

中国隧道高压与潜水作业现状及思考

管亚东

南京军区南京总医院高压氧科 210022

陈建福 杨明强

中铁十四局集团大盾构工程公司 211800

摘要: 本文回顾中国沉箱、隧道高压与潜水作业的发展历程,分析我国隧道高压与潜水作业存在的问题,提出改进隧道高压与潜水作业的安全性及作业效率的建议。

关键词: 隧道高压作业;盾构机;潜水;医学保障

Present situation and consideration of the tunnel hyperbaric & diving operation in China

Guan Ya-dong Chen Jian-FU[△], Yang Ming-Qiang[△](Hyperbaric Oxygen Department, Nanjing General Hospital, Nanjing Military Area Command, Nanjing 210002; [△]Second Study Department, Large Diameter Shield Co.Ltd of China Railway 14 Bureau Group)

Abstract: To review the development process of the caisson work and the tunnel hyperbaric & diving operation in china. To analyses the problems existed in the tunnel hyperbaric & diving operation in our country. To make some recommendations to improve the safety and efficiency of tunnel hyperbaric & diving operation.

Key Words: Tunneling Hyperbaric operation Tunnel Boring Machine; Diving Operation; Medical Security

随着中国经济发展水平的提高,城市化进程的不断加快,城市人口和车辆不断增加,现代便捷的交通运输基础设施建设得到各级政府的重视和扶持。沿海发达地区的二线城市均已规划或开建地铁或公路隧道建设项目。我国已进入地下交通隧道建设进入快速发展阶段,隧道建设的规模及技术难度在国际遥遥领先,国内已有大埋深、隧道水水土压力超过 1.0MPa 隧道建设规划。

盾构法建造城市地下道路建设具有高效安全的优点,但长距离复合地层使用盾构法建设地下隧道,会发生不同程度的刀具或刀盘磨损,进入盾构机工作舱内实施高压与潜水作业检修刀盘、刀具是不可避免的工作,与此相关的隧道高压与潜水作业将是影响施工进度和建设成本的重要因素,但现阶段我国隧道高压作业与潜水作业的技术能力与隧道建设发展的要求仍有不小差距。

1. 我国隧道高压与潜水作业医学保障的发展历程及现状

1.1 尝试阶段 我国高压作业技术最先应用于 1934-1937 年钱塘江大桥工程的桥墩建设,当时采用水下沉箱高压作业技术,沉箱规格为 18000×11000×6000,建桥工人的最大暴露压力超过 0.3MPa,因当时高压减压技术能力不足,劳动保护意识及医学保障缺失,高压暴露工作时间常常超过 10 余小时,减压病发病率高。1953-1966 年继续采用沉箱高压作业技术进行桥梁等基础工程建设,并于 1956 年起采用前苏联沉箱高压作业减压表

实施减压，但仍有较高的减压病及减压性骨坏死发病率。

1.2 探索阶段 我国大规模开展隧道高压与潜水作业起始 1967 年。上海黄浦江打浦路隧道建设、漕溪路地铁试验工程均使用《我国 0.6-4.0Kg/cm²隧道高压作业减压表》，期间高压作业的压力为 0.12-0.2MPa，海军医学研究所潜水医学专业人员参与了隧道高压作业的医学保障工作。由于专业人员实施规范的潜水医学保障工作，1981 年的上海漕溪路地铁试验工程实施高压作业 18286 人次，无减压病发病病例。由于当时的隧道盾构高压与潜水作业的环境压力限于 0.4MPa 以内，隧道施工单位通常组织盾构操作或盾构维保人员实施，但高压环境的动火焊接切割作业列为禁区。

1.3 依靠国外潜水公司阶段 2006-2007 年上海长江公路隧道、武汉长江公路隧道建设使用德国海瑞克生产的盾构机，其盾构刀具刀盘检修作业压力超过 0.4MPa 且涉及高压环境焊接切割作业，隧道施工单位将高压与潜水作业项目发包给德国海瑞克公司合作伙伴-德国北海潜水公司，该公司组织职业潜水员实施盾构刀具的高气压检修及潜水作业工作。2008-2015 年期间，南京建设过江公路隧道 4 条、过江地铁隧道 2 条，隧道高压作业环境压力 0.48-0.65MPa，德国北海潜水公司承担了 4 条公路隧道、部分承担 2 条地铁过江隧道的高气压与潜水作业施工。国内小于 0.3MPa 的隧道高压作业项目通常由盾构机维保人员组成的施工队伍完成。

1.4 潜水公司参与阶段 2014 年起上海打捞局介入南京地铁 3 号线过江隧道盾构刀盘刀具动火维修作业，环境压力为 0.48MPa，历时四个月，开启国内大型潜水公司介入隧道盾构相关的高气压与潜水作业的新局面。除饱和法实施隧道高压与潜水作业外，国外潜水公司承担我国境内隧道高压与潜水作业项目已无优势。目前，但仍有较多的隧道建设单位组织盾构维保人员从事盾构高压与潜水维修作业，出现了较多的安全隐患甚至事故。

2. 我国隧道高压与潜水作业存在的问题

2.1 行业标准要求不够明确 《盾构法开舱及压气作业技术规范》(CJJ217 2014) 于 2014 年 12 月 1 日实施。实施 3 年来，国内隧道高压作业与潜水作业行业情况已发生了较大的变化，该规范对从事隧道高压作业相关人员的能力评估要求不明确，未能提出的高压作业人员选拔、培训的具体要求，造成实际工作中隧道高压氧作业发包方对高压作业人员的能力评估把关不严。规范中提供的《气压作业工作时间和减压时间》减压方案未能考虑劳动强度、环境温度对作业人员安全减压的影响；减压方案中的最大工作压力为 0.36MPa，对大于 0.36MPa 的情形及需要在高压环境下实施潜水作业的情况未能述及。

2.2 隧道高压与潜水作业队伍杂乱 现阶段国内隧道高压与潜水作业工程项目较多。自 2014 年起，上海隧道股份承建隧道项目的高压与潜水作业工程主要发包给上海打捞局实施。其他隧道建设单位多数将高压与潜水作业的施工项目发包给由盾构维保人员组建的施工队伍实施，盾构维保人员从事隧道高压与潜水作业具有盾构结构熟悉、维修技术熟练、维修作业效率高的优势，但由于盾构维保人员的高压专业培训不足，安全减压的技术能力及潜水知识缺乏，人员伤害发病率较高。

2.3 潜水作业机构人员盾构相关土建机械知识缺乏 潜水公司人员介入盾构机检修相关的高气压与潜水作业时间较短,积累的施工经验较少,虽然在环境压力大于 0.36MPa 或高气压环境中的实施潜水作业时职业潜水员具有明显的优势,但由于对盾构的机械结构不熟悉、维修技术不够熟练,维修作业劳动效率低于盾构维保人员。潜水人员地下隧道施工相关的土建知识缺乏、隧道高气压与潜水作业的风险源认识积累的经验不足,有关意外情况的应急救援流程有待健全。

2.4 盾构机操作人员缺少隧道高气压与潜水作业的专业知识积累 盾构维修相关高气压与潜水作业的风险源控制较潜水作业复杂,隧道高气压作业与潜水作业环境安全条件的建立与维护需要盾构操作人员的技术支持,由于盾构操作人员专业限制,对高气压作业与潜水作业相关的风险源控制管理认识不足,出现操作管理不当可导致严重的人员意外伤害事故。

2.5 隧道高气压与潜水作业医学保障研究滞后 自上世纪 60 年代海军医学研究所与上海隧道股份开展高气压医学保障研究并在上海打浦路隧道高气压作业中取得成功运用,1966 年成功研制并于发布了《我国 0.6-4.0Kg/cm² 隧道高气压作业减压表》,但随后的隧道高气压作业医学保障处于停滞状态。当时的医学保障研究限于 0.4MPa 内,目前盾构机技术已得到巨大发展,隧道高气压与潜水作业的环境压力已达 1.0MPa,德国北海潜水公司已将饱和和高气压作业技术运用于隧道高气压与潜水作业领域,该公司于 2013 年 9 月至 2015 年 2 月期间在南京纬三路过江公路隧道建设中运用了饱和和高气压技术,最大工作压力 0.65MPa。

3. 对策建议

3.1 隧道高气压与潜水作业应参照或参考潜水作业进行管理 隧道高气压作业和潜水作业虽各有特点,但作业人员均暴露在高气压环境中,安全减压是必须首先面对和解决的问题。鉴于目前与潜水相关管理规章制度已经较为成熟,本着就高不就低的原则,《盾构法开舱及压气作业技术规范》(CJJ217 2014)中未能明确规定的內容,应参考或参照国家有关潜水行业的管理法规、标准或潜水打捞行业的规定,如《中华人民共和国潜水条例》、《中华人民共和国商业潜水作业安全规程》、《潜水呼吸气体及检测方法》GB18435-2007、中国潜水打捞行业协会《潜水作业职业健康安全管理体系》(DOHSAS—2009)等。涉及隧道内潜水作业的施工,则应完全按潜水作业进行规范管理。

3.2 作业人员选拔、培训及能力评价 健康选拔和高气压专业技能培训是保证隧道高气压作业人员健康安全的重要前提条件。高气压作业人员的选拔可参照《职业潜水员体检要求》进行体格选拔;高气压作业人员有关高气压生理学、安全减压理论、压缩空气疾病预防等知识培训可参照职业潜水员培训的相关教学大纲进行数周集中培训。高气压作业人员的能力评价可由中国潜水打捞协会认证的潜水员培训机构实施能力评估,实施能力评估管理。鉴于高气压作业人员在能见度良好压缩空气环境中工作,其能力评估要求应低于职业潜水员能力评估要求。

3.3 优化隧道高气压与潜水作业小组的人员组成 隧道高气压与潜水作业小组是实施作业 d 最小组成单元,通常由 3 人组成,分别担任操作者、操作助手、安全员岗位。盾构维

保人员熟悉盾构结构、维修技术熟练工作效率高，但高气压环境工作经验不足，遵守安全减压规定自觉性不高；职业潜水员在能见度良好的环境中高气压适应性良好，当盾构操作系统、结构、维修相关的技术掌握不足，两者在高气压与潜水作业中形成技术优势、劣势互补。作业小组由 2 名盾构维保人员和 1 名职业潜水员组成为佳，操作者由 2 名盾构维保人员轮流担任，职业潜水员适宜轮流担任操作助手或安全员岗位。涉及隧道潜水作业的情况，作业小组须全部由职业潜水员组成，按特殊环境潜水作业组织。

3.4 加强隧道高气压与潜水作业医学保障研究 隧道高气压与潜水作业的风险源具有特殊性，主要为：①维保人员缺少高气压专业知识；②高温、高湿度环境中高劳动强度作业；③减压病风险；④24 小时连续轮班作业，持续数月，身心压力大；⑤焊接、切割作业相关的风险，如有害气体中毒、触电等；⑥掌子面围岩塌方、冒顶风险；⑦起火、爆炸风险；⑧膨润土湿滑，易致高空坠落伤；⑨意外伤害风险及各种工具伤；⑩盾构机作业平台的存在特殊困难。潜水医学研究机构应针对这些风险源进行医学保障研究。鉴于现阶段隧道高气压作业的压力已达 0.65MPa，应优先研究《我国 0.4-0.6MPa 隧道高气压作业减压表》及《我国 0.4-0.6MPa 隧道高气压作业吸氧减压表》；为满足大于 0.6MPa 以上的隧道高气压与潜水作业，还应开展隧道高气压饱和作业的技术研究。隧道高气压与潜水作业意外伤害发生率较高，应制定隧道高气压作业意外情况应急流程及医疗后送预案，提高意外伤害的现场及医疗后送能力。