

延安

YAN AN HUAN PO JI QI ZAI HAI FANG ZHI

滑坡及其灾害防治

陈志新 倪万魁 著

西安地图出版社

延安滑坡及其灾害防治

陈志新 倪万魁 著

西安地图出版社

内容提要

本书一本延安城市滑坡及地质灾害防治的专著,它以地质灾害研究及防治的基本理论为指导,深入分析和评价了延安城市滑坡的分布、类型、形成机理和危害程度,并对典型滑坡进行了定量评价,提出了防治建议方案,因此该书不仅对延安城市建设和防灾具有指导意义,而且为滑坡灾害的研究提供了有益的经验。

本书可供从事工程地质、环境工程地质及灾害防治的生产、科研人员及院校学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

延安滑坡及其灾害防治/陈志新著. —西安:西安地图出版社,2002.3
ISBN 7-80670-207-5

I.延... II.陈... III.滑坡—防治—延安市—文集 IV.P642.22-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002) 第 012570 号

延安滑坡及其灾害防治

陈志新 倪万魁 著

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码 710054)

新华书店经销 长安大学雁塔印刷厂印刷

787×1092 毫米·1/16 9.5 印张 230 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

印数 0001—1000

ISBN 7-80670-207-5/K·86

定价:22.00 元

绪 言

延安是一座历史悠久的古城，早在公元前就是陕北重镇，它在中国现代史上，为中国民主革命的胜利建立了光辉的业绩，并载入史册。今日的延安已成为陕北的政治、经济、文化中心和晋、陕、内蒙古三省区的交通枢纽和物资集散地。随着改革开放，延安的经济和城市建设都得到了快速发展。随着新世纪的到来，延安将以新的步伐进一步加大城市、道路交通等基础设施建设的力度，为适应西部大开发的新形势和推动陕北经济发展，争取做出新的更大贡献。

延安按其规模仍属中小城市之列，但其地位和作用十分重要，随着 21 世纪初陕西北铁路、公路大通道的开通，不仅使晋、陕、内蒙古从地域上紧密连结在一起，经济上逐渐融于一体，而且对这一三角地带的石油、天然气、煤炭等矿产资源开发带来了新的动力。从而也必将促进延安城市建设的快速发展。

然而，由于延安地处黄土高原的梁峁丘陵与河谷区，气候干旱，地形复杂，植被稀疏，自然地质环境十分脆弱。斜坡地带滑坡、崩塌、泥石流以及水土流失灾害极为强烈，给城市建筑和交通建设、历史文物保护以及居民的生命财产安全带来了严重的威胁和危害，并且在一定程度上构成了城市发展的制约性因素。所以，延安滑坡及其防治问题的研究和解决，其经济、社会、环境方面的意义是显而易见的。为此，我们自 20 世纪 80 年代后期至今未曾间断地对其进行反复调查、研究，对其有关问题的认识也在不断深入。该书的内容体现了近年来对延安城市滑坡研究工作成果。也反映了对黄土高原区灾害性环境地质问题的认识。因此，该书不仅对延安城市建设和发展、减灾防灾、促进经济发展和生态环境建设具有宝贵的实用价值，而且对西部经济大

绪 言

开发和黄土高原地层的滑坡研究、灾害防治将发挥其积极作用，这也正是本书作者的初衷和期望所在。

该书是在已故刘玉海教授指导下，由陈志新、倪万魁执笔完成的，参与实际工作的同志有刘展博士、牛富俊博士等，叶万军、张俊硕士完成了本书的绘图工作。应该特别指出的是延安市政府、延安市宝塔区政府及其所属部门的领导和工程技术人员给予了大力支持，值此一并致以最诚挚的感谢。

作者

2002.1

目 录

| | |
|------------------------------|------|
| 1 滑坡地质环境 | (1) |
| 1.1 自然地理概况 | (1) |
| 1.1.1 地形地势 | (1) |
| 1.1.2 水文条件 | (4) |
| 1.1.3 气候条件 | (7) |
| 1.1.4 土壤与植被 | (11) |
| 1.2 地质与地貌 | (12) |
| 1.2.1 区域地层岩性 | (12) |
| 1.2.2 地质构造 | (18) |
| 1.2.3 地貌特征 | (18) |
| 1.2.4 新构造运动 | (22) |
| 1.3 岩土工程地质类型及其特性 | (23) |
| 1.3.1 岩土基本类型与分布 | (23) |
| 1.3.2 黄土工程地质特性 | (25) |
| 1.3.3 红粘土的工程地质特性 | (27) |
| 1.4 水文地质概况 | (27) |
| 1.4.1 地下水基本类型 | (28) |
| 1.4.2 地下水的埋藏特征 | (30) |
| 1.4.3 水文地质条件概析 | (31) |
| 2 斜坡类型及稳定性评价 | (33) |
| 2.1 斜坡的基本特征 | (33) |
| 2.1.1 斜坡类型划分 | (33) |
| 2.1.2 斜坡变形破坏类型的分布及地质特征 | (35) |
| 2.1.3 斜坡稳定性分析及危险性评判 | (45) |
| 2.1.4 斜坡稳定性分区与评价 | (46) |
| 2.2 影响斜坡稳定性要素分析 | (48) |
| 2.2.1 岩土类型与地质结构的影响 | (48) |
| 2.2.2 地形、地貌的影响 | (52) |
| 2.2.3 地下水的影响 | (54) |
| 2.2.4 人为活动的影响 | (55) |
| 2.2.5 气候的影响 | (55) |
| 2.2.6 植被的影响 | (56) |
| 3 城区重点滑坡稳定性地质分析及灾害防治 | (57) |
| 3.1 医学院滑坡 | (57) |

| | | |
|--------|-------------|------|
| 3.1.1 | 滑坡主要特征及成因 | (57) |
| 3.1.2 | 滑坡稳定性分析 | (58) |
| 3.1.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (58) |
| 3.2 | 行署山滑坡(群) | (58) |
| 3.2.1 | 滑坡主要特征及成因 | (58) |
| 3.2.2 | 滑坡稳定性分析 | (59) |
| 3.2.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (60) |
| 3.3 | 二庄科滑坡 | (60) |
| 3.3.1 | 滑坡主要特征及成因 | (60) |
| 3.3.2 | 滑坡稳定性分析 | (60) |
| 3.3.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (60) |
| 3.4 | 制药厂滑坡 | (61) |
| 3.4.1 | 滑坡主要特征及成因 | (61) |
| 3.4.2 | 滑坡稳定性分析 | (62) |
| 3.4.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (62) |
| 3.5 | 三十四医院仓库滑坡 | (62) |
| 3.5.1 | 滑坡主要特征及成因 | (63) |
| 3.5.2 | 滑坡稳定性分析 | (63) |
| 3.5.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (63) |
| 3.6 | 二号工地滑坡 | (64) |
| 3.6.1 | 滑坡主要特征及成因 | (64) |
| 3.6.2 | 滑坡稳定性分析 | (64) |
| 3.6.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (64) |
| 3.7 | 机砖厂滑坡 | (65) |
| 3.7.1 | 滑坡主要特征及成因 | (65) |
| 3.7.2 | 滑坡稳定性分析 | (65) |
| 3.7.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (65) |
| 3.8 | 罗家坪滑坡 | (66) |
| 3.8.1 | 滑坡主要特征及成因 | (66) |
| 3.8.2 | 滑坡稳定性分析 | (67) |
| 3.8.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (67) |
| 3.9 | 林校滑坡 | (68) |
| 3.9.1 | 滑坡主要特征及成因 | (68) |
| 3.9.2 | 滑坡稳定性分析 | (68) |
| 3.9.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (68) |
| 3.10 | 松树梁滑坡(塌) | (69) |
| 3.10.1 | 滑坡主要特征及成因 | (69) |
| 3.10.2 | 滑坡稳定性分析 | (70) |
| 3.10.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (70) |

| | | |
|--------|------------------------|-------|
| 3.11 | 市场沟小学崩塌 | (70) |
| 3.11.1 | 崩塌主要特征及成因 | (70) |
| 3.11.2 | 崩塌稳定性分析 | (70) |
| 3.11.3 | 滑坡(崩塌)灾害预测及防治建议 | (70) |
| 3.12 | 棉土沟滑坡(塌)群 | (71) |
| 3.12.1 | 滑坡主要特征及成因 | (71) |
| 3.12.2 | 滑坡稳定性分析 | (71) |
| 3.12.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (72) |
| 3.13 | 宝塔山滑坡群 | (72) |
| 3.13.1 | 滑坡主要特征及成因 | (72) |
| 3.13.2 | 滑坡稳定性分析 | (73) |
| 3.13.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (73) |
| 3.14 | 凤凰村滑坡群 | (73) |
| 3.14.1 | 滑坡主要特征和成因 | (73) |
| 3.14.2 | 滑坡稳定性分析 | (74) |
| 3.14.3 | 滑坡灾害预测及防治建议 | (74) |
| 3.15 | 礼堂沟滑坡(塌)群 | (74) |
| 3.15.1 | 滑坡主要特征及成因 | (74) |
| 3.15.2 | 滑坡(塌)稳定性分析 | (74) |
| 3.15.3 | 滑坡(塌)灾害预测及防治建议 | (74) |
| 3.16 | 色织布厂崩塌 | (75) |
| 3.16.1 | 崩塌主要特征及成因 | (75) |
| 3.16.2 | 崩塌稳定性分析 | (76) |
| 3.16.3 | 崩塌灾害预测及防治建议 | (76) |
| 4 | 宝塔山滑坡(危险斜坡)灾害整治 | (80) |
| 4.1 | 宝塔山区工程地质条件 | (80) |
| 4.1.1 | 地形地貌特征 | (80) |
| 4.1.2 | 地层岩性 | (80) |
| 4.1.3 | 水文地质条件 | (80) |
| 4.1.4 | 人为工程—经济活动 | (81) |
| 4.1.5 | 宝塔山岩土结构及工程地质性质 | (81) |
| 4.1.6 | 坡体地球物理特征 | (83) |
| 4.2 | 宝塔山斜坡变形破坏特征及稳定性评价 | (88) |
| 4.2.1 | 宝塔山斜坡变形破坏特征 | (88) |
| 4.2.2 | 宝塔山滑坡(危险斜坡)稳定性评价 | (98) |
| 4.3 | 宝塔山滑坡(危险斜坡)整治方案初步设计 | (102) |
| 4.3.1 | 整治原则及设计依据 | (102) |
| 4.3.2 | 宝塔山滑坡(危险斜坡)整治工程的初步设计方案 | (103) |
| 4.3.3 | 滑坡灾害预测及整治工程效益分析 | (110) |

| | | |
|-------|-----------------------------|-------|
| 4.3.4 | 主要结论 | (111) |
| 5 | 棉土沟滑坡(危险斜坡)灾害整治 | (112) |
| 5.1 | 棉土沟斜坡区工程地质特征 | (112) |
| 5.1.1 | 地形地貌 | (112) |
| 5.1.2 | 斜坡物质组成及其工程地质性质 | (112) |
| 5.1.3 | 地下水 | (114) |
| 5.1.4 | 人类工程—经济活动状况 | (114) |
| 5.1.5 | 坡体地球物理特征 | (114) |
| 5.2 | 棉土沟斜坡变形破坏特征及其稳定性评价 | (119) |
| 5.2.1 | 斜坡变形破坏特征 | (119) |
| 5.2.2 | 滑坡(危险斜坡)稳定性评价 | (131) |
| 5.3 | 棉土沟滑坡(危险斜坡)整治方案初步设计 | (136) |
| 5.3.1 | 整治原则及设计依据 | (136) |
| 5.3.2 | 棉土沟滑坡(危险斜坡)整治工程初步设计方案 | (136) |
| 5.3.3 | 整治工程效益分析及方案选择 | (141) |
| 5.3.4 | 主要结论 | (141) |

1 滑坡地质环境

延安地处黄土高原腹地，位于北纬 $36^{\circ}11' \sim 37^{\circ}09'$ ，东经 $109^{\circ}20' \sim 111^{\circ}03'$ 之间的延河及其支流（西川河、南川河、杜甫川）的河谷区，四周为凤凰山、宝塔山、清凉山所环抱，属内陆山区河谷型城市。市区占有土地面积 25 km^2 。据调查，发育有滑坡、滑塌、崩塌、不稳定斜坡变形体近 250 处（图 1-1）。其发育受控于特定自然地理环境、地质地貌条件、黄土特性以及水文地质条件等自然地质因素。即所谓的滑坡地质环境的决定性作用。

1.1 自然地理概况

1.1.1 地形地势

延安市区为黄土高原区典型的山城之一，黄土幔覆于起伏不平的基岩顶面之上，并承袭了下伏基岩古地形。在稳定抬升的新构造运动影响下，黄土经流水（主要是延河、南川河等）长期侵蚀，形成了现今梁峁起伏、河谷深切的地势（图 1-1）。城市地形总体为西南、西北高而东北低，中部低而四周高。最高处为海拔 $1\,247.5 \text{ m}$ ，最低 943.0 m ，相对高差 304.5 m 。从梁顶、峁顶向河谷，高程依次由大于 $1\,200 \text{ m}$ 渐变到 $1\,100 \text{ m}$ ，然后陡降至 $1\,000 \text{ m}$ ，最后以缓坡过渡到 900 m 。延河及其支流南川河河谷构成城区主体，并将市区分割为三大部分，即北部的清凉山区、西南部的凤凰山区和东南部的宝塔山区。

1) 河谷特征

受地质地貌、水动力条件等的影响，延河及南川河河谷在城区不同地段具有一定的差异性。

延河河谷西北川及西川河段：河谷在横剖面上呈宽阔的“U”型，宽度一般为 $400 \sim 500 \text{ m}$ ，最大宽度 700 m 。川地高程 $950 \sim 965 \text{ m}$ ，河床稍向下游倾斜，平均比降为 $2\% \sim 3\%$ 。受曲流影响，河床两岸阶地不对称，凸岸阶地发育，阶面微向河床倾斜，凹岸很少有阶地。河谷两岸内黄土斜坡陡峻，右岸坡高一般在 $75 \sim 100 \text{ m}$ ，坡度多为 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，坡脚处因基岩出露，形成 $10 \sim 15 \text{ m}$ 的陡坎；左岸坡高 $50 \sim 75 \text{ m}$ ，坡度多为 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，坡脚处形成 $10 \sim 20 \text{ m}$ 的基岩陡坎。愈靠近市中心，岸坡愈陡。

延河河谷东川段：该段河谷是城区内最宽缓的地段，宽度多在 $900 \sim 1\,000 \text{ m}$ ，川地高程 $945 \sim 955 \text{ m}$ ，纵向比降很小。因河流多次改道，在其左岸形成了宽约 800 m 的漫滩及一级阶地，阶面向河床倾斜，坡度 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ，而在其右岸仅保留部分高漫滩及一级阶地。在泽子沟至罗家坪地段，河流直接侵蚀其右岸斜坡，致使河谷两岸斜坡存在明显的差异性。左岸坡高一般为 $60 \sim 70 \text{ m}$ ，基岩大面积出露，在坡脚处成高 $20 \sim 30 \text{ m}$ 、坡度 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 的陡坡，向上过渡为坡度 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 的黄土斜坡；右岸除宝塔山至罗家坪段，坡高多在 50 m

以上, 坡度大于 40° , 坡脚见 5~15 m 的基岩陡坎外, 从罗家坪向下游, 岸坡变得很缓, 坡高 25~40 m, 坡度不超过 30° 。

南川河河谷段: 该段河谷相对较窄, 宽度一般为 300~400 m, 最宽为 450 m。川地高程 960~990 m, 纵坡降为 4‰。阶地不甚发育, 河床向两侧以缓坡形式过渡到两岸斜坡。在七里铺至宝塔山河段, 河谷两岸斜坡高度多在 50~100 m, 坡度普遍大于 40° , 部分达 70° , 由于河流下切, 基岩出露, 在左右两岸坡脚处分别形成 10~20 m 和 10~30 m 的基岩陡坎, 坡角普遍大于 80° 。在七里铺至柳林河段, 岸坡明显减缓, 坡度多小于 40° , 坡高在 50 m 以上。

杜甫川河谷段: 该段河谷狭窄, 宽度 200~300 m, 最大约 400 m。阶地零星分布, 阶面倾向河床。川地高程一般为 975~1 000 m。左岸斜坡低缓, 坡高 75 m 左右, 坡度小于 40° ; 右岸斜坡高 50~100 m, 坡度 30° ~ 50° , 多为黄土斜坡。

2) 黄土丘陵

大面积分布的黄土梁峁是延安市区的主要地形特征。梁峁以及与之相间的沟谷占全区面积的 80% 以上。地形极端破碎, 它们的不同组合构成了延安市区周围千姿百态、变化万千的黄土山地特征。

凤凰山区以梁峁和树枝状沟谷组合为特征。区内大多数梁是由一系列梁连接而成, 梁面起伏, 总体向河谷倾斜。梁顶高程为 1 140~1 230 m, 坡度 6° ~ 15° , 向沟缓过渡为 20° ~ 30° 。梁坡坡形随其所在部位不同有所不同, 沟头附近的梁坡多为凹形斜坡, 梁嘴附近为凸形斜坡。由于受两侧沟谷的侵蚀, 梁进一步被分割为向主沟倾斜的短梁, 个别地段梁面几乎被沟谷切穿, 宽度不足 100 m。峁是梁进一步分割而成, 峁顶高程 1 135~1 240 m 不等, 峁顶坡度 3° ~ 10° , 平面上呈圆穹状, 面积有限, 梁与梁之间形成鞍形地。本区沟谷非常发育, 主沟长 1 500~4 000 m 不等, 沟形变化在沟的不同部位有所不同, 沟口狭窄而陡峻, 沟底平坦, 两侧沟坡较陡, 坡度 40° ~ 60° , 坡高大于 50 m。沟脑则变为较开阔平缓的凹形平地, 沟坡小于 35° , 细沟发育。主沟沟口或冲沟中段常发育次一级支沟, 沟长数百米甚至上千米, 沟谷深切, 沟坡较陡, 坡度 40° ~ 60° , 个别地段达 70° 以上, 在剖面上呈“V”字型。

清凉山区以梁、短梁和树枝状沟谷组合为特征。梁孤立存在或相互加接, 地形支离破碎, 梁顶高程 1 133~1 219 m, 坡度 3° ~ 6° , 向沟缓过渡为 20° ~ 30° , 处于四面临沟的境地。本区沟谷以桥儿沟和杨家岭沟为主体, 两沟不断地向沟脑和两侧侵蚀扩展, 逐渐汇合, 并与其小型沟谷一起塑造了现今之地形。杨家岭沟较开阔平缓, 除其支沟地形较陡外, 整个沟坡低且坡度不大, 坡高 50 m 左右, 坡度不大于 45° 。桥儿沟沟底开阔, 两侧谷坡基岩出露, 形成 10~15 m 的陡坎, 向上地形变缓, 支沟发育, 沟谷深切, 地形较陡。在杨家岭沟西侧和桥儿沟的东侧, 发育两个短梁, 梁顶较窄, 高程 1 200 m, 梁面向河谷倾斜。

宝塔山区以近于相互平行的沟谷和斜梁为其主要特征。梁以宝塔山至七里铺长梁最为醒目, 该梁长约 3 500 m, 梁顶高程 1 120~1 140 m, 宽约 250 m, 稍向延河倾斜, 顶面坡度 3° ~ 6° 。另外, 还有沿延河右岸平行排列的斜梁, 其长度 500~1 500 m 不等。区内黄花瓜沟、二庄科沟开阔平缓, 谷坡坡度 40° 左右, 至沟脑坡度更缓, 一般小于 35° , 形

成开阔凹地。除此而外，其余沟谷均狭窄深切，谷坡较陡，坡度大于 45° ，甚至达 70° 以上，在沟口或沟壑往往有跌水现象。

杜甫川南侧山地也以系列相互平行的“V”形沟谷和短梁为特点。梁顶宽度250 m左右，高程1 140~1 160 m。沟谷短而陡峻，谷坡普遍大于 40° 。

总之，延安市区三面环山、二水带围，地形较为险要且多变，从而为城市地区滑坡发育提供了有利的地形条件，也为城市的建设发展带来许多困难。

1.1.2 水文条件

1) 水系及基本特征

延河是本区内最大的河流，自北进入市区，向东南流至市中心后折向东北流出本区，西川河、南川河及杜甫川均在本区与之汇合，并与周围山地纵横交错的大小支毛沟；一起构成密如蛛网的水系网（图1-2）。区内长度在500 m以上的沟道（谷）约数百条，延河及其主要支流长度大于21 km，流域面积大于 150 km^2 （见表1-1），是本区水系的主干。

表 1-1 延河及其主要支流概况

| 河流名称 | 长度 (km) | 流域面积 (km^2) | 占流域总面积 (%) | 多年平均径流总量 (10^9 m^3) |
|------|---------|------------------------|------------|---------------------------------|
| 延 河 | 286.9 | 7 725.0 | | 2.94 |
| 西川河 | 65.8 | 809.0 | 10.6 | 0.29 |
| 南川河 | 24.2 | 432.5 | 5.4 | 0.15 |
| 杜甫川 | 21.0 | 166.0 | 2.2 | 0.04 |

河流是各种自然条件综合影响的产物，有着明显的地区性特征。总体看来，延安市区的水系似有以下特征：

(1) 由于地势北、西、南三面高，河流顺应地形的总趋势，延河及其支流分别由北、西、南三面流经本区，向东流入黄河。整个流域属黄河水系。

(2) 本区黄土分布面积很广，由于黄土易于冲刷，除延河及其主要支流外，次级支、毛、冲沟极为发育，构成树枝状河系，河网密度很大。由于大都是季节性沟道，雨季丰水期时，加快干流的集流速度而形成洪水，旱季枯水期时，却不能补给干流，而造成干流的特枯水位。因此，主要河流一年中的流量变化悬殊。

(3) 河流多为弯曲河段，延河河段亦如此，其主要支流如西川河、南川河和杜甫川等河段亦都具有这种特点。从整个流域河段来看，延河及其主要支流的平均弯曲系数在1.47~1.50之间，个别河段弯曲系数可达1.70以上。

(4) 本区内的河谷、沟谷，特别是南川河以西、延河以北的河沟，绝大多数为强烈的冲刷河沟段，造成河流下切，由于局部侵蚀基准面的下降，在某些支沟口段，为调解均衡剖面而急剧下切成深切的“U”型或“V”型谷段，造成支沟下游反而比中、上游沟谷更为狭窄、沟谷坡降更大的反常现象。

(5) 各河、沟的流量普遍小，而含沙量普遍很高。如延河多年平均流量为 $4.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ，

本区内长 10 余千米，与上游段相比河谷明显展宽，平均宽度约 680 m，最宽约 1 000 m，最窄约 370 m，河道平均比降约 3‰，河网密度 3.22 km/km²。

(2) 水文要素及其变化规律

根据对延安水文站杨家湾 1958—1986 年的水文观测资料的统计，延河多年最高水位为 16.44 m，最低水平为海拔平均水位，平均水位在 4.54~5.49 m 之间；最大流量为 7 200 m³/s，最小流量 0.002 m³/s，年平均流量在 2.24~9.71 m³/s 之间，多年平均流量约为 4.24 m³/s。最大含沙量高达 1 300 kg/m³，年平均含沙量在 49~470 kg/m³ 之间，多年平均含沙量约为 224.9 kg/m³。年输沙量在 463×10⁵~13 300×10⁵ t 之间，多年平均输沙量约为 3 439×10⁵ t；年输沙率在 343~2 900 kg/s，多年平均输沙率约为 961.4 kg/s。侵蚀模数最高达 36 800 t/km²，年平均为 1 440~28 100 t/km²，多年平均侵蚀模数为 10 515.2 t/km²。

作为延河主要支流的西川河、南川河及杜甫川其流量相对较小。

西川河：根据枣园水文站 1971、1972 年两年观测资料，年平均流量为 0.625 m³/s，最大为 440 m³/s，最小为 0.001 m³/s。

南川河：最大流量 650 m³/s，最小时断流。

杜甫川：最大流量 100 m³/s，最小时断流。

从年内分配来看，延河径流主要集中在 7、8、9 三个月，特别是 7、8 两个月。7、8、9 三个月的流量占全年总径流量 60.8%，而 7、8 两月即占 51.3%。除上述月际变化不均外，最大径流量的差值也很悬殊，这主要是由于地区性特大暴雨形成的洪水所造成。如 1977 年延河特大洪水时流量高达 7 200 m³/s，而洪水发生前一个月，延河流量仅 0.14 m³/s。径流的年际变化也比较显著，枯水年和丰水年相间出现。流量过程线围绕变幅基数上下跳动，正偏和负偏表现得非常明显，其中尤以 1964 年和 1977 年最为突出。与之相对应，水位、含沙量、侵蚀模数等也有相似的年际变化规律。反映径流变化的年变差系数，即 CV 值为 0.46~0.47。

在平时，延河水的浑浊度不大，含沙量小，如 5 月份含沙量多为 0，10 月份含沙量一般在 7.7~8.9 kg/m³。但在 6—8 月份雨季汛期，河水暴涨暴落，河水携带大量泥沙，泥浊如泥浆，含沙量最高达 1 300 kg/m³，平均为 253.78~256.43 kg/m³。造成这种现象的原因主要是延安地区水土流失严重，降水多以暴雨形式降落，地表强烈冲刷，沟壑密布。而这些纵横交错的沟道，沟底坡降一般都在 1%~3%，其中除极小支毛沟外，一般都已切入基岩。根据多处调查，除个别支沟里的人工水库被淤满外，很少发现支沟被淤积现象，这说明在天然情况下，它们都是向河流输送泥沙的主要通道。

延河冬季封冻，结冰期长达 4 个月。春季消融后，河水位随着雨季的变化暴涨暴落，洪水灾害时有发生，据延安府志记载：北宋太宗太平兴国六年（公元 981 年）七月延州水丈余入城，坏仓库庐舍；雍熙元年（公元 984 年）八月延河南北两河水溢入城，坏官寺民舍；大中祥符九年（公元 1016 年）七月，延州定平安远塞门拷老山水汛溢坏城堤；大中祥符六年（公元 1013 年）六月，保安军积雨河溢城没判官赵震及兵民溺死 650 余人；明神宗万历二十六年（公元 1598 年）秋，延安府大水冲人畜；清顺治十六年（公元 1659 年）六月延安大雨三日洪水，尽没死者百余人；嘉庆五年（公元 1800 年）七月，河内水涨发冲塌城堤数十丈。以后再无记载。近几十年来，也曾发生过大小不等的洪水，如

1917年、1933年、1935年、1944年、1956年、1969年、1977年等几次洪水，洪峰流量都在 $2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 以上，延安市区遭到不同程度的淹没。其中尤以1935年和1977年两次洪水最大，1977年洪水流量高达 $7\,200\text{ m}^3/\text{s}$ ，水位达 16.44 m ，沿延河两岸的河谷阶地大部分被淹，大片庄稼及部分房屋被冲毁。

1.1.3 气候条件

延安市区地处内陆，地势较高，气候干燥多变、冷热不均，温度变化幅度大，属大陆性半干旱季风气候区。

1) 总幅射与气温

(1) 总幅射

总幅射是随纬度的增高和云量的增多而减少的。目前延安地区没有实测的幅射资料。根据左大康等经验公式求算出的延安地区主要台、站的月总幅射量，本地区年总幅射量在 $125\sim 134\text{ 千米}/(\text{平方厘米}\cdot\text{年})$ ，总幅射年内变化，以夏季为大，总幅射量达 $40\sim 43\text{ 千米}/(\text{平方厘米}\cdot\text{季})$ ；春季次之，总幅射量为 $38\sim 40\text{ 千米}/(\text{平方厘米}\cdot\text{季})$ ；秋季再次之，总幅射为 $28\sim 30\text{ 千米}/(\text{平方厘米}\cdot\text{季})$ ；冬季最小，总幅射为 $20\sim 22\text{ 千米}/(\text{平方厘米}\cdot\text{季})$ 。总幅射的四季变化特点与太阳高度角的年变化是一致的。

(2) 气温

据延安气象站1951—1987年4月间平均气温观测资料，延安市区历年月平均最高气温为 $24.2\text{ }^\circ\text{C}$ ，最低为 $-10.2\text{ }^\circ\text{C}$ ；年平均最高气温为 $10.1\text{ }^\circ\text{C}$ ，最低为 $8.9\text{ }^\circ\text{C}$ ，极端最高气温达 $39.7\text{ }^\circ\text{C}$ （1952年7月29日），极端最低气温达 $-25.4\text{ }^\circ\text{C}$ （1956年1月23日），绝对振幅 $65.1\text{ }^\circ\text{C}$ 。最热时节出现在每年的7月份（表1-2），平均气温为 $22.7\text{ }^\circ\text{C}$ 。最冷在1月份，平均气温为 $-6.2\text{ }^\circ\text{C}$ 。气温在年内变化很大，每年从2月到7月气温逐月上升，8月以后逐月下降，变化的幅度以春、秋季大，冬、夏季小。春季气温回升迅速，各月温差较大，一般都在 $4\sim 8\text{ }^\circ\text{C}$ ，由于北下、南来冷暖空气交替，春季气温多变，遇有寒流侵袭时，气温可降至 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 以下，日变化尤为显著，早晚寒冷，中午炎热，最大日差达 $29.7\text{ }^\circ\text{C}$ 。夏季气温普遍高，且各月相差不大，一般只有 $2\sim 3\text{ }^\circ\text{C}$ （表2-2），区内无炎热期，只有短期高温 $\geq 20\text{ }^\circ\text{C}$ ，这是延安市区夏季最高温时期。日最高气温 $\geq 30\text{ }^\circ\text{C}$ 的日数，

表1-2 延安气象站1951—1987年4月间历年月平均气温（ $^\circ\text{C}$ ）
及最高、最低和平均值统计表

| 项目 | 数值（ $^\circ\text{C}$ ） | | | | | | | | | | | | 平均 |
|-------------|------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 历年月平均温度的最高值 | -2.9 | 0.7 | 6.5 | 13.7 | 18.6 | 22.2 | 24.2 | 23.7 | 17.7 | 12.1 | 4.8 | -1.5 | 11.65 |
| 最低值 | -10.2 | -9.0 | 2.1 | 9.0 | 15.2 | 19.2 | 21.2 | 19.4 | 14.1 | 8.2 | -0.8 | -9.5 | 6.53 |
| 平均值 | -6.2 | -3.0 | 4.2 | 11.6 | 17.1 | 21.0 | 22.7 | 21.4 | 15.6 | 9.7 | 2.5 | -4.7 | 9.30 |

4月至9月都可出现，以7月最多，全年平均日数为18天。秋季气温下降快，各月平均气温相差6~8℃，日差较小，由于受冷空气侵入，并逐渐加强，气温往往降至零度以下。冬季气温都低于零度，各月差距不大，一般在1.5~4.0℃之间，出现大约50天的严寒期。

2) 降水量与蒸发量及相对湿度

(1) 降水量

延安地处内陆，东南季风影响较弱，因此，年降水量偏小。多年年最大降水量为871.2 mm，最小为330.0 mm，平均为555.8 mm。降水量的年际变化比较明显，枯水年与丰水年相间出现，其中尤以1964年、1981年降水量最大，而1974年则为极枯水年。在降水量的年际变化上，出现高出平均值的正偏和负偏（图1-3）。一年内降水分配很不均匀，降水量多集中在7、8、9三个月，其最大降水量分别为244.4 mm、242.4 mm和210.4 mm，占全年降水量的60%~80%。1月份和12月份最小，降水量不足20.0 mm，显示出明显的季节性变化（表1-3）。由表1-3看出，本区降水量高度集中于夏季，占全年降水量的55%，其中又以7月降水最多，以雷阵雨为主，降水集中而短暂，1小时最大降水量高达62.0 mm，24小时的最大降水量达139.0 mm，秋季降水量次之，占全年降水量的27%，其中又以9月降水最多，约占秋季降水量的60%，多连阴雨。春季降水量为全年降水量的14%，春季降水量稀少，而且历年变化颇大，降水量不足平均值的年份常常出现。冬季降水量不仅稀少，仅占年降水量的3%，主要为少量降雪，积雪日数不多。冬季平均降雪量为39.0 mm，一日最大达13.8 mm，初雪一般在11月份，终雪在3月份，非雪月为4—10月份。

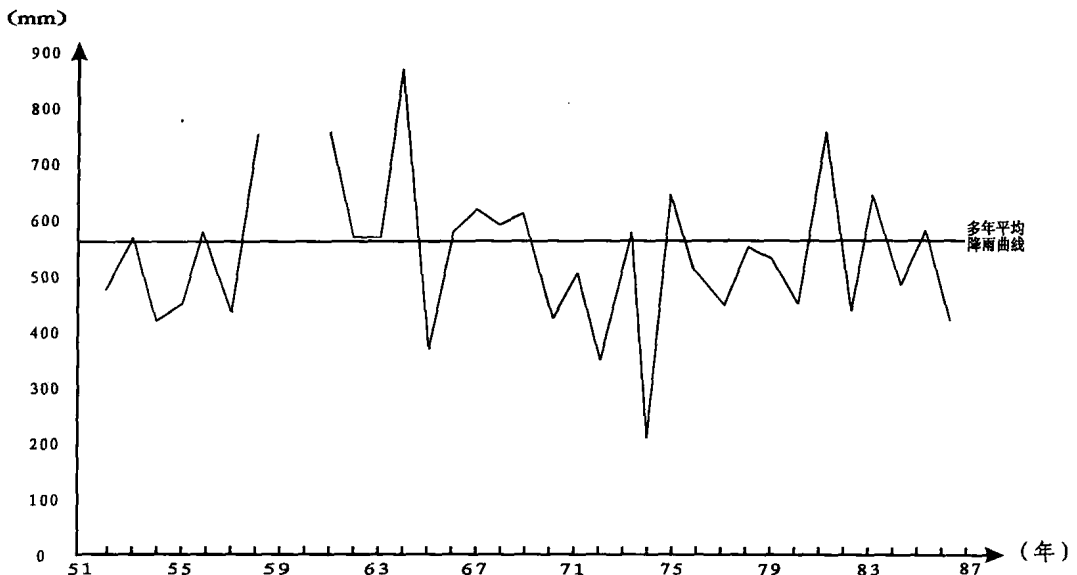


图 1-3 延安地区降水量年际变化曲线图