

## 大兴九顿搜索打捞报告 20211015

撰稿人：朱铁俊

日期：2021 年 9 月 27 日起始——2021 年 10 月 9 日

搜索打捞人员：（按照抵达时间顺序排列）钟承呈，朱铁俊，李海涛，韩硕，徐毅宏，吕凡，宋诚，应圣涛，刘毅，钟朝晖，夏凌峰，楼近宇，汤一飞，张宇，朱敬元，苏旸迪，杨超，鲁悦婷，金潇，颜世航，孟焕。共计 21 人。

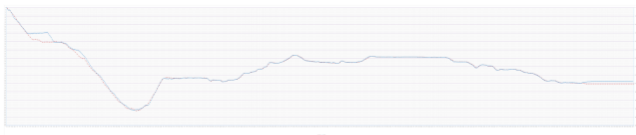
搜索打捞计划：每日搜索的潜水计划，人员及升水结果，每日已经上报县政府，此处不再详述。

未能使用水下机器人原因：事发后我们也讨论了使用 ROV 的可能性，并联系了几个 ROV 厂家。但是洞穴通道和环境太过复杂，ROV 进入和撤出都极为困难，更不用说搜寻了。考虑可能还需要继续搜索 150 米以下区域，我们又设想了一个方案，因为南洞的向下通道相对简单，如果由潜水员将 ROV 带入百米以下，并安排两组潜水员分别呆在 30 米和 105 米的转角顺线，似乎可以一试。但是需要真实告知厂家风险：ROV 很有可能一去不回。能符合小型灵活，可操作深度达到或超过 200 米，带高频声呐等要求的 ROV 基本在百万级，刘毅尝试联系后，厂家不敢承担可能的损失风险。

以下是搜索打捞过程中获取的有关数据和线索。（董杰以下简称 DJ，宫紫薇以下简称 ZW）

依据 DJ 和 ZW 的潜水电脑数据，我们制作了两人的潜水曲线叠加图：

——DJ\_ZW.png



注 1：红色线是 DJ 的曲线，蓝色线是 ZW 的曲线。

注 2：DJ 电脑表的采样率设置是 10 秒，ZW 电脑表的采样率设置是 5 秒。

注 3：DJ 的电脑表入水前没有开机，入水 1.1 米后才自动开始计时，ZW 的电脑表则从 0 米开始计时，依据视频资料的线索做了对比潜水电脑，我们将 DJ 的数据做了 5 秒的向后推移。

注 4：两人各自携带的气体设置见下图：

根据事后对尚余存气体的测试，比例误差不超过 1%

——DJ\_shearwater.jpeg



——ZW\_shearwater.jpeg



搜索打捞过程中发现 ZW 拉的象拔从水面拉到 30 米处连接到下降主线，她的 EAN77 挂在了 30 米处。DJ 将一个备用的 EAN40 挂在了下降主线 40 米处。以上符合潜水曲线前 4 分钟表现出的特征。

九顿北洞的洞穴入口在约 40 米深处，从洞口沿主线向内 20 米后可到达 50 米深处的垂直竖井入口，从 50 米到 60 米有一点斜度，从 60 米到 90 多米几乎是一个不规则的垂直竖井通道。从 99 米到 121 米的主线长度 25.5 米，中间没有结点。但实际通道有一定斜度，见图示：

——120 主线.jpeg



根据曲线可知他们约在 11'45" 到达 120 米，约 13'00" 时离开 120 米，随后急速上升，在 15' 时停止在 84 米左右。在此深度徘徊了四五分钟后，通过曲线可知，又翻过了一个 88 米的屋檐，上升至 57 米。

在他们下潜、滞底和上升阶段，ZW 携带的 *Gopro* 开机记录了近 6 分钟的视频，提供了一些线索。从视频中可以确认，DJ 的 *Liberty* 侧挂 CCR 挂在右侧，身后背负双瓶，左侧挂了一个气瓶，事后找到可确认该瓶是 TMX 40/08。ZW 除了被找到时的背后双瓶，由事后搜寻到的气瓶和对应的调节器，与视频中进行比对，可确认右侧挂的是 TMX 42/12，左侧挂了两个气瓶，外侧挂的气瓶是 TMX 23/39，内侧挂的是 TMX 11/62。与九顿停车场管理员的描述相符，管理员注意到 DJ 下水前穿干衣花了很长时间，而 ZW 下水时挂阶段瓶花了很长时间，并特意将一个瓶挂在了“相反的位置”。

注：ZW 将 *Gopro* 挂在右手前臂电脑表的橡胶上，挂扣连接在 *Gopro* 防水壳的底部中间。除了最开始的短暂瞬间和滞底阶段的一小段时间，她曾主动举起 *Gopro* 拍摄，视频的其余时间都是挂在手上自然拍摄。

依据潜水电脑，视频及水下地标点，18:56:58 左右起始，从一开始可见 DJ 的 CCR 潜伴灯红灯常亮。在 18:58:40 再次出现在镜头中时，CCR 潜伴灯已转为红灯闪烁。在 18:59:39，DJ 出

现在镜头中时，潜伴灯依然是红灯闪烁。潜伴灯红灯意味着机器报警，常亮提示氧分压高于 1.65 或低于 0.20，闪烁提示氧分压高于 2.0 或低于 0.16。

——BuddyDisplayRed.png

### HUD and buddy-display signals

Mode	Event / state	HUD signals			BD signals
		LED 1	LED 2	LED 3	
Startup	Initializing components	Binary coded service numbers			
pO <sub>2</sub> in dive mode <sup>1</sup> (bar; standard)	pO <sub>2</sub> < 0.16	● red blinking		● red blinking	● red blinking
	0.16 ≤ pO <sub>2</sub> < 0.20	● red blinking		● red blinking	● red
	0.20 ≤ pO <sub>2</sub> < 0.25		● 8X blue flash		● green
	0.3	● 7X blue flash			● green
	0.4	● 6X blue flash			● green
	0.5	● 5X blue flash			● green
	0.6	● 4X blue flash			● green
	0.7	● 3X blue flash			● green
	0.8	● 2X blue flash			● green
	0.9	● 1X blue flash			● green
	1.0	● green			● green
	1.1	● 1X green flash			● green
	1.2	● 2X green flash			● green
	1.3	● 3X green flash			● green
	1.4	● 4X green flash			● green
	1.5	● 5X green flash			● green
	1.6	● 6X green flash			● green
	1.65 < pO <sub>2</sub> ≤ 2.0	● red blinking		● red blinking	● red
	pO <sub>2</sub> > 2.0	● red blinking		● red blinking	● red blinking

打捞装备以后，DJ 的 CCR 因内部浸水十几天，加之部分化学腐蚀，导致机头受损，进行维修之后，纪录显示在潜水第 9 分 13 秒时机器报警氧分压超过 1.6，直至第 14 分 20 秒时解除报警，期间最大氧分压值达到 2.08。达到或超过 2.0 的总时长 104 秒，达到或超过 1.6 的总时长 307 秒。

第 20 分 55 秒时再次达到 1.6，并维持 7 秒。

第 29 分 35 秒时机器剔除了 1 号氧感应器。

第 30 分 56 秒时机器剔除了 4 号氧感应器。

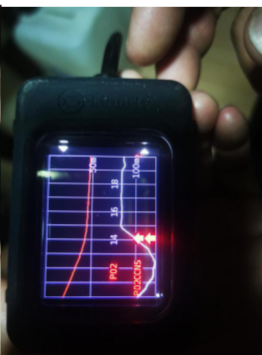
第 44 分 17 秒时报警提示检查氧感应器。

注：连续剔除氧感应器或报警，可能意味着已经进水或氧感应器故障。此后数据不一定可靠。

——CCR 记录 1.jpeg



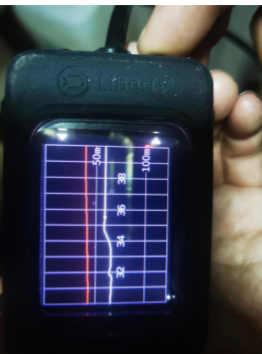
——CCR 记录 2.jpeg



——CCR 记录 3.jpeg



——CCR 记录 4.jpeg



——CCR 记录 5.jpeg



潜水时氧分压参考以下 NOAA 的氧分压限制表

——PO2limit.jpeg

PO2 BAR	Single Exposure Limit		24 Hour Exposure limit	
	Minutes	Hours:Minutes	Minutes	Hours:Minutes
1.6	45	0:45	150	2:30
1.5	120	2:00	180	3:00
1.4	150	2:30	180	3:00
1.3	180	3:00	210	3:30
1.2	210	3:30	240	4:00
1.1	240	4:00	270	4:30
1.0	300	5:00	300	5:00
0.9	360	6:00	360	6:00
0.8	450	7:30	450	7:30
0.7	570	9:30	570	9:30
0.6	720	12:00	720	12:00
Exceptional Exposure Limits				
2.0	30	0.5		
1.9	45	0.75		
1.8	60	1:00		
1.7*	75	1:25		
1.6	120	2:00		
1.5	150	2:30		
1.4	180	3:00		
1.3	240	4:00		

注 1：中枢神经系统氧中毒的风险会因人而异、因时而异，并受二氧化碳累积等因素的严重影响，而其后果是潜水员绝对无法承受的。

注 2：中枢神经系统氧中毒基本都逃不过癫痫大发作，痉挛时间持续 1-2 分钟，甚至 2 分钟以上。

注 3：整个潜水纪录中也没有发现剧烈痉挛造成的上下抖动（可能跟采样率有关），事后检查 loop 咬嘴也没有发现用力的咬痕。

注 4：以上并不能说明中枢神经系统氧中毒一定没有发生。

注 5：造成氧分压过高可能的原因包括但不限于：电磁阀漏气；氧气 MAV 漏气；下降速度太快；下降过程中手动补氧过多。

注 6：对维修后的机器的整体测试过程中，电磁阀工作正常，氧气 MAV 存在少量缓慢漏气，引发的原因不明。

关于两人从 120 米急速上冲到 80 多米的阶段，我们注意到视频中的一些线索：

视频时间轴从 18:56:58 开始，此时拍到 DJ 在下方，潜伴灯红灯长亮。

时间轴 18:58:41，拍到 DJ 在下方已接近主线 121 米结点，潜伴灯呈红色闪烁。

时间轴 18:58:55 到 18:59:00，ZW 从上往下慢慢越过 DJ，此时 DJ 的潜伴灯呈红色闪烁

时间轴 18:59:07 开始，ZW 到达主线 121 米结点。

时间轴 18:59:14，出现背后的 3 下晃灯，应为 DJ 从上方晃灯沟通或提醒。

时间轴 18:59:37，ZW 开始慢慢相对从下往上越过 DJ。

时间轴 18:59:40 到 18:59:49，可清晰稳定地听到不间断持续长达 9 秒的充气的声音。

期间 18:59:46，可见 DJ 头盔位于下方，代表 ZW 在上方。

时间轴 18:59:51 到 18:59:52，可见 ZW 右手伸手抓住主线。根据主线、手和 GoPro 的镜头相对位置，应为垂低手拉线。

主线至少在 19:00:04，19:00:18，19:00:31 再次进入镜头，其中 19:00:31 再次看到右手拉住主线。

反映到曲线上，可能是拉住主线，并在 116 米停顿了近 20 秒后，再次急速上升。

如果充气声来自 ZW，则急充的原因可能有：

1、被左侧两个瓶顶住 BCD 充气阀而误充。

2、BCD 充气阀故障。事后已检测 ZW 的 BCD 充气阀，工作正常。但不能排除当时在水下因充气管的安装或使用角度造成故障。

3、自主充 BCD 或是充干衣阀（与声音的剧烈程度不符）。镜头在 9 秒持续充气期间的

18:59:45 清晰拍到左手持主灯向下顺着主线照射，而 GoPro 是挂在右手前臂，离身体有一定距离。无论此时是使用左手还是右手在充气，都没法可以拍到这样的镜头。

如果充气声来自 DJ，应与视频过程中相对位置不符。另外，随着位置、距离和动作的改变，声音也不应该这么清晰稳定。

可以估测的是，一位潜水员因装备或其它原因造成充气，没能及时排除。引起急速失控上升（依据潜水电脑表分析，两人的最大上升速度分别达到了每分钟 30 多米（ZW）和每分钟 20 多米（DJ），在 2 分钟内上升了近 40 米）。并引发了另一位潜水员主动或被动的跟随。

两人应在 116 米深度就丢失了主线，最后停留在了一个 80 多米深的穹顶。

时间轴 19:03:31，视频结束。

此后，根据曲线，最后发现两人的区域，以及事后对该区域的观察：

两人并未选择从最近点拉线直下回到 120 米左右去找回主线。

而是依穹顶地势往一个方向搜寻出路。

却误入一个未知的区域的上升通道（之后打捞的时候，发现他们在一个我们一直以来都没有记录过的分叉通道里），在五六十米深度徘徊很久后才选择重新往下寻找，最终倒在 90 米深度，离主线主通道 20 米的地方。

北洞，从 99 到 121 米的那段线，实际是往东略偏南方向，如果从 120 冲到顶之后，往北搜寻，该区域顶上非常复杂，很容易误入主通道的东侧。而最终发现他们的未知区域，就在主通道的东侧。事后对该未知区域的探寻发现，这个区域在 50 多米后变窄，并在向上延伸到 45 米后分成两个通向侧上方的狭窄通道。在该区域找回了丢弃的 3 个气瓶，但没有发现任何他们拉线的痕迹。



最后检查气瓶阀的时候，我们发现两人背后双瓶的左边瓶阀都处于中间位置。全开是 8 圈，DJ 的离关闭还有 4 圈，ZW 的离关闭还有 3 圈。在洞穴潜水中，这通常是由前行时瓶阀碰撞洞穴顶部而导致的撞关。在下降和急升阶段很难发生，应该是两人在贴近穹顶前行找路时发生。

根据曲线，我们确信他们自始至终没有分开，直到最后一刻。第 55 分钟，DJ 开始在 30 秒内从 89.5 米降到 90.5 米，此后保持不动，ZW 开始在一分钟内从 89.5 米上升至 88.5 米，此后保持不动。

至于是谁先离世，至今不能确认，不同的线索和迹象分别指向相反的方向。

罗列一些可能的线索：

最终发现他们俩的地点相隔不过四五米，在坡底和坡上面对面对。DJ 是一个半仰卧的状态，面对坡上，头比较低、脚比较高，卡在一个斜坡上，手臂略略抬起张开，身体和腿部呈 *trim* 姿态。ZW 是一个侧躺的状态，左侧在下，面对坡下，手臂张开怀抱的姿态，双腿自然伸直，下半身在一个不到 1 米高的岩石屋檐底下。

——发现位置.jpeg



发现 DJ 的时候，他 CCR 的 loop 没关，整个浸水很沉，氧气阀门关闭但氧气还剩 130bar，稀释气已经用完，但以插拔方式外接了 bailout 补稀释气。背后双瓶 OC bailout 的长喉依然绕过脖子

挂在右肩垂落到左胸，单头扣已解开。干衣管跟干衣充气阀是脱离状态。背气还剩余不到 50bar 没有用尽。左边阶段瓶 40/08 不见了。

发现 ZW 的时候，背后双瓶已经全空，但 BCD 里还是明显有气。左边两个阶段瓶不见了，右侧挂着 42/12 剩余 200bar，瓶阀全开。

10 月 9 日进行的搜寻，在他们迷失的区域，找到了被丢弃的 3 个瓶。

其中 ZW 的 11/62 已吸空，漂在 57 米的一个横向通道的顶上，估计是从下面至少 62 米以下区域飘上来。

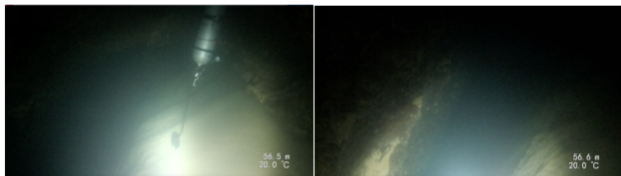
——1162a.png

——1162c.png



——1162d.png

——1162e.png



其中 ZW 的 23/39 和 DJ 的 40/08 在约 74 米深度的坡下被发现。23/39 还剩下 120bar，而 40/08 全满甚至没打开。并在旁边散落 ZW 的备用手电和 DJ 的线轴。

——气瓶 2a.png



——气瓶 2b.png



——气瓶 2c.png

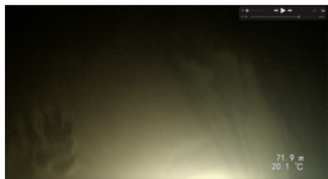


——线轴电筒.png



在坡上两三百米高的泥地上留有大量痕迹，甚至有个疑似手印。

——手印.png



在 50 多米以下的区域，并没有很狭窄，到需要丢弃气瓶的地步。我们能想到的唯一的解释，是为了方便救援拖带而舍弃气瓶。

而丢弃这些气瓶的地点，应该在 62 米至 72 米之间。也就是曲线上从 43 分到 46 分半的时间段。意味着很可能两人之前在 58 米的长达五六分钟的停留，甚至静止不动时，已有状况发生。

两人都有可能因大运动量及心理因素造成呼吸量大增，引起二氧化碳过多，造成后续情况导致最终溺水。通常使用密闭呼吸系统的潜水员，发生此类问题的比例更高。

不能排除两人或其中一人在急速上升阶段，短暂憋气或来不及吐气，导致动脉气体栓塞，在随后的潜水过程中，逐渐丧失肺功能而死亡。

也不能排除 DJ 在随后的潜水过程中，CNS 累积太高而导致 CNS 氧中毒引起痉挛而溺水。

此外，我们始终没有找到 ZW 的手写板。也许找到后能提供给我们更多的线索。

以上是自 9 月 26 日以来，我们进行的搜索打捞行动及后续测试获得的有用的线索，仅供参考。