

南水北调西线一期工程调水区生态环境 质量遥感分析与综合评价

沙占江^{1,2}, 马海州², 李玲琴¹, 白艳芬², 王明祥², 马海英¹

(1. 青海师范大学青藏高原资源与环境研究中心, 青海 西宁 810008;

2. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008)

摘要:南水北调西线工程,是从长江上游干支流调水入黄河上游的跨流域调水重大工程,对解决黄河水资源短缺有着重大意义,但是在调水工程实施前,对调水区生态环境质量进行客观评价是很有必要的。在大量的野外调查和室内综合分析的基础上,对南水北调西线调水区域的生态环境进行了评价。主要利用现代遥感技术和地理信息系统分析方法,在地学综合思想和生态系统理论的指导下,提取了研究区影响环境质量的6个因子图层数据,叠加形成一个综合环境指数图层数据,对其等间距划分成4个环境分区。各综合自然环境指数的空间分析结果表明,综合自然环境指数一级和二级区具有较好的自然环境条件,集中分布在研究区的东部,约占研究区面积的50%;三级区是自然环境比较敏感的地区,主要分布在调水区域的西部高原丘陵上;四级区是自然环境比较脆弱、恶劣的区域,主要分布在调水区域的高寒山原地带。所以,一级和二级区的自然环境具有一定的抗干扰能力,在适当的环境保护措施下,可以进行一定规模的工程建设;三级区进行工程建设时,必须特别注意对自然环境的各项保护措施,加大环境保护的力度及投入;四级区上进行工程建设会造成较大的环境破坏,不宜进行工程建设。

关键词:南水北调;TM/ETM;遥感;生态环境;质量评价

中图分类号:TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2009)02-0180-06

1 引言

环境问题是近年来的研究热点,全球环境变化已经影响到地区的经济可持续发展^[1]。生态环境是区域经济社会可持续发展的核心和基础,充分认识和理解区域生态环境的状况,正确评价现有生态环境的质量,是制订和规划区域国民经济发展计划的重要依据^[2,3]。生态环境质量评价是定量认识一个地区环境状况的技术方法。生态环境质量综合评价是在区域生态环境调查的基础上,针对本区域的生态环境特点,选取一定的评价指标采用数学方法进行评价,以判明不同评价单元的生态环境质量状况、存在的问题并提出综合治理的对策措施^[4-7]。随着卫星遥感的发展以及遥感影像能快速提供生态环境

信息的特点,生态环境遥感监测方法已经得到了广泛应用,由对生态环境状况某一方面的单要素调查监测逐步发展到利用多种数据支持的综合评价,建立区域性的生态环境综合评价指标体系,结合数学方法评价生态环境质量状况。南水北调西线工程,是从长江上游干支流调水入黄河上游的跨流域调水重大工程,是补充黄河水资源的不足,解决我国西北地区干旱缺水问题的重大战略措施,是支撑我国西部大开发和西北地区经济社会可持续发展的重大基础设施,也是为黄河流域和邻近的河西走廊、黑河、石羊河等地区生态环境改善提供水资源保证的重要途径,与黄河治理开发关系密切,也是我国“四横三纵”南水北调总体战略布局的重要组成部分^[8,9]。本文以大量的资料、外业调查资料和卫星图像资料

收稿日期:2008-07-28;修订日期:2009-02-26

基金项目:黄河水利委员会南水北调西线前期工作项目“南水北调西线一期工程调水影响区域生物本底调查及影响预测”(批准号:NX-HP01)资助。

作者简介:沙占江(1971-)男,博士,主要从事环境遥感、环境演化方面的教学及科研工作。E-mail:sazhanjiang@sina.com。

为基础,首先系统认识研究区的生态环境条件,查明生态环境问题;其次分析各生态环境问题的影响因素,最后构建评价指标体系,利用生态环境综合指数评价了南水北调西线调水区域的生态环境质量。

2 调水区域概述

南水北调西线调水区域位于青藏高原东部边缘地带。区内的大地构造单元为巴颜喀拉山印支地槽褶皱系,与之相毗邻的大地构造单元分别是:北及东北部的秦祁昆地槽褶皱系,西南部的唐古拉准地台;东部的扬子准地台;西部则延入可可西里和西昆仑地槽褶皱系。地势西北高,东南低,多年冻土和季节性冻土并存。调水河流地区及输水区属于北亚热带地区,但由于地处内陆腹心地带,海拔高,受大气环流影响,气候属高原季风气候。区内长冬无夏,春秋相连,干雨季分明,日照充足,太阳辐射强烈。雅砻江、大渡河调水河流地区水量充沛,径流来源主要为降水与地下水。每年 11 月至次年 3 月为枯水期,降水减少,径流主要靠地下水补给。4~5 月为枯丰水过渡期,径流为融雪和降雨补给,6~10 月丰水期,径流则以降雨为主。引水枢纽处在海拔 3 500 m 左右,位于大渡河的支流阿柯河、玛柯河、杜柯河和雅砻江干流及其支流泥曲、达曲。工程在四川省甘孜、色达、壤塘、阿坝县,青海省的班玛县和甘肃省的玛曲县^[8,9]。介于 31°20′~34°40′N,97°58′~102°30′E 之间,面积约 59 305 km²。

3 环境质量影响因子分析及数据源

研究区地处青藏高原边缘山原地带,沟谷相间分布,地表高差变化大,生态环境分异复杂。结合野外调查和室内综合分析,以遥感和地理信息系统技术为主要技术手段,分析调水区域影响生态环境质量的主要因子,包括地形地势、土地覆盖类型、植被覆盖度、陆地净生产力、年均降水量和年均温度等因子,概括为六大类。

主要数据源包括覆盖研究区的 TM/ETM 影像数据 7 景,1:25 万国家基本比例尺 DEM,1:100 万全国基础地理信息数据 1 km 插值数据,以及青海和四川两省各种自然资源图、图集、统计数据等。

4 遥感数据处理

对覆盖研究区 7 景原始 TM 影像数据每一景影像在 ERDAS 平台中通过几何校正、分辨率融合、子区裁剪等处理,获得研究区分幅 TM/ETM 数据;

对这些分幅 TM/ETM 数据经过专题信息提取、综合分类、分析解译等获取研究区植被类型空间分布信息,将 7 景分类影像经过图像镶嵌、边缘属性匹配等处理拼接为一幅完整的研究区植被类型图。将在 ERDAS 中处理好的研究区植被类型图经矢栅转换成 ArcGIS Coverage 格式,在 ArcGIS 中对植被类型图斑进行后处理操作,主要利用 Eliminate 命令删除归并面积小于 2 hm² 的图斑,植被类型分类总体精度为 72.5%,Kappa 为 0.677。经过处理好的植被类型图层作为数据源之一备后续分析用。

将处理好的植被类型图层(图 1,见图版Ⅶ)在 ArcGIS 中按类型编码进行合并(Dissolve),生成土地覆被类型图层,并对研究区的各种植被类型和土地覆被类型面积统计,见表 1、表 2。对分幅裁减的 TM/ETM 数据进行植被指数(NDVI)运算, $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$,并结合野外实地调查数据对比分析,将研究区内的 NDVI 值分为 4 类,即高植被覆盖($NDVI > 0.5$)、中高植被覆盖($0.30 < NDVI \leq 0.50$)、中植被覆盖($0.14 < NDVI \leq 0.30$)、低植被覆盖($0.09 < NDVI \leq 0.14$),在 ERDAS 中通过重新赋值编码,将 NDVI 图层重新分类成只有 4 个属性值的植被盖度图(图 2,见图版Ⅷ),并统计各级覆盖

表 1 研究区植被类型面积统计表
Table 1 The vegetation types of study area

植被类型	面积(km ²)	占全区的面积(%)
蒿草高寒草甸	35 127.82	59.23
杂类草高寒草甸	6 874.85	11.60
蒿草沼泽化草甸	320.50	0.54
杂类草草甸	1 424.76	2.40
莎草沼泽	997.19	1.69
杜鹃花、鲜卑花、锦鸡儿灌丛	3 465.44	5.84
白刺花灌丛	409.60	0.69
高山栎、悬钩子、小檗灌丛	2 994.08	5.05
圆柏林	28.03	0.05
云杉、冷杉林	1 235.94	2.08
云杉、冷杉林、桦木、高山栎林	4 001.52	6.75
落叶松林	79.71	0.13
高山流石滩植被	1 334.68	2.25
冰川积雪	20.04	0.03
河流	527.99	0.89
湖泊	10.63	0.02
耕地、居民地	452.31	0.76
合计	59 305.09	100.00

表 2 研究区土地覆被类型面积统计表
Table 2 The land cover types of study area

土地覆被类型	面积(km ²)	占全区的面积(%)
草甸	43 747.93	73.77
沼泽	997.19	1.69
灌丛	6 869.12	11.58
森林	5 345.20	9.01
高山流石滩植被	1 334.68	2.25
冰川积雪	20.04	0.03
水域	538.62	0.91
耕地、居民地	452.31	0.76
合计	59 305.09	100.00

度类型的面积(表 3)。高程数据采用 1 : 25 万国家基础地理信息数据(DEM),陆地植被净初级生产

力、年均温度、年降水量数据均采用 1 : 100 万全国基础地理信息数据 1 km 格网插值数据如图 3~图 6。对所获得的这些数据进行统一投影(Albers Conical Equal Area 投影)、统一分辨率(100 m)变换处理以备空间分析使用。

表 3 研究区植被盖度面积统计表
Table 3 The vegetation coverage of study area

	植被盖度	面积(km ²)	占全区的面积(%)
高植被覆盖度	>75%	13 804.37	23.28
中高植被覆盖度	60%~75%	19 855.34	33.48
中植被覆盖度	45%~60%	2 4407.79	41.16
低植被覆盖度	<45%	1 237.59	2.08
合计		59 305.09	100.00

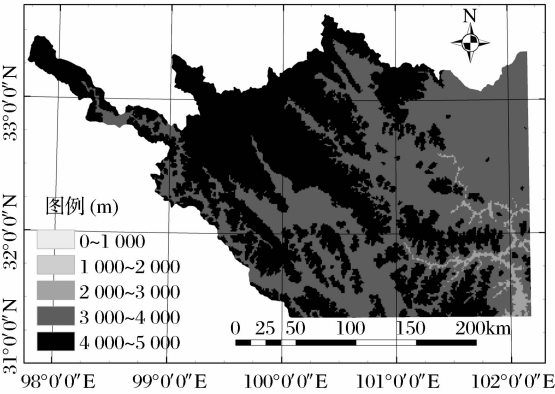


图 3 DEM 分布图
Fig. 3 DEM

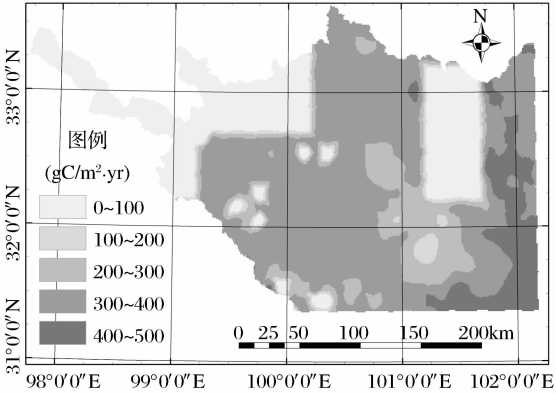


图 4 净初级生产力图
Fig. 4 NPP

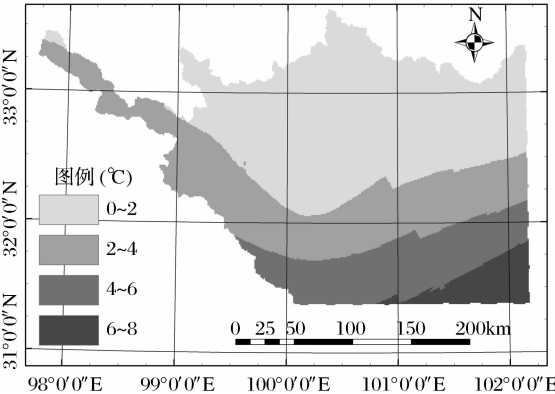


图 5 年均温分布图
Fig. 5 Mean annual temperature

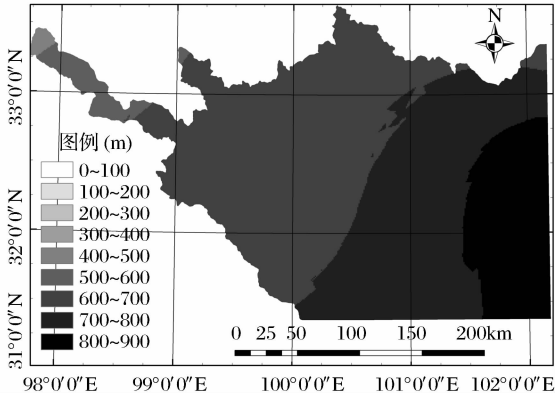


图 6 年均降水量分布图
Fig. 6 The annual average precipitation

5 自然环境综合分区

对上述所获 6 个图层数据进行极差标准化处理,根据均值型多因子环境质量评价指数^[10],提取研究区综合环境指数,以全面反映区内自然环境质

量状况。对海拔高度、土地利用类型、植被覆盖度这 3 个因子,由于环境指数 P_i 随环境值的增大而增大,利用如下的公式处理:

$$P_i = (E_i - E_{\min}) / (E_{\max} - E_{\min}) \tag{1}$$

对降水、气温、植被初级生产力因子,环境指数

P_i 随环境值的增大而减小, 则利用如下的公式处理:

$$P_i = 1 - (E_i - E_{\min}) / (E_{\max} - E_{\min}) \tag{2}$$

在 ERDAS 和 ArcGIS 中分别将 6 个原始图层数据进行极差标准化处理, 空间叠加运算, 形成一个环境综合指数图层数据, 每个像元具有一个综合指数 P 值, 其值域为[0,6], 并对自然环境因子综合指

数 P 值进行等间距分组, P 值由小到大表明环境质量由好到差。与之对应划分了 4 个环境分区(图 7, 见图版Ⅷ), 即一级区: 综合自然环境指数[0,1.5); 二级区: 综合自然环境指数[1.5,3); 三级区: 综合自然环境指数[3,4.5); 四级区: 综合自然环指数[4.5,6]。统计各自然环境分区面积, 各级地表覆盖度及地表覆被状况, 见表 4~表 6。

表 4 分区植被盖度面积统计表
Table 4 The vegetation coverage of sub-study area

植被盖度	一级区		二级区		三级区		四级区	
	面积(km ²)	%	面积(km ²)	%	面积(km ²)	%	面积(km ²)	%
高植被覆盖度	3 541.54	82.12	8 751.87	35.00	1 510.96	5.57	0	0
中高植被覆盖度	308.51	7.16	10 592.62	42.36	8 935.9	32.92	18.31	0.64
中植被覆盖度	453.89	10.52	5 570.09	22.28	16 130.61	59.43	2 253.20	79.19
低植被覆盖度	8.67	0.20	90.2	0.36	564.83	2.08	573.89	20.17
合计	4 312.61	100.00	25 004.78	100.00	27 142.30	100.00	2 845.40	100.00

表 5 分区土地覆被类型面积统计表
Table 5 The land cover types of sub-study area

土地覆被类型	一级区		二级区		三级区		四级区	
	面积(km ²)	%	面积(km ²)	%	面积(km ²)	%	面积(km ²)	%
草地	296.61	6.88	17 791.93	71.15	23 400.23	86.21	2 259.16	79.40
沼泽	2.65	0.06	248.32	0.99	571.57	2.11	174.65	6.14
灌丛	1 832.25	42.49	3 316.03	13.26	1 710.09	6.30	10.75	0.38
森林	2 092.58	48.52	3 068.77	12.27	183.85	0.68	0	0
高山流石滩植被	0	0	17.33	0.07	942.89	3.47	374.46	13.16
冰川积雪	0	0	0		13.06	0.05	6.98	0.24
水域	38.73	0.90	247.03	0.99	233.46	0.86	19.40	0.68
耕地、居民地	49.79	1.15	315.37	1.27	87.15	0.32	0	0
合计	4 312.61	100.00	25 004.78	100.00	27 142.30	100.00	2 845.40	100.00

表 6 分区植被类型面积统计表
Table 6 The vegetation types of sub-study area

植被类型	一级区(km ²)	二级区(km ²)	三级区(km ²)	四级区(km ²)	合计
蒿草高寒草甸	236.54	14 092.91	18 609.61	2 188.76	35 127.82
杂类草高寒草甸	0	2 366.11	4 453.44	55.30	6 874.85
蒿草沼泽化草甸	0	132.16	173.24	15.10	320.50
杂类草草甸	60.07	1 200.75	163.94	0	1 424.76
莎草沼泽	2.65	248.32	571.57	174.65	997.19
杜鹃花、鲜卑花、锦鸡儿灌丛	10.54	1 792.05	1 652.10	10.75	3 465.44
白刺花灌丛	346.32	63.28	0	0	409.60
高山栎、悬钩子、小檗灌丛	1 475.39	1 460.70	57.99	0	2 994.08
圆柏林	0	18.47	9.56	0	28.03
云杉、冷杉林	72.85	1 048.91	114.18	0	1 235.94
云杉、冷杉林、桦木、高山栎林	1 990.13	1 952.08	59.31	0	4 001.52
落叶松林	29.60	49.31	0.80	0	79.71
高山流石滩植被	0	17.33	942.89	374.46	1 334.68
冰川积雪	0	0	13.06	6.98	20.04
河流	38.73	242.66	227.32	19.28	527.99
湖泊	0	4.37	6.14	0.12	10.63
耕地、居民地	49.79	315.37	87.15	0	452.31
合计	4 312.61	25 004.78	27 142.30	2 845.40	59 305.09

6 生态环境质量综合评价

一级区面积 4 312.61 km², 占研究区 7.27%, 一级区自然环境条件最好, 土地覆被类型主要以林地、灌丛地为主, 分别占一级区面积的 48.52% 和 42.49%; 植被盖度高, 盖度大于 75% 的区域占 82.12%; 海拔高度分布在 3 000~3 500 m, 降水量较高, 多在 700~770 mm; 年均温度在 1~5℃, 局部地方在 10℃ 以上, 植被净初级生产力集中在 400 gC/m² yr. 说明有较好的物质能量交换与循环, 在空间分布图上显示该区域主要分布在东部峡谷地带, 地形起伏大。

二级区面积 25 004.78 km², 占研究区面积的 42.16%, 二级区自然环境条件较好, 土地覆被类型主要以草地、灌丛和林地为主, 分别占二级区面积的 71.15%、13.26% 和 12.27%; 植被盖度较高, 盖度大于 60% 的区域占 77%; 海拔高度分布在 3 400~4 200 m, 降水比一级区略有减少, 在 600~650 mm; 年均温度多在 0℃ 以下, 植被净初级生产力介于 200~240 gC/m² yr. 说明仍有较好的物质能量循环过程, 在空间分布图上显示该区域主要分布在峡谷地带与高原过渡的交接地带, 地形起伏大。

三级区面积 27 142.30 km², 占研究区面积的 45.77%, 三级区自然环境条件居中, 土地覆被类型主要以草地为主, 占三级区面积的 86.21%, 灌丛区面积比为 6.3%, 森林面积比不到 1%, 出现较大面积的沼泽和稀疏流石滩植被, 分别占到本区面积的 2.11% 和 3.47%; 植被盖度中等, 中高盖度和中盖度区域分别占本区面积的 32.92% 和 59.43%; 海拔高度分布在 4 000~5 000 m, 降水量进一步减少, 在 500~600 mm; 年均温度多在 -3℃ 以下, 植被净初级生产力介于 80~160 gC/m² yr. 说明该区域物质能量循环过程减弱, 在空间分布图上显示该区域主要分布在山原地带, 地形起伏较缓。

四级区面积 2 845.40 km², 占研究区 4.8%, 四级区自然环境条件居中, 土地覆被类型主要以草地为主, 占四级区面积的 79.4%, 几乎没有灌丛和森林的分布, 沼泽和稀疏流石滩植被面积比进一步增加, 分别占该区域的 6.14% 和 13.16%; 植被盖度较低, 盖度以低于 60% 的区域占有广大面积, 面积比在 99% 以上, 基本没有高盖度植被, 盖度低于 45% 的区域占到本区面积的 20.17%; 海拔高度分布在 4 500~5 500 m, 降水量进一步减少, 在 500 mm 左右; 年均温度多在 -4℃ 以下, 植被净初级生产力低

于 100 gC/m² yr. 说明该区域物质能量循环过程很弱, 在空间分布图上显示该区域主要分布在高山地带, 地形起伏大。

7 结 语

利用遥感技术和 GIS 空间分析方法客观、快速、有效地获取环境信息, 从宏观层面为工程规划、布局、建设提供数据支持和决策依据。从各综合自然环境指数的空间分析统计结果看, 综合自然环境指数一级和二级区具有较好的自然环境条件, 集中分布在研究区的东部, 约占研究区面积的 50%; 三级区是自然环境比较敏感的地区, 主要分布在调水区域的西部高原丘陵上; 四级区是自然环境比较脆弱、恶劣的区域, 主要分布在调水区域的高寒山原地带。所以, 一级和二级区的自然环境具有一定的抗干扰能力, 在适当的环境保护措施下, 可以进行一定规模的工程建设; 三级区进行工程建设时, 必须特别注意对自然环境的各项保护措施, 加大环境保护的力度及投入; 四级区上进行工程建设会造成较大的环境破坏, 不宜进行工程建设。但从工程线路的总体设计来看, 工程线路穿行区域和主要工程建设地区多在二级区和三级区内, 很少涉及一级区, 四级区内基本没有工程建设, 所以, 在建设中加强环境保护, 对环境影响大的一些工程和个别地段上涉及到脆弱、敏感环境区域时, 加大环境保护力度与投入, 处理好工程建设与环境保护之间的关系, 生态施工, 在研究区内可以进行适当的工程建设。

参考文献:

- [1] Yang Dayuan, Jiang Tong. Global Change and Regional Response[M]. Beijing: Chemical Industry Publishing, 2005: 5-15. [杨达源, 姜彤. 全球变化与区域响应[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 5-15.]
- [2] Shi Baozhong. Environmental Effect Assessment[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994: 3-10. [史宝忠. 环境影响评价[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994: 3-10.]
- [3] Lu Yongsan. Environmental Assessment[M]. Shanghai: Tongji University Press, 1999: 71-95. [陆雍森. 环境评价[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999: 71-95.]
- [4] Wang Yumei, Shang Jincheng, Deng Chaosheng, et al. Obstacles and Countermeasures of Developing Strategic Environmental Assessment in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(2): 222-225. [王玉梅, 尚金城, 邓朝生, 等. 中国开展战略环境评价中存在的问题及其对策[J]. 地理科学, 2004, 24(2): 222-225.]
- [5] Tian Jiahua. Index System and Method of Environmental Effect Assessment in Mineral Resources Development[J]. Pro-

- gress of Scientific and Technological and Countermeasure, 2004, (10):51-52. [田家华. 矿产资源开发环境影响评价的指标体系及方法[J]. 科技进步与对策, 2004, (10):51-52.]
- [6] Zhao Wenjin, Dong Deming, Long Zhenyong, *et al.* Study on the Framework of Indicator System for Strategic Environmental Assessment[J]. Scientia Geographica Sinica, 2003, 23(6): 751-754. [赵文晋, 董德明, 龙振永, 等. 战略环境评价指标体系框架构建研究[J]. 地理科学, 2003, 23(6):751-754.]
- [7] Dong Deming, Zhao Wenjin, Wang Xian'en, *et al.* Research on Some Problems of Strategic Environmental Assessment[J]. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(5): 609-612. [董德明, 赵文晋, 王宪恩, 等. 战略环评若干问题研究[J]. 地理科学, 2002, 22(5):609-612.]
- [8] Special Report IV of West Line of South-North Water Diversion Project Planning: Environmental Effect Analysis Ministry of Water Resources[R]. The Research Institute of Yellow River Conservancy Commission Survey Planning and Design, 2001. [南水北调西线工程规划专题报告之四: 环境影响分析[R]. 水利部、黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 2001.]
- [9] The Plan Summary of Northward Rerouting of Southern River West Line Project and First Phase Plan Basic Report Ministry of Water Resources [R]. The Research Institute of Yellow River Conservancy Commission Survey Planning and Design, 2001. [南水北调西线工程规划纲要及第一期工程规划简要报告[R]. 水利部、黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 2001.]
- [10] Liu Peitong, Xue Jiyu, Wang Huadong. Ecology Introduction (the Second Edition) [M]. Beijing: Higher Education Publishing House, 1995:163. [刘培桐, 薛纪渝, 王华东. 环境学概论(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995:163.]

Natural Eco-environment Comprehensive Assessment by Remote Sensing Technology in West Route Area of South-West Line Project

SHA Zhan-jiang^{1,2}, MA Haizhou², LI Ling-qin¹,
BAI Yan-feng², WANG Ming-xiang², MA Hai-ying¹

(1. Centre for Resources and Environment Research of Qinghai-Tibet Plateau, Qinghai Normal University, Xi'ning 810008, China; 2. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy Sciences, Xi'ning 810008, China)

Abstract: South-West Line project is major inter-basin water transfer project diverting water from main stream and branch of the Yangtze River upstream into the Yellow River upstream, and it is great significance to solve shortage of the Yellow River Water Resources. But prior to the implementation of the project, it is necessary to objective evaluate water diversion areas on the ecological environment quality. In this paper, based on a large number of field investigations and laboratory comprehensive analysis the eco-environment of west route diverting water region was evaluated. Throughout the course of the study mainly use modern remote sensing technology and geographic information system analysis methods, integrated thinking in geo-ecological system theory and under the guidance of the study area from the effects of environmental quality factor of the six layers of data, overlaid to form a comprehensive environment index layer data, its were divided into four regional environment. The Composite Index from the natural environment of space analysis showed that integrated the natural environment index Class 1 and Class 2 district have good natural conditions, concentrated in the eastern part of the study area, and account for research area 50%. Three areas are more sensitive natural areas, mainly located in the western part of the plateau region of diverting water; four areas are relatively fragile natural environment, the poor regions, mainly located in the high-cold region of water diversion zone. Therefore, the Class 1 and Class 2 district have some of the natural environment of anti-jamming capabilities, in the appropriate environmental protection measures, can be a certain scale of the project; three district works, we must pay special attention to all of the natural environment the protection measures, intensify environmental protection efforts and input on the four areas of the building will cause greater damage to the environment, it is not appropriate to carry out the works building

Key words: South-West line project; Environment assessment; TM/ETM; Remote sensing