《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》跟踪服务报告

中广核达胜科技有限公司

2022年3月1日

目录

[一、跟踪服务报告内容概述 3](#_Toc97048900)

[1.1目的及意义 3](#_Toc97048901)

[1.2主要内容 3](#_Toc97048902)

[二、电子束处理印染和造纸工业废水技术优势 3](#_Toc97048903)

[2.1行业背景 3](#_Toc97048904)

[2.2水处理技术现状 4](#_Toc97048905)

[三、技术规范概述 14](#_Toc97048906)

[四、市场应用情况说明 15](#_Toc97048907)

[4.1电子束处理印染和造纸工业废水技术商业化进程 15](#_Toc97048908)

[4.2《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》使用单位 16](#_Toc97048909)

[五、企业采纳情况 29](#_Toc97048910)

[5.1中广核达胜科技有限公司 29](#_Toc97048911)

[六、国际认可情况 29](#_Toc97048912)

[6.1参与项目 29](#_Toc97048913)

[6.2国际声誉 29](#_Toc97048914)

[七、经济效益 29](#_Toc97048915)

[7.1表层经济效益 29](#_Toc97048916)

[7.2深层经济效益 30](#_Toc97048917)

[八、社会效益 30](#_Toc97048918)

[8.1国家利益 30](#_Toc97048919)

[8.2社会利益 31](#_Toc97048920)

[8.3公众利益 31](#_Toc97048921)

**《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》**

**跟踪服务报告**

## 一、跟踪服务报告内容概述

### 1.1目的及意义

《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》标准跟踪报告旨在协同核环保技术领域的市场主体，共同规范核环保技术前沿、产业急需、市场空白和创新需要的团体标准，通过团体标准为核环保技术的发展和推动提供技术支撑，提高该标准的实用性，提升团体标准与核环保技术发展的结合度、固化核环保技术经验、促进科技与经济的深度融合；持续推进团体标准国际化，发展成为具有国际前沿技术的团体标准，推动核环保团体标准与国际接轨，促进同国外同行交流。

### 1.2主要内容

本报告将根据中广核达胜主编的2项团标：T/CNS 8-2018《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》、T/CNS 1-2016《辐射加工用电子加速器装置运行维护管理通用规范》，深度跟踪市场应用情况、企业采纳情况、国际认可情况，以及取得的经济效益、社会效益，形成跟踪服务报告。

## 二、电子束处理印染和造纸工业废水技术优势

### 2.1行业背景

我国是造纸及纺织印染大国，用水量大，导致废水排放量大。2014年，全国废水排放总量716.2亿吨。其中，工业废水排放量205.3亿吨，占全国废水排放总量的28.7%。废水排放量位于前3位的行业依次为造纸和纸制品业，化学原料及化学制品制造业和纺织业，3个行业的废水排放量为76.5亿吨，占重点调查工业企业废水排放总量的40.0%，应用市场大。造纸及纺织业产生的水污染问题严重程度众所周知。2010年，全国造纸业排放废水37.8亿吨、纺织业排放废水23.9亿吨，分别占工业废水总排放量的18.6%和11.8%，COD分别占比26%和8.2%，氨氮分别占比10.2%和7.1%。

而《“十二五”节能减排综合性工作方案》要求，2015年全国COD和氨氮的排放量要在2010年基础上分别削减8%和10%，造纸及纺织业也因此被确定为“十二五”期间重点推进节能减排的行业。另外，国家和地方对造纸废水及纺织染整废水（俗称印染废水）的排放标准越发严格，如江苏省《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值（DB32/1072-2007）》规定印染废水排放COD的限值为60 mg/L，造纸工业中制浆企业排放COD的限值为80 mg/L，制浆与造纸联合生产企业排放COD的限值为60 mg/L，造纸企业排放COD的限值为50 mg/L，这对于大多数企业来讲都是一个考验。造纸废水与印染废水同样具有水量大、水质成分复杂、有机污染物浓度高和色度深等特点，传统的水处理技术处理后出水难以达到排放标准。多种工艺的组合技术处理后出水虽能达到排放标准，但工艺操作繁琐，成本高，因此目前迫切需要经济高效的新型印染废水处理技术。

### 2.2水处理技术现状

**1. 水处理技术**

**1）混凝法**

混凝法就是向废水中投放混凝药剂，使其中的胶体粒子和细微[悬浮物](https://baike.baidu.com/item/%E6%82%AC%E6%B5%AE%E7%89%A9/7679918%22%20%5Ct%20%22/Users/zhaohaoran/Documents%5C%5Cx/_blank)脱稳，并聚集为数百微米以至数毫米的矾花，进而可以通过重力沉降或其他固液分离手段予以去除的废水处理技术。

混凝法具有投资少、设备占地小、脱色率高等优点，我国中小型印染及造纸企业普遍采用该方法处理厂区废水[1]。通常情况下，混凝法对分散染料等疏水性污染物去除效果好，但对活性染料等水溶性较好的污染物去除效果差。对于混凝法，混凝剂的选择及相应混凝工艺的构建是保证废水处理效果的关键。高效复合絮凝剂的研发和应用，大大拓宽了混凝法的适用范围[2]。实际应用中混凝法很少作为单独工艺使用，通常与其它工艺一起使用。需要注意的是混凝过程中产生的沉淀物需要进一步处理。

**2）生物处理法**

生物法是利用微生物酶来氧化或还原染料分子，破坏其不饱和键及发色基团，从而达到处理目的的一种印染废水处理方法，具有处理成本低，处理效果好的优点，被广泛应用于工业废水的处理。生物处理法包括好氧处理法和厌氧处理法。好氧处理法包括活性污泥法和生物膜法，还有AB法、SBR法、AO法、A2O法、氧化沟法等。生物膜法又包括生物接触氧化法、生物转盘、生物滤池等。

生物转盘法处理效果好，但需大量稀释水而且处理时间长、设备占地面积大。塔式生物滤池法具有负荷高、占地少、不需要专设供氧设备等优点。氧化沟法在国外印染废水处理中用得较多，但池容大，占地面积大。纯氧曝气生物处理在国外应用较多，由于氧转移效率高，混合液污泥浓度MLVSS高，可提高去除有机物及脱色能力。因此，好氧生物处理印染废水的特点是对BOD的去除效果明显，但对色度和COD的去除率不高，尤其如大量的聚乙烯醇(PVA)等化学浆料、表面活性剂、溶剂及匹布碱减量技术的广泛应用，使COD达到2000～3000 mg/L，且BOD与COD的比值由原来的0.4～0.5下降到0.2，单纯的好氧生物处理难度越来越大，此外，好氧法的高运行费用也是一个重要不利因素。活性污泥法对废水有机物去除效果较好，并能去除部分色度，处理后出水水质较好，成本较低，在工业废水水处理中被普遍采用，但易发生污泥膨胀等现象，一般适用于水量较小的情况。对于可生化性较好的废水，采用好氧法可以使COD去除率接近80%。

厌氧法不仅可用于处理高浓度有机废水，也可应用于中、低浓度有机废水处理。厌氧法可有效提高废水可生化性，改善后续生物处理效果。目前常用的厌氧反应器包括升流式厌氧污泥床反应器（UASB）、内循环厌氧反应器（IC）、厌氧折流板（ABR）和厌氧生物滤池（AF）。针对印染废水，厌氧生物处理可以打破染料中的偶氮基、蒽醌基和三苯甲烷基等，但对活性染料中间体芳香胺等处理效果差[3]。因此实际在废水处理中通常采用厌氧与好氧联用处理工艺。

由于生物处理技术具有处理效果好，成本低的优点，目前在大多数企业中采用生物处理工艺作为主要处理单元。但随着新型助剂的大量使用以及环保标准的提高，目前印染及造纸废水采用单一生物处理技术已无法满足排放标准。

生物强化技术是指通过投加外源物质增强微生物活性，或通过投加具有特定功能的细菌微生物，改善废水的处理效率。生物强化技术的使用需要针对废水水质进行详细的研究，确定能够高效降解废水中有机污染物的微生物。针对该微生物的特性进行培养 [4]。目前生物强化技术尚未广泛应用，主要是由于微生物活性受环境条件影响较大。如何保证微生物在不同条件下具有较高活性，是运用生物强化技术的一个难点。

**3）臭氧氧化工艺**

1783年M.范马伦发现臭氧，1886年法国的M.梅里唐发现臭氧具有杀菌性能，1891年德国的西门子和哈尔斯克用[放电](https://baike.baidu.com/item/%E6%94%BE%E7%94%B5/7398684%22%20%5Ct%20%22/Users/zhaohaoran/Documents%5C%5Cx/_blank)原理制成[臭氧发生装置](https://baike.baidu.com/item/%E8%87%AD%E6%B0%A7%E5%8F%91%E7%94%9F%E8%A3%85%E7%BD%AE)，1908年在法国尼斯分别建造了用臭氧消毒自来水的试验装置。50年代臭氧氧化法开始用于城市污水和工业废水处理；70年代臭氧氧化法和[活性炭](https://baike.baidu.com/item/%E6%B4%BB%E6%80%A7%E7%82%AD/2628325%22%20%5Ct%20%22/Users/zhaohaoran/Documents%5C%5Cx/_blank)等处理技术相结合，成为污水高级处理和饮用水去除化学污染物的主要手段之一。

臭氧氧化主要利用臭氧的氧化性氧化分解大多数大分子有机污染物。主要的工艺设施由[臭氧发生器](https://baike.baidu.com/item/%E8%87%AD%E6%B0%A7%E5%8F%91%E7%94%9F%E5%99%A8/6887397)和气水接触设备组成。臭氧氧化法主要用于水的消毒、去除水中[酚](https://baike.baidu.com/item/%E9%85%9A/1511831)、[氰](https://baike.baidu.com/item/%E6%B0%B0/2223561)等污染物质，水的脱色、除去水中铁、锰等金属离子，除异味和臭味。臭氧降解废水中有机污染物的主要途径包括臭氧的直接反应和臭氧分解产生的羟基自由基的间接反应。

臭氧对有机污染物的有色集团具有较高的反应活性，因此臭氧对于废水色度的去除效果好，但对废水中有机污染物的去除效果较差。因此在实际运用臭氧过程中一般需要引入其他强化手段，促进溶液中产生更多的羟基自由基，例如在臭氧反应柱中添加催化剂（铁锰、锰铝和颗粒活性炭等）[5, 6]。添加催化剂后可促进臭氧分解产生羟基自由基，提高臭氧工艺的氧化能力。除了催化臭氧技术，还有臭氧-超声联用技术[7]，臭氧-紫外联用技术[8]和臭氧-微电解联用技术[9]。

臭氧-超声联用技术是利用超声促进臭氧的分解和传质，提高自由基的产生量及臭氧的利用效率，进而提高处理效果。臭氧-紫外联用技术是利用紫外线的作用促进臭氧分解为羟基自由基，进而提高处理效果。臭氧-微电解技术是利用臭氧和微电解自身的技术优势形成协同作用，提高处理效果。臭氧在碱性条件下处理效果好，且臭氧对色度的去除效果好。但随着臭氧氧化的进行，废水pH会下降，导致处理效果降低。而微电解在酸性条件下处理效果好，但对色度的去除效果较差，因此两者的结合可以充分发挥各自的优势，提高处理效果。

尽管上述臭氧-紫外和臭氧-微电解联合工艺在实验室小试中获得了良好的处理效果，但尚未实现工程应用。目前，在实际废水处理过程中应用较多的仍为催化臭氧工艺和臭氧-活性炭联用工艺。对于催化臭氧工艺，经济高效的催化剂是关键。而对于臭氧-活性炭联用工艺，活性炭的再生是目前的一个难点。此外，臭氧较高的运行费用在一定程度上限制了其推广应用。

**4）Fenton相关的氧化工艺**

Fenton氧化工艺是利用在酸性条件下，双氧水在二价铁作用下分解产生的羟基自由基降解废水中有机污染物。Fenton法具有操作简单、条件温和、处理效果好的优点。但Fenton氧化工艺的pH适用范围窄（pH 3-4），氧化过程中双氧水的利用率低，且反应过程中会产生大量的铁泥。目前，虽然Fenton氧化工艺在废水处理中应用较广，但较低pH适用范围、产生的大量铁泥、使用后需将pH调回中性等一系列问题，限制了其在实际中的进一步推广应用

Fenton流化床技术是一种将Fenton氧化技术和流化床结晶技术相结合的工艺，可以同时实现双氧水的高效利用及降低铁泥的大量产生，大大降低了工艺的运行成本。已有研究表明Fenton流化床技术对浙江某针织厂印染废水COD的平均去除率可达82.6%，出水COD低于50 mg/L。对色度、SS、总磷和苯胺的去除率分别为92%、93.3%、97.8%和98.1%[10]，吨水处理成本（包括污泥处置费用）为1.98元。

电芬顿技术是指在酸性溶液中，溶解氧在阴极得到电子还原生成过氧化氢。作为阳极的铁电极失电子形成二价铁离子，二者相互作用产生活性较高的羟基自由基。与传统的Fenton技术比较，在电极上原位产生双氧水，避免了化学试剂的适用，降低了运输和存储的风险。同时二价铁能够在阴极还原再生，降低了体系中二价铁离子的加入量，减少了铁泥的产生。电芬顿工艺氧化过程主要在电极表面进行，降解效率受电极面积的影响而降低。

生物-电芬顿技术是利用微生物燃料电池与电芬顿的协同作用。阳极微生物氧化有机物产生电子和质子，经外电路和质子交换膜传递给阴极，通过将持续曝气的氧气还原为双氧水，在二价铁的作用下发生芬顿反应产生羟基自由基。微生物染料电池是一种可再生能源装置，通过微生物的作用将有机物中的能量转化为电能。与常规化学燃料电池相比，微生物的自我再生能力降低了微生物燃料电池的催化成本，已有研究表明，微生物燃料电池提供的0.8 V电压，即可用于电芬顿过程中双氧水的产生[11]。目前生物-电芬顿技术仍需要进一步深入的研究，以推动其在实际中的推广应用。

**5）光催化氧化技术**

光催化氧化技术是将光能转化为化学能，利用该过程中产生的活性粒子（羟基自由基、光生电子和光生空穴等）有效处理废水中有机物污染物。实现该转化的关键是光催化材料。光催化材料将吸收的光能产生电子和空穴。一方面利用电子和空穴与废水中有机污染物直接发生反应，达到去除有机污染物的目的；另一方面利用电子和空穴与氧气/水发生氧化还原反应，生成羟基自由基等活性粒子。活性粒子与废水中有机污染物反应，达到去除有机污染物的目的。光生电子和光生空穴会发生复合反应，导致系统氧化能力的下降。因此，合理设计催化剂，使催化剂表面电子与空穴的反应速度小于电子/空穴与有机污染物之间的反应速率，是光催化氧化工艺的关键问题。目前，文献中报道了大量有效的光催化剂，例如石墨相氮化碳、AgBr/ZnO、BiOCl、Cu2O和TiO2基等[12-16]。尽管在实验室小试中上述光催化剂展现出了良好的光催化性能，但尚无能实际应用的光催化剂。TiO2基光催化剂在处理VOC领域有所应用，但在水处理领域距离实际应用差距较大。主要受限于以下几个因素：（1）可见光在水中的穿透性；（2）TiO2基光催化剂的响应范围；（3）高效光催化反应器的构建；（4）复杂废水组分中TiO2基光催化剂的催化性能。

**6）电化学高级氧化工艺**

电化学高级氧化工艺包括直接氧化工艺和间接氧化工艺。直接氧化工艺是指在没有其它化学品参与下，电极表面进行电子转移的氧化方法。该过程主要由电极/溶液界面上的化学传输和电子转移速率控制。与传统处理工艺相比，直接氧化操作简单，对污染物的去除率高，但对阳极材料的损耗较大，降解效果随阳极材料的损耗逐渐下降。间接氧化是指污染物通过电极表面产生的强氧化剂进行氧化降解。此外，电极表面产生的氧化剂如双氧水等可在阳极金属的催化作用下（阳极氧化），产生羟基自由基活性粒子，羟基自由基与废水中有机污染物反应，达到去除废水中有机污染物的目的。与常规方法相比，阳极氧化具有氧化效率高、反应速度快、操作简单等特点，但电极损耗较大，电能损耗严重，成本较高。电化学高级氧化工艺的核心问题在于电极。开发经济高效稳定的电极材料是电化学高级氧化技术能否在实际应用中推广开来的关键因素。

**7）膜分离法**

膜技术主要是指将选择性的多孔薄膜作为分离介质，让分离出的溶液依靠某种推力穿过膜，低分子的溶质通过膜，而截留大分子的溶质，以此分离出溶液中分子质量不相同的物质，进而实现分离、纯化、浓缩的目的。膜技术是近年来迅速崛起的一项高新技术，被称为“21世纪的水处理技术”，目前在水处理中应用广泛。根据膜的孔径可以分为微滤膜、超滤膜、纳滤膜、反渗透膜和电渗析。微滤、超滤、纳滤和反渗透都是通过压力差实现膜分离，而电渗析是在电场的作用下实现膜分离。

膜分离技术在20世纪70年代开始被应用于印染废水的处理[17]。我国于20世纪80年开始研究废水的膜处理技术[18]。近年来，我国有关膜技术在废水处理及回用中的应用日益增多，主要包括以下两个方面：

单一膜分离技术。由于印染及造纸废水水质复杂，为了获得较好的去除效果，一般需要使用孔径较小、分离效果好的反渗透膜。

组合膜分离技术。通过采用几种膜的组合工艺，利用不同膜材料孔径的差异实现对印染及造纸废水的分级处理，达到较好的去除效果。

动态膜分离技术是指由一些大孔径网膜材料与某种固体悬浮物或胶体溶液，在一定条件下通过这些网膜材料时形成的分离层共同组成的膜材料，其中大孔径网膜材料主要起支撑作用，因此常称为支撑层，而实际起分离污染物的则是动态模中的分离层。分离层具有分离污水中污染物及微生物的作用，一般是由涂层材料或污水中的微生物及其代谢产物附着在支撑层上形成的，或由两者共同组成。随着动态膜分离技术研究的不断深入，近年来开始出现采用动态膜分离技术处理印染废水的研究。现有结果表明：水合动态氧化膜能有效脱除印染废水中的染料，对偶氮染料脱色率高达99%，对甲基红的平均脱色率也能达到90%以上。值得注意的是，动态膜对印染废水中的盐分具有一定的脱除能力，如水合氧化铁制备的动态膜的脱盐率为7.2%[19]。

尽管膜技术能够有效去除印染及造纸废水中的有机污染物，但印染及造纸废水组分复杂，单独采用膜技术进行印染废水的处理时膜易堵塞，需要频繁更换膜，导致运行成本高。因此在实际应用中膜技术通常与其它技术组合应用，例如絮凝和膜技术组合工艺。采用化学絮凝作为预处理工艺，可以降低水中污染物浓度，从而达到提高处理效果和降低膜污染的目的。目前在实际废水处理过程中，通常涉及到废水回用时才会在处理工艺末端增加膜工艺。如何最大化降低膜污染，延长膜的使用寿命，是膜工艺能否在印染及造纸废水处理中推广应用的关键。

**8）吸附法**

吸附法是印染及造纸废水处理中应用较多的一种物理方法，主要包括物理吸附和离子交换吸附。该方法是利用吸附材料的吸附性能去除废水中的有机污染物。活性炭是废水处理中应用最广泛的吸附剂。它凭借其自身比表面积大和多孔的特点，能够有效降低印染及造纸废水的COD和色度。但普通活性炭处理后印染及造纸废水出水通常仍达不到排放标准。因此目前许多围绕改性活性炭提高印染及造纸废水中COD和色度去除率的研究逐渐开展起来。总的来说，活性炭改性的方法可以分为物理法和化学法。常用的物理改性方法为微波改性。使用微波改性后，活性炭吸附性能有了大幅度的提升[20]，但使用微波处理活性炭的成本较高，不适用于处理大流量的印染及造纸废水。常用的化学改性包括氧化改性、还原改性、金属改性等[21-23]。氧化改性可增加酸性官能团的相对含量，但氧化改性也容易使活性炭的比较面积减小。还原改性可使碱性官能团含量增加，从而改善活性炭对印染及造纸废水中非极性有机物的吸附性能；金属改性可增强活性炭对某些特定物质的吸附效果。在实际应用中应根据具体水质成分，选择合适的改性方法。

活性炭吸附具有操作简单，处理效果好的优点。但目前在实际应用过程中活性炭再生困难的问题限制了活性炭的应用。鉴于此，实际应用中通常将活性炭技术与其它水处理技术结合使用，以达到对印染及造纸废水良好的处理效果。

**9）电离辐照工艺**

电离辐照是一种新型的水处理工艺。其原理是水分子在辐照（Co60、137Cs和电子束）作用下分解产生羟基自由基、水合电子等活性粒子，这些活性粒子与水中污染物作用，达到去除水中污染物的目的[24]。与传统的深度处理工艺比较，电离辐照具有处理时间短、处理能力强、占地面积小、适用范围广和无需添加外源物质等优点。电离辐照作为深度处理工艺去除水中难降解有机污染物的研究已经被广泛报道[25]。2017年电离辐照技术实现了工程应用，在浙江金华建立了中国第一座电子束处理印染废水的示范装置，日处理量2000 m3，吨水成本2.5元。随后2019年在广东江门冠华针织厂建立了世界上最大的电子束辐照处理印染废水的单体项目，日处理量30000 m3，目前已稳定运行两年。在上述两个工程实例中，电离辐照均作为深度处理工艺，对生化出水进行深度处理。其中广东江门冠华针织厂需要将废水回用，因此在电离辐照深度处理后端增加了膜处理工艺。实际运行情况发现：电离辐照技术作为深度处理工艺，可以有效减少膜堵塞问题，延长了膜的使用寿命。电离辐照技术以其自身的优势及良好的处理效果，在工业废水处理领域展现了广泛的应用前景。

**10）组合工艺**

除了上述工艺，组合工艺被更广泛应用于实际印染及造纸废水的处理。研究报道了采用兼氧处理+沉淀+好氧处理+沉淀处理工艺，可以将初始COD≤3000 mg/L的废水降至COD≤200 mg/L[26]，该方法改善了前段生物处理的效果，但出水仍未达到工业废水的排放标准，仍需在后端增加深度处理工艺。水解酸化+接触氧化+曝气生物滤池工艺可处理COD介于1750-2050 mg/L的废水，处理后出水COD＜100 mg/L，满足纺织染整工业水污染物排放标准。但由于不同企业印染废水的水质变化大，该组合工艺是否具有广泛的适用性有待于进一步研究。臭氧-混凝组合工艺，与单独混凝工艺比较对印染废水COD和色度的去除率分别提高了21%和70%[27]。此外，Fenton-活性炭、臭氧-活性炭及微波活性炭组合工艺，与单独的Fenton、臭氧、微波、活性炭处理工艺比较，对印染及造纸废水的色度和COD的去除均表现出了增强的效果[28-30]。

**11）小结**

文献中有关印染及造纸废水的处理工艺研究较多，但在实际应用中仍然以生物处理为主要处理单元，通过后端增加深度处理工艺，强化处理效果。目前市场上对于印染及造纸废水的处理尚无固定的处理工艺。现有的处理印染及造纸废水的组合工艺的广泛适用性有待于进一步验证。电离辐照技术以其自身的优势及良好的处理效果，在印染及造纸废水处理领域展现了广阔的应用前景。可调控生物耦合电离辐照技术可满足不同印染及造纸企业的印染废水排放标准，有望为印染及造纸废水的处理提供一种经济有效的解决方法。

**参考文献**

[1] 边凌飞, 几种混凝剂应用于活性染料印染废水的脱色研究, 染料与染色, (2006) 45-47

[2] 徐艳艳, 滕莉莉, 刘俊龙, 鞠福生, 新型复合混凝脱色剂处理印染废水, 染整技术, 38 (2016) 52-55

[3] W. Somasiri, X.F. Li, W.Q. Ruan, C. Jian, Evaluation of the efficacy of upflow anaerobic sludge blanket reactor in removal of colour and reduction of COD in real textile wastewater, Bioresource Technology, 99 (2008) 3692-3699.

[4] 索凡, 朱启忠, 尚立国, 李文静, 宋炳红, 白腐真菌F-9对印染废水的脱色研究, 江苏农业科学, (2010) 387-389

[5] 黎兆中, 汪晓军, 臭氧催化氧化深度处理印染废水的效能与成本, 净水技术, (2014) 89-92.

[6] 郭春芳, 催化臭氧氧化工艺深度处理印染废水, 工业水处理, 33 (2013) 43-46

[7] R. Lall, R. Mutharasan, Y.T. Shah, P. Dhurjati, Decolorization of the dye, Reactive Blue 19, using ozonation, ultrasound, and ultrasound-enhanced ozonation, Water Environment Research, 75 (2003) 171-179.

[8] 崔迪, 庞长泷, 孔祥震, 陈旭, 李昂, 马放, 杨基先, 臭氧光催化氧化对印染废水的深度处理研究, 中国给水排水, 29 (2013) 114-116

[9] 张先炳, 臭氧/微电解工艺处理活性偶氮染料废水的效能与作用机制, 哈尔滨工业大学，博士，2015.

[10] 陈存, 袁昂, 赵亮, 濮徐江, Fenton流化床工艺深度处理印染废水的研究及其应用, 染整技术, 42 (2020) 46-49

[11] K. Rabaey, R.A. Rozendal, Microbial electrosynthesis - Revisiting the electrical route for microbial production, Nature Reviews Microbiology, 8 (2010) 706-716.

[12] 谭冲, 李媛媛, 刘昊, 李俊生, 夏至, 左金龙, 姚琳, AgBr/ZnO复合材料光催化剂及其光催化性能, 硅酸盐学报, 2020, 1-9

[13] S. Miao, Z. Zha, Y. Li, X. Geng, S. Cui, Visible-light-driven MIL-53(Fe)/BiOCl composite assisted by persulfate: Photocatalytic performance and mechanism, Journal of Photochemistry & Photobiology A Chemistry, 380 (2019) 111862.

[14] K. Sekar, C. Chuaicham, U. Balijapalli, W. Li, K. Wilson, A. F. Lee, K. Sasaki, Surfactant- and template-free hydrothermal assembly of Cu2O visible light photocatalysts for trimethoprim degradation, Applied Catalysis B: Environmental, 284 (2021) 119741.

[15] D. Chen, Y. Cheng, N. Zhou, P. Chen, Y. Wang, K. Li, S. Huo, P. Cheng, P. Peng, R. Zhang, L. Wang, H. Liu, Y. Liu, R. Ruan, Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO2-based photocatalysts: A review, Journal of Cleaner Production, 268 (2020) 121725.

[16] C. Zhang, Y. Li, D. Shuai, Y. Shen, W. Xiong, L. Wang, Graphitic carbon nitride (g-C3N4)-based photocatalysts for water disinfection and microbial control: A review, Chemosphere, 214 (2019) 462-479.

[17] J.J. Porter, P. JJ, Zero discharge as exemplified by textile dyeing and finishing, Chemistrty Technology, (1976) 402-407.

[18] 裴振琦, 用聚砜超滤膜从染色废水中回收染料, 环境科学, (1985) 30-34.

[19] 陈忠, 动态膜技术及对印染废水脱色的研究, 南京工业大学, 硕士, 2006.

[20] 丁春生, 毛凌俊, 吴杰, 沈嘉辰, 微波改性活性炭深度处理亚甲基蓝染料废水的研究, 工业水处理, 35 (2015) 68-71.

[21] 吴强, 蔡天明, 南. 陈立伟, HNO3改性活性炭对染料橙黄G的吸附研究, 环境工程, 34 (2016) 38-42.

[22] 刘斌, 马叶, 顾洁, 姚斐, 南. 周建斌, 还原改性活性炭吸附染料废水及其吸附动力学, 科学技术与工程, 14 (2014) 90-93.

[23] 李昌勇, 苏景裕, 谢非, 纳米镍/镁铝水滑石/活性炭复合材料的制备及染料污水的降解, 环境工程学报, 10 (2016) 2309-2314.

[24] 王建龙, 初里冰, 电离辐照技术在废水处理中的研究进展, 环境工程学报, 11 (2017) 653-672

[25] J.L. Wang, L.B. Chu, Irradiation treatment of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in water and wastewater: An overview, Radiation Physics and Chemistry, 125 (2016) 56-64.

[26] 郭佳, 闫宏生, 改良型AB法工艺处理高氨氮印染废水工程实例, 印染助剂, 37 (2020) 49-53

[27] 张小伟, 王文龙, 蔡亦忠, 吴乾元, 胡洪营, 臭氧强化混凝对印染废水的深度处理研究, 工业水处理, 40 (2020) 30-35.

[28] 朱洪涛, Fenton氧化-活性炭吸附组合处理印染废水的研究, 科技信息, (2010) 109-110.

[29] 沈拥军, 苏平, 欧昌进, 臭氧/活性炭组合工艺降解甲基红印染废水的试验研究, 广东化工, 38 (2011) 81-83.

[30] 陈俊平, 黄征青, 微波强化铸铁屑-活性炭-H2O2处理印染废水的研究, 福建师范大学学报(自然科学版), 034 (2018) 40-46.

## 三、技术规范概述

本标准的名称是“电子束处理印染和造纸工业废水技术规范”。

起草人：王建龙、何仕均、张幼学、陈川红、俞江、吴明红、林敏、连哲莉、王春雷、左都文、秦子淇。

起草单位：中广核达胜加速器技术有限公司、清华大学、中国原子能科学研究院、上海大学、苏州中核华东辐照有限公司、中国核学会、核工业标准化研究所。

适用范围：本标准规定了电子束处理印染和造纸工业废水的总体要求、装置和流程、过程质量控制、运行维护及应急管理等技术要求。本标准适用于能量为1 MeV～3 MeV电子束处理印染和造纸工业废水工程的设计、建设和运行管理，也可供电子束处理其它废水工程参考。

本标准总结了我国和国际上利用电子束处理印染和造纸工业废水的研究成果和实践经验，参照并借鉴了美国环保署关于城市污泥使用和处置等相关标准编制。

（1）范围：范围在原来的基础上增加了电子束处理废水的原理，再规定标准的适用范围，本标准规定了电子束处理印染和造纸工业废水的总体要求，规定了电子加速器、废水传输系统、过程控制和质量控制以及运行维护管理等方面的技术要求。

（2）规范性引用文件：列出本标准中引用到的其他标准的标准编号和名称，本标准中总用引用9项国家标准，2项环境标准和1项团体标准。

（3）术语和定义：该部分给出了电子束辐照领域和废水处理领域常用的专业术语以及本标准中出现的需要特别解释的部分术语和定义。为了避免定义重复及标准的简练明了，未列出部分常用的简单类术语和一些非特异性术语，这些术语可在其他标准或名词术语出版物中查询到。

（4）总体要求：简要描述电子束处理印染和造纸工业废工程设计，建设和管理等技术要求，此部分内容在整体上叙述了本标准的总则和结构框架。

（5）流程和装置：分条目分别是流程和装置，流程部分包括工艺设计、剂量设计、电子束处理废水能力设计和废水传输系统设计。经过多次标准的校准与核查，确定使用的设计依据。另一部分为装置，包括电子加速器的技术要求和废水传输系统的技术要求，对装置的各种性能及材料要求进行限制。最后通过设计确认，确认整个设计过程的技术参数满足设计要求，形成并保存设计文件。

（6）过程控制和质量控制：分条目分别是安装确认、工艺确认、确认的评审和批准、常规监测控制、废水排放、变更评估和记录等内容。从各个方面对电子束处理印染和造纸工业废水的工程进行控制和评估，以保证出水满足设计要求且稳定。

（7）运行维护和管理：主要包括运营单位的要求和人员要求，由于该标准中不仅包括电子加速器辐照处理方面的运行维护和管理，同时也包含废水处理工程的运行维护和管理，因此从两个方面对运营单位和人员提出了相应的要求。

（8）应急管理：主要应包括辐射防护和水处理工程应急管理，包括应急预案、应急培训与演练以及事故处置和报告等内容。

（9）附录A：水质检测方法及依据，由于电子束处理印染和造纸工业废水是以最终出水的水质指标确认工程的运行效果，因此出水水质的检测在工程的运行过程也是关键因素之一。附录A罗列部分常用水质指标及其检测方法，有利于保证出水水质的可比性。

（10）附录B：电子束在水中的剂量深度分布曲线图，给出1.0-5.0 MeV不同能量的电子束在水中不同深度的剂量分布，不同能量，在水中的穿透厚度不同，可作为束下传输系统设计的依据。

（11）附录C：水膜厚度的测量方法，水膜的厚度及水膜厚度分布的均匀性对电子束处理效果起着决定性的作用，因此在设计过程中需严格控制水膜厚度，保证水膜分布的均匀性。

## 四、市场应用情况说明

### 4.1电子束处理印染和造纸工业废水技术商业化进程

电离辐照是一种新型的水处理工艺，直至2017年电离辐照技术在我国才实现了工程应用，在浙江金华建立了中国第一座电子束处理印染废水的示范装置。2019年在广东江门冠华针织厂建立了世界上最大的电子束辐照处理印染废水的单体项目。

目前，仅有中广核达胜科技有限公司一家企业将电子束处理印染废水进行商业化应用。

### 4.2《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》使用单位

**1）中广核达胜科技有限公司**

中广核达胜科技有限公司是中国广核集团所属中广核核技术发展股份有限公司（股票简称：中广核技，股票代码：000881.SZ）的控股子公司，拥有环保领域设计、施工、运维资质，是集环境工程和环保设备研究开发、生产制造、工程设计、工程管理、总承包、投资运营和咨询服务于一体的特种废物处理整体解决方案供应商，致力于成为国际一流的电子束处理特种废物专业服务商。

公司与清华大学联合开发的电子束处理特种废物技术得到了国际原子能机构的高度评价，如今已在全球多个国家和地区进行推广。是目前国内唯一一家电子束水处理技术的公司。《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》主要应用于中广核达胜科技有限公司研发中心应用、高校联合开发、示范项目、正规化技术发展目标。

研发中心应用

中广核达胜科技有限公司研发中心严格依据《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》对客户邮寄的实际水样进行范围确定、方案研讨、实验设计，小试方案达标率可达93%。

**2）浙江金华电子束示范装置**

* 项目简介

2020年11月21日，国家自然科学基金项目、国家863计划项目、国际原子能机构项目、国际科技合作专项“电子束处理工业废水技术”科技成果产业化在浙江省浦江县恒昌集团开始启动。该技术由中广核核技术发展股份有限公司联合清华大学开发，中广核核技术发展股份有限公司与恒昌集团有限公司就印染废水处理签署合作协议。

作为处理难降解废水的一种重要解决手段，电子束辐照技术被国际原子能机构(IAEA)列为21世纪和平利用原子能的主要研究方向。所谓电子束辐照技术，是指利用被加速的电子束流轰击或照射被处理对象，使其发生在常规方法下难以引发的物理化学及生物学反应，从而达到提高产品性能、净化物质等目的。相比于传统废水处理方法，电子束辐照技术的长处在于处理难降解有机废水、抗生素废水、含致病菌废水等。

2021年3月，中广核技在浙江省金华市浦江县恒昌集团建成了国内首座电子束辐照处理印染废水示范项目。该项目所在的印染企业每天产生印染废水6000-9000立方米，原有环保设施采用传统的生物处理工艺，末端经臭氧脱色后间接排放至市政污水管网。示范工程建成后，废水经生物处理后再采用电子束辐照深度处理，设计规模为2000立方米/天。

印染废水具有污染物浓度高、种类多、含有毒有害成分及色度高等特点，利用加速后的电子束流对污水进行辐照，可以使水中的污染物发生分解或降解、有害微生物发生变性等，从而达到消毒净化废水的目的。该项目是中广核达胜依照《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》成功投用的全国首例电子束处理印染废水示范装置，充分体现该团标的市场应用指导性。

* 运营状态

基于半年多的稳定运行，该示范项目处理效果显著:出水COD在60 mg/L以内，色度10倍以下，不返色，无二次污染，出水水质稳定，达到直排标准。与用原工艺处理的水样相比，以电子束辐照深度处理后的工业废水脱色更明显，加速器厂房内采用了一台卧式电子加速器，单套设备占地约200平米。据工作人员介绍，废水在束下停留时间仅约0.01秒。

通过与传统的物化、生物、膜处理等工艺有机结合，电子束技术可以形成技术可行、经济成本合理的解决方案。以浦江示范工程为例，企业的原处理工艺是在生化处理后，出水采用混凝沉淀加臭氧氧化，只能达到接入城市污水处理厂的纳管标准。

现在采用电子束辐照加混凝沉淀处理工艺，出水水质能够达到直接排放标准要求。如实现直接排放，与原工艺相比较，每吨废水处理费用可节省约1.4元。按每天处理10000吨计算，设备每年运行350天，一年可节约490万元左右。同时，印染废水经过电子束辐照深度处理后，能实现部分回用。

**3）广东冠华针织厂**

* 项目简介

冠华针织厂是江门一家以生产针织坯布和染色布为主的大型企业，主要生产针织面料和染色纱等产品。起初该厂主要通过“生化+反渗透—中水回用系统”对污水进行处理，日处理量水量约2.5万吨，中水回用约1.8万吨/日，达标排放水量约0.7万吨/日。

尽管原技术污水处理能力不俗，但由于原有生化系统设计不合理，冠华针织厂的生化及物化出水水质较差，化学需氧量COD约为80-150mg/L，色度60-100倍。这导致反渗透膜处理系统频繁清洗，降低膜使用寿命，废水回用率低于50%。膜浓水经过二次生化后需要添加脱色剂，处理成本高昂，且有可能造成其他污染问题。中水回用会同步产生浓水，这些浓水难以生化处理，原有工艺是将浓水回流到集水池与原水混合后再进原生化系统处理，但污染物日积月累会引起整个处理系统可生化性降低，污水处理成本上升，同时也影响到中水回用系统，降低中水回用率。

根据项目环评审批的要求，冠华针织厂日排水不得超过0.9万吨/日。中水回用率降低，意味着总废水产生量要减少，生产负荷也就要同步下降，一定程度上限制了企业的生产。

因此，寻求更加有效和经济的难降解污染物处理方法成为亟须解决的关键问题。2018年4月，中广核达胜加速器技术有限公司与冠华针织厂达成协议，对现有污水处理系统进行升级改造。项目总投资达5000多万元，建成后最高处理污水能力可达到3.5万吨/日。

* 运营状态

（1）小试实验效果

表2.1 小试实验检测表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 样品名称 | 检测项目 | 单位 | 检出限 | 检测结果 | 标准限制 |
| 冠华项目EB进口 | pH值 | 无量纲 | / | 8.0 | / |
| 化学需氧量 | mg/L | / | 296 | / |
| 悬浮物 | mg/L | / | 188 | / |
| 氨氮 | mg/L | / | 6.45 | / |
| 总磷 | mg/L | / | 4.64 | / |
| 总氮 | mg/L | / | 13.6 | / |
| 色度 | 倍 | / | 32 | / |
| 五日生化需氧量 | mg/L | / | 71 | / |
| 二氧化氯 | mg/L | 0.09 | ND | / |
| 可吸附有机卤素 | mg/L | / | 1.95×10-2️ | / |
| 硫化物 | mg/L | / | 0.036 | / |
| 苯胺类 | mg/L | / | 0.23 | / |
| 六价铬 | mg/L | 0.004 | ND | / |
| 冠华项目EB出口 | pH值 | 无量纲 | / | 7.8 | 6～9 |
| 化学需氧量 | mg/L | / | 20 | 60 |
| 悬浮物 | mg/L | / | 4 | 20 |
| 氨氮 | mg/L | / | 1.57 | 8 |
| 总磷 | mg/L | / | 0.34 | 0.5 |
| 总氮 | mg/L | / | 2.89 | 12 |
| 色度 | 倍 | / | 2 | 30 |
| 五日生化需氧量 | mg/L | / | 4.8 | 15 |
| 二氧化氯 | mg/L | 0.09 | ND | 0.5 |
| 可吸附有机卤素 | mg/L | / | 1.66×10-2 | 8 |
| 硫化物 | mg/L | / | ND | 不得检出 |
| 苯胺类 | mg/L | / | ND | 1.0 |
| 六价铬 | mg/L | 0.004 | ND | 0.5 |

中广核达胜根据《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》对项目进行小试模拟，出水效果极好，证实该团标的实用性及指导性。

（2）电子加速器验收方法

①电子束能量

采用交替层叠的盖玻片法，根据有阴影的盖玻片数量、质量、面积，按相关公示计算电子束能量。

②束流强度

在某能量下，高压整流硅堆的电流值减去能量分压器和加速管的分压电阻上的电流值即为串接在束流测量回路中mA表的读数。

③束流功率

由实测束流能量值和束流强度计算出束流功率。

④扫描宽度

在束挡板上放置一标记好中心的适当尺寸的玻璃块。在选定能量段以100 μA的束流辐照10秒，以产生的束条痕迹横向尺寸确定扫描宽度。

⑤能量不稳定度

以最大设计剂量运行，参数不作调整，连续运行1h，每五分钟记录一次能量指示值，按相关公式进行计算。

⑥束流不稳定度

以最大设计剂量运行，参数不作调整，连续运行1h，每五分钟记录一次束流指示值，按相关公式进行计算。

⑦扫描不均匀度

加速器达到热平衡后，在于束流方向垂直的平面上，用不少于9根直径15mm的铜管或铜棒均匀排列组成的分布靶测量扫描宽度内束流分布，并按相关公式计算扫描不均匀度。

⑧连续运行检验

以最大设计剂量连续运行4小时考验后正常停机，并检查各部件无过热或烧毁情况。

（3）加速器验收实测数据

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 验收项目 | 运行实测数据 | 验收指标 | 备注 |
| 电子束能量 | Escreen=1.98MeVE盖玻片法=2.02MeV | / | ok |
| 束流强度 | 0.5级直流毫安表校对 | / | ok |
| 能量不稳定度 | ±0.5% | / | ok |
| 束流不稳定度 | ±0.56% | / | ok |
| 扫描不均匀度 | ±4.4% | ±8% | ok |
| 扫描宽度 | 1600mm | 1600mm | ok |
| 空载最大能量 | 1.5~2.0MeV | 1.5~2.0MeV | ok |
| 束流功率 | 100KW | 100KW | ok |

（4）运行水质实测数据

在实际运行调试过程中，采用了以下电离辐照组合工艺如下：

* 生化出水+电子束辐照+聚合硫酸铁
* 生化出水中添加聚合硫酸铁+电子束辐照+聚合硫酸铁
* 调整生化出水pH至4+聚合硫酸铁/硫酸铁复配剂+双氧水+电子束辐照+聚合硫酸铁
* 调整生化出水pH至5+聚合硫酸铝铁/硫酸铁+双氧水+电子束辐照+聚合硫酸铝铁

方案1：为电离辐照组合工艺处理浙江金华恒昌印染废水的处理工艺，但对于冠华针织厂印染废水的处理效果较差，出水COD大于60 mg/L，色度大于30倍。

方案2：通过在前段增加絮凝工艺强化水处理效果，但出水COD大于60 mg/L，色度大约30倍。

方案3：通过前段添加双氧水和调整pH，在前段形成类Fenton氧化工艺，结合电离辐照工艺，强化水处理效果。但实际运行中由于进水水质变化大，导致溶液pH变化大，pH调控难度高，导致出水不能稳定达标。

方案4：通过调整絮凝剂的种类，降低pH调控难度，充分发挥前段类Fenton氧化工艺的氧化能力，结合后端电子束辐照和絮凝作用，使出水稳定达标。因此在实际运行中采用方案4。

采用5：方案连续运行一个月的出水水质如下图所示：



**图4-1** 基于电离辐照组合工艺处理冠华印染废水的出水COD随时间变化

从图4-1中可以看出，冠华印染废水进水COD在150-250 mg/L，出水在25-50 mg/L。采用方案4处理后，一个月内出水水质稳定达标，COD去除率大于75%。



**图4-2** 基于电离辐照组合工艺处理冠华印染废水的出水总磷随时间变化

从图4-2中可以看出，电离辐照组合工艺能够去除部分水中的总磷。印染废水进水总磷在2.5-5.0 mg/L，出水在0.015-0.3 mg/L，总磷的去除率在93%以上。



**图4-3** 基于电离辐照组合工艺处理冠华印染废水的出水氨氮随时间变化

从图4-3看出，冠华印染废水中氨氮含量波动大。电离辐照组合工艺对废水中的氨氮的去除具有一定的效果。大多数情况下进水氨氮浓度5-9 mg/L，出水在3-6 mg/L，氨氮的最大去除率为55%。



**图4-4** 基于电离辐照组合工艺处理冠华印染废水的出水总氮随时间变化

从图4-4可以看出，生化后冠华印染废水中总氮浓度达到《国家工业GB 4287-2012纺织染整工业水污染物排放标准》。电离辐照组合工艺对废水中的总氮具有一定的去除能力。进水总氮在5-12 mg/L之间，出水在3-6 mg/L，总氮的最大去除率可到达到45%。

从图4-5可以看出，生化后冠华废水中苯胺浓度在0.5-4.5 mg/L时，出水中苯胺浓度在0.07-0.8 mg/L。长期运行监测结果表明基于电离辐照组合工艺能有效降解废水苯胺的浓度，去除率介于72%-98%。



**图4-5** 基于电离辐照组合工艺处理冠华印染废水出水中苯胺浓度随时间变化



**图4-6** 基于电离辐照组合工艺处理冠华印染废水的出水色度随时间变化

从图4-6可以看出，在连续运行的一个月内印染废水生化后出水色度在60-100倍之间，采用方案4后出水色度可降至10倍左右。



图4-7 电离辐照组合工艺处理冠华生化出水的水质检测报告

图4-7展示了电离辐照组合工艺处理冠华生化出水后水质的第三方检测报告，报告结果进一步证明了经电离辐照组合工艺深度处理后，冠华生化出水的水质达到国家染整工业废水直接排放标准《GB4287-2012纺织染整工业水污染物排放标准》。

文献中有关印染废水的处理工艺研究较多，但在实际应用中仍然以生物处理为主要处理单元，通过后端增加深度处理工艺，强化处理效果。目前市场上对于印染废水的处理尚无固定的处理工艺。现有的处理印染废水的组合工艺的广泛适用性有待于进一步验证。电离辐照技术以其自身的优势及良好的处理效果，在印染废水处理领域展现了广泛的应用前景。基于上述的研究可以得出，基于电子束辐照的可调控技术方案可以有效的处理印染废水。尤其对于水质成分复杂，水量波动大的印染废水，可通过调整辐照剂量、双氧水添加量及混凝工艺，实现印染废水的长期稳定达标排放。具体工艺参数需针对特定印染废水水质进行确定。

**4）高校**

清华大学、上海大学、上海师范大学等著名高校均为该标准的成功建立奠定了大量实验数据支持，并采用《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》进行相应课题的开展。

**5）社会组织与科研机构**

中国核学会、核工业标准化研究所、中国原子能科学研究院是我国核学科的龙头社会组织及科研机构，指导并规范了本标准的制定，同时在标准的市场化运用推广上作出了巨大的贡献。

* 中国原子能科学研究院简介

中国原子能科学研究院（简称原子能院）创建于1950年，前身是中国科学院近代物理研究所，是我国核科学技术的发祥地和基础性、综合性核科研基地。1958年，基地建成后，以第一座重水反应堆和第一台回旋加速器的建成为标志，新中国进入了原子能时代。以此为基础，原子能院在我国“两弹一艇”研制攻关中作出了历史性的贡献。在国家表彰的23位“两弹一星”功勋奖章获得者中，有7位在这里创建功勋，有60多位两院院士曾在这里学习和工作过，国内十几个重要的核科研和生产单位由此派生，从这里输送出去的各类骨干人才达一万多名。原子能院也因此获得了我国核工业“摇篮”和“老母鸡”的美誉。

原子能院现任党委书记薛小刚，行政工作由副院长杨红义主持。现有职工4200多人，其中高级科研与工程技术人员1300余人，两院院士5人，博士生导师106人，硕士生导师207人，享受政府特殊津贴58人，入选国家“百千万人才工程”9人，中核集团首席专家9人，中核集团科技带头人10人，全国创新争先奖章获得者1人，科技部创新人才推进计划中青年领军人才1人、重点领域创新团队1支。

原子能院隶属于中国核工业集团有限公司（简称中核集团），下设有6个主体研究所：核物理研究所、反应堆工程技术研究所、放射化学研究所、核技术综合研究所、核安全研究所、核工程设计研究所。12个国家级、部委级研究中心或重点实验室：国防科技工业核材料技术创新中心、国防科技工业抗辐照应用技术创新中心、中国核数据中心、核数据测量与评价技术国防科技重点实验室、北京串列加速器核物理国家实验室、国家能源快堆工程研发（实验）中心、国家同位素工程技术研究中心、计量与校准技术国防科技重点实验室、国家核应急辐射监测技术支持中心、IAEA核安保技术协作中心、IAEA-CAEA核保障与核安保联合培训中心、IAEA核保障领域网络实验室。中国核学会核化学与放射化学分会、核物理分会、核化工分会、同位素分会、核技术工业应用分会、电离辐射计量分会，北京核学会，中国辐射防护学会天然辐射防护分会、放射性废物管理与核设施退役分会以及快堆产业化技术创新战略联盟均设在这里。原子能院现有物理学、化学、核科学与技术三个一级学科及应用数学（二级学科）博、硕士学位授予权。

70余年来，在党中央、国务院和上级部门的关怀和指导下，原子能院作为我国基础性、综合性的核科研基地，作为重要科学思想库、技术储备库和人才培养库，为国家核科技创新、核工业发展、核科技人才培养作出了重要贡献，形成了核物理、核化学与放射化学、反应堆工程技术、加速器技术、核电子与探测技术、同位素技术、辐射防护技术和放射性计量八大学科领域，开发出了以同位素、加速器、核安保为主导的一批高新技术和产品。编辑出版的期刊有《原子能科学技术》《核化学与放射化学》《同位素》《质谱学报》。1978年以来，获国家自然科学奖、国家发明奖、国家科技进步奖、国防科学技术奖、何梁何利奖、中华技能大奖和中核集团科学技术奖近2000项；获得国家专利授权近2000件；曾荣获“全国五一劳动奖状”“首都文明单位”“全国职工之家”等诸多殊荣。

今天，我国进入中国特色社会主义新时代，十九大报告提出了建设现代化强国“三步走”目标，中核集团提出了建设先进核工业体系、打造具有全球竞争力的世界一流集团、推动我国建成核工业强国的新时代“三位一体”的奋斗目标。原子能院作为新时代核强国建设的战略科技力量，将以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，不忘初心，牢记使命，继续弘扬“两弹一星”精神、“四个一切”核工业精神、“强核报国、创新奉献”的新时代核工业精神和“以身许国、敢为人先、严谨求实”的“四〇一精神”，以建成“基础性、前瞻性、先导性、工程性”核科研综合基地为目标，以国防科技、先进核能开发、核基础及共性技术、核技术应用及产业化为主要方向，全方位打造世界先进水平的核科技研究基地，建设现代富强文明和谐美好的原子科学城。

* 核工业标准化研究所简介

核工业标准化研究所的主要任务是：组织和承担有关核行业国家标准、行业标准的制修订及审查、复审和验证工作；从事核行业标准的信息分析研究、出版发行和咨询服务工作；负责核工业质量与可靠性科研和管理工作；承担全国核能标准化技术委员会、全国核仪器仪表标准化技术委员会、原国防科工委军工核动力标准化技术委员会、核材料标准化技术委员会、核安全标准化技术委员会的秘书处工作，负责国际标准化组织（ISO/TC85）和国际电工委员会（IEC/TC45）的国内技术归口工作；编辑出版《核标准计量与质量》期刊。

核工业标准化研究所科研力量雄厚，专业技术密集，下设5个标准化研究室——反应堆工程与核仪器仪表标准化研究室、核燃料循环标准化研究室、质量与可靠性标准化研究室、核电标准化研究室、信息标准化研究室；2个中心——核工业可靠性工程技术研究中心、核工业质量与可靠性信息中心；1个控股公司——兴元检测技术有限公司。全所职工80%以上具有大学以上学历；三分之一以上职工具有高级职称。多人享受国务院政府特殊津贴，多人入选原国防科技工业委员会“511人才工程”和中国核工业集团公司“111人才工程”。

近年来，核工业标准化研究所开展了广泛的国际交流与合作，与国际原子能机构（IAEA）、国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会（IEC）等国际标准化组织和美国材料与实验协会（ASTM）、法国标准化协会（AFNOR）、美国核协会（ANS）、美国机械工程师协会（ASME）等国外先进标准化组织加强交流与合作，吸收和借鉴其标准化经验，密切跟踪上述组织的标准化动态，积极引进其先进标准，对其进行消化吸收，提高核工业标准化研究所科研实力。作为我国核行业标准的技术归口单位，核工业标准化研究所目前承担了当今世界最大的多边国际科技合作项目之一ITER中国采购包任务的标准化工作，是国际原子能机构国际技术标准支持中国承担单位。

建所以来，核工业标准化研究所共组织完成了2000多项核领域的标准和标准化科研项目，并为政府相关部门、国防工业和有关企事业单位提供技术支持和服务。核工业标准化研究所在取得良好的经济效益和社会效益的同时，也获得了社会各界的广泛的好评。

2021年3月24日，全国核安全标准化技术委员会成立，联合秘书处设在生态环境部核与辐射安全中心和核工业标准化研究所。

* 中国核学会

中国核学会于1980年正式成立，同年加入中国科协。

中国核学会是在中国共产党的领导下，由钱三强、王淦昌、朱光亚等老一辈“两弹一星”功勋科学家倡议发起，核科学技术工作者自愿结成、依法登记，具有法人资格的全国性、学术性、非营利性的社会团体，是党和政府联系核科学技术工作者的桥梁纽带，是发展我国核科学技术事业的重要社会力量。中国核学会是中国科学技术协会的重要组成部分，学会挂靠在中国核工业集团有限公司，接受中国科协的业务指导，并接受民政部的监督管理。

学会宗旨是：本会遵守中华人民共和国宪法、法律、法规和国家各项方针政策，遵守社会道德风尚。本着“百花齐放，百家争鸣”的方针，充分发扬学术民主，提倡辩证唯物主义，坚持实事求是的科学态度和优良作风，倡导献身、创新、求实、协作的精神，团结广大核科技工作者和其他科技工作者，促进核科学技术的繁荣和发展，促进核科学技术的普及和推广，促进科技人才的成长和提高，为社会主义物质文明和精神文明建设服务。

学会主要任务是：一、开展学术交流活动，活跃学术思想，促进核科学技术的发展和应用；二、开展国际间核科学技术的交流活动，发展同国外的核科技团体和核科技工作者的友好交流；三、普及核科学技术知识，推广先进技术，开展继续教育和青少年科技活动，举办核科学技术展览会；四、编辑出版学术和科技书刊；五、接受委托，进行科技项目论证、评估、咨询、鉴定等活动，提供技术咨询和技术服务；六、反映会员和科技工作者的意见和呼声，维护他们的合法权益，举办为会员服务的各项事业和活动；七、评选和奖励优秀的学术论文、学术著作和科普作品，推荐优秀的科技成果、产品和科技人才；八、推荐核科学技术和相关领域的中国科学院和中国工程院院士候选人；九、业务主管和挂靠单位委托的其他任务。

## 五、企业采纳情况

### 5.1中广核达胜科技有限公司

中广核达胜科技有限公司既是《电子束处理印染和造纸工业废水技术规范》标准的编写者之一，同时也是使用最多的企业。

中广核达胜科技有限公司研发中心都采用该标准提供相关水样的工艺整体化技术，企业采纳及认可度极高。

## 六、国际认可情况

### 6.1参与项目

中广核达胜参与众多国家级、国际级科研专项合作计划，包括国家自然科学基金项目、国家863计划项目、国际原子能机构项目、国际科技合作专项等。并与清华大学核研院共同成立电子束及环境技术应用联合研究中心，国家原子能机构授予核技术（电子束技术环境应用）研发中心挂牌。

### 6.2国际声誉

科技成果产业化备受国际社会的认可，中俄合作专项通过科技部组织的专家验收。科技部组织专家认为，电子束辐照处理工业废水的关键装备与工艺达到了国际先进水平，针对印染、造纸和制药等行业的实际工业废水处理获得了良好的效果，建议进行实际工程示范及应用推广。国际原子能机构评价中广核达胜在工业废水的电离辐射预处理技术及装置方面居于国际领先地位。作为处理难降解废水的一种重要解决手段，电子束辐照技术被国际原子能机构(IAEA)列为21世纪和平利用原子能的主要研究方向。

## 七、经济效益

### 7.1表层经济效益

水分子在辐照（Co60、137Cs和电子束）作用下分解产生羟基自由基、水合电子等活性粒子，这些活性粒子与水中污染物作用，达到去除水中污染物的目的。与传统的深度处理工艺比较，电离辐照具有处理时间短、处理能力强、占地面积小、适用范围广和无需添加外源物质等优点。电离辐照作为深度处理工艺去除水中难降解有机污染物的研究已经被广泛报道。2017年电离辐照技术实现了工程应用，在浙江金华建立了中国第一座电子束处理印染废水的示范装置，日处理量2000 m3，吨水成本2.5元。随后2019年在广东江门冠华针织厂建立了世界上最大的电子束辐照处理印染废水的单体项目，日处理量30000 m3，目前稳定运行。在上述两个工程实例中，电离辐照均作为深度处理工艺，对生化出水进行深度处理。其中广东江门冠华针织厂需要将废水回用，因此在电离辐照深度处理后端增加了膜处理工艺。实际运行情况发现：电离辐照技术作为深度处理工艺，减少了膜堵，延长了膜的使用寿命。电离辐照技术以其自身的优势及良好的处理效果，在工业废水处理领域展现了广泛的应用前景。

电子束处理印染和造纸工业废水技术不添加或添加少量水处理药剂，污泥的产生量相对较小，且不会产生二次污染。一方面节约了污泥这种危废的处置费用，一方面也减少了某些药剂产生二次污染后的额外处理费用。

### 7.2深层经济效益

随着水质标准的不断提高，可预测的是，会有更多例如微塑料等目前无统一检测方法或处理技术手段的污染物将纳入水质监测指标中。随着人们对更健康更安全的水的需求，处理时间短、处理能力强、占地面积小、适用范围广和无需添加外源物质的水处理新技术必然是群众所期盼的。随着电子束水处理技术的普遍推广，对外源药剂添加量的减少势必会带动各类精细化工类、化工类废水总量的降低，实现从源头进行减排，对国家废水、废气、固废排放总量的降低会有极大促进作用。

## 八、社会效益

### 8.1国家利益

改革开放以来，我国经济快速发展，取得了举世瞩目的成就。制造业、工业的兴旺电子束处理印染和造纸工业废水技术不但是一种新型水处理技术，同时也是我国核环保领域的另一个重大突破，成为了少数掌握此技术并成功工程运用的国家。国际原子能机构评价说电子束处理印染和造纸工业废水技术是21世纪和平利用原子能的主要研究方向，此技术标准的编制，填补了国内市场的空白，达到了国际领先水平。电子束处理印染和造纸工业废水技术标准的编制及实施使我国环保行业在国际上的影响力一飞冲天。

### 8.2社会利益

社会利益对一个企业来说是大于经济利益的，技术是企业的命脉基石，更是如此。在中央全面深化改革领导小组第十四次会议给出了指导：在市场经济条件下，着力推动国有企业树立社会效益第一、社会价值优先的经营理念，建立健全两个效益相统一的评价考核机制，在推动实现社会效益和经济效益相统一中走在前列。只有彰显社会效益的掌声常常响起，才有市场的久久繁荣。

社会利益是民生问题，也是老百姓最容易看到、最关系、最直接、最现实的利益。电子束处理印染和造纸工业废水技术可带来的社会利益是巨大的，包括：（1）不需或少需外源水处理药剂，广泛推广应用后可大大降低外源水处理药剂产能。很多水处理药剂的生产本身技术含量低、还产生大量化工废水，产能的降低会迫使小微企业进行结构转型或被收购，加速市场整合、刺激技术创新。一改当前分布散、规模小、专业性差的现状。（2）目前传统水处理工艺组大多存在占地面积极大、处理能力有限、抗负荷能力低的状况，电子束处理印染和造纸工业废水技术可完美解决这个问题。

### 8.3公众利益

随着人民生活水平的逐步提高，对流域水体污染及生活用水的安全性有着更高的关注与要求。印染及造纸废水排放量大、成分复杂、色度高、可生化性差、pH值高、毒性大，若不达标排放对生态环境有着极大的危害。电子束处理印染和造纸工业废水技术凭借稳定的处理效果、较低的运行成本，必将成为主流的水处理技术为企业分忧，为人民带来最安全的生活用水。