

罗书文, 吴克华, 贺卫, 等. 岩溶洞穴救援体系构建研究——以贵州省为例[J]. 中国岩溶, 2024, 43(2): 476-490.

DOI: 10.11932/karst20240209

岩溶洞穴救援体系构建研究 ——以贵州省为例

罗书文^{1,2}, 吴克华^{1,2}, 贺卫^{1,2}, 罗时琴^{1,2}, 周文龙^{1,2}, 毛永琴^{1,2}, 杨桃³, 李坡^{1,2},
张远海⁴, 邓亚东⁴, 刘宇炫^{1,2}, Jean Botazzi¹, 张弘智^{1,2}, 钱治⁵, 王德远^{1,2}

(1. 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001; 2. 贵州省喀斯特洞穴(旅游)资源开发利用工程技术研究中心,
贵州 贵阳 550001; 3. 贵阳十二中学, 贵州 贵阳 550002; 4. 中国地质科学院岩溶地质研究所,
广西 桂林 541004; 5. 贵州洞穴协会, 贵州 贵阳 550001)

摘 要:完善的岩溶洞穴救援体系、促进岩溶地区体育产业和旅游行业发展, 对岩溶洞穴旅游具有重要现实意义。文章通过对国外洞穴救援成果及洞穴救援手册分析洞穴救援要素, 结合我国救援主体和洞穴救援技能特性以及贵州实际, 构建贵州洞穴救援组织架构及救援响应机制。依据贵州洞穴发育特征和洞穴事故发生概率及性质, 部署贵州洞穴救援力量。根据我国救援体制和洞穴救援人员技能需求及其分布特性, 建立统一指挥平台和洞穴救援专家库(消防队洞穴救援专家, 洞穴协会会员洞穴救援专家), 实现指挥中心统一调度, 政府与社会力量共同作战。完善的洞穴救援体系有利于合理利用资源, 实现洞穴救援有序高效实施。

关键词:岩溶洞穴; 洞穴救援; 救援体系; 洞穴安全; 贵州; 绳索技术

创新点:分析国内外洞穴救援相关文献与经验, 总结凝练洞穴救援要素及特点; 结合贵州洞穴发育特征及其救援特点、救援主体及洞穴研究人员构成; 构建贵州省洞穴救援体系

中图分类号: P642.25 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2024)02-0476-15

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引 言

洞穴被认为是地壳中天然的能够被人类进入探索的空间^[1]。随着经济和社会的发展, 洞穴探险逐渐被人们所接受并流行起来, 自 20 世纪 80 年代以来, 随着中外联合洞穴探险活动的开展, 现代洞穴探险活动及技术也被引进我国并逐步得到推广, 现正兴起成为一种群众性运动^[2]。同时, 洞穴旅游人数也越来越多^[3], 每年全球约有 500 个洞穴接待超过 5 万名

游客^[4], 洞穴游客人数为 1.5 亿人次^[5], 对户外探险爱好者和旅游爱好者具有极大地诱惑和吸引力, 对体育旅游产业开发具有较大的开发潜力, 但近些年来洞穴事故也时有发生并呈上升趋势^[6-7]。我国目前对洞穴事故处理多是临时抽调以消防队为主体的相关人员组成救援队, 多数缺乏洞穴专业技能, 或缺乏规范化训练的洞穴专业人员实施救援, 救援中难以实现步调一致、有序救援, 甚至还会造成二次伤害或贻误救援时机。我国岩溶面积是世界上三大连片集中

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2021]一般 379、[2023]一般 200); 黔科合基础([2020]1Y159); 国家自然科学基金(42262002); 国家外传项目计划(黔科通[2021]68 号)

第一作者简介: 罗书文(1978—), 男, 高级工程师, 从事岩溶水文地貌、洞穴等地质遗迹和岩溶环境研究与洞穴探险。E-mail: luoshuwen6700167@126.com。

收稿日期: 2022-09-05

分布面积最大的地区,贵州位于我国西南连片岩溶核心区,具有“岩溶王国”和“洞穴王国”之称,同时,也是以岩溶地形地貌为依托的山地公园省。因此建立完善的洞穴救援体系对于促进贵州体育产业和旅游行业等国民经济建设与发展保驾护航,具有极大的现实意义。

1 国内外洞穴救援发展现状

1.1 国外洞穴救援发展现状

1935年在英国约克郡(Yorkshire)成立了世界上第一个著名的洞穴救援组织,1936年在萨默塞特(Somerset)成立了门迪普(Mendip)救援组织,第二次世界大战后,洞穴探险越来越受欢迎,在其他地区也成立了更多的洞穴探险组织,比如1952年在英国德比郡(Derbyshire)成立的洞穴救援组织^[8]。于1963年8月13至15日在比利时布鲁塞尔(Bruxelles)和莱塞河畔汉(Han-sur-Lesse)召开第一届洞穴救援会议,来自英国、比利时、法国、黎巴嫩、卢森堡、意大利、罗马尼亚和瑞士等8个国家与会代表,围绕“洞穴探险领队有必要做好自救的准备、哪些国家涉及洞穴救援、救援法律权力认知、救援担架探索和虹吸管救援问题”等五个方面课题进行探讨交流。1965年在南斯拉夫波斯托伊纳举行的第四届国际洞穴学大会,来自23个国家的与会代表表决成立由Alexis de Martynoff提出的“国际洞穴联盟洞穴救援委员会”,于1971年9月在比利时莫泽特(Mozet/Belgium)国际洞穴联盟洞穴救援委员决定4年召开一次的国际洞穴救援大会(表1)^[8]。与此同时,在美国、法国、意大利和比利时等欧洲国家洞穴救援组织也相继兴起,并编撰了各自的洞穴救援手册^[9],在欧洲建立了洞穴救援网站([https://Cave Rescue Techniques - European Cave Rescue Association](https://CaveRescueTechniques-EuropeanCaveRescueAssociation)),以及每年一次的洞穴大会,开展洞穴救援绳索、装备、医学、通讯等技术和救援会员、救援基金与行为规范等问题的探讨,形成较为完备的洞穴救援理论体系和洞穴救援能力。

1.2 我国洞穴救援发展现状

我国洞穴救援研究起步较晚,自20世纪80年代现代洞穴探测与单绳技术(SRT技术)引入我国后,直到21世纪初,才开始出现现代洞穴救援技术探讨^[2]

与实践^[10],开始从洞道环境特点出发,提出救援人员在洞穴内救助处置的一些对策^[11],认为复杂的洞穴条件是制约洞穴救援的主要因素^[12]。目前国内洞穴救援组织仍是消防队为主导,洞穴研究人员参与度不高。近些年来,虽然也有一些洞穴探险者参与其中^[10],但国内洞穴救援技术缺乏统一标准的规范性培训,在救援中存在救援流程、救援技术不规范,装备不统一,个人能力参差不齐,在救援现场各自为政,难以实现步调一致有序救援,不仅造成资源浪费,还延误救援时机。在绳索技术方面,掌握SRT技术的人群较局限,以洞穴研究团队和洞穴探险爱好者为主,而具有医学背景的人员屈指可数。在技术交流方面,洞穴救援类的学术论坛或技术交流会议较为鲜见,两年一届的全国洞穴大会几乎没有救援专题的讨论,洞穴救援仅在消防救援方面会议涉及部分内容,与国外存在较大差距(表2)。

2 岩溶洞穴救援组成要素分析

John C. Hempel认为,洞穴救援是训练有素的洞穴探险队员帮助那些不能通过自己返回地面的探洞者解除困境^[13],促使救援的原因有很多,可能发生事故导致洞穴探险者受伤;可能被上升的洞穴水困住;可能因失去照明,而导致探险者无法移动或迷路等等。除此之外,还有一些居民或牲畜不慎坠落洞内,需要帮助他们脱离困境。因地下空间地貌形态复杂多样,具有不确定性,给搜救人员发现、接触和撤离伤病员等带来极大的困难。在救援中涉及事项较多,从国际洞穴联盟洞穴救援委员会1971—2017年期间的会议讨论主题来看,主要包括:伤员转移设备、洞内外交流、洞穴潜水、救援法律权力、救援风险成本、救援设备材料、清除洞道障碍、医疗救助、伤员输送、救援团队能力、绳索技术、事故预防、信息管控、洞内通风、救援人员培训教育和救援组织机构等16个主题(图1),其中医疗救助、伤员转移、洞内交流、潜水、绳索技术和救援人员培训教育是洞穴救援讨论的热点。

组织保障和洞内救援技术是以伤员的救助为中心,根据洞穴地形地貌、空气环境条件,而采取相应的技术手段开展救援。绳索技术是通过洞穴复杂地形条件的最有效手段之一,也是完成洞穴搜救任务的基本技能,因此,绳索技术是洞穴救援人员的基本

表 1 国际洞穴联盟洞穴救援委员会会议及洞穴救援议题概况^[8]

Table 1 Overview of the meetings of the Cave Rescue Committee of the International Cave Alliance and the issues of cave rescue ^[8]		
时间	地点	基本情况
1971.9.17—20	比利时·莫泽特 (Mozet/Belgium)	德国、英国、比利时、保加利亚、刚果、丹麦、西班牙、法国、希腊、匈牙利、意大利、黎巴嫩、新西兰、波兰、瑞士和南斯拉夫等16个国家代表参与。第一次开展了洞穴担架展示、洞穴无线电通讯、潜水救援、法律问题与责任、保险政策等问题探讨,并决定四年召开一次大会。
1975.4.24—28	奥地利·艾斯里森韦尔特 (Eisriesenwelt/Austria)	奥地利、比利时、英国、法国、德国、希腊、匈牙利、意大利、波兰、西班牙、瑞士和南斯拉夫等12个国家代表参加。会议成立小组委员会并制定用于救援工作的安全材料目录、演示使用9架以上担架和其他方式移动伤者、首次演示清除洞穴中的障碍物,并召开洞穴医生的第一次会议。
1977.12.10—17	英国·谢菲尔德 (Sheffield/Great-Britain)	国际洞穴联盟洞穴救援委员会确认17个国家具有洞穴救援能力;确立了美国和国际洞穴联盟洞穴救援委员会经过十年救援经验积累建立的洞穴救援能力评价和衡量标准,评价内容包括(急救医疗技能、培训、团队规模、特殊技能、组织、动员、通讯设备和垂直开采、提取和病人运输工具等)。
1979.10.2—6	波兰·扎科帕内 (Zakopane/Poland)	奥地利、比利时、保加利亚、捷克斯洛伐克、法国、德国、英国、匈牙利、意大利、葡萄牙、苏联、西班牙、美国 and 南斯拉夫等14个国家代表参加;在第五届国际会议上,决定形成一个更大的方向,并设立预防、材料和技术三个小组委员会。
1983.10.2—8	匈牙利·阿格泰莱克 (Aggtelek/Hungary)	来自奥地利、比利时、保加利亚、捷克斯洛伐克、法国、德国、英国、匈牙利、意大利、葡萄牙、罗马尼亚、美国、苏联、西班牙、瑞士和南斯拉夫16个国家的160多名参与者;开展了关于洞穴救援设备、通信设备、方法、急救和其他医疗、救援人员培训、事故原因统计、组织背景、预防事故和救援行动经验等方面的,大约50次讲座。
1987.10.2—8	意大利·奇维代尔 (Civiale/Italy)	奥地利、阿根廷、比利时、捷克斯洛伐克、多米尼加共和国、法国、德国、英国、希腊、匈牙利、意大利、罗马尼亚、西班牙、瑞士、美国 and 南斯拉夫等16个国家代表参会;开展了9场关于药理、医疗行动、药物管理和组织胞浆菌病等方面的医学报告,12场关于各种担架、洞穴潜水救援、钻孔材料和UIS材料目录的技术演讲,18个关于救援行动统计和信息流通方面的报告。
1989.8.9—13	匈牙利·布达佩斯 (Budapest/Hungary)	来自澳大利亚、奥地利、比利时、保加利亚、加拿大、捷克斯洛伐克、法国、德国、英国、希腊、匈牙利、意大利、挪威、波兰、罗马尼亚、西班牙、瑞士、瑞典、苏联、委内瑞拉和南斯拉夫等21个国家的143名参加者;13位讲师做了18场次演讲,15个现场演示,来自7个国家的12名医生开了圆桌会议,还组织了一次共同的洞穴救援演习。
1997.8.10—17	瑞士·拉绍德封德斯La Fonces (Chaux-de-Fonces/Switzerland)	本次会议作为第12届国际洞穴大会一部分,报告主要围绕法国洞穴事故、瑞士洞穴救援、组织胞浆菌病、潜水员救援用防水担架和中亚洞穴中的受害者援助和流行病危险处理的问题进行探讨。
2002.11.1—3	比利时·萨特·蒂尔曼 (Sart-Tilman/Belgium)	为庆祝比利时洞穴救援50周年而召开,来自奥地利、比利时、韩国、古巴、法国、德国、英国、匈牙利、日本、卢森堡、摩洛哥、波兰、瑞士和美国等14个国家的117名参与者;本次大会围绕“洞穴救援行动的成本和利益、救援案例、医疗状况、组织胞浆菌病、运用Hilti弹药筒拓宽洞道、洞穴通风以及以国际支援”为主题的圆桌会议。
2005.8.21—28	希腊·雅典-卡拉莫斯 (Athens-Kalamos/Greece)	为14届国际洞穴大会一部分,国际洞穴联盟洞穴救援委员会主席André Slagmolen退休,Christian Dodelin当选新一届主席,“洞穴救援人员的教育”成为本次会议主题,围绕其开展讨论。
2007.5.15—18	匈牙利·奥格泰莱克 (Aggtelek-Jósvafő/Hungary)	来自奥地利、比利时、波黑、保加利亚、克罗地亚、西班牙、法国、德国、英国、希腊、匈牙利、意大利、日本、黎巴嫩、墨西哥、黑山、挪威、波兰、波多黎各、捷克共和国、罗马尼亚、塞尔维亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、瑞典和美国等26个国家的83名代表参会;会议收到围绕“洞穴救援的组织方面、洞穴救援队在灾难中为保护预防做出的贡献、洞穴救援的医疗技术、洞穴救援教育和培训、救援技术和无线电传输等设备演示、在不同国家开展严重的救援行动”等为主题的38篇论文和视频报告,此次大会创建了Aggtelek协议。
2011.5.8—15	保加利亚·德里亚诺沃 (Dryanovo/Bulgaria)	来自保加利亚、克罗地亚、法国、英国、匈牙利、意大利、黎巴嫩、波多黎各、罗马尼亚、俄罗斯、塞尔维亚、斯洛文尼亚、西班牙、乌克兰和美国等15个国家的100名洞穴探险者参加了此次会议;会议收到围绕“新的岩壁救援技术、新的洞穴救援技术、设备介绍、绳索新技术演示、医疗示范、潜水示范、新的潜水救援设备、洞穴内交流、坐具综合症、相关体温过低机制、救援合作时效性”为主题的24篇论文和2个示范。
2013.7.21—28	捷克共和国·布尔诺 (Brno/Czech Republic)	成为国际洞穴联盟第16届2次会议一部分,回顾了过去的4年的活动;围绕“技术发展、培训和教育确定了未来的任务”为主题开展研讨。
2015	瑞士·沃马库斯 (Vaudarcus/Switzerland)	来自奥地利、比利时、保加利亚、加拿大、克罗地亚、法国、德国、匈牙利、意大利、荷兰、新西兰、俄罗斯、斯洛文尼亚和瑞士等14个国家的110名洞穴探险者参加会议;收到关于设备测试、洞穴救援在不同国家的救援情况和欧洲洞穴救援协会及欧盟民事保护机制的介绍、医疗潜水救援、预防的培训和空中紧急医疗援助为主题的32个报告。
2017.7.23—29	澳大利亚·悉尼 (Sydney/Australia)	成为17届国际洞穴联盟大会的一部分。

技能。从洞穴救援空间布局上看,分为地表部分和洞内部分,其核心为洞内救援部分,两者间交流需要通过相关网络系统进行信息传输交流;从洞穴救援发展进程上看,可以分为事故发生、报警和救援几个阶段,顺利、有效连接需要构建一个好的响应机制;从救援任务上看,救援由洞穴布线组(伤员救援线、队员生命线路布设)、担架组、通讯组、医疗组、潜水组、爆破组和通风组协同实施^[14];从洞穴救援的本质

表 2 洞穴救援相关参数国内外对比表
Table 2 Comparison of cave rescue parameters at home and abroad

洞穴救援技术相关指标	地区	
	中国	欧洲
现代洞穴救援技术开始时间	21世纪初	20世纪30年代
洞穴救援专属论坛平台	无	国际洞穴联盟洞穴救援委员会4年召开一次学术大会； 欧洲洞穴救援联盟一年一次论坛；欧洲救援网站
洞穴救援协会/学会/ 专委会等社会团体	无	有
STR使用人群	部分洞穴研究人员和洞穴探险爱好者	较为普及
洞穴探测技术学校	2005年在贵州成立“中法国际洞穴学校”	欧洲主要国家都有探洞学校
洞穴救援手册	无	有
绳索技术规范	无	有
伤病员绳索转运技术	完全利用西方	有
救援队人员构成	消防；洞穴专家和爱好者	洞穴专家；医疗专家；通讯专家；潜水专家； 爆破专家；通风专家
洞穴救援设备研发	不详	有

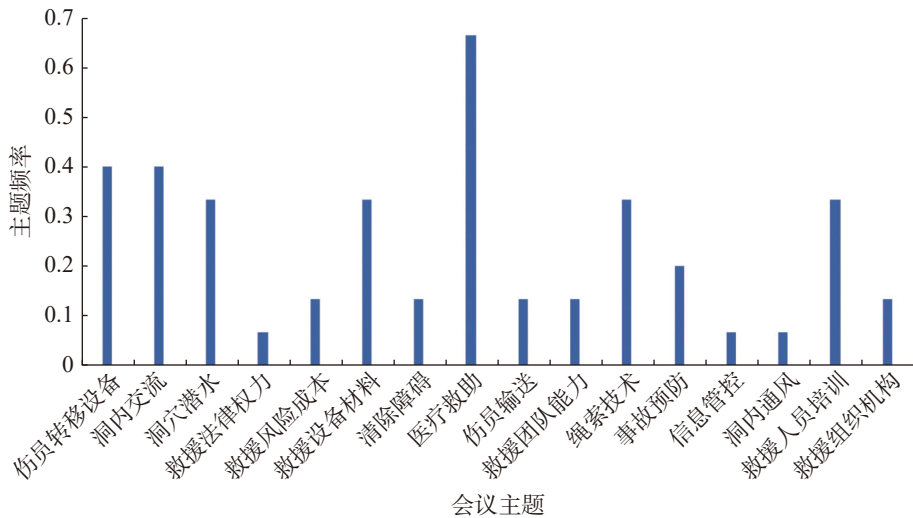


图 1 国际洞穴联盟洞穴救援委员会会议主题统计

Fig. 1 Theme statistics of the meetings of Cave Rescue Committee of International Cave Alliance

上来看,主要包括事故的洞穴环境、救援团队和救援机制三部分构成(图 2):①事故机制和洞穴环境决定救援等级及救援分工;②团队人员构成决定对洞穴事故处理能力和救援团队采取的运行机制;③救援机制决定洞穴救援效率和团队建设运行模式。

3 贵州岩溶洞穴救援体系构建

3.1 洞穴事故及伤员情况

3.1.1 洞穴事故发生概况

2015 年,钱治等^[10]对我国 2000—2015 年洞穴事

故进行分析研究,认为我国洞穴事故呈逐年上升趋势,贵州洞穴救援事件远大于其他省份(表 3)。从救援技术来看,洞穴救援中缺乏洞穴医务知识,如:贵阳白虎洞救援中如果采取洞内就地医治后转移原则可能会有不一样结果,洞穴救援技术较为匮乏。从事故的发生类型来看,主要分为:①居民不慎跌入洞内;②没有洞穴探测经验而进洞游玩发生事故;③经验丰富洞穴探测者洞内发生意外等三种类型。洞穴深部救援难度大,耗时长,如:泰国洞穴救援有 100 多个国家洞穴救援专家,以及庞大的警察、护士等各类外围服务者,历时 18 天才将被困人员救出^[15]。洞穴事故促成的原因很多,其伤势也复杂,通过欧洲

表 3 我国洞穴事故及救援情况^[10]
Table 3 Cave accidents and rescue in China^[10]

地区	时间	事故特点	救援情况
贵州省	1992	贵阳乌当白虎洞初中生(一男三女)失踪42天。	救援出来的两个女孩,全身彻底脱水,器官功能衰竭,一个在救出当天抢救无效死亡,另外一个也在抢救的第4天死亡。
	2002.1.8	4名家住镇远县的男学生结伴到镇远县五里牌附近一个溶洞玩耍,其中一位高二学生不慎跌入洞内。	救援人员1月9日到达洞穴进行救援,参与救援的人员最多时多达300人,经过十余天搜救,仍然没有结果。开展了潜水救援。
	2004.3.14	傍晚铜仁两学生(一男一女)与其他同学在铜仁市文笔峰玩耍中不慎跌落洞口被次生灌丛覆盖的竖井。	救援人员3月14日当晚22:00时到达铜仁市,与有关部门连夜召开会议,确定施救方案,并于当晚上山开展营救。两学生跌至距洞口垂直深度130 m处。经过22 h的努力,打捞上一具尸体,由于突降暴雨,洞顶坠石严重,危及救援人员安全,从而放弃了继续打捞救援。
	2009.3	福泉市谷汪乡马龙井村天堂组有一妇女在失踪多日后,经公安刑侦部门侦查获悉,该妇女是因邻里纠纷惨遭杀害后被抛尸500 m断崖下,请求现场实施搜索。	依岩壁建设锚点和提升系统实施取证。在悬崖420 m处发现遇害者,又架设吊装系统将遇害者运至悬崖底部,取证耗时14个小时。
	2009.1	黔西金坡乡怀疑一青年跌入当地黄秧洞天坑,当地为少数民族地区,遇难者家属疑为他杀。	在天坑320 m处一平台发现遇难者,经法医检验,为醉酒后跌入天坑死亡。
	2014.6	百里杜鹃火烟天坑救援,一毒贩在审讯过程中逃跑,疑为坠入天坑。	该洞是一个漏斗形天坑,三面坡度在70°以上,一面是垂直90度绝壁,洞壁受降雨影响,湿滑异常,总深度270 m,经过8 h搜寻,没有发现犯罪嫌疑人。
重庆	2015	绥阳双河阴河洞救援,贵州一洞穴户外俱乐部教练,在一次活动中,潜水打捞落入水中设备,溺水身亡。	通行队员发现时,教练已没有生命体征。
	2007.3.4	广安一学生冒险探险重庆华蓥山仙女洞,不慎跌入136 m深竖井。	救援队花了4 h架设锚点和救援提升系统,于当日下午6时将遇难者遗体运到70 m救援平台,第二天与当地救援人员一起,将遇难者运出洞外。
	2009.8	2009年,一支法国洞穴科考队在湖北恩施板桥镇一天坑进行科学考察时,一名具有10多年洞穴科考经验的法国女队员意外坠落。该天坑总深度200 m,该队员作为先锋在下到约180 m处建立安全锚点时,岩体整体垮塌,将该队员直接击落至210 m天坑底部。	该队其余队员经过26 h救援,将遇难者遗体提升至天坑顶部。
	2010.4	在利川忠路镇一天坑,总深度320 m,救援队协助警方搜寻被抛入天坑的被害人,在天坑200 m处发现遇害人。	尸体高度腐烂,对救援人员心理状态是极大考验,耗时26 h。
湖北	2010.6	宜昌长阳资丘镇天坑救援,资丘镇天河村一个小孩跌入天坑。	村民自发下坑到100 m,消防队员因没专业设备也无法下去,宜昌洞穴救援队在170 m处发现遇难者。
	2011.5	利川县文斗镇一人不慎跌入180 m的天坑。	救援队在人员充足、装备和准备充分情况下,耗费10 h打捞出遇难者。
	2014.10	利川朝东岩天坑救援,一驴友离奇失踪,当地组织多次大规模搜救无果,后公安部门发现该驴友踩踏到一当地农民非法安置电野猪用的高压电设施被电身亡,农民抛尸天坑。	救援队伍8人到达当地开展搜救,寻找多处天坑后,终于在其中一无名天坑里发现受害人,耗时5 h,捞出。
云南	2012.3	镇雄仙人洞,一驴友因为好奇,前往云南省镇雄县木桌乡仙人洞,不慎坠入洞内215 m处遇难。	救援人员充分,装备充足。救援过程中每支队伍各自为政,缺乏协调和统一指挥,导致方案分歧较多,救援耗时长,共用68 h。
广西	2014.4	都安县一洞穴潜水救援,一名洞穴潜水人员在广西都安县澄江河源头进行洞穴潜水时失踪。	正在都安县进行洞穴潜水工作的6名外国潜水专家,经过2个多小时的救援,将水下洞穴中失踪人员遗体打捞上岸。该洞穴潜水者遇难地点为水下170 m处,本来想刷新中国洞穴潜水记录,不料在水下出险遇难。

表 4 欧洲洞穴促成事故及其结果^[16]
Table 4 Cave accidents and rescue in European^[16]

洞穴事故原因		事故结果	
事故原因	占比/%	伤亡情况	占比/%
跌落	35	挫伤	45
没有光	11	骨折	30
没水	11	疲倦	20
技术不娴熟	7	无意识	5
疲乏	9		
洞穴潜水没有引导线	3		

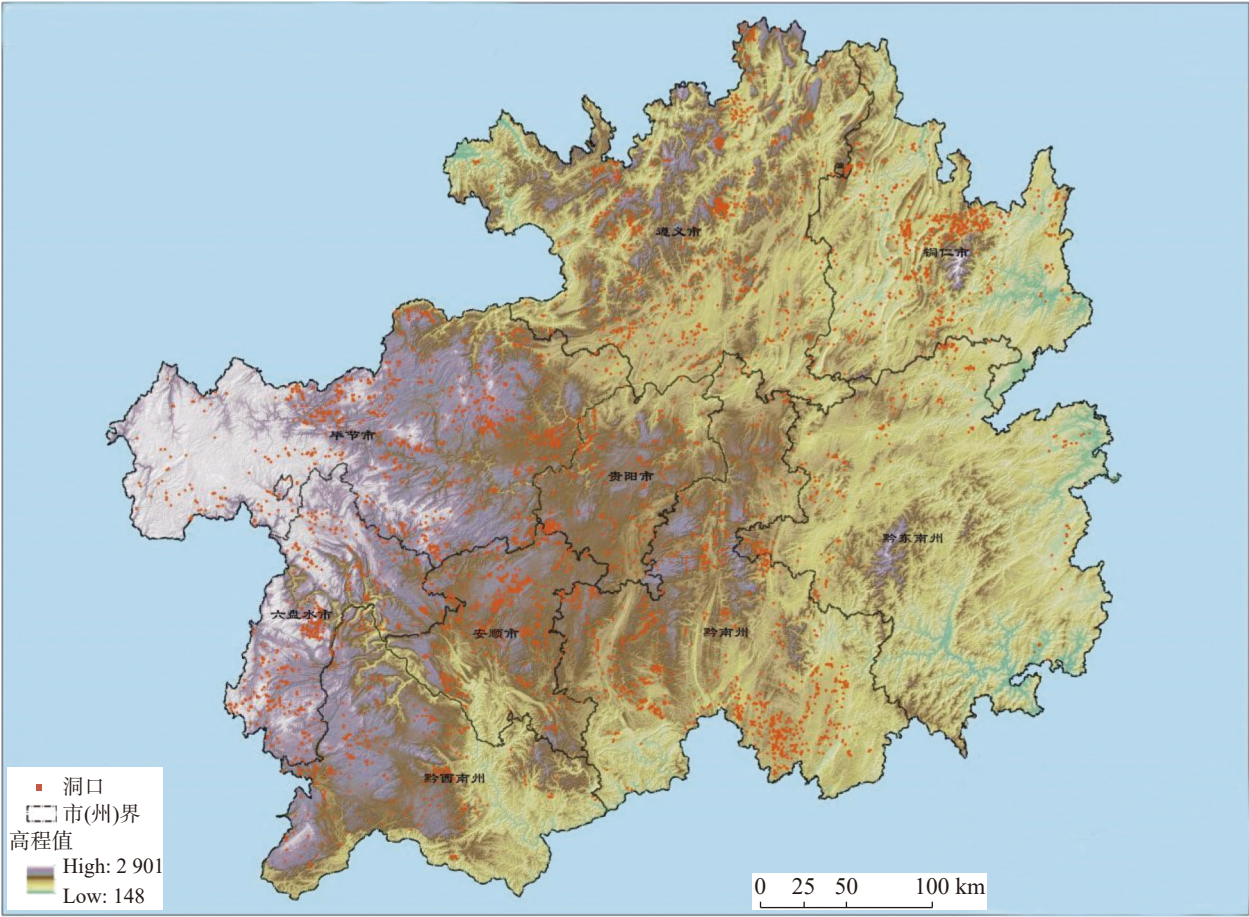


图 3 贵州省岩溶洞分布情况^[21]
Fig. 3 Distribution of karst caves in Guizhou Province^[21]

区—大方—黔西—织金县一带；安顺市(532 个)集中在猫跳河沿线；六盘水市(343 个)主要在水城与盘州交界处和盘州较为集中；黔西南州(367 个)主要兴仁、普安；黔南州(1 015 个)主要集中在荔波、平塘和惠水一带；黔东南州(212 个)主要发育在天柱—岑巩—镇远—施秉一带。从全省洞穴发育分布特征来看，各地州市均有洞穴发育，所以需要具有一定洞穴救援能力的队伍。

3.2.2 岩溶洞穴主要地貌特征与救援环境

由洞救援要素构成图可知，事故点的岩溶水文地貌特征是制定救援方案的重要依据。岩溶区不同的水动力条件塑造不同的地表形态和洞道形态，一般认为地下水位埋藏较浅区域发育水平洞穴，饱气带较厚的区域竖井较为发育^[22]，在贵州已知洞穴中并不是所有洞穴都已探测获取有地形地貌的相关数据，因此，通过洞穴发育环境、水动力条件初判岩溶

洞穴发育特征,为没有洞穴测量数据的洞穴救援方案提供参考。贵州位于长江水系和珠江水系分水岭处,其流域剖面分为正常型、反常型和阶梯型三种^[23]。在正常流域形态中,坡降由上游到下游变小,垂直渗流带厚即岩溶地下水的埋藏深度由上游往下游变小,地貌表现为峰丛洼地→高峰丛深洼地→峰林盆地;在反常型流域中,由分水岭到河谷,地表支流的纵剖面比降由上游往下游逐渐减小,地下水的埋藏深度由大变小,地貌塑形态为残丘/峰林盆地→峰丛(峰林)谷地→高峰丛谷地(洼地)^[24];在阶梯型流域中,剖面由上游到下游呈缓坡降、陡坡降交替发育,地下水位在缓坡降地区埋藏较浅,在陡坡降区域地下水位埋藏较深,地貌形态表现为:峰林盆地→峰丛谷地→峰林谷地→峰丛谷地→峰林谷地。地下水在不同水位条件下运移塑造不同形态特征的洞穴系统^[25],而地表形态各异。贵州岩溶地貌类型多样,地貌类型交错分布,洞穴结构复杂多变,在不同的地貌组合形态中发育有不同结构的洞道,给洞穴救援带来不同的艰辛和困难(表 5)。

3.3 贵州构建岩溶洞穴救援体系优势分析

3.3.1 洞穴探测技术培训为洞穴救援洞穴专业技术人才打下坚实基础

20 世纪 80 年代,中国地质科学院岩溶地质研究所、贵州师范大学和贵州省山地资源研究所与英国岩溶学家 Sweting 教授等学者联合科考^[26],至此以后,欧洲现代绳索洞穴探测技术传入我国。我国丰富的洞穴资源引起了西方洞穴爱好者和洞穴研究者浓厚的兴趣,与我国许多高校和科研院所联合科考力度越来越大,特别是贵州省山地资源研究所组织的中外联考洞穴考察遍布全省,为全省洞穴研究、洞穴探测和绳索技术推广提供了介质条件。2005 年,贵州省山地资源研究所牵头与法国洞穴联盟在贵州绥阳双河成立的“中法国际洞穴学校”,培训来自中国大陆和港、澳、台地区洞穴技术人员 207 人(表 6),成为各地洞穴测量与 SRT 技术推广的中坚力量,洞穴探测及绳索技术不断得到发扬,为贵州乃至全国洞穴救援人才储备奠定基础。

表 5 贵州主要岩溶地貌类型及洞穴环境与救援特征表
Table 5 Main geomorphic types and karst cave environment and rescue characteristics in Guizhou

地貌类型	地形特征	水动力条件	发育洞穴基本特征	救援特点
峰林平原区/盆地	峰体相对独立,地面较平坦。	地下水位埋藏浅,水动力以侧向溶蚀为主。	峰体发育层状水平洞穴,层间洞穴以竖井相连,峰脚水平洞穴通常与地下河相连,洞穴多呈迷宫网状,洞穴规模不大。	①搜寻困难;②涉及虹吸管、水潭等特殊洞段;③洞口可达性好。
峰丛洼地	峰体独立基座相连,围成碟状洼地。	地下水埋藏深,以竖向溶蚀为主。	易发生大型洞穴,竖井、天坑较为发育,通常与地下河相连,洞穴规模宏大复杂。	①竖井、狭窄、崩塌洞段;②涉水;③交流障碍;④伤员输送难度大;⑤洞口可达性差。
峰丛谷地/峰丛槽谷	貌类型具有峰丛洼地与峰林平原特征。	峰丛区地下水位埋藏深,谷地地下水位不定,有的浅,有的较深。	峰丛区发育有落水洞和天坑,洞穴发育规模宏大,落水洞较为多见,近峡谷峰丛区洞穴以季节性水流的竖井状洞穴、天坑较为多见;远离峡谷区以常水形消水洞,洞内竖井、倾斜洞段相连,洞道规模宏大,崩塌较为常见,虹吸管也较为发育;在峡谷两侧岩壁发育层状洞穴,一般洞穴规模不大,系早期地下水排泄口。	①竖井、狭窄洞段;②涉水;③交流障碍;④伤员输送难度大;⑤洞口可达性差;⑥伤员搜寻难。
峰丛峡谷	峡谷与峰丛半生,两侧为高耸峰丛,中间为深切河谷。	地下水位埋藏较深,水力坡度大,以竖向运动为主。		①竖井、狭窄、崩塌洞段;②涉水;③交流障碍;④伤员输送难度大;⑤洞口可达性差;⑥伤员搜寻难。
中山岩溶地貌	山体高大,具有常态山体基本特征,由碳酸和非碳酸岩构成,区内河谷深切。	地下水位埋藏较深。	洞穴规模大,洞体围岩容易崩塌,洞内在水平洞段容易被淤泥填充。	①竖井、狭窄、崩塌洞段;②涉水;③交流障碍;④伤员输送难度大;⑤洞口可达性差;⑥伤员搜寻难。

表 6 中法国际洞穴学校（贵州绥阳双河）培训情况

Table 6 Training of Sino-French International Cave School (Shuanghe, Suiyang, Guizhou)

开班期次	开班时间	课程	学员数/人	生源地
1	2005	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	11	贵州、湖北、重庆、云南、广东
2	2006	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	15	贵州、湖北、重庆、云南、广东
3	2007	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	14	贵州、湖北、重庆、云南、广东、河南
4	2008	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	16	贵州、湖北、重庆、云南、广东、福建、北京
5	2009	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	10	贵州、湖北、重庆、云南、广东、辽宁
6	2010	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	13	贵州、湖北、重庆、云南、广东、浙江
7	2011	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	18	贵州、湖北、重庆、云南、广东、台湾
8	2012	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	14	贵州、湖北、重庆、云南、广东、香港
9	2013	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	16	贵州、湖北、重庆、云南、广东
10	2014	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	15	贵州、重庆、云南、广东、广西、河南
	2015	停	停	停
11	2016	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	17	贵州、湖北、重庆、云南、北京
12	2017	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	15	贵州、湖北、重庆、云南、广西
13	2018	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	16	贵州、湖北、重庆、云南、广东
14	2019	地质学基础及洞穴学、洞穴测量技术; SRT训练及实地测量; 洞穴实地训练; 洞穴竖井及过点技术训练; 洞穴测量	17	贵州、湖北、重庆、云南、广东、香港

注: 数据由“中法探洞学校提供”

Note: The data is provided by Sino-French International Cave School.

3.3.2 组织条件

贵州省消防总队是国家事业单位, 从原来单一的防火灭火职能发展为防火灭火与应急救援双重职能, 应急救援已成为我国消防队基本的法定职能^[27], 目前, 消防队是我国应急救援主体。由前分析可知, 洞穴救援多数情况下, 需要掌握一定洞穴专业技能人才能完成, 而消防队在这方面具有一定的短板, 难以独立完成洞穴救援工作。贵州省山地资源研究所长期从事岩溶洞穴探测研究工作, 是贵州省洞穴协会挂靠单位, 而全省各地州市的洞穴俱乐部和洞穴探洞爱好者基本属于贵州省洞穴协会会员, 同时, 全国多数洞穴探险爱好者是“中法洞穴学校”的学员, 有的成为教员。因此,

贵州省山地资源研究所和贵州省洞穴学会具有将全省或全国优秀洞穴探险爱好者联合起来, 在贵州省洞穴探测研究和救援潜在力量中发挥桥梁和纽带作用。目前, 贵州科学院与贵州省消防总队合作紧密, 为消防培训洞穴人才和发挥民间洞穴探险人员力量奠定组织基础。

3.4 贵州洞穴救援体系

3.4.1 洞穴救援组织机制架构

从国外洞穴救援组织来看, 洞穴救援基本建立在洞穴协会之上, 如, 法国洞穴救援组织由国家和地区洞穴探险委员会下的各个洞穴俱乐部和洞穴探险队的领导者和专家组成^[28], 可以看出洞穴救援需要

与洞穴相关人员构成。而在我国社会主义优越体制下,各职能部门统一在政府领导下,分工明确:应急管理厅负责安全生产监督管理、应急管理、消防管理、救灾、地质灾害防治、水旱灾害防治、草原防火、森林防火等,以及防汛抗旱、减灾、森林防火等指挥等行政职能^[29];消防总队负责扑灭火灾、消防监督、抢险救援等业务职能^[27]。故建议在两大职能部门领导下,成立洞穴救援指挥中心,而两部门中缺乏洞穴

相关专业技术人才,需要与省内的贵州省山地资源研究所和贵州省洞穴协会合作,成立洞穴救援技术研发中心,中心负责救援人员培训、救援能力认定、技术研发等工作。救援团队由省消防总队领导下的各地州市消防队的官方组织,和贵州省洞穴协会领导下洞穴俱乐部和洞穴爱好者的民间组织及个人共同组成,通过省洞穴协会和洞穴救援中心,建立由中心领导的洞穴救援专家数据库(图 4)。

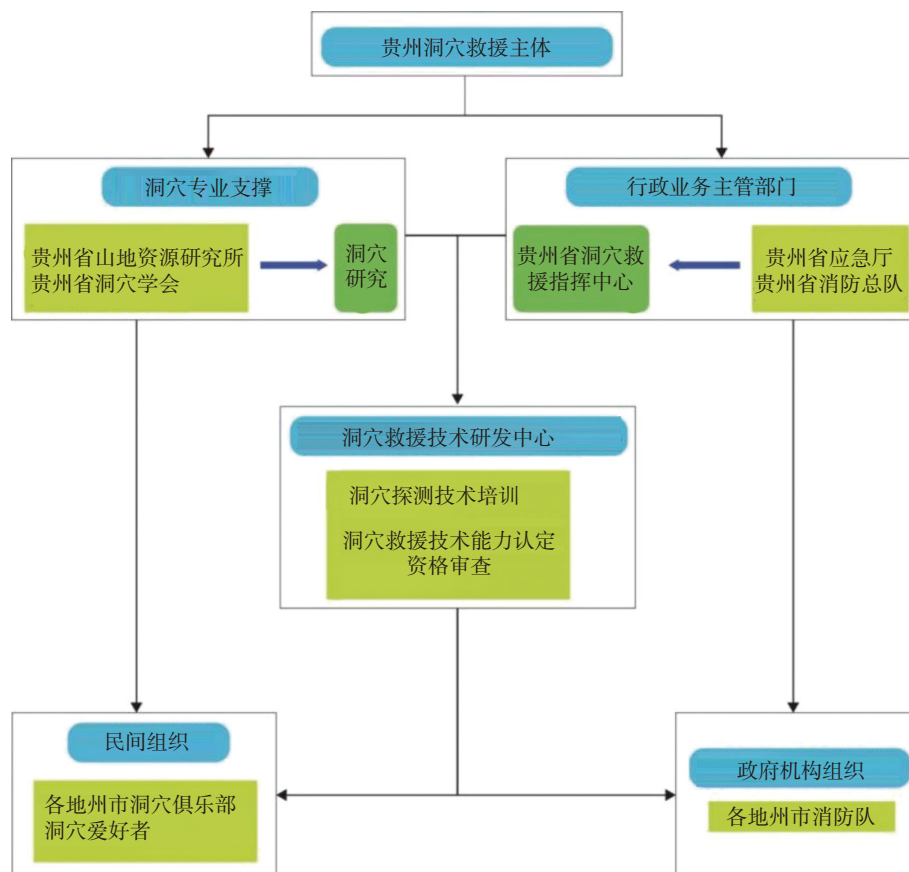


图 4 贵州省洞穴救援组织架构

Fig. 4 Structure of cave rescue organizations in Guizhou Province

3.4.2 洞穴救援队伍建设与技术规范化

洞穴救援体系化有利于合理利用资源,实现洞穴救援有序高效实施。队伍部署与技术培训是提高洞穴救援效率和能力的有效手段,技术规范化是多支队伍统一步调有序救援的根本保障。

(1)洞穴救援队伍构建与部署。根据洞道地形环境形成完备的救援成员分工队伍,由 3.2(2)所述洞穴环境及地形地貌特征,在洞穴救援中能顺利完成任务,需要具备完善的人才队伍,根据国外洞穴救援队和洞穴探测惯例,一支完备的洞穴救援队应有

(表 7):①先锋组,负责洞穴救援队员生命线布设和洞穴测量与结束后设备拆除工作,协助洞内伤员搜寻工作和伤员转运工作;②担架组,负责洞穴关键节点伤员输送布线、伤员转移输送工作,协助洞内伤员搜寻工作;③医务组,负责洞内伤员救助,在复杂情况下通过远程医疗通讯系统寻求帮助,决定伤员就地治疗还是转移,在伤员输送过程中监测伤员情况,根据实际可以与担架组合为一组;④爆破组,负责拓宽影响担架通行的狭窄通道,或易崩塌洞段加固工作,与通风组协同工作;⑤通风组,负责架设通风设备向空气污浊洞穴或爆破洞段排入新鲜空气;⑥通

表 7 完备洞穴救援队人员构成表
Table 7 Composition of cave rescue team

组别	人数/人	分工
队长	1	负责组织协调洞内搜救工作
先锋组	3	负责开设布置线路和搜救人员生命线,同时负责洞穴地形地貌测量(在没有洞穴图情况),并通过网络传输给前方指挥所,便于指挥所掌握实时进度,小组长1名。
通讯组	3	负责搭建洞内与洞外交流网络平台,有线、无线数据传输的VideoVOX系统(长、深较复杂的洞穴,仪器设备可分担其他队员),小组长1名。
担架、医务救援组	6	负责救援伤员与人员搜索,救援绳具布设,包括医生、护士,小组长1名。
爆破或加固组	3	负责对狭窄通道(担架难以通行区域)拓宽,或容易崩塌洞段加固,小组长1名。
通风组	3	负责对污浊或因爆破产生有毒气体区域补充新鲜空气,小组长1名。
潜水组	3	负责洞内水塘或虹吸管进行搜救工作,小组长1名。

讯组,负责架设洞内与洞外相连的 5G 通讯网络仪器设备;⑦潜水组,负责洞内水塘、充水洞段搜救工作。

洞内救援模块,设立洞内领队 1 人,负责协调洞内救援一切组织工作;各小组设置小组长,负责各业务方向实施技术问题,协助领队完成洞内救援任务;洞外救援模块,负责救援预备队、救援仪器设备等物资调度与补充,随时准备转运伤员到达指定医院治疗。

在贵州省洞穴救援组织架构下,根据洞穴事故发生率和 3.2.1 中分析可知,贵州各地州洞穴发育情

况和资源有效运行,在洞穴救援技术研发中心建立一支配备完备的救援队(省队),各地州市配备除潜水、爆破组外的洞穴探险救援队(表 8)。地州市救援队在组织架构上,形成以消防队为主,以地州市的贵州省洞穴协会会员共同为辅,负责各地州市洞穴救援先遣队,再根据救援需求,由省队派遣相应救援组进行支援;省队在洞穴救援技术研发中心指导下,负责对各种新技术研发与实践,对地州市洞穴救援技术开展培训工作和全省复杂的洞穴救援工作。

表 8 贵州省洞穴救援队伍部署及职责
Table 8 Deployment and duties of cave rescue teams in Guizhou Province

区域名称	洞穴救援队构成	职能
洞穴救援技术研发中心/贵阳市(省队)	洞穴布线组、担架组、通讯组、医疗组、潜水组、爆破组和通风组。	负责全省复杂形势洞穴救援和贵阳-贵安、全省洞穴救援队伍培训。
地州市(六盘水市、遵义市、毕节市、安顺市、铜仁市、黔南州、黔西南州、黔东南州)	洞穴布线组、担架组、医务组。	负责本市一般性洞穴救援。

(2)绳索技术规范化。绳索技术是洞穴救援队员的基本技能,同时也是伤员转运必备手段。单绳技术(SRT)在洞穴救援中应用普遍,利用锚点、布线、中间保护站受力系统等技术减轻救援人员负担。为保障绳索系统安全,应加强专业化、规范化和实战化训练^[30],在实际救援中选择有效救援技术进行实施,提高救援队伍安全高效救援。虽然洞穴绳索布设方式因洞穴环境而定,但通过对锚点及其受力系统、先锋布线原则、中间保护站点设置原则、配重提拉系统、救援运输提拉系统、担架系统以及偏移滑轮技术的规范化培训,建立仪器设备使用标准,是实现多队合作救援步调一致,救援技术无缝衔接,提高救援效率的关键。

(3)绳索技术培训与资格认定体系。目前国外绳索技术主要有两大绳索技术体系,以 IRATA (Industrial Rope Access Trade Association) 为代表的欧洲绳索工业体系和以 NFPA1006、NFPA1670 和 NFPA1983 消防体系为代表的北美绳索救援体系,但是北美体系缺乏整个工业体系的技术与装备支持,导致路子越走越窄,发展后劲与动力不足,与欧洲绳索救援技术体系不可同日而语。IRATA 有自己的认证体系、操作规程和执行标准,绳索技术员需要持证上岗^[31]。洞穴救援是一项复杂艰辛的工作,在实施过程中很容易发生意外,导致伤员二次伤害或救援队员受伤,所以需要具有一定专业能力的技术人员,为实现对洞穴救援人员技能科学把控,建立绳索技

术等级认证体系,根据学员通过等级授予其不同级别洞穴救援资格证;建立资格证书时效性的中期评估体系,保证洞穴救援队员对救援技术的自我更新、与时俱进,明晰持证等级在洞穴救援中扮演角色等细则。

(4)洞穴救援其它技术能力建设。洞穴救援环境复杂,救援队除了掌握基本的援绳索技术外,还需要掌握潜水、医疗等其他分工合作完成的技术(表 7),组建并完善洞穴救援队伍,开展洞穴救援队定期培训,开展实战化演练,模拟发生灾难时可能的环境进行野外适应性训练,从而使救援队伍在各种环境下的洞穴救援能力获得提升,同时开展洞穴救援、自救、互救能力培训,提升救援队员个人综合素质。

(5)洞穴救援人员行为准则。建立洞穴救援队员行为准则,救援队员必须遵守最高的道德操守标准^[32],符合人道、中立、公正、正直和审慎的价值观,尊重当地社区种族、宗教等文化习俗,遵守法律法规,注意对敏感信息的保密处理,保护伤病员敏感信息,服从地区区域管制等(如进入军事、宗教区域),这些都是洞穴救援人员必须遵守的行为准则。

3.4.3 救援指挥统一化

在省洞穴救援指挥中心领导下,建立紧急洞穴救援指挥调度系统,配备双向卫星网络、区域对讲网络及移动通信网络等,同时配备专用通讯指挥车,实现洞内与洞外信息平台之间的信息交流,构建统一指挥平台和洞穴救援专家库(消防队洞穴救援专家,洞穴协会会员洞穴救援专家),从而确保发生灾难时,实现指挥中心与事故第一现场实时信息视频交流和指挥调度。

3.4.4 洞穴救援响应机制

救援响应机制直接决定洞穴救援的时效性,救援机制应在收到救援电话洞穴开始启动(图 5)。^①洞穴救援中心在收到救援报警后,及时询问事故是什么事件、发生时间和地点,记录报警人姓名、别名和电话号码以便随时联系,询问事故地点通讯情况等基本信息,并通过电话给予现场一些急救指导。^②根据报警获取的基本信息,指挥中心洞穴专家对事故进行分析,评估救援等级:当事故为紧急等级时,立即启动救援动员,收集事发地及伤病员基本信息

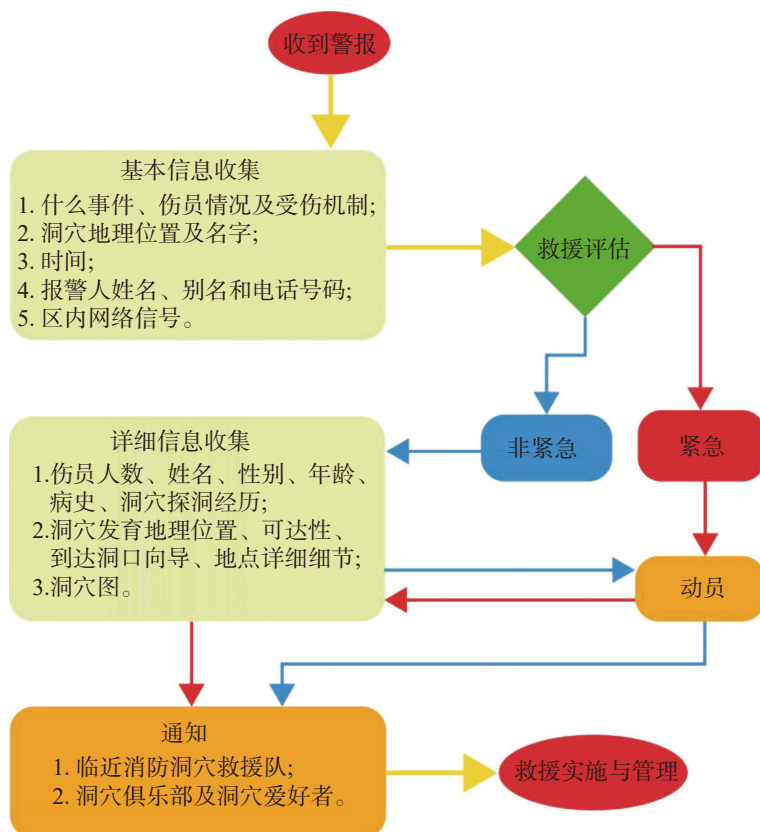


图 5 洞穴救援响应机制

Fig. 5 Response mechanism of cave rescue

和事发洞穴图及相关信息,根据收集信息预判救援复杂性,通知就近消防队及洞穴救援专家库救援人员,选派相应洞穴救援组和其它救援组列阵待命,便于后期调度;当为非紧急等级时,与紧急救援等级有所不同,先收集相关详细信息,后启动救援动员。

③救援过程中注意对救援中所有相关信息管控,统一由指挥中心发布,救援结束后总结。

4 结论与建议

(1)目前我国洞穴事故救援主力军是消防队,缺乏洞穴洞穴救援专业技术人才,没有形成专业洞穴救援队。虽然近年来各地洞穴俱乐部逐渐向洞穴救援方向拓展,但救援技术不规范,团队之间技术兼容性差,尚不能形成合力,需要建立全省或全国性质的洞穴救援指南规范,统一洞穴救援技术。

(2)贵州省洞穴探测民间或官方组织是全国发展较好的省份之一,虽然成立了探洞学校,为社会培养洞穴探险人才,但培训人员具有医学、爆破、通讯和通风学科知识背景的人员少之又少,极大地制约了洞穴救援事业的发展,还需要洞穴学会和俱乐部大力宣传,吸引和培训更多具备洞穴探险技术与能力人才。

(3)目前我国洞穴探险者主要为民间洞穴爱好者,他们主要是自由职业者,虽然通过专家库和洞穴学会将他们联系起来,但如何调动他们积极性,解决实施救援中的权利和义务问题,有待于进一步探讨和研究。同时,在消防队招募队员可以适当考虑将民间洞穴爱好者纳入体制内作为职业救援队的一员。

(4)洞穴救援体系需要充分发动社会救援力量,构建自防、自救与互救培训体系及机制,面向社会公众开展洞穴急救知识宣传和技能培训,制订发生事故时的自救方法,编写事故发生时的施救、自救及互救技能手册,组织宣讲,提高全民互救、自救技能与意识。该救援体系是以岩溶洞穴救援为依托而构建,实际操作中不仅局限于岩溶洞穴环境,洞穴救援研发中心也要对其他洞穴环境救援技术进行研发与实践化训练。

参考文献

[1] Ford D C, Williams P W. Karst hydrogeology and geomorphology[M]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2007.

- [2] 王晓青,田明中,朱嘉伟.洞穴事故分析及防范措施探讨:以英国、美国为例[J].中国岩溶,2005,24(1):79-84.
WANG Xiaoqing, TIAN Mingzhong, ZHU Jiawei. Analysis to cave accidents in US and UK and discussion on security measures[J]. Carsologica Sinica, 2005, 24(1): 79-84.
- [3] Chiarini V, Duckeck J, De Waele J. A global perspective on sustainable show cave tourism[J]. Geoheritage, 2022, 14(3): 82. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00717-5>.
- [4] Cigna A A. Tourism and show caves[J]. Zeitschrift für Geomorphologie, 2016, 60(2): 217-233.
- [5] Cigna A A. Show caves[C]//White W B, Culver D C, Pipan T. Encyclopedia of Caves (3rd edition). Netherlands: Elsevier Science & Technology, 2019: 909-921.
- [6] Irwin M A. The Thailand cave rescue: General anaesthesia in unique circumstances presents ethical challenges for the rescue team[J]. Journal of Bioethical Inquiry, 2022, 19(2): 1-7. <https://doi.org/10.1007/s11673-022-10168-w>.
- [7] 蒙歆媛,杨晓霞,向旭,石定芳.国内外洞穴旅游安全研究综述[J].中国岩溶,2015,34(5):529-537.
MENG Xinyuan, YANG Xiaoxia, XIANG Xu, SHI Dingfang. Review on cave tourism security at home and abroad[J]. Carsologica Sinica, 2015, 34(5): 529-537.
- [8] 11th European Cave Rescue Meeting[EB/OL]. Sofia, Bulgaria 5th-8th October, 2017. <https://caverescue.eu/presentations/CaversForCavers.pdf>.
- [9] Brief History of British Cave Rescue Council. <https://www.caverescue.org.uk/about-cave-rescue/brief-history/>.
- [10] 钱治,李坡,贺卫.2000年以来中国洞穴事故分析[C]//中国地质学会洞穴专业委员会.全国第二十届洞穴学术会议论文集.2015:255-262.
QIAN Zhi, LI Po, HE Wei. Analysis of cave accidents in China since 2000[C]//Cave Committee of Geological Society of China. Proceedings of the 20th National Speleology Conference. 2015: 255-262.
- [11] 周俊良,谭高明.洞穴事故救援处置对策[J].消防技术与产品信息,2010(3):28-31.
- [12] 周俊良,宋瑞明.浅析洞穴事故救援影响因素及处置措施[J].中国岩溶,2010,29(1):99-102.
ZHOU Junliang, SONG Ruiming. Analysis on the influencing factors and disposing measures for cave accident relief[J]. Carsologica Sinica, 2010, 29(1): 99-102.
- [13] John C Hempel. Rescues[C]//William B White, David C Culver. Encyclopedia of caves (second edition). Netherlands: Elsevier Science & Technology, 2012: 648-651. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-383832-2.00095-5>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123838322000955>)
- [14] Rigging team work-flow. <http://caverescue.eu/wp-content/uploads/2016/01/06-Rigging-team-work-flow-Giussepe-Conti.pdf>
- [15] 戴友义.2018年泰国洞穴救援相关技术浅析[J].中国应急救援,2020(6):46-49.

- DAI Youyi. Analysis of the technology behind the Thailand cave rescue[J]. *China Emergency Rescue*, 2020(6): 46-49.
- [16] <https://caverescue.eu/why-do-we-need-bivouacs/>
- [17] Irwin M A. The Thailand cave rescue: General anaesthesia in unique circumstances presents ethical challenges for the rescue team[J]. *Journal of Bioethical Inquiry*, 2022, 19(2): 1-7.
- [18] 周忠发, 张绍云, 熊康宁, 李波, 田袁珩, 陈全, 闫利会, 肖时珍. 贵州洞穴数据空间格局及影响因素分析(英文)[J]. *地理学报(英文版)*, 2017, 27(8): 1011-1024.
- ZHOU Zhongfa, ZHANG Shaoyun, XIONG Kangning, LI Bo, TIAN Zhonghui, CHEN Quan, YAN Lihui, XIAO Shizhen. The spatial distribution and factors affecting karst cave development in Guizhou Province[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(8): 1011-1024.
- [19] 周文龙, Bottazzi Jean, 谭明, 樊云龙, 傅良同, 王德远. 基于激光扫描和构造分析的紫云苗厅“双穹顶结构”成因机理初步研究[J]. *中国岩溶*, 2021, 40(6): 965-976.
- ZHOU Wenlong, Bottazzi Jean, TAN Ming, FAN Yunlong, FU Liangtong, WANG Deyuan. Mechanism of Miao Chamber in Ziyun county based on terrestrial laser scanning and structural analysis[J]. *Carsologica Sinica*, 2021, 40(6): 965-976.
- [20] 罗书文, 贺卫, 张远海, 邓亚东, 吴克华, 周文龙, 张弘智, 罗时琴. 绥阳双河洞发育对区内地表水系变迁影响[J]. *中国岩溶*, 2021, 40(6): 920-931.
- LUO Shuwen, HE Wei, ZHANG Yuanhai, DENG Yadong, WU Kehua, ZHOU Wenlong, ZHANG Hongzhi, LUO Shiqin. Influence of Shuanghe cave development on the changes of surface water system in Suiyang county, Guizhou, China[J]. *Carsologica Sinica*, 2021, 40(6): 920-931.
- [21] 贺卫, 李坡, 钱治. 多彩贵州洞穴[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2018.
- HE Wei, LI Po, QIAN Zhi. Colorful Guizhou caves[M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 2018.
- [22] 罗书文, 李坡, 陈伟海, 韦跃龙, 欧阳志宏, 邓亚东, 覃星铭. 贵州绥阳双河洞系统发育机理与演化研究[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 36(1): 111-118, 144.
- LUO Shuwen, LI Po, CHEN Weihai, WEI Yuelong, OUYANG Zhihong, DENG Yadong, QIN Xingming. Study on development mechanism and evolution of Shuanghe cave system in Suiyang, Guizhou[J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2019, 36(1): 111-118, 144.
- [23] 杨明德. 贵州高原喀斯特地貌结构及演化规律[C]//喀斯特地貌与洞穴. 北京: 科学出版社, 1985.
- [24] 杨明德, 张英骏, P Smart, T Waltham. 贵州西部的岩溶地貌[J]. *中国岩溶*, 1987, 6(4): 345-352.
- YANG Mingde, ZHANG Yingjun, P Smart, T Waltham. Karst geomorphology of western Guizhou, China[J]. *Carsologica Sinica*, 1987, 6(4): 345-352.
- [25] 罗书文, 杨桃, 陈伟海, 邓亚东, 覃星铭, 韦跃龙, 潘晓东. 赤水河上游大河村至三层岩段洞穴发育特征及机理[J]. *桂林理工大学学报*, 2019, 39(2): 341-348.
- LUO Shuwen, YANG Tao, CHEN Weihai, DENG Yadong, QIN Xingming, WEI Yuelong, PAN Xiaodong. Cave development characteristics and mechanism in upstream of Chishui river from Dahecun to Sancengyan[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2019, 39(2): 341-348.
- [26] Sweeting M M. The cone karsts of Guizhou[C]//Karst in China. Beilin: Springer Series in Physical Environment, 1995, 15: 93-119. http://377.rm.cglhub.com/10.1007/978-3-642-79520-6_5.
- [27] 蒋效忠. 我国公安消防队应急救援的法律职能研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- JIANG Xiaozhong. Research on legal function of emergency rescue of Chinese public security fire brigade[D]. Changsha: Central South University, 2010.
- [28] Tony & Denise Knibbs. Cave Rescuers Manual. Published: Federation Francaise de Speleologie, 2006.
- [29] 本刊综合. 各地应急管理厅(局)工作动态(下)[J]. *中国应急管理*, 2018(12): 50-53.
- [30] 马江涛, 李莹滢. 单绳技术在洞穴救援中的应用[J]. *中国应急救援*, 2022(4): 47-53.
- MA Jiangtao, LI Yingying. Application of single rope technique rescue in cave rescue[J]. *China Emergency Rescue*, 2022(4): 47-53.
- [31] www.ropeworks.com/docs/IRATA_TACS.pdf
- [32] uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/03/UIS-Recommendations-for-Cave-Rescue.pdf

Construction of karst cave rescue system: A case study of Guizhou Province

LUO Shuwen^{1,2}, WU Kehua^{1,2}, HE Wei^{1,2}, LUO Shiqin^{1,2}, ZHOU Wenlong^{1,2}, MAO Yongqin^{1,2}, YANG Tao³, LI Po^{1,2}, ZHANG Yuanhai⁴, DENG Yadong⁴, LIU Yuxuan^{1,2}, Jean Botazzi¹, ZHANG Hongzhi^{1,2}, QIAN Zhi⁵, WANG Deyuan^{1,2}

(1. Guizhou Institute of Mountain Resources, Guiyang, Guizhou 550001, China; 2. Guizhou Engineering and Technology Research Center for Karst Cave (Tourism) Resources Development and Utilization, Guiyang, Guizhou 550001, China; 3. Guiyang No.12 Middle School, Guiyang, Guizhou 550002, China; 4. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin, Guangxi 541004, China; 5. Guizhou Cave Association, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract Since the 1980s, with the development of joint spelunking activities between China and other countries, modern spelunking activities and techniques have been introduced and gradually promoted in China. Spelunking is now emerging as a popularized activity, which has been integrated into sports and tourism industries. Guizhou is located in the core area of the largest contiguous karst area of the world; therefore, cave resources in Guizhou have become an important part of China's economic development. However, cave accidents have occurred frequently, showing an increase in recent years. Establishing a sound cave rescue system is of great practical significance to support the construction and development of economy in sports industry and tourism industry in Guizhou.

The cave environment is one of the most risky and challenging environments for human activities, and cave rescue has gradually attracted people's attention. As early as 1935, the world's first famous cave rescue organization was established in Yorkshire, England, and subsequently, cave rescue organizations have also sprung up in the United States, France, Italy, Belgium and other western countries. On 13–15 August, 1963, the first cave rescue conference was held in Bruxelles and Han-sur-Lesse, Belgium. Cave rescue manuals have been consecutively compiled and cave rescue websites have also been set up in Europe. At present, China's cave accidents mostly handled by rescue teams temporarily deployed from relevant personnel, mainly from the fire brigade. Most of the rescuers are cave professionals and enthusiasts lacking professional skills for cave knowledge and standardized training to carry out rescue operations. Consequently, it is difficult to achieve consistent and orderly rescue, which may even cause secondary injuries or delay in rescue.

Based on the achievements of cave rescue and cave rescue manuals overseas, we analyzed cave rescue elements and summarized the composition of cave rescue in this paper. Taking Guizhou Province as an example, we analyzed the current types of cave accidents and rescue in China, on the basis of which we constructed a cave rescue system by combining the composition of rescue subjects and cave technical talents in China. It is believed that the cave rescue system consists of the following parts: (1) Under the leadership of the two functional departments—the Emergency Management Department and the fire brigade, the command center for cave rescue can be established responsible for alarm receiving and rescue dispatch. (2) At the same time, in cooperation with Guizhou Institute of Mountain Resources and Guizhou Cave Association, Technology Research and Development Center for Cave Rescue is expected to be set up for rescue personnel training, accreditation of rescue qualification, technology research and development, etc. Norms such as standardization of rope technology, training of rope technology and system of qualification accreditation, codes of conduct for cave rescue personnel, etc. should be established. (3) According to the distribution characteristics and main elements of caves in Guizhou, a provincial team deployed by Technology Research and Development Center for Cave Rescue in Guiyang should be established in charge of the cave rescue in complex situations of Guizhou and the training of provincial cave rescue team. With the fire brigade as the main body, this team consists of cave routing group, stretcher group, communication group, medical group, underwater diving group, explosion group and ventilation group. In Liupanshui City, Zunyi City, Bijie City, Anshun City, Tongren City, Qiannan Buyi and Miao Autonomous Prefecture, Qianxinan Buyi and Miao Autonomous Prefecture and Qiandongnan Miao and Dong Autonomous Prefecture, rescue teams consisting of routing group, stretcher group and medical group should be deployed in charge of the city's ordinary cave rescue. The rescue force composed of cave clubs and civil organizations of cave enthusiasts and individuals in different cities should be made full use of under the leadership of Guizhou Cave Association. (4) By Guizhou Cave Association and Cave Rescue Center, a database of cave rescue experts can be established under the leadership of Cave Rescue Center to form a rescue system with top-down linkage and official and civil interaction.

Key words karst cave, cave rescue, rescue system, cave safety, Guizhou Province of China, rope access

(编辑 张玲)