

Queshui Kuangqu Guanjian Huanjing Yaosu De Jiance Yu Caidong Yingxiang Guili Yanjiu

缺水矿区关键环境要素的 监测与采动影响规律研究

雷少刚 著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

缺水矿区关键环境要素的 监测与采动影响规律研究

雷少刚 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书以植被、土壤水、包气带水、地下水作为半干旱缺水矿区的關鍵环境要素,以具有代表性的神东矿区为研究区域,构建了集遥感、GIS、探地雷达、现场调查等地空一体化的监测技术体系,多尺度研究了干旱半干旱矿区关键环境要素在地下开采与生态重建双重扰动下的时空演变规律,以及关键环境要素之间的相互作用关系。

本书可作为矿区环境保护、资源环境监测、干旱区生态建设等领域研究人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

缺水矿区关键环境要素的监测与采动影响规律研究/

雷少刚著. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.7

ISBN 978-7-5646-1538-3

I. ①缺… II. ①雷… III. ①干旱区—矿区—环境监
测—研究 IV. ①X322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第145252号

书 名 缺水矿区关键环境要素的监测与采动影响规律研究

著 者 雷少刚

责任编辑 时应征

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 850×1168 1/32 印张 7 字数 182 千字

版次印次 2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

定 价 32.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前言

我国煤炭资源的开发重心战略西进,然而西部地区深居内陆,属于旱半干旱地区,水资源贫乏、地表荒芜,生态环境十分脆弱,加之大规模的资源无序开采将诱发生态环境进一步恶化。因此,监测研究煤炭资源开采对生态脆弱环境的影响规律,控制开采对环境的损伤强度,实现“资源与环境协调开采”是一项极其重要的研究课题。

本书选择了植被、水体(土壤水、包气带水、地下水)作为荒漠矿区的關鍵环境要素,以具有代表性的神东矿区为研究区域,集RS、GIS、GPR、现场调查等多种技术手段,多尺度监测研究关键环境要素的时空演变规律,并在监测技术与采动影响规律方面取得了以下成果:

在宏观尺度上,利用MODIS—NDVI实现了区域植被的月际时序监测分析,以及与气温、降水等气象因素的关联分析。结果表明,研究区植被具有明显的物候年周期性,植被与气象因素具有明显的相关性,其中植被对降水变化的响应最为敏感。总体来讲,由于矿区大范围的开展植被重建,使得区域植被整体有明显好转,矿区植被呈现出区域性变化,空间变异性增强。然而,小尺度的植被现场对比调查与Landsat—NDVI监测表明,地下开采确实导致了部分矿井采区植被相对非采区小幅下降,只是大范围的植被重建效应掩饰了采动对植被的负面影响。

为揭示采矿对植被的影响规律,本书对矿区浅层土壤含水率进行了遥感定量反演。研究表明,相对于土壤反射率、土壤湿度、

地形湿度指数,土壤含水率与表观热惯量之间具有更加显著的相关性。通过改进的土壤温度预测模型,建立了适用于 TM 或 ETM+ 的土壤温差转换模型。利用该模型能更准确地提取任意深度的土壤温差信息,这比单纯利用 MODIS 影像能提取更高分辨率的表观热惯量。改进后的表观热惯量与 10 cm 埋深土壤含水率的相关系数平方值 R^2 由 0.264 提高到了 0.789。从而首次实现了基于表观热惯量法与 TM/ETM+、MODIS 影像相结合的土壤含水率高分辨率反演。反演结果与现场调查都表明,受地表沉陷影响,采区土壤含水率均略偏小于非采区。也就是说采动引起的土体沉陷变形,造成了浅层土壤水分的损失。对工作面上方地下水采前、采中、采后的长期观测表明,采矿对地下水具有显著的负面影响,且采后地下水的恢复过程缓慢。但是,该工作面上方植被并没有明显衰退。其原因在于,通过探地雷达(GPR)对包气带土壤含水的垂向分布研究给出了风积沙区地下水的临界作用埋深为 8 m,而该工作面的初始水位埋深远远大于临界埋深。此外,本书首次结合 GPR 与开采沉陷预计理论对沉陷变形影响下的包气带土壤含水的横向分布规律进行了分区研究,分析了土壤压缩、拉伸变形对包气带土壤含水分布的影响规律,指出今后沉陷变形区土壤特性的实验研究应分区进行。

最后,根据对矿区植被、水体的地空一体化监测结果,给出了植被与土壤水的负倒数关系模型,地下水与土壤含水、植被的指数关系模型,以及地下水深埋区植被受采动影响的判别模型,用于分析荒漠缺水矿区三种关键环境要素之间的耦合关系,并提出了一些适用于荒漠矿区资源环境协调开采的建议与措施。

著 者

2011 年 12 月

目 录

1	绪论	1
1.1	研究背景与意义	1
1.2	研究内容	3
2	研究综述	5
2.1	荒漠区环境问题研究	5
2.2	荒漠矿区环境问题与生态重建研究	11
2.3	荒漠矿区关键环境要素监测技术	16
2.4	总结	22
3	研究区域概况	24
3.1	研究区域整体概况	24
3.2	研究区主要矿井情况	29
4	荒漠矿区植被时空变化规律研究	33
4.1	植被信息指示因子选择	34
4.2	基于 MODIS 的大尺度植被时空演变分析	36
4.3	基于 Landsat 的植被时空变异分析	52
4.4	总结	83
5	浅层土壤含水遥感反演及其空间变异规律研究	85
5.1	遥感监测土壤含水率的基本原理	86
5.2	研究方法	87

5.3	矿区土壤含水反演与空间差异分析	121
5.4	总结	131
6	沉陷区包气带土壤含水分布规律研究	134
6.1	沉陷区包气带土壤含水研究背景	134
6.2	探地雷达基本原理	136
6.3	GPR 探测包气带土壤水理论与物性基础分析	139
6.4	野外实测与图像解译	141
6.5	探测结果应用分析	145
6.6	GPR 实验验证	155
6.7	总结	158
7	工作面尺度下地下水位变化及其影响分析	160
7.1	研究区数据获取	161
7.2	采矿对地下水的影响分析	164
7.3	总结	177
8	荒漠矿区环境要素关系模型	179
8.1	NDVI 与土壤含水率关系模型	179
8.2	荒漠区地下水与土壤含水率关系模型	182
8.3	荒漠区植被与地下水位关系模型	184
8.4	地下水位变化对植被影响的判别模型	185
9	结论与建议	187
9.1	主要结论	187
9.2	荒漠矿区资源环境协调开采建议措施	191
	参考文献	193
	后记	217

1 绪 论

1.1 研究背景与意义

煤炭在我国能源生产与消费构成中占主导地位,据有关专家预测,到 2050 年,煤炭在我国能源消费中的比重仍将达到 50%^[1]。在国家实施西部开发战略的同时,我国煤炭资源的开发战略是“稳住东部,战略西进”。西部地区矿产资源丰富,种类齐全,其中,包括新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西和内蒙古西部在内的中国西北部煤炭总储量约占全国煤炭资源总量的 72%,探明储量约占全国的 67%^[2]。

然而西北地区深处内陆,属干旱、半干旱地区,水资源贫乏、植被稀疏、地表荒芜,生态环境十分脆弱。西北五省(区)约占全国土地面积的 1/3,水资源占有量仅占全国的 8.3%^[3]。干旱缺水是西北地区的主要自然灾害,也是该地区生态环境脆弱的主要原因。长期以来,滥垦滥伐、超载放牧、过度用水,使得西部地区植被破坏严重,水土流失、土壤荒漠化加剧,加之大规模的资源无序开采,将可能诱发生态环境进一步恶化^[4~6]。可以说植被与水是荒漠区最为关键的环境要素。

煤炭资源地下开采在西部荒漠矿区与东部高潜水位矿区具有明显不同的环境影响效应。以世界七大煤田之一的神府东胜煤田为例,该煤田位于西北毛乌素沙地的外围地区,地表荒漠化严重,环境脆弱。一方面,近年来新闻媒体频频报道该地区煤炭开采对

当地水资源、植被等造成的负面影响;另一方面,当地煤炭企业为区域的生态建设投入了大量资金,并取得了一定成效,神东公司因此还获得了 2005 年的“中华环境大奖”。由于矿山开采的复杂性以及荒漠矿区环境的脆弱性,要正确认识以上两种并不一致的客观事实,还需要对当地生态环境的时空演变规律,以及煤炭资源开采对脆弱环境的影响机理等重要科学问题进行深入研究。

近年来,在科技部的国家重点基础研究发展计划中,明确了在干旱区资源环境领域的重要研究方向,包括研究干旱、半干旱区水、土、气、生过程及其相互作用,人类活动与气候波动对陆表过程的影响机制,陆表过程的变化趋势及其环境效应评价理论与指标体系,环境调控对策与管理模式等^[7]。全国生态保护“十一五”规划也明确指出:应加强资源开发的生态环境监管,重视生态敏感区和脆弱区保护。美国地质调查局《2005 至 2015 年地理科学研究战略规划》中提到,目前国际上比较关注的地球科学问题是环境变化、脆弱性和可恢复能力等问题,并制定了以下目标(部分):① 对地表特征进行定性和定量研究,以了解局部和全球变化的模式和过程;② 提高研究土地变化对环境影响的脆弱性评价、风险评价、减灾和恢复方面的工作能力;③ 开发有效的地理学研究工具,支持针对地表变化造成的人类和环境影响制定的决策;④ 采用遥感技术进行多尺度观测,了解地表变化的人类和环境作用机制^[8]。

在当地煤炭企业与有关部门的资助下,笔者对荒漠矿区生态环境的时空演变规律及其监测技术,以及地下开采对脆弱环境的影响机理展开深入研究。开展本研究不仅是当地社会、企业发展的客观要求,也符合当前国际地理科学以及国家重点基础研究的发展方向,对于正确认识我国西北干旱、半干旱区煤炭资源开采对生态环境的影响规律,指导荒漠矿区生态重建,促进“资源与环境协调(绿色)开采”^[9~12]目标的实现都具有重要的意义。

1.2 研究内容

1.2.1 相关问题研究现状与关键环境要素确定

通过对比我国东西部矿区资源开采引起的环境问题差异,认识地下资源开采对荒漠区环境的影响规律及其监测技术的研究现状与存在的问题,并确定影响荒漠矿区环境演变的关键环境要素。

1.2.2 荒漠矿区关键环境要素演变规律监测与分析

在现有研究成果的基础上,提出适用于荒漠矿区关键环境要素的监测技术与方法,并对各要素在地下开采影响下的演变规律进行关联分析,具体包括以下几个方面。

(一) 植被时空演变规律监测及其影响因素分析

主要根据 MODIS, Landsat MSS/TM/ETM, 实现多尺度、多时相、多数据源提取反映植被状况的遥感信息指标;对该指标进行时间序列、空间变异和空间自相关统计分析,并与对应的历史气象数据进行关联分析,找出影响区域植被变化的主导自然因素;重点对比各主要矿井采区与非采区的植被变化差异,对植被生长状况展开现场样方调查,以验证基于遥感的植被分析结果。从表象上认识地下开采对荒漠区植被的影响情况。为解释矿区植被的变化现象,还需更加深入地研究地下开采对土壤含水、地下潜水的影响规律。

(二) 浅层土壤含水率监测与影响分析

综合比较土壤反射率、湿度指数、表观热惯量等指标与现场实测的不同深度土壤含水率的相关关系,找出最优指标及其最佳的遥感反演深度;利用土壤温度预测模型,提高土壤温差的空间分辨率,从而建立基于 TM 影像与表观热惯量法的土壤含水率遥感反

演模型;研究土壤含水与地形、植被的相互作用关系;对比分析主要矿井采区与非采区土壤含水率的相对差异,认识采矿对浅层土壤含水率的影响,并用于解释矿区植被的区位变化差异。

(三) 包气带土壤含水分布研究

为进一步研究荒漠区地下水位变化以及包气带变形对土壤含水的影响,以探地雷达为技术手段研究工作面上方包气带土壤含水在垂向与横向的分布规律,并与非采区包气带土壤含水的探测结果进行对比验证;根据其垂向分布规律,认识地下水位与上方土壤含水的相关关系,以及地下水位变化对荒漠区植被生长的影响范围;根据包气带土壤含水横向分布情况,研究开采沉陷导致的土壤拉伸压缩变形对包气带土壤含水的影响。

(四) 地下水受采矿影响的过程分析

以工作面为研究尺度,通过对多个水井地下水位的采前、采中、采后的长期跟踪观测,研究地下开采对地下水的相对水位、绝对水位高程和含水层的扰动影响过程与后果;同时分析地下水位变化对工作面上方植被生长的影响情况。

(五) 综合分析

综合分析各环境要素之间的相互作用关系模型,并提出荒漠矿区资源与环境协调开采以及矿区生态重建的建议和措施。

2 研究综述

研究地下开采对荒漠区环境的影响规律,需要对比了解我国东西部矿区环境问题差异,并对荒漠区的脆弱生态环境问题进行重点分析,如荒漠化、土地利用覆盖变化、水土植被作用关系等问题,从而找出荒漠区的关键环境要素,了解现有荒漠区关键环境要素的监测方法和研究现状,为后续研究提供理论与技术支持。

2.1 荒漠区环境问题的研究

2.1.1 荒漠化与土地利用覆盖研究

地球上 40% 的陆地为干旱半干旱的荒漠地区^[13],居住着 10 亿多人口^[14,15]。干旱成为世界上损失金钱最多的自然灾害,全球平均每年的旱灾损失为 60 亿~80 亿美元,受其影响的人数比其他任何自然灾害都多^[16]。荒漠化是干旱区最主要的自然灾害,是一个全球性的环境问题,其扩展趋势已经严重威胁到人类社会的可持续发展。荒漠化防治正成为一个全球行动的优先领域,其实施必须建立在科学评价荒漠化的现状、动态和趋势的基础上^[17]。

我国作为受荒漠化影响最为严重的国家之一,近年来土地荒漠化局部好转,但总体扩展的趋势尚未得到遏制。在我国西北地区表现最为突出的生态环境问题是干旱与沙漠化。一方面,西部地区经济相对落后,需要大力发展;另一方面,这一地区的生态环境比较脆弱,需要加强保护。在气候变化和人口增长的双重压力

下,西部大开发战略将使中国脆弱的旱地生态系统面临前所未有的挑战^[18]。目前,已有不少关于我国西部干旱环境成因、演变过程、演变趋势、生态保护和生态建设的研究^[19]。如何开展沙漠化防治工作及其相关研究是我国目前乃至今后相当长一段时期迫切需要解决的重大生态环境问题^[20]。

对荒漠化评价主要是从国家和地区两种尺度上进行的。国家尺度的荒漠化评价,始于20世纪80年代中期,由于历史原因,这一时期荒漠化评价主要集中在沙质荒漠化(或称沙漠化)的评价上^[21]。朱震达最早用风沙活动形成的形态特征(如沙丘、沙堆、片状沙地、风蚀、地表粗化等)、该特征的面积百分比和沙漠化土地的年增长率,作为评价沙漠化状况的主要指标,将沙漠化按程度分为严重、强烈发展中、正在发展和潜在的沙漠化土地等4类^[22]。进入20世纪90年代,高尚武等^[23]根据数百份专家调查问卷的结果,用裸沙率、植被盖度和土壤质地作为主要沙质荒漠化的评价指标,采用特菲尔法计算每个指标的权重值,将沙质荒漠化划分为轻度、中度、严重和极重等4级,并以宁夏灵武县为例,对沙质荒漠化状况进行了评价。此后,王涛等^[24]也将沙质荒漠化划分为4个等级,但他们选用风蚀地或流沙面积百分比、风蚀地或流沙年均扩大面积百分比、地表植被盖度、生物生产量年均降低率作为评价指标。

荒漠化的区域评价,主要集中在8大沙漠、4大沙地及其周边地区。其中鄂尔多斯高原,特别是毛乌素沙地,是受人为活动影响最为敏感的区域之一,从而成为沙质荒漠化评价的重点地区。吴薇等^[25]根据收集到的资料与1987年和1993年两个时段的 Landsat TM 影像解析结果,对毛乌素沙地7年间的沙质荒漠化动态进行了评价。结果表明,其间沙漠化面积减少了1 936 km²,沙漠化正处于逆转过程中。研究中对荒漠化土地采用轻度、中度、严重和极重等4级划分方法。然而在计算过程中,上述4种程度的荒漠

化在总面积上变化不大,只是在程度上有所变化,实际上发生变化的类型是流动沙地向固定和半固定沙地的转化,但流动沙地并未包括在 4 级中。随后,吴波等^[26]利用航片,研究了 1958 年、1977 年和 1993 年毛乌素沙地 6 个典型区域的荒漠化动态变化,结果表明其中 5 个区域在 1958~1977 年呈扩展趋势,3 个区域在 1977~1993 年呈扩展趋势,但上述扩展趋势均在后期有所减缓。对科尔沁沙地、浑善达克沙地南缘的坝上地区,以及甘肃的民勤绿洲,也有一些荒漠化评价方面的研究^[27,28]。

干旱区具有成因复杂,类型多样,对环境变化敏感,变化过程快、幅度大,景观差异明显等特点,是全球环境变化特别是土地利用与覆盖变化研究的重要场所^[29]。程国栋等总结了干旱区的土地利用与土地覆盖表现出的与湿润区截然不同的特点^[30]:① 干旱区的土地覆盖在空间分布上具有相似的模式,在景观布局上,干旱区呈荒漠、绿洲、河渠、廊道模式;② 景观构成简单与景观结构粗粒化;③ 荒漠与绿洲的对比明显,对水源的依赖性强,生物种类、结构和功能都十分简单,生物作用微弱;④ 土地覆盖抗干扰性低,区域生态脆弱;⑤ 土地覆盖动态变化范围大,速度快。赵睿等^[31]以新疆典型干旱区于田绿洲为例,在提取各类 LUCC 空间影响因子的基础上,应用灰色关联度方法分析了各个因子在 LUCC 过程中的相对影响力大小。阎金凤等^[32]结合 3S 技术与 LUCC 理论方法,动态分析了三工河流域近 20 年的土地利用/土地覆被变化情况。罗格平等^[33]应用遥感和 GIS 技术及数理统计学方法,以新疆三工河流域冲洪积扇—冲积平原型绿洲为研究区,利用 1978 年、1987 年和 1998 年的遥感数据,深入研究了 20 世纪 70 年代中后期以来干旱区绿洲 LUCC 的过程和趋势。

2.1.2 荒漠区植被、土壤水、地下水关系研究

天然植被作为干旱区生态系统中的重要组成部分,是生态系

统的主要生产者,与其他要素的联系最为密切,在抑制荒漠化和保护生物多样性等方面有着重要意义。同时,植被是自然环境最直观的反映,是某一地区生态环境的综合反映。植被覆盖指示着景观环境因子的适宜程度,是自然环境变化和人类活动所引起的景观过程的综合结果,因而植被覆盖也被作为表征土地退化特征的一个直接的主导性指标^[34]。水作为干旱区最关键的生态环境因子,不仅是干旱区绿洲生态系统构成、发展和稳定的基础,而且决定着干旱区绿洲化过程与荒漠化过程两类极具对立与冲突性的生态环境演化过程^[35,36]。研究表明^[37,38],干旱区生物过程微弱,生物生态系统规模小、稳定性低,地下水的变化将直接影响天然植被的生长发育,与脆弱生态环境的保育有着十分密切的关系。由于地下水与天然植被之间有着复杂的关系,它涉及地下水、土壤和植被相互之间的动态平衡,因此研究荒漠矿区这一特殊地域,首先要理解地下水与土壤含水量、天然植被之间的相互关系,从生态水文学角度更深层次地探讨干旱区地下水与天然植被的联系。

(一) 植被生长与土壤水关系

天然植被的生长与土壤水关系非常密切,土壤含水量是限制植物生长发育的重要生态因子,植物群落的生长发育及其适宜生产力是由土壤资源中的土壤水分供给状况决定的。在一定立地条件下,土壤水分条件越好,则植物群落密度愈大,植物个体生物量越大,单位面积生产力愈高,耗水量越多;另一方面,在植物生长发育过程中,植物通过冠层拦截降水、冠层影响近地表微气候和植物根系吸水等方式,影响土壤水分补给和消耗,植物群落生产力与密度和土壤耗水又密切相关。土壤水分补给量是决定土壤水分植被承载力大小的物质基础,在相同的立地条件下,土壤水分补给量越大,越有利于承载更多的植物^[39]。由于潜水埋深往往决定了土壤含水量的多少,因此归根到底,潜水埋深是控制天然植被生长状况的决定因素^[40]。

(二) 土壤水与地下水的关系

土壤含水量受地下水埋深影响极大,当潜水位较高时,表层土壤可得到毛细管水的补给,使其保持较高的土壤含水量。随潜水位的下降,土壤含水量随毛细管水的补给减少而下降,以至土壤的有效含水量不能满足植物的生理需要而形成土壤干旱。这种干旱使一些浅根系草本植物无法生存,也迫使一些深根系灌木植物的根系向下延伸以获得维持生存与生长的水分。当潜水位下降到一定深度,土壤含水量下降到灌丛植物难以从土壤中吸收到足以维持其生态的水分,则造成植被的衰退与死亡。可见在干旱荒漠区内,地下水埋深是影响土壤含水量的决定性因素,研究两者的关系对于保护天然植被的正常生长至关重要^[39]。

杨建锋等^[41]根据土壤水和地下水的水量交换关系和联系强弱,将土壤水和地下水的相互作用大致划分为以下3种情形:

情形一:地下水埋深大于其极限埋深,土壤水和地下水之间为单向联系,土壤水始终下渗补给地下水。对于这种情形,地下水对土壤水和溶质运移只有微弱影响或没有影响,数值模型可不考虑地下水的作用。

情形二:地下水埋深小于其极限埋深,大于土壤根区深度,土壤水和地下水之间为双向联系,两者间的水量交换频繁,地下水中的盐分易于在土壤表层积累。对于这种情形,土壤水和溶质运移数值模型有必要考虑地下水的作用。

情形三:地下水埋深小于土壤根区深度,甚至有时潜水面高出地表,土壤水与地下水之间作用强烈,土壤饱和状态和非饱和状态交替频繁,土壤中的化学过程和生物过程与地下水变化紧密相关。因地下水过高而形成的湿地即属于这种情形。

由上述分析可以得出,土壤水和地下水的作用是相互的,研究其中一个都不能忽视另一个。目前已有一些文献对于干旱区土壤含水与地下水之间的关系进行了研究。徐海量等^[42]通过拟合实

测土壤含水率(SMC)与地下水位埋深(x)数据分析得出,当地下水位在1~4 m时,其回归模型为: $SMC = 64.898 \cdot e^{-0.515x}$, $R^2 = 0.727$;当地下水位在4~12 m时, $SMC = 21.147 \cdot e^{-0.515x}$, $R^2 = 0.658$ 。这与宋郁东等^[43]在塔里木河上中游对30个剖面得出的地下水位与土壤含水率的表达式 $SMC = 35.73 \cdot e^{-0.185x}$ 很接近。Pan等^[44]根据甘肃玉门干旱区的现场实测结果,拟合得到土壤含水与地下水位有如下的关系: $SMC = 103.89 \cdot e^{-0.468x}$, $R^2 = 0.9674$ 。

(三) 地下水与植被生长关系

在干旱区,地表植被的组成、分布及长势与地下水有着密切的关系,全区植被分布及演替规律明显受地下水,特别是潜水的埋深和水质的控制,表现出与地下水密切相关性。由于干旱区地表水与地下水资源较少,新土壤形成速度很慢,盐碱一旦积存就不易消失,土壤含水量低,植被覆盖不多,因此极易引起土壤侵蚀。郑丹等^[39]从不同角度研究了干旱区地下水与土壤含水量、天然植被、地表荒漠化等关系,对合理地下水埋深的确定进行了总结分析,提出了与合理地下水埋深相关的生态地下水埋深、适宜地下水埋深、最佳地下水埋深、生态警戒地下水埋深等概念。徐海量等^[42]进行的土质潜水蒸发实验研究结果表明:地下水位的高低直接影响植被长势的好坏和现有植物种类的多少,但是这种影响在很大程度上是通过影响土壤含水率来实现的。当地下水位在3.5 m以上时,地下水可以通过蒸发和毛细管作用影响到地表土壤含水率,从而能够被草本植被利用,地表的植被盖度和植物种类也明显要高。陈亚宁等^[37]对塔里木河下游断流河道的实地监测表明,地下水埋深对天然植被的组成、分布及长势有直接关系。地下水位不断下降和土壤含水率大大丧失是引起下游植被退化的主导因子。张丽等^[45]以生态适宜性理论为基础,根据塔里木河干流流域典型植物的随机抽样调查资料,建立了干旱区几种典型植物生