒灌等问题，因为它们常常是矿区塌陷的诱发因素。其措施是：矿山疏干排水可采用缓排、稳排方式；为防止地表水倒灌，在地表进行铺（河沟防渗层）、堵（落水洞）、截（洪流）、改（河道）；为防止井下突水，可在井下超前探水，工作面注浆，封堵突水点，化突水为控制性放水，对较窄的进水面或通道口可采用注浆帷幕堵截。尤其应加强对中小集体、个体矿山进行管理，预防不合规范的乱采、预留矿柱过少、过薄等危险行为出现。

## 4. 建筑物基础的预防

在可能（潜在）塌陷区段内的重要建筑物可作防塌设计，基础可采用条型、筏型、长条箱型或整板基础等，以便在塌陷产生时可形成跨越结构。根据不同的情况，还可采用钻孔灌注桩、沉井等深基础加固法把建筑物基础落在稳定可靠的基岩上。

## 5. 水库塌陷预防

大型水电工程要避开岩溶发育区，如三峡坝址就否定了岩溶发育的南津关而选定了花岗岩分布的三斗坪地区。中小

型水电工程在可溶岩地区进行水工建筑物勘察工作时，要解决好渗漏问题，渗漏往往是水库库区塌陷的诱导因素，多采取注浆、帷幕等防渗措施以确保安全。

#### 四、岩溶塌陷的治理

主要措施有：填堵、跨越、强夯、灌注、深基础、疏排围改治理，平衡地下水气压力以及综合治理等方法。

(1) 填堵法 主要适用于浅部土洞、塌陷。将块石、片石填入，上覆粘土夯实即可。遇重要建筑物时，可考虑用钢筋混凝土板治理。

(2) 跨越法 对建筑物采用跨越土洞或塌陷的基础。

(3) 强夯法 将 10 ~ 20t 夯锤吊至 10 ~ 40m 高，让其下落夯实地基土层，可消除浅部土洞隐患。

(4) 灌注法 较常用的灌注法是把灌注材料通过钻孔或溶洞通道的出口进行灌浆。其目的是强化土层和洞穴充填物，充填岩溶洞穴，拦截地下水流，加固建筑物地基。灌注材料主要是水泥、碎料(砂、矿渣等)、速凝剂(水玻璃、氯化钙)等。灌注方式采用低压间歇定量式或循环式灌浆。

(5) 深基础法 对于一些深度较大，同时跨越结构又无能为力的塌陷坑，采用深基础加固建筑物是一种较理想的方法，常使用打入桩、钻孔灌注桩、旋喷桩、沉井等把基础置于完整基岩上。

(6) 疏、排、围、改治理方法 塌陷坑往往成为地表水倒灌的进口，因此，采用疏排方式把地表水引开；易产生洪泛的地区要把塌坑四周围起来，并尽快回填；当塌坑在河床两侧或河床内时，根据具体情况可考虑河床改道绕行。

(7) 平衡地下水气压力法 在一些岩溶空腔内，由于水位升降会产生水气压力的变化，为防止或消除气爆、气蚀效应，可设置各种与岩溶管道相通的排气装置，尤其在岩溶地

下河系修建小水电站时，坝高设计必须考虑到排气的需要，以保持地表与地下的水气压力平衡，消除引起塌陷的动力。

(8) 综合治理 由于岩溶区地貌、地质、水文地质条件复杂，采用单一的方法往往收不到理想的治理效果，因此可视具体情况，针对塌陷产生的诸多因素进行多种方法综合治理。

### 第三节 土地生态系统的破坏与 塌陷区的综合整治

#### 一、概述

土地生态系统的核心是农田生态系统。矿产资源开采对土地资源的破坏会将农田生态系统变成塌陷区(荒地，无产出)。由于土地资源是无法替代的最重要的自然资源的构成部分，又是其他自然环境资源的载体，强烈的社会效应必然要求对塌陷区进行整治，恢复产出。从物质循环的观点看，产出必须有投入，塌陷区综合整治事实上就是再建土地生态系统，重建生态平衡过程。平原地区矿产资源开采土地生态系统变更过程如下：

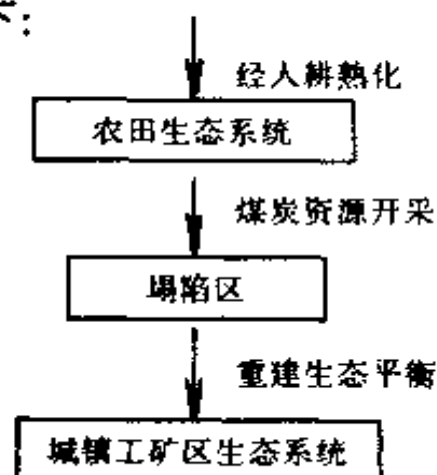


图 6.3 土地生态系统变更过程

重建生态平衡必须尊重土地资源的自然属性和经济属性。因此，从土地生态学的观点出发，工程措施恢复土地的属性，生物措施恢复土地生产力，维持社会生产关系的经济属性，人口迁移和安置适应社会效应，重建人工生态系统，应是塌陷区综合整治的归宿。

## 二、土地生态系统与生态平衡的基本概念

### 1. 土地生态系统基本概念

土地生态系统是指在一定地域范围内，土地上的无生命体(环境条件)与同一地域范围内的有机生命体(动植物、人类、微生物等生物要素)之间，形成不断发展、变化的能量流动和物质循环的有机综合体。土地生态系统环境变化很大，形式多种多样，归纳起来有以下三个方面特点：

(1)土地生态系统是由若干个子系统组成的母系统。各子系统中，生物与非生物之间，相互联系、相互制约形成统一的、不可分割的自然综合体。母系统包括农田生态系统、林地生态系统、草地生态系统、沼泽生态系统、水域生产系统、荒漠生产系统、城镇生产系统。

(2)土地生态系统是人工生态系统与自然生态系统的综合体。土地生态系统虽然包括自然生态系统的组成部分，但以经过人们治理、改造形成的人工生态系统为主要内容。人们通过生产资料的投放、产品的产出、经济政策、科学技术等，不断影响着系统中能量的转化和物质循环。

(3)土地生态系统是多种生物要素和多种环境条件组成的综合体。多种生物要素反映生物生长过程，表现绿色植被是土地生态系统中最重要的一环。

### 2. 系统的能量流动与物质循环

系统能量流动是绿色植物把太阳能转变为化学能，再经

过动物的生命活动转化为动物能的能量过程。在生物链营养级序列上，下一营养级的能量只能满足上一营养级中少数消费的需要并逐级向上。营养级能量呈阶梯状递减，底部宽，上部窄，形如尖塔，称“生态学金字塔”。系统物质流是生物生命活动必须的各种营养元素在各个营养级之间的传递、连接而构成的。所谓“循环”是指物质可以被多次重复利用，即生物从环境中得到营养物质，通过食物链关系再被其他生物利用，最后复归于环境。

土地生态系统中，植被库、动物库和土壤库等把能量和物质暂时吸收、固定和贮存，形成人们可以利用的资源，必不可少，决定生态系统的生产力。

生物群体将环境因素中物质元素吸收进入到体内，又从生物体进入环境。各种物质在环境与生物之间构成的环叫做生物地球化学环。农业生产是在自然界多种多样生物地球化学环的基础上进行的，生物地球化学环影响作物构成、产量和农业耕作管理体制。

### 3. 生态平衡的基本概念

生态系统是开放的，能量和生物不断输入和输出，每时每刻都在运动和变化。当能量和物质的输入大于输出，生物量增加；反之，生物量减少。若输入和输出较长时间趋于相等，生态系统的结构和功能长期处于稳定状态，这种状态叫生态系统平衡。

生态系统的调节能力是有限度的，这个限度称“生态极限”。外界施加于生态系统的压力处于“极限”以内，系统能够校正自然和人类所引起的许多不平衡，超过“极限”，生态系统不再具有自动调节的能力，从而改变和破坏生态系统。

生态系统平衡是相对的、暂时的，随着条件的改变，特

别是人类活动的加剧，经常改变这种平衡。生态系统总是处于不平衡—平衡—不平衡的发展过程中。

### 三、地表塌陷影响生态平衡的主要方面

#### 1. 非生物环境，阻断物质循环

矿产资源开采地表形态变化，直接改变土地资源的地貌形态，土壤肥力、水温、小气候等(生态系统组成中的非生物环境)，即生态系统的自然属性。随着开采工作面的推进，塌陷范围与程度的加大，自然因素综合体将发生质的变化，土地类型的性质必将随之变化，使本来具有某一自然综合特性的土地类型出现分异。土地类型作为社会物质生产的资源遭受破坏，其经济特性将会改变，如本来宜农的(土地)不能“农”，宜林的不能“林”，宜牧的不能“牧”时，若仍然按照原有的利用方式利用土地，显然是不可行的。

非生物环境是生物地球化学循环的基本环节，对生物生命起控制作用(当然，生物有机体通过许多途径也影响着非生物环境)。非生物环境的改变，使以非生物环境为生存条件的绿色植物，失去了吸收营养物质的根基，丧失贮存生物量的功能。表现为物种数量减少，农作物产量降低甚至绝产，动物迁移，微生物流失，农田生态系统瓦解。

事实上，生态平衡的失调是从功能与结构两方面表现出来的，两者相互依存、相互制约，物质循环中断，伴随能量流动受阻，同时也引起生态系统结构变化或结构缺损。

#### 2. 迫使农田生态系统的主控者(人)大规模迁移

人在农田生态系统中控制农作物种群，如耕耘、施肥、灌溉、治虫、用药、收割等。农田生态系统的生产实践主要是处理用地与养地的关系。用地，是人们通过产品收获从地里取走物质；养地，主要是向土壤归还物质元素(包括兴建



水利)。用养的本质是人们控制各种不同物质元素的运动,以提高土地生产率。

矿产开采对土地资源的破坏,使土地失去承载生命活动和承载自然资源的能力。没有人为的控制,农作物种群本身很难抵御人为造成的灾害(包括由此引起的其他自然灾害),只能自灭。同时人们也无法通过劳动,过滤其他自然资源,赋予其应有的价值,取代原生命活动最基本的物质条件,只能迁移,也标志着农田生态系统彻底崩溃。

#### 四、重建农田生态系统的必要性及意义

##### 1. 被迫转移劳动力与剩余劳动力的本质区别

剩余劳动力是指随着农业生产力的提高,市场经济价值规律的作用,农民自主将劳动力和资金等生产要素从经济低效益的生产部门向经济高效益的部门转移而出现;可以脱离家庭,呈相对“自由”状态;或以社会和家庭为背景,从事第二、第三产业。矿产开采地表塌陷劳动力转移属被迫转移——因失去生产场所,丢失最基本的生存条件(土地)而迁移。劳动力转移无法脱离家庭,人走家庭走,影响面广,牵涉到区域经济、人口、社会等诸方面,社会效应强烈,因此人口能否妥善安置是塌陷区综合整治成败的关键。

##### 2. 劳动力被迫转移的困难因素

在矿产开采区域,往往农村劳动力基数大,文化程度低,严重制约农业劳动力向城镇(矿区)和非农业产业部门的转移。同时,矿区建设的新老更替(如老煤矿报废),煤炭行业自身也存在采矿工人转移的问题,煤矿建设发展吸收农业劳动力的数量也是有限的。劳动力的被迫转移不仅是个人问题,还牵涉到家庭,或多或少,或直接与间接给矿业系统增加负担,家庭问题有时也成为劳动力向矿区转移的困难因

素。

### 3. 发展非农业面临的困境

(1)投资环境差。以往的采矿建设区域往往生产力布局不合力，在布局生产力时注重能源基地开发，不能提供带动农村经济全面发展的其他项目。如淮南和淮北能源基地的产业以采掘煤炭、煤化工和电力为主，与周围农村传统农业反差强烈，呈强行嵌入式，没有给农村发展非农业产业提供契机和推动力。另一方面，地区本身没有完整的城镇体系，缺乏中心承受经济、技术等方面的辐射作用，管理经济能力弱，工作效率低，劳动力素质差，也是不利于发展非农业的客观因素。

(2)地方资金严重不足。资金是商品经济的“血液”，是发展非农业产业最重要的基础条件之一。由于地方政府无力投资，农民自筹资金困难，靠矿产行业一家投资启动非农业生产，显然是不现实的。地方资金严重不足是发展非农业产业面临的又一困境。

### 4. 土地自由再生利用的必要性及意义

我国目前的劳动生产力水平不高，要维持现有的农业产量必须巩固和保持农业用地数量及相应质量。采矿行业的生产，加剧了人多地少的矛盾，自然更应服从国家大局。由于塌陷范围内被迫转移的劳动力转产困难，塌陷区综合整治必然面临人口要回归原有土地，重整土地，承担土地资源再生利用的重任。为发挥农业劳动力的特长，塌陷区综合整治后土地利用应面向农业生产，其本质是重建农田生态系统，恢复家园，向生态平衡回归。回归的意义不是简单复原，而是提高的螺旋式前进，表现在重建的农田生态系统与原先的农田生态系统有着鲜明的特性差异，重建的农田生态系统以矿区为依托，是城镇工矿区生产系统的子系统。因重整的土地

类型分异，农田生态系统趋于多样，系统更加复杂，投入产出比更大，农产品种类繁多，土地利用更加合理。

塌陷区综合整治，对于缓和矿区土地减少，提高土地利用率和生产率，保护矿区环境意义深远。

## **五、重建生态平衡举措**

### **1. 塌陷区综合整治规划设计**

(1)调查土地类型及土地利用现状。根据矿区建设与矿产开采设计、调查并拟定塌陷范围内的土地类型、土地资源数量和土地利用现状，同时调查农业及人口状况。

(2)预测土地类型变化趋势。依据地区矿业开采地表塌陷基本规律，采用一定数学模式预测地表形态变化，综合地形、地貌、水系、植被、土壤特性、气候等因素，拟定地表塌陷将可能出现的各种土地类型，并评价土地类型的适应性，预测可能的土地利用方式，提出煤炭开采土地资源影响的报告书。

(3)规划农田生态系统类型。以变化后的土地资源自然属性为基础，划分将要建立的农田生态系统类型。

(4)综合整治工程设计。工程设计与矿产开采设计一起进行，包括复垦方法、工序和设备。

### **2. 工程措施**

矿产开采塌陷区综合整治工程措施，诸如煤矸石回填塌陷区，电厂粉煤灰覆田，浅塌陷区挖深填浅等已有成功经验。工程措施的目的是恢复土地资源的自然属性。

### **3. 生物措施**

塌陷区综合整治应注重工程措施与生物措施。工程措施与生物措施相结合，是创造能量流动和物质循环的基本手段。生物措施与工程措施各有各的作用，互相不能代替，缺

不可，工程措施要靠生物措施来保护，使之发挥作用。在实施工程措施的同时，应广泛植树种草，增加地面绿化覆盖率，逐步提高土壤肥力，为后续农业复垦打下基础。

植被的生产是整个农业生态系统物质和能量的基础来源，针对塌陷区土地利用变化状况，调整种植业内部结构合理轮作，广辟肥源，进行种植业复垦，种植业复垦应以生物措施为主攻方向；其次根据塌陷区地下水位的季节性变动，实行林业复垦；对于深塌陷区采取水产养殖复垦。逐步组成组分复杂、类型各异的农田生态系统。

#### 4. 土地保护

在塌陷区土地复垦后不久，形成的生态系统往往组分简单、能量流动与物质循环效率不高、抗逆性能力弱，因此实行土地保护，控制和消除土地污染十分必要。为防治土地污染，应严格控制“三废”排放，努力消除化肥、农药、生物粪便(病原菌)的污染，从塌陷区整治的全局性和整体性出发，把控制和消除土地污染作为重建生态平衡的重要内容之一，在规划设计阶段就应考虑和注意。

## 第四节 矿产开采沉陷引起的环境危害 及其整治费用效益分析方法

### 一、基本概念

#### 1. 环境效应

环境是一种资源，为人类生存提供了必要的条件，并提供了具有经济效益的生产资料 and 消费资料，或给人类带来了舒适的享受等。环境给人类带来的这些效益称为环境效益。按劳动价值论的观点，环境资源具有使用价值和经济价值。

## 2. 环境破坏引起的经济损失

人类活动破坏了环境，给社会带来了危害，造成了经济损失，这就是环境破坏的经济损失。

矿山开采沉陷对环境破坏造成的经济损失，包括直接经济损失和间接经济损失两类。直接经济损失是指造成的设施破坏、产量和质量下降所引起的损失，一般可以用市场价格来计算。间接经济损失是指由于开采沉陷使环境资源的某些功能退化，而影响其他生产和消费系统造成的损失。

## 3. 环保措施的效益和费用

为了改善和恢复环境的功能和防止环境破坏采取的各种措施，减少了环境破坏引起的经济损失，给人类带来了效益，即为环保措施的效益。环境改善带来的效益，就是环境破坏经济损失的减少。

环保措施费用含防护、处理和管理三个方面。包括劳动力、材料和设备等一般类型的投入和对环境的消极影响(负效益)。

## 4. 社会贴现率

在费用—效益分析中，必须考虑时间因素。需引入贴现率概念来将未来的费用换算成费用和效益的现值，即把不同时间段的费用或效益化为一水平年的现值，计算公式如下：

$$PVC = C_0 + \frac{C_1}{1+r_1} + \frac{C_2}{(1+r_1)(1+r_2)} + \dots + \frac{C_i}{(1+r_1)(1+r_2)\dots(1+r_i)} \quad (1)$$

$$PVB = B_0 + \frac{B_1}{1+r_1} + \frac{B_2}{(1+r_1)(1+r_2)} + \dots + \frac{B_i}{(1+r_1)(1+r_2)\dots(1+r_i)} \quad (2)$$

式中  $PVC$  为总费用的现值;  $PVB$  为总效益的现值;  $C_t$ ,  $B_t$  为第  $t$  年的费用和效益;  $r_t$  为第  $t$  年的社会贴现率。

假设每年的社会贴现率均为  $r$ , 现值计算公式可简化为:

$$PVC = \sum_{t=0}^i \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

$$PVB = \sum_{t=0}^i \frac{B_t}{(1+r)^t} \quad (4)$$

## 二、开采沉陷环境工程费用效益分析的步骤

(1)弄清问题,确定目标。弄清矿区设计的基本内容及涉及的地域范围,列出受开采沉陷影响的环境因子,并弄清和提出为解决或减轻开采沉陷损害的各种方案措施及跨越时间范围。

(2)矿区环境功能分析。分析了解矿区自然环境、人工设施及居民分布状况及其功能。

(3)确定开采沉陷对环境的损害关系。分析研究开采沉陷对各环境因子的影响破坏规律,确定其破坏程度及开采保护措施的后果。

(4)确定整治、保护目标,提出可行的对策方案。

(5)分析预测各方案实施和对环境的改善或减轻损害的程度和效益,说明各方案带来的有利影响和附加的不利影响。

(6)估算各种方案的环境费用和效益。包括直接经济效益、综合利用资源回收效益,及环境改善的效益、工程投资、管理、运行费用及方案实施带来的二次损失。

(7)费用和效益的现值计算。

(8)费用和效益的比较。计算各方案的净效益,一般以净效益最大的方案为最优方案。计算公式如下:

$$PVNB = PVDB + PVEB - PVC - PVEC \quad (5)$$

式中  $PVNB$  为净效益的现值;  $PVDB$  为方案实施后直接经济效益的现值;  $PVEB$  为环境改善效益的现值;  $PVC$  为方案投资、管理及运转费用现值;  $PVEC$  为方案实施带来二次破坏损失现值。

在许多时候,计算净效益十分困难,这是因为优先影响是很难定量计算的;同时,有关方面对费用、效益量值方法的想法不完全一致。所以除净效益的比较,还应列出达到治理水平所需的额外费用,供决策者参考。

### 三、开采沉陷环境工程费用与效益的估算方法

开采沉陷环境工程项目的直接经济效益和直接经济费用的计算方法与一般的技术经济计算相似,本文不做详述。对于如何估算开采沉陷对环境影响带来的损失,及环境改善的效益,作者认为可采用以下方法近似估算。

(1)市场价值法。利用开采沉陷引起的环境因子变化而导致的产量和利润的变化,应用市场价格来估算经济损失。

(2)恢复和预防费用法。就是用环保投入的实际市场价格来估算环境费用和损失,即通过恢复和更新遭到损失的环境因子所需费用的估算来对环境因子受损做出间接评价。

(3)影子工程法。即在环境破坏后,假定人工建造一个工

程(影子工程)来代替原来的环境功能,则环境破坏的损失至少是新工程的投资费用。

(4)机会成本法。就是以收益的损失来估算资源破坏损失的方法。其基本思想是,对于一种资源存在多种互相排斥的开发利用的备选方案,为做出最好的经济选择,必须找出一种净效益最高的方案。资源是有限的,选择了一种机会,就放弃了其他使用机会;在其他使用方案中获得的最大经济效益,就称为该资源的机会成本。

(5)赔偿法。对开采沉陷造成的财产损害给予赔偿,反映了人们遭受损害的总量估计。目前国内外在处理开采沉陷造成的损害问题时,多采用赔偿法。

(6)调查评价法。通过向专家或环境资源使用者进行调查以获得对环境资源价值或环保措施的估价。

#### 四、开采沉陷对注意环境影响因子损害的经济损失计算方法

##### 1. 开采沉陷对居民住房影响的损失计算

(1)恢复和防护费用法与赔偿法结合使用。计算参数:地表移动变形最大值(估计破坏程度),维修费用,房屋价值降低到赔偿费用(主要取决于房屋使用困难、外观异常、室内潮湿、结构松弛的程度):

$$\text{经济损失 } D = \text{维修费用 } D_1 + \text{赔偿费用 } D_2 \quad (6)$$

##### (2)影子工程法。

$$\text{经济损失 } D = \text{新建房屋的投资费用 } D_3 \quad (7)$$

$D_3$  中包括征地费、三通费。

##### 2. 开采沉陷对工业厂房及设施影响的损失计算



(1)影子工程法。主要参数：迁建具有同样功能的新厂的投资费用。

(2)恢复费用法和市场价值法相结合。主要参数：厂房及设施的加固及维修费用的增加，而减少部分产值利润。

### 3. 开采沉陷对水工建筑影响的损失计算

(1)恢复及防护费用法。主要参数：地表移动变形最大值，影响范围，加固及加高堤坝的投资费用。

(2)影子工程法。主要参数：新建工程或重建部分的投资。

### 4. 开采沉陷对铁路影响的损失估算

计算方法：恢复费用法。主要参数：地表最大移动和变形值，影响范围、影响时间、材料消耗及维修费用的增加，及由此而引起的列车运行表改变，运行速度降低等造成的损失。

### 5. 开采沉陷对公路影响的损失计算

计算方法：恢复费用法。计算参数：地表移动变形值，影响范围、材料消耗及劳务费用的增加，以及公路寿命的缩短及车辆磨损增加带来的损失。

### 6. 开采沉陷对桥涵影响的损失计算

(1)影子工程法。主要参数：新建桥涵的投资费用。

(2)恢复费用法。主要参数：地表最大移动变形值、影响时间、维修费用的增加。

### 7. 开采沉陷对通讯、输电设施的影响损失计算

计算方法：恢复费用法。主要参数：影响时间、影响范围、检测及维修费用的增加。

### 8. 开采沉陷对输送管道及地下电缆影响的经济损失计算

(1)恢复及防护费用法。主要参数：地表最大移动变形值、影响长度、维修费用的增加(包括改变管道、电缆的铺设方式及调整维修费用)；输送物损失增加及输送能力降低(指管道)带来的经济损失。

(2)影子工程法。主要参数：新建一条输送管道的投资费用。

#### 9. 开采沉陷对水资源破坏引起的经济损失计算

##### (1)造成水资源短缺引起的损失计算：

方法一：机会成本法。主要参数：水资源在当地的机会成本，开采沉陷引起的水资源短缺数量。

方法二：影子工程法(远处取水或打深井方案)。主要参数：新建水源单位投资费用(含管理、运输费用)，日供水能力。

方法三：市场价值法。用于灌溉水源破坏的损失估算。主要参数：每亩农田因缺水而减产的损失(或林地、木材生产率降低)，影响范围等。

##### (2)地下水位下降增加开采成本：

计算方法：市场价值法。主要参数：地下水开采成本的增加，地下水开采量。

##### (3)矿井涌水量增加：

计算方法：市场价值法。主要参数：矿井排水费用及水处理费用的增加量。

#### 10. 开采沉陷对土地资源破坏的经济损失计算

##### (1)耕地破坏损失计算

①市场价值法。主要参数：受影响耕地的数量 $S$ ，减产的损失。

$$D = P \cdot S \cdot (R_0 - R) \quad (8)$$

式中：P为作物的市场价格， $R_0$ 为正常耕地的单产，R为受影响后的单产。

②赔偿法。主要参数：耕地受影响的程度，影响范围及土地所有者对赔偿的期望值。

## ②林地破坏损失计算

计算方法：市场价值法。主要参数：受影响范围、木材生产率变化量及木材价格。

## ③建设用地破坏的损失计算

①恢复费用法。主要参数：最大下沉量、影响范围、附加的回填及地基处理费用。

②市场价值法。主要参数：影响范围、土地价格的降低。

## 11. 开采沉陷造成山体滑移、崩塌带来的损失估算

计算方法：防护和恢复费用法。主要参数：治理费用(因地而异)。

## 12. 开采沉陷对景观破坏的损失估算

计算方法：调查评价法。重要参数：人们对环境的支付愿望(因地而异，对于旅游开发区支付愿望较高，对于未开发区，支付愿望较低)。

## 13. 开采沉陷对有用矿物资源(具有开采价值)的破坏损失计算

计算方法：机会成本法。主要参数：有用矿物的成本、矿物储量。

## 五、开采沉陷环境工程中费用效益分析应注意的问题

开采沉陷是矿产开采所付出的环境代价，通过采取井下采矿措施和地面处理措施，可有效地减轻沉陷带来的经济损失。环境改善的效益和环境破坏的损失估算，存在一定的不

确定性和风险，很难准确计算，还有待进一步研究。在进行开采沉陷环境工程费效益分析时，应注意以下问题：

(1)重复计算问题。在进行效益、费用估算时，应避免重复计算问题。例如开采沉陷造成了农作物供水状况发生变化，最终反映到产量的降低，而沉陷造成的耕地破坏最终也反映到产量的降低，因此计算时不能两方面都算。容易造成重复计算的因素很多，应特别注意。

(2)开采沉陷环境治理方案选择问题。矿区开采沉陷的综合治理应是在矿区统一规划下，分期分区进行综合防治工作，用于方案选择的费用效益分析亦可分区进行，或按不同环境因子分别进行。

(3)在进行开采沉陷环境影响及治理的费用效益分析中，应注意和整个项目的其他方面进行协调。

## 参 考 文 献

- 陈述彭, 1995, 环境保护与资源可持续利用, 中国人口、资源与环境, 第5卷, 第3期。
- 崔明昌, 1995, 翰材桥隧道塌方处理及施工, 石家庄铁道学院学报, 第8卷, 第2期。
- 段永侯, 1990, 中国地质灾害, 中国建筑工业出版社。
- 郭达志等, 1995, 煤矿城市的环境与动态综合监测技术, 煤矿环境保护, 第九期。
- 郭康夫, 1996, 京通线K288路基严重沉陷病害的治理, 路基工程, 总第64期。
- 胡振琪等, 1994, 采煤沉陷地土地复垦归还设计的内容深度, 煤护, 第八期。
- 胡振琪等, 1996, 试验土地复垦学在环境科学中的地位和作用, 煤矿环境保护, 第2期。
- 胡振琪等, 1994, 煤矿沉陷区泥浆泵复田技术研究, 中国矿业大学学报, 第23卷, 第1期。
- 纪万斌等, 1996, 塌陷与生态, 地震出版社。
- 贾希荣等, 1996, 国内外煤矿环境保护研究现状及趋势, 第10卷, 第2期。
- 孔德宝, 1994, 从土地生态系统的角度看塌陷区综合整治, 煤矿环境保护, 第8卷, 第2期。
- 李新安等, 1996, 保护煤矿环境与发展生产力, 煤矿环境保护, 第3期。
- 李树志等, 1994, 生态农业复垦技术, 煤矿环境保护, 第6卷, 第3期。
- 李明朗, 1991, 中国沿海地面沉降及防治对策论沿海地区减灾与发

展,地震出版社。

李德柱, 1995, 京九线津霸联络线 K 22 路堤塌滑的整治措施, 路基工程, 总第 61 期。

刘传正, 1996, 乌江鸡冠岭山崩堵江地质灾害及其防治对策, 水文地质工程地质, 第 4 期。

刘晓静, 1995, 中国城市化与减灾对策研究自由、环境与持续发展战略, 中国环境科学出版社。

钱惠国, 1994, 岩溶地区铁路隧道工程与地质环境的相互作用, 西南交通大学出版社。

史永福, 1994, 谈煤矿透地还田, 煤矿环境保护, 第 8 卷, 第 1 期。

史培军, 1995, 中日自然灾害、减灾建设与可持续发展, 自然自由学报, 第 10 卷, 第 3 期。

申曙光, 1995, 论灾害防治指导思想的转变, 中国人口自由与环境, 第 5 卷, 第 3 期。

谭开鸥等, 1995, 重庆地区的岩溶塌陷及其形成机理, 中国地质灾害与防治学报, 第 6 卷, 第 3 期。

王若柏等, 1994, 天津地区地面沉降及其对地理环境的影响, 地理学报, 第 4 期。

王淑彦, 1992, 津浦铁路泰安路基塌陷研究与防治, 水文地质工程地质, 第 4 期。

魏同, 1995, 煤炭工业可持续发展进入操作的设想, 中国煤矿, 第 2 期。

张敏媛, 1995, 露天采煤与可持续发展, 中国煤炭, 第 6 期。

张林泉, 1994, 关于区域可持续发展的系统分析, 中国人口、资源与环境, 第 2 期。

朱丕荣, 1995, 持续农业是中国农业发展的必然趋向, 中国人口、资源与环境, 第 5 卷, 第 1 期。

蒋忠信等, 1996, 中国山区道路灾害防治, 重庆大学出版社。

- 中国水文地质工程地质勘察院, 1996, 中国分省地质灾害图集, 中国地图出版社。
- 袁道先等, 1988, 岩溶环境学, 重庆出版社。
- 朱兴贤等, 1997, 苏锡常地区地面沉降灾害与经济损失分析, 水文地质工程地质, 第 3 期。
- 霍宗保, 1993, 试论煤矿塌陷区的复土造田, 煤矿环境保护, 第 3 期。
- 邹彦林等, 1993, 两淮煤矿塌陷区的综合开发利用, 农业经济问题, 第 9 期。
- 郭广礼等, 1993, 煤矿地表塌陷对农田生态条件的影响及预测评价方法初探, 煤矿环境保护, 第 6 期。
- 邹成杰等, 1994, 水利水电岩溶工程地质, 水利电力出版社。
- 单青生等, 1994, 北京西山地面塌陷研究, 中国地质灾害与防治学报(第二届全国地质灾害与防治学术讨论会论文集)。
- 陆心贤, 1990, 中国经济地理, 高等教育出版社。
- 杜维欣等, 1993, 抚顺矿区采煤沉陷与复垦还田综合治理, 煤矿环境保护, 第 3 期。
- 杨选民, 1996, 陕西渭北煤田地表塌陷规律及治理对策, 煤矿环境保护, 第 5 期。
- 中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书, 1994, 中国环境科学出版社。
- 孙杉、董兆祥等, 1995, 矿山开采引起的环境地质问题及其预测和防治对策研究报告, 河北地质学院。
- 朱道林, 1995, 论中国土地资源与社会经济持续发展, 资源、环境与持续发展战略, 中国环境科学出版社。

