

黄土高原降雨侵蚀产沙 与水土保持减沙

王万忠 焦菊英 著



科学出版社

黄土高原降雨侵蚀产沙 与水土保持减沙

王万忠 焦菊英 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书对黄土高原降雨侵蚀产沙特征与时空分异变化规律,以及水土保持的减沙效益评价进行了比较系统的研究。主要包括黄土高原的降水、暴雨特征及中小流域降雨分布的不均匀性;降雨与侵蚀产沙的关系及降雨侵蚀力;侵蚀产沙的区域分异特征与年际变化;水土保持减沙效益计算与综合治理效益评价等九个方面。

可供有关研究黄土高原水土保持、侵蚀产沙环境、水文气象、黄河泥沙的专业人员及高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原降雨侵蚀产沙与水土保持减沙/王万忠,焦菊英著. —北京:科学出版社,2018.7

ISBN 978-7-03-057853-2

I. ①黄… II. ①王… ②焦… III. ①黄土高原-降雨-侵蚀产沙-研究 ②黄土高原-水土保持-研究 IV. ①P512.2 ②S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 129564 号

责任编辑:万 峰 朱海燕 / 责任校对:王 瑞 王萌萌

责任印制:肖 兴 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 7 月第一次印刷 印张:36 3/4

字数:846 000

定价:359.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介



王万忠, 男, 汉族, 中共党员, 1952 年 2 月生, 陕西临潼人。中央党校在职研究生学历, 教授, 博士生导师。1976 年参加工作, 先后任中国科学院水利部水土保持研究所副所长, 西北农林科技大学党委副书记、党委副书记兼副校长、党委常务副书记、兼任杨凌示范区党工委副书记等职。

1976 年 7 月陕西师范大学地理系毕业后, 分配到中国科学院水利部水土保持研究所工作。长期从事土壤侵蚀与水土保持效益评价方面的研究。1996 年晋升为研究员, 2000 年被聘为博士研究生导师, 2004 年起兼任陕西省环境学会副理事长。

先后主持多项国家科技攻关项目和重大课题, 在《地理学报》《水土保持学报》等刊物发表学术论文 40 余篇, 出版专著 4 部, 获中国科学院和陕西省科技进步奖 3 项, 1998 年被国家计委、国家科委、财政部授予“全国八五科技攻关先进个人”称号, 1994 年曾以中国科学院高级访问学者身份赴日本东京大学、广岛大学和宫崎大学访问、讲学。



焦菊英, 女, 汉族, 1965 年 7 月生, 陕西宝鸡人, 研究员, 博士。1988 年 7 月毕业于西北农业大学土壤农化系, 分配到水土保持研究所工作至今。2000 年 7 月获西北农林科技大学农业工程专业博士学位, 2002 年 7 月至 11 月在日本鸟取大学进修“干旱半干旱地区水资源开发与环境评价”, 2004 年在英国帝国理工学院开展景观生态与恢复方面的合作研究。2003 年被聘为研究员, 2005 年 12 月被聘为创新工程研究员; 于 2002 年和 2007 年分别被聘为硕士、博士研究生导师。

先后主持国家自然科学基金重点项目 1 项、面上项目 5 项。国家重点研发计划项目课题 1 项, 以及中国科学院、水利部、教育部等有关科研项目多项。在黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙、水土保持效益评价、植被与土壤侵蚀关系及种子生态等方面取得了一定的研究积累与进展。发表学术论文百余篇, 其中 SCI 论文 30 余篇; 出版专著 4 部。其科研成果分别获得中国科学院科技进步奖二等奖 1 项, 陕西省科技进步奖一等奖 2 项、二等奖 1 项。

前 言

黄土高原的水土流失和黄河的洪水灾害是举世闻名的。中华人民共和国成立以来，我们的党和政府对整治黄土高原水土流失和根治黄河水害工作十分重视，取得了巨大的成就。特别是 20 世纪 90 年代以来，大规模的退耕还林（草）工程和治沟骨干工程，使得黄土高原的水土流失得以根本性的控制，近年来入黄河泥沙急剧减少。

与此同时，围绕着黄土高原整治和黄河的水害问题，众多的科技人员在黄土高原水土流失规律、水土保持综合治理措施及效益评价、黄土高原侵蚀产沙的时空分布特征以及黄河水沙变化的原因分析方面开展了持久的卓有成效的研究。

长期以来，在黄土高原水土流失规律和黄河水沙变化的研究中，存在着两个层面的障碍因素或问题。一是在空间层面上，由于黄土高原区域间的自然条件差异很大，侵蚀产沙的空间分布极不均匀，由某一二个样点（小流域）所得的分析结果，或由某一局部性问题所得的结论，很难说明区域性的普遍规律，也很难将其应用或推广到其他地区或更大区域，有些结论可能带有很大的片面性。例如，黄土高原目前建立的一些小流域侵蚀产沙预报模型，很难在其他小流域得以满意的应用和推广；在一些流域建立的雨沙关系模型（关系式），也很难应用到更大的范围和区域，难以说明或解释黄河泥沙变化的特征与规律。又如，某一坡面或某一流域的产流产沙过程变化很难揭示不同集水区或不同空间尺度的产流产沙过程变化。二是在时间层面上，由于黄土高原降雨侵蚀产沙的年际变化很大，仅对某一个别年份或某一较短系列的时间尺度分析，很难将其年际变化的特征和规律解释清楚。有时，会被一些“假象”所遮掩。因此，对于黄土高原水土流失规律和黄河水沙变化特征的研究，必须着眼于研究分析区域性的关键问题，而不局限于局部的、个别的或孤立的分析某一个具体问题。而这种研究应当以大量的分析样点、丰富的资料数据和长序列的观测时段为支撑，特别要注意资料数据完整性、可靠性和系列代表性的甄别、分析和完善。

基于上述认识，30 余年来，作者始终抓住降雨这一影响黄土高原水土流失时空分异和黄河水沙变化的主要因素，特别是抓住暴雨这一关键问题和主要矛盾，对其特征变化进行深入的、全方位的分析。在此基础上，分析降雨与侵蚀产沙的关系，优选并建立比较满意的雨沙关系，并将其应用到水沙变化的研究中。同时，在计算梯田、林草、淤地坝等水土保持措施减沙效益的基础上，依据各治理区的地形条件和气候植被状况，对其进行水土保持措施的优化配置，并对其不同配置情况下的侵蚀产沙量进行了预测。另外，作者还应用全区域、长序列的水文观测资料，对黄土高原近 60 年来侵蚀产沙的时空变化进行系统的统计分析。

本书是作者 30 余年来有关这一研究的系统总结。全书以降雨为主线，以丰富的资料和庞大的数据及多层次的分析样点为支撑，将降雨—侵蚀产沙—水土保持防蚀减沙作为一个相互联系的整体，从不同空间尺度和不同统计时段分析其各自的特征、规律和相

互间的联系与影响。其主要内容和研究成果表现在以下几个方面:

一、对黄土高原近半个世纪以来,降水量各因子(年、月、季、汛期降水量;不同量级降水量;不同时段最大降水量)的时空分布特征和年际变化规律进行了比较细致的统计分析,并将其结果通过大量的图表予以体现和表达。

二、依据大量详实的暴雨资料,对黄土高原暴雨雨型结构、时程分配、发生频率、空间分布等特性、特征和规律进行了比较系统的分析和研究,提出了用于侵蚀产沙研究的暴雨标准和特大暴雨标准,特别是有关特大暴雨和暴雨极值研究的资料和内容是至今最为丰富的。

三、在黄土高原的主要侵蚀产沙区选择了 13 条中小流域,通过近 500 场暴雨的统计分析,对 3 类暴雨不同时段最大雨量空间分布的不均匀性进行了研究,分析了暴雨中心发生的随机性、流域点降雨的面代表性及不同类型降雨的点面关系,提出了可用于降雨产沙预报的雨量站网布设密度。

四、通过对各种降雨因子与坡面土壤流失量关系的统计分析,提出了黄土高原降雨侵蚀力 R 值的最佳组合结构,并与通用流失方程中的方法计算的 R 值进行了对比分析,提供了次降雨、年降雨和多年平均降雨三种条件下 R 值的简易计算方法,绘制了黄土高原降雨侵蚀力 R 值等值线图。

五、通过对 20 多个坡面(小沟道)大量实测降雨侵蚀产沙资料的统计分析,给出了黄土高原侵蚀性降雨的一般雨量标准和不同侵蚀程度的雨量标准,分析了侵蚀性降雨不同要素(雨量、雨强、雨时、雨型)的基本特征。同时,通过对坡面和沟道小流域不同降雨因子多种组合形式下雨沙关系的统计分析,提出了可用于次降雨和年降雨两种情况下侵蚀产沙量预报的最佳降雨因子组合结构。

六、应用陕北子洲团山沟、蛇家沟、三川口、曹坪水文站多年实测的场暴雨降雨、径流、泥沙过程变化资料,逐一剖析了不同空间尺度的降雨、产流、产沙的相互关系和过程变化特征,包括降雨强度与产流、产沙的峰值出现时间以及各要素(流量、含沙量、输沙率)峰值出现的耦合形式,以及极强烈侵蚀的降雨产流产沙特征。

七、应用“水文—地貌法”,通过水文控制区与侵蚀类型区的空间叠加,将黄土高原划分为 292 个侵蚀产沙单元,计算出每个单元的侵蚀产沙量,继而系统地分析了四种不同空间范围(不同类型区、不同侵蚀带、不同水文区间、不同流域)侵蚀产沙的空间分布、年际变化和侵蚀强度结构特征。同时,给出了黄土高原的主要产沙区、“极限”含沙量和最大侵蚀强度。

八、在计算梯田、林草、淤地坝等水土保持措施减沙效益的基础上,将黄土高原强度侵蚀以上的区域划分为 10 个重点治理区,对其近 60 年来不同治理阶段的产沙量减幅变化进行了对比分析。同时,依据各治理区的地形条件和气候植被状况,进行了水土保持措施的优化配置,并对其不同配置情况下的侵蚀产沙量进行了预测,建立了不同水文年型与不同治理程度相结合的黄河输沙量预测模型。

九、对黄河中游地区雨沙关系分析中普遍存在的研究区域选择、基准期判定和降雨因子优选等问题,以及影响雨沙关系相关程度的主要因素(站网密度、面雨量计算方法、特异点处理等)进行了深入的分析,并以黄河主要产沙区为研究区域,以 1957~1969 年为基准期,对 21 个降雨因子与来沙量的关系进行了相关分析,从各降雨因子与来沙

量的相关程度及降雨资料获取的难易程度综合考虑,选取 7~8 月雨量为降雨因子,建立了具有较高相关度的雨沙关系式,并将其关系式满意的应用到黄河泥沙变化原因的数量分析中。

在本书出版之际,非常感谢魏艳红博士完成了本书大部分图件的绘制工作,感谢张春林同志在本书资料分析和数据计算方面给予的帮助。感谢李春祖同志在书稿编辑和出版过程中给予的帮助。没有他们的辛苦付出,此项工作是难以完成的。

同时,本书的出版得到黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家实验室基本科研业务费的资助,得到“十三五”国家重点研发计划课题“黄土高原生态修复的土壤侵蚀效应与控制机制”和“黄河流域水沙变化机理与趋势预测”的资助。在此表示特别的致谢。

由于作者水平有限,加之本书数据处理和分析量较大,缺点、遗憾和不足之处在所难免,恳请读者不吝赐教。

作 者

2017 年 10 月

目 录

前言

第 1 章 黄土高原的降水	1
1.1 降水的地理环境与气候特征	1
1.1.1 黄土高原的地形与降水	1
1.1.2 黄土高原降水的气候特征	5
1.2 年降水量及降水日数的时空分布	6
1.2.1 年降水量的时空分布	6
1.2.2 年降水日数的时空分布	21
1.3 月降水量及降水日数的空间分布	32
1.3.1 月降水量的空间分布	32
1.3.2 月降水日数的空间分布	42
1.4 季降水量及降水日数的空间分布	50
1.4.1 季降水量的空间分布	50
1.4.2 季降水日数的空间分布	57
1.5 不同量级降水量及降水日数的时空分布	62
1.5.1 不同量级降水量的空间分布	62
1.5.2 不同量级降水日数的空间分布	74
1.5.3 不同量级降水量和降水日数的年际变化	86
1.6 不同时段最大降水量的时空分布	94
1.6.1 短时段最大降水量的时空分布	94
1.6.2 长时段最大降水量的时空分布	101
1.7 小结	105
第 2 章 黄土高原的暴雨	112
2.1 一般性暴雨	112
2.1.1 暴雨标准	112
2.1.2 暴雨类型	113
2.1.3 暴雨频率与暴雨中心	119
2.2 特大暴雨	121
2.2.1 特大暴雨标准	121
2.2.2 特大暴雨的降水特征	122
2.2.3 特大暴雨的易发地区	131

2.2.4 典型特大暴雨个例	142
2.3 暴雨极值	155
2.3.1 黄土高原不同时段暴雨极值	155
2.3.2 黄土高原暴雨极值的基本特征	177
2.4 小结	181
第3章 中小流域降雨分布的不均匀性及点面关系	185
3.1 目的与方法	185
3.2 降雨空间分布的不均匀性	190
3.2.1 次雨量空间分布的不均匀性	191
3.2.2 次降雨雨强空间分布的不均匀性	194
3.2.3 年雨量空间分布的不均匀性	196
3.2.4 年最大时段雨强空间分布的不均匀性	196
3.2.5 暴雨中心发生的随机性	197
3.3 点降雨的面代表性	198
3.3.1 流域中心点降雨的面代表性	198
3.3.2 流域把口站降雨的面代表性	203
3.4 降雨空间变化的结构特征	208
3.4.1 应用于次降雨产沙预报的站网密度分析	208
3.4.2 应用于年降雨产沙预报的站网密度分析	211
3.4.3 降雨的空间相关特性	215
3.5 不同类型降雨的点面关系	218
3.6 小结	221
第4章 黄土高原降雨侵蚀力	224
4.1 降雨侵蚀力指标的确定	224
4.1.1 国内外有关 R 指标的主要结构形式	224
4.1.2 黄土高原 R 指标的确定	226
4.2 R 值的简易计算方法	230
4.2.1 R 值的经典算法	230
4.2.2 次降雨 R 值的简易计算	232
4.2.3 年 R 值的简易计算	237
4.2.4 多年平均 R 值的估算	243
4.3 R 值的时空分布变化特征	245
4.3.1 R 值的时间分布变化	245
4.3.2 R 值的降雨特征分布	251
4.3.3 R 值的空间分布	253
4.4 R 值等值线图的绘制	256

4.5 小结	257
第5章 降雨与侵蚀产沙的关系	259
5.1 侵蚀性降雨的特征	259
5.1.1 侵蚀性降雨的标准	259
5.1.2 侵蚀性降雨的特征	262
5.2 不同集水区降雨产流产沙关系及过程变化	268
5.2.1 坡面产流过程中的降雨变化	268
5.2.2 坡面产流、产沙的过程变化	271
5.2.3 沟道小流域产流、产沙关系及过程变化	281
5.2.4 不同集水区产流、产沙过程变化的区别	287
5.2.5 流量与含沙量的关系	289
5.3 雨沙关系的统计分析与预报	290
5.3.1 次降雨雨沙关系的统计分析与预报	290
5.3.2 年降雨雨沙关系的统计分析与预报	296
5.4 极强烈侵蚀的降雨产流产沙特征	315
5.4.1 极强烈侵蚀的降雨产流、产沙特征	315
5.4.2 岔巴沟和韭园沟极强烈侵蚀降雨产流、产沙情况介绍	317
5.5 小结	320
第6章 侵蚀产沙的区域分异特征	324
6.1 侵蚀产沙环境	324
6.1.1 地貌	324
6.1.2 土壤	325
6.1.3 植被	326
6.1.4 降水	328
6.1.5 人为活动	329
6.2 侵蚀产沙量的计算方法	330
6.2.1 侵蚀产沙量的概念	330
6.2.2 侵蚀产沙量的计算	330
6.2.3 侵蚀强度的划分	340
6.2.4 研究区域的范围确定	341
6.3 不同类型区的侵蚀强度结构特征及空间分布	341
6.3.1 侵蚀类型区的划分	341
6.3.2 各类型区不同侵蚀强度的面积结构特征	342
6.3.3 各类型区不同侵蚀强度的产沙量结构特征	348
6.3.4 主要类型区侵蚀产沙的空间分布特征	351
6.4 不同侵蚀带的侵蚀强度结构特征及空间分布	357

6.4.1	侵蚀带的划分	357
6.4.2	各侵蚀带不同侵蚀强度的面积结构特征	359
6.4.3	各侵蚀带不同侵蚀强度的产沙量结构特征	361
6.5	不同水文控制区侵蚀强度结构特征及空间分布	363
6.5.1	各控制区不同侵蚀强度的面积结构特征	363
6.5.2	各控制区不同侵蚀强度的产沙量结构特征	367
6.6	不同流域侵蚀强度结构特征及空间分布	370
6.6.1	各流域不同侵蚀强度的面积结构和产沙量结构特征	370
6.6.2	全区域不同侵蚀强度面积和产沙量的流域分布	378
6.6.3	各流域侵蚀产沙的空间分异特征	378
6.7	黄土高原侵蚀产沙来源与主要产沙区	390
6.7.1	侵蚀产沙来源	390
6.7.2	主要侵蚀产沙区	393
6.8	侵蚀产沙的空间集中度	396
6.8.1	侵蚀产沙量的空间集中度	396
6.8.2	侵蚀产沙强度的空间集中度	396
6.9	小结	398
第 7 章	黄土高原侵蚀产沙的年际变化	403
7.1	黄河及其主要支流的输沙量年际变化	403
7.1.1	近 90 年来黄河输沙量的变化 (1919~2009 年)	403
7.1.2	近 70 年来黄河主要区段的输沙量变化 (1935~2009 年)	406
7.1.3	近 70 年来黄河各主要支流的输沙量变化	413
7.2	不同类型区和侵蚀带产沙量的年际变化	417
7.2.1	各类型区不同年代的产沙量变化	417
7.2.2	各侵蚀带不同年代的产沙量变化	420
7.3	不同侵蚀强度面积结构的年际变化	421
7.3.1	全区域不同年代的侵蚀强度结构变化	421
7.3.2	各类型区不同年代的侵蚀强度结构变化	427
7.4	“极限”含沙量与最大侵蚀强度	430
7.4.1	“极限”含沙量	430
7.4.2	最大侵蚀强度	434
7.5	小结	443
第 8 章	水土保持减沙效益	448
8.1	水土保持措施减沙效益计算	448
8.1.1	水平梯田的减沙效益	448
8.1.2	林草措施的减沙效益	452

8.1.3 淤地坝的减沙效益	462
8.2 重点治理区的措施配置	470
8.2.1 治理区的划分	470
8.2.2 不同治理区的侵蚀环境特征	472
8.2.3 不同治理区的社会经济特征	477
8.2.4 水土保持措施配置	481
8.3 重点治理区水土保持减沙效益预测	485
8.3.1 预测方法	485
8.3.2 预测结果	488
8.4 重点治理区不同治理阶段的减沙变化	505
8.5 小结	510
第9章 水土保持综合治理效益评价	513
9.1 黄土高原治理前后的侵蚀产沙变化	513
9.1.1 黄河及主要支流不同治理阶段的输沙量变化	513
9.1.2 黄土高原及各类型区不同治理阶段的侵蚀产沙变化	517
9.1.3 黄土高原及各类型区不同治理阶段的侵蚀强度结构变化	520
9.2 黄土高原治理后侵蚀产沙变化的原因分析	530
9.2.1 20世纪70年代以来黄河泥沙减少的原因	530
9.2.2 降雨因素对黄河泥沙变化的影响作用	535
9.2.3 水利水保措施减沙效益评价	548
9.3 关于侵蚀—产沙—输沙的关系问题	551
9.3.1 侵蚀—产沙—输沙的概念	551
9.3.2 侵蚀量、产沙量、输沙量的关系	551
9.3.3 关于泥沙输移比问题	553
9.4 未来黄河泥沙量预测	555
9.5 小结	557
参考文献	560
附录	566
附录1: 本书作者相关研究发表的学术论文	566
附录2: 本书作者主持参加的相关科研课题	567
后记	568

第 1 章 黄土高原的降水

1.1 降水的地理环境与气候特征

1.1.1 黄土高原的地形与降水

一般认为黄土高原的范围是东起太行山,西至青海日月山($114^{\circ}\sim 101^{\circ}\text{E}$);南界秦岭,北抵长城($34^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$),总面积约 40 万 km^2 ,海拔 1000~2000m,属于黄河中游流域的一部分。由于本书所研究的是黄土高原的降水产沙问题,为便于气象、水文资料的处理和应用,本书所分析的北界范围延伸到阴山以南,总面积 62 万 km^2 ,称之为黄土高原地区。

黄土高原是我国一个独特的地貌单元(陈永宗等,1988a),它的东、南、西、北四面均被高山环绕,整个地势由西北向东南倾斜。区内沟壑纵横,地形起伏较大。境内的中低山面积约 12 万~13 万 km^2 ,主要有六盘山、吕梁山、黄龙山、崂山、子午岭等。六盘山和吕梁山两个主要山脉把黄土高原分为三大区域:六盘山以西的西部为陇西盆地,海拔为 1500~2000m;六盘山和吕梁山之间的中部为陕北高原,海拔 1500m 左右;吕梁山以东的东部是山西高原,海拔在 1000m 左右。除了一些主要的山地外,塬、梁、峁是黄土高原最主要的地貌形态。完整的黄土塬主要分布在黄土高原的南部,如洛川塬、董志塬;破碎塬以晋西隰县和大宁一带最为典型。黄土高原的中北部主要为梁峁丘陵;六盘山以西多为宽梁大峁,梁体延伸几千米到十几千米;六盘山以东多为短梁小峁。

地形对黄土高原降水的影响主要有以下两方面:

(1) 区域主要山脉的影响。横亘黄土高原南部的秦岭,是我国亚热带和暖温带的南北分界线,海拔高度 1500~3700m(钱林清,1991),它阻碍了冬季风的南下和夏季风的北上。东部的太行山是黄土高原与华北平原的地形分界线,海拔多在 1500m 以上。东西走向的秦岭与南北走向的太行山一起构成了一条自然屏障,对夏季来自东南方向的海洋暖气团在向黄河中游推进时起着阻滞作用。同时,境内的太岳山、吕梁山、渭河北山、六盘山等山脉,又构成了阻滞暖气团前进的第二道屏障,致使暖气团在向西推进的过程中步步受阻,水汽含量越来越少,形成降水的概率也相应变小,降水量从区域东南的超过 600mm 减少到西北部的 200mm 左右,气候逐渐从半湿润过渡到半干旱气候。同时,山脉对水汽运行的屏障作用,往往在迎风坡形成降水,在背风坡形成雨影区,迎风坡雨量较背风坡多,这样就造成黄土高原降水的局地差异。

(2) 区域局部地形的影响。黄土高原的川、沟、塬、梁、峁等中、小地形对各地的降水情况也有所影响(钱林清,1991)。一方面由于本地区地面切割显著,地形起伏变化大,利于夏季热力对流,使得暴雨的发生频率增大。另一方面一些陡直的迎风坡、喇叭

叭口地形，往往促使雨云单体强烈发展，从而形成强烈雷暴雨^①。此外，下垫面热力性质的影响，在北部由于有大片的沙漠和沟壑纵横的黄土丘陵，植被稀少，同时分布了数目不等的盐池、海子和湖淖，因沙丘与水面热容量及山顶和山谷热力性质都有所不同，从而导致局地环流的产生和发展，触发大气不稳定容量释放，使降水系统加强^①，形成局地性质的高强度降水。

由于黄土高原地形复杂，区域间降水差异性很大。要客观地研究和反映这一地区降水的时空分布特征，就必须有足够的且长时间序列的雨量观测站网资料来支撑。目前，虽然黄土高原地区的气象和水文观测站加起来有 800 余个，但大都观测时序较短，或观测资料系列中断缺失严重。经过反复挑选，最终选取了 106 个雨量观测站资料作为这次分析研究黄土高原降水时空分布特征的基础资料。这些站点的资料一是时序较长，有 70% 的站点观测资料从 20 世纪 50 年代到 2010 年，有近 60 年的时间序列；二是观测系列中一般无中断缺失现象，或中断观测的时间较短，资料可进行插补延长；三是所在位置具有一定的区域代表性，并尽可能考虑到观测站网的疏密一致性（表 1.1 和图 1.1）。

表 1.1 黄土高原降水资料台站信息

序号	台站名称	省 (自治区)	位置		资料年限 (1)	资料年限 (2)
			北纬	东经		
001	西 宁	青海	36°43'	101°45'	1954~2010 年	1952~1989 年
002	民 和	青海	36°19'	102°51'	1957~2010 年	1950~1989 年
003	临 夏	甘肃	35°35'	103°11'	1951~2010 年	
004	临 洮	甘肃	35°21'	103°51'	1951~2010 年	
005	兰 州	甘肃	36°03'	103°53'	1951~2008 年	1950~1989 年
006	靖 远	甘肃	36°34'	104°41'	1951~2010 年	1950~1989 年
007	会 宁	甘肃	35°41'	105°05'	1951~1990 年	1956~1989 年
008	海 源	宁夏	36°34'	105°39'	1958~2010 年	1962~1989 年
009	西 吉	宁夏	35°58'	105°43'	1958~2010 年	
010	中 宁	宁夏	37°29'	105°41'	1953~2010 年	1951~1986 年
011	同 心	宁夏	36°58'	105°54'	1955~2010 年	
012	固 原	宁夏	36°00'	106°16'	1957~2010 年	1956~1989 年
013	平 凉	甘肃	35°33'	106°40'	1951~2010 年	1957~1989 年
014	天 水	甘肃	34°35'	105°45'	1951~2008 年	1952~1989 年
015	宝 鸡	陕西	34°21'	107°08'	1952~2010 年	1950~1989 年
016	环 县	甘肃	36°35'	107°18'	1957~2010 年	1971~1989 年
017	西峰镇	甘肃	35°44'	107°38'	1951~2010 年	1951~1989 年
018	长 武	陕西	35°12'	107°48'	1957~2010 年	1954~1989 年
019	武 功	陕西	34°15'	108°13'	1955~2010 年	
020	西 安	陕西	34°18'	108°56'	1951~2010 年	1950~1989 年
021	铜 川	陕西	35°05'	109°04'	1955~2010 年	1955~1989 年
022	灵 武	宁夏	38°06'	106°20'	1950~2009 年	

① 黄河水利委员会水利勘测设计院. 1989. 黄河流域暴雨洪水特性分析报告

续表

序号	台站名称	省 (自治区)	位置		资料年限 (1)	资料年限 (2)
			北纬	东经		
023	盐池	宁夏	37°48'	107°23'	1954~2010 年	1951~1970 年
024	银川	宁夏	38°29'	106°13'	1951~2010 年	1951~1979 年
025	惠农	宁夏	39°13'	106°46'	1957~2010 年	
026	鄂托克旗	内蒙古	39°06'	107°59'	1955~2010 年	
027	杭锦旗	内蒙古	39°83'	108°70'	1954~2008 年	
028	包头	内蒙古	40°40'	109°51'	1951~2010 年	1950~1989 年
029	呼和浩特	内蒙古	40°49'	111°41'	1951~2010 年	1951~1989 年
030	东胜	内蒙古	39°50'	109°59'	1957~2010 年	1957~1989 年
031	伊金霍洛旗	内蒙古	39°34'	109°44'	1959~2008 年	
032	榆林	陕西	38°16'	109°47'	1951~2010 年	1953~1989 年
033	横山	陕西	37°56'	109°14'	1954~2010 年	1957~1989 年
034	绥德	陕西	37°30'	110°13'	1953~2010 年	1959~1989 年
035	吴旗	陕西	36°55'	108°10'	1957~2010 年	1953~1989 年
036	延安	陕西	36°36'	109°30'	1951~2010 年	1953~1989 年
037	洛川	陕西	35°49'	109°30'	1955~2010 年	1952~1989 年
038	潼关(张留庄)	陕西	34°56'	110°25'	1956~2010 年	1950~1989 年
039	右玉	山西	40°00'	112°27'	1957~2010 年	1956~1989 年
040	大同	山西	40°06'	113°20'	1955~2010 年	1956~1980 年
041	河曲	山西	39°23'	111°09'	1955~2010 年	
042	五寨	山西	38°55'	111°49'	1957~2010 年	1952~1989 年
043	兴县	山西	38°28'	111°08'	1955~2010 年	1951~1989 年
044	原平	山西	38°44'	112°43'	1954~2010 年	1956~1980 年
045	静乐	山西	38°37'	111°90'	1951~2010 年	1951~1989 年
046	忻州	山西	38°38'	112°70'	1956~2010 年	1953~1989 年
047	方山(圪洞)	山西	37°88'	111°23'	1960~2010 年	
048	离石	山西	37°30'	111°06'	1957~2010 年	1973~1989 年
049	太原	山西	37°47'	112°33'	1951~2010 年	1953~1989 年
050	阳泉	山西	37°51'	113°33'	1955~2005 年	
051	介休	山西	37°02'	111°55'	1954~2010 年	1958~1989 年
052	榆社	山西	37°04'	112°59'	1957~2010 年	
053	隰县	山西	36°42'	110°57'	1957~2010 年	
054	沁原	山西	36°50'	112°32'	1958~2010 年	
055	安泽(飞岭)	山西	36°15'	112°20'	1957~2010 年	
056	临汾	山西	36°04'	111°30'	1954~2010 年	1951~1989 年
057	长治	山西	36°03'	113°04'	1954~2010 年	1955~1980 年
058	运城	山西	35°03'	111°03'	1956~2010 年	1958~1989 年
059	阳城	山西	35°29'	112°24'	1957~2010 年	1951~1985 年
060	孟津	河南	34°49'	112°26'	1961~2010 年	
061	皇甫	山西	39°71'	111°05'	1954~2010 年	1953~1989 年

续表

序号	台站名称	省 (自治区)	位置		资料年限 (1)	资料年限 (2)
			北纬	东经		
062	岢 岚	山西	38°42'	111°34'	1951~2010 年	1951~1989 年
063	偏 关	山西	39°26'	111°29'	1958~2010 年	1957~1989 年
064	下河沿	宁夏	37°27'	105°03'		1951~1989 年
065	郭城驿	甘肃	36°13'	104°52'		1954~1989 年
066	定 西	甘肃	34°49'	104°37'		1957~1989 年
067	青铜峡	宁夏	37°54'	106°00'		1950~1989 年
068	石嘴山	宁夏	39°75'	106°47'		1950~1989 年
069	秦 安	甘肃	34°51'	105°40'		1953~1989 年
070	南河川	甘肃	34°37'	105°45'		1950~1989 年
071	毛家河	甘肃	35°31'	107°35'		1952~1989 年
072	泾 川	甘肃	35°20'	107°21'		1950~1989 年
073	正 宁	甘肃	35°41'	107°38'		1966~1989 年
074	淳 化	陕西	34°48'	108°35'		1951~1989 年
075	张家山	陕西	34°39'	108°34'		1950~1989 年
076	千 阳	陕西	34°38'	107°07'		1958~1989 年
077	旬 邑	陕西	35°06'	108°19'		1951~1989 年
078	张村驿	陕西	35°53'	109°07'		1952~1989 年
079	湫 头	陕西	34°59'	109°51'		1950~1989 年
080	义 门	陕西	35°08'	107°59'		1953~1989 年
081	神 木	陕西	38°48'	110°30'		1952~1989 年
082	高家堡	陕西	38°33'	110°17'		1953~1989 年
083	临 县	陕西	38°00'	111°00'		1951~1983 年
084	吴 堡	陕西	37°27'	110°43'		1952~1989 年
085	赵石窑	陕西	38°02'	109°44'		1950~1989 年
086	靖 边	陕西	37°36'	108°49'		1953~1989 年
087	子 长	陕西	37°09'	109°42'		1951~1989 年
088	甘谷驿	陕西	36°42'	109°48'		1952~1989 年
089	吉 县	山西	36°05'	110°40'		1959~1989 年
090	龙 门	陕西	35°40'	110°35'		1950~1989 年
091	河 津	山西	35°34'	110°48'		1950~1989 年
092	华 县	陕西	34°30'	109°46'		1950~1989 年
093	罗李村	陕西	34°08'	109°21'		1952~1989 年
094	兰 村	陕西	35°02'	109°16'		1950~1989 年
095	寿 阳	陕西	37°53'	113°10'		1951~1989 年
096	垣 曲	陕西	35°17'	111°39'		1950~1989 年
097	晋 城	陕西	35°29'	112°50'		1951~1985 年
098	润 城	山西	35°30'	112°30'		1952~1989 年
099	龙头拐	内蒙古	40°23'	110°01'		1960~1989 年
100	头道拐	内蒙古	40°33'	110°33'		1952~1989 年
101	沙圪堵	内蒙古	39°38'	110°52'		1951~1989 年

注：资料年限 (1) 为年降水、不同量级降水计算资料；资料年限 (2) 为不同时段降水计算资料。

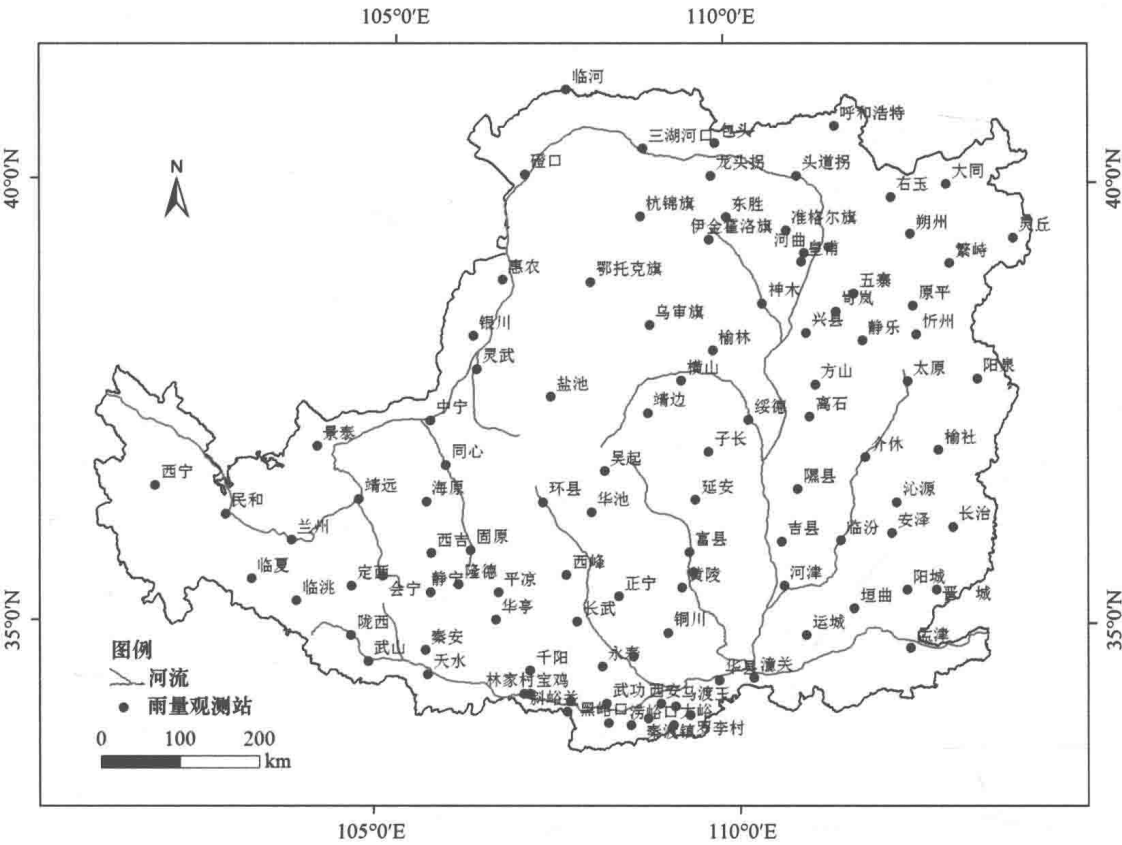


图 1.1 黄土高原雨量观测站分布图

1.1.2 黄土高原降水的气候特征

黄土高原位于中纬度地带的我国东部季风区，属高空盛行西风带的南部。近地面高低压系统活动频繁，环流形势季节性明显（钱林清，1991）。

冬季，受蒙古高压控制，极地大陆气团南下，冷空气活动常造成大风降温天气。由于极地大陆气团非常干燥和稳定，因此黄土高原冬季气候干燥而寒冷，很少降水。只有当上游天气区高空有西风槽吸引冷空气南下时，伴随地面冷风过境才可能有降雪天气发生（钱林清，1991）。

春季，虽然冬季风开始衰退，但由于太平洋上的暖湿空气势力还不很强盛，加之黄土高原距海较远，暖湿气流难以影响到黄土高原。由于冷锋的不断南下，该地区气旋活动最为频繁。但由于冬季长期为变性极地大陆气团所控制，空气和土壤中的水分含量都很少，因此黄土高原春旱现象十分严重。

夏季，黄土高原的近地面上处于大陆热低压槽的前部，高空在副热带高压的影响和控制之下，盛行太平洋热带海洋气团，湿度较大，成为降水的主要来源。这一地区，夏季降水主要是由于暖湿空气经过，冷空气的激发作用而形成大面积的降水。若遇较强冷空气侵入，则迫使暖空气强烈上升，出现暴雨天气。加之地面性质不太均一，夏季地面增热快，对流性强，很容易产生雷暴雨天气（陈永宗等，1988a）。