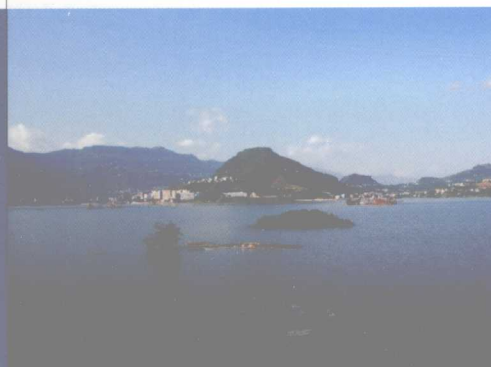


- 科技部“十一五”重点科技支撑计划项目(2006BAC04B05)
- 中科院二、三期重要方向创新项目(KJCX3-SW-L1-6)
- 科技部国际合作项目(2007DFA21150)

资助



低山区滑坡危险度 区划与预测研究 ——以三峡库区开县为示范

**DISHANQU
HUAPO WEIXIANDU
QUHUA
YU YUCE YANJIU**

**YI SANXIA KUQU KAIXIAN
WEI SHIFAN**

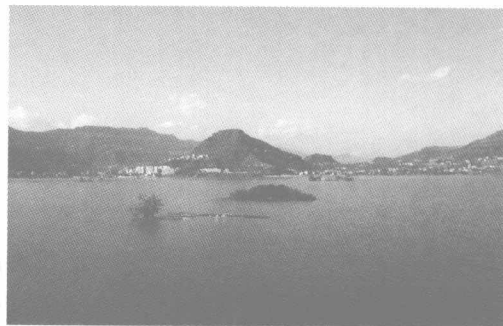
主编 乔建平



四川大学出版社

- 科技部“十一五”重点科技支撑计划项目(2006BAC04B05)
- 中科院二、三期重要方向创新项目(KJCX3-SW-L1-6)
- 科技部国际合作项目(2007DFA21150)

资助



低山区滑坡危险度 区划与预测研究 ——以三峡库区开县为示范

**DISHANQU
HUAPO WEIXIANDU
QUHUA
YU YUCE YANJIU
YI SANXIA KUQU KAIXIAN
WEI SHIFAN**

主编 乔建平



四川大学出版社

责任编辑:周树琴 段悟吾
责任校对:李思莹
封面设计:米茄设计工作室
责任印制:李 平

图书在版编目(CIP)数据

低山区滑坡危险度区划与预测研究:以三峡库区开县
为示范 / 乔建平主编. —四川:四川大学出版社, 2009. 1
ISBN 978-7-5614-4241-8

I. 低… II. 乔… III. 山区—滑坡—研究—开县 IV.
P642. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 003420 号

书名 低山区滑坡危险度区划与预测研究
——以三峡库区开县为示范

主 编	乔建平
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5614-4241-8
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	9.5
字 数	214 千字
版 次	2009 年 1 月第 1 版
印 次	2009 年 1 月第 1 次印刷
定 价	25.00 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科
联系。电 话:85408408/85401670/
85408023 邮政编码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回出版社调换。

◆网址:www.scupress.com.cn

版权所有◆侵权必究

前 言

长江三峡库区滑坡具有数量多、密度高、规模大、危害严重的显著性特点。三峡水库三期蓄水时间临近,其滑坡的未来发展趋势如何?库区什么地段可能产生滑坡?产生滑坡的危害有多大?在现有的基础上怎样预测这些危险地段?这些问题已成为国家及库区各级领导和老百姓普遍关心的热点问题。第二期蓄水与第三期蓄水相隔仅 6 年,在此期间滑坡防治的重点应该放在什么地段?什么地段的危险性最高?危险斜坡的判别标准是什么?哪些斜坡可以开发利用?这些都需要有一个科学的、可靠的基础研究为依据,建立统一的评判标准。如果不能准确地回答这些科学问题,库区滑坡治理的重点、经费安排的投向、城镇建设的布局以及滑坡预警的建设都将出现一些无序的状态。

长江三峡库区三期地质灾害防治规划中,共统计地质灾害点 4683 个,其中崩滑体 4663 个,分布在湖北省 3 县 1 区及重庆市 10 县 5 区 1 市,密度为全国之最。滑坡危险度区划是对库区主要滑坡段进行各项指标统计评价和分区,预测危险地段和相对安全地段。通过 GIS 的可视化系统演示,可以使管理者直观地了解库区主要滑坡段的危险趋势,指导安全生活和生产。滑坡危险性预测需要根据当地特点,建立一套符合三峡地区地形和地表微观形态,以及斜坡内部物质、结构形式等特点的指标体系;建立标准化评判模式,直接为斜坡利用提供参考。

三峡库区的滑坡问题关系到人民的安全和安定,加强危险性区划和预测预报研究有助于政府主管部门作出防灾减灾决策,为安排工程项目提供依据。本书的研究成果主要服务于政府有关主管决策部门和工程单位,同时也可以作为科普宣传知识教育库区人民。

编者根据多年来开展滑坡危险度区划与预测研究发现,滑坡发育在不同的地貌单元中具有不同的类型和特点,如高山、中山、低山区滑坡孕育的环境条件都有一定的差别;受势能条件的限制,滑坡运动规律也不一样,所产生的危害也有所不同。所以,滑坡危险度区划和预测研究因根据不同的地貌特点总结出不同的方法和经验。本书是通过长江三峡库区低山区开县的滑坡危险度区划与预测研究,总结出特殊地貌环境条件下的研究成果。本书可供专业技术人员和研究人员,以及研究生参考使用,并欢迎读者针对书中的不足提出宝贵意见。

本书由乔建平主编,全书共 8 章,由乔建平、陈永波、孔纪名、何思明、朱阿兴共同编写完成。吴彩燕、樊晓一、王榕勋参加研究工作。在研究过程中,开县科委给予了大量支持,在此表示感谢。

编 者

2008 年 10 月

目 录

绪 论	(1)
第 1 章 区域环境	(5)
1.1 地理位置及行政区划	(5)
1.2 地层岩性及地质构造	(6)
1.2.1 地层岩性	(6)
1.2.2 地质构造	(7)
1.3 地形地貌	(8)
1.4 水文地质及气象	(9)
1.4.1 水文地质	(9)
1.4.2 水系	(9)
1.4.3 气温	(12)
1.4.4 降水	(12)
1.4.5 湿度及蒸发量	(13)
第 2 章 滑坡灾害	(14)
2.1 滑坡现状	(14)
2.2 典型滑坡	(15)
第 3 章 滑坡分类	(18)
3.1 人为滑坡	(18)
3.2 降雨滑坡	(22)
第 4 章 全县区域滑坡危险度区划	(24)
4.1 危险度区划因素体系及其量化	(24)
4.1.1 滑坡危险度区划因素	(24)
4.1.2 因素指标体系	(25)
4.1.3 危险度等级区划	(25)
4.1.4 危险度区划因素的量化	(27)
4.2 危险度区划数学模型	(33)
4.2.1 多元回归模型	(33)
4.2.2 聚类分析预测法	(34)

4.2.3	模糊综合评判法	(36)
4.2.4	神经网络法	(39)
4.2.5	因子叠加法	(42)
4.3	危险度区划	(43)
4.3.1	危险度区划因素	(44)
4.3.2	危险度区划等级	(44)
4.3.3	因素量化	(44)
4.3.4	采样方法	(45)
4.3.5	模糊综合评判法	(51)
4.3.6	因子叠加法滑坡危险度区划中的应用	(57)
4.3.7	模糊综合评判与因子叠加法的比较	(60)
4.3.8	研究区滑坡危险度分区的置信区间	(60)
4.4	滑坡危险度分区概述	(62)
4.4.1	DU——·高危危险度区	(62)
4.4.2	DM——·中危险度区	(64)
4.4.3	DL——·低危险度区	(66)
第5章	城镇移民区滑坡危险度区划	(68)
5.1	滑坡三峡库区相关本底因子的建立	(68)
5.1.1	地层岩性 $Y_1(P_i)$ 的相关度	(68)
5.1.2	斜坡相对高差 $Y_2(H_i)$ 的相关度	(69)
5.1.3	斜坡坡形 $Y_3(\pi_i)$ 的相关度	(69)
5.1.4	斜坡坡度 $Y_4(\alpha_i)$ 的相关度	(69)
5.1.5	斜坡岩层结构 $Y_5(J_i)$ 的相关度	(69)
5.2	滑坡因子的耦合	(70)
5.2.1	耦合作用	(70)
5.2.2	实例应用	(71)
5.3	县城移民区本底因子量化处理	(72)
5.3.1	岩性	(72)
5.3.2	岩层产状	(74)
5.3.3	地表的坡度和坡向	(75)
5.3.4	相对高差	(76)
5.3.5	坡形	(76)
5.4	危险度区划	(77)
5.4.1	区划方法	(77)
5.4.2	结果	(79)
5.5	结果验证	(79)
5.5.1	T 检验	(79)
5.5.2	野外验证方法	(80)

5.5.3 验证内容	(81)
5.5.4 验证滑坡实测	(81)
第6章 盛山变形斜坡(滑坡)观测	(84)
6.1 盛山一带斜坡的自然环境特征	(84)
6.2 斜坡变形体(滑坡)状态分析	(84)
6.2.1 刘伯承纪念馆东侧一带变形坡体	(84)
6.2.2 八仙台变形坡体	(85)
6.3 变形体(滑坡)发展趋势	(86)
6.3.1 刘伯承纪念馆北东侧变形坡体	(86)
6.3.2 八仙台变形坡体	(86)
6.4 观测技术方法	(87)
6.4.1 滑坡观测的地质基础	(87)
6.4.2 滑坡变形过程的阶段性划分及特征	(89)
6.4.3 滑坡变形过程的宏观现象	(89)
6.5 滑坡观测的内容与方法	(90)
6.5.1 滑坡的变形特征观测	(90)
6.5.2 滑坡各变形阶段观测	(91)
6.6 盛山变形体观测网(点)布置	(92)
6.6.1 第一阶段的观测	(92)
6.6.2 第二阶段的观测	(95)
6.6.3 观测资料的整理与分析	(95)
第7章 开县盛山变形斜坡(滑坡)发育趋势预报	(96)
7.1 实现滑坡预报的基础	(96)
7.2 滑坡宏观综合预报——工程地质类比方法	(97)
7.2.1 滑坡不同条件分析预测	(97)
7.2.2 滑坡宏观定性预报等级划分	(99)
7.3 滑坡位移历时分析及数值预报方法	(100)
7.3.1 滑坡位移历时分析	(100)
7.3.2 滑坡发生的数值预报	(100)
7.4 盛山变形体(滑坡)发生趋势预测	(101)
7.4.1 工程地质类比法	(101)
7.4.2 数值预报方法	(101)
第8章 滑坡工程防治措施	(102)
8.1 滑坡防治技术评述	(102)
8.1.1 滑坡防治工程发展回顾	(102)
8.1.2 滑坡防治工程研究进展	(103)
8.2 三峡库区滑坡防治的主要类型及实例	(104)
8.2.1 以排水系统为主体工程的滑坡治理	(105)

8.2.2	以反压为主体工程的滑坡整治	(105)
8.2.3	以清方减重为主体工程的滑坡整治	(106)
8.2.4	以抗滑桩为主体工程的滑坡治理	(106)
8.2.5	以预应力锚索框架为主体工程的滑坡治理	(106)
8.2.6	以预应力锚索桩为主体工程的滑坡治理	(107)
8.3	开县需要治理的主要滑坡类型	(107)
8.4	人工开挖高切坡的长期稳定性研究	(108)
8.4.1	开挖卸荷带内岩土体的抗剪强度指标	(109)
8.4.2	雨水入渗后岩土体的抗剪强度指标	(111)
8.4.3	人工高切坡的长期强度	(113)
8.4.4	人工高切坡的长期稳定性	(113)
8.4.5	工程实例分析	(113)
8.5	开县滑坡整治存在的主要问题	(114)
8.6	开县滑坡的主要防治措施	(115)
8.6.1	移民新区滑坡工程的防治	(115)
8.6.2	公路滑坡防治措施	(116)
8.6.3	农村地区滑坡的防治措施	(116)
8.6.4	滑坡整治实例	(117)
附表	开县滑坡灾害统计表(开县人民政府)	(122)

绪 论

自 20 世纪中叶开始,国外许多发达国家开始重视滑坡等自然灾害对国民经济所造成的危害,美国、日本、前苏联、瑞士等国家组织有关专家,根据影响滑坡发生的因素对本国重点建设地区(特别是山区)进行滑坡危险性评价,并逐步以法规的形式将滑坡危险性区划纳入国家建设规范。

20 世纪 90 年代以后,各国科学家提出了许多滑坡空间预测的方法:1995 年意大利 Guida 采用多元回归分析建立了 Potenza 地区的滑坡分区图,解决了该地区的斜坡土地资源利用问题;美国的 R. A. Lohnes 通过统计建立了美国 Iowa 地区的线性指数模型。21 世纪初期意大利的 Phoon、Kulhawy 以及 C. Cherubini 把模糊数学的模糊综合评判方法应用到意大利的斜坡稳定性评价上,为指导国家的土地利用取得了较好的效果。

随着 3S 技术和人工智能技术的飞速发展,遥感技术(Remote Sensing,简称 RS)以及地理信息系统(Geographic Information System,简称 GIS)越来越广泛应用于滑坡的空间预测。特别是 GIS 技术,由于其储存图层的多层次性、挖掘和计算地质数据的快捷性及空间形态模拟的超强能力,为滑坡区划提供了新的思路与技术方法。21 世纪初期,澳大利亚专家利用 GIS 技术对滑坡风险评价作了一些尝试,虽然在实践中的应用效果不太理想,但其无疑成为未来滑坡研究的重要方向之一;同时,德国学者对滑坡的稳定性作了探讨,这些都为 GIS 今后在滑坡研究领域的应用打下了坚实的基础。

在国内,20 世纪 90 年代初国家地矿部门以及从事滑坡研究的各大高校也进行了相关工作的研究。在多因素综合评判研究的过程中,各单位结合非线性动力学理论,建立了多种数学模型,以期在实践中取得良好的效果。国内专家提出了多种滑坡空间区划的方法,如殷坤龙及晏同珍的统计学方法、乔建平的多因素量化叠加法和聚类分析法以及黄润秋的逻辑信息法等,所有这些方法经过实践证明都具有一定的实用性和可靠性。20 世纪 80 年代,国内专家逐渐将 3S 技术以及人工智能技术引入到滑坡空间预测以及危险度区划制图中。2001 年殷坤龙教授利用 GIS 技术对陕西省旬阳地区滑坡灾害分区进行了探索性的研究,取得了一定效果;唐川研究员于 2001 年运用 GIS 技术对云南省进行了滑坡灾害分区。2001—2002 年乔建平研究员领导的学科团队与美国威斯康星大学合作,对三峡移民区开县新建城区利用 GIS 技术进行了探索性滑坡空间危险性预测研究。

目前滑坡危险度区划中的方法主要有如下几种:

①多元回归法:将区域范围内影响滑坡稳定性的相关因素,如滑坡分布密度、地形条件、地层岩性赋值后进行数理统计,建立回归模型,判断区域斜坡发生滑坡的危

险性。

②聚类分析法：该方法是一种常用的对样品或指标进行分类的数理统计方法，又称群分析。主要用于研究事物之间的相似性和亲疏关系，根据相似程度或相关程度，把所研究的事物分类组合。可以利用其聚类的结果，借助已有的滑坡资料划分被判别斜坡样本的归属，从而进行斜坡空间预测。

③模糊综合评判法：又称为多元决策。对一个系统的识别，没有绝对的是与否，特别是对于滑坡危险性的空间预测，因此地学家借助于模糊集理论来判别样本危险度的模糊隶属度，从而对斜坡作出空间预测。

④神经网络法：模拟人的智能的一种方法。它通过把大量的神经元连接成一个复杂的网络，利用已知样本（即研究程度较高的知识库）对该网络进行训练，利用网络存储变量间的非线性关系，然后用所存储的网络信息对未知样本进行分类或预测。

⑤区域滑坡信息量预测法：该方法是将研究程度较高的典型地区作为模型单元，依照稳定程度将各单元划分为不同的等级，分别计算出各单元内控制滑坡形成的各因素在各种状态下的信息量值，并按大小排列成一个上升（和下降）的序列，找出可能影响斜坡稳定性的诸相关因素，然后建立各单元线性预测模型。

在空间区划的基础上，对高危险度区内的危险斜坡安全性进行预测是生产建设中需要解决的关键问题。一般情况下，高危险度区的生态地质环境都比较脆弱，人们不经意的破坏，如不合理开挖，就会造成不良的后果。在三峡库区土地资源有限的情况下，更容易造成人为的破坏。在发达国家规划中，不良的山地建设首先需要对斜坡危险性开展预测评估，并且尽量保护原来的生态面貌，防止建设开发造成新的破坏，选择好的斜坡地带因势利用，避免大开大挖或加载建设。如西欧国家的城镇虽然依山而建，但都充分利用其原始地形条件，尽量减少破坏。这些国家在斜坡的危险性预测评价中建立了自己的指标体系，通过半定量的标准界定斜坡是否可以开发利用。所以，滑坡危险度区划与预测是与解决土地利用规划和斜坡使用评估互为关联的问题。

低山区滑坡危险度区划与预测研究的关键是在分析低山地貌环境中，不同的地形、地层岩性、地质构造对滑坡发育作出的贡献的基础上，建立评价指标和模型，总结学科规律，构建系统的研究体系。

1. 研究目标

通过分析三峡库区低山区滑坡发育特点，总结环境本底因素对滑坡发育的贡献，建立低山区精细尺度空间的滑坡危险度区划评价指标体系和技术模型，总结宏观与微观相结合的滑坡预测方法，提出防灾减灾措施，解决以往研究中的评价指标量化程度低、标准不统一和缺少地貌区域分形特点的学科和技术问题，逐步形成具有区域地貌类型特点、评价指标以及模型可靠，能够直接为国民经济建设服务的实用技术成果。

2. 研究方法

① 研究低山区本底环境因素对滑坡贡献的特点，为危险度区划提供选择评价指标因素的依据。

② 建立滑坡危险度区划的理论体系。组成理论体系的因素是多方面的，需从诸多因素中确定与危险度区划相关性最好的因素。

③ 建立滑坡危险度区划的评价指标。评价指标是根据理论体系提供的因素确定的，在此基础上对每一个因素建立定量或半定量评价指标，再进行检验。

④ 建立危险斜坡判别指标体系，采用宏观与微观相结合的方法，针对具体不稳定的灾害斜坡进行监测预测。

滑坡危险度区划及预测研究程序如图 1 所示。

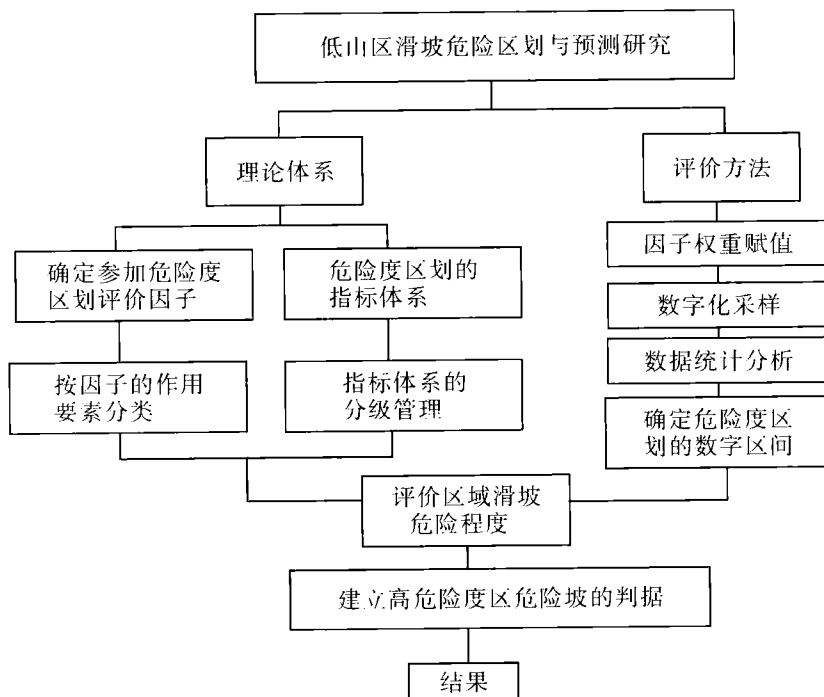


图 1 滑坡危险度区划及预测研究程序

3. 研究内容

(1) 环境本底因素对滑坡的贡献

① 滑坡发育与特殊地貌环境中其他因素的关系；

② 滑坡的分布规律和特点。

(2) 滑坡危险度区划

- ①滑坡危险性评价因子的确定；
- ②滑坡危险性评价的指标体系及分级标准；
- ③滑坡危险度区划和评价数学模型研究；
- ④研究成果的可靠性检验。

(3) 危险斜坡判别标准

- ①危险斜坡判别指标体系；
- ②危险斜坡评价预测方法。

第1章 区域环境

1.1 地理位置及行政区划

开县位于重庆市东北部，地处大巴山南坡与川东平行岭谷区结合地带（图1-1）。地跨东经 $107^{\circ}55'48'' \sim 108^{\circ}53'36''$ ，北纬 $30^{\circ}49'30'' \sim 31^{\circ}41'30''$ 之间，南北长 120km，东西宽 50km。东邻巫溪、云阳，南与万州区相邻，西与四川省开江、宣汉县交界，北与城口相连，区域面积 3959km^2 。辖 55 个乡镇（其中 28 个镇）、1053 个村、145.91 万人（1997 年末），其中城镇人口 11.89 万，农业人口 134.02 万，人口密度 368 人/平方千米。

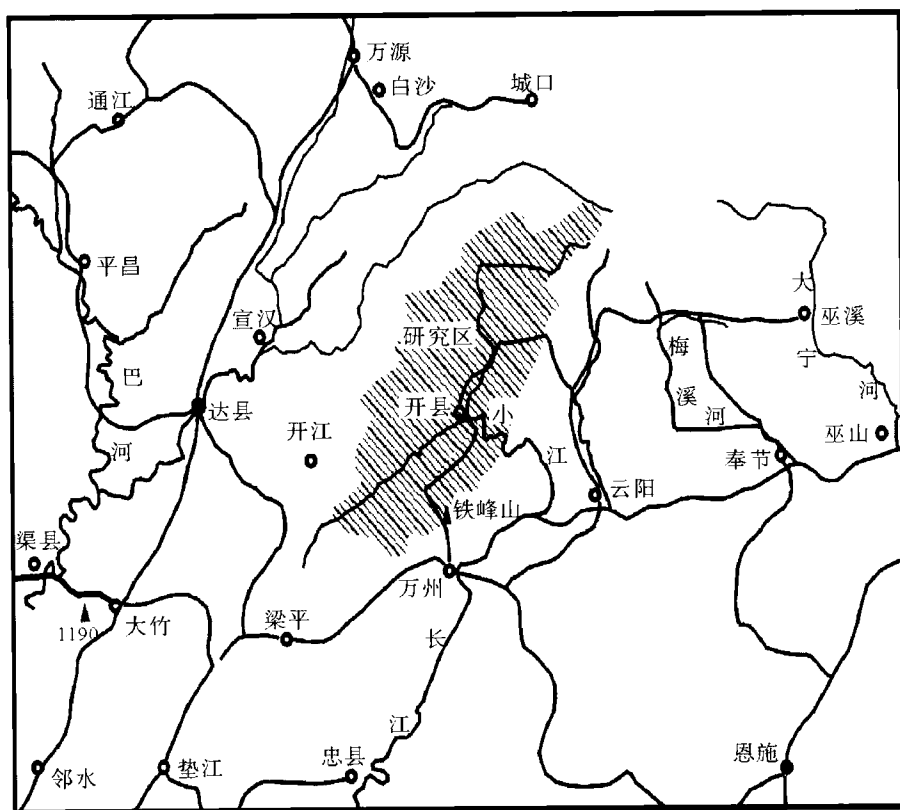


图 1-1 研究区位置

1.2 地层岩性及地质构造

1.2.1 地层岩性

研究区地层发育较全（表 1-1），从古生代的寒武纪（仅在北部山区零星分布）到新生代的全新统，除泥盆、石炭和新老第三系外均有出露。第四系主要分布在江、东、浦三条河流沿岸的一、二级阶地。

表 1-1 研究区地层岩性

代号	岩 组	岩 性
J _{3p}	蓬莱镇组	棕色、紫红色泥岩，砂岩，粉砂岩及数层较厚的紫灰色长石石英细砂岩，中上部见油页岩薄层，底部为细砂岩
J _{3s}	遂宁组	鲜红色、棕红色泥岩，砂质泥岩夹少量粉砂岩及细砂岩，底部有一层砖红色含长石石英细砂岩，常变泥岩
J _{2s}	上沙溪庙组	上部以紫红色、灰紫色钙质泥岩为主，夹少量灰紫色粉砂岩，下部为灰、灰紫色细粒长石石英砂岩；紫红色粉砂岩、砂质泥岩呈不等厚互层状，底部为中细粒长石石英砂岩
J _{2zs}	中沙溪庙组	紫红色砂质泥岩及灰紫色粉砂岩
J _{2xs}	下沙溪庙组	紫红色砂质泥岩与灰紫色含长石石英细砂岩及泥质细砂岩呈不等厚互层状，泥质含钙质结核，砂岩呈巨厚层状
J _{1-2z}	自流井组	紫红色砂质泥岩、粉砂岩、钙质粉砂岩及少量的细砂岩，底部一般为紫红色泥岩或粉砂岩
J _{1z}	珍珠冲组	灰色中厚层水云母胶结的细粒岩屑石英砂岩、泥质粉砂岩、夹页岩及泥，下部含薄层煤及菱铁矿；上部及下部夹含砾砂岩及砾岩透镜体，其中砾石以燧石为主，石英岩次之
J _{1d}	大冶组	灰、浅灰色中厚层灰岩，夹含泥质灰岩，顶部为紫红色薄中厚层泥质灰岩
T _{3xj}	须家河组	上部为灰色、黄灰色厚层状粉—细砂岩夹炭质页岩及薄煤层；中部为灰、灰白色巨厚层状细—中粒长石石英砂岩夹泥质粉砂岩及少量灰岩；下部为灰、黄及灰黑色厚层状粗—中粒长石石英砂岩、粉砂岩夹泥岩及页岩
T _{2b}	巴东组	上部为灰色薄—中厚层含泥质灰岩、泥质灰岩，中夹钙质页岩及泥质灰色白云岩；中部为紫红色页岩、泥岩、粉砂质页岩，中上部夹薄层泥质粉砂岩；上部夹薄层泥质灰岩，下部夹含铜砂岩扁豆体及石膏，向北增厚
P ₂	未分组	上部为黄绿色和灰绿色岩屑砂岩、页岩及含铜砂岩；中部为含泥砾岩、岩屑砂岩；底部为砾岩、页岩及灰岩团块
S	未分组	紫红色及猪肝色泥岩、页岩、灰色泥岩及条带灰岩，夹少量石英砂岩及砂质白云岩

研究区地层为一套残坡积砂土、碎石土以及河漫滩沙、砾石组成。侏罗系主要分布在县境内西部方山台地，铁峰背斜腰部及温泉背斜南翼。该地层底部以砂岩、粉砂岩、页岩夹煤线为主，中部为页岩、砂岩、粉砂岩，上部为砂质岩层，局部可见砾石层及泥岩层。三叠系主要分布在三个背斜顶部，底部为白云岩、灰岩，向上泥质增多；中部为

灰岩、页岩、泥岩，底部可见粘土岩；上部为砂岩夹页岩，局部夹有煤层。二叠系主要分布在研究区的东北角。志留系、奥陶系以及寒武系零星分布于研究区北部山区，主要以坚硬的白云岩、灰岩以及硅质胶结的砂岩为主，局部夹有少量的泥岩和页岩（图 1-2）。

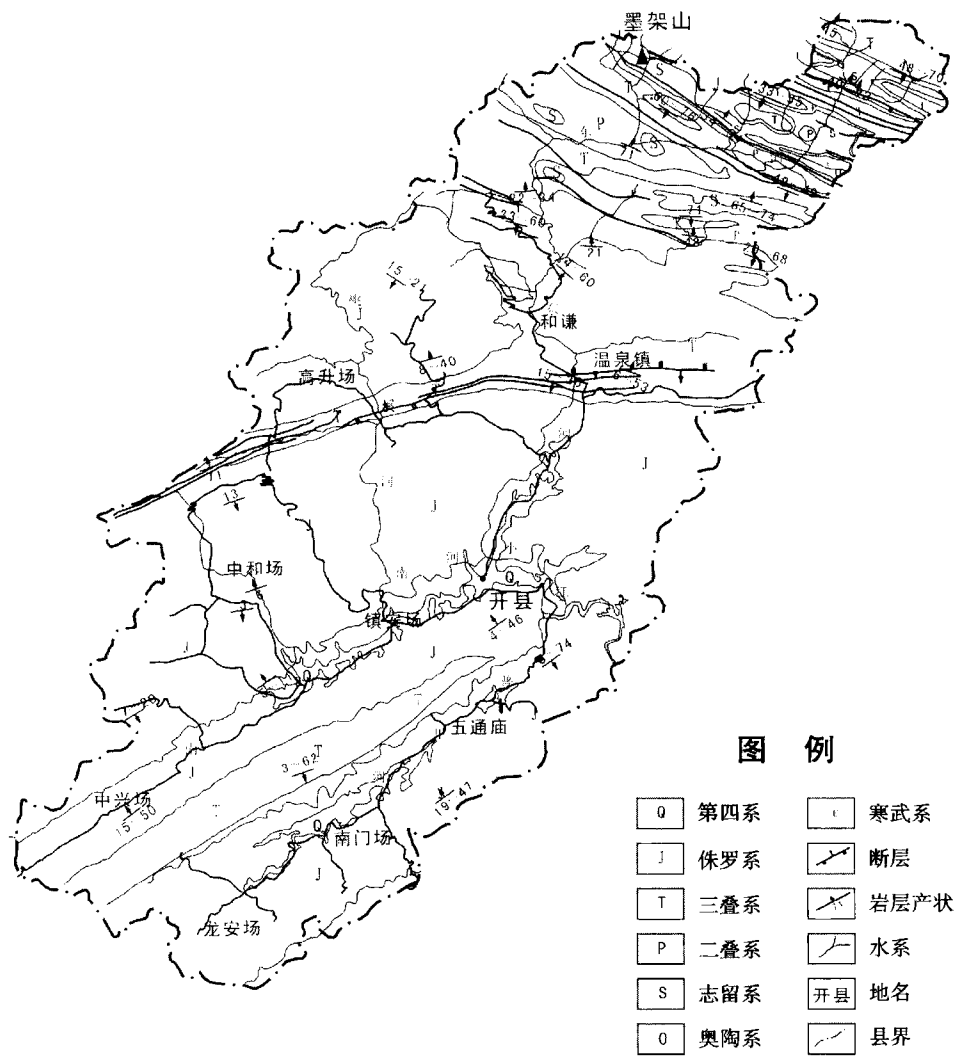


图 1-2 研究区地质略图

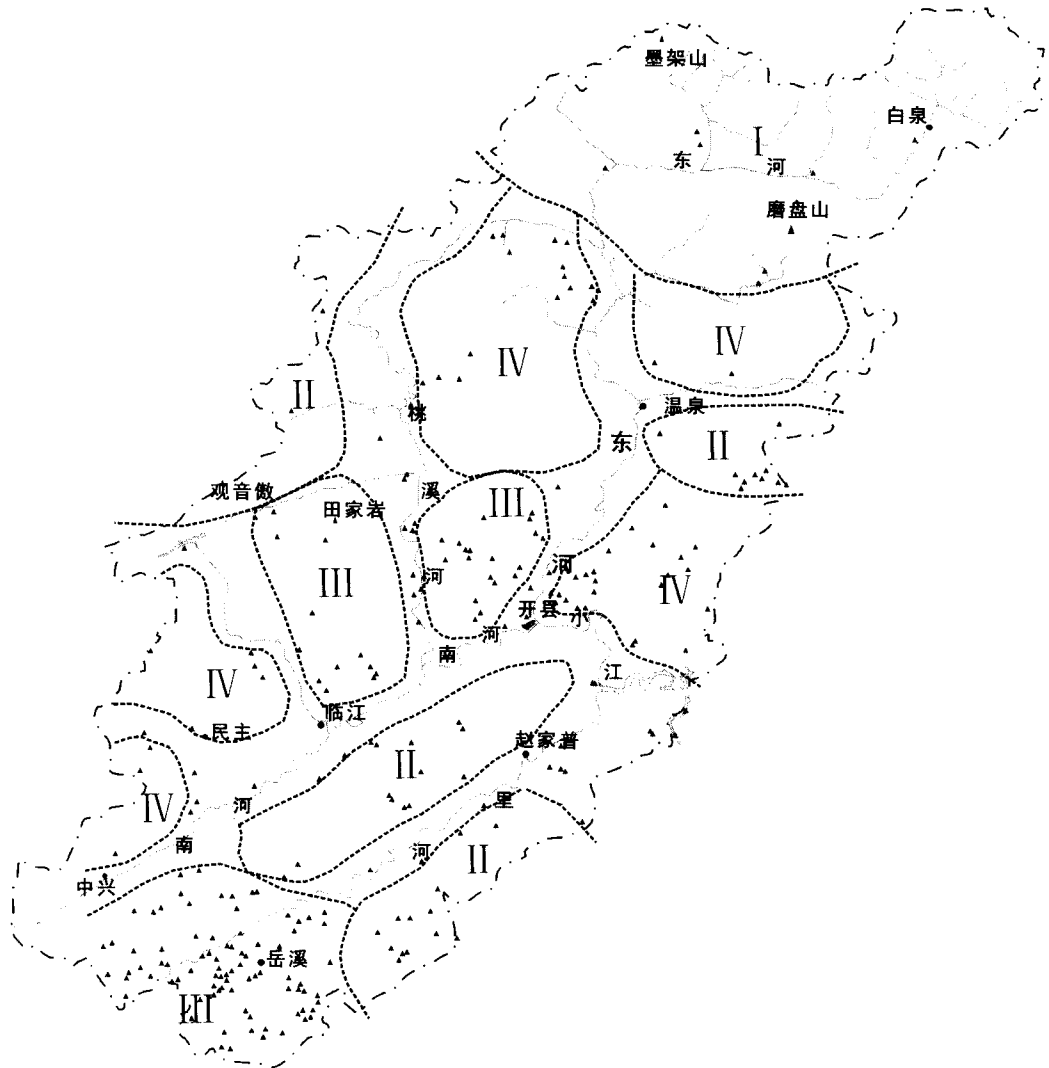
1.2.2 地质构造

开县地处盆地东褶皱带边缘，历经印支和四川两次地质运动，造成地质构造展布十分复杂，具有以下特点：

- ①以东西结构为主，地层多为叶条状，鼻状、窟窿状的地层则多为半圆形或环形。
- ②构造类型多，南部地层较新，北部地层较老，岩层倾角较大。
- ③断层、裂隙、溶洞多。断层多为挤压性断层，大断层呈东西向，小断层呈东南至西北向。

1.3 地形地貌

开县地处四川盆地边缘，区内地貌明显受构造控制，山脉的走向与区域构造方向一致。由于受构造运动、降雨以及水系的不断侵蚀切割，形成了区内山地、丘陵及平原3种地貌类型。根据区内分布情况，可分为4个地貌单元（图1-3）。



注：图中▲为滑坡灾害点

图1-3 研究区地貌分区

I：中山槽谷，约占研究区面积的25%，分布于岩水—大进一线北部山区，海拔1000m~2500m，相对高差200m~1000m，为三叠系至寒武系地层剥蚀或侵蚀形成的山岭和深沟峡谷，典型的大巴山盆周石灰岩为主的构造溶蚀中山地貌。地层主要为奥陶系、志留系、二叠系和三叠系的砂质白云岩、灰岩、细—粉砂岩、细粒长石石英砂岩。

II：低山岭谷，约占研究区面积的17%，分布于铁峰（凤山乡至华山乡）、开梁（五通乡至渠口乡）、温泉背斜及北西部的关面山一带，海拔500m~1000m，相对高差100m~300m，地层以三叠系和侏罗系紫红色粉砂岩、砂质泥岩为主。

III：坪状低山，约占研究区面积的21%，主要分布在九龙山、大慈山、凤凰山及开竹坪的江里向斜和浦里向斜一带，海拔500m~900m，相对高差100m~500m，地层以侏罗系的紫红色泥岩与砂岩互层为主，在西北部见有三叠系的紫红色粉砂岩以及砂质泥岩。

IV：丘陵，约占研究区面积的31%，主要分布在各个褶皱带的两翼和向斜的槽部。海拔小于500m，相对高差在25m~200m之间，岩性主要为侏罗系的砂质页岩、砂质泥岩等。

V：平原，约占研究区面积的6%，主要分布在区内各河流域的一二级阶地、溪沟两旁，海拔一般小于250m，相对高差一般不超过25m，岩性为第四系新老冲积物和近期洪积物等。

1.4 水文地质及气象

1.4.1 水文地质

研究区内水文地质条件受地质构造及地层岩性、地形地貌的控制，北中温泉以上为碳酸盐岩裂隙溶洞水，其出露地层主要为三叠系下统嘉陵江组及大冶组，溶蚀地貌发育。受构造及水文网的破坏，碳酸盐岩的封闭条件较差，地下水一般以分散泉的形式排出地表。北部地下暗河发育较多，俗称“鱼泉”，地下水资源较为丰富。

境内南部出露地层多为三叠系上统须家河组至侏罗系中统上沙溪庙组。受地质条件的控制，河谷区松散岩类孔隙水十分发育，以县城为中心，东河上至火石梁，下至后坪坝，南河上至临江镇，第四系堆积物厚达40m以上，最厚处为62m，地下水十分丰富，渗透系数达昼夜3.78m~5.76m，推算10m降深单井涌水量达1049.93m³/d~1453.25m³/d。在中和正坝、岩水一线广大区域，位于长店坊向斜两翼，河谷两岸以基岩裂隙水为主，多为风化带网状裂隙水，次为一般构造裂隙水，地下水径流模数为0.3L·s⁻¹·(km)⁻²~1L·s⁻¹·(km)⁻²。浦里河岳溪、长沙、赵家一线，位于渠马河向斜，河谷两岸除假角山背斜局部地区为碳酸盐岩裂隙溶洞水外，其余广大地层多为红层承压水及一般碎屑孔隙裂水，其地下水径流模数达0.3L·s⁻¹·(km)⁻²，单井涌水量达100m³/d~1000m³/d。

1.4.2 水系

(1) 河流水系

全县境内河流众多，均属长江支流小江水系。河流主要有东河、南河、浦晨河以及桃溪河（图1-4），境内河流以干流小江（东河）为主，其他河流均属其支流（表1-2）。