

织金洞的气候环境及空气中二氧化碳^{*}

朱文孝 李坡 潘高潮
(贵州省山地资源研究所)

提 要 对该洞穴气候环境和洞穴空气中 CO₂ 浓度的变化特点进行了阐述,拟定了洞穴 CO₂ 浓度质量卫生标准,提出改善措施。

关键词 气候环境;空气中的 CO₂;评价;织金洞。

洞穴气候环境及其空气中二氧化碳(CO₂)浓度的研究,不仅对探讨洞穴的成因有意义,而且对于洞穴环境保护有其实际价值,是开放洞穴必不可少的研究项目之一。

1 洞穴自然环境现状简述

织金洞,原名打鸡洞,是我国著名的旅游洞穴。位于贵州省织金县城东北 21km 处,官寨乡海拔约 1300m 的溶丘洼地中,处在近岸伏流带^{**}内。洞穴围岩为下三叠统夜郎组黄村坝段灰岩。该洞基本为一倾斜单进口洞,进口总断面积 325m²,相对高差(洞深)230m,洞道可分为四层,最宽处 150m,最窄处 0.4m,一般多在 30~50m,最高 65m,一般多在 20~40m,上万 m² 的厅堂有 6 个,其中,最大的面积为 46,200m²(主洞尾部大厅),容积约为 2.079,000m³。洞道断面形状主要为矩形、穹窿、拱型及锁孔状。洞穴由主洞、塔林洞、鼠洞、边石洞及卷曲石洞五条支洞组成,平面展布具有菱形网格状特征,发育方向为 NE、NEE、NW,局部为 S-N、EW,但总体方向为 NE(图 1)。该洞是一座享有盛名的石灰岩大洞,自 1985 年初开放以来,已接待国内外游客 40 余万人次。

2 洞穴气候环境特征

2.1 温度

第一作者简介:朱文孝,男,41 岁,副研究员,1978 年毕业于贵州工学院水文地质及工程地质专业。550001 贵州省贵阳市延安东路 40 号。

^{*} 本文系国家自然科学基金资助项目(49261010)的前期工作成果。

^{**} 杨汉奎等.贵州旅游资源开发与环境问题,《贵州环境预测文集》,1985。

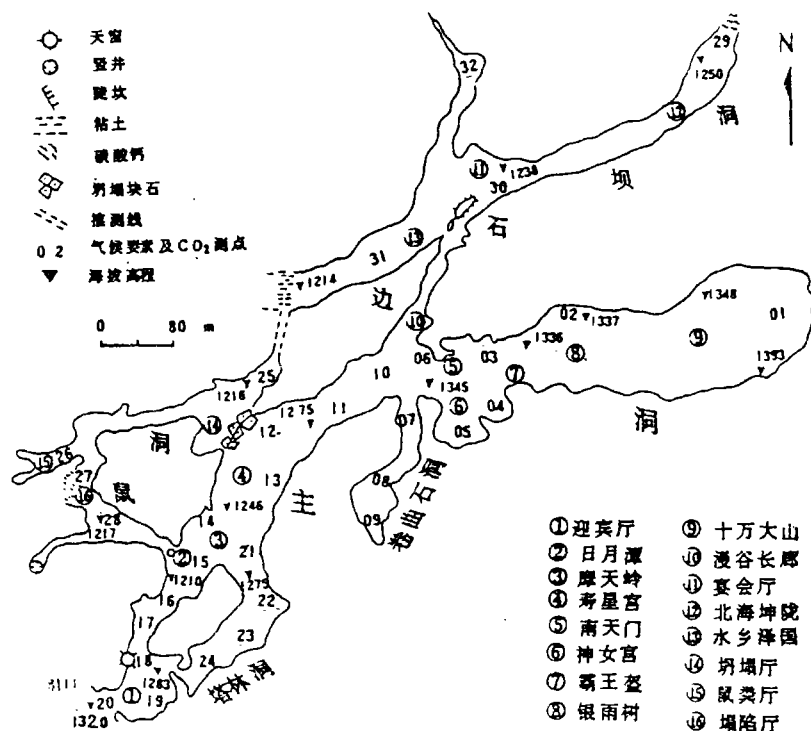
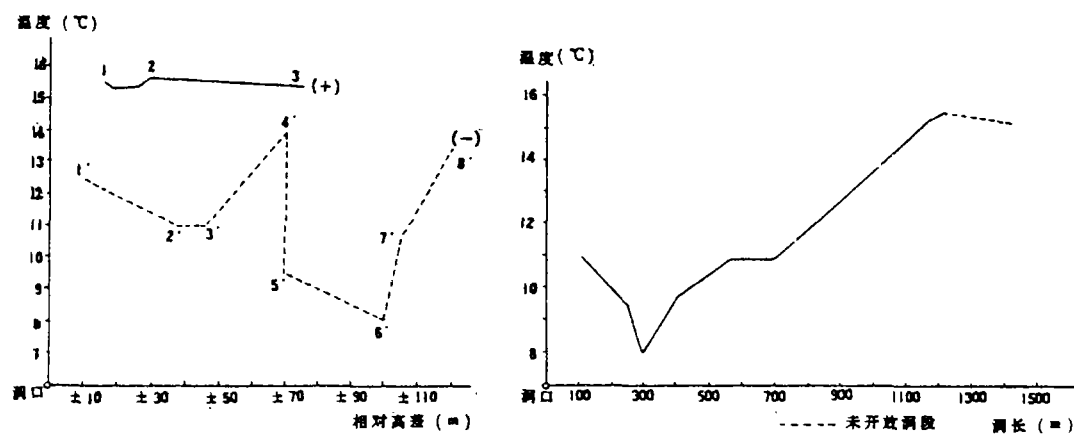
图1 织金洞平面展布及温度、CO₂测点分布图Fig. 1 Plane map of Zhijin Cave and monitoring spots of temperature and CO₂ of air

图2A 织金洞相对高差与温度关系图

Fig. 2A Relationship between relative height and temperature in Zhijin Cave

1. 卷曲石洞; 2. 银雨树; 3. 十万大山(未开放); 4. 南天门; 5. 迎宾厅; 6. 万寿山; 7. 北海堂(未开放); 8. 现牛台; 9. 日月潭; 10. 鼠洞(未开放); 11. 水乡泽国(未开放)。

图2B 织金洞主洞长度与温度关系图

Fig. 2B Relationship between length of main cave and temperature in Zhijin cave

据近两年温度监测资料,自进洞口 80m 处起,每个洞段(厅)年温度变化范围为 0.4~4℃,随洞道向里延伸,年温度变幅减弱,温度趋于稳定。温度最低点是距洞口斜距 350m 处的日月潭,年气温变化 7.5~9.0℃;温度最高点是在主洞洞尾,年温度变化 15.4~15.8℃,洞道全年处于逆温环境状态(图 2A、2B)。如日月潭比进洞口低 100m,年均温度 8.5℃,而十万大山末端高于进洞口 50~76m,年均温度保持在 15.4℃。这主要是洞口至日月潭是该洞的主要倾斜洞段,而且距洞口较近(350m),容重较大的冷空气易进难出,易集聚在低处所致。而在距洞口 1200m 远,且低洞口 109~128m,封闭条件好的水乡泽国,因其洞段东北端有一落水洞(斜井),气流可沿此通道产生运移,加速了洞穴空气的运动,因而温度难以增高,长年恒定在 13.5℃。

2.2 湿度

相对湿度年变化与温度年变化相同,年变幅 1~8% 之间。下层洞湿度一般较为稳定,如鼠洞,水乡泽国长年分别稳定在 83~84% 和 92~93%,这是因为鼠洞长年缺水,水乡泽国顶板滴水点长年不断,冬季洞池水也不易干涸。而望山湖、凌霄殿及广寒宫等洞段,由于冬季洞穴水量减少或断流(滴),池水干涸,因而相对湿度季节性变化较为明显。

2.3 风

洞穴风,多属热对流产生的风,一般以烟雾示踪气流方向,其风速很小,仅在温度变化地带及断面窄小的通道测出,最大风速 0.03m/s,一般 0.01~0.02m/s。该洞由于属单进口洞,空气流通反作用力大,主要靠脉动风压使洞内空气作共振式运动。虽然洞内部分洞段可通过顶板裂隙及底部竖井排气通风,但由于各洞段断面和方向变化较大,导致风压损失,加之堆积物的阻挡而造成正面阻力,故使洞穴空气流通缓慢,风速弱。

3 洞穴气候分区

自然界中的洞穴形态多种多样,情况千变万化,因此以往在洞穴气候分区(带)上难以采用一个统一的分区方案。根据近年来的研究,结合织金洞的实际情况,我们采用定量指标对织金洞进行了洞穴气候分区。

分区指标主要采用洞穴年变化温度和年变化相对湿度两个要素(表 1)。

表 1 洞穴气候分区要素指标
Tab. 1 Indexes of climatic zone of Zhijin Cave

名 称	年变化温度 (℃)	名 称	年变化相对湿度 (%)
寒冷	<0	干燥	<85
低温	1~9	湿润	85~95
温凉	9~14	潮湿	>95
温暖	14~20		
温热	20~35		

织金洞空气中 CO_2 测定结果表明:

1. 随洞穴向里延伸, CO_2 浓度逐渐增高(图 4A)。但因洞段的空气流通情况、封闭条件、和上下洞层勾通条件的不同、以及洞穴水量大小差异和人为活动等因素的影响,使比空气重 1.53 倍的 CO_2 沉底作用不明显,相反有低处小于高处(图 4B)的不正常现象。

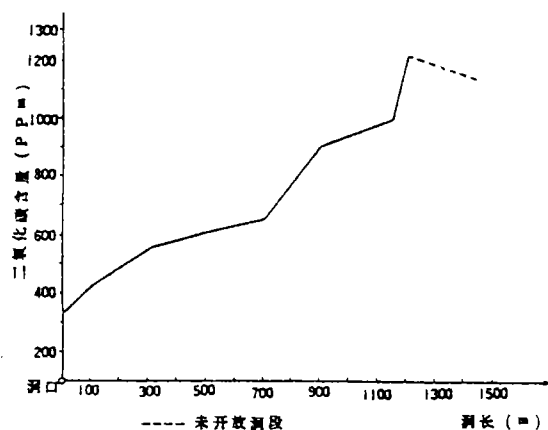


图 4A 织金洞主洞长度与空气中 CO_2 含量关系图

Fig. 4A Relationship between lenth of main cave and CO_2 content of air in Zhijin Cave

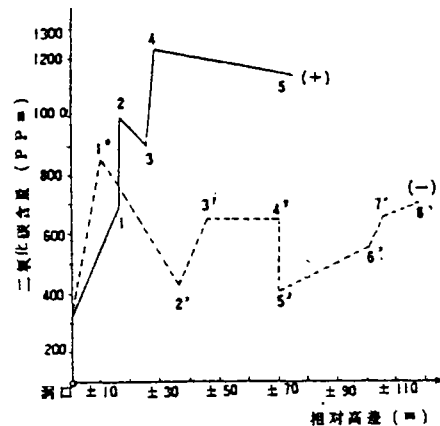


图 4B 织金洞相对高差与空气中 CO_2 含量关系图

Fig. 4B Relationship between relative height and CO_2 content of the air Zhijin Cave

1. 卷曲石洞; 2. 霸王盔; 3. 银雨树; 4. 十万大山(未开放)
1. '南天门; 2. '迎宾厅; 3. '万寿山; 4. '北海堂(未开放)
5. '观平台; 6. '日月潭; 7. '鼠洞(未开放); 8. '水乡泽国(未开放)

日月潭洞段,因距洞口最近(仅 350m),封闭条件差,且鼠洞沿支洞进口又处于该洞段,空气可向主洞和鼠洞两个方向流动,循环条件良好,在鼠洞口测出风速为 0.03m/s,风速较大;同时洞底有长年不干的池水,部分 CO_2 还可溶于水池中,因此该处的 CO_2 浓度最低,为 500ppm 左右。

位于洞内最低处的水乡泽国洞段,由于该洞段的 NE 端有一斜井的存在,它成为该洞段排气排水的良好通道;加之该洞段还未开放,尚未受到人为因素干扰;而且它与上层 CO_2 浓度较高的洞段不是垂直直接相通,而是要经过长距离,小而曲折的倾斜通道或斜井,因此制约了上层洞(高处) CO_2 的沉底作用,使该洞段的 CO_2 含量为 700ppm 左右。 CO_2 浓度较高(1000ppm 左右),且位置最高的广寒宫至十万大山洞段,由于处于洞尾,而到达此洞段要经过一些狭窄低矮的洞段,因此使空气流通十分缓慢;而且主要景点集中在这些洞段,游客量大,因而导致 CO_2 浓度增高。

2. 由于人为活动的影响,相同自然环境条件下,开放洞段的 CO_2 浓度都高于未开放洞段。

3. CO_2 浓度变化具季节性,冬季普遍小于夏季。造成季节性的差异的主要原因是:①夏季时洞穴水丰富,洞底的通道以排水为主,洞顶通过裂隙向洞内输水,阻碍空气向洞外流通,

白色烟雾涌出),如漫谷长廊前段及十万大山(洞尾)等洞段,底板部分竖井和落水洞也可排气,因而洞穴空气循环良好。长年温度恒定在 11~15℃,个别洞段 9~10℃,年平均温度 13℃,相当于织金地区地表春季平均温度,是较为理想的旅游气候环境。

随着洞穴旅游事业的发展,洞穴环境保护倍受关注。关于空气中 CO₂ 浓度质量卫生评价标准,目前我国尚空缺,笔者在参考国内外有关资料^① 的基础上,拟出空气中 CO₂ 含量对人体与环境的影响评价指标范围(见表 2)。为控制和改善洞穴空气质量,保护洞穴自然生态环境和游客健康,防止洞穴环境恶化,根据表 2,对旅游洞穴空气中 CO₂ 浓度卫生标准进行了三级划分:

一级标准:长期始终保持原生自然生态环境,有良好空气质量和碳酸钙沉积环境,有利于游客健康。CO₂ 含量在 1,000ppm 以下。

二级标准:在长期时间内,CO₂ 浓度呈缓慢递增趋势,但基本不伤害游客健康,不影响碳酸钙沉积环境。CO₂ 含量在 1,000~3,000ppm 范围。

表 2 空气中 CO₂ 浓度对人体与环境的影响

Tab. 2 The effect of CO₂ on air on human and environment and evaluation

CO ₂ (ppm)	人体与环境影响
300	正常大气圈空气中的含量
1000 以内	建筑物管理基准
1000	公共场所允许浓度
5000	敏感者感到恶心,无力。日本劳动卫生 允许浓度;苏联诺沃阿万洞允许的下限
10,000	大部分探洞者认为合适,不存在装备问 题,苏联诺沃阿万洞允许的上限
20,000	不快感,但可以工作。蜡烛燃烧不好
30,000	呼吸短促,血压上升。蜡烛、火柴闪烁
40,000	头痛、目眩、耳鸣
60,000	呼吸十分困难。碳化物灯燃烧不好
70,000~100,000	数分钟后神志不清,死亡。碳化物灯熄灭

注:主要据日本国 CO₂ 卫生标准及沃伦等资料编制。

三级标准:游客有不适感觉,但不会发生急、慢性中毒,一般洞穴生物(除敏感者外)尚能生存,洞穴景观尚保持原样。CO₂ 含量在 3,000~5,000ppm 范围。

织金洞的 CO₂ 浓度卫生标准目前除个别洞段属二级标准外,其余洞段都处于一级标准。

织金洞虽在开放前未作过环境背景值的研究,但根据近年的监测资料表明:开放地段的 CO₂ 含量及温度普遍高于未开放洞段。如神女宫~十万大山洞段的银雨树景点,空气中 CO₂

① 贵州省环境保护局《环境保护手册》,1986。

含量为 1,460ppm, 温度 15.8℃ (调查季节是在游客量占全年 60% 的夏季, 而同一时间在距离 80m 处未开放的十万大山(洞尾)中部所测的 CO₂ 含量为 1280ppm, 温度 15.5℃。另外, 测得霸王盔景点空气中 CO₂ 含量为 900ppm, 温度 15.5℃, 而在空间比其小, 更封闭, 且未开放的神女宫, 测得 CO₂ 含量为 810ppm, 温度 15.4℃。又如开放时间较晚, 游客少(比南天门、霸王盔等景点少近 3/5 游客), 空间小, 封闭条件好的卷曲石洞, 其空气中 CO₂ 含量均比位于同一高程的南天门及霸王盔景点低 140~200ppm, 温度低 0.6~0.9℃。综上所述, 织金洞开放的洞段自 1985 年开放以来(3 年时间), CO₂ 浓度增高 140~200ppm, 温度增高 0.3~0.9℃。我们曾于 1986 年元月 17 日测量过主洞段温度, 与 1989 年元月 18 日所测的温度相比, 三年来温度普遍增高 0.5℃ 左右(见表 3)。

表 3 织金洞主要洞厅(段)日温度变化(1986. 1. 17~1989. 1. 18)

Tab. 3 Temperature in main hall(section) from 1986. 1. 17 to 1989. 1. 18

洞段名称	实 测 温 度 (℃)	
	(1986 年 1 月 17 日)	(1989 年 1 月 18 日)
日月潭	8.0	8.5
摩天岭	9.5	10.0
万寿宫	10.0	10.7
南天门	14.5	15.2
霸王盔	15.0	15.5
银雨树	15.0	15.6
十万大山	15.3	15.3
卷曲石厅	15.0	15.4

注: 地表温度分别为 8.0℃ 和 8.5℃。

根据三年来实际观测, CO₂ 和温度均呈缓慢增高趋势, 如果旅游者逐年递增, 则人体呼出的 CO₂ 可能逐渐积存在洞中, 达到危害人体健康的浓度。这一问题值得旅游管理部门注意, 采取必要措施, 既保持环境质量, 又增加社会和经济效益。

关于改善洞穴气候环境和空气质量, 目前一般采用增开通风洞口, 增强气流循环的措施。但必须注意, 不能因增大进风量, 温度、湿度的改变而改变和破坏原有洞穴的环境和风貌。虽然织金洞开放洞段的 CO₂ 浓度和温度有所增高, 但其气候环境和空气质量还是良好的。目前在年游客 10 万人次左右的情况下, 只要加强管理, 合理开发, 可不需新开洞口。若考虑游览线路的进出需要和今后游客量增加需增开新洞口, 则应注意下列几个问题:

1. 新开洞口宜选在与进洞口高程相同的高程位置, 以减轻“烟囱效应”强度, 避免产生较强的洞穴空气循环。
2. 新开洞口不宜与进洞口相对应, 避免空气直接对流, 产生较强的洞穴风。
3. 洞口应选在避风地段或风向频率最低的方位开挖, 且洞口断面宜小(单人通行)不宜大, 随开随关。
4. 对洞穴环境应定期进行监测, 掌握动态资料, 及时处理影响洞穴环境的不利因素。

参 考 文 献

1. 张英骏. 贵州旅游洞穴环境保护谘议. 贵州喀斯特环境研究. 贵州人民出版社, 1983, P9—14.
2. 朱文孝. 论喀斯特洞穴问题. 贵州喀斯特环境研究. 贵州人民出版社, 1988, P164—167
3. 章典. 贵州喀斯特洞穴的气象特征和气候分带研究. 中国岩溶, 1985, (1).

CLIMATE AND CO₂ OF AIR IN ZHIJIN CAVE

Zhu Wenxiao Li Po Pan Gaochao

(Guizhou Institute of Mountainous Resources)

Abstract

The length of Zhijin Cave, its former name is Daji Cave, is 4.215km. It is a famous tourist cave in China. The climatic environment and CO₂ of air in this cave are studied and depicted. The sanitary standard of CO₂ content of air in this cave is suggested. The improving measures for tourism are presented.

Key words: climatic environment, CO₂ in air, evaluation, Zhijin Cave.