

婴儿游泳馆水循环处理系统研究进展

张饮江^{1,2}, 段婷¹, 金晶¹, 张曼曼¹, 翟斯凡¹

1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306

2. 上海海洋大学水域环境生态上海高校工程研究中心, 上海 201306

摘要 婴儿游泳馆扩展迅速,其游泳池水环境质量与婴儿游泳的健康安全越来越受到重视。针对婴儿泳池的发展现状,评述了现有水循环处理系统中砂滤、活性炭过滤、硅藻土过滤、膜过滤等过滤技术,以及常见的消毒与联用消毒等关键技术;结合婴儿特殊生理所需的高质量水质,提出了针对婴儿游泳馆水体特征的设计处理单元及循环方式,分析了各单元采用的关键技术,以保证安全、无毒、清洁的水质要求,并建立经济性,易操作的水处理控制与管理系统。

关键词 婴儿;游泳池;水循环处理系统

中图分类号 TU991.2

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.30.011

Research Progress in Water Cycle Treatment System Technology of Baby Swimming Pools

ZHANG Yinjiang^{1,2}, DUAN Ting¹, JIN Jing¹, ZHANG Manman¹, ZHAI Sifan¹

1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

2. Research and Engineering Center on Aquatic Environment Ecosystem, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract Baby swimming pools are expanding rapidly. More and more citizens are concerned about the water environment quality of swimming pools as well as the health and security of infants swimming. According to the current situation of baby swimming pools, the key technologies of filtration and disinfection of existing water cycle treatment system were reviewed, such as sand filters, activated carbon filters, diatomite filters, membrane filtrations, and the usual disinfection equipments as well as several combined disinfection technologies. Combined with the needs of high water quality by infants' skin, the water treatment units and cycling ways of baby swimming pools should be designed according to the water features, while analyzing the proper key technologies used in each unit to ensure the safe, nontoxic and cleaning water quality, thereby, to build up an economical and easy to operate water cycle treatment system.

Keywords infants; swimming pools; water cycle treatment system

0 引言

随着社会发展与人们生活质量的提高,对下一代的健康保健和潜能早期开发已引起广泛关注。研究婴儿体育既有助于推动“全民健身计划”的实施,又能开发和培养婴儿智能,对提高婴儿的健康水平有着深远的现实意义和战略意义^[1]。目前,中国每年有几十万婴儿参加游泳活动,婴儿游泳馆大量涌现^[2],许多医院积极创办“婴儿游泳培训基地”,同时开展新生儿游泳技术开发和临床应用研究,并把婴儿游泳及水中

抚触作为促进儿童早期智力开发的必需手段和方法之一^[34],给新生儿带来早期发展的空间和健康成长的路径。据统计,上海市区有各类婴儿游泳馆 500 多家,尚不能满足需要^[5]。全国各地正在迅速拓展各类婴儿游泳馆,但目前婴儿游泳馆水循环系统尚缺乏科学、经济、完整且操作性强的设备,对中国婴儿游泳馆的健康发展来说,提供泳池水质清洁卫生保障技术非常必要。本文综述一般游泳馆水循环处理系统的各项关键技术,并结合婴儿特殊生理需求,以便为设计出水水质达

收稿日期: 2013-07-09;修回日期:2013-08-22

基金项目:上海市重点学科建设项目(Y1101,S307017)

作者简介:张饮江,教授,研究方向为水环境科学与工程、水处理技术、水域环境生态及景观工程学,电子信箱:yjzhang@shou.edu.cn

到无毒、安全、清洁的水循环处理系统提供理论基础。

1 婴儿游泳发展现状

婴儿游泳指 12 个月内婴儿,在安全保护措施下,由专门人员操作和护理而进行的一项特定的、阶段性的水中健康保健活动^[1],婴儿游泳对胎粪早排、减轻生理性黄疸、生理性体重下降的恢复、增大吃奶量、减少哭闹、提高智力、促进运动系统发育有着积极的作用^[2]。20 世纪 60 年代,婴儿游泳在欧美、苏联、日本等国家逐步兴起。经追踪观察发现,早期与水接触的婴儿发育良好,体格健壮,头脑聪明^[3]。婴儿游泳运动发展至今,西方国家在培训和管理上已形成一定的模式,不少国家的政府机构和学术团体也积极倡导婴儿游泳,并以多种方式鼓励更多婴儿参加游泳训练。美国纽约州罗伯特夫妇曾创办一个婴儿游泳基地,每年约有 3000 多名出生仅 3 个月的婴儿参加游泳训练。日本有婴儿游泳学校几十所,大量婴儿参加游泳训练,并且定期举行婴儿游泳比赛。

中国现今有数万名出生后几小时或几天的婴儿参加婴儿游泳训练。许多大型公立医院及企业等不同资质的单位开设了婴儿游泳馆,市场前景非常可观。但是,国内婴儿游泳缸基本采用单缸体每缸 1 人次换 1 次水,单缸体每缸 2~5 人次换 1 次水,小型泳池内每 10~20 人次一换水的措施,缺乏相关缸体水循环安全处理系统的产品,这在加剧经营成本的同时存在安全卫生隐患。虽然目前成人泳池的水循环处理系统较完善,但不能适应婴儿生理特征,尤其是消毒程度、消毒残留剂与消毒副产物难以满足婴儿泳池水质的需要。此外,中国对开办婴儿游泳馆并没有相关准入要求,工商、卫生等行政部门尚未对其实施许可或监管,相关卫生标准与水循环安全处理措施尚未建立,企业开设婴儿游泳馆,营业执照无相应经营范围,无需申请办理《公共场所卫生许可证》,卫生行政部门也不定期进行空气、游泳池水等监督、检测^[4]。目前,婴儿泳池的水质问题引发的婴儿腹泻、发热等情况偶有发生^[5],随着产业扩大,建立相关卫生标准,规范并监督市场成为了该项目的热点问题,研发可靠的相关水处理系统技术已成为市场发展的趋势。

2 婴儿游泳池池水污染源及特点

婴儿是特殊人群,各方面发育不完善,对游泳环境水质和空气的要求较高。池水污染主要有环境污染、人为污染和设计操作污染^[7]。在婴儿游泳馆内,环境污染主要是指在游泳环境中由于空气环境质量较差而通过水-气交换引起的污染,以处于密闭、暗室内的细菌滋生及个体间病毒传染为主,在婴儿游泳的同时有家长陪伴,馆内客流量较大,空气中会长期存在大量致病菌,对池水水质造成一定影响。人为污染主要是指毛发、护肤品、唾液、皮肤碎屑、尿液等人为因素造成的污染^[8],据统计,游泳人数的增加与泳池内有机物及矿物质污染物的升高成正比^[9,10],婴儿期无法控制排尿,池水内无可避免的会有隐形尿液的存在,在水循环处理系统的设计中

也应考虑尿素对水质的影响。设计及操作污染是指水循环处理系统设计中存在的污染,如混凝剂、消毒剂等。鉴于婴儿群体生理的特殊性,系统设计中一般不考虑采用混凝剂与强烈刺激性消毒剂。

3 婴儿泳池水循环处理系统关键技术

3.1 泳池水循环方式

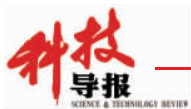
目前婴儿游泳馆内泳池主要分为小型泳池与单缸体。小型泳池每 10~20 人次换 1 次水,对于刚出生的婴儿来说,其安全性和清洁度均难以控制,故市场占有率较小。目前较多采用的是单缸体运转模式,每缸 1 人次换 1 次水或 2~5 人次换 1 次水,缸体内套塑料薄膜后加水,基本为自来水加热后直接注入缸体,极少采用循环设备处理,这种方式能耗较大,长期经营成本高、浪费大。单缸体运转模式是市场趋势,当形成一体式水循环安全处理系统后,可以降低游泳池的经营成本,构成多个单缸体循环往复式运转模式,即 A 缸体水经过处理系统后注入 B 缸体,C 缸体水处理后再注入 A 缸体,游泳室内配备缸体中只需留出一个空缸来维持正常循环即可。这一模式既满足了 1 人 1 缸水的安全、卫生标准,又能够快速、经济的完成水体净化,使婴儿游泳得到保障的同时降低运营成本。

3.2 泳池水过滤方法

针对婴儿游泳池的污染特性,构建水循环处理系统,需配置合适的过滤设备及消毒装置。目前市场常用的过滤设备主要为以下 4 种。

3.2.1 石英砂过滤器

石英砂过滤是传统的过滤设备,已广泛用于水质的净化处理。周阳等^[11]研究了砂滤罐处理工厂化养鱼循环水,发现有显著 ($P < 0.01$) 去除悬浮物的效果,去除率达 99.83%,达到去除悬浮物的要求。王海燕等^[12]分别采用混凝/沉淀/超滤工艺和混凝/沉淀/砂滤/超滤工艺处理滦河原水,发现将砂滤作为预处理环节的出水水质更好、更稳定、更经济,具有很强的优越性。砂滤设备在人工湿地、海水深度预处理、各种生活及工业废水处理中都已相当成熟,具有高效的净化作用,可以提高水体清洁度^[13-16]。近年来,研究热点集中在改性石英砂滤料上,在普通石英砂滤料表面进行化学反应,涂上改性剂(金属氧化物或氢氧化物),可提高滤料对某些特殊物质的吸附能力同时增强滤料的截污能力,实验证明,改性滤料对水中各类有机物、藻类、细菌、重金属离子都有很强的去除效果。Lukasik 等^[17]用氢氧化铁、氢氧化铝覆盖砂粒,对滤料进行改性,将 1kg 改性滤料放入反应柱内(体积为 0.7L),对水中的大肠杆菌、霍乱弧菌、脊髓灰质炎病毒 1、大肠噬菌体 MS-2 的去除率都在 99% 以上。Chaudhuri 等^[18]实验表明,在 pH 值为 6.3~9 的范围内,氢氧化铝覆盖的砂粒吸附脊髓灰质炎病毒 1 的效果最好。Edwards 等^[19]用铁氧化物覆盖的砂粒柱进行了吸附 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cr^{3+} 的实验,发现 pH 值为 8.5 时,改性滤料对进水中溶解态的重金属离子 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cr^{3+} 几乎可以全



部除去,未改性的一般砂粒对这些金属离子的去除率极低。

婴儿游泳对水质感官要求较高,经砂滤后的水质能保证其感官要求,对后续的杀菌消毒环节能够起到辅助预处理作用。特别是改性石英砂滤料,具有优秀的吸附除菌能力,值得进一步研究。砂滤作为一种具有成熟市场的过滤器,在婴儿游泳水处理系统中可以保障安全出水,但过滤器需要定期反冲洗,后期维护较繁琐。

3.2.2 活性炭过滤器

负载生物膜的生物活性炭能够有效去除水中的色度、浊度、小分子有机污染物、重金属、农药、洗涤剂、三卤甲烷、漂白剂、余氯、萘、酚及其他有害化学物质,使出水更安全纯净。活性炭过滤器需与其他消毒设备连用,孟昭辉^[20]研究了高标准游泳池,采用臭氧-生物活性炭联用技术,能高效杀灭水中细菌、病毒,去除尿素改善水质,增加溶解氧,减少有机污染,改善水体的自然条件并起到去色、除味等作用,还可以使水体呈蔚蓝色。Kim等^[21]研究发现,经臭氧氧化处理后,水中可生化降解性有机物(BDOC)的量增加到2.89mg/L,提高了31%;再经过生物活性炭处理后,可生化降解性有机物可得到有效去除。Sirotkin等^[22]研究发现,微生物活动对活性炭起到生物再生作用,活性炭的存在也减轻了水中有害物质对微生物的影响。微生物不仅增强了净水效果,还使活性炭的再生能力加强,延长了活性炭的使用寿命。活性炭在水处理中不仅表现出良好的吸附作用,还可以起到催化剂和催化剂载体的作用。作为催化剂活性炭主要与各种氧化剂联用,如 ClO_2 、 NaClO 、 H_2O_2 、 O_3 、Fenton试剂等。利用活性炭的催化分解能力,氧化性物质在其表面分解产生具有很强氧化能力的原子态氧或 $\cdot\text{OH}$ 自由基,这些强氧化剂进一步发生氧化分解反应强化分解水中的有机污染物,最终氧化成无害的 H_2O 和 CO_2 ^[21]。改性的活性炭还表现出,具有某种特殊吸附或催化能力,根据处理水源水质的不同对活性炭进行相应的改性,引入或除去某些表面官能团,使其对特殊物质进行去除。研究表明:用 O_3 与 NaOH 对活性炭改性后,活性炭表面含氧官能团,尤其是酚类和羧基类基团明显增多^[21];经过硝酸氧化则可显著增加其表面酸性基团的含量。这些官能团的引入能够针对不同水体特性去除相应有机物,极具灵活性与高效性。

婴儿皮肤娇嫩,特别在冬季,会涂抹一些宝宝油等护肤品,这些大分子颗粒物在游泳时会溶入水体,虽然毒害作用微小,但经过往复循环积累后,会导致水体透明度下降,系统内易长菌,具有一定风险,因此,在水处理单元中加入活性炭单元可有效吸附这些微小的有机物,在达到感官要求的同时保持水体洁净。婴儿期无法控制排尿,活性炭过滤技术对隐形尿液具有很强的吸附去除能力。但活性炭在系统内可能会成为一个滋生细菌的温床,多次冲刷后可能会使出水菌落总数增加,使用中必须要配备安全高效的杀菌模块。

3.2.3 硅藻土过滤器

硅藻土过滤装置,其过滤介质为硅藻土。硅藻土是以蛋白石为主要矿物成分的硅质生物沉积岩,主要是单细胞水生

植物硅藻的遗骸沉积物质,通过分离去除杂质、高温煅烧等加工制成的具有多孔、比表面积大且化学稳定性好、用于过滤介质的粉末状物质,可作为过滤酒类、饮料、食用油脂、糖类等液体食品的助滤剂^[23]。与传统的砂滤设备相比,硅藻土过滤器具有过滤精度高、处理过程中的投药量少、设备所需的机房面积更小、用水量少、运营费用更低等特点^[26]。硅藻土助滤剂可以截留 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 的杂质颗粒,可以去除悬浮物、胶体物质、细菌、病毒等,过滤精度的提高,使得无需投加混凝剂,也可以减少消毒剂的使用量^[27]。硅藻土以其较大的比表面积和特有的构造,在相同循环水量的前提下,体积比砂缸小很多,所需机房面积小,减少了基建投资。对于婴儿SPA馆温水游泳池的恒温要求来说,可以节约排污所带走的热量损失,减少企业运营成本,实现低碳运营。改性的硅藻土在吸附去污能力上同样优于普通的硅藻土。Li等^[28]用聚苯胺来对硅藻土进行改性,得到含有8%(质量分数)聚苯胺的亮黄色粉末。改性后的硅藻土具有一定的传导率,有导电能力的硅藻土可以增大污水中杂质的去除率。Gao等^[29]用聚乙烯亚胺对硅藻土进行改性,实验表明,硅藻土与聚乙烯亚胺之间有很强的静电力,两者很容易结合。改性后的硅藻土在很大的pH值范围内带正电。研究中发现,聚乙烯亚胺改性的硅藻土对苯酚有很好的去除能力。Tsai等^[30]进一步研究了用 NaOH 及 HF 改性硅藻土处理印染废水的效果,发现用碱改性的硅藻土的处理效果明显优于原土,而用酸改性的硅藻土对印染废水的处理效果稍稍优于原土。Nakamura等^[31]研究了多环芳烃可与水中的氯结合,随后更易吸附在硅藻土表面去除。研究表明与氯结合的多环芳烃在硅藻土上的吸附速率远远快于未结合的多环芳烃在硅藻土上的吸附速率。

中国已将硅藻土过滤逐渐引入到游泳池水处理系统中,浙江省海宁县体育中心室内公共游泳池兼运动员训练和竞赛池,已安装实施了硅藻土过滤器^[21],经过2年的实践证明硅藻土除菌、净水效果更好,处理后水质更适宜于幼儿池、宾馆游泳池及专供运动员训练与比赛用游泳池。北京首都体育学院游泳馆和上海黄浦体育中心游泳馆也采用了硅藻土过滤系统^[21]。硅藻土过滤系统以其安全、清洁、环保的出水特点,非常适合婴儿对游泳水质的要求,具有较高研究与实用价值。

3.2.4 膜过滤器

膜过滤器的作用原理是通过扩散和筛分控制,去除病菌和有机物,经扩散作用可去除离子型无机物。其水处理接触面积及过滤精度大,可以过滤水中部分微生物及细菌。较大的过滤面积,提高了过滤速度,使泵的水阻减小,降低水泵的电耗,延长水泵使用寿命,同时也大大提高了过滤精度(高达 $5\sim 15\mu\text{m}$)。王生光等^[33]研究表明,在游泳池水处理系统中,膜过滤系统与传统的过滤系统相比,具有节省费用、节约用地、安装方便等优点。张捍民等^[34]研究表明超滤膜能够有效地去除悬浮固体及胶体,试验中出水浊度始终保持在 0.25NTU 以下,在出水中未检测到细菌。薛罡等^[35]的研究也证明了这一点,并且发现超滤膜除铁、锰的效率,二者的去除率均达到

85%以上。在处理有机物方面,Gaid 等^[6]研究发现该工艺对有机物有很好的去除效果,对溶解性有机碳的平均去除率为 60%,对农药的去除率达 90%以上,出水中残留的微污染物绝大部分低于分析检测限度。膜工艺处理饮用水更有经济优势,吴光等^[7]研究发现超滤在国内的制水成本是 0.23 元/m³,耗电 0.18kW·h/m³。深圳水务集团的研究表明,在常规工艺的基础上增加臭氧-活性炭深度处理工艺会使制水成本增加至 0.30 元/m³。超滤工艺的制水成本比常规工艺+臭氧+活性炭深度处理工艺的制水成本低,特别应用在循环处理中,效率更高。李灵芝等^[8]研究纳滤循环制水试验工艺的效果发现,循环试验工艺与一段一段纳滤工艺相比,在同样较低的压力下,前者能够降低能耗,具有较高出水率。

婴儿作为一个特殊群体,对水质要求较高,一般的泳池标准可能无法满足其要求,婴儿游泳池的水质标准应达到生活饮用水标准,甚至更高。膜过滤器属于高端水处理设备,作为新的分离净化和浓缩方法,能耗低、分离效果高、无二次污染、工艺简单^[9],在泳池水处理、饮用水制备、海水淡化、苦碱水脱盐等领域都有广泛的应用。Barbot 等^[10]研究表明,尽管由于泳池水的频繁使用以及水中总氯浓度过高,导致水质较差,膜过滤仍具有较好的适应性,该过滤装置能够使水体净

化,其吸附阶段可以将水中化合氯的浓度限制在 0.35×10⁻⁶ 以下,低于法国标准(0.6×10⁻⁶),减少水体中消毒副产物的形成。反渗透(RO)/超滤(UF)工艺在过滤细菌的同时还可以去除水中盐分或溶解性有机碳(DOC)^[11],有资料显示,游泳水体的硬度过大会增加婴儿期湿疹的患病率^[12,13],同时也会增加罹患过敏性皮炎的风险^[14]。膜过滤这一优良特性则能够有效降低婴儿患病的可能。此外,就膜过滤而言,要获得超滤工艺的高通量需提高水体温度^[15],婴儿对水体则有较高的温度要求,将膜过滤引入婴儿游泳水循环系统中能够在一定程度上保证优秀的膜性能。由此,膜过滤器作为婴儿游泳池水质处理系统中的过滤环节较可靠,在将来的婴儿游泳水处理设备中有广泛的应用前景,但是在长期使用下如何避免膜污染仍是值得攻克的问题。

3.3 泳池水消毒方式

3.3.1 传统消毒方式

目前常见传统的水体消毒方式,主要有化学消毒法和物理消毒方法。化学消毒法需投加药剂,一般采用液氯、次氯酸钠、次氯酸钙、二氧化氯和臭氧。物理消毒法主要为紫外线及其他射线照射法,对池水不产生二次污染,但持续消毒功能较弱,一般与化学药剂配合使用(表 1)。

表 1 几种常见水体消毒方式

Table1 Several general methods of water disinfection

消毒方式	效果	可持续性	二次污染	主要形式	应用范围
氯消毒剂	杀菌能力较强	是	产生三卤甲烷等有害副产物	液氯、次氯酸钠、次氯酸钙	游泳池,污水处理厂
二氧化氯	杀菌效果强且广谱,可脱色、除臭、除味等	是	产生 ClO ₂ 等无机有害副产物	二氧化氯	游泳池,污水处理厂
臭氧消毒	杀菌效果强且快速、彻底	否	无	臭氧	游泳池,污水处理厂,纯净水制备
紫外线消毒	杀菌能力强,对隐孢子虫和贾第鞭毛虫具有特殊杀灭效果	否	无	波长在 253.7nm 下杀菌效果最强	幼儿亲水池,污水处理厂,纯净水制备

婴儿游泳水体水温需达到 37℃左右,而这也是细菌大量繁殖的温度。对于婴儿这类特殊人群,池水在进行有效杀菌的同时还要保证无残留、无二次污染等,消毒设备与技术的选用至关重要。传统游泳池中大部分使用氯消毒,但是氯在水中半衰期很长,可持续消毒,许多成人游泳后都会因泳池水中存在余氯而发生过敏、皮肤干燥等不适症状,对于婴儿泳池而言,水中余氯含量必须严格控制,Schoefer 等^[16]调查表明,暴露在氯化副产物下游泳对孩子的健康会产生不良影响,参加游泳的婴儿在一岁以内感染传染病的几率较没有参加游泳的婴儿高。Barbot 等^[10]证实了这一观点,由于游泳池水处理过程中包含氯消毒过程,多余的氯与人为带入的大量有机物发生反应,导致氯胺、氯仿和氯乙酸的生成,这些消毒副产物会引起极大的隐患,威胁游泳者的健康,特别是对婴儿和小孩。Voisin 等^[17]研究表明,在氯化消毒的泳池中游泳的儿

童或婴儿,气管炎以及对室内尘螨过敏症的初次发作的风险更高,因此,并不建议采用含氯消毒剂进行婴儿泳池的循环消毒。此外,使用氯消毒,其效果会很大程度上受水体浊度和颗粒物的影响,近年来国外有关氯消毒拖尾问题的研究文献,多数集中在数学模型建立上^[17,18],解决氯化消毒“拖尾现象”的方法是采用大剂量消毒剂来克服或掩盖颗粒保护效应,这更不适宜应用于婴儿泳池的消毒处理过程。

在传统消毒方式中,紫外消毒将会是一种合适的消毒设备。该设备杀菌能力强且无残留,应用于各种公共游泳池中的中压紫外线,还可用来控制水体化合氯的浓度,显著去除三氯硝基甲烷、水合氯醛、卤乙睛、三氯甲烷等消毒副产物^[19]。但是,仅利用紫外消毒也存在一些不足。首先,其对水的浊度要求较高,消毒前需要进行预处理;其次,预处理设备及系统管道内壁是滋生细菌的有利场所,紫外仅能对照射水体进行

消毒,对于密闭在系统内的预处理设备及管道内壁的细菌无法杀灭,易导致出水质量不稳定、二次污染、引发婴儿疾病等。

3.3.2 联用消毒方式

近年来,为了提高现有消毒方法的杀菌效果、弥补其不良性能,有人开始尝试将2种或2种以上化合物组成复合消毒剂,或将物理、化学方法联用,以期加速和提高杀菌效果,称为“协同消毒”^[51]。

协同作用的机理大致可分为2类:一是相互作用,生成新的杀菌物质,如自由基。Waite^[51]研究表明,紫外线与过氧化氢有协同作用,是由于紫外线照射可激发过氧化氢分解产生具有更强氧化性的自由基。Jacob^[52]发现,用过氧化氢等离子体灭菌,在射电频率作用下,过氧化氢气体极易分解并产生各种活性自由基。还有试验证明,乙醇经紫外线照射后光解也可产生较多的羟基自由基,该自由基可能对杀芽胞的协同作用具有一定意义^[53]。博松哲等^[54]研究证实紫外线-乙醇联合使用对阪崎克洛诺菌产生协同消毒效果。此外,裘迪红^[55]等用二氧化氯-紫外线联合对虾仁中的副溶血性弧菌进行灭活,证明2种方法联合使用具有较好的协同杀菌作用。协同作用的另一类作用机理是先通过物理因子作用于微生物的外膜,使其通透性增强,利于化学物质渗入细胞内。例如,微波与氯已定协同杀菌机理^[56]是微波首先破坏芽胞外壳的通透性,使消毒剂分子易于进入胞内,从而加速细胞内容物的崩解、收缩、以至死亡。而超声波快速而连续的压缩与松弛作用,则能够加速化学消毒剂对细菌的渗透与在菌体内的扩散。通过不同因子协同杀菌,可提高杀菌效果,减小副作用。因此,利用不同因子的协同作用,改进消毒方法,不失为一条捷径。

目前,协同消毒以其独特的优势已广泛应用于各种水体处理。 O_3/H_2O_2 是水处理中一种重要的高级氧化方法,它不产生二次污染,可直接将污染物氧化为二氧化碳和水。马军等^[57]研究了 O_3/H_2O_2 联用处理系统对水中二苯甲酮的去除,结果表明,臭氧投加量为 4.65mg/L , H_2O_2 投加量为 0.67mg/L ,pH值7~11时,二苯甲酮平均去除率为80%左右。蔡哲锋等^[58]研究了 O_3/H_2O_2 联合作用去除难降解制药废水的COD,改善废水可生化性的效果,结果发现,在pH值为11左右,臭氧用量为 1.20g/L , H_2O_2 投加量为 20mmol/L 时,废水中COD去除率达到62%, BOD_5/COD 提高到0.36。同时,光催化-臭氧联用技术也被广泛使用,该技术既可增强光催化技术的氧化能力,又具有降低臭氧用量、节约处理成本和扩大有机污染物范围等优点,其氧化反应为自由基型,该反应产生的羟基自由基也具有强氧化性,杀菌消毒作用彻底且迅速,主要应用于生活污水、工业废水的处理,其中对铁氰酸盐、有机化合物、氨基酸、醇类、农药、含氮、硫或磷的有机化合物及氯代有机物等污染物作用明显,这也是目前国内外的研究热点。何宗健等^[59]研究发现 O_3/UV 法去除氰化物的效果超过了单独使用UV或 O_3 ,当处理时间为15min时,氰化物去除率达到98%。优于需要25min才能够达到同样的处理效果的单独臭氧氧化法。An-

dreozzi等^[60]在对比 O_3/UV 和 O_3/H_2O_2 处理矿物油污染废水时发现,30min内, O_3/UV 处理该废水的COD去除率达到80%~90%,效果优于 O_3/H_2O_2 。胡军等^[61]研究了光催化-臭氧联用技术对苯胺、溴铵酸、硝基苯废水的处理效果。结果表明,光催化-臭氧联用具有一定的协同效应,作用过程中亦可生成羟基自由基,COD处理效果较单独使用光催化和臭氧相比大大提高,去除率能到达90%以上,且适用pH值范围广。此外,还有臭氧-超声波,臭氧-紫外-超声等联用方式,协同处理效果均优于各单元单独处理。同时,金属催化臭氧氧化也是国内外最新的研究热点之一,通过一定方式制备的金属催化剂同样能够促使水中臭氧分解,也可产生具有极强氧化性的自由基,从而对水中高稳定性有机物的分解能力显著增强。近年来相继发现许多金属离子可用于催化臭氧氧化过程,其中 MnO_2 表现出最好的催化臭氧氧化活性,可有效催化降解的有机物种类最多。

在婴儿游泳池水循环处理系统构建中,多种消毒方式联用是较好的手段,既能够提高出水速度,又克服了一般紫外线不能直接照射杀灭管道内壁细菌的弊端。但是针对婴儿泳池水体,各种联用手段还需要深入研究,切实选择并严格控制其使用参数,还应在系统内设置ORP仪来实时监控出水ORP,避免因水体内ORP过高对婴儿皮肤造成损害。

3.4 池水加热方式

婴儿对游泳水体水温要求非常严格,稍冷或稍热都会有不良反应,目前的加热设备主要是电热水器、热网、煤气天然气和太阳能板。太阳能加热较环保,但不稳定,必须配以备用电热水器,在温度达不到要求时辅助加热。游泳池池水因水面蒸发,水面传导,池底和池壁传导而不断损失热量,且整个游泳池的设备和管道也在不断向周围环境排放热量。在构建婴儿游泳池时需考虑这些热损失问题,控制好游泳时间,同时配备电子液晶温度计实时监控,以防水温过冷导致婴儿着凉生病的情况发生。

4 婴儿游泳池水循环处理系统研究展望

婴儿的各种生理功能对环境的变化适应比较弱,当环境污染物的侵入超过婴儿的各种生理调节范围,就会损害婴儿健康。婴儿游泳作为一个新兴产业,其健康与安全对下一代的发展是至关重要的,面对缺乏相关处理集成技术的现状,研发婴儿游泳池水循环安全处理系统刻不容缓。对现有水循环处理系统中几种过滤技术,以及常见的消毒与联用消毒等关键技术进行探讨后,结合婴儿特殊生理所需的高质量水质要求,对此提出以下几点研究展望。

4.1 针对水体特征设计处理单元

加强市场调研,开展我国婴儿游泳水体质量评估,通过分析污染因子,选择合适的水体处理模块,并进行优化配比参数,使各单元即能够独立的又可以系统的解决水质问题。婴儿游泳池处理系统可以借鉴成人泳池的水循环处理系统,但相关参数仍需调整后使用,设备出水要求需考虑婴儿特殊

的生理特征,提高消毒程度、降低水中残存的化学药剂,保证游泳水环境的健康安全,以满足婴儿对泳池高质量水质的需要,同时也要兼顾经济性和易操作性,以便于市场化普及。

4.2 处理单元的关键技术分析

婴儿作为特殊人群,需要采用的水处理设备应具有高效、安全的特性。因此,建议考虑目前已具有成熟市场的水处理技术。

过滤模块中,砂滤、活性炭过滤、硅藻土过滤、膜过滤、等技术均已具有一定市场,过滤性能均良好。经砂滤后的水质能保证其感官要求,对后续的杀菌消毒环节能够起到辅助预处理作用,同时,改性石英砂滤料以其优秀的吸附除菌能力也值得进一步研究,但砂滤后期维护较繁琐,需要定期反冲洗;活性炭过滤可有效吸附水体中人为带入的有机物,在达到感官要求的同时保持水体洁净,同时,婴儿期无法控制排尿,活性炭过滤技术对隐形尿液具有很强的吸附去除能力,但活性炭可能会在系统内作为一个滋生细菌的温床,多次冲刷后可能会使出水菌落总数增加,所以必须要配备安全高效的杀菌模块组合使用;硅藻土过滤技术已逐渐被引入游泳池水处理系统中,并取得良好的净水效果,其投药量少、设备所需的机房面积小、热量损失较少等特点,既能够减少基建投资还可以降低运营成本,经济效益可观,采用改性的硅藻土在吸附截污能力上优于普通的硅藻土,但针对婴儿游泳的特殊水体,仍需要进一步的研究整合;膜过滤器属于高端水处理设备,在过滤清洁水体的同时,吸附过程既可以减少水体中消毒副产物,也可以去除水中盐分或 DOC,有效降低婴儿罹患湿疹、过敏性皮炎等疾病的风险,而且婴儿需要相对较高的水温,这一温度同样可以提高滤膜通量,从而保证优秀的膜性能,将其作为婴儿游泳池水质处理系统中的过滤环节较为可靠,但长期使用下的膜污染问题仍待解决等。综上所述,在婴儿水循环安全处理系统中,这些过滤技术还需要合理配置使用,扬长避短。

对于消毒模块,应避免采用氯消毒,氯在水中半衰期很长,同时会与水中人为带入的有机物发生化学反应,形成对健康危害极大的消毒副产物。婴儿皮肤娇嫩,会诱发湿疹、过敏、气管炎等疾病;紫外消毒杀菌能力强,无残留,还可用来控制水体化合氯以及消毒副产物的浓度,但处理时对水体浊度要求较高,需要预处理过程支持,且无法杀灭系统管道内细菌,可能会引发二次污染。联用消毒方式很好的解决了紫外处理的这一弊端,其高效、安全的消毒方式符合婴儿水循环安全处理技术的要求,但是针对婴儿的游泳池水体,各种联用手段还需要经过深入研究,切实选择并严格控制其使用参数,同时,还应在系统内设置 ORP 仪来实时监控出水 ORP,以免导致水体 ORP 过高对婴儿皮肤造成损害。

此外,系统还需从水温、水体积、水环境等各个角度进行模拟,婴儿游泳池水循环系统的设计必须严格考虑这些需求,从而达到安全、无毒、清洁的出水要求。

4.3 形成经济型,易操作的处理设备

近年来属于生育高峰期,婴儿游泳市场需求量大,已有部分医院、企业等进行了相关服务的开拓,但其从业人员大多为医护工作者,对水处理循环设备的专业知识有限,在研究开发婴儿游泳池水循环系统时,还需考虑其设备的易操作性。为符合市场化运作,该水循环安全处理系统在基础设备投资和运行、维护费用方面也必须具有合理的经济性,这是该设备能够全面市场化的重要影响因素之一。

5 结论

婴儿游泳对其健康发育具有着积极的促进作用,婴儿作为特殊人群,泳池水质保障十分重要。水处理系统的出水应安全无毒、清洁健康,符合婴儿生理特征。应充分发挥与合理配置水循环处理系统中砂滤、活性炭过滤、硅藻土过滤、膜过滤等过滤技术,不采用氯消毒方式,考虑紫外消毒的局限性,深入研究联用消毒关键技术,避免产生消毒副产物,并切实选择并严格控制其消毒参数,加强实际应用的安全保障措施,实时监控水体 ORP 值,以免对婴儿皮肤造成伤害。同时,还需考虑水循环处理系统的经济性,操作性与实用性。

参考文献 (References)

- [1] 解毅飞,田坤,赵祥波. 婴幼儿体育新论 [J]. 天津体育学院学报, 1996, 11(2): 21-25.
Jie Yifei, Tian Kun, Zhao Xiangbo. Journal of Tianjin Institute of Physical Education, 1996, 11(2): 21-25.
- [2] 毕永霞. 婴儿游泳的发展研究[J]. 中国误诊学杂志, 2008, 8(29): 7074-7075.
Bi Yongxia. Chinese Journal of Misdiagnostics, 2008, 8(29): 7074-7075.
- [3] 王彬,刘欢欢. 婴儿游泳对后天运动技能的影响 [J]. 中华现代护理杂志, 2010, 16(12): 1385-1387.
Wang Bin, Liu Huanhuan. Modern Nursing, 2010, 16(12): 1385-1387.
- [4] 王桂香,宋琳,马志梅. 游泳对婴儿生长发育的影响与展望[J]. 中国妇幼保健, 2006, 24(21): 3469-3471.
Wang Guixiang, Song Lin, Ma Zhimei. Maternal and Child Health Care of China, 2006, 24(21): 3469-3471.
- [5] 钟捷,郑雪吟,徐敏,等. 上海市部分婴儿游泳馆卫生状况调查 [J]. 上海预防医学, 2012, 24(5): 249-251.
Zhong Jie, Zhen Xueyin, Xu Ming, et al. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2012, 24(5): 249-251.
- [6] 马朝琼,范植蓉,付千钧. 门诊婴儿游泳抚触室医院感染监测及管理 [J]. 护理学杂志, 2008, 23(6): 11-12.
Ma Chaoqiong, Fan Zhirong, Fu Qianjun. Journal of Nursing Science, 2008, 23(6): 11-12.
- [7] 杨世兴,赵锂,傅文华,等. 《游泳池给水排水工程技术规程》简介[J]. 给水排水, 2009, 35(4): 121-126.
Yang Shixing, Zhao Li, Fu Wenhua et al. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(4): 121-126.
- [8] Kim H, Shim J, Lee S. Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water[J]. Chemosphere, 2002, 46(1): 123-130.
- [9] Florentin A, Hautemaniere A, Hartemann P. Health effects of disinfection by-products in chlorinated swimming pools [J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2011, 214(6): 461-469.

- [10] Bessonneau V, Derbez M, Clement M. Determinants of chlorination by-products in indoor swimming pools [J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2011, 215(1): 76-85.
- [11] 周阳, 陈有光, 段登选, 等. 砂滤罐处理工厂化养鱼循环水效果[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 254-258.
Zhou Yang, Chen Youguang, Duan Dengxuan, et al. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(12): 254-258.
- [12] 王海燕, 张秋玲, 方自毅, 等. 不同工艺与超滤组合处理地表原水的对比研究[J]. *中国给水排水*, 2010, 26(21): 88-91.
Wang Haiyan, Zhang Qiuling, Fang Ziyi, et al. *China Water & Wastewater*, 2010, 26(21): 88-91.
- [13] 田景宏, 黄柄彬. 砂滤人工湿地处理污染河水运行研究[J]. *水处理技术*, 2008, 34(8): 49-52.
Tian Jinghong, Huang Binbin. *Technology of Water Treatment*, 2008, 34(8): 49-52.
- [14] 衣守志, 唐鹏, 张冠军, 等. 砂滤+混凝+超滤组合工艺的海水深度预处理[J]. *水处理技术*, 2008, 34(3): 54-56.
Yi Shouzhi, Tangpeng, Zhang Guanjun, et al. *Technology of Water Treatment*, 2008, 34(3): 54-56.
- [15] 杨开, 周涛, 高婷, 等. 生物活性炭-砂滤处理微污染原水研究 [J]. *中国给水排水*, 2000, 16(12): 54-56.
Yang Kai, Zhou Tao, Gao Ting, et al. *China Water & Wastewater*, 2000, 16(12): 54-56.
- [16] 吴举, 刘作成, 蔡志辉, 等. 气浮-接触氧化-砂滤工艺处理印钞厂综合废水[J]. *工业水处理*, 2008, 28(6): 77-79.
Wu Ju, Liu Zuo Cheng, Cai Zhihui, et al. *Industrial Water Treatment*, 2008, 28(6): 77-79.
- [17] Lukasik J, Cheng Y F, Lu F, et al. Removal of microorganism from water by columns containing sand coated with ferric and aluminum hydroxides[J]. *Water Research*, 1999, 33(3): 769-777.
- [18] Chaudhuri M, Sattar S A. Enteric virus removal from water by coal-based sorbents: Development of low-cost water filters[J]. *Water Science & Technology*, 1986, 18(10): 77-82.
- [19] Edwards M, Benjamin M M. Adsorptive filtration using coated sand: A new approach for treatment of metal-bearing wastes[J]. *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*, 1989, 21(9): 1523-1533.
- [20] 孟昭辉. 高标准游泳池循环水处理工艺[J]. *哈尔滨商业大学学报(自然科学版)*, 2004, 20(6): 733-734.
Meng Zhaohui. *Journal of Harbin University of Commerce: Natural Sciences Edition*, 2004, 20(6): 733-734.
- [21] Kim W H, Wataru N, Eiji S, et al. Competitive removal of dissolved organic carbon by adsorption and biodegradation on biological activated carbon[J]. *Water Science & Technology*, 1997, 35(7): 147-153.
- [22] Sirotkin A S, Yu K L, Ippolitov K G. The BAC-process for treatment of waste water containing non-ionogenic synthetic surfactants [J]. *Water Research*, 2001, 35(13): 3265-3271.
- [23] Fernando J B, Manuel G. Industrial wastewater advanced oxidation: Part 1. UV radiation in the presence and absence of hydrogen peroxide[J]. *Water Research*, 1997, 31(10): 2405-2414.
- [24] Chiang H L, Hung C P, Chiang P C. The surface characteristics of activated carbon as affected by ozone and alkaline treatment [J]. *Chemosphere*, 2002, 47(3): 257-265.
- [25] 赵昕, 李云峰, 蒋锋. 游泳池规程 CJ122-2008 技术探讨系列--硅藻土过滤设备在游泳池中的应用[J]. *给水排水*, 2009, 35(9): 123-126.
Zhao Xin, Li Yunfeng, Jiang Feng. *Water & Wastewater Engineering*, 2009, 35(9): 123-126.
- [26] 邓洁, 陈刚. 谈硅藻土过滤器在游泳池水处理中的应用[J]. *给水排水*, 2011, 37(6): 78-81.
Deng Jie, Chen Gang. *Water & Wastewater Engineering*, 2011, 37(6): 78-81.
- [27] 娄玺明, 黄慧峰. 预涂膜硅藻土(DE)过滤设备在游泳池中的应用[J]. *给水排水*, 2005, 31(3): 89-91.
Lou Ximing, Huang Huifeng. *Water & Wastewater Engineering*, 2005, 31(3): 89-91.
- [28] Li X W, Li X X, Wang G C. Surface modification of diatomite using polyaniline [J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2007, 102 (2/3): 140-143.
- [29] Gao B J, An F Q, Zhao S Y, et al. Studies on the surface modification of diatomite with polyethyleneimine and trapping effect of the modified diatomite for phenol [J]. *Applied Surface Science*, 2005, 250 (1): 273-279.
- [30] Tsai W T, Hsien K J, Lai C W. Chemical activation of spent diatomaceous earth by alkaline etching in the preparation of mesoporous adsorbents[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2004, 43 (23): 7513-7520.
- [31] Tsai W T, Lai C W, Hsien K J. Characterization and adsorption properties of diatomaceous earth modified by hydrofluoric acid etching [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2006, 297(2): 749-754.
- [32] Nakamura H, Tomonaga Y, Miyata K, et al. Reaction of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on silica in aqueous chlorine [J]. *Environmental science & technology*, 2007, 41(11): 2190-2195.
- [33] 王生光, 邵卫云, 张召. 采用膜过滤系统的游泳池给排水设计 [J]. *中国给水排水*, 2003, 19(8): 75-76.
Wang Shengguang, Shao Weiyun, Zhang Zhao. *China Water & Wastewater*, 2003, 19(8): 75-76.
- [34] 张捍民, 张威, 王宝贞. 膜技术处理饮用水的研究[J]. *给水排水*, 2002, 28(3): 21-24.
Zhang Hanming, Zhang Wei, Wang Baozhen. *Water & Wastewater Engineering*, 2002, 28(3): 21-24.
- [35] 薛罡, 赵洪宾, 魏希柱, 等. 超滤膜在制酒原水制备中的应用[J]. *给水排水*, 1999, 25(12): 32-35.
Xue Gang, Zhao Hongbin, Wei Xizhu, et al. *Water & Wastewater Engineering*, 1999, 25(12): 32-35.
- [36] Gaid A, Bablon G, Turner G, et al. Performance of 3 year's of nanofiltration plants[J]. *Desalination*, 1998, 117(1): 149-158.
- [37] 吴光, 邱广明, 陈翠仙, 等. 超滤膜法城市污水深度处理中水回用中试实验研究[J]. *膜科学与技术*, 2004, 24(1): 40-43.
Wu Guang, Qiu Guangming, Chen Cuixian, et al. *Membrane Science and Technology*, 2004, 24(1): 40-43.
- [38] 李灵芝, 张淑琪, 王占生. 纳滤(NF)膜在饮用水处理中的应用[J]. *给水排水*, 1997, 23(5): 16-18.
Li Lingzhi, Zhang Shuqi, Wang Zhansheng. *Water & Wastewater Engineering*, 1997, 23(5): 16-18.
- [39] Sie ST, Krishna R. Process development and sealup process development strategy and methodology[J]. *Chemical Engineering*, 2003, 14(1): 47-59.
- [40] Barbot E, Moulin P. Swimming pool water treatment by ultrafiltration-adsorption process [J]. *Journal of Membrane Science*, 2008 (1/2), 314: 50-57.
- [41] Reißmann F G, Schulze E, Albrécht V. Application of a combined UF/RO system for the reuse of filter backwash water from treated swimming pool water[J]. *Desalination*, 2005, 178(1): 41-49.
- [42] Chaumont A, Voisin C, Sardella A, et al. Interactions between domestic

- water hardness, infant swimming and atopy in the development of childhood eczema[J]. *Environment Research*, 2012(116): 52-57.
- [43] McNally N J, Williams H C, Phillips D R, et al. Atopic eczema and domestic water hardness[J]. *The Lancet*, 1998, 352(9127): 527-531.
- [44] Miyake Y, Yokoyama T, Yura A, et al. Ecological association of water hardness with prevalence of childhood atopic dermatitis in a Japanese urban area[J]. *Environmental Research*, 2004, 94(1): 33-37.
- [45] Schoefer Y, Zutavern A, Brockow I, et al. Health risks of early swimming pool attendance [J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2008, 211(3/4): 367-373.
- [46] Voisin C, Sardella A, Bemard A. Risks of new-onset allergic sensitization and airway inflammation after early age swimming in chlorinated pools [J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2013, doi: 10.1016/j.ijheh.2013.03.004.
- [47] Emerick R W, Loge F J, Ginn T, et al. Modeling the inactivation of particle-associated coliform bacteria [J]. *Water Environment Research*, 2000, 72(4): 432-438.
- [48] Dietrich J P, Basagaoglu H, Loge F J, et al. Preliminary assessment of transport processes influencing the penetration of chlorine into wastewater particles and the subsequent inactivation of particle-associated organisms [J]. *Water Research*, 2003, 37(1): 139-149.
- [49] Hansen K M S, Zortea R, Piketty A. Photolytic removal of DBPs by medium pressure UV in swimming pool water [J]. *Science of the Total Environment*, 2013(443): 850-856.
- [50] 王芳. 不同消毒因子协同杀菌作用研究进展 [J]. *中国消毒学杂志*, 2000, 17(3): 155-158.
Wang Fang. *Chinese Journal of Disinfection*, 2000, 17(3): 155-158.
- [51] Waites W M. The destruction of spores of *Bacillus subtilis* by the combined effects of hydrogen peroxide and ultraviolet light[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 1988, 117(1): 139-145.
- [52] Jacobs P T. Sterilization by hydrogen peroxide and plasma: US, 4756882[P]. 1987-02-17.
- [53] 刘怀田, 李荣芬. 紫外线与乙醇协同对枯草杆菌黑色变种芽胞杀灭机理的初步研究[J]. *中国消毒学杂志*, 1994, 11(4): 197-205.
Liu Huaitian, Li Rongfen. *Chinese Journal of Disinfection*, 1994, 11(4): 197-205.
- [54] 博松哲, 高建新, 陈海婴, 等. 紫外线-乙醇联合使用对克洛诺菌属的协同杀菌效果[J]. *中国乳品工业*, 2011, 39(9): 17-20.
Bo Songzhe, Gao Jianxin, Chen Haiying, et al. *China Dairy Industry*, 2011, 39(9): 17-20.
- [55] 裘迪红, 周佳章, 韩素珍. 紫外线和消毒剂协同杀菌作用的研究[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2000, 19(4): 337-339.
Qiu Dihong, Zhou Jiachang, Han Suzhen. *Journal of Zhejiang Ocean University(Natural Science Edition)*, 2000, 19(4): 337-339.
- [56] 杨华明, 丁兰英, 刘怀田, 等. 枯草杆菌黑色变种芽胞经微波与洗必泰协同作用后超微结构的变化 [J]. *中国消毒学杂志*, 1995, 12(3): 133-136.
Yang Huaming, Ding Lanying, Liu Huaitian, et al. *Chinese Journal of Disinfection*, 1995, 12(3): 133-136.
- [57] 马军, 高金胜, 于颖慧, 等. O_3/H_2O_2 系统对水中二苯甲酮的去除效能及其机理探讨[J]. *黑龙江大学自然科学学报*, 2003, 20(1): 86-91.
Ma Jun, Gao Jinsheng, Yu Yinhui, et al. *Journal of Natural Science of Heilongjiang University*, 2003, 20(1): 86-91.
- [58] 蔡哲锋, 段仪伟, 方士. O_3/H_2O_2 预处理难降解制药废水研究 [J]. *水资源保护*, 2004, 20(1): 15-16.
Cai Zhefeng, Duan Yiwei, Fang Shi. *Water Resources Protection*, 2004, 20(1): 15-16.
- [59] 何宗健, 高林霞, 孙德生. 臭氧+紫外线氧化处理含氰废水研究[J]. *南昌大学学报(工科版)*, 2002, 24(4): 50-52.
He Zongjian, Gao Linxia, Sun Desheng. *Journal of Nanchang University: Engineering & Technology Edition*, 2002, 24(4): 50-52.
- [60] Andreozzi R, Caprio V, Insola A, et al. Advanced oxidation processes for the treatment of mineral oil-contaminated wastewaters [J]. *Water Research*, 2000, 34(2): 620-628.
- [61] 胡军, 周集体, 张爱丽, 等. 光催化-臭氧联用技术降解苯胺研究[J]. *大连理工大学学报*, 2005, 45(1): 26-31.
Hu Jun, Zhou Jiti, Zhang Aili, et al. *Journal of Dalian University of Technology*, 2005, 45(1): 26-31.

(编辑 四恬)

·学术动态·



第30期“科学家与媒体面对面”聚焦“如何理解航空安全”

2013年7月24日,主题为“如何理解航空安全”的中国科协第30期“科学家与媒体面对面”在中国科技馆举办。

中国民航大学安全科学与工程学院院长王永刚、中国航空学会飞行专业委员会委员张曙光、波音737机长张宇、中国民航科学技术研究院航空安全研究所副所长舒平、中国航空学会理事张维等专家,围绕飞机设计制造的安全性(适航性)、我国民航安全现状及民航安全管理体系、飞行驾驶的安全保障、如何理解航班上的安全要求和安全设施、飞行中引发安全事故的各种因素及民航事故调查与分析等主题,为新闻媒体记者解读航空技术发展及安全保障。

在线直播见中国科协网 <http://210.14.113.38:9080/asop/login.asop?titleId=350>。