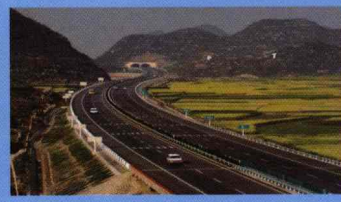


交通科技丛书
JTKJCS

岩溶地区公路修筑 理论与实践

THEORY AND PRACTICE OF HIGHWAY
CONSTRUCTION IN KARST REGION



康厚荣 罗 强 凌建明 等 著



人民交通出版社
China Communications Press

交通科技丛书

岩溶地区公路修筑 理论与实践

康厚荣 罗 强 凌建明 梅世龙
余崇俊 彭建国 马平均 费小申 等 著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统阐述了岩溶地区公路建设中“勘察岩溶、评价岩溶、利用资源、处理病害、保护环境”的理论、方法和技术。全书共五篇,主要内容包括岩溶分类、岩溶地区岩土工程特性、公路工程岩溶环境区划、工程地质勘察方法选择与要求、地球物理勘探新技术、地球物理勘探方法的综合应用、场地与地基稳定性综合评价、岩溶地区筑路材料路用性能、岩溶地区高性能机制砂混凝土配制技术、岩溶地区桥梁桩基承载力评价技术、岩溶路基病害处置技术、岩溶地区隧道病害处治技术、岩溶地区环境评价方法与指标体系、岩溶地区公路建设对水环境的影响及其对策、岩溶地区公路建设对地表覆土的影响及其对策、岩溶地区公路建设对自然植被的破坏及防治对策等。

本书适用于公路规划、勘察、设计、施工以及建设管理人员,亦可供其他相关行业的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩溶地区公路修筑理论与实践/康厚荣等著. —北京:人民交通出版社,2008.12

ISBN 978-114-06972-7

I. 岩… II. 康… III. 岩溶地貌—地区—筑路—研究
IV. U419.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 009237 号

书 名: 交通科技丛书

岩溶地区公路修筑理论与实践

著 作 者: 康厚荣 罗 强 凌建明 等

责任编辑: 沈鸿雁 黎小东

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 29

字 数: 735千

版 次: 2008年12月 第1版

印 次: 2008年12月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06972-7

定 价: 68.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

我国岩溶分布相当广泛,仅裸露于地表的碳酸盐类岩石就有 203 万平方公里,加上被覆盖和埋藏于地下的碳酸盐类岩石,全国岩溶总面积达 363 万平方公里,占国土面积的 1/3 以上。岩溶地区的公路建设面临工程技术、环境保护和可持续发展等诸多难题,这些难题在公路的勘察设计、施工和运营管理各阶段均有所反映,成为制约岩溶地区公路发展的主要技术因素。

本书通过多种技术手段相结合的方法,对岩溶地区公路建设中“勘察岩溶、评价岩溶、利用资源、处治病害、保护环境”等关键技术进行了深入系统的研究;系统地提出了岩溶地区公路工程地质勘察、公路基础稳定性评价、筑路材料资源利用、公路岩溶病害处治和公路工程岩溶环境保护等 5 项技术;建立了公路岩溶环境评价、岩溶路基病害评价、溶洞存在条件桥梁桩基承载力评价和隧道围岩稳定性评价等 4 项评价方法,期望能为岩溶地区的公路建设提供参考和指导。

本书分为五篇共十八章。第一篇为公路工程岩溶环境,主要阐述岩溶的工程分类、岩溶地区岩土工程特性,在此基础上,对公路工程岩溶环境进行区划;第二篇为岩溶勘察与评价,主要阐述工程地质勘察方法、地球物理勘探方法及其综合应用,以及场地与地基稳定性综合评价;第三篇为岩溶地区筑路材料与利用技术,主要阐述岩溶地区筑路材料路用性能、岩溶地区抗滑表层沥青混合料设计、高性能机制砂混凝土配制技术;第四篇为工程处治技术,主要阐述桥梁桩基承载力评价、路基病害处治、隧道病害处治等技术;第五篇为环境保护技术,主要阐述岩溶地区环境评价方法与指标体系,以及岩溶地区公路建设对水环境、地表覆土、自然植被的影响及其对策。

本书由康厚荣主持撰写,具体分工,第一篇分四章由康厚荣、凌建明、雷明堂、周正峰、赵杰华完成;第二篇分四章由罗强、谭捍华、黄家会、汪稔、马平均、陈勇、何文勇完成;第三篇分三章由余崇俊、吴大鸿、周明凯、杨志刚、邓飞完成;第四篇分三章由梅世龙、芮勇勤、梁军林、吴建宁、张林、邓家喜、何文斌、石连富完成;第五篇分四章由彭建国、费小申、周晓娟、胥灿辉、张重禄完成。

本书是以 2002 年度交通部西部交通建设科技项目“岩溶地区公路修筑成套技术”的研究成果为基础编写的。在项目的研究和本书的编写过程中,始终得到了交通部科教司、西部交通建设科技项目管理中心,以及贵州、湖南、广西等省(区)交通厅的关怀与支持,重庆交通科研设计院邓卫东研究员给予了帮助,项目的其他参加人员也为此付出了辛勤的劳动,在此,一并表示深切的谢意。

由于笔者理论水平和实践经验有限,书中难免有欠缺、不妥,甚至错误,恳请各位专家、学者和广大读者批评指正。

著 者

2008 年 12 月

目 录

第一篇 公路工程岩溶环境

第一章 绪论	3
第一节 岩溶地区公路的主要工程技术问题	3
第二节 阐述的主要内容	6
第二章 岩溶分类	8
第一节 岩溶发育条件及其规律	8
第二节 岩溶地貌形态及工程分类	9
第三章 岩溶地区岩土工程特性	12
第一节 碳酸盐岩工程特性	12
第二节 红黏土工程特性	25
第四章 公路工程岩溶环境区划	36
第一节 公路工程岩溶环境区划的目的和意义	36
第二节 公路工程岩溶环境区划的原则与指标体系	37
第三节 贵州公路工程岩溶环境区划	40
第四节 公路工程岩溶环境地理信息系统	59

第二篇 岩溶勘察评价

第五章 工程地质勘察方法选择与要求	65
第一节 勘察阶段的划分	65
第二节 勘察方法及其一般要求	66
第三节 观测与评价	69
第四节 不同阶段的勘察方法与要求	70
第六章 地球物理勘探新技术	77
第一节 三维直流电法	77
第二节 甚高频电磁波层析成像法	90
第七章 地球物理勘探方法的综合应用	103
第一节 地震勘探浅部岩溶方法	103
第二节 地质雷达勘探岩溶方法	110
第三节 电法勘探	118
第四节 物探方法野外对比试验与综合应用	122

第八章 场地与地基稳定性综合评价	137
第一节 场地与地基稳定性综合评价指标.....	137
第二节 场地稳定性评价.....	143
第三节 地基稳定性评价.....	144
第四节 典型工程应用.....	157

第三篇 岩溶地区筑路材料与利用技术

第九章 岩溶地区筑路材料路用性能	169
第一节 成岩地质作用与岩石力学特性.....	169
第二节 路基填石料的分类、选择与控制	174
第三节 岩溶地区粗集料的类型及工程适宜性评价.....	179
第四节 岩溶地区机制砂加工与特性.....	192
第十章 岩溶地区抗滑表层沥青混合料设计技术	198
第一节 岩溶地区沥青路面抗滑表层耐磨集料的选择.....	198
第二节 耐磨耗沥青混合料设计方法.....	204
第十一章 岩溶地区高性能机制砂混凝土配制技术	246
第一节 高性能机制砂混凝土基本特性及有关影响因素.....	246
第二节 机制砂高性能混凝土的变形与耐久性能.....	262
第三节 C50 ~ C80 机制砂高性能混凝土配制技术	267

第四篇 工程处治技术

第十二章 岩溶地区桥梁桩基承载力评价技术	275
第一节 岩溶地区桩基承载特性.....	275
第二节 岩溶地区桩基承载力的评价与确定.....	288
第十三章 岩溶路基病害处治技术	291
第一节 岩溶路基病害特征、分类及预测与评价	291
第二节 岩溶路基病害发生机理.....	303
第三节 岩溶路基病害的处治与效果检测.....	310
第十四章 岩溶地区隧道病害处治技术	329
第一节 溶洞对隧道围岩稳定性的影响.....	329
第二节 岩溶隧道突水突泥防治技术.....	340

第五篇 环境保护技术

第十五章 岩溶地区环境评价方法与指标体系	349
第一节 环境影响评价的基本理论和技术方法.....	349
第二节 水环境评价方法与指标体系.....	351
第三节 自然植被评价方法与指标体系.....	360

第四节 占用土地及地表覆土评价方法与指标体系..... 367

第十六章 岩溶地区公路建设对水环境的影响及其对策..... 375

 第一节 岩溶地区公路建设前水环境状况..... 375

 第二节 岩溶地区公路建设对水环境的破坏特征..... 379

 第三节 岩溶地区公路水环境保护措施..... 393

第十七章 岩溶地区公路建设对地表覆土的影响及其对策..... 401

 第一节 岩溶地区土壤特征..... 401

 第二节 公路建设对地表覆土的影响..... 402

 第三节 岩溶地区公路建设地表覆土保护措施..... 419

第十八章 岩溶地区公路建设对自然植被的破坏及防治对策..... 425

 第一节 公路建设对植被生态环境的影响..... 425

 第二节 岩溶地区公路建设与自然植被保护措施..... 431

参考文献..... 436

第一篇 公路工程岩溶环境

第一章 绪 论

第一节 岩溶地区公路的主要工程技术问题

一、岩溶分布及岩溶环境特点

我国岩溶分布相当广泛,仅裸露于地表的碳酸盐类岩石就有 203 万 km^2 ,加上被覆盖和埋藏于地下的碳酸盐类岩石,全国岩溶总面积达 363 万 km^2 ,占国土面积的 1/3 以上。西南的贵州、云南、广西、四川、重庆,以及中南的湖南、湖北、广东则是我国岩溶最为发育的地区,并构成了世界上最大的连片裸露型岩溶区,西部地区岩溶分布统计见表 1-1。

西部地区(含中南部分地区)岩溶分布统计表

表 1-1

省(市、区)	岩 溶		其中裸露性岩溶	
	总面积(万 km^2)	占全省面积(%)	总面积(万 km^2)	占全省面积(%)
贵州	14.48	82.19	14.07	79.85
云南	21.20	55.19	17.22	44.83
广西	12.75	53.83	10.13	42.77
四川	27.38	56.53	14.25	29.42
重庆	7.84	94.95	3.48	42.10
湖南	9.55	44.96	8.36	39.35
湖北	10.03	53.85	5.64	30.29
广东	2.31	13.05	2.31	13.05
合计	105.54	—	75.64	—

岩溶是水对可溶性岩石进行以溶蚀作用为主的综合地质作用及由此形成的各种地质现象的总称。岩溶机理的特殊性决定了岩溶地区往往具有复杂的工程地质环境、水文地质环境、材料资源环境和自然生态环境。

1. 气候气象环境

我国西部岩溶地区大多属亚热带湿润季风气候,年平均温度在 15°C 左右,年平均降雨量约 1100mm,雨量丰沛,雨水溶蚀强烈,适宜于地表岩溶发育,并能充分补给岩溶地下水。

2. 工程地质环境

岩溶地区以碳酸盐类岩石等可溶性岩石为主。地表水和地下水的溶蚀作用,造就了各种类型的地形地貌和岩溶形态。根据岩溶的出露情况,可分为裸露型、覆盖型(上覆第四系土层)和埋藏型(埋藏在非可溶岩之下)三大类。根据岩溶的景观显露和发育特征,主要有石芽、石林、土洞、溶洞、溶沟、溶槽、漏斗、落水洞、竖井、暗河、地下湖、峰林、洼地等形态。

(1) 地形地貌

我国西部岩溶地区地形起伏多变,地貌类型丰富,主要有峰丛洼地、峰林谷地、峰林洼地、峰林平原、丘陵盆地、岩溶平原等类型,构成了西部岩溶地区公路建设的主要环境背景。

(2) 岩溶形态

按发育方向可分为竖向和水平向两大类。

竖向岩溶形态主要是具有侵蚀性的水在沿可溶性碳酸盐类岩石的孔隙、裂隙和层面竖直下渗过程中,不断溶蚀扩大(或伴随机械扩大)而形成的,如溶沟、溶槽、石芽、落水洞、竖井及漏斗等。

水平岩溶形态主要是具有侵蚀性的水在沿可溶性碳酸盐类岩石的孔隙、裂隙和层面由高水头向低水头水平渗流过程中,不断溶蚀扩大(或伴随机械扩大)而形成的,如溶洞、暗河、地下湖、天生桥等。

岩溶发育受岩石性质、地质构造、水文地质和自然气候条件等诸多因素的影响,不仅表现出不同的形态和规模,而且其空间分布各异,基岩面起伏大,覆盖层岩土类别不同、厚度不均匀,洞穴内部填充物性质复杂、含水量高。

3. 水文地质环境

西部岩溶地区石漠化严重,地表漏斗、落水洞、竖井及溶隙发育,且常与地下溶洞、沟河及管道系统相连通,地表水极易快速渗入地下水系,形成丰富的地下水资源,并以暗河和地下湖为主要赋存形式。

岩溶地下水以管道流为主,数量繁多,类型复杂,多呈网状、羽状或单支状分布,相互之间水力联系密切,且多与地表水连通。受岩溶分布、发育强度,以及季节性降水强度的影响,不同地区的岩溶地下水富水性强弱悬殊,且动态多变,水量不易确定;地下水埋藏深浅不一,补给、径流、排泄条件紊乱无序,水中富含 CO_2 和有机酸,水岩作用强烈,碳酸盐类岩石极易溶蚀。

强烈的岩溶地下水活动不仅会导致路基和桥基冲刷,水淹路基,隧道突水、突泥等工程问题,而且可以诱发路基、桥基和隧道围岩变形失稳。

4. 筑路材料资源环境

岩溶地区缺乏传统的优质筑路材料,地方筑路材料资源为广泛分布的碳酸盐类岩石,以及局部地区零星分布的玄武岩和辉绿岩。受沉积环境和成岩作用的影响,岩溶地区碳酸盐类岩石类型繁多,构造复杂,性质差异显著。

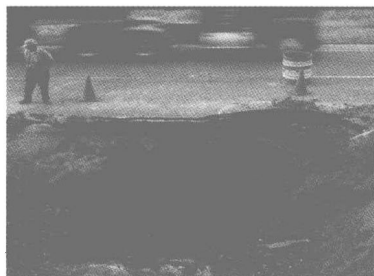
5. 自然生态环境

西部岩溶地区土层贫瘠浅薄,水土流失和石漠化现象严重,植被破坏后恢复难度大,自然生态环境极为脆弱。受岩溶地区地形、地质条件的限制,公路建设时高填深挖占地量大,势必对沿线的植被、土壤和水环境造成影响甚至破坏;公路运营期间产生的废水、废气会污染岩溶水环境、土壤环境和植被状态。因此,减少和消除公路建设所带来的负面影响、保护生态环境是岩溶地区公路交通建设的重要任务。

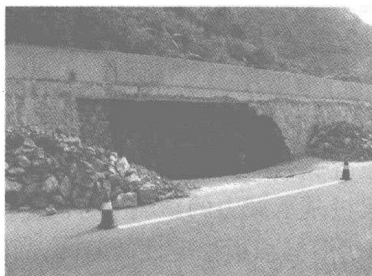
二、面临的主要工程技术问题

岩溶地区特殊的地质地貌、水文气象和自然生态环境,使公路工程与岩溶环境的相互作用极其显著。一方面,公路设施建设不可避免地对沿线的岩溶地质和自然环境产生影响;另一方

面,特殊的岩溶环境不仅大大增加了公路建设的难度,而且极易导致各种不同程度的公路工程病害,如路基塌陷、路面损坏、桥基失稳、隧道突水、边坡失稳等(图 1-1),严重影响公路设施的使用性能和服务水平,造成不良社会影响。



a) 岩溶塌陷



b) 岩溶塌陷



c) 路基下溶槽



d) 路基塌陷



e) 桥基地下河



f) 水土流失

图 1-1 岩溶地区公路工程问题和病害

对于岩溶地区的公路工程建设而言,岩溶环境必须得到准确勘察、科学评价、充分利用、正确处治和有效保护。因此,岩溶地区公路建设面临的主要技术问题突出体现在公路工程岩溶环境的勘察、评价、资源利用、病害处治和环境保护等五个方面。

1. 公路工程岩溶环境的勘察

(1) 岩溶地区公路工程勘察技术主要有工程地质调绘、遥感图像解释、物探、钻探等,公路修筑的不同阶段对应的勘察目的不同,而各阶段勘察方法的选择及其要求尚不明确。

(2) 物探是目前岩溶地区公路勘探中的常用方法,但由于各种物探方法具有多解性和局限性,单一物探方法用于公路工程勘探时存在明显缺陷,尚未形成科学合理的物探技术以及经济可靠的组合方式。

(3)传统的物探技术精度低、勘探深度有限,难以准确获取公路构筑物拟建范围内隐伏岩溶的空间形态、位置、规模以及填充情况等,而一些高精度、高分辨率的物探新技术在公路岩溶环境勘探中的开发和应用相对欠缺。

2. 岩溶环境下公路基础稳定性评价

(1)无论是公路基础稳定性评价还是场地稳定性评价,均缺乏明确的评价方法、指标和标准。

(2)溶洞对公路路基、桥基和隧道围岩稳定性的影响分析大多采用定性和半定量方法,而定量分析溶洞位置、形态、大小、岩土体物理力学参数和顶板厚度等因素对路基稳定性、隧道围岩稳定性和桥梁桩基承载力的影响十分困难。

(3)对于隐伏溶洞顶板稳定性的监测,尚缺乏准确可靠的手段,而且难以明确判断溶洞顶板能否利用。

3. 公路工程岩溶环境资源利用

(1)开发利用岩溶地区地方材料修筑高等级公路的技术储备不足,缺乏对各种材料工程适宜性的评价,致使地方性筑路材料的路用性能和储存分布不明确。

(2)西部岩溶地区普遍缺乏优质的粗粒土和细粒土,必须使用当地石料填筑路基。但对填石路堤的填料性质要求、压实方法与检测技术、变形规律与稳定性分析、加固与边坡防护技术的研究较为薄弱,影响了岩溶地区石质填料的应用。

(3)对岩溶地区地方性岩石集料用于路面结构不同层位的工程适宜性缺乏系统研究,尤其是抗滑性能不明确,沥青抗滑表层的集料选择存在盲目性,同时采用地方性集料后配制抗滑表层沥青混合料的设计方法也有待改进。

(4)部分岩溶地区河砂资源短缺而不得不大量使用机制砂,但在机制砂中石粉含量较高的情况下,高性能机制砂水泥混凝土的配制技术水平较低,限制了其在岩溶地区公路建设中的应用。

4. 岩溶环境条件下公路工程病害处治

对复杂岩溶条件下公路工程病害机理的掌握不够充分:

(1)对岩溶环境条件下公路路基病害机理、病害分类、成因、特征和危害程度的掌握不够充分;对病害防治技术的适用条件和应用效果不明确,缺乏有效的预防处治技术。

(2)岩溶环境条件下,隧道涌水量的计算方法不够完善,隧道水文地质状况的超前预报精度不高,隧道涌水突泥处治技术的选择缺乏科学指导。

5. 公路工程岩溶环境保护

公路建设对沿线岩溶水环境、自然植被和土壤环境的影响或破坏,缺乏科学的评价方法和指标体系,对公路沿线自然生态环境的保护缺少科学合理的技术措施,没有形成有效的岩溶环境保护技术。

第二节 阐述的主要内容

本书针对我国西部岩溶地区特殊环境条件下公路建设中的关键技术问题,综合考虑公路建设与岩溶环境之间的相互作用,以“岩溶环境的勘察、评价、利用、处治和保护”为宏观技术理念,以“勘察为依据、评价为基础、利用为原则、处治为手段、保护为重点”为基本方针,充分

借鉴国内外的先进研究成果,积极吸收成熟的工程经验,通过理论分析、数值模拟、模型试验、室内试验、依托工程验证等技术手段,重点就公路工程岩溶环境、岩溶地区公路工程勘察与评价、地方性筑路材料利用、公路工程病害处治、岩溶环境保护等予以分析阐述。

(1)公路工程岩溶环境主要阐述岩溶发育条件及其规律、岩溶地貌及形态、岩溶的工程分类,以及岩溶地区典型岩土体的工程特性,在此基础上,对岩溶环境进行区划,以区分岩溶地区区域环境条件对公路建设影响的差异性,使岩溶地区公路勘测选线、规划设计、材料利用、环境保护更具针对性。

(2)岩溶环境勘察是公路构筑物设计和施工的依据,以地球物理勘探方法为主要勘察手段,结合工程地质调绘、遥感图像判释、钻探等勘察技术,研究应用先进的地球物理勘探新技术和经济合理的综合地球物理勘探方法,以提高岩溶勘察的准确性和精确度。

(3)公路基础稳定性评价是公路构造物设计和处治的基础,考虑到岩溶形态、规模、位置、节理、裂隙、填充状况等的复杂性且参数难以准确获取,需综合应用定性分析、半定量分析、定量分析,以及数值模拟、模型试验等方法,以提高岩溶地区公路构筑物稳定性评价的科学性。

(4)岩溶地区筑路材料资源利用,应遵循“因地制宜、性能可靠和经济合理”的原则,重点阐述岩溶地区“填石路堤的填料技术要求、路面抗滑耐磨集料遴选、抗滑表层沥青混合料配制,以及高石粉含量机制砂的高性能水泥混凝土配制”等突出技术问题。

(5)岩溶地区公路构筑物病害防治,应遵循“预防为主,防治结合”的基本原则,明确病害特征及其成因机理,科学地预测和评价岩溶特征对公路建设的影响和作用,作为确定公路构筑物病害防治对策的技术依据。对病害处治遵循“科学性、针对性和适时性”原则,充分考虑地形、地貌、地质、水文等环境条件。

(6)公路工程岩溶环境保护遵循“防护优先、预防为主、防治结合”的基本原则,明确公路建设对沿线自然生态环境的影响规律及其敏感性,注重环境状况的长期监测。

第二章 岩溶分类

第一节 岩溶发育条件及其规律

岩溶发育的基本条件是:存在可溶岩(溶质)、可以溶解可溶岩的水(溶液)以及溶剂(CO_2)。对于碳酸盐类岩石的分类,要考虑晶粒大小、形态、晶粒组合结构,也要考虑成岩后其他作用的影响,其中地质构造和气候是决定岩溶发育的两个主要因素,而气候因素的影响主要表现在降雨量和温度两个方面。

岩溶发育规律比较复杂,主要受岩性、地质构造、地形、气候等多种因素的综合影响。总结起来,岩溶发育具有以下一些规律。

(1)不同岩性、结构与层厚的岩体中,岩溶发育程度不同。厚层、质纯、结晶颗粒粗大的碳酸盐类岩石中,岩溶发育强烈,洞体规模大,形态齐全;含泥质或其他杂质的岩层,结晶颗粒细小的岩石,岩溶发育较弱。倾斜岩层中岩溶沿岩面呈带状分布,在可溶岩与非可溶岩的交界带岩溶发育。

(2)在断层构造带、褶皱构造带,尤其是褶皱轴部,裂隙密集地下水流动快,常有大溶洞、暗河、串珠状漏斗等岩溶现象。在不同深度的几个水平面上岩溶发育往往呈层状分布,几层洞系之间又有垂直通道相连,这是由于地壳升降运动而引起岩溶水溶蚀基准面变动的结果。岩溶发育程度、规模与地壳相对稳定时间有关,如地壳强烈上升,岩溶水的溶蚀基准面相对下降,原是水平循环带的部分上升为垂直循环带,这时岩溶以垂直方向发育为主,形成垂直溶洞。若地壳处于相对稳定阶段,岩溶则以水平方向发育为主,形成水平状溶洞。地壳升降几次就形成几级水平溶洞。

(3)垭口中心常是地层或地质构造薄弱地带,岩层破碎、岩溶易发育。在丘陵地区,垭口下常是暗河通道。

(4)在河谷地带,除因地下水由山体向河谷排泄而发育溶洞外,还可能由河流侧蚀作用而造成溶洞,其特点是两岸溶洞成对称成层分布,溶洞规模由岸向山逐渐变小。后期河床下切,便存留在谷坡上成为干溶洞,且无岩溶水。岩溶发育程度一般自河谷向分水岭逐渐减弱。

(5)负地形多,标志着岩溶发育。洼地、干谷、竖井、漏斗、落水洞、坡立谷等岩溶形态都反映了地表下岩溶洞穴的存在及岩溶水活动规律。负地形之间与垂直渗流带是两个同时并存的条件。

(6)地下分水岭地带,地下水危害小,常是岩溶发育相对较弱的地带。垂直渗流带多竖井状溶洞,雨季易受突然涌水、突泥的危害;季节交替带和水平流动带岩溶水量较大,洞穴侧向发育,常常呈大厅状;深部缓流带往往具有承压孔隙、裂隙水,运动较缓慢,岩溶水威胁小于季节交替带和水平流动带。

(7)在分水岭和地形陡峻的斜坡地带,岩层裸露,地表径流大,水以表面侵蚀为主,溶沟、

溶槽、石芽等发育。在地形平缓、低洼地带,地表水易下渗,地下岩溶发育,形成漏斗、竖井、落水洞、溶蚀洼地等。

岩溶在不同深度的发育规律为:地表附近岩溶发育,溶洞密集,规模较大;岩溶发育强度随深度而减弱。工程实践证实,地表以下 900m 仍有岩溶发育。

第二节 岩溶地貌形态及工程分类

一、岩溶地貌

西南地区碳酸盐类岩石分布广泛,地貌类型丰富,发育了典型的岩溶地貌类型,是西南地区公路建设的主要环境背景。从云贵高原的高原岩溶地貌特征到贵州中部、东部、东南部及湖南西部的丘陵过渡区,再到广西、广东的下游峰林平原地区,岩溶地貌类型齐全,不同的地貌环境背景决定了岩溶地区公路建设的特殊性。

云南高原地貌特征明显,主要表现为在岩溶早期面上的继承发育与多代性叠加,第三纪早期热带岩溶特征有所保存,如路南石林等,常可以见到早期面到峡谷的反平衡剖面的分布。

贵州西部承接了早期平原环境的特征。受燕山运动及新构造运动的影响,境内构造现象复杂,岩溶地貌类型复杂、多样。受云贵高原的影响,以高原面的下切岩溶及溯源侵蚀为特征,发育有较好的反平衡剖面(贵州平坝、安顺到龙宫、黄果树剖面)。贵州中部及南部岩溶地貌分布广泛,以岩溶峰丛洼地、丘陵盆地、峰丛盆地、峰丛槽谷、峰丛沟谷、峰林洼地、岩溶平原的相间分布为特征,构成了区内岩溶地貌的主体,具有典型的亚热带岩溶特征,是公路建设中面临的主要岩溶地貌类型。

根据区域地形地貌特征及水文地质条件,湖南全省可分为 6 个类区:丘陵-溶盆与溶洼、峡谷山原区,主要分布于张家界地区;丘陵、溶盆与溶洼、中山、低山山区,主要分布于怀化、安化地区;丘陵、溶盆与溶洼、中山、丘陵区,主要分布于永州地区;丘峰与峰林、溶盆与溶洼,丘陵与平原区,主要分布于邵阳、永州地区;埋藏岩溶区,主要分布于衡阳、长沙地区和洞庭湖平原。

广西、广东等地宏观上处于较低的下游,水量丰富,岩溶动力条件较强,发育了较典型的热带岩溶,表现为峰林洼地和峰林平原、岩溶平原的岩溶地貌类型。从北面往南表现为从峰林洼地向岩溶平原的过渡,公路建设主要沿岩溶平原、岩溶洼地分布。

二、岩溶的常见形态

岩溶的常见形态主要有以下几种:

(1)溶沟、溶槽、石芽和石林:地表水沿可溶性岩层表面或裂隙流动,进行溶蚀、冲蚀,将岩层表面溶切成一些大小不同的沟槽,深几厘米至数米,其长度小于 5 倍宽度者称溶沟,大于 5 倍者称溶槽。溶沟溶槽进一步发展,沟槽间的石脊遭受切割破碎,残留着顶端尖、根部粗的锥状柱体称石芽,高大的石芽林立称石林。

(2)漏斗、落水洞、竖井:地表水沿可溶性岩石竖直的裂隙溶蚀扩大或由溶洞塌陷而成的漏斗状的凹地称漏斗。漏斗底部常有竖直的溶洞,是地表水转入地下溶洞或暗河的通道,有水流的叫落水洞,无水流叫竖井。

(3) 溶洞、暗河、岩溶谷地、天生桥:可溶性岩石经地下水的溶蚀、潜蚀、冲蚀和坍塌作用所形成的地下洞穴称溶洞。在溶洞中经常汇集有较大的水流形成地下河称暗河。溶洞或暗河洞道塌陷形成两岸陡峻的河谷,称岩溶谷地。在局部地段未塌落的部分洞顶,会形成横跨水流的天生桥。

(4) 溶蚀洼地:由许多相邻的漏斗不断扩大汇合而成的低洼平地,平面上大致呈圆形,直径数百米至数千米。溶蚀洼地周围常有溶蚀残丘、峰丛、峰林,底部常有漏斗和落水洞。

(5) 峰丛、峰林和残丘:在岩溶十分发育的地区,溶洞与地下河的上覆岩层进一步溶蚀和坍落,使得巨厚的石灰岩块体被切割成分散的石峰,平地拔起,形似丛林称峰林。峰丛是峰林的雏形,山体巨大,顶部受强烈溶蚀和侵蚀,形成许多石峰,基部相连。孤峰是峰林的晚期型,是岩溶平原或大型岩溶盆地上零星散立互不相连的石峰。孤峰进一步破坏变成矮小的残丘。

(6) 坡立谷:是大型的封闭洼地,宽数百米至数公里,长数公里至数十公里,四周山坡陡峻,谷底宽平。

(7) 钟乳石、石笋、石柱:溶解有碳酸钙的地下水,当从洞顶和洞壁下滴或漫溢时,因水的沉积作用形成悬挂于洞顶的圆锥形堆积物称钟乳石。在与洞顶相应的洞底部位形成向上生长的圆锥形堆积物称石笋。洞顶的钟乳石与洞底的石笋相连,形成石柱。

地表岩溶形态如图 2-1 所示;地下岩溶形态如图 2-2 所示。

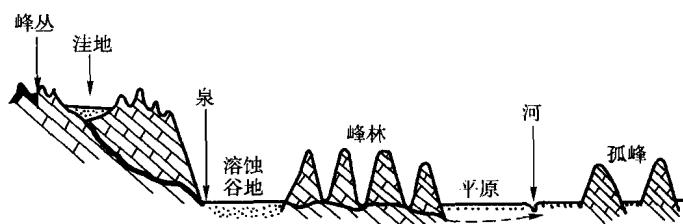


图 2-1 地表岩溶形态(峰丛、峰林与孤峰平原等)

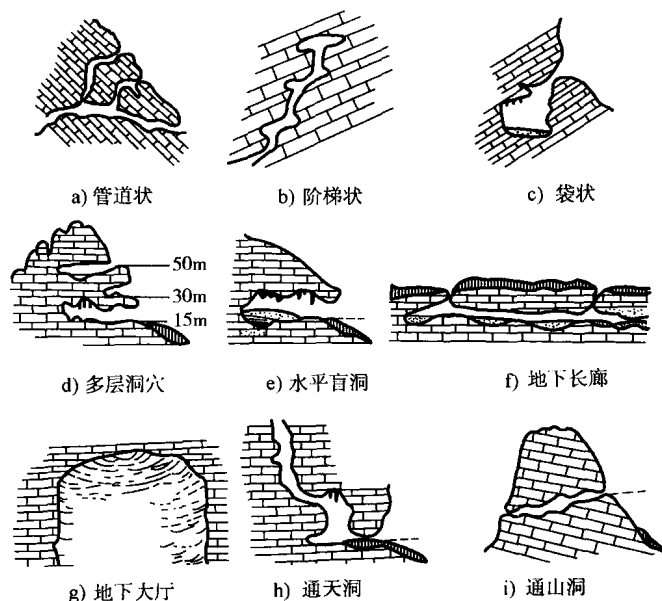


图 2-2 地下岩溶形态