

中国地质科学院岩溶地质研究所

奉节天坑地缝岩溶景观 及世界自然遗产价值研究

陈伟海 朱德浩 朱学稳 马祖陆 等著
韩道山 张远海 周维新 黄保健

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书对奉节天坑地缝风景名胜区的地理地质背景及天坑地缝岩溶水文系统的特征作了系统论述。对这一地区最具特征的岩溶形态——岩溶天坑、地缝式岩溶峡谷和谷地系统、岩溶洞穴与地下河等作了详细介绍。深入分析、研究了小寨天坑、天井峡地缝式岩溶峡谷,以及它们所属的岩溶水文系统的形成条件和发育演化过程。在此基础上,通过与全球同类地貌景观的对比分析研究,参照世界文化与自然遗产的评定标准,对天坑、地缝的世界自然遗产价值做出了客观评价,这说明它具有稀缺性、典型性、完整性和不可再生性的自然(地质、地貌)遗产属性。本书除了论述天坑地缝风景名胜区的旅游资源和生态环境状况外,还重点谈到对这些珍贵的自然遗产的保护问题。

本书内容丰富,图文并茂,适合于地质、地理、岩溶、水文地质、旅游地学、世界自然遗产等方面的科研人员和院校师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

奉节天坑地缝岩溶景观及世界自然遗产价值研究/陈伟海等著. -北京:地质出版社, 2003.7
ISBN 7-116-03860-4

. 奉... . 陈... . 岩溶地貌-研究-奉节县 . P931.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第047965号

FENGJIE TIANKENG DIFENG YANRONG JINGGUAN JI SHIJIE
ZIRAN YICHAN JIAZHI YANJIU

责任编辑:屠涌泉

责任校对:黄苏晔

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号, 100083

电 话:(010) 82324508(邮购部); (010) 82324569(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京中科印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm^{1/16}

印 张:9 彩图:5页

字 数:200千字

印 数:1—1400册

版 次:2003年7月北京第一版·第一次印刷

定 价:38.00元

ISBN 7-116-03860-4/P·2385

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

本书由奉节县建设委员会资助出版

编辑委员会

主 任	刘本荣				
副主任	陈孝来	姚 斌	朱学稳	李应兰	
委 员	唐爱群	吴 忠	张美元		

前 言

奉节，这座位于举世闻名的长江三峡瞿塘峡中的历史文化名城，因其璀璨的历史和浓重的文化氛围，成为每个中国人从幼童时代就知晓的城市，“诗仙”李白和“诗圣”杜甫那脍炙人口的“朝辞白帝彩云间，千里江陵一日还”和“无边落木萧萧下，不尽长江滚滚来”的千古绝唱曾在一个个学童的思绪中引出多少绮丽的梦想！

2001年盛夏溽暑之时，当我们走进这有着2000多年历史的奉节时，面对的是形成于元代的、而即将再次消失的奉节城，一座崭新的奉节新城正在西面远处山头上建设、成长。

浸沉在袭人热浪中的古城，令人感慨万千。贯穿奉节2000多年历史长河的“战争与诗情”的主题将随着旧城的逝去和新城的建立而大为淡化，使人不胜为之深感遗憾。但我们又欣喜地看到，奉节除了浩荡长江之外，又有了天坑地缝这个新的世界级自然遗产，这是大自然对奉节的格外惠泽，是奉节人的又一宝贵财富。如果说奉节的文化积淀以千年计算其历史，那么大自然馈赠给奉节的天坑地缝自然景观则经历过几百万年的沧海桑田陵谷变迁！

我们此次奉节之行的目的是要对奉节县长江南岸兴隆镇附近的天坑地缝风景名胜区进行地质、地貌综合考察，从而为该风景名胜区申报世界自然遗产提供翔实、准确的地质地貌科学资料。

天坑地缝虽然已存在几十万年、数百万年之久，但直到20世纪80年代后期才开始向世人掀起其掩隐久远的面纱。奉节县赵贵林先生于1992年在《三峡经济》上撰文，介绍了天坑地缝；重庆市南江水文队的谭开鸥高级工程师首先从岩溶地质专业的角度在《中国岩溶》上发表文章予以报道。他们的先驱性工作对天坑地缝今日的蜚声海内外应是功不可没。

真正让全国、让世界看到奉节天坑地缝绝代容貌和丽质本色的是1994年的洞穴探险活动，当年8月由中国地质科学院岩溶地质研究所朱学稳教授和国际洞穴协会第一副主席Andy Eavis先生率领的中英联合科考探险队对奉节小寨天坑和天井峡地缝及邻近地区进行洞穴探险和科学考察，首次将天坑地缝作为“世界之最”、“绝世奇观”向世人作了科学报导，确定其在世界岩溶形态中的重要地位，引起各种传媒、旅游界、学术界和探险家的浓厚兴趣，也得到各级政府的重视。在此之后，中英联合科考探险队于1996、1997、1999和2002年又4次对该地区进行科考、探险；法国、爱尔兰等中外探险队和科学考察队也曾来此探险和进行考察。

国内的科学工作者在这里进行了岩溶地貌、岩溶地质、洞穴、植物、动物、洞穴考古等多方面的考察研究。除了我们所做的岩溶地质、地貌综合考察外，重要的研究工作还有：中国科学院动物研究所、植物研究所、水生生物研究所等单位组成的联合科学考察队于2000年11月至2001年8月对天坑地缝风景名胜区的生物多样性进行考察，并出版了

专著。中国科学院古脊椎动物与古人类研究所、龙骨坡巫山古人类研究所、奉节县旅游文化局等单位于 2001 年 5 月、9 月对天坑地缝风景名胜区及其周边地区作调查和发掘，发现“大熊猫 - 剑齿象”动物群化石和古人类遗址，并出版了专著和论文。

正是因为有了这些科学考察和探险，才使我们对世界奇观——天坑地缝的了解和认识不断加深。这些成果来之不易，是中外科学工作者和探险家们辛勤劳动和知识智慧的结晶。我们在本书的附录中，除了对动植物的考察研究和洞穴考古发掘的部分研究成果予以扼要摘出之外，还专门将英国洞穴探险家布朗·嘉德（Brain Judd）先生探查小寨天坑至迷宫河出口的地下河洞穴的经历（日记）附在书后，从中可以看出，科学资料的取得是付出了多么大的艰辛。洞穴探险者对于他将进入的黑暗的洞穴可以说是“一无所知”，他不知道可以走多远，不知道洞穴中有多深的水、多少的陡坎和多深的竖井。从探险日记中可以看出，洞穴探险者不仅要有一定的探险装备、探洞技术和广泛的洞穴知识、洞穴测量技能，而且要具有强健的体魄和战胜困难的热情和勇气。阅读这篇短文，将使人们从另一个侧面了解到岩溶考察和洞穴探险的艰苦辛劳。

本书对天坑地缝风景名胜区的地质、岩溶形态和岩溶水文系统作系统的科学论述，对小寨天坑、天井峡地缝的特征、发育演化过程及其世界自然遗产价值做对比分析和论证。全书分 6 个章：第一章介绍天坑地缝风景名胜区的地理地质背景；第二章论述天坑地缝岩溶水文系统的流域范围、补径排特征、地下水资源及水化学特征；第三章对天坑地缝风景名胜区天坑、地缝式岩溶峡谷和岩溶洞穴（地下河）等最重要的岩溶形态特征做详细的论述；第四章分析、研究小寨天坑、天井峡地缝式岩溶峡谷的形成条件和发育演化过程；第五章通过与全球同类型地貌景观的对比研究，参照世界文化与自然遗产的评定标准，对天坑、地缝的世界自然遗产价值做评价；第六章则论述了天坑地缝风景名胜区的旅游资源状况，并重点谈到对这些珍贵的自然遗产的保护问题。

目 录

前 言

第一章 地理地质背景	(1)
第一节 自然地理、生态环境	(1)
一、地理位置	(1)
二、气象与水文	(2)
三、地形与水系	(2)
四、地貌	(4)
五、生态环境概况	(5)
第二节 地质概况	(7)
一、地层岩性	(7)
二、地质构造	(10)
第二章 岩溶水文系统	(13)
第一节 流域范围与边界	(13)
一、流域范围	(13)
二、边界类型	(13)
第二节 地下水补、径、排特征	(15)
一、地下水补给	(15)
二、地下水径流	(15)
三、地下水排泄	(19)
第三节 地下水资源	(20)
第四节 水化学特征	(21)
一、水化学类型	(21)
二、岩溶水的溶蚀能力	(23)
三、混合溶蚀	(23)
第三章 岩溶形态	(24)
第一节 岩溶形态综述	(24)
一、岩溶的含义	(24)
二、国内外岩溶景观概述	(24)
三、天坑地缝风景名胜区主要岩溶景观概述	(25)
第二节 天坑	(27)
一、天坑概述	(27)
二、奉节小寨天坑群	(30)
第三节 岩溶峡谷	(37)
一、峡谷与岩溶峡谷	(37)
二、主要岩溶峡谷	(38)
第四节 洞穴与地下河	(42)

一、概述	(42)
二、洞穴与地下河	(43)
三、洞穴分布及形态特征	(50)
第四章 天坑、地缝的形成演化	(51)
第一节 天坑、地缝的形成条件	(51)
一、小寨天坑的形成条件	(51)
二、天井峡地缝式岩溶峡谷的形成条件	(53)
第二节 天坑、地缝的发育阶段	(54)
一、小寨天坑的发育阶段	(54)
二、地缝式岩溶峡谷的发育阶段	(55)
第三节 天坑、地缝的发育演化	(56)
一、鄂西期	(56)
二、山原期	(57)
三、峡谷期	(58)
第五章 天坑、地缝的世界自然遗产价值	(61)
第一节 小寨天坑的研究与评价	(61)
一、国内外已发现和报道的天坑概述	(61)
二、小寨天坑在全球同类型地貌景观中的地位	(71)
第二节 天井峡地缝式岩溶峡谷的研究与评价	(73)
一、国内外岩溶峡谷和地缝式岩溶峡谷概述	(73)
二、天井峡地缝式岩溶峡谷在同类型地貌景观中的地位	(74)
第三节 已列入世界遗产名录的有关岩溶景观概述	(75)
一、以岩溶景观本身为主体的世界自然遗产	(76)
二、由岩溶景观与其他景观共同构成的世界自然遗产地	(77)
三、世界文化遗产地中与岩溶有关的遗产地	(77)
第四节 天坑、地缝的世界自然遗产价值	(78)
一、世界遗产公约与遗产评定标准	(78)
二、天坑、地缝的世界自然遗产价值	(79)
三、对天坑、地缝总体评价	(81)
第六章 天坑、地缝开发与保护	(83)
第一节 旅游资源概况	(83)
一、旅游资源类型	(83)
二、旅游资源分布、分区	(84)
三、主要景点	(85)
四、旅游资源总体特征	(88)
第二节 天坑、地缝保护	(89)
一、保护对象、原则与目标	(89)
二、功能区分区规划	(92)
三、专项保护规划	(94)
英文摘要	(100)
参考文献	(114)

附录 1 小寨天坑——迷宫河探险记 (116)

附录 2 天坑地缝风景名胜区动植物名录 (121)

附录 3 14 万年前“ 奉节人 ”——天坑地缝地区发现古人类遗址 (127)

后记 (132)

第一章 地理地质背景

第一节 自然地理、生态环境

一、地理位置

奉节县位于重庆市的东北部，距重庆市约 500 km；长江由西向东从该县中部穿过，新县城坐落在长江北岸，长江三峡瞿塘峡西口以西约 5 km。县境东西宽 71.4 km，南北长 97.7 km，总面积 4099 km²，地理跨度为：N30°29′~31°22′；E109°01′~109°45′。东连巫山县，北倚巫溪县，西邻云阳县；南与湖北省的建始、恩施、利川三县（市）接壤。全县辖 16 镇 46 乡，人口约 100 万，其中汉族人口占 99% 以上。

奉节县有着悠久的历史，西周武王十一年（公元前 1016 年），奉节建为夔子国，周襄王十八年（公元前 634 年），楚灭夔，夔并为楚庸国的鱼邑。周赧王元年（公元前 314 年），建为鱼复县，是我国最早建立的县邑之一，距今已有 2300 年历史。蜀汉章武二年（公元 222 年），刘备退守白帝城，改鱼复县为永安县。唐贞观二十三年（公元 649 年）改县名为奉节。奉节县有着深厚的历史文化底蕴，旅游资源丰富，自然景观和人文景观交相辉映。有中国历史名胜白帝城、刘备托孤的永安宫、诸葛亮的八阵图等三国遗迹；有长江三峡第一峡——瞿塘峡；有世界岩溶地质奇观——天坑地缝。

天坑地缝风景名胜区位于奉节县南部，地理范围：N30°32′30″~30°47′30″；E109°18′45″~109°39′30″，为大致沿 NE 走向展布的长方形，北（西北）以九盘河为界，南（西南）至龙桥，东（东北）至永安乡铜锣坝，西至桂花乡桃源洞，总面积 456 km²。小寨天坑位于兴隆镇北部荆竹乡小寨村，地理坐标为 N30°45′00″；E109°28′10″。北距奉节县城 70 km，南离兴隆镇 10 km，奉节至兴隆公路从其东侧约 1 km 处通过。天井峡地缝北端与小寨天坑的直线距离约 3 km，地理坐标为 N30°43′24″；E109°27′22″。

兴隆镇为天坑地缝风景名胜区内的最古老的居民点，是目前主要的旅游接待中心，南与湖北省的建始县和恩施市接壤，北距县城 80 km，有三级水泥路面公路与县城相通，汽车行程约 2 h；有砂石质路面公路与奉节县其他乡镇及湖北省恩施、建始等县（市）相通，目前交通尚算方便。待今后奉节长江大桥和过境的渝（重庆）—宜（宜昌）高速公路和铁路建成后，景区交通将十分便捷。

兴隆镇原称为山脚坝（因该岩溶盆地呈三角形，故又称三角坝），起源于清康熙年间，当时为了恢复与发展生产，清政府实施大规模移民，即湖广填四川。由于坝南有大山阻隔，就以此山作为两省（湖北与当时四川）的界线。界山便自然成了过省驿口，兴隆镇随之成为军事和商贸要塞。在清乾隆后期就设有驿站，同时兴起市场。由于特产丰富，商贸云集，生意兴隆，就取名兴隆并沿用至今。1998 年批准为建制镇，并被列为试点小

城镇。几年来，共投入资金 1.2 亿元，建成面积 1.2 km²、常住居民 9000 人的边贸旅游重镇，被重庆市评为“绿化小城镇”、“卫生小城镇”和“优秀小城镇”，年社会总产值超过 8000 万元。

二、气象与水文

天坑地缝风景名胜区属中亚热带湿润季风气候区，受地形垂直起伏变化较大等因素影响，山地立体气候特征较明显，随海拔高度的增高，气温降低，降雨量增加。茅草坝海拔 1700 m，年平均气温 7.8℃；兴隆镇海拔 1250 m，年平均气温 16.1℃；风景区内极端最高气温 42.8℃，极端最低气温 - 14.5℃。兴隆镇夏季气温一般在 25 ~30℃，月平均相对湿度约 70%，气候十分宜人。

区内多年平均降水量为 1130 mm（兴隆镇）~1952 mm（茅草坝）。位于风景区东北部的茅草坝为区域暴雨中心，暴雨多发生在 5 ~9 月份，茅草坝雨量站实测最大日降水量 109.7 mm。多年连续降雨最大天数 13 天，降水量 186 mm。根据位于兴隆镇西侧的吐祥坝观测资料，降水量表现为年内分配不均匀，降水多集中在 4 ~10 月份，约占全年降水量的 70%；1 月、2 月和 12 月降水量明显减少（图 1 - 1）。

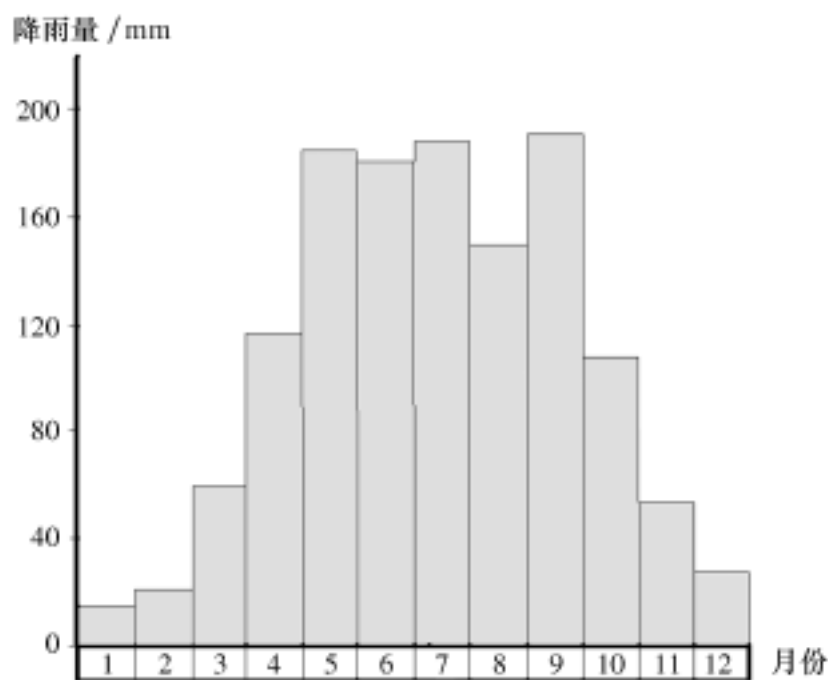


图 1 - 1 多年平均降水量直方图

Fig. 1 - 1 The bar chart of annual average precipitation

三、地形与水系

天坑地缝风景名胜区地形起伏较大，基本地形格局是北部低，九盘河与迷宫河交汇处（双河口）水面海拔标高不足 300 m。北东、南和南西部地形则比较高，最高处位于茅草坝北东侧的和尚包，海拔 2101.3 m。地形分布特点控制了区内地表、地下水的基本流向，它们分别从北东、南西侧向位于中南部的兴隆镇（三角坝）一带汇聚，然后往北排往九盘河（彩图 1）。

对天坑地缝风景名胜区的地形图进行数字化处理，提取等高距为 50 m 的地形等高线，建立数字高程模型（DEM——Digital Elevation Model），生成了天坑地缝区地势图和地形立

体模拟图（彩图 2、彩图 3）。

区内水系属于大溪河流域。大溪河属于长江南岸一级支流，有东西两支流，西支称为新民河，流域面积 529 km²；东支为九盘河，源自桂花乡，上游称为桃源河，下游称为九盘河。东西两支流在两河口相汇后称为大溪河，在巫山县大溪镇汇入长江（图 1 - 2）。大溪河流域特征数据见表 1 - 1。

表 1 - 1 大溪河流域特征数据表

Table 1 - 1 The characteristic datasheet of Daxi river drainage area

流域特征	流域面积 /km ²	1736	多年平均	流量 /m ³ · s ⁻¹	40. 36
	干流长 /km	74		径流量 /亿 m ³	12. 73
	支流长 /km	331		年径流深 /mm	732. 8
	河网密度 /km · km ⁻²	0. 27		径流模数 /s ⁻¹ · km ⁻²	23. 24
	干流落差 /m	1044		枯季流量 m ³ · s ⁻¹	9. 51
	干流平均纵坡降 /‰	14. 11		月均最大流量 /m ³ · s ⁻¹	184. 46

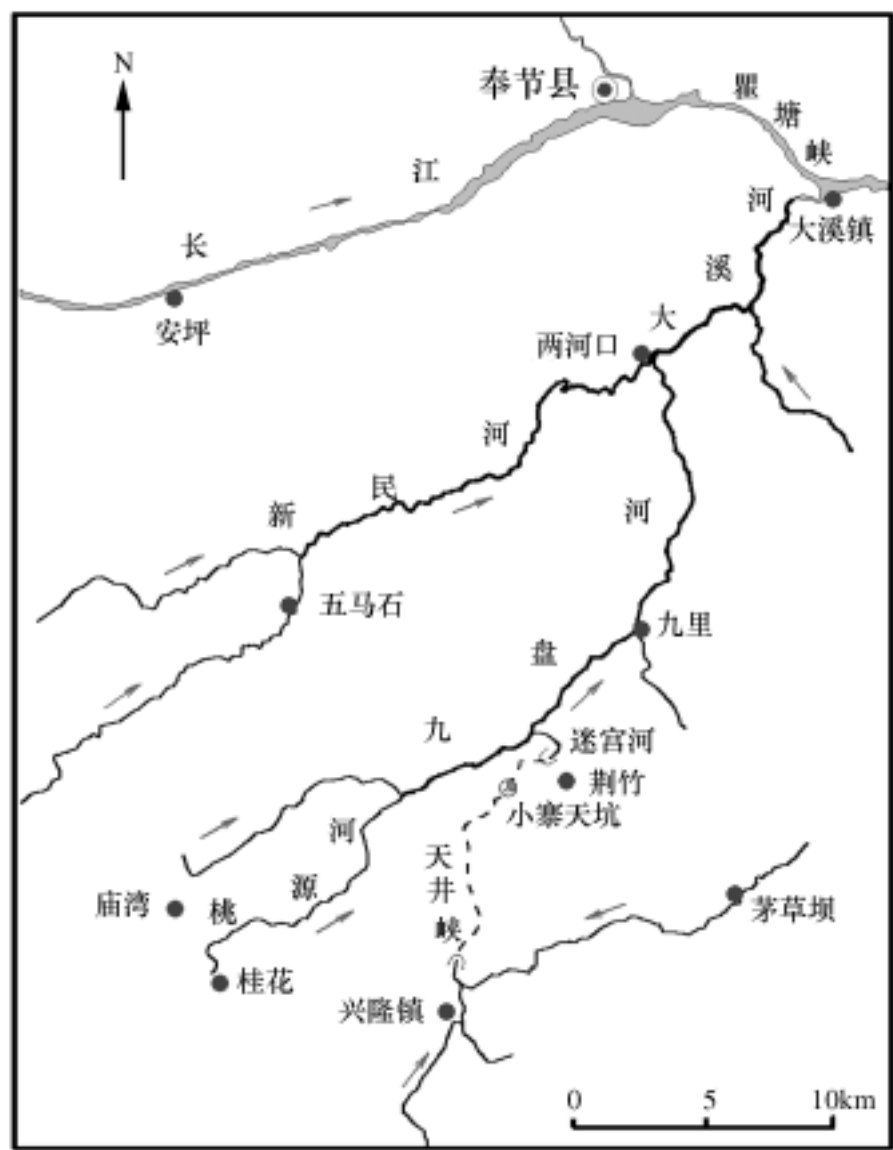


图 1 - 2 区域水系分布图

Fig. 1 - 2 The distributing graph of regional water system

九盘河为大溪河的重要支流，流域面积 756 km²，多年平均径流量 6. 96 亿 m³。干流

长 44 km，深切于中生代碳酸盐岩地层中，相对切割深度达 1000 m 以上，干流河床平均坡降 24‰，水流湍急，险滩较多。九盘河枯水期主要受岩溶地下水补给，南岸的地下河主要有桃源洞地下河、九里地下河，以及位于风景区的天坑地缝岩溶水文系统。

四、地貌

天坑地缝风景名胜区地貌位于四川盆地东部边缘，大巴山前缘和鄂西山地的接壤地带，长江二级支流九盘河的右（南）岸，是长江三峡深切河流峡谷地貌的重要组成部分。这种地貌属于典型的以侵蚀 - 溶蚀作用为主的亚热带岩溶地貌类型。区内地貌特征及地貌发育受区域地质构造、岩性及新构造活动的控制，主要表现为山脉或地貌形态与区内构造线方向一致，山体以北东、北西方向展布为主。区内碳酸盐岩分布广泛，岩溶发育，形成了以岭脊状及台原状岩溶中山、锥状岩溶（峰丛谷地、峰丛洼地）等岩溶地貌为主，以侵蚀中低山为辅的地貌分布格局，可分为侵蚀中低山与冲积型河谷区、浅峰丛洼地（谷地）区和深切割峰丛谷地（峡谷）区三类地貌区（图 1 - 3）。上述地貌特征在卫星影像图上也有清晰反映（见彩图 4）。

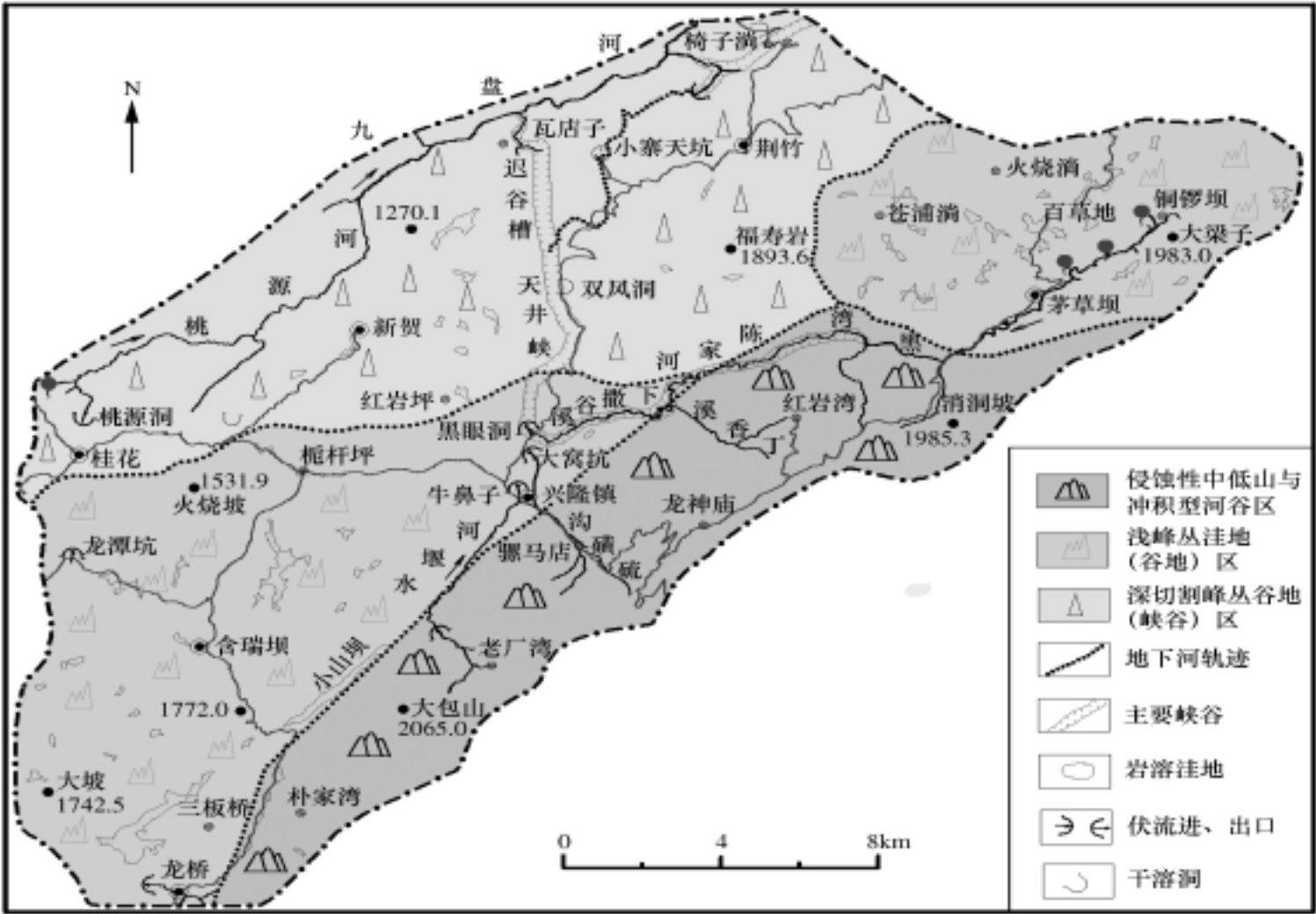


图 1 - 3 天坑地缝风景名胜区地貌分区图

Fig 1 - 3 Geomorphologic division map of Tiankeng Difeng Scenic Spot

（一）侵蚀中低山与冲积型河谷区

位于风景区东南部碎屑岩与碳酸盐岩互（夹）层分布区，即兴隆镇——茅草坝以南红岩湾、骡马店、老厂湾、朴家湾一带，地貌形态主要为北东 - 南西方向展布的侵蚀中低

山与冲积型河流谷地（或平原“坝子”）相间，地表水系相对发育，呈树枝状，河流两岸有多级阶地分布。

（二）浅峰丛洼地（谷地）区

分布于风景区东北部的永安乡、铜锣坝、百草地、火烧淌、苍浦淌，以及西南部的三角坝、桅杆坪、含瑞坝、掉刀坝、三板桥一带，为浅峰丛洼地（谷地）岩溶区（照片1），岩溶作用强烈，地表岩溶形态有大型溶蚀洼（谷）地、溶蚀 - 冲积平原（坝子）、峰丛、洼地、漏斗（落水洞）、塌陷、天坑等，部分地区保留有多级河流阶地。区内地表河流不发育，地表水主要通过洼地、漏斗、落水洞流入地下。这一地貌区发育有大型溶蚀洼地、谷地（或坡立谷），如铜锣坝—茅草坝岩溶谷地、三角坝岩溶谷地、龙潭坑坡立谷等。

龙潭坑位于兴隆镇西南约 15 km 处，为一个典型的坡立谷（Polje），北侧及东、西两侧较陡，南侧为一个相对平缓的向北倾斜的斜坡，总体呈簸箕状。口部呈椭圆形，长轴约 600 m，短轴约 400 m。口部海拔标高 1444 m，底部标高为 1327 m，深度为 117 m，底部面积约 15 万 m^2 。有地下水从其南西侧流出，在底部蜿蜒流淌 200 余米后，又消失在北侧的落水洞中。雨季消水速度较慢时，坑中水位升高形成一个天然湖泊。

（三）深切割峰丛谷地（峡谷）区

风景区北部，即兴隆镇以北、九盘河以南地区，为溶蚀 - 侵蚀综合作用形成的深切割峰丛谷地（峡谷）地貌区。地貌类型以大型溶蚀 - 侵蚀谷地、洼地、干谷（或盲谷）、大型天坑以及规模较大的地下河洞穴为主。地貌特点是：河流深切，垂直下切深度可达千米；地下河洞穴规模大，横剖面形态以峡谷状为主，纵剖面坡降大，有较多的跌水、瀑布；在地下河主干道上形成特大型天坑。著名的小寨天坑、天井峡地缝即分布在这一区段；位于小寨天坑地下河出口的迷宫河峡谷，与小寨天坑、天井峡地缝同样雄伟、壮观、迷人，三者共同组成了一个独特的、极具开发潜力的风景区。

这一地貌区内地表水系不发育，雨季也仅形成季节性地表溪流。河流两岸的局部地段保留有河流阶地或早期河床相堆积物，只在椅子淌至旱夔门的深切河沟两侧可见到厚达 100 余米的湖积、冲积沉积物，它极有可能成为本地区地貌发育演化，尤其是小寨天坑、天井峡地缝的形成、演化的重要证据。

五、生态环境概况

（一）生物

据《奉节县志》资料，奉节县的森林覆盖率在 20 世纪 40 年代中期最高，经历 20 世纪 70 年代中期的低谷后，已逐步得到提高（表 1 - 2）。据 1990 年统计资料，兴隆镇总面积 56873 hm^2 ，其中林业用地面积 35813 hm^2 ，占总面积的 63%。有林地面积 10279 hm^2 。1990 年至今这十多年来，有关部门加强对天坑地缝风景名胜區森林植被的保护和栽培，许多地方林木茂密、保护良好，粗略估计森林覆盖率达 50% 以上，尤其是兴隆镇东北部的红岩湾—茅草坝和西南部的含瑞坝—龙桥一带的森林覆盖率更高，风景区内山清水秀、空气清

表 1 - 2 奉节县森林覆盖率变化情况表

Table 1 - 2 The forest coverage variation in Fengjie County

年 份	1945	1957	1976	1982	1990	2000
覆盖 率 / %	34. 3	24. 3	11. 2	15. 6	18. 2	≈ 50

新、环境幽静。

整个风景名胜区有维管束植物 176 科 2107 种，植被以次生林为主，这些次生林的建群树种为马尾松、光皮桦、华山松、杉树、柏树和栎树等，林中伴生树木繁多。区内有脊椎动物 439 种，以鸟类（186 种）、鱼类（135 种）为主，另有兽类（60 种）、爬行类（34 种）和两栖类（24 种）等（蒋志刚，2001）。

（二）水环境质量

在 2001 年 6 月实地调查中，共取水样 8 件，分别位于天坑地缝岩溶水文系统的上游、中游和下游，水样类型以地下水为主，部分为地表河水。参照《地下水质量标准》（GB/T14848 - 93）、《地面水环境质量标准》（GB3838 - 88）和《生活饮用水卫生标准》（GB5749 - 85），对水质做综合评价（表 1 - 3、表 1 - 4）。

表 1 - 3 地下水质量分类指标

Table 1 - 3 Classical index of underground water quality

项目	类	类	类	类
SO ₄ ²⁻	≤ 50	≤ 150	≤ 250	≤ 350
Cl ⁻	≤ 50	≤ 150	≤ 250	≤ 350
固形物	≤ 300	≤ 500	≤ 1000	≤ 2000
总硬度	≤ 150	≤ 300	≤ 450	≤ 550

注：地下水 类标准大致相当于地表水 类标准；地下水 类标准大致相当于地表水 类标准和生活饮用水卫生标准。

表 1 - 4 部分项目检测结果及水质分类

Table 1 - 4 The detective results of partial items and the classification

编号	TK ₁	TK ₂	TK ₃	TK ₄	TK ₅	TK ₆	TK ₇	TK ₈
取样地点	唐家湾泉水	陈家河河水	丁香溪河水	天坑底部地下河水	大窝坑消水口	狗脚湾泉水	龙潭坑地下水	桃源河源头地下水
水温	10. 4	17. 8	16. 7	14. 0	22. 2	20. 0	12. 8	15. 6
pH 值	7. 60	8. 01	7. 58	8. 03	8. 07	7. 62	7. 69	7. 78
SO ₄ ²⁻	5. 17	6. 21	335. 20	25. 86	172. 77	9. 31	10. 35	6. 21
Cl ⁻	2. 63	2. 63	4. 39	3. 51	3. 51	4. 39	3. 51	3. 51
固形物	112. 58	111. 35	550. 92	156. 93	293. 07	205. 52	157. 25	138. 36
总硬度	107. 80	105. 64	401. 00	148. 76	224. 22	199. 42	149. 84	134. 75
水质分类*								

* 按《地下水质量分类标准》进行分类。

结果表明, 位于茅草坝溶蚀 - 冲蚀平原区的唐家湾泉水、源自茅草坝的陈家河地表水, 以及龙潭坑和桃源河源头地下水水质较好, 达 Ⅲ类地下水水质标准。丁香溪河水受上游硫磺矿开采的污染较严重, SO_4^{2-} 、固形物和总硬度值较高, 仅达到 Ⅳ类地下水水质标准, 容易对流域内的地表、地下水产生污染。流经兴隆镇的硫磺沟水 (取样点位于大窝坑地表水消水口处) SO_4^{2-} 含量也较高, 水质只达到 Ⅳ类地下水水质标准, 对兴隆镇居民的生产、生活会产生一定的影响。小寨天坑地下河水由于受到上游丁香溪、硫磺沟等 SO_4^{2-} 含量较高的地表水补给, 导致其 SO_4^{2-} 含量也比较高, 但并未产生很大的影响, 还能达到 Ⅲ类地下水水质标准。另外, 奉节县环境监测站 1997 年 9 月在九盘河进行过水质监测, 结果如下: pH: 7.88, 悬浮物: 2.0 mg/L, 高锰酸盐指数: 0.95 mg/L; 溶解氧: 9.40 mg/L; 氨氮: 0.012 mg/L; 亚硝酸盐氮: 0.002 mg/L; 硝酸盐氮: 1.10 mg/L, 六价铬: 0.029 mg/L; 氰化物: 0.002 mg/L, 挥发酚: 0.001 mg/L, 除六价铬只达到 Ⅳ类标准外, 其余均达到《地面水环境质量标准》(GB3838 - 88) Ⅲ类标准。

(三) 大气环境

据奉节县环境监测站 1997 年 9 月对天坑、地缝风景区的大气环境监测资料, 所检测的 SO_2 、 NO_2 和颗粒物三项指标为: 天坑景区 NO_2 : 0.020 mg/m³; SO_2 : 0.015 mg/m³; 总悬浮颗粒物: 0.04 mg/m³。地缝景区: NO_2 、 SO_2 含量均低于检出限, 总悬浮颗粒物为 0.07 mg/m³。结果表明, 天坑地缝风景名胜区分区大气环境质量良好, 均达到《环境空气质量标准》(GB3095 - 1996) Ⅱ级标准。

第二节 地质概况

一、地层岩性

(一) 地层概况

天坑地缝风景名胜区出露的地层主要有下三叠统嘉陵江组 (T_1j) 和大冶组 (T_1d), 总厚度约 1500 m。本区东南部还有少量泥盆 - 石炭系、二叠系出露。地层特征见表 1 - 5。

小寨天坑、天井峡地缝一带主要出露嘉陵江组 (T_1j) 灰岩; 在天井峡底部、小寨天坑中部以下、九盘河深切峡谷的局部地段可见到大冶组 (T_1d) 露头。小寨天坑、天井峡地缝则主要发育在嘉陵江组第 1 段 (T_{1j}^1) 和大冶组第 4 段 (T_{1d}^4)。参照兴隆镇附近的吐祥坝大窝淌剖面和小寨天坑剖面, 总结如下:

(1) T_{1j}^1 (总厚度 299 m)

第 4 层: 灰色 - 肉红色厚层灰岩、灰质白云岩, 夹中薄层泥质、白云质灰岩, 厚 105 m;

第 3 层: 灰色厚层含泥质白云岩, 具砂状结构, 近底部夹 5 cm 页岩, 厚 27 m;

第 2 层: 灰 - 黄灰色夹肉红色中厚层灰岩、白云岩, 夹泥质灰岩、含泥质白云质灰岩, 厚 61 m;

第 1 层: 灰色薄层灰岩, 夹泥质灰岩, 具明显的条带构造, 厚 146 m。

————— 整 合 —————

表 1 - 5 天坑地缝地层岩性特征表

Table 1 - 5 The character of stratigraphic Lithology in Tiankeng Difeng Scenic Spot

系	统	组	段	厚度 m	岩 性 描 述	说 明
三 叠 系	下	T _{1j}	T _{1j} ⁴	173	灰 - 浅灰色厚层灰岩、灰质白云岩、白云质灰岩、薄层泥质白云岩，夹角砾状灰岩	为浅海 - 湖相碳酸盐岩沉积，厚度 533 ~1041 m，主要为泥质灰岩、白云质灰岩
			T _{1j} ³	106	灰色夹肉红色厚层含泥质灰岩，局部具条带及蠕虫状构造	
			T _{1j} ²	180	浅灰 - 灰色厚层灰岩、含泥质白云岩，夹白云质灰岩，局部夹不规则的次生角砾状灰岩	
			T _{1j} ¹	299	下部为薄层状灰岩；中部为中厚层泥质白云质灰岩、泥质白云岩，夹页岩；上部为厚层灰岩夹泥质灰岩、含泥质灰质白云岩	
	统	T _{1d}	T _{1d} ⁴	120 ~275	灰色中薄层灰岩、泥质灰岩；中上部为中薄层泥质灰质与薄板状泥质灰岩、白云质页岩呈互层状产出，以较均匀的薄层构造为特征；顶部为紫红色泥岩	滨海 - 浅海相碳酸盐岩沉积，厚 341 ~771 m，主要为中薄层泥质灰岩、灰岩、页岩 以一套紫红色泥岩作为与嘉陵江组的分层标志
			T _{1d} ³	126 ~200	灰色薄层夹中厚层致密灰岩，局部夹鲕状灰岩及少量页岩	
			T _{1d} ²	283	浅灰色薄层泥质灰岩、灰岩夹页岩	
			T _{1d} ¹	88	灰 - 黄灰色含钙质页岩，夹中薄层泥质灰岩	
二 叠 系	P ₂	—	—	166 ~340	页岩、灰岩、黄铁矿、煤	滨海 - 浅海相碎屑岩、灰岩及硅质灰岩；上、下统底部赋存煤和黄铁矿
	P ₁	—	—	199 ~562	页岩、灰岩、粉砂岩、石英砂岩、煤	
泥盆石炭系 (D ₃ + C ₂)			—	150 ~160	灰岩、粉砂岩、白云岩、石英砂岩	

(2) T_{1d}⁴ (总厚度 275 m)

第 3 层：紫红色泥岩、灰色泥灰岩，厚 8 m；

第 2 层：灰色薄板状泥质灰岩与灰质 - 白云质页岩呈互层，细层理发育，厚 11 m；

第 1 层：灰色夹肉红色薄 - 中薄层灰岩、含泥质灰岩，厚 256 m。

(二) 小寨天坑地层岩性剖面

小寨天坑地层实测剖面见图 1 - 4、表 1 - 6，天坑中部平台附近（标高 1011 ~1019 m）出露厚度为 8 m 的紫红色泥岩，作为 T_{1d} 与 T_{1j} 的分层标志。

(三) 对岩溶发育的影响

地层岩性对小寨天坑、天井峡地缝发育的影响主要有以下方面：

(1) 小寨天坑—天井峡地缝一带广泛分布的 T_{1j}、T_{1d} 灰岩，总厚度约 1500 m，以及十分平缓的地层产状（倾角普遍小于 15°），为天坑、地缝的形成创造了最基本的物质条件。平缓的岩层产状，对于由岩层内部地下河的溶蚀、侵蚀作用引起顶板崩塌陷落，直至崩塌至地表形成巨型天坑是十分有利的。

(2) 在天井峡宽谷两侧 1300 m 左右的海拔高程上出露 T_{1j}¹ 第 3 层——含泥质白云岩和数厘米厚的页岩层、紫红色泥岩等，导致地缝上部较开阔的岩溶峡谷两侧平台（坎）的存在及其上部水平洞穴的发育。

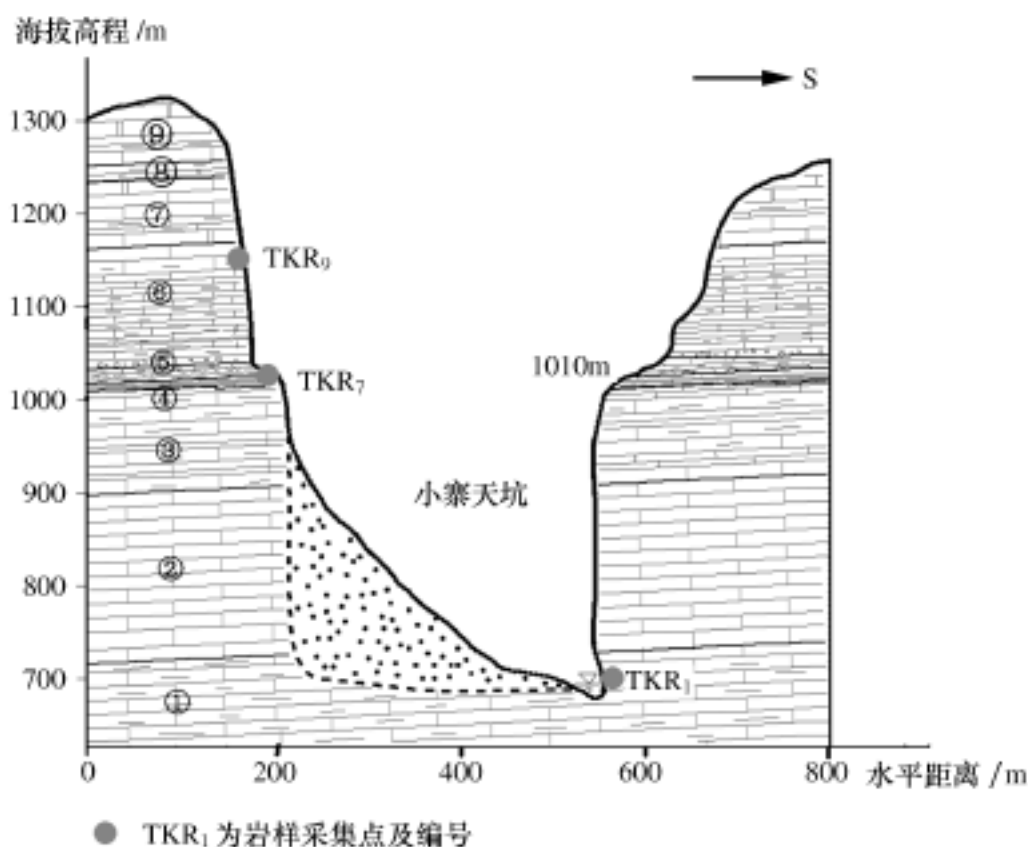


图 1 - 4 小寨天坑地层剖面示意图

Fig. 1 - 4 The stratigraphic profile in Xiaozhai Tiankeng

表 1 - 6 小寨天坑地层岩性划分表

Table 1 - 6 The division sheet of stratigraphic lithology in Xiaozhai Tiankeng

层号	高程区间 m	视厚度 m	产状 °	岩 性 描 述	所属 层位
	1245 ~1325	65	345 10	浅灰色中厚层灰岩、灰质白云质，夹中薄层泥质灰岩	T _{1j} ¹
	1231 ~1245	14	340 8	浅灰 - 灰白色中厚层状灰质白云岩，含同生角砾岩，夹薄层泥灰岩、页岩	
	1164 ~1231	67	320 5	灰 - 深灰色中厚层状灰岩、灰质白云岩，夹薄层泥质灰岩	
	1019 ~1164	145	300 6	灰色薄 - 中厚层状灰岩夹泥质灰岩，底部夹棱角状同生角砾岩	
	1011 ~1019	8	近水平	紫红色夹灰色泥岩、泥灰岩	T _{1d} ⁴
	1000 ~1011	11	340 5	灰色薄板状泥质灰岩与白云质、泥质页岩呈互层状产出，顺层风化成凹槽	
	900 ~1000	100	340 10	灰 - 深灰色夹肉红色中薄层灰岩、含泥质灰岩	
	720 ~900	180	340 10	浅灰 - 灰色中厚层状致密灰岩	T _{1d} ³
	669 ~720	51	320 9	浅灰 - 灰色中薄层泥质灰岩	T _{1d} ²

(3) 天井峡下部“V”形峡谷出露地层为 T_{1j}¹ 的第 1 层——薄层灰岩、泥质灰岩以及 T_{1d}⁴ 的第 2、3 层——薄板状泥质灰岩与灰质、白云质页岩互层、紫红色泥岩等，这套近水平的、岩溶作用较弱的岩层，影响了岩溶作用快速向深部发育，有利于以地表水侵蚀作用为主要作用力的天井峡地缝式峡谷的形成、演化（照片 2）。

(4) 小寨天坑的东北部大灯盏窝一带出露 T_{1j}¹ 泥质灰岩，大致沿 NE 方向带状分布，