

北方岩溶泉

水资源评价及开发利用

中国科学院地质研究所

一九八〇年九月



14 K—90—B 01

北方岩溶泉 水资源评价和开发利用

(研究报告)

课题负责人 张政治

主要研究人员	张政治	杨锡敏	曾德钦
	项行健	游志杰	

参加工作人员	王玉海	张必强	韩淑禾
	胡占华	张全红	张孟奇
	袁剑英	焦玉霞	胥小平

山西省电力勘测设计院

北方岩溶泉水资源评价和开发利用

印 刷：山西科技印刷厂

开本：16 印张： 字数：21万字

1990年7月第一版

1990年7月太原第一次印刷

14 K—90—B 01印数：1—2000册

定价：9.00元

内 容 提 要

序 言

北方干旱半干旱地区建设火力发电厂水是最关键的问题，往往以水来定电厂建设规模。北方地区严重缺水，地表水满足不了电厂建设用水要求，唯一出路用地下水，而岩溶泉水是北方电厂建设最理想的水源之一，具有流量大，水质好，出露地表，易于集中开采等优点。因此北方地区电厂应用地下水、岩溶泉水已是重要水源之一。特别是利用大泉作为电厂供水水源更为现实。正确评价和开发利用岩溶泉资源、对北方地区电厂建设和电源点规划更具有现实意义和战略意义。山西省电力勘测设计院（包括现华北电力设计院部分同志）承担了“北方岩溶泉水资源评价和开发利用”的研究课题。他们搜集了前人资料、经过了工程实践、系统地进行了综合分析研究、提出了“北方岩溶泉水资源评价和开发利用”的科研报告。该文献是目前系统地、全面地论述岩溶泉勘探、综合评价和开发利用的科研成果。鉴于课题研究注重了科学性、实用性、先进性，研究紧密结合生产，研究成果对今后电力建设开发利用岩溶泉的勘测工作有重要的指导意义，对其它行业也有很大参考价值。一九八九年十一月能源部电力规划设计总院组织专家教授进行了技术鉴定，认为该研究报告资料详实，数据可靠，论据充分，内容丰实，结构严谨，重点突出，具有较高的水平，是一本理论与实际紧密结合的报告。因此，决定出版供同志们参考使用。由于工作局限性，可能会存在某些不妥之处，欢迎各界批评指正。并借此机会感谢同行们对我们工作的支持和帮助。

能源部电力规划设计总院勘测处

一九九〇年六月二十九日

目 录

前 言	1
第一章 北方岩溶泉水文地质概论	
第一节 北方岩溶发育规律概述	3
第二节 区域岩溶发育地质简史	9
第三节 北方岩溶水的赋存条件	12
第四节 北方岩溶水的动力特征	14
第五节 北方岩溶大泉的分布及其发育特点	15
第六节 北方岩溶大泉的水文地质特征	17
插 图 1—1至1—19	25
第二章 北方岩溶泉勘探	
第一节 岩溶泉勘探的目的、任务和技术方法	33
第二节 遥感地质技术在岩溶泉勘探中的应用	35
第三节 岩溶电法勘探	38
第四节 岩溶水的动态观测工作	40
第五节 水文地质试验	47
第六节 钻探技术方法	59
第七节 同位素水文地质工作	60
插 图 2—1至2—20	65

第三章 北方岩溶泉水资源评价

第一节	评价方法概述	73
第二节	水文分析法在岩溶泉水资源评价中的应用	74
第三节	抽水试验法	108
第四节	有限单元数值解法	127
第五节	各种评价方法的优点和存在问题	139
插图	3—1至3—35	141

第四章 北方岩溶水资源的开发利用

第一节	北方岩溶水资源及其开发利用概况	151
第二节	对开发利用北方岩溶泉群的几点看法	151
第三节	岩溶地下水库及其调节作用	153
第四节	岩溶泉域补给区的岩溶水开发	154
第五节	岩溶泉域径流区的岩溶水开发	155
第六节	岩溶泉域排泄区的岩溶水开发	156
第七节	岩溶泉开发利用中的水资源保护	159
插图	4—1至4—9	161

结 论	167
-----	-----

照 片	171
-----	-----

主要参考文献	181
--------	-----

前 言

我国北方可溶岩分布广泛,蕴藏丰富的岩溶地下水。岩溶大泉是岩溶地下水的排泄中心,由于泉域面积广大,以及多级多层双重含水介质的调节作用,泉水流量稳定,水质良好,具有优越的供水前景,是工农业供水的重要水源。尤其在地表径流缺乏的北方地区,对用水量较大的火电厂供水更具有重要的意义。建国以来为电厂供水及其它工业、城市供水,不少地质勘探单位曾对许多北方岩溶大泉进行过勘探、开发和水资源评价,取得了丰硕的成果与积累了宝贵的经验。为了系统地总结这些经验,更好地为开发利用北方岩溶地下水,发展能源建设做出更大的贡献,电力规划设计总院1980年科研计划安排了科研项目第19—1/P64项《地下水资源勘探、试验和评价方法的研究》课题,其中我院负责《岩溶泉水的勘探、开发和资源评价》子课题的研究。总课题原定1984年完成,在1980—1984年的研究过程中,我院分别提交了《神头岩溶泉群和朔县盆地的地下水资源及其开发利用》、《北方岩溶泉群的勘探、开发和资源评价》等阶段成果。

为使研究成果具有先进性,结合电厂供水勘探和开发的需要,经原水电部批准,1984年由电力规划设计总院勘测处刘铭彝处长带队,东北电力设计院、西北电力设计院、山西电力勘测设计院参加,组成了《供水水文地质勘察技术考察组》,赴美国进行了水文地质勘察技术的考察工作。考察组赴美期间,访问和参观了美国联邦地质调查局水资源处,宾夕法尼亚州大学、联邦地调局西部中心(丹佛水资源研究中心)、美国水井协会、密苏里州地调局等教学、研究、生产单位,考察了依伯斯克、斯通——惠伯斯特、吉伯斯·赫尔、帕尔、莱尔、菲林、英格索兰等工程公司和工厂、工地。对美国水资源研究、勘探、水文地质理论、方法、设备、手段、新技术等有了初步的较全面的了解。特别是对随着科技进步和电子计算机技术的应用而发展起来的遥感技术和计算机技术在水资源勘探和评价中的应用深受启发。回国后,在部领导的关怀和电力规划设计总院的具体指导和组织下,又开展了水资源评价的计算机数学模型的研究,以进一步充实和完善原研究课题。原水电部电力规划设计总院和山西省电力工业局分别以(86)水电规计字第19号文和(86)晋电计字第109号文下达我院进行《王曲岩溶泉群水资源数学模型》的研究。经过九年的工作,整个研究工作基本结束,完成了本研

究课题的研究报告初稿，于1989年2月下旬提交电力规划设计总院勘测处初审。为了广泛征求意见，电力规划设计总院1989年4月中旬在太原召开有规划院与华北、东北、西北、河北、河南等电力设计院有关人员参加的中间审查会，对报告初稿进行了全面审查，提出了许多宝贵意见。会后我院根据大家的意见进行了补充和修改。于1989年11月通过鉴定。

本课题的研究密切结合勘测设计的工程实践，大量的试验数据也来自工程实践，使研究工作具有可靠的基础和现实的指导意义。除了电力系统的工程实践外，我院曾两次组织人员对南、北方岩溶泉开发利用进行实地调查，广泛收集了国内兄弟单位和系统外有关部门的研究成果和实践经验，学习和参考了国内外的先进经验和技术成果，使研究人员开阔了视野，并丰富了研究内容。

本课题研究历时虽然较长，但研究期间，我院进行了神头二站和王曲电厂两个大型电厂供水的岩溶泉水源勘探工程，使研究工作经历了实践——理论——再实践的反复过程。因此，本课题的研究是具有较强的科学性和实用价值的。王曲岩溶泉群水资源数学模型的研究，采用了各向异性的数值解，并经实践检验校正，范围达 $14000(\text{km})^2$ 的大面积各向异性模型，在国内外还不多见。因而使本课题的研究又具有一定的先进性。

本课题的研究是在能源部及原水电部、电力规划设计总院、山西省电力工业局各级领导的关怀和支持下开展的研究。工作在电力规划设计总院技术处和勘测处的直接组织和指导下进行的。在本课题研究过程中得到南京大学地质系和数学系的大力支持和协作，薛禹群教授和谢春红教授具体指导了“王曲岩溶泉水资源数学模型”的研究。华北电力设计院勘测处对本课题的研究给予了大力支持和帮助，许多兄弟单位提供了宝贵的资料。值此表示衷心感谢。

第一章 北方岩溶泉水文地质概论

第一节 北方岩溶发育规律概述

北方岩溶区大体指秦岭、伏牛山以北地区，中朝准地台所属范围。行政辖区包括东北部，华北大部，华东、中北部和西北东部。即北部以阴山山脉北缘为界，南至大别山北麓，东起长白山，西至渭北高原。区内除沿海的辽河平原、华北平原、淮河平原外，均为丘陵山地和高原地形。较大水系有辽河、海河、黄河及淮河水系。除沿海地区外，均属暖温带亚干旱和亚潮湿气候带，年平均气温多低于 12°C ，降水量少而不均匀。辽南、冀中、鲁中以南地区年平均降水量为 $600\sim 800\text{mm}$ ，其它地区降水量 400mm 左右，西北东部和冀北的局部地区年降水量小于 400mm ，蒸发量一般 $1500\sim 1800\text{mm}$ 。局部地区小于 1500mm 和大于 1800mm 。年平均相对湿度为 $55\sim 70\%$ 。河川径流系数 $10\sim 30\%$ 。

本区从震旦系至奥陶系以海相碳酸盐类地层沉积为主，沉积厚度 $1000\sim 6000\text{m}$ ，出露面积 $15\text{余万}(\text{km})^2$ 。由于各时期古地形和海侵方向不同，其碳酸盐沉积岩相、厚度均有较大变化。震旦系白云岩和硅质白云岩，沉积厚度 $1000\sim 2000\text{m}$ 以上。虽然厚度较大，但化学成分以富镁和富硅为特征，酸不溶物含量极高，故岩溶不发育。中上奥陶统鲕状灰岩和竹叶状灰岩，一般厚度 $400\sim 500\text{m}$ ，岩性纯、岩相稳定，除张夏组为厚层灰岩岩溶相对发育外，其余为薄—中厚层灰岩与薄层泥灰岩互层，岩溶不发育。下、中奥陶统以白云质灰岩及质纯灰岩为主，一般厚 $400\sim 600\text{m}$ 。其中，下奥陶统以中厚—薄层白云质灰岩、白云岩夹泥灰岩为主，富含镁为特征，岩溶亦不发育，有些地方沿层面及构造线有岩溶发育。中奥陶统以中厚层纯灰岩夹角砾状灰岩为主，层厚、质纯，岩性、岩相稳定。根据岩性、岩相、沉积旋迴特点，自下而上划分为下马家沟组、上马家沟组和峰峰组。富镁和泥质高的岩层集中分布于各组底部成为相对隔水层，而各组上部厚层质纯灰岩含钙质较高、岩溶发育，均为富水层。本区碳酸盐岩分布如图(1—1)所示。

众所周知，岩溶发育的三个基本条件为可溶岩石的存在，具地质、构造形成的孔(裂)隙和具有侵蚀性并运动着的水。尽管在岩溶发育过程中三个基本条件缺一不可，但运动着的具有侵蚀性的水是一个最活跃的因素。从现代地表形态看，南方落水洞、波立谷、峰林、溶蚀洼地及大、中型溶洞等发育，形成大量地下河系；而北方这些大、中型岩溶形态则少见，却以溶蚀加宽裂隙，中、小型溶洞和溶孔、溶槽为主，并形成了为数众多的、排泄点相对集中的大型岩溶泉群。这些岩溶发育的差异，除地质结构不同外，主要与北方气候干旱、降雨量少，南方湿热、雨量充沛等因素有关。从古气候和古地理条件分析，在北方分布广泛的寒武、奥陶系碳酸盐可溶岩形成以后的漫长地质时期中，也曾有过比现代降雨量多得多的

古气候条件, 同时也就出现了规模巨大的岩溶形态, 例如北方发现的大量陷落柱, 一些高出现代河床的大型溶洞(如娘子关的张果老洞, 晋城的黄龙洞等)的发育就是证明。尽管有的古岩溶洞穴现已高出当地侵蚀基准面很多而成为干枯溶洞, 有的已为后期沉积物所充填, 但是近代岩溶不少是继承古岩溶而发育的, 或者目前与古岩溶还保持着一定的水力联系, 使古岩溶成为现代岩溶水的一个储存场所。娘子关的水帘洞泉, 虽然高出现代河床30余m, 但至今仍以 $0.5\sim 3.0\text{ m}^3/\text{s}$ 的巨大流量滴水, 很可能就是一个继承性的岩溶洞穴。

关于气候, 特别是降雨对岩溶发育的巨大影响, 辽东半岛太子河流域呈现南、北过渡类型的岩溶发育特征, 是一个典型的例证。该区属辽东山地, 长白山脉的南延部分与千山山脉东北端, 地势东高、西低, 向西与下辽河平原衔接。太子河两侧支流密布, 河水流量多年月平均为 $35.5\text{ m}^3/\text{s}$, 最大为 $64.02\text{ m}^3/\text{s}$ 。区内气候特点, 自第三纪以来, 由于早气候几经变迁, 近期表现为冬季寒冷, 夏季湿热, 结冰期五个月左右。夏季气温较高, 降水量集中, 为化学风化的有利条件。由于该区地质、地貌及水文气象因素的有利配合, 在石灰岩地区, 于侵蚀基准面以上各种规模的溶洞断续成层出现, 侵蚀基准面附近的地下暗河, 岩溶大泉屡见不鲜。岩溶形态除北方常见的溶痕、溶隙、溶孔、溶槽、小型溶洞以及岩溶大泉等外, 南方型的大溶洞、天然井、盲谷、伏流、暗河、岩溶大厅等也很发育。由上到下可见到六层溶洞, 其中第三、五层溶洞含有丰富地下水资源, 形成暗湖、暗河。最典型的为王家崴子暗湖和谢家崴子暗河。王家崴子暗湖发育于中奥陶统石灰岩中, 洞内面积 300 m^2 , 宽 $1.5\sim 12.5\text{ m}$, 高 $1\sim 6\text{ m}$, 溶洞西南侧有一地下暗湖, 湖面长 30 m , 宽 5 m , 水深 4.4 m , 水位大致与河水面相当。如图(1-2)所示。

谢家崴子暗河是在古岩溶基础上又发生近代溶蚀的大型溶洞, 长 2132 m 以上, 洞口高为 5.75 m , 洞内最高处 26 m , 一般高 16 m 余, 最宽达 30 m 余, 一般宽 10 m 左右, 最窄处 2.5 m , 洞内充水, 形成暗河, 洞底高出太子河 13.15 m , 距洞口东侧 10 m 为地下水出口, 流量可达 $14428.8\text{ m}^3/\text{d}$, 洞口北公路斜坡下有泉群三处, 直接补给太子河。如图(1-3)所示。

与太子河流域的岩溶发育相类似, 在鲁中、豫北、晋东南等地也有发育。在太行山南段, 特别是山西阳城县南部析城山岩溶洼地, 面积 $6(\text{km})^2$, 其间漏斗72个, 竖井360个。其周围见有大型溶洞、落水洞等, 有的有水, 有的无水。如温沟水洞, 发育在中奥陶统石灰岩中, 洞口标高约 1200 m , 洞口高 2.5 m , 宽约 5 m , 入洞内 20 m 后洞顶增高, 洞宽增大, 洞底有水, 局部呈积水, 雨季汛期涌水量可达 $1.0\text{ m}^3/\text{s}$ 。据访问可进入洞长大于 500 m 。又如神仙洞, 洞口高 2 m , 宽 1.5 m , 长 400 m 以上, 入洞口 5 m 后, 洞顶逐渐增高, 最高可达 30 m 。洞顶裂隙发育, 洞内石柱、石笋林立, 钟乳石倒挂, 形态奇丽, 尤如仙宫, 故名神仙洞。另外还有西交圪雷洞, 马甲柏脑沟水楼洞, 上戏河村西小龙洞, 南独泉老龙洞, 洞底村子孙爷洞等, 都是较大的溶洞。在桑林、马甲一带, 见有一条北东—南西向山间河谷, 在长不到 1500 m 的地段内, 每隔 $200\sim 300\text{ m}$ 出现垂直溶洞(竖井), 地表所见共有4个, 其间有水平溶洞相沟通。降雨时, 雨水流入天井经水平溶洞流向低处。当大水发生雍塞时, 水从天井中涌出, 随后又相继消失。在候甲至圪台庄一带, 这种垂直和倾斜式天井在深 30 m 之下水平溶洞很发育。在西交的下黄山、桑林的候甲, 雨季在岩溶竖井中流出灰色鲍鱼, 这些地方可能有地下暗河。以上这些岩溶发育形态表现出近似南方岩溶的地面景观, 主要是古

气候或现代气候的影响,特别是降雨量较多所致。

除了气候条件的影响外,一般讲,北方的岩溶发育受地层岩性,地质构造,水文网发育和新构造运动等因素的影响控制,因而呈现出沿构造带,沿沟谷水系和顺层发育等特征,具多层性和带状分布等岩溶发育规律。河北峰峰地区黑龙洞泉域勘探证明,该区岩溶发育主要有以下特征:

1、岩溶主要发育于质纯,厚层灰岩中。据和村盆地24个钻孔岩样化验资料、在 $O_{\frac{3}{2}}-^3$ 、 $O_{\frac{3}{2}}-^2$ 、 $O_{\frac{2}{2}}-^3$ 、 $O_{\frac{2}{2}}-^2$ 、 $O_{\frac{1}{2}}-^2$ 段岩层中,可溶性物质含量高,粘土质及不溶物含量低,因此,岩溶最为发育。如表(1-1)。

2、构造复合部位,背斜轴部,断裂带附近岩溶发育。黑龙洞泉形成于背斜轴部倾伏端,断裂构造复合部位,不仅溶蚀裂隙发育,而且在泉群地面附近就有溶洞生成。在峰峰四矿、八特地段,为南北向新华夏系及东西向构造体系复合部位,岩溶发育强烈,钻孔见洞率高达20%,岩溶陷落柱密集,据此推断,四矿、八特地区较早地质时期以来,即是岩溶发育地区,近期岩溶具有继承性特点如图(1-4)。

3、岩溶发育具有垂直分带规律,随着灰岩埋藏深度增加,径流明显减弱,相应地岩溶发育也随之减弱,并具有明显的分带性。各带特征详列于表(1-2)。

山东、河南、山西许多岩溶发育特征也显示类似规律。例如山东淄河地区、中奥陶统六个不同岩性段,由于建造组合类型变化小,地层厚度大,分布稳定,各段岩性单一,因而岩溶作用剧烈。特别是二、四、六段纯灰岩,岩溶发育更为强烈。在地形,地貌等条件基本相同情况下,溶洞主要在中奥陶统厚层纯灰岩中发育。如图(1-5)所示。

淄河地区发育的大、中型溶洞及水量丰富、流量稳定的岩溶泉群,也明显地受地层层位所控制。如表(1-3)、图(1-6)所示。

区内东西向构造与北北东向淄河断裂构成了该区的基本构造格局,这一构造格局明显的控制了岩溶的发育与分布。神头——西河断裂是东西向构造,较大泉水在断裂南侧沿走向呈线状分布,形成流量较大的神头泉群。而位于该泉东北方向秋谷一带,沿神头——西河断裂的次一级张性结构面,形成近南北向分布的秋谷泉群。另外,北部地区的大武一带,因受东西构造影响,岩溶发育范围广,深度大,一般发育在0—100 m标高,—200 m标高以下仍有溶洞发育。如图(1-7)。

淄河断裂由南而北纵贯全区,沿其走向形成淄河断裂河谷。断裂两侧的次一级构造及低序次的裂隙特别发育,形成了断裂两侧的纵向岩溶发育带。构成良好的地下水渗流通道。南部地区东西向构造与北北东向构造交汇复合部位的源泉一带,溶洞发育,分布普遍,而且洞径较大,如青龙洞、赵峪洞以及沿河谷地带的溶蚀漏斗等。岩溶发育形成了地下水补给、径流、排泄的良好通道,新庄以南3500 m淄河河谷处,洪水季节表流产生旋涡,且有一定响声,这表明地表水直接产生强烈渗漏。源泉附近,岩溶裂隙为地下水活动提供了通道。使地下水上升,形成了流量分别为 $1.968 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 的龙湾泉群和城子泉群。

应当指出,为数众多的岩溶泉群本身也是北方岩溶发育的一个重要形态。它们是各地区岩

峰峰矿区中奥陶统含水组、相对隔水层一览表

表 1—1

名称	层段	主要岩石名称	(平均) 主要化学成分 (%)			(平均) 主要矿物成份		结构	岩层组合类型	岩溶形态及其发育程度	含水特征	一般单位涌水量 L/(s·m)	
			CaO	MgO	SiO ₂	方解石	白云石					抽水	注水
第一含水组	O ₁ ²⁻³ O ₁ ²⁻²	角砾状灰岩 纯灰岩 花斑灰岩	48.72	2.77	0.63	70~90	5~20	隐晶	均匀状灰岩	溶隙、溶洞为主，其发育程度随埋深而减弱。	裂隙、溶岩溶水	0.266	0.0409
			53.33	1.67	0.29		5					42.953	2.359
第二含水组	O ₂ ²⁻³ O ₂ ²⁻²	白云质灰岩 纯灰岩 花斑灰岩	51.34	1.51	2.62	65~90	5~30	微晶	均匀状灰岩	其发育程度随埋深而减弱。	裂隙、溶岩溶水	0.351	0.0848
			50.36	2.26	1.99		2~8					11.399	0.352
第三含水组	O ₃ ²⁻²	纯灰岩 白云质灰岩 花斑灰岩	49.63	3.32	1.44	75~85	10~20	微晶	均匀状灰岩				
							5						
第一相对隔水层	O ₁ ²⁻¹	白云质角砾泥质灰岩 角砾白云	41.22	4.02	10.60	35~60	15~35	碎屑	互层状不纯碳酸岩	以溶孔为主，联通性差，其发育程度与埋深关系不明显	以裂隙、溶孔水为主	0.192	
							10~25					0.829	
第二相对隔水层	O ₂ ²⁻¹	白云质角砾泥质灰岩 角砾白云	39.77	5.76	5.58	35~60	20~45	结构	互层状不纯碳酸岩				
						8~15							
第三相对隔水层	O ₃ ²⁻¹	角砾灰岩 角砾泥质灰岩 白云质灰岩	38.19	6.76	10.71	35	35	结构	互层状不纯碳酸岩				
							15						

峰峰矿区钻孔岩溶统计表

表1—2

垂 直 分 带	水 平 分 区	一般标高 (m)	岩 溶 发 育 情 况						
			主要岩溶形态	钻孔见洞率 (%)	含水组溶 率(%)	第三含水组 溶隙岩溶率 (%)	溶隙全充填百分率 (%)	单孔溶隙点数 (个/孔)	孔洞发育数 占总数百分 率(%)
强带	I 区	水位以下	溶洞、溶蚀裂隙、 孔洞为主	18.8	2.32	8.84	9~24		
		±0	统计钻孔数	133	26	113	统计点数1355	3.4	30
中带	II 区	±0~	以溶隙、孔洞为主，在断裂带、背斜轴有溶洞发育	6.2	1.03	6.55	24~54		
		-200	统计钻孔数	113	7	22	统计点数424	2.2	2.5
弱带	III 区	-200~	少量溶隙、溶孔发育	0	/	1.55	54~66 (至-350米)		
		-500	统计钻孔数	24	/	3	统计点数35	0.57	/
极弱带	IV 区	-500	溶隙不发育多为全充填	0	/	0	>66		
		以下	统计钻孔数	3	/	1	/	/	/

淄河地区大溶洞统计表

表 1—3

溶洞名称	溶洞产出层位	控制溶洞发育因素	溶洞发育程度 (m)	标高 (m)
白云洞	O ₃ ² 下海薄层灰岩	顺层	高12、长60	
天师洞	O ₃ ¹ 灰岩	沿裂隙	高5、长40	540
南寨洞	O ₂ ¹ 、O ₃ ¹ 灰岩	O ₂ ¹ 与O ₃ ¹ 界面	高2、宽20	500
转道洞	O ₃ ¹ 、O ₃ ² 灰岩	O ₂ ¹ 与O ₃ ² 界面	高3、宽10	500
道峪洞	O ₁ ¹ 、O ₁ ² 泥灰岩	O ₁ ¹ 与O ₁ ² 界面	高5、宽3	
王皇洞	O ₃ ¹ 灰岩	O ₂ ¹ 灰岩与泥灰岩界面	高3、长31	460
汉王山洞	O ₃ ¹ 灰岩	O ₂ ¹ 与O ₁ ¹ 界面	高3、长40	450
青龙山洞	O ₃ ¹ 灰岩	沿构造裂隙	高8、长29	360
鹿角山洞	O ₁ ¹ 灰岩	O ₂ ¹ 与O ₁ ¹ 界面及裂隙	高23、长20	720
调虎崖洞	O ₁ ¹ 灰岩	沿构造与裂隙	高6、长51	460
朝阳洞	O ₁ ¹ 灰岩	O ₂ ¹ 与O ₃ ¹ 界面	高1.5、长1000	360

溶水的主要排泄区和排泄中心,是特定的区域岩溶地质、水文地质条件的必然产物。同时,它们又反过来影响区域岩溶的发育。在这些岩溶泉群的泉域中,从补给区到排泄区,不论岩溶形态、规模,或是发育深度都存在较为明显的规律性。在补给区岩溶形态以溶隙、溶孔为主,规模较小、而发育深度较大;排泄区则以溶蚀加宽的溶隙和溶洞为主,形成规模较大的集水通道,但发育深度小;在径流或补给径流区,则界于补给和排泄区之间。

另外,近年来岩溶地质界,特别是张之淦、韩行瑞等提出的膏溶作用及其对中奥陶统岩溶发育的影响,表明北方地区中奥陶统地层岩溶发育的机理、强度和形态特征受到膏溶作用的极大影响,其显示的主要特征为:

(1)、形成特殊的似层状膏溶破碎带,其下部在含膏层位中,为膏溶角砾岩和强烈褶皱破碎的薄层泥晶白云岩及泥质碳酸盐岩等,通常透水性差,具相对隔水性;上部为发育在上复灰岩段中的挤压破碎带和裂隙密集带,岩溶发育,在地下水的径流和排泄区常形成相对均匀的似层状富水带。

(2)、形成特殊的岩石——膏溶角砾岩,在中奥陶统地层中普遍可见,且与其含石膏层相对应。

(3)、形成特殊的岩溶现象——陷落柱。

关于膏溶作用的时代及其对北方岩溶发育的影响,目前尚有意见分歧,需待进一步深入研究来解决。

第二节 区域岩溶发育地质简史

本区地质发展史即中朝准地台的地质发展史,从震旦纪到中奥陶世,沉积了厚达1000—6000余m的碳酸盐岩。加里东运动后,随着中朝古陆的抬升,沉积间断,长时间遭受剥蚀,缺失上奥陶统至下石炭统地层。印支运动后,地台短期升降交替,沉积了一套海陆交互相地层。燕山运动后,地台上升成陆,沉积了一套陆相地层。喜马拉雅山运动在老构造的基础上继承发展,形成今日构造格局。新构造运动主要以升降运动为特点,而且,具有明显的差异性,表现为山区强烈上升,平原相对沉降。地质历史上的岩溶作用,是伴随着大陆的上升隆起过程而进行的,岩溶作用的分期必然以区域大的地壳构造运动期为基础。我国北方地区地质历史上的岩溶作用,根据北方地区的地壳构造运动历史,可划分为六个岩溶期。

震旦纪晚期,大致与震旦界蓟县期和青白口期之间的沉积间断相当,为我国北方地区最古老的一次岩溶作用,即第一岩溶期。由于该次岩溶作用的结果,在蓟县期雾迷山组碳酸盐岩组成的剥蚀面上,留下了波状起伏的溶蚀地形和规模不等的溶蚀洞穴。晚奥陶世至早石炭世为第二岩溶期,与它们之间的沉积间断期相当。该期岩溶作用是随着奥陶纪后期整个华北陆台长期均衡上升而进行的,不整合面相当平坦,岩溶地貌不明显,但在长期的溶蚀作用下,在中奥陶统顶部的碳酸盐岩中形成一个岩溶洼地、溶洞、溶隙发育带。山西式铁矿和铝土矿即充填于该期古岩溶洼地、古溶洞中。三迭纪晚期至中生代结束的燕山运动,奠定了华北区域构造的基本格局,形成了本区高低悬殊的崎岖地形,加之中生代湿热气候之配合,不仅地下有大量的溶洞发育,而且也是膏溶发育时期,在地表也出现了岩溶地形,形成大量的陷落柱,成为我国北方地区地质历史上岩溶化最强烈的一个阶段,该期岩溶作用为第三岩溶期。白垩纪

末至第三纪初为第四岩溶期,相当于北台期或吕梁期。地壳经历了燕山运动后隆起,岩溶有所发育,但由于后期地壳升降,遭受强烈剥蚀,该期岩溶保留不多,仅在太行山南段及山西北部山区,一些大型溶洞残留于1500—1900 m高程的北台期山顶部附近。如山西阳城县南部析城山,在标高1888 m的高山岩溶洼地中,发育有100多个岩溶漏斗便是这一期的产物。第三纪至第四纪初为第五期,相当于唐县期。新构造运动改造了地表形态,山西中部发育了一系列断陷盆地。在上新世山西气候温湿,地壳相对稳定,近代水系开始发育,地表水、地下水循环条件较好,岩溶作用较强烈,是近代岩溶发育的主要时期,其岩溶形态多被保留至今。在山西各地标高800—1300 m的唐县期剥蚀面上,广泛分布一些岩溶宽谷及其它岩溶现象。第四纪以来,岩溶发育进入第六期,即现代岩溶期。该期岩溶作用包括第四纪以来和尚在进行中的现代岩溶作用。第四纪以来的华北地壳运动,明显地继承了喜马拉雅运动振荡性上升的特点,因而处于上升过程中的广大山区,在第四纪期间又出现了多个岩溶层位。但在此期间气温较低,降水偏少,不利于地表岩溶的发育。然而,由于山地与平原间新构造运动的差异,排泄基准面下切,岩溶作用从地面逐渐转向地下,有向深处发展的趋势。故地表以干谷和出露大型岩溶泉为特征,大型溶洞罕见。在深切河谷岸坡,可见一些裂隙式溶洞。其规模一般较小。地下发育的岩溶多数以溶隙和溶孔为主。上述岩溶形态,一般沿节理裂隙带、断裂带及其交汇带发育。在第四纪期间的岩溶作用中,以中更新世与全新世两个阶段岩溶作用最为重要,岩溶化强度和规模又以中更新世相对最大。该期岩溶作用在分布上的一个显著特点,岩溶现象多沿第四纪古河道和现在河道以及山前区域地下径流的排泄区分布。因为这些地方受下水的补给、聚集和交替条件最好。综合一些调查资料,属于第四纪期间出现的岩溶层至少可分三层。在河北部、邢西部山区,其高程分别为170—210 m、350—400 m、620—650 m;晋太行山东南端的河南辉县境内,分别为-100—100 m、250 m、480—520 m,其位置分别与现代河床、Ⅱ级阶地、Ⅰ级夷平面相当,地质时代分属于全新世、中更新世和下更新世。具体如图(1—8)所示。

关于水对可溶盐岩石的溶蚀能力,以往以侵蚀性 CO_2 的含量来判别,近年来基于国内外对岩溶水中碳酸盐平衡的深入研究,认为岩溶水体中化学元素的地球化学行为,是特定的自然环境和生态环境条件下,水—岩石—生物系统内化学平衡过程的反映;通过研究岩溶水中矿物的平衡,计算水中矿物的饱和程度,可以评价水对岩石(矿物)的溶蚀能力。

水中矿物的饱和程度用饱和指数表示。饱和指数为矿物溶解于水离子活度积与矿物在溶解平衡时的离子活度积常数之比例参数,通常以符号 SIC 、 SID 和 SIG 表示方解石、白云石和石膏的饱和指数。据地矿部岩溶地质研究所资料(详见表1—4),目前山西一些岩溶大泉泉水的 SIC 和 SID 值基本为正值,或为接近于零的负值,即对北方碳酸盐岩系地层的主要组成矿物方解石、白云石,其溶解能力极弱;而 SIG 却普遍为负值,且基本小于负1,说明岩溶水对石膏仍有较强的溶蚀能力。

从岩溶水的溶蚀能力考虑,目前北方岩溶水的矿物饱和程度应该是北方现代岩溶不甚发育,以溶蚀裂隙、小的溶洞、溶孔为主要形态的一个重要原因。

根据区域岩溶地质发展史和现代岩溶水中矿物饱和程度研究资料,可以认为,通常人们所讲的北方岩溶,只是第四纪以来形成的北方现代岩溶的简称,且现代岩溶不以新生代为