

第十三篇

地质灾害经济评价 与灾害信息系统的设计

第一章 地质灾害经济学

第一节 地质灾害经济学定义

地质灾害经济学是地质灾害学与经济学的交叉科学也是自然科学与社会科学的交叉科学，与气象灾害经济学、生物灾害经济学等一样，是灾害经济学或环境经济学的一门分支学科。

地质灾害经济学的初步定义是，研究和评价地质灾害及与地质灾害有关的各种经济现象、经济活动、经济事物及其相互联系和规律以及防灾、减灾等所需付出的经济代价和可能得到经济效益的科学。

第二节 地质灾害经济学研究的主要对象和内容

- (1) 研究地质灾害风险预测及评估对区域或国家经济发展规划的经济影响；
- (2) 研究防灾、减灾所需付出的经济代价和可能得到的经济效益；
- (3) 研究及评价地质灾害对人类生命、财产、资源、环境破坏所造成的直接经济损失、间接经济损失、次生经济损失等；
- (4) 预测及跟踪评价灾后长期潜伏着的灾害次生效应可能带来的经济损失。

第三节 地质灾害经济学与其他经济学的关系

(1) 研究地质灾害预测及风险评估对区域或国家经济发展规划的经济影响，称宏观地质灾害经济研究，属宏观经济学范畴；研究地质灾害造成的经济损失及防灾减灾付出的经济代价和可能得到的经济效益等，称微观地质灾害经济研究，属微观经济学范畴。

(2) 从指导地质灾害经济评价的理论和方法来讲，地质灾害经济学主要属实证经济学范畴，但又包含了规范经济学的一些规范性因素。

(3) 从地质灾害经济是针对地质灾害现象研究如何减少灾害损失、保护生产力的角度来讲，地质灾害经济学又属守业经济学范畴。

第二章 地质灾害经济评价理论与方法

第一节 地质灾害经济评价理论

广义的地质灾害经济评价理论，分为地质灾害预测理论及经济评价理论两部分。

一、地质灾害预测理论

根据我国预测学家预测可分为：(1) 以信息学 (Informatics) 为基础，信号为对象的信息预测；(2) 以统计学 (Statistics) 为基础，统计量 (如平均值、方差等) 为对象的统计预测。

地质灾害研究中开展的风险区及危险区的预测，是分别以风险信号 (风险因子) 及危险信号 (危险因子) 为对象，通过分析研究，实证风险区及危险区的是否存在，是属于典型的信息预测。指导预测的理论除信息学的信息理论外，因带有强烈的“实证性”，还运用了实证经济学的实证理论。

西方经济学界认为，西方现代经济学是由微观经济学 (Micro Economics)、宏观经济学 (Macro Economics)、国际经济学 (International Economics) 三部分组成，而根据规范与实证又可分成规范经济学 (Normative Economics) 和实证经济学 (Positive Economics) 两类。规范经济学是以一定的价值判断作为出发点，提出人们的经济行为标准 (即规范)，并研究如何才能符合这些标准。换言之，它关心人们的经济行为“应该是什么”，即以一定的价值判断原则评价人们经济行为的是非善恶。与此不同，实证经济学则不问人们经济行为的是非善恶，也不管人们的经济行为“应该是什么”，只关心“是什么”，即从与人们的经济行为有关的假设前提出发，分析并预测其过程和结果，因而带有通常所说的“实证性”。两者的这些区别在一系列经济问题的研究上都会明显地表现出来。例如，假定一国政府提出 5% 的经济增长率，那末，实证经济学就先明确提出这一增长率的前提条件是什么，然后经过分析研究，从中引出能否实现这一增长率的结论。与此不同，规范经济学则从一定的伦理判断出发，先检验这一增长率本身是否合适，其前提条件是否合理，然后才研究如何把它加以实现。

我们在开展地质灾害信息预测时，假设提出的目标是预测灾害风险区，那末实证经济学理论就会告诉我们，应先明确所预测的这种灾害风险区的条件和因素 (风险因子信

号)是什么,然后经过分析研究,提出是否产生或存在这种风险区的结论。所以,信息预测除了信息学的信息理论作指导外,还以实证经济学的实证理论作指导。

二、地质灾害评价理论

(一) 风险区的风险度(率)评估理论

地质灾害风险区的风险度(或风险概率)评估程序是,先明确高、中、低风险区的风险度(率)评估标准(规范);然后根据被评对象发生的各种风险因子信号进行统计分析,达到实证属何等级风险区的目的。所以,指导风险区的风险度(率)评估理论主要是实证经济学的实证理论,但包含了规范经济学的一些规范因素。

(二) 危险区的危险度(率)评估理论

地质灾害危险区的危险度(率)评估主要是以均衡理论作指导。前面论述过,主要地质灾害的形成,是由于自然或人为因素产生的地质作用破坏了地质体自然均衡稳定条件的结果。当地质体处于均势时,地质灾害是不会发生的,该时危险率等于零。所以对灾害危险度的评估,是首先找出均衡点,也即找出灾发临界点(线),然后根据地均衡点移动轨迹找出安全范围,建立安全保护层,设立预警系统。只要通过预警能有效阻止灾发临界点(线)信号出现,灾害就可防止。

经济学认为,“一切均衡点的发现、均衡点移动轨迹判断等,都离不开边际分析”,所以灾害危险度的评估,如灾发临界指标(临界点、线)的确定等,还应用“边际原理”作指导。

用均衡理论和边际原理指导危险度的评估和我们所熟悉的求安全系数原理相似。安全系数(K),一般可举例从工程结构物、机器或其构件所用材料的极限应力(F)与容许的最大工作应力(f)的比值求得,用公式表示, $K = \frac{F}{f}$ 。如果 $K = 1$,即 $f = F$,应是处于均势,这时是安全的。 K 值愈大,即 f 愈小或 F 愈大,则会愈安全。相反,就会愈不安全或愈危险。这里有个 K 值的安全保险范围确定问题,许用的 f 值必须确定小于构件材料破坏时的极限应力值(如塑性材料在静荷载下的屈服点、动荷载下的持久极限和脆性材料在静荷载下的强度极限等)。同样道理,当地质体处于均势时,灾害不会发生,这时危险度(率) D_r 等于零,并且引用安全系数公式可以推导出:地质灾害危险度(率) D_r 的大小与地质作用产生的破坏力 f' 成正比,与受灾对象的抗灾强度 F' 成反比。

用公式表示: $D_r = \frac{f'}{F'}$ 。如果自然或人为因素产生的地质作用力破坏了均势,并超过了灾发临界点(线),即 $D_r > 0$ (相当于 $K < 0$, D_r 和 K 是对立的统一),即会发生灾害。这里同样有个 D_r 值的容许范围确定问题。当在危险度容许范围内(相当安全保险范围内)建立安全保护层和设计防灾预警系统。

（三）防灾方案技术经济评价理论

1. 技术评价理论

根据防灾方案所涉及的众多技术问题，分别运用它们各自的具体技术理论，指导设定技术评价标准（规范），然后对照方案中的被评项目进行差别计分，再经统计分析判别其可行性。所以技术评价主要是应用规范经济学的规范理论和判别分析原理作指导。

2. 经济评价理论

防灾方案本身的经济评价，主要根据“费用－效益核算原理”评价防灾费用投入的合理性。在一定程度上它和预期防灾效益经济评估理论相同。

（四）防灾效益经济评价理论

1. 预期防灾效益经济评估理论

预期防灾效益经常评估是根据“费用－效益核算原理”进行。一般投入的防灾费用是容易估算的，而预期防灾效益却难以评估。本书根据“替换理论”，用间接方法求得。

经济学认为，“经济分析的着重点在于决策”，而“几乎所有的决策都涉及到‘替换关系’”。因此，“替换”成了一种规律，并在一定程度上成为一种理论，尽管经济学家当初是针对资源的稀缺性必须就替代品进行选择时而提出的这个重要概念，但被作为一种“替换理论”推而广之。预期防灾效益经济评估就是根据这种理论，用预期灾害损失经济评估来替换预期防灾效益经济评估。例如：某地质灾害危险区，如果不进行防灾投入则会出现灾害，并且即使出现的只是一次小型灾害，通过预期灾害损失经济评估可得知，至少会造成经济损失币 x 万元。但如果实施某防灾方案，投入灾费用 y 万元可制止这次灾害发生。那么，防灾费用投入所获经济效益应相当不进行防灾投入所造成的经济损失币 x 万元。所以，预期防灾效益经济评估可用预期灾损失经济评估来比较和替换。

“替换理论”和“稳压器效应”很相似。后者的含义是指有两台相同的仪器，因电压不稳定处在危险中工作，结果其中一台因没有安稳压器，损坏了约 30% 的零部件，价值币 w 万元，而另一台因安装有稳压器，却完好无损。因此，可知这时稳压器产生的经济效益相当于不安装稳压器所造成的经济损失（币 w 万元）。

2. 实际防灾效益经济评价理论

实际防实效益经济评价，是在防灾投入完成之后，对各项实际投入所取得的实际效益进行经济评价，所以，一般以“投入产出理论”作指导。

（五）地质灾害损失经济评价理论

地质灾害区的灾害损失经济评价，是以统计理论作指导，统计学为基础，灾害损失的损量和损值为对象所开展的统计分析评价。但在评价间接经济损失时，还辅以“相关分析原理”作指导；评价综合灾害区的灾害经济损失时，还辅以“成本摊分原理”或“会计分帐原理”作指导；在评价复杂灾害区的灾害损失时，还辅以“优化组合原理”进行指导。

第二节 地质灾害经济评价方法

据前述，广义的地质灾害经济评价任务，由风险评估及灾害评价两大部分组成。其研究方法应包括：地质灾害风险预测及评估方法；地质灾害危险区（临灾区）预测及评估方法；防灾方案技术经济评价方法；防灾效益经济评价方法；地质灾害损失经济评价方法。

一、地质灾害风险预测及评估方法

（一）单项地质灾害风险区预测及评估方法

如前述，单项地质灾害风险预测及评估，是在一个区域或大尺度区域内，预测某单项地质灾害风险区及评估其风险强度（或风险概率），故分为风险区预测方法及风险度（率）评估方法。

1. 单项地质灾害风险区预测方法

根据预测理论，地质灾害风险区预测方法属信息预测，具体运用“叠置过滤模型”及“叠置过滤制图法”进行。

（1）预测模型设计原理。

预测模型设计，是参考“地理信息系统（GIS）”中的滤网技术和印刷术中的套印技术，分别设计“叠置过滤模型”及“叠加模型”进行单项灾害风险区及综合灾害风险区预测。

地质灾害是地质环境的一种变异现象，用“GIS”可模拟一种环境发展过程，公式表达： $Y = F(X_1, X_2, X_3 \cdots)$ 。式中 X_1 、 X_2 、 X_3 是第一、第二和第三个信号参数的特性值。它与环境的发展过程关系密切， F 是模拟函数， Y 是结式输出（图 13-2-1）。“GIS”常提供一个加法群作为函数有限范围。这是由许多布尔和算术运算，如“求和”、“AND”、“OR”等组成的，应用于一系列叠架加图件，进行叠置研究。

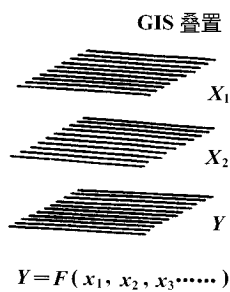


图 13-2-1 地理信息系统叠置研究法

根据地质灾害风险区预测属于信息预测等特点，应用 GIS 的叠置研究方法（13-2-1）和滤网技术，进一步设计“叠置过滤模型”（图 13-2-2）及相应的“叠置过滤制图法”进行单项地质灾害风险区预测。应用套印技术进一步设计“叠加模型”（图 13-2-2）及相应的“叠加制图法”进行综合地质灾害风险区预测。

(2) 叠置过滤制图法操作设计。

应用“叠置过滤模型”进行预测的方法，称“叠置过滤制图法”，具体操作步骤如下：

第一步，对地质灾害详细研究基础上，确定构成其风险区的主要条件和因素（即风险因子信号）因各地质灾害的形成条件不同，构成风险区的风险因素各具特色，所以详细研究地质灾害特别是研究其形成条件，是确定风险区风险因子信号的前提和基础。

第二步，筛选风险因子信号，并转化呈图形表示，用透明纸或树脂薄膜绘制图 X_1 ， X_2 ，……， X_n 。筛选风险因子信号的原则是：必须是重要的因子信号；含有可判别区分的明确信息；便于用图形表示。

第三步，将图 X_1 ， X_2 ，……， X_n 叠置，得图 ΣX ；然后将 ΣX 过滤，圈出重叠部分得图 Y ，即预测出风险区位置及范围（图 13-2-2）。

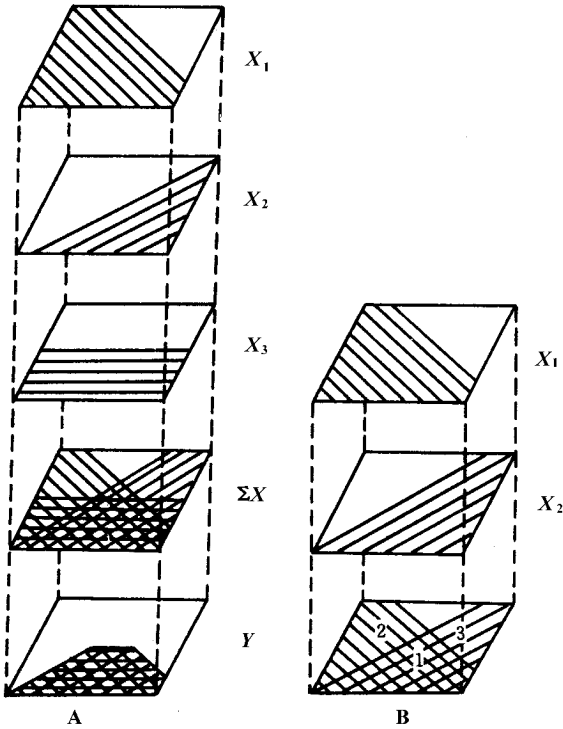


图 13-2-2 A—叠置过滤模型；B—叠加模型

另外一种图形叠置方法是：首先将图 X_1 与 X_2 叠置，圈出重叠部分得图 X_{1+2} ；然后

将图 X_{1+2} 与 X_n 叠置，圈出重叠部分得图 Y，至此即完成预测全过程。

2. 单项地质灾害风险度（率）评估方法

根据单项地质灾害风险区预测属信息预测等特点，应用“鱼骨图模型”及“统计法”进行风险度（率）评估。

（1）评估模型设计。

“鱼骨图评估模型”设计：首先，设计具有主骨、大骨、小骨的鱼骨图骨架（图 13-2-3）；然后设计小骨代表构成风险因子信号的风险要素的风险比率（风险概率），设计大骨代表风险因子信号的风险比率（风险概率），设计主骨代表风险区的风险强度（风险概率）。

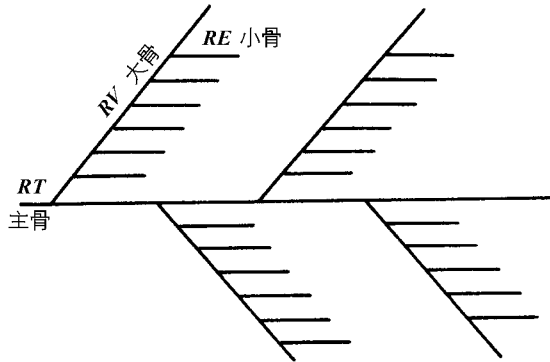


图 13-2-3 鱼骨图模型

（2）评估方法操作步骤。

根据鱼骨图评估模型，采用“求和统计法”进行评估，操作步骤如下：

第一步，确定构成各风险因子信号的风险要素的风险比率（风险概率）RE；

第二步，将各 RE 分别标在模型图的小骨上，然后 $RV = \sum_{i=1}^n RE_i$ 公式求和统计，得出各风险因子的风险比率 RV；

第三步，将求得的各风险因子风险比率 RV 分别标在模型图的大骨上，然后按 $RT = \sum_{i=1}^n RV_i$ 求和统计，即得风险度（率）RT；

第四步，将 RT 标在主骨上，至此即完成风险度（率）评估全过程。

（二）综合地质灾害风险区预测及评估方法

综合风险区预测及评估，是应用“叠加模型”进行预测，用“统计法”进行评估。因是在单项风险区预测及评估的基础上进行的，采用的预测信号及评估参数都是已知各单项风险区的信号及风险度（率）评估参数。

1. 综合地质灾害风险区预测方法

（1）预测模型设计。

综合风险区预测所采用的“叠加模型”设计，不仅参考了“GIS”的滤网制图技术，同时参考了印刷术中的套印技术。例如：首先设计印一层不规则范围的右斜纹，比作某单项地质灾害风险区，再设计印一层不规划范围的左斜纹，比作另一单项地质灾害风险区，则两次印刷的叠加部分成了菱形格子，即可比作是预测的综合风险区（如图 13-2-2 中 1 号区），而未叠加的部分不论是右斜纹或左斜纹，仍属原来比作的单项地质灾害风险区的残余部分（如图 13-2-2 中 2、3 号区）。

(2) 预测方法操作步骤。

应用“叠加模型”进行综合风险区预测的方法，称“叠加制图法”，操作步骤如下：第一步 将透明纸或树脂薄膜绘制的各单项地质灾害风险区图，分别编号为 Y_1 、 Y_2 、 $\cdots Y_n$ （图 13-2-4）。

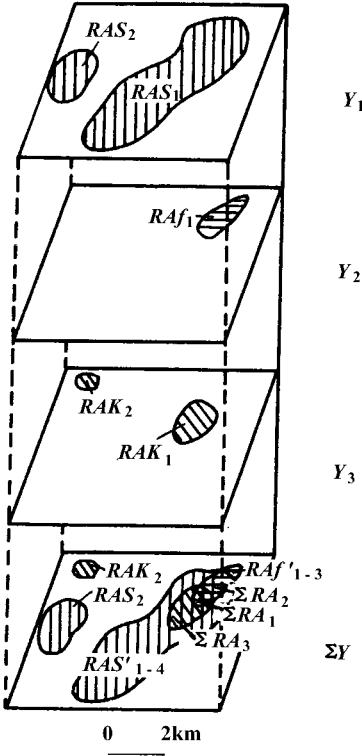


图 13-2-4 综合灾害风险预测叠加制图

第二步 将 Y_1 、 Y_2 、 $\cdots Y_n$ 叠加得图 ΣY ；

第三步在图 ΣY 上分别圈出有两类单项风险区叠加部分及多类（两类以上）单项风险区叠加部分，以及残余的未参予叠加的单项风险区部分，即得综合风险区 ΣRA （图 13-2-4）。

2. 综合风险区的综合风险度（率）评估方法

因综合风险区是由一些已知风险度（率）的单项风险区构成，综合风险度（率）的

评估可选择最小和最大的单项风险度（率）组合表示。例如：某综合风险区是由三类单项风险区叠加，其单项风险度（率）已知分别为 60%、70%、55%（0.6、0.7、0.55），则综合风险度（率）用 55%—70%（0.55—0.7）表示（图 13—2—4、表 13—2—2）。

表 13—2—1 图 13—2—4Y₁、2、3 单项灾害风险区特征

灾种	风险区 编 号	形 状	范围 (km ²)	风险率	风险度 (%)
地面沉降	RAS ₁	鞋底状	11.25	0.6	60
	RAS ₂	不规则圆状	2.8	0.5	50
地裂缝	RAF ₁	瓜子状	1.61	0.55	55
岩熔塌陷	RAK ₁	椭圆状	1.76	0.70	70
	RAK ₂	不规则圆状	0.48	0.55	55

上述综合地质灾害风险区预测及综合风险度（率）评估，比一般风险预测方法中将综合风险区均化为方格状及将综合风险度（率）均化为平均数要优越，因为能反映风险区近似实际的形状和范围以及接近实际的风险度（率）。

表 13—2—2 图 ΣY 综合及单项灾害风险区特征

灾种	综合风险 区编号	单项风险 区编号	形 状	范围 (km ²)	风险率	风险度 (%)
地面沉降、地 裂缝、岩溶塌 陷	ΣRA ₁	RAS' ₁₋₁	不规则 圆形	0.56	0.55—0.7	55—70
		RAF' ₁₋₁				
		RAK' ₁₋₁				
地面沉降、地 裂缝	ΣRA ₂	RAS' ₁₋₂	不规则梯形	0.66	0.55—0.6	55—60
		RAF' ₁₋₂				
地面沉降、岩 溶塌陷	ΣRA ₃	RAS' ₁₋₃	羊头形	1.2	0.6—0.7	60—70
		RAK' ₁₋₂				
地面沉降		RAS ₂	不规则圆状	2.8	0.5	50
地面沉降		RAS' ₁₋₄	兔头形	8.86	0.6	60

灾种	综合风险 区编号	单项风险 区编号	形 状	范围 (km ²)	风险率	风险度 (%)
地裂缝		RAf' ₁₋₃	不规则梯形	0.40	0.55	55
岩溶塌陷		RAK' ₂	不规则圆形	0.48	0.55	55

二、地质灾害危险区预测及评估方法

(一) 地质灾害危险区预测方法

地质灾害危险区预测和风险区预测，都属信息预测，其理论和方法相同，都是应用“叠置过滤模型”及“叠置过滤制图法”进行的。但使用的预测参数是危险因子信号而不是风险因子信号。

(二) 地质灾害危险度（率）评估方法

1. 评估方法设计原理

危险区的危险度（率）评估方法，根据前述评估理论，是采用实证经济学的平衡分析法和边际分析法结合地质灾害实际所设计的“临界指标分析法”进行。边际分析法的原理是，比如假定一经济函数为 $Y = f(X)$ ，当自变量由 X 变为 $X + \Delta X$ 时，因变量（应变量）便由 Y 变为 $Y + \Delta Y$ ，这里的 ΔX 、 ΔY 作为 X 、 Y 的增量就是边际数量。边际分析常用 ΔY 与 ΔX 的增量比率即 $\Delta Y / \Delta X$ 进行。这种比率有三种情形：即大于零、等于零、小于零。因此，用边际分析就容易判断：自变量 X 增加一个单位时，因变量 Y 的增量是递增还是不变或递减。“临界指标分析法”就是根据这个原理进行设计的，当致灾危险因子（自为量 X ）变化时，应变量 Y 是向安全方向发展还是向危险方向发展。具体操作：从致灾危险因子中找出一根灾害发生的临界线（简称灾发临界线）来进行判断，超过这根线就发生灾害，否则，是安全的。所以，临界指标分析法实质就是边际分析法的演变，且和平衡分析法中寻找均衡点及进行均衡点轨迹判断原理亦相似。这里不用边际分析法、均衡点轨迹判断法等词是为了更好地结合灾害评价的实际，做到通俗易懂，所以取名“临界指标分析法”。

2. 灾发临界指标的确定原则

凡可预测的人为地质灾害，特别是地面变形、岩土位移等灾害，不论是突发还是渐发都有一个形成过程，对主要致灾因子进行动态分析或通过试验或与历史灾害类比，一般都可找到灾发临界线（边际值、均衡点）。如由于人工抽汲地下水诱发的地面变形灾害，可从地下水位下降幅度规律中或从计算的地下水流速、水力坡度等关系中去找；对诱发的地面沉降灾害来讲，既可从地下水位下降漏斗特征、水位下降幅度规律中找，还

可从高精度测量的地面标高沉降幅度变化规律中找。据 TS 区历史上发生塌陷灾害时的地下水位下降深度（仅据已收集到的资料）统计，最大的为埋深 28m（体育场体育馆塌坑），最小的为 13m（原 38 中学塌坑），则可大致确定：地下水位下降至埋深 28m 处是体育馆塌坑的灾发临界线；下降至埋深 13m 处是原 38 中学塌坑的灾发临界线；对 TS 区的岩溶塌陷危险区来讲，应确定地下水位埋深 13m 处为灾发临界线，意即在危险区地下水位下降至埋深 13m 时，就有岩溶塌陷灾害发生。又如 K 地岩溶塌陷灾发临界线是根据试验资料大致确定的。在避开建筑物，选择一个条件相似的空地进行抽水试验，发现当地下水位下降幅度到 12m 时，地面无任何形变征兆，显然是安全的；地下水位再下降，到达 12.8m 时，地面有形变征兆，出现少量细小裂隙；到接近 15m 时，明显出现地裂缝及轻微地面沉降；当超过 15m 时出现岩溶塌陷坑。因此，可大致确定地下水位下降至埋深 15m 处为该地灾发临界线。

当然，灾发临界线不可能像临界温度、熔点等可用仪器精确测定，但有灾发临界线是客观存在的，即使确定的只不过是一个接近临界的大约值，也是可以用来作为判断及规范人们行动的依据。

3. 防灾安全保护层模型设计举例

古人经验，不可“遇火才蓄水，临涝才筑堤”，当知未雨绸缪和防患于未然。所以，建立防灾预警系统乃明智之举。防灾安全保护层是预警系统的重要组成部分，它能为监测、预警提供准则或规范依据。建立安全保护层的目的和意义既然是为了防止灾害发生，以不超灾发临界线来规范人们的行动，那么应当设法御灾于危险圈之外，避免出现千钧一发的惊险局面。应把监测圈从灾发临界线扩大或提前到监测安全临界线，以不超安全临界线来规范人们的行动，使致灾因子始终稳定在安全范围内。如前述例子，在 K 地抽水试验时发现地下水位下降至 12m 以下才出现地面变形征兆，那么 12m 可确定为安全临界线，超过这根线就进入危险圈了。用预警的术语来说，这条安全临界线即是预警线，以不超过预警线为准则来规范人们的行动。在预警线（12m）与灾发临界线（15m）之间实行三等分，设警戒线（13m）及急警线（14m），实行三层保护（如图 13-2-5），以加大保护层的功能。另外，还可根据经验，把预警线设在水位下降至灾发临界线以上的 4/5 处。

4. 危险区的危险度评价标准

上述保护层的预警含义是：如超预警线则意味着进入危险圈，已成为 3 级危险区，有可能发生灾害，且危险程序已大于 50%，应发预备警报；如超警戒线，已成为 2 级危险区，说明已接近灾害发生，危险程度已达 70%，应发警戒警报；如超急警线，已成为 1 级危险区，说明灾害即将发生，危险程度已达 90%。应发紧急警报。据此，可以设定危险区的危险程度指标如下表 13-2-3。

表 13-2-3 危险区评估指标设定

监测信号	超预警线	超警戒线	超急警线
危险程度	> 50%	70%	90%
危险等级	3 级危险区	2 级危险区	1 级危险区
应发警报信号	预备警报	警戒警报	紧急警报

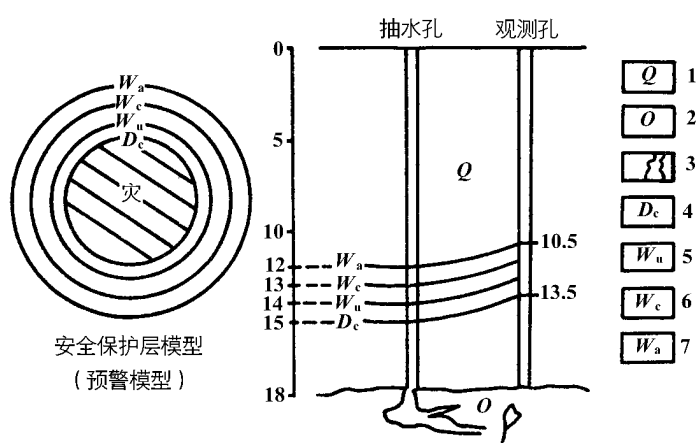


图 13-2-5 K 地防止岩溶塌陷安全保护层设计图

三、防灾方案技术经济评价方法

防灾方案是在灾害预测的基础上制定的。一般包括：灾害预测的基本情况、防灾目的的任务、防灾资料及技术依据、防灾技术方案设计、防灾工作部署、实施方案的技术措施、防灾组织管理、防灾费用预算等内容。对防灾方案进行技术经济评价的目的是，为决策层优选防灾方案提供依据。其任务主要有两条：研究和评价防灾方案在技术上的可行性；在经济上的合性。

(一) 技术评价方法

近 20 年来，技术评价有很大发展，评价方法颇多，结合地质灾害防灾技术方案实际，可选择“检查表法”进行。

“检查表法”原来是“专家评价法”中的一种，需通过专家取得评语进行。如果评价者本人就是专家，完全可凭自己的技术素质，依靠技术资料，灵活运用有关技术政策

法令、技术规范规程、技术标准条例等进行评价，必要时还可辅以其他方法综合进行。评价程序大体是这样：

第一步，先将评价单元（如综合勘察、防治工程、监测系统、预警系统、管理系统等）分类排队，组成系统，按类别、层次将评价单元、项目、因子先后填入表内，成为检查、评价表；

第二步，对检查表上的各因子、项目，按统一标准逐一进行检查、评价。

“检查表法”可进一步分成定性法和定量法。用简单检查表进行定性评估，用检查表进行定量评价，分别举例如下：

1. 定性评估举例（见表 13-2-4）

简易检查表中，可行性评估结论所依据的标准是：

- 无中、差、劣级，且优级多于良级，评为完全可行；
- 无中、差、劣级，但优级少于良级，评为可行；
- 无优、差、劣级，且良级多于中能，评为基本可行；
- 无成、良级，中级多于差、劣级、评为不可行；
- 无优、良级，且差、劣级多于中级，评为极不可行。

表 13-2-4 简易检查表

评估单元	评估项目	评 估 等 级					可行性评估结论
		优	良	中	差	劣	
例： × × 防灾方案 监测系统技术设计 □ □	监测布局		√				可行
	监测人员素质		√				
	监测仪器精度	√					
	监测数据处理		√				
	监测资料传递	√					
	□ □						

2. 定量评估举例（见表 13-2-5）

表中因子计分标准为 10、8、5、0 四个档次分。10 分表示 100% 的可行；8 表示 80% 的可行；5 分表示 50% 可行或 50% 不可行；0 分表示不可行。

表中项目可行性评价计分值，是项目中各因子计分值的算术平均数。10 分表示 100% 可行；9 分表示 90% 可行；8 分表示 80% 可行……。

3. 评价单元的技术可行性评价

评价单元一般有 n 个评价项目，每个评价项目的可行性计分值用 We 表示，每个评价项目又有 n 个评价因子，每个因子的可行性计分值用 Wd 表示；评价单元的技术可行

性定值比（UR）可用下式求得：

$$UR = \sum_{i=1}^n (We_i) \cdot \sum_{i=1}^n (Wd_i) / \sum_{i=1}^n (We_i)$$

用检查表上例子的数字代入公式，则 × × 防灾方案监测系统技术设计的可行性定值比

$$UR = \frac{(9+9+10+9+8)(10+8+10+8+10+10+8+8+8)}{(9+9+10+9+8)}$$

$$= \frac{45 \times 90}{45} = 90 \quad (\text{即监测系统技术设计的可行性为 } 90\%)$$

从上式演算可知，评价单元的技术可行性定值比即等于各因子计分数之和。

4. 防灾方案的技术可行性评价

防灾方案有 n 个评价单元（U），其定值比用 UR 表示；每个单元又有 n 个评价项目（I），则防灾方案的技术可行性定值比（PR）可用下式求得：

$$PR = \sum_{i=1}^n (UR_i) \cdot \sum_{i=1}^n (I_i) / \sum_{i=1}^n (UR_i)$$

（二）经济评价方法

防灾方案的经济评价，主要是对防灾投入的预期效益进行评估，看在经济上合不合理。其方法同预期防灾效益经济评估方法，详见下节。

四、防灾效益经济评价方法

据前述，防灾效益经济评价分为预期防灾效益经济评估及实际防灾效益经济评价，各

表 13-2-5 检查表

评价单元	评价项目	评价因子	评价标准 设定 [10、8、5、0 分]	因子评价 计分 (分)	项目可行性评 价计分 (分)
× × 防灾方案 监测系统 技术设计	监测布局	监测点密度 (个/km²)	> 3 为 10 3 为 8 2 为 5 ≤1 为 0	10	9
		防灾范围 内监测网 覆盖率 (%)	> 80 为 10 80 为 8 50 为 5 < 50 为 0	8	

评价单元	评价项目	评价因子	评价标准 设定 [10、8、5、0 分]	因子评价 计分 (分)	项目可行性评 价计分 (分)
× × 防灾方案 监测系统 技术设计	监测人员素质	主要监测人员专业技术水平	中技术以上学历为 10 中学生经专门培训为 8 中学生未经培训为 5	10	9
		主要监测人员操作及管理经验	曾实际操作 5 年以上为 10 曾实际操作 3 年以上为 8 曾实际操作 1 年以上为 5	8	
	监测仪器效能	仪器测量精度	测量误差 < 1cm 为 10 1 - 1.5cm 为 8 2cm 为 5	10	10
		仪器保修条件效能	保修时间 > 5 年为 10 > 3 年为 8 > 1 年为 5	10	
	监测数据处理	整理质量	差错率 < 1/10 万为 10 < 1/8 万为 8 < 1/5 万为 5	10	9
		整理速度	完成时间 < 30 分钟为 10 < 2 小时为 8 < 4 小时为 5	8	
	监测成果传递	传递设备水平	90 年代初为 10 80 年代末为 8 80 年代初为 5 老于 80 年代为 0	8	8
		传递速度	< 30 分钟为 10 < 2 小时为 8 < 4 小时为 5 > 4 小时为 0	8	

自采用的方法分述如下：

(一) 预期防灾效益经济评估方法

总的讲是采用经济分析法进行。其含义是以经济指标作尺度，通过费用效益分析(或成本收益分析)，对防灾活动进行研究及评估，故习惯直接称费用效益分析法，预期防灾效益经济评估即是具体采用费用效益分析法进行。

1. 费用效益分析法指标及评估标准设定

(1) 费用效益分析法指标：

①效益费用比 (BCR)。用公式表示： $BCR = B/C$ 。式中 $B =$ 效益， $C =$ 费用。

②净效益值 (BN)。用公式表示： $BN = B - C$ 。

(2) 防灾经济效益评估标准设定。

防灾经济效益分级及评估标准，按效益费用比的大小分别设定如表 13-2-6。

表 13-2-6 防灾经济效益评估标准

防灾经济效益分级	0	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
效益费用比 (BCR)	< 1	≥ 1	≥ 2	≥ 5	≥ 10	≥ 100
防灾经济效益评估	负效益	较少效益	中等效益	较大效益	很大效益	巨大效益

2. 防灾费用计算方法

(1) 防灾费用 (C) 是整个防灾方案中的各项预计费用之和。用公式表示：

$$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i$$

(2) 评估时间与贴现计算。评估时间一般按一个防灾年计算，投入防灾费用不需贴现。如果建有防灾长效工程，可在工程建设期及寿命期内进行跟踪评价，不同年份投入的资金应作贴现处理。例如已知 α 是贴现率，则 3 年后投资 10 万元，相当于现在的 $10/(1 + \alpha)^3$ 。

3. 预期防灾效益计算方法

根据“替换理论”、“稳压器效应”，预期防灾效益可从与预期地质灾害损失的关系中通过替换计算获得。因此，必须首先研究预期灾害经济损失计算方法。

(1) 预期灾害经济损失计算方法。

①灾害损失的分类及含义：

灾害损失包括：直接损失、间接损失、次生损失、人同伤亡损失、无形损失以及社会影响、环境影响等。其中直接损失、间接损失、次生损失的含义，各人理解不一，界线不清，应用比较混乱。本文按受损时间、产生因果等界定如下：

直接损失的含义：直接损失与灾害同时或紧随其后，由灾害直接效应造成受灾对象(个人、企业及社会)的财产和收入损失。

间接损失的含义：间接损失是指由于直接损失的承受主体因功能失效造成的进一步损失的消耗。如果从广义方面理解，间接损失是紧随灾害后，由于灾害的连锁反应或直接损失和相关效应派生而造成个人、企业及社会的财产、收入损失。

次生损失的含义：次生损失是在灾后一段时间内，由于潜伏着的灾害次生效应在新条件或因素诱发下而造成的损失。

②预期灾害经济损失计算从简原则：

实际灾害损失（HL）的计算应包括：直接损失（DL）、间接损失（IL）、次生损失（SL）、人员伤亡损失（ML）等，用公式表示：

$$HL = DL + IL + SL + ML$$

但预期灾害损失（HL'）和实际灾害损失（HL）不同，它是在灾前的一种预测估计。所以对其评估宜简不宜繁，只要求达到近似地反映实际，诸如不便计量的无形损失和短期内无法反映出来的次生损失等，均可不参加预期灾害损失的计算。因此，预期灾害损失计算公式可简化为：

$$HL' = DL' + IL'$$

③预期直接经济损失计算方法：

A. 设定评估标准。

国家科委、国家计委、国家经贸委自然灾害综合研究组受国家经贸委的委托，曾承担制定了一个全国自然灾害分级标准（表 13-2-7），虽未正式颁发，但可用来作直接经济损失评估参考。

表 13-2-7 全国自然灾害分级标准

灾 害 等 级		特大灾害 (Ⅰ级灾害)	重大灾害 (Ⅱ级灾害)	严重灾害 (Ⅲ级灾害)	较重灾害 (Ⅳ级灾害)	较轻灾害 (Ⅴ级灾害)
伤亡 人数	死亡 (人)	> 10000	10000—1001	1000—101	100—11	10—1
	重伤 (人)	> 20000	20000—2001	2000—201	200—21	20—1
直接 经济 损失	绝对值 (亿元)	> 100	100—10	10—1	1—0.1	0.1—0.01
	相对值 (%)	占国家财政 > 5% 或占省财政 > 20%	占国家财政 5%—0.5% 或占省财政 10%	占省财政 10%—5%	占省财政 5%—1% 或地区财政 > 20%	占省财政 1%—0.1% 或地区财政 20%—2%

为了提高上表实用价值，结合地质灾害实际情况对它作了适当增补，如表 13-2-8 所示。

表 13-2-8 全国自然灾害分级修订标准

灾 害 等 级		特大灾害 (Ⅰ级灾害)	重大灾害 (Ⅱ级灾害)	严重灾害 (Ⅲ级灾害)	较重灾害 (Ⅳ级灾害)	较轻灾害 (Ⅴ级灾害)	小型灾害 (Ⅵ级灾害)
伤亡 人数	死亡 (人)	> 10000	10000—1001	1000—101	100—11	10—1	0
	重伤 (人)	> 20000	20000—2001	2000—201	200—21	20—1	0
直接 经济 损失	绝对值 (亿元)	> 100	100—10	10—1	1—0.1	0.1—0.01	0.01— < 0.01
	相对值 (%)	占国家财政 > 5%	占国家财政 5%—0.5%	占省财政 10%—5%	占省财政 5%—1%	占省财政 1%—0.1%	占省财政 < 0.1%
		或占省财政 > 20%	或占省财政 10%		或地区财政 > 20%	或地区财政 20%—2%	或地区财政 < 2%
损失率 (λ)		> 0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	≤0.1

上表增加第Ⅵ级灾害的原因，是由于我国实际大量存在这个级别的地质灾害。表中损失率(λ)的含义是，灾区在灾前的所有可能成为受灾的对象(有形资产)在灾后的总实际损值(VL)与灾前的总经济原值(VP)之比。用公式表示 $\lambda = VL - VP$ 。因这种相比的标准统一(都是受灾对象)，可比性强，使损失率近实际。灾区中所有可能成为受灾对象的应是一切有形资产(包括上年末固定资产净值、流动资金余额中的有形流动资产^①及未统计上报的某些公共设施、事业性单位以及私人的一切有形资产等)，其次是土地、季节性作物、多年生作物和牲畜等。其中大部分资料可从国民经济统计资料及有关报表中查到，其余可通过抽样调查用比例法求得。为了简便，也可用占有形资产主体的且较容易获得资料的固定资产和有形流动资产的价值与其损值相比来作为代表求得损失率。因灾区所有可能成为受灾对象的总经济原值是以有形资产构成主体，所以往下简称有形资产原值。

B. 预期灾害灾级及损值。假如不进行防灾，肯定会发生灾害。但属哪一级灾害呢？对评估地面变形、岩土位移等灾类来讲，一般习惯于保险的做法，只设定发生了一次小型灾害(以求最小损值)。其直接经济损失量、值从表 13-2-7、6-2-8 均可查到一个从 0.01—<0.01 亿元的灾级概估数。

C. 预期直接经济损失计算。

除了查表 13-2-7、6-2-8 可找到灾级损失概估数外，尚可采取计算的办法求得比较接近实际的评估数。

众所周知，直接经济损失一般包括资本损失、产品损失、生产损失三部分，要想估算出它们的预期损失难度是相当大的。通过大量抽样调查虽是一种可选择的方法，然而其工作量之大、复杂程度之高、时间之长及代表性之非常有限等无不增加了难度和减少

^① 流动资金中有形流动资产包括商品或产成品、在产品、原料以及主要材料、辅助材料、燃料、物料用品及低值易耗品等存货，不包括资金形态、结算形态等流动资金。

了可靠性。但在我国却有个值得利用的资料优势，上述三方面的损失项目在未损前的原值于我国的各级统计年鉴中均有反映。如前两项（资本和产品）主要是有形资产，在年鉴的固定资产及流动有形资产统计中有所反映，后一项在国民生产总值中有所反映。因此，在采用其他方法很难达到目的时，可以充分利用统计年鉴这个优势。根据其统计资料可以计算出灾区单位面积内的有形资产原值、单位面积及单位时间的国民生产总值，以它们作为基础，再和灾区面积、灾害损失率、灾害时间（平均恢复期）发生关系，即可预估出有形资产的预期损值及国民生产总值的预期损失。估算步骤如下：

第一步 求预期灾区有形资产原值

第一，求预期灾区每平方公里的有形资产原值

根据国民经济统计年鉴及有关报表，求出预期灾区（一般是预测的危险区）的所在行政单元（如市、市区、县城、小镇、乡村等）内所有有形资产的总经济原值（VP），除以行政单元面积（m），即得行政单元每平方公里的有形资产原值 VP_1 。公式： $VP_1 = VP \div m_0$ 。因为预期灾区是包含于所在行政单元内，所以 VP_1 也是预期灾区的 VP_1 。

第二，求预期灾区所有有形资产总经济原值

将 VP_1 乘以预期灾区面积 m_1 ，即得预期灾区的所有有形资产总经济原值 VPH 。

公式： $VPH = VP_1 \times m_1$

第二步 求预期灾区有形资产损值

如前述，假定预期灾害是一次小型灾害，从表 13-2-8 上可选损失率（ λ ）为 0.1，因已知预期灾区有形资产的总经济原值为 VPH ，则预期灾区所有受灾对象（有形资产）损值 VLH 可用下式求得：

$$\therefore \lambda = \frac{VLH}{VPH} \quad \therefore VLH = \lambda \times VPH$$

第三步 求预期灾区收入损失

因有形资产受损，将出现停产停业，影响各项收入，并主要反映在国民生产总值的损失上。因此，在预期灾区经济损失评估中，把 GNP 的损失视为各项收入损失的总反映，并可视作预期间接经济损失。其计算方法和步骤如下：

第一：求预期灾区年国民生产总值（ Ga' ）。根据统计年鉴查到或计算出预期灾区（危险区）所在行政单元的年国民生产总值 GNP/a ，简称为 Ga ；将 Ga 除以行政单元面积（m）即得行政单元（亦即预期灾区）的年单位面积国民生产总值 GNP/km^2 。简称为 Gak ；将 Gak 乘以预期灾区面积（ m_1 ）即得预期灾区年国民生产总值 Ga' 。公式： $Ga' = Ga \div m \times m_1$

第二，求预期灾区日国民生产损值（GDL）。将 Ga' 除 360 天，即得预期灾区日国民生产总值，再乘以损失率（ λ ）即得预期灾区日国民生产损值 GDL。公式： $GDL = Ga' \div 360 \times \lambda$

第三，求预期灾区在灾期内国民生产损值（GTL）

将 GDL 乘以灾期（t），即得预期灾区在灾期内的国民生产损值 GTL。

公式： $GTL = GDL \times t$

关于平均灾期 t ，应为各受灾对象恢复期的加权平均值，但为了简便，一般预期平均灾期是使用据已知灾害区灾期统计概率所得的经验数。如小型灾害的平均恢复期经验数为 30 天左右。

第四步 预期直接经济损失估算

预期直接经济损失 DL' 可用下式求得： $DL' = VLH = (\lambda \times VPH)$ ，也有人主张把国民生产损值 (GTL) 亦算入直接经济损失，用公式表示： $DL' = VLH + GTL$

④预期间接经济损失估算：

关于间接经济损失 (IL') 的估算有多种方法，例如一种是用灾期内国民生产损值来评估，用公式表示： $IL' = GTL = GDL \times t$ ；一种是用占直接经济损失值的比率 (R_i) 来估算。从有关文献资料中所查到的 R_i 都不统一，计有 30%、40%、50%、60%、70%、80%、100%、150%、200% 等一系列不同的甚至相差悬殊的数字，但都来自专家的意见，故可用专家法求得平均数。根据 15 个专家的数字统计，发现 80% 的概率最高，和上面的一级数算术平均结果亦近相等，故多采用 80% 为 R_i 。则预期间接经济损失 IL' 可用下式求得： $IL' = DL' \times R_i$ ；还有一种方法是通过直接调查，用相关法求得。

⑤预期灾害经济损失计算方法：

据前述，预期灾害经济损失 HL' 可用下式求得：

$$HL' = DL' + IL' = VLH + GTL$$

或 $HL' = DL' + IL' = VLH + (DL' \times R_i)$

(2) 预期防灾经济效益计算。

据前述，预期防灾经济效益 $B =$ 预期经济损失 HL' ，可用下式表示：

$$B = HL'$$

(3) 预期防灾效益评估。

$$\textcircled{1} BCR = B/C = DL' + IL' / \sum C_i$$
$$\textcircled{2} BN = B - C = HL' - C = (DL' + IL') - \sum C_i$$

(二) 实际防灾效益经济评价方法

和预期防灾效益经济评估一样，是采取费用效益分析法进行。但评价指标参数不是预计数，而是实际数，即总费用 C 是已投入的各项实际防灾费用之和，总效益 B 是已投入的各项实际防灾费用所取得的各项实际防灾效益之和。

五、地质灾害损失经济评价方法

在地质灾害区进行灾害损失经济评价，与在危险区进行预期经济损失评估有所不同，已不是遵循“宜简不宜繁”的原则，而是尽量减少定性估计，尽可能提高定量评价的比例，首先在方法选择上必须尽量做到这一点。

(一) 直接灾害损失经济评价方法

1. 受灾对象的损失量度评价方法

(1) 直接调查统计法：主要适用于规模不是很大的、便于现场调查研究、实证研究的地质灾害区，并且只适用于可数的损失对象，能通过直接调查统计计算其损失量。如果损失量明显多于残存量，则可改用先直接统计残存量，然后再折算成损失量。

(2) 专家法或经验法，对不可数的受灾对象，采用专家法评估其损失百分度，或请老师、熟练工人凭生产经济评估其损失百分度。

2. 受灾对象的损值评价方法

损值评价是在受灾对象损失量、度评价的基础上进行。

(1) 价值评价法：因地质灾害造成的损失涉及到生命及有形、无形资产等各个方面，损失计量单位各不相同，必须用价值评价法统一折算为经济价值，以解决“同量度”的问题，便于相加成经济损失总量。所以，价值评价法是各种经济评价法的基础。

(2) 重置成本核算法：

①修复成本法：受灾对象只部分被损，修复后可重新发挥原有功能，进行修复所花成本可视为损失值。

②复原重置成本法：受灾对象全部损坏，已无修复价值，按同原功能或同原型号、原设计材料、结构、技术条件等进行重新购建，所花成本可视为损值。因资产灾害损失评估毕竟不同于资产评估，一般宜简不宜繁，评估中可统一用市场现价计算，有时也可以考虑折旧、贬值等因素。

③扩大更新成本法：受灾对象全部损坏，重置时采用新技术、新型号或新设计、新材料等进行更新，从而扩大了原有功能的价值。其所花全部成本不能完全视为损值，需扣除超过原功能或原价值所花的那部分成本后，才可视为损值。

(3) 收益现值法：是一种通过收益来判断资产价值的一种方法。主要用于遭受毁灭性破坏又难以找到资产报表的受灾单元（如企业）的整体资产评估。如已知社会或同行业资金利用率为 10%，意即 100 万元的资产每年可带来 10 万元的利润。当资产价值是未知数只知每年的获利时，例如每年收益为 15 万元，则可推断出该企业的整体资产价值为 150 万元（ $15 \text{ 万元} \times 100/10$ ）。因该企业遭毁灭性破坏，整体资产价值即整体损值。

(二) 间接灾害损失经济评估方法

1. 直接调查法

在现场直接调查与直接受灾单元或对象有关的间接经济损失项目及损值；外地的间接损失项目亦可通过电调、函调等方法获得损量及损值。

2. 相关调查法

对难以直观的、复杂的间接损失可用相关调查法进行。首先调查与直接损失相关的因子，然后估定相关系数，最后以相关系数相乘求得；或视具体相关情况，设计具体评估方案进行。

3. 专家评估

对复杂的、难以计量的间接经济损失，请有权威单位或专家直接进行权威性评估；或请一定数量的有半专业的、高水平的专家，按专家法（德尔菲法）程序进行评估。

（三）次生灾害损失经济评估方法

次生灾害大致可分两类：一类是紧随灾害发生的，如由于灾害效应触发的火灾、水灾、爆炸、溢毒、细菌传播和放射性辐射等所造成的损失；另一类是由于潜伏着的灾害次生效应在灾后新的条件或因素诱发下而造成的灾害损失。如一次地面沉降灾害虽已得到控制，介它已形成的凹地却是隐患，遇上暴雨就可能积水成灾。

对于前一类的归属问题目前尚有争议，联合国灾害救援协调委员会（UNDRO）出版的防灾与减灾专辑等第七辑《灾害的经济问题》一书中认为，它是紧随灾害发生的，可以归入直接损失。国内也有人把这类性质的灾害损失归入间接损失。但是，不论它们是紧随灾害还是灾后发生的，一般都能与主灾害区分开来，可构成一个单独的评价子系统。其评价方法既要应用直接经济损失评价的方法，也要应用间接经济损失评价的方法，至于其评价结果的归属问题并不重要。总之，单独分出来评价，其结果可分可合，处理比较主动。

（四）人员伤亡损失经济评估方法

1. 两种不同的评估观

对人员伤亡的评估有两种不同的观点：一种认为只需统计伤亡人数而不折算币值，即不进行经济评价；另一种观点认为，只要在人员伤亡方面发生了费用支出（那怕这种支出很少），从经济学观点来说就是经济现象、经济活动，就有个经济评估问题，何况每次大的灾害花生这方面的费用比例是相当大的。作为经济评价工作者，当然持第二种观点。

2. 人员伤亡损失的经济评估方法

（1）实际开支统计法：即如财务会计讲的单列账户，实报实销。在灾害中，凡是关系到死亡人员、重伤、轻伤人员的一切开支，统统单列进行统计，其总数就是人员伤亡的实际经济损失值。在初步评估进，可用这方面的预算开支计划参加评估，在详细评价时，当用实际统计数参加评价。

（2）统一标准法：例如根据保险公司的礼赔标准、劳保条例中的有关劳保标准以及医疗卫生部门的有关医疗标准等，一般可以折算为币值进行经济评估。

（五）无形资产损失经济评估方法

1. 无形资产的含义

无形资产是指特定主体控制的，不具有独立实体，对生产经营持续发挥作用并带来经济利益的一切经济资源，有不可确指的无形资产和可确指的无形资产两类：不可确指的无形资产如商誉；可确指的无形资产有知识产权，如专利权、商标权、服务标志等；物产权，如地土使用权、矿业权等，以及专业技术。

2. 无形资产的灾害损失形式

往往是随着主体的损失而损失。例如一个生产车间的机器、设备等大多通过专用机

器、生产线和工艺设计加以体现，或者由于诸种无形资产使有形资产运营更有效益。反之，上述有形资产因灾害而破坏损失，各项技术专利、秘诀就离开了这些实体性的设施，只是抽象的存在，则不能作为无形资产现实地发挥作用致造成损失。

3. 无形资产灾害损失的评估方法

关于无形资产的评估在我国开始不久，评估的成熟方法和经验都不是很多。致于无形资产灾害损失评估更是刚刚起步，一般采用的评估方法主要是“完全重置成本法”。

目前，在我国要不要进行无形资产损失经济评估尚有争议。一部分人认为灾害破坏的对象是有形资产，无形资产正因为无形，是任何灾害也破坏不了的，所以不存在损失评估；另一部分人则认为，无形资产往往是随着主体的损失而损失，而主体是有形的；另外，既有无形资产的评估，就会有无形资产的损失评估，尽管目前尚无评估经验，而这顶工作是迟早要做的，及时提出来研究是很必要的。但也认为现阶段在我国开展无形资产灾害损失的实质性评估，条件尚欠成熟，可暂不考虑。

另外，灾害产生的社会、环境影响一般只进行文字描述，不考虑参加经济评价。

(六) 灾区整体灾害损失经济评价方法

1. 建立经济评价模型

根据统计学原理，参考离散数字“树”理论及系统评价方法中的“相关树法”、“鱼骨图法”，结合从受灾区、受灾单元、受灾项目到具体受灾对象的层次结构特点，建立系统分层求和统计模型进行灾区整体灾害损失经济评价。视系统结构层次的多少，系统分层求和统计模型分别用“鱼骨图模型”、“树根模型”（倒过来即是树枝模型）表示，“鱼骨图模型”比较简便，但容量少，一般在四层结构以内可使用（图 13-2-3）；“树根模型”容量大，四层结构以上亦可使用（图 13-2-6）。

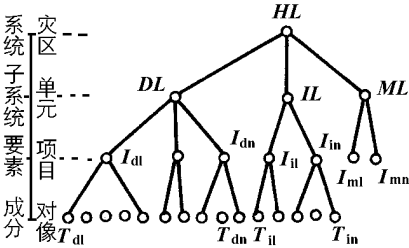


图 13-2-6 系统分层求和统计模型（树根模型）

HL—灾区经济损失；DL—直接经济损失；IL—间接经济损失；

ML—人员伤亡经济损失； I_d —受灾项目直接经济损失； I_i —受灾项目间接经济损失；

I_m —受灾项目人员伤亡经济损失； T_d —具体受灾对

象直接经济损失； T_i —具体受灾对象间接经济损失

2. 评价方法

根据系统分层求和统计模型，用统计分析法进行评价。灾区整体灾害损失（HL）

为直接经济损失（DL）、间接经济损失（IL）和人员伤亡经济损失（ML）之和。用公式表示： $HL = DL + IL + ML$

(七) 综合灾害区灾害损失经济评价方法

- (1) 根据致灾主次因素、灾害破坏强度等进行灾种排队分析，确定综合灾害区的主要灾害。
- (2) 按主要灾害统一进行灾害损失经济评价。其方法和前述单一灾害区相同。
- (3) 按灾类摊分经济损失。按各类灾害摊分经济损失是综合灾害区经济评价不同于单一灾害区的显著特点，一般按公计分账原理，用“比例法”等方法进行合理分摊。

(八) 复杂灾害区灾害损失经济评价方法

- (1) 分析及划分灾害分区。根据灾害种类、分布位置、破坏特点、破坏对象等的不同，划分出各具特色的灾害分区。这是复杂灾害区的灾害损失经济评价不同于单一灾害区及综合灾害区的显著特点。
 - (2) 以灾害分区为单元，逐个进行灾害损失经济评价，其方法和前述单一灾害区或综合灾害区相同。
 - (3) 将各灾害分区的经济损失相加，即得整个复杂灾区的灾害经济损失。
- 复杂灾害区的经济评价原则有时也可用于单一灾害区。根据灾害位置分布、破坏特点和破坏对象等的不同，有意将单一灾害区进一步优化组合，切块成不同灾害分区进行评价。这样，往往可以简化评价方法，加快评价速度，提高评价质量。

(九) 建立地质灾害经济评价系统

综合以上所述，建立广义的地质灾害经济评价系统（简称 GHEES 如表 13-2-9 和图 13-2-7。

表 13-2-9 地质灾害经济评价系统

子系统	分系统	目 的	任 务	方 法	模型
GHEES - 1 全国或区域 综合地质灾 害风险预测 及评估	为制订全国或区域国民 经济发展规划提供灾害 风险依据	编制全国或区 域综合地质灾 害风险图；预 测综合地质风 险区	叠 加 制 图 法	叠加模型	

子系统	分系统	目 的	任 务	方 法	模型
GHEES - 2 全国或区域单项地质灾害风险预测及评估		为制 订 全 国 或 区 域 国 民 经 济 发 展 规 划 提 供 灾 害 风 险 依 据	编制全国或区域单项地质灾害风险图；预测地质灾害风险区	信息预测：叠置过滤制图法	叠 置 过 滤 模 型
			评估风险区的风险度	统计分析法	鱼 骨 图 模 型
GHEES - 3 地质灾害危险区预测及评估		为 结 合 实 际 制 订 重 点 防 治 方 案 提 供 依 据	预测地质灾害危险区	信息预测：叠置过滤制图法	叠 置 过 滤 模 型
			评估危险区的危险度	临界指标分析法 (边际分析法、均衡点轨迹判断法)	安 全 保 护 层 模 型 (预 警 模 型)
GHEES - 4 防灾方案技术经济评价		为优选防灾方案 (设计) 提供评价依据	技术可行性评价	检查表法	
			经济合理性评价	成本核算法	
GHEES - 5 防灾效益经济评价	预期防灾效益经济评估	为防灾费用投入决策提供依据	评估预期防灾经济效益	费 用 效 益 分 析 法 (投入产出分析法)；效益费用比 (BCR) 评估：BCR = B/C；净效益值 (BN) 评估：BN = B - C	
	实际防灾效益经济评估	为总结防灾实际经济效益及经验教训提供依据	评价实际防灾经济效益		

第十三篇 地质灾害经济评价与灾害信息系统的设计

子系统	分系统		目 的	任 务	方 法	模型
GHEES - 6 - 地质灾害 区灾害损失 经济评估	GHEES - 6A 单一灾 害区灾害损失经济 评估	初步评 估	为 救 灾、 减 灾、 恢 复、 重 建 提供依据	直 接 经 济 损失评估： 1 受灾对 象损失量、 度评估	A 直接调查统计法 (用于可数的受灾对 象)；B 专家法或经 验法（用于不可数 的受灾对象）	系统分层求 和 统 计 模 型：树根模 型；鱼骨图 模型
				2 受灾对 象的 损 值 评估	A 价值评估法 B 重置成本核算法 B ₁ 修复成本法 B ₂ 复原重置成本法 B ₃ 扩大更新成本法 C 收益现值法	
				间 接 经 济 损失评估	A 直接调查统计法 B 相关分析法 C 专家法	
				人 员 伤 亡 经 济 损 失 评估	A 实际开支统计法 B 统一标准法：保险 礼赔标准；劳保标 准；医疗标准等	
				灾区整体经 济损失评估	求和统计法 HL = DL + IL + ML	
		详细评 价	为总结灾害实 际经济损失及 经验教训提供 依据	直接经济损失 评价	同初步评估	同 初 步 评估
				间接经济损失 评价		
				人员伤亡经济 损失评价		
				灾害整体经济 损失评价		
	GHEES - 6B 综合灾 害区灾害损失经济 评价	初步评 估	同 GHEES - 6A	灾 害 分 类 排 队，筛选出主 要灾害；按主 要灾害进行评 估（价）：按 排除序列摊分 各种灾害损失	同 XJX - 6A	同 GHEES - 6A
		详细评 价			比例法	
	GHEES - 6C 复杂灾 害区灾害损失经济 评价	初步评 估	同 GHEES - 6A	分 类 分 区 切 块，划分灾害 分区，对各分 区逐一进行评 估（价）；灾 区整体经济损 失评估（价）	同 GHEES - 6A、 GHEES - 6B	同 GHEES - 6A
		详细评 价			求和统计法	

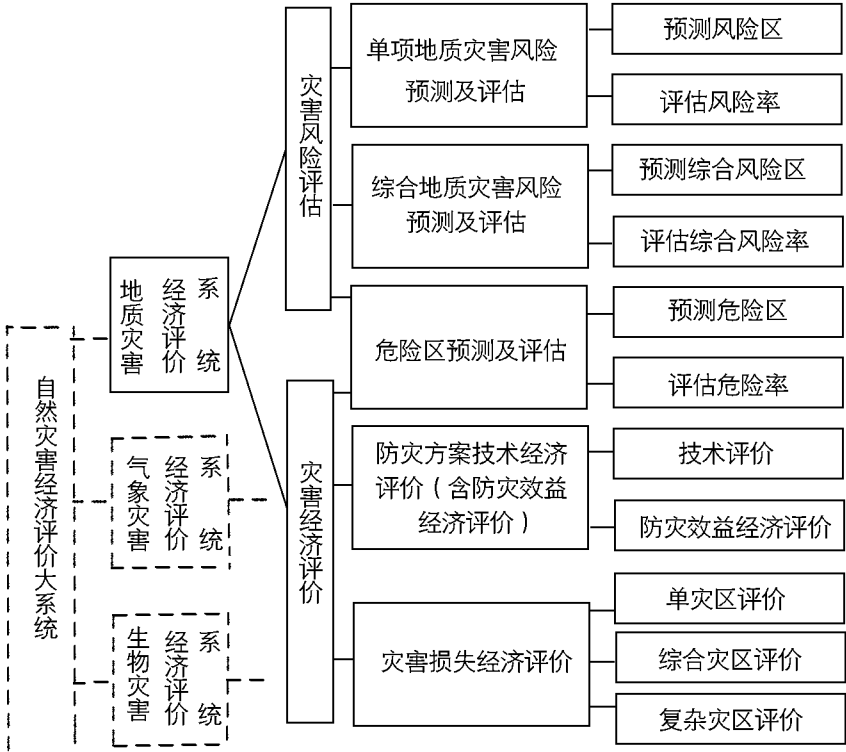


图 13-2-7 地质灾害经济评价系统框图

第三章 地质灾害信息系统的设计与开发

地质灾害信息系统（Geological Hazard Information System，简称 GHIS）是以 GIS 技术支持的、以解决地质灾害信息处理相关技术问题的专题应用型信息系统，该系统从空间数据信息的有效获取、储存、查询和处理入手，提供灾情动态和实时环境评价、危险性区划等地质灾害预警信息成果，为有关政府部门提供决策服务。

第一节 GHIS 系统的基本结构

一、GHIS 系统的用户需求分析

GHIS 系统的研究目的就是在 GIS 工具系统和专业应用系统的支持下，结合地质灾害工作中空间信息管理、分析和预测评价的实际需要，进行地质灾害方面的应用研究，探索传统的地质灾害分析方法与 GIS 信息技术进一步结合的关键技术问题，开发实用性空间分析模型，为实现工程地质分析研究的多源、实时、动态、形象管理提供快速有效的技术途径。

GHIS 系统的开发应结合这种现实需要，为地质灾害研究过程提供多层次服务。

首先，在实体信息集合的内容选择方面，要求以实际分析所需要的主要信息项目为主，尽量避免与其他相关系统的重复，避免大而全。对于应用信息系统来讲，并不是信息划分的越细使用越方便，相反会导致检索和应用上的繁琐，降低其使用效率。因此，要注意信息结构的层次性、简洁性，尽量简化背景信息，适当优化专门信息。对本系统而言，应该把信息的表达主要集中在与地质灾害相关问题直接相关的内容上，如地质灾害现状、地质灾害发展趋势、与灾害的发生、发展相关的人类活动等相关属性方面，而对基础地质、地理地貌等内容仅作一般性的反映，作为系统应用分析的背景或次要要素的信息。这样一来可避免和其他信息系统的重复，又可解决在当前信息系统应用的初级阶段不同专业信息系统之间联结薄弱带来的信息不足的问题，对实际应用是非常有利的。

其次，GHIS 系统作为应用系统，空间分析模型是开发的一个主要方面。对专业分析中可以定量分析的内容，应充分发挥与信息系统相结合的各种分析模型的作用，进行科学有效的评价和令人满意的决策。分析模型开发的关键不在于相关数学模型的求解，

实际上大部分数值计算方法都有程序设计的经验可供借鉴，不是模型开发的主要矛盾；反之，一般不够重视的模型所有信息的有效检取、不完整信息的自动处理、面向用户的模型生成和运行界面、模型计算过程中对不确定因素的人工智能参与、模型运算结果的有效表达等问题对一个应用系统的可用性起了更多的制约作用，本系统的开发重点解决了这些方面的问题。

最后，系统用户的定位也是系统开发前就必须妥善解决的重要问题，对系统的设计、界面的开发、系统解决问题的主体方向等都有决定性的影响。本系统的目的在于解决地质灾害数据信息处理技术和区划空间分析模型两方面的问题，这就表明了本系统的用户是基层数据采集者和领导决策部门，而非面对以科学研究为目的的高层次技术人员。

二、GHIS 系统的总体结构

根据需求分析和系统开发的总体目标，GHIS 系统是在 GIS 工具基础开发的、运行于中文 Windows 环境下的应用型分析系统，在结构上包括应用系统和基础数据库两部分内容，其总体结构如图 13-3-1 所示：

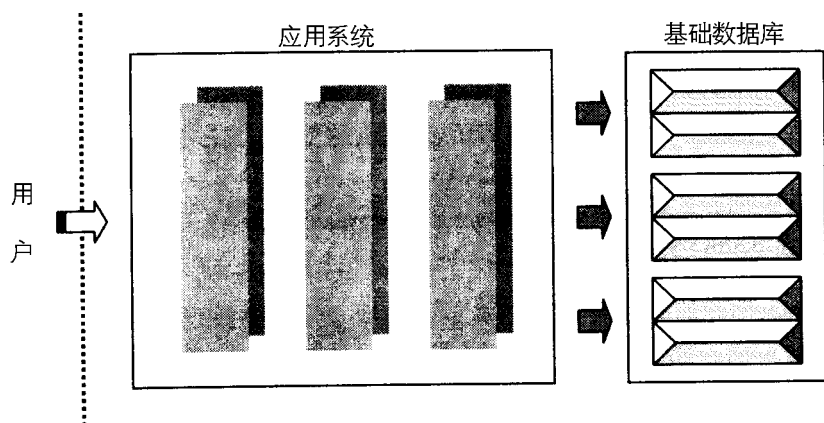


图 13-3-1 GHIS 系统的总体结构图

从图 13-3-1 中可以看出，GHIS 系统是以图形库和属性库为基础的、结合紧密的整体系统，应用系统则由一系列的程序模块组成。

三、GHIS 系统的信息流程

GHIS 系统既是信息的管理者，又是信息的使用者，同时又也是信息的输出者，程序的流程如图 13-3-2 所示，概括起来可以分为以下四个方面。

(1) 通过图形编辑功能实现空间数据和属性数据的采集；

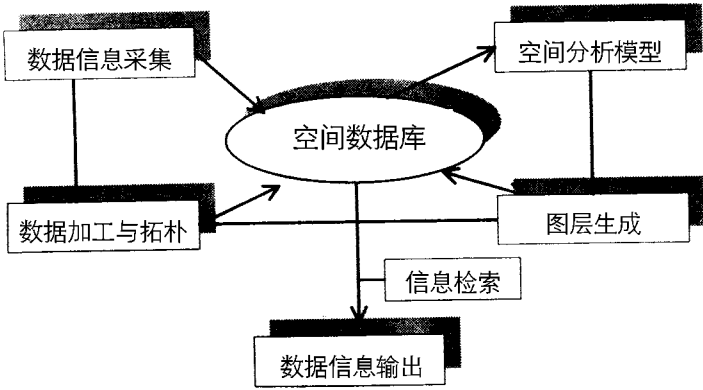


图 13-3-2 GHIS 系统的程度流程图

- (2) 利用属性数据可以自动生成新的图形；
- (3) 通过空间分析功能利用已有数据生成新的成果图形；
- (4) 通过对空间数据库和属性数据库的检索操作，生成新的数据系列用于数据输出。

四、GHIS 系统的主要功能

地质灾害信息系统作为一种专题型的应用地理信息系统，在实现在质灾害数据信息管理的同时，还应具有数据分析能力。概括起来应具有如下主要功能。

- (1) 数据信息的输入。GHIS 系统应提供多种形式的数据库信息输入功能，包括图形及多元属性信息，输入方式应有扫描矢量化输入、数字化仪输入、键盘输入、鼠标输入及数据格式转换输入等多种途径。
- (2) 数据信息的编辑。根据空间图形的特点，实现点、线、面三种图形元素及其属性数据的编辑，并能进行拓扑处理，便于空间分析模型的应用。
- (3) 数据信息的游览功能。提供图形数据的缩放显示和图形漫游功能和图元外挂属性数据库的连接功能，使外挂数据库和图元得到有机的结合，并实现图元与属性的同步显示。
- (4) 数据信息的查询功能。系统提供图形和属性检索、图形和外挂数据联动检索，并支持“并集”方式，检索结果（无论是图元还是属性）应能立即显现出来，其查询结果可直接形成数据文件。
- (5) 地质灾害专用空间分析模型。系统应提供一个模型库系统来管理地质灾害空间分析模型，实现对多个模型的同时管理，可以创建新模型、删除已有模型，并可对当前的模型进行模型修改（再设计）。系统提供了方便的模型设计向导，方便地实现模型评价因素的选择和评价参数的输入。系统根据设计好的模型进行模型分析运算，并将模型分析运算结果提交图形库管理。

(6) 数字制图功能。为了实现图形的完美输出,系统应提供数字制图功能,完成图形的编辑制作操作。

(7) 多种形式的数据输出功能。系统应提供打印输出、存盘输出、图形裁剪输出、其它图形格式转换输出。

第二节 GHIS 系统的开发现状与趋势

地质灾害信息系统(GHIS)是专题地理信息系统,它的发展在很大程度上依赖于现代GIS技术的现状,将随着GIS技术的进步而不断前进,考察地质灾害信息系统的发展现状与趋势,首先必须考察地理信息系统的发展现状与趋势。

一、地理信息系统(GIS)发展现状与趋势

地理信息系统(GIS)是起始发展于20世纪60年代,80年代取得突破性进展的一门空间数据管理科学和智能化高技术,是介于信息科学、空间科学和地球科学之间新兴的边缘学科,是新技术产物。

(一) 地理信息系统(GIS)的内涵

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)目前尚无一个统一的定义。美国国家地理信息与发展中心1988年曾将地理信息系统定义为:为了获取、存储、检索、分析和显示空间定位数据而建立的计算机的数据库管理系统。我国多采用如下定义:地理信息系统是指带各种地理信息以及它的载体(文字、数据、图表、专题图)进行输入、存储、检索、修改、测量、运算、分析、输出等的技术系统。地理信息系统是以地理空间数据库为基础,在计算机软硬件支持下,对空间相关数据进行采集、管理、操作、模拟和显示,并采用地理模型分析方法,适时提供多种空间和动态的地理信息,为地理研究和地理决策服务而建立起来的计算机技术系统。因此,地理信息系统具有如下三方面的特征:①具有采集、管理、分析和输出多种地理空间信息的能力;②以研究和决策为目的,以模型为手段,具有空间分析、多种要素综合分析和动态预测的能力,并能产生高层次的数据信息;③由计算机系统对空间数据管理,并由计算机程序模拟常规的或专门的分析方法,作用于空间数据,产生有用信息,完成人难于完成的任务。

地理信息系统从外部看表现为计算机的软硬件系统,而其内涵却是由计算机程序和地理数据组成的地理空间信息模型,是一个逻辑缩小的、高度信息化的地理系统。地理信息系统的主要功能有:采集、储存、管理分析和输出多种数据,进行数据维护与更新、区域空间分析、多种要素综合分析和动态预测等,计算机系统的支持是GIS的主要特征,使GIS得以快速、精确、综合地对复杂的地理系统进行空间定位和过程分析。

（二）地理信息系统（GIS）的分类

由于应用对象和应用目的的差异，地理信息系统按其内容可以划分专业地理信息系统、区域地理信息系统和地理信息系统工具三大类。

1. 专业地理信息系统

是具有有限目标和专业特点的地理信息系统，为特定的专门的目的服务，如：水资源管理信息系统、矿产资源管理信息系统、水土流失信息系统、环境管理信息系统等。

2. 区域地理信息系统

主要以区域综合研究和全面信息服务为目标，可以有不同规模，如：国家级的、地区或省级的、市级和县级等为不同级别行政区服务的区域信息系统，也可以按自然分区或流域为单位的区域信息系统，如：加拿大的国家信息系统、美国橡树岭地区信息系统、圣地亚哥县信息系统、我国黄河流域信息系统等。

3. 地理信息系统工具

是一组具有图形图像数字化、存储管理、查询系统、分析运算和多种输出等地理信息系统多种功能的软件包，它们或者专门研究的，或者是在完成实用地理信息系统后抽去具体空间数据后得到的。

从应用的角度来讲，许多实际的地理信息系统介于专业地理信息系统和区域地理信息系统，有时就把它统称为实用的地理信息系统，如：北京市水土流失信息系统、上海市环境管理信息系统、海南岛土地评价信息系统、河南省冬小麦估产信息系统等。相对而言，地理信息系统工具则称为基础地理信息系统以示区别。

（三）地理信息系统（GIS）的起源与发展

地理信息系统的创立和发展与地理空间信息的表示、分析和应用手段的不断发展是分不开的，考察地理信息系统的发展，可以划分为 20 世纪 60 年代的起始发展阶段、70 年代的巩固阶段、80 年代的大发展阶段。

世界上第一个 GIS 是在 1963 年由加拿大测量学家 R.F. 托姆林森提出并建立的，称为加拿大地理信息系统，主要用于自然资源的管理与规划。稍后，美国哈佛大学研究出 SYMAP 系统软件。但当时的计算机技术水平不高、存储容量小、磁带存储速度慢，使得 GIS 带有更多的机助制图色彩，用于地学分析和空间数据模拟的功能极为简单。

进入 20 世纪 70 年代以后，计算机软硬件技术飞速发展，尤其是大容量的存储设备——硬盘的使用，为空间数据的输入、存储、检索和输出提供了强有力的手段；高性能的图形显示器的发展，增强了人机对话和高质量图形显示功能，促使 GIS 朝着实用方向迅速发展。在此阶段的标志是一些发达国家先后建立了许多专业性的土地信息系统和地理信息系统，据统计 70 年代大约有 300 个系统投入使用，例如美国地质调查局从 1970 年到 1976 年建立了 50 多个信息系统，美国地质调查局发展了 50 多个地理信息系统，用于获取和处理地质、地理、地形和水资源信息；日本国土院从 1974 年开始建立数字国土信息系统，存储、处理和检索测量数据、航空像片信息、行政区划、土地利

用、地质等信息，为国家和地区土地规划服务；瑞典在中央、区域和城市三级建立了许多信息系统。一些商业公司开始活跃起来，软件在市场上受到欢迎，许多大学和研究机构开始重视 GIS 软件设计和应用研究，成立了各种 GIS 研究实验室。

80 年代是 GIS 普及和推广应用阶段。随着计算机的迅速发展和普及，地理信息系统也逐步走向成熟，并在全世界范围内全面地推向应用阶段，第三世界国家也开始引进、应用和发展自己的地理信息系统。高性能微型计算机的问世，使得微机地理信息系统得到了蓬勃发展，并使地理信息系统工具具有更高的效率、更强的通用性和独立性，更少地依赖于应用领域和计算机硬件环境，为地理信息系统的建立和应用开辟了新的途径。GIS 的应用从解决比较简单的规划管理问题（如道路、输电线等）转为更复杂的区域开发和决策问题，例如土地利用、沙漠化、城市化、环境与资源评价等。随着 GIS 与卫星遥感技术的结合，GIS 开始用于全球变化与全球监测。80 年代是 GIS 发展具有突破性的年代，仅 1989 年市场上有报价的 GIS 软件就达 70 多家，并涌现出一批有代表性的 GIS 软件，如：ARC/INFO、MicrostationSICAD、Genamap、System9 等。

进入 90 年代以后，微机地理信息系统得到了迅猛的发展，并且性能也得到了极大加强，向综合性、智能性发展。GIS 已成为一种新兴的确定性产业，投入使用的 GIS 系统，每 2~3 年就翻一番，GIS 市场的年增长率大于 35%，从事 GIS 的厂家超过 300 家。GIS 已渗透到各行各业，愈来愈多的国际性会议以 GIS 为主题，愈来愈多的学术刊物以 GIS 为标题，愈来愈多的学科，如地理学、工程学、森林学、城乡规划、计算机科学、测绘学、航天遥感、矿床地质、水资源等都把 GIS 作为发展方向。国家和地区性的 GIS 研究中心在美、英等主要西方国家中建立。

（四）我国地理信息系统（GIS）的发展

我国地理信息系统的研制与应用始于 70 年代末期，它的发展基础是计算机制图、计算机技术、计量地理和遥感技术。

1987~1980 年为准备阶段，主要是进行舆论准备，正式提出倡议，开始组建队伍和实验研究。

1981~1985 年为起步阶段，主要是对地理信息系统进行理论探索和区域性实验研究，并在此基础上制定国家地理信息系统规范。1981 年在四川渡口二滩进行实验，以航空遥感资料为基础，进行数据采集和数据库模型设计；1984 年开始，国家测绘局测绘科学研究所着手组建国土基础信息系统；1985 年国家资源与环境信息系统实验室成立。

1986~1993 年为初步发展阶段，地理信息系统被列入国家“七五”攻关课题，取得了重要进展和实际效益，形成了比较系统的研究计划：研究资源与环境信息系统国家规范和标准，解决信息共享和系统兼容问题；开展全国性和区域性的信息系统的建立和应用模式研究；研制和开发软件系统与专家系统，全国建成了一批数据库、开发了一系列的空间信息处理与制图软件；完成了一批综合性、区域性和专题性的信息系统。

1994 年以来为软件商品化阶段，在国外成熟软件在我国得到广泛应用的同时，带

动了具有自主知识产权的国产地理信息系统基础软件的崛起，一批起点高、功能强、价格低廉的国产软件相继研制成功，并推向市场。为客观地了解我国 GIS 基础软件的开发水平、开发现状和产业化前景，推动具有我国自主知识产权的 GIS 基础软件的健康发展，国家遥感中心、中国地理信息系统协会、中国海外信息系统协会从 1996 年开始对国产 GIS 基础软件和专项应用软件进行测评，从四年的测评结果来看，国产 GIS 软件的发展情况喜人，软件的功能、性能、品种和商品化程度都有了较大幅度的提高，完全可以在相关领域内实际应用，与国外优秀 GIS 软件的差距正在逐步缩小，个别领域已经超过了国外 GIS 软件，在微机（PC）GIS 软件和某些应用领域具备了与国外软件竞争的实力。

（五）地理信息系统（GIS）的发展趋势

GIS 技术的发展已经取得了巨大的成就，并对社会的发展作出了巨大的贡献，但对人们的期望和要求来讲还远远不够，GIS 的进一步发展应主要表现在以下几个方面：

1. 多媒体地理数据的管理与操作

在一个多种数据类型并存的混合系统中，如何实现各类数据的随意操作和有效管理，这是现今信息媒体多元化新时代的一个突出问题，它比单一地图数据库的操作要复杂得多。信息资源库包括的主要内容有：地理数据库、专业数据库、图像库、文件库和声音库等。

2. 数字制图技术

纸基地图在任何时候都是不可能被取代的，如何利用数字地图库直接生产纸基地图，即数字地图环境下的自动编图问题。技术的核心是数字地图的自动制图综合问题，它比屏幕显示的为目的的电子地图的制作要复杂得多，要处理各要素之间的关系，目前仍视为一个国际性的难题。此外，还应包括建立基于地图数据库和 GIS 技术集成的地图生产系统。

3. “3S”集成技术

GPS（全球定位系统）、RS（遥感）、GIS（地理信息系统）产生的时间不一，理论基础和技术特点也不尽一致，但它们的学科性质是相通的，即共同研究、表达和分析地球科学信息，在逐步发展过程中构成了相辅相成的关系，三者的结合覆盖了信息采集、处理和分析的全过程，使 GPS、RS、GIS 构成的卫星对地观测系统成为地球系统科学研究的重要手段。

4. 空间可视化技术与虚拟现实技术

可视化是指运用计算机图形图像处理技术，将复杂的科学现象或自然景观，甚至十分抽象的概念图形化，以便于理解理解、发现规律和传播知识。虚拟现实也称虚拟环境或人工现实，是一种由计算机生成的高级人机交互系统，构成一个以视觉为主的可感知环境。空间可视化技术与虚拟现实技术可用于制作动态地图、地形环境仿真、地图设计制作等方面。

5. 三维 GIS 和时态 GIS 技术

在地质、矿山、地下水、大气、环境等方面，人们不仅需要研究现象的二维分布，

更需要研究其三维空间分布甚至与时间有关的时空分布特征和规律,因此,对于真三维和四维(GIS)的需求更加近切,而真四维是在真三维的基础上增加时间维。

6. 网络 GIS 和 WWW GIS 技术

由于万维网具有开放性和友好的用户界面,它迅速成为网络信息处理和分布的主要工具。在服务器端,GIS 软件系统通过 CGI(连接器)与万维网的 HTTP(超文本传输协议)服务器相连;在客户端,有万维网浏览器以 HTML(超文本标注语言)建立用户界面。

二、地质灾害信息系统的开发与应用现状

随着 GIS 技术的成熟与发展,在地质灾害信息处理中得到了广泛的应用,以 GIS 技术为基础的地质灾害信息系统已由开发阶段转入实用。

(一) 国外 GIS 技术在地质灾害中的应用现状

国外尤其发达国家将 GIS 应用与地质灾害研究方面已做了很多工作。从 20 世纪 80 年代至今,GIS 技术的应用也从数据管理,多源数据集数字化输入和绘图输出,到 DEM 或 DTM 模型的使用,到 GIS 结合灾害评价模型的扩展分析,到 GIS 与决策支持系统(DSS)的集成,到网络 GIS,逐步发展深入应用。

根据现有资料,将 GIS 应用于地质灾害研究,最早是美国加利福尼亚 Menlo Park 地调局的 Earl E.Brabb 于 1986 年应用 GIS 技术对加利福尼亚 San Mateo 地区进行了地质灾害研究,使用了 GIS 的数据处理,数字绘图及数据管理等功能。1987 年仍然是该地调局的 Carht M.Wentworth 和 Stephen D.Ellen 等用 GIS 对区域工程地质作了进一步分析。1989 年美国的 Mirchael A.Finney 和 NancyR.Bain 用 GIS 技术分析滑坡灾害。DouglasC.Peter 等用 GIS 对工程数据进行评价。以上早期 GIS 应用多利用了 GIS 的数据处理、数据管理、绘图输出等基本功能。

印度 Roorkee 大学地球科学系的 R.P.GUPTA 和 B.C.JOSHI(1990 年)用 GIS 方法对喜马拉雅山麓的 Ramganga Catchment 地区进行滑坡灾害危险性分带。该研究基于多源数据集,如航空像片、MSS 磁带数据、MSS 图像、假彩色合成图像及各种野外数据,包括地质、构造、地形、土地利用及滑坡分布。以上数据需要进行数字处理、图像处理等处理,然后解译绘制出地质图(岩性与构造)、滑坡分布图、土地利用图等专题平面图。这些数字化图件及属性数据都存储在 GIS 系统中,找出与滑坡灾害评价相关的因素,利用 GIS 的存储、更新、网格化、空间叠加功能,得到一张综合图件、图上反映的是每个地区的权重总和。根据给定标准,即可在这张图上勾绘出滑坡灾害危险性分区图。

1991 年美国弗吉尼州亚地调局 Russel H.Campbell 等用 GIS 对滑坡灾害进行空间预报。美国密苏里州的 R.B.Jacobson 等用 GIS 分析滑坡位置。意大利 A.Carara 等学者(1991 年)将 GIS 技术与统计模型结合应用于滑坡灾害的评价。加拿大的 C.F.Chung 和 A.G.Fabbri 等学者(1993 年)将 GIS 应用在滑坡灾害分区的多因素综合分析。新西兰学

者 R. Soeters 等 (1991 年) 将 GIS 技术与遥感技术 (RS) 结合并应用于山地灾害分析与环境评价。法国的 E. Leroi 等 (1992 年) 将遥感技术与 GIS 技术应用于滑坡灾害制图工作。

美国科罗拉多州立大学 MARIO MEJIA - NAVARRO 和 ELLENE. WOHL (1994 年) 在哥伦比亚的麦德林地区, 用 GIS 进行地质灾害和风险评估。利用 GIS 对哥伦比亚麦德林地区地质灾害进行了分析和研究。重点考虑了基岩和地表地质条件、构造地质条件、气候、地形、地貌单元及其形成作用、土地利用和水文条件等因素。根据各因素的组成成分和灾害之间的对应关系, 把每一种因素细分为不同范畴等级。借助于 GIS 软件 (GRASS) 的空间信息存储、缓冲区分析、DEM 模型及叠加分析等功能, 对有关滑坡、洪水和河岸侵蚀等灾害倾向地区进行了灾害分区, 并对某一具体事件各构成因素的脆弱性进行评价。

科罗拉多州立大学 MARIO MEJIA - NAVARRO 博士后等人 (1996 年) 将 GIS 技术与决策支持系统 (DSS) 结合, 利用 GIS (主要是地理资源分析支持系统 GRASS 软件) 及工程数学模型建立了自然灾害及风险评估的决策支持系统并应用在科罗拉多州的 Glenwood Springs 地区。应用 GIS 建立指标因素数据库, 并建立基于 GIS 的多个控制变量的权重关系式。对泥石流、洪水、地面沉降、由风引起的火灾等灾种进行了灾害敏感性分析, 脆弱性分析及风险评估, 辅助政府部门作出决策。

(二) 国内 GIS 技术的应用与地质灾害信息系统的开发

国内应用 GIS 技术开展地质灾害研究工作起步较晚, 研究程度较低。目前, 尚无见到较成熟实用的地质灾害评价预测的 GIS 系统。

在煤矿地下开采工作面涌水预测及矿区岩溶水害预测中应用了 GIS 技术。在煤矿底板突水危险性预测中也应用了 GIS 技术, 在分析煤矿 (矿区) 地质、水文地质条件及突水资料的基础上, 建立起能反映较多因素综合作用的突水模式, 以帮助煤矿生产决策人员比较直观地对底板突水作出正确的判断。

在山区城市地面岩体稳定性管理与控制中应用 GIS。专家们以重庆市为典型研究对象, 在对城市地面岩体变形破坏形成机制系统研究的基础上, 以 IDRISI 系统为工具, 对地面岩体变形破坏进行了时间、空间预测预报。同时, 通过分析城市地质环境对土地工程利用的制约关系, 对各种土地利用类型的土地能力作了定量的分析与评价。运用 GIS 的信息存储、查询、空间叠加运算及 DEM 模型等功能, 得到土地能力的定量分级、斜坡稳定性综合评价分区图。

在岩溶塌陷评价中的运用 GIS 技术。根据塌陷影响因素 (如岩溶化程度、断裂分布、土层厚度、水动力条件及已有塌陷分布), 利用 GIS 的距离分析、标量分析、网络叠加分析、分级分组分析等功能, 完成研究区塌陷危险性评价及分区。

原地质矿产部水文地质工程地质研究所在“八五”期间承担的国家攻关项目专题研究“京津唐地质灾害预测防治计算机辅助决策系统”, 获得了国家“八五”重大科技成果奖。该系统由信息资源数据库、图形图像辅助分析、模拟预测、经济评价和防治决策

分析专家系统等五个子系统构成，总体结构采用了“四库一体”的设计思想，即以地质灾害的预测和防治为目标，将相关的数据库、图形库、模型库和知识库融为一个藕联整体，从而实现了数据加模型的定量计算与知识加推理的定性分析的相互结合、相互渗透，实现了地理信息系统技术和智能决策支持系统的结合，使该系统不仅具有定量计算和定性分析的能力，而且具有更加丰富、形象化的空间分析能力。

成都理工学院地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室 1997 年承担的“山区小流域地质环境及地质灾害预测的 GIS 系统”的项目，在贵州印江河流域开展实际预测应用。该研究基于国产 GIS 软件 MAPGIS、国外 ARCVIEW GIS 软件：并扩展分析模块。目前已完成该流域 1:1 万地形图、地质图、灾害分布图等图件的数字化输入，数据校正变换处理，定位处理等，以及预测评价分析模型（如统计预测模型、不确定性模糊预测模型、神经网络模型等）的程序编制工作。

为配合“1:50 万省（市、自治区）环境地质调查”工作的开展，原地质矿产部水文地质工程地质研究所和全国地质环境监测总站合作，相继完成了“省（市、自治区）环境地质调查空间数据库标准”和省（市、自治区）环境地质调查信息系统”的研究工作，“省（市、自治区）环境地质调查信息系统”基于 Windows98 环境，在 MapGis 系统上进行二次开发，形成集图形/属性编辑、数据信息查询、空间模型分析、信息输出于一体的集成型专题信息系统，具有很强的应用推广价值。

国土资源部于 1998 年底展开新一轮国土资源大调查与评价的科学技术试验（示范）工作。由成都理工学院牵头，全国地质环境监测总站及国土资源部长江三峡地质灾害防治指挥部参加，进行“地质灾害信息系统及防治决策支持系统”专项开发的试验研究。在试验区建立地质灾害的评价分析提供信息采集、存储、管理、检索、分析及编图等全过程的计算机处理软件工具系统。系统根据地质灾害信息在空间的分布特征，提供人机交互的综合分析处理和编图的计算机辅助处理功能，产生对区域规划、灾害防治、管理决策等方面的有用信息。该系统（GGIS）主要建立的子系统有：基于 GIS 的地质灾害信息系统；基于 GIS 的地质灾害区域评价与危险区划系统；地质灾害变形评价预测及预警系统；崩滑地质灾害治理方案的辅助设计系统；开发基于网络的地质灾害信息发布系统。此系统的建立与成果应用，将会加强国土资源的信息建设、信息管理、信息服务，加速国土资源的信息化、社会化、产业化。该系统目前已基本完成。

第三节 GHIS 系统的开发策略

地质灾害信息系统（GHIS）是在 GIS 工具的基础上进行二次开发而产生的专题信息系统，既有 GIS 软件的通用特点，也有其特殊性和创新性，这就要求系统的开发既要按其软件规则，又要讲究开发策略。

一、地质灾害信息系统开发的基本原则

从实际工作的需要看,一般是根据某种计划,针对某些特定的地质灾害问题,在一定的区域范围内(按流域或标准图幅)开展调查工作和资料积累,逐渐完善工作规范和标准。因此,当前对 GIS 应用系统的要求具有一定的不确定性和开放性,这就要求应用系统从实际需要出发,在提供必备的基本分析功能的基础上,用面向用户的开放灵活的思想设计和开发应用分析系统,并不断根据需要进行扩展。考虑到这一要求,我们拟定了分阶段开发的目标,首先按照有限目标原则,在经费许可的范围内,开发满足常规基本地质灾害研究所需的应用分析系统,投入实际运用,今后进行完善和提高。

在计算机软件开发工作中,软件工程的方法是开发管理的基本方法,面向对象的程序设计方法则是目前软件系统编程实现的最优方法。由于地理信息系统开发人员大多数是地学出身,没有受过软件工程方法的系统训练,在开发前期往往不重视可行性研究和需求分析,在开发过程中没有详细的程序设计说明和数据库设计说明,在开发后期的测试工作中没有明确的测试计划和测试分析,这样既不利于开发工作的顺利进行,对系统日后的维护和升级也带来极大不便。此外,在 GIS 设计与时间过程中缺乏面向对象的认识方法和程序设计方法学的指导,导致系统的可靠性和可维护性差,也是 GIS 进一步发展面临的一大问题。

鉴于上述原因,地质灾害信息系统开发的管理应遵循软件工程方法的基本原理,以避免不正确方法带来的不良后果,在系统的设计与实现上则应采用面向对象的程序设计方法。从而确定地质灾害信息系统软件开发的基本原则概括如下;

- (1) 按照软件工程规范进行结构设计和功能开发;
- (2) 集中开发,分工配合;
- (3) 软件开发的系统工程思想;
- (4) 充分利用 MAPGIS 系统功能和二次开发函数资源;
- (5) 引用成熟算法及相应源代码;
- (6) 质量保证。

二、地质灾害信息系统开发的基本方法

(一) 应用 GIS 系统实现的三种形式

应用 GIS 系统多种多样,形式各异,但从开发实现的角度考虑,基本上可以概括为三种形式,分叙如下:

1. 独立开发

指不依赖于任何 GIS 工具软件,独立进行应用系统开发,从空间数据的采集、编辑到数据的处理分析和结果输出,所有的算法都由开发者设计,然后选用某种程序设计语

言。如 C++、PASCAL 等，在一定的操作系统平台上编程实现，与通用 GIS 工具软件相比，开发过程相似，只是在功能结构上更针对应用目标。

2. 单纯二次开发

指完全借助于 GIS 工具软件提供的开发语言进行应用系统开发。目前国内流行的 GIS 工具软件中，有许多提供了可供用户进行二次开发的宏语言，如：美国环境系统研究所（ESRI）开发的 Arc View 提供了 Avenue 语言，美国 MapInfo 公司研制的 MapInfo 提供了 MapBasic 语言，等等。用户可以利用这些宏语言，以原 GIS 工具软件为开发平台，开发出针对自己的针对不同应用对象的应用程序。

3. 集成二次开发

集成二次开发是指利用 GIS 工具软件（如 ArcView、MapInfo 等）实现 GIS 的基本功能，以通用编程软件尤其是面向对象的可视化开发工具（如 Delphi、VisualC++、Visual Basic、Power Builder 等）为开发平台，充分发挥 GIS 工具软件在空间数据处理上的优势及可视化开发工具在应用程序开发上的强大功能，进行二者的集成二次开发。集成二次开发又分为两种方式：一是采用对象连接嵌入自动化（OLE Automation）技术或利用动态数据交换（DDE）技术，用软件开发工具开发前台可执行应用程序，以 OLE 自动化方式或 DDE 方式启动 GIS 工具软件在后台运行，实现应用程序的地理信息系统功能；二是利用 GIS 工具软件生产厂家提供的建立在 OCX 技术基础上的 GIS 功能组件，如 ESRI 公司的 MapObjects、MapInfo 公司的 MapX 等，在 VisualC++ 等编程工具编制的应用程序中直接将 GIS 功能嵌入其中。

（二）三种开发形式的比较

独立开发的好处在于无须依赖任何商业 GIS 工具软件，这样一来不仅减少了开发成本，而且同样的算法设计与代码运行可以运用于以后的类似的应用系统开发中，这样可以为许多最终用户节省购买 GIS 工具软件的费用，但进行这种方式的开发一方面要求开发者具有深厚的计算机程序设计功底，另一方面对于大多数开发者来说，能力、时间、财力方面的限制使其开发出来的产品很难在功能设计和使用上与商业化 GIS 工具软件相匹敌，而且在购买 GIS 工具软件上省下来的钱可能还抵不上开发者在开发过程中绞尽脑汁所花的代价，因此这种开发方式仅为少数开发者使用。

单纯二次开发由于是借助于 GIS 工具软件提供的宏语言进行的，省时省心，但不管是 ArcView 提供的 Avenue，还是 MapInfo 提供的 MapBasic，作为编程语言都只能算是二流的，用它们来开发应用程序仍不尽如人意，效率低下，且在界面设计上相对单一，难于发挥开发者的想象力以及不同 GIS 应用的需要。

集成二次开发既可以充分利用可视化软件开发工具的高效方便的编程功能，又可以充分利用地理信息系统工具软件完备的空间数据可视化分析处理功能，集二者之所长，不仅能大大提高应用系统的开发效率，而且使用面向对象的可视化软件开发工具开发出来的应用程序具有良好的外观、完善的功能，且可靠性好、便于维护。尤其是使用 OCX 技术利用 GIS 功能组件进行集成开发更能表现出这些优势。

综上所述，集成二次开发正成为应用 GIS 系统开发的主流方向，这种方法惟一的缺点是前期投入比较大，需要同时购买 GIS 工具软件和可视化编程软件，但“工欲善其事，必先利其器”，这笔投资是值得的。

三、地质灾害信息系统的开发策略

GIS 工具软件一般是有计算机专业技术人员组成的科研集体完成开发的，系统的设计技术较高，而实用 GIS 系统一般是非计算机专业人员开发、用于特定行业或特定地区的软件系统，具有较强的应用专业性或区域性。从某种意义上讲，GIS 工具和应用 GIS 系统在功能上没有本质的差别，主要体现在通用性和专用性上，既从通用界面到专用界面，从通用模型到专业模型。地理信息系统软件设计技术较高，在应用 GIS 系统开发上重复开发 GIS 技术的基础功能无疑会造成人力和财力的巨大浪费，而且对非计算机专业的技术人员来讲也存在有巨大的难度。在地理信息系统工具上开发应用 GIS 系统无疑是一条捷径，不仅可以节省软件开发的人力、物力、财力，而且也大大缩短了软件开发周期，提高了应用系统的整体水平。

近几年来，GIS 工具得到了快速发展，而且日益成熟，有些软件已经提供了功能强大的二次开发功能，为迅速建立应用 GIS 系统奠定了基础。任何一个地理信息系统应包括如下几方面的内容：数据输入、数据编辑、数据查询、空间分析模型、信息输出。在 GIS 工具上进行应用 GIS 系统的二次开发主要完成如下几方面的工作：专业化界面开发，使通用 GIS 工具转化为专用 GIS 系统；高层次的专业应用模型开发与模型管理，完成特定行业要求的空间模型运算。

第四节 程序设计与开发的基本思路

GHIS 系统是一个专题型的应用 GIS 系统，其基本思路是在 GIS 工具的基础上进行二次开发，实现 GIS 工具向专业型 GIS 系统的转化。

一、GHIS 系统开发的基本原则

地质灾害信息系统必须包括一个强有力的软件支持环境，即可为科研生产提供灾害数据信息，又可为行政管理部门提供宏观决策服务。GHIS 系统作为一个完整的软件系统，应包括如下功能：

- (1) 数据信息采集和维护；
- (2) 数值模型分析；
- (3) 图形生成和图形编辑；
- (4) 图形与属性信息检索；

(5) 数据信息输出。

GHIS 系统的开发应具有较高的起点, 充分使用现有的软件成果, 避免软件开发的重复性。软件系统的部分功能, 如数字化仪输入、图形编辑、图形输出等是 GIS 系统的主要功能, 应选择合适的 GIS 软件作为开发环境, 直接引用这些功能。软件开发的主要任务应集中于数据采集 (属性数据输入、数据类型转换等)、信息检索、数值分析评价模型、属性数据输出及图形生成等功能。

二、开发平台选择

GHIS 系统的开发基于 GIS 工具的二次开发函数, 利用现有的数据结构, 开发集成环境的专用信息系统。

(一) 系统的开发环境

GHIS 系统的服务对象不仅包括从事地质灾害研究和生产实践的部门, 同时要为相关政府部门提供决策服务, 用户主要为第一线的专业技术人员或实际管理人员。从应用层次的设备规模看, 主要是通用性微机系统, 以管理和分析中小型信息库为主。

1. 硬件环境

系统硬件环境的基本要求是以高档微型计算机为核心, 外部设备具有灵活的选择余地, 支持多种输入输出方案, 并为今后系统升级留有余地。

基本外设: AO 幅面彩色喷墨绘图仪, AO 幅面数字化仪, 彩色扫描仪, 打印机等。

2. 软件环境

GHIS 系统的最终开发是面向最终用户的二次开发, 以中国地质大学中地公司研制的通用型 GIS 工具——MAPGIS 为开发平台, 充分利用该系统提供的二次开发函数库, 结合专业分析系统开发 (图 13-3-3)。据此确定 GHIS 系统的软件开发环境为:

- Windows 98 中文版;
- MAPGIS 工具系统及二次开发函数库;
- C、C++、VB 等攻击开发语言。

(二) MapGis 的 API 函数与类库

基于在 GIS 工具的基础上进行二次开发这一基本思路, GHIS 采用 MAPGIS 系统作为二次开发平台。MAPGIS 系统提供了强大的二次开发函数, 其二次开发接口 (Application Program Interface, 简称 API) 结构如图 13-3-4 所示。

另外, MAPGIS 系统还提供了二次开发类库。MAPGIS 二次开发类库是建立在 MAPGIS API 之上的一个类库层, 提供了一套强有力的 C++ 类, 用于支持基于 MFC 类库的面向对象的 Windows 程序设计, 它屏蔽了基于 MAPGIS API 之上开发 MAPGIS 实用程序的许多复杂性, 同时仍然允许有经验的程序员使用底层的 MAPGIS API 功能。MAPGIS 二次开发类库结构层次如图 13-3-5 所示。

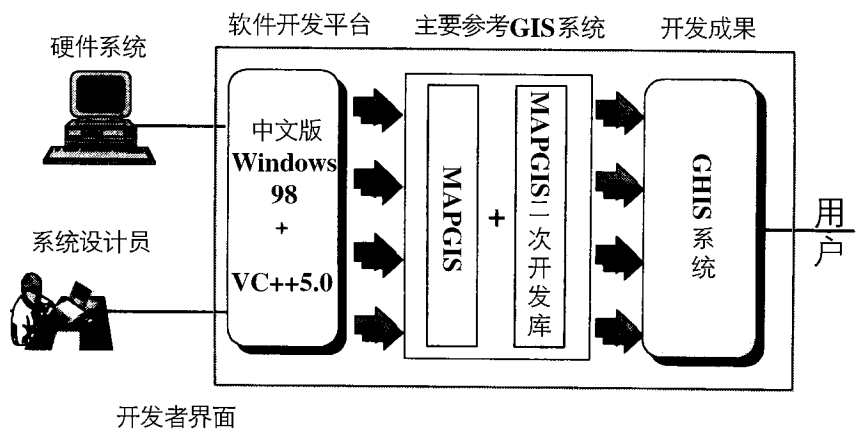


图 13-3-3 GIS 系统的软件开发环境

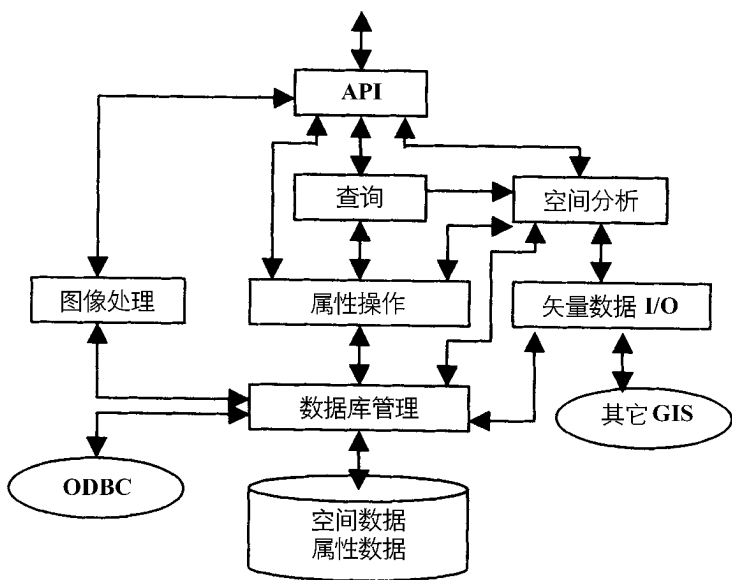


图 13-3-4 MAPGIS API 结构

(三) GIS 系统的数据结构

考虑到二次开发对开发平台的依赖性，采用 MAPGIS 空间数据结构作为图形数据的存储格式、微软公司的 ACCESS 数据结构作为外挂属性数据库的存储格式，为使图形数据和外挂属性数据的有机结合，定义灾害工程集结构。灾害工程集结构包含图形数据库信息和外挂属性数据库信息。利用 MAPGIS 系统提供的强大的二次开发函数库及其类库，在 VI-SUALC++ 5.0MFC 方式下进行 GIS 的软件开发。整个系统以灾害工程集

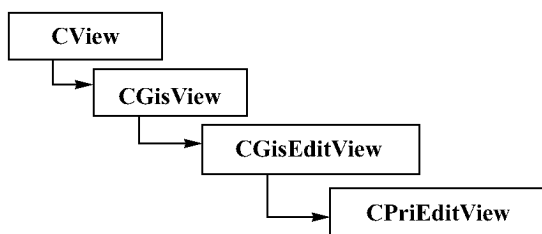


图 13-3-5 MAPGIS 二次开发类库结构

管理为主线，建立数据源目录树，图形数据库和属性数据库的管理及其二者的联系都是通过对树的操作来实现，系统较好地实现了数据信息采集和维护、图形生成和图形编辑、图形与属性信息检索、灾害数值模型分析、数据信息输出等功能。

三、GHIS 系统的功能结构

（一）GHIS 系统的功能组合

GHIS 系统由灾害图形管理子系统、灾害属性管理子系统、灾害模型管理分析子系统、帮助系统四部分组成。系统整体结构如图 13-3-6 所示。

（二）GHIS 系统的主体界面

系统的基本界面是一个地质灾害信息系统多文档界面窗口，用户启动系统后将会看到该窗口，它包括边框、标题条、菜单条、工具条、状态条、灾害工程集管理区域和数据窗口显示区域。该窗口为本系统的主控窗口。系统所提供的功能，均可在该窗口下完成。

边框、标题条、菜单条、工具条和状态条拥有完全的 Windows 属性，在没有进入子系统时只显示主控界面菜单，在进入子系统后才显示各系统的全部菜单。工具条位于窗口上部菜单条的下边或窗口左边，每一个工具图标在菜单中都有一项命令与之对应，我们在操作系统时，不必每条命令都去打开菜单选择，有些命令直接选用工具条上的按钮即可以实现，这样就能更方便、迅捷地操作本系统。单击鼠标右键，在鼠标指针处将出现相应快捷菜单命令，方便用户选择。状态条在图形的编辑过程中，会将当前系统的工作状态反映在上面，在操作系统过程中，选用某项命令时，状态条会给予一定提示，指导使用者操作。程序安装后第一次启时，灾害工程集管理区域窗口停靠在主控窗口右边。灾害工程集管理区域窗口用于灾害工程集的管理以及数据管理子系统中数据界面的管理。用鼠标拖动工具条时，可实现工具条在主控窗口四边停靠和浮动在屏幕上，用鼠标拖动灾害工程集管理区域窗口时，可实现灾害工程集管理区域窗口在主控窗口左右两边停靠和浮动在屏幕上。

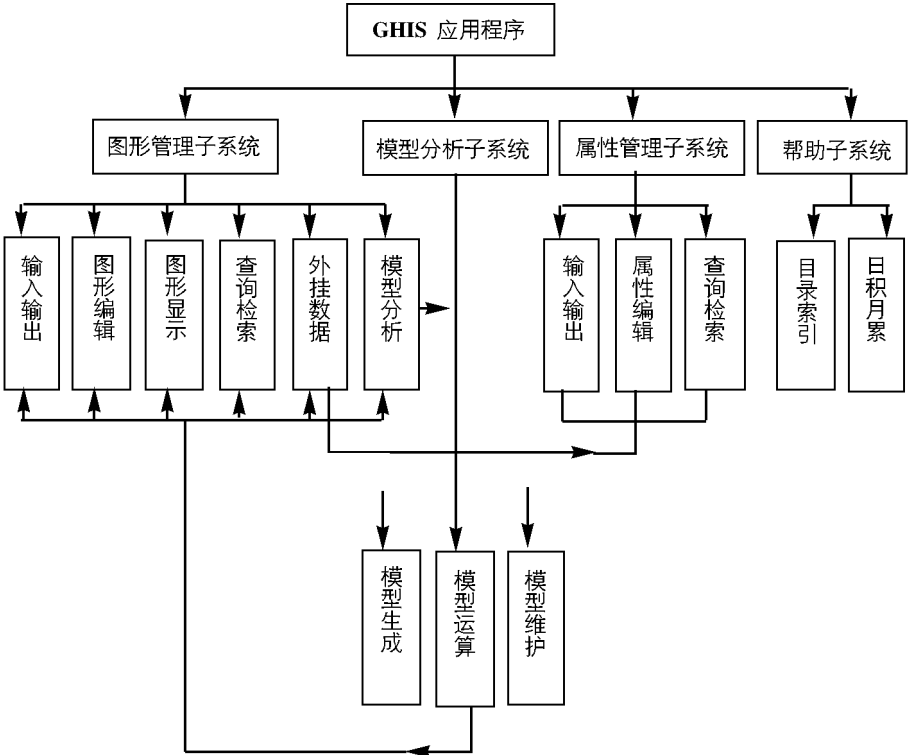


图 13-3-6 GHIS 系统结构示意图

【图形管理】菜单命令用于进入图形管理子系统。【数据管理】菜单命令用于进入数据管理子系统。【模型管理】菜单命令用于进入模型管理及评价子系统。

（三）GHIS 系统的主要数据类型

系统常用到的文件类型有如下几种：

- 灾害工程集文件 * .ghv
- 工程文件 * .mpj
- 点、线、面图形文件 * .wt, * .wl, * .wp
- 栅格图形文件 * .tif * .rbm
- ACCESS 数据库文件 * .mdb

第四章 GIS 地理信息系统的设计与分析

第一节 地理信息系统的概念与功能

地理信息系统 (Geographic Information System), 简称 GIS, 它是随着计算机辅助制图和空间数据分析技术的迅速发展而产生的, 是集特殊的空间数据采集、存储、检索、分析、传输和显示为一体的, 功能强大的一门新兴的交叉技术。

1963 年, W. L. Garrison 提出这个概念并建立了世界上第一个地理信息系统——加拿大地理信息系统 (简称 CGIS); 之后, 地理信息系统经历了四个重要的发展时期: ① 60 年代发展阶段 (机助制图阶段)。这个阶段, 除开发的加拿大地理信息系统用于自然资源的管理和规划外, 美国哈佛大学也研制出了类似的 SYMAP (Svna graphic Mapping System) 系统软件。由于当时的计算机水平不高, 这些 GIS 主要用于帮助人出图, 查询功能极为简单, 地学分析基本没有。② 70 年代为巩固阶段 (不同专题、不同规模和不同类型的各具特色的地理信息系统研制阶段)。随着计算机硬件技术和软件技术的突破, 计算机得到了飞速发展。许多国家的政府部门对地理信息系统表现出极大的兴趣, 相继出现了不少与 GIS 相关的组织结构, 如美国的城市和区域信息系统协会、国际地理联合会 (IGU)、地理数据采集与处理委员会等, 并先后建立了许多专业性的土地信息系统和地理信息系统, 对地理信息系统知识和发展 GIS 技术起了重要的不可缺少的作用。③ 80 年代为突破阶段 (地理信息系统成熟阶段)。计算机网络的兴起, 使得地理信息系统的传输时效得到了极大的提高, GIS 的软件的应用取得了日新月异的重大突破, 相继出现了一些具代表性的 GIS 软件, 诸如 ARC/INFO、IGDS/MRS、TIGRIS、MICROSTATION、SICAD、GENAMAP 和 SYSEM9 等。④ 90 年代为应用与产业化阶段 (地理信息系统产业阶段)。一些国际著名的企业, 诸如全球最大的数据公司 Oracle、全球最大的软件公司 Microsoft、全球最有影响的 CAD 公司 Autodesk 等, 纷纷将目光投向地理信息系统产业, 将大量资金投入地理信息系统的推广与深层次的开发。地理信息系统业出现欣欣向荣的景象, GIS 软件产业每年以 30% ~ 40% 的速度递增, 发展速度非常惊人。开发的应用领域已涉及各个方面, 主要有: 城市规划系统、电力配网系统、地籍管理系统、电信网线系统、军事指挥系统、遥感图像分析、GPS 卫星定位系统和多媒体数据库系统等。

我国进行的 GIS 研究工作是从 80 年代开始的, 起步较晚。但随着国家的重视、有关方面的资助和专业技术人员投入的加大, 经过“七五”、“八五”十余年的研制与开

发, GIS 得到蓬勃发展, 相继建立了一批全国、省市和区域级的数据库和大型应用系统, 如全国 1:100 万基础地理数据库、重大自然灾害监测与评估系统、重点产粮区主要农作物估产系统和“三北”防护林系统等, 解决了一系列技术方法和应用实际问题, 积累了较为丰富的经验。特别是“九五”期间, 国家将地理信息系统基础软件产品的开发和产业的发展列入了“重中之重”的科技攻关计划, 提出了“引入竞争机制, 坚持滚动发展, 加强科技攻关, 落实产业建设”的管理原则; 之后, 地理信息系统发展势头迅猛, 出现了一些相对比较成熟的在国内有一定影响的软件系统, 如中国地质大学(北京)的 MapGIS, 深圳雅都信息系统公司的 AM/FM 专用软件 GROW, 中国科学院遥感所的 SIMS 及 GRAMS, 北京大学的 MICGIS、SYSTEM - W、GEOUNION 和武汉测绘科技大学的 MCGIS 系统。这些国产软件系统的应用或个别领域完全可以与国外优秀软件相抗衡。其中, 空间分析、海量数据管理和全库漫游等性能已与国外软件水平相当; 地图出版能力和 AM/FM 应用等性能已经超过国外软件的水平。

地理信息系统是多学科交叉的产物。以地理空间数据库为基础, 运用系统工程和信息科学的理论, 采用地理模型分析方法, 通过提供多种空间的和动态的地理信息, 产生对资源环境、灾害防治、区域规划和管理决策等方面的有用信息。其内涵是由计算机程序和地理数据组织而成的地理空间信息模型, 将自然发生的或思维规划的过程加在此模型上, 以获得对自然过程的分析和预测信息, 用于管理和决策。

地理信息系统的核心是空间数据管理子系统, 它由空间数据处理和空间数据分析构成。空间数据的主要来源有专题地图(等水位线图、地形地质图等)、遥感图像数据、统计数据及实测数据等。地理信息系统具有七大功能: 数据的提取、转换和编辑, 数据的集成, 数据重构和数据转换, 查询和检索, 空间操作和分析, 空间显示和成果输出以及数据的更新。以下分别介绍:

一、数据的提取、转换和编辑

对所感兴趣的因子进行数量化的描述即为数据提取, 也就是把图形数据和描述它的属性数据通过各种数字化设备将各种已存在的地图数字化, 或者通过通讯或读磁盘、磁带方式录入遥感数据和其它已存在的数据, 或者依赖于全球定位系统(GPS)获取数据, 还包括以适当的方式录入各种统计的数据、野外调查数据和仪器记录的数据。

数据转换是地理信息系统的一个重要功能, 它提供了一种与其它各种软件进行数据转换的接口, 从而增强了 GIS 空间数据获取的能力。如地理信息系统的 IDRISI 软件和 Mapin - fo 软件提供了 DXF 文件的标准交换格式, 甚至包括不独立于系统的一些数据格式。

由于提取的各种空间数据不管是实地测量的、室内数字化和扫描的数据, 还是空间数据或属性数据, 都存在着不完善和错误, 因此 GIS 提供有空间数据(点、线、面)的编辑功能。

二、数据的集成

GIS 的主要数据可由二维或三维的空间型地图而来，它包括三方面的内容，分别为空间位置、拓扑关系和属性。自然界的任何实体都可抽象地表示为点、线、面。

(1) 点 (point)：也称为象元 (pixel)，是一个数据点，如地裂缝的位置，具有一对 (x, y) 和一个或一个以上的属性，逻辑上不可分。

(2) 线 (line)：是具有相同属性的点的轨迹，如断层，由一个坐标对序列表示，坐标对的顺序与线的形状有关。线上每个点有不多于二个的邻点，而且它们具有相同的公共属性，并至少存在一个属性。

(3) 面 (area 或 Polygon)：是一个具有相同属性的所有点的轨迹，如地裂缝预测分区后的每一分区，以 (x, y) 坐标对的集合来表示。坐标对的排列顺序不影响面的形态。

三、数据结构的重构和数据转换

空间数据重构包括空间数据或属性数据结构的变化，多指矢量数据结构与栅格数据结构之间的转换。

空间数据的转换包括比例尺的缩放，旋转平移和转换；属性数据的转换包括线性和非线性函数的转换。

四、空间数据的查询和检索

GIS 提供了功能强大的查询和检索功能，即从空间位置检索空间物体，以及满足一定属性条件的空间对象，这一点在进行地裂缝灾害预测寻找阈值时体现得尤为明显。

五、空间操作和分析

这一功能是 GIS 中最关键的、也是最重要的功能，因为它的对象是空间数据，不仅包括几何数据，而且涉及属性数据。如果几何数据要进行操作，那么对应的属性数据也要进行相应的分析。空间操作与分析包括再取样模块 (resample model)、分类模块 (re-classmodel)、交叉表模块 (crosstab model)、计算面积模块 (area 或 area p model)、周长计算模块 (perim 或 perim p model)、叠加模块 (overlay model)、时间序列分析模块 (time series analysis model) 等。其中，叠加模块为核心，它集中了地图代数 (map algebra) 的各种功能，如信息专题层 (coverage) 之间的加、减、乘、除等。通过这些模块的协同，各因子对所研究的主体的贡献也就一目了然。特别是时间序列分析模块的趋势和相关分析的利用，可以发现研究主体时空的发展规律。

六、空间显示和成果输出

空间显示包括图形的二维显示和三维显示，二维可由颜色不同以区分不同的值，三维可以用直观的起伏来表示大小。成果输出包括统计报表、表格等，可由各种回归模块和显示模块来完成。

七、空间数据的更新

自然界无时无刻地在发生着或大或小的变化，包括人类的改造引起的变化，所以各种因子也不可避免地改变着。为了更准确地反映这些变化，空间数据库的数据必须定期更新。

第二节 空间数据信息的采集与输入

空间数据信息是具地理坐标位置的、具各种属性特征的载体。数据采集和输入是一项十分主要的基础工作，是建立地理信息系统不可缺少的一部分。没有数据的采集和输入，建立一个数据实体就成了无稽之谈，数据管理、分析和成果输出就成了空架子，没有任何实用价值。

地理信息系统的空间数据信息采集和输入是指将各种地学信息通过某种数字化方法并经过编辑处理，变为系统可以存储管理和分析的形式。

一、空间数据信息源

空间信息由图形、图像数据信息和文字数据信息组成。而图形数据信息可从基础地图（包括地形图、地形地质图、水文地质图等）、工程图、照片等获得；图像数据信息则可从照片和航空与遥感影像中得到。文字信息则需要从调查报告、文件、统计数据、实验数据和野外调查原始记录等取得。具体的空间数据信息尽可能地按照国家规范研究组建议的数据分类和项目来获取（表 13-4-1），这样可避免重复研究，减少工作量，以更好地实现不同部门之间的数据共享。

表 13-4-1 国家规范研究组建议的数据分类和项目总表

项目	内容	基本数据来源
I 社会环境		
1. 城市与人口	①城镇人口、分县人口总数 ②自然村密度（大小、数目、按第Ⅲ级格网） ③人口分布（第Ⅲ级格网）	人口普查办公室 1:1万~1:10万地形图 人口普查办公室
2. 交通网	①铁路（双轨、单轨、车站、专用线、程度、运输能力、与省界、公路等的交叉点） ②公路（省级、县级、乡简易公路、桥梁载重限制、与省界、铁路和主要河流的交叉点） ③航运（港口、泊位、船舶吨位、通航路线、水深、季节变化） ④航空（航线、航班、航空港、运输能力）	铁道部 交通部 交通部 民航总局
3. 行政规划	①国界、省、市、县级界限与面积（多边形） ②省、市、县级管辖区（按Ⅴ级格网点） ③城市规划区（按Ⅴ级格网点） ④自然保护区管辖范围 ⑤工矿区（油田、禁区、饲养场、旅游点、名胜文物保护区）	外交部、民政部、国家测绘局等 城乡建设环境保护部等 林业部等 城乡建设环境保护部、林业部等
4. 地名	①城市名称及其中心坐标 ②各县名称及县城中心坐标 ③主要河流、湖泊、山岭、港湾名称及坐标 ④自然地理单元及其区域坐标（山脉、流域、盆地、高原）	地名委员会 地名委员会 地名委员会 地名委员会
5. 文化和通信设施	①学校，医院等 ②科学试验站网点（气象，水文，地震台站等） ③邮电通信网点	文化部、教育部、卫生部等 邮电部
II 自然环境		
6. 地形	①海拔高程（按Ⅴ级格式网点） ②山峰高程，水库湖面高程 ③湖泊，水库，水深，大陆架以及海深 ④地形图与遥感资料检索	国家测绘局 （同上） （同上）
7. 海岸及海域	①分县海岸长度，线段坐标 ②分县岛屿岸线、面积、长度、坐标 ③基本海况；滩涂面积，潮汐，台风，常年风向，底质，温度，海浪等	海洋局 海洋局 海洋局

第十三篇 地质灾害经济评价与灾害信息系统的设计

项目	内容	基本数据来源
8. 水系及流域	①流域划分界线及面积（100km ² 以上与省界交点，控制站点，水库坝址及坐标，分段节点） ②流域辖区（按第Ⅲ级格网） ③水系交汇点（坐标，面积）及干、支流等级，长度（交叉点坐标）	水电部 水电部 水电部
9. 基础地质	①地表岩类或沉积层及其时代 ②断层性质（特别是活动性质） ③地球物理观测点（重力、地磁、地震等） ④人工地震（浅层、中层和深部，包括海上） ⑤地球化学观测点及其特性 ⑥环境地质（地面沉降，土壤承压力，滑坡泥石流，崩塌等） ⑦地震烈度区划	地矿部 地矿部、地震局 地矿部、石油部 地震局、中科院 石油部、地矿部、地震局、煤炭部、中科院等 地矿部、中科院 地震局
Ⅲ 资源与能量		
10. 土地资源	①地貌类型（包括海岸和浅海） ②土壤类型（包括土壤肥力等） ③土地利用类型 ④灾害（风沙，盐碱，台风，雪害，水土流失，旱涝，霜冻，寒潮）	中科院、农牧渔业部 中科院等 国家测绘局、农牧渔业部、林业部等 气象局、水电部、农牧渔业部、中科院等
11. 气候和水热资源	①辐射量，日照量和云量（按第Ⅲ级格网） ②热量资源（年最高温、最低温，年均温，月均温，积温等） ③降水（年最高，年最低，年、月平均，积雪量等） ④风能 ⑤陆地水文（最高、最低流量，年、月平均流量，含沙量，洪峰，污染等） ⑥冰川，雪被，冻土 ⑦湖泊，水库，港湾 ⑧地下水	国家气象局 国家气象局 国家气象局 国家气象局 水电部 中科院、交通部、水电部，中科院 水电部等
12. 生物资源	①主要作物，分年的耕作面积，亩产，灌溉面积等 ②森林类型、面积，树种，储积量，采伐、更新面积 ③草场类型、面积、产草量、载畜量 ④淡水养殖与渔业（种类、面积、产量等） ⑤病虫害，减产频率和程度 ⑥野生植物，野生动物资源	农牧渔业部，林业部 农牧渔业部 农牧渔业部 农牧渔业部 农牧渔业部 农牧渔业部，林业部

项目	内容	基本数据来源
13. 矿产资源	①煤炭，泥炭（类型、储量、矿区矿点，生产能力） ②石油，天然气，油页岩（类型、储量、油田、生产能力） ③黑色金属（分类、储量、矿山、生产能力） ④有色金属（分类、储量、矿山、生产能力） ⑤稀土元素（分类、储量、矿山、生产能力） ⑥非金属（分类、储量、矿山、生产能力）	地矿部、煤炭部、石油部、冶金部、有色金属总公司等
14. 海洋资源	①海洋能源 ②海洋养殖与水产 ③海底矿产资源 ④海涂资源	国家海洋局

二、空间数据信息的质量与精度

众所周知，如果数据信息的采集和获取有误的话，即使所采用的各种软件模拟系统是一流的，所得到的结果也是不可信的。特别是评估空间数据质量的代价随空间数据精度而变化，空间数据质量要求愈精确，测试的代价也愈高。测试代价包括了数据检查过程的纠正错误过程所用的花费和时间。因此，必须尽可能地提高各个环节的精度，尽可能地减少误差。

数据信息的误差主要来自三个途径：明显误差、原始误差和数据处理过程中的误差。明显误差为最明显和最容易察觉的误差，主要有以下来源（表 13-4-2）。

表 13-4-2 GIS 过程中的数据信息的误差源

阶段	数据信息误差源
数据采集	实地测量误差 地图本身的误差 航测遥感数据分析误差
数据输入	在数字化过程中由操作员和设备造成的误差 某些地理属性没有明显边界引起的误差 地图配准时产生的误差
数据存储	数字存储有效位不能满足 空间精度不能满足

阶段	数据信息误差源
数据操作	类别间的不明确 边界误差 多层数据信息叠加所产生的误差 多边形叠加所造成的裂缝
数据输出	比例尺误差 输出设备误差 媒质不稳定误差（如地图变形等）
成果的使用	用户错误理解信息造成的误差 不正确地使用信息造成的误差

（1）数据信息的时代。在项目和课题研究中，由于搜集资料的途径不同及经费与时间的限制，搜集到的数据很有可能在时代上不一致，如在应用了现有的有关地图和数据的同时，又使用了最新的水位资料、遥感图像信息等。

（2）地图的比例尺。因将不同比例尺的基础底图应用于同一研究中所造成的误差。

（3）区域误差。由于不同区域所提取的数据的标准和测量人员素质的不同而引起的误差。

（4）数据信息的格式。因数据结构和数据格式的不同，在相互转换时带来的误差。

（5）数据密度。研究区由于地形的限制，造成观测的密度不同产生的误差。

（6）相关数据。由于项目经费问题或有关数据不可得到而采用相关数据而造成的误差。

（7）可接近性。因不同部门之间、不同地区之间的数据信息相互保密，而造成研究人员不能直接接近有关数据信息而引起的误差。

（8）数据的代价。可能研究人员出于对于经济问题的考虑，而需要在代价与数据之间作出选择。

原始误差产生于原始测量中，往往在工作人员使用这些数据的过程中被发觉。包括位置误差、内容误差和获取数据时不同环境差异所造成的误差。

最后一种误差是在数据处理过程中所造成的误差。主要包括计算机原数据有误差、拓扑分析过程所造成的误差、分类及生成各类问题（如方法学、内插等）所引起的误差和地图代数运算时产生的误差等。

总之，误差的来源多种多样。在使用地理信息系统过程中，数据误差的主要来源，见表 13-4-2 所示。我们应尽量避免各个环节中所产生的误差，以提高数据信息的质量和精度。

三、空间信息的采集途径

对已存在的数据信息，应尽可能按照《资源和环境信息国家规范研究报告》中所规定的途径获取（见表 1-1），这样可以既大大地节省人力物力财力，又可以避免重复工作。同时需要注意的是：①数据要有统一的定位系统；②数据信息划分要有统一的数据分类标准；③数据信息要有统一的分类编码规定和统一的数据格式记录标准；④地理数据之间存在复杂的关系；⑤地理数据具有时效性。

对未进行过测绘或者未实验的数据信息，以及无法获得的数据，则需通过实际勘查或实验来得到。

四、空间信息的输入

在计算机尚未发展的阶段，一张详细的地图就是一个简单的地理信息系统。虽然它可以反映出某个空间位置的特定的信息（属性信息），但检索、查询起来特别繁琐，而且数据输入也是纯粹用手工的方式描绘或标上去的，误差自不必说。随着地理信息系统的发展，计算机运行速度的加快，人们可以充分利用各种先进的设备进行数据信息的输入。在地理信息系统中，有三种数据信息存储方式，即空间数据、属性数据和空间数据与属性数据之间的连接关系的存储。根据图形的数据、图形的数据类型、现有的设备状况及其人力才力状况等，可选用不同的数据信息输入方法。

（一）传统的手工输入方法

这种方法很早以前就被采用，是最早、最简单的地理信息系统定位方法。它将矢量图形数据（点、线、面实体的地理空间数据信息）通过键盘输入到数据文件或者程序中去。

（二）数字化仪输入方法

数字化仪的基本原理是将地图上的位置信息通过数字化仪的定位器，以数字信号的方式传送给计算机，使计算机记录每个点、线、面的位置，形成相应的数据文件。其中，数字化仪的定位技术主要是靠数字化器的电码静电装置，故输入速度快，精度高。从目前进行的各种地理信息系统研究现状来看，数字化成为各种工程图（包括各种地质图件）转变成数字信息不可缺少的途径。

数字化仪主要由绘图板和定点装置组成。按绘图板工作区的大小可将数字化仪分为 6 种类型（表 13-4-3）。

表 13-4-3 数字化仪类型

类别		工作区范围
小 型	A ₄	305mm × 305mm
	A ₃	305mm × 407mm
	A ₂	457mm × 610mm
大 型	A ₁	610mm × 914mm
	A ₀	914mm × 1219mm
	A ₀₀	1118mm × 1524mm

常用的定点装置有笔式和光标式两种类型。光标式定点器是带有聚焦和十字丝的鼠标器。鼠标器有 4 键和 16 键两种，每一个键的功能可通过相应的软件来定义。

数字化的步骤如下：

- (1) 首先是初始化，即对输入的基本数据进行初始化（包括图名、编号、比例尺和使用的地图投影的选择等），对数字化仪的各功能键的定义；
- (2) 标识控制点，将控制点录入文件，将实际坐标与数字化桌上的坐标一一对应起来；
- (3) 确定图形显示窗口，使数字化的过程便于实时观测与检查；
- (4) 然后进行数字化，根据定义的数字化仪的各功能键，手扶光标小键盘，用十字丝跟踪，进行点、线、面的各种操作；
- (5) 在数字化的过程中，实时修改各种数字化错误；
- (6) 加注标题、图例、必要的注记和符号以及完成全图的修饰；
- (7) 通过人机交互操作进行全图编辑，修正图形数字化过程中的各种错误；
- (8) 将数字化数据信息以数据库的形式存储。

须注意的有两点：①在数字化前，应首先确定地图坐标系统、比例尺和参考坐标控制点位置；②在数字化过程中，虽然在整个工作区都是有效的，但工作区边缘的精度较低。因此，在定义工作区时，应留足够的区域，以保证数字化的精度。

(三) 扫描仪输入

扫描仪是地理信息系统图形及影像数据输入的一种重要工具。随着 GIS 的识别技术的不断深化，扫描仪的作用愈来愈显得重要，因为它可以将烦琐的手扶数字化仪的工作变得简单。

扫描仪，依其结构可分为三大类：滚筒式扫描仪、平台式扫描仪和 CCD 摄像式扫描仪（图 13-4-1）。滚筒式扫描仪的主体是一个可旋转的滚筒，将需扫描图件装在圆柱型滚筒上，用扫描头对它进行扫描。其中，扫描头在 x 方向运转，滚筒在 y 方向上转动。平台式扫描仪的扫描部件上装有扫描头，可在 x 、 y 两个方向上对平放在扫描桌

上的图件进行扫描。*CCD* 摄像式扫描仪是在摄影架上对图件进行中心投影摄影而取得数字影像的。

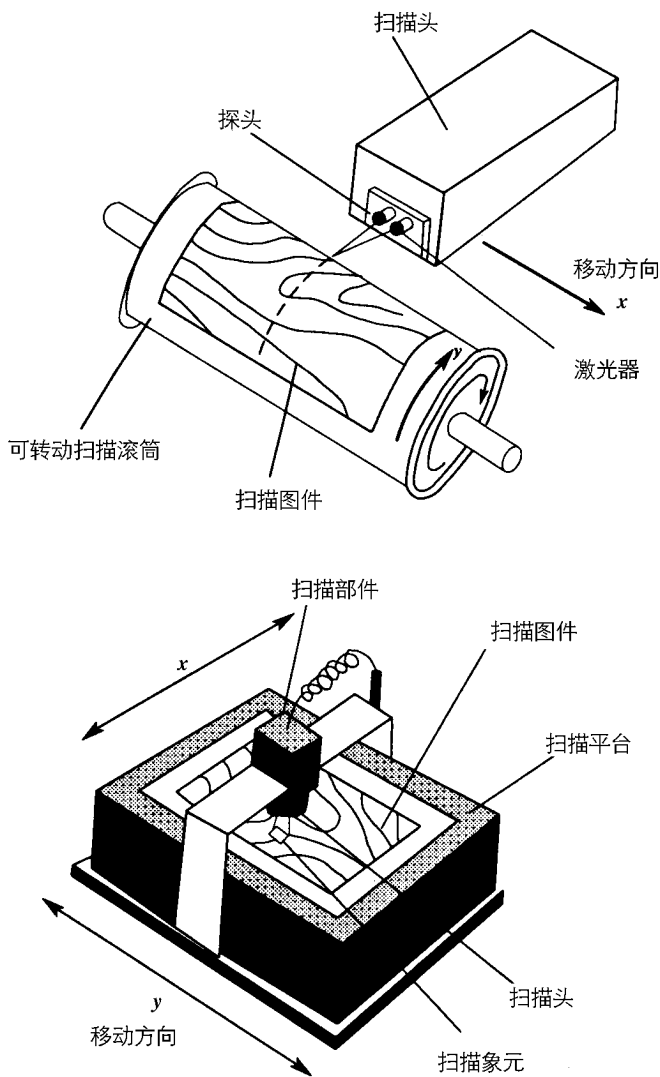


图 13-4-1 滚筒式扫描仪和平台式扫描仪原理示意图

扫描仪的扫描方式可分为栅格扫描仪和矢量扫描仪。栅格扫描仪将扫描得到的影像进行目标识别和栅格到矢量的转换，是以栅格数据形式存储的。矢量扫描仪则直接跟踪被扫描材料上的曲线，并直接产生矢量数据的扫描仪，最常用的是激光扫描。

第三节 空间数据库

一、数据库和空间数据库的概念及特点

数据处理的中心问题是数据管理。数据管理指的是对数据的分类、组织、编码、存储、检索和维护。数据管理随着计算机硬件和软件的发展而不断发展。由早期的人工管理阶段和不甚完善的文件系统阶段，逐渐发展到较完善的数据库系统阶段。数据库解决了人工管理数据，不足的问题，也克服了文件系统阶段的数据的反复处理、数据冗余度大的和数据程序缺乏独立性的不足。数据库是个通用化的综合性的数据集合，可以提供给各种用户共享且最小的冗余度和较高的数据与程序的独立性。空间数据库则是具有地理生标元素的数据库，是一种特殊的数据库。

数据库的特点如下：

(1) 面向全组织的复杂的数据结构。传统文件的最简单形式是等长同格式记录的集合，浪费了存储空间，而数据库将整个组织的数据结构化，描述数据时不仅描述数据本身，而且还要描述数据之间的关系。

(2) 数据冗余度小，且易扩充。由于数据库从整体观点来看待和描述数据，数据不再是面向某一应用，而是面向整个系统，这可以减少数据的冗余度，既节约存储空间，减少存取时间，又可以避免数据之间的不相容性和不一致性。对数据库数据的应用可以有灵活的方式，可以取整体数据的各种合理的子集用于不同的应用系统。而且当应用需求改变或增加时，只要重新选取不同子集或者加上一小部分数据，便可以有更多的用途，以满足新的要求。

(3) 具有较高的数据和程序的独立性。数据库提供了两方面的内容：一是数据和程序的物理独立性，即数据的存储结构与逻辑结构之间的转换，当数据的物理结构发生变化时，数据的逻辑结构可保持不变，应用程序也可不变。另一个是数据和程序逻辑的独立性，即数据的总体逻辑结构与某类应用所涉及的局部逻辑结构之间的转换，当总体逻辑结构改变时，通过相应的改变而保持局部逻辑不变。这使得用户不必考虑存取路径等细节，大大简化了应用程序的编制，减少了应用程序的维护和修改。

(4) 统一的数据控制功能。包括统一的数据安全性控制、统一的数据的完整性控制和并发控制。

二、数据库结构

数据信息并不是单独存在、与其它数据没有关联的，而是相互联系、相互作用的。数据库正好将各种数据信息有机的组织起来，对它们实施统一的管理。数据库结构主要

有三种：层次数据库结构、网状数据库结构和关系性数据库结构。

(一) 层次数据库结构

1968 年 IBM 公司成功地研制了最早的广为使用的著名大型数据库产品 IMS - 1 (Information Management System/Virtual Storage - 1)，标志着层次数据库结构已进入成熟阶段。随后 1971 年又推出 IMS - 2。1974 年推出更成熟的 IMS/VS 系统产品，在原来的基础上增加了批处理检验点/重新启动，并行操作，索引等功能，使得层次数据库更加完善。

在层次数据库结构中，同一双亲的子女接点称为兄弟接点 (TWIN 或 SIBLING)。没有子女接点的接点称为叶接点。例如一幅地图 M 的层次结构如图 13 - 4 - 2、图 13 - 4 - 3 所示。

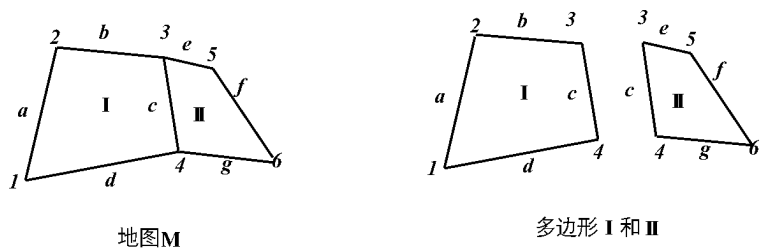


图 13 - 4 - 2 层次数据结构

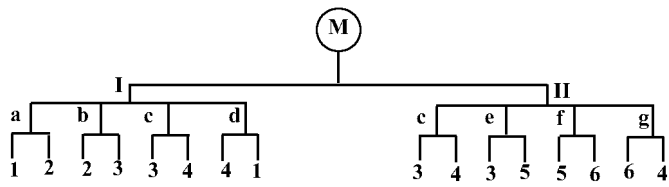


图 13 - 4 - 3 层次数据结构

层次数据库结构为满足有且仅有一个接点，无双亲；其他接点有且仅有一个双亲的两个条件的基本层次联系的集合。

层次结构采用关键字来访问其中每一层次的每一部分，并假定关键属性和数据项可能具有的关联属性之间存在着紧密的相关性。关键字指识别标志如记录序号、数据项名称等，它由能够唯一标识记录的一个或多个数据项组成。其中用于组织文件的关键字称为主关键字。关键属性即选为关键字的那些数据项，它们可以是一个记录中的任一数据项。

层次数据库结构的优点是存取方便且速度快、结构清晰、容易理解、结构修改和数据库扩展都比较容易实现，检索关键属性十分方便。但是，层次数据库结构也有一些缺陷，它的结构比较呆板，缺乏灵活性，而且要保留大量的索引文件，同样一个属性数据

要存储多次，因而引起大量的冗余数据。仍以上例为例，地图 M 中的多边形 I 和 II 有一条公共边 c，在层次数据库中这条边必须被存储两次，它的两个节点 3 和 4 的坐标也要存储两遍，很显然，这种数据库结构不适用于拓扑空间数据的组织。

(二) 网状数据库结构

网状数据库是任意一个连通的基本层次联系的集合。其典型代表为 DBTG 系统。它是由 CODASYL 下属的数据库任务组 DBTG 提出的一种系统方案。DBTG 的数据结构是由数据项、记录、系等对象组成的网状结构，其中数据项 (Data Item) 是命名的最小数据单位；记录 (Record) 为数据项的有序集合，表示描述的实体；系 (Set) 表示记录之间一对多的联系。

在网状数据库结构中，允许；①有一个以上的结点没有双亲；②结点可以有多个的双亲。图 13-4-4 表示一个网状数据库结构。

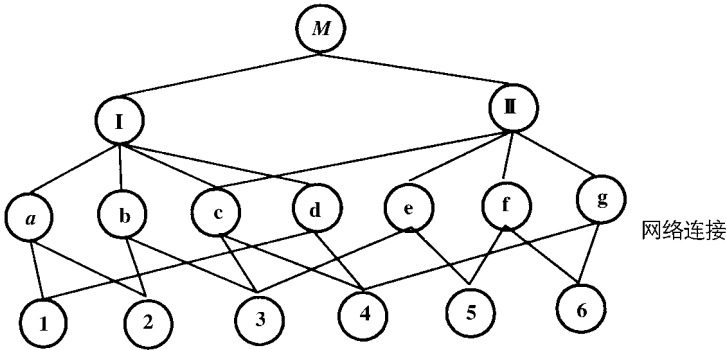


图 13-4-4 网状数据库结构

网状数据库结构最大的优点在于它特别适用于数据之间的相互关系非常复杂的情况，它能够明确而方便地表示数据间的复杂关系，数据冗余度小。如图 13-4-3 中的公共边 c 及公共点的坐标都只存储了一次，使用起来非常方便。

网状数据库结构和层次数据库的区别主要有两点：

- (1) 层次数据库结构中的从子女到双亲的联系是唯一的，而网状数据库结构可以不唯一的，而网状数据库结构可以不唯一，故在描述网状数据库结构是不能只用双亲是什么记录来定位它们之间的联系，必须同时指出双亲和子女记录，并给某一种联系命名。
- (2) 网络数据库结构允许复合链即两个记录型之间可以有多种以上的联系，而层次则不可以。

网状数据库结构的缺点是：因为表示数据之间的关系是通过指针来实现的，这大大增加了数据的存储量。如果网络数据之间的关系特别复杂时，这种情况就更加突出。对业内人士来讲，对指针的建立和维护必须花费大量的人力、物力，因为当修改数据库的数据时，指针也随之发生变化。

(三) 关系型数据库结构

关系型数据库是应用数学方法来处理数据库的数据，早在 1962 年 CODASYL 提出的“信息代数”思想将这类方法应用于数据处理的，1968 年的 David Child 在 7090 机上实现的“集合数据结构”(set-theoretic data structure)，但系统而严格地提出关系型数据库的是美国的 E. F. Codd，他从 1970 年以来在此领域进行系统而深入的研究，发表了许多有价值的论文，奠定了关系数据库的理论基础。

关系型数据库结构是最重要的数据库结构。80 年代以来，许多电脑厂商纷纷推出新的数据库管理系统基本上都是支持关系数据库结构的。众多的非关系系统的产品也都添加了关系接口。可以这样说，数据库当前的研究工作都是以关系方法为基础的。

关系型数据库以记录组（或数据表）的形式组织数据，以便于利用各种实体（图形）与属性之间的关系进行数据存取和变换。指针不受分层的影响。它是将数据的逻辑结构归结为满足一定条件的二维表（关系）。一个数据实体由若干关系组成，关系表的集合则构成了关系数据库结构。

就地理信息系统而言，分析研究工作离不开空间（常指图形）数据和非空间（主要指属性）数据。关系数据库以建立这两类数据之间的关系为主要目标来组织和管理数据。

(四) 面向目标的数据库结构模型 (OODM)

OODM 方法是最新发展起来的一种结构模型，是为了克服软件质量和软件生产率低而发展起来的一种程序设计方法，具体指无论是多复杂的实体事物都可以准确地由一个目标来表示，每个目标是一个包含数据体和操作集的实体。

1. OODM 具有以下六个基本特征

(1) 分类：是关于具有相同属性和操作的同类目标的集合，数据同类的目标共有相同的属性和操作，而每个目标又允许有统一的属性。

(2) 概括：将几种类型中的某些具有共同特征的属性和操作抽象出来，形成一种更一般的超类的过程。特点是一个类可以是某个或某几个超类的子类，同时也可以是个子类的超类，多对多的关系，类似于网状数据库结构。

(3) 继承：是服务于概括的工具，即超类的属性和操作可无条件地被子类继承，它是一种十分有利的建模工具，有助于进行共享说明和对客观相关的世界进行简明而精确的描述。

(4) 联合：在定义目标时，可进一步将同类目标中具有某几项共同属性值的若干目标组合来表示这些共同的属性值，以避免重复。如某一矿区有三个工作面，其采煤方法都为长向长壁开采，顶板管理方法均为冒落法，出水方式都为顶板突水，通风方式为局部通风，故可以把这三个工作面联合为一个新的目标 A，A 包含了上述四项共同的属性值。

(5) 聚集：类似于联合，但聚集是由几个具有不同特征的目标组合而成的一个更高

水平的复合目标。复合目标不能共用各目标的属性和操作，但可以从这些目标排水得到一些信息。如一个采区由工作面、上山、下山、区段大巷和石门大巷等组成，可以看成这个采区是这些目标聚集而成的一个更高的复合目标。

(6) 传播：是作用于联合和聚集的工具。它通过一种强制的手段将目标的信息传播给复杂目标，即复杂目标的某些属性不单独存储，而是从它的子目标中提取和派生。如多边形是由结点和弧段聚集而成，其空间位置信息存储于结点和弧段的文件中。

2. 基于一体化结构的面向目标的几何参数模型

从几何的角度看，地理信息系统中所有空间目标都可抽象为点状、线状、面状目标及其组成的复杂目标，这四类目标是地理信息系统中各类地物的超类。

每一种几何类型的地物均可有一些更简单的几何图形元素构成。在几何模型中，聚集和传播是最有用的建模工具。面向目标的几何参数模型的组成如图 13-4-5 所示。

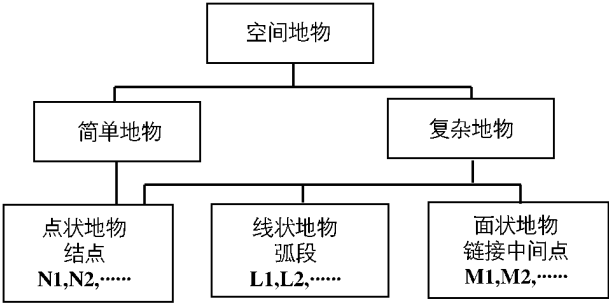


图 13-4-5 面向几何参数模型的构成

三、空间数据库管理系统

(一) 空间数据库管理系统（Spatial Database Management System）的目标

空间数据库管理系统（SDMS）是一种基于地理坐标上的一种数据库管理系统，它是介于用户和操作系统之间的一组软件系统，在保证数据安全可靠的同时，提高数据库应用的简明性和方便性，以实现对共享数据的有效组织、管理和存储。

(二) SDMS 的基本功能

空间数据管理系统主要是实现对共享的空间数据的组织、管理与存储，主要有以下几个方面的功能：

1. 空间数据库的定义功能

对空间数据库进行描述，包括外模式、模式、内模式的定义；空间数据库完整性的定义；安全保密定义（如用户口令、级别、存取权限）；存取路径（索引）的定义。这些定义存储在数据字典中，是 SDMS 运行的基本依据。

2. 空间数据存取功能

该功能提供给用户对数据的操纵功能，实现对空间数据库的检索、插入、修改和删除。另外，还提供功能强大、易于学习的空间数据操纵语言（SDML）。SDML 分为两类：一类为宿主型语言，它不能独立使用而必须嵌入某种主语言，如在 C 语言中使用；一类是自含型语言，它可以独立使用，通常供终端用户交互使用。

3. 空间数据库的运行管理功能

主要是指 SDMS 运行控制和管理功能，包括多用户环境下的并发控制、安全性检查和存取权限控制、完整性检查和执行、运行日志的组织管理、事物的管理和自动恢复。

4. 数据组织、存储和管理功能

SDMS 分门别类地组织、存储和管理各种数据，包括数据字典、用户数据、存取路径等等，并确定文件结构存取方式。

5. 空间数据库的建立和维护功能

包括空间数据库的建立、数据的转换、数据库的转储和恢复、数据库的重组织和重构造以及性能检测分析等功能。

6. 数据库通讯功能

包括操作系统的接口处理、与各种语言的接口以及与远程操作的接口处理。

第四节 空间数据分析

地理信息系统最重要的特点就是它具有强大的空间操作和分析能力，空间数据操作和分析拥有自己独特的特点，一般它是将数据层或信息项作为操作对象的，采用专题层方式进行空间数据库数据的组织、存储和管理的。

专题层（COVERAGE）是 IDRISI、MAPGIS 和 MAPINFO 等一系列地理信息系统软件的操作基本单元，是对单一地图要素的数学模拟的重要形式，用以表示某一给定区域地理要素的空间位置和专题属性，如地形变化、地下水位、居民区、道路和土壤单元等。在专题层中地理要素是按简单的点、弧线或多边形的存储的，其位置数据用一系列 x , y 坐标及其拓扑关系明确表示，属性数据描述则被存储在要素属性表中。

空间数据分析包括数字地形模型分析和基于矢量栅格结构的空間分析。

一、数字地形模型分析

（一）DTM 和 DEM

数字地形模型（Digital Terrain Model，即 DTM）是在空间数据库中存储并管理的空间数据几何的统称。是带有空间位置特征和地形属性特征的数字描述，它是定义于二维区域上的一个有限次的向量序列，以离散分布的平面点来模拟连续分布的地形，是各种

地学分析或工程设计和辅助决策（如线路的选择、军事制高点的地形选择、土壤侵蚀、土壤类型分析、土地类型的分析、水力工程的选址和地下水水位控制等）的重要基础数据。这些数据已经广泛地应用于多种领域，如农业、林业、交通、军事等。

在 DTM 中，属性为高程的要素称为高程模型（Digital Elevation Model）。高程是地理空间的第三维坐标，在目前的地理信息系统软件中，数据结构只具有二维的性质，数字高程模型的建立则对其是一个非常重要的补充。DEM 是指地表单元上的高程集合，其最重要的用途是在国家数据库中存储数字地形图的高程数据，以及有关规划线路、坝址选择、不同地面的比较统计分析、计算坡度、坡向图和显示地形的三维图形等等。DEM 是建立 DTM 的基础数据，在地理信息系统中可以表示为一个基本图件，而其它地理要素则可以由 DEM 数据直接或间接导出。

（二）DEM 的表示

DEM 有两种表示方法：数学分块法和图形法。

1. 数学分块法

数学方法拟合表面时需依靠连续的三维函数，连续的三维函数能以高平滑度表示复杂表面。而局部拟合法是将复杂表面分成正方形单元或面积大致相同的不规则形状小块，根据有限个离散点的高程，可得到拟合的 DEM。

2. 图形法

（1）线模式：表示地形的最普通线模式是一系列描述高程曲线的等高线。由于现有的地图大多数具有等高线，故直接通过扫描仪输入并获取以得到 DEM。

（2）点模式：

①人工网格法。将地形图蒙上格网，逐格读取中心或角点的高程值，形成 DEM。其缺点是精度低，工作量大。

②立体像对分析。通过遥感立体像对，根据视差模型，自动选配左右影像的同名点，可建立数字高程模型。立体像对分析要求有立体像对影像和特殊的软件，且运算时间较长，技术条件特殊。

③三角网方法（TIN）。对有限个离散点，每三个最邻近点联接成三角形，每个三角形代表一个局部平面，在根据每个平面方程，生成数字高程模型。这种方法在有足够的离散点的情况下效果最好。

④曲面拟合。根据有限个离散点的高程，采用多项式或样条函数求得拟合公式，在逐一计算各点的高程即可得到拟合的 DEM。曲面拟合可反映出总的地势，但局部误差较大。

⑤等值线插值。根据各局部等值线上的高程点，通过插值函数计算各点的高程，从而得到数字高程模型。等值线插值是比较普遍的方法，插入等值线后，可在矢量格式额等值线数据基础上进行，插值效果好。

二、基于矢量结构和栅格结构的空間分析

(一) 多边形叠置分析 (拓扑叠加)

将同一地区、同一比例尺的两组或更多的多边形要素的数据文件进行叠加, 根据两组多边形边界的交点来建立具有多重属性的多边形范围的属性特征的拓扑分析, 如图 13-4-6 所示。

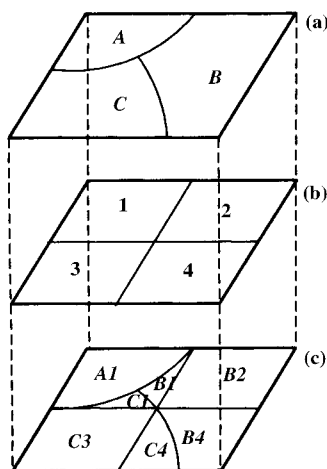


图 13-4-6 拓扑地图叠加透视图

(据 ESRI 资料改编, 1990)

(a) 土壤类型分区层; (b) 行政分区层; (c) 行政区内的土壤类型分布层

拓扑叠加包括多边形与多边形之间的叠加、多边形与线之间的叠加和多边形与点之间的叠加, 如图 13-4-7 所示。多边形与多边形的叠加指将两个专题层中的多边形定位叠加, 其结果产生新的多边形与多边形属性。根据专题层上多边形的不同属性, 将多边形重新分类, 可以计算出一种属性在另一种属性要素区域内的分布状况和数量特征。多边形与线的叠加是将一个专题层上的弧段特征叠加到另一个专题层的多边形之上, 以确定多边形中包含的弧段特征。这个弧段有可能落在多边形之内, 也有可能落在多边形之外。叠加后的每一弧段两边的多边形作为弧段拓扑的一部分。如在一个专题层中将作为弧段的水系于另一个专题层上的行政区划的多边形组合在一起, 就可以确定每个行政区划内的不同级别水系的长度。多边形与点的叠加则是将一个专题层中的点的特征信息叠置到另一个专题层中的多边形特征之上, 以确定该信息点究竟落在哪个多边形内, 如已知突水点和采区的关系属于这类问题。

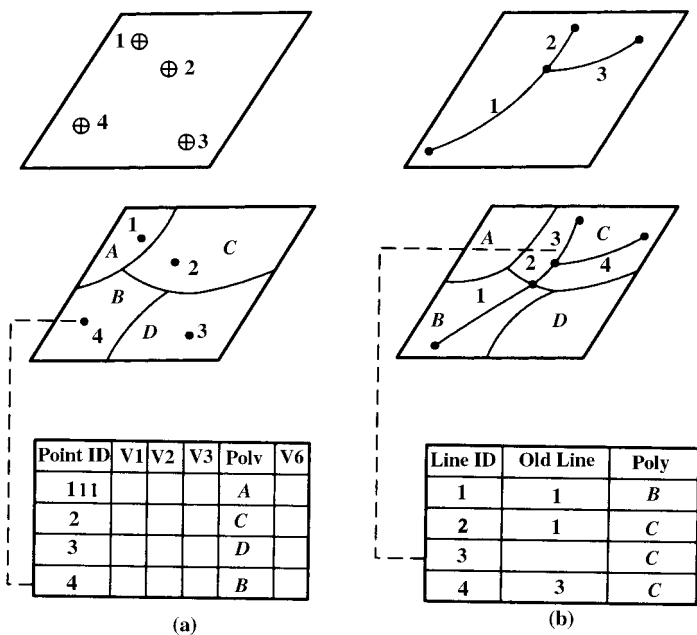


图 13-4-7 点、线与多边形的拓扑叠加

(a) 点与多边形的叠加；(b) 线段与多边形的叠加；Point ID—点特征标识号；Line ID—线段标识号；Poly—多边形；Old line—原线段号

(二) 泰森多边形分析

荷兰科学家 A. H. Thiessen 根据高效分布的气象站的降雨量估计、评价降雨量，即将相邻气象站连成三角形，做这些三角形的垂直平分线，然后，取每个气象站周围的若干条垂直平分线使之围成一个多边形，用该多边形内所包含的唯一气象站的降雨强度来表示这个多边形区域的降雨强度，将该多边形称为 Thiessen 多边形。它的数学含义是区域 D 内 N 个离散点分别位于 N 个点相连接的直线多边形内，如图 6-4-8 所示，且区域内任一点 $k(x_k, y_k)$ 到多边形内离散点 $P_i(x_i, y_i)$ 的距离小于它到其它离散点 $P_j(x_j, y_j)$ 的距离。若该任意点位于多边形的一条边上，则它到两侧离散点的距离相等。

(三) 缓冲区分析

根据地理信息系统数据库中点实体、线实体和面实体，自动建立在其周围一定宽度范围的缓冲区，是 GIS 的基本空间分析方法之一。例如修建一个新机场，需要通知周围一定范围内的居民搬迁；兴修三峡工程，首先在其周围需要划出一定范围作为库区；在一条河流周围建立缓冲区，帮助保险投资商预测洪水爆发后将会影响到的区域。所产生

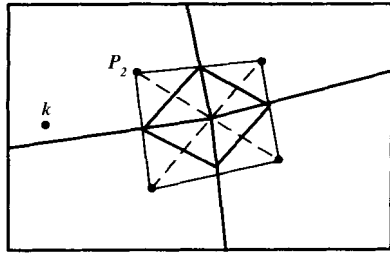


图 13-4-8 泰森多边形

的缓冲区往往是一些多边形，从而形成一个新的专题层，该专题层不包括原来的输入信息。

缓冲区的数学基础为如图 13-4-9 所示：设原曲线上相邻点为 a 、 b 、 c ，连线 ba 和 bc 的方位角分别为 A 、 C ，缓冲带宽度为 D ，对应 D 点缓冲点 b' 的坐标为：

$$x'_b = xb + D' \cos P$$

$$y'_b = yb + D' \sin P$$

其中：

$$D' = 0.5D \sin(0.5\theta)$$

$$\theta = \begin{cases} = C - A & (C > A) \\ = C - A + 360^\circ & (C < A) \end{cases}$$

$$A = \arctan [(y_a - y_b) / (x_a - x_b)]$$

$$C = \arctan [(y_c - y_b) / (x_c - x_b)]$$

$$P = A + 0.5\theta$$

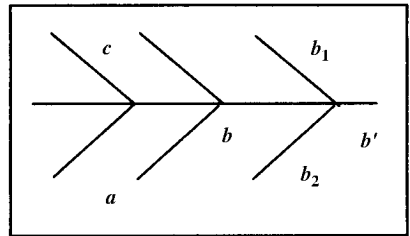
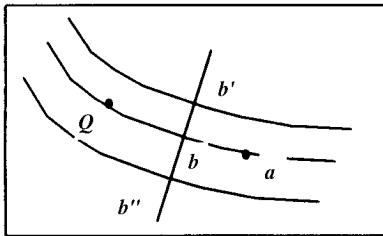


图 13-4-9 缓冲区的计算模型

(四) 空间集合分析

空间集合分析是按照两个逻辑子集给定的条件进行逻辑交运算、逻辑并运算和逻辑差运算。

1. 逻辑交运算

空间逻辑交运算是将一个专题层的某一属性的多边形与另一个专题层中的多边形叠

加，求出同时满足这两个多边形的交集。如有一张土地利用图和一张土壤类型图，现需要查询土层厚度大于 50cm 的小麦地。首先从土地利用图中得到小麦地的子集 L_1 ，再从土壤类型图中得到土层厚度大于 50cm 的子集 L_2 ，然后求出这两个子集的交集 $E = L_1 \cap L_2$ 就是所要查询的小麦地。

2. 逻辑并运算

空间逻辑并运算是将一个专题层的某一属性的多边形与另一个专题层中的多边形叠加，求出这两个多边形的并集。如果要查询土层厚度大于 50cm 以及种植了小麦的土地，首先得到小麦的子集 L_1 和土层大于 50cm 的子集 L_2 ，求出两个子集的并集 $E = L_1 \cup L_2$ ，就是所要查询的土地。

3. 逻辑差运算

逻辑差运算是指满足一个专题层的某一多边形 L_1 与不满足另一个专题层的另一多边形 L_2 的关系，即这两个专题层所对应的多边形之差。仍以上面的例子为例，要查询土层厚度大于 50cm 且没有种植小麦的土地，就属于空间逻辑差的问题，即 $E = L_1 - L_2$ 。

(五) 专家打分模型

专家打分模型是用于综合评价的一种系统分析模型，它可解决涉及大量复杂因素的地理问题，在 GIS 空间分析中有着广泛的应用。专家打分模型将相关联的影响因素按其相对重要性排队，给出各因素所占的权重值；对每一因素内部进一步分析，按其内部的分类进行排队，并按各类结果的影响打分即专家打分，从而得到该因素内各类别对结果的影响量，最后系统进行复合，得出排序结果。该结果的影响的优劣程度，将作为决策的依据。专家打分模型的数学表达式为：

$$G_p = \sum_{i=1}^m W_i C_{ip}$$

式中： G_p 为第 p 个点的最终复合结果值； W_i 为第 i 个要素的权重； C_{ip} 为第 i 个要素在 p 点的类别的专家打分值； m 为影响因子的个数。

第五节 空间数据共享

随着 GIS 软件开发和应用的深入，人们越来越认识到，GIS 软件和数据信息不是一次性的，也不是一个小部门单独使用。而是相互共享，从而以避免重复繁琐的数据信息录入工作。就地理信息系统而言，由于基础空间信息框架的重要性，许多部门和个人需要公用基础地理信息。特别是对空间数据信息的共享方法，有必要进行系统的研究。

地理信息系统空间数据信息的共享方法主要为以下三种方式。

一、外部数据交换

每个 GIS 软件系统拥有自己内部数据格式和数据存储方式。以往的许多地理信息系

统软件不具备向用户直接提供读写内部数据的交换函数。为了与其他软件进行数据转换,通常定义一种外部数据交换格式,如 AUTOCAD 的 DXF 格式, MGE 的 ASCLOADER 格式, ARCINFO 的 E00 格式, IDRISI 的 IMG 格式和 WINDOWS 的位图 BMP 格式等。这些数据格式一般为 ASCII 码的文件形式,用户可以根据自己的需要认真阅读说明书以直接读写某种数据文件,为特定研究所用。然而,这些外部数据交换格式由各个软件的开发厂商自己定义,所包含的内容和表达方式不尽相同,为了规范和统一起见,许多国家和行业部门制定了自己的外部数据文件交换标准,规范了某些国家或一个部门采用公共数据交换格式,如美国的 DLG 标准和 STD 标准等。

二、空间数据信息相互操作协议

就目前的发展情况而言,一种 GIS 软件和其它 GIS 软件之间的联系一般需要通过数据转换程序,从而完成软件之间的通信与相互操作。而 GIS 软件之间操纵其它 GIS 软件的数据的相关报道还没有。因此,许多国家正在投入大量的资金来开发与研制有关开放式模块。美国数十家 GIS 公司正在讨论研究建立开放性地理数据相互操作协议 OGIS (Open GIS)。其主要目的是制定一套标准,这套标准是使各方都能接受的空间数据操纵函数 API。根据这一标准,各厂商提供一个与这一 API 函数一致的驱动软件,不同的软件就可以操纵对方的数据。这种协议类似于关系性数据库的 ODBC。美国的 Intergraph 公司开发研制的 Geomedia 就可以直接调用 ARCINFO 的数据。

空间数据相互操作协议方式比传统的数据交换方便,但是还要注意以下问题:①由于各种 GIS 软件存储的空间信息不尽相同,因此,提供的 API 函数的信息要尽可能最小;②一般情况下,各个软件所作的工作还是以自己的系统进行管理,故仍然会出现数据不一致而影响现时性的问题。

三、空间数据共享平台

采用客户/服务器 (Client/Server) 体系结构,一个部门所有空间数据及各个应用软件模块都共享一个平台。所有的数据都存储在服务器上,各个应用软件都是一个 Client 端的程序,通过这一平台向 Server 中存取数据。这种结构的优点在于任何一个应用程序所作的数据库更新都能及时地反映在数据库中,从而避免了数据的不一致性问题。

相当于上两个数据共享协议,空间数据信息共享平台是一种最好的空间数据共享方式,但实现比较困难。最主要的原因是许多市场上的 GIS 软件,谁也不愿意放弃自己系统的底层。采用一个公共的平台,只有发展到某一个软件的底层 Server 绝对优于其它 GIS 系统,这个 Server 可以去管理大量的基础数据时才有可能成为共享平台。

第六节 地理信息系统的模型库

模型是客观世界的一个刻画、表征和体现，同时又是客观事物的抽象和概括。模型以表现形式为划分标准，包括物理模型、数学模型、结构模型和仿真模型。其中数学模型是最常用到的模型，它是用数学方法来描述事物的，是真实系统的一种抽象，是研究和掌握系统运动规律的有利工具，是分析、设计、预报、控制实际系统的基础。地理信息系统的最终目标就是要完全精确地表达地理环境间复杂的空间关系，因此，数学模型就被应用于 GIS 中。

一、模型库的概念与模型包的区别

（一）模型库的概念

模型库是提供模型存储和表示模型的计算机系统。在这个系统中，若包括一个适当的存储模式进行模型提取、访问、更新和合成等操作的软件系统，则该系统称为模型库管理系统。模型库是在模型库管理系统下得到有效管理的。

（二）模型库与模型包的重要区别

模型库中模型的存储模式和求解过程并不相连，并不是为某一目的而建立的独立程序及其集合，而是以基本模块和基本要素为存储单元的集合。按理论上讲，利用这些单元，可以构造任意形式的无穷多个模型。

二、地理信息系统模型库的主要研究内容

（一）模型库的特征

地理信息系统中的模型库主要是提供解决空间决策和地学过程模拟的数学模型以及模型管理功能，具有如下特征：

- （1）模型表示有比较统一的形式，适合于语言的描述，也比较适合于系统分析专业人员和计算机实现的表示。
- （2）能组合多个模型，或者能经过多次建模的反复，包括模型连接和模型的并列。
- （3）对于广泛范围内的模型进行编目和维护，支持多级用户。
- （4）能像 DBMS 管理数据那样管理模型。
- （5）具有友好的人机交互界面。

（二）模型库的主要研究内容

(1) 建立地理信息系统的基本构件模型，如地形分析（坡度、坡向、粗糙度、通视）、最短路径分析、叠置分析等其他统计分析模型。

(2) 建立模型库管理系统，实现模型查询和模型维护。其中模型查询包括文本查询和图形查询。文本查询即模型理解，图形查询及模型演示；模型维护包括创建模型、更改模型。删除模型等功能。

(3) 根据空间问题的复杂性并适应应用模型的需要，提高多个模型的组合能力，并对特定模型操作封装以增加模型的生命力。

(4) 模型字典的结构化设计，作为索引表的模型字典，列出了系统中所有模型的名称、编号及其所在的位置，以增强各模型与模型文件的联系。模型字典包括对模型进行的索引（模型算法的自然语言描述及模型功能、适用条件和适用范围的描述）等等。

(5) 建立人机交互部件即对话管理模块。对话管理是模型库系统的重要辅助部分，具双向翻译功能，并提供模型字典。

第七节 地理信息系统成果的输出

信息输出是将地理信息系统分析或查询检索表示为某种用户需要的可以理解的过程，结果是一些的精美的直接或间接的有价值的成果。地理信息系统的输出成果则是经过地理信息系统的各个功能模块的共同分析和作用直接提供给用户使用的各种地图、图表、图像、数据报表或文字说明等。目前地理信息系统软件中有较强的各种输出功能，不仅可以存储相应的文件，这些文件可与其它软件系统共享，而且可以以精美的图像显示出来并用相关的打印设备打印出来，打印设备包括扫描仪、宽行打印机和扫描系统输出，以便提图 13-4-9 Grand Canyon 地区高程等值线图

供给用户使用的地图、图表以及相关照片等。

一、专题图

等值线图是用一系列值相等曲线来表示连续分布的某种现象的数量分布特征的图件。等值线图用途很广泛，在地质、农业、林业、交通、军事和气象等许多领域，等值线图发挥着举足轻重的作用。例如，气象部门要预测天气的变化以及气温等等，都要利用大气压和其它相关的等值线图。

通过地理信息系统的处理，各种单因素的地图转变为专题层或某一基础图层。如研究区中不同比例的交通图层、不同比例的构造（断层）图层，某一比例的水系图层、某一比例尺的地质图、研究区的地下水位等值线图等等。

二、各种综合性的评价图

在某一研究区内，根据各因子的贡献大小，对其进行一定的地图代数运算后，可以得到有关地理坐标的评价的图件即综合性评价图和可供有关部门利用的预测图。如煤炭资源评价图，煤层气评价图，地裂缝发展趋势预测图等。图 13-4-10 表示了某一地区的评价图。

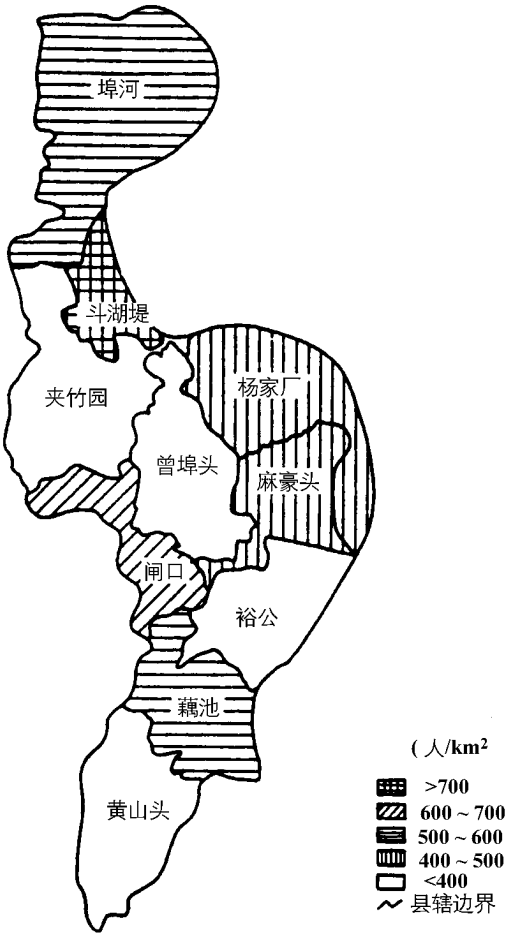


图 13-4-10 荆江分洪区人口评价图

第八节 地理信息系统的设计

地理信息系统的设计与开发分为四个阶段：系统分析、系统设计、系统实施、系统

评价和系统维护。其中系统分析的需求功能分析、数据结构分析和数据流分析是系统设计的依据。它的基本原则是加强系统的实用性、降低系统开发和应用的成本以及提高系统的生命周期。

地理信息系统设计包括：地理信息系统设计方法、管理信息系统的设计方法和软件工程的设计方法。所有这些设计都应根据设计原理并采用结构化分析方法，内聚性和连通性等模块是最有用、最直接的理论。一般采用自上而下（Hierarchy Plus InPut - Processing - Out - put），逐步求精的结构分析方法。

一、设计流程

由于地理信息系统研究的对象非常复杂，包括工程技术和社会、经济的各个方面，而且研究对象本身有些方面尚不清楚（如半结构性或非结构性），因此，难以用结构模型定量表示。另外，对地理信息系统的用户需求要进行详尽的分析和调查，搞清楚要研究的是什么性质的问题，该系统是否合理可行，以便正确地制定出设计计划，然后用系统实验使系统得以印证（图 13 - 4 - 11）。

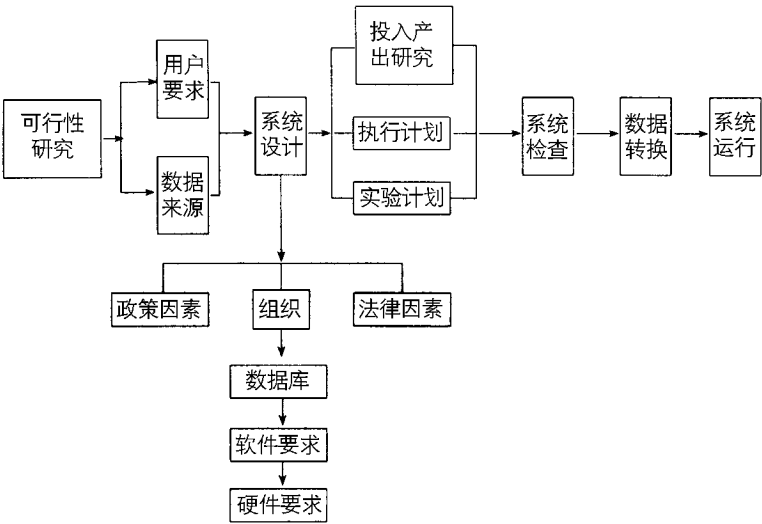


图 13 - 4 - 11 地理信息系统建立流程图

（一）可行性研究

可行性研究是在充分分析用户需求的基础上，对现场资料进行详尽的分析和综合，以论证所作系统的自动化程度、所需的技术范围、投资规模和可能获得的效益等。从而确定本系统的目标和任务。

可行性研究主要包括以下几个方面：

(1) 调查用户的需求。这是设计本系统的首要任务。首先要弄清楚用户所需要系统的目标,需要什么样的功能;然后了解评估本部门的开发实力,到底能做到什么程度,能否满足系统用户的要求。

(2) 本系统开发的目的和任务。地理信息系统一般有四个方面的任务:①空间信息管理与制图;②空间指标量算;③空间分析与综合评价;④空间过程模拟。

(3) 了解可调查数据(特别是地理数据和属性数据)的可靠程度。通过调查用户的需求,应进一步评估数据的可靠度,能否获得此数据,能否将此数据转化为本系统所需要的量纲与格式。

(4) 对本系统的空间数据库结构、系统的数据处理量大小,地理信息系统的输出格式与性质作一全面的评价。

(5) 技术支持程度,研制方应对用于地理信息系统的售后投资作一预算,如有多少人需要培训;部门能提供的投资额以及将来维护地理信息系统所需费用等等。

(二) 系统设计

系统设计是将系统分析阶段提出的逻辑模型转化为相应的物理模型,主要包括功能设计、数据设计和应用设计。

功能设计又称系统的总体设计,主要目的是确定系统必须具有的空间操作功能,主要任务是根据系统研制的目的来规划系统的规模和确定系统的各个组成部分,并说明它们在整个系统中的作用与相互关系,以及确定系统的硬件配置;规定系统的合适技术规范,以保证系统总体目标的实现。功能设计包括空间数据库的设计、硬件配置与选购和软件设计等。

数据设计是对数据进行分类和编码,完成空间数据的存储和管理。它的标准是提高运行效率,尽量避免中间文件的建立,减少文件的扫描次数,并且尽量采用优化的数据处理算法。在系统的控制方面,要拟定对数字和字符出错的校验方法,特别是在使用数据文件时,要设置口令,以防止泄密和被非法篡改,保证只能通过特定的通道存取数据。

应用设计是设计系统的建模和产品的输出。

(三) 建立设计计划

在完成可行性分析和系统设计后,确定出建立地理信息系统的投资额,同时进行预投入产出估算。然后建立执行计划,主要内容包括硬件、软件的测试、安装调试等。

(四) 系统实验

结合用户要求完成的任务,选择小块实验区对系统的各个部分、各种功能进行全面实验,实验阶段不仅能测试出各部分的工作性能,而且对各部分之间的数据传送性能、处理速度和精度进行测试,以保证所建立系统的正常工作。

二、软件设计

软件设计是在总体设计的基础上的进一步深化，其主要内容包括：

（一）模块设计

按照内聚度和耦合度、功能的完整性、可修改性进一步划分模块，形成进一步功能对立、规模适当的模块，要求各模块高内聚低耦合（即块内要紧、块间要松），对各模块进行设计，画出各模块结构组成图，详细描述各模块内容和功能。

（二）代码设计

地理信息系统数据量大，数据类型多样，为减少数据冗余性，方便对数据的分类、统计、检索和分析处理，提高处理速度，以便于管理，节约存储，要对有关数据元素或数据结构进行代码设计，形成编码文件，必要时还应建立代码字典，记载代码与数据的对应关系。应特别注意的是，地理信息系统中设计的代码应具唯一性、标准性与通用性、可扩充和稳定性、易修改性、易识别和记忆等特征。

（三）用户界面设计

地理信息系统作为一种可视化产品，应该将人机界面的友好、简单易学、灵活方便的界面作为地理信息系统设计的一项重要内容。GIS 数据信息的提供显示更多地与图形符号化紧密相联，对所涉及的画面布局、内容、色调搭配、菜单形式、菜单布局、对话方式作出相应的说明。

1. 菜单式界面

菜单式界面将系统功能按层次全部列于屏幕上，由用户从数字、键盘箭头、鼠标等选择其中某项功能。其特点是易于学习掌握，使用简单，层次清晰，不需大量的记忆，利于探索式学习使用，特别是对于汉字系统，可将菜单内容用汉字列出，通过菜单选择，不需再键入汉字执行，使用极为方便。缺点是比较呆板，只能层层深入，不能进行批处理。

2. 命令式界面

命令式界面是通过一些有意义或无意义的字符来调用功能模块的方式。优点是灵活，可直接调用已有的任何一种模块，又可组成复杂的调用。尤其是可以组织成批处理文件，不需用户在电脑前逐个调用系统功能。缺点是不易记，且不易全面掌握。

3. 表格式界面

表格式界面是将用户的选择和需回答的问题列于屏幕，由用户填表式回答，可与菜单式界面配合使用。

（四）安全性设计

为了 GIS 系统使用安全、运行可靠，应避免由于存在的各种危险而造成的事故。按照要设计的地理信息系统的状况和用户对象，对用户分级，设置相应的操作权限，并对数据分类，设置不同的访问权限和口令检查，建立运行日志文件，跟踪系统运行。

（五）数据获取方案设计

数据库是地理信息系统的核心组成部分。它的内容主要包括数据录入设计、数据存储设计和数据检索设计。

1. 数据录入设计

在地理信息系统设计中需要投入大量的人力进行数据的收集、整理和录入工作。数据录入是将系统外的各种来源的空间数据信息以一定的格式输入计算机，是系统详细设计中最基本的设计。设计的主要要求是保证输入数据的拓扑一致性、图形数据文件和属性数据文件的分别建立，以及冗余数据的清除等。

2. 数据存储设计

数据存储设计包括数据介质的选择、数据逻辑关系的设计和数据存储结构的设计。假设采用的存储介质为磁盘和磁带，则数据的逻辑关系如图 13-4-11 所示。其中图幅是计算机处理的基本单元，图幅内的数据按多边形序号组织排列，多边形序号是图形数据与属性数据匹配的依据。

3. 数据检索设计

为了要找出所需要的数据和有关信息，必须作好数据检索设计。由于用户需要系统回答的问题极其广泛，故一般采用动态处理系统的设计方法（图 13-4-12）。流程图中的“请求”表示用户需要系统回答的问题；为回应此“请求”而编制的程序称为“请求系统”。该系统实际上是由一组具有不同检索功能的命令和子命令组成。检索程序员将有关的指令输入计算机，检索监视器则调用系统的库程序，机器将输入的指令翻译成可以运行的工作流，以产生满足用户要求的信息。

三、地理信息系统评价

地理信息系统的评价是区划和规划的基础，从人类认识的角度来看，有精确的和模糊的两种，因为绝大多数地理现象难以用精确的定量关系划分和表示，因此，一般采用模糊的评价结果更为贴近实际。

地理信息系统的评价是在充分考虑技术和经济两大方面的基础上，对所设计的地理信息系统进行相关而严格的评定。一般将运行的系统与预期目标进行对比，特别是将实际的情况与用模糊方法的地理信息系统评价结果进行对比，考察是否达到了系统设计所预定的效果和与实际相差的程度。

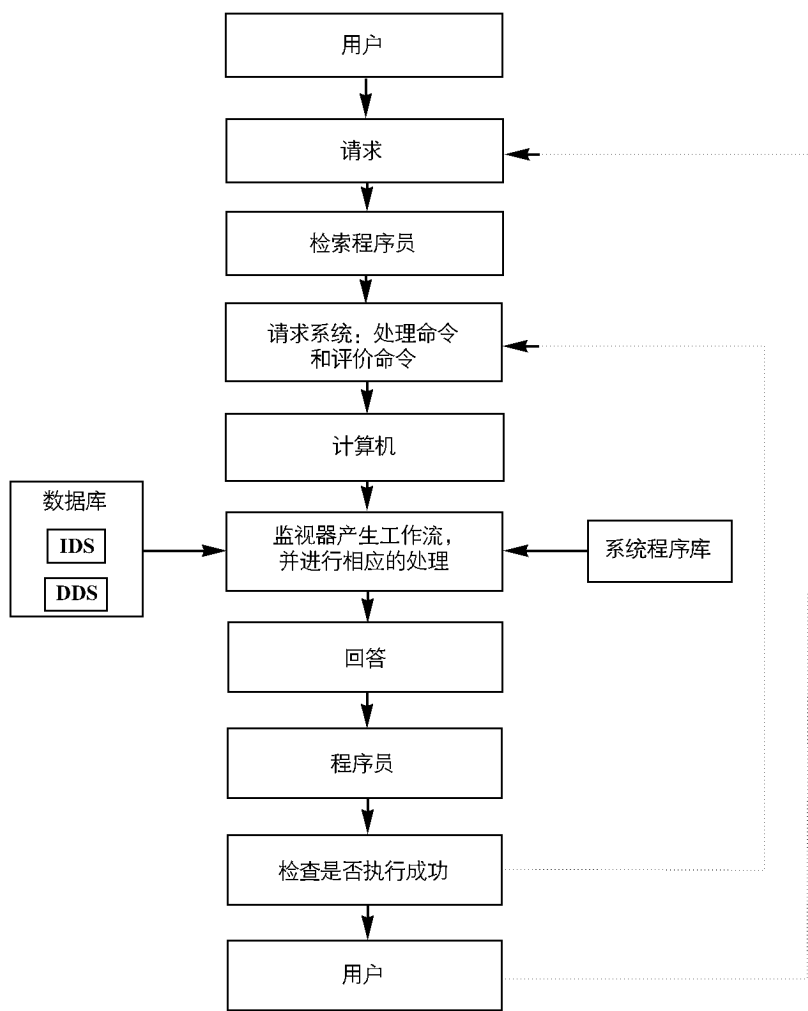


图 13-4-12 GIS 检索子系统

（一）系统的可靠性

系统的可靠性主要是评判所设计的地理信息系统运行时的稳定性。这对一个系统来讲是至关重要的。对一个地理信息系统最基本的要求是一般很少发生事故，即使发生也能很快修复。可靠性还包括系统有关数据文件和程序是否要妥善保存，以及该系统是否有后备体系等。

（二）系统的效率

判断一个系统的效率，主要是从系统的各种技术指标、技术参数、职能指标和经济

指标来体现的。如系统能否及时地满足用户的实际要求，系统操作是否容易、方便，系统的运行速度是否令人满意，系统出错如何以及资源的使用效率如何等。

（三）系统的可移植性

可移植性是评价地理信息系统的一项重要指标。一个有价值的地理信息系统的软件和数据库，不仅表现在它自身的数据结构的合理性上，更重要的一点就是考察它对环境是否有很强的适应能力，也就是它不仅能在一台机器上运行，而且也能在别的设备上使用。