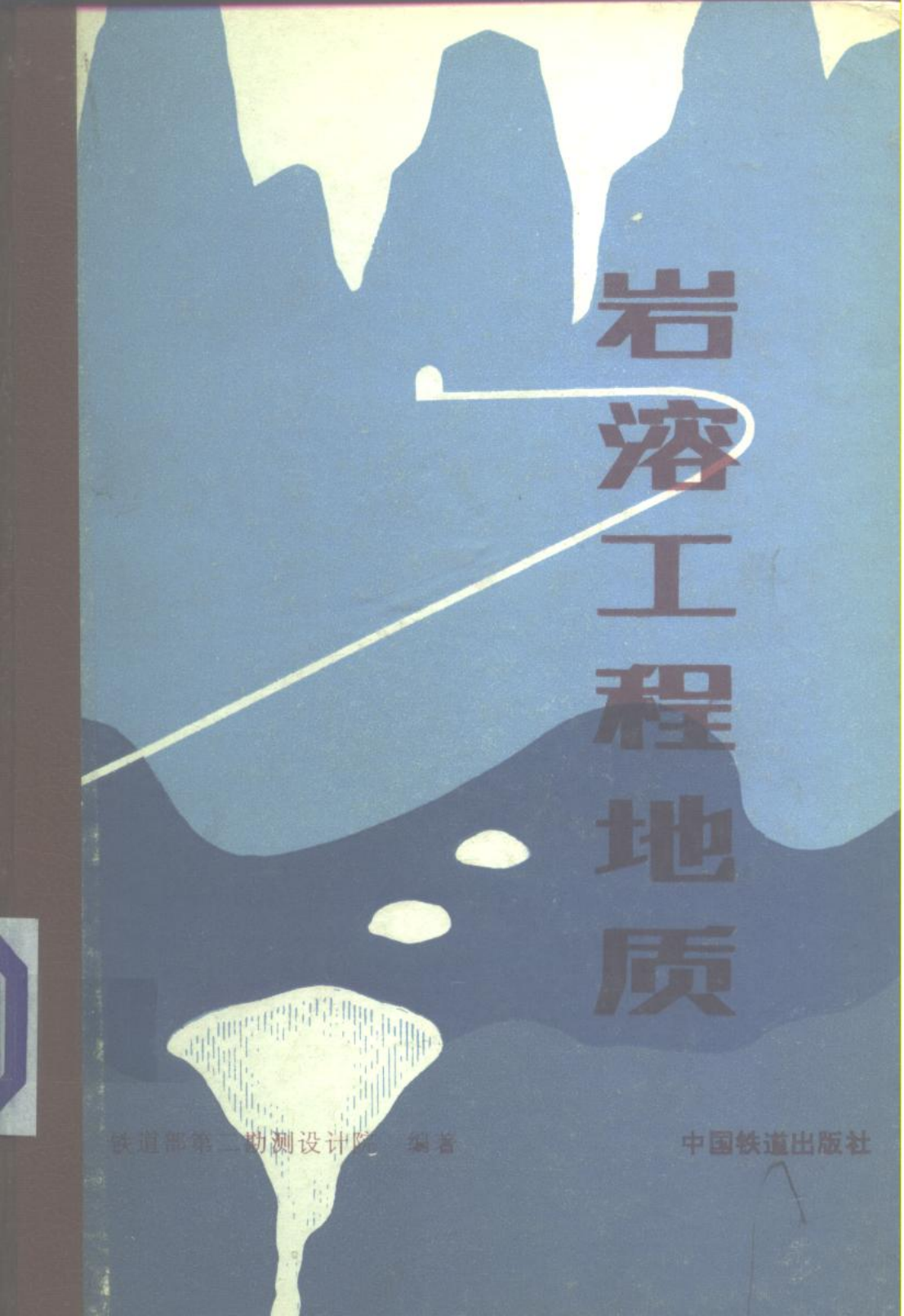




岩溶工程地质

铁道部第二勘测设计院 编著

中国铁道出版社

铁路特殊工程地质技术丛书

岩 溶 工 程 地 质

铁道部第二勘测设计院 编著

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 4 年 · 北 京

内 容 简 介

本书根据中国岩溶的特点，总结了我国西南及中南岩溶地区的铁路建设经验和科研成果。内容分四大部分：（1）岩溶分布特征，发育规律和工程地质问题；（2）岩溶调查方法和探测技术；（3）岩溶地区的线路方案选择和工程处理；（4）岩溶水预测和洞穴稳定性分析等。

本书是工程地质丛书之一，着重研究了岩溶工程地质和岩溶水的活动规律，在工程实践中积累了丰富的经验。可供工程地质、勘测设计、科研、教学及有关工程建设人员参考。

ZW43/18

岩 溶 工 程 地 质

铁道部第二勘测设计院 编著

中国铁道出版社出版

责任编辑 施以仁

封面设计 赵敬宇

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168 1/32 印张：10.875 字数：271千

1984年8月第1版第1次印刷

印数：0001—4,000册 定价：2.70元

前 言

岩溶对铁路工程的危害很大，诸如岩溶水的侵袭、溶洞顶板坍塌及大规模地面塌陷等等，是铁路建设中的一个重要工程地质问题。

我国在西南、中南岩溶地区铁路建设中，遇到和处理了大量的岩溶地质问题，积累了较丰富的实践经验和科研成果。在此基础上，并吸取部分路外单位的经验，将铁路岩溶工程地质问题分作四个方面予以论述。

岩溶发育规律方面：主要介绍了西南铁路沿线岩溶发育的特征，岩溶地貌分布；作了黔中至桂东铁路沿线的岩溶地貌剖面及演化模式图；提出在单一碳酸盐岩层的分水岭地区以横向岩溶水为主，在碳酸盐岩层与非碳酸盐岩层组成的分水岭地区以纵向岩溶水为主，并存在纵向岩溶水的地下分水岭，且均具有岩溶水动力垂直分带的论点；探讨了岩溶水动力剖面分带和贮水构造分类的问题。在此基础上分析了岩溶对铁路工程的危害性。

岩溶勘测方面：侧重用多种方法预测洞穴的区域分布；大型洼地水位及岩溶水动态的调查分析；航片和卫片判释，常用物探和近代物探技术，以及钻探等在岩溶工程地质方面的应用。

岩溶水和洞穴稳定性的评价方面：根据岩溶地区长隧道涌水观测资料探索了汇水面积与集水面积的圈定方法；渗入系数与渗入量转化为涌水量的计算；用洼地渗入量法和水均衡的原理计算隧道涌水量；以及隧道涌水地段及涌水时间的预测。对基岩洞穴顶板安全厚度的评价，提出了近似结构分析、厚跨比分析、有限元分析等多种方法，并作动载试验验证上述各法的实用价值。

铁路工程措施方面：从岩性、地质构造及岩溶地貌观点出发提出了岩溶地区的选线原则；总结了岩溶危害的处理措施。

此外，在西南铁路建设中，还经常遇到可溶性蒸发盐岩层的膨

胀和侵蚀作用所引起建筑物变形破坏问题，亦编入本书附录中。

本书由长期参加铁路岩溶工程地质工作的同志集体编写。由鲍鹤龄、陈国亮主编。第一章的第一、二、三节及第三章第一节由鲍鹤龄执笔；第一章第四节，第二、五、六章，第四章第三节及第八章第一、三节由陈国亮执笔；陈裕昌编写第三章第二、三节；高华汉编写第三章第五节；唐民德编写第四章第一节及附录；王衡编写第四章第二节；张江华编写第三章第四节及第七章；李典璜编写第八章第二节。

本书经陈光曦审阅，协助本书编写的还有王怀璆、李乃非、涂正林等同志。铁道部第四勘测设计院和柳州铁路局提供了不少材料，尚有很多单位和同志对本书给予了支持和帮助，在此一并表示谢意。

铁道部第二勘测设计院科学技术研究所

1983.1

目 录

第一章 岩溶发育的一般规律.....	1
第一节 岩溶与岩性.....	1
一、碳酸盐岩的成分与结构、构造（1）；二、碳酸盐岩的岩层组合关系（10）；三、岩溶层组类型与岩溶发育程度（10）	
第二节 岩溶与地质构造.....	13
一、碳酸盐岩与非碳酸盐岩在空间位置的组合关系对岩溶发育的影响（13）；二、不同性质的断裂对岩溶发育的控制（15）；三、褶皱各部位岩溶发育的特征（19）	
第三节 岩溶与地貌.....	23
一、岩溶与地壳运动的关系（23）；二、西南地区岩溶地貌发育特征（26）；三、岩溶地貌形态及其发育特征（31）	
第四节 岩溶水的运动特征.....	44
一、岩溶水与地表水及其它类型的地下水之间的补给关系（44）；二、岩溶化山区地下水的运动特征（45）；三、岩溶化山区岩溶水动力剖面分带与岩溶蓄水构造类型（52）	
第二章 岩溶工程地质问题.....	63
第一节 岩溶水对工程的危害.....	63
一、岩溶地表水的危害（63）；二、岩溶地下水的危害（65）	
第二节 岩溶洞穴对工程的危害.....	67
一、建筑物基础悬空（67）；二、岩溶洞穴对建筑物稳定性的影响（68）	
第三节 洞穴堆积物及碳酸盐岩风化层对工程的危害.....	70
一、粘土质沉积物的松软下沉（70）；二、松散堆积物	

的坍塌下沉 (71) ; 三、碳酸钙沉积物对工程的影响 (71) ; 四、碳酸盐岩风化层对工程的影响 (71)	
第四节 岩溶地区地面塌陷的危害·····	73
一、运营线上地面塌陷危害的实例 (73) ; 二、发生塌陷的原因 (77)	
第三章 岩溶调查方法·····	81
第一节 概述·····	81
第二节 区域洞穴分布的预测·····	82
一、水文网法 (83) ; 二、阶地、剥夷面对比法 (85) ; 三、洼地分析法 (86) ; 四、岩溶洞穴分析法 (93)	
第三节 示踪试验·····	96
一、浮标法 (96) ; 二、食盐法 (97) ; 三、荧光染料法 (100) ; 四、石松孢子法 (101) ; 五、水位传递法 (104)	
第四节 岩溶水的动态观测 ·····	105
一、观测网点的布置 (105) ; 二、观测项目及要求的 (105) ; 三、动态观测资料的分析与应用 (106)	
第五节 大型溶蚀洼地中的水位勘测 ·····	117
一、岩溶地区消水的估算 (117) ; 二、最高积水位的计算 (119) ; 三、实例 (122)	
第四章 岩溶探测技术 ·····	130
第一节 遥感技术在岩溶地质工作中的应用 ·····	130
一、岩溶地区卫星象片、航空象片的判释 (130) ; 二、岩溶地区卫星象片、航空象片的判释标志 (131) ; 三、岩溶地区卫星象片、航空象片在铁路工程地质工作中的综合利用 (139)	
第二节 物 探·····	142
一、电阻率法 (143) ; 二、充电法 (151) ; 三、综合测井法 (154) ; 四、地面甚低频电磁法 (157) ; 五、自然	

电场法 (164) ; 六、激发极化法 (164) ; 七、地震勘探法 (165) ; 八、重力勘探法 (165) ; 九、五极纵轴电测深法 (166) ; 十、孔内无线电波透视法 (166)	
第三节 钻 探	168
一、岩溶地区的桥基钻探 (168) ; 二、岩溶地区的钻探要求 (172)	
第五章 岩溶地区的线路方案选择	176
第一节 从岩性及地质构造观点出发的线路位置选择	177
一、线路避开碳酸盐岩与非碳酸盐岩的接触带 (177) ;	
二、线路避开有利于岩溶发育的构造带 (180) ; 三、线路避开岩溶发育的极强地区 (184) ; 四、线路绕避网状洞穴和巨大空洞区 (186)	
第二节 不同岩溶地貌单元线路位置的选择	187
一、孤峰平原区的线路选择 (187) ; 二、峰林 (峰丛) 谷地及溶丘洼地区的线路选择 (189) ; 三、分水岭地区的线路选择 (191) ; 四、山地河谷区的线路选择 (194) ; 五、斜坡地区的线路选择 (196)	
第三节 隧道内纵坡形式与平行导坑位置的选择	199
一、隧道纵坡形式的选择 (199) ; 二、平行导坑的位置与坡度选择 (199)	
第四节 岩溶地区的总体性选线	201
第六章 岩溶危害的工程处理	205
第一节 岩溶水的处理	205
一、截流 (205) ; 二、排泄 (207) ; 三、围堰 (208) ;	
四、堵塞 (209)	
第二节 岩溶洞穴的处理	209
一、跨越 (210) ; 二、加固 (212) ; 三、绕避 (215)	
第三节 洞穴堆积物的处理	217
一、桩基 (217) ; 二、浮筏 (218) ; 三、换填 (219) ;	

四、风干 (219) ; 五、清爆 (220) ; 六、压浆 (220) ; 七、旋喷桩 (221)

第四节 地面塌陷的处理222

一、填作碎石路堤 (222) ; 二、网格板垫层 (223) ;
三、带洞路基墙或桩基栈桥 (224) ; 四、钻孔充气 (225) ; 五、恢复水位 (225) ; 六、强夯法 (226)

第七章 岩溶地区隧道涌水量的预测227

第一节 概 述227

一、水文地质比拟法 (230) ; 二、解析法 (232) ; 三、简易均衡法 (233)

第二节 均衡法预测隧道涌水量234

一、水均衡原理 (235) ; 二、降雨渗入量计算 (235) ;
三、其它渗入量 (243) ; 四、隧道涌水量 (244) ;
五、用水均衡原理、数理统计的方法计算隧道涌水量的实例 (246)

第三节 隧道涌水的时间和涌水地段的预测250

一、涌水时间的预测 (251) ; 二、集中涌水地段的预测 (251)

第四节 利用隧道已施工段的出水量预测后期涌水量的实例257

一、计算公式 (259) ; 二、计算结果 (259)

第八章 岩溶洞穴稳定性的评价262

第一节 岩溶洞穴顶板安全厚度的评价263

一、完整顶板安全厚度的评价 (263) ; 二、不完整顶板安全厚度的评价 (269)

第二节 有限元分析溶洞的稳定性270

一、计算分析中的几个基本问题 (270) ; 二、有限元分析的电算程序 (275) ; 三、计算成果及数据处理 (276) ; 四、沙坡隧道基础以下溶洞的计算分析 (280) ;
五、融安车站石碴线路基下溶洞的计算分析 (292)

第三节 松散层洞穴顶板坍塌高度的估算	296
一、破裂拱法 (296) ; 二、经验公式法 (297) ; 三、坍塌平衡法 (298) ; 四、洞顶板坍塌堵塞法 (298) ; 五、算例 (299) ; 六、讨论 (299)	

附 录

关于含可溶性蒸发盐岩层的工程地质问题	302
第一节 西南地区铁路沿线含盐岩层的分布	302
一、成昆线西昌以北 (以下简称北段) 分布的含盐岩层 (302) ; 二、成昆线西昌以南 (以下简称南段) 分布的含盐岩层 (304)	
第二节 含盐岩层的化学成分与矿物成分	305
第三节 含盐岩层的物理力学性质	308
一、岩石的极限抗压强度 (308) ; 二、岩石的剪切试验 (311) ; 三、岩石的崩解试验 (312) ; 四、膨胀试验 (313) ; 五、填料夯实试验 (314)	
第四节 含盐岩层的工程地质问题	316
一、硫酸盐对混凝土的侵蚀 (316) ; 二、含盐岩层体积膨胀对建筑物的危害 (326) ; 三、含盐岩层中路堑边坡的稳定性及路堤填料问题 (331) ; 四、含盐地层的溶解及工程处理 (333)	

参考文献

第一章 岩溶发育的一般规律

我国碳酸盐岩系分布广泛，几乎遍及全国，尤以西南地区较为集中。仅就黔桂滇三省而言，碳酸盐岩系出露的面积即占三省总面积的一半左右。境内气候湿润，雨水丰沛，故岩溶极为发育，其类型之多，堪称世界之冠。从图 1—1 及表 1—1 中可以看出，在我国西南铁路沿线地区，无论是高山、丘陵或平原，都有大面积的岩溶分布，而且十分发育，只不过发育的阶段和发育的程度不同而已。

众所周知，岩溶是水对可溶岩的化学溶解作用与机械破坏作用以及由于这些作用所引起的各种现象与形态的总称。岩溶的发生、发展必须具备一定的条件。虽然这些条件是多方面的，但其中主要的是岩石的可溶性与裂隙性，以及水的侵蚀性及其流通条件。前者是属岩性与地质构造的问题；后者主要取决于水文地质及地貌条件。因此，我们即从岩性、地质构造、地貌与岩溶水运动等四个主要方面，分别阐述它们与岩溶发育的规律关系。

第一节 岩溶与岩性

我国西南地区的可溶岩，主要为碳酸盐岩系。从下部古生界至中生界，各种不同地层的碳酸盐岩系均发育有不同程度的岩溶现象。据野外调查表明，碳酸盐岩分布地区的地层岩性对岩溶发育的影响，主要表现为以下几个方面。

一、碳酸盐岩的成分与结构、构造

（一）碳酸盐岩的成分

以川黔铁路沿线地区调查为例，由图 1—2 及表 1—2 中可知，岩溶化程度最强的为灰岩；次为白云质灰岩和白云岩；再次

表 1—1

西南铁路沿线岩溶分布特征表

地 区	地 貌 特 征	地 层 组 合	地 质 构 造
I 黔中高原 岩 溶	低山、两坝、宽谷及浅盆组成的高原。现代剥夷面海拔1000m，其构成分布有孤峰、矮丘、有高原的暗河出口。	震旦系至中三迭统各时代地层均有出露，以二迭系及三迭系中、上统为主，二迭系最广泛，寒武系亦有所见。	一系列长、短轴褶皱呈北东或北北东向排列，断裂多为沿轴向发生的正断层或高角度逆断层。
I 黔东南高原 化 高 原	高原开阔，呈谷状起伏，地势向东南陡降。乌蒙山脉、南、北盘江及牛首等为主要河流，境内多呈峡谷。石林、高原面上发育有二级剥夷面，并发育一系列断陷盆地。	上古生界及中、下三迭统碳酸盐岩分布亦较普遍。	有一系列南北及北东向大断裂分布，褶皱多为短轴状及穹状，常为断裂所破坏。
II 黔北山地 岩	中等切割的中低山。由西向东渐趋低缓，主、支河流多成峡谷，三级剥夷面，海拔1000~1200m者，岩溶发育尤为强烈。	震旦、寒武、二迭及三迭系碳酸盐岩为主，以寒武系为主。	以北东向箱形褶皱束为主，少大型断裂。
II 黔西山地 溶	斜坡地带，地势向东南倾斜。乌江、北盘江及其支流均深切成峡谷。发育夷面为现代分水岭斜坡，发育大型溶蚀洼地、谷地及峰林、峰丛。	二迭、三迭系碳酸盐岩分布广泛，白垩系亦多有分布。碳酸盐岩中，常有碎屑岩与之交互。	受控于娄山弧形构造，褶皱带轴向西，发育有较多的与褶皱轴向一致的断裂。

II 化 山 地	II c 黔桂山地	云贵高原向广西盆地过渡的斜坡地带。起伏剧烈，巨大的簇状峰丛间，注流地、漏斗密布。主河流多成峰谷，支流则常呈伏流。古剥夷面海拔800~1400m，向西北升高。	上古生界碳酸盐岩为主，多厚层，但间有隔水层，如下石炭统的燧石、泥灰岩互层及下二迭统底部的泥岩、泥灰岩互层皆是。	受宜山山字型构造控制，两翼以箱状、短轴状及穹状褶皱为主，多走向断裂，弧顶断裂呈X型。
	II D 湘黔山地	低山丘陵陵区。西南高而东北低，相对高度一般在200m以下。除局部地区外，岩落地貌表现不强烈。	以震旦、寒武系为主，除中上寒武统为碳酸盐岩外，余多为碎屑岩。石炭二迭系碳酸盐岩零星分布，但仍夹有碎屑岩。	属平缓褶皱的断块区，受多字型构造体系控制，构造线以北东向为主。
	II E 川东山地	宽缓的向斜谷与窄陡的背斜岭相间，组成中低山平行岭谷。背斜核部碳酸盐岩又常形成垄脊槽谷地貌，向斜谷中则发育有顺向河。	背斜核部由二迭及三迭系碳酸盐岩组成，两翼则分布碎屑岩。	川东弧形构造，为一系列大致平行的梳状褶皱组成，沿背斜轴常发育走向断层。
	II F 大巴山山地	切割强烈的中山，山脉走向北西—南东，常为密集剥夷面，层伏谷形较清晰，剥夷面上发育有漏斗、水洞，局部地方有峰林。	下古生界至三迭系最为发育，而以三迭系出露较广，多为碳酸盐岩与碎屑岩相间。	山地由线状复式褶皱组成，构造线由北北西折而向北西西，形成向东南突出的弧形，背、向斜紧密相间，受一系列断层制约，剖面上呈迭瓦状。
	II G 大渡河山地	中山及峡谷。大渡河呈东面向线状切割，牛日河、宽谷、盆地及峡谷相间，由南向北注入大渡河，河段多成峡谷。	震旦系及古生界碳酸盐岩为主，二迭、三迭系碎屑岩及前震旦系变质岩多构成隔水层。	发育一系列南北或北北西向大断裂，与之平行的褶皱带多发育为大断裂，或次生断裂所破坏，挽近构造运动以大幅度上升为主。
III 岩 溶 化 平 原	桂东平原	宽谷与盆地组成的平原，河流属西江水系，阶地宽广，呈波状起伏，原上散布着孤峰或峰林并发育有巨大的陷洞。	以晚古生早期以前及二迭系碳酸盐岩为主，仅中泥盆统属岩，石炭、二迭系碳酸盐岩中含较多燧石层。	受广西山字型构造控制，前弧由箱状褶皱组成并发育逆冲断层，两翼且发育有与走向断裂垂直的倾向断裂，弧顶挤压强烈断裂呈X型。

• 4 •

地 区	水 文 地 质 、 工 程 地 质 条 件	岩 溶 组 合 形 态 及 其 分 布
I A 黔中高原 I B 滇东高原	背斜成分水岭补给区，向斜为汇水盆地。沿河多沿隔水带发育。工程地质，有暗河、埋藏深，垂直方向较自由，但有时有较大水患及软土。 高原面上岩溶水垂直带明显，暗河埋藏不深，河谷或洼地、谷地边缘多泉或暗河出口，坡度一般不受控制，少特大型工程，发育的漏斗、洼地使路基处理工程增多，岩溶水患值得注意，较厚的风化壳影响基底及边坡稳定。	溶丘洼地：川黔线久长——贵阳。 峰林（峰丛）谷地：贵昆线贵阳——龙里；黔桂线贵阳——都匀——黄丝；冬草树——一化处。 孤峰平原：贵昆线天龙——化处。
II A 黔北山地	无统一的岩溶含水层。随土层相间的硬碳酸盐岩在产状倾斜时，地下水流作纵向运动。线路在峡谷中，坡度比选余隧通过。隧道常有大量水，建筑物基础可能因遇溶洞而悬空。	溶丘洼地：川黔线凉风垭——桐梓。 ——娄山关、养龙司——息烽——久长。 峰林（峰丛）谷地：川黔线娄山关——遵义——艾田。 山地河谷：川黔线赶水——凉水垭、艾田——乌江——养龙司。
II B 黔西山地	岩溶常常沿隔水边界以暗河或明显出露于谷坡或洼地边缘。山区及斜坡水边垂直带较明显，无统一地下水工程集中，有软土中长，石炭、二迭系中的隧道可能发生塌陷问题。	峰林（峰丛）谷地：贵昆线化处——六枝。 溶丘洼地：盘西线红果地区。 山地河谷：贵昆线六盘山——茨冲、梅花山——且平。 锦、红果——且平。

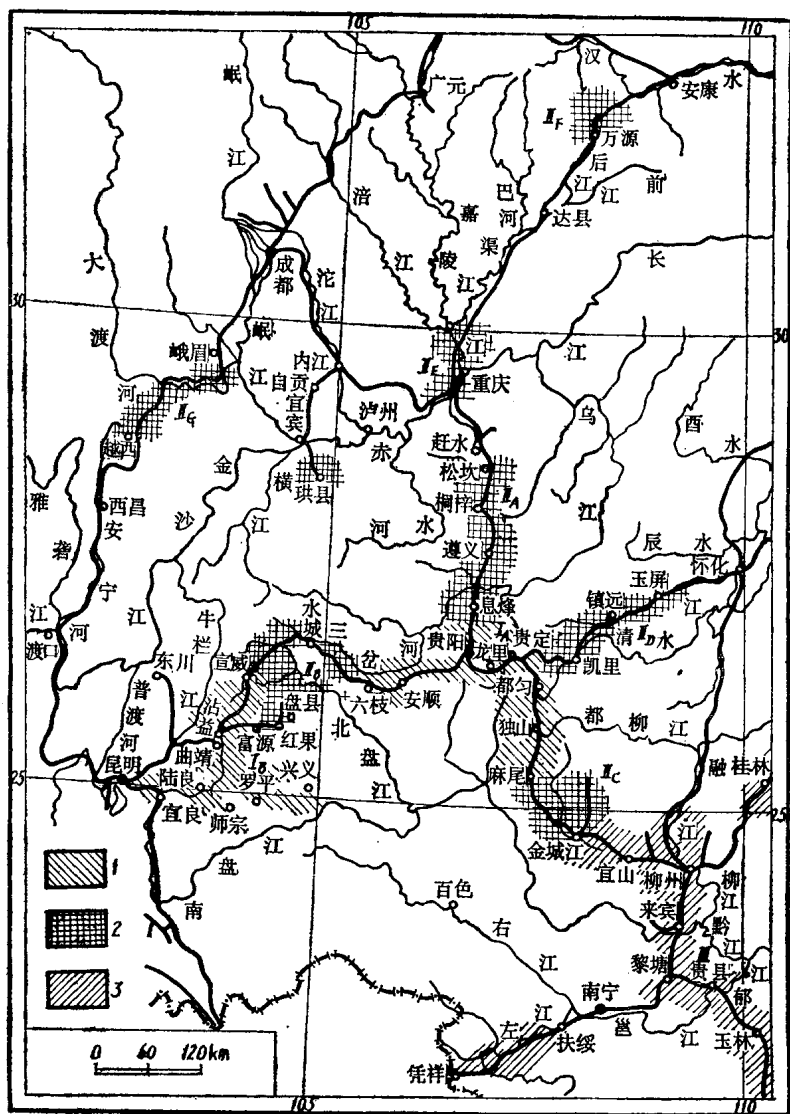


图 1-1 西南铁路沿线岩溶分布略图

1 —— 岩溶化高原, 2 —— 岩溶化山地, 3 —— 岩溶化平原。

I_A —— 黔中高原, I_B —— 滇东高原, II_A —— 黔北山地, II_B —— 黔西山
地, II_C —— 黔桂山地, II_D —— 湘黔山地, II_E —— 川东山地, II_F —— 大
巴山地, II_G —— 大渡河山地, III —— 桂东平原。

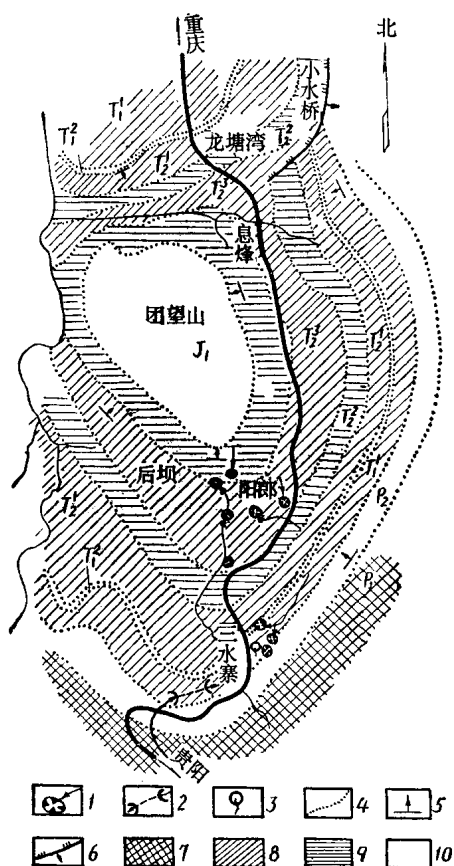


图 1—2 川黔线息烽地区碳酸盐岩地层岩溶发育情况示意图

1——落水洞，2——暗河，3——岩溶泉，4——地层界线，5——岩层产状，6——逆掩断层，7——极强岩溶化地层，8——强烈岩溶化地层，9——微弱岩溶化地层，10——非岩溶化地层。

J_1 ——下侏罗统砂岩， T_3 ——上三迭统薄层白云质灰岩夹页岩， T_3^2 ——中三迭统厚层灰岩， T_3^1 ——中三迭统泥质灰岩， T_2^2 ——中三迭统灰岩， T_2^1 ——下三迭统页岩， T_1^2 ——下三迭统灰岩， P_2 ——上二迭统页岩及煤系， P_1 ——下二迭统厚层块状灰岩。