

团 体 标 准

T/CNS 8—2018

电子束处理印染和造纸工业废水 技术规范

**Specification of electron beam for textile dyeing and papermill wastewater
treatment**

2018 - 03 - 15 发布

2018 - 05 - 30 实施

中国核学会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 原理和方法	3
5 总体要求	4
6 装置和流程	4
7 过程控制和质量控制	6
8 运行维护和管理	8
9 应急管理	8
附录 A（规范性附录） 水质检测方法及其依据	9
附录 B（资料性附录） 电子束在水中的深度剂量分布曲线图	10
附录 C（资料性附录） 水膜厚度的测量方法	11

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国核学会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：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。

本标准的主要起草人：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。

引 言

印染和造纸工业的废水排放量大、有机污染物浓度高，是我国重要的污染来源之一，也是典型的难降解工业废水。印染废水中含有各种染料、浆料、助剂、纤维等大分子难降解物质，造纸废水中主要含有纤维素、半纤维素、木质素等天然高分子聚合物和氯酚等有毒有害物质，常规处理方法（如混凝沉淀、生化、吸附）很难经济高效地进行降解处理，满足日益严格的废水排放标准或回用。

近年来，电子束技术在废水处理领域的应用引起了越来越多的关注，因为它不仅能降解绝大多数的持久性有机污染物，而且反应速度快，降解效率高，被国际原子能机构列为21世纪和平利用原子能的主要研究方向。俄罗斯、美国、韩国、巴西等国陆续实现了电子束辐照技术在水处理领域的中试及以上规模的应用。2003年，韩国在大丘市Daegu建立了处理规模10000 m³/d商业化运行的电子束辐照处理染料工业联合企业的污水处理厂。

2007年，我国在浙江省建立了第一座电子束处理印染废水示范工程，处理规模2000 m³/d，现场随机抽样检测结果显示：电子束辐照进水COD 150mg/L~250mg/L，色度60~100倍，出水COD 30mg/L~50mg/L，色度2~8倍，经过半年多的连续运行，出水水质稳定，处理效果显著。2017年10月，电子束处理工业废水技术通过由中国核能行业协会组织的技术鉴定，与会专家一致认为该技术处于国际领先水平，具有广阔的推广应用前景。

标准是技术推广的载体。制定电子束处理印染和造纸工业废水技术标准，有利于规范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，促进电子束处理印染和造纸工业废水技术在国内的推广应用。

电子束处理印染和造纸工业废水技术规范

1 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。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 3544 制浆造纸工业水污染物排放标准
- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB 4287 纺织染整工业水污染物排放标准
- GB/T 6920—1986 水质 pH值的测定 玻璃电极法
- GB/T 7467—1987 水质 六价铬的测定 二苯碳酰二肼分光光度法
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB/T 11889—1989 水质 苯胺类化合物的测定 N-(1-萘基)乙二胺偶氮分光光度法
- GB/T 11893—1989 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法
- GB/T 11901—1989 水质 悬浮物的测定 重量法
- GB/T 11903—1989 水质 色度的测定
- GB/T 15446 辐射加工剂量学术语
- GB/T 16841—2008 能量为300keV~25MeV电子束辐射加工装置剂量学导则
- GB/T 25306-2010 辐射加工用电子加速器工程通用规范
- GB 50752 电子辐射工程技术规范
- HJ/T 60—2000 水质 硫化物的测定 碘量法
- HJ/T 83—2001 水质 可吸附有机卤素(AOX)的测定 离子色谱法
- HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范
- HJ/T 195—2005 水质 氨氮的测定 气相分子吸收光谱法
- HJ 505—2009 水质 五日生化需氧量(BOD₅)的测定 稀释与接种法
- HJ 536—2009 水质 氨氮的测定 水杨酸分光光度法
- HJ 551—2016 水质 二氧化氯和亚氯酸盐的测定 连续滴定碘量法
- HJ/T 636—2012 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
- HJ 828—2017 水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法
- T/CNS 1 辐射加工用电子加速器装置运行维护管理通用规范

3 术语和定义

GB/T 15446界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

印染废水 textile dyeing wastewater
泛指纺织、染整等生产过程中产生的废水。

3.2

造纸废水 papermaking wastewater
泛指制浆、造纸等生产过程中产生的废水。

3.3

初级处理 primary treatment
去除废水中的漂浮物和悬浮物的初级净化过程。

3.4

二级处理 secondary treatment
废水经一级处理后，用生物方法继续去除废水中胶体和溶解性有机物的净化过程。

3.5

三级处理 tertiary treatment
废水处理中采用混凝沉淀、高级氧化等措施进一步去除二级处理不能完全去除的污染物的净化过程。

3.6

电子束 electron beam
电子经电场加速形成的具有一定动能的单向电子流。

3.7

电子加速器 electron accelerator
产生、加速、引出高能电子束流并用于处理废水的装置。

3.8

吸收剂量 absorbed dose
电离辐射授予质量为 dm 的物质的平均能量 $d\bar{\varepsilon}$ 除以 dm 所得之商，即：

$$D = d\bar{\varepsilon} / dm \dots\dots\dots (1)$$

式中：

D ——吸收剂量，单位为戈瑞（Gy，1 Gy=1 J·kg⁻¹）。

3.9

最小吸收剂量 minimum absorbed dose
在保证处理效果的前提下，废水处理所需要的最小吸收剂量。

3.10

深度剂量分布 depth-dose distribution

电子束垂直于介质平面入射时，沿射束中心轴吸收剂量随深度变化的关系曲线图，见图1。

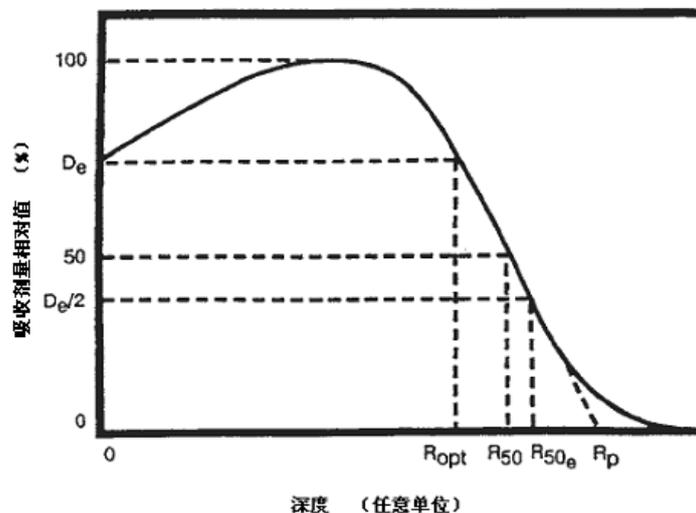


图1 电子束在均匀材料中的深度剂量分布曲线

3.11

最佳水膜厚度 optimum thickness (R_{opt})

在废水中，吸收剂量等于与电子束入射表面处的吸收剂量所对应的厚度。

3.12

运营单位 operator

有资质和能力承担电子束处理印染和造纸工业废水处理运行的单位。

3.13

安装鉴定 installation qualification; IQ

获取数据并证明辐照装置及其相关设备已经按照技术规范的要求提供和安装。

3.14

工艺鉴定 performance qualification; PQ

获取数据并证明符合安装鉴定的辐照装置能始终按照预定的技术规范进行废水处理的过程。

4 原理和方法

电子束处理废水技术主要是利用高能电子束辐解水分子产生具有强氧化性的羟基自由基和还原性的水合电子、氢原子等活性粒子，这些活性粒子作用于污染物质，达到一定的吸收剂量，从而使废水得到净化。

5 总体要求

- 5.1 企业应对废水的产生、处理和排放进行全过程控制，优先采用清洁生产技术，提高资源、能源利用率，减少污染物的产生和排放。
- 5.2 电子束处理废水工程的建设和运行须符合国家和地方环保规划建设等法规要求。
- 5.3 运营单位应建立辐射安全管理体系，制定相关管理规程，明确管理机构职责并设有专门机构或专人负责运行、维护和管理。
- 5.4 电子加速器的设计、建设应符合 GB/T 25306—2010 与 GB 50752 的要求，剂量测量应符合 GB/T 16841 的要求，运行维护管理应符合 T/CNS 1 的要求。
- 5.5 电子束处理印染和造纸工业废水工艺，应根据进出水质和设计要求，合理选择电子束与常规废水处理工艺（如物化、生物和膜分离等）的组合，形成技术可行、经济合理的解决方案。
- 5.6 经电子束处理后的印染和造纸工业废水排放指标和排放途径应满足 GB 4287、GB 3544、GB 8978、GB 3838 等相关标准法规的要求，废水监测应满足 HJ/T 91，废水水质检测方法及依据见附录 A。

6 装置和流程

6.1 装置

- 6.1.1 电子束处理废水装置主要包括电子加速器及屏蔽体、废水传输系统、控制系统、辐射安全连锁系统、水质监测系统以及冷却、通风等辅助设施。
- 6.1.2 工艺参数是影响废水处理效果的关键因素，主要包括电子束能量、平均束流、扫描宽度、废水流动的平均速度和水膜厚度，应在整个处理过程中严格监测和控制。
- 6.1.3 电子加速器的技术要求应符合 GB/T 25306—2010 规范，还应满足：
 - a) 暴露在辐照室内的电子加速器结构应考虑防潮、防腐蚀以及在潮湿环境中的绝缘性要求；
 - b) 束下风冷系统应特殊设计，不影响水膜的均匀分布；
 - c) 电子加速器的启停、运行应与废水系统连锁，主要包括电子加速器的启停须与废水传输系统连锁、束流强度与废水流量连锁；
 - d) 电子加速器控制系统应考虑水质参数变化时的自动调节功能；
 - e) 应考虑非正常故障下处理能力的冗余性设计。

6.1.4 废水传输系统的技术要求

- 6.1.4.1 暴露在辐照室内的废水传输系统应采用耐酸碱、耐腐蚀和耐辐射的材料。如采用不锈钢材料时，性能应选取不低于 316 L 不锈钢。
- 6.1.4.2 废水传输系统应与电子加速器处理能力相匹配。

6.1.5 屏蔽体的技术要求

- 6.1.5.1 屏蔽设计应符合 GB/T 25306—2010 中 8.1.3 的辐射防护安全要求。
- 6.1.5.2 屏蔽体内室材料应考虑耐潮湿、耐腐蚀的要求。

6.2 流程

6.2.1 工艺设计

根据进出水的水质要求，电子束处理废水工艺可分为预处理和深度处理两类：

- a) 预处理：主要适用于含有毒有害或难降解物质、可生化性低的废水， $BOD_5/COD < 0.3$ ，常用工艺见图 2；

- b) 深度处理：主要适用于常规废水处理方法难以达标排放的尾水处理，COD<300 mg/L，常用工艺见图 3。

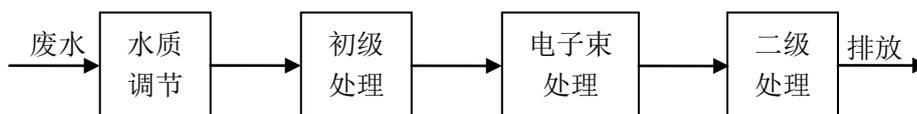


图2 预处理常用工艺



图3 深度处理常用工艺

6.2.2 电子束处理废水能力设计

电子束处理废水能力计算公式：

$$Q = \frac{K_{(z)} I F_i R}{D_{(z)}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Q ——电子束处理废水的能力，单位为立方米每秒（ m^3/s ）；

I ——束流，单位为毫安（ mA ）；

F_i ——辐照区域内束流的份额，即水膜宽度与电子束扫描宽度之比；

$D_{(z)}$ ——被辐照材料内指定深度 z 处的吸收剂量，单位为千戈瑞（ kGy ）；

$K_{(z)}$ ——面积加工系数，单位为平方米千戈瑞每秒每毫安（ $\text{m}^2 \cdot \text{kGy} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mA}^{-1}$ ）；

R ——废水水膜厚度，单位为米（ m ）。

不同电子束能量（ E ）下的面积加工系数见表 1。

表1 不同电子束能量下的面积加工系数

$E/(\text{MeV})$	$K_{(z)}/(\text{m}^2 \cdot \text{kGy} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mA}^{-1})$
1.0	0.2432
1.5	0.2009
2.0	0.1866
2.5	0.1813
3.0	0.1789

6.2.3 废水传输系统设计

6.2.3.1 常见的废水传输系统

废水传输系统采用射流式电子束辐照反应器，在束下形成厚度与流速分布均匀的水膜，完成水样在束下的传输。常见的废水传输系统如图4所示。

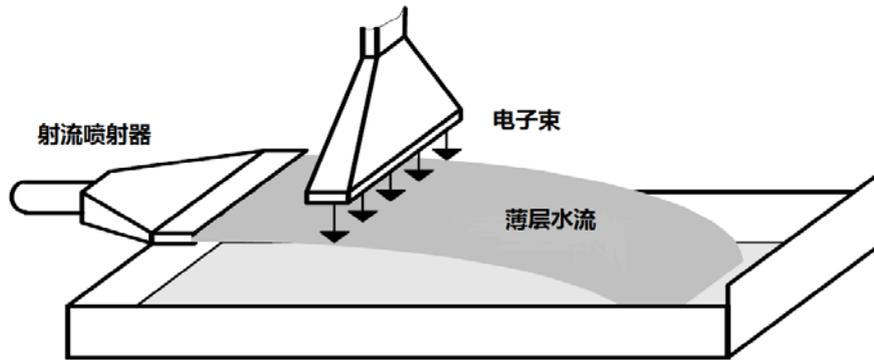


图4 废水传输系统

6.2.3.2 水膜厚度的设计

水膜厚度应不大于电子束在废水中的最佳水膜厚度 (R_{opt})，推荐最佳水膜厚度与电子束能量依据见表2。电子束在废水中的深度剂量分布曲线参见附录B。水膜厚度不均匀度应低于-10%~+5%，水膜厚度和不均匀度计算方法参见附录C。

表2 最佳水膜厚度与电子束能量的对应关系

$E/$ (MeV)	$R_{opt}/$ cm
1.0	0.30
1.5	0.50
2.0	0.66
2.5	0.83
3.0	1.00

注： R_{opt} 为最佳水膜厚度，在该深度吸收剂量等于表面处的剂量； E 为电子束能量。

6.2.3.3 废水线性流速的设计

$$V = \frac{Q}{LB} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- V ——废水的线性流速，单位为米每秒(m/s)；
- Q ——电子束处理废水的能力，单位为立方米每秒(m³/s)；
- L ——喷嘴宽度，单位为米(m)；
- B ——喷嘴厚度，单位为米(m)。

7 过程控制和质量控制

7.1 安装鉴定(IQ)

- 7.1.1 应制定电子加速器及废水传输系统的操作程序文件。
- 7.1.2 应测试并确认包括软件在内的电子加速器运行过程符合设计要求，测试方法和结果应记录并存档。

- 7.1.3 电子加速器及废水传输系统的更改应经有资质和能力的单位修改并与原设计文件一起存档。
- 7.1.4 应确认和记录电子束的束流能量、平均束流强度、扫描宽度和不均匀度等电子束特性。
- 7.1.5 应至少每年进行安装鉴定的再确认。
- 7.1.6 设备进行改造或维修后应进行再确认。

7.2 工艺鉴定(PQ)

- 7.2.1 应确认废水处理流程及进水条件。
- 7.2.2 废水辐照处理的质量(效果)与要求的最低有效的吸收剂量有关。对于特定的废水应用,应规定最低有效的吸收剂量限值。为保证能够满足特定废水处理吸收剂量的要求,在工艺鉴定时应采用适当的方法确定适宜的加工参数,包括:电子能量、束流、束宽度、废水传输方式(水膜厚度和废水的线性流速)和辐照条件,以满足预定的吸收剂量要求。
- 7.2.3 应保留工艺鉴定的记录。

7.3 常规监测控制

- 7.3.1 应规定电子束处理废水前、中、后的控制程序。
- 7.3.2 电子束处理前的进水应满足进水水质设计要求。
- 7.3.3 电子束处理中应每天监控并记录电子加速器及废水传输系统的运行参数。
- 7.3.4 电子束处理后出水应进行在线监测,水质指标满足设计要求。
- 7.3.5 保留记录并可溯源。

7.4 废水排放

- 7.4.1 废水排放前,应按规定完成水质检测。
- 7.4.2 应规定废水排放的审批程序,废水排放指标应符合法规要求。

7.5 确认的评审和批准

- 7.5.1 IQ 和 PQ 获得的信息应得到评审并记录。
- 7.5.2 废水处理过程规范的制定应考虑评审的结果。
- 7.5.3 废水处理过程规范应包括:
 - a) 对废水的描述,包括进出水水质和水量;
 - b) 处理要求;
 - c) 最小剂量;
 - d) 电子加速器及废水传输系统的运行条件和限值。

7.6 变更评估

- 7.6.1 电子加速器和废水传输系统任何可能引起剂量或剂量分布的变更应得到技术部门评估和批准,如果变更会导致剂量和/或剂量分布的变化,则应重复做部分或全部的 IQ 和 PQ,应记录评估的依据。
- 7.6.2 应评估废水的初始状态变更,应根据变更实施必需的过程定义或工艺确认,应记录评估的结果和评估的依据。

7.7 记录

- 7.7.1 须建立废水处理系统运行、设施维护和生产活动等记录制度,记录内容应包括:
 - a) 系统运行时间及运行控制参数;
 - b) 废水处理前后水质监测数据及排放量;

- c) 设备的运行维护和保养状况;
- d) 定期检测及评估情况等。

7.7.2 记录应准确、及时、完整,记录保存时间至少3年。

8 运行维护和管理

8.1 运营单位的要求

- 8.1.1 应取得辐射安全许可证,并接受监管部门的监督检查。
- 8.1.2 应具有相应水处理工程运营资质。
- 8.1.3 应制定环境检测和辐射安全管理规程。
- 8.1.4 应制定运行、维护和维修规程。
- 8.1.5 应制定应急预案。
- 8.1.6 应制定职业健康监护管理规定。
- 8.1.7 应定期对人员需进行技能培训和考核。

8.2 人员要求

- 8.2.1 接受有资质单位开展的辐射安全培训,并取得合格证书。
- 8.2.2 接受电子加速器等设备操作的相应培训。

9 应急管理

9.1 应急预案

- 9.1.1 运营单位应建立应急机构,并制定应急预案,内容至少应包括辐射防护应急和水处理工程应急。
- 9.1.2 辐射防护应急,辐射防护应急应符合 GB/T 25306—2010 相关要求。
- 9.1.3 水处理工程应急,水处理工程应急应包括以下内容:
 - a) 应制定有针对性且详尽的应急制度和应急方案,用于突发状况的应急处理;
 - b) 现场使用的药剂应严格监控使用,危险性药剂应建有应急设施,包括消防栓、防护用具等。

9.2 应急培训与演练

- 9.2.1 所有与应急行动有关人员须接受应急培训和复训,熟悉电子束处理废水相关应急预案。
- 9.2.2 定期组织应急演练,所有与应急行动有关人员须具备正确执行应急行动和任务的能力。

9.3 事故处置和报告

- 9.3.1 运营单位应建立事故处置和报告程序。
- 9.3.2 任何事故均应如实记录,按照规定向监管部门进行报告。
- 9.3.3 事故发生后应按照以下原则进行处理:
 - a) 采取紧急措施,控制事态发展;
 - b) 对受伤人员进行紧急救治;
 - c) 总结与评价。

附 录 A
(规范性附录)
水质检测方法及依据

水质检测方法及依据见表A.1。

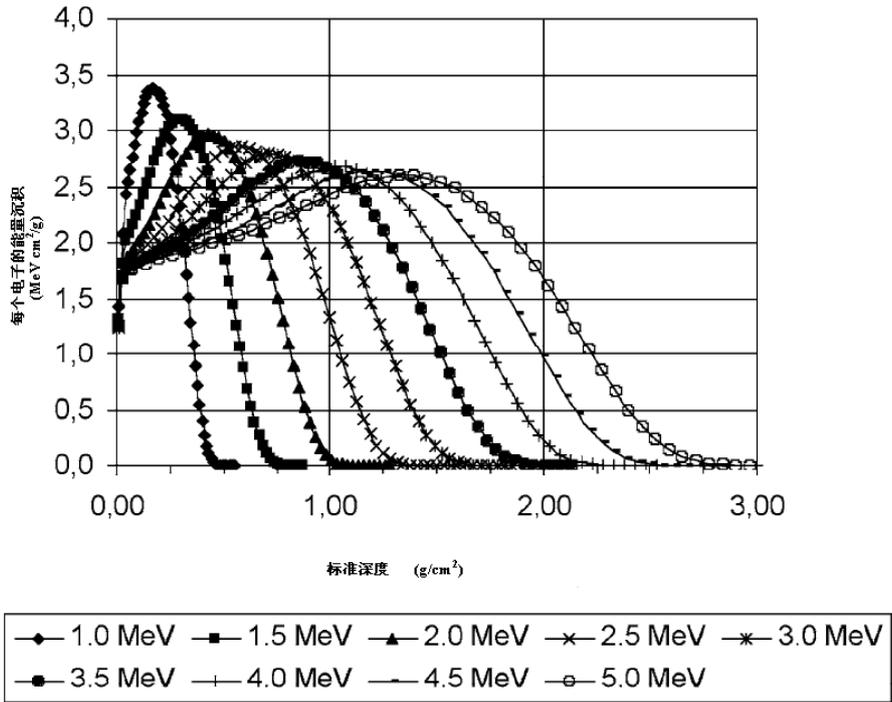
表 A.1 水质检测方法及依据

序号	污染物项目	标准号	检测方法
1	pH 值	GB/T 6920—1986	玻璃电极法
2	化学需氧量	HJ 828—2017	重铬酸盐法
3	五日生化需氧量	HJ 505—2009	稀释与接种法
4	悬浮物	GB/T 11901—1989	重量法
5	色度	GB/T 11903—1989	稀释倍数法
6	氨氮	HJ 536—2009	水杨酸分光光度法
7	总氮	HJ/T 636—2012	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
8	总磷	GB/T 11893—1989	钼酸铵分光光度法
9	二氧化氯	HJ 551—2016	连续滴定碘量法
10	可吸附有机卤素	HJ/T 83—2001	离子色谱法
11	硫化物	HJ/T 60—2000	碘量法
12	苯胺类	GB/T 11889—1989	N-(1-萘基)乙二胺偶氮分光光度法
13	六价铬	GB/T 7467—1987	二苯碳酰二肼分光光度法
注：单位为 mg/L (pH值，色度除外)			

附录 B
(资料性附录)

电子束在水中的深度剂量分布曲线图

电子束在水中的深度剂量分布曲线图见图B.1。



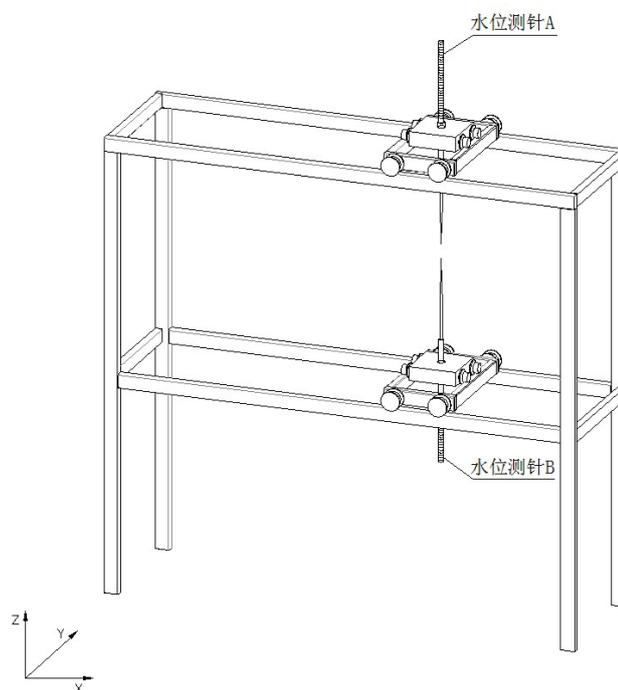
图B.1 电子束在水中的深度剂量分布曲线图

附 录 C
(资料性附录)
水膜厚度的测量方法

C.1 水膜厚度的测量装置

C.1.1 水膜厚度的测量装置结构

水膜厚度的测量装置包括支架1座，水位测针2个，水膜厚度的测量装置参见图C.1。



图C.1 水膜厚度的测量装置

C.1.2 测试装置的建立

将2个水位测针分别固定在上下两台小车上，小车安装在支架上，小车可沿着x方向移动，测针可沿y方向移动。支架和小车在x方向和y方向保持水平，水位测针在z方向保持铅垂。

C.2 水膜厚度测量方法

水膜厚度测量方法包含以下内容：

- a) 在废水传输系统射出水流的上下方分别布置水位测针 A 和测针 B；
- b) 调节两台水位测针的针尖彼此接触，记录水位测针的读数为测针零点，分别为 A_1 和 B_1 ；
- c) 废水传输系统出水稳定后，调整水位测针，使上下两台测针分别接触水流的上下表面，记录此时测针读数分别为 A_2 和 B_2 ；
- d) 测试点水膜厚度 R 的计算公式为：

$$R = (A_2 - A_1) + (B_2 - B_1) \dots\dots\dots (C.1)$$

e) 保持 y 方向位置固定，沿着 x 方向测量不少于 5 个测试点的水膜厚度。

C.3 水膜厚度不均匀度计算公式

采用水膜厚度相对偏差 σ^2 反映水膜厚度的不均匀度，水膜厚度相对偏差 σ^2 可表示为：

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R_i - R_{avg}}{R_{avg}} \right)^2 \times 100\% \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

σ^2 ——水膜厚度相对偏差，单位为%；

n ——水膜厚度测试点数量， $n \geq 5$ ；

R_i ——某个测试点的水膜厚度，单位为毫米（mm）；

R_{avg} ——水膜厚度的平均值，单位为毫米（mm）。

