

苏锡常地区地裂缝灾害研究

宗开红

(江苏省地质调查研究院)

提要: 在进入上世纪八十年代以来, 苏锡常地区国民经济持续高速发展, 但对地下水资源的超量开采, 破坏了均衡的地质环境, 诱发了一系列地质灾害, 如地面沉降、地裂缝、渍害等等, 尤其发展迅速的地面不均匀沉降——地裂缝灾害, 破坏性大, 给社会造成了不安定因素和负面影响。本文着重讨论地裂缝的形成机制, 以期能对地裂缝灾害进行更好的预测, 达到减灾防灾的目的。

关键词: 苏锡常地区 地裂缝 研究

苏锡常地区自改革开放以来, 地方经济突飞猛进, 目前已经成为我国东部沿海经济最为发达的地区之一。但是, 相对苏锡常地区经济建设的高速发展, 环境保护明显滞后, 尤其是对地质环境的保护意识的淡漠, 长期超量开采地下水资源, 引发了区域性地面沉降地质灾害。

苏锡常地区地面沉降主要发生在最近三十年中, 中心城市区稍早, 外围县市区稍晚, 时间上与地下水开采史基本一致。八十年代中期以前主要发生在三个中心城市及锡西地段, 八十年代中期以后, 随着地下水开采区的扩大和开采强度逐年骤增, 地面沉降问题也迅速扩大至区域(图1), 发生程度也越来越严重化(表1)。

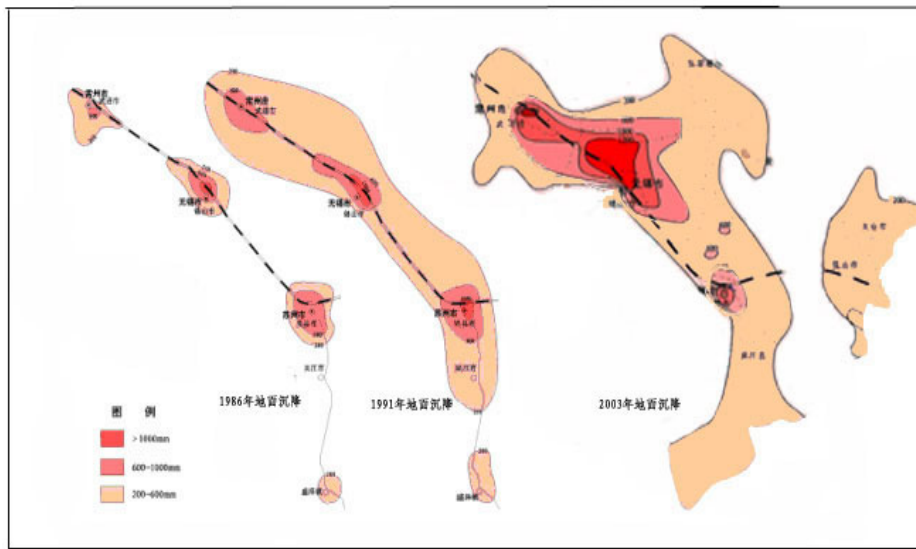


图1 苏锡常地区地面沉降发展变化图

现状中累计沉降量大于 200 毫米的区间面积近 6000 平方公里, 约占苏锡常平原地区总面积的 1/2, 而 500 毫米等值线已连片圈合了三个中心城市, 面积超过 1500 平方公里。

与此同时, 在区域性地面沉降发生、发育过程中, 由于存在特定的地质环境背景条件(基岩潜山、古埋藏阶地、含水砂层分布不均等)。及人为开采地下水的方式、方法不合理, 导致了在苏锡常地区的局部地方, 发育了地面不均匀沉降地质灾害, 在地表则以地裂缝的形式表现出来。它破坏了地表建筑物及地下管线等掩蔽工程, 严重影响了地方经济的可持续发展。

苏锡常地区地裂缝最初发生于上世纪八十年代末期, 鼎盛发育期为上世纪九十年代, 本世纪初的几年间, 亦陆续有发生。

表 1 苏锡常地区地面沉降发展变化情况统计一览表

时间 (年)	地面沉降漏斗面积 (平方公里)		
	累计沉降量 200—600mm	累计沉降量 600—1000mm	累计沉降量 >1000mm
1986	282	62	6
1991	1358	220	28
1999	3888	898	351
2002	4344.66	989.15	439.7

一、地裂缝分布发育特征

苏锡常地区地裂缝的分布发育,无论在空间上、时间上均是有规律可循的。

1、空间分布特征

(1) 平面特征

苏锡常地区地裂缝地质灾害的平面形态则呈线条状,或直或曲,或呈雁行式排列。大多在主裂缝两侧分布发育一定宽度的裂缝带,一般宽度小于 100 米,地裂缝延伸从数十米到千余米不等。

(2) 剖面特征

苏锡常地区地裂缝地质灾害的剖面形态,一般不甚清晰,大多呈裂缝两侧上下错移,在地表形成陡坎状或阶步状地裂缝;亦有的呈“V”字形开裂状,地表裂缝宽度一般在 2——80MM 左右,裂缝可见深度一般均在 20——40CM 左右。经对无锡市石塘湾因果岸地裂缝灾害进行剖面开挖及进行物探面波 (SWS) 测量显示,开挖剖面中裂缝的深度达 3 米 (图 2),面波勘探成果揭示,裂缝两侧相同第四系地层遭切割影响的深度可达 36 米之深;根据三维地震勘探成果的分析,地裂缝的影响深度可达基岩面,影响深度达到 60——80 米。

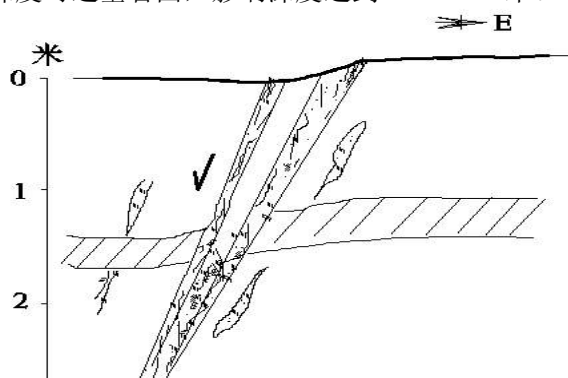


图 2 无锡石塘湾因果岸地裂缝剖面素描示意图

(3) 方向特征

苏锡常地区地裂缝地质灾害分布发育的方向性比较明显,大多呈 NE 向或 NNW 向分布;亦发育一些呈环状分布发育的地裂缝灾害,经对裂缝的发育方向进行玫瑰花图统计分析,方向性不太明显 (图 3)。

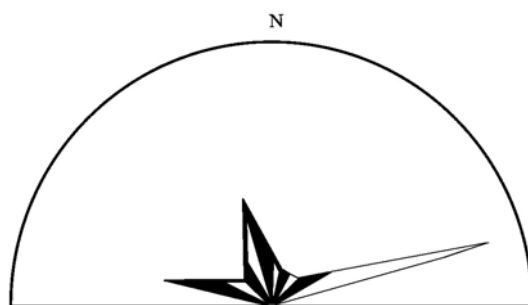


图3 常州大学城南周村地裂缝发育方向玫瑰花图

2、时间发育特征

经对苏锡常地区地裂缝发育的时间进行统计,其与区内地面沉降灾害发育的高峰期具有明显的相关性。本区地裂缝始发于 1989 年,在以后的近 20 年中,几乎每年均有地裂缝灾害的发生,鼎盛期在上世纪九十年代,尤其是 1995 年,本区即有 6 处地方发生地裂缝灾害,本世纪初有下降的趋势。

3、不同地质环境背景条件下产生不同类型地裂缝

不同的地质环境背景是地裂缝产生的内在因素。因此,在有埋藏山体、古埋藏阶地、埋藏基岩陡崖分布发育的地区,通常发育线状地裂缝,具有一定的延伸性;如江阴市长泾——河塘——无锡张泾杨墅里地裂缝带,即属该类型地裂缝;在地下水主采层以上的第四系沉积物,存在明显的沉积差异的地区,受地下水疏干因素的影响,多形成半环状发育的与土层结构差异有关的地裂缝,如常州市漕桥地裂缝灾害;在第四系沉积物中主采含水砂层不太发育或发育较差的地区,人们通常采取上下含水层综合开采的方法抽取地下水资源,进而在局部地区地下水水位形成局部的降落漏斗,使得局部地区的水力坡度变陡,在地表产生以环状为主的地裂缝灾害,如常州大学城南周村地裂缝灾害即属该类型。

4、地裂缝具持续性发展的特点

苏锡常地区地裂缝发生发展,在一定时间内具持续发展的特点,它们一般均在汛期或雨季初现,一旦形成后,沿裂隙面继续跌落加剧,是不稳定的发展状态。据野外调查,苏锡常地区目前仍有 5 处地裂缝具有进一步发育的特点,15 处地裂缝则处于相对稳定的发展阶段,5 处则已处于稳定阶段。

二、地裂缝形成机制研究

苏锡常地区地裂缝形成的主要影响因素有:客观存在的地质背景条件(基岩面起伏特征、基岩岩性、古埋藏阶地、第四系地层结构的差异、含水层的结构特征等)及人类为了发展经济而对地下水资源的无序、过量开采所产生的破坏作用。不同类型地裂缝的形成机制,是不同影响因素,在不同地区、不同的地质背景条件下共同作用的结果。

1、潜山型:

主要是第四纪地层差异、古基底起伏变化和区内强烈开采地下水造成地面沉降这一外在因素综合作用的结果。长期超量开采地下水,引起含水砂层及地下水储集层中的水头下降,造成地下含水砂层本身及上覆土层释水压缩,出现地面沉降;由于土层本身的结构差异或沉积

基底起伏等环境地质条件不均一时，即在土层压缩造成地面沉降的过程中出现明显的地面差异沉降，在土体内形成侧向张应力，当侧向张应力达到或超过土体的极限抗拉强度时，则在地表以地裂缝灾害的形式表现出来（图4）。

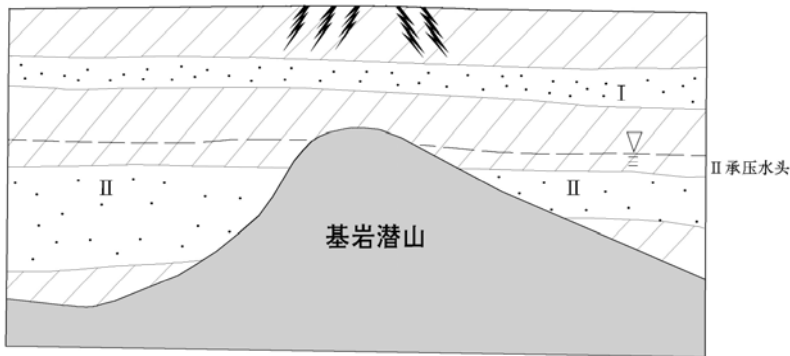


图4 基岩潜山型地裂缝形成地质模式图

2、地下水综合开采型：

地裂缝发生带附近分布有集中开采的深井，开采量较大，开采方式以第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ承压含水层均作为取水资源进行开采，由于Ⅱ、Ⅲ承压含水层不甚发育，富水性差，区域Ⅱ、Ⅲ承压含水层水位已降到-60——-70米，深井主采层则以近地表的第Ⅰ承压含水层为主，导致区内地下水含水层上下贯通，尤其是浅层水（潜水、第Ⅰ承压水）水位急剧下降，形成以深井为中心局部的水位降落漏斗（图5）。近地表的软土层和Ⅰ承压含水砂层压缩、变形所致，Ⅰ承压含水层具有埋藏浅、颗粒细、渗透性差等特点，强烈开采作用下，粉粒随地下水流失，砂粒重新排列，形成的水位降落漏斗形态较陡，水力坡度较大，往往容易形成地面不均匀沉降地质灾害。

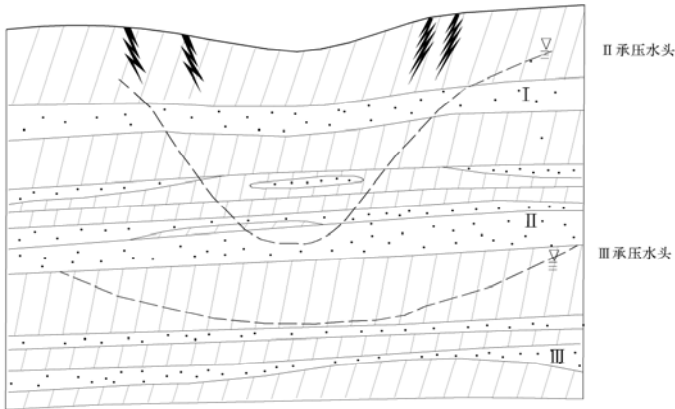


图5 地下水综合开采型地裂缝形成地质模式图

3、土层结构差异型：

地裂缝发育区近地表第四系沉积结构明显，尤其在地表硬土层之下发育厚度不均一的高压缩性软土层（淤泥质亚粘土层），而淤泥质亚粘土层的液化指数、天然孔隙比、渗透系数相对较大。当降水偏少的年份来临时，地下水开采层越流补给条件差，加之长期过量开采，造成地下水水头急剧下降，促使高压缩软土层压密释水，形成塑性变形，造成地面持续沉降，最终诱发地裂缝灾害（图6）。

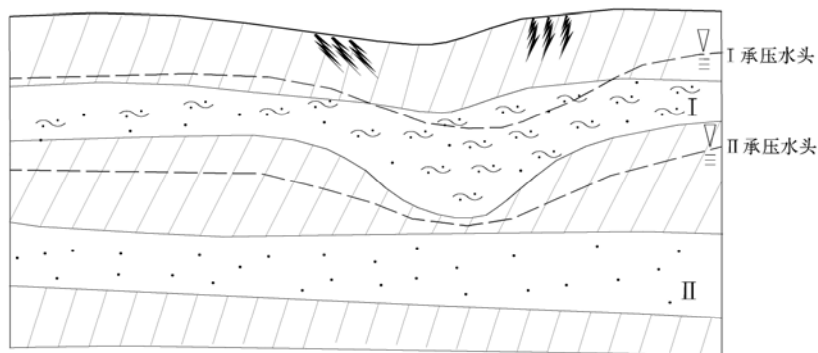


图 6 土层结构差异型地裂缝形成地质模式图

4、埋藏阶地型：

与基岩潜山型地裂缝的形成机制具有相似性，其主要影响因素为：古埋藏阶地或基岩陡崖（具线状分布特点）、第四纪地层差异和区内强烈开采地下水造成地面沉降这一外在因素综合作用的结果。长期超量开采地下水，引起含水砂层及地下水储集层中的水头下降，造成地下含水砂层本身及上覆土层释水压缩，出现地面沉降；在埋藏阶地或基岩陡崖的边缘部位，土层压缩造成明显的地面差异沉降，并具线状分布特点，则在地表以线状分布的地裂缝灾害的形式表现出来（图 7）。

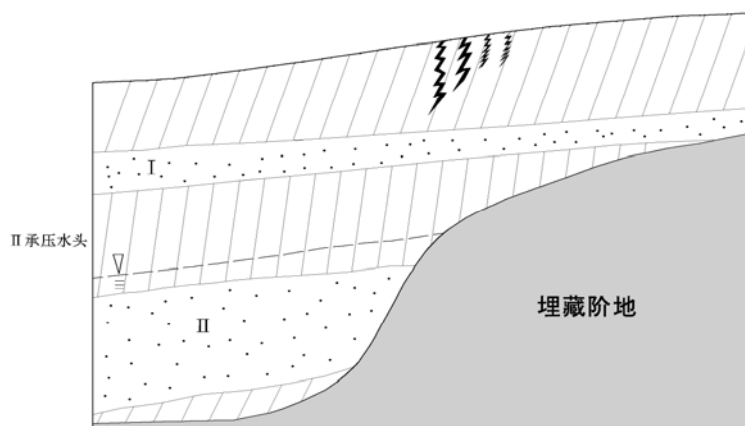


图 7 埋藏阶地型地裂缝形成地质模式图

5、岩溶型：

目前苏锡常地区发育的该类型地裂缝其形成机制与潜山型地裂缝具有相似性，其主要影响因素为：基岩隆起（基岩岩性必须是以具有可溶盐特征的灰岩地层）、岩溶发育、第四纪地层差异和区内强烈开采地下水造成地面沉降这一外在因素综合作用的结果。长期超量开采地下水，引起含水砂层及地下水水位下降，造成地下含水砂层本身及上覆土层释水压缩，出现地面沉降；在岩溶发育区，土层失水并压密，造成上覆松散堆积物垮落，诱发地面产生不均匀沉降，尤其在岩溶塌陷的边缘部位，在地表容易产生环状的地裂缝灾害（图 8）。

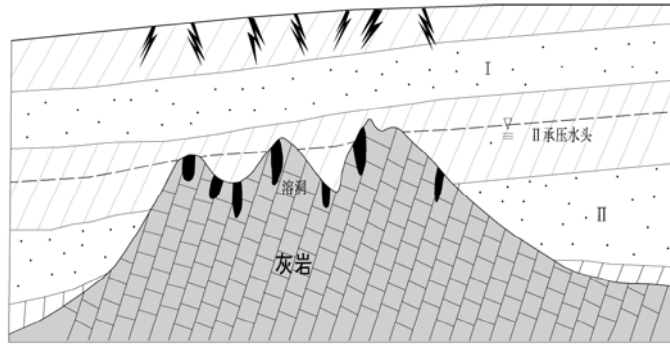


图 8 岩溶型地裂缝形成地质模式图

三、基于 GIS 的地裂缝易发区划分

目前，GIS 空间分析手段，已越来越多地应用于地质环境的定量或半定量分析评价。苏锡常地区地裂缝研究运用 Arc/Info 手段，对区内地裂缝发育的空间特征进行了模拟。

1、因子的确定

地裂缝灾害易发区的划分，主要依据基岩面的起伏形态、第四系沉积物分布的厚度差异性、地下水位、地下水含水层的空间特征、地面沉降等五方面因子，它们在地裂缝的发育过程中作用明显。

2、评价模型

基于 GIS 的评价模型，其数据表达式为：

$$I = \sum_{i=1}^n W_i \times C_i$$

式中：I—危险指数，表示各影响因子综合作用的叠加结果；

W_i —第 i 项因子的权重；

C_i —第 i 项因子的量化赋值；

n —影响因子的个数。

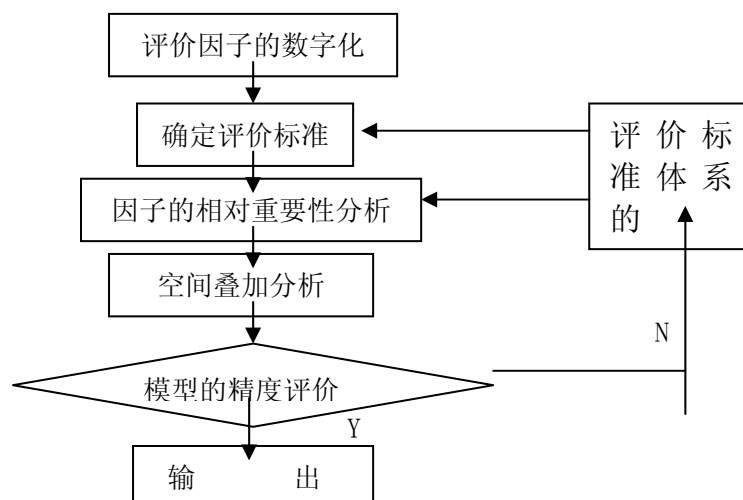


图 9 基于 GIS 的地裂缝灾害评价流程

3、评价程序

GIS 辅助下的地裂缝空间分布区划流程见图 9 所示。

Arc/Info 中的空间叠加实际上是图层的叠加，一切空间分析都是以数字地图为对象进行的。经过多次调整，苏锡常地区地裂缝评价分区模型如下：

$$I=0.33 \times C_{\text{基岩}} + 0.12 \times C_{\text{第四系}} + 0.19 \times C_{\text{地下水位}} + 0.16 \times C_{\text{含水层}} + 0.2 \times C_{\text{地面沉降}}$$

根据影响因子综合影响总分值的由高到低，对评价结果进行定性分类，分类在原则上反映灾情的现状严重程度，并作相应的面积统计，统计情况见表 2。

表 2 评价结果分区统计结果

危险性分区	危险区	一级易发区	二级易发区	相对安全区
分区阈值	$I > 5.85$	$4.20 < I \leq 5.85$	$2.50 < I \leq 4.20$	$I < 2.50$
面积统计 (km ²)	288.8	840.01	1643.47	7393.99

4、各级地裂缝灾害易发区的地质背景分析

由评价结果可见，苏锡常地区地裂缝地质灾害发生区和潜在危险区主要集中分布在常州戚墅堰以东、吴县黄埭以西的中部块段。该块段内的第四系基底相对二侧隆起，基岩面埋深较小，其起伏变化区间恰恰又在 II、III 承压含水砂层发育深度内，客观具备发生地裂缝灾变的特定地质环境条件，但不同等级区的地质背景又因地而异。

5、地裂缝灾害易发区带的圈定

根据上述模型运行结果以及目前的认识程度，初步确定地裂缝灾害易发区的划分原则主要依据基岩面（潜山、埋藏陡岩）的起伏形态、第四系沉积物的分布及厚度差异性、孔隙承压含水砂层厚度发生明显差异变化的线型边界（大多为古河道的边界）等条件综合确定。初步圈定出六个地裂缝地质灾害易发区带和可能存在地裂缝地质灾害隐患的地段（图 10）。

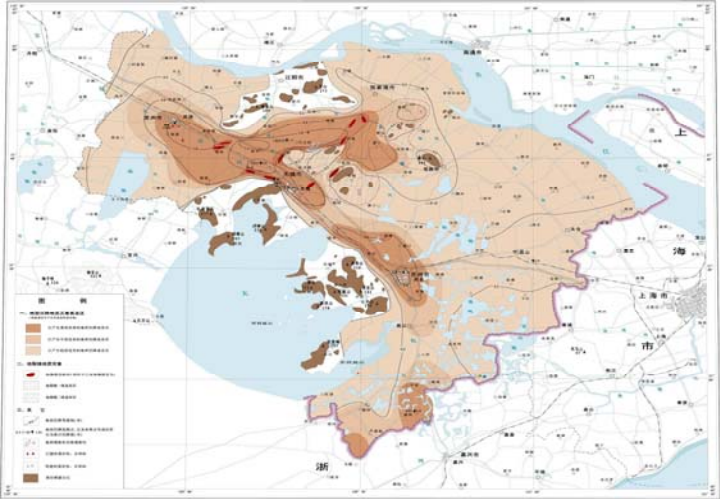


图 10 苏锡常地区地裂缝地质灾害易发区分区图

①、横林地裂缝地质灾害易发区带

大体以横林镇为中心，沿 NE 构造线走向，西南至湖塘桥、马杭、戚墅堰，为江南断裂控制的特定条带区，面积约 30 平方公里。

②、横山桥地裂缝地质灾害易发区带

横山桥地处芳茂山山前地貌变化部位，基岩面由裸露转向陡跌，推测有埋藏型断层崖控制中更新世古河道，两侧地面沉降明显不均匀发生，为易发生地裂缝灾变的区带。

③、无锡—苏州古河道南侧基岩岸线地裂缝地质灾害易发区带

区带北西—南东向延伸较长，西起锡山贾巷，往东南大体沿京杭运河，经无锡市区一直延至苏州浒关的条带内。该带是苏锡常地区极需警视的地裂缝地质灾害易发区带，目前已发现的贾巷和毛村园二处地裂缝灾点均在该区带内。

④、江阴南部古河道南界地裂缝地质灾害易发区带

分布锡山境内的堰桥、长安、厚桥、安镇间为基岩断块隆起，受其影响，推测潜山、断层崖较发育，是环境地质背景条件变化较大的区带，实为区内地裂缝易发区带。石塘湾秦巷、堰桥、河塘及长泾等地已发现的地裂缝均在该带中。

⑤、东亭地裂缝地质灾害易发区

在锡山新市区（东亭）西郊一带，从已形成地裂缝地区的勘探结果显示，可能与岛状残留分布的潜山有关，也可能与浅部地层因素有关，但诱发原因仍与强烈开采Ⅱ承压地下水有关。

⑥、张家港塘桥地裂缝地质灾害易发区

在张家港东南部塘桥、塘市、西张等乡镇地区，从迹象反应，地面沉降已严重发生，但不均匀，在多处已见有地裂缝灾变问题。

⑦、查桥地裂缝地质灾害易发区

位于吼山西侧山前平原北东向展布的条带区间，现状中已多处发生，并有进一步严重化发展趋势。

四、地裂缝灾害防治对策

地面沉降和地裂缝等地质灾害给苏锡常地区经济和社会的持续发展构成了严重制约，必须采取切实有效的措施加以防治和治理。地质灾害防治必须贯彻“以防为主、防治与避让”相结合的方针，进一步加强领导，提高认识，按照国家和省地质灾害防治管理规定，科学规划，强化管理，把地质灾害造成的损失降低到最低限度。从勘察已得知，区内地裂缝灾害，主要是地面沉降严重发生以后所显示的灾变形式，所以，最根本的还是需从控制地面沉降着眼。在地面沉降重度发生区，应该深入研究各种影响因素，对地面沉降不均匀发展趋势作出科学合理的评价。

尤其在初步圈定为地裂缝地质灾害易发区内，进行城镇建设和工程项目建设，也必须列为可能的地质灾害灾情之一，进行认真的危险性评估。在已发生的地裂缝灾区，应查明形成原因，准确圈定危险区，布设监测网点，并落实具体的避让措施。

结语

对苏锡常地裂缝的研究和认识，是一个渐进和逐步完善的过程，其发生发育具有如下特征：

1、苏锡常地裂缝的发育分布有其独特性

目前，苏锡常地区发现地裂缝带 25 处，其长度一般为 100——2000 米，宽度为 30——400 米，规模较小，平面形态以对称分布、一侧倾斜或环形展布，方向性强，多以 NE——SW 方

向为主，其空间展布、成灾时间与地下水水位、地面沉降基岩面起伏及土层结构差异等因素密切相关。

2、对苏锡常地裂缝形成机制的认识

地裂缝的形成往往与基岩潜山走向、中更新世古河道分布方向一致；裂缝带多在Ⅱ承压含水砂层发生突变的地段发育，充分体现了人类工程经济活动对地裂缝产生的重要影响；在成灾时间上，地下水主采层水位低于 50 米时，地裂缝成灾几率高。因此，苏锡常地裂缝的形成是在特定的地质环境背景条件下，过量开采地下水引起的地面不均匀沉降现象。

3、苏锡常地裂缝灾害的五种成因类型

在分析研究地裂缝灾害的形成因素及分布规律基础上，运用优势面理论及聚类分析法总结出其 5 种成因类型，即：基岩潜山型、埋藏阶地型、岩溶塌陷型、土层结构差异型及地下水综合开采型，尤以前二种为主。

4、对地裂缝灾害进行预测研究

运用 GIS 空间分析手段，对该地区地裂缝进行了区带划分，运用人工神经网络技术进行分析预测，采用灰色模型对其发展变化进行了计算，为地裂缝减灾防灾及综合治理奠定了基础。

5、提出了地裂缝减灾防灾及综合治理的对策

首先，加强政府职能部门的领导作用，其次，加强对地裂缝灾害进行群策群防的宣传力度，第三，加强对地面沉降、地裂缝灾害的监测预警工作。

总之，苏锡常地区地裂缝的发生、发展与自然地质条件密切相关，人类工程经济活动——过量开采地下水对地裂缝的形成、演化有着直接的影响。只要正确认识自然、保护自然环境，自然环境就会为人类社会造福，达到人地和谐的发展境界。

主要参考文献：

- 1、陈梦熊. 中国水文地质环境地质问题研究 [M]. 北京: 地震出版社, 1998
- 2、陈刚, 陈植华. 基于 GIS 的水资源管理信息系统 [J]. 水文地质工程地质, 1998, (3)
- 3、陈佩佩等. 基于人工神经网络的地裂缝危险性评价系统 [J]. 煤田地质与勘探, 2001, (3)
- 4、董东林, 武强. 临汾地裂缝灾害与地下水开采相关关系 [J]. 中国矿业大学学报, 1996, (1)
- 5、罗国煜, 陈新民, 李晓昭, 阎长虹. 城市环境岩土工程 [M]. 南京大学出版社, 2000
- 6、李永善. 西安地裂缝 [M]. 北京: 地震出版社, 1986
- 7、王景明. 地裂缝及其灾害理论与应用 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000
- 8、王智济. 地面沉降的工程地质研究 [J]. 地球科学, 1986, (2)
- 9、薛愚群. 地下水资源与江苏地面沉降研究 [J]. 江苏地质, 2001, 25, (4)
- 10、周继成. 人工神经网络——第六代计算机的实现 [M]. 北京: 科学普及出版社, 1993

Research on Ground Fissure Disaster in Suxichang Area

Zong Kaihong

Institute of Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing, 210018

Abstract: With the continuously rapid development of the economy, the demands of groundwater resources in Suxichang area have been steadily increasing since the 1980s. The balance of the geological environment conditions has been destroyed due to excessive groundwater extraction, and a series of geological disasters such as land subsidence, ground fissure and so on have occurred in this area. The ground fissure disaster caused by unbalance land subsidence has the characteristic of development and destruction, and has become a serious factor threatening social stability. The ground fissure features and its formation mechanism are discussed in this paper. The author also hope this research project may be help for predicting and preventing ground fissure disaster.

Keywords: ground fissure, groundwater, formation mechanism, Suxichang area

作者简介:

宗开红 1962—— 江苏泰兴市人 江苏省地质调查研究院 高级工程师 主要从事第四纪地质与环境地质的勘查与研究工作