



站内搜索

请输入查询的字符串:

==> 综合查询 <==

标题查询 内容查询

查询

重写

行业动态

政策法规

救捞技术

学会活动

水下技术

海工技术

综合技术



学会文章

自动滚屏 (右键暂停)

氢氧潜水概述

发布时间: 2004-9-19 9:38:33 被阅览数: 2282 次

海军医学研究所 方以群 陈海庭 天津市和平区白楼医院 张凤翔

摘要: 随着科学技术的不断发展,潜水技术也不断提高,潜水深度不断加深,由于高压、潜水环境对机体的影响,特别是随着潜水深度的加深,呼吸气体中的各种气体分压也相应地增加,各自对机体产生不同的影响。高分压氮气将引起氮麻醉,使空气潜水限制在 50—60 米水深。为了防止氮麻醉的作用,1920 年研究发展了“氮氧混合气潜水”,突破了空气潜水 50—60 米的深度限制。但是随着深度加深,又出现了“高压神经综合症 (HPNS)”,尤其是超过 300 米深度,潜水者发生震颤、恶心、呕吐心电图异常等中枢神经系统功能紊乱。此外,随着深度增加,气体密度增加,因而对呼吸又产生影响,加上氮气价格昂贵,来源困难。因此迫切需要寻找新的气体代替氮气作为大深度潜水用呼吸气体。经多年的大量多种气体实验研究之后,人们发现 H₂ 是取代 He 的最理想的气体,因而, H₂-O₂ 潜水医学和技术的研究和应用,得到了迅速发展。氢氧潜水研究在国外开始于 40 年代,美、英、法、苏、瑞典开展了大量的氢氧潜水动物实验,80 年代中期进入快速发展阶段,成为当今潜水医学和技术发展的新领域,法国作为现代世界上 H₂ 潜水研究的代表。COMEX 公司实施了一系列以 H₂ 为主体的深海用混合气的潜水实验研究计划,该计划被命名为 HYDRA(水螅,并含 H₂ 的意思),包括动物实验、人体实验及现场实验等,它由三部分组成:①安全性分析,②生理和医学研究,③研制特殊潜水设备和程序。先后进行了 HYDRA III-XII 模拟实验,从 75-90msw 氢氧邦司 (Bounce) 潜水,到现场 520msw 饱和潜水和实验室 710 米饱和潜水,目前世界上无论是实验室还是海上饱和潜水的最深记录均为氢氧潜水所创造的。近年来我国也开展了氢氧潜水的设备、医学生物学等方面的研究。本文将从氢氧潜水的提出、氢气的特性、氢氧潜水的简史和氢氧潜水研究涉及的生理学主要问题等方面对氢氧潜水做了简要概述。

一、氢氧潜水的提出

随着技术的不断发展,潜水技术也不断提高,潜水深度不断加深,由于高压、潜水环境对机体的影响,特别是随着潜水深度的加深,呼吸气体中的各种气体分压也相应地增加,各自对机体产生不同的影响。高分压氮气将引起氮麻醉,使空气潜水限制在 50—60 米水深。为了防止氮麻醉的作用,1920 年研究发展了“氮氧混合气潜水”,突破了空气潜水 50—60 米的深度限制。但是随着深度加深,又出现了“高压神经综合症 (HPNS)”,尤其是超过 300 米深度,潜水者发生震颤、恶心、呕吐心电图异常等中枢神经系统功能紊乱。此外,随着深度增加,气体密度增加,因而对呼吸又产生影响,加上氮气价格昂贵,来源困难。因此迫切需要寻找新的气体代替氮气作为大深度潜水用呼吸气体。经多年的大量多种气体实验研究之后,人们发现 H₂ 是取代 He 的最理想的气体, H₂ 分子量 2, 密度 0.08g/L, 在水中的溶解度为 0.017ml/ml 1atm, 热导系数为 45.9cal/sec/cm/°C×10⁻⁵ (空气 6.42, 氮气 36.9), 具有麻醉作用。因而, H₂-O₂ 潜水医学和技术的研究和应用,得到了迅速发展。

二、氢气特性

H₂ 分子量 2, 密度 0.08g/L, 在水中的溶解度为 0.017ml/ml 1atm, 热导系数为 45.9cal/sec/cm/°C×10⁻⁵ (空气 6.42, 氮气 36.9), 具有麻醉作用。虽然 H₂ 在体内也会发生反应,但分子

形式的 H₂ 在机体内是惰性的, 呼吸 H₂ 血中 pH 不会上升; 由于 H₂ 质量轻和密度小, 所以能够减少呼吸阻力。

三、氢氧潜水简史

早在 1789 年, 法国 Lavoisier 首先将氢气作为呼吸气体进行研究, Lavoisier 等把印度猪放在钟形玻璃容器内, 使容器中维持生命的 N₂ 和 O₂ 保持一定量, 然后添加 H₂, 猪在里面呼吸 H₂-N₂-O₂ 混合气, 历时 8 ~ 10h, H₂ 未给机体带来任何障碍。但直到 1937 年, 英国 Case 和 Haldane 才把氢气作为潜水呼吸气体进行首次实验研究, Case 和 Haldane 使人暴露于相当 100m 水压的压力下, 呼吸 H₂-O₂ 混合气达 5min 时间, 人体未出现生理学变化; 1941 年苏联的 Lazarov 把小白鼠加压到相当于 900m 水深压力, 呼吸 H₂-N₂-O₂ 混合气, 停留 3min, 尔后进行约 1h 减压, 获得成功。初步证明 H₂-O₂ 环境对人体无不良影响。

在 1944 年 7 月, 瑞典的年青海军军官 Zetterstrom 自行配制了氢氧混合气, 于 1941 年 12 月亲自使用并成功潜水到 110 msw。1945 年, 他又成功进行了 160msw、20min 氢氧潜水, 但由于错误连接混合气导管和绞车操作失误, 因而发生了缺氧和减压病而身亡, 应该说事故与 H₂ 无关。随后, 在其父的指导下, 瑞典海军继续进行氢氧潜水可行性研究, 终因发生氢气爆炸事故而被迫中止。

1965 年起, 美、英、法、苏、瑞典等国再次开展氢氧潜水的动物实验。尤其是 60 年代末至 70 年代初, H₂ 取代 He 作为深海潜水用呼吸气体再次受到人们的重视。这期间的 H₂ 潜水研究, 动物实验达到约 1000m 深度, 人体实验达到 60 m 深度。70 年代, Edel 等进行了一系列氢氧模拟潜水实验, 除研究氢氧对机体的影响外, 还包括氢氧潜水的管理制度, 减压方案, 以及呼吸气体转换问题。但是, 由于 H₂ 在安全管理方面也存在着相当的困难, 所以用 H₂ 作为潜水呼吸气体的研究工作很快就中止了。

法国的 H₂ 潜水研究

法国是现代世界上 H₂ 潜水研究的代表。80 年代初, 随着海洋开发的不断推进, 人们需要在更大深度 (1000m) 进行潜水作业。面对此趋势, 法国 COMEX 公司小组正式制定并开始实施以 H₂ 为主体的深海用混合气的潜水实验研究计划, 该计划被命名为 HYDRA (水螅, 并含 H₂ 的意思), 包括动物实验、人体实验及现场实验等, 它由三部分组成: ①安全性分析, ②生理和医学研究, ③研制特殊潜水设备和程序。先后进行了 HYDRA III-VII 模拟实验, 从 75-90msw 氢氧邦司 (Bounce) 潜水, 到 520msw 饱和潜水。

1983 年 6 月起, 法国 COMEX 潜水公司开始执行 "HYDRA" 计划。1983 年由 Deulaze 主持, 在位于马赛附近的海上进行了 91m 水深的 HYDRA-III 实验, 同年 11 月又进行了 HYDRA-IV 人体模拟实验, 深度 300m, 受试者 6 人 (2 名医生, 3 名职业潜水员, 1 名工程师), 呼吸 H₂-He-O₂ 混合气, 其比例分别为 74%、24%、2%。1985 年 5 月, 小组实施了 HYDRA-V 实验, 受试者分为 2 个小组 (每组 3 人), 暴露于相当 450m 水压的压力, 研究了 H₂ 的生理学影响, 测试了潜水员水下作业能力, 还探讨了混合气各种气体的比例问题。结果发现, H₂ 54%、He 45%、O₂ 1% 为最佳配比。

1986 年 11 月 Fructus 领导实施了 HYDRA-VI 模拟潜水实验, 这次实验相当于 520m 水深, 有 8 名潜水员参加, 在水温设定为 4℃ 的模拟舱内共进行了 25 次水下作业; 实验中, 对有关的潜水设备、装具等进行了测试, 重点对 BOS 型新型头盔潜水呼吸器进行了试验。1988 年 2 月, COMEX 公司在地中海进行了 HYDRA-VIII 实验, 这是一次现场 H₂ 混合气饱和潜水实验。参加实验的有 6 名潜水员, 其中 4 人为 COMEX 公司潜水员, 2 人为法国海军潜水员。2 月 21 日开始加压, 28 日到达 520m 深度, 6 名潜水员在 520m 深海中进行了 5 ~ 6 天的作业。

1989 年 9—11 月, 又进行了 HYDRA IX 300msw (3.1MPa) 停留 14 天近海氢氧饱和潜水模拟实验。完成潜水医学、神经生理、心理、通气和心血管功能、生化、热和体液平衡、减压程序和潜水专家系统等项研究。

90 年代以后, COMEX 公司又相继进行了 HYDRA-X 和 HYDRX-XI 人体模拟 H₂ 饱和潜水实验, 710 m 为当今人在高压下暴露的最大深度记录。到目前为止, COMEX 已进行了 HYDRA-XII 实验, 该实验深

度为 210m，潜水员在此深度进行了 28 次潜水，其中 4 次为 He-O₂ 潜水，4 次为 H₂-He-O₂ 潜水。证明在中等深度或大深度潜水中氢是一种最佳呼吸介质，“舱内用氢—舱外用氧”（在船上饱和舱内，潜水员呼吸标准的氢混合气，在海底作业时，他们呼吸氢混合气）的新颖潜水技术是可行。若采用这项新的潜水技术，原来所有能进行氢混合气大深度潜水作业的母船无须高额改装费，即可改用氢混合气开展潜水作业。

在 HYDRA 计划中，Gardette 还共用 110 只小白鼠进行了实验，实验时采用 H₂-He-O₂ 混合气，在相当于 2000m 水深压力下共高压暴露 12 天（含加、减压时间），获得成功。发现用 H₂-O₂ 对小白鼠加压时，加压到 1800m 时出现高压障碍（HPNS），而使用 H₂-He-O₂ 混合气时小白鼠状态良好。

其他国家目前的 H₂ 潜水研究

H₂ 潜水为许多国家所关注，近年来也受到美国海军的重视。美海军也研究了高压下 H₂ 对人体的作用，认为 H₂ 对机体是无害的，同时还认为 H₂ 不仅能够减少人在高压下的呼吸阻力，而且也可以减轻 HPNS。与此同时，美海军有关研究人员还进行了一个与 H₂ 潜水相关的别开生面的课题——H₂ 潜水时的生物化学减压。据 SR.Kayar (1997) 报道，在大白鼠体内注入把 H₂ 和 CO₂ 转变成甲烷和水的微生物，能够迅速降低体内的 H₂ 分压。应用这个原理，可能预防减压病发病且明显缩短减压时间。

四、氢氧潜水研究涉及的主要问题

1、安全性和可能的病理学影响

自 1789 年 Lavoisier 开始研究 H₂ 对机体潜在毒性作用以来，迄今为止，几乎所有 H₂-O₂ 研究的课题均涉及这一问题，而且结果基本是一致的，即在任一压力范围，H₂ 对机体不产生任何毒性作用，仅法国的 Michaud (1969) 和 Fructus 在其动物实验中有不同结果。Michaud (1969) 等的动物（小鼠、家兔）实验结果不同，他们在 2.9MPa、31℃ 和 34℃，H₂-O₂ 气 30-72h 的实验中发现，在不到 2h，EEG 就发生异常改变，有的动物在减压过程中死亡，并认为此与 H₂-O₂ 有关。后来 Fructus 等又继续了该项研究，他们将猕猴暴露于 3.1-6.8MPa 的 H₂-O₂ 条件下，亦出现类似的结果。但后来瑞典人 Orhagen (1979 - 1980) 等重复他们的实验时却得出相反的结果，1979 - 1980 年间，瑞典 Hans Ornhagen 用家兔、鼠等动物进行了 22 次 H₂-O₂ 暴露实验，最高压力达 6.0MPa，并在 3.0MPa 条件下用家兔重复法国学者曾作过的实验，均未发现任何异常，对动物行为、生理学和组织学等项目的检测亦未见异常改变。在生化研究，血液检查项目中均无异常，对肝、睾丸、肠、心脏等组织学分析亦未见不良反应。1980 年以前，Fife 等进行高压下动物和人体氢氧暴露的总时间已累计超过 6000h，小白鼠在 0.82MPa 下停留 10 日均能存活，尸解其肺和脑组织，没有发现因呼吸氢氧而造成的变化，其生理、生化和血液学指标均无显著变化证明氢氧混合气对机体无毒性作用。Fife 报告，频繁的 H₂-O₂ 暴露对生育和胎儿发育均无不良影响，即使在 2.1 MPa 下呼吸 97% H₂ 亦不会引起可明显的生理学损伤。Fife 等则认为家兔和猕猴在实验中发生的情况，可能是呼吸气中混杂有毒物质，或是因环境热不足引起的。近年来瑞典 120m H₂-O₂ 潜水实验及法国 COMEX 公司 Hydra 系列现场和实验室人体 H₂-O₂ 潜水均获得成功，充分证明 H₂ 用于大深度潜水是安全可靠的。仅 1988 - 1989 年，法国进行人体氢氧潜水时间就达 7200 人小时，均取得圆满成功，从而进一步说明，氢氧潜水是安全的。

2、麻醉性及其与 HPNS 之间的关系

动物实验提示，H₂ 具有麻醉性，其效能居于 N₂ 和 He 之间。N₂、H₂ 和 He 的相对麻醉性是 1:0.4:0.2。氢的麻醉效力约为氮的 20% - 25%，但高于氦和氙，利用这一特性，逆转高压对机体所致的过度兴奋作用。最近，在这方面的动物和人体的研究证明，氢对 HPNS 有一些保护作用，人在 4.6 MPa 下没有出现震颤、动作障碍、肌阵挛、眩晕，且 HPNS 的症状有明显改善。

1974 年 Edel 第一次报道了人体 H₂ 麻醉研究实验：4 名受试者各潜水 1 次，在 0.7MPa 下呼吸 N₂-O₂，He-O₂ 和 H₂-O₂ 混合气各 120 min。根据智力和手操作技巧性试验证明，吸 N₂ 时操作能力明显降低，吸 He 和 H₂ 时未引起显著变化。1984 M. Carioz 等进行了 3 次人体 H₂ 麻醉性研究实验，结果提示：1)、氢分压 (PH₂) 在 2.45MPa 时，受试者手操作技巧和视觉反应时试验没有明显改变；2)、H₂ 麻醉敏感性有明显的个体差异，在 240m H₂-O₂ 环境中的操作能力优于 8

0m 空气环境，3)、单独用 H₂-O₂ 潜水的安全限度在 200m 左右。研究还发现，在同样压力条件下，呼吸 H₂-O₂ 和呼吸 He-O₂ 气，EEG 变化类似，但 H₂-O₂ 能明显改善 HPNS 的临床症状，显示大深度潜水使用 H₂-O₂ 气体的优越性。

3、减压和等压气体逆向扩散

理论预测和实验证明，H₂ 暴露后的安全减压时间比 He 暴露后的减压时间长。Michaud(1969)等在动物 He-O₂ 暴露实验中用 He-O₂ 方案减压，动物在减压过程中即发生死亡。1972 年 Edel 在 H₂-O₂ 减压研究中也证明，He-O₂ 和 H₂-O₂ 以相同的压力暴露，若均用 He-O₂ 方案减压，则后者的发病率明显升高，症状亦更严重，提示 H₂-O₂ 暴露用 He-O₂ 方案减压是不安全的。H₂ 在机体组织的最慢半饱和时间约 300min。Gardette(1985)在 Hydra-V 潜水中认为，氢氧潜水减压时间大约比相同深度氮氧潜长 25%，HYDRA V 由 4.6MPa 减至 2.1MPa 为氢饱和减压，以后用一种混合气逐步转换成氮氧，发现循环气泡突然增加，再加压 0.2MPa 吸高分压氧，气泡音才消失。Hydra-V 2 次 450m 减压方案的比较表明，从饱和深度逐渐减少 H₂ 含量，直到某一深度全部消除 H₂，要比突然大比例减少 H₂ 的方案更安全。H₂-O₂ 减压问题是复杂的，尚有不少问题有待研究完善。

在实施 H₂-O₂ 潜水过程中，考虑到防火，防爆等安全因素，于加压和减压阶段，需要在一定深度进行等压气体转换，因而就要涉及到气体逆向扩散问题。有关 H₂-O₂ 转换引起的问题，文献资料不多。D Aoust (1981) 等在用山羊实验中，当从 0.8MPa H₂-O₂ 饱和和转换到 He-O₂ 时，发现腔静脉中有气泡。Dougher(1976) 报告，在 0.7 Mpa N₂-O₂ 环境中呼吸 H₂-O₂ 气体，山羊没有发生不良作用，而在 0.7MPa 下从空气转换到 He-O₂ 时产生了大量气泡。由于气体逆向扩散问题是复杂的，尚有许多问题不甚清楚，需要深入研究。

4、对呼吸运动和心血管的生理学影响

高压下由于气体密度增加致使换气能力下降，从而限制了劳动能力。在 300m 水深下氮氧气体密度是水面空气的 5 倍，而 H₂-O₂ 仅仅是水面空气的 3 倍。1.3MPa 饱和潜水中，呼吸 98%H₂-2%O₂ 与相同比例 He-O₂ 比较，前者呼吸功能较好，呼吸肌负荷减小，呼吸功下降，潜水员主观感觉呼吸阻力明显减小。Hydra-IV 和 V 实验也发现，运动期间呼吸 H₂-O₂ 时呼吸阻抗减少，肺换气改善。

实验证实，高压环境对心电图有影响。离体心脏实验显示，静水压可使心脏自发性跳动频率减少，活体中亦观察到高压对心脏传导的影响。但是惰性气体或具麻醉性气体能减缓或抵消高压的这一作用，H₂ 与一般惰性气体作用相类似，具有减轻由于高压导致的心率减慢功能。

Gennser 等从细胞水平研究了静水压、氢、氮和氦对大白鼠心房频率的作用，结果表明，15MPa 静水压使游离大白鼠心房自发性频率 (BF) 减少 30.6 ± 7.2%，若注入高弥散溶液（用氢平衡，氢分压：4.9、9 和 14MPa），大白鼠心房自发性频率随着氢含量增多而成比例地增加。作者还发现，在减轻心动徐缓方面，氮为氢的 1.7—2.0 倍，而氦为氢的 0.2 倍，并与氢同样有效。5MPa 氮和 9MPa 氢逆转心动徐缓可达相同程度。HYDRA V 实验表明，氢对逆转压力的作用是有好处的。Giry 认为，高压下呼吸氢氧混合气时，心血管功能出现的变化，可能系由于氢对副交感神经系统作用的结果。

对心电图的影响，在 250 米氢氧和 710 米氢氮氧（PH₂ 2MPa）环境下，人体 P—R、QR S、Q—T 间期、S—T 段均无改变。仅在加压期间出现心动过缓和心室去极化的改变，表现为 T 波幅度增加。这一改变与气体密度成正比，认为是由于呼吸高密度气体时，胸腔内负压导致左心室舒张期负荷增加有关。在 600 米氢氧动物实验中则观察到，随着耗氧量的增加，T 波幅度降低，而氮氧潜水时耗氧量增加时出现 T 波幅度升高。

5、涉及安全的其他问题

H₂-O₂ 潜水中除上述 H₂ 麻醉、易燃、易爆因素危及人员的安全外，还有以下问题亦涉及人体和环境的安全。

1)、温度。H₂ 的比热比 N₂ 和 He 的比热高，氢气的热导系数为 45.9cal/sec/cm²/°C × 10⁻⁵，

空气为 $6.4245.9\text{cal/sec/cm}^2/\text{℃} \times 10^{-5}$ ，氦气为 $36.945.9\text{cal/sec/cm}^2/\text{℃} \times 10^{-5}$ ，因此，每一 H_2 分子从机体带走的热比 N_2 和 He 就更多些。实验表明，在 310m 深度热散失很快，身体代谢产热不足以抵消热散失，即便从事重劳动作业时亦如此。所以需外部加热，否则中心温度会逐渐下降，最终有可能导致机体因低温死亡。 $\text{H}_2\text{-O}_2$ 环境中，舱室温度维持 34℃ 较为适宜。另外，呼吸气体亦必须适当加热方能确保舒适。但是不同的报告提出最适宜的温度不同。Smith 的实验结果表明，1.1-1.0.1MPa 下，呼吸氢氧时的呼吸散热，对流作用比氮氧分别高出 38% 和 32%，提出氢氧潜水时的舒适温度在 $31.1\text{-}31.6\text{℃}$ 。

2)、污染。高压环境下，一定程度的污染，即便是很小浓度，亦有可能导致严重的毒性问题。 H_2 混合气中主要污染是氯化物，特别是砷化三氢（砷）、磷化氢（磷）和氰化氢。这些污染物多半和生产 H_2 的某些程序相关，或者与使用催化剂净化 H_2 的方法有关。实际上催化产生 H_2 最容易发生氯化物污染，电解水生产出的 H_2 质量最好。但不论那种情况都必须纯化 H_2 ，并确保符合呼吸介质的标准：砷 $\leq 0.05\text{ppm}$ ，磷 $\leq 0.33\text{ppm}$ ，氰化氢 $\leq 10.0\text{ppm}$ 。

3)、 H_2 可引起钢材疲劳（脆化）。很早以前人们就已知 H_2 可致钢材脆化，但低浓度的 O_2 可对 H_2 的这一作用起到很大的抑制，尤其在有水蒸气存在的情况下更增强 O_2 的这种抑制作用。在饱和潜水时，因生环境中必然含一定量的湿度，因而设备钢材的脆化问题实际也就不复存在。Hydra-V 实验证实，用于 He-O_2 潜水的高压潜水设备系统，亦适用于 $\text{H}_2\text{-O}_2$ 潜水实验。

4)、废气处理。 $\text{H}_2\text{-O}_2$ 潜水过程及结束时，会有大量的含 H_2 气体排出。通常在动物实验和人潜水中，减压过程比较缓慢，含 H_2 的较轻的气体在空气中很快扩散消失，一般不会形成爆炸性混合。如果必须排放大量废气的话，那就用一种连续燃烧的导向火焰点燃废气，确保不形成易燃爆的“云块”。同时，为防止火焰逆返排放管路系统，可使用熔断丝或液体闪光返回抑制器，连续添加像 N_2 那样的惰性气体，防止由于管路中淤滞的 H_2 及经由闪光返回抑制器空气中扩散来的 O_2 可能产生的爆炸性混合，从而确保 $\text{H}_2\text{-O}_2$ 潜水时废气的安全处理。

五、结语

$\text{H}_2\text{-O}_2$ 水的研究历时一百多年，尤其是近几年来大量实验和研究，可以说不论从医学生理学或是从实施 $\text{H}_2\text{-O}_2$ 潜水的设备和技术能力方面，均都证明 H_2 是 He 的理想替代物，可作为大深度潜水呼吸气体。当然它也有其优点和不利因素。其优点是：(1) H_2 是一种可更新的资源，只要有水的地方都能从中获得，因此其价格比 He 便宜；(2) H_2 密度小，在大深度下呼吸阻力比 He 小，从而减少对机体换气的障碍，可保证潜水者的劳动能力；(3) H_2 具有麻醉性，单独使用不宜超过 250m 深度。但正因为它具有麻醉性，在更大深度下能改善 HPNS 的一些临床症状，有利于潜水员水下作业。不利因素是：(1) H_2 是易燃易爆气体，空气中 O_2 浓度 $\geq 4\%$ 即会爆炸， $\text{H}_2\text{-O}_2$ 混合气中 O_2 的浓度只允许 $\leq 4\%$ 水平。所以 $\text{H}_2\text{-O}_2$ 只能在一定深度范围使用，而且在 $\text{H}_2\text{-O}_2$ 潜水操作过程中需气体转换程序，因而增加了操作的复杂性和难度。另外由于不可避免的泄漏，可能带来潜在的燃、爆等危险性，必须增强防范措施；(3) H_2 的溶解度比 He 低，在相同的潜水条件下，需用的安全减压时间比 He 长。

把 H_2 作为未来潜水用呼吸气体的研究已是当今潜水医学和技术发展的新领域，一些发达国家已经从实验室研究阶段过渡到现场实用。我国氢氧潜水研究尚已有实质性的启动。我国具有辽阔的海疆和丰富的海洋资源，积极开展 $\text{H}_2\text{-O}_2$ 潜水研究不仅具有海军军事医学的特色，也是我国大深度潜水医学与技术发展和应用的方向，在军事和经济发展方面都具有重要意义。

上两条同类新闻：

- 《潜水呼吸气体检验方法》国标修订的体会
- 潜水及高压专业著作中容易混淆的一些概念

|  打印本页 |  关闭窗口

