

## 阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲气候变化及其对生态环境的影响

刘新春<sup>1</sup>, 贡璐<sup>2</sup>, 霍文<sup>1</sup>, 杨青<sup>1</sup>

(1. 中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002;

2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:**通过对 1961 - 2001 年 41 a 来阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲的 3 个气象台站的气温、降水、沙尘天气、相对湿度资料的分析;同时选取 1990 年和 2000 年两景 TM 影像,采用遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)技术相结合的手段,利用景观生态学相关理论对生成的景观类型图进行分析和统计。结果表明:阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲气候变化表现为气温升高、降水增多、沙尘天气减少、相对湿度增加的变化趋势;同时表明,干旱气候的变化是造成阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲水资源、草场及林地、土地荒漠化及盐碱化、湿地资源变化的重要因素。

**关键词:**生态环境;气候变化特征;荒漠绿洲;气温;降水

中图分类号:S812.1;X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)06-0170-04

## Effect of Climatic Changes on Ecological Environment in Akesu-wati Desert-oasis

LIU Xir-chun<sup>1</sup>, GONG Lu<sup>2</sup>, HUO Wen<sup>1</sup>, YANG Qing<sup>1</sup>

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;

2. College of Resources and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** The paper analyzed the data of air temperature, precipitation, dust weather and relative humidity at 3 meteorological stations in Akesu-Awati desert-oasis from 1961 to 2001. At the same time, choosing two scene TM images of 1990 and 2000, and adopting remote sensing (RS), geographical information system (GIS) and global positioning system (GPS) technology, the authors analyze and calculate the pictures of landscape type by the relevant theories of landscape ecology. The results show that air temperature appears to be increasing tendency, precipitation is increasing, dust weather is reducing and relative humidity is increasing in Akesu-Awati desert-oasis. Also, the change of arid climate is an importance factor to the changes of meadow and forest land, soil desertification and Salinization, water resource and wetland resource in Akesu-Awati desert-oasis.

**Key words:** eco-environment; climatic change; desert-oasis; temperature; precipitation

### 1 引言

在全球气候变暖的背景下,新疆气候向暖湿变化及其对生态环境的影响已经引起广大科技界、资源环境和经济界人士的重视。关于新疆气候变化对环境的影响的研究工作已有很多<sup>[1-6]</sup>,这些研究大多是从全球或者整个新疆尺度,很少研究气候变化对荒漠绿洲生态环境的影响。阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲位于塔里木河流域的阿克苏地区,是我国西部干旱区内陆河流域典型的荒漠绿洲,其基本格局是荒漠 - 绿洲 - 河流廊道的景观模式;是生态环境变化的敏感区域,也是我国生物多样性保护及全球变化研究的关键区域之一;该区域的气候及生态环境的变化直接影响到整个塔里木河流域的持续发展。脆弱的生态环境对气候变化反映十分敏感,研究荒漠绿洲气候变化特征及其对生态环境的影响,对认清荒漠绿洲气候变化与生态环境变化之间的相互作用和促进荒漠绿洲生态环境健康发展具有一定的指导意义;此项研究不仅对于深入了解我国干旱区荒漠绿洲气候变化规律具有十分重要的意义,同时对荒漠绿洲的生态与环境变化有着直接的影响,与整个新疆国民经济的发展有着直接的联系。

### 2 研究区概况和资料及方法

#### 2.1 研究区概况

阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲位于新疆维吾尔自治区西部,塔里木河上游,东经 79°40' - 82°00',北纬 39°30' - 41°15' 的范围内。主要包括阿克苏地区的阿克苏市(包括阿拉尔市)和阿瓦提县,面积为  $3.18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其位置示意图 1。

研究区地处亚欧大陆腹地,属暖温带大陆性干旱气候。基本特点是:四季分明,夏季炎热,冬季寒冷,春秋升温和降温迅速,气温较大,年降水量稀少且在时间上分布不均,蒸发量大,热量充足,日照时间长。

#### 2.2 研究资料及方法

选用地处阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲的阿克苏(基准站)、阿拉尔(基本站)、阿瓦提(气候站)3 个气象台站 1961 - 2001 年共 41 a 逐月、季、年的气温和降水资料及 1961 - 2000 年共 40 a 逐年浮尘、扬沙、沙尘暴、相对湿度等气候资料;同时还选取 1990 年和 2000 年两景 TM 影像(分辨率 30 m × 30 m)作为主要遥感数据源,研究荒漠绿洲景观格局和生态环境变化。气候资料先取 3 个气象台站的平均值,采用统计分析方

法进行处理;遥感数据源则采用遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS)和全球定位系统 (GPS) 技术相结合的手段,利用景观生态学相关理论对生成的景观类型图进行分析和统计<sup>[7]</sup>。

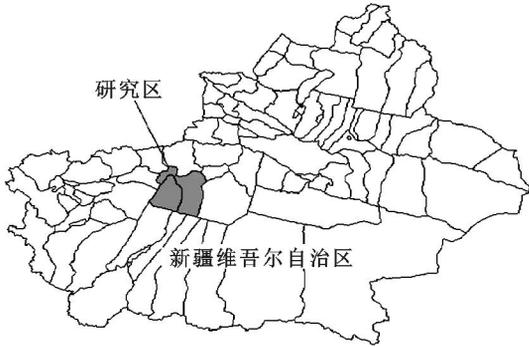


图 1 阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲位置示意图

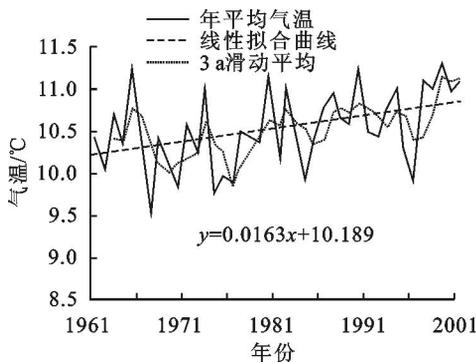


图 2 1961 - 2001 年荒漠绿洲气温变化

温明显升高,90 年代比 80 年代升幅 0.14 ,与 60 年代相比升幅达 0.49 ,气温的明显变化必然引起一系列的生态环境问题。季节平均气温的变化也比较明显,除了夏季的平均气温略有下降外,春、秋、冬三季的平均气温都呈上升趋势。在季节平均气温变化中,变幅最大的是冬季,90 年代平均气温比 60 年代升高达 1.66 ,平均升幅 0.55 /10 a;春、夏、秋三季的平均气温变化不大,90 年代与 60 年代相比分别为 0.28 , - 0.14 和 0.22 。因此,对于 80 年代以来的增暖,贡献最大的是冬季。

表 1 1961 - 2001 年荒漠绿洲气温变化

年代	年平均	季节平均			
		春	夏	秋	冬
60	10.20	13.71	23.55	9.89	- 6.24
70	10.30	13.76	23.24	10.23	- 6.17
80	10.55	13.59	23.54	10.00	- 4.54
90	10.69	13.99	23.41	10.11	- 4.58
90 年代与 60 年代差	0.49	0.28	- 0.14	0.22	1.66

3.1.2 降水变化特征分析

近 41 a 阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲年降水量总体呈上升趋势(见图 3),线性拟合看其增长率为 10.8 mm/10 a。从图形上看:60 年代至 70 年代末降水基本上呈先逐渐下降再逐渐上升到逐渐下降,但波动的幅度不大;从 80 年代初开始降水在波动中缓慢上升到 90 年代末期,特别是进入 90 年代降水显著增多。降水量曲线最大值为 462.3 mm(1996 年),其

3 结果分析

3.1 气候要素变化特征分析

3.1.1 气温变化特征分析

图 2 给出了 1961 - 2001 年阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲气温变化曲线,从图中可以看出:近 41 a 来年平均气温总体呈上升趋势,增长率为 0.16 /10 a。以 20 世纪 70 年代末为界分为冷、暖两个阶段,70 年代末以前为冷期,其后为暖期。自 1961 年开始气温是逐渐上升,到 1966 年达历史最高点(11.2 ),随后急剧下降,到 1967 年达历史最低点(9.6 ),降幅达 1.6 ,年平均降 0.8 ,其后呈波动上升至今,升幅 1.5 ,年平均升 0.044 。

将阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲 41 a 平均气温资料按每 10 年分段制得表 1。从表中可看出:60,70 年代年平均气温基本稳定,70 年代比 60 年代升幅 0.1 ;80,90 年代年平均气

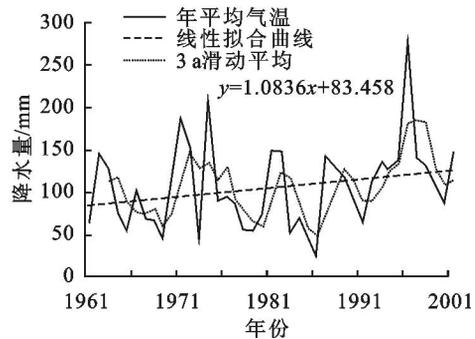


图 3 1961 - 2001 年荒漠绿洲降水变化

次为 345.3 mm(1974 年);最小值为 78.3 mm(1985 年),其次为 82.7 mm(1986 年),最大与最小相差 384.0 mm,为降水平均值(184.4 mm)的 208.3 %。

表 2 1961 - 2001 年荒漠绿洲降水变化 mm

年代	年平均	季节平均			
		春	夏	秋	冬
60	141.1	11.2	23.0	10.5	3.0
70	180.3	6.7	40.4	8.2	3.8
80	177.3	16.2	36.2	7.6	1.2
90	219.7	12.6	42.3	9.2	6.7
90 年代与 60 年代差	78.7	1.4	19.3	- 1.3	3.7

将阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲 41 a 降水资料按每 10 a 分段制得表 2。从表中可看出:从 60 - 90 年代年平均降水呈上升趋势(80 年代略有下降),90 年代平均降水量比 60 年代增加了 78.7 mm,较 1961 - 2001 年 41 a 平均 184.4 mm 增加了 35.4 mm。各季降水量变化幅度最大的是夏季,其次是冬季,秋季降水量略有下降。夏季平均降水量 90 年代较 60 年代增加了 19.3 mm,秋季减少了 1.3 mm,春季增加 1.4 mm,冬季增加 3.7 mm。因此,对于降水量的增加,贡献最大的季节是夏季。

3.1.3 沙尘天气变化特征分析

图 4 给出了 1961 - 2000 年阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲年浮尘、扬沙、沙尘暴变化曲线。从图上可以看出:近 40 a 来浮尘、扬沙、沙尘暴呈明显的下降趋势;60 年代浮尘、扬沙、

沙尘暴发生天数远高于 90 年代, 浮尘曲线最大值为 103.5 d (1978 年), 最小值为 16 d (1997 年); 扬沙曲线最大值为 53.5 d (1979 年), 最小值为 13.5 d (1997 年); 沙尘暴曲线最大值为 16.5 d (1977 年, 1979 年), 最小值为 1.5 d (1997 年)。从最大和最小值可以看出, 沙尘天气最大值都发生在 70 年代而最小值则发生在 90 年代。

将阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲 40 a 沙尘天气资料按每 10 a 分段制得表 3。从表中可看出: 从 60 - 90 年代年沙尘天气天数呈下降趋势, 浮尘从 60 年代的 12.8 d 下降到 90 年代的 4.5 d, 减少了 8.3 d; 扬沙由 61.6 d 减少到 30.1 d, 减少了 31.5 d; 沙尘暴由 43.5 d 减少到 21.1 d, 减少了 22.4 d。这与

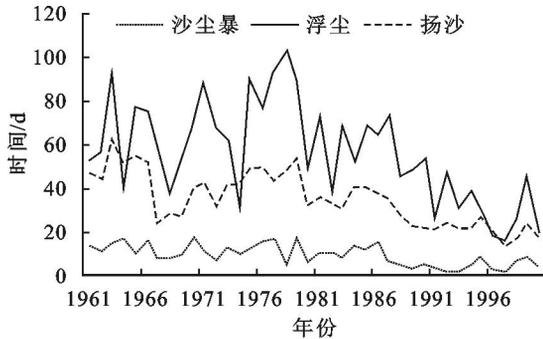


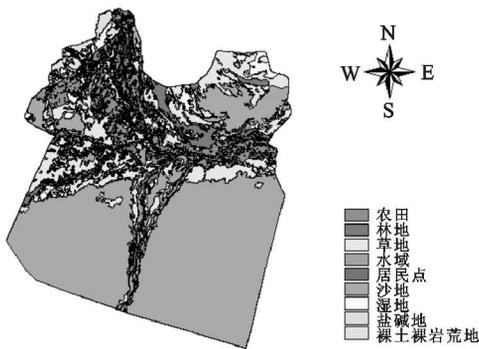
图 4 1961 - 2000 年荒漠绿洲年浮尘、扬沙、沙尘暴变化

3.1.4 相对湿度变化特征分析

图 5 是 1961 - 2000 年阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲年平均相对湿度变化曲线。从整体上看, 相对湿度呈明显的上升趋势, 60 - 70 年代末期 (1978 年) 相对湿度在波动中缓慢上升; 1979 年 - 80 年代中期 (1986 年) 是近 40 a 变化的低谷期; 1987 年 - 90 年代末相对湿度又呈明显上升趋势。曲线的最高点出现在 1998 年, 最大值为 60.3%; 最低点出现在 1961 年, 最小值为 51.0%。90 年代平均相对湿度 (58.3%) 较 60 年代 (53.7%) 增加 4.6%, 相对湿度的变化趋势相应对荒漠绿洲的生态环境产生一系列的影响, 在下一部分具体分析。

3.2 气候变化下的生态环境分析

综上所述, 阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲近 41 a 来的气候变化呈现出气温升高、降水增多、沙尘天气减少、相对湿度增



崔彩霞<sup>[8]</sup>、杨青<sup>[9]</sup>等研究整个新疆区域沙尘天气变化趋势完全吻合。从上数据分析可清楚地看到, 沙尘天气在明显的减少, 这对荒漠绿洲生态环境的健康发展具有十分重要的意义。

表 3 1961 - 2000 年荒漠绿洲浮尘、扬沙、沙尘暴发生天数

年代	浮尘/d	扬沙/d	沙尘暴/d
60	12.8	61.6	43.5
70	11.6	75.3	36
80	9.3	58.5	32.9
90	4.5	30.1	21.1
90 年代与 60 年代差	- 8.3	- 31.5	- 22.4

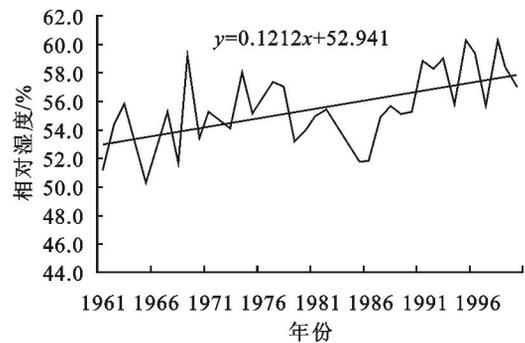


图 5 1961 - 2000 年荒漠绿洲年平均相对湿度变化

大的变化趋势, 这种干旱气候由暖干向暖湿的发展对研究区的生态与环境的变化有积极的影响<sup>[10]</sup>, 使阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲的农牧业结构悄然发生变化, 对国民经济的发展起促进作用。

影响生态环境的因素很多, 在不合理的人类经济活动和干旱气候的共同作用下<sup>[10]</sup>, 导致阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲生态环境的变化。本文从景观生态学理论入手, 利用遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 和全球定位系统 (GPS) 技术相结合的手段, 选取 1990 年和 2000 年两景 TM 影像作为主要遥感数据源, 通过遥感影像的几何校正、分类、景观类型的选取, 最终生成两期景观类型图 (图 6)。重点分析统计景观格局及其生态环境的变化 (表 4)。

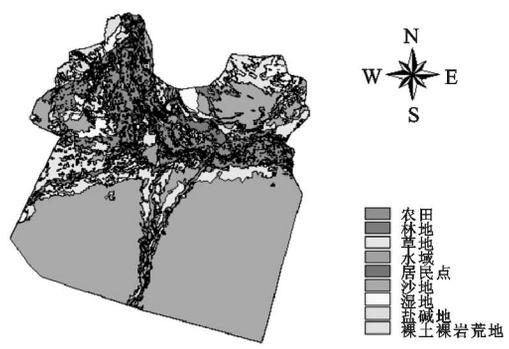


图 6 1990 (左)、2000 (右) 年阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲景观类型

3.2.1 水资源的变化

阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲的降水量逐渐增多, 尤其是进入 90 年代降水量增加显著, 但表 4 显示: 水域面积却从 1990 年的 84 524.50 hm<sup>2</sup> 减少到 2000 年的 82 351.72 hm<sup>2</sup>, 减少

了 2 172.78 hm<sup>2</sup>。年平均气温的升高, 造成冰川呈退缩现象; 再加上垦荒面积的增加, 农田面积由 1990 年的 267 167.25 hm<sup>2</sup> 增加到 2000 年的 367 029.43 hm<sup>2</sup>, 增加了 15.1%, 增加面积为 40 462.18 hm<sup>2</sup>, 这无疑造成农业用水量的急剧增加和蒸发的损失, 形成湖泊水位下降, 水域面积缩

小、水质的劣变<sup>[11]</sup>、从而导致下游的河道干枯、胡杨林面积的减少及绿色走廊危在旦夕等现象<sup>[12]</sup>。

表 4 1990 - 2000 年荒漠绿洲景观斑块类型特征值变化

景观类型	年份	斑块数量/个	面积/hm <sup>2</sup>	平均斑块面积/hm <sup>2</sup>
农田	1990	123	267167.25	2081.48
	2000	136	367029.43	2698.75
	变化	13	40462.18	617.27
林地	1990	400	203196.60	508.77
	2000	392	143858.12	366.99
	变化	- 8	- 59338.48	- 141.78
草地	1990	368	602581.28	1637.65
	2000	382	498134.80	1304.02
	变化	14	- 104446.48	- 333.63
水域	1990	104	84524.50	820.93
	2000	105	82351.72	784.30
	变化	1	- 2172.78	- 36.63
湿地	1990	168	48607.47	289.33
	2000	35	25374.83	725.00
	变化	133	- 23232.64	435.67
盐碱地	1990	392	138511.99	351.86
	2000	594	197201.82	331.99
	变化	202	58689.83	- 19.87
沙地	1990	102	1773838.16	17576.41
	2000	169	1798009.59	10639.11
	变化	67	24171.43	- 6937.3
裸土裸岩荒地	1990	41	55876.34	1526.67
	2000	23	53810.83	2339.61
	变化	- 18	- 2065.51	812.94

3.2.2 草场及林地的变化

从全球尺度来看,自然植被类型的形成、分布与迁移演变在很大程度上受制于气候。对局地尺度来说,由于植被受局地环境(土壤有效水分)变化和人类活动及其他极端事件影响的不同,这种相关显得不那么密切了。但尽管如此,气候对各种自然植被类型的总体特征,特别是有代表性的特征植被类型仍然有着决定性的影响<sup>[13]</sup>。超载过牧和干旱气候对草场的共同影响结果是阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲普遍存在植被退化问题。从表 4 中知:草场及林地的面积在近 10 a 里也发生了很大的变化,草场面积从 1990 年的 602 581.28 hm<sup>2</sup> 减少到 2000 年的 498 134.80 hm<sup>2</sup>,减少 17.3%;林地面积也减少了 59 338.48 hm<sup>2</sup>,减少 29.2%,如此大的面积减少,必然对农牧业产生巨大的影响,必然使区域生物多样性减小,更加重了干旱区荒漠绿洲生态系统的脆弱性。

3.2.3 土地荒漠化及盐碱化的变化

荒漠化是由于气候变化和人类活动等因素造成的干旱、半干旱和干燥湿润地区的土地退化<sup>[14]</sup>。荒漠化是当前世界上最严峻的生态环境问题之一<sup>[15]</sup>。气候干旱多变与荒漠化密切相关,是影响荒漠化发展的主要自然因素,而人类活动的频繁甚至过度增加也直接影响到荒漠化的演变发展,起着加速加剧或延缓减弱的作用。阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲的荒漠化土地面积变化也很显著,2000 年较 1990 年面积扩大了 24 171.43 hm<sup>2</sup>,增加 17.5%。根据前面的分析,沙尘天气在逐渐减少,1990 年浮尘、扬沙和沙尘暴日数分别为 53.5、22.5 和 5.5 d,而 2000 年浮尘、扬沙和沙尘暴日数分别减少到 19.5、17.5 和 3.5 d,其中浮尘天气减少最显著,减少

34 d,这显示生态环境在逐步改善。沙尘天气减少的最主要原因是降水量和相对湿度的增大及平均风速的减小。

气候变化与人类不合理利用土地和水资源同时也是造成土地盐碱化的主要原因。10 a 中土壤盐渍化的问题不断加剧,在绿洲内部、绿洲 - 荒漠过渡带都有大面积盐碱地的分布。盐碱地的数目和面积增加显著,从 1990 年占景观比例 4.35% 增加到 2000 年的 6.20%,严重威胁到绿洲的安全与稳定;2000 年盐碱化面积是 1990 年的 142.4%,增加了 58 689.83 hm<sup>2</sup>。

3.2.4 湿地资源的变化

湿地是分布于陆生生态系统和水生生态系统之间的过渡性生态系统,具有独特的水文、土壤、植被特征。湿地生态系统是自然界最富生物多样性和生态功能最高的生态系统之一。湿地为人类的生活、生产提供多种资源,拥有多种环境功能和效益,在蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、促淤造陆、降解环境污染、保护生物多样性、维护区域生态平衡等方面起着极其重要的作用,对全球环境变化有明显的响应作用。湿地是人类最重要的环境资本之一,与森林生态系统、海洋生态系统并列为世界三大生态系统,被誉为“生命的摇篮”、“地球之肾”和“物种基因库”,日益受到人们的重视<sup>[16]</sup>。然而阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲 10 a 间湿地面积急剧下降,1990 年湿地面积为 48 607.47 hm<sup>2</sup>,2000 年面积减少到 25 374.83 hm<sup>2</sup>,面积减少接近 1/2,这必然加重了干旱区荒漠绿洲生态系统的脆弱性。

4 结 论

(1)阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲近 41 a 来年平均气温总体呈变暖趋势,增长率为 0.16 / 10 a;80 年代开始年平均气温升高显著,90 年代比 80 年代升幅 0.14,与 60 年代相比升幅达 0.49,冬季对年平均气温升高贡献最大。

(2)近 41 a 阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲年降水量总体呈增湿趋势,增长率为 10.8 mm/10 a;从 80 年代初开始降水在波动中缓慢上升,特别是进入 90 年代降水显著增多;对降水量的增加,贡献最大的季节是夏季。

(3)1961 - 2000 年阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲年浮尘、扬沙、沙尘暴天气减少显著;相对湿度也呈明显上升趋势,这对荒漠绿洲生态环境的健康发展具有十分重要的意义。

(4)气温升高、降水增多、沙尘天气减少、相对湿度增大的变化趋势是造成阿克苏 - 阿瓦提荒漠绿洲水资源、草场及林地、土地荒漠化及盐碱化、湿地资源变化的重要因素。

参考文献:

[1] 胡汝骥,樊自立,王亚俊,等.近 50a 新疆气候变化对环境影响评估[J].干旱区地理,2001,24(2):97-103.  
 [2] 徐贵青,魏文寿.新疆气候变化及其对生态环境的影响[J].干旱区地理,2004,27(1):13-18.  
 [3] 杨青,何清.西天山山区气候变化与灌区绿洲气候效应[J].冰川冻土,2003,25(3):336-341.  
 [4] 魏文寿,高卫东,史玉光.新疆地区气候与环境变化对沙尘暴的影响研究[J].干旱区地理,2004,27(2):137-141.  
 [5] 姜逢清,胡汝骥.近 50 年来新疆气候变化与洪、旱灾害扩大化[J].中国沙漠,2004,24(1):35-40.

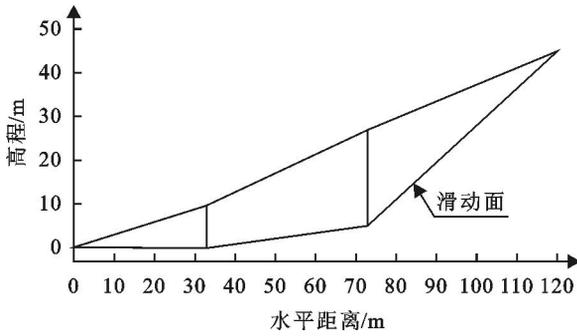


图 1 边坡计算简图

分别按照验算点法和蒙特卡洛法进行该边坡的可靠性指标及失效概率的计算,蒙特卡洛法抽样次数为 10 万次,然后使用常规的方法计算安全系数,计算安全系数时采用的参数为标准值。计算成果见表 2、3。

表 2 计算成果

计算方法	可靠性指标		失效概率/ %		安全系数
	验算	Monte	验算	Monte	
	点法	Carlo 法	点法	Carlo 法	
传递系数法	2.505	2.514	0.612	0.597	1.233
简化 Janbu 法	1.130	1.134	12.924	12.839	1.006
罗厄法	2.171	2.182	1.497	1.457	1.169
工程师团法	1.850	1.857	3.216	3.168	1.114

表 3 验算点及敏感系数成果

计算方法	设计验算点			敏感系数	
	c/ kPa	$\gamma$	$\rho$ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	c	$\rho$
传递系数法	8.988	13.552	19.618	0.163	0.985
简化 Janbu 法	9.314	16.876	19.558	0.169	0.984
罗厄法	9.059	14.361	19.605	0.166	0.985
工程师团法	9.133	15.137	19.592	0.168	0.984

由计算结果可以看出:

(1) 一次二阶矩法与蒙特卡洛法计算的可靠性指标和失效概率是一致的,从理论上讲蒙特卡洛法计算较为精确,可以用来检验一次二阶矩法计算结果,但蒙特卡洛法不能获得验算点和敏感系数。

(2) 由表 2 可看出可靠性指标和失效概率与安全系数的

变化是一致的。可靠性指标和失效概率对侧向力倾角的假定是敏感的。

(3) 表 3 表明验算点值对于侧向力倾角的假定是敏感的,而侧向力倾角的假定对敏感系数却影响很小。

(4) 表 2 中表明:使用简化 Janbu 法和工程师团法获得的安全系数均大于 1.0,但所得到的失效概率达到了 12.9% 和 3.2%,说明该边坡失稳的可能性较大。

### 4 结 语

本文基于滑楔法建立极限状态方程,分别采用验算点法和蒙特卡洛法进行边坡稳定可靠性分析,得到如下结论:

(1) 分别采用验算点法和蒙特卡洛法计算边坡的可靠性指标和失效概率可以达到相互印证的作用,同时也可获得验算点的值和各随机变量的敏感系数。

(2) 在验算点法计算中使中心差商近似代替求导是可行的,充分利用传统计算方法,大大简化了编程的难度,而所获得的结果能满足计算精度要求。

(3) 在边坡稳定性分析和评价时,采用传统的安全系数方法分析时结合可靠性分析方法,能获得更为合理、可靠的分析结果。

(4) 可靠性指标对软弱层的内摩擦角敏感性大于软弱层内聚力和坡体岩土重度。

### 参考文献:

[1] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析 - 原理、方法、程序[M]. 北京:水利水电出版社,2002.

[2] 2002. SL274 - 2001. 碾压土石坝设计规范[S].

[3] 周维垣. 高等岩石力学[M]. 北京:水利水电出版社,1989.

[4] 吴世伟. 结构可靠性[M]. 北京:人民交通出版社,1991.

[5] 孙志忠,等. 数值分析[M]. 福建:东南大学出版社,2002.

[6] GB50007 - 2002. 建筑地基基础设计规范[S].

[7] 赵寿刚,兰雁,沈细中,等. 蒙特卡罗法在土质边坡可靠性分析中的应用[J]. 人民黄河,2006,28(5):65 - 66.

(上接第 173 页)

[6] 袁玉江,何清,喻树龙. 天山山区近 40 a 年降水变化特征与南、北疆的比较[J]. 气象科学,2004,24(2):220 - 226.

[7] 刘新春,等. 新疆阜康荒漠绿洲景观格局动态及其影响因素分析[J]. 应用生态学报,2004,15(7):1197 - 1202.

[8] 崔彩霞. 新疆近 40 年气候变化与沙尘暴趋势分析[J]. 气象,2001,27(12):138 - 141.

[9] 杨青. 近 10 年来新疆气候变化特征[J]. 新疆气象,1998,21(2):9 - 12.

[10] 李林,朱西德,周陆生,等. 三江源地区气候变化及其对生态环境的影响[J]. 气象,2004,30(8):18 - 22.

[11] 王让会,樊自立,马英杰. 干旱区水域生态系统的水盐耦合关系:以新疆塔里木河流域为例[J]. 应用生态学

报,2002,13(2):204 - 208.

[12] 杨青,何清. 塔里木河流域的气候变化、径流量及人类活动间的相互影响[J]. 应用气象学报,2003,14(3):309 - 321.

[13] 秦大河. 气候变化对农业生态的影响[M]. 北京:气象出版社,2003:33 - 45.

[14] 蒋德明,刘志民,寇振武. 科尔沁沙地荒漠化及生态恢复研究展望[J]. 应用生态学报,2002,13(12):1695 - 1698.

[15] 贾宝全,慈龙骏,蔡体久,等. 绿洲 - 荒漠交错带环境特征初步研究[J]. 应用生态学报,2002,13(9):1104 - 1108.

[16] 任宪友. 两湖平原湿地系统稳定性评价与生态恢复设计[D]. 上海:华东师范大学,2004:1 - 2.