

张掖市水利工程现状信息系统开发与应用

马明国¹, 胡晓莉¹, 宋 怡¹, 刘小军², 徐广杰²

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所遥感与地理信息科学研究室, 甘肃 兰州 730000;

2. 张掖市水务局, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 张掖市水利工程现状信息系统, 采用遥感判读和 GPS 实地测量相结合的方法获取张掖市水利工程现状的空间数据, 由张掖市水务局和各水管所提供属性数据, 同时采集了相关的专题信息和背景信息。最终采集的水利工程数据包括干渠 159 条、支渠 782 条和斗渠 5 315 条, 总长度 8 745.0 km, 机井 6 228 眼, 水库 43 座。对数据的采集过程进行了详细介绍, 并对水利工程图层的数据精度做了初步评价, 为数据使用者提供很好的参考。在此基础上, 利用组件式 GIS 技术完成系统开发, 是我国流域尺度上最为全面的水利工程信息管理平台之一。已在后期的专题图集制作、决策支持系统研发、社会经济模块研发和水文建模等方面得到了广泛应用。对系统中关键信息灌溉渠道的干支斗比例、密度和走向特征进行了进一步的分析, 结果表明其特征具有十分明显的尺度效应, 在张掖市、五县一区 and 灌区三级尺度上, 不同的特征得以显现。

关键词: 水利工程; 地理信息系统; 张掖市; 黑河流域; 干旱区

中图分类号: P 208; TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2009)05-0559-08

1 引言

黑河流域是我国西北干旱、半干旱地区第二大内陆河流域, 流域面积约 12.87 万 km², 包括了高山冰雪带、草原森林带、平原绿洲带及戈壁荒漠带等不同的水文地貌单元^[1]。黑河中游的张掖平原绿洲带由于有充足的土地资源、丰富的日照以及长期的耕作历史, 是黑河流域社会经济相对发达、人口相对密集的地区。张掖绿洲农业生产通过渠灌和井灌利用了流域内大量的水资源, 是水资源耗用区域, 主导着流域水循环和水文过程。由于该地区工业发展和商品粮基地建设, 引水量剧增, 导致下游的额济纳旗年入境水量逐年减少, 使得 1962 年西居延海干涸, 东居延海面积也严重萎缩, 成为季节湖, 并于 2000 年、2001 年连续全年干涸, 致使下游大面积胡杨林死亡, 大片草场沙漠化^[2]。为了拯救黑河流域日益恶化的生态环境, 恢复额济纳旗的荒漠绿洲, 1997 年国务院批准了黑河干流水量分配方案, 并成立了黑河流域管理局, 2000 年起, 黑河流域管理局开始对

黑河干流正式实施水资源统一调度与管理, 取得了一定的成效^[3]。2001 年国务院批复了《黑河流域近期治理规划》, 国家投资 15.38 亿元, 实施黑河治理工程建设, 完成了干支渠改建 1 752 km, 田间配套 8.87×10⁴ hm², 草场封育 2.17×10⁴ hm², 渠系利用率由治理前的 59% 提高到 64%。随着黑河近期治理工程建设的实施及水利工程管理体制改革的推进, 对水资源管理特别是信息化管理提出了更高的要求, 张掖市水务局以 2006 年 10 月联合中国科学院寒区旱区环境与工程研究所遥感与地理信息科学研究室共同开发张掖市水利工程现状信息系统。胡晓莉等对渠道的采集过程做了较为详细地阐述, 并在张掖市和县的空间尺度上分析了渠道的结构特征及其与土地利用之间的关系^[4]。本文在此基础上重点介绍张掖市水利工程现状信息系统开发与应用研究, 系统开发主要包含基础数据制备、专题数据采集、系统设计、系统开发等步骤。由于渠道信息在后期制图过程中有所修正和完善, 本文中的部分统计结果和胡晓莉等文章中的统计结果有一定偏差^[4]。

收稿日期: 2009-04-15; 修订日期: 2009-07-28

基金项目: 中国科学院西部行动计划(二期)项目(KZCX2-XB2-09)、国家自然科学基金(40701133)和中国科学院创新团队国际合作伙伴计划(CXTD-Z2005-2)资助。

作者简介: 马明国(1976—), 男, 研究员, 博士, 现从事中国西北生态遥感研究。E-mail: mmg@lzb.ac.cn。

2 研究区概况

张掖绿洲位于西北内陆的河西走廊中部,黑河中上游,地理坐标为 $97^{\circ}20' \sim 102^{\circ}12' E$, $37^{\circ}28' \sim 39^{\circ}57' N$ 。属温带干旱性气候,具有降水少、蒸发强、温差大、日照充足、多西北风的特点^[5]。平均降水量 $105 \sim 343 \text{ mm}$,蒸发量 $1\,453 \sim 2\,351 \text{ mm}$,平均气温 $7.6^{\circ}C$,年日照时数 $3\,000 \text{ h}$,属典型的灌溉农业区。全市境内有可供开发利用的大小河流 26 条(山丹 5 条,民乐 11 条,甘州 3 条,临泽 1 条,高台 5 条,)均发源于祁连山北麓,多年平均径流量 $2.46 \times 10^9 \text{ m}^3$,其中黑河年径流量 $1.58 \times 10^9 \text{ m}^3$,占全市可利用地

表径流量的 75%,梨园河径流 $2.37 \times 10^8 \text{ m}^3$,马营河径流 $0.90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。市内净地下水资源量 $1.75 \times 10^8 \text{ m}^3$,可利用水资源总量 $2.61 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。考虑正义峡下泄水量后,人均占有水量仅 $1\,250 \text{ m}^3$,为全国人均水量的 57%;亩均水量 511 m^3 ,为全国亩均水平的 29%,属资源型缺水地区。特别是山丹县严重缺水,水资源总量只有 $1.12 \times 10^8 \text{ m}^3$,人均 620 m^3 ,亩均 393 m^3 。张掖市辖 1 区、4 县和 1 自治县,即甘州区、山丹县、民乐县、临泽县、高台县和肃南裕固族自治县,总面积 $4.2 \times 10^4 \text{ km}^2$,总人口 128 万人,有汉、回、藏、裕固族等 26 个民族(图 1)。由于肃南裕固族自治县以牧业为主,在本次系统开发中没有采

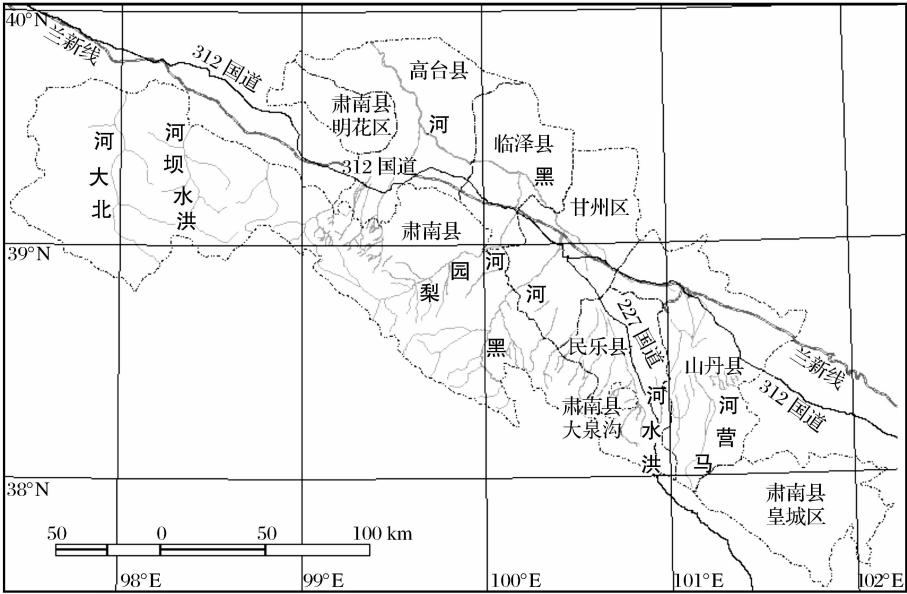


图 1 研究区
Fig. 1 Study area

集该县的专题数据。

3 数据制备

3.1 数据项目

张掖市水利工程现状信息系统所采集的数据项主要包括:

背景数据:行政界限(到县一级)、铁路、公路(包括高速公路、国道、省道、县道、其它公路)、城镇(包括市、县、乡镇和主要的村)、经纬网。

灌溉系统:灌区界线、水管所、灌溉渠系、机井、水库、河流、水文站。

生态环境:土地利用、植被类型、植被覆盖度、地震动峰值加速度、土壤类型。

气候资源:气象站、年平均气温、7 月最高气温、

年极端最低气温、年降雨量、最大日降水量、日照时数、潮湿系数、年平均地温、日平均气温稳定通过 5° 的积温、沙尘暴日数、最大冻土深度。

3.2 数据采集

背景数据从 1:5 万和 1:10 万地形图上采集。新建高速公路在地形图上没有,采用最新的中巴卫星资料进行几何纠正,然后采集。土地利用数据来源于“中国国家资源环境遥感宏观调查与动态研究”项目,从 2000 年前后的 Landsat TM 和 ETM+遥感影像上解译,数据比例尺为 1:10 万^[6]。植被类型数据从科学出版社出版的 1:1 000 000 中国植被图集上数字化,该图集是国家自然资源和自然地理特征的基本图件^[7]。植被覆盖度利用 1999 年至 2006 年 SPOT VEGETATION NDVI 数据计算,首

先计算各年最大化值,然后计算多年平均最大化值,采用植被指数法近似地估计植被覆盖度^[8]。地震动峰值加速度从中国地震动参数区划图(GB 18306-2001)上采集,比例尺为1:400万。土壤类型数据由中国科学院南京土壤研究所史学正、于东升和潘贤章等有关人员根据全国土壤普查办公室1995年编制并出版的《1:100万中华人民共和国土壤图》数字化、修边及编辑后完成的^[9]。气候资源要素是基于空间内插方法将张掖市内气象台站以及周边台站的气候要素观测数据转换到表征气候要素空间分布趋势的线状(等值线)数据。所采用的资料均按世界气象组织(WMO)制定的国际统计标准选择1971~2000年30a累年平均值作为基础资料。基于ESRI公司ArcView 3.3平台下空间分析(Spatial Analyst)模块的Interpolate Grid功能进行空间内插,获得气候要素栅格数据。空间分析的格网大小设置为500m,空间内插的方法为样条法(Spline),参数设置分别为:Weight(0.1),No. of Points(12),Type(Regularized)。利用ArcView空间分析模块Create Contours功能从栅格数据提取气候要素等值线。

灌溉系统数据采集采用遥感判度和GPS实地测量相结合的方法。张掖的渠道分为干、支、斗、农、毛五级渠道,其中农渠一般没有衬砌,毛渠为田间工程,所以主要采集了干、支、斗三级渠道和小部分的农渠。GPS直接采集渠道是最为有效的方法,但GPS采集渠道工作量太大,我们只在部分灌区示范。主要采取的方式是首先收集各水管所手工绘制的灌区示意图,这些示意图大部分没有定位,只有大满、上三等个别灌区基于地形图进行了定位,高台县部分灌区利用GPS对部分渠道进行了定位。参考灌区示意图,基于Quikbird、ASTER、TM遥感影像和1:5万的地形图进行渠道空间定位。对于干渠和支渠,由于在遥感影像上线性特征明显,地形图上一般也有标示,所以可以较为准确地定位。对于斗渠,有高分辨率影像的区域,可以较为准确地定位,其它区域则只能根据模糊的影像线性特征和灌区工作人员的提示信息进行粗略定位,定位精度较低。各水管所同时提供了渠道属性数据,与空间数据进行一一对应。渠道分布图初稿完成后,先后两次提交给各水管所熟悉渠道分布的人员进行校正,第一次主要是剔重补漏,第二次主要校正位置和完善属性数据,最终采集涉及多个灌区的总干渠2条,单个灌区内总干渠和干渠157条、支渠782条、斗渠5315条,总长度

8745.0km。灌区界线基于渠系分布进行分区,水管所的位置用GPS直接定位,水库和河流直接从遥感影像上判读,以上专题的属性数据由张掖市水务局直接提供。由张掖市水务局提供了共计6228眼机井的空间位置信息以及属性信息,属性表包含开采井编号、坐标、位置、取水用途、开采井类型、调查时井深、抽水流量、年开采量、额定流量、质量评估、配套质量评估、综合质量评估等字段信息。

4 系统开发

张掖市水利工程现状信息系统在甘肃省公路自然区划信息系统源代码的基础上开发的^[9],是基于组件式GIS技术(MapObjects 2.2)和VB编程语言自主开发的专业地理信息系统平台。该系统提供张掖市人工灌溉的空间数据浏览、图层管理、属性表查询、地图检索、统计、气象资料直方图等GIS功能的专业GIS软件(图2)。其特点:①友好中文界面的可视化软件,便于非GIS专业人员使用;②底层开发的专业软件系统,具有自主知识产权;③可以独立其它GIS软件和数据库软件运行和使用,低使用成本;④根据用户的实际需求开发相应的功能;⑤模块化设计,良好的可扩展性。系统由以下几大部分组成(图2):①菜单:是本系统所有功能和命令集中操作的地方;②工具栏:为对应菜单中最常用操作的快捷按钮集合;③视图:地图显示和控制的窗口;④控件栏:提供执行地图控制、表查询、空间检索和表统计等模块时用户输入参数的界面;⑤鹰眼:可以使用户方便地观察视图范围在整个研究区中的地理位置和范围;⑥比例尺:根据当前视图中地图的缩放情况动态显示比例尺大小;⑦目标提示栏:提供鼠标所在位置对应的选定图层中目标某一字段内容的动态标识显示功能;⑧状态栏:左边部分主要功能是简要解释被选中菜单命令或工具条按钮命令,并显示距离或面积测量的结果;右边部分动态显示视图中鼠标所在位置的经纬度坐标。除以上涉及的功能外,系统还提供输出与打印、距离和面积测量、气象直方图以及系统帮助等功能。

5 张掖渠道特征分析

张掖市、分县区和分灌区不同尺度上的渠道特征分别被统计(表1),主要统计了条数、总长度、密度和走向。本文计算渠道密度是以灌溉耕地(平原旱地)为参考的,即每单位灌溉耕地面积中的渠道长度,而胡晓莉^[4]等文中提到的渠道密度是以县区行

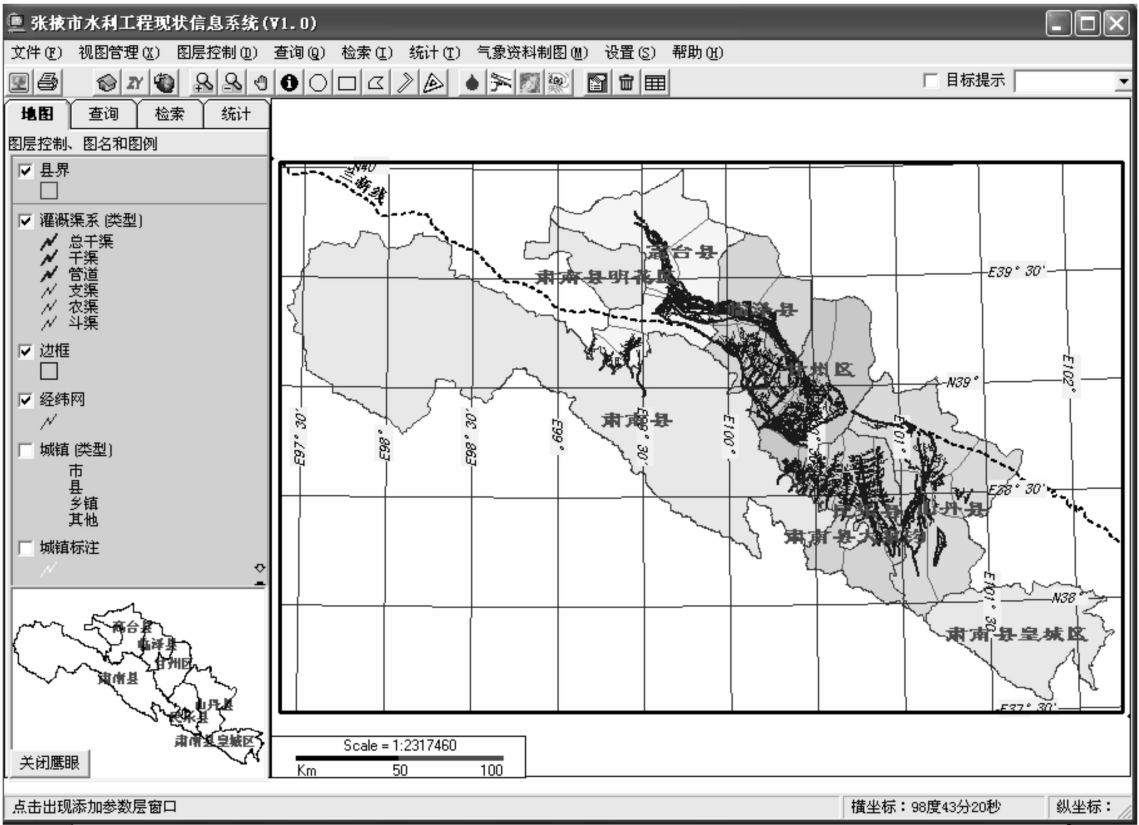


图 2 张掖市水利工程现状信息系统界面

Fig. 2 Interface of the information system of water conservancy projects for Zhangye City

政面积为参考的,由于山丹军马场大面积的耕地没有灌溉,民乐县山前也部分坡耕地没有灌溉,密度计算时这些耕地均被排除。此处详细介绍一下走向的计算方法。每一条渠道为一个线段,由 n 个拐点组成,相邻两个拐点之间组成一条直线,共有 $n-1$ 条直线。计算每一条直线和东西向水平线的夹角,并以

$$\text{Len}_i = \sqrt{(x_i - x_{i+1}) \times (x_i - x_{i+1}) + (y_i - y_{i+1}) \times (y_i - y_{i+1})} \tag{2}$$

其中: (x_i, y_i) 为第 i 个拐点的坐标值, (x_{i+1}, y_{i+1}) 为第 $i+1$ 个拐点的坐标值。当 $ZX = 0^\circ$ 时,表示该渠道为东西走向;当 $ZX = 90^\circ$ 时,表示该渠道为南北走向,当 $0^\circ < ZX < 45^\circ$ 或 $45^\circ < ZX < 90^\circ$ 时,表示渠道趋向于东西走向。由于渠道多数为垂直上一级渠道对称分布,如果按流向来计算角度,两条渠道的角度平均则等于上一级渠道的角度,无法代表其真实走向,所以公式(1)中分子部分取绝对值,表示只计算该渠道同东西向水平线的夹角,而不考虑流向。

5.1 全市尺度上的渠道特征

张掖市的干支斗渠的长度比为 0.43 : 0.49 : 1,干渠略少于支渠,斗渠约为支渠长度的两倍。全市平均的渠道密度为 2.7 km/km²。从渠道走向上

直线长度(Len_i)为权重,计算平均夹角,作为该渠道的走向值(ZX),公式如下:

$$ZX = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\text{Len}_i \times \text{Asin} \left(\frac{|y_i - y_{i+1}|}{\text{Len}_i} \right) \right)}{\sum_{i=1}^{n-1} \text{Len}_i} \tag{1}$$

看,干支斗渠的走向均接近于 45°,主要源于全市共计 6 000 多条渠道,两个走向的渠道都存在,平均后就接近于中值(45°)。

5.2 县区尺度上的渠道特征

在县区尺度看渠道长度,各县区的特征基本显现出来。民乐县和甘州区的干支斗长度比例近似,逐级增加,即干渠较少,支渠为干渠的 1.5~2.5 倍,斗渠为支渠的 2 倍左右。临泽县干支两级的长度接近,斗渠为支渠的 1.7 倍。高台县干渠多于支渠的数量,接近 2 倍,斗渠则相当于干渠的 3.7 倍,主要因为许多灌区没有支渠这一级渠道,斗渠直接从干渠上开口。山丹县干渠和斗渠长度近似,支渠则少于干渠的长度,表明该县的水利设施较为落后,支渠和斗渠建设相对落后。

表 1 张掖市分灌区渠道特征统计

Table 1 Channel statistics of each irrigation district in Zhangye City

市	县区	灌区	干渠			支渠			斗渠			干、支、斗渠 长度比	密度 (km/km ²)
			条数 (条)	长度 (km)	走向 (°)	条数 (条)	长度 (km)	走向 (°)	条数 (条)	长度 (km)	走向 (°)		
张掖市	山丹县	霍城	21	225.3	66.9	7	26.1	65.2	15	17.3	46.1	13.0 : 1.51 : 1	3.6
		老军	3	11.7	69.4	15	27.1	51.6	54	33.8	57.6	0.35 : 0.80 : 1	4.4
		马营河	13	155.5	48.9	32	201.9	54.6	242	287.4	43.2	0.54 : 0.70 : 1	2.1
		寺沟	2	3.4	64.8	9	25.7	56.4	57	45.3	47.4	0.08 : 0.57 : 1	4.8
		合计	39	395.9	60.8	63	280.7	55.3	368	383.8	46.1	1.03 : 0.73 : 1	2.6
	民乐县	大堵麻东干	2	26.4	65.6	21	62.2	29.6	108	119.3	71.9	0.22 : 0.52 : 1	2.2
		大堵麻西干	2	25.1	70.9	21	41.6	21.8	83	79.5	79.6	0.32 : 0.52 : 1	2.5
		海潮坝	5	38.1	68.1	36	82.3	24.5	130	138.9	70.8	0.27 : 0.59 : 1	2.6
		洪水河	3	70.7	66.4	42	137.4	21.7	307	426.7	75.9	0.17 : 0.32 : 1	4.0
		苏油口	3	20.9	47.9	29	22.8	52.2	94	66.7	40.5	0.31 : 0.34 : 1	2.2
		童子坝	9	122.7	60.4	77	139.0	33.1	217	243.7	72.5	0.50 : 0.57 : 1	2.5
		小堵麻	1	14.0	67.7	16	28.7	28.0	65	52.9	67.6	0.26 : 0.54 : 1	1.7
		义得	2	19.2	74.8	16	18.1	20.3	55	41.0	62.7	0.47 : 0.44 : 1	2.7
		合计	27	337.0	63.6	258	532.0	29.9	1 059	1 168.6	70.1	0.29 : 0.46 : 1	2.5
	甘州区	安阳	3	28.0	56.3	38	65.1	38.1	288	140.1	49.8	0.20 : 0.46 : 1	4.0
		大满	1	59.8	36.9	34	169.7	47.7	550	428.4	38.8	0.14 : 0.40 : 1	2.4
		甘浚	7	34.5	37.1	15	59.0	46.1	69	111.7	42.9	0.31 : 0.53 : 1	2.6
		花寨子	3	25.5	57.1	24	44.3	41.2	162	87.4	52.4	0.29 : 0.51 : 1	6.1
		上三	2	51.7	30.5	74	149.1	51.9	662	265.6	42.1	0.19 : 0.56 : 1	5.0
		乌江	11	73.6	62.5	43	149.8	57.9	114	124.8	40.4	0.59 : 1.20 : 1	2.0
		西干	3	33.2	49.5	28	114.7	54.9	192	233.1	44.6	0.14 : 0.49 : 1	1.8
		盈科	4	39.6	44.9	31	130.0	45.3	256	235.0	40.3	0.17 : 0.55 : 1	2.7
		合计	34	345.9	50.4	287	881.6	48.9	2 293	1 626.1	43.0	0.21 : 0.54 : 1	2.7
	临泽县	板桥	2	57.2	53.1	8	19.5	37.9	74	83.7	31.2	0.68 : 0.23 : 1	2.1
		蓼泉	2	35.2	26.3	11	22.6	62.3	22	22.6	65.7	1.56 : 1.00 : 1	1.6
		倪家营	1	11.8	60.4	17	30.2	28.4	88	72.6	51.9	0.16 : 0.42 : 1	4.3
		平川	4	70.0	34.2	9	16.5	71.5	68	78.9	63.0	0.89 : 0.21 : 1	2.6
		沙河	2	31.4	44.9	19	49.7	46.4	96	62.1	35.0	0.50 : 0.80 : 1	3.2
		小屯	3	16.4	54.0	7	36.4	47.1	47	77.1	51.6	0.21 : 0.47 : 1	2.3
		新华	1	25.0	58.1	22	106.3	67.0	154	99.4	35.7	0.25 : 1.07 : 1	3.2
		鸭暖	3	45.4	45.6	9	29.2	59.3	39	36.3	54.6	1.25 : 0.80 : 1	2.4
		合计	18	292.3	44.6	102	310.4	52.3	588	532.8	44.3	0.55 : 0.58 : 1	2.6
	高台县	大湖湾	8	80.0	52.1	7	21.1	48.2	105	91.1	39.4	0.88 : 0.23 : 1	4.1
		红崖子	7	27.7	66.1	29	50.5	43.4	189	120.8	49.4	0.23 : 0.42 : 1	4.8
		六坝	3	43.3	35.5	0	—	—	50	51.2	49.5	0.85 : 0.00 : 1	3.7
		罗城	12	96.7	55.0	3	9.0	54.0	71	47.8	44.9	2.02 : 0.19 : 1	4.4
		骆驼城	0	—	—	8	55.7	56.1	97	89.8	25.6	0.00 : 0.62 : 1	1.5
		三清	1	53.3	22.0	11	40.5	55.5	148	117.4	48.1	0.45 : 0.35 : 1	3.3
		新坝	4	55.3	66.2	14	50.2	36.9	128	117.2	68.6	0.47 : 0.43 : 1	4.5
		友联	4	130.6	25.8	0	—	—	219	214.3	61.7	0.61 : 0.00 : 1	3.7
		合计	39	486.9	52.2	72	226.9	46.0	1 007	849.5	50.7	0.57 : 0.27 : 1	3.5
合计		159	1 952.6	51.75	782	2 231.6	51.52	5 315	4 560.8	45.77	0.43 : 0.49 : 1	2.7	

从密度上看,高台县的密度明显高于张掖市平均水平,达到 3.5 km/km^2 ,源于高台的耕地分布相对松散,不连片。其它县区的密度则基本接近于张掖市平均水平,未表现出明显的尺度特征。从走向上看,民乐县能够表现出较为明显的特征,即干渠和斗渠以南北向为主,支渠则以东西向为主。其它县区只有山丹县干渠表现出以南北走向为主的特征。

5.3 灌区尺度上的渠道特征

在灌区尺度上,渠道特征差异更为明显。多数山前的灌区,老军、寺沟、大堵麻东干、大堵麻西干、洪水河、小堵麻、安阳、花寨子、上三、倪家营、红崖子和新坝,干支斗的长度比例是逐渐递增。除民乐县的灌区外其它灌区的密度均大大超过张掖市平均水平,这些灌区地下水位很深,机井灌溉很少,主要依靠灌溉供水,所以渠道比较发达。从走向上看,这些灌区均呈长条型分布,除上三呈东西走向,干渠多为东西向,支渠为南北向,斗渠为东西向,其它灌区则均为南北走向,所以其渠道走向刚好与上三的相反。

而分布在临泽县和高台县绿洲中间的部分灌区,板桥、廖泉、平川、鸭暖、大湖湾、六坝、罗城、三清和友联,其干渠数量均大于支渠的数量。临泽县的4个灌区则密度较小,均低于张掖市平均水平,源于临泽县耕地的分布相对集中,而且该区域地下水位较高,机井灌溉较为普遍。而高台的5个灌区的密度均大于张掖市平均水平,这几个灌区均呈长条型分布,耕地分布相对松散,不连片,所以大量的干渠分布到了耕地以外的荒漠戈壁上。从走向看,这些灌区均呈长条型分布,渠道的走向随灌区走向变化,而且斗渠都从干渠上开口的较多,从支渠上开口的也是支渠呈“T”字形,斗渠的走向仍然垂直干渠为主,所以斗渠和支渠的走向基本一致,而干渠的走向则相反。

分布在山丹县、甘州区和临泽县绿洲中间的部分灌区,马营河、大满、甘浚、乌江、西干、盈科、沙河、小屯和新华,干支斗的长度比例也是逐渐递增,渠道密度接近于张掖市平均水平。这些灌区多数不呈长条型分布,马营河和大满灌区走向有一个转折,所以其渠道走向变化较大,干支斗的走向平均水平均接近于 45° 。

霍城和骆驼城较为特别。霍城干支斗比例达到 $13.0:1.51:1$,干渠数量远远超过支渠和斗渠,干渠和支渠的渠道走向均以南北向为主,源于该灌区

的渠道多以河流为基础,其走向也就随河流走向变化。骆驼城灌区支渠均从西总干渠上开口,所以没有自己的干渠,由于该灌区是新开垦的灌区,渠道走向基本一致,支渠以南北向为主,斗渠以东西向为主。

6 系统应用

6.1 专题制图

在本研究生成的基础数据和专题数据的基础上,进行了系列图集的编制工作。编制了张掖市灌区水利工程现状图一张, $114 \times 150 \text{ cm}$ 的图幅。编制了张掖市和五县一区的水利工程现状图共计6张挂图一套, $70 \times 100 \text{ cm}$ 的图幅。编制了张掖市灌区水利工程图集一本, A2幅面,包括张掖市、四县一区和36个灌区共计42张地图。这些挂图和图集的编制为各级水务局和灌区水管所提供了很好管理平台和展示平台,也极大地促进了灌区信息化管理的进程。

6.2 系统扩展

在本研究开发的系统基础上,黑河流域甘临高地区水资源管理决策支持系统的研发工作已经启动,该系统将耦合上游来水预报模型、中游旱情预测和作物长势遥感反演模型、地表水模拟模型和地下水模拟模型等,实现灌溉管理和配水计划的决策支持,提高该地区水资源利用率,为甘临高地区注入信息化管理手段。同时,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所黑河流域生态经济研究小组也基于该系统做了进一步的研发工作,主要是增加了社会经济模块。

6.3 水文建模

黑河流域游张掖地区干支斗渠达6000多条,大部分水资源通过渠道被分散到农田、林地和草地中。灌溉机井达到近6000眼,开采量约 $3.0 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}^{[10]}$,接近灌溉用水总量的30%。在以往的水文模拟研究中,灌溉水和机井一般被简化,主要源于这些资料难于获取^[11]。但张掖市为干旱区内陆河流域典型的人工绿洲,其水资源消耗主要在渠道灌溉和机井灌溉,渠道灌溉导致水资源耗用和下渗被重新分布,地下水开采的增加必然导致地下水位的剧烈变化,要模拟地表水—地下水循环,必须考虑灌溉用水量。中国科学院寒区旱区环境与工程研究所创新项目“黑河流域交叉集成研究

的模型开发和模拟环境建设”开展的地下水模型研究,建立了灌溉—排水模型来反映大规模密集田间水利工程所起的作用(程国栋,李新,康尔泗等.黑河流域交叉集成研究的模型开发和模拟环境建设结题报告.兰州,2008. pp 87-126.)。本文所采集的灌溉渠系信息和机井信息为水文模型的建立提供重要的基础数据支持。

7 结 语

张掖市水利工程现状信息系统开发工作基本完成,成为全国流域尺度上最为全面的水利工程信息管理平台之一,本文详细介绍了数据采集的来源和过程,对数据的精度进行了简要评价,便于使用该系统或者数据的研究人员参考。该系统也已经得到广泛应用,制作了不同图幅的包含市、县区和灌区三级水利工程现状图的系列挂图和图集。在已有的信息系统基础上,进一步的研发工作已经开展,地下水和地表水的建模工作也广泛地应用到水库、渠道和机井等专题数据。

本文对张掖市渠道的特征做了进一步分析,分别从张掖市、县区和灌区3种不同的尺度上分析渠道的干支斗比例,并总结了其在灌溉耕地中的密度和走向等量化的特征,可以看出,渠道的分布存在较为明显的尺度效应。部分特征在市一级最大的尺度上显现不出来,而在县区一级能够显现出来,到灌区一级,更为细微的特征被显现。相反,部分特征在县区尺度能够显现,而下面的灌区却表现不出明显的特征。

致谢:张掖市水利工程现状信息系统的开发得到张掖市水务局、甘州区水务局、民乐县水务局、临泽县水务局、高台县水务局、山丹县水务局以及下辖的各水管所领导和相关工作人员的大力支持,生态环境数据由国家自然科学基金委员“中国西部环境与生态科学数据中心”提供,作者在此一并致谢!

参考文献:

- [1] Li Xin, Cheng Guodong, Ding Yongjian, *et al.* Design of Water Resource Information System of the Heihe River Basin, Northwest China[J]. Journal of Desert Research, 2000, 20(4): 378-382. [李新, 程国栋, 丁永建, 等. 黑河流域水资源信息系统设计[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 378-382.]
- [2] Guo Ni, Liang Yun, Wang Xiaoping. Remote Sensing Monitoring and Analysis on Effect of Environmental Recovery in Lower Reaches of Heihe River Due to Re-distributing Runoff[J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(6): 740-744. [郭妮, 梁芸, 王小平. 黑河调水对下游生态环境恢复效果的卫星遥感监测分析[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 740-744.]
- [3] Lu Mingfeng, Si Jianhua, Xiao Shengchun. Consideration of Ecological Economics on Water Resources Redistribution in Heihe River[J]. Journal of Desert Research, 2006, 26(4): 670-674. [陆明峰, 司建华, 肖生春. 黑河调水的生态经济思考[J]. 中国沙漠, 2006, 26(4): 670-674.]
- [4] Hu Xiaoli, Lu Ling, Ma Mingguo, *et al.* The Irrigation Channel System Mapping and Its Structure Analysis for the Zhange Oasis in the Middle Heihe River Basin[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(2): 208-213. [胡晓利, 卢玲, 马明国, 等. 黑河中游张掖绿洲灌溉渠系的数字化制图与结构分析[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(2): 208-213.]
- [5] Wang Jinye, Ma Yongjun, Jiang Zeping. Causes and Developmental Dynamic of Land Desertification in Zhanye, Gansu Province[J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(3): 427-432. [王金叶, 马永俊, 江泽平. 甘肃省张掖市土地荒漠化发展动态及成因探析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(3): 427-432.]
- [6] Liu Jiuyan, Liu Mingliang, Deng Xiangzheng, *et al.* The Land-use and Land-cover Change Database and Its Relative Studies in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2002, 12(3): 275-282.
- [7] Hou Xueyu. The Vegetation Atlas of China [M]. Beijing: Science Press, 2001. [侯学煜. 1:1 000 000 中国植被图集[M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- [8] Ma Mingguo, Zhang Xiaorong. Applications of the GIS Technologies in the Physico-geographic Regionalization of Gansu Provincial Highway[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(3): 232-237. [马明国, 张小荣. GIS在甘肃省公路自然区划研究中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(3): 232-237.]
- [9] Zhang Dingxiang, Pan Xianzhang, Shi Xuezheng, *et al.* Several Remarks on Construction of Chinese Soil Database at the Scale of 1:1M[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(2): 81-84. [张定祥, 潘贤章, 史学正, 等. 中国1:100万土壤数据库建设中的几个问题[J]. 土壤通报, 2003, 34(2): 81-84.]
- [10] Zhang Guanghui, Nie Zhenglong, Liu Shaoyu, *et al.* Threshold of Influence of Water Resources in the Heihe River Valley, Northwestern Gansu, China on the Ecological Environment Variation of the Lower Reaches[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(1-2): 244-250. [张光辉, 聂振龙, 刘少玉, 等. 甘肃西北部黑河流域水资源对下游生态环境变化的影响阈值[J]. 地质通报, 2006, 25(1-2): 244-250.]
- [11] Li Aijun, Yan Chengyun. Analysis on the Groundwater Resources Recharge after the Water-saving Works Executed in Heihe Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(7): 101-105. [李爱军, 闫成云. 黑河流域节水工程实施对地下水补给资源影响变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(7): 101-105.]

Development and Application on the Information System of Water Conservancy Project Statues for Zhangye City

MA Ming-guo¹, HU Xiao-li¹, SONG Yi¹, LIU Xiao-jun¹, XU Guang-jie¹

(1. *Laboratory of Remote Sensing and Geospatial Science, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*
2. *Zhangye Water Conservancy Bureau, Zhangye 734000, China*)

Abstract: The Information System of Water Conservancy Project Statues for Zhangye City (ISWCPZY) was developed based on the remotely sensed image interpretation and in-situ Global Position System (GPS) measurement, which were used to collect the geographic spatial data of the water conservancy project statues. The linked attribute data were provided and collected by the Zhangye Water Conservancy Bureau and its subordinate water management stations. The correlative thematic and background information were also collected. The data of the water conservancy project include 159 main canals, 782 branch canals, 5 315 lateral canals, 6 228 pumping wells and 43 reservoirs. The total length of the canals is 8 745. 0km. The data collection procedure is introduced in detail and the data quality of the water conservancy project is evaluated preliminarily in this paper, which would afford important reference for the data users. The ISWCPZY was developed by using Components GIS technologies and based on these data resources. The ISWCPZY, as one of the most integrated information management platforms of water conservancy project, has been widely used in the thematic atlas compilation, decision-making supporting system development, social and economical module development, hydrological model construction, and so on. The canal, as the key information in the ISWCPZY, was analysed on the length ratio of different classes of canals, density, and direction. The results elicit obvious scale effects among the Zhangye City level, county or district level, and water management station level.

Key words: Water conservancy project; Geographic information system; Zhangye City; Heihe River Basin; Arid region