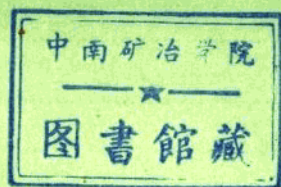


503963

法国岩溶和岩溶水



地质矿产部岩溶地质研究所

一九八四年

法国岩溶和岩溶水

(内部发行)

赴法国考察人员: 袁道先 周世英
(地质矿产部岩溶地质研究所)

法文资料翻译: 鲍道崇
(地质矿产部外事局)

编 写: 袁道先

地质矿产部岩溶地质研究所

一九八四年

内 容 简 介

法国岩溶区面积约12万平方公里，占本土面积的四分之一。其岩溶化层位及岩溶地貌类型虽同我国有很大的差别，但高斯高原裸露型岩溶的一些主要特征和地下水动力类型，却与我国南方岩溶有很多相似之处；巴黎盆地复盖型及半复盖型岩溶的水文地质特征及塌陷情况，也与我国复盖型岩溶有类似的地方；法国滨海地区的裸露型岩溶在我国虽然少见，但可视为裸露型岩溶的一种特殊情况。了解法国岩溶和岩溶水的研究现状及勘探开发试验进展，对我国岩溶工作的开展，具有一定参考意义。

《法国岩溶和岩溶水》内容包括法国自然地理及地质概况、法国岩溶概况、法国岩溶水文地质特征及勘探开发特点、岩溶水文地质试验场，几种适用于岩溶水文地质工作的仪器装备等五个部分，列举若干实例说明法国岩溶及勘探开发的特点。尤其是对法国近年来在岩溶水文地质学中一项很有特色的工作——岩溶水文地质试验场方面介绍得更为详细。本书适于岩溶地质、水文地质、工程地质、岩溶地貌工作者及地质院校师生的参考。

法 国 岩 溶 和 岩 溶 水

（内部发行）

编辑出版：地质矿产部岩溶地质研究所
责任编辑：陈云程
插图清绘：李健 赵俊芬 陈阵
印刷装订：桂林印刷厂

1/16 111,000字 1984年9月印刷 平装

目 录

概 述.....	(1)
一、自然地理和地质概况.....	(2)
二、法国岩溶概况.....	(7)
(一)岩溶分布、分类及可溶岩的基本情况.....	(7)
(二)岩溶地貌.....	(11)
(三)洞穴.....	(13)
(四)小结.....	(16)
三、法国岩溶水文地质特征及勘探开发特点.....	(17)
(一)法国岩溶水的基本特征.....	(17)
(二)岩溶水勘探开发利用特点和实例.....	(21)
1.拉苏斯城市供水水源地.....	(22)
2.特里波罗农业供水勘探区.....	(23)
3.夏特里赫地下河的勘探开发.....	(26)
4.里兹地下河的勘探开发.....	(28)
5.拉锡鹅塔海滨供水勘探区.....	(31)
6.波赫米乌地下河试截工程.....	(33)
7.里佛斯特供水水库.....	(34)
四、岩溶水文地质试验场.....	(35)
(一)里兹试验场.....	(35)
(二)特里约试验场.....	(42)
(三)科尔康涅试验场.....	(46)
(四)赫尔特斯试验场.....	(48)
(五)苏格拉斯均衡试验场.....	(58)
(六)巴日试验场.....	(63)
五、几种适用于岩溶水文地质工作的仪器装备.....	(73)

概 述

根据中法地质科技交流1980—1981年议定书第三条第三款规定,地质部岩溶地质研究所二人,于1981年5月20日至6月9日;考察了法国岩溶水文地质的野外及实验室工作,此次考察的主要目的为了解法国不同类型岩溶区地下水勘探、评价、开采方法特点;考察与岩溶地质有关的实验室及行之有效的探测技术;着重考察岩溶水文地质试验场的工作。

考察路线通过了法国几个最主要的岩溶区,停留9个点(奥尔良、巴黎、里昂、卡斯特兰、马赛、蒙彼利埃、卡奥尔、莫里斯、卡尔卡松),行程3715公里(图1)。总共看了49个不同类型的点,其中有:

岩溶供水水文地质勘探及开发现场10处(奥尔良1处、马赛3处、蒙彼利埃4处,卡奥尔2处)。

岩溶水文地质试验场6处(蒙彼利埃5处、莫里斯1处)。

岩溶水利工程14座(里昂6座、卡斯特兰5座、马赛1座、蒙彼利埃2座)。

其它岩溶改造利用点7处(与岩溶有关的地热2处、岩溶地区环保研究1处、天然洞穴内地震观测台及生态研究站1处、洞穴文物保护水文地质研究1处、洞穴磷矿1处、岩溶石山改造利用1处)。

典型的岩溶水文地质现象、地貌、洞穴等12处。

在奥尔良市同法国地质局物探部、地下水部及实验室有关人员,就岩溶测试技术进行了座谈,参观了物探仪器、同位素实验室、计算中心及各种电镜。

法国方面对这次考察比较重视,在陪同人员的选择、资料的提供、情况的介绍及食宿交通的安排上作了比较认真的准备,时间安排比较紧凑。考察过程中共收到各种资料94份,图件18份,会见对岩溶地质有专门研究或有某方面实际经验的科技人员32人。通过现场考察、座谈讨论、个别交流、观看实物、阅读资料,对法国岩溶水文地质研究现状有了比较深入的了解,完成了原定的考察任务。

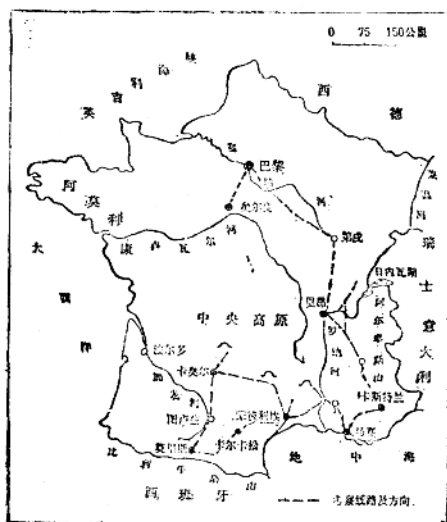


图1 考察线路图

一、自然地理和地质概况

法国本土位于西欧，面积为551,695平方公里，西临大西洋，东南濒地中海，跨北纬 $42^{\circ}30'$ — 51° 及西经 5° —东经 8° 之间，纬度相当我国沈阳至满州里之间，东南面是阿尔卑斯山，最高峰勃朗峰海拔4810米，西南面是比利牛斯山，最高峰阿内托峰海拔3404米，中央高原桑西山海拔1886米，总的地势是东南高，西北低（图2），但国土面积的82%在海拔500米以下。在中央高原四周及阿尔卑斯山区西部的岩溶高原面（高斯，Causse）；海拔一般为500—1000米。

法国本土大部处于温带，南方地区属于地中海型亚热带的北边缘。位置和地形条件，使

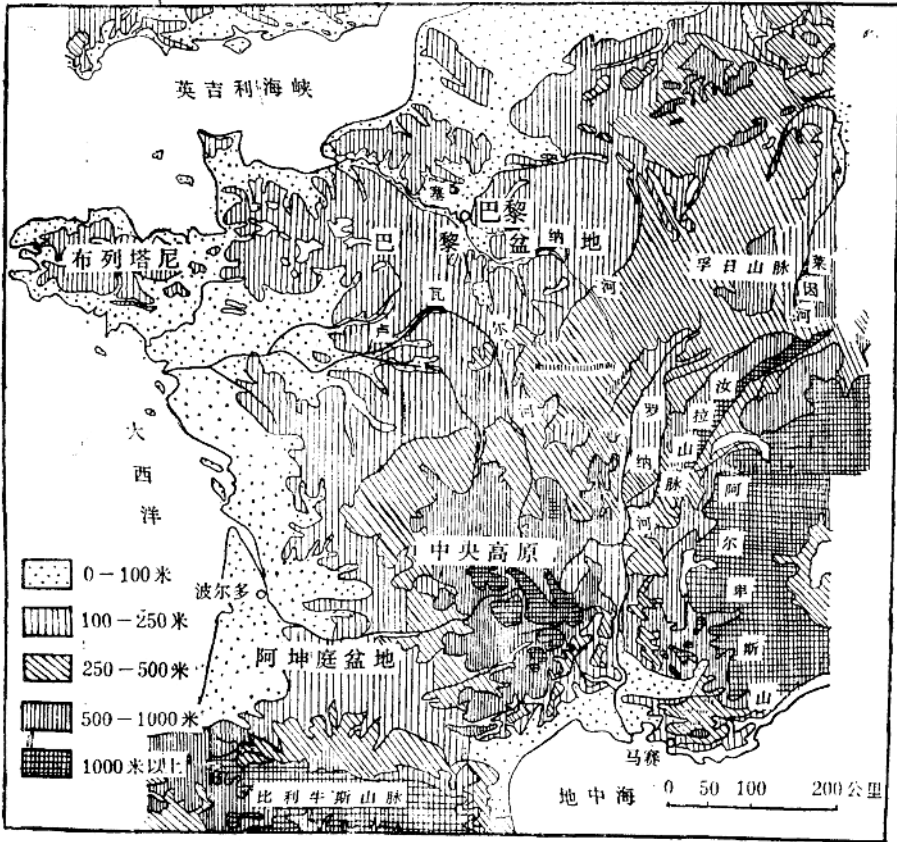


图2 法国的地形

其兼有大西洋的、大陆的和地中海的气候特征，由于两面临海，带来了既无严寒酷暑，也少大旱或淫雨的温和气候，一月份平均气温一般都在 0°C 以上，大西洋及地中海沿岸还在 6°C 以上，仅在高山地区才在 -10°C 之下；七月平均温度南方高于 20°C ，而北方一般在 $15-20^{\circ}\text{C}$ ，高山地区不到 10°C (图 3)，年平均气温南方为 15°C ，北方为 10°C ，霜期一般在 80 天以下；滨海地区在 40 天以下，仅高山地区达 100 天以上。

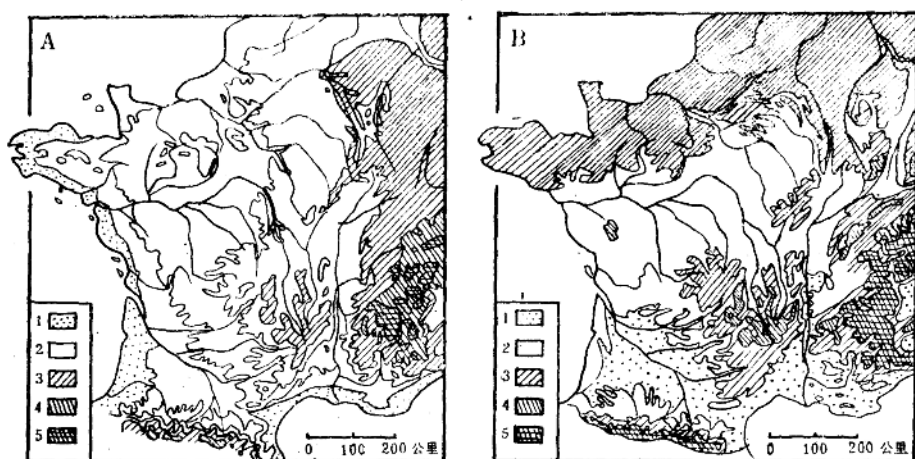


图 3 法国一月及七月平均温度分布图

A. 一月份平均实际气温

1, 6° 以上; 2, $6^{\circ}-0^{\circ}$; 3, $0^{\circ}-5^{\circ}$; 4, $-5^{\circ}-10^{\circ}$ 以下; 5, -10° 以下。

B. 七月份平均实际气温

1, 20° 以上; 2, $18^{\circ}-20^{\circ}$; 3, $15^{\circ}-18^{\circ}$; 4, $10^{\circ}-15^{\circ}$; 5, 10° 以下。

法国各地年降水量受地形影响都在 500 毫米以上，阿尔卑斯山区、中央高原及比里牛斯山区年雨量可达 2000 毫米以上，中央高原南部迎风坡可达 4000 多毫米，而北部巴黎盆地和西南部阿坤廷盆地的年降水量都在 1000 毫米以下 (图 4)。降水量在各季的分配比较均匀，一般都有两个季节为雨季，其中大西洋及地中海滨海地区以秋冬为雨季。法国南部有春秋二个雨季，而北部雨季在夏秋二季。高山地区积雪 (海拔 1000—1500 米以上)，可从 12 月持续到 4 月，厚度一般为 1.5—3 米，有些地区甚至 6—8 月也会降雪，现代冰川复盖面积，在阿尔卑斯山区为 300 平方公里，而比里牛斯山区仅 21 平方公里。

法国的地质特征，按地质发展史可分为海西宁褶皱区和阿尔卑斯褶皱区两大部分，前者占据了法国绝大部分地区，而后者仅分布在阿尔卑斯山区及比里牛斯山区 (图 5)

二叠系以前的地层，以片岩、砂岩、硬砂岩为主 (寒武系、志留系及石炭系复理石)，其中寒武系、泥盆系、石炭系也有厚 200—300 米的石灰岩及白云岩。二叠系以红层为主，为紫红色夹灰白色砂岩，泥岩等。中生界至第三系地层，在比利牛斯、阿尔卑斯地槽区，仍以复理石及泥灰质灰岩为主，并参与了阿尔卑斯运动的强烈褶皱及断裂。但在广阔的海西宁褶皱区，则中生界及第三系以厚达 1500—3000 米的浅海相碳酸岩为主，产状平缓，盖在海西宁褶皱基底之上 (图 6)。

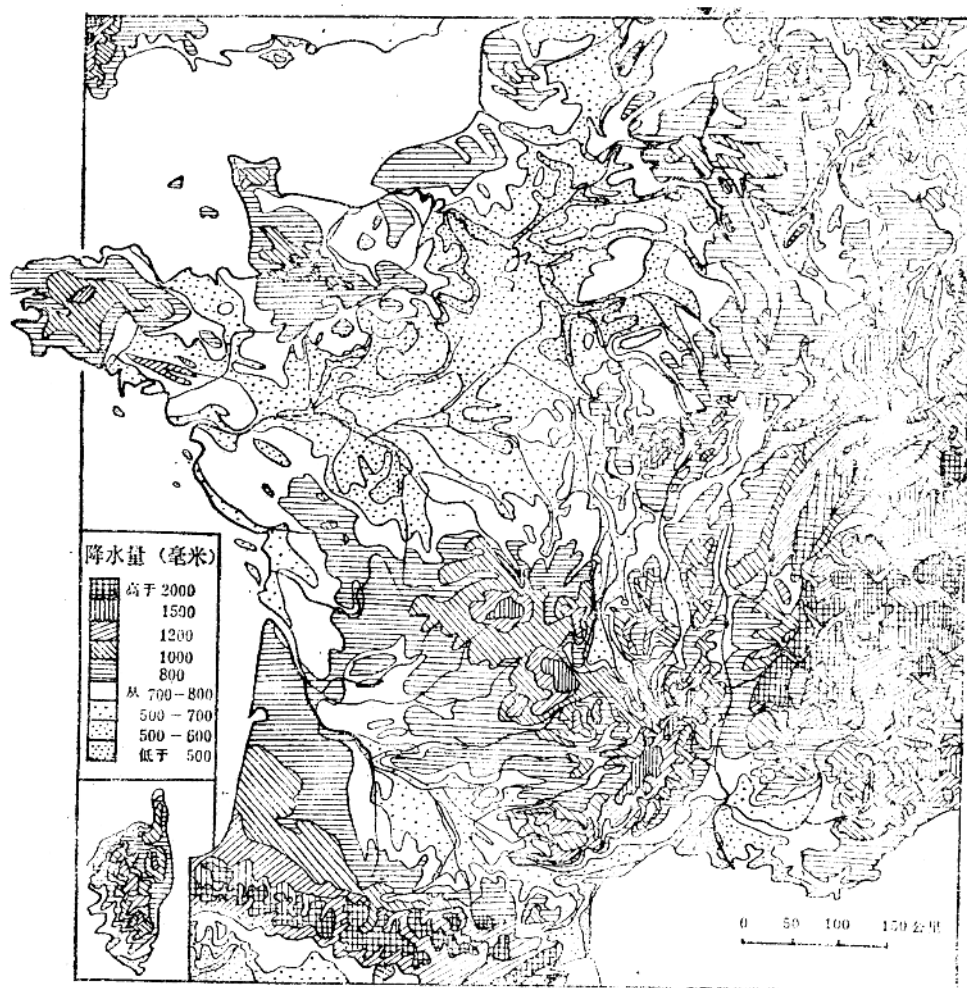


图4 法国年平均降水量分布图

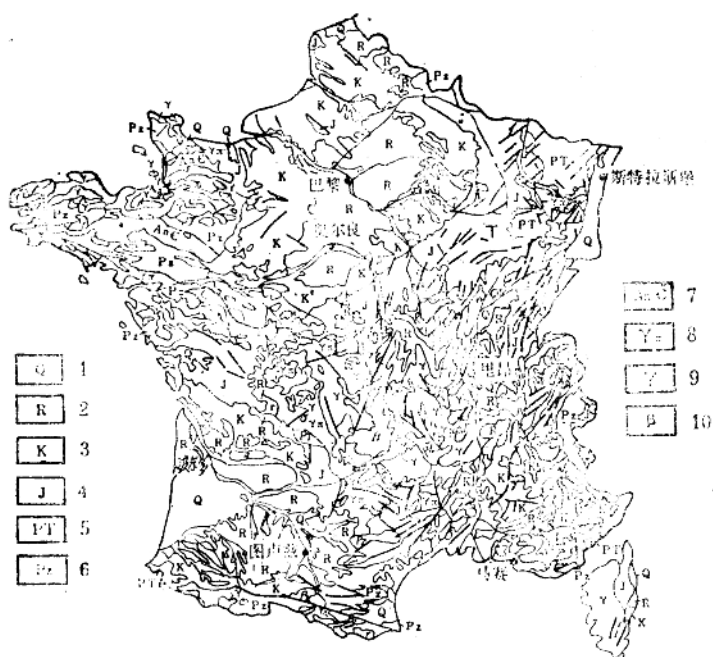


图5 法国地质略图

1—第四系；2—第三系；3—白垩系；4—侏罗系；5—二叠—三叠系（并层）6—古生界；
7—前寒武系变质岩；8—片麻岩；9—花岗岩；10—火山岩

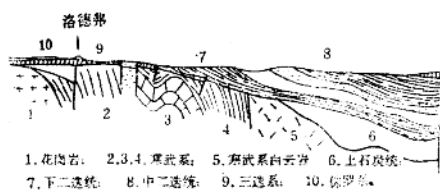


图6 中央高原南部洛德弗地区二叠系与下伏地层的角度不整合接触关系

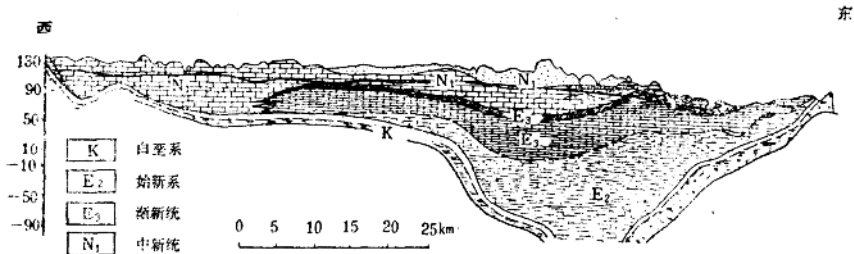


图7 巴黎盆地中部地质剖面(奥尔良北15公里)

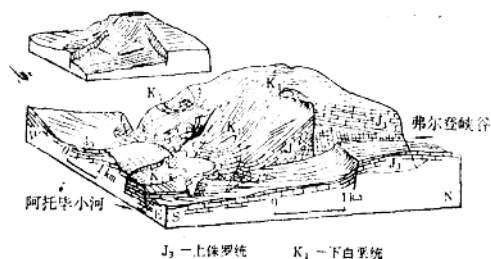


图8 马赛东北部弗尔登峡谷邻近区地质立体素描图

中央地块及阿莫利康地块,为海西褶皱基底出露区,分布古生界,前寒武系及大片的岩浆岩,而在巴黎盆地,阿坤廷盆地,以及中央地块四周的广大地区则主要是产状平缓的中新生界碳酸盐岩盖层,成为法国几个最主要的岩溶区,其典型地段的地质剖面示于图7及图8。

法国的第三纪为干热气候(继湿热的晚白垩世之后),除了巴黎盆地及阿坤廷盆地的海浸及拗陷区的湖相沉积外,以广泛的准平原化为特征,中央高原及阿尔卑斯山前一些海拔500—1000米的高原面大部为晚第三世准平原化的产物,它在岩溶发育史上有重要意义。

法国第四纪,曾受多期冰川影响。在比利牛斯山区及阿尔卑斯山区,冰碛层广泛分布,而来自阿尔卑斯山的冰碛层,在里斯期可向西扩展到罗纳河平原,直至里昂附近,根据历史记载,近一千年来,阿尔卑斯山区的冰川活动与大气降水量的变化关系很密切,在11—17世纪,气候干燥,阿尔卑斯山几乎没有冰川,而在17—19世纪,雨量丰富,冰川前进;二十世纪以来,冰川处于退缩状态,而近十年又复前进。目前,在法国及瑞士境内,对重要的冰川都设有观测点,监测其活动情况。在中央高原及其以南地区,第四纪火山活动强烈,在蒙彼利埃市南面地中海边的阿格达,还见有第四纪的火山口,目前,其附近地区仍为地热异常区。在蒙彼利埃南面还有厚约10米的第四系湖相灰岩。

二、法国岩溶概况

(一) 岩溶分布、分类及可溶岩的基本情况

法国岩溶区,包括不同发育程度的都统计在内,约12万平方公里,即占本土面积的1/4。阿维埃斯教授按照其构造特征、分布情况及埋藏条件分为五种类型(图9):①以变质岩及岩浆岩为主的零星岩溶区;②“盆地”型岩溶区;③复盖型岩溶区;④碳酸盐岩产状平缓的岩溶区;⑤强烈褶皱断裂的岩溶区。

法国可溶岩以碳酸盐岩为主,在有些地区的一些层位中也含有蒸发岩,如在马赛东面的普罗旺斯岩溶区,及比利牛斯山北部区,三叠系地层中含有石膏、岩盐;在卡尔卡松东北面的敏纳弗岩溶区的渐新统也有含石膏层;巴黎盆地第三系也有石膏层;在东北部的洛林,阿尔萨斯地区,三叠系地层中含有著名的岩盐及钾盐矿床。

最老的碳酸盐岩属寒武系,为石灰岩、白云岩及钙质片岩,厚度一般为200—300米,最厚400米,常有白云石化以至大理石化,主要出露在中央地块,阿莫利康地块,比利牛斯山区等地,受地层构造条件控制,出露面积一般不大,构成较小的水文地质单元。在敏纳弗地区寒武系白云岩以角度不整合关系直接伏于始新统含有孔虫化石 *Alveolina* 的灰岩之下,成为第三系盆地中勘探地下水的主要目的层之一。志留系上部有的地区有黑色灰岩。泥盆系碳酸盐岩出露地区除同寒武系外,还见于东北部与比利时交界地带的阿登地区。在比利牛斯山区见到中上泥盆统灰岩为厚层浅灰色致密状,厚300米,最厚处达600米,有的碳酸盐岩层控金属矿床(如耐比乌铅锌矿)。泥盆系灰岩分布也很零星,构成一些小的水文地质单元。有的受冰川或融雪补给,出露岩溶泉。在奥德河源头地区,有一处泥盆系灰岩出露东西长35公里,南北宽1—5公里,有许多落水洞,伏流、岩溶泉,并有地下分水岭迁移现象。

石炭系碳酸盐岩分布地区大致同寒武系及泥盆系碳酸盐岩,但更为零星。在法国东北部及北部的石炭系灰岩中,有许多白垩纪前发育的天然竖井,直径20—150米,其间充填上复岩层的碎屑,成为对法国及比利时某些煤田的勘探开采有着重要意义的古岩溶现象。

法国最主要的岩溶化层位属中生界,由总厚度达3000米的碳酸盐岩及碎屑岩组成,其中尤以侏罗白垩系最重要。碳酸盐岩一般为灰白色、浅灰色,包括有致密块状灰岩、结晶灰岩、生物碎屑灰岩、鲕状灰岩、白垩、糖粒状白云岩、泥灰岩等多种岩性。其水文地质特性也比较复杂,其中白垩的孔隙度为1—10%,白云岩孔隙度1—9%,有的地方成为比较均匀的孔隙型岩溶含水层,而致密灰岩孔隙度仅1%—1%,贮水主要依靠裂隙及岩溶空间,是典型的含水极不均匀的岩溶含水层,同我国南方三迭纪以前的老碳酸盐岩十分相似。法国中生界地层中碳酸盐岩与碎屑岩的组合关系因地而异,纯碳酸盐岩连续厚度最大的可达500米至800米,现举几个主要岩溶区的碳酸盐岩地层剖面说明如下:

甲、巴黎盆地东南部的侏罗白垩系碳酸盐岩。总厚度1643米,以碳酸盐岩与碎屑岩反复

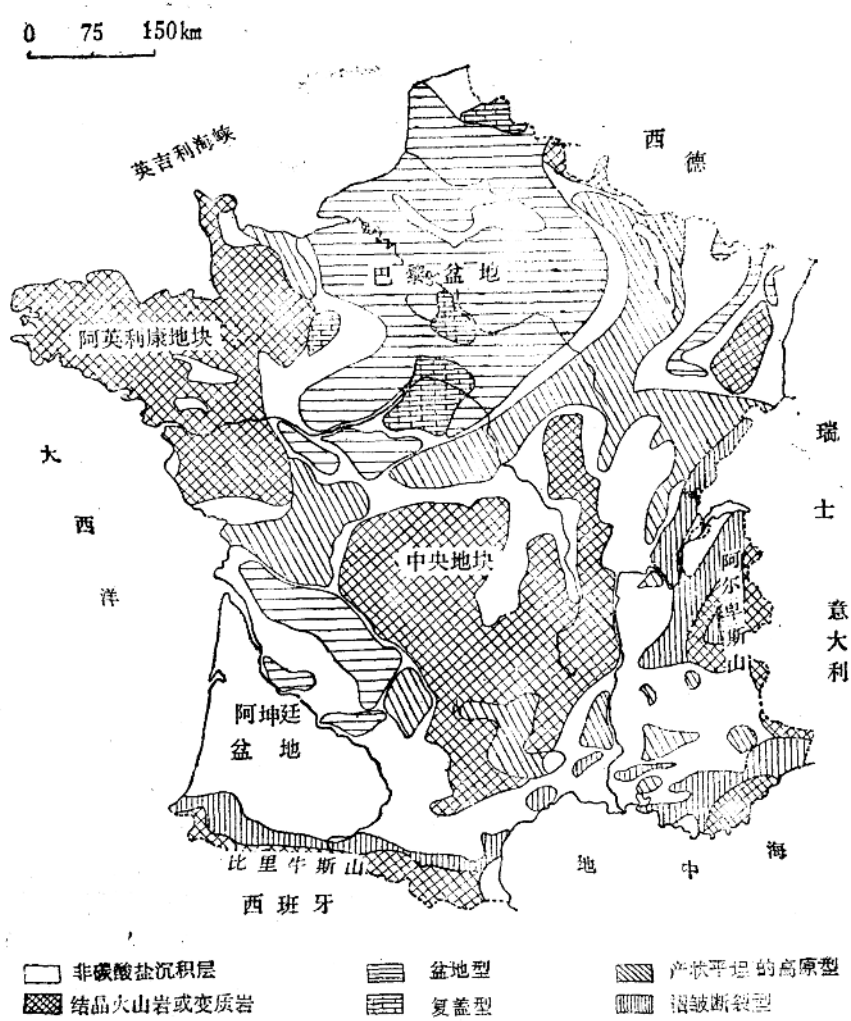


图9 法国岩溶的基本类型及分布情况

交替为特征，从水文地质意义上说类似我国贵州的情况，纯碳酸盐岩最大连续厚度为320米。

- V、白垩系上统
 - 18. 致密白垩及燧石 320米
 - 17. 灰色泥灰质白垩 60米
 - 16. 层状硬质白垩，底部有云母、海绿石砂岩 45米
- IV、白垩系下统
 - 15. 塑性粘土及泥灰岩 30米
 - 14. 铁质砂、砂质粘土、绿色砂、黑色粘土 110米

13. 生物碎屑灰岩与泥灰岩互层	30米
12. 钙质砂岩	5~15米
III、侏罗系上统	
11. 微晶灰岩	50—80米
10. 致密灰岩与泥灰岩互层	50—100米
9. 白垩质鲕粒灰岩及微晶灰岩	105米
8. 微晶灰岩夹泥灰岩	150米
7. 结晶致密灰岩, 底部为燧石灰岩	180—230米
II、侏罗系中统	
6. 泥灰质灰岩、生物碎屑灰岩、鲕状灰岩	195米
5. 致密状海百合灰岩	15米
I、侏罗系下统	
4. 片岩及黑色泥灰岩	65米
3. 含海百合钙质砂岩	3~5米
2. 云母质泥灰岩、泥灰质灰岩	70米
1. 致密状灰岩、生物碎屑灰岩	13—18米

乙、中央地块周围的侏罗系碳酸盐岩。中央高原岩溶区的主要岩溶化地层是侏罗系碳酸盐岩, 其出露总厚度可达1150米, 其中纯碳酸盐岩的最大连续厚度为500米, 其典型剖面如下:

5. 上侏罗统灰色白云岩, 厚150米(部份被剥蚀不全)。
4. 侏罗系中统上部薄层灰岩, 300米。
3. 侏罗系中统中下部, 总厚度500米, 自上而下为: 白云岩、泥灰质灰岩、白云岩、泥灰质灰岩。为岩溶化最强层位;
2. 侏罗系下统上部泥灰岩, 厚200米, 构成不透水底板。
1. 侏罗系下统下部, 自上而下为泥灰质灰岩、燧石灰岩、白云岩, 再往下是第三系顶部的砂岩及泥灰岩。

丙、兰至多克地区的侏罗白垩系碳酸盐岩。中央高原以东至罗纳河之间岩溶区的碳酸盐岩, 以上侏罗统与下白垩统之间的地层为主, 总厚度1000余米, 纯碳酸盐岩的连续厚度近800米, 代表性剖面自上而下为:

4. 第三系始新统灰岩, 底部为泥灰岩。
3. 白垩系下统上部灰岩, 厚60—100米; 下部为透水泥灰岩厚200米。
2. 白垩系下统底部至上侏罗统厚层纯灰岩, 厚度近800米, 为主要岩溶化层位。
1. 侏罗系中下统白云岩, 其间夹泥灰岩, 仅出露在本区西部。

阿尔卑斯山西部地区侏罗白垩系碳酸盐岩的典型地形地质剖面示于图10。

第三系碳酸盐岩, 在法国一些地区也是重要的岩溶化层位。巴黎盆地第三系, 由始新统到中新统, 有海相, 泻湖相或湖相灰岩, 如奥尔良附近的中新统湖相砾状灰岩, 厚100余米, 成岩不好, 孔隙度7—15%, 屡有塌陷、地下河、大泉等现象, 成为当地一个重要的含水层, 单井出水量可达一千立方米/小时。在法国南部的纳尔邦地区, 始新统 *Aivcolina* 海相

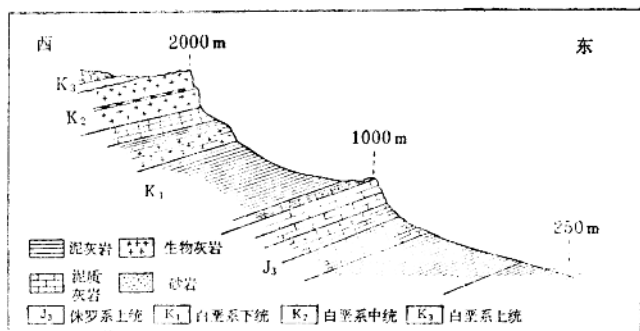


图10 阿尔卑斯山西部地区侏罗白垩系灰岩典型剖面

灰岩结构致密，溶洞、洼地、天生桥等岩溶形态十分发育，最长的洞穴沿其底与寒武系白云岩接触面附近发育，长达4公里以上。

综合分析法国各地区各主要碳酸盐岩层位的岩溶化程度，以中央高原和法国东部汝拉山的侏罗系，以及兰奎多克、普罗旺斯（马赛）、比利牛斯山北坡的白垩系碳酸盐岩最发育；巴黎盆地周围的侏罗系及阿尔卑斯西南部的侏罗系、白垩系次之；而巴黎盆地中心的白垩系第三系较弱（图11）。

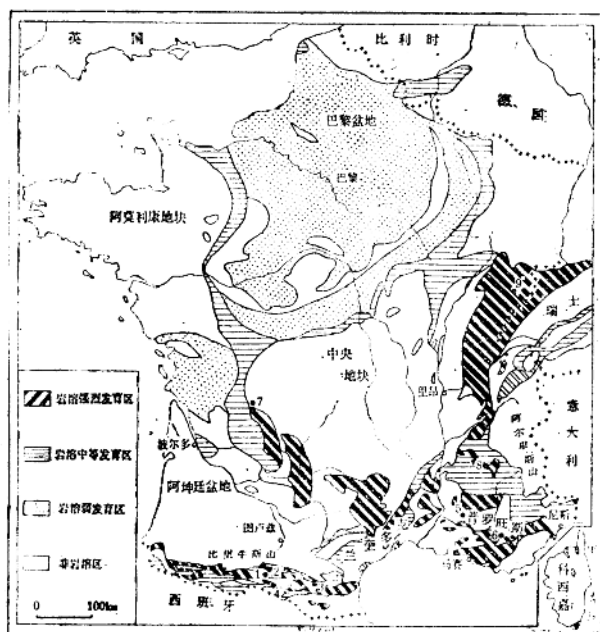


图11 法国岩溶发育程度分区图

(二) 岩 溶 地 貌

法国的岩溶地貌, 没有我国南方那样的热带峰林地形, 而是以坡立谷、洼地等负地形为主, 但也不像南斯拉夫第纳尔岩溶区那样时常可见到规模很大的多级坡立谷。如果综合起来, 则各种微岩溶地貌形态, 如溶痕、溶孔、溶槽、石牙、岩屋、溶洞、竖井、消水洞、天生桥等, 以及干谷、盲谷、封闭洼地、坡立谷等负地形, 在法国都可见到。

由于法国各地碳酸盐岩层组类型、地质构造条件、地质发展史, 以及现代地形高差和气候条件的不同, 其岩溶地貌也具有不同特色, 可分为高山型、高原型、滨海型、盆地型四类。

高山型岩溶主要见于阿尔卑斯及比利牛斯山区, 最大的特色是有大片溶沟, 有人称为“溶沟之乡”。如加普附近的阿尔卑斯山区, 海拔2200—2400米, 那里侏罗系灰岩上的溶槽宽达12米, 深达25米, 底部积雪, 这里植被稀少, 冰雪融化的水有很强的溶蚀侵蚀能力, 导致大片溶沟的产生。此外, 在高山型岩溶区也可见到干谷、冰洞、地下冰川等形态。在有的冰蚀U型谷的底部, 还有小形碟状封闭洼地。阿尔卑斯山区褶皱断裂发育, 岩溶水文地质单元的面积一般较小, 但受冰雪水补给, 泉水动态比较稳定, 水温很低, 如阿尔卑斯山麓的其拉特泉, 补给面积172平方公里, 流量年变幅50倍(1—50立方米/秒), 水温6℃。在比利牛斯山东段北麓(阿日埃口地区), 海拔1000米左右地带, 白垩系灰岩中有许多坡立谷, 长宽1—5公里, 面积1—30平方公里。

高原型(“高斯”Causse)岩溶地貌。在法国分布较广, 也是比较有特色的。法国的“高斯”是指的碳酸盐岩产状平缓的岩溶化高原, 主要分布在中央高原四周, 及罗纳河与阿尔卑斯山之间的地带。这种类型的基本特点是高原和峡谷, 高原面上有碟形洼地及竖井等各种溶蚀形态。而峡谷则具有先成河性质, 蛇曲很多, 峡谷后期改造下切导致有的蛇曲高悬成古河道, 并有天生桥。如蒙彼利埃市西北40公里处的布伦达斯岩溶高原面, 海拔700—800米, 与河流相对高500—600米(图12), 高原面上沉积有上新统砾石层。高原面及其岩溶形态, 经历了海退以后, 特别是晚白垩世以后漫长的不同气候条件下的发育过程, 其中晚白垩世为潮湿热带气候, 渐新世为半干旱热带气候, 渐新世至中新世为干旱热带气候, 产生了高原面上残存的红土层, 及残留石林地形, 晚中新世为夏季干热冬季冷的气候, 而在第四纪则为冰期寒冷、间冰期温暖的气候, 造成一些地区的霜冻风化堆积层。高原下部侏罗系下统不透水的泥灰岩的存在(图12), 给上复碳酸盐岩中地下水的强烈循环造成了有利条件, 地下河塌顶产生断头河, 断头河逐步后退就留下峡谷。高原和峡谷相邻, 给许多深洞的发育造成了有利条件, 如阿尔卑斯山西部格勒诺布尔西的弗尔科斯岩溶高原面, 相对高1000多米, 主要由白垩系中下统灰岩构成(图13), 封闭洼地直径一般大于100米。这里有垂深1135米的布格洞, 为世界第二深洞, 进口标高1460米, 洞内有一大地下河系, 其出口在格勒诺布尔西5公里的萨森纳, 标高仅290米。该区雨量丰富(1500毫米/年以上), 碳酸盐岩年剥蚀量达0.1毫米。高原型岩溶区由于

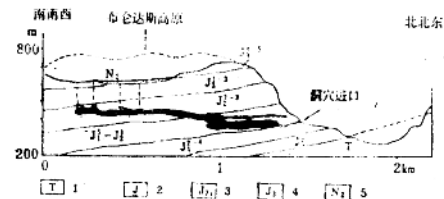


图12 布伦达斯岩溶高原地貌与洞穴关系剖面

1. 三迭系 2. 下侏罗统 3. 中侏罗统
4. 上侏罗统 5. 上新统砾石层

地层平缓，碳酸盐岩出露面积大，成为许多大型岩溶泉或地下河系的补给区，地下河系长可达10余公里到数十公里。

滨海型岩溶地貌，见于地中海沿岸地区。由于利翁湾在渐新世以来的下沉，造成碳酸盐岩裸露的弯弯曲曲的海岸，并有高达400米的陡崖突立在海面之上(图14)。

地中海型气候虽然年雨量不小于800毫米，但分配不均，在炎热的夏季几乎没有雨，造成白色光秃的碳酸盐岩常常完全裸露。碳酸盐岩表面常见溶痕、石牙、溶沟、碟形洼地、落水洞、干谷等溶蚀形态，更重要的是有许多大岩溶泉或地下河从海底冒出。这个地区岩溶受到二个重要的因素影响，即古气候的变迁及海平面的大幅度升降。白垩纪和第三纪为炎热气候，而第四纪为寒冷与温暖气候交替，有的地区（如马赛附近）中白垩世海退以后的古岩溶形态被铝土矿充填，后者又被上白垩统陆相沉积所盖。始新世至早中新世为主要岩溶高原面的形成时期，而在有些地区高原面在渐新世开始下沉，造成中中新世海浸，淹没了许多岩溶形态。晚中新世以后，逢蒂期大规模海退，海水面退到目前海水位以下约200米，造成一些峡谷深部的及滨海的强烈岩溶化。上新世至早第四纪海水又上升到目前水位以上约100米，造成一些高层洞及悬谷，中第四纪到晚第四纪间，海水面以振荡方式波动于+100米与目前海面之间。冰期海退，导致河谷及地下水网的下切。在武木冰期以后，海水面由-80米上升到目前位置，造成一些岩溶形态的下部甚至全部被淹。这是法国地中海沿岸海底泉或淹没式地下河出口很多的原因。

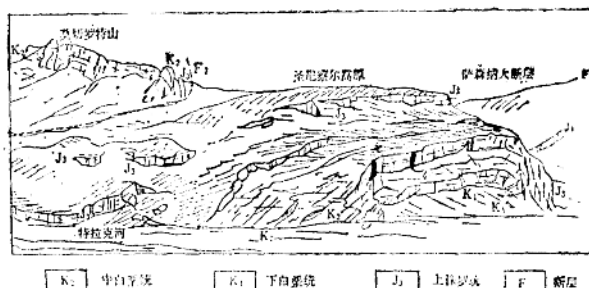


图13 格勒诺布尔市西望费尔科斯岩溶高原



1. 中白垩统灰岩； 2. 上白垩统下部砂岩； 3. 上白垩统中部泥灰岩；
4. 上白垩统上部含砂质扁豆状灰岩。

图14 马赛东卡西附近地中海海岸地貌

盆地型岩溶地貌，以巴黎盆地为例。巴黎与奥尔良之间的博斯，是第三系灰岩岩溶区（图15），地势平坦，海拔100—250米之间，间有宽缓的丘陵，相对高几十米，塞纳河与卢瓦尔河两岸有宽几公里到十几公里的阶地，植被很好，丘陵上为森林，其间的平地为大片农田，复盖较厚，基岩露头很少，没有明显的岩溶地貌，仅有一些碟形洼地、塌陷点，以及

大型岩溶泉等。

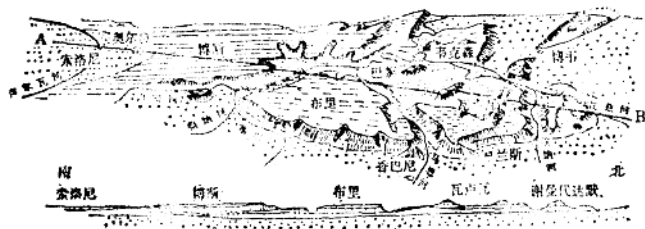


图15 巴黎盆地典型地段地貌图

(三) 洞 穴

法国的地下岩溶同地表不同，形态十分发育。就这次考察所见，特别是在南方高原型岩溶区（即高斯地区），侏罗系及白垩系碳酸盐岩中，有许多大型洞穴系统，同我国西南岩溶区颇为相似。如登德格罗洞穴系（在格勒诺布尔市北的夏特里斯高原），总长27.715公里；柯雷洞穴系（在罗纳河西的奥赫德希高原）总长23公里；戈德福索比耶洞穴系（在奥赫德希高原），总长22公里。

法国的洞穴研究，除了专业单位，科研教学单位的工作外，还有法国洞穴学会所属的6000余名业余洞穴爱好者的探洞活动，长期以来编录了许多洞穴。在洞穴形态、洞穴水文、洞穴沉积、以及矿产、化石、史前文化、现代洞穴生物等方面积累了大量资料，研究程度比较高，为探讨法国岩溶发育规律提供了重要的基础资料。

同地貌发育的漫长过程相适应，高斯地区的洞穴系统也常常是不同地质历史时期、不同发育方向、不同类型的洞穴交织在一起的复杂组合。高原面上被充填的白垩纪及第三纪洞穴中层布满钟乳和石笋，常被底部现代地下河系及其上的竖井，天窗所贯通，构成了补给面积达100—1700平方公里的岩溶水文地质单元。产生此种情况的条件，一方面是产状平缓的巨厚质纯碳酸盐岩和高原峡谷所构成的可溶岩空间分布的基本格局，有利于地下水的循环，另一方面是雨量丰富而且季节分配较均匀，一些地区又受冰雪融水补给，在有利的构造条件下，还受到来自非岩溶区的外源水的补给，因此有较高的地下迳流系数（平水期14—35升/秒/平方公里，枯水期3—6升/秒/平方公里）。

卡奥尔东北40公里的格兰梅特高原，由侏罗系中统灰岩构成，由东部结晶岩、三叠系及侏罗系下统碎屑岩山区来的地表水流入该岩溶区后，全部通过消水洞补给地下河，其中奥西地下河系（图16），汇水面积约200平方公里，干流直线距离22公里，高原面标高300—400米，地下河面标高100米左右，沿途有许多深数十米到100余米的竖井，天窗。该地下河出口标高109米，枯水季流量0.5立方米/秒，洪峰可达40立方米/秒。格兰梅特高原北部另一地下河系（圣乔治泉地下河），干流长15公里，出口流量1—10立方米/秒，著名的帕第拉克竖井，就是该地下河源头附近的一个天窗，竖井总深100米，底部为高约50米的崩坍岩块堆积，但侧面可进入地下河廊道。该廊道以溶蚀侵蚀形态为主，高一般50余米，最高处94米，而宽仅7米至20余米，高宽比达7倍，壁上常有流痕边槽等，并因岩层软硬不同而呈锯齿状，是典型的峡谷式廊道。但廊道的上部，仍有较多钟乳石、石笋、边石坝等化学沉积物。该洞内