

CHISAT-1 实验中的多普勒超声波气泡监测*

曲青林 袁洪昌 陈宝松

(交通部石油部海洋水下工程科学研究院, 上海 200232)

CHISAT-1 实验, 即 1988 年中美联合 25m 氮氧饱和 50~75m 空气反复巡潜科学实验。实验参照美国海洋大气局 NOAA 新推出的 Repex 程序^[2], 技术参数采用公制计量单位, 该程序新增加的内容有: 无停留站的反复巡潜表, 不同间隔时间的一个或数个减压停留站的反复巡潜表, 前期饱和减压表和饱和主减压表, 连续氧暴露的允许累积剂量, 以及应急程序等。与以前一系列氮氧饱和——空气巡潜程序^[1,3]相比, 该程序具有巡潜作业效率高, 减压负荷较大的特点。本实验拟对上述空气反复巡潜及饱和减压程序进行实验验证。

I. 实验对象和方法

I. 1. 受试者

4 名男性职业潜水员, 年龄 30.3 ± 4.6 岁, 身高 171.5 ± 3.9 cm, 体重 69.8 ± 8.8 kg, 潜水工龄 9.8 ± 4.9 a, 均无减压病史。

I. 2. 舱室环境

实验在海洋水下工程科学研究院 300m 加压舱实验室进行。潜水员在主舱内饱和和居住, 饱和深度为 25m (海水深度), 氧分压为 32kPa, 其余为 N_2 , 最后一次巡潜前及减压过程中主舱充以空气。舱温为 25.8 ± 0.6 °C, 相对湿度为 $55 \pm 8\%$, CO_2 分压始终小于 500 Pa。空气巡潜在巡潜舱内实施, 在压力升降过程中巡潜舱的温湿度有所波动。

I. 3. 模拟巡潜

在氮氧环境饱和居住的 5d 中, 4 名潜水员进行了 15 批干舱模拟空气巡潜。巡潜深度及时间安排如表 1 所示。

水下工作时间 (包括在饱和和深度加压及在巡潜深度停留的时间) 为 20~244min, 每天安排 2~4 批, 巡潜总时间为 23h7min, 15 批巡潜的返回过程, 9 批为无减压停留, 5 批设 1 个停留站, 1 批设 4 个停留站。如将两次潜水之间的“水面间隔时间”在 16h 以内的潜水定义为反复潜水^[2], 则本实验反复潜水数为 14 批。

I. 4. 饱和减压

本实验最后一批空气巡潜返回饱和和居住深度 2min 后即开始饱和减压。饱和减压分为前期减压和主减压两个阶段。前期减压在 40~36m 内, 每米 1 站

表 1 CHISAT-1 实验中的模拟空气巡潜

潜水天数	巡潜序号	巡潜深度 (m)	巡潜时间 (min)	返回时间 (min)	间隔时间 (min)	返回时停留站数
1	1-1	60	43	3	164	0
	1-2	60	244	116	870	4
2	2-1	70	35	7	108	1
	2-2	50	243	34	233	1
	2-3	65	35	4	142	0
	2-4	60	64	9	526	1
3	3-1	50	242	23	95	1
	3-2	60	43	3	104	0
	3-3	60	44	3	883	0
4	4-1	75	22	4	154	0
	4-2	50	131	2	167	0
	4-3	75	25	6	929	1
5	5-1	50	133	3	374	0
	5-2	75	20	4	246	0
	5-3	50	63	2		0

每站停留 29 min, 35~26m 每站停留 39min。25~0m 的主减压采用与舱室氧分压成正比的减压速度进行^[2], 即减压速度 $R = K \cdot PO_2$, 比例系数 K 取 $0.0212 \times 10^{-5} \text{m/min} \cdot \text{Pa}$ 。减压期间呼吸空气, 减压总时间为 53h 50min, 其中前期减压为 8h 56min, 主减压时间为 44h 54min。

I. 5. 气泡监测

用频率为 2.5MHz 的多普勒超声波监测仪对受试者心前区进行气泡监测。每批巡潜结束返回饱和舱后测定 3 次, 其间隔时间为 40min 左右。每次测定都进行静息和 3 次曲膝下蹲运动的气泡音监听, 同时录制磁带, 按 Spencer 法^[4]评定分级。饱和减压时每天安排 4 次测定, 减至 0m 后再连续观察 48h。

II. 结果

本实验的超声波气泡监测的统计结果如表 2 所示。

* CHISAT-1 实验由本院石中瓔教授和美国 Hamilton 研究所 R. W. Hamilton 博士主持; 超声波气泡监测工作由美国 NOAA 潜水医官 Wm Schane 博士和本文作者共同完成。

表 2 CHISAT-1 实验中的多普勒超声波气泡监测的统计结果

测试时间	静息气泡			运动气泡		
	平均气泡等级	出现气泡比例(%)	最大气泡等级	平均气泡等级	出现气泡比例(%)	最大气泡等级
前 14 次巡潜后	0.58	50.0	2	1.86	92.0	3
前期减压	0.17	16.6	1	1.17	91.7	2
饱和主减压	0.17	12.5	2	1.16	93.3	3
减压后 12h 以内	0.81	56.2	3	2.19	93.8	4
减压后第 48 小时	0.00	0.0	0	0.00	0.0	0

II. 1. 空气巡潜后的气泡监测

空气巡潜返回居住舱后, 4 名受试者都观察到少量静息或运动气泡。不包括最后一批巡潜, 各批巡潜中有 50% 人次出现 1~2 级静息气泡, 平均等级 0.58 级, 有 92% 人次出现 1~3 级运动气泡, 平均等级 1.86 级。各批巡潜之间的气泡平均等级数未见显著差别。各个体之间有一定差异, 受试者 GC 的静息和运动气泡平均等级分别为 0.33 和 1.33 级, LH 为 0.78 和 2.44 级, CZ 为 0.89 和 2.11 级, WB 为 0.33 和 1.56 级。4 人中均未观察到巡潜减压病的症状和体征。

II. 2. 饱和减压过程中的气泡监测

监测统计结果表明, 在减压阶段中出现的静息气泡, 无论在前期减压或主减压时, 其等级都较低, 平均都是 0.17 级。观察到一定量的运动气泡, 前期减压时平均为 1.17 级, 主减压时 1.63 级。个别受试者运动气泡较多, 如受试者 CZ 频繁出现 3 级运动气泡。

减至 0m 后 12h 以内观察到 56.2% 测试人次中有 1~3 级静息气泡, 平均等级为 0.81 级, 运动气泡平均等级为 2.19 级。其中受试者 CZ 在减至 0m 后 12h 内, 观察到 1 次 3 级静息气泡和 4 级运动气泡。减至 0m 2d 后所有受试者都再未观察到任何气泡信号。

上述过程中, 所有受试者都没有报告或被检查出任何减压病症状或体征。

III. 讨论

采用氮氧饱和潜水技术, 可以呼吸空气到水深 50~75m 处巡回潜水, 不经减压停留或经短暂的减压即返回到饱和深度。这样可以大大提高潜水作业效率。本实验的 15 批 80 人次巡潜, 虽然巡潜深度、水下工作时间、返回时间及反复组间隔时间有所不同, 但都是出自同一系列, 其减压负荷都是相近的。气泡监测结果表明, 巡潜后出现的气泡并不严重, 偶见有 3 级运动气泡, 没有 1 人次出现巡潜减压病症状和体征。这证明所采用的巡潜方案是安全的。当然, 由于本实验是干舱巡潜, 巡潜期间体力负荷量不大, 故该巡潜表尚须有湿舱水下巡潜及有较重体力负荷时的实验资料给予进一步验证。

本实验的饱和减压方案与以前的结果^[1]相比, 其特点是在较大的饱和深度使用了较慢的上升速度; 减压过程中仅呼吸空气; 减压上升速度与吸入气的氧分压成正比。另一特点是发展了前期减压程序, 允许从巡潜一结束立即开始饱和和减压。在本实验中, 采用在 40~26m 空气下前期减压 8h 56min 代替了以前沿用的巡潜结束后在饱和舱内停留 24h 的脱饱和, 提高了饱和潜水的作业效率。气泡监测结果表明, 所采用的减压方案是安全可靠的。

本实验观察到, 减至 0m 后 12h 以内, 受试者气泡等级有所升高, 其中受试者 CZ 在减至 0m 后 12h 测到 1 次 3 级静息气泡和 4 级运动气泡。这固然与某些受试者(如 CZ) 在饱和减压上升期间原有较高的运动气泡等级有关, 但出舱后较多的体力活动也可能是一个重要因素。本实验的这一结果提示, 饱和潜水出舱后的 24h 以内, 对潜水员仍需继续实施严格的医学监护和生活管理。

本实验使用了灵敏度较高的多普勒超声波仪器, 吸收了国际上通用的循环血液气泡监测技术和经验, 使 CHISAT-1 实验与 Repex I, II, III⁽²⁾ 实验一样, 在评价减压方案, 预防减压病的发生方面取得了满意的结果, 这对发展我国的潜水技术具有实际意义。

参考文献

- [1] 陈宝松, 1983. 氮氧饱和潜水减压的研究. 海洋学报 5(1): 115~121.
- [2] Hamilton RW, et al., 1988. Repex: Development of repetitive excursions, surfacing techniques, and oxygen procedures for habitat diving. Technical Report 88-1A. Rockville, MD: NOAA Office of Undersea Research.
- [3] Miller JW (Ed.), 1979. NOAA Diving Manual. 2nd ed. NOAA, US Dept Commerce, 12-11.
- [4] Spencer MP, 1976. Decompression limits for compressed air determined by ultrasonically detected blood bubbles. *J. Appl Physiol* 40: 229-235.
- [5] Eckenhoff RG, Vann RD, 1985. Air and nitrox saturation decompression: a report of 4 schedules and 77 subjects. *Undersea Biomed Res.* 12(1): 41-52.