

清末民国新疆农田水利建设成果 可视化及分析(1909—1935)*

苏绕绕 潘 威

内容提要:对清末民国新疆农田水利建设成果的可视化及分析,是了解和衡量新疆水利近代化的重要途径。本文在地理信息系统(GIS)和 Origin 等软件环境中基于地方志书、档案文书、老旧地图及调查报告等多种材料,利用空间分析、可视化等方法重建了晚清民国时段新疆的地表各灌溉指标。同时,尝试基于清末和民国时期的调查和测量数据,重建清末民初地表灌渠的引水规模。结合渠道工程参数、人口和灌溉面积等社会经济参数,对清末民国新疆地区地表灌溉效率进行估算。最后,基于重建结果对晚清民国新疆水利近代化这一问题展开分析。

关键词:近代新疆 农田水利 空间分析 灌溉效率 水利近代化

新疆地处西北内陆干旱区,水利灌溉是社会生产生活的基础,在边防巩固、社会稳定、经济发展、民族和谐等众多方面具有重要作用。晚清以来,新疆地方政府借助水利建设与农业经济、政区设置、地方社会管理等方面结合,将其纳入近代化进程。具体表现为新疆建省(1884年)以来政府力量不断深入地方水利事务。这一时期开创了近代新疆水利建设的第一个高潮。事实上,近代新疆水利建设发展也同农垦进程息息相关,其开发主要集中于晚清建省(1880—1910年)、杨增新(1912—1928年)和盛世才统治时期(1933—1943年)三个阶段。^①

关于新疆水利问题的研究,自20世纪30年代兴起至今,学界在水利技术、开垦政策、水利社会、边疆经济、生态和环境等方面有诸多成果,^②但多侧重对局部地区的研究,或限于水利社会、屯垦经济等方面的探讨。对于从新疆整体尺度衡量其水利成果的研究比较薄弱。此外,时段上对清末民初缺少关注。如谢丽对晚清民国时期南疆农垦的研究中,1910—1920年的论述就相对较少。^③已有对杨增新经济思想、经济政策的研究揭示了其具有“自养、治生”的特征,^④这一思想也深刻影响了其执政时期的农田水利政策,但大多数研究集中于讨论杨增新的农业指导思想,难以观察到政策落实

[作者简介] 苏绕绕,中国人民大学历史学院博士研究生,北京,100872,邮箱:raosu@ruc.edu.cn。潘威,云南大学“数字人文”史学应用研究中心副教授,昆明,650032,邮箱:panwei@ynu.edu.cn。

* 本文为国家社科基金重大项目“清朝西北边疆略史”(批准号:20&ZD230)和教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“中国西北地区发展的历史经验研究”(批准号:17JJD770012)阶段性成果之一;中国人民大学2021年度拔尖创新人才培育资助计划成果。

① 华立:《清代新疆农业开发史》,黑龙江教育出版社1998年版;陈慧生、陈超:《民国新疆史》,新疆人民出版社2007年版;姜刚:《军阀时代——清末民国新疆的政治变迁》,博士学位论文,兰州大学,2011年。

② 曾问吾:《中国经营西域史》,商务印书馆1936年版;黄盛璋:《新疆水利技术的传播和发展》,《农业考古》1984年第1期;方英楷:《新疆屯垦史》,新疆青少年出版社1989年版;王希隆:《清代西北屯田研究》,兰州大学出版社1990年版;华立:《清代新疆农业开发史》,黑龙江教育出版社1998年版;蔡家艺:《清代新疆社会经济史纲》,人民出版社2006年版;张安福:《清代以来新疆屯垦与国家安全研究》,中国农业出版社2011年版;咸成海:《清代新疆水利史研究综述》,《历史档案》2019年第3期。

③ 谢丽:《清代至民国时期农业开发对塔里木盆地南缘生态环境的影响》,上海人民出版社2008年版。

④ 段金生:《论杨增新的经济思想》,《新疆大学学报(哲学·人文社会科学版)》2009年第4期。

的具体情况。^① GIS技术的引入可以为衡量或解释这一问题提供有效帮助。杨增新治疆时期推行的水利建设活动在新疆水利近代化进程中具有承前启后性。此外,晚清民国时期的水利近代化进程总体比较缓慢,基于重要时段的个案研究对于把握整体特征可行性较强。

一、晚清及民国时期水利近代化概述

新疆建省后至1949年,水利近代化体现在国家(即中央和新疆地方政府)对水利事务控制的增强、水利组织管理制度化和水利技术提升这三方面。早在清政府收复新疆过程中,左宗棠、刘锦棠就把“兴水利以除民患”作为“最为切要之务”之一,^②在南北疆兴修渠道、与民招垦、开展水利建设。至迟到宣统年间,覆盖全疆的灌溉体系已经基本形成。^③这一时期的水利建设具有防营独办、兵民合办、以工代赈以及官贷民办等形式特点。^④

民国初年杨增新主政期间,外有沙俄、英国势力的威胁,内有新疆省内战乱和内地军阀混战,在中央政府无力给予财政支持的情况下,开荒兴垦、兴修水利是其增加赋税收入及开源节流的重要内容。^⑤《补过斋文牍》中所载杨增新关于招垦修渠的训令和所附呈报共100余条,其空间范围几乎覆盖了全疆(见图1)。^⑥杨增新制订了“北疆入手、渐及南疆”方案,同时设置水利委员会进行指导,对知县等基层官员进行考核。修渠以财政拨款、民间筹备经费、官民合办及官员私人垫资等形式进行,详见表1。^⑦据记载,清末和1931年以前,渠道数量分别为3272和3276条,而对应的灌溉亩数为10928194.49和11190621亩。^⑧

民国中后期,政府将水利逐渐纳入治理体系之中,如盛世才时期红雁池等水库的修建,伊犁皇渠的改造,以及对渠道闸坝等水利设施进行改进,加大专门水利人才培养,聘用苏联技术专家等方面。这一时期在水利资金、管理、专业技术和人才等方面取得了较大成就。^⑨

表1 民国初年受杨增新褒奖的地方官水利和农垦等相关功绩汇总

官员姓名	开渠等水利功绩	处理土地情况	安置户数
莎车县知事刘人侠	“修新刘大渠1道,长计260余里。枝渠计19道,洩水渠2道,退潮碱水渠4道。至长在70里,至短在15里”	“已丈放荒地106100余亩”	4220户
绥定县知事李荣	“组织水利、消防尤见周详”		
奇台县知事郑有叙		“查报隐粮”	
阿克苏知事金树仁	“开县属阿瓦提新渠1道”	“计放荒地101000余亩”,(安置民众)“共领过荒地78146亩6分,尚有荒地23000余亩随时待领。其已领之地限至三年一律可以升科”	1275户

① 彭武麟:《评杨增新主政新疆17年》,《近代史研究》1989年第2期;嵇雷:《民国前期新疆治理研究(1912—1933)》,博士学位论文,新疆大学,2004年;刘少虎、李鹏:《杨增新时期新疆屯垦与西北边疆安全研究》,《陕西行政学院学报》2010年第2期;葛浩:《修渠与招垦:治术、策略及其实践——兼论民国初年杨增新治理新疆之道》,《新疆大学学报(哲学·人文社会科学版)》2011年第2期。

② 刘锦棠:《刘襄勤公(毅斋)奏稿》卷2《新疆南路西四城兴修各工完竣并筹办应修各工折》,沈云龙主编:《近代中国史料丛刊》第24辑,文海出版社1973年影印版,第259页。

③ 华立:《清代新疆农业开发史》,黑龙江教育出版社1998年版,第253页。

④ 刘永强:《论左宗棠在晚清新疆水利开发中的作用》,《学术交流》2009年第9期。

⑤ 武明明:《民国时期新疆水利发展研究》,硕士学位论文,新疆大学,2014年,第14页。

⑥ 杨增新:《补过斋文牍》,李毓澍主编:《中国边疆丛书》第1辑,文海出版社1965年影印版,第897—1184页。

⑦ 葛浩:《修渠与招垦:治术、策略及其实践——兼论民国初年杨增新治理新疆之道》,《新疆大学学报(哲学·人文社会科学版)》2011年第2期;张艾云、王玉林:《杨增新时期新疆南疆水利建设》,《新疆大学学报(哲学·人文社会科学版)》2021年第2期。

⑧ 袁大化修,王树枏等纂:《新疆图志》,李毓澍主编:《中国边疆丛书》第1辑,第2711—2981页;扬海:《新疆的农业》,《边疆》第2卷第11期(1937年)。

⑨ 武明明:《民国时期新疆水利发展研究》,第18—25页;武明明、姚勇:《盛世才执政时期新疆农田水利发展初探》,《西域研究》2015年第1期。

续表 1

官员姓名	开渠等水利功绩	处理土地情况	安置户数
洛浦县知事桂芬	“于塔瓦克明庄旧渠加宽 1 弓,长 6 里有奇,接开新渠宽 3 弓长 9 里有奇,丈分荒地 5238 亩 5 厘;又于巷沟牙庄渠尾接开新渠 1 道,宽 5 弓长 4 里有奇,另开干渠 1 道,宽 4 弓,长 11 里有奇。丈分荒地 800 亩。又于科科买提等庄加挖旧渠……”	“于科科买提等庄加挖旧渠丈分荒地 800 亩”。“于阿瓦提吉良等庄查报民隐地 2316 亩 5 分 9 厘。塔瓦克明各庄查出民隐金银课地 2143 亩 9 分”	
鄯善县知事张銜耀	“开挖县属七角井官坎 1 道”	“垦地 420 亩”	7 户
	“开连木沁官坎 2 道”	“共垦地 3691 亩 2 分”	61 户
	“开挖连二工民坎 2 道”	“垦地 2310 亩”	
巴楚县知事卢殿魁	“在县属胡热木地方筑堤 1 道,长 60 丈”		
	“又于玉河开新干渠 1 道,长 5 里有奇,枝渠 3 道各长 1 里有奇。拨水坝 1 道,长 30 丈,卫堤 1 道,长 30 丈”		
	“夏和尔地方开挖南北渠各 1 道,南渠长 7—8 里,宽 1 丈 2 尺,深 6 尺。北渠长 20 余里。宽 1 丈 5 尺,深 9 尺”	“丈放中下荒地 13814 亩”	250 户
沙雅知事鲁效祖	“由渭干河开渠 1 道,长 59 里,宽 1 丈 5 尺,深 1 丈,枝渠 4 道,各长 7—8 里不等”	“共计垦中地 2250 亩,下地 10144 亩”	
	“又于衣里克庄督伤户民开干渠 1 道”		
乌苏县知事崇本, 乌苏营游击李福兴	“开挖县属车排子三十户渠 1 道”	“垦辟荒地 6880 亩”	86 户
轮台县知事郑潢	“开挖县属新丰大渠 1 道,长 8 里有奇,深 1 丈 9 尺,宽 5 尺,枝渠 8 道,长 30—40 里不等,宽 4—5 尺,深 5—6 尺不等”	“共垦荒地 7285 亩 7 分 3 厘 3 毫”	294 户
且未知事龙协麟	“英尔斯塘开干渠 1 道,长 140 余里,宽 1 丈有奇,深 2—3 尺不等”		
	“又于傍卡墙大河开新渠 2 道,长均 16—7 里,宽均 4—5 尺不等”	“丈放荒地 25000 亩”	400 余户

资料来源:引自杨增新的《补过斋文牍》(李毓澍主编《中国边疆丛书》第 1 辑,第 1167—1178 页)。

说明:本表参考了张艾云、王玉林对杨增新奖励新疆官员水利政绩的总结,见张艾云、王玉林《杨增新时期新疆南疆水利建设》[《新疆大学学报(哲学·人文社会科学版)》2021 年第 2 期]一文。此外,《新疆第一、第二两期水利工程成绩表》亦有相关内容介绍,该表见新疆水利委员会所编《新疆水利会第二期报告书》卷 1。

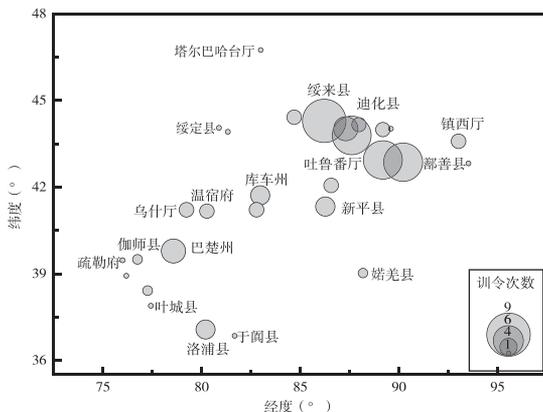


图 1 杨增新时期关于水利建设训令的空间分布

资料来源:杨增新《补过斋文牍》(李毓澍主编《中国边疆丛书》第 1 辑,第 897—1184 页);底图据中国历史地理信息系统(CHGIS V6)1911 年图层数据,http://sites.fas.harvard.edu/~chgis/data/chgis/v6/,最近访问时间:2021 年 12 月 1 日。同时政区参考 1909 年《新疆全省舆地图》(东方学会甲子重印本)记载。图 3、图 5 与图 6 中地图底图来源一致,不再一一标注。

说明:CHGISV6 底图无柯坪分县和呼图壁县。《中国行政区划通史·清代卷》载,柯坪分县是光绪二十八年(1902)置温宿县时所置的分县,宣统三年(1911)改隶温宿府,故将柯坪分县数据归于温宿府中。呼图壁县为光绪二十八年由巡检改为县丞,是为呼图壁分县,属昌吉县,故将呼图壁县数据归于昌吉县。图 3、图 5 与图 6 中地图一并如此处理,不再一一标注。参见傅林祥等:《中国行政区划通史·清代卷》,复旦大学出版社 2013 年版,第 422、418 页。

二、晚清民国新疆地表灌渠数据集重建

(一) 数据集材料及特点

本数据集所使用的地表灌渠的材料需要具有全面与系统性的特点,研究时段内新疆存留的水利史料可分为地方志、地方档案、调查报告和地图等。^①以《新疆图志·沟渠》(以下简称“《沟渠》”)载渠道最为详细和完整,囊括了名称、方位、分水位置、长度、灌溉面积等内容,能反映20世纪初新疆整体的地表灌溉格局。^②

已有研究指出《新疆图志》注有“调查表”且稿本里提到部分地方“覆文均未到”,《新疆图志补编》中有开垦及沟渠等数据记录,说明这些内容来源于调查或上报。^③另外,《沟渠》中各地渠道记载体例具有一致性,如前文罗列的各类信息。说明《沟渠》的形成来自于统一的系统性资料。^④

此外,渠道与聚落联系紧密,老灌渠多以所在聚落命名。因而本文选择在晚清民国诸多新疆地图中最具代表性的宣统元年《新疆全省舆地图》、1935年陆地测量总局所编绘的一套三十万分之一地形图(后文简称“民国地形图”),利用数字化方法,提取其中聚落和渠系。^⑤

(二) 基于成本路径的灌渠路径复原

基于GIS的空间分析在考古学等领域已被广泛运用,如对古代道路的复原。^⑥历史时期所修的灌渠主要受制于自然条件,因而可将地貌、分水位置和渠道起始点及聚落作为主要参数,使用成本路径手段予以重建。在此以阜康县“商户沟渠”为例进行说明。据《沟渠》记载,商户沟渠在城东85里,长度40里,引柏杨河雪水,故将引水点定位在白杨河出山口。^⑦结合实地考察与地图判读,商户沟渠先后经过商户沟、淤泥泉、东西泉附近。在DEM中生成坡度、地表起伏度和坡向数据,并重分类和加权后,创建带有成本方向和路径的栅格数据并进行计算,得到最低成本路径(见图2b)。重建长度为26.47公里,根据记载的渠道长度和形态检验结果。经过长度比较,两者差距3.43公里(表2),图像显示两者走向和形态基本一致(见图2)。考虑到灌渠弯曲、起始位置和投影、编绘误差等诸多因素会对结果造成影响,这一重建结果可以接受。^⑧

① 包括地方志,如《西域图志》《新疆识略》《西域水道记》《新疆乡土志稿》《新疆图志》。奏稿和档案资料,如中国边疆史地研究中心,新疆维吾尔自治区档案局合编:《清代新疆档案选辑》,广西师范大学出版社2012年版;新疆维吾尔自治区档案局(馆)编:《清代新疆屯垦档案史料选辑》,新疆文化出版社2017年版;中国科学院地理科学与资源研究所、中国第一历史档案馆:《清代奏折汇编——农业·环境》,商务印书馆2005年版;谢丽、杨方正编:《和田地区民国时期绿洲农业与生态环境档案选辑》,新疆人民出版社2011年版。各类调查报告,如新疆水利委员会编:《新疆水利会第一期报告书》和《新疆水利会第二期报告书》,北京华国书局民国七年(1918)石印本;倪超:《新疆之水利》,商务印书馆1948年版。文集,如《补过斋文牍》等。

② 《沟渠》所记载的各渠道中,以建于光绪三十四年的巴楚州普润渠最晚。参见袁大化修,王树枏等纂:《新疆图志》,李毓澍主编:《中国边疆丛书》第1辑,第2972页。

③ 史明文:《〈新疆图志〉版本研究》,博士学位论文,中央民族大学,2011年,第44页。

④ 苏绕绕:《20世纪初新疆地表灌溉渠系数据集重建与个案研究》,硕士学位论文,陕西师范大学,2019年,第13页。

⑤ “国军”参谋本部陆地测量总局:《新疆省三十万分之一地形图》,民国二十四年编绘,“中央研究院”近代史研究所藏。

⑥ 相关研究参见张海:《GIS与考古学空间分析》,北京大学出版社2014年版,第198—224页;Verbrugge G, De Clercq W and Van Eetvelde V, “Routes across the Civitas Menapiorum: Using Least Cost Paths and GIS to Locate the Roman Roads of Sandy Flanders,” *Journal of Historical Geography*, Vol. 57, No. 3 (July 2017), pp. 76–88;曹迎春、张玉坤、张昊雁:《基于GIS的明代长城边防图集地图道路复原——以大同镇为例》,《河北农业大学学报》2014年第2期。

⑦ 袁大化修,王树枏等纂:《新疆图志》,《中国边疆丛书》第1辑,第2749页。

⑧ 苏绕绕:《20世纪初新疆地表灌溉渠系数据集重建与个案研究》,第57页。

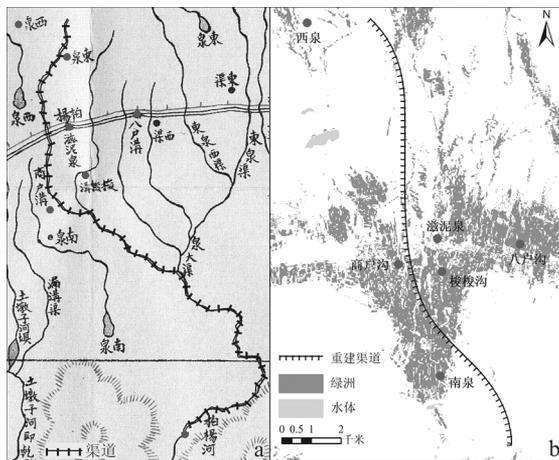


图2 《新疆全省舆地图》中(a)与依据成本路径构建的商户沟渠(b)形态对比

资料来源:《新疆图志》附《新疆全省舆地图》;数据来源为地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>);Landsat 全球合成数据(1999—2003),ASTER GDEM 30M 分辨率数字高程数据。据苏绕绕《20世纪初新疆地表灌溉渠系数据集重建与个案研究》,第57、58页,图4—1改绘。

表2

重建渠道信息及对比

单位:公里

渠道名称	起点	聚落	终点	原始长度	重建长度
商户沟渠	柏杨河出山口	商户沟、紫泥泉、东泉	东泉附近	23.04	26.47

资料来源:商户沟渠始点、终点和经过聚落来源于《新疆全省舆地图》,原始长度数据来源于《沟渠》。据苏绕绕《20世纪初新疆地表灌溉渠系数据集重建与个案研究》,第59—60页,表4—1。

(三)数据集的构建

本数据集包括《沟渠》及部分晚清民国文献提取的新疆各区域渠道属性。其中部分渠道带有空间属性,分别以点和线两种格式管理和存储。以点格式存储的渠道和经《新疆全省舆地图》数字化后所提取的所在聚落连接,并参照现代地名信息产生,只包括干渠级别。线属性的渠道数据根据《新疆全省舆地图》数字化后及基于成本路径重建的矢量数据存储表达。此外,经过考订,以渠道与聚落共有名称实现两者位置、走向等信息关联。最后,对以上数据进行编码并分类实现数据融合(表3)。^①

表3

数据集分类与基本结构

名称	分类编码依据	等级分类	空间数据类型
20世纪初新疆地表渠系数据集	政区和渠道属性	干渠	点要素、线要素
		支渠	线要素

三、清末民初新疆地表灌溉格局及灌溉效率

(一)灌溉格局可视化

根据史料在 Origin 平台将灌渠信息、人口和聚落数量、升科垦田数可视化显示,见图3。

各指标总体呈东北—西南差异的分布格局。代表灌溉格局的工程指标如渠道长度、宽度、灌溉面积同社会经济指标,如升科垦田数、聚落数量、人口数量分布格局基本一致。各指标自身区域内部差异都比较明显。低值区和高值区大致以塔尔巴哈台—赭羌一线为界呈东北—西南差异分布。这些差异与水系地貌,土地利用与气候等自然因素,水利近代化、水利建设基础与区域经济结构等人文因素相关。水系地貌方面,由于南疆塔里木河纵贯东西,沿河各支流形成规模较大的绿洲。北疆除伊犁河谷地外,多形成自南至北消失于沙漠的短小径流,沿河流分布的绿洲面积较小。这一差异是

① 苏绕绕:《20世纪初新疆地表灌溉渠系数据集重建与个案研究》,第17—19页。

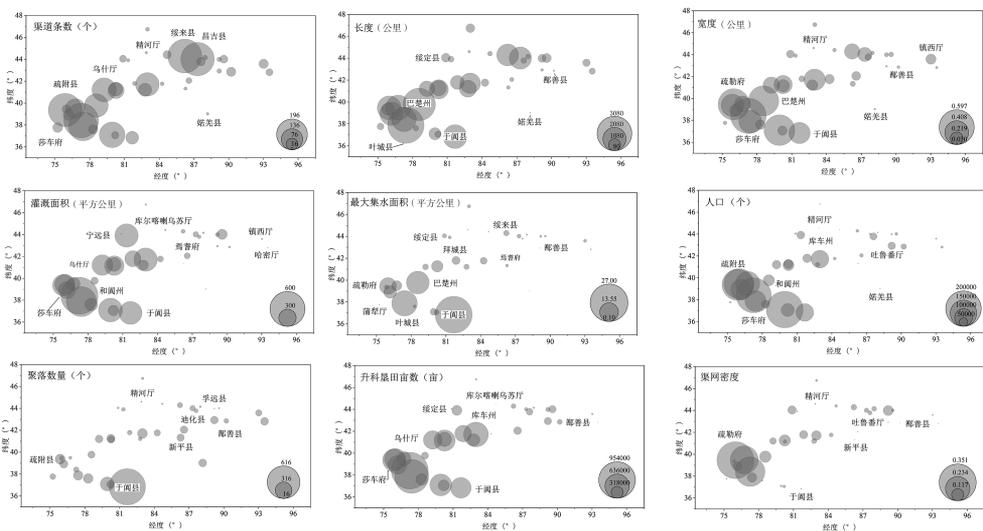


图3 近代新疆灌溉指标及社会经济因子

资料来源:灌溉指标及社会经济因子据袁大化修,王树枏等纂《新疆图志》。渠道数量、长度、宽度、灌溉面积据《新疆图志》卷73《沟渠一》至卷78《沟渠六》,第2711—2981页;人口数量据《新疆图志》卷1《建置一》,第36—41页,卷43《民政四》、卷44《民政五》,第1587—1642页,同时结合陈延琪修正后数据;聚落数量据民国地形图;升科垦田数据《新疆图志》卷65《土壤一》、卷66《土壤二》,第2403—2458页。

说明:人口数据因《新疆图志》中《建置》及《民政》部分内容存在出入,参考陈延琪《〈新疆图志〉人口统计数的疑点》(《新疆地方志》1990年第2期)修正后数据。

由塔里木盆地和准噶尔盆地地貌差异决定的。^①进而影响了南北疆居民的生产生活方式,“天山南路沙漠水草田自古为农业繁盛之区。山北水草优美,从来以牧为生,间亦开渠种田”。^②土地利用方面,以镇西(今巴里坤自治县)为例,本地的草场占绝大多数,属于典型的牧业区,农业灌溉比例小。气候方面,由于吐哈盆地干燥且蒸发量大,地表灌溉并不发达,多仰仗以坎儿井为主的地下水,因此地表水、渠网密度等指数较低。

水利近代化方面,民国初年遍及全疆的水利近代化过程,由于传统水利管理难以与近代管理机构有效对接,致使“旗屯水利瓦解”,影响了灌溉与区域社会发展指标,以伊犁地区最具代表性。^③水利建设基础方面,建省后天山北路农业恢复与建设落后于南路。^④区域经济结构主要表现在农牧业比重上,以镇西、塔城和蒲犁(今塔什库尔干塔吉克自治县)等地为代表。

(二) 地表灌溉引水规模的估算

对历史时期引水规模的度量可以通过对土渠实测和水文记录来弥补。前一方法对于新疆全域的重建较难实现,因而水文记录成为较理想的指标。倪超《新疆之水利》^⑤中灌渠资料(以下简称“倪超记录”)与《叶尔羌河流域水利志》^⑥中记录(以下简称“叶尔羌点”)有当时渠道及相关河流引水量参数。倪超于1944年6至11月先后调查了北疆的乌鲁木齐、沙湾、伊犁,南疆的库尔勒、焉耆、尉犁和吐鲁番,记录了当地的水利状况及渠道具体参数,共计渠道93条。《叶尔羌河流域水利志》有叶城县20世纪初渠道的引水量,将这些记录渠道与数据集中渠道一一对应,共得到17条对应渠道。

正态检验表明,取对数后叶尔羌点数据呈正态分布,倪超记录并不满足,这可能与其调查的区域及记

① 中国科学院新疆综合考察队等编著:《新疆地貌》,科学出版社1978版,第120—136页。

② 曾问吾:《中国经营西域史》,第647页。

③ 潘威:《清代民国时期伊犁锡伯旗屯水利社会的形成与瓦解》,《西域研究》2020年第3期。

④ 咸成海:《清代新疆水利开发研究》,博士学位论文,新疆师范大学,2019年。

⑤ 倪超:《新疆之水利》,第91—156页。

⑥ 《叶尔羌河流域水利志》编纂委员会编:《叶尔羌河流域水利志》,新疆人民出版社2009年版,第385—386页。

录的渠道属性有关。将两类记录进行非参数 KS 检验(KolmogorovSmirnov test),显示两类引水量记录存在显著不同($P < 0.05$),说明了两样本的独立性。进而可以通过对各灌溉指标同引水量的关系衡量,据此利用合适的灌溉指标反推区域的引水规模。结果表明(图4),倪超记录的灌溉面积与引水量高度且显著相关($r^2 = 0.995, p < 0.05$)。叶尔羌点引水量与数据集中渠道宽度呈高度且显著相关($r^2 = 0.999, p < 0.05$)。

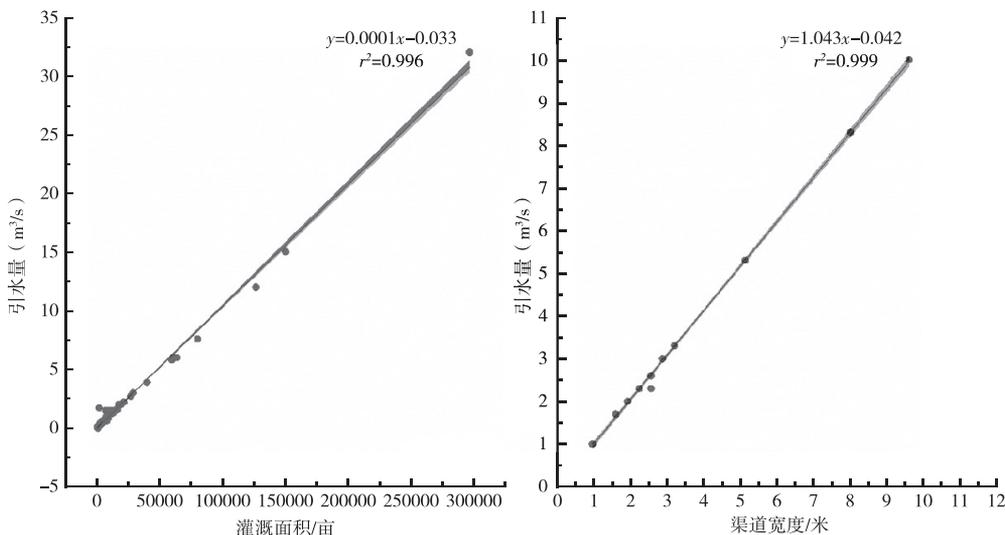


图4 基于记载的1944年,清末叶城县及渠道引水量与灌溉面积、宽度的拟合

资料来源:左图根据倪超《新疆之水利》,第91—156页;右图根据《叶尔羌河流域水利志》编纂委员会编《叶尔羌河流域水利志》,第385—386页。

两份数据差异的原因可能受制于自然条件和灌溉技术。自然条件方面,叶城所在的南疆属于温带大陆干旱气候,渠道受制因子较为单一。北疆属于温带大陆性干旱半干旱气候,北疆的多样性气候类型可能使引水量与渠道工程参数关系不确定性较大。土渠引水规模稳定也是据此方法重建引水规模的优势之一。沙湾县1941年开置的新盛渠,是“现代水利工程之开始”,“但拦河坝系树枝包土筑成,进水口未设置闸门,工程过于简陋”。^①可见晚清民国时新疆地表灌溉渠道以土渠为主,技术进步较小,能在一定程度上避免因区域水利技术不同所引起的“噪声”。

此外,需要考虑渠道受扰动及灌溉空间异质性。在样本数量较大的情况下,前者可忽略,后者满足正态分布,且在南疆地区的自然条件下具有广泛代表性。

表4 宽度和灌溉面积的全局空间自相关

因子	莫兰指数(Moran's I)	Z值
宽度	0.505105	6.414711
灌溉面积	0.416722	5.332544

资料来源:宽度和灌溉面积来源于袁大化修,王树桢等纂《新疆图志》卷73《沟渠一》至卷78《沟渠六》,第2711—2981页。

说明:通过空间自相关分析, $P < 0.01$ 。

因而,依据面积的重建结果在北疆及吐哈盆地较合适,依据宽度的重建结果在以叶尔羌点为代表的南疆较合适。据GIS聚类及分组分析结果看,这一判断也较可靠,在宁远县、拜城和库车等分组边缘存在差异(图5a—图5f)。进而我们分别将渠道宽度和灌溉面积分别代入拟合方程中,经过标准化处理得到两组引水规模数据(图5g和图5h)。

由图5可知,依据两个独立样本所重建的引水规模趋势大体一致。但在北疆及吐哈盆地如镇西、哈密、吐鲁番、绥来、奇台和昌吉,南疆的温宿县、温宿府、巴楚和拜城等地存在差异。以上区域具

① 倪超:《新疆之水利》,第126页。

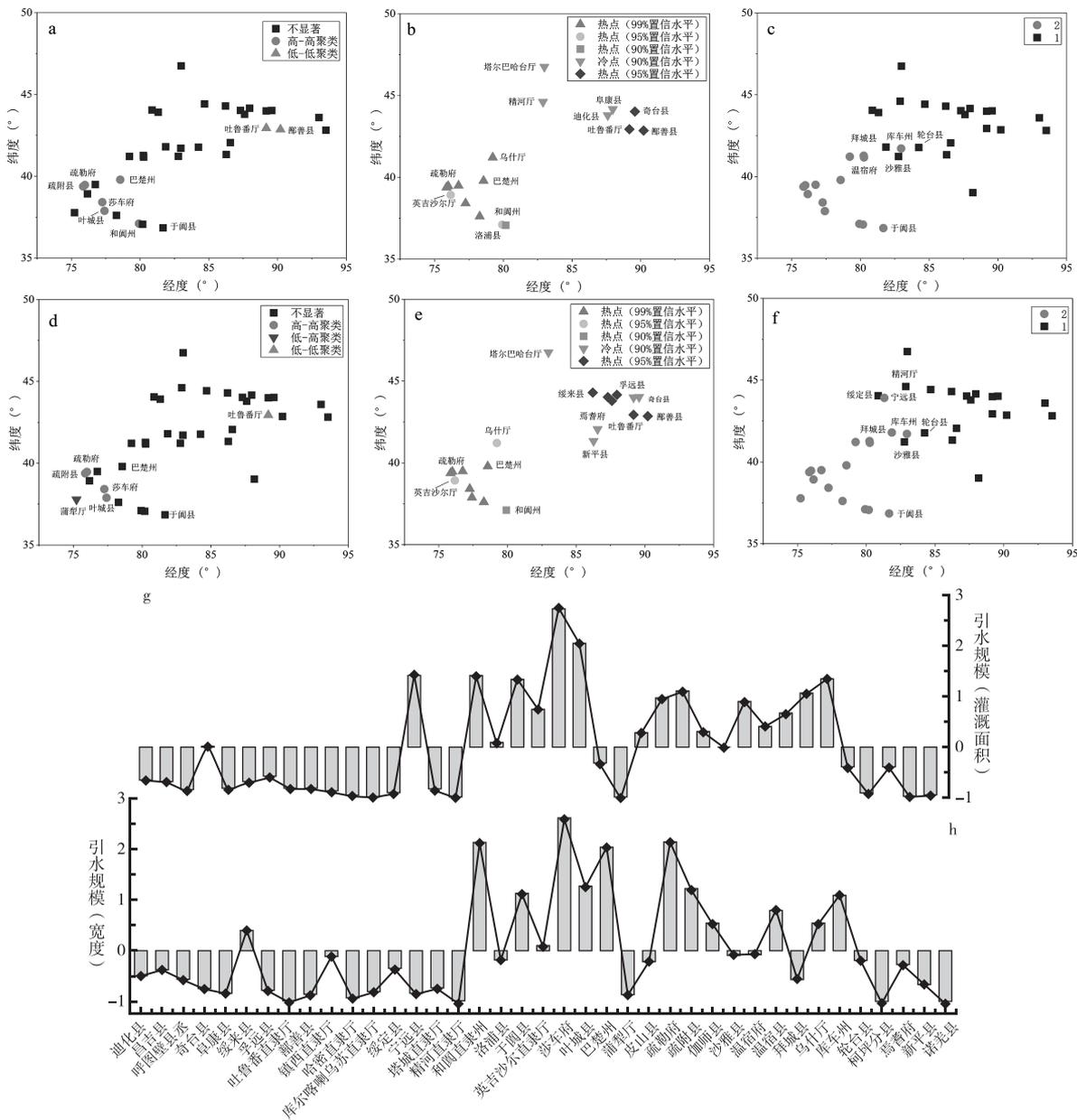


图5 不同样本中引水量影响因素的空间分析与估算的引水规模

说明:上图依次为渠道宽度的聚类 and 异常值分析 (Anselin Local Moran's I) (a), 高/低聚类 (GetisOrd General G) (b) 和分组分析 (Grouping Analysis) (c); 灌溉的面积聚类和异常值分析 (d), 高/低聚类 (e) 和分组分析 (f); 基于倪超 (g) 及叶城 (h) 的新疆地区晚清民国时期各地引水规模估算。

有一定空间聚集性,如主要集中于吐鲁番盆地、拜城及阿克苏绿洲。结合表4和图5,将上述引水规模差异较大的区域分为两类。第一类如拜城、温宿地区,除巴楚外,宽度与灌溉面积在局部空间自相关与热点区域都不显著,而在分组分析中,处于组的边缘。“边缘效应”可能是上述差异的原因之一。第二类吐鲁番盆地和北疆的昌吉、绥来在热点分析与分组分析中聚类特征明显。吐鲁番盆地的坎儿井广布,地下水利用特征明显,是灌溉的主体之一。这使实际引水规模和引水量的重建具有较大不确定性。昌吉和绥来、镇西的较大差异可能与农牧业结合的生产方式有关。

(三) 灌溉效率的衡量

灌溉水利利用效率是衡量水利使用效率的重要指标之一。有研究表明,其受渠系防渗长度、高效

节水灌溉面积、井灌排面积、渠道总长度、总灌溉面积、渠道防渗率工程条件和运行管理水平影响。^①传统农业时代的土渠防渗率可忽略不计,其他渠道参数缺乏。气候变化、农田作物及土壤性状的变动均使基于现代灌溉水利用效率的测算,如田间水利系数、高效节水面积的指标难以获取。

这里我们选用工程和社会两种指标计算灌溉效率,并假定某一政区的灌溉效率为社会经济(承载力)与工程指标之比(公式1)。其中社会承载力包括人口数量、灌溉面积。因此人口和灌溉面积各赋权重0.5(公式2)。工程指标为渠道长乘宽所得的单位政区最大集水面积占总体最大集水面积之比(公式3、4和5)。在某一指标不变的情况下,灌溉效率与工程指标成反比,与社会经济指标成正比。

$$\eta = \frac{\alpha(k,j)}{\delta(k,j)} \quad (1)$$

$$\alpha(k,j) = \beta(k,j) \times 0.5 + \gamma(k,j) \times 0.5 \quad (2)$$

$$S(i) = l(i) \times w(i) \quad (3)$$

$$A(k) = \sum_k S(i,k) \quad (4)$$

$$\delta(k,j) = A(k) / \sum_j A(k,j) \quad (5)$$

上述公式中, η 表示灌溉效率, $\alpha(k,j)$ 表示省域 j 内 k 县的社会经济指标,其中, $\beta(k,j)$ 表示 k 县的人口数, $\gamma(k,j)$ 表示 k 县的灌溉面积。 $\delta(k,j)$ 表示 k 县的工程指标,其中, $A(k)$ 表示单位县最大集水面积, $S(i)$ 表示单位渠道最大集水面积, $l(i)$ 表示渠道长度, $w(i)$ 表示渠道宽度。

这一方法的优势在于:水利工程是地方社会适应水环境的最直接反映。首先,工程(长度、宽度)是平衡成本与效率的产物。其次,较之水量的易变特征,工程对气候等地理环境因子变化敏感性低,便于作为稳定的数值使用。最后需要说明的是,这里不考虑将渠深纳入计算,因为多数渠道属于土渠,渠道会经常淤塞或下渗,对水环境变化及土壤质地或性状敏感度极高,不易准确测量把握,这可能也是《沟渠》未记录深度的原因之一。根据上述讨论,我们重建出清末民初新疆地表灌溉效率(图6)。

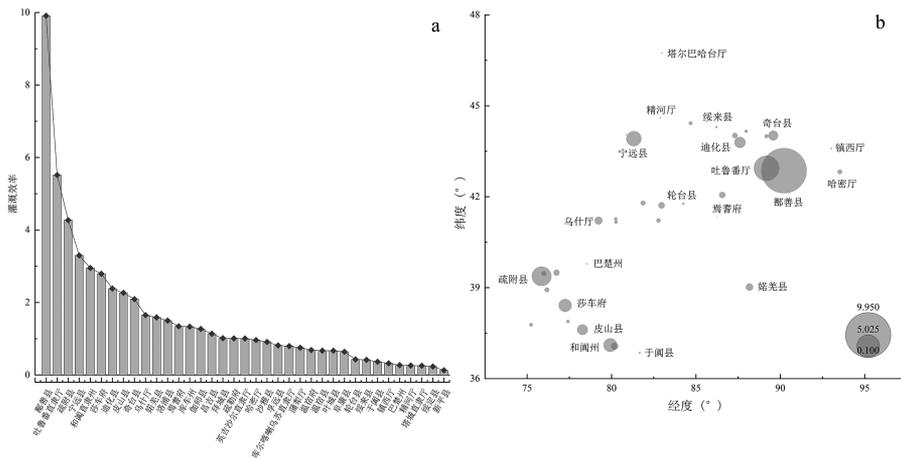


图6 清末民国初期新疆地表灌溉效率(a)及空间分布(b)

结果表明,清末民初,在喀什绿洲、和田地区、伊犁河谷地、吐鲁番盆地形成高值区域。由于吐鲁番盆地地下灌溉系统坎儿井发达,这一地区的地表灌溉效率较高。伊犁河谷地长久以来是北疆灌溉发达的地区,至今这一区域的土渠灌溉水利用系数仍是北疆最高。^②低值区域集中于北疆边缘的农牧

① 周和平等:《新疆地区农业灌溉水利用系数分析》,《农业工程学报》2013年第22期;崔远来、熊佳:《灌溉水利用效率指标研究进展》,《水科学进展》2009年第4期;吴旭春、周和平:《新疆灌区灌溉水利用系数影响因素研究》,《人民黄河》2011年第9期。

② 周和平等:《新疆地区农业灌溉水利用系数分析》,《农业工程学报》2013年第22期。

交错地区,如塔城地区、镇西和精河。南疆在塔里木河下游新平、于田、轮台、温宿—巴楚—叶城一线。新平县属于塔里木河下游的重要牧业地区,温宿—巴楚地区属于盐土和沼泽土分布较高的区域,盐碱化较重,《新疆图志·土壤一》记载“厥土咸泻”。^①

四、基于灌溉效率对民国新疆水利近代化的探讨

(一) 灌溉效率与农业生产的关系

衡量灌溉效率与农业生产活动的关系,本文选取社会经济(承载力)与工程指标之比来加以衡量,背后的假设是指,从工程角度讲,越小的工程量能支撑较多的社会经济发展。在不考虑自然条件的前提下,效率受水利管理、组织水平(制度因素)和水利技术的影响。一般来说,灌溉效率越高说明农业组织越成熟、技术越进步,农业生产能力越强。

与北疆相比,南疆的塔里木河中上游绿洲属于较为成熟的灌区,晚清时期已形成了较为完善的灌溉组织或灌溉(分水)制度,北疆多为后期招垦。从灌溉效率空间分布看,传统灌区的灌溉效率普遍较高(图6)。说明传统农业时代水利发展存在较明显的“传统依赖”现象。

(二) 灌溉效率与水利建设

从灌溉效率角度看,政府最应该重点开发吐鲁番盆地和伊犁河谷地区,这两个地区在晚清之前都已经形成了较为成体系的农田水利系统。吐鲁番地区始终是政府水利投入的重点,但伊犁地区却不受重视,民国时期反而出现了严重倒退。^②同时,巴楚是灌溉效率最低的地区,但并没有被边缘化。总之,晚清民国时期,新疆省政府并非仅仅加强晚清时期的农业灌区,20世纪一二十年代,出于财政能力和社会稳定的综合需求,有选择性的进行农田灌渠体系建设;20世纪三四十年代,则是此前阶段基础上进行维护。

1. 吐鲁番地区受到重视的原因。^③在对杨增新的关于开垦的指示与训令统计中,我们发现其中含具体政区名称的有87条,而涉及镇西、吐鲁番与鄯善的具体指令为19条,占其中约22%。^④晚清民国时期,其农业已经高度商品化,葡萄、棉花等农作物成为对俄出口的主要物资,^⑤也是新疆省政府重要的财政收入来源,政府投入大量资金、人力修建坎儿井,民间也视其为投资项目。^⑥

2. 伊犁河谷地区未能获得重视的原因。同光战乱之前,伊犁是新疆政治、经济中心,在伊犁将军附近布置了八旗、绿营、回民等多种类型的农业垦区。沙俄占领期间,伊犁地区各族农业遭受重创。光绪十年新疆建省之后,以伊犁锡伯营为骨干,重建伊犁的农田水利体系,使得当地农业有所恢复。^⑦辛亥革命之后,伊犁锡伯营等旗屯迅速衰落,在民国新疆省政府的水利近代化中被边缘化,^⑧前清旗民被政府忽视,旗屯水利不受政府重视。且伊犁地处边境,由于晚清民国新疆安全形势的关系,此处各类公共设施建设都较为薄弱。

① 袁大化修,王树枏等纂:《新疆图志》,第2433—2434页。

② 潘威:《清代民国时期伊犁锡伯旗屯水利社会的形成与瓦解》,《西域研究》2020年第3期。

③ 《通令各属开渠引水扩充垦务文》(民国六年六月七日)附《研究垦务说》,新疆水利委员会编:《新疆水利会第二期报告书》卷2《筹办水利文牍》(下)。

④ 杨增新:《补过斋文牍》,李毓澍主编:《中国边疆丛书》第1辑,第897—1184页。

⑤ 中国社会科学院中国边疆史地研究中心编:《新疆乡土志稿》,全国图书馆文献缩微复制中心1990年版,第242、256页;袁大化修,王树枏等纂:《新疆图志》,《中国边疆丛书》第1辑,第1115、1116页。

⑥ 《镇迪道就修竣坎井以兴水利及清丈田亩事札吐鲁番厅文》(光绪四年四月十七日),中国边疆史地研究中心、新疆维吾尔自治区档案局:《清代新疆档案选辑》,第133页。《批吐鲁番县知事陈继善详咨亦尽忠等承租官坎租约由》(民国五年四月二十九日)附《吐鲁番县知事陈继善详文》,《批吐鲁番县县知事陈继善详报修复雅尔湖东坎工竣及酌收水租各情形由》(民国五年七月二十六日)附《吐鲁番县知事陈继善详文》,新疆水利委员会编:《新疆水利会第二期报告书》卷3《筹办水利已竣工程文牍》(上)。

⑦ 《清德宗实录》卷542,光绪三十一年二月乙丑,《清实录》第59册,中华书局1987年版,第204页。

⑧ 《通令各属开渠引水扩充垦务文》(民国六年六月七日),《新疆水利会第二期报告书》(户科·七),广西师范大学出版社2012年版,第1类《筹办水利文牍》卷2。

3. 在南疆形成巴楚、温宿、蒲犁^①、于田、新平和轮台的低效率中心。因此,在民国时期,绥来被历届政府视为开发的重点。^② 巴楚及附近地区自乾隆中期以来,就是新疆地区水利纠纷最为严重的地区之一。^③ 清中期以来,政府通过设立“水利通判”“乡约”“水利员”等岗位管理水利。^④ 民国时期,巴楚县、疏勒县、疏附县和伽师县等为了彻底平息绵延不绝的民间争水,采用新开渠道、扩展水源、订立用水新秩序等多种方法,^⑤尤其是1915年的“引水玉河”工程,由“疏附、疏勒两县各派三百名,伽师派夫四百名,巴楚派夫二百名,一同开挖其在巴楚境内新坝工程即由巴楚多派名夫,自行开挖”。^⑥使本地区灌溉效率在民国初期上升。

(三) 灌溉效率与水利近代化的局限性

晚清民国时期,灌溉效率并不高。究其原因,存在诸多限制性的条件和因素。

首先,垦荒造成社会用水矛盾。由于垦荒直接造成的“水讼”自晚清就大量出现,主要原因在于新的分水秩序缺位,在强化政府主导水利的同时,并未明确地方社会的分水原则。较知名的如“哈波水案”。叶城县哈拉巴斯曼庄与皮山县波内庄共用水源浇灌,两庄在伊犁将军府时期已经达成了“均各五尺”的用水原则。新疆建省后,这种平均分水的做法被打破。波、哈两庄屡兴水讼,每次都因哈庄超额粮而增水。1914—1916年,波庄要求超过哈庄得水,以垦荒增加“额粮”。^⑦直到新疆解放前夕,两庄在分水问题上仍未达成协议,其根源就在于开辟耕地的增加总在挑战既有的分水协议。^⑧

其次,前清的“旗屯”水利被忽视。清朝灭亡后,在疆旗民依旧保留了原有的营旗体制。1917年新疆省政府“查旗民占地不少,如伊犁河南、博罗塔拉、特克斯川、四颗树、塔城、古城、喀喇峡等处是也,坐视膏腴之废弃,徒嗟衣食之维艰,请伤管轄旗民长官该旗等于驻防游牧地点择地开垦,以谋生计”,^⑨令旗民在其土地内自行开垦,实际上就是将其排斥在新省水利建设之外。如伊犁河南岸的锡伯营是清代的“模范旗屯”,直到新疆建省后依旧是重要的军事、农业屯垦区,进入民国之后,锡伯营所营建的察布查尔大渠农业区未被融入新疆的水利近代化过程。至新疆解放前夕已经非常破败,锡伯大渠“沿途渗漏,水量损失甚多,致灌溉效用减低,又加之渠道坡度及横断面多处未合规定,流量不畅,常时发生溃决”。^⑩

最后,存在民间对官方水利抵制的现象。民间对官办水利的漠视和侵害是中国传统社会顽疾,新疆地区也概未能外。光宣时期,莎车知府潘震、刘嘉德先后推行开渠垦荒,当地却“民怨沸腾”。^⑪民国初年政府力量进一步深入水利事务后,这一问题仍较为严重。如吐鲁番地区,民国初年出现多起偷盗新修“官坎”

① 即今喀什库车干塔吉克自治县。

② 杨增新:《补过斋文牍》,李毓澍主编:《中国边疆丛书》第1辑,第897—1184页;倪超:《新疆之水利》,第126—130页。

③ 《指令巴楚县知事章绶荣禀报到任后办理水利、外交、学务各情形由》(民国六年六月二十八日)附《巴楚县知事章绶荣禀文》,《新疆水利会第二期报告书》卷4《筹办水利已竣工程文牍》(下)。

④ 王培华:《清代新疆的分水措施、类型及其特点——以镇迪道、阿克苏道、喀什道为中心》,《中国农史》2012年第3期;王培华:《清代新疆的水资源分配制度》,《西域研究》2015年第3期;谢丽:《清代至民国时期农业开发对塔里木盆地南缘生态环境的影响》,第109页。

⑤ 《批巴楚县卢知事殿魁详县属无水田禾枯萎情形拟具办法由》(民国四年九月十五日)附《巴楚县知事卢殿魁详文》,《新疆水利会第一期报告书》卷6《社会争水领垦文牍》。

⑥ 《批喀什常道尹电转巴楚卢知事拟由伽师夏普吐莎开渠及引水玉河以通新坝电文》(民国四年十月二日)附《喀什常道尹电禀转巴楚卢知事拟由伽师夏普吐莎开渠及引水玉河以通新坝电文》,《新疆水利会第一期报告书》卷6《社会争水领垦文牍》。

⑦ 《批卸莎车县知事陈光炜、叶城县知事徐堃、皮山县知事谈凤翼会详查明勘讯波哈两庄争水情形由》(民国五年三月三日)附《卸莎车知事陈光炜、叶城县知事徐堃、皮山县知事谈凤翼等详文》,《批叶城县知事颜永基据哈庄众民禀粮多水少请与波内庄按粮分水由》(民国五年八月三十一日)附《叶城县知事颜永基详文》,新疆水利委员会编:《新疆水利会第二期报告书》卷9《社会争水领垦文牍》(上)。

⑧ 谢丽:《清代至民国时期农业开发对塔里木盆地南缘生态环境的影响》,第153页。

⑨ 《通令各属开渠引水扩充垦务文》(民国六年六月七日)附《研究垦务说》,《新疆水利会第二期报告书》卷2《筹办水利文牍》(下)。

⑩ 倪超:《新疆之水利》,第117—118页。

⑪ 《飭喀什道尹据代喀属巡视员王炳堃单禀调查莎车垦务情形由》(民国四年十二月十一日),《新疆水利会第一期报告书》卷1《筹办水利文牍》。

用水的事件,如民国初年吐鲁番地区雅尔湖新挖的东西废坎被偷挖多处引水。^①昌吉县六工一带原本“数十年无争水之事。”但入民国后“一经公家设法开垦,即被百姓多方阻拦”。^②政府力量直接管理水利事务需要调整基层社会治理方式,而在民国初年,新疆省政府并未在此方面进行工作,导致民间抵制近代水利。

五、结论

本文在GIS和Origin等数据分析平台上基于历史档案志书,构建了晚清民国新疆地表灌渠数据集。基于此数据集可视化了各项灌溉指标。总体上看,各指标呈东北—西南差异的分布格局。代表灌溉格局的工程指标如渠道长度、宽度和灌溉面积同社会经济指标,如升科垦田数、聚落数量、人口数量分布格局基本一致。两类指标其区域差异都比较明显,空间分布上具有一致性。空间差异是由于新疆各地自然条件和历史传统造成的。在此基础上基于历史时期水利调查数据重建了晚清民国不同时期的各地引水规模和灌溉效率。在喀什绿洲、和田地区、伊犁河谷地、吐鲁番盆地形成高值区域。低值区域集中于北疆边缘的农牧交错地区,如塔城地区、镇西和精河。南疆的塔里木河下游新平、于田、轮台、温宿—巴楚—叶城一线。

相比之下,晚清民国时期新疆灌溉效率并不高,灌溉效率空间差异使决策者在水利建设投入方面有所侧重,如对吐鲁番盆地,是由于配合坎井可以显著提高灌溉效率。而民国各时期对绥来水利的重视,是基于这一区域具有较大可提升的空间。对伊犁河谷水利的忽视导致前清屯垦成就荒废,造成灌溉效率的下降。结合史料分析表明,屯垦地区争水现象的存在、垦荒造成的社会用水矛盾,区域人口增加所导致的不合理开垦、对前清较好水利政策与设施(如旗屯)没有加以继承和有效利用,也是部分地区灌溉效率较低的原因。

Visualization and Analysis of Farmland Water Conservancy Construction Achievements in Xinjiang during the Late Qing Dynasty and the Republic of China (1909 – 1935)

Su Raorao, Pan Wei

Abstract: The visualization and analysis of the achievements of Xinjiang's farmland water conservancy construction in the late Qing Dynasty and the Republic of China is an important way to understand and measure the modernization of Xinjiang water conservancy. Based on various materials such as local chronicles, archive documents, old maps, and survey reports, in some data analysis and visualization software like GIS and Origin, we use spatial analysis, visualization, and other methods to reconstruct the distribution of surface irrigation index in Xinjiang during the late Qing Dynasty and the Republic of China. Meanwhile, we try to reconstruct the water diversion scale of surface irrigation canals in the late Qing Dynasty and the early Republic of China based on survey and investigation data. The efficiency of surface irrigation in Xinjiang in the late Qing Dynasty and the Republic of China was estimated by combining channel engineering parameters and agricultural social parameters such as population and irrigation area. Finally, according to the reconstruction results, we try to analyze and understand the relevant issues of Xinjiang's water conservancy modernization in the late Qing Dynasty and the Republic of China.

Keywords: Modern Xinjiang, Farmland Water Conservancy, Spatial Analysis, Irrigation Efficiency, Modernization of Water Conservancy

(责任编辑:王小嘉)

^① 《批吐鲁番县知事陈继善详奏义塾官坎及雅尔湖废坎修复工竣绘图造册并咨水租字据请鉴核由》(民国五年四月八日)附《吐鲁番县知事陈继善详文》,《新疆水利会第二期报告书》第2类《筹办水利已竣工程文牍》卷3。

^② 《批昌吉县下属六工户民李成仁等稟控监修渠工委员马毓乾在六工另开渠口妨害水利由》(民国六年六月四日)附《昌吉县属六工新庄下三工约民李成仁等稟文》,《新疆水利会第二期报告书》卷9《社会争水领垦文牍》(下)。