

Huanghe Shangyou

Huanghe Shangyou Diqu Rengong Zengyu Shiyān yu Yānjiū

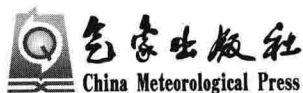


黄河上游地区 人工增雨试验与研究

德力格尔 陈万奎 李仑格 编著

黄河上游地区人工增雨试验与研究

德力格尔 陈万奎 李仑格 编著



内容简介

本书介绍了 1997—2001 年青海黄河上游河曲地区实施人工增雨试验研究的策划、试验研究过程及主要成果,发现的一些新的观测事实。书中初步揭示的黄河河曲地区天气气候、云降水物理的特点及其变化过程和规律,对科技人员了解青藏高原大气宏微观物理状况,开展黄河上游人工增雨试验,进行我国人工影响天气研究有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

黄河上游地区人工增雨试验与研究 / 德力格尔, 陈万奎, 李仑格编著.
—北京: 气象出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-5029-5539-7

I. ①黄… II. ①德… ②陈… III. ①人工降水—气象试验—研究—河曲县 IV. ①P481-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 177383 号

Huanghe Shangyou Diqu Rengong Zengyu Shiyān yu Yanjiu

黄河上游地区人工增雨试验与研究

德力格尔 陈万奎 李仑格 编著

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室: 010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑: 王祥国 李太宇

封面设计: 博雅思企划

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

字 数: 480 千字

版 次: 2012 年 9 月第 1 版

定 价: 68.00 元

邮政编码: 100081

发 行 部: 010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审: 章澄昌

责任技编: 吴庭芳

彩 插: 2

印 张: 17

印 次: 2012 年 9 月第 1 次印刷

序 言

青海是我国最重要的水源地,生态战略地位十分重要。被誉为“中华水塔”、“江河源头”、“千湖之地”的青海南部更是国家生态安全的重要屏障。位于三江源地区的长江、黄河、澜沧江每年向中下游供水 600 亿 m^3 ,哺育了大半数的中国人口,支撑了江河流域的经济社会发展。20 世纪末,为应对日趋恶化的生态与水资源减少形势,尤其是黄河向下游供水不足、龙羊峡水电站蓄水锐减等突出问题,在青海省人民政府的领导和支持下,青海省气象部门与电力部门合作,从 1997 年到 2001 年进行了历时 5 年的黄河上游人工增雨试验作业。本书是此次人工增雨试验的系统总结。

在黄河上游开展人工增雨,需要深入了解该地区的天气气候规律,也需要对作业区地形、河流、水系、水文等状况有足够的了解和认识。为了保证试验的科学性和针对性,组织者不为传统模式所束缚,打破常规,将试验区选择在对黄河流量贡献大,云水条件较好的源头地区。因此,本试验不仅是一次科学试验,同时也是人工增雨工作的一次有益探索和人工影响天气理念的创新。

值得一提的是,本试验得到了我国人工影响天气前辈们的大力支持和指导。他们有的亲自到现场工作,有的多次参与项目的论证和咨询,有的用书信等方式提出对试验的建议。本次试验凝聚着他们的智慧和辛勤劳动,在这里,我们向这些老同志和专家致以深切的谢意。

由于试验区海拔高,天气、云层等条件复杂,试验中遇到的困难和问题很多。组织者动脑筋想办法,克服了一个又一个困难:无经验,向专家咨询;无资料,四处收集;无观测仪器,向外单位借;技术人才不足,与科研单位合作,使试验工作按既定的目标得到有效推进。这种务实的工作作风和科学态度是这次试验的宝贵经验之一。

黄河上游人工增雨试验涉及高原天气、云、降水、地形地貌、水系、水文以及效果检验等科学问题。试验中进行了大规模的地面、高空加密观测和大气边界层观测,开展了雨滴谱、凝结核、冰核、雨水样采集,飞机云粒子采样,还集中开展了地形云催化试验,开创了青海省集中多种手段,多专业、多角度同步观测、试验的先河。与此同时,试验中还在开发人工增雨指挥系统,研制试验仪器、作业设备等方面做了大量工作。

中国气象科学研究院、中国科学院大气物理研究所等单位对试验区气候、天

气、云、降水的宏微观过程、结构,天气、云、降水的物理机制、人工增雨作业方法、催化技术开发、效果检验以及地形云催化方面进行了分析研究。这些工作不仅有力地提升了试验的深度,有的还填补了青藏高原大气探测的空白,有的还起到了全新的探索作用。比如,用水文模型检验增雨效果,在全国尚属首次。这些试验研究不仅提高了青海省人工影响天气的研究水平,也同时为青海人工影响天气事业培养了一批业务人才。

5年的黄河上游人工增雨试验尽管取得的只是一些初步研究成果,所做的工作还只是开始,研究工作还存在许多不足之处,但我相信,本书从气象观测到降水的催化作业,从云降水发展的机理研究到作业方法的探讨,还是为深入、科学地开展人工影响天气工作提供了一些可借鉴的经验和做法。

相信人工影响天气试验研究工作在我国各级政府的大力支持下,在缓解用水资源短缺的工作中,将会发挥更大的作用。

王 莘

(青海省气象局副局长)

2012年3月

前 言

水是生命之源,是人类生存和发展的最基本要素之一,是社会发展的不可替代的基础性资源。随着人口的增加以及经济、社会的发展,对水资源的需求不断增加,加之淡水资源的减少,加速了世界范围的水资源危机。与此同时,因缺水而造成的干旱、荒漠化、沙化等环境问题日趋严重,水荒的影响范围不断扩大,人类生存和发展正面临严重威胁。

中国是个水资源十分匮乏的国家,据有关资料显示,中国每人每年所拥有的水资源量不足 2200 m^3 ,相当于世界平均水平的 $1/4$,居世界百位之后,在世界银行统计的 153 个国家和地区的人均水资源拥有量排行榜上,中国属于贫水国之一。由此可见,在合理应用和保护现有水资源的同时开发新的水源是一项十分重要和迫切的工作。

中国地表水资源的 20% 来自于西部高原,青藏高原是中国大江大河的发源地,该地区水资源状况如何,自然降水变率怎样,对中国水资源的供给和维持产生重大影响。

近几十年来,青海乃至青藏高原出现了水资源、生态、环境等恶化的严峻形势。据有关资料反映,20 世纪 90 年代青藏高原降水量减少了 10%~20%,局部地区减少超过 30%。李林等分析三江源地区历年降水量变化后认为,青海三江源地区年降水量正以 $2.81\text{ mm}/10\text{ a}$ 的速度减少。与此同时,1989—1997 年黄河的平均径流量比前 36 年平均值减少 $150\text{ m}^3/\text{s}$ 。1996 年黄河下游地区断流 29 d,1997 年断流 7 次,累计达 222 d,最长的一次 132 d 之久,为历史上最长的黄河断流时期。

位于青藏高原东北部的青海省属于干旱和半干旱地区,降水量在年际和地区上具有极不平衡的特点,不仅影响青海省经济社会的发展,同时影响和制约有关企业的生产。地处黄河干流的龙羊峡电厂是位于黄河上游的第一座龙头电站,也是黄河上游最大的水库(库容 247 亿 m^3),该厂自 1983 年竣工以来长期处于蓄不满水的尴尬,连续十年的低水位使电厂发电受到了极大的经济损失。特别是 1996 年夏季到 1997 年春季出现了四季连旱的罕见旱情,黄河水量下降到历史上最低点,设计库容为 247 亿 m^3 的龙羊峡水库,1997 年蓄水不到 55.69 亿 m^3 ,水位只差 2 m 就达到死库容。发电效益不到设计发电量的 50%。

为了增加黄河上游地区降水,缓解龙羊峡水电厂的用水状况,1997 年在青海省人民政府的高度重视和青海省电力部门的支持下,以增加龙羊峡水库水量为目的增雨作业试验付诸实施。

二

按照水分循环的原理,某地水由大气降水和地表水、地下水等三部分组成。但高原的水组成与平原地区有所不同,由于青藏高原是耸立在地球上的高地,高原以外地表和地下水补给基本为零。因此,高原的所有水主要来源为降水,雨水是该地区主要水源。而黄河、长江等江河发源于高原腹地的“屋脊”地带,这一现象说明青海省南部地区为大气云水资源相对丰富的地区,它同时提醒人们,可用人工干预的方法开发大气云水资源,增加源区降水量,从而缓解上游及沿河地区水资源不足的问题。

在青海把黄河源头至龙羊峡段称之为上游,这段流程约 1300 km,汇水面积超过 13 万 km^2 ,平均海拔 3800 m,该区域地域面积大,境内地形复杂,大气环流特殊、天气系统多样,云、降水变率高,南北差异大。为了找到最佳试验区,经资料分析和现场考察等,首先把作业区向上游推到源头及上游,再进一步比对筛选,缩小范围,最终把试验区确定在距龙羊峡近 200 km 的黄河第一弯的河曲地区。

人工增雨是一门通过人工干预大气云系,提高云层降水效率的技术手段。从国内外人工增雨实践来看,不乏以增加流域降水量为目的的人工增雨计划。但必须要有科学的方案设计和成熟的技术支撑,应有适合不同地区,不同地形,不同天气条件,不同云和降水发展机制的人工增雨的技术方法和技术思路,这就要求在实施黄河上游人工增雨,首先必须重视天气过程的观测,研究云、降水形成、发展过程,分析了解云、降水微物理过程与机制,探索适合的人工增雨催化技术和方法。

经多次咨询和反复论证,在中国气象局科技教育司人工影响天气处陈志宇处长,中国气象科学研究院王春乙副院长的参与协调下,黄河上游人工增雨试验科研启动和签字仪式于 1998 年 7 月 14 日在西宁召开,由中国气象科学研究院游来光研究员主持,宣告黄河上游人工增雨试验的科研正式启动。承担研究的单位有中国气象科学研究院、中国科学院大气物理研究所、中国科学院寒区旱区工程与技术研究所、中国气象局培训中心、河海大学、青海省电力局以及青海省气象局气象科研所、气候中心、中国大气本底基准观象台等。

黄河上游人工增雨实验受到了广大大气物理和人工影响天气界专家学者和同行的广泛关注,也得到了他们的支持,有的专家主动献计献策,有的提供数据资料,帮助分析问题,也有的亲自到现场参加试验,有的多次到青海参加方案论证、讲学、搞实验。中国资深大气物理与人工影响天气专家赵伯林、易仕明、游来光、黄美元、胡志晋、酆大雄、张纪淮、马培民、章澄昌、秦瑜、毛节泰、许焕斌、陈万奎、沈志来、涂多彬、黄庚等教授、研究员以不同的形式参与了试验活动,有的多次往来北京和西宁指导工作,有的亲自到河曲参加试验。黄河上游人工增雨试验同时吸引了一批年轻同志参加,雷恒池、刘黎平、楚生荣、张彤、李淑日、李鹃等到现场开展观测,参加试验,这些工作想必对他们日后的工作会有大的帮助和启发。

回顾和总结黄河上游人工增雨试验的科学研究工作,主要做了以下几个方面:(1)现场考察和可行性研究。黄河上游地处青藏高原腹地,气象条件特殊,是人工影响天气的空白区,大气物理的观测研究也很少。故可供参考的文献相对较少。为此,首先沿黄河进行了实地考察,了解现场情况,掌握第一手资料,同时以“短、平、快”的方式动员相关科技工作者,对该地区气

候、云水条件、云降水、水文水系、地形地貌、经济效益评估等进行分析评估;(2)进行了广泛的技术咨询,在北京、兰州、西宁等地召开十多次座谈会,广泛听取专家学者的意见和建议,制定科学的实施方案;(3)制定了较符合黄河上游地区特点的人工增雨试验技术路线、技术方法;(4)组织境内气象台站参加试验,在一些关键地区,关键部位布置了气象观测站、雨量站观测点进行加密观测;(5)进行了多要素的专题观测。开展了空中云粒子、雨滴谱、雨水取样、边界层气象、凝结核等要素观测。(6)进行了火箭、地面燃烧炉的催化试验。

通过该项科研活动取得了以下几个方面的研究成果:(1)基本摸清了黄河上游地区天气气候、水文、地形地貌宏观特征状况;(2)较定量客观地计算了大气云水资源、水汽源地、输送通道、辐合辐散等;(3)研究了黄河上游云、降水过程的宏微特征以及微观物理机制,包括,云、降水的发生发展规律,主要影响因素,主要降水云的分布和出现概率,用数值模拟方法初步摸索出了云、降水凝结过程,粒子分布状况等;(4)分析掌握了大地形山脉和主要地形的地形影响机制、作用和地形云的发生发展规律,边界特征方面的分析研究;(5)总结归纳了在高原地区人工增雨作业的技术方法,凝炼了一套较适合河曲地区人工增雨的作业技术和方法;(6)探索了多种方法检验人工增雨效果和评估的途径;(7)开发建立了指挥系统,提炼了高原人工增雨的技术指标判据。

三

黄河上游人工增雨试验受到青海省人民政府和中国气象局的大力支持,青海省人民政府多次开会研究布置增雨工作,协调各方工作,筹措资金。时任政府省长的白恩培亲自到黄河上游现场视察工作,对黄河上游人工增雨试验给予了充分肯定。也得到了原青海省电力局等协作单位的全力支持。

原中国气象局副局长马鹤年在“黄河上游人工增雨论证会”上指出:人工增雨的必要条件是有丰富的大气水汽。中国老一代气象工作者曾经对黄河上游的区人工增雨的气象条件做过调查和研究。研究表明,黄河上游河曲地区处于青藏高原东侧,具有特殊地理和地形条件,是比较理想的人工增雨作业区,因为受庞大青藏高原影响,水汽只能绕道青藏高原东侧北上,河曲地区处于孟加拉湾水汽向东亚大陆输送的必经之路,具有丰富的空中水资源。同时,河曲地区山脉、河流的走向、地貌均有利于水汽的汇集。该地区还处在生态十分脆弱的高原腹地,人工增雨可以增加当地土壤的湿度,提高植被覆盖率。青海省提出在河曲地区开展人工增雨作业的战略思路,它不仅适应了解决黄河流域缺水问题的强烈需求,也抓住了人工增雨的有利气候、地理和地形条件,是一个很有远见的计划,是一个很有希望的计划。

黄河上游人工增雨试验是在极其艰苦的环境下进行,海拔高,自然环境恶劣,工作和生活条件十分艰苦,全体参战人员在十分简陋的工作和生活条件下,战风雪抗缺氧,风餐露宿,团结互助,克服重重困难,很好地完成了各自的工作任务,为顺利开展试验做出了贡献。青海、四川、甘肃三省有关州县气象台站的同志参加了观测、试验、作业,北京应用气象研究所魏强等同志参加了飞机云粒子的观测,青海省气象科学研究所的张国庆、张加昆等同志在黄河上游地区进行了边界层观测,青海省人工影响天气办公室的赵世雄、李仑格、杨毅、杨昭明、王黎俊、王恒、马艳丽、郭三刚、张茂、陈健等同志参加了野外试验观测,承担了大量资料分析、行政协调和后勤服务等;中国大气本底观象台郑明、李富刚进行了降水样品观测,我们在这里向所有参加

试验的同志和关心支持黄河上游人工增雨试验的领导、学者、专家表示感谢。

五年的黄河上游人工增雨试验在各方面的支持帮助下顺利完成,但遗憾很多,首先由于缺乏经验,加之时间短,对试验的策划设计不够科学完整,留下了很多遗憾;第二,技术准备不足,没有充分发挥新技术和技术手段的作用,在实际工作中应用也不够全面准确;第三,科研试验远远没有深入到问题的实质,远没有涉及人工增雨的关键技术和重要科学问题;第四,运作的过程也不够严谨,致使试验较粗糙、初步;第五,由于种种原因,所获取的观测、试验资料完全没有得到充分的分析研究,还有不少观测资料没有得到分析应用,凡此种种,有待于今后下大力气深化。

本书是对黄河上游人工增雨试验的观测、试验、研究成果的归纳和总结,目的在于向读者较全面系统地展示五年黄河上游人工增雨试验的概貌。由于编者的水平有限,书中错误和缺点可能还较多,恳请读者批评指正。

编 者

2010年4月19日

目 录

序 言

前 言

第一章 黄河上游地区概况	(1)
1.1 黄河第一弯与人工增雨试验区地理位置	(1)
1.2 地形地貌特征	(2)
1.3 黄河上游地区主要气象要素及与毗邻地区的比较	(3)
第二章 黄河上游及周边地区大气环流与主要影响天气系统	(6)
2.1 高空环流特征	(6)
2.2 高空气象要素特征	(8)
2.3 天气系统	(10)
第三章 黄河上游地区云系特征	(15)
3.1 各类云种出现频率	(15)
3.2 对流云形成发展的基本规律	(16)
3.3 层状云形成发展的基本规律	(18)
3.4 各类云顶高、云底高、云厚及温度分布	(18)
3.5 主要降水云系特征	(19)
3.6 云的转换与混合云分析	(20)
第四章 黄河上游地区降水特征	(22)
4.1 降水的基本特征及规律	(22)
4.2 降水的时空分布	(23)
4.3 降水量地理分布	(23)
4.4 阴雨日和日最大降水量	(24)
4.5 降水强度与山脉的关系	(26)
4.6 降水随海拔高度的变化	(27)
4.7 地形云降水	(27)
第五章 黄河上游地区水文特征	(30)
5.1 主要河流、水系、汇水区	(30)
5.2 降水与黄河水量的关系	(31)
5.3 地形地貌对径流的影响	(32)
5.4 汇水区划分及径流系数	(33)
第六章 黄河上游地区地形与地形影响机制	(34)
6.1 地形动力抬升	(34)
6.2 地形热力抬升	(35)

6.3	地形对气流、水汽、降水的一般作用·····	(36)
6.4	阿尼玛卿山对水汽的聚集和云、降水的启动作用·····	(38)
6.5	巴颜喀拉山的水汽分流作用和年保玉则峰积雪的自然催化作用·····	(39)
6.6	岷山山脉的降水增幅作用·····	(40)
6.7	西倾山对冷空气及天气系统的引导作用·····	(41)
6.8	其他特殊地形的作用·····	(41)
6.9	松潘盆地气团的辐合作用和多路气团的聚集作用·····	(42)
第七章	黄河上游地区地形云·····	(44)
7.1	高原地区地形云形成的环境条件·····	(44)
7.2	地形云形成的热力、动力学原理·····	(44)
7.3	黄河上游地区地形云发展的宏观特征及规律·····	(47)
7.4	地形云发展时间剖面及发展模型·····	(50)
7.5	实测山顶地形云云底流场及结构·····	(51)
7.6	降水云对流特征及降水微物理结构机制·····	(53)
7.7	雨滴谱演变特征及降水机制推论·····	(58)
第八章	黄河上游地区边界层要素分析·····	(62)
8.1	近地层风场分析·····	(62)
8.2	近地层温度场分析·····	(67)
8.3	近地层稳定度·····	(68)
8.4	近地层扩散及参数·····	(68)
8.5	0℃层和-5℃层的高度变化·····	(69)
8.6	近地逆温层特征·····	(70)
8.7	近地等温层特征·····	(71)
第九章	黄河上游地区水汽资源及人工增雨潜力·····	(72)
9.1	几个主要水汽来源地和通道·····	(72)
9.2	水汽含量的时空分布·····	(74)
9.3	地基微波辐射计遥感云水特征·····	(77)
9.4	人工增雨潜力分析·····	(83)
第十章	黄河上游地区地面气象要素在人工增雨中的分析应用·····	(84)
10.1	月平均温度的分析应用·····	(85)
10.2	降雨(雪)日数的分析应用·····	(85)
10.3	月平均水汽压的分析应用·····	(85)
10.4	气象要素的分析应用·····	(86)
10.5	部分气候参量的月分布特征·····	(93)
10.6	地理因子对降水的影响·····	(94)
第十一章	黄河上游地区云降水微物理要素的观测与分析·····	(108)
11.1	云降水粒子观测与特征分析·····	(108)
11.2	大气冰核观测及特征分析·····	(111)
11.3	云凝结核观测与特征分析·····	(119)

11.4	观测结果·····	(121)
11.5	降水样采样分析·····	(124)
11.6	地面雨滴谱观测与分析·····	(130)
第十二章	黄河上游地区云、降水微物理结构及微物理过程数值模拟 ·····	(152)
12.1	雨滴谱资料数值模拟·····	(152)
12.2	对流云降水微物理特征的数值模拟·····	(158)
12.3	强地形云特征的数值模拟与平原地区的比较·····	(164)
第十三章	人工增雨作业的应用基础研究 ·····	(173)
13.1	适宜人工增雨地区的选择原则和方法·····	(173)
13.2	催化能力配置·····	(181)
13.3	山地植被捕获云水的原理和计算方法·····	(193)
13.4	单站雨量回归关系及统计评估增雨效果方法·····	(197)
第十四章	黄河上游人工增雨试验方案设计 ·····	(213)
14.1	人工增雨试验区选择条件·····	(213)
14.2	试验区细化和几个小区划分·····	(214)
14.3	最佳试验期和试验起止时间·····	(216)
14.4	黄河上游人工增雨综合催化系统·····	(216)
第十五章	黄河上游人工增雨试验效果分析 ·····	(230)
15.1	云、降水物理过程与催化效果的数值模拟检验·····	(230)
15.2	双比统计检验·····	(242)
15.3	牧草产量的人工增雨效果检验·····	(248)
15.4	生态效应的人工增雨效果检验·····	(253)
后记 ·····		(258)
参考文献 ·····		(259)

第一章 黄河上游地区概况

1.1 黄河第一湾与人工增雨试验区地理位置

黄河是中国第二条大河,也是中国北方最大的河,黄河从青藏高原发源后一路向东穿越中国北方九省(区),最终流入渤海。

对黄河各段的划分,在不同的行业、部门和地区有不同的标准和起止点。黄河上游地区在青海一般指黄河源头至龙羊峡段,为便于区分黄河上段地区,又分为源头、中段和下段三段,达日以上为源头,达日至军功、拉家段为中段,以下为下段。黄河上游地区位于青藏高原中东部,高原腹地的东侧(95°—104°E,32.30°—34.20°N)。黄河在该区域内流程长约1300 km,平均海拔3800 m,汇水面积约13万 km²。黄河上游人工增雨试验地点位于黄河源头下游200 km的黄河第一弯地区,是青海、四川、甘肃三省交界区,该区域被当地人俗称黄河河曲段(以下称河曲地区,它与黄河上游人工增雨试验区指的同一个地点)。该区域占黄河上游地区汇水面积的1/3,但全黄河流域47%水量却来自于该段。

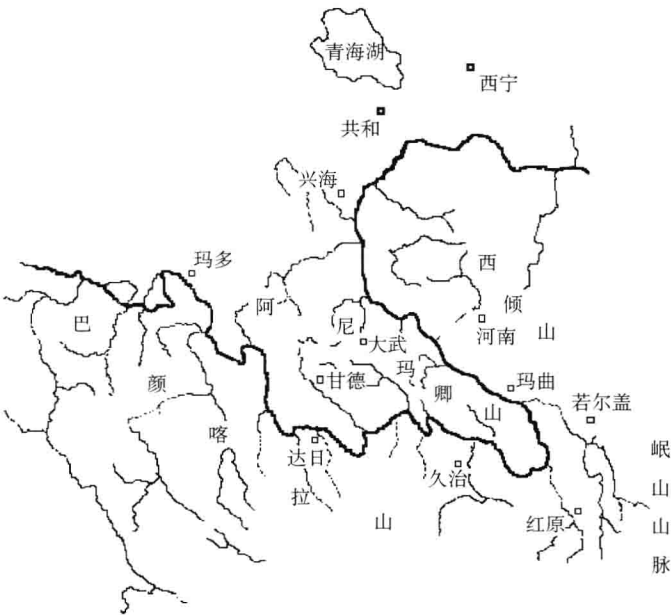


图 1.1 黄河上游黄河河段与试验区地理位置

黄河上游河道走势十分奇特,由于源头地区深居平均海拔在4300 m以上的高海拔地区,大气水汽层薄,水汽输入量十分有限,自然降水量小,加之地势平坦,土壤以荒漠沙土为主,径

流十分小,地表水以小溪小河形式流动,在玛多黄河截面上流量不足 $10 \text{ m}^3/\text{s}$;中段地区进入山区,径流迅速增加,水量一路高涨,在黄河的门堂段水量迅速增加到源头段的 3~4 倍,从这里开始黄河进入了河曲段。黄河从这里向东流的过程中受南侧巴颜喀拉山和北岸阿尼玛卿山两道山脉的阻挡,河面变狭窄,水流湍急,在阿尼玛卿山的东段进入若尔盖盆地,在若尔盖草原南部叫唐克的地方转向东北,该段 100 多千米的向东北流程穿越若尔盖沼泽地,河面变宽,水流平缓,在这里接纳了来自岷山山脉的两条大河——黑河和白河,水量再次增大,与此同时,该段流程的两侧是大片沼泽地带,丰富的地表水,也为黄河增水不少,水量达到最大。该段流程中水量大幅度增加,其中重要的原因之一是丰富的水汽条件和特殊的地理位置,在甘肃省玛曲县境内,受从北部向南压境的西倾山的阻挡,河道再次转向,绕到阿尼玛卿山北侧,在阿尼玛卿山和西倾山之间向西流。在相距不足百千米的区域内黄河两次 90° 的转弯,改变了河的流向,形成一条由东向北,再由北向西的回头流程,形成一“U”字形流段。这段流程便就是黄河第一弯。“U”字形流程的底伸到 34°N 以南,成为黄河全流域中纬度最南的一段。正因为纬度偏南,印度洋季风气流影响明显,大多孟加拉湾气旋云系能达到该处,云系发展旺盛,可形成较大的自然雨水。由于降水相对丰富,汇水能力力挫群雄,该段水量在黄河上游水资源和补充下游地区水量方面占有重要地位。20 世纪 80 年代以来,青海省充分利用河曲地区丰富的水资源,在下游地区陆续建设了十几座水电站,从龙羊峡到民和县峡口乡之间形成了巨大的水电走廊。因此,黄河上游地区水资源对青海省经济、社会发展有着举足轻重的作用。河曲地区距西宁市 300 km,距兰州市 270 km,离成都市 400 km。河段东、西、北分别属于四川省阿坝藏族自治州、甘肃省甘南藏族自治州和青海省果洛藏族自治州,属三省交界地带。

1.2 地形地貌特征

黄河上游地区地形地貌由四块大单元组成。即高山山区、草原沼泽凹地、丘陵和黄河河谷,四周高山余脉及冲积平原。

高山山区主要在境内西部,巴颜喀拉山、阿尼玛卿山和西倾山从南到北依次绵延于河曲西部,其中主山脉——阿尼玛卿山和其主峰——海拔 6282 m 的玛积雪山,插入黄河“U”形环流内,巴颜喀拉山、西倾山耸立于“U”环流的南北两侧,黄河与山脉交替存在,形成山高沟深,群山密布,河流纵横的地形,高山区占河曲地区总面积的 $1/3$ 。

境内中部为盆地和草原沼泽地,这里为著名的若尔盖草原,该草原是河曲地区最低的区域,由阿尼玛卿山、西倾山和岷山山脉所包围,境内除有低矮的山峦、丘陵外,大多为低凹沼泽区,其间遍布小溪或湖泊,形成辽阔的山间盆地,该地区由于地势低凹,是河曲地区地下、地表水最集中的地区,每到雨季水位迅速抬升、遍地形成大片大片的水区,该区面积约 5 万~6 万 km^2 ,是河曲地区面积最宽广的单元。

河曲地区中部除草原、沼泽凹地外,另一个重要的地形就是黄河干流及两侧的冲积带,黄河干流东西向的南段和北段,处在高山峡谷之中,因此河面狭窄河道落差大,河床深陷谷底,两侧有坡度较大的冲积带,南北向的东南段远离高山,视线开阔,空间辽阔,河床高,河面宽广,水流平缓,两岸冲积带平缓,纵深明显。

东部的岷山山脉是一座南北走向的山脉,山势高大,绵延南北上百千米,是黄河上游汇水

区的东界,座落在黄河“U”形流段的“底部”,与阿尼玛卿山、巴颜喀拉山、西倾山成直角,其西麓是岷山山脉西翼余脉,在转向丘陵低山,再过渡到草原沼泽地,逐渐与若尔盖草原相连,形成由东向西的大坡面,由该山脉的走势和处在较东南的地理位置决定了在河曲地区的降水系统,云、降水过程中起着重要的特殊作用。

黄河上游地区地貌以高山草甸为主,植被生长茂密,属中国最好的草原之一,该地区植被垂直方向上有植被类型的差异,东西南北有植密度的差别。在垂直方向上受强烈高海拔高度的作用,从山脚向上依次为灌丛草甸、高寒草甸、高山垫状植被、冰雪寒冻地。灌丛草甸一般在海拔 3500~3700 m,灌木丛较稀疏,高山垫状植被 3700~4200 m,4200 m 以上为冰雪寒冻地。南部,东部由于沼泽地的作用植被生长茂密,而草高在 10~30 cm 长,草的密度很大,产草量在 8~10 kg/cm²。西部植被较稀,部分地区属于荒漠。黄河上游地区深处高原腹地地带,土壤阴坡以山地灰褐土为主,阳坡上发育着山地栗钙土。

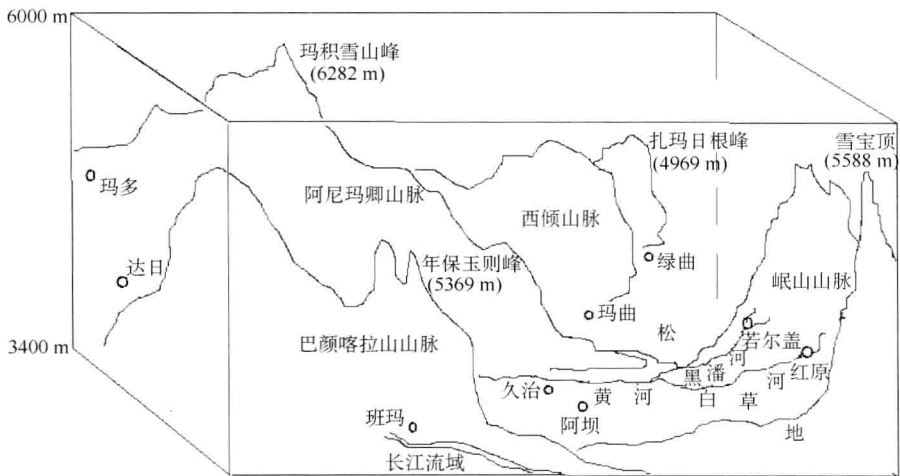


图 1.2 黄河上游地区河曲段地形示意图

1.3 黄河上游地区主要气象要素及与毗邻地区的比较

黄河上游地区尽管地处青藏高原,但无论从它所处的位置,还是地形地貌、降水量、水系等是具有特殊特征的单元。该地区与青海东部(青海湖以东)相毗邻,同处高原东部,同在一个经度线,但具有一定的区别。为了突出该地区天气气候的特点,利用其有利的自然条件,选取与黄河上游面积相等、测站数量差不多的青海东部作为对比区,对其气象要素进行对比分析,探究气象要素的差别。

表 1.1、表 1.2 是黄河上游地区和青海东部两地气象台站主要气象要素多年平均状况统计表。

表 1.1 黄河上游各气象台站气象要素多年平均状况统计表

台站	玛多	达日	甘德	中心站	大武	久治	河南县	同德	泽库	玛曲	红原	若尔盖
属地	青海	青海	青海	青海	青海	青海	青海	青海	青海	甘肃	四川	四川
海拔高度(m)	4272	3967	4050	4211	3719	3629	3500	3289	3663	3471	3493	3447
年平均气温(℃)	-3.8	-9.0	-2.5	-3.8	-4.0	-6.0	-6.0	-5.0	-1.8	1.4	1.4	0.7
年较差(℃)	24.3	21.8	22.5	24.3	22.2	20.4	23.7	24.6	22.9	20.3	21.2	21.2
极端最高气温(℃)	22.4	23.3	22.8	21.6	25.7	27.1	26.2	29.8	25.2	25.1	25.6	24.6
极端最低气温(℃)	-48.1	-34.0	-39.3	-41.4	-34.9	-32.9	-37.2	-37.2	-35.0	-29.6	-33.3	-33.6
平均相对湿度(%)	59	62	66	66	63	67	66	56	64	6.2	7.1	69
平均总云量	6.0	6.5	6.6	6.4	6.1	6.3	5.9	6.0	6.0	6.1	6.7	6.3
阴天日数(d)	111.5	138.1	151.2	134.3	127.1	135.3	113.6	117.4	122.7	129.4	148.8	131.0
降水量(mm)	321.6	544.6	524.3	466.1	508.1	748.4	554.9	425.2	471.7	596.4	753.4	647.6
日最大降水量(mm)	54.2	45.0	35.6	40.5	38.3	47.0	59.6	39.9	48.8	81.5	46.6	65.3
≥0.1 mm 日数(d)	136.2	164.0	163.8	160.8	144.4	173.4	142.3	114.5	130.2	150.2	173.1	156.5
平均风速(m/s)	3.2	2.2	2.3	3.3	2.1	2.1	2.1	3.1	3.1	2.2	2.1	2.3
最多风向	NE	NE	WNW	E	W	NNE	E	ENE	NW	NE,C	NEN	NE
日照时数(h)	2838.3	2349.3	2415.1	2568.7	2626.2	2349.3	2459.3	2812.4	2621.8	2580.0	2417.9	1392.5
大风日数(d)	60.0	37.4	67.6	82.4	63.6	37.4	35.3	36.5	46.7	39.5	13.0	11.7
雷暴日数(d)	42.8	69.4	64.7	57.6	64.7	69.4	49.4	53.5	45.2	64.6	74.1	65.5
冰雹日数(d)	8.2	17.6	15.5	14.8	15.5	17.6	10.5	10.1	10.0	12.2	11.4	10.0

表 1.2 青海东部各气象台站各气象要素多年平均状况统计表

台站	西宁	大通	湟中	湟源	互助	乐都	化隆	民和	同仁	贵南
海拔高度(m)	2295	2450	2668	2634	2480	1980	2835	1814	2491	3203
年平均气温(℃)	5.6	3.0	3.7	31	3.7	7.3	25	7.9	5.6	2.3
年较差(℃)	25.5	24.4	23.5	24.2	25.1	25.1	23.7	25.9	23.5	24.4
极端最高气温(℃)	36.5	29.3	33.4	32.7	34.9	38.4	32.5	37.2	35.0	31.8
极端最低气温(℃)	-23.1	-33.1	-31.7	-30.9	-33.1	-21.7	-29.9	-22.2	-23.0	-29.2
平均相对湿度(%)	60	66	61	61	63	58	60	59	56	54
平均总云量(%)	54	57	57	55	55	54	59	53	57	56
阴天日数(d)	98.0	116.9	119.1	115.0	112.6	112.2	133.0	100.9	117.6	113.2
降水量(mm)	401.0	513.9	537.8	405.5	491.2	329.6	444.8	340.4	401.4	403.8
日最大降水量(mm)	42.0	49.3	58.2	48.1	49.0	53.5	62.5	65.2	46.0	49.4
≥0.1 mm 日数(d)	99.8	132.0	123.7	109.8	124.9	90.6	124.9	89.4	103.4	96.8
平均风速(m/s)	8.0	1.8	1.5	1.5	1.2	1.8	1.8	1.5	1.5	1.9
最多风向	SSW	ESE	NE	E	NE	E	SE	ESE	NE	SE
日照时数(h)	25653	25534	25782	26667	26310	26646	26428	24308	25487	27380
大风日数(d)	28	12.7	13.3	22.0	3.5	4.9	11.2	3.0	9.0	12.1
雷暴日数(d)	27	64.4	42.1	41.6	48.9	30.1	45.2	34.9	44.1	40.0
冰雹日数(d)	4.3	8.1	6.0	4.7	6.6	2.2	10.9	2.1	3.5	4.8

通过对两表数据的对比可看出,除两地海拔高度差异较大外,主要气象要素也有着明显的区别。

(1)黄河上游地区各类气温要素低于青海东部地区,极端最低气温出现在黄河上游最西部的玛多,而极端最高气温出现在海拔只有 2000 m 的青海东部乐都,两地极端最高气温差值达 70.5°C ,而极端最低气温差值达 60.1°C ,在直线距里不足 400 km 的两地出现如此大的温度差异,除海拔高度悬殊外,确有大气环流、天气系统等气象要素的原因在起作用。(2)降水量具有随海拔高度升高而减少的特征,但面雨量却是高海拔的黄河上游地区要大得多。玛多站的海拔高度 4272 m 是该地区海拔最高的地区,其降水量只有 321.6 mm,海拔第二高站是达日县的中心站,海拔 4211 m,其降水量 466.1 mm,高于玛多站,玛多站的降水量比海拔相对较低的久治站少一半多,久治站的降水量比青海东部站的降水量多一些,成为全省最高,因而黄河上游地区面总降水量高于青海东部,而一日最大降水量青海东部大于黄河上游地区,这表明东部地区强降水机制较好。(3)雷暴、冰雹等现象两地无明显的差别。但与降水量有关系,降水量多的地方雷暴、冰雹日多,但海拔高的地区相对少,地势开阔的地区少,青海东部地区多山雷暴、冰雹等也多;(4)地面风场两地有一定的差别。平均风速在黄河上游地区大,风向黄河上游地区较复杂,这是因为黄河上游地区地形复杂,气象台站都建在不同走向的山谷所致,而青海东部各站设在东西向的黄河河谷和湟水河谷,风向以东西风为主。(5)地形作用有差别。两地境内都有一些大型山脉,但青海东部气象各要素受地形影响不大,黄河上游地区受地形影响明显,其降水量大值大多出现在高原大地形的迎风坡,与此同时,阿尼玛卿山等山脉阻挡截留水汽的作用也很显著。小地形也是造成气象要素差异大的因素之一,如甘德站地理位置较偏东偏南,而且平均相对湿度、总云量、阴天日数等均较高,但降水量、降水日、最大降水量均小,产生这一现象,估计是由周围小地形所致,因为甘德站地势相对平坦,尽管湿度较大,云量多,但由于无足够高的山脉,水汽得不到抬高,云系不能充分发展,降水量不大是显然的,而地理位置偏北,水汽条件相对差,但大山阻挡的河南站,降水量远远大于甘德以及周围地区。

黄河上游地区相对湿度、总云量、阴天日数等要素优于青海东部,说明该地区水汽、云系条件较好。黄河上游地区日照时数多,表明该地区吸收的热量相对多,大气热力作用显著,容易产生对流天气系统和对流云。