

文章编号:1001-4810(2005)01-0077-06

洞穴事故分析及防范措施探讨

——以英国、美国为例^①王晓青^{1,2}, 田明中¹, 朱嘉伟¹

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 曲阜师范大学资源与规划学院, 山东曲阜 273165)

摘要:通过对英、美等国家洞穴事故的分析,认为洞穴探险事故的发生主要由洞穴地形险峻或岩石崩落、疾病和低体温、洞穴水、被困和失散等原因造成。洞穴事故发生时间多在春、夏、秋季;15~34岁年龄段发生频率较高,其中以20~24岁年龄段发生频率最高。洞穴事故除了可能造成人员低温、极度疲倦和溺水等伤害外,往往造成四肢、头部或躯干损伤,其中以小腿、踝关节外伤最为多见。根据发达国家的洞穴探险经验,文中还讨论了防范洞穴探险事故的措施。

关键词:洞穴探险; 洞穴事故; 发生规律; 防范措施

中图分类号:P97

文献标识码:A

0 引言

根据国际洞穴学协会(International Union of Speleology)的定义,洞穴是指人能进出的天然地下空间。按照洞穴的围岩可以分为碳酸盐岩洞、石膏洞、砾岩洞、玄武岩洞、砂岩洞、冰川洞等,但在地球上分布最广、数量最多、规模最大的是由岩溶作用形成的洞穴。

洞穴探险(Caving)是指探洞者(Caver)对洞穴的发现、探知、游历、考察等运动或科学研究活动。洞穴探险不仅是一项极富挑战性和刺激性的体育运动,同时也是一项科学活动。它要求参加人员不仅有充沛的体力、灵敏的反应,还应掌握必要的探洞技术和洞穴知识。人类对未知世界的好奇心、求知欲和冒险精神对该项活动的产生和发展起了很大的促进和推动作用。

群体性有组织的探险活动,起源于欧洲一个多世纪以前^[1]。现代洞穴探险在国外,尤其在发达国家发展较早,也较为普及,有许多洞穴协会和组织。如美国在1941年由William J. Stephenson等发起成立了全国性洞穴协会National Speleological Society^[2]。英国的全国性洞穴协会如British Caving Association,

British Cave Research Association, National Caving Association等也都有较长的历史。发展到目前,洞穴探险已成为不少人们的业余爱好,成为一项重要的周末和假日体育运动(Caving Holiday)。各国不仅建有全国性的洞穴协会,还有不少地方性的洞穴俱乐部(Caving Club),如法国有450多个洞穴俱乐部,成员6000多人,英国有200多个洞穴探险俱乐部。自20世纪80年代以来,通过中外联合洞穴探险活动的开展,现代洞穴探险活动被引进我国,并逐步得到推广,是一项目前正在兴起的群众性运动。

由于洞穴环境的危险性、未知性及探洞人员知识、经验的缺乏或疏忽往往导致探险事故的发生。为此,本文通过对英、美等国家洞穴探险事故的分析,总结探险事故类型、发生原因及其伤害后果,以期对我国的洞穴探险有所借鉴。

1 英、美国家洞穴探险事故类型

1.1 洞穴地形和岩石崩落造成的事故

1.1.1 洞穴地形造成的人员摔落或磕碰

由于洞穴,特别是岩溶洞穴形态极不规则,底部

① 基金项目:山东省教委资助项目(J02A01)

第一作者:王晓青(1955—),男,山东曲阜师范大学资源与规划学院教授,中国地质大学地球科学与资源学院博士在读。

收稿日期:2004-06-03

崎岖不平,和许多洞穴及其周围因岩石裂隙、沟壑、竖井、落水洞、石笋、岩锥发育,部分洞段非常狭小,此外,还由于未开发洞穴没有安全的路径和警示标识,加之探洞者对地形不熟悉和黑暗的环境,容易使人员摔落造成伤害。洞穴中的溶蚀微地形如岩锥、岩针、岩钟乳,以及化学沉积如石钟乳、石笋、边石往往具有尖锐的末端和边缘,可以造成探洞者外部损伤。美国 1996—2003 年间由于洞穴地形造成的人员摔落、碰伤事故达 157 起,占洞穴探险事故总数的 42%;英国 1989—2002 年洞穴地形事故也占到 26.3%,仅次于

因失散报援的事故(表 1,图 1)。

1.1.2 岩石崩落

部分洞段不稳定岩体可能在洞穴探险过程中崩塌、滑落。在洞穴事故中虽然其所占比重较小(在美国 1996—2003 年占 7%;在英国 1989—2002 年占 3.3%),但却非常危险,可以造成重大的人员伤亡。在美国,岩石崩落事故中造成人员伤亡的比重可以达到 65%(表 1),仅次于洞穴地形和洞穴潜水造成的事故。

洞穴地形和岩体崩落是英、美等国家洞穴探险伤害事故发生的首位原因(图 1)。

表 1 美国洞穴探险救援事故(1996—2003)

Tab. 1 Results of rescuing for caving accidents in US. (1996—2003)

事故原因	死亡 (起)	受伤 (起)	无伤亡 (起)	事故总数 (起)	备 注
人员跌落	12	124	11	147	包括跌倒和摔落。
岩石崩落	3	14	9	26	
岩壁磕碰	0	9	1	10	包括划伤、刺伤、碰伤等。
疾病	5	5	7	17	包括狂犬病 1 例,组织胞浆病 3 例,其余大部为心脏病突发。
低温或极度疲倦	0	0	7	7	患病或被困往往伴随体温降低和极度疲倦,没有统计在内。
空气质量	0	1	2	3	
水淹	4	0	16	20	死亡者中部分为洞穴被淹受困致死。
潜水	34	3	0	37	最多的 1 起死亡事故为 4 人。
被困	3	6	72	81	包括在攀爬中悬吊被困。
失散	0	0	15	15	很少造成伤害。
设备故障	0	1	5	6	其中大部分为灯光设备故障。
动物	0	0	1	1	发生 1 起与狗熊相遇,由于接触蝙蝠造成的伤害统计在患病项。
总计	61	163	146	370	

资料来源:National Speleological Society of America, American Caving Accidents(1996—2003)

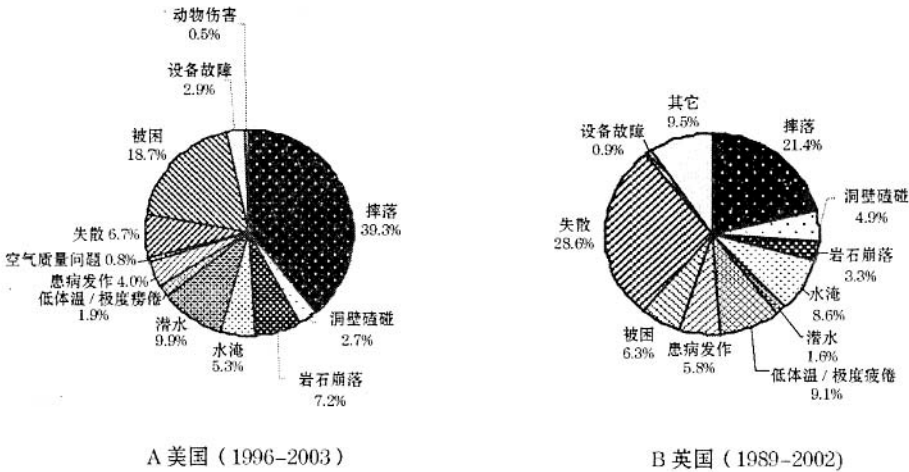


图 1 美、英国洞穴探险事故原因比例图

Fig. 1 Scale map of caving accidents in US. and UK.

1.2 疾病和低温伤害

1.2.1 洞穴空气造成的健康问题

洞穴环境是一个低温高湿的封闭环境,在某些洞穴中会有缺氧情况发生;洞穴内的CO₂ 含量高于外部大气^[3,4]。M. 杜布良斯基发现当洞里的CO₂ 浓度达到 7.5%,氧浓度下降到 15%时,人们就感到头痛、恶心和呕吐。由于围岩成分及洞穴堆积物质成分不同,有的洞穴空气中可能含有甲烷、硫化氢、氩等有害气体成分,对人体健康产生危害^[5,6]。

1.2.2 洞穴生物引起的疾病

洞穴中有着独特的动物群落,其中最为常见的是哺乳类(如蝙蝠)、鸟类、爬行类、昆虫(蜘蛛)、鱼类等。其中有些生物体寄宿大量使人致病的病毒或细菌组织胞浆菌病(Histoplasmosis)就是比较常见的一种,通常表现为发热、咳嗽和不同程度的身体不适或急性肺炎症状。如1988 年1 月4 日,在—群进入哥斯达黎加圣罗莎国家公园一个岩洞内旅游的大学生中发生了一起组织胞浆菌病暴发^[7]。在美国也有洞穴探险感染组织胞浆菌病的报道。

研究证实,食虫蝙蝠和吸血蝙蝠还可感染狂犬病毒。当人或其它动物被这些蝙蝠咬伤或吸入它们所在洞穴中的尘埃后,便可引起狂犬病。1956 年,美国生物学家莫尼克在岩洞作实地考察时,吸进了大量岩洞中的混有蝙蝠粪便的尘埃,死于狂犬病导致的呼吸麻痹^[7]。1998 年5 月3 日在美国Colisimo Cave 也出现一例因洞穴探险接触蝙蝠而患狂犬病的案例^①。

1.2.3 洞穴低温引起的伤害

由于洞穴空间被围岩所圈闭,是一个相对独立的环境系统。一般来说,洞口带的气温受外部环境影响较大,其日变化与 年变化与当地地表气温变化相近;而越往洞内,则气温波动越小直至不受外界影响,基本稳定在当地多年平均气温左右。一般的洞穴气温低于人体体温 15~20℃,如果洞穴探险活动时间较长,没有保温措施,必然引起体温过低而导致伤害(表 1,图1)。特别是在精疲力竭、衣物潮湿的情况下,会较快产生体温下降的生理反应。当体温降到摄氏 3~5 度以下时,人体即已进入失温状态,感觉寒冷、皮肤苍白、四肢冰冷、颤抖、言语含糊不清、脉搏变慢、失去意识等。患者进入失温状况后,可能在数小之内死亡。

洞穴探险是一项健康者的活动。在老年体弱或身体不适的情况下,进行洞穴探险是非常危险的。如果在洞内滞留时间过长,极度疲乏的情况下,容易引发

各种疾病,如循环系统、呼吸系统疾病等。

1.3 洞穴水造成的事故

由于潜流带或季节变动带的洞穴往往有地下水或地下湖,以及处于包气带中但底板为不透水层的洞穴在降水期间也会形成洪流,致使水位急剧上升和水流速度加快,从而造成洞穴探险人员溺水伤亡。在欧美等一些发达国家兴起的洞穴潜水运动比一般在海洋、湖泊中的潜水运动更具有危险性,因而技术要求也更高。洞穴潜水环境能见度很低,通道复杂多变,在洞内不易判断方向,万一出现紧急情况(如技术故障)不像在开阔水域潜水那样能迅速浮出水面。美国近年来几乎每年都会有人因为洞穴水伤亡事件,而且洞穴潜水事故中致死的可能性非常大(表 1)。

1.4 被困和失散

洞穴岩石崩落、探洞者摔落、洞穴洪水均可以使洞穴探险人员被困。除此以外,由于局部洞道狭小,使探洞人员被卡住,或患病、设备故障等也是受困的重要原因。长时间被困往往造成体温降低、脱水、身体代谢失衡,造成伤亡。失散虽然是重要的求援原因之一,但除了由于被困和伤害原因造成的失散外,通常较少造成伤害事故。

1.5 设备故障

洞穴探险设备包括普通设备和特殊设备。普通设备是一般洞穴探险必需的设备,如防护设备和照明设备。特殊设备指在特殊洞段所必需的设备,如水洞探险所需的浮水设备和潜水设备,垂直洞穴探险所必需的升降设备等。洞穴探险中比较常见的设备故障是灯光故障;而垂直洞穴探险设备故障和水洞探险设备故障的出现是非常危险的,有时是致命性的。

除此以外,探洞者对技术(如 SRT 单绳技术)掌握不熟练、路线选择不当、设备安装不科学和装备不足等,也是导致洞穴探险活动事故发生的主要原因。

2 洞穴事故发生规律

2.1 发生时间

根据英、美等国家的援救记录,洞穴探险事故的发生具有一定的季节性。一般来说,洞穴事故多发生在春、秋季节。由于美国洞穴潜水活动较多,因此夏季也是洞穴事故的高发季节(图 2)。

从时间步长来看,事故多发生在周末,如英国在周末发生的事故约占总事故发生率的 60%^②。

① National Speleological Society. NSS News-American Caving Accidents.1998.

② British cave rescue council, An analysis of cave rescues for the period 1989 to 1998.

2.2 发生人群

根据英国洞穴探险救援记录,洞穴探险事故发生人群年龄以15~34 周岁的青壮年人群中发生比例较高,特别是20~24 周岁年龄段发生比例最高(图3)。

2.3 受伤部位

洞穴事故除了可能造成人员低体温、极度疲倦和

溺水等伤害外,往往造成四肢、头部或躯干损伤(皮肤、肌肉损伤或骨折),其中以小腿、踝关节外伤最为多见,占19.1%;其次为背部和脊骨损伤,占17.6%,有时可能造成多处严重损伤,引起大量出血或伤及内脏,甚至危及生命(表2)。

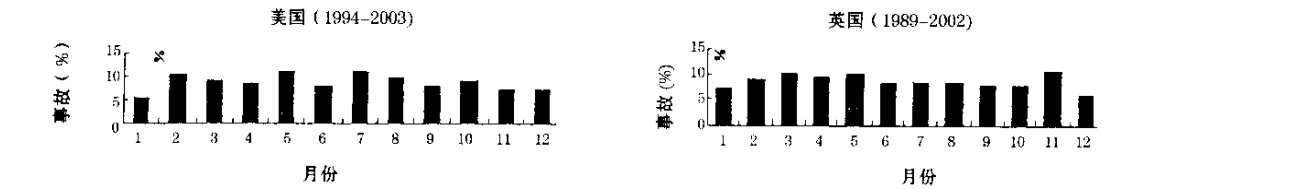


图2 美、英国洞穴探险事故年内分布统计图
Fig.2 The distribution of annual average amount of caving accidents in US. and UK.

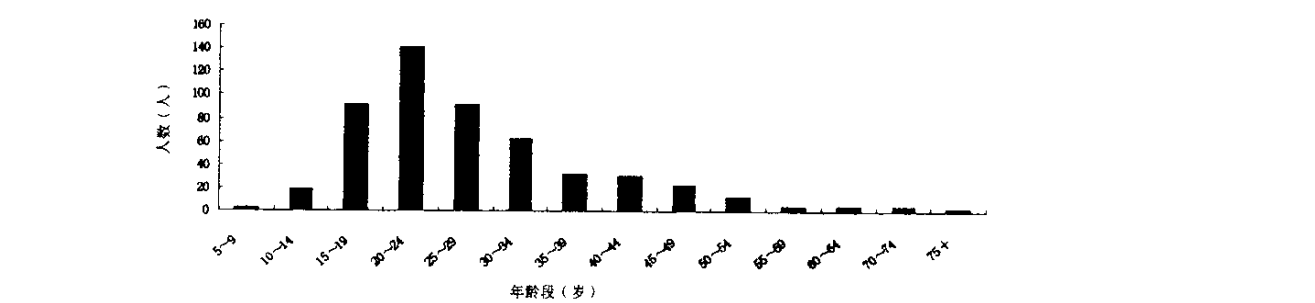


图3 美、英国洞穴探险事故发生人群统计图(1989—1999)
Fig.3 The probability of caving accidents among different age of people in US. and UK.
资料来源: British Cave Rescue Council, incident report (1989—1999).

表2 英国洞穴事故造成的身体伤害统计表(1989—2002)
Tab.2 Injuries of cave accidents in UK. (1989-2002)

受伤部位	小臂/腕	大臂/肩	胸部	大腿/骨盆	头部	小腿/踝	膝盖	脊骨/背	多处严重损伤	合计
事故(起)	11	17	13	11	14	26	11	24	9	136
占百分比(%)	8.0	12.5	9.5	8.0	10.2	19.1	8.0	17.6	6.4	100

资料来源:British Cave Rescue Council, incident report (1989—2002).

3 防范措施

3.1 准备工作

像其它探险活动一样,洞穴探险是一项极富挑战性和刺激性的活动,同时又是一项危险的活动,特别是在未开发洞穴中的探险活动更是对身心的极大挑战。任何的麻痹、疏忽都可能带来危险。要减少或避免风险,洞穴探险者应该增强安全防范意识。在进行洞穴探险活动之前,首先做好探险准备工作:

- (1)探险人员应该首先接受系统的、有关体能和洞穴探险技术的培训^③。
- (2)做好探险计划和人员组织工作;探险组成人员应该在4~8 人,应由专人负责指挥带队^③。
- (3)收集资料,了解被探洞穴所在地区水文、气候、地貌、地质、人口、经济、交通、历史沿革等;初步了解该地区的一些基本情况,以便探险活动的开展。
- (4)了解被探洞穴可能发生的安全隐患,洞穴探险伤害事件后果及其抢救和自救方法、措施。

万方数据
③ Adrian Sira, A guide to responsible caving, 2001

- (5)根据洞穴环境,选择携带的洞穴探险装备。
- (6)与洞穴所有者、当地政府或旅游部门联系,得到探洞许可^[9],以在发生危险的情况下及时得到援救。

3.2 探洞装备

良好的探险装备是保证探险安全的基本条件。洞穴探险装备包括普通设备和特殊设备。普通设备是一般洞穴探险必需的设备。如防护设备,包括防护服、头盔、手套、护膝、护腕与护肘等;照明设备,有些国家洞穴探险组织要求准备三种不同光源的照明灯和备用灯。

特殊设备指在特殊洞段所必需的设备,如水洞探险所需的浮水设备,如橡皮艇(或筏排)、防水服、救生圈、测绳等。潜水设备,包括空压机、供气瓶、轻便橡胶潜水服、潜水帽、脚蹼、压力表、潜水电筒、潜水匕首等。干洞探险中单绳技术(Single Rope Techniques)主要装备包括如安全带、连接锁、下降器与上升器、保险绳、工具袋等。

3.3 洞穴自救与援救

任何一个洞穴探险队员都必须具备自救和救援他人的能力。当伤害情况发生时,首先应该采取的行动是避免伤情进一步恶化,并采取措施撤出洞外。当自己受伤、患病或被困时,应该保持情绪稳定,不要惊慌失措。当同伴不在附近时,自己尽快处理伤口或病情,及时通知同伴,并在原地等候援救。若同伴受伤时,应该迅速查明受伤部位,并设法帮助他双脚抬高,避免脑部出现缺血。如果是脊椎受伤或上体剧烈挫伤,要尽量避免搬弄伤者,应该迅速找来担架或自制简易担架,把伤者平抬上担架并固定,避免发生脊椎错位导致瘫痪或死亡;并尽快地将受伤者救出洞穴,送往医院抢救。如果出现探险队自己无法解决的重大事故,如人员失踪,被困或伤病等。应设法尽快与当地警方或政府部门取得联系,请求援救。

3.4 建立洞穴探险组织和洞穴援救机构

目前的洞穴探险,除了少数科研机构组织的科考活动以外,大部分是一种自发的活动,由于缺乏探洞知识和相应的培训,很容易造成伤害事故。因此,成立洞穴探险组织,利用互联网交流洞穴探险信息和经

验,定期举行研讨会和培训班,讲授洞穴探险知识和进行探洞技术培训,不仅可以减少伤害事故,而且可以更好地保护洞穴景观,减少地质景观的人为破坏。洞穴探险如能在专家的指导下,有计划、有组织的进行,可以最大限度地减少洞穴伤害事故。除此以外,洞穴是比较特殊的环境,进行洞穴援救需要特殊的知识、技术手段和装备。因此需要成立地区性的洞穴援救组织,或对现有的援救机构(如警察、消防、矿区救援队等)进行洞穴援救方面的培训和配备洞穴援救装备^[10],以保证一旦出现险情就能及时进行援救。

3.5 洞穴研究与警示

目前对洞穴的研究大多集中在已开发的旅游洞穴,大量的洞穴还处于未开发状态,是洞穴研究的盲点。因此,要加强洞穴研究的力度,集中人力、财力进行洞穴环境研究,及时向公众公布研究成果,建立洞穴数据库,方便公众查询。此外,还应在探险地设立警示牌,以避免或减少洞穴探险事故的发生。

参考文献

[1] 朱学稳. 洞穴学研究的进展[J]. 科技导报,1997,(12):26—29.

[2] Franklin Folson. Exploring American caves(1st Edition)[M]. New York:Crown Publishers, Inc.,1956. 125—139.

[3] 张蕾,赵淑艳,赵习方. 北京石花洞内CO₂的监测与评价[J]. 中国岩溶,1997,16(4): 325—331.

[4] 宋林华,韦小宁,梁福源. 河北临城白云洞洞穴旅游对洞穴CO₂浓度及温度的影响[J]. 中国岩溶,2003,22(3): 231—235.

[5] 卢伟. 洞穴氧来源、分布、测定及旅游评价[J]. 中国岩溶,1998,17(3):251—259.

[6] 吕惠进. 旅游溶洞内氡污染和从业人员的辐射防护[J]. 中国岩溶,2002,21(2): 137—139.

[7] 黄治平. 洞穴旅游防蝙蝠[J]. 医药与保健,1997,(3):56.

[8] Tim Fogg. Equipment, Techniques and Training [A]. Dick Willis. Caving expeditions (3rd Edition) [C]. London: Expedition Advisory Centre of the Royal Geographical Society, 1993:75—82.

[9] Dave Checkley. Permission and Access [A]. Dick Willis. Caving expeditions(3rd Edition) [C]. London: Expedition Advisory Centre of the Royal Geographical Society,1993. 7—10.

[10] Jeffrey N. Scott. Cave rescue—a case history[A]. James E. Vandike. Proceedings of the 1984 national cave management symposium[C]. Lohman: Journal of the Missouri speleological survey, Inc., 1984. 201—204.

ANALYSIS TO CAVE ACCIDENTS IN US AND UK AND DISCUSSION ON SECURITY MEASURES

WANG Xiao-qing^{1,2}, TIAN Ming-zhong¹, ZHU Jia-wei¹

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Qufu Normal University, Qufu, Shandong, 273165, China)

Abstract: The modern cave expedition is more popular in the developed countries and has become a weekend and holiday sport. Most of the developed countries have special caving rescue organizations in order to aid the people in caving accidents. By analysis of caving accidents in the United States and United Kingdom etc. , the causes of caving accidents can be divided into: cave topography or rock falling, illness or hypothermia, flood, trapped or lost, equipment failure etc. The caving accidents often occurred in spring, summer and autumn. The age of people involved in accidents is frequently between 15~34, especially in 20~24. Except hypothermia, exhausted and drowned, other caving accidents like limb, head and body injure are often found and leg-lower or ankle injure is most often. The measures of keeping cavers away from caving accidents are also discussed according to caving experience from developed countries.

Key words: Caving; Caving accidents; The rule of caving accidents; The security measures

(上接第76页)

CHEMICAL WEATHERING OF CARBONATE CEMENT IN SANDSTONE AND THE RELATED CULTURAL RELIC DISEASES IN YUNGANG GROTTOES

MA Zai-ping^{1,2}, HUANG Ji-zhong³, ZHANG Hong²

(1. School of Material Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. School of Geo-Resource and Information, University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China;

3. *Institute of Yungang Grottoes, Datong, Shanxi 037007, China)*

Abstract: Carbonate cement is universally more than 10% in sandstones of the upper Yungang formation in Yungang Grottoes area. It's mainly composed of ferriferous calcite and ferriferous dolomite. Chemical reactions that happened during the weathering of carbonate cement include dissolution of ferriferous calcite and ferriferous dolomite by water, Fe^{3+} hydrolyzing and crystallization of gypsum, epsomite, dypingite and hydromagnesite. The water, fractures and stratification are major external causes for the weathering of carbonate cement which has led to cultural relic diseases and serious damages to the value of cultural relic in Yungang Grottoes.

Key words: Sandstone; Carbonate cement; Chemical weathering; Cultural relic disease; Yungang Grottoes