

堤坝安全鉴定新办法与现代化

防汛抗洪技术指导全书



堤坝安全鉴定新办法与现代化 防汛抗洪技术指导全书

李 蜀 于景安 主编

第四册

吉林电子出版社

第五章 “3S”技术在防汛抗洪中的应用

遥感、地理信息系统和全球定位系统技术在防洪、减灾、救灾方面的应用是最广泛的,相对也是最成熟的,其应用几乎覆盖这些工作的全过程。一是数据采集和信息提取技术在雨情、水情、工情、险情和灾情等方面都能不同程度地发挥作用,在基础地理信息提取方面更不待言。二是在数据与信息的存储、管理和分析方面,目前大多数涉及防洪、减灾和救灾的信息管理系统都已以 GIS 为平台建设,2000 年以后的建设的都是以 Web-GIS 为平台,可以多终端和远程发布、浏览和权限操作,这对防汛工作来讲是至关重要的。三是这些高新技术在防汛决策支持方面将起越来越大的作用,这也是应用潜力最大的方面。目前如灾前评估、避险迁安和抢险救灾物质输运路线、气象卫星降雨定量预报、以 GIS 为平台的各类专业模型的开发等都是些例子。

这些高新技术在防洪规划与风险管理方面的应用也是很突出的。

第一节 防洪减灾及需要的主要信息

我国国土辽阔,自然地理条件复杂,降水在时空分布上十分不均匀,因此,洪涝灾害的发生十分频繁,从公元前 206 年至 1949 年,共发生较大的洪水 1029 次。占国土面积 10%的地区在不同程度上受到洪涝灾害的威胁。这些地区主要位于七大江河的中、下游,正是人口稠密、耕地集中、经济发达之处。1949 年至 20 世纪 80 年代发生的几次大洪水分别是 1954 年长江、淮河的特大洪水、1958 年黄河大洪水、1963 年海河大洪水、1968 年珠江大洪水和 1985 年辽河大洪水。进入 20 世纪 90 年代以后,由于气候的变化和人类

活动的影响,大洪水发生的频率加快,且随着社会经济的飞速发展,洪涝灾害造成的损失也越来越大。1991年淮河和太湖的大洪水,受灾面积 246000km^2 ,成灾面积 146000km^2 ,损失800亿元。1993年全国许多中小河流发生大洪水,成灾面积 164000km^2 ,损失630亿元。1994年珠江、湘江、赣江和辽河发生大洪水,死亡4500人,成灾面积10万多 km^2 ,损失1636亿元。1996年长江、珠江和海河发生大洪水,成灾面积 118233km^2 ,受灾人口2.67亿,损失2208.36亿元。1998年长江、松花江、嫩江、闽江发生特大洪水,损失高达2700亿元。

中国洪水主要是暴雨洪水。在新疆阿尔泰地区和东北在4~5月,最迟6月时也会有因融雪形成的洪水。黄河和黑龙江在化凌期由于冰块堵塞形成冰坝时也会形成冰凌洪水。在天山、昆仑山、祁连山和喜马拉雅山有冰川洪水。此外还有雨雪混合形成的洪水以及水库溃决形成的溃坝洪水。但主要的是暴雨洪水。北方有春汛,主要由融雪融冰形成。南方从4月份进入汛期,主要是副高压在江南长期徘徊,持续降雨,极易形成洪水。7月下旬至8月上旬副高压北抬后,雨区移到海河流域及东北。此后,台风又经常是造成局部洪水的主凶。所以一年中大部分时间都有各种类型的洪水发生。1998年特大洪水之后,在防洪上的投入很大,大江大河的堤防都在不同程度上提高了防洪标准。近两年内发生的洪水大多是中小河流上由于高强度降雨造成的局部性洪水,尤其是山区暴涨暴落的突发性洪水,并伴随有泥石流等地质性灾害。

防洪的工程措施综合起来讲有疏、防、拦、分、排、退。

(1)疏主要是指疏浚河道和河道整治,例如加深加宽河道、拆除河道中有碍于行洪的阻水建筑物、桥梁扩孔、裁弯取直等等。

(2)防是修建、加固加高沿江沿湖的堤防,50年来已达25万多 km ,其中主要江河的堤防6.1万 km ,保护了 320000km^2 的耕地和近4亿人口。

(3)拦是修建水库,建设蓄滞洪区和水土保持等。目前已建大、中、小型水库8万余座,总库容为4717亿 m^3 。其中大型水库374座,总库容为3425亿 m^3 ;中型水库2562座,总库容为709亿 m^3 。长江流域就有大中型水库992座,总库容量为957亿 m^3 。在长江、黄河、淮河流域已开辟了98处蓄滞洪区,总面积为3.45万 km^2 ,总蓄洪量1000亿 m^3 ,区内耕地19627 km^2 ,人口1767万。水土保持也加大了力度,例如长江上游禁伐造林,坡度大的耕地退耕还林还草,初步治理面积已达50万 km^2 。长江流域35.2万 km^2 的水土流失面积已综合治理了5.5万 km^2 。

(4)分主要是指修建分洪道。

(5)排是建立泵站与排水系统,这对于治涝十分重要。

(6)退是退田还河、退田还湖,退耕还林,退耕还草。

防洪工程总有一定标准,不可能无限制地提高,因此,要大力加强非工程措施。主要的非工程措施有以下几个方面。

(1)建立防汛指挥系统,包括雨、水、工、灾情的采集、传输、处理和决策支持这几个子系统。目前全国已有2万多个水文站。在黄河的三门峡至花园口区间,长江荆江河段、淮河等20余处以及150多座水库已建了水文自动测报系统,遥测点有1700多个,分别采用超短波、微波、卫星通信和计算机网络等手段传输信息。可供水利部门使用的微波通信干线已达15000km,微波站有500个。在灾情方面也充分发挥了遥感、GIS、GPS等高新技术进行监测与评估。利用洪水预报预警系统进行洪峰流量、洪峰水位、洪量、历时、洪水到达时间等洪水特征的预报。在此基础上,对各种调度预案,利用基于GIS的数据库进行洪水演进和灾情评估,为决策提供依据。在决策后又基于GIS作出抢险物资及居民避险迁安最佳运输路线的方案。在灾情发生后,利用遥感进行动态监测、后续降雨及水情的预报、救灾物质运输路线的确定等等,也都是系统能发挥的作用。目前已有不少省(自治区、直辖市)已经开始或即将开始建设这样的防汛指挥系统。

(2)蓄滞洪区管理。中国地少人多,蓄洪区内有一定的社会经济活动在所难免。为了对其运用创造条件,必须通过政府颁布法令或条例。对土地开发利用规划、产业结构、工农业布局、人口等加强管理。此外还包括基于GIS对区内临时避水庄台的分布及居民避险迁安的路线作出最佳方案。

(3)洪水风险管理。从目前来看,要彻底避免洪涝灾害的发生还为时过早,我们与洪水共处起码还有上百年的时间。既然共处,就希望是和平共处。对洪水不是一味地死顶硬压,而是采用风险管理的方式,对洪泛区的社会经济活动进行限制,以最大限度地减轻损失。这也是非工程措施中不可或缺的组成部分。

(4)洪水保险和灾后救济。在洪水严重造成灾害时,减灾实际上是牺牲局部和少数人的利益来保护大局和更多人的利益,造成的损失应该是社会共同的责任。采用洪水保险或在某些地方征收防洪税等,在一定程度上体现全社会防洪方式,也是有偿使用蓄滞洪区的基础。

(5)河道管理等其他法令条例。在中央和地方各级政府高度重视下,对防洪减灾的投入越来越大。上述工程与非工程措施产生的防洪效益是十分可观的。以1998年为例,工程措施的防洪减灾效益达到7200亿元,其中江河堤防效益5833亿元,水库直接防洪效益1353亿元。1998年长江大洪水第6次洪水期间,清江隔河岩水库和长江葛洲坝削减了洪峰 $6100\text{m}^3/\text{s}$,使沙市水位降低0.49m;丹江口水库蓄了21亿 m^3 水,削减洪峰93%,使汉口水位降了0.9m。非工程措施发挥的效益也是非常大的,1998年长江大洪水期间,由于水文预报的正确,为中央下决心不用荆江分洪区提供了依据,减少了近百亿元

的损失。

但由于长期以来水利建设欠账较多,防洪、减灾体系尚不完善,许多江河尚缺乏控制性工程,水利工程的实际防洪标准偏低。40%左右的水库为病险水库;部分堤防存在不同程度的隐患;蓄滞洪区内社会经济发展缺乏控制,缺乏灵活交用的条件,一旦需要时难以启用。此外,防洪非工程措施也不够完善。由于以上原因,全面 59 万 km^2 的江河防洪保护区中有 59% 的面积其防洪标准小于 20 年一遇,22% 的面积其标准为 20 ~ 50 年一遇,而超过百年一遇的防洪标准的面积不足 1%,在全国 232 个地级以上城市中,有 84% 的城市未达到国家规定的防洪标准。

由以上情况可以看出,我国的防洪减灾成绩斐然,但任务艰巨,在很长一段时间内还要与洪水共舞,还要不断地研究与实践如何与洪水和平共处。

在防洪、减灾工作的非工程措施中,信息的获取、传输、处理是基础的基础。以信息化促进水利现代化在防洪、减灾、救灾工作的全过程来看,信息应该包括致灾因子,孕灾环境,承灾体承载能力等诸多方面。具体地讲就是雨情、水情、工情和灾情。高强度或长历时较高强度的降雨是雨洪的致灾因子(局部地方气候剧变是形成冰坝和洪水的致灾因子);水情和工情是孕灾环境;工情和灾情与承灾体承载能力有关;灾情还与非水利工程的承灾能力有关。

上述信息有历史的也有实时或准实时的。由于洪水大多来势凶猛,防洪抢险千钧一发,分秒必争,因此,实时信息的采集与传输尤为重要,其采集的准确性是整个防洪、减灾工作的前提,极其重要。

雨、水、工、灾情的实时或准实时的监测,既有常规的方法,也有先进或较为先进的方法。由于在软硬件条件、工作人员素质、通信能力、综合条件等方面的差异,以及最重要的经济实力方面的差异,从目前的国情出发,还不能完全舍弃常规方法,先进方法也有逐步完善与成熟的过程。因此是一个常规方法与先进方法结合并由前者为后者逐步替代的过程。而在先进方法中,“3S”技术的应用是最主要的,也是最有代表性的。

一、雨情监测

雨情的监测是段的降雨量的监测,其相应的结果有雨强,也有累积降雨量。由于融雪也造成洪水,因此,确切地讲应该是降水量的监测。在此以雨情代表广义的降水量,主要是为了突出大部分洪水是由于暴雨所致,但在下面介绍中也包括对降雪量的监测。

(一)降水量的监测

1. 降水量的常规监测方法

降雨量常规的监测方法是布置一定数量的雨量计。最原始的方法是由人工观测,两

次观测的降雨量的差即为这两次观测时间之间的时段降水量(以深度 mm 表示)。较先进的自记雨量内计置翻斗,每积累 1mm 降雨,翻斗即翻一次,记录一个信号。信号的个数即可反映雨量的多少,可以记录在用时钟控制转动的记录纸上,画出降雨的过程,也可以以应答或定时两种方式自动地通过卫星、超短波或微波等方式向中心站或通过中继站向中心站发出,进入中心站的实时雨情数据库。降雪量的监测通常在强度上要求不那么高,因为降雪不会马上融化和形成洪水,因此,它在普通的雨量筒下面设置有加热装置,将雪融化成水后再测量其降水量,一般安置在有人驻守的测站,但也可自动记录或自动发送,不过时段较长。

2. 降水量的遥感监测

降水量的遥感监测一般分为两类:一类是安置在地面的雷达监测;另一类是卫星的遥感监测。

(1)雷达监测。用雷达反射因子 Z 与地面降水强度 I 的关系 $Z = aI^b$ (简称 $Z-I$ 关系)估计降水是常用的由遥感资料反演降水强度的方法之一。式中 a 和 b 是系数,与降水类型有关。常用的方法是按不同降水类型用最小乘法确定相应的 a 和 b ,然后各组 a 和 b 就固定地应用于各种降水类型。因此在使用时先要根据回波确定该次降水属于何种类型,然后选用相应的 a 和 b ,由 $Z = aI^b$ 获得降水强度。再用变分法等作一些修正,然后经累加获得区域降水量。

由上可知,该法的测量精度与 a 、 b 的选取关系很大。一般层云状降水的 $a = 200$ 、 $b = 1.6$;对流型降水 $a = 55$ 、 $b = 1.6$ 。但实际情况是一次大范围降水中常有多种类型的降水,因此很难确定降水类型的标准,而且 Z 与 I 之间的空间不一致性实际上是一个更大的问题。由于大气对雷达波的折射和地球曲率之影响,实际上是将不同高度上的资料按同一种 $Z-I$ 关系来反演降水。如果在降水开始时用雷达体扫描资料获取降水云体中 Z 的垂直分布,即云中水成物的垂直分布,然后根据 Z 和 I 关系找出与地面降水匹配最好的某一高度的 Z 作为代表 Z ,再用它来估计其他时间的降水,即可减少两者空间不一致性带来的反演误差。此法反演 1h 降水量的相对误差一般在 20% 以下,不超过 30%。如对每次体扫资料都找一个匹配最好的高度,相对误差可缩小到 15%。如将最佳匹配高度的雷达反射因子作为一个因子引入使用红外线和可见光卫星资料估计降水的方程中去,其复相关系数还能进一步提高。

用雷达测一个区域内的降水量,必须配备两台以上的雷达,分布在不同地方,这是因为高强度降水会似一道屏障,使雷达测不准其后面的降水量,而安置在另一个地方的另一台雷达就可以避开在前一台雷达前方的高强度降水区,测到其后方的低强度降水。

(2)降水量的卫星遥感监测。降水的时变性和空间不均匀性是非常大的,使其成了

在定量确定上最复杂的变量之一。地球表面大部分地区没有地面的雨量计和雷达监测雨量。实际上卫星是目前提供降水时空分布的惟一手段。卫星测雨可以得到雨量在面上的分布,即使气象卫星也能达到一定的空间密度,完全可以满足水文的要求。

目前用来估算降水的气象卫星,既有地球静止卫星,又有极轨卫星。前者可提供高频次的图像(半小时一次),后者每天每颗星也有两次。用于降水量观测的谱带长期使用的是红外(IR)和可见光(VIS)图像,而微波图像则在 1987 年开始才有条件使用。

VIS 和 IR 谱带的优点是具有较高的时间分辨率,可以不分白天黑夜地多次取得图像。主要缺点是云顶反射率或湿度与地面降水率之间的关系是间接的。它能产生瞬时雨区的光滑图像,但只有在较大空间或时间尺度内平均后,并且分季节和区域率定后才能应用。

微波(MR)“透视”云顶,直接探测云中、云下实际降水微粒,能得到有关瞬时降雨的可靠信息,其缺点是只对冷云团上部的冻雨微粒有效,然而并非所有载雨云团都有这种冰粒,即使有的话,冰粒含量与地表降水量之间的关系也随季节和区域变化。

所以现在采用 MR 和 IR 结合的方法,其途径有二。一是用 MR 来“训练”IR 资料,二是把 MR 和 IR 估算的雨通过目标(以雨量计和雷达的数据为目标)分析步骤“捆绑”起来。

日本的热带测量雨卫星 TRMM 在获取南北纬 35°之间区域的资料方面确实是不错的,但计算雨量的算法仍有待于改进。该星的监测范围将扩大到南北纬 50°,即覆盖我国绝大部分地区,因此可以发挥重要作用。

目前主要用极轨卫星来覆盖全球,而静止卫星用于热带地区,但最近美国和日本正在推出一个 GPM(全球降水监测)计划。该计划在目前是利用日本的 TRMM 和美国的卫星,在 2004 年日本 ADEOS-2 可以加入,至 2007 年后由美国和日本的 8 颗卫星,再邀请合作伙伴国家的四颗卫星加入,组成共计 12 颗卫星的监测网,实现地球上每个地方每 3 小时都能通过卫星监测一次降水量,这将把遥感监测降水的水平提高很大的一个层次,并为业务运行提供了条件。这对洪涝灾害预测预警和防灾减灾具有重要意义。

用卫星资料估计中尺度到气候尺度的降水量开展了很久,20 世纪 70 年代末 Scofield 和 Oliver 研究出一种用 GMS 卫星的红外和高分辨率的可见光云图为对流系统每半小时监测一次降水的方法。该法开始是基于红外及可见光云图的手工方法,根据云顶、湿度、穿透性云顶及云合并等作降水估计。此法后来经多次改善,已发展为一种人机交互的方法,并经过了十几年的业务运行。英国 BRISTOL 大学的 Barrette 等人根据云面积和云类型得出相应的云指数,通过统计得出一条查找曲线,然后再根据云指数和地面实际降

水量,将云指数转化为降水量。Negri-Adler 方法则是应用红外资料,可计算出积云和层状云降水量。陈渭民等应用 GMS 卫星的可见光和红外通道等资料,针对梅雨锋云系特征,选用云顶红外计数值,可见光数值及红外计数值、可见光计数值及红外计数值梯度等因子,用逐步回归法推导出各种云系的降水量。

杜秉玉、高志球 1998 年采用了多元回归和逐步回归方法,利用红外和可见光卫星资料,建立了用云顶温度、云顶湿度时间梯度,云顶温度水平梯度、反照率、反照率时间梯度等 6 个因子估计降水的系列的方程。具体做法是将工作区按 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 划分成网格,卫星资料是网格资料,而且地面点降水量的实测资料也可以对应到相应的网格内,以网格四个角的湿度加权(以角点到该点的距离为权重)平均得到该点对应的湿度;取降水量实测点所在网格内附近 12 个点中的最高温度与最低温度之差作为该点的云顶温度梯度;降水量实测点对应的加权平均温度与 1 小时前该点的加权平均温度之差为该点的湿度时间梯度。对可见光资料中的反照率也作同样的处理,可得到降水量测点对应的反照率加权平均值 W ,反照率的水平梯度 $\Delta W/\Delta D$ 和时间梯度 $\Delta W/\Delta T$ 。为了确定降水量与上述 6 个因子的关系,必须用逐步回归和多元回归方法进行因子筛选和确定回归方程,以便确定一定显著水平下各因子均为显著的回归方程中诸回归系数。复相关系数最高可达 0.745。云顶的湿度越低,反照率越大;云顶湿度的水平梯度越大,时间梯度越小,降水量越大。随着因子的引入,复相关系数逐渐增大,方差渐趋越小,由偏相关系数来看,云顶湿度梯度(含时间梯度和水平梯度)及反照率对降水量的影响最为显著,云顶湿度次之。

(二)基于 GIS 的降水量信息管理

1. 基础信息

(1)基础信息的内容:站号、站名、所在地市、县名、所在流域、河名、地理位置(经度、纬度)、是否拍报旬月雨量、是否拍报 6 小时雨量、是否是县雨量代表站等。

(2)功能实现:

- ①雨量站基础信息的单站查询。
- ②按一定范围查询多站信息(如指定区域中的多个雨量站的基本信息)。
- ③按指定范围查询统计信息(如指定区域中的雨量站站数、每站大约代表面积等)。
- ④提供查询结果表单显示和打印功能。

2. 雨情信息查询

(1)功能实现:

- ①给定时间、给定空间(区域范围)各站雨情查询。
- ②给定时间、给定空间(区域范围)平均雨量查询。

③给定时空的等雨量线图(计算不同等雨量线包围的面积和平均降雨量)。

④给定时空的旬、月雨量的查询及历史对比分析。

(2)表现方式:

①用不同颜色或闪烁等表现不同量级或超过一定量级的雨情。

②雨量值、雨量过程柱状图形表现。

③提供各类查询结果的表单显示和打印。

(3)说明:

①雨量量级——特大暴雨、大暴雨、暴雨、大雨、中雨、小雨。

②给定空间(区域范围)——流域、预报区域、行政区域。

③给定时间——指定起讫时间范围,雨量时间精确到小时。

二、水情

水情一般指流量和水位,根据流量过程可以计算出某一时段的洪水总量。对于防洪来说,洪峰流量及洪峰水位非常重要,尤其是洪峰水位。防洪规划中对不同河道断面都确定了警戒水位、保证水位;对不同相对水深处(一点、二点或五点法)用流速仪测量流速,然后用面积法计算断面平均流量。水位一般用水尺,除了人工外,很多水文站或水位站都设置了自动水位计,有的也能按定时和应答的方向自动地通过短波、超声波或微波等向中心站或通过中继站向中心站发送。流量目前较成熟的方法只能是人工测量,此外也要通过人工置数的方式才能向中心站发送。

1. 河道水情查询

(1)基础信息:

①基础信息的内容:站号、站名、所在地市、县名、所在流域、河名、地理位置(经度、纬度)、集水面积、高程基点、各特征水位和流量(最高水位、最大流量、警戒水位、保证水位)等。

②功能实现:

a. 水文(水位)站基础信息的单站查询。

b. 按指定范围查询多站信息(如指定某流域、某行政区域等,获取该指定范围多站的基本信息)。

c. 按指定范围查询统计信息(如站数等)。

d. 提供查询结果的表单显示和打印功能。

(2)水情信息查询:

①功能实现:

a. 单站实时水情信息(最新水情数据)查询。

- b. 用不同颜色或闪烁等表现超过警戒水位或保证水位的站点。
- c. 选定区域(流域、行政区、任意指定区域)实时水情信息(最新水情数据)查询。
- d. 给定时间、水文(水位)站水情过程(水位、流量)查询。
- e. 给定时间段、给定水文站的洪量计算。
- f. 多站水位、流量对比查询。

(3)表现方式:

- a. 提供查询结果的表单显示和打印功能。
- b. 提供水位、流量过程线。
- c. 提供超警戒、超历史水情在 GIS 图上报警(以不同颜色或闪烁等表现)。

2. 水库水情

(1)基础信息:

①基础信息的内容:站号、站名、所在地市县名、所在流域、河名、地理位置(经度、纬度)、集水面积、死水位、设计洪水位、校核洪水位、历史最高水位及历史最高水位出现时间、历史最大入库流量及历史最大入库流量出现时间、历史最大蓄量及历史最大蓄量出现时间、历史最大出库流量及历史最大出库流量出现时间、防洪库容、水位—蓄量—面积关系曲线、第一汛限水位、第二汛限水位。

②功能实现:

- a. 水库水情站基础信息的单站查询。
- b. 按指定范围查询多站信息功能(如指定某流域、某行政区域等,获取该指定范围多个水库水情站基本信息)。
- c. 按指定范围查询统计信息(如水库水情站站数等)。
- d. 提供查询结果的表单显示和打印功能。

(2)水库水情信息查询:

①功能实现:

- a. 单站实时水库水情信息(最新水情数据)查询。
- b. 选定区域(流域、行政区、任意指定区域)实时水库水情信息(最新水情数据)查询。
- c. 按指定时间、水库水情站(库水位、入库流量、出库流量、汛限水位、历史最大出库流量、水库蓄量)过程查询。
- d. 按指定时间段进行给定水库水情站的水库蓄量增量计算。

②表现方式:

- a. 提供查询结果的表单显示和打印功能。
- b. 提供库内水位、入(出)流量、蓄量过程线。
- c. 提供超汛限、超历史水情 GIS 图上报警(可以不同颜色或闪烁等表现)。

三、工情信息及基于 GIS 的管理

(一)工情信息分类

工情信息分为以下 18 大类:

(1)河流。河流指陆地表面宣泄水流的通道,是溪、川、江、河总称。

(2)水库。水库是指在河道、山谷、低洼地及地下透水层修建挡水坝或堤堰、隔水墙、形成集水的人工湖。

(3)水文控制站。经常搜集和提供固定地点一项或多项水文资料、反映河流、湖泊等其他工程水文状况的工作单元。

(4)堤防(段)。堤是指沿河、渠、湖、海岸或行洪区、分洪区、围垦区的边缘修筑的挡水建筑物。

(5)蓄滞(行)洪区。蓄滞洪区是指利用湖泊、洼地滞蓄调节洪水的区域。

行洪区是指天然河道及其两侧或两岸大堤之间大洪水时用以宣泄洪水的区域。

(6)湖泊。湖盆及其承纳的水体称为湖泊。湖泊的湖盆是地表可蓄水的天然洼地。

(7)圩垸。圩是指在河、湖、洲滩及滨海边滩近水地带修建堤防所构成的生产生活活动封闭区域。圩在长江中游称垸,在珠江中下游称围。围、垸统称圩垸。

(8)机电排灌站。机电排灌站是机电提水设备及配套建筑物组成的进行农田排水和灌溉的设施。

(9)水闸。修建在河道和渠道上利用闸门控制流量和调节水位的低水头建筑物。

(10)跨河工程。从顶部跨越河道或渠道的建筑物。

(11)治河工程。为稳定河槽、改善河流边界条件及水流流态采取的工程措施。

(12)穿堤建筑物。从堤身或底部穿越堤防的建筑物。

(13)险工险段。险工险段是指堤防、河道或涵闸等其他工程在受到水流的冲刷或其他自然和人为的破坏,在汛期容易出现险情的地段和部位。

(14)墒情监测站点。经常搜集和提供固定地点一项或多项土壤水状况的工作单元。

(15)地下水监测站。经常搜集和提供固定地点一项或多项地下水资料的工作单元。

(16)灌区。利用工程措施引取地表、地下水,改善农田灌溉状况的区域。

(17)海堤。

(18)城市防洪。

(二)基于 GIS 的工情信息管理

(1)工程管理。

①水利工程的查询分析。查询的内容:河道、堤防、水库(分大中型)、水闸、灌区(万亩以上)、险工险段、穿堤涵洞、跨河工程、机电排灌站(大中型)、分蓄洪区、安全台(庄

台)、滑坡、泥石流、河心洲坝和重点防洪城市等 18 类水利工程的基本情况、历史资料与现状信息、工程运行信息等。

查询的方式:应具备图形和属性间的双向查询,即一方面可以通过图形操作,如点击、拉框等,查询选中的水利工程的信息,一方面又可以通过水利工程的属性,如名称、行政区划、等级等,查询符合条件的水利工程的空间位置。

②水利工程的统计报表。对水利工程查询结果按指定要求进行分类统计,以报表的形式打印输出,并满足成果表的编制需要。

③基本 GIS 功能:

图形缩放功能:放大、缩小、漫游、自由缩放。

图版制作与打印输出:制作与编辑图版,打印输出。

④水利工程数据库维护。由于水利工程数据库包括空间数据库和属性数据库,因此,水利工程空间数据库的维护也包括空间数据库维护和属性数据库维护。数据库维护工作应包括:数据的添加、修改与删除;数据的批量入库;数据库的权限管理;数据库的备份等。

(2)建设管理。建设管理是指对新建和在建工程项目的管理。系统在建设管理上应具备如下功能。

①在建项目实时管理,包括经费使用、工程进度的管理以及工程质量监督管理。

②新建项目管理,包括项目报批、招标投标、进度跟踪、适用规范的管理。

③竣工验收管理,包括验收资料、验收程序及人员、验收机构及意见等信息的管理。

④资质管理,包括施工单位、设计单位、监理单位的资质管理。

⑤其他与已建工程管理类似功能,包括查询、统计、报表、输出、数据维护等。

(3)政策法规及规程规范的查询检索。在水利工程管理和建设管理中涉及大量的政策法规及规程规范,系统应提供对这些政策法规及规程规范的查询与检索功能。

四、洪涝灾害灾情监测评估

(一)洪涝灾害灾情监测

遥感技术对灾害监测有特殊的优势和潜力,尤其是对洪涝灾害的监测评估在中国已有较长的历史。早在 1983 年,水利部遥感技术应用中心就用地球资源卫星的 TM 影像调查了发生在三江平原挠力河的洪水,成功地获取了受淹面积和河道变化的信息。在 1984 年和 1985 年,用极轨气象卫星分别调查了发生在淮河和辽河的洪水。在这期间,用机载 SAR 图像监测了辽河流域盘锦地区的洪水,在扫描后,用计算机处理了图像。同时,机载红外遥感也用来调查永定河行洪障碍物的分布以及东辽河在三江口处的决口位置。1987~1989 年,水利部遥感技术应用中心、中国科学院、国家测绘局和空军合作,先

后在永定河、黄河、荆江地区、洞庭湖和淮河进行了防洪试验。建立了洪涝灾害监测的准实时全天候系统。这个系统在 1991 年淮河和长江中下游大洪水的监测中发挥了重大作用。

1991 年以后,许多专家认识到了图像实时传输对把损失减到最小的重要性,建议建立机载遥感监测灾害的实时传输系统。通过 5 年的努力,建成了这一系统并应用于 1994 年、1995 年、1996 年。在“九五”期间,通过科技攻关,该系统传输图像的空间分辨率从 6m 提高到了 3m,并实现了图像数据和 GPS 数据的复合传输,1998 年、1999 年和 2000 年在洪涝灾害监测中发挥了重大作用。

洪水的遥感监测在五级平台上进行:气象卫星、星载 SAR、机载 SAR、中分辨率的 MODIS 卫星直升机。地面的水文、水位站的水情信息予以配合。

国家卫星气象中心负责气象卫星的宏观和动态监测,它在北京、广州和乌鲁木齐设立了三个接收站。数字图像通过通信卫星传往北京,在校正后镶嵌成覆盖全国的图像。汛期在天气状况允许条件下每天监测一次,资料接收后 2h 提供水灾区域监测图和灾情粗评估报告。产品保持原分辨率,是多通道假彩色合成图(包括省界和重点地名注记),图像大小为 512km×512km。1997~2002 年监测次数如表 10-5-1 所示。

表 10-5-1 1997~2002 年水情监测次数

时间(年)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	总 计
次数	7	69	58	88	50	25	297

此外,它的 MODIS 卫星接收系统也已投入运行。美国近年来发射并投入运行的 EOS 序列环境卫星 MODIS(中分辨率成像光谱仪)有 36 个通道,其中第一和第二通道与极轨气象卫星 AVHRR 可见光和近红外通道波长范围相近,可用于监测地表水体变化。其星下点分辨率为 250m,大大高于气象卫星。

国家卫星气象中心从 2000 年底开始利用 EOS/MODIS 资料监测水情,已获取大量我国主要江河、湖泊的水体信息,其图像精度和细节的丰富远远超过气象卫星,相继监测到黄河冰凌、巴丹吉林沙漠深处的湖泊、黄河小浪底冲沙试验后主河道水体变化及 2002 年汛期以来七大江河流域的水体范围等水情信息。

在 2001 年和 2002 年凌汛期间,多次监测到黄河中的冰凌信息,从 MODIS 图像中可清楚地看到黄河中冰凌的分布范围、密度。同时,由于 EOS/MODIS 的观测频次较密(接近极轨气象卫星,远超过陆地卫星),利用多时次观测图像,可监测到冰凌信息的发展变化。

中国遥感卫星地面站接收美国的地球资源卫星、加拿大的雷达卫星、欧空局的 ERS 卫星、法国的 SPOT 卫星的数字遥感图像。图像至少提前 3 天预订,用户可在卫星过境

后 4~6h 收到经过粗校正的图像。

机载 SAR 装备在里尔飞机上,飞行高度为 10000~13000m。它用于在紧急情况下调查重要的水利和其他工程的情况,例如坝、堤、铁路等。分辨率为 3m 的数字图像实时传输到水利部遥感技术应用中心。在天气条件好时,可用直升机监测洪水,飞行高度为 900m。

查询实时水情数据库,获取实时的流量和水位对洪水遥感监测方案决策和估算损失都有重要作用。

所有这些信息的都可通过通信卫星或其他手段送到监测评估运行中心。

机载 SAR 全天候实时传输系统是在“八五”期间研制成功的。这一工程系统集成遥感、全球定位系统(GPS),图像传输和图像处理之大成,由飞机上雷达采集的图像数据首先发往通信卫星,地面转发站将信号加强后再发往通信卫星,用户站在几秒钟内就可以接收到图像。系统由三部分组成,即信息采集、数据传输和图像处理。

SAR 的最大有效距离为 55km,实时成像器可将具有 3m 分辨率的 SAR 信号处理成地面的 SAR 数据,可以是 3m 分辨率的半测带和 6m 分辨率的全测带。通过“九五”科技攻关,目前,传输的数字图像的空间分辨率已从“八五”期间的 6m 提高到了 3m。

GPS 与导航系统连接后,除了给雷达图像定位外,可以为天线伺服系统提供飞机的位置以保证天线能始终跟踪通信卫星。机载站对实时成像器的 SAR 图像数据进行调制、加密、压缩后发往通讯卫星。地面转发站主要是解决上行的限制,加大增益和避免噪声叠加。在解调、解压和解密后,用户站可以进行数据处理。信息处理子系统主要可以实现图像的实时显示、实时记录数据和实时拷贝图像。“九五”期间实现了 GPS 数据和图像数据的复合传输,为条带的校正和镶嵌带来了极大的方便,大大提高了工作效率,为防洪减灾争取了时间。该系统的功能和特点可总结如下:全天候、实时传输、分辨率高、时空上灵活机动。它在 1998 年、1999 年和 2000 年的洪水监测中作出了很大的贡献。

此外,“八五”期间,中国科学院组织有关研究所,在国家科技攻关项目支持下,建立了洪涝灾害应急反应系统。该系统包括航空遥感灾情获取系统、图像快速处理系统、灾情信息快速提取与监测系统、灾情评估系统。结合当时没有航天雷达数据的实际情况,机载遥感系统是在两架奖状飞机上分别装载 X 波段合成孔径雷达和多光谱扫描仪。同时建立了机一地数据传输系统,研制了雷达实时成像器,通过 VSAT 站实现了机一地灾情信息的传输。

这个系统实现了在进入作业状态后 4~10 小时内提供遥感监测灾害情况,在获取数据后 1~2 天内提出灾害损失的初步报告,两周内提出详细报告。“八五”期间,上述系统进行了试运行,在 1993 年洞庭湖水灾应急反应中,出动遥感飞机、应用雷达图像、TM 图

像和专题地图提出了淹没范围和土地利用类型指标。在 1994 年 7 月广东、广西第二次供水期间,该系统发挥了重要作用,获取了 6 万 km^2 的灾情信息,提供了淹没背景、淹没范围、类型、滞洪障碍分析、水利工程规划评估等分析报告。在 1995 年洞庭湖、鄱阳湖和辽宁、吉林特大洪涝灾害监测中,获取近 20 万 km^2 的灾情信息,通过试运行,向国家防汛抗旱总指挥部和有关地区提供了灾情信息,为各部门和地区抗灾减灾决策提供了信息支持和服务,显示了该系统的实用价值和作用。

(二)洪涝灾害灾情评估

气象卫星和 EOS/MODIS 监测主要用于预警水平上的宏观和动态监测;星载 SAR 用于灾情监测评估;机载 SAR 则定位于紧急情况下的工情(重要水利工程及其他工程)监测。对星载 SAR 而言,ERS 用于局部洪水和南北方向河流的灾情调查;而 Radarsat 则用于监测覆盖范围大的流域性洪涝灾害,因为它的最覆盖范围可达 $500\text{km} \times 500\text{km}$,也可以利用其精细模式用于城市洪涝灾害监测。

从灾害发生时的遥感影像提取的现势水体与基础背景数据库中的本底水体叠加就可以进行洪涝灾害评估。主要内容是以县为单位的受淹面积、受淹耕地和居民地面积及其空间分布,有统计表也有专题图。工情调查则包括有水库、堤岸、闸、行洪区、桥梁、铁路、公路、港口、机场、油田等。

灾情评估主要基于以下数据源:洪水频发地区的地理信息系统;由汛前或汛后的 TM 图像得出的土地利用分类图、地形图(用于找图像几何校正所需的控制点以及提取行政境界线)和其他专题图。

(三)近年来的洪水及其用遥感和 GIS 进行的监测评估

水利部遥感技术应用中心在 1998 年进行了 9 次监测;其中分别在 7 月 7 日和 30 日、8 月 8 日、10 日和 13 日对长江作了 5 次监测,在 8 月 4 日、17 日、21 日和 30 日对嫩江和松花江流域作了 4 次监测;在共计 9 次监测中有 4 次采用机载 SAR,5 次采用星载 SAR,包括 ERS 和雷达这两种卫星,总监测面积达 48 万 km^2 。此外还用气象卫星作了 50 次监测。在 1999 年 8 月 7 日之前进行了 6 次监测,其中在 7 月 3 日对太湖流域作了 1 次监测,在 7 月 24 日和 26 日对长江流域作了 3 次监测;在 8 月 7 日对黄河和松辽流域分别作了监测;5 次采用雷达卫星,1 次采用实时传输的机载 SAR,总监测面积达 95 万 km^2 。此外还用气象卫星作了 46 次监测。洪涝灾害灾情评估包括以县为单位的受淹面积、受淹耕地和居民地面积及其空间分布专题图;工情评估包括水库、破堤情况、受淹油井数、受淹公路长度、行蓄洪区状况等。评估在 48h 内完成。2000 年是比较干旱的年份,主要灾区在淮河流域上游,伴随地质灾害(泥石流)的山区暴雨洪水在西北和西南也时有发生。水利部遥感技术应用中心一共进行了 7 次监测。其中最主要的是对西藏易贡藏布河发

生的罕见的大滑坡所引起的大洪水的全过程和上、下游进行了监测,为国务院和有关部门决策提供了重要依据。此外,也对一些蓄滞洪区的受淹面积进行监测评估,为自 2000 年 1 月 1 日起执行的有偿使用蓄洪区提供了客观的赔偿依据。2001 年由于“榴莲”和“尤特”两次台风的连续袭击,广西壮族自治区西江上游水位猛涨,南宁等地水位超过历史最高水位。水利部遥感技术应用中心仅用 3 个人在 6h 内就完成了监测评估任务。所有这些信息都以最快的速度,通过网络或通信卫星送到国家防汛抗旱总指挥部和通过国家遥感中心送到国务院办公厅,为减灾决策和灾情评估提供了重要依据。

(四) 洪涝灾害监测评估业务系统的建立

通过“九五”科技攻关,在软件、数据、模型与方法集成的基础上,在可靠的遥感数据和基础背景数据库支持下,在监测决策辅助系统、指挥调度、质量保障体系以及规章制度的保障下,在高素质运行人员的保证下,洪涝灾害监测评估业务系统已在水利部遥感技术应用中心建成。这是一个业务运行中心。该系统经过两年试运行后已在 2001 年开始正式投入业务运行。软件、硬件、数据库和网络的集成是系统建设的关键问题。它是一个分布式运行系统,包括气象卫星监测和地面水文观测两个子监测系统。该系统在 12h 内可提供分县受淹面积、受淹耕地及居民地面积、专题图、统计表格及监测评估报告。从 1998 年开始,已向国家防汛抗旱总指挥部以及通过国家遥感中心向国务院办公厅,提供了 26 次利用航空或高分辨率航天遥感及 GIS 对洪涝灾害的监测评估成果。该成果解决了以前国家攻关计划中没有解决好的集成问题,建成了一大批基础背景数据库、图形库和图像库,使洪涝灾害的遥感监测评估水平提高了一大截,科技攻关成果用到了防洪减灾的第一线,在国内外已有较大影响。目前,部分技术已在省一级防洪决策支持系统中得到推广。

灾情评估系统应协同决策支持系统中的其他子系统,共同实现决策支持系统的各项功能。在灾前、灾中、灾后对通过各种渠道采集来的洪涝灾害信息进行综合分析评价,为全过程的决策提供支持。

1. 灾前评估

根据预报的水位、流量、洪量以及调度预案,通过已有的洪水风险图或水力学、水文学模拟,确定受淹范围,再通过包括社会经济信息的基础背景数据库或洪灾风险图(带有社会经济属性的洪水风险图),对可能受灾地区耕地、房屋、人口、工农业产值、私人财产等进行快速评估,为调度方案决策提供依据。为决策提供的依据有以下几个方面。

- (1) 从可能的经济损失这个角度为决策提供判据。
- (2) 从可能的受灾人口这个涉及社会因素的角度为决策提供判据。
- (3) 从迁安能力(人口数量、时间、车辆调动等)的角度为决策提供判据。
- (4) 从可能受淹的重要工业基地、交通动脉、军事要地等重点保护对象的角度为决策