

兰州大学

硕士学位论文

景泰电力提灌工程人工绿洲环境效益分析

姓名：胡玉枝

申请学位级别：硕士

专业：环境科学

指导教师：张明泉

20070501

摘 要

景泰电力提灌工程是我国最大的提灌工程，由于其扬程高，流量大，多梯级而被列入“中华之最”。该工程安置景泰、古浪、东乡、永靖、会宁、天祝、内蒙古左旗等 7 县（旗）移民 30 多万人，促进了甘肃省扶贫攻坚项目的实施，也为社会公益事业做了较大贡献。在该工程实施后的效益推动下，昔日荒无人烟的一条山，现已成为景泰县政治、经济、文化交流的中心，高层建筑拔地而起，商业网点星罗棋布，邮电交通四面辐射，集市贸易比较活跃，文教卫生事业蓬勃发展。而景泰灌区的大部分人口从事农业生产，当地已经建成或正在逐步建成粮食生产基地、瓜果生产基地和畜牧业基地，所以景泰灌区社会经济的实质就是人工绿洲经济，由于人工绿洲处于干旱的环境中，其生态系统较脆弱，极易向绿洲化的对立面—荒漠化的方向发展。因此，遵循自然规律，因地制宜的实施人工绿洲可持续发展战略，是景泰灌区人工绿洲今后发展的必由之路，对景泰灌区人工绿洲的生态环境及社会经济的发展做全面深入的研究，为今后的发展制定合理可行的思路与规划提供依据。

本文通过对景泰灌区人工绿洲多年来气候变化与发展趋势的研究，可知，电力提灌工程上水以来，灌区生态环境有逐渐好转的趋势，当地取得了一定的社会效益和经济效益，但灌区的发展还存在一些问题。基于此，建立了景泰灌区人工绿洲可持续发展评估体系，对灌区的发展进行了可持续性评价，并提出一些建议。

从气候、水和土壤分别对灌区人工绿洲的环境效应做了系统的分析。主要根据 40 多年来当地的温度、降雨量、风速、蒸发量和湿度的变化情况，可知景泰灌区气候向有利于自我保护的方向发展，同时能非常有效地抵御沙尘暴，给当地人们维持了一个相对凉爽、湿润、平静的生存环境。由当地多年的水样检测、分析数据可知：当地地表径流量增加，地下水位逐渐上升；虽然地下水水质较差，但有逐渐好转的趋势。通过植被、荒漠和戈壁面积的相互转化以及土壤盐分的变化趋势等方面的对比分析，可知土壤环境质量已经得到较大改善。以干旱指数和生态环境质量两项指标来评价当地生态环境总效应，分析可得，灌区人工绿洲生态环境向有利于植物生长和人类生存的方向发展。

生态环境是人类社会发展的基础，而经济建设是人类社会发展的动力和目

标，景泰灌区的开发与发展不仅抵御和战胜了恶劣的自然环境，也提高了当地的农业生产力，带动了第二产业和第三产业的发展，人民生活已由小康迈向初步富裕，达到初步现代化指标，具备建设生态城市的良好经济基础。

结合人工绿洲自然特点与当地实际情况，运用系统分析的方法，建立了景泰灌区人工绿洲可持续发展评估指标体系，包括社会经济可持续发展、资源环境可持续发展与区位制约三个方面；并运用线性、非线性理论建立了可持续发展的评估数学模型，通过综合评判法确定出评判标准，并对当前景泰灌区人工绿洲发展的可持续性进行了评估分析。提出景泰灌区人工绿洲发展的建议：以农为本积极发展现代农业，有的放矢发展工业，加强旅游业；始终贯穿以水资源为核心的自然资源和环境可持续利用的思想与技术。

关键词：景泰电力提灌工程；人工绿洲；可持续发展；效益分析

Abstract

Jingtai electric power's pumping irrigation is the biggest pumping irrigation project in our country, being included in "China most". The engineering settles more than 30 myriad immigrate including Jingtai, Gulang, Dongxiang, Yunjing, Huining, Tianzhu, InnerMongolia left ensign etc.7 counties, promoting the whole provinces development. The social public-spirited business had a big development, in former days unpopulated Yitiao mountain have become the center of the politics, economy. Cultural interaction in the county now, the high building rises straight from the ground, the business net orders numerous and densely spread out, the post and transportation on all sides radiates, gathering city trade more active, culture, education and health business booming development. But in Jintai Pumping Irrigation area many people engage in farm production, the region has been already set up or is setting up a production base of grain and production bases of animal agriculture, melons and fruits gradually. So the substance of the society economy in Jingtai irrigation district is an artificial oasis economy, because the artificial oasis is placed in dry environment, its ecosystem system is weaker, turning toward erosion easily it is the opposition of the oasis. Therefore following natural regulation and proceeding proper implement of artificial oasis sustainable development in the light of local conditions will be the only road of Jingtai pumping irrigation district. Resarching deeply the ecosystem environment and the development of the society economy about Jingtai pumping irrigation district, drawing up reasonable and viable way of thinking and programming to provide for the development of aftertime basis.

This text analyzes the ecosystem environment of Jingtai irrigation district turns for the better gradually of trend since irrigation and the artificial oasis obtains the social and economic performance in the meantime, according to the area artificial oasis circumstance variety and its development trend in last years. but irrigation district still exist some problems. Combine a local actual circumstance according to this, building up Jingtai irrigation district valuation system of the artificial oasis sustainable development and valuate it, then put forward some suggestions.

The system analysis to the environment effect of artificial oasis according to the weather, water and the soil. Analyzing the variety circumstance of climate more than 40 in the last years including humidity, temperature, rainfall, wind velocity, evaporation. The result is that the weather of Jingtai irrigation district is advantageous to go to the self-protective direction. It can resist a sandstorm very available in the meantime, maintain one cool and moist environment for local people, analyzing the water date of many years in the last years. We can know local earth's surface water path increase and the underground water level rises gradually. Though the groundwater quality is worse, there is the trend of gradual amendment. The convert among plants, Gobi and desert and the change of soil salt explain the soil environment has been already greatly improved. Dry index and ecosystem environment quality is been used to evaluate the total effect of local ecosystem environment, Analyzing can get the result that the artificial oasis ecosystem environment go toward the direction development which is advantageous to plant growth and mankind's existence.

The ecosystem environment is the foundation of the mankind social development, but the economic construction is the mankind motive and target of the social development, Jingtai irrigation district development not only resist and win a bad natural environment, in the meantime raising agriculture productivity, aroused the second industry and the development of the third industry, people living head into first step wealthy from the middle-class family, the economic and social development have already followed industrialization mediumly, attaining initial modernization index, obtaining the good economic foundation of constructing the ecosystem city.

Combine the natural characteristics of the artificial oasis and local actual circumstance, making use of the method of system analysis, building up the index system of the sustainable development valuation of Jingtai irrigation district artificial oasis, there are three aspects including social economy, resources environment and location condition. Make use of line also not line theories to build up valuation mathematics model of development, deciding adjudicate standard through comprehensive adjudicate method, and carry on valuation analysis on current

artificial oasis of the Jingtai irrigation district.Put forward the suggestion that the artificial oasis of Jingtai irrigation district will be developed:take agriculture as mother to develop modern agriculture actively,develop industry properly, strengthen tour industry;We should penetrate the thought and the technique of sustainable utilization about the natural resources environment which take water resources as nucleus.

Key Words: Jingtai Electric Power's Pumping Irrigation, Artificial Oasis, Sustainable Development, Effect Analysis.

原创性声明

本人郑重声明：本人所提交的学位论文，是在导师的指导下独立进行研究所取得的成果。学位论文中凡引用他人已经发表或未发表的成果、数据、观点等，均已明确注明出处。除文中已经注明引用的内容外，不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究成果做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：胡毛枝 日期：2007年6月

关于学位论文使用授权的声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属兰州大学。本人完全了解兰州大学有关保存、使用学位论文的规定，同意学校保存或向国家有关部门或机构送交论文的纸质版和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权兰州大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用任何复制手段保存和汇编本学位论文。本人离校后发表、使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，第一署名单位仍然为兰州大学。

保密论文在解密后应遵守此规定。

论文作者签名：胡石松 导师签名：张明泉 日期：2007年6月

1 绪论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

我国的电力提灌工程大多建于 20 世纪六七十年代,灌溉工程是为了改变当地的生存条件,改变当地老百姓的贫困落后的局面,改善生态环境而兴建。景泰川电力提灌工程也不例外,它是我国最大的提灌工程,由于其扬程高,流量大,多梯级曾被列入“中华之最”。该工程始建于 1969 年,在工程建成以前,灌区主要以沙丘和戈壁滩为主,为了改变当地老百姓的生存状况,同时也为了遏制腾格里沙漠向南继续蔓延,20 世纪 60 年代国家决定兴建景泰川电力提灌工程,相继投入了大量的资金、人力、物力进行工程建设及工程改造,取得了巨大的社会、经济、环境等综合效益。

新中国成立 50 多年来,人类在西北地区轰轰烈烈地开发着人工绿洲,在灌溉工程大力修建和人工绿洲蓬勃发展的今天,人工绿洲发展所引起的一系列环境问题不断地向人类示威。例如:甘肃河西人工绿洲边缘沙漠化土地 4656km²,潜在沙漠化土地 2036km²。每年沙漠发展速率为 400~500km²,风沙线长 1600km²,民勤人工绿洲的部分乡村已经沦为沙漠。新疆人工绿洲已有近 1/3 的农田出现次生盐渍化,许多土地由于只种不养导致肥力下降,使农业生产力下降。景泰灌区人工绿洲的发展是否会重蹈历史的覆辙,关键在于主体—人类,人类对绿洲的开发与利用是否合理与可持续。

景泰历史上战乱频繁,形成了别具特征的建镇沿革,自西汉以来,曾三次设县,五置县城,民国 22 年(1933)成立景泰县,寓意“景象繁荣,国泰民安”,治所先后设在芦阳、一条山镇。景泰人工绿洲的发展机遇有多次:①景泰是河西咽喉,为丝绸之路的重镇。②西汉初和明朝万历年间,先后两次,由外地移民到境内定居屯垦。③60 年代后期,开展了以机械提灌为主的小型水利建设工程。④1974 年,被景泰人民誉为“温饱工程”的一期工程建成。⑤1984 年,被人们誉为“翻身工程”的二期工程建成。⑥20 世纪末,我国提出西部大开发的发展战略,它不仅从政策、资金、技术等方面支持西部社会经济建设,同时更注重西

部生态环境的保护与建设。这是一次更立足于西部自身长远利益的发展战略,引导西部地区走上可持续发展的道路,这为当前景泰灌区人工绿洲的发展提供了重大机遇。

可持续发展已成为当今世界发展的共同目标,以各地区、国家的可持续发展为基础,强调代际公平、区际公平与人际公平,旨在通过人与环境和谐发展,达到人类社会的进步。干旱区占全球陆地面积的四分之一,拥有世界 1/3 的人口,由于受干旱与荒漠化的影响,大多数地区生产力水平低下,贫困人口聚集;而且目前,其荒漠化的土地面积仍以每年 5 万至 7 万平方公里的速度扩大^[85]。由于荒漠化造成的严重后果及扩展的趋势,引起了国际社会极大的关注,在 1992 年联合国环境与发展大会上,防治荒漠化被列为国际社会优先采取行动的领域。1994 年 6 月订立《联合国关于在发生严重干旱和荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约》,包括中国在内的 100 多个国家在《公约》上签字,而后又将每年 6 月 17 日定为“世界防治荒漠化和干旱日”^[1]。经过近年来的实践与研究,各国学者普遍达成共识:虽然干旱与荒漠化是环境现象,但其实质是社会经济问题^[2],如何使受干旱与荒漠化危害的地区可持续发展是解决问题的关键。目前,各国均从具体技术、经济与社会等多角度出发寻求各干旱区可持续发展的途径。

在景泰灌区建设之前,有关单位曾在拟建景泰灌区范围内进行过包括地下水勘测在内的调查,在 1987 年前后,兰州大学地质系也曾经对景泰灌区约 200km² 的范围内进行了综合水文地质和土壤盐渍化调查,对当地水样、土样进行了化验分析,2005 年我们又在该区域进行了综合水文地质和土壤盐渍化调查,对当地水样、土样进行了化验分析,在调查取样分析水土环境现状的基础上,分析自引黄灌溉以来三十年的水环境变化情况,尤其对景泰灌区草窝滩盆地的水环境作系统的研究,本文就是在此基础上系统地对景泰灌区人工绿洲的环境效益进行分析。

1.1.2 研究意义

景泰曾经通过丝绸之路为东西方的经济、文化交流做出卓越贡献,景泰灌区自上水以来,在“项目带动、开放带动、改革驱动”的战略指导下,坚持“生态立县、科教支撑、工业主导、旅游提速、产业富民”的发展思路。农业巨变,生

产力大大提高,国民经济飞速发展,人民群众的收入逐年增加。现已建成或正在建成具有全国意义和西北区实际意义的粮食生产基地、瓜果生产基地、畜牧业基地,景泰县社会经济的实质是人工绿洲社会经济,生态环境建设的核心是人工绿洲,人工绿洲的发展趋势决定着景泰灌区的发展方向。当前,可持续发展已成为我国的基本国策,景泰如同其它人工绿洲,自然条件相对恶劣、水资源相对缺乏等因素,决定了绿洲生态环境十分脆弱,对人类活动的合理性要求很高,否则,很容易使人工绿洲走向不可持续的发展轨道而最终使其社会、自然系统被破坏,历史上楼兰绿洲的消亡就是血的教训。对景泰灌区的自然环境和社会经济的效益及其的可持续发展做全面深入的研究,便于为人工绿洲的过去总结经验 and 未来提供建议。基于上述原因,本文对景泰灌区人工绿洲的生态环境、社会和经济效益做了详细的分析,同时构建了景泰灌区人工绿洲可持续发展评估体系,可为以后人类开发绿洲、保持绿洲和发展绿洲的研究提供重要依据和方法。让决策者在制定发展规划时,找出当前所面临的问题,认识到遵循自然规律的重要性,有利于制定出符合自身特点的发展规划,以抓住问题的实质来制定出高效可行的社会经济与资源环境规划。

1.2 国内外绿洲研究状况

1.2.1 绿洲形成演化过程研究

人工绿洲是在干旱气候条件、结合水文地质、人类活动等诸多因素的综合影响下形成的,其中水是第一位的^[3,4]。Pankova等^[5]对前苏联南部戈壁绿洲的研究表明,自然绿洲只形成于具有弱矿化度的地表水地带。这一带土壤上植被覆盖度大小完全取决于地下水的出现深度与矿化度。但当人类影响进入时,绿洲水资源便趋于减少,土壤—植被覆盖度也发生了改变,土壤才变得盐碱化,而风蚀过程也得到了发展。赵建新^[6]认为,绿洲规模大小与绿洲依托的河流间距有一定的关系,河流间距越大、流量及引水规模越小,越能形成分散、单独的绿洲体系;而河流间距越小、流量及引水规模越大,越有可能形成连片成带的绿洲体系。

对于绿洲演化阶段的划分,不同学者之间尚有一定差别。樊自立^[5]以人类引水利用过程为线索,把绿洲的演变发展阶段划分为3个阶段:下游简易引水阶段、引水移向山前地带阶段、平原水库调蓄阶段。张林源等^[7]则以人类对绿洲利用的

时序划分为4个时期:原始绿洲阶段、古绿洲阶段、老绿洲阶段、新绿洲阶段。周劲松^[8]以绿洲产业结构演变过程将绿洲划分为:原始牧业绿洲(公元前1300—公元前121年)、传统农牧绿洲(公元前121—公元2000年)、新型产业绿洲(2000年以后)3个阶段,并指出绿洲产业化是其发展演化的必然趋势。

绿洲空间演化规律主要有三点:一是绿洲溯源迁移,即绿洲由河流下游向河流上游发展;二是由河岸向高阶地发展,即由沿河纵向绿洲向横向绿洲群发展;三是绿洲下移,即在水源条件允许的条件下,它可以不断地向下游发展,新疆玛纳斯河流域的绿洲开发即是此规律的集中反映^[9]。就目前的绿洲演变现状而言,以溯源迁移为主,在溯源迁移的同时,横向发展也比较突出;而下移发展仅出现于局部地区的局部地段。

绿洲演化的动因归纳起来,包括自然因素与人为因素两个方面。自然因素主要包括:风沙活动、盐碱化、河流改道及气候变迁^[3,6]。有的学者依据地层剖面及孢粉分析结果,认为干旱荒漠气候是在地质历史时期形成的,因此古绿洲的废弃不能认为是气候变干的结果^[3]。而有的学者则通过古绿洲废弃年代与气候波动变化的对比分析后发现,古绿洲衰亡时期也往往是气候明显偏干时期,故认为气候波动与附和于这种波动中的一些社会活动也是导致绿洲演变的一个重要原因^[6,10,11]。人为因素主要包括战乱、不合理的资源利用、人口增加,以及绿洲本身经济、政治地位的变化^[6,10,11]。

1.2.2 绿洲生态环境研究

绿洲在与周围荒漠既对立又互相依赖的关系中,生态环境的发展方向有两个:绿洲化与荒漠化^[12]。绿洲化过程对人类的生产生活意义重大,但荒漠却对其的反弹作用较大,这主要表现在人类对绿洲不合理的开发,加速了绿洲荒漠化的过程。目前,国内外对绿洲化的研究较少,主要集中在荒漠化的防治上。广大林业科技工作者,从防护林的角度提出了绿洲外围灌草带、绿洲边缘大型基干林带、绿洲内部护田林网的概念^[13],并在实践中大力加以应用。黄培佑等^[14]提出了“绿洲界外区”的概念,并就其形成原因、幅度、危害后果等进行了探讨,明确指出绿洲界外区的产生是绿洲环境陷入退化状态的最根本原因,同时还就该地段的保护策略提出了自己的观点,即充分利用降水资源,通过人工地形集水或微地形集水,

利用荒漠植被发生的自然规律扩展天然植丛。贾宝全等^[15]在绿洲—荒漠生态系统交错带环境演变过程研究中,把这一交错带划分为突变型与渐变型两种,指出其具有高机率的被替代性、弱抗干扰能力等特点。其中以土壤的变化最为显著,水盐动态是主导因素。Faragalla^[16]通过对从荒漠上建立起的新农业绿洲进行研究后认为,这些新绿洲通过灌溉手段年复一年的管理之后,为有害动植物种群创造了一个适宜的环境条件。在其它一些诸如气候状况、病虫害、盐渍化和土壤侵蚀等外力的影响下,有害昆虫有一种把这些新绿洲逆转到未管理状态的趋势。Grave等^[17]对中亚区灌溉渠道对荒漠生态的影响研究表明,渠系对环境的影响主要集中于渠道交汇处、灌溉下的农田以及排水点一带。Aranbaev^[18]的研究结果表明,长期耕作导致了绿洲特殊的灌溉地形和古老绿洲土壤形成。在施用相同数量矿物肥料时,这些绿洲土壤在生物生产力和生物量结构上产生的效果是不大相同的,通过肥料的重新分配,绿洲农业生态系统的生物生产力可以增加许多。目前,天然绿洲的保护问题受到了普遍关注, Bomkamm^[19]对埃及南部一些小绿洲植被的研究表明,天然绿洲植物种类很少,分布也不均匀,而且所有植物群落均依赖地下水而生存,不存在依赖降水生存的植物群落。贾宝全等^[20, 21]确定了天然绿洲的各类生态用水定额,并以林业、草场资源等统计数据为依据,对绿洲生态用水进行了初步估算,指出天然植被的生态用水量最大,其中又以低地草甸为最大。

1.2.3 绿洲社会经济发展研究

钱一公^[22]提出了绿洲经济发展的三个模式,即资源开发型、出口加工型和全面发展型。由于在有限的水资源利用上,农业用水占到总用水量的86%以上^[23],因此,对绿洲农业及其节水的研究一直在绿洲经济研究中占有重要地位。陈仲全^[24]在把绿洲节水作为复杂系统处理的思想,提出了绿洲节水系统的组元、变元及其结构图示,为绿洲开发及绿洲节水监控奠定了理论基础。在农业节水的同时,针对于干旱区水资源总量不足与生态环境日趋退化的矛盾,许多学者都相继提出了干旱区生态用水的问题^[22, 23, 24],认为只有节水与保证生态用水才能最终实现干旱区绿洲农业的可持续发展。王国清^[25]等全面分析了绿洲农业的特征,即绿洲分散而封闭、农业发展水位低,农业结构小而全,基本上是自给自足的自然经济;并结合农业的发展趋势,提出绿洲农业的未来出路是走集约化道路、大力发展商品经济。在农业的宏观布局中,草业作用巨大,一方面可以促进农牧结合,另一方

面对于绿洲农田土壤肥力恢复也具有不可替代的重要意义^[26, 27]。任继周等^[28]从山地—荒漠—绿洲三大系统耦合作用出发,探讨了由其组成的链状耦合系统的运行机制、耦合效益以及线性规划和系统动力学优化模型,结果表明,耦合后的社会总效益可以提高3.7倍,畜牧业经济效益可提高15.72倍。

从已经取得的研究成果看:绿洲形成与演化的诸多研究揭示了绿洲形成因素与演化规律。指出人工绿洲是在干旱气候条件,水文地质及人类活动等因素综合作用影响下形成的,水是第一位的,河流的水量与分布决定了绿洲的规模与大小;绿洲的演化主要受到人类利用水资源水平的影响,空间上呈现溯源迁移的规律,绿洲演化的动因包括自然与人为两方面。这些都为现代绿洲的开发提供了积极的指导。同时,现代绿洲的生态环境保护问题受到越来越多学者的关注,一系列防治荒漠化、盐渍化、节约与合理利用水资源等方面的研究,以及针对绿洲资源特点进行的经济类型、农业布局等研究,都为绿洲发展做出了卓有成效的贡献。但是,在可持续发展为时代主题的今天,由于绿洲所处自然环境十分恶劣,使得可持续发展的任务紧迫而艰巨。只有根据绿洲自身的资源、环境特点与社会经济发展特征,结合发生发展历程留下的启示来客观评估绿洲发展,才能为制定绿洲可持续发展战略提供科学的依据。

1.3 进一步探讨的问题

1.3.1 人工绿洲的定义

“绿洲”又称“沃洲”、“沃野”、“水草田”,我国维吾尔族人称绿洲为“博斯坦”。绿洲的英语为Oasis,源自希拉语^[29]。关于绿洲的科学定义比较趋于一致的意见是:①绿洲是干旱、半干旱地区特有的地理景观,呈“岛屿”状存在于荒漠之中或被荒漠包围;②绿洲是以繁茂的中旱生自然植被或人工栽培植物为主体,形成了与周围环境成鲜明对比的隐域性植物群落,因而,绿洲具有明显高于其周边环境的生物生产量;③水是形成绿洲的根本要素,绿洲植被主要依赖于来自系统外的水源,即依靠灌溉维持生机,是依水而生,伴水而存。④按以上所述,用一句简单的话来概括,绿洲就是荒漠地区中绿色植物繁茂的地域。人工绿洲就是受人类干预程度比较大的绿洲,绿洲中的水利、土壤、植被、气候、地形等自然条件受到了人为的控制,主要是通过人工灌溉建立起的绿洲生态系统。

1.3.2 环境效应与环境影响的区别

《中国大百科全书》环境科学分卷将环境效应(Environmental Effect)定义为:自然过程或人类活动造成的环境污染和破坏,引起环境系统结构和功能的变化。由此定义可以看出,环境效应是体现在环境过程的“变化”当中^[30]。彭应登^[31]指出了环境效应与环境影响的区别。环境效应指的是由于开发活动而引起的环境变化(客观变化),侧重于“变化”过程;环境影响指的是由于开发活动引起的环境后果(主观评判),侧重于变化引起的“结果”。二者的关系为:开发活动导致环境效应产生环境影响。

由此我们可以看出,由于某种开发活动的进行,首先导致环境“变化”而引起环境效应,再由一系列环境效应的叠加进而引起环境变化的“结果”,即产生环境影响。该过程的环境效应在前,环境影响在后,因而环境效应的评价重在评价环境指标的“变化”过程。弄清楚这二者的关系对于我们本项研究工作具有重要的指导意义。进行环境效应评价,一方面是减轻环境影响的根本要求,环境效应发生在环境影响之前,是比影响评价更根本更有效的方法,环境效应评价有助于增强决策程序和决策方法的科学性;另一方面是遏制生态环境恶化的需要,西北干旱区水资源短缺,生态环境脆弱,一旦遭到破坏将难以恢复。近年来由于气候的变化,尤其是人类大规模水资源开发的影响,生态环境正急剧恶化,因而进行环境效应评价,成为实施水资源可持续开发利用的具有实际可操作性的有效工具,可有效促进干旱地区的可持续发展。

1.3.3 本文创新点

在人工绿洲中水资源紧缺是一个严峻的形势,以及不合理开发水资源引发的环境负效应日益引起人们的关注,许多科研人员投入大量精力研究引发环境负效应的机理,并提出了不少对策和建议。但是目前大多数关于综合环境效应和环境正效应的研究限于定性评价,或是定量研究不完善。前人对现状评价和影响评价虽然做了大量工作,但是对人工绿洲效应进行多指标综合评价尚未涉及到。特别是在我国干旱的西北地区,在各流域范围内,人工绿洲众多,而在人工绿洲的开发过程中,由于水资源开发引起的环境效应进行综合评价的研究几乎还是空白,景泰川电力提灌工程在西北地区具有典型的代表性,本研究即以景泰灌区为案

例,在对人工绿洲开发引起的环境效应进行分析的基础上,筛选指标,建立相应的评价指标体系,对环境效应做出定量化的评价,为人工绿洲的可持续发展提供决策依据,并针对评价方法、指标选择、权重决定等方面做较为深入的探讨。

1.4 本研究的思路和方法

景泰灌区人工绿洲效益分析的实质就是要通过取得相关资料,然后进行数据处理与分析,从影响人工绿洲发展的生态、经济、社会因素入手,结合相应的数学模型,对人工绿洲的现状进行分析,综合分析在现行体制和资源投入条件下,人工绿洲的发展对当地及整个社会的影响如何。评价的整个过程贯穿着比较,实质上是景泰灌区人工绿洲自己与自己比、现在与过去比,与平均水平比、与标准值比、投入与产出比的过程。做好人工绿洲效益评价,对于促进人工绿洲的可持续发展具有重要意义。

由于景泰灌区处于农业高速发展阶段和工业与城市建设的初期阶段,本研究以农业的发展作为景泰人工绿洲生态效益、社会效益、经济效益的主要制约因素,研究的方法主要是生态学的系统分析方法,再结合相应经济学、水土资源分析及气象学等学科的方法,综合考虑生态、社会和经济因素,对影响人工绿洲发展的内因和外因进行分析,使理论探讨与实证分析相结合,动态考察与静态分析相结合。具体调查资料包括:景泰灌区气候资源(光、热、水),水土资源(土地利用、水土盐分、物理性状等)及社会资源(人口、经济、技术等)。

景泰灌区人工绿洲作为一个生态系统,要评价其综合效益,可以通过设立影响人工绿洲发展水平因素的指标,建立评价指标体系来实现。在评价指标体系的设计与选择上,要充分考虑影响人工绿洲发展水平的各种因素,体现各因素之间内在本质联系。因此,在评价时要把握四个结合:一是灌区生态效益与经济效益相结合;二是人工绿洲内部系统与人工绿洲外界系统相结合;三是人工绿洲的短期效益与长期发展相结合;四是总体观察与结构分析相结合。指标的选择大体上经过三个阶段:第一阶段初步设计、粗加工;第二阶段筛选、归类;第三阶段精心挑选。

2 景电灌区自然环境特征与发展概况

2.1 区域自然地理条件

2.1.1 地理位置

景泰灌区（一期工程）是 1974 年建成的从黄河提水的大型高扬程提水灌区，它位于河西走廊东端，甘肃省北部的景泰县境内，地理位置为东经 $103^{\circ} 39' \sim 104^{\circ} 11'$ ，北纬 $37^{\circ} 04' \sim 37^{\circ} 20'$ ，总面积 366.7km^2 ，灌溉面积约 $2 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。灌区东毗刀楞山，西临猎虎山，南依老虎、米家两山，北接腾格里沙漠，形成扇形洪积盆地。距灌区东侧 10km 处，黄河从南向北流过。



图 2-1 景电灌区地理位置图

2.1.2 气象

灌区位于暖温带荒漠地区，属温带干旱大陆性气候，干旱缺雨，蒸发力大，春季多风，夏季酷热，日温差大，无霜期长。灌区多年平均气温 8.6°C ，最高气温 38.6°C ，最低气温 -27°C ，无霜期为 159d；多年平均降水量 186mm，降水主要集中在夏秋季的 4~9 月份，约占年降水量的 90%；多年平均蒸发量 2400mm，是

降水量的 13 倍之多, 相对湿度为 48%~50%。年平均日照时数为 2718.3h, 日照百分率 61%。太阳年平均辐射量 147.8 千卡/平方厘米, 年 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的活动积温 3614.8 $^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 3038 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 141 天, 是我国除青藏高原外光热资源最丰富的地区之一。季节分布明显, 夏季日照时间长, 冬季短, 春秋适中, 有利于农作物生长; 冬春两季多风, 年平均风速为 1.9m/s, 灌区上水后植树造林面积不断扩大, 防风林带逐步成林, 风沙日数已逐渐减少, 八级以上大风日数多年平均由上水前的 29d 减为 14d。

2.1.3 水文地质及水资源

灌区自产水资源极为贫乏, 地表径流仅有来源于昌林山和老虎山的洪水, 经各条沙沟河或渗入地下, 或汇入黄河, 较大的沟有脑泉沟、胡麻水沟、响水沟、冬青沟、翠柳沟等。地下水资源因地表径流条件差, 补给来源不充沛, 所以水量极少, 存在形式以潜水为主。水质差, 总矿化度为 2.5~5g/L。灌区唯一的灌溉水源为黄河。在总干渠一泵站处, 黄河多年平均流量是 993 m^3/s , 年径流量为 313 $\times 10^9\text{m}^3$ 。灌区土地普遍高于黄河水面 365m 至 460m, 在灌区建成之前, 长期受到干旱的严重威胁。

本区位于祁连山地槽尾部转折端, 北为贺兰山地槽和银川凹陷, 属陇西系旋转构造与东经 104 $^{\circ}$ 左右南北构造复合地带。除褶皱断裂山区发育有古、中生界地层外, 广大的盆地均为第四纪以来的土状沉积物覆盖^[32]。区内发育有各时代地层, 经受了多次构造变化, 褶皱断裂较为发育, 主构造线走向为 NWW。喜马拉雅运动在本地活动强烈, 表现为断块运动形式。本区地下水赋存的四个场所——兴泉、寺滩—芦阳、草窝滩、白墩子盆地就是该期形成的, 它们多为断裂所控制。盆地内堆积有厚度不等的第四纪松散沉积物, 基底多为第三系红层和三叠系地层构成。

2.1.4 地形地貌特征

本区地处祁连山加里东褶皱带的东端, 北抵阿拉善地块南缘。在地质史上本区曾有过明显的抬升和沉降, 喜马拉雅运动使本区山体抬升后, 从而构成了现代的地貌轮廓。景泰灌区土地分布在海拔 1540m~1710m, 四周群山环抱, 地形由西南向东北倾斜, 其间低山、丘陵相隔, 形成白墩子、草窝滩、芦阳、兴泉四个

小盆地。地貌类型以洪积冲积倾斜平原为主，地势较为平坦，洪积冲积扇上部冲沟较多，坡降较大，中部开阔，普遍在砾石层上覆盖有 1~2m 的黄土或风化土层。上部沉积物为砂质—砂壤质，中部以砂壤质—粉砂壤质为主，下部为粉砂壤质—壤质类型。

2.1.5 土壤

研究区主要分布于洪积倾斜平原区，其土壤层主要由冲积—洪积物中的细颗粒沉积而成，由于受线形状洪流的搬运、堆积作用，土壤质地由上而下逐渐由粗变细，土层由薄渐变厚，且有层理，土层以下为有一定磨圆度的砾石层或砂石层。

当地土壤类型以荒漠灰钙土为主，少雨干旱、蒸发量大、植被稀疏、风积风蚀严重的荒漠气候促进了该地区土壤类型的形成。因此在土壤性质上，普遍含有可溶性盐，表层土壤有机质含量很低，结构松散，遇水基本上碎散成微团聚体，堆积后土壤特别紧实，密度很高。土壤中非毛管孔隙很少，毛管孔隙在全部孔隙中处于绝对优势，且毛管连通性好，毛细水上升高度大，速度快。所以灌水之后较长时间之内毛管水处于连续状态，蒸发散失水分快，使下部土层盐分容易传导到土壤表层。在草窝滩盆地及其周围，还普遍埋藏有第三系红色砂岩和泥岩，由于这种岩层是在干旱炎热、以蒸发浓缩作用占优势的地质历史时期形成的，不仅含盐量高，而且透水性极差。因此使灌溉水在土壤层滞流，在干旱的气候条件下，强烈的蒸发使地表积盐。

2.1.6 植被

植被与土壤有着极为密切的关系，不同的土壤类型就有相应的植被类型，当地自然植被受气候、地形等自然环境因素的综合影响，其生长和分布具有明显的地带性和地域性。灌区植被主要分成以下几种群落^[33]：(1) 荒漠化草原群落，主要分布在寺滩马家场子以西，昌林山东端低山坡麓地带，米家山、魏家梁等地。植被由旱生草本和小灌木、小半灌木组成，主要植被有短花针茅、驴驴蒿、合头草、珍珠、红沙等。(2) 干荒漠群落，分布于猎虎山、梧桐山、大安等丘陵地带及丘间低地，植物种类较少，多为珍珠、红沙、盐爪爪、合头草等小灌木和小半灌木。(3) 盐生荒漠群落，主要分布在花壁堂滩、白墩子滩和漫水滩等，受土壤因子的影响，其植被群丛有不同的分布，白墩子为封闭盆地，地下水位较高，因

此群丛为细枝盐爪爪和芦苇,另外两地地下水位较深,群丛为圆叶盐爪爪、碱蓬及珍珠。(4)人工植物群落,包括人工防沙林带,主要有小叶杨、新疆杨等杨属植物及龙爪柳、山柳等;沙枣、苹果、秋梨子等经济林木;小麦、玉米、胡麻、枸杞等农作物;以及灰绿碱蓬、野燕麦、藜、狗尾草等农田杂草。

2.2 灌区的建设与发展

2.2.1 景泰建制沿革

景泰历史悠久,早在 4500 年前,就有先民在这里繁衍生息,自西汉以来,曾三次设县,五置县城,是丝绸之路北线上的交通重镇;清朝前期置红水分县,民国 22 年(1933)成立景泰县,县名寓“景象繁荣,国泰民安”,治所先后设在芦阳、一条山镇。其间归属多变,属割据统治区管辖主要有四次,即东晋归前凉、西秦;唐朝广德、大中年间为土蕃控制;宋朝隶属西夏;明朝万历年间被鞑靼所据。自汉以来经历农牧更迭三次。在国家安定,励精图治的历史时期,由政府组织大规模的移民屯垦达三次,即西汉初和明朝万历年间,先后两次,由外地移民到境内定居屯垦;解放后 70~80 年代,组织县内外农民到景泰川灌区落户,重建家园。随着向灌区移民,又增加了一批新的乡村,安置景泰、古浪、东乡、永靖、会宁、天视等 6 县移民 30 多万人,现辖 6 镇 5 乡,140 个行政村,7 个社区居委会,2005 年末,景泰县总人口为 23.04 万人。

2.2.2 灌溉工程建设及灌区发展

景泰川电力提灌工程从黄河五佛段提水,总体规划设计提水流量 $28.6\text{m}^3/\text{s}$,装机容量 $24.87 \times 10^4\text{Kw}$,兴建泵站 43 座,最大提水高度 602m,灌溉面积 $5.51 \times 10^4\text{hm}^2$,分两期建设。工程以扬程高,流量大,多梯级,而被列入“中华之最”。

一期工程 1969 年开工,1974 年竣工。提水流量 $10.6\text{m}^3/\text{s}$,设计年提水量 $1.48 \times 10^8\text{m}^3$,最大提水高度 445m,平均提水高度 336m。共建泵站 13 座,支渠以上渠道总长 208km,装机容量 $6.87 \times 10^4\text{Kw}$ 。现灌溉面积 $2.04 \times 10^4\text{hm}^2$ 。二期工程 1984 年开工,1994 年基本建成,1999 年竣工验收。设计提水流量 $18\text{m}^3/\text{s}$,设计年提水量 $2.57 \times 10^8\text{m}^3$ 。最大提水高度 602m,平均提水高度 460m,建泵站 30 座,干支渠总长 340km;灌溉面积 $3.47 \times 10^4\text{hm}^2$ 。景电二期延伸向民勤调水工程,是一项

利用已建成的景电二期工程的灌溉间隙和空闲容量向民勤调水,以缓解民勤水资源日趋减少、土地沙化、生态环境恶化的应急工程。工程设计新建沙漠输水渠道 99.04 km,将黄河水从二期总干渠末端开始,通过新建的输水渠道,输入红崖山水库。设计流量 $6.0\text{m}^3/\text{s}$,年调水量 6100 万 m^3 ,恢复灌溉面积 15 万亩。工程于 1995 年 11 月开工建设,2000 年 9 月基本建成,2001 年 3 月 5 日开始向民勤输水。

3 灌区生态环境效应分析

由人工绿洲自身特点决定，人类活动和资源（光热资源和水资源）的开发利用是当地生态环境变化的直接原因，而人口增长，水资源短缺和环境脆弱等因素又制约或推动了其的发展。景泰川电力提灌工程上水后，抵御了诸多不利因素，为了保护和改善环境，采取了一系列的措施，包括铺压沙田、平田整地、灌水压碱、建立防护林等，使当地农牧业得到了迅速的发展。据工程上水前后 48 年的气象资料对比，年平均降水量和相对湿度都有所增加，平均风速和年蒸发量有所降低，8 级以上大风日数大大减少，灌区小气候大为改观（如图 3—1，图 3—2）。



图 3—1 原始地貌—风吹沙子跑

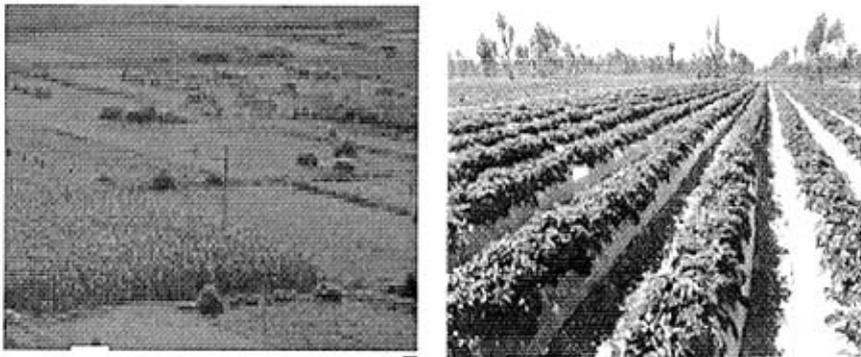


图 3—2 灌区新貌

3.1 绿洲气候环境效应

3.1.1 气温升高

根据景泰气象站多年气候资料记录，分析了景泰灌区多年气候变化趋势，1998 年平均气温为最高，是 10.22°C ，1967 年年平均气温为最低，是 7.1°C 。从 10a 尺度气温平均值变化可知，在 80 年代末以前，景泰的气温变化缓慢，年平均气温都在 8.20°C 左右波动，在 80 年代末以后气温呈波浪线上升趋势，这与全

球气温变化趋势一致，其变化趋势为 $0.0271^{\circ}\text{C}/\text{a}$ （如图 3-1-1）。1957 年的年平均气温为 8.09°C ，2005 年为 9.39°C ，累计增温 1.30°C 。总的来看，景泰灌区 48 年来气温呈上升过程，有明显的逐时段加剧过程。

表 3-1-1 景泰气象站 10a 时间段年平均气温变化

项目	时 段					多年平均气温增长率
	1957-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2000-2005	
气温/ $^{\circ}\text{C}$	8.27	8.20	8.35	9.10	9.62	16.3%

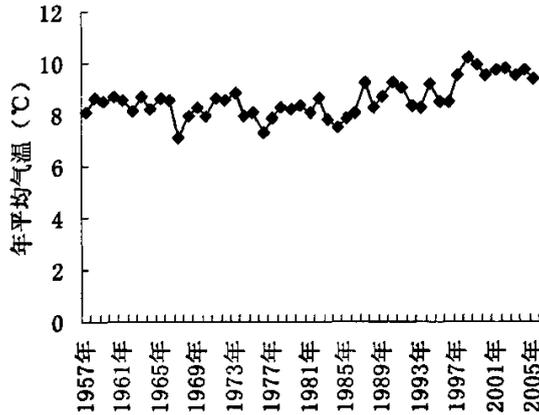


图 3-1-1 景泰气象站 1957~2005 年平均气温变化图

表 3-1-2 景泰气象站 10a 时间段最冷月（1 月）和最热月（7 月）

项目	时 段					多年平均气温增长率
	1957-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2000-2005	
1 月气温/ $^{\circ}\text{C}$	-8.48	-7.89	-6.68	-6.38	-5.64	33.2%
7 月气温/ $^{\circ}\text{C}$	22.39	21.69	21.80	22.19	22.76	1.7%

景泰灌区的最冷月和最热月分别出现在 1 月和 7 月，从表 (3-1-1) 和表 (3-1-2) 可以看出，近 49 年来，1 月和 7 月的月平均气温变化总趋势和全年气温变化总趋势一致，但升温趋势又存在明显的季节差异，具体表现为冬季增温迅速（1957~2005 年的 10a 段月平均气温增加了 1.16°C ），夏季增温缓慢（1957 年~2005 年的 10a 段月平均气温增加了 0.37°C ），由此可见人工绿洲对区域气候有调节改善作用，促使灌区气候向“冬暖夏凉”的方向发展。

3.1.2 风速降低

景泰灌区多年平均风速为 $2.7\text{m}/\text{s}$ 。1957~2005 年年平均风速最大值出现在 1969 年，为 $4.3\text{m}/\text{s}$ ，最小值出现在 2002 年，为 $1.6\text{m}/\text{s}$ 。70 年代以来年平均风速显

著下降，尤其1974年（灌溉一期工程建成）以后，风速下降更为明显。八级以上大风次数逐渐减少。1974年，八级以上的大风曾达70次，之后偶有发生，但次数锐减，1985年以后八级以上大风发生的次数平均一年不到一次，风速的变化是绿洲效应影响最为显著的一个方面。首先由于防风林带的建设，对风速有明显的阻滞作用，而且由于提灌工程的建设，地面植被覆盖率逐渐增大，灌区现有树木3500万株，近百万亩灌区与三北防护林带连成一片，形成腾格里沙漠南缘的绿色屏障，增加了地面的粗糙度，风速逐渐减少。全年平均风速显著下降（如图3-1-2）。杜明远等人对新疆、青海柴达木盆地的绿洲地区的研究表明^[34]，绿洲林带的防风效应非常明显，绿洲内部的风速基本上是外围荒漠地区风速的一半，这与本研究是一致的。

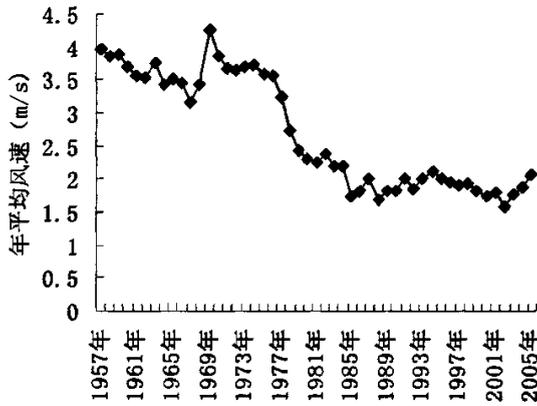


图 3-1-2 1957~2005 年平均风速的变化图

3.1.3 降雨量增加

由景泰灌区多年降水量分析可知，灌区多年平均（1957~2005年累计平均）降雨量为183.6mm，属温带大陆性干旱气候，而且年内变化与年际变化比较大，所以当地旱、涝灾害频繁发生，80年代以后旱灾减少，涝灾仍然严重，90年代以后降雨量年内、年际变化趋于稳定，当地灾情减少。

表 3-1-3 景泰 10a 时间段年平均降雨量变化

项目	时 段					多年平均降雨量增长率
	1957-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2000-2005	
降雨量/mm	180.25	190.99	177.03	182.36	193.82	7.5%

从多年降雨量的统计资料可以看出（表3-1-3），在过去40多年来降雨量有

所增加, 增加趋势为4.1526mm/10a, 70年代相对于60年代, 表现出了显著性增加, 而后增加量趋于稳定, 其多年平均降雨量的增长率为7.5%, 说明人工绿洲对降雨有一定程度的促进作用。张强、胡隐樵认为^[36], 由于绿洲的热力和动力作用容易在干旱区诱发中尺度对流, 有利于绿洲地区降水的产生, 起到增雨效果, 并且认为一般比较大的绿洲才能有这种增雨效应, 增雨区主要出现在绿洲的下风方。但是, 这种作用与绿洲的大小、范围、所处的地理位置及地形有很大的关系, 其影响机制也不完全相同。景泰灌区四面环山(长岭山、老虎山、寿鹿山、米家山), 其间低山、丘陵相隔, 形成白墩子、草窝滩、芦阳、兴泉四个小盆, 形成了山区—绿洲—沙漠地理结构, 存在由山谷风驱动的水分内循环机制, 这种水分内循环机制是导致绿洲降水增加的主要原因之一^[36, 37]。另外, 降雨量增加与人工绿洲的耕地面积扩大也有直接的关系。

3.1.4 蒸发量减少

从景泰气象站 48 年(1957 年~2005 年)的蒸发量数据可知, 景泰灌区蒸发强烈, 但蒸发量呈明显下降趋势, 从 1974 年开始, 下降幅度开始增加, 由原来的-29.907 变为-38.2, 多年平均蒸发量最高值发生在 1958 年, 为 3565.7mm, 最低值出现在 2002 年, 为 1776mm。气温, 风速, 与蒸发量相互依存, 相互制约, 成为生态环境中密不可分的一个有机体。从上面的数据分析可知, 多年来气温, 降雨量的变化不明显, 蒸发量与风速的变化较显著, 从(图 3-1-2)和(图 3-1-3)可知, 二者的变化趋势十分接近。

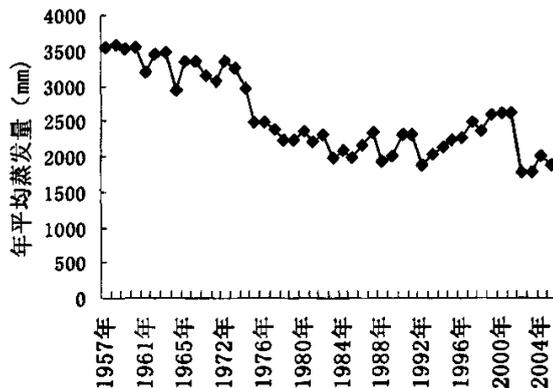


图 3-1-3 1957~2005 年蒸发量的变化图

3.1.5 年平均相对湿度增加

从近 40 多年来景泰灌区气候资料可以看出，多年平均相对湿度为 46.7%，最大相对湿度为 54.3% (1967 年)，最小相对湿度为 41.2% (1965 年)，一般在 40%~50% 之间，根据国家气候划分标准，当地气候属于干燥性气候，但总体年平均相对湿度在逐渐增大，如图(3-1-4)，人工绿洲的气候有变湿的趋势，以每年 0.0288% 的速度在增加。

年平均相对湿度会直接受气温、降雨量、风速、蒸发量等的影响，其的相互关系比较复杂，1967 年年平均相对湿度最大，这与当年年平均气温最低(7.1℃)、年降雨量比较高(262.8mm)等密切相关。相对而言，1965 年的年平均气温相对较高(8.6℃)、年降雨量比较低(144.5mm)。

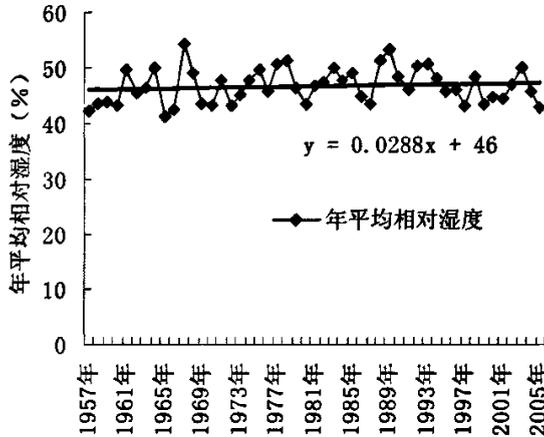


图 3-1-4 1957~2005 年平均相对湿度的变化

3.1.6 结论

由上面气候变化及其原因的分析可知，景泰灌区人工绿洲自电力提灌工程上水以来的近40多年中，气候变化总趋势是：气温升高，降雨量和湿度分别增加，蒸发潜力逐渐变弱，风速降低。气候影响中最为显著的一个方面是风速的变化，平均风速和大风日数大幅度减少，均存在明显的下降趋势。这种气候效应有着深刻的物理原因和生态学理论依据^[40]，人工绿洲的发展同时改变了地表状态，由此引起了水热平衡的改变，从而改变了局部的水分循环，也就相应地改变了地表面的反射率和其它热力特性，从而改变了区域的热量平衡，使当地小气候得到了明

显的改善。气候的暖湿变化向有利于人类生存和植被生长的方向发展,风速的大幅度下降,显示出了人工绿洲能起到风屏作用的效应,正如前面所述,气流经过绿洲时,植被特别是树木等高出粗糙元能够有效消耗气流的动能或动量^[38],这使得气流进入绿洲后流速逐渐减弱。绿洲的这种屏障功能不仅减弱了气流对地表土壤的侵蚀作用,也减少了日照的蒸发,有利于绿洲自我保护,同时能非常有效地抵御沙尘暴,给当地人们维持了一个相对凉爽、湿润、平静的生存环境。

3.2 人工绿洲水环境效应

水资源是干旱区自然环境综合体诸因素中最积极、最活跃的因素之一,在很大程度上决定干旱区环境动态和环境状况^[33],干旱区生态环境与水量、水盐平衡有着非常密切的关系。

3.2.1 水文要素的变化

由气候效应分析可知,景泰灌区多年平均降雨量为 183.6mm,降水量少,但逐渐稳定,无减少趋势。当地无常年性地表径流,由于干旱区少雨和蒸发强烈的气候特征,决定了降水直接入渗的补给量甚少,地下水的主要补给来自河道、渠系及田间灌溉水的入渗。黄河从景泰缘境向东北流过,是唯一可供利用的地表水资源。河岸线长 110km,根据安宁渡水文站多年观测资料,多年平均流量为 1043.25m³/s,最大流量(1964年)为 6700 m³/s,最小为 300 m³/s,年径流量为 3.29×10¹⁰m³,为当地灌溉的发展提供了充足的水源条件。除此而外,地面水资源的来源就是间歇性洪流和间歇性河道,间歇性洪流来自于较大的沟,如脑泉沟、胡麻水沟、响水沟、冬青沟、翠柳沟等。间歇性河道主要来自于红墩子沟、小营盘水沟,红墩子沙河、红沙峒沟等,分别流入漫水滩与白墩子盆地或腾格里沙漠。但由于景泰县属黄河中上游地区黄河干流水系,所以黄河过境水是唯一的常年性地表径流,地下水资源不丰富,水质较差。

根据景电管理局资料,一期灌区每年从黄河提水约 1.26×10⁸m³^[77],平均年灌水量为 11739.25×10⁴m³,灌溉渗漏系数 22.3%,每年补给地下水量约为 2617.85×10⁴m³,地下水均衡计算表明,灌区地下水储存量每年增加 638.88×10⁴m³^[78]。根据水文地质资料,在景电工程上水以前,由于地下水的补给少,径流量小,埋藏深度较大,仅有灌区最下游的芦阳一带有泉水溢出,工程上水后,大量的灌溉

水渗入地下,成为地下水新的补给源,使地下水量增加。使地下水由灌溉前的补排基本平衡 ($Q_{补} \approx Q_{排}$) 或补给量小于排泄(开采)量 ($Q_{补} < Q_{排}$) 的状况变为灌溉后的补给量大于排泄量 ($Q_{补} > Q_{排}$) 的状况,从而形成了地下水位逐年缓慢上升或季节性明显上升的趋势^[78]。

灌区地下水资源主要分布在漫滩盆地、白墩子盆地、草窝滩盆地、寺滩-芦阳盆地、兴泉盆地、沈庄盆地等盆地和脑泉沟及老虎山、米家山、五佛北山等山地沟谷中,地下水资源总量为 8720184 万 m^3 ,其中矿化度小于 3g/L 的地下水资源量为 7844172 万 m^3 ,允许开采量仅为 322517 万 m^3 。

表 (3-2-1) 一条山、芦阳地下水位上升变幅表

项 目	一条山	寺滩南一公里	芦阳西	芦阳	芦阳北
1974 年水位埋深 (m)	17.00	13.90	8.00	6.35	6.00
1977 年水位埋深 (m)	15.00	11.70	5.00	3.45	1.00
水位变幅	2.00	2.20	3.00	2.90	5.00

在灌区建成以前,1969 年地质部水文地质工程地质队对当地进行了水文地质勘察,结果显示,地下水的埋藏深度在草窝滩盆地杨庄至雪山子以南为 10~20m,以北广大地区大于 20m,仅有三个钻孔探测到有很薄的第四系含水层。自 1974 年开始灌溉到 1988 年,地下水累计上升达 15~20m^[79],年上升幅度在灌溉初期最大如表 (3-2-1),随后逐渐减小,近十几年地下水位年平均水位变化较小,已趋于稳定。目前,地下水位一般都在地表下 2m 左右。据调查对比可知,在草窝滩灌区最下游地带的娃娃水处,1969 年地下水埋深 17.58m,如今,这里的地下水已达到或接近地表。

3.2.2 地下水水质变化及效应分析

由于景泰灌区强烈的蒸发浓缩使地表土壤盐分不断积累,再加上逐年的农田排水使积累在土壤中的盐分进入水体,并不断向下游输送,这样长期作用的结果,使地下水体中的盐分含量不断增加,产生了地下水矿化度和总硬度增加的负效应趋势如图 (3-2-1) 和图 (3-2-1),但 1988 年以后这种趋势变得平缓。以草窝滩为例,草窝滩是景泰灌区的中心地带,灌溉时间序列完整,其水盐变化发展也具有干旱灌区的一般代表性,

表 (3-2-2) 历年来草窝滩地下水矿化度与总硬度指标

项 目	1969 年	1978 年	1988 年	1998 年	2005 年
矿化度 (g/l)	3.80	4.11	6.43	6.12	7.26
总硬度 (德国度)	75.76	88.06	125.85	111.2	116.1

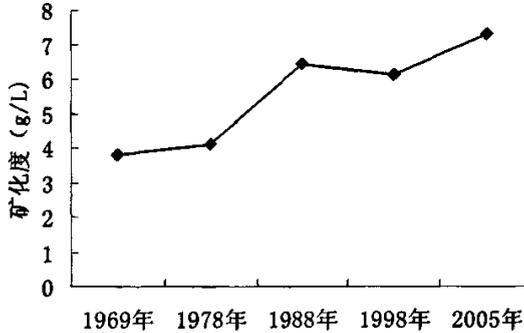


图 (3-2-1) 草窝滩灌区地下水平均矿化度年际变化图

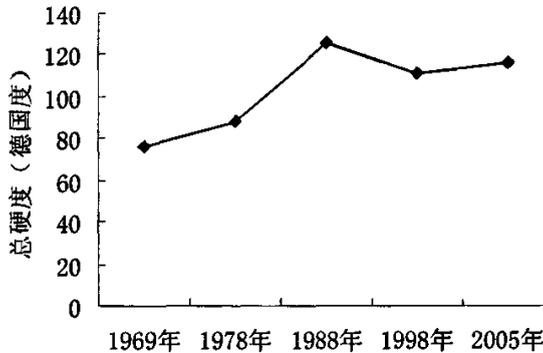


图 (3-2-2) 草窝滩灌区地下水总硬度变化图

从表中可以看出, 草窝滩灌区地下水矿化度的变化值在 3g/L~8g/L 之间, 远远超过了黄河水多年平均矿化度 (0.4g/L), 根据国家矿化度标准规定水体矿化度在 3g/L~10g/L 之间的水为咸水, 严重超标, 不适合人类饮用。由图可知地下水矿化度在 1969 年 (灌溉工程开始) 后逐渐增大, 在灌溉初期 (1969~1978 年), 矿化度变化幅度较小, 变化曲线较平缓, 矿化度由 60 年代末 4g/L 左右变为 1978 年的 4.11 g/L, 到 1980 年上升到 4.4g/L, 其后, 变化幅度逐渐增大, 1985 年, 地下矿化度上升到 5.3g/L。在灌溉中期 (1985~1995), 经历了 1985 年到 1988 年之间的地下水矿化度大幅度持续上升间断, 三年间矿化度上升 1.13g/L, 在 1988 年时达到 6.43g/L。之后, 地下水的矿化度出现了一个稳定时期, 且稍有降低, 到 1995 年时, 矿化度在 6.2g/L 左右。在 1995~2005 年, 矿

化度又逐渐升高, 由 1998 年的 6.12g/L 变为 2005 年的 7.26g/L。

由表(3-2-2)中可以看出, 地下水的总硬度在灌溉前及灌溉初始几年内为 75~100 德国度之间, 灌溉后总硬度有所增加。最初的 1975~1980 年五年内变化幅度为 20 德国度, 1980~1988 年总硬度由 100 德国度变为 152.85 德国度, 并达到最大值, 而后总硬度呈减小趋势, 十年后降为 1998 年的 111.2 德国度, 由 1998 年至今, 总硬度变化不大, 基本保持稳定, 而且总硬度远远小于国家规定的 ≤ 450 标准。

地下水矿化度与总硬度增加的原因: ①灌溉引起的土壤盐分入渗。②灌溉过量或排水不畅所导致的回归水盐分积累。③引灌黄河水的盐分对当地地下水的影响, 据统计历年提灌黄河水的年平均矿化度值, 其水平在 0.4g/L~0.5g/L 之间。按平均矿化度 0.43g/L, 年均提水量 $1.26 \times 10^8 \text{m}^3$ 计, 每年携入灌区的矿物盐分总量可达 $5.42 \times 10^4 \text{t}$, 也是一个不可忽视的数字。

地下水水质恶化的直接后果就是导致土壤次生盐碱化的产生。在 80 年代后及 90 年代初期, 针对如上问题, 为了治理盐碱地并合理利用水资源, 在当地实施了一系列改良措施, 如在 1993 年对灌区 200 亩具有代表性的严重盐碱地进行的爆破法改良试验, 打穿胶结砂层, 清除其碎渣, 并回填砂砾石, 以利于水的垂直下渗, 因其工作量小, 费用低, 施工简单, 效果好而得到推广^[39]。还有其它的人工排水洗盐等的作用, 使更多的土壤盐分淋溶到地下水中, 而且灌溉回归水的排水问题也得到了部分解决, 所以出现了一个地下水矿化度含量的相对平稳时段, 目前, 当地地下水的水质仍未好转, 只有进行合理的灌溉与管理, 今后几年可能会出现转好的趋势。

3.3 绿洲土壤环境效应

3.3.1 耕地面积与林地面积增加

人工绿洲的开发对防止沙漠化的意义非常重大, 可喜的是景泰灌区经过几十年的开发, 人工绿洲的面积有了明显的扩大, 以灌区内景泰县为例, 耕地面积由 1952 年的 36.02 万亩变为 2005 年的 104 万亩, 比原来增长了 2.89 倍。林业用地面积(包括林地面积、疏林地面积、灌木林地面积、未成林地面积等)由 1952

年的 33.4 万亩变为 2005 年的 172.9 万亩，增长了 4.18 倍。草场面积增加的速度更加快，由 1952 年的 47.66 万亩增加为 2005 年的 590 万亩（图 3-3-1）。这与当地加强畜牧业发展和实行“粮—经—草”的种植结构有密切关系，尤其是电力提灌工程上水以来大面积的人工造林和人工草场增加了当地的绿地占有率，使得绿地率由 1952 年的 6.48%变为 2005 年的 93.6%。

表 (3-3-1) 景泰县多年人工绿洲土地利用类型比较 (单位: 万亩)

土地利用类型	1952 年	1960 年	1970 年	1980 年	1990 年	2000 年	2005 年
耕地面积	36.02	45.47	57.78	64.52	67.49	68.53	104.21
林业用地面积	5.2	6.3	37.34	40.9	155.63	165.2	172.9
草场面积	47.6	55.3	65.2	96.8	150.66	522.8	590
绿地率	6.48%	7.56%	12.58%	16.9%	37.59%	84.43%	93.6%

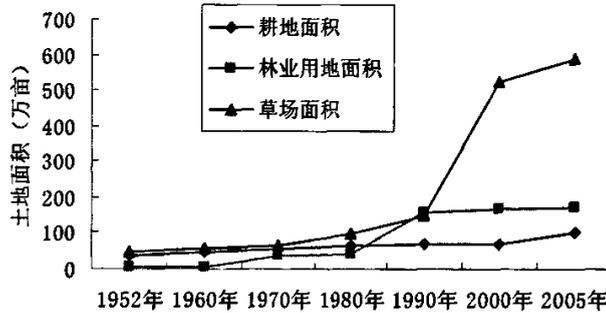


图 (3-3-1) 景泰灌区多年土地利用类型

3.3.2 土壤盐分的变化

由于草窝滩是景泰灌区的中心地带，灌溉时间序列以及收集资料的完整性，同样以草窝滩作为景泰灌区土壤盐分分析的典型代表，据资料记载可知，当地土壤背景成分主要分布着第三系砂砾岩、沙质粘土岩、三叠系泥质页岩及第四系细粒碎屑岩、风积亚沙土等，这些岩石的含盐量都比较高，而且以 NaCl 与 Na₂SO₄ 型为主，随着物理性的崩解及风化作用，这些岩石被分解侵蚀，由此形成的冲积层就变为大面积的土壤母质，来自含盐沉积物的土壤水分经过蒸发，必然产生大量盐分积聚的现象，所以当地土壤天然含盐量较高。

从电力提灌工程上水以来，当地整体土壤含盐量在减少，1984 年和 2005 年草窝滩灌区整体的土壤含盐量比 1978 年和 1988 年小，见图(3-3-2)和图(3-3-3)。

土壤表层的含盐量变化不大, 1984 年土壤 0~20cm 土壤的全盐量比 1978 年只增加了 0.015%, 2005 年 0~10cm 的土壤含盐量比 1988 年仅增加了 0.005%, 1984 年比 1978 年 20~100cm 和 100~150cm 的土壤全盐量分别减少 0.12% 和 0.17%, 而且 2005 年比 1988 年 10~30cm 和 30~50cm 的土壤全盐量分别减少 0.129% 和 0.714%。

表 (3-3-2) 草窝滩灌区土壤可溶盐分析结果

时间	全盐量 (%)		
	0~20cm	20~100cm	100~150cm
第一次盐分对比分析			
1978 年	0.274	0.397	0.487
1984 年	0.289	0.277	0.315
第二次盐分对比分析			
1988 年	0.716	0.445	1.215
2005 年	0.721	0.316	0.501

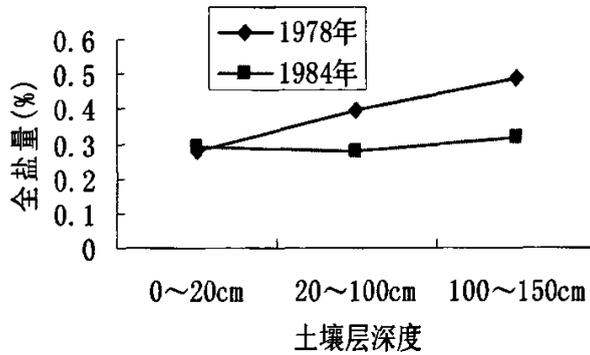


图 (3-3-2) 草窝滩灌区土壤层含盐量对比图 (1978、1984 年)

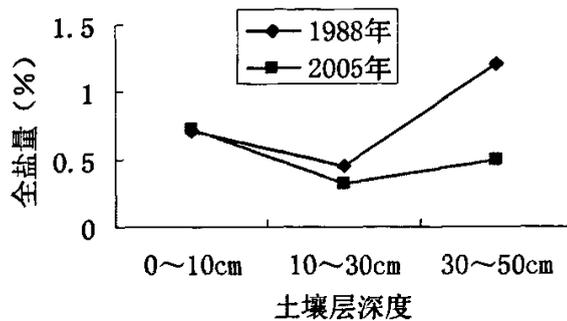


图 (3-3-3) 草窝滩灌区土壤层含盐量对比图 (1988、2005 年)

因为第一次和第二次盐分分析是在不同的灌溉地段, 所以两者之间不能进行

对比分析, 分别从第一次和第二次的对比分析可以看出, 土壤的含盐量都在不同程度的降低。根据 2005 年土壤盐分分析发现, 较 1988 年而言, 土壤可溶性盐分类型总体上的变化是, 钠离子在阳离子中的比重和氯离子在阴离子中的比重都在减少, 而总的化学类型以钙盐及硫酸盐为主, 这表明大部分土壤的盐渍化程度降低, 土质好转, 在 1987 年进行的景泰县第二次土壤普查中, 兰炼农场 (属当地低洼集盐区) 土质已经转好。也有小部分地区由于地形或土壤构造的原因, 钠盐比重增加。如灌区北部大水村, 由于排水设施不完善, 排水不畅导致土壤盐渍化, 部分土地已弃耕。

总之, 景泰灌区人工绿洲的开发对当地的土壤盐分平衡产生了巨大的影响, 一方面土壤盐分随着水的下渗进入潜水层并被带走, 向下游及灌区外流动, 使土壤向脱盐方向发展, 另一方面, 由于排水设施不完善, 排水不畅, 引起盐分通过毛细上升、蒸发作用或者冬季灌水后的冻结等作用, 逐渐向土壤表层富集, 使土壤形成次生盐渍化。但整体趋势是向脱盐方向发展, 在灌溉水的大面积大水量及长时间作用下, 首先更易溶的氯化物会先被淋滤掉, 然后是中性的硫酸盐成为主要溶淋对象, 土质逐渐转好。

3.3.3 土壤利用综合效应分析

土地利用景观格局的变化引起了区域生态环境的变化, 是景泰灌区环境变化的一个重要反应, 由景观综合指数来分析灌区土地的肥沃程度, 灌区内景泰县景观综合指数计算结果于表 (3-3-3)。

$$F_c = (F_d + F_g + F_s) / S$$

式中: F_c 是景观综合指数, 其值在 0~1;

F_d 为沙漠面积, 主要指流动沙地和半流动沙地

F_g 为戈壁面积

F_s 为盐渍化土地面积, 主要指重、中、轻盐渍土地面积

S 为土地面积

表 (3-3-3) 景观综合指数 (单位: 万亩)

年代	土地面积	沙漠面积	戈壁面积	盐碱地面积	景观综合指数
1995 年	814.8	26.90	279.5	6.32	0.38
2002 年	814.8	36.13	264.8	4.33	0.37
2006 年	814.8	35.44	201.3	2.08	0.29

根据表 (3-3-1) 和表 (3-3-3), 可以看出景泰县土地利用景观的变化, 由

景泰县土地利用变化情况来反映灌区历年来生态环境状况的变化，景泰灌区环境状况变化的过程主要表现为：①60年代以前，耕地和草场为主要的植被类型，但是总体绿地面积比较少，环境状况不好。60年代以后，草地、林地和耕地的面积增长，尤其80年代以后草地和林地的面积急剧增长，环境逐渐好转；②90年代以后，当地人民以西部大开发为契机，在政府的支持下，以畜牧业发展为主线，以造林种草为核心进行土地利用结构的调整，草场用地在景观中占有相当的优势；③1995年以后，由于人口增加和过度的开垦，灌区沙漠面积在增加，然而随着退耕还林(草)工作的开展，戈壁滩面积迅速减少，再加上排盐设施的完善，土地向脱盐方向发展，盐碱地的面积也迅速减少。1995年景观综合指数为0.38，2002年为0.37，根据景观综合指数的意义可知，当地农业种植必须为旱作物，粮食生产还不稳定，产量比较低。目前，景泰灌区的景观综合指数已下降为0.29，农业生产的土壤环境得到较大改善。

由上面的分析可知，当地环境变化与景观格局的变化密切相关。由于林草植被在控制水土流失方面的特殊作用^[37]，在人工灌溉的前提下，植被在景观中长期维持并逐渐增加是生态环境转好的重要原因，因为植被破坏会导致土壤的严重退化和土地生产力的降低^[38]。因此，增建植被是改善生态环境的重要途径。

3.4 灌区绿洲生态环境综合效应分析

由上面的分析可知，景泰灌区自上水以来，气候各因子、土壤成分及水环境的变化都向着有利于人类生存的方向发展，以下对景泰灌区干旱指数和环境质量提高率进行分析，反映当地多年来生态环境的综合效应。

3.4.1 干旱指数的变化

气候环境的变化是生态环境优劣的一个重要体现，本文选择由温度和降水这两个气候因子决定的干燥度方法，该方法是被 Martonne (1926) 提出的一种较简单的计算气候对生态环境影响的模式，即

$$I_{aM} = P / (T + 10)$$

式中， I_{aM} 即 Martonne 干燥度

P 为年平均降水量 (mm)

T 为平均温度值 (e)

干燥度 $I_m < 10$, 表明严重干旱, 河流断流, 农作物需要强制人工灌溉;

干燥度 I_m 在 10~30 之间, 表明中等干旱, 河流暂时性有水, 流量中等, 植被类型为草原;

干燥度 $I_m > 30$, 表明气候湿润, 河流常年有水, 不断流, 并水量充足, 植被类型为森林。也就是干旱指数越大, 表明农业依存于水或者灌溉的程度就越低, 即气候就越适合农业生产。

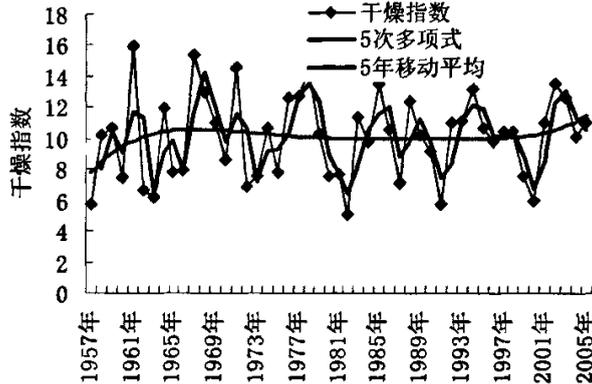


图 (3-4-1) 近 48 年来景泰灌区干旱指数逐年变化图

上文已知景泰灌区多年平均降水量和平均温度, 结合以上公式, 由图(3-4-1)给出了 1947~2005 年景泰灌区人工绿洲的干旱指数逐年变化曲线、5 年滑动平均和 5 次多项式回归曲线, 可以看出干旱指数波动比较大, 其数值在 10 左右上下波动, 气候比较干旱, 农作物的生产离不开人工灌溉, 但干旱指数的变化趋势在增加, 是生态环境逐渐改善的象征。由 5 年滑动平均表示 60 年代后期干燥度明显增加, 70~90 年代的干燥度的波动为缓慢性增长。可以看出景泰灌区在人工灌溉的作用下生态环境大为改观, 气候环境逐渐好转, 向有利于人类生存发展和植物生长的方向转变。

3.4.2 生态环境质量分析

人工绿洲有冬暖夏凉, 夜暖日凉的温度调节作用和增湿增雨的作用^[67], 许多专家与学者通过各种方法已经研究出绿洲的各种环境效应, 如①绿洲效应最显著的特征是“冷岛效应”, 因为绿洲上不同高度层的气温, 昼夜均比附近的戈壁要底很多, 最高气温甚至可底 30℃ 左右, 蒸发量约小于周围沙漠的一半, 于是绿洲

相对于周围环境(戈壁或沙漠)是一个冷源和湿源,即“冷岛”^[40]。②绿洲的“湿岛效应”,绿洲不仅植被覆盖度大,而且土壤比较湿润。夏季,平均地表蒸散日峰值能达到400W/m²左右;而荒漠的地表蒸发却极小,比绿洲小一个量级,所以绿洲地表相当于大气的水汽源,不断加湿绿洲大气。同时,白天和夜间的绿洲边界层大气的逆温层抑止了绿洲湿空气向上层扩散,使近地层湿空气能够稳定的长时间维持,看上去绿洲的湿润大气在干旱荒漠干燥大气中如同“湿岛”一样^[40]。③绿洲的“风屏”作用^[40],气流经过绿洲时,绿洲的植被特别是树木等高粗糙元能够有效消耗气流的动能或动量,这使得气流进入绿洲后风速立即减弱,起到了风速屏障的作用。在甘肃临泽的观测个例中,如果在1m高处荒漠吹来的风速大约为3m/s时,进入绿洲后风速就减弱为不到0.5m/s,减弱到荒漠风速的六分之一。绿洲这种屏障功能不仅减弱了风蚀,减少了蒸发,有利于绿洲自我保护,同时还能非常有效地抵御沙尘暴。④绿洲增雨效应,由于绿洲的热力和动力效应易在干旱区诱发中尺度对流^[40],这有利于该地区降水的产生,从而起到增雨的效果。从上面的分析,可以看出景泰灌区人工绿洲同样也具有这些效应,而这些效应产生正好又适应和促进农业的生产。不仅如此,人工绿洲形成的特殊小气候,可以吸收CO₂、SO₂等有害气体,制造氧气,还可降噪,滞尘,提高人们生活环境质量,使人心身愉悦。下面通过环境质量提高率来分析当地生态环境综合质量情况,环境质量提高率为:

$$X = F_{\text{大气}} X_1 + F_{\text{水体}} X_2 + F_{\text{土壤}} X_3 + F_{\text{农产品}} X_4$$

公式中F为权重: F_{大气}=0.2, F_{水体}=0.3, F_{土壤}=0.3, F_{农产品}=0.2; 当评价期的环境质量好于前期时, Xi=1, 否则 Xi=-1, 由上面的分析及通过实地调查和专家意见等综合分析得出:

景泰灌区环境质量指标

大气	水体	土壤	农产品	综合环境质量
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X
1	1	1	1	1

景泰灌区人工绿洲环境效应显著,当地的大气、水体、土壤环境均逐渐改善,农产品的产量得到较大的提高,综合环境质量好转。

4 景泰灌区人工绿洲社会经济效益分析

4.1 社会效益分析

4.1.1 人口要素

一期灌区开发建成,新设立了3个乡镇,移民11万人。景电二期工程建成后,灌区建设本着扶贫与开发相结合的原则,共安置景泰、古浪、东乡、永靖、会宁、天祝、内蒙古左旗等7县(旗)移民30多万人,也基本解决了灌区人民的饮水和温饱问题。

4.1.2 经济要素

灌区建成后,景泰川农业生产条件彻底改变,粮食生产飞速发展。灌区亩产由上水前200多斤猛增到670斤,最多的超过千斤。干旱贫困的景泰县由缺粮县变为粮食调出县,每年为国家交售粮食1700万公斤,全县乡镇企业总产值由1978年的33万元增加到2001年的4.815亿元。全县农民人均纯收入也由1971年的81元,增到2001年的1908元。昔日荒无人烟的大漠,现已成为景泰县政治、经济、文化的中心。各种建筑鳞次栉比,高楼林立,马路宽阔;商业网点星罗棋布,集市贸易十分活跃。年社会商品零售总额由上水前的1006万元增加到2001年的2.2216亿元;全县财政收入由上水前1971年的133.6万元增加到2001年的4270万元,增长32倍。

景电二期50万亩灌区的建成,使昔日“风吹沙子跑,拉羊皮不沾草”的戈壁荒滩,变成旱涝保收,稳产高产的沃野良田,粮食连年获得丰收。1992年荣获“甘肃省粮食丰收一等奖”。2001至2005年,灌区累计生产粮食13.34亿公斤,经济作物2.71亿公斤,农业生产总值20.01亿元。实际利用外资13.57亿美元;城乡居民人均储蓄存款14785元。人民生活已由小康迈向初步富裕,经济和社会发展已步入工业化中后期发展阶段,达到初步现代化指标,具备建设生态城市的良好经济基础。

4.1.3 科教文卫要素

科学、教育、文化和卫生事业是衡量一个地区社会发展水平的基本要素,也

是衡量地区生态环境质量的重要内容。灌区内科学、教育、文化和卫生事业发展较好,文教卫生蓬勃发展。一期工程建成以来,学校由原来的 213 所增加到 2001 年的 236 所,适龄儿童入学率由原来的 84% 增加到 98.8%; 中专以上科技人员由原来的 175 人增加到 2001 年的 4913 人,增长 28 倍; 县级医院由 3 所增加到 4 所,医务人员由 110 人增加到 396 人,乡村卫生所由 6 所增加到 13 所,医务人员由 57 人增加到 209 人。景电二期工程建成后,灌区内新修学校 227 所(中学 23 所、小学 204 所),其中:景泰 110 所(中学 10 所、小学 100 所),古浪 117 所(中学 13 所、小学 104 所)。

4.2 绿洲经济效益分析

景电一期工程 1971 年上水冬灌,1972 年景泰县开始受益。随着工程建设的发展,受益面积逐年扩大。从 1986 年起,灌溉面积发展到 30.42 万亩,超过了初始的设计能力。景电二期工程始建于 1984 年,1987 年 10 月上水冬灌,1988 年灌区开始受益。灌区横跨景泰、古浪两县,景泰受益 19.54 万亩。2006 年景泰县农业综合开发取得新成效,衬砌渠道 338 公里,改造中底产田 3.54 万亩,新增和改善有效灌溉面积 3.2 万亩,治理水土流失面积 53.8 平方公里,解决了农村 3.65 万人的饮水困难。2006 年农业产值增加到 4.27 亿元,年均增长 3.29%。

据有关资料载,灌区上水前年平均粮食总产量 170 万公斤,单产在 50 公斤以下。1971 年上水,1972 年播种粮食作物 4.83 万亩,总产 750 万公斤。1975 年工程全部建成以后,农作物播种面积逐年上升。1990 年粮食作物种植面积 20 万亩(包括各厂矿农场),平均亩产 350 公斤,总产 7000 万公斤。至此,全灌区累计生产粮食 8.8 亿公斤,油料 4086 万公斤。景泰县 1962~1971 年,年平均粮食总产 2600 多万公斤。1990 年粮食总产达到 6786 万公斤。2002 年全县粮食产量达到 2.8 亿斤; 农民人均收入达到 2018 元。“十五”时期,灌区累计生产粮食 13.34 亿公斤,经济作物 2.71 亿公斤,农业生产总值 20.01 亿元,2006 年景泰县生产总值达到 18.71 亿元,年均增长 12.9%,人均 8120 元,较 2002 年增加 3151 元。整个灌区粮食产量呈逐年上升趋势。

工程上水后,灌区植树造林逐年发展。1990 年,全灌区有林木 1400 万株,营造护田林带 1400 公里,林木面积达 3 万亩,占灌溉面积的 10%,提供的木材

年产值约 100 多万元。建成经济林基地 1 处，果园 11 处，总面积达 1.2 万亩，年产果品 100 多万公斤。至 2006 年，全县林业用地面积达 172.9 万亩，占全县总面积的 21.2%，其中：有林地面积 16.2 万亩，占林业用地面积的 9.4%；疏林地面积 3.2 万亩，占 1.9%；灌木林地面积 47.6 万亩，占 27.5%。

工业得到相应发展。1990 年，全灌区工业总产值达 7268 万元，相当于 1974 年的 11 倍。据统计，1976 年灌区乡镇企业产值为 96 万元，1989 年增加到 4774 万元。景泰水泥厂、羊毛衫厂、养鸡场、酒厂的一些产品畅销省内外，博得社会好评。第三产业也有了较快的发展。1990 年，全县财政收入完成 1057.6 万元，相当于 1974 年的 6.5 倍，2006 年工业经济对县级财政的贡献率已经达到 42.59%。

旅游市场不断扩大，第三产业全面提速。2006 年，旅游总收入达到 5768 万元，是 2002 年的 29 倍。现代服务业蓬勃发展，新兴经营业不断涌现，城乡市场日益繁荣。社会消费品从 2002 年起四年销售总额增长了 62.4%，达到 3.99 亿元。产业结构也有 2002 年的 28：35：37 调整到 2006 年的 24：35：41，国民经济实现了速度、质量和效益的同步增长，新的产业发展格局已初步形成。

人工绿洲经济的发展是绿洲化的动力与目标。农业，林业和工业的共同发展为当地生态环境建设提供了较大的生态用地空间，并使该流域在进行生态环境建设的同时保证了环境改善的持续性和稳定性。

5 景泰灌区人工绿洲可持续发展定量评价体系

5.1 建立可持续发展指标体系的指导思想

首先,可持续发展是人类社会的可持续发展,人是主体,自然环境是人类社会存在与发展的基础;所以在衡量可持续发展的时候不仅强调人类社会的发展,自然环境的可持续发展也占非常重要的作用。

其次,充分体现可持续发展的区域特色。全球的可持续发展是建立在区域可持续发展的基础之上,衡量某一区域的可持续发展必须突出区域自身的社会、资源与环境特点,否则这种衡量有失客观,对区域可持续发展的指导意义不大。

再次,参考许多专家提出的制订可持续发展指标体系的原理、原则和方法 and 许多学者提出的可持续发展指标体系。

指标体系的构建不仅要充分体现以上思想,同时指标选择要应遵循综合性、实用性、可靠性、可对比性等原则。

5.2 指标体系的层次结构

根据前述景泰灌区人工绿洲生态、环境和经济效益的分析,再结合以上的思想与原则,景泰灌区人工绿洲发展可持续评估指标体系由目标层、控制层、状态层、指标层四部分构成(表 5-1)。人工绿洲可持续发展体现在社会的进步,以及生态环境可持续发展的支持,社会主义市场经济条件大大削弱了区位给当地带来的制约,但由于当地不属于国内经济繁华区及沿海港口,使得当地人工绿洲与外部的物质文化交流受到运输成本的影响。因此社会发展,生态环境可持续发展与区位条件共同控制了景泰灌区人工绿洲的可持续发展。从绿洲的实际特点及发展现状分析出发选取了 18 个指标。主要表现了人口发展的数量与质量,经济发展的数量、质量与均衡性,社会发展的质量与公平水平,水资源利用与保护、环境质量、交通条件与地理位置几个方面的状况。

5.3 权值的确定

经过专家评分,运用 AHP 层次分析法确定了指标权值(见表 5-2)。从指标综合排序结果看,对灌区绿洲可持续发展贡献最大的是人均 GDP 值,表明当前景

表 (5-1) 景泰灌区人工绿洲可持续发展评估指标体系结构

目标层	控制层	状态层	指标层
人工绿洲可持续发展	社会可持续发展	人口发展水平	*人口自然增长率
			万人大学生人数
		经济发展水平	人均 GDP 值
			第三产业比重
			*居民收入基尼系数
		社会发展水平	*恩格尔系数
			就业率
			城市化
		生态环境可持续发展	水资源利用与保护
	灌溉水有效利用系数		
	能源利用水平		*每万元 GDP 能耗
			城市人均公共绿地
	环境质量		草地增长率
			森林覆盖率
			城市空气质量达标率
	区位条件	交通条件	单位国土面积公路里程
地理位置		*省会距最近出海港的距离	

注：表中带*的指标表示其与可持续发展负相关的关系

泰灌区人工绿洲的首要任务是发展经济。排在前 10 位的指标还有草地退化率、恩格尔系数、就业率，灌溉水有效利用系数、灌溉提水量、耕地退化率、居民收入基尼系数、单位国土面积公路里程、人口增长率、非农业人口比例与城市化率。水资源是绿洲生存发展的命脉，农业用水占用水总量的 85% 以上，提高灌溉用水效率是水资源合理利用保护的关键。清洁能源的比例是绿洲清洁生产的重要标志。较高的人民生活水平，均衡的经济发展，适度的人口增长，较高的人口素质与城市化水平都是人工绿洲可持续发展的重要体现。交通条件，是决定绿洲进行物质文化交流便利与否的客观条件，对绿洲可持续发展水平也非常重要。同时反映生态环境质量的降雨量的多少，也是人工绿洲可持续发展的主要方面。

5.4 评估及结果分析

评判标准：以景泰灌区 2005 年的指标值作为现状值，以国家计委编制的《十一五规划战略研究》，《国民经济和社会发展的第十一个五年计划纲要》中公布的

2010 年发展目标为主要依据, 选取指标的目标值; 单位面积公路里程的目标为当前的全国水平, 省会距最近出海港的距离以处于中原腹地的郑州为参照 (见表 5-3)。

表 (5-2) 景泰灌区人工绿洲可持续发展评估指标权值及综合排序

目标层 S	控制层 D	权值	指标层 d	权值 d-D	权值 d-S	综合排序
人工绿洲可持续发展	社会可持续发展	0.49	*人口自然增长率 (%)	0.1	0.049	9
			万人大学生人数 (%)	0.1	0.049	9
			人均 GDP 值 (美元)	0.275	0.135	1
			第三产业比重 (%)	0.12	0.06	6
			*居民收入基尼系数	0.105	0.052	7
			*恩格尔系数	0.042	0.021	14
			就业率 (%)	0.174	0.085	3
			城市化 (%)	0.084	0.041	10
	生态环境可持续发展	0.45	地面水质达标率 (%)	0.165	0.074	4
			灌溉水有效利用系数	0.165	0.074	4
			*每万元 GDP 能耗 (t 标准煤)	0.054	0.024	13
			城市人均公共绿地 (m ²)	0.116	0.052	7
			草地增长率 (%)	0.2	0.09	2
			森林覆盖率 (%)	0.15	0.068	5
			城市空气质量达标率 (%)	0.085	0.038	11
区位条件	0.06	单位国土面积公路里程 km/km ²	0.88	0.052	8	
		*省会距最近出海港的距离 km	0.12	0.007	15	

注: 表中带*的指标表示其与可持续发展负相关的关系

指标的趋近值: y 为评价值, d 为现状值, d_0 为目标值

- 1) 当 d 与 y 呈正相关时, 利用公式: $y=d/d_0$
- 2) 当 d 与 y 呈负相关时, 利用公式: $y=d_0/d$
- 3) 当标准值为 0 时, $y=(1-d_0)-d$

综合趋近度评价: 运用线性加权和法的基本公式: $Y = \sum_{i=1}^n y_i w_i$

式中: Y 为综合评价指数 ($i=1, 2, 3, \dots, n$); y_i 为第 i 项评价指标, w_i 为第 i 项评价指标的权重。

表 (5-3) 景泰灌区人工绿洲可持续发展综合评估表

目标层 S 趋近度	控制 层 D	权 值	趋近 度	指标层 d	权值 d-D	现状 值	目 标	趋 近 度
人工 绿洲 可 持 续 发 展 0.71	社会 可 持 续 发 展	0.49	0.78	*人口自然增长率(%)	0.1	6.33	4.9	0.77
				万人大学生人数 (%)	0.1	39.34	50	0.79
				人均 GDP 值 (美元)	0.275	867	1200	0.72
				第三产业比重 (%)	0.12	39	40.5	0.96
				*居民收入基尼系数	0.105	0.45	0.33	0.73
				*恩格尔系数	0.042	0.56	0.4	0.71
				就业率 (%)	0.174	96.2	100	0.96
	城市化 (%)	0.084	24	48	0.5			
	生态 环 境 可 持 续 发 展	0.45	0.67	地面水质达标率 (%)	0.165	60.5	70	0.86
				灌溉水有效利用系数	0.165	0.38	0.5	0.76
				*每万元 GDP 能耗 (t 标准煤)	0.054	2.1	1.76	0.84
				城市人均公共绿地 (m ²)	0.116	5.7	8	0.71
				草地增长率 (%)	0.2	8.5	10	0.85
				森林覆盖率 (%)	0.15	1.23	20.3	0.06
				城市空气质量达标率 (%)	0.085	28.7	67	0.43
耕地增长率 (%)	0.065	3	0	0.97				
区 位 条 件	0.06	0.37	单位国土面积公路里 程 km/km ²	0.88	0.09	0.24	0.38	
			*省会距最近出海港的 距离 km	0.12	1622	471	0.29	

通过以上方法既可得到的评价结果 (见表), 一般认为趋近度为小于 0.6 即为不可持续发展, 0.6~0.7 为弱可持续发展, 0.7~0.9 为中等水平可持续发展, 大于 0.9 为高水平可持续发展。

从评价结果来看, 景泰灌区人工绿洲的可持续发展总体评价值, 为弱可持续发展, 社会发展评价值 0.78, 属中等可持续发展水平。生态环境的发展现状评价值为 0.67, 为弱可持续发展水平。绿洲区位条件与全国水平来比是非常差的, 趋近度仅为 0.37。

在社会发展中, 就业率、第三产业比重的趋近度比较高, 表明人民生活稳定、

生活水平比较高，而且经济发展比较迅速。人口增长率、人口素质与人均 GDP、恩格尔系数、人口增长率和居民收入基尼系数相对比较高，为中等可持续发展水平。当地在“农业富县、工业强县、商贸活县、科教兴县、旅游热县”的基本县策的指导下，农业结构日趋优化，农村经济持续发展。枸杞、红枣、洋芋、瓜菜、种植、养殖等特色农业发展较快，区域化布局基本形成。粮食总产量每年稳定在 13 万吨以上。工业经济稳步增长，运行质量明显提高。建材、煤炭、化工、冶炼及农畜产品加工业发展较快。工业经济对当地财政的贡献率为 30%~40%，第三产业比重较高，主要是由于当地自然与历史遗迹较多，旅游市场不断扩大，如被评为“国家地质公园”的黄河石林，“国家森林公园”寿鹿山，“国家重点文物保护单位”永泰龟城，“甘肃省历史文化名村”的永泰村，也有“省级影视拍摄基地”之称，这些旅游产业的全面提升，促使了当地新产业发展格局的初步形成。实现了国民经济速度、质量和效益的同步增长。城市化水平的趋近度为不可持续水平，因为灌区的发展主要以农业为主，而且基础设施建设速度相对比较缓慢，于是城市化进程比较慢。

在自然环境方面，耕地增长率的趋近度比较高，电力提灌工程上水以来，水土流失的土壤得到治理，而耕地和有效灌溉面积在逐渐增加，增加了农民的收入同时改善了生态环境，地面水质达标率、草地增长率和每万元 GDP 能耗的趋近度相对较高，属于中等可持续发展水平。由于地面水主要来源于黄河过境水，在灌溉、脱盐和自净的过程中水质逐渐好转。再者，在政府的支持下，灌区调整产业结构，大力发展畜牧业，实现退耕还林还草，于是人工草场迅速增长。而且灌区的主要能源是电，而“节水如节约能源”，节水灌溉措施逐渐推行和改进，有效地防止了能源的浪费。此外，灌溉用水的有效利用率与国家标准的趋近度为 0.76，属于中等水平可持续发展状态。景泰灌区人工绿洲区位条件差，主要反映在区内贸易的运输成本增大；而其离我国经济中心的地理位置较远则决定了绿洲国际国内贸易的运输成本比较大，虽然在当前社会主义市场经济条件下，国家一系列优惠政策会大大削弱这种影响，但实际存在的客观制约因素是非常明显的。作为绿洲自身来说只有通过充分挖掘自身的优势才能真正使区位优势得到转换。

5.5 景泰灌区人工绿洲可持续发展的建议

从景泰灌区人工绿洲的生态、社会与经济效益的分析可以看出, 尽管景泰灌区的发展有着种种自然限制因素, 但决定其可持续发展与否的最终是人类活动的科学性、合理性, 它最根本的体现就是按照区域本身的自然特点、发展基础, 结合外部环境来制定区域发展的战略。因此, 提出景泰灌区人工绿洲可持续发展的几点建议:

以农为本, 积极发展现代农业, 有的放矢发展工业, 加强旅游业; 始终贯穿以水资源为核心的自然资源环境可持续利用的思想与技术。景泰灌区人工绿洲如同其它绿洲一样有着丰富的光热资源及土地资源, 灌溉可提供充分的水资源, 昼夜温差大等自然资源特点使得粮食、瓜果品种、牲畜种类比较特殊, 而且品质优良; 加之农民人均耕地面积远高于全国平均水平, 农业机械化水平较高, 是全国发展现代农业最具潜力与优势的地区之一^[96]。在工业方面根据新古典区位论^[79], 由于景泰灌区人工绿洲的自然条件、地理位置使其不具有发展市场指向、劳工与技术指向、资本指向及环境指向型工业的优势, 但具有原料指向、燃料与动力指向的优势。近年来作为第三产业的服务业发展很快, 大大改善了人民生活水平。随着全国人民生活水平的提高, 吃、穿、用、住等基本消费已不能满足人们对高质量生活的追求, 对以“行”为主旅游消费已成为现代人消费的新趋向, 景泰县在国内不仅有独特的自然风貌, 更有与众不同的历史文化风情。积极利用独特的旅游资源, 发展旅游业是景泰灌区人工绿洲第三产业发展的新动力。同时, 绿洲人口数量增加, 再加上分布不集中, 决定了中小城市发展的重要性。景泰灌区人工绿洲脆弱的自然条件及其恶劣的干旱环境, 决定了水资源及由其影响下的各类生物资源的珍贵, 自然环境对人类活动造成的影响十分敏感, 承受能力差。从而只有将自然资源环境可持续利用的思想与技术贯穿于社会经济活动的始终, 才能保障绿洲发展的可持续性 (如图 5-1)。

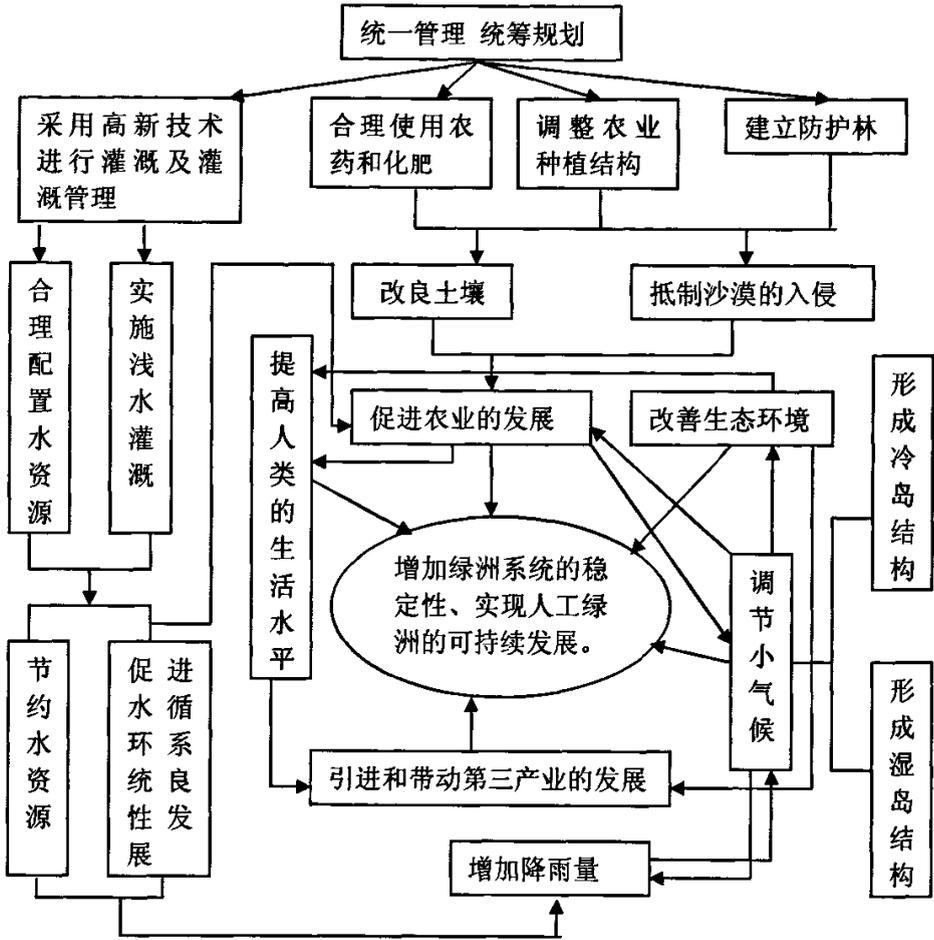


图 5—1 人工绿洲可持续发展循环系统

5.6 景泰灌区人工绿洲实施可持续发展的途径与措施

(1) 实施品牌战略，积极支持、鼓励、引导农业企业的发展，以此推动农业产业化的进程。近年来景泰县积极鼓励大农业的发展，但目前的发展水平还仅限于耕地规模的扩展，或农牧结合的发展，而农业产业化最终得以实现的关键是将产品推向市场。许多优质的、独特的农产品还没有自己的品牌推出来，知名的农业企业比较少，不仅面对丰富的农业资源，有很多潜力没有挖出来，并且使这些独特、优质的农产品在市场中的流通受到影响。在利益分配上，利用了高产、优质等一系列农业技术后，由于成本越来越高，农民得到边际收益日渐减少，真正受益的是逐级的贩卖商。当前的农业企业中，以提供种子、化肥等初级服务的

居多,开发农产品的企业开始增多但层次不高,例如对特色瓜果品,如枸杞、红枣的加工、保鲜、贮存的开发还很落后,为农民提供技术培训、科技信息的单位及企业很少。因此,制定一系列优惠政策,引进先进的科学技术,支持、鼓励、引导农业企业向多元化方向发展,是当前农业发展的迫切要求。

(2) 巩固资源型工业的同时,转换思维,变劣为优,积极发展与农业相关的工业。景泰灌区人工绿洲的区位条件决定了其具有发展原料指向型工业的优势,但在其它不具备的优势中,市场指向是最容易被转换的。对于工业发展来说,之所以停留在资源型指向上,问题在于景泰灌区人工绿洲远离对高级工业产品消费需求大的经济发达地区。而对于积极发展现代化农业的景泰灌区人工绿洲来说,农业是工业产品最大的消费者,化肥、农药、机械等等为农业生产提供服务的工业目前在景泰,除了机械外其他规模都比较小,层次也比较低;对农产品开发尤其是特色瓜果类加工的工业水平还只停留在技术水平低、成品种类少的阶段。也正是由于没有高品质的产品出现在市场,使得当地的许多特色产品没有进入国际国内的主流市场,而以摊点贩卖居多;而且有许多产品的加工被区外企业抢去,例如一些果品类加工等,从而导致工农业产品的输出是以原料型为主。政府应充分利用这种工农业互补的优势,并从资金、技术、人才上给予最大的支持、引导,是景泰灌区人工绿洲工业发展的突破口所在。

(3) 利用各类优惠政策,吸引高素质人才,积极推动中小城市的建设。建设中小城市以增加绿洲自身经济辐射点,以点带面推进绿洲社会经济的发展不仅需要大量的基础设施建设,更重要的是拥有高素质的人才。而在当前的人口流动中,迁入人口素质比较低,迁出人口素质较高,形成人才流失;利用各类优惠政策,吸引高素质人才,才能使所建立的城市发挥经济文化的辐射作用。

(4) 通过法律手段管理、保护自然资源。法律是保护、管理自然资源最公正、有力的手段。在整个灌区,由于人们的法律知识薄弱,生态环境保护意识欠缺,再加上当地对自然资源疏于管理与保护,例如开荒、天然草地的放牧、向荒地排污等,人们不需要对过度利用、破坏负任何责任,只有等到自然环境恶化的时候,所有的人一起承担由此带来的环境问题。通过立法使使用者、开发者负起法律责任、受到法律制约,才能对自然资源得到真正有效的管理和保护。

(5) 宏观上统筹配置水资源, 微观上科学利用水资源。水资源是人工绿洲存在发展的命脉, 也是限制因子, 水资源的持续利用是绿洲可持续发展的根本保障。由于宏观上没有统筹配置水资源而导致的生态问题的教训, 如古有楼兰的消亡, 今有黄河的断流等等。微观上科学利用水资源则决定了人工绿洲发展的潜力, 因此在农业上发展节水灌溉、保水耕作、抗旱育种等将大大提高农业生产的潜力, 工业及人们生活用水方面节水、清洁生产技术的应用, 其意义不仅是水资源的可持续利用, 而且成为提高工业生产技术及人们可持续发展思想的重要途径。

(6) 科学规划、管理、经营旅游景点, 推动旅游业向特色、优质、环保的方向发展。近年来旅游业在景泰不断升温, 国内外旅游人数日渐高涨, 新的旅游景点逐渐增多, 服务设施差、项目少、景点建设的环保意识差, 牟取暴利的劣质经营点多。这样疏于科学规划与管理经营的发展状态, 不仅影响了景点的服务质量, 而且还会影响到游者的热情, 是一种经济、环境均不可持续的发展; 最终则影响当地旅游业的声誉, 错失以旅游业带动第三产业发展的良机。

6 结论与讨论

6.1 主要结论

6.1.1 景泰灌区人工绿洲效益分析总结

(1) 景泰电力提灌工程上水以来,生态环境逐渐好转,由于人工绿洲的开发,产生了一系列有利于人类生存的效应,如“冷岛效应”“湿岛效应”“风屏作用”“增湿作用”等,具体表现为:夏季气温相对较低,冬季气温相对较高;风速下降,沙尘暴减少;降雨量增加,而蒸发量减少。但由于受当地特殊的气候所决定,干旱少雨和蒸发强烈仍然为主要特征。

(2) 地表水主要以过境黄河水为主,地下水资源量较少,而且水质较差,自灌溉工程上水以来,地下水位逐渐上升,由于当地土壤盐分较大,在灌溉过程中,土壤中的盐分都进入水中,所以地下水中的矿化度和总硬度在逐渐增加,在不断的脱盐,洗盐与排水的作用下,地下水水质变差的趋势在减缓,而且有转好的趋向。

(3) 灌区绿地面积在增加,农业结构日趋优化。在灌溉洗盐与排盐的作用下,土壤含盐量逐渐减少,盐碱地面积和戈壁滩面积锐减,土壤环境大为改观,向有利于农业生产的方向发展。综合环境质量也逐渐好转,向有利于动植物生长和人类生存的方向发展。

(4) 景泰川农业生产条件有了很大的改善,粮食生产飞速发展。灌区亩产量由上水前 200 多斤猛增到 670 斤,最多的超过千斤。干旱贫困的景泰县由缺粮县变为粮食调出县,每年为国家交售粮食 1700 万公斤,全县乡镇企业总产值由 1978 年的 33 万元增加到 2006 年的 18.71 亿元。全县农民人均纯收入也由 1971 年的 81 元,增到 2006 年的 8120 元。人民生活水平逐渐提高。产生了良好的经济效益。

(5) 一期灌区开发建成,新设立了 3 个乡(镇),移民 11 万人。昔日荒无人烟的大漠,成为景泰县政治、经济、文化的中心。各种建筑鳞次栉比,高楼林立,马路宽阔;商业网点星罗棋布,集市贸易十分活跃。景电二期工程建成后,灌区内新修学校 227 所(中学 23 所、小学 204 所),其中:景泰 110 所(中学

10 所、小学 100 所), 古浪 117 所(中学 13 所、小学 104 所), 灌区建设本着扶贫与开发相结合的原则, 共安置景泰、古浪、东乡、永靖、会宁、天祝、内蒙古左旗等 7 县(旗) 移民 30 多万人。产生了良好的社会效益。

6.1.2 建立景泰灌区人工绿洲发展可持续性评估体系

(1) 景泰灌区人工绿洲可持续发展受社会经济、自然环境及区位条件三要素影响。提出绿洲可持续发展评估指标体系: 社会发展指标、自然环境可持续发展指标及区位制约指标。

(2) 建立简单、实用的评估数学模型: 景泰灌区人工绿洲的可持续发展度模型、社会发展度模型、自然环境可持续发展度模型及区位制约度模型。

(3) 运用层次分析法(AHP) 确定了各评估指标的权值, 运用线形加权法对景泰灌区人工绿洲可持续发展进行逐层和整体评估: 景泰灌区人工绿洲当前发展为中等水平可可持续发展。社会发展水平为中等可持续水平; 生态环境的发展为弱可持续接近中等可持续发展水平; 区位条件差。

6.1.3 提出景泰灌区人工绿洲可持续发展的建议

根据景泰灌区人工绿洲的资源禀赋, 结合当前发展中存在的问题, 指出今后景泰灌区人工绿洲可持续发展的总体思路为: 以农为本, 积极发展现代农业, 有的放矢发展工业, 加强旅游业; 加快城市化的发展; 始终贯穿以水资源为核心的自然资源环境可持续利用的思想与技术。

6.1.4 启示

①由于干旱环境及其产生的物质条件, 决定了人工绿洲的形成条件与自然特点, 现在的干旱环境没有太大的变化, 但并不说明它是一成不变的, 其中水是干旱环境中最敏感的因子。②干旱地貌、水文等环境特点决定了人工绿洲自身生态系统很脆弱, 对环境干扰的抵抗力差, 而人类活动的不合理性加剧了其生态系统的脆弱性, 是导致其生态破坏的直接原因。③绿色植被在人工绿洲生态环境的保护与维护中发挥着主力军的作用。④根据绿洲的资源特点, 发展优势产业, 是克服绿洲区位制约的根本所在。

6.2 讨论

(1) 景泰灌区人工绿洲的环境变化过程比较复杂, 资料记载少而凌乱, 对其进行的总结与分析由于受篇幅和学识限制, 疏漏之处难免, 是需要继续努力的地方。

(2) 在经济效益分析过程中, 由于缺乏相关的数据及知识水平的局限性, 所以对景泰灌区经济效益分析只进行了简单的定性说明, 为不足之处。

(3) 在整个评价分析过程中, 主要是从纵向的时间过程做对比分析, 由于资料、技术和知识面的局限性, 没有从横向的地域之间进行对比分析, 难免缺乏系统性的说服力。

(4) 在可持续发展评价里, 区位是个不可忽视的因素, 但其组成因素包括很多方面, 由于专业知识有限, 只能从市场及运输的角度来考虑该问题, 不免影响研究深度。

(5) 目前, 人们对人工绿洲的研究多偏重于环境方面, 而且大多分析人工绿洲的负效应, 而作为具有社会功能实体的人工绿洲来说, 从社会、经济、环境的角度系统研究其可持续发展成为必要。

(6) 在对人工绿洲发展进行可持续性评估时必须充分结合其自身的特点, 在指标的选取、评判标准的确定, 根据其自身的自然、经济和社会条件, 及当前的发展现状、水平和近期的发展趋势来确定, 因此对区域可持续发展的评估体系只适合对当前和当地的评价。

参考文献

- [1] www.unccd.int
- [2] H. N. Le Houerou. Man-Made Deserts :Desertization Processes and Threats. Arid Land Research and Management: 2002.
- [3] 樊自立. 塔里木盆地绿洲形成与演变[J]. 地理学报, 1993, 48(5): 421~427.
- [4] 韩德林. 关于绿洲若干问题的认识[J]. 干旱区资源与环境, 1995, 9(3): 13~31.
- [5] Pankov EI, Kuzmina ZV, Treshkin, SE. The water availability-bility effect on the soil and vegetation cover of Southern Gobi oases[J]. Water Resource (in Russian), 1994, 21(3): 358~364.
- [6] 赵建新. 新疆绿洲演变规律探讨[J]. 新疆社会经济, 1993, (1): 57~59.
- [7] 张林源, 王乃昂. 中国的沙漠与绿洲[M]. 兰州: 甘肃教育出版社, 1994. 175~191.
- [8] 周劲松. 绿洲系统产业结构的历史演变及其发展方向[J]. 地理科学, 1996, 16(1): 79~87.
- [9] 中科院新疆地理研究所. 天山山体演化[M]. 北京: 科学出版社, 1986. 11~14.
- [10] 李江风. 楼兰王国的消亡和丝路变迁与气候关系[A]. 见: 新疆大学, 新疆地质矿产局, 中科院新疆分院. 干旱区新疆第四纪研究论文集[C]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1985. 81~94.
- [11] 张宏, 樊自立. 气候变化和人类活动对塔里木盆地绿洲演化的影响[J]. 中国沙漠, 1998, 18(4): 308~313.
- [12] 赵松桥. 人类活动对西北干旱地理环境的作足[J]. 干旱区研究, 1987, 4(3): 9~18.
- [13] 慈龙骏. 新疆防护林体系建设[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1980.
- [14] 黄培佑. 干旱生态学[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 1993.
- [15] 贾宝全, 阎顺. 绿洲—荒漠生态系统交错带环境演变过程初步研究[J]. 干旱区资源与环境.
- [16] Faragalla A A. Impact of Agrodessert on a Desert Ecosystem[J]. Journal of Arid Environment, 1988, 15(1): 99~102.
- [17] Grave M K, Grave L M. Effect of Large Central Asia Irrigation Canal on Desert Ecology[J]. Water Resource (in Russia), 1983, (4): 25~30.
- [18] Aranbaev MP. The Effect of Soil Cover Structure and Minerals Nutrition Levels

on Biological Productivity of Agriculture Ecosystem in Irrigation Zone of Soviet Central Asia[J] Agriculture Ecosystem Research(in Russian), 1977, (2).

[19]Bornkamm R. Flora and Vegetation of Some Salt Oasis in South Egypt[J]. Phytocoenologia, 1986, 14(2):275~284.

[20]贾宝全, 慈龙骏. 新疆生态用水量初步估算[J]. 生态学报, 2000, 20(3):243~250.

[21]贾宝全, 许英勤. 干旱区生态用水的概念与分类[J]. 干旱区地理, 1998, 21(2):8~12.

[22]钱亦工. 新疆经济发展模式的选择[J]. 新疆经济研究, 1990, (1):22~26.

[23]李树刚. 荒漠绿洲农业生态系统[M]. 北京:气象出版社, 1998.

[24]陈仲全. 绿洲节水系统监控与开发[J]. 环境科学学报, 1987, 7(1):1~7.

[25]王国清, 姜德华. 新疆的绿洲农业[J]. 地域研究与开发, 1991, 10(3):27~31.

[26]孙祥. 草业在绿洲生态农业中的地位和作用与优化体系建立的原理[J]. 干旱区资源与环境, 1995, 9(4):16~23.

[27]周建明. 草地农业及其在干旱区畜牧业建设中的作用[J]. 新疆环境保护, 1994, 16(4):68~72.

[28]任继周, 贺达汗等. 荒漠绿洲草地农业系统的耦合与模型[J]. 草业学报. 1995. 4(2):11~19.

[29]环境科学大词典(M). 北京:中国环境科学出版社.

[30]《中国大百科全书》, 中国大百科全书出版社, 1993年.

[31]彭应登, 杨明珍. 区域开发环境影响累积的特征与过程浅析[J]. 环境保护, 2001, 3(6).

[32]贾宝全, 慈龙骏等. 人工绿洲潜在景观格局及其与现实格局的比较分析[J]. 应用生态学报. 2000, 11(6).

[33]樊自立, 马英杰等. 试论中国荒漠区人工绿洲生态系统的形成演变和可持续发展[J]. 中国沙漠. 2004, 24(1).

[34]杜明远, 真木太一. 沙漠绿洲的开发与环境变化的相互影响[J]. 自然资源学报. 1999, 4(14).

[35]张强, 胡隐樵. 绿洲地理特征及其气候效应[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4):477~486.

[36]杨青, 雷加强等. 人工绿洲对夏季气候变化趋势的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(12).

[37]冯起, 刘蔚等. 塔里木河流域水资源开发利用及其环境效应[J]. 冰川冻土, 200~326.

[38]王梅, 潘存德等. 人工绿洲外围荒漠植被及其群落外貌特征[J]. 干旱区地理.

2005, 28[1]。

[39]1990~2000 年景泰县志。

[40] 张强, 胡隐樵. 绿洲地理特征及其气候效应[J]. 地球科学进展. 2002, 17(4)。

[41]杨吾扬, 梁进社. 高等经济地理学[M]. 北京:人民教育出版社, 1997。

[42]周立三. 哈密——一个典型的沙漠沃洲[A]. 见:中国科学院南京, 地理与湖泊研究所. 周立三论文选集[C]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 1990. 21~29。

[43]黄盛璋. 论绿洲研究与绿洲学[J]. 中国历史地理论丛, 1990, (2):1~24。

[44]刘亚传. 试论水文地质环境与绿洲农业生态[J]. 水文地质工程地质, 1984, (6):28~30。

[45]杨发祥. 新疆绿洲型城镇的分布类型与兴衰[J]. 干旱区地理[J], 1990, 13(2):58~61。

[46]黄文房. 楼兰王国的兴衰及其原因的探讨[A]. 见:中科院新疆分院罗布泊综合科学考察队. 罗布泊科学考察与研究[C]. 北京:科学出版社, 1987. 315~318。

[47]吕世华, 陈玉春. 绿洲和沙漠下垫面状态对大气边界层影响的数值模拟[J]. 中国沙漠, 1995, 15(2):116~123。

[48]黄妙芬. 绿洲—荒漠交界处辐射差异对比分析[J]. 干旱区地理, 1996, 19(3):72~79。

[49]黄妙芬. 绿洲农田作物的显热与潜热输送[J]. 干旱区地理, 1996, 19(4):68~74。

[50]周宏飞, 李彦. 绿洲农田土壤水分平衡及变化特征[J]. 干旱区地理, 1996, 19(3):66~71。

[51]陈仲全. 绿洲节水系统监控与绿洲开发[J]. 环境科学学报, 1987, 7(1):1~7。

[52]夏爱林, 樊晏清等. 新疆绿洲农业的膜上灌水技术[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(1):84~89。

[53]慈龙骏主编. 新疆防护林体系的建设[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社, 1980: 17~73。

[54]AbdEI-GhaniMM. FloraandvegetationofGaraoasis, Egypt[J].

Phytocoenologia, 1992, 21(1)。

[55]刘钰华, 王树清. 新疆绿洲防护林体系[J]. 新疆环境保护, 1994, 16(4):87~91。

[56]FaragallaAA. Impactofagrodesertonadesertecosystem[J]. JournalofAridEnvironmen
t, 1988, 15(1):99~102。

[57]景泰县土壤普查办公室. 甘肃省景泰县第二次土壤普查报告[R]. 1987。

[58]张明泉, 曾正中等. 景泰灌区土壤次生盐渍化成因与防治[J]. 兰州大学学报. 1990, 26
(4): 148~153。

[59]张明泉, 曾正中. 水资源评价[M]. 兰州大学出版社. 1995。

[60]贾宝全, 慈龙骏等. 干旱区绿洲研究回顾与问题分析[J]. 地球科学进展, 2000, 15(4):

381~388。

[61]中科院新疆地理所编著, 干旱区资源环境与绿洲研究, 科学出版社, 1995。

[62]陈兴鹏, 康尔泗。河西走廊绿洲生态经济系统良性循环的水资源问题[J]。中国沙漠, 2000, 20 (1): 90~94。

[63]王根绪, 李琪等, 140a 来江河源区的气候变化特征及其生态环境效应[J]。冰川冻土, 2001, 23 (4): 347~350。

[64]邱志高, 丰爱平等。近 50 年来莱州湾南岸气候变化及环境效应[J]。海岸工程, 2006, 25 (2)。

[65]肖彩虹, 郝玉光等。乌兰布和沙区人工绿洲小气候的变化[J]。中国农业气象, 2003. 24(2)。

[66]杨发相, 马虹等。新疆玛纳斯河地区绿洲的形成与演变研究[J]。干旱区研究。2003, 20(4)。

[67]樊自立, 艾里西尔等。新疆人工灌溉绿洲的形成和发展演变[J]。干旱区研究。2006, 23(3)。

[68]许春菊, 刘江滨。谈森林分类经营的生态经济和社会效益[J]。林业勘查设计。2006 年底一期。

[69]王根绪, 李琪等。40a 来江河源区的气候变化特征及其生态环境效应[J]。冰川冻土。2001, 23(4)。

[70]曹宇, 欧阳华等。额济纳天然绿洲景观变化及其生态环境效应[J]。地理科学, 2005 年。

[71]魏全伟, 谭利华等。河流阶地的形成演变及环境效应[J]。地理科学进展 2006, 25(3)。

[72]陈继宗, 周吉俊。景泰县寿鹿山天然林保护区生态效益分析[J]。海岸工程, 2004, 27(3)。

[73]杨树青, 史海滨等。内蒙古河套灌区咸水灌溉的环境效应分析。灌溉排水学报, 2004, 23(5)。

[74]魏晓妹, 康绍忠等。石羊河流域绿洲农业发展对水资源转化的影响及其生态环境效应。灌溉排水学报, 2006, 25(4)。

[75]马金珠, 李吉均等。气候变化与人类活动干扰下塔里木盆地南缘地下水的变化及其生态环境效应, 干旱区地理, 2002, 25(1)。

[76]孙涛, 潘世兵等。疏勒河流域水土资源开发及其环境效应分析[J]。干旱区研究, 2004, 21(4)。

- [77] 高前兆, 塔克拉玛干沙漠南缘水资源开发与绿洲生态环境负效[J], 干旱区理, 2003, 26(3)。
- [78] 迟维韵, 生态经济理论与方法(M), 中国环境科学出版社, 1990: 24~25。
- [79] 马传栋, 资源生态经济学(M), 山东人民出版社, 1995。
- [80] <http://www.gsjdinfo.com>
- [81] 任继周, 贺达汗等. 荒漠绿洲草地农业系统的耦合与模型闭[J]. 草业学报. 1995. 4 (2): 11~19。
- [82] 王金环. 浅议景电灌区灌溉用水管理[J]. 甘肃科技, 2003, 19 (12): 144~145。
- [83] 张志河. 景电灌区次生盐渍化的成因及改良措施[J]. 甘肃科技纵横, 2003, 32(4): 59~60。
- [84] 张明泉, 曾正中. 干旱灌区地下水基本特征与水文地质问题[J]. 干旱区资源与环境, 1989, 3 (2): 83~89。
- [85] <http://www.zjol.com.cn/05sn/system/2006/06/19/007690088.shtml>
- [86] 2007 年景泰县政府工作报告

致 谢

硕士学位论文即将完成，三年的研究生生活也将结束。回首往昔，在我研究生的这段光阴中，我得到许多老师的关心与指导，同学的帮助和照顾以及家人的爱与支持，在此向他们表示衷心的感谢！

首先要把最诚挚的感谢与最真诚的敬意献给我的导师张明泉教授，本篇论文是在张老师的悉心指导下顺利完成的，从论文的选题到最终定稿的整个过程中，张老师都给予了极大的关注和指导。在三年研究生学习期间，导师在科研和生活各方面都给了我很多的关怀和帮助。张老师渊博的学识，严谨的治学态度，一丝不苟的工作作风，丰富的研究经验使我终身受益，为我今后的人生树立了榜样。在此向张老师表示衷心的感谢！

衷心感谢曾正中老师对本论文的写作过程中所提供的帮助，感谢环境科学系全体老师在我的三年学习过程中所给予的关心和指导。

感谢师兄苟剑锋、罗程亮、桑学锋，吴杨，师姐蔡红霞，豆林，刘琴，黄进以及邵明中，姬爱民，方世跃，郭志亮，感谢各位师弟师妹，师门友谊让我感觉到了家的温馨，和大家共同学习和生活的日子是我的财富，我向大家学到了很多知识。特别感谢师姐豆林与师弟张满银，在本论文的调研、实验与资料的收集过程中，她（他）们给了我很大的帮助。

感谢我的大学老师高丽敏老师，校友胡沛清老师，在这几年里，不论在生活还是学习中，她们给予了我很大的关心与帮助，在此向高老师，胡老师表示深深的谢意。

还要感谢一起生活、学习过的各位兄弟姐妹们的支持与帮助。

感谢我的家人，在我的成长过程中，他们给予了我无私的爱；在我的学习过程中，他们给予了我无微不至的关心和支持；我的每一点进步都凝聚着我家人的期盼与心血。

再次向所有师长、同学、亲戚朋友致以衷心的感谢！