

Typical Zone Division of Karst Development in China

Xianfa Cao^{1,2}, Hailing Li¹

¹College of Civil Engineering and Architecture, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

²Guangxi Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Guilin Guangxi

Email: caoxianfa@126.com, lhl0102@126.com

Received: Jul. 27th, 2018; accepted: Aug. 12th, 2018; published: Aug. 20th, 2018

Abstract

Determining the typical area of karst development in China would provide positive reference for theoretical research of engineering geology in karst areas in China. By quantitative or semi-quantitative analyzing on the distribution characteristics, climatic conditions and formation lithology of carbonate rocks in China, regional difference characteristics of karst development in carbonate rock regions in China are evaluated, and finally the representative karst zone in China is reasonably and theoretically delineated and demonstrated. Results show that: the pure Carbonate rocks in southwest of China in tropical and subtropical climate zones which are very favorable for karst development, distribute continuously and massively, and therefore can be considered as the most typical karst area. This is also a very explanation that karst morphology develops completely. Especially, karst in the zone including Guangxi Zhuang Autonomous Region, southeast and northeast of Guizhou Province, and southeastern of Chongqing Municipality, is the most representative karst region in southwest of China because of its purest carbonate rocks.

Keywords

Carbonate Rocks; Karst Area; Representative Karst Zone

中国典型岩溶发育区域划分

曹贤发^{1,2}, 李海玲¹

¹桂林理工大学 土木与建筑工程学院, 广西 桂林

²广西岩土力学与工程重点实验室, 广西 桂林

Email: caoxianfa@126.com, lhl0102@126.com

收稿日期: 2018年7月27日; 录用日期: 2018年8月12日; 发布日期: 2018年8月20日

摘要

划出中国岩溶发育的典型区域对中国岩溶区的工程地质理论研究具有积极意义。对中国碳酸盐岩分布特征、气候条件和地层岩性等方面进行了定量或半定量分析, 评价了中国碳酸盐岩地区岩溶发育的区域性差异特征, 从理论上合理地圈定并论证了中国典型岩溶发育区域, 结果表明: 中国西南岩溶地区的碳酸盐岩具有成片的大面积分布特征, 其碳酸盐岩层岩性较纯, 且处于对岩溶发育十分有利的热带和亚热带气候带, 且该地区岩溶形态类型发育较齐全, 因此属于中国最为典型的岩溶发育区; 其中广西岩溶区、贵州东南部和东北部岩溶区和重庆东南部等岩溶地区的碳酸盐岩纯度最高, 因而是西南片区最具代表性的岩溶发育区域。

关键词

碳酸盐岩, 岩溶, 典型岩溶区

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国是世界上碳酸盐岩分布面积最大且岩溶发育最为典型的区域之一。广西、贵州、云南、四川、重庆等省区因碳酸盐岩具有成片分布特征, 且岩溶地貌及岩溶形态发育齐全、岩溶地质问题特别突出而被公认为是中国最为典型的岩溶发育区[1] [2] [3]。宏观划分中国岩溶发育区对中国岩溶地质、岩溶水文地质和岩溶工程地质研究具有积极意义。

岩溶作为一种独特的不良地质作用和地质形态, 其宏观分类和区划在 20 世纪 90 年代之前就已经得到了广泛研究, 研究结果表明, 气候、岩性、地下水是岩溶发育的主要影响因素, 岩溶形态和地貌特征直接反映了岩溶发育强度[4] [5] [6], 这些因素均是评价区域性或小区域范围内岩溶特征[7] [8] [9] [10] [11]的主要内容和依据。然而, 目前就岩溶研究领域关于中国最典型的岩溶发育区域是在贵州还是在广西的讨论仍存在明显分歧意见, 其主要原因是目前岩溶区域性宏观区划的相关理论仍不成熟, 相关研究有待深入。

本文基于已有研究成果, 对中国碳酸盐岩分布特征、气候条件和地层岩性等方面进行定量或半定量分析, 评价了中国碳酸盐岩地区岩溶发育的区域性差异特征, 圈定并论证了中国最为典型的岩溶分布区域。

2. 中国碳酸盐岩的主要分布特征

地层岩性和水的溶蚀能力是影响碳酸盐岩溶蚀能力的两大基本因素[5]。如图 1 所示的中国碳酸盐岩地层出露情况图中, 贵州、云南和广西等西南各省的碳酸盐岩地层成片大面积出露, 碳酸盐岩地层占各省(自治区)行政区划面积比重最大, 中国大部分著名岩溶城市如桂林、柳州、河池、来宾、贵阳、昆明等均分布于这个片区。以湖南、湖北为代表的中部地区碳酸盐岩分布面积仅次于西南地区, 广东及福建等华南地区也具有较大的岩溶发育面积, 这个区域的碳酸盐岩基本上与西南区碳酸盐岩分布范围连成一片, 可视为西南片区碳酸盐岩分布区域的外延部分。北京西山及山西太原等地的碳酸盐岩分布也具有一定规

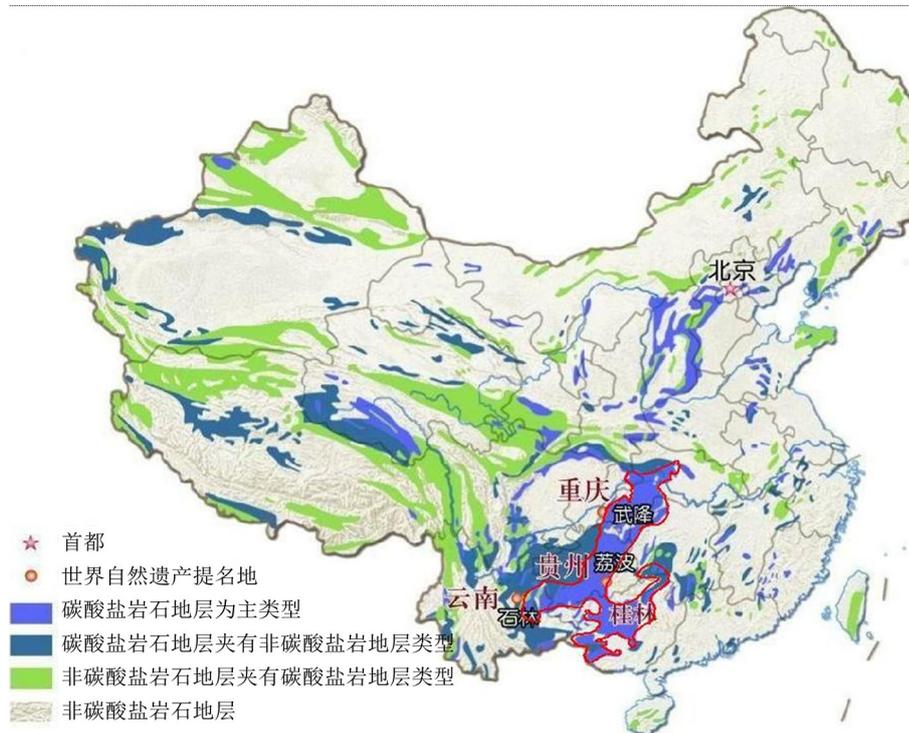


Figure 1. Map of carbonate rocks outcropping distribution feature in china

图 1. 中国出露碳酸盐岩地层分布特征图

模。华东、东北各省碳酸盐岩则仅零星分布。西藏、新疆含碳酸盐岩地层分布面积也十分可观。由此可见，就碳酸盐岩分布范围来看，西南岩溶区也应该是中国最为典型的岩溶发育区。

3. 区域性气候对溶蚀强度的影响分析

岩溶作用是地下水和地表水对可溶性岩所进行的以化学溶蚀作用为主要特征(包括水的机械侵蚀以及物质的运移和再沉积)的综合地质作用。氢离子是地下水对碳酸盐岩溶蚀的根本溶蚀物质。氢离子浓度越高，碳酸盐岩受的溶蚀作用越强。氢离子主要来源于酸性物质，这些酸性物质的来源及含量与区域气候条件具有密切关系。不同气候带其酸性物质成分和来源存在显著差异，根据统计，不同气候带的酸性物质类型比重见图 2 [3]。

从图 2 可知，酸性物质可分为碳酸和非碳酸等两大类。碳酸主要包括大气来源的大气碳酸、生物活动产生的生物碳酸和无机物生成的无机碳酸三种，其含量在高纬地带、湿润温带、地中海地带、干燥地带和热带的比重分别为 80%、70%、67%、45%、53%。除地中海地带外，其余地带的碳酸含量均超过 50%。中国地区属于典型的热带、亚热带及温带岩溶[4] [7]，其主要的侵蚀性成分为碳酸，其中与生物有关的生物碳酸和无机酸是中国岩溶区侵蚀因子的主要来源。

图 2 中各酸性物质成分的含量为该酸性物质含量在该气候带内的相对百分比，不同气候带之间不能直接比较。一般认为，地球上大气成分中的二氧化碳含量比较稳定，因此，如果大气碳酸的含量视溶蚀能力的基本范围，将其他酸性物质含量转化为大气碳酸含量的相对值，则可对不同气候带的溶蚀能力进行比较，不同气候带内的相对溶蚀能力转化式为：

$$k_d = \sum_{i=1}^s \frac{X_i}{X_1} \quad (1)$$

式中： k_d 为岩溶水的相对溶蚀能力， X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 分别为图 2 中大气碳酸、无机碳酸、生物碳酸、无机酸和有机酸的百分含量。

根据式(1)求出不同气候带内的岩溶水相对溶蚀能力后，可绘出各气候带岩溶水的想对溶蚀能力柱状图，如图 3。

从图 3 可知，热带地区相对溶蚀能力为 200，远高于其他地带岩溶水的溶蚀能力，因而是最有利于碳酸盐岩溶蚀的气候带，其次分别为地中海气候带、湿润温带等地区，其相对溶蚀能力为 25 和 14.29。

从图 1 可知，中国碳酸盐岩分布范围十分广泛，海拔高度从东南沿海地区的数米至西藏地区 4000 米以上均有分布，从南到北跨越热带、亚热带、湿润温带、干燥寒冷带等多个迥异气候带：华南地区属热带气候，降雨量充沛，年均气温较高；西南地区为亚热带气候，降雨量和年均气温仅次于华南地区，其该地区也属于古热带气候；华中地区气候与亚热带地中海型气候相似；华北和东北地区为温带气候；西北地区降雨量少，属干燥气候带；西藏高原海拔超过 4000 m，属高寒气候。因此，从气候条件来看，中国南方比北方更适合岩溶发育。按照图 3 中五个类型的气候带与碳酸盐岩溶蚀强度关系，中国碳酸盐岩溶蚀作用强度由强至弱可相应划分为五个等级，各等级对应区域如下：

A1 = {华南} = {广西、广东、福建}；

A2 = {西南} = {云南、贵州、重庆}；

A3 = {华北、华中、华东、东北} = {山西、山东、北京、河北、湖南、湖北、浙江、安徽、吉林、辽宁、黑龙江}；

A4 = {西北} = {新疆、青海、山西、甘肃、宁夏、内蒙古}；

A5 = {西藏}。

4. 区域性岩层组合的溶蚀能力差异

根据岩层组合形式不同，可将中国碳酸盐岩地层分为纯碳酸盐岩地层(简称纯地层)、以碳酸盐岩为主

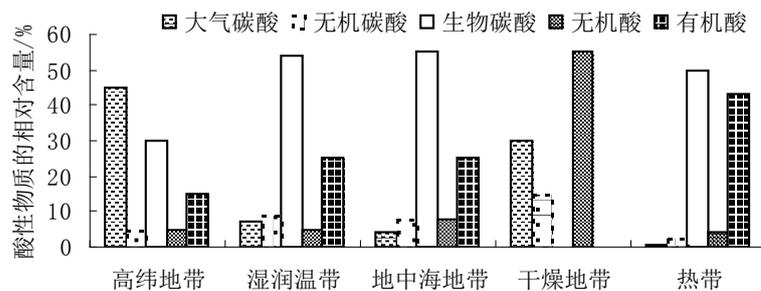


Figure 2. Dissolution factors source content in different climate zones

图 2. 不同气候带侵蚀因子相对含量图

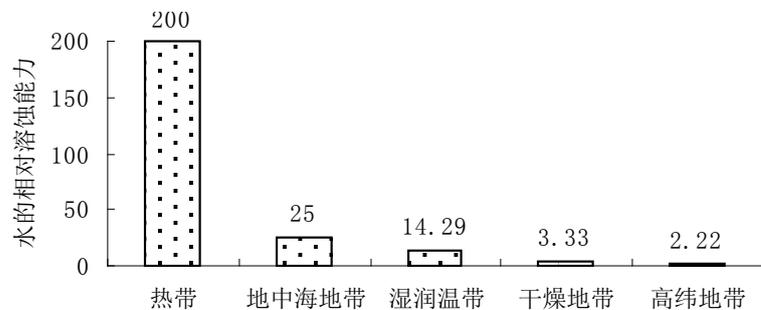


Figure 3. Relative dissolution capacity of water under different climate zones

图 3. 水在不同气候带之间的相对溶蚀能力

(含量在 > 75%)夹少数非可溶岩的夹层(简称夹层)、碳酸盐岩与非可溶岩交替出现的互层(简称互层, 碳酸盐岩含量 25~75%)及以非可溶岩为主的夹薄层碳酸盐岩的间层(简称间层)等四类[1] [2] [3]。从碳酸盐岩溶蚀机制可知, 在其他因素相同的条件下, 碳酸盐岩岩性越纯, 岩石可溶性越好, 地基溶蚀程度越高, 岩溶发育形态越齐全, 由此可得碳酸盐岩层组形式对应的溶蚀程度由强至弱的排列顺序为: 纯地层→夹层→互层→间层。结合图 1 可知, 中国纯碳酸盐岩地层在广西区、贵州省东部、重庆东南部、昆明市东南部等成片的大规模分布。华北地区主要分布于北京西南区域至山西太原市的狭长地带, 其分布面积远小于西南地区。可见, 就从岩性纯度来看, 西南地区岩溶发育的物质条件最好, 华北地区次之, 然后是华中地区, 西北、西藏和东北地区最差。

图 4 为不同地区各类碳酸盐岩层的出露面积分布图[3] (图中西南地区包含华南地区)。从图 4 可知, 西藏、西北及东北地区, 主要类型为碳酸盐岩夹层及互层, 然后为互层, 岩性纯度不高, 属含碳酸盐岩地层。华东地区碳酸盐岩总分布面积不大, 碳酸盐纯地层分布范围很小, 仅约 0.22 万平方公里, 一般将其与华中地区合并研究。华中地区质纯碳酸盐岩地层分布面积占有一定比重, 但仍以夹层和互层为主, 碳酸盐岩地层岩性总体纯度仍不高。华北地区以夹层为主, 纯碳酸盐岩地层分布面积比重也较大。西南地区纯碳酸盐岩地层分布面积达 19.8 万平方千米, 是中国纯碳酸盐岩地层分布面积最大区域, 同时也是碳酸盐岩夹层分布面积最大区域, 互层和夹层分布面积也较大。

碳酸盐是碳酸盐岩溶蚀的主要成分, 碳酸盐含量越高, 岩石可溶性越好。为更好地比较不同地区之间的地层岩性对岩溶发育的影响程度, 可将不纯碳酸盐岩地层按其碳酸盐岩纯度转化为等效纯碳酸盐岩地层的出露面积。设 1 平方千米的碳酸盐岩地层, 纯地层估算系数为 1, 夹层为 0.75, 互层的估算系数取 0.5, 考虑到在工程实践中间层的溶蚀现象十分微弱, 故将其估算系数取 0.1。按式(2)可求得不同地层的碳酸盐岩纯地层的等效面积。

$$s = \sum_{i=1}^4 k_i s'_i \quad (2)$$

式中: s 为某类地层折算后的等效纯碳酸盐岩分布面积, 万 km^2 ; k_i 为折算系数, 其取值按碳酸盐岩地层纯度为依据, 纯地层 k_1 取 1, 夹层 k_2 取 0.75, 互层 k_3 取 0.5, 间层 k_4 取 0.1; s'_1 、 s'_2 、 s'_3 、 s'_4 分别为某地区碳酸盐岩地层中纯地层、夹层、互层和间层的出露面积, 按图 3 对应的地层分类进行取值。

根据式(2)求出各地区等效纯碳酸盐岩出露面积后, 可绘出期等效纯碳酸盐岩出露面积分布柱状图, 如图 5。

根据图 5 的碳酸盐分布情况, 中国碳酸盐地层的可溶性由易至难可初步划分为 B1-B5 个等级(其中西

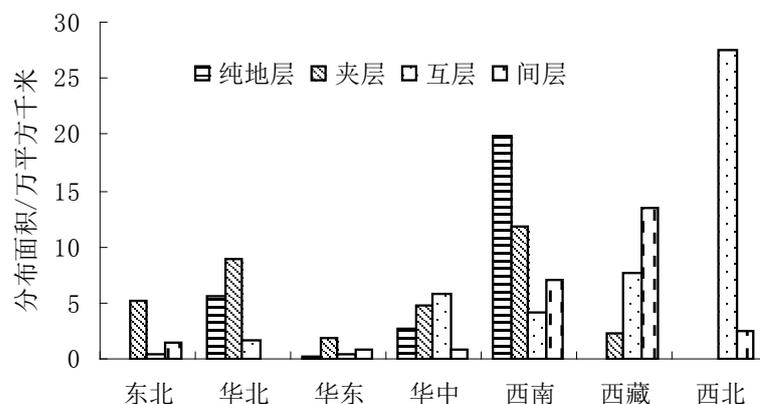


Figure 4. Carbonate rocks distribution in China

图 4. 中国碳酸盐岩分布情况图

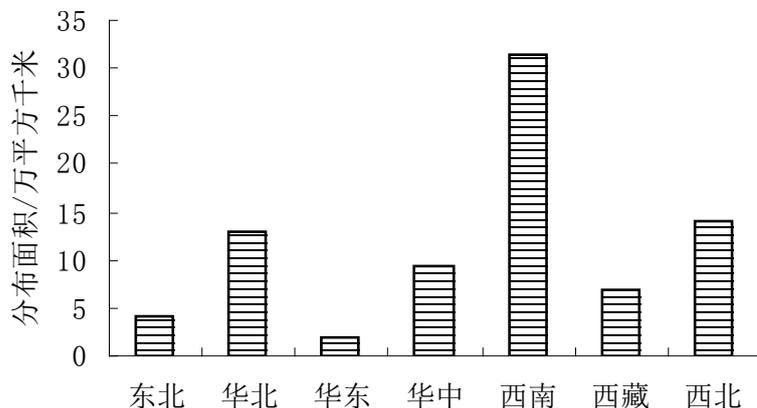


Figure 5. Distribution of converted pure carbonate rocks in China
图 5. 等效纯碳酸盐岩分布情况图

南地区包括华南各省区):

$B1 = \{\text{西南}\} = \{\text{广西、广东、福建、云南、贵州、重庆}\};$

$B2 = \{\text{华北}\} = \{\text{山东、山西、北京、河北}\};$

$B3 = \{\text{华中、西北}\} = \{\text{湖南、湖北、新疆、青海、山西、甘肃、宁夏、内蒙古}\};$

$B4 = \{\text{东北、西藏}\} = \{\text{吉林、辽宁、黑龙江、西藏}\};$

$B5 = \{\text{华东}\} = \{\text{浙江、安徽}\}.$

5. 典型的岩溶发育区域确定

根据上述分析可知, 中国典型岩溶发育区域应是最有利于岩溶发育岩性条件和气候条件的组合, 应为集合 A1 和 B1 交集和 A2 和 B1 的交集。

$A1 \cap B1 = \{\text{华南地区}\} = \{\text{广西、广东、福建}\};$

$A2 \cap B1 = \{\text{西南地区}\} = \{\text{云南、贵州、重庆}\}.$

研究表明, 西南地区几乎涵盖了溶蚀洼地、漏斗、塌陷、溶洞、石芽、溶沟、溶槽、落水洞、地下河等各种岩溶发育形态, 保留了从少年期至老年期各岩溶发育阶段的岩溶地貌形态, 峰丛、峰林、溶蚀残丘、溶蚀平原等各种典型的岩溶地貌形态十分发育[2] [3], 这与上面推断的结论也是一致的。

结合图 1 中纯碳酸盐岩的分布特征作进一步分析可知, 处于热带和亚热带的广西岩溶区、贵州东南和东北部岩溶区和重庆东南部等岩溶地区(见图 1 红线圈出部分)碳酸盐岩纯度最高, 因而是西南片区最具代表性的岩溶发育区域。

6. 结论

1) 中国西南岩溶地区的碳酸盐岩岩性较纯, 具有成片的大面积分布特征, 处于对岩溶发育十分有利的热带和亚热带气候带, 因而该地区岩溶形态类型较为齐全, 岩溶地貌特征较突出, 属于中国最为典型的岩溶发育区。

2) 在西南岩溶发育区中, 广西岩溶区、贵州东南和东北部岩溶区和重庆东南部等岩溶地区的碳酸盐岩纯度最高, 是西南片区最具代表性的岩溶发育区域。

基金项目

广西自然科学基金(2018GXNSFAA138139); 广西岩土力学与工程重点实验室基金资助项目(14-B-05); 桂林理工大学博士科研启动基金(GUTQDJJ2014031)。

参考文献

- [1] 李大通, 罗雁. 中国碳酸盐岩分布面积测量[J]. 中国岩溶, 1983(2): 147-150.
- [2] 袁道先. 中国岩溶[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [3] 任美镠, 刘振中. 岩溶学概论[M]. 北京: 商务印书馆, 1983.
- [4] 王子江, 蒋良文, 王茂靖, 王科, 付开隆. 复杂岩溶区高速铁路减灾选线理论研究[J]. 铁道工程学报, 2018, 35(4): 11-15.
- [5] 李建朋, 聂庆科, 刘泉声, 于俊超. 基于权重反分析的岩溶地面塌陷危险性评价方法研究[J]. 岩土力学, 2018, 39(4): 1395-1400.
- [6] 毕焕军. 黔张常铁路岩溶区水文地质选线研究[J]. 铁道工程学报, 2018, 35(2): 11-13.
- [7] 张凯, 霍晓龙, 陈寿根, 涂鹏, 谭信荣. 地下岩溶发育程度评价体系的初步探讨[J]. 西南交通大学学报, 2018, 53(3): 565-573.
- [8] 罗小杰. 武汉地区碳酸盐岩“六带五型”划分与岩溶地质灾害防治[J]. 水利学报, 2014, 45(2): 171-179.
- [9] 陈智虎, 杨广斌, 杨春艳, 赵连友. 典型喀斯特地貌类型区小流域划分——以贵州省金沙县为例[J]. 中国岩溶, 2016, 35(3): 262-268.
- [10] 康厚荣, 雷明堂, 张谢东, 赵杰华. 贵州省公路工程岩溶环境区划[J]. 岩土力学, 2009, 30(10): 3032-3036.
- [11] 赵宪伟, 邬立, 韩旭. 基于水文地质条件分析的岩溶水源地保护区划分[J]. 中国岩溶, 2017, 36(4): 526-532.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org