

石羊河流域水环境演化 与水资源可持续利用

马金珠 朱中华 于保静 著

兰州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

石羊河流域水环境演化与水资源可持续利用/ 马金珠,
朱中华,于保静著 .—兰州:兰州大学出版社,2005 10
ISBN 7 - 311 - 02666 - 0

.石 马 ... 朱 ... 于 流域—水
环境—演变—研究—甘肃省 流域—水资源—资源利用—
研究—甘肃省 . X143 TV213 .9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 111908 号

石羊河流域水环境演化
与水资源可持续利用

马金珠 朱中华 于保静 著
兰州大学出版社出版发行

兰州市天水南路 222 号 电话:8617156 邮编:730000

E-mail:press@onbook.com.cn

<http://www.onbook.com.cn>

兰州大学出版社激光照排中心排版
兰州德辉印刷有限责任公司印刷

开本: 787×1092 1/16 印张:14.25

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷
字数:366 千字 印数:1~1000 册

ISBN7 - 311 - 02666 - 0 X·6 定价:25.00 元

内容简介

本书在介绍石羊河流域水资源形成的基本条件、流域水文水系特征与生态环境结构的基础上。从晚更新世以来气候环境变化、水利工程建设发展史等方面揭示了历史时期气候变化、人类活动与河流水系变迁的相互关系。运用 MODFLOW 对民勤盆地地下水系统进行预测模拟。分析了流域地表水地下水化学分带的基本特征,对民勤盆地地下水化学演化进行了模拟,并应用环境同位素与包气带地球化学探讨了区域地下水补给的历史、年龄以及补给环境;对流域水环境质量进行了评价,探讨了流域水环境恶化的机制与原因;分析了流域水资源开发利用现状与问题,探讨了干旱区地下水脆弱性的特征与评价方法;最后概要介绍了水资源可持续开发利用与管理的概念,分析了我国流域水资源管理与国际发达国家的差别,以民勤盆地为例探讨了干旱区水资源承载力研究的方法。

前 言

石羊河流域地处河西走廊,是甘肃省河西内陆河流域中人口最多、经济较为发达的地区之一,也是我国内陆河流域开发最早、生态环境恶化最严重的地区之一。流域下游的民勤县北、东、西三面被巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠包围,成为保护河西走廊的一道屏障。近几十年来,由于人口增加及水资源不合理开发等诸多因素的影响,流域内经济社会发展大大超过水资源承载能力,水资源开发利用率已达到 154%,生态系统遭到极大破坏。沙漠每年以 15~20m 的速度向绿洲推进,石羊河流域也因此成为当今社会普遍关注的焦点。温家宝总理曾 6 次作出重要批示:“决不能让民勤成为第二个罗布泊。”亲切的关怀、深深的嘱托,引起了社会各界对石羊河流域生态环境建设的广泛关注和支持。甘肃省委书记苏荣、省长陆浩也多次深入民勤沙漠边缘调查研究,并指出民勤的沙漠化不是孤立的,而是同整个石羊河流域的水资源和生态息息相关的。苏荣同志强调:“治理民勤的生态环境,归根到底是树立和落实科学发展观的问题。石羊河流域水资源和民勤生态环境的变化,从一个侧面再次证明了科学发展观思想的无比深邃和正确,它为我们解决前进道路上的各种矛盾和困难提供了强大的思想武器,也为我们治理民勤生态环境提供了科学的世界观和方法论。我们一定要以科学发展观为指导,统筹人口、资源、环境同经济社会的协调发展,把治理与发展有机结合起来,遵循自然规律和经济规律,努力走出一条经济持续发展、资源永续利用、人与自然和谐相处的发展路子,从根本上扭转石羊河流域水资源与民勤生态恶化的趋势。”

西部大开发战略的实施、总理的嘱托和省委省政府的关注,为石羊河流域生态环境综合治理与区域经济发展带来了难得的机遇。国家与省政府组织实施了一系列研究计划,其中重要的有“七五”地质矿产部重点科技攻关项目“西北地区地下水资源评价及合理开发利用研究”,“九五”国家重点科技攻关项目“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”等,作者有幸参加与主持了多个有关石羊河流域水资源研究的课题,特别是在做博士后期间参加了由李吉均院士主持的国家自然科学基金重点项目“河西地区人地关系演化研究”,和由陈发虎教授主持的中英合作项目“民勤盆地水资源可持续开发评价研究”,为系统掌握石羊河流域水资源特别是地下水方面第一手资料创造了良好的条件,并得益于李吉均院士和陈发虎教授的启发、指导和帮助。通过与英国著名水文地质学家 W. M. Edmunds 教授的合作关系,利用英国地质调查局(BGS)先进的试验平台进行水化学与同位素测试,通过博士后基金项目“腾格里沙漠包气带古气候记录研究”掌握了干旱区地下水补给历史研究的新方法和 2000 年来沙漠平原气候记录研究的新思路,同时也顺利完成了博士后研究报告。后来主持的国家自然科学基金项目和香港乐施会基金项目“石羊河流域红崖山水库水污染治理”进一步研究了流域水化学、水环境演化过程,探讨了水污染发生的机制和原因。所有课题研究过程中非常重视研究生的培养工作,先后有 8 位博士生、硕士生参加了研究工作,目前已

经有 4 位硕士顺利毕业。本书正是在第一作者博士后出站报告与朱中华、赵华、魏红和朱高峰四位研究生毕业论文基础上总结完善的一部综合反映石羊河流域水资源与水环境状况的专著。

全书总共七章,第一章从地质构造、地形地貌、大气环流、气候条件等方面介绍了石羊河流域水资源形成的基本条件,详细阐述了流域水文水系特征与生态环境结构;第二章简要回顾了石羊河流域自晚更新世以来气候环境演变与尾间湖泊变迁的主要研究成果,并从水利工程建设发展史、绿洲演变等方面揭示了历史时期人类活动与河流水系变迁的相互关系;第三章揭示了流域地下水基本动态特征,运用地下水模拟软件 MODFLOW 对民勤盆地地下水系统进行了现状模拟与未来变化趋势预测;第四章研究了流域地表水地下水化学分带的基本特征,对民勤盆地地下水化学演化进行了模拟,并应用环境同位素与包气带地球化学探讨了区域地下水补给的历史、年龄以及补给环境;第五章在调查流域水污染源的基础上,对流域水环境质量进行了评价,探讨了流域水环境恶化的机制与原因;第六章在介绍流域水利工程建设与流域水资源开发利用的现状与问题基础上,探讨了干旱区地下水脆弱性的特征与评价方法;第七章概要介绍了水资源可持续开发利用与管理的概念,分析了我国流域水资源管理与国际发达国家的差别,重点阐述了流域水资源合理配置的目标与任务,并以民勤盆地为例探讨了干旱区水资源承载力研究的方法。全书由马金珠、朱中华、于保静统稿。

在项目研究与书稿编写过程中,涉及许多前人的研究成果,甘肃省国土资源厅、甘肃省地矿局水文地质二队、甘肃省水文水资源勘察局、甘肃省水利水电勘查设计研究院、石羊河流域管理局、武威市水利局和武威市环保局等单位给予了大力支持,提供了相关的最新研究成果和监测资料,才使本书能够顺利完成。特别是石羊河流域管理局沈清林局长,武威市水利局石培泽副局长,水文地质二队马富存队长,民勤县扶贫办公室沈首导主任等给予了极大的帮助;陈发虎教授、高前兆研究员、张惠昌教授始终关心着作者的研究进展,并不断指导;南忠仁教授、颉耀文副教授、李丁副教授、魏国孝副教授、俄有浩博士等在项目完成与书稿编写过程中不断输入新的思路。李常斌博士、王雄狮博士、李相虎硕士、黄天明硕士、丁贞玉硕士参加了野外工作、室内试验与成果分析总结工作,在此表示由衷的感谢。兰州大学出版社敬兆林主任、郝可伟、李晓瑞、朱庭环为本书的编辑、排版、校对和出版付出了辛勤的劳动,在此一并致谢。

由于作者水平有限,书中错误和缺点在所难免,欢迎广大读者不吝赐教和指正。

作者

2005 年 6 月

目 录

第一章	流域自然条件.....	(1)
1	地理位置与行政区划	(1)
2	地形地貌	(1)
3	大气环流与气候	(3)
4	水系与水文特征.....	(11)
5	国土资源.....	(24)
6	土壤.....	(26)
7	植被.....	(28)
8	区域地质概况.....	(31)
9	生态环境.....	(34)
10	社会经济	(36)
第二章	流域历史环境演变与水系变迁过程	(38)
1	晚第四纪气候环境和自然水系.....	(38)
2	历史时期人类活动与水系变迁.....	(42)
3	历代农田水利建设与水系变迁.....	(46)
第三章	流域地下水流时空动态特征	(57)
1	水文地质条件.....	(57)
2	民勤盆地地下水时空分布的数值模拟.....	(69)
3	区域地下水环境预测.....	(89)
第四章	石羊河流域水化学演化特征.....	(100)
1	概述	(100)
2	石羊河流域水化学特征	(103)
3	民勤盆地水文地球化学演化模拟	(111)
4	民勤盆地地下水年龄与补给环境	(122)
5	地下水补给历史	(124)
第五章	石羊河流域水环境质量现状及演化.....	(135)
1	水污染源调查研究	(135)
2	地表水环境质量及演化	(141)
3	地下水环境演化特征	(146)
4	石羊河流域水污染的主要原因	(151)
5	结论与建议	(155)

第六章 水资源开发利用现状与问题.....	(157)
1 水利工程建设现状	(157)
2 现状用水	(165)
3 水资源利用中存在的问题	(167)
4 地下水脆弱性特征及评价	(176)
第七章 石羊河流域水资源可持续利用管理.....	(190)
1 水资源可持续利用与管理概念	(190)
2 流域水资源合理配置浅析	(197)
3 民勤盆地水资源承载能力分析	(202)
4 石羊河流域实现水资源可持续利用的途径	(214)

第一章 流域自然条件

1 地理位置与行政区划

石羊河流域位于甘肃省河西走廊东部,祁连山北麓,东经 $101^{\circ}41'$ ~ $104^{\circ}16'$,北纬 $36^{\circ}29'$ ~ $39^{\circ}27'$,东南与白银、兰州两市相连,西南紧靠青海省,西北与张掖地区毗邻,东北与内蒙古自治区接壤,流域面积 $4.16 \times 10^4 \text{ km}^2$,流域行政区划包括武威市的凉州区、古浪县、民勤县全部及天祝县部分、金昌市的永昌县及金川区全部以及张掖市肃南裕固族自治县部分共 3 市 7 县(区),总人口 223 万人。

2 地形地貌

石羊河流域地处黄土、青藏和蒙新三大高原的交汇过渡地带,位于河西走廊东段,以高山、中高山、低山丘陵、沙漠、冲洪积平原构成全流域地貌形态,地势南高北低自西南向东北倾斜。

2.1 祁连山区

流域南部的祁连山区,由南东—北西向的高山、中高山组成,海拔高度 2700~4500m,祁连山东段以冷龙岭为主峰,向东延伸经牛头山、雷公山、乌鞘岭、毛毛山,成为黄河与内陆河的分水岭;向西接连大黄山、合黎山,成为黑河水系与石羊河水系的分水岭。祁连山主峰冷龙岭海拔 5254m,雪线 4200m 以上有现代冰川分布,可见冰斗、冰槽谷等明显的冰蚀地貌。雪线以下山坡陡峭,岩石裸露,河网密布,多呈 U 字形沟谷,其中 2700~3500m 有原始森林植被覆盖,涵养水源,该区是流域地表水资源主要的产流区。在海拔 1800~2500m 之间,是南部山区的前山地带,有低山丘陵、山间盆地和山前小平原。主要有皇城滩,毛藏滩,祁连旦玛,东、西大滩等草原地带及泱翔、张义堡、四沟嘴、石关、西山堡、龙沟、黄羊川、团庄川等山间盆地和川台地的农耕地带。

2.2 北部荒漠区

包括凉州区东部和东北部的八十里大沙和二十里大沙,古浪县北部的沙漠区,民勤县境内周边的沙漠及境内四周的低山丘陵,海拔在 1020~2000m 之间。沙漠大部分为流动沙丘,少部分为固定沙丘和半固定沙丘,沙漠区海拔多在 1300~1600m 之间。山地为剥蚀的续断岛状低山,海拔多在 1500~1700m 之间,没有陡峻的山峰,多为缓平的山坡,唯其抱疙瘩山海拔达 1936m,由于毗邻巴丹吉林和腾格里两大沙漠,风沙地貌明显,没有植被,流沙的移动使山丘呈剥蚀沟槽状,严重地威胁着绿洲的生存。

在西部合黎山余脉,有受外力作用影响而形成的剥蚀低山、丘陵、断续绵延的山脉。北

缘有抱疙瘩山、独青山、马莲泉山、毛条山、莱蕨山和红山等,横贯北部,构成连续起伏的剥蚀低山丘陵,为巴丹吉林大沙漠的天然屏障;南部有龙首山东延余脉馒头山、红崖山、阿拉古山、青山、头道山等,呈条带状断续展布,横贯东延之阿拉善左旗交界的二道山,海拔在 1470 ~ 1860m 之间。诸山高差相对较小,一般在 100 ~ 200m。在中部孤立分布的有苏武山、狼刨泉山、枪杆岭山等剥蚀低山丘陵,海拔高度约为 1400m,相对高差最大仅有 50 ~ 60m。

2.3 中部平原区

祁连山山前绿洲平原区,是河西走廊平原的重要部分,东起古浪的大靖、土门,中为武威山前平原,西到永昌县的水磨关,以及民勤县的平原地带,为石羊河流域的精华之地,是主要的绿洲灌溉区。海拔在 1400 ~ 2500m 之间,地处石羊河流域各条河流的中、下游,是古河流

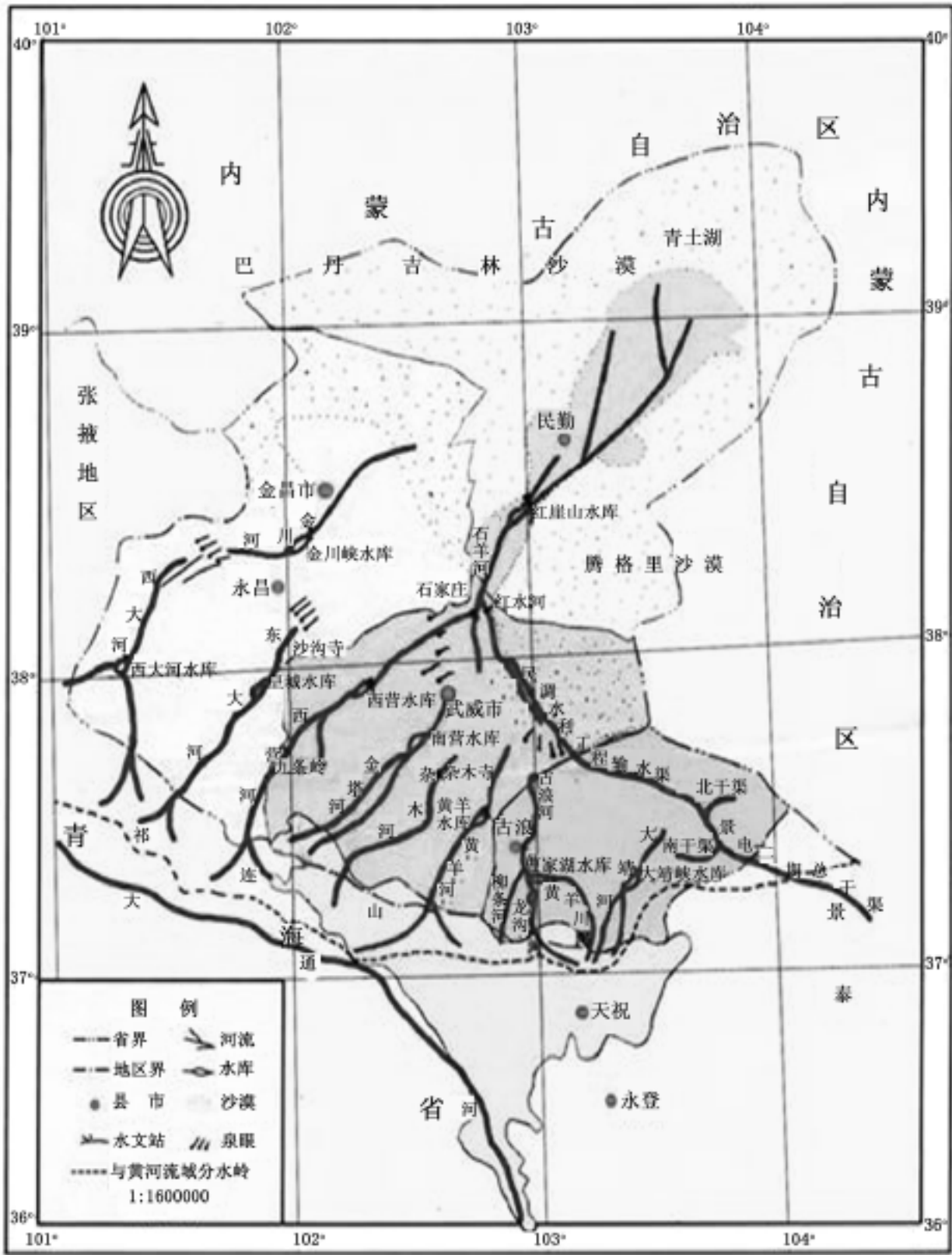


图 1 - 1 石羊河流域水系示意图

中冲积洪积扇群相联结组成的范围广阔的冲积平原,地形平坦,除民勤洪积戈壁平原外,土壤肥沃,在绿洲农业发展史上,开发最早、经营最久,是绿洲灌溉农业基地;是历史上人烟稠密、经济发展快的富庶区。分布着古浪县、凉州区、永昌县城及众多乡镇,是政治、经济、文化中心。凸起于中部的韩母山、红崖山、阿拉古山把平原区分为南北两部分,南部称武威盆地,北部称民勤盆地和昌宁盆地。南盆地海拔 1400 ~ 2500m,由南西向北东倾斜,地面平均坡降 5% ~ 9%,除盆地边缘为中低山外,其余大面积地区为洪积平原、戈壁沙漠和冲积湖积平原等地貌景观;北盆地海拔 1300 ~ 1500m,最低点白亭海海拔仅 1020m,地形平坦,地面平均坡降 1%,形成冲积平原、湖沼平原和低山丘陵、沙漠景观。

3 大气环流与气候

3.1 大气环流

石羊河流域大气环流体现了整个西北干旱区的大气环流特点,石羊河流域高空受中纬度西风环流控制,近地面则受季风环流影响。由于石羊河流域与青藏高原毗邻,其大气环流和气候特征明显受到青藏高原的影响。冬季,受蒙古—西伯利亚高压控制,流域盛行冬季风;而高原主体对西风环流的动力阻塞作用,在高原北侧形成西风急流,出现高压带,高压脊位于南疆、河西至兰州一线,正好控制石羊河流域地区。可见,冬季西风急流、冬季风、高原冬季风和高原北侧的高压带相互作用,使这一地区冬季气候更加寒冷干燥。夏季,青藏高原的热力作用增强,高原主体的热低压和高空青藏高压的建立,形成了高原夏季风,并促使西风环流减弱,南支急流迅速北撤,诱发了西南季风的暴发和增强,同时也加强了东南季风的势力;冬季,控制石羊河流域的高原北侧高压脊北移,以及蒙古—西伯利亚高压减弱,使得东南季风、西南季风以及高原夏季风均能影响到石羊河流域,但由于石羊河流域地处西北内陆,夏季风势力已大大减弱,东南气流和西南气流所携带的水汽已大为减少,形成的降水有限。因此,石羊河流域气候主要表现为大陆性气候特点,石羊河流域上游的祁连山北麓为凉温带半干旱气候,中下游的武威、民勤盆地属温带干旱气候。各亚区气候特征值见表 1 - 1。

表 1 - 1 石羊河流域各亚区气候特征值

分区	年平均气温 ()	相对湿度 (%)	蒸发量 (mm)	降水量 (mm)	降水天数 (d)	日照时数 (h)
南部高寒干旱 半湿润亚区	0 ~ 5	46 ~ 58	720 ~ 1200	340 ~ 650	> 80	2553 ~ 2700
中部温凉干旱亚区	5 ~ 8	45	200 ~ 2200	160 ~ 340	50 ~ 80	2700 ~ 3000
北部温暖干旱亚区	> 8	30 ~ 45	2200 ~ 2640	< 150	< 50	> 3000

3.2 光能

年日照时数在平原地区,地表呈半荒漠与荒漠景观,植被稀疏,气候干燥,空气湿度小,阴云天少,全年实际日照时数长达 2730 ~ 3030h,日照百分率为 62% ~ 68%,为日照最多的地方之一。日照时数和日照百分率随着海拔高度的增加而逐渐渐少,山麓地带(海拔 1800

~2000m)年日照时数为 2630 ~ 2880h,日照百分率为 59% ~ 65%;中、低山区日照时数为 2570 ~ 2660h,日照百分率为 58% ~ 60%。日照时数的年内变化以平原区和山麓地带的 6 月最多,2 月最少;中低山区(海拔 2000m 以上)以 12 月份最多,9 月份最少。

石羊河流域平原地区年太阳总辐射量是 133 ~ 138kcal/ cm² (表 1 - 2),由于云量增减,年辐射总量随之增减。随着海拔高度的增加而变化,山麓地带和中低山区为 127 ~ 130kcal/ cm²,比平原区减少 5% ~ 6%。但中、低山区冬季高,月辐射量接近平原区。月辐射量最大值各地都出现在 5、6 月份,最小值则出现在 1、12 月份,最高可达 15.8kcal/ cm² (凉州区),最低为 6.75kcal/ cm² (民勤县)。植物在光合作用过程中只能吸收太阳辐射能的可见光部分,其波长在 0.38 ~ 0.71nm 之间,称为植物的生理投射或光合有辐射,约占太阳总辐射的一半。气温在 0 ~ 10 之间的生理辐射,平原区为 44 ~ 46kcal/ cm²,山麓地带为 37 ~ 39kcal/ cm²。

表 1 - 2 全年太阳辐射量和生理辐射量表 (kcal/ cm²)

项目	武威站	民勤站	古浪站
总辐射量	138.45	137.307	127.991
生理辐射	67.84	67.281	62.715

3.3 热能

石羊河流域多年平均气温在空间分布上表现为流域的中下游地区高于上游地区。平原地区大部分年平均气温在 7 ~ 8 ;山麓地区年平均气温在 5 左右;中、低山区约为 0 ~ 4.5 ,沿沙漠地区最高可达 8.2 ,深山区最低为 - 0.2 。

由于大陆性气候特点显著,年温差、日温差较大。平原区为 28 ~ 33 ,山麓地带为 27 ~ 28 ,中、低山区为 24 ~ 27 。其中,上游的乌鞘岭站年均气温仅 - 0.2 ,古浪站为 4.9 ,而下游的武威站和民勤站年均气温分别为 7.7 和 7.8 ,流域内多年平均气温的月变化呈单峰型,变化趋势较一致,高温阶段出现在 6 ~ 9 月,低温阶段出现于 11 ~ 2 月份(图 1 - 2)。

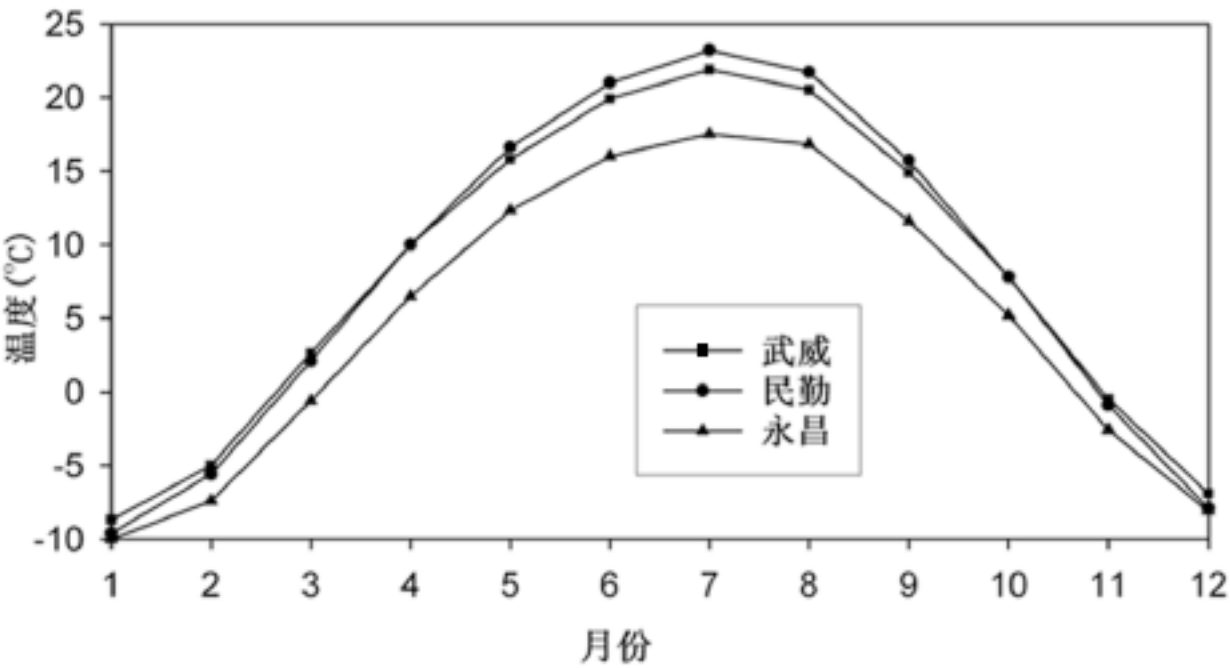


图 1 - 2 石羊河流域历年各月平均气温变化曲线

石羊河流域年积温在平原区最多年份为 3800 左右,最少年份为 3300 ~ 3400 ,平均值为 3500 ~ 3650 ;山麓地带最多年份为 2770 ~ 2800 ,最少年份为 2460 ,平均值为 2650 ;中、低山区最多年份是 1500 ~ 2600 ,最少年份为 1200 ~ 2300 ,平均值为 1300 ~ 2500 。

3.4 风和沙尘暴

石羊河流域地形复杂,风速受地形的影响,差别较大,流域内大风天气频繁,多为寒潮冷峰过境或高低气压所引起,加之戈壁沙漠、山川峡谷等地形影响,四季多风。大风多集中在 3 ~ 8 月,春季更为集中。大风一般北部多于南部,山区多于平原区,沙漠地带多于平原区。天祝、民勤是风速最大的地区,而且频率较大。多年平均风速达到 4.0 ~ 4.6m/ s,最大风速达到 17.5m/ s(表 1 - 3)。风向民勤多为东风,西北风次之,凉州区多为西北风,古浪多为南风。刮风天数频率较大,如群众中所传民谣:“ 一年一场风,从春刮到冬。” 大风起处不见家”。古浪县年风沙日多达 182d,浮尘和沙尘暴天气达到 13 次之多;民勤县年风沙天气达 213d,浮尘和沙尘暴天气多达 37 次之多,给人民生产生活带来很大灾难,在 1993 年 5 月 5 日特大沙尘暴中受到了很大损失。

表 1 - 3 石羊河流域风和沙尘暴历年平均统计资料

	武威	永昌	民勤
平均风速(m/ s)	2.0	3.2	2.8
最大风速(m/ s)	15.9	18.3	27.8
大风日数(d)	34	26	28
沙尘暴日数(d)	12.2	5.4	37.3

3.5 降水

3.5.1 年降水量空间分布

石羊河流域的多年平均降水量较少,而蒸发量较大,空间分布表现为上游地区高于中下游地区,据武威气象站观测计算资料,流域内降水具有明显的垂直分带性,随海拔高度降低,降水量减小,一般每降低 100m,年降水量减少 20 ~ 50mm(图 1 - 3),其中乌鞘岭站多年平均降水量为 411.3mm,古浪站为 360.7mm,而武威站和民勤站仅有 158.4mm 和 115mm。

3.5.2 降水量的年内分配

石羊河流域降水量在年内的分配悬殊很大,6 ~ 9 月份的降水量占全年降水量的绝大部分,除古浪约占 66% 而外,其余各地均占 70% 以上(图 1 - 4,表 1 - 4)。特别是大部分地区 60% 以上的降水量集中在 7、8、9 三个月,8 月为全年降水最多的月份,而且各地一日最大降水量和最长连续降水日数(≥ 0.1mm)的最大值也都集中在在这三个月中。中、低山区 7 ~ 9 月的日降水量超过 30mm 的暴雨,往往在短时间内引起山洪暴涨,造成沿山地区及平原区受到山洪灾害。春季降水量绝大部分地区不到全年的 18%。冬季降雪量则更少,大部分地区不到年总降水量的 4%。其原因是每年 10 月至次年 6 月亚洲东海岸维持准定常的高空槽,河

西走廊东部上空常为槽后西北气流所控制,盛行气流下沉运动,从而造成冬、春雨雪稀少的干旱气候。

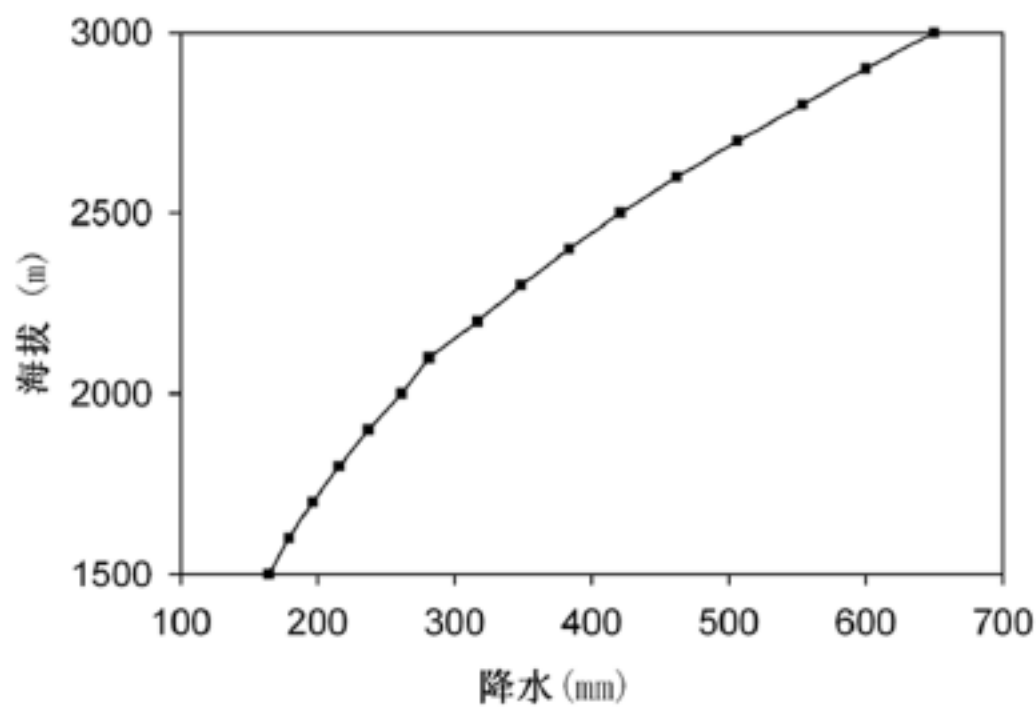


图 1 - 3 不同海拔高度降水量计算值

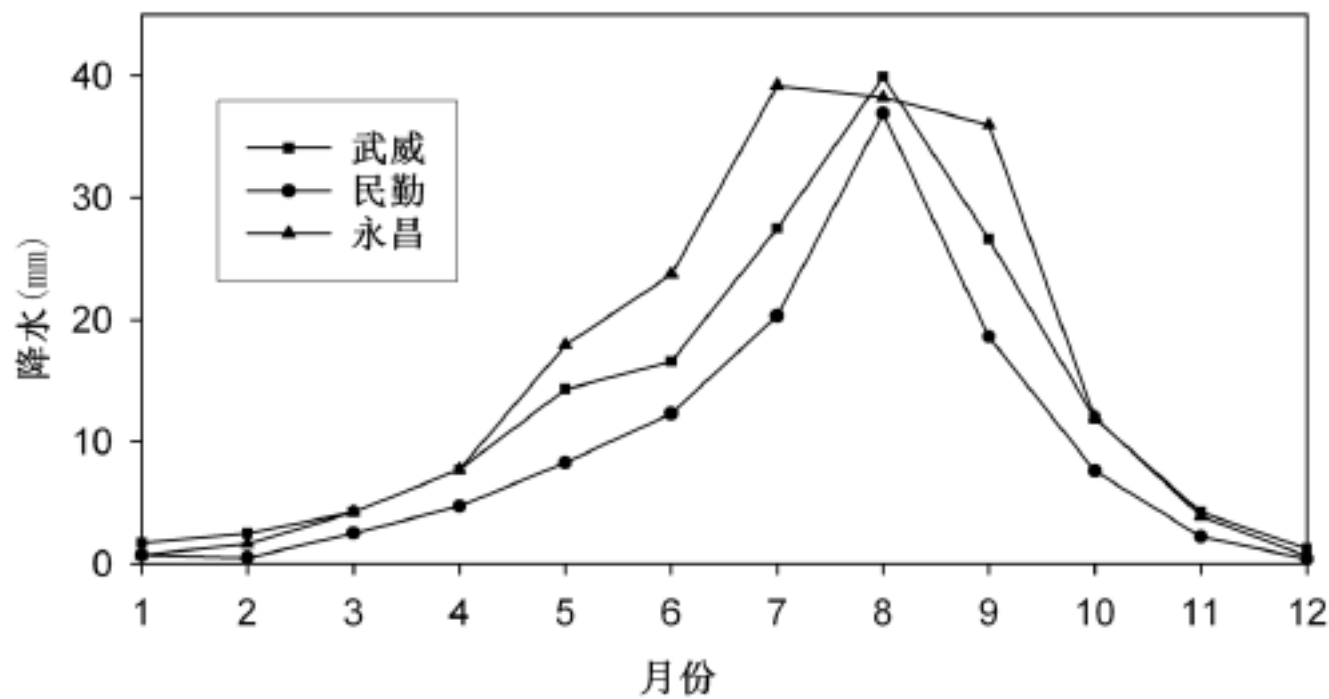


图 1 - 4 石羊河流域历年各月平均降水量变化曲线

表 1 - 4 石羊河流域各地年内各时段降水量分配

地名	11~2月		3~5月		6~9月		7~9月	
	降水量 (mm)	占全年 (%)	降水量 (mm)	占全年 (%)	降水量 (mm)	占全年 (%)	降水量 (mm)	占全年 (%)
武威	9.6	6.1	26.2	16.5	110.6	69.8	94.0	59.3
民勤	3.6	3.1	15.5	13.5	88.1	76.6	75.8	65.9
古浪	22.8	6.3	77.2	21.4	236.7	65.5	195.2	54.1
乌鞘岭	13.0	3.2	72.1	17.5	308.1	74.9	246.9	60.0
松山	7.7	2.9	46.8	17.6	198.6	74.8	162.3	61.1

各地月降水量相对平均变率,夏季和秋季较小,冬季和初春较大。年降水量相对平均变率,平原区为 22%~24%,山麓地带为 15%~17%,中、低山区为 19%~21%。平原区相对比山麓地带和中、低山区大,而平原绿洲区靠近沙漠地区的降水变率最大。古浪县年降水量相对变率,在平原地区为 23%~25%,南部山区为 17%~21%。永昌县年、月降水相对变率较大,平原区年降水量相对变率为 26%,山区年降水相对变率为 11%。其月最大降水相对变率出现在 11 月份,为 117%;最小降水相对变率出现在 6 月份,为 40%。浅山区年降水量相对变率为 15%,月最大降水相对变率出现在 12 月份,为 118%,月最小相对变率出现在 7 月份,为 40%;山区年降水相对变率为 11%,月最大降水相对变率出现在 1 月份,为 73%,月最小降水相对变率出现在 7 月份,为 20%。

3.5.3 降水量的年际变化

石羊河流域由于受自然地理环境的影响,不但一年中各月降水量有很大差异,其年际之间的降水量变幅也非常明显,凉州区最少年份不足正常年份的 60%,仅是丰水年份的 40%,而北部民勤更是相差悬殊,最少年份仅是最多年份的 20%。沙漠地区最多年降水量可为最少年的 4.8 倍左右,甚至 5 倍;其它地区大约也在 2.5~3.0 倍之间;山麓地区最多年降水量可为最少年份的 2.0~2.2 倍;中、低山区约为 2.4~3.0 倍(表 1 - 5)。

表 1 - 5 各地多年平均、最多年份和最少年份降水量表(mm)

地名	项目	多年平均	最多年份	最少年份
武威	降水量	158.4	229.6	91
	出现年份		1968 年	1962 年
民勤	降水量	115.0	185.1	38.6
	出现年份		1973 年	1959 年
古浪	降水量	360.7	482.0	244.2
	出现年份		1961 年	1962 年
乌鞘岭	降水量	411.3	555.2	231.3
	出现年份		1961 年	1962 年
松山	降水量	265.5	462.5	143.3
	出现年份		1979 年	1972 年
永昌	降水量	185.1	—	—
	出现年份		—	—
土门	降水量	237.6	361.1	148.5
	出现年份		1968 年	1959 年

从降水的历史演变情况来看,总的趋势是自 20 世纪 50 年代以来降水量没有明显减少趋势,但丰枯交替出现(图 1 - 5、图 1 - 6、图 1 - 7),中、低山区和中、高山区 60 年代比 50 年代相比,降水量减少了 11%~13%,70 年代又比 60 年代减少了 1%~4%,80 年代比 70 年

代又减少了 4% ~ 8%, 90 年代比 80 年代又减少了 3% ~ 5%。流域年降雨量 cv 值在 0.2 ~ 0.4 之间, 从西南到东北递减, 祁连山区最小, 为 0.2。最大降水量与最小降水量的倍比在降雨稀少的地区比在降雨充沛的山区大。经过对代表性较好的皇娘娘台年降雨量差积曲线 (图 1 - 7) 分析可以看出: 山区降雨量从 1956—1995 年基本上完成了一个丰平枯的完整循环周期, 其中 1955—1961 年 7 年为丰水期, 1961—1975 年 13 年为枯水期 (个别年份稍丰), 1975—1985 年 10 年为平水年。平原区代表站武威年降雨量 (图 1 - 7) 也具有 30 年的丰平枯完整循环周期, 但丰枯时段与山区相反: 1955—1963 年 9 年为枯水期, 1963—1971 年 9 年为丰水期, 1971—1995 年平水期与山区及全流域基本对应。石羊河流域降雨量在大周期中又具有明显的连续 3 年小周期, 即连续 3 年丰水期, 接连续 3 年枯水期, 接连续 3 年平水期。

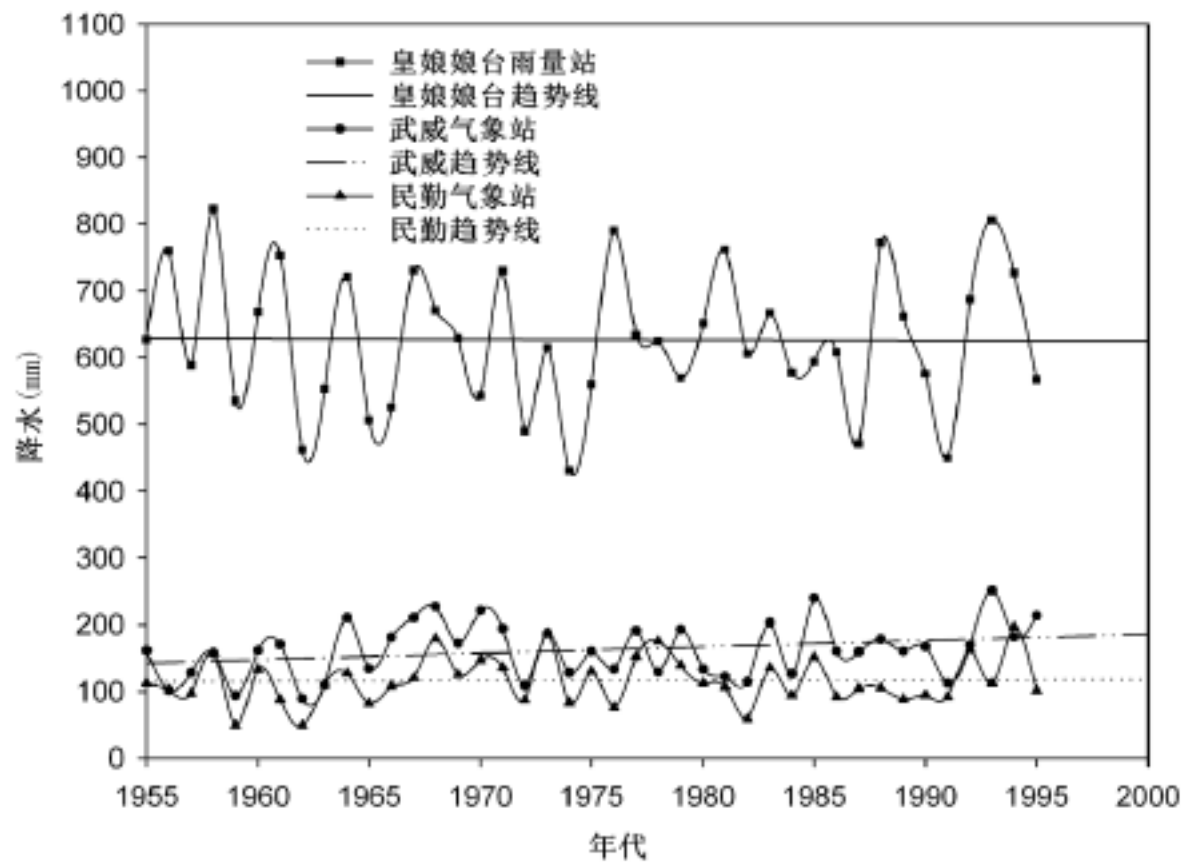


图 1 - 5 石羊河流域皇娘娘台、武威及民勤气象站降雨量过程曲线

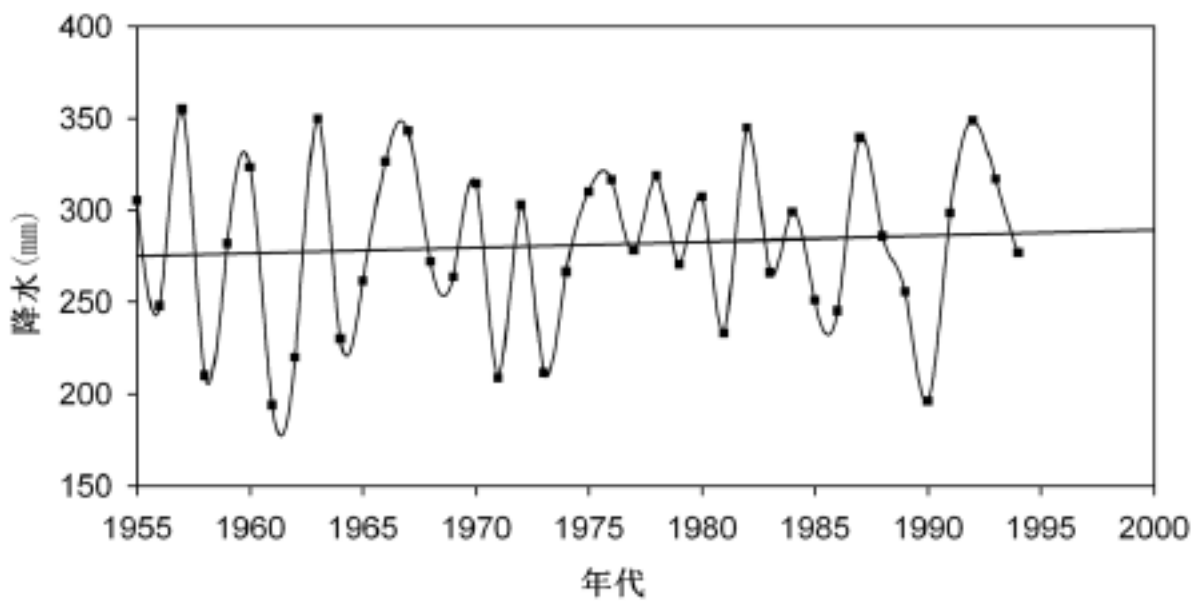


图 1 - 6 石羊河流域 40 个雨量站多年平均降水量

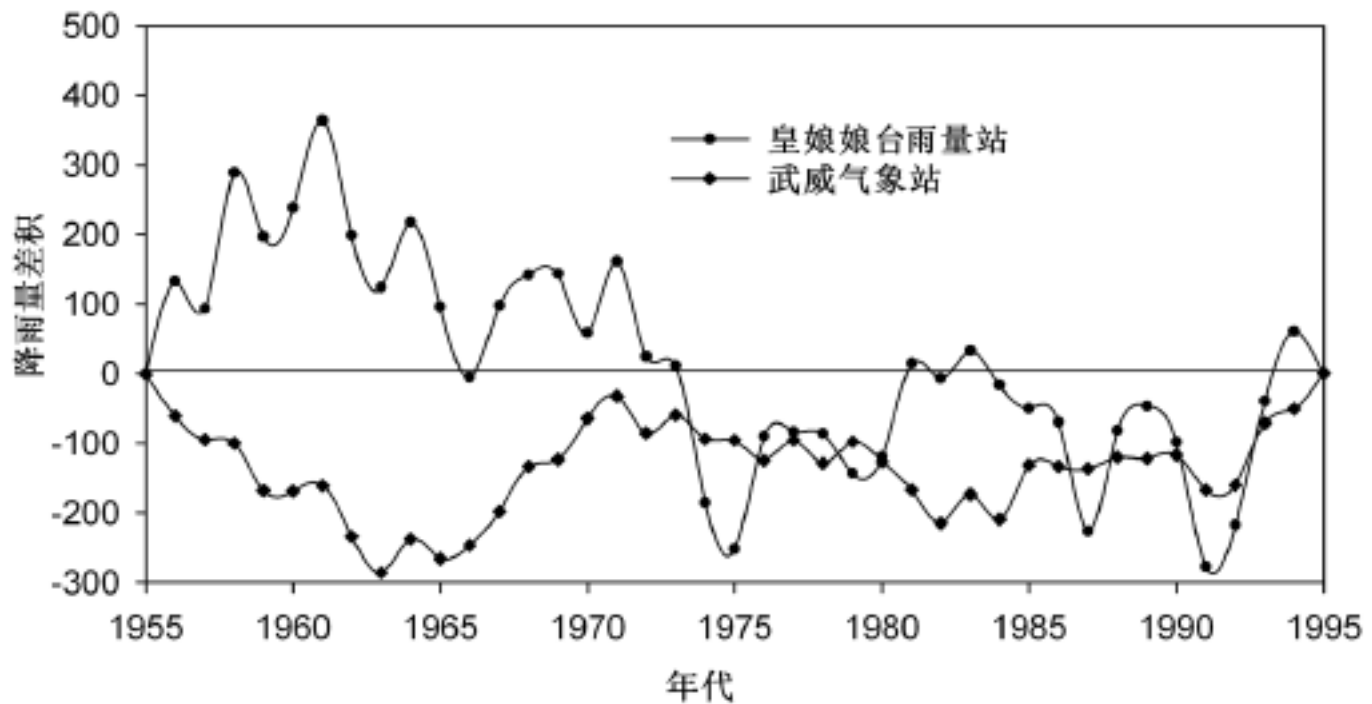


图 1 - 7 石羊河流域皇娘娘台与武威气象站降雨量差积曲线

3.5.4 暴雨

石羊河流域由于自然地理环境的差异,暴雨各地发生频率很不相同,山区较平原区为多。暴雨有两个特点:一是降水时间短;二是降雨强度大、量多。该流域虽然全年降水稀少,但由于地形等因素的影响,各地降水量分布极不均匀,局部地区大雨和暴雨出现频率高,造成严重的灾害,不仅淹没农田,冲毁作物,而且还危及人民生命财产的安全。暴雨多发生在5~9月,尤以7~8月最为集中。暴雨的年际变化很大,最多年出现频次为民勤2次、凉州1次、古浪4次、永昌4次,也有不发生暴雨的年份。从地理分布上来看,一般东南部较多,西北部较少;山区较多,平原区较少。暴雨最多的古浪为10年11遇,最少的民勤为4年1遇。重点受害地段在该地区东南部的浅山和沿山地带。

3.6 湿度与蒸发

石羊河流域由于降水稀少,近地层空气中的水汽含量很少,并随海拔高度的增高而递减。因此,平原区年平均绝对湿度约为6mB左右;山麓地带年平均绝对湿度约为5.5mB;中、低山区年平均绝对湿度稍多于4mB。平原区和山麓地带年平均相对湿度为45%~54%,中、低山区为55%~58%,从季节来看,伏秋期的8~10月相对湿度最大,春、夏季平原区太阳辐射增强,气温迅速回升,降水稀少,相对湿度达到年内最低;冬、春季各月的山麓地带相对湿度最小,中、低山区最小相对湿度出现在冬季各月。而年蒸发量则由北向南随海拔增高而递减,平原区年蒸发量约为2020~3040mm,为年降水量的12~23倍,其中:靠近大沙漠边缘的地区最大,多年平均为2640~3040mm;山麓地带年平均蒸发量约为1770~2000mm,为年降水量的5~11倍;中、低山区年蒸发量约为1600~1700mm,为年降水量的4~6倍。

年内蒸发量最大值平原绿洲区和中、低山区出现在6月,分别达到310~450mm;山麓地带出现在5月,为250~300mm。各地年内月蒸发量最小值出现在1月或12月,为37~67mm。古浪的元庄实测得多年平均蒸发量为2807.4mm,是年平均降水量的13.5倍;古浪县城则为1777.1mm,是年降水量的4.9倍。平原区5~7月份蒸发量最大,1月份蒸发量最

小;山区 5~7 月份蒸发量最大,1 月份蒸发量最小。祁连山区属高寒半干旱气候,年日照时数为 2200~3600h,年蒸发量为 700~1200mm;走廊平原属温带干旱气候,年日照时数为 2360~2968h,年蒸发量为 1200~2000mm;北部沿沙漠地区为荒漠地带属温带特干旱气候,年日照时数为 3000h 以上,年蒸发量为 2020mm 以上。绿洲区北部的红崖山水库,年蒸发损失水量多达 $800 \times 10^4 \sim 1200 \times 10^4 \text{ m}^3$,相当于大靖河水系的年径流总量。

石羊河流域自然干燥度值随海拔增高而递减。从出现的频率看,平原区几乎全部为干旱或特干旱;中、低山区以湿润或半湿润出现的频率较大;山麓地带古浪主要为半干旱或半湿润。

表 1 - 6 石羊河流域各地蒸发量及干旱度

地名	蒸发量 (mm)			年干燥度 (K)值		
	年平均	最大月	最小月	平均 K 值	最大 K 值	最小 K 值
武威	2021	307.3(6 月)	37.4(12 月)	4.23	11.88(1962)	2.33(1970)
民勤	2643.9	405.2(6 月)	45.4(1 月)	6.26	202.3(1962)	3.38(1973)
古浪	1769.9	250.7(5 月)	53.8(1 月)	1.56	3.34(1962)	0.84(1976)
乌鞘岭	1590.6	222.3(6 月)	52.9(1 月)	0.72	3.68(1968)	0.22(1976)
松山	1703.2	248.9(6 月)	54.3(1 月)	1.49	3.77(1975)	0.38(1979)
备注	$K > 4.00$ (特干旱); $K = 2.0 \sim 4.0$ (干旱); $K = 1.50 \sim 1.99$ (半干旱); $K = 1.00 \sim 1.49$ (半湿润); $K = 0.50 \sim 0.99$ (湿润); $K < 0.50$ (特湿润)					

3.7 冰川

河西地区南部的祁连山区,由于山体高大,降水较多,有一部分降水在低温条件下形成以冰、雪固体形式积累和储存,发育成现代冰川。祁连山高山冰川的发育主要受气候和地形地势等因素的制约,是河西地区水资源存在的一种特殊形式,有“天然固体水库”之誉。在丰水多雨低温年份可大量储存固体降水,而在枯水的高温干旱年份又能融化和提供一定的冰雪融水。与降水径流之间有着相互制约和补充作用,因而使河流的年径流量相对来讲比较稳定,有利于山前平原绿洲区工农业生产的供水保证。近十年来,由于气候变化,造成祁连山雪线不断上升,恢复量甚小;冰川萎缩,冰舌后退,储冰量减少。

祁连山冰川分布由于自然气候关系,东部石羊河流域冰川数量和储量甚少,仅占冰川总面积的 4.86%,总储量的 3.48%;而中部黑河流域和西部疏勒河流域则占总冰川面积的 95.14%,总储量的 96.52%。石羊河流域冰川只有 141 条,面积 64.82 km^2 ,储量仅 $21.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 1 - 7)。石羊河流域山区雪线海拔已上升到 4400m 左右。

祁连山区冰川运动速度的增减、冰舌末端的进退、冰体的增厚与减薄、雪线的升降等冰川变化是气候条件,特别是山区降水气温条件变化的结果,直接反映了冰川积累和消融物质平衡的情况。祁连山区东部石羊河流域源头冷龙岭地区的冰川退缩表现大,平均后退 $12.5 \sim 22.5 \text{ km}^2/\text{a}$,冰舌末端形态变化较大,形成了一些新的冰碛湖和冰碛垄。西营河上游支流水管河 4 号冰川的下部,平均每年减少面积达 0.8%,平均后退 $6 \sim 16 \text{ m}/\text{a}$,形成支出大于收