

Research Progress in Nuclear Industry Wastewater Treatment

Weijie Wang, Di Guan, Yihe Tian, Yu Liu, Ying Zhu, Xin He

College of Aerospace and Civil Engineering, Harbin Engineering University, Harbin Heilongjiang
Email: guandi@hrbeu.edu.cn

Received: Mar. 7th, 2019; accepted: Mar. 19th, 2019; published: Mar. 27th, 2019

Abstract

With the continuous expansion of the application of nuclear energy, nuclear waste water is increasing. In order to reduce the harm of radioactive wastewater to human society and the natural environment, this paper enumerates the principles, characteristics and applications of precipitation, adsorption, ion exchange and membrane separation methods. On this basis, combined with the current situation of complex nuclear wastewater components, the development trend of current treatment technology is analyzed.

Keywords

Industrial Waste Water, Low-Radioactive Wastewater Treatment, Joint Processing Technology

核工业废水处理研究进展

王伟杰, 官 涤, 田一贺, 刘 雨, 祝 英, 何 昕

哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院, 黑龙江 哈尔滨
Email: guandi@hrbeu.edu.cn

收稿日期: 2019年3月7日; 录用日期: 2019年3月19日; 发布日期: 2019年3月27日

摘 要

随着核能应用范围的不断扩大, 放射性废水日益增多。为了减少放射性废水对人类社会和自然环境的危害, 本文列举了沉淀法、吸附法、离子交换法以及膜分离法的原理、特点和应用。在此基础上, 结合放射性废水成分比较复杂的现状, 分析了当前处理技术的发展趋势。

关键词

工业废水, 低放废水处理, 联合处理技术



1. 引言

近年来,随着煤、石油等不可再生传统能源的逐渐枯竭,世界各国均着眼于新能源的开发与利用。发展核能成为解决能源可持续发展、改善自然环境、社会环境实现经济社会健康发展的重要途径之一。2011年福岛核事故发生以后,核安全及核废物的处理愈加受到人们的关注。随着我国核电的不断发展,核电运行过程中产生的“三废”的处理问题,已经成为制约核工业可持续发展的因素之一。其中废水所占的体积及所含放射性核素的总量在“三废”中所占比例最大。放射性废水中含有大量的半衰期较长的放射性同位素[1],直接照射或间接照射都会对人体或其他生物体健康以及人类赖以生存的自然环境造成危害,产生远期效应损害子孙后代的健康[2]。因此,必须高度重视低放射性废水的处理和处置问题。

本文概述了低放射性废水的来源及危害,介绍了低放射性废水的常用处理技术及其特点,提出了低放射性废水处理技术的发展趋势,为核工业废物减量化处理提供了支持和依据。

2. 低放射性废水对环境的影响及来源

放射性废水是指铀和钍采矿、核燃料循环作业、核电站运行以及放射性同位素在医药、工业、农业等应用过程中产生的各种废水[3]。常见的放射性核素包括铀、钍、镭、铯等。

2.1. 低放射性废水的危害

放射性废水产生的危害主要来源于废水中放射性元素通过自身衰变释放出 α 、 β 、 γ 射线。这些射线穿透生物体细胞时有可能对细胞中的染色体产生电离作用[4],破坏细胞乃至生物机体系统的正常机能。 α 射线常引起呼吸系统疾病。 β 射线在体外就可以引起照射危害,对眼睛伤害较大。 γ 射线的照射会引起神经和血液系统类的疾病。此类放射线的危害属于电离辐射伤害。电离辐射产生伤害的大小,受辐射类型、辐射强度、照射方式及生物体自身因素的影响。电离辐射对生物体的作用可以是直接作用,也可以是间接作用。直接作用是指生物体细胞直接吸收了电离辐射能量,导致机体损伤。间接作用是指辐射对生物体中的水分子起作用,产生强活性粒子(氧化剂和强还原剂),破坏生物体的结构、功能以及正常物质代谢[5]。由于水分约占人体组成的70%,因此间接作用比直接作用对人体辐射伤害的影响大。

2.2. 低放射性废水的来源

放射性废水的分类方式较多,根据不同的分类方法,其名称也不同。按照其放射出的射线的种类不同可以划分为 α 废水、 β 废水、 γ 废水[6];按照放射性物质的半衰期时间的长短,可以分为长半衰期废水、中半衰期废水、短半衰期废水;目前应用最广的分类方式是按照其放射性活度的含量多少进行分类。根据我国《放射性废物分类标准》分类[7]见表1。

Table 1. Classification criteria for radioactive wastewater

表 1. 放射性废水分类标准

级别	分类	放射性活度范围(Bq/L)
I 级	低放废水	$\leq 4 \times 10^6$
II 级	中放废水	$4 \times 10^6 \sim 4 \times 10^{10}$
III 级	高放废水	$> 4 \times 10^{10}$

来源不同的放射性废水中含有的放射性物质的种类、放射性水平以及其它化学成分均有较大差异。我国低放射性废水的排放来源主要有以下几个方面：

1) 核电站产生的放射性废水。目前，全世界范围内都在大力建设发展和运行核电站，核电站在运行和维修过程中必然会产生大量的放射性废水[8]，因此核电站是大量低放射性废水的主要来源。核电站产生的低放射性废水主要由以下三个方面组成[9]：第一回路、第二回路的清洗废液、专用洗涤水和淋浴水[10]。

2) 医用废水。在医疗领域，放射性材料在医疗诊断与治疗过程中起着至关重要的作用。放射性材料主要应用于放射免疫测定，放射性治疗和研究等领域[11]。

3) 工业用废水。在工业生产中应用的放射性同位素分为密闭源和开放源两种类型。密闭源一般不与水接触，因此不产生放射性废水。开放源的应用较为广泛，这些开放源会产生一定的放射性，但放射性活度很低，半衰期短[12]。

4) 实验室废水。某些研究部门和高校实验室也会产生大量的放射性废水[13]。放射性元素常当作示踪剂来研究化学药剂在生物体中代谢的机理，肥料和矿物质在环境中的代谢方式及代谢途径。通常它们为放射性活度较低的化合物。另外，对于使用放射性同位素的化学、生物物理实验室，在冲洗实验室和设备、做动物实验、冲洗动物饲养笼的过程中也会产生少量放射性废水。

以上四个方面是产生低水平放射性废水的主要来源，尽管此类废水放射性活度低，但仍需经过处理后达到污水综合处理排放标准后方可排放。

3. 低放射性废水的常用处理技术

对于含有放射性物质的废水，无论采用哪种水处理方法都无法改变其放射性衰变的特性。低放射性废水，需要通过一定的工艺方法使其体积缩小，对浓缩产物进行处置，而剩余达标的处理废液则排放到自然环境中进行稀释、扩散。低放废水的传统处理方法有化学沉淀、吸附、离子交换等[14]，然而膜分离技术的兴起为低水平放射性废水的处理提供了新的处理手段。

3.1. 沉淀法

沉淀法是一些研究机构及核电站排放的低放射性废水处理最常用的方法之一。沉淀法是向处理废水中加入适量沉淀剂[15]，使其与废水中的放射性核素发生共沉淀作用从而达到去除核素的目的。处理过程中常用的沉淀剂有铝铁类、石灰苏打类、金属氢氧化物及磷酸盐类等。现将它们的效能分述如下：

1) 铝铁类沉淀剂

铝铁类沉淀剂主要有：聚合氯化铝、硫酸铝、氯化铁、硫酸亚铁等。投加到放射性废水中的铝铁沉淀剂，通过盐类的水解作用，产生氢氧化物絮状体，在沉淀过程中带走废水中吸附的放射性核素、胶体及悬浮物等。在氢氧化物絮凝体形成过程中，通常要调节水的 pH 值，来增强絮凝效果。例如，铁盐类沉淀剂投加到水体后，调节溶液的 pH 值大于 9 时，形成可吸附 FeO^{2-} 带负电的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体， $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体对带正电荷的核素离子具有较强的吸附聚合能力[16]。

2) 石灰苏打类

向废水中加入碳酸钠和氢氧化钙，可使废水中的钙离子形成碳酸盐，镁离子形成氢氧化镁沉淀，从而使硬水得到软化。放射性核素锶可通过与溶液中 Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 发生混晶作用去除；放射性核素钴可通过生成 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 、 CoCO_3 沉淀物去除。且氢氧化物沉淀具有一定的亲和力，可与其他沉淀载带或吸附共沉淀。加入适宜或者少许过量的絮凝剂时，能够获得较好地效果，但是污泥量相应增加。

3) 磷酸盐类

磷酸盐处理放射性废水主要是根据磷酸根与放射性核素产生沉淀,且由于高价阳离子的磷酸盐溶解度小,所以用磷酸盐絮凝体去除放射性元素效果明显优于氢氧化物絮状体。废水处理中常用的磷酸盐是磷酸三钠。磷酸盐法可除去 99%以上的 α 放射性核素和 90%的 β 放射性核素。

3.2. 吸附法

吸附法是利用多孔性固体吸附剂去除放射性废水中核素的一种方法[17]。吸附处理的主要原理为静电、络合作用以及筛分效应[18]。在低水平放射性废水处理中,活性炭、沸石常被选作吸附剂。

低放射性废水处理中应用的传统吸附剂为活性炭。活性炭孔容大、孔径分布可控,具有较大的比表面积[19],较强的吸附能力而且吸附的物质种类非常多,有较高的去除率。缺点是活性炭的价格较贵,吸附速率慢,吸附量小。沸石是一种天然矿物,在放射性废水处理中也是一类良好的吸附剂,它同时还有过滤和做离子交换剂的作用[20]。李永青等人[21]采用人工模拟含碘放射性废水,进行吸附动态实验,主要考察时间 T、温度、pH 值等各个因素对沸石吸附效率的影响,同时确定出最佳控制条件。El-Kamash [22]用人工合成的 A 型沸石材料进行试验,发现在 25℃时,人工合成的 A 型沸石对铯离子和铊离子有较强的吸附性。

3.3. 离子交换法

离子交换是指处理溶液和离子交换剂之间进行离子交换的过程。因为离子交换法可以从低浓度的溶液中具有选择性的去除某些离子,所以适合应用于低水平放射性废水中核素的去除[23]。低水平放射性废水中大多数是阳离子,仅有极少数阴离子。当放射性废水中的核素和离子交换剂接触时,离子交换剂上的活性基团带有正电时可与废水中的放射性阳离子进行交换,反之,将与阴离子进行交换,把核素转移到离子交换剂中,达到去除放射性元素的目的。

离子交换剂通常分为无机和有机两大类。在低水平放射性废水处理过程中,使用的人工合成的无机离子交换剂包括人造沸石、杂多酸类、蛭石、亚铁氰化物等[24]。使用的有机离子交换剂又叫离子交换树脂,主要包括强酸型、螯合型、强碱型等。离子交换树脂,材料均质稳定,交换能力高,机械强度也较好。核电产生的放射性废水处理中常常选用强酸型阳树脂和强碱型阴树脂。Shibi 等人[25]采用 PGBS-COOH 处理核电站冷却剂水中的钴,Co²⁺浓度分别为 1 mg/L 和 10 mg/L 时,随着吸附剂剂量的增加,钴的去除率逐渐增大;当吸附剂剂量分别为 1.5 g/L 和 5 g/L 时,两种浓度钴离子的去除率接近 100%。

离子交换法操作简单、净化系数高,易实现自动化,有较好的净化处理效果[26]。核电站的废弃树脂通常不作再生处理,而是从设备中排出贮存在不锈钢槽中,等待统一处理。

3.4. 膜分离法

膜分离技术就是膜分离过程中用到的一切手段和方法的总和,作为一种新兴的分离技术[27],近些年来应用领域不断扩大,并且取得了较好的应用效果。由于膜分离技术具有在常温下操作、无相变、无污染的特征,且在分离过程中能够降低能耗、减少分离过程对环境造成的不良影响,为我国发展循环经济、进行清洁生产等提供了技术保障,因此膜分离技术为处理大量的低水平放射性废水提供了一种新的方法[28]。

膜是膜分离技术的核心,膜分离过程的驱动力分为压力差、浓度差、温度差、电位差、化学反应几类[29]。按驱动压力的大小,可将膜分为微滤、超滤、纳滤、反渗透四种。

1) 微滤:微滤是以静压力作为动力[30],利用微滤膜的筛分作用进行物质分离的过程。微滤技术应用非常广泛,既可以单独使用,也可以作为其他工艺的前置预处理部分与其他工艺结合使用[31]。

2) 超滤: 超滤是以压力差为动力, 利用机械筛分机理截留溶液中的大分子物质, 实现与溶剂或小分子物质分离的过程。超滤膜一般为非对称膜, 它是由一层厚度极薄的皮层和一层较厚具有海绵状或指状结构的多孔层结构构成, 截留作用主要发生在皮层, 多孔层主要起到支撑的作用[32]。

3) 纳滤: 纳滤因其膜孔径为 1 nm 而得名, 又被称为“低压反渗透”, 是一种驱动压力介于反渗透和超滤之间的膜分离技术[33]。纳滤在普通重金属离子去除中已有广泛研究[34]。在核工业领域, 纳滤主要被用于含硼废水的回用处理[35]。此外, 从处理研究的目标核素来看, 主要是钴[36]。

4) 反渗透: 反渗透是与渗透相反的过程[37], 它是以压力差为推动力, 使溶剂通过具有选择透过性的半透膜, 而溶液中的其他组分被反渗透膜截留, 从而实现液体混合物的分离。

除这四种常用的处理技术外, 磁-分子法、零价铁渗滤反应墙技术、惰性固化法等技术也在迅速的发展之中[38], 为放射性废水的处理提供了更多的选择。

3.5. 常规技术在低放射性废水处理中的应用前景

对多方实际工程应用实例进行总结归纳, 我们可以发现: 沉淀法的原理是加入沉淀剂, 使其与放射性元素发生共沉作用, 优点在于处理设施和技术相对比较成熟, 适用范围广泛, 对大多数放射性核素有较好的去除效果, 价格低廉, 缺点在于沉淀颗粒小, 固液分离比较困难, 且会产生大量污泥, 造成二次污染。吸附法的原理是利用吸附剂表面对核元素进行吸附, 优点在于处理效果好, 出水水质优, 缺点在于对核元素的吸附量小, 吸附剂价格昂贵。离子交换法的原理是利用离子交换树脂上的离子与废水中的核素进行交换, 优点在于操作简单, 净化系数高, 易实现自动化, 缺点在于会产生大量废弃树脂, 仅适用于含盐低的废水。膜分离法的原理是利用膜的选择透过性去除核素, 优点在于无二次污染, 分离效率高、无化学反应, 节能环保, 操作简便, 易实现自动化, 缺点在于膜易污染。任何一种处理技术都有着它的优点和局限性, 所以将各种技术合理得组合起来使用是一种更好的方案。例如我国 AP1000 核电站的处理工艺为过滤 + 离子交换[39], 首先通过絮凝沉淀过滤去除水中的胶体以及悬浮物, 再通过 4 个离子交换器去除放射性核素; 美国 Dresden 压水堆核电厂使用超滤 + 反渗透的处理工艺对低放废水进行浓缩处理, 将废水体积减少到了原来的 1/10, 并且透过水达到了排放标准[40]; 美国 Nine Mile Point 核电厂、Pilgrim 核电厂使用过滤+反渗透的处理工艺对放射性废水进行处理, 降低了污水排放量, 减少了处理过程中固体废物的产生量, 同时降低了废水处理成本。

由此可见, 组合工艺的适用面更加广泛, 组合工艺不仅仅有利于高效、安全、低成本的去放射核素, 更有利于去除部分放射性废水中含有的硼、磷等非放射性但会对环境造成污染的物质。沉淀法由于成本低廉, 对大多数放射性核素有良好的去除效果, 可为主处理工艺提供良好的工作环境, 所以沉淀法更多地会以预处理的形式出现在未来低放射性废水处理过程中; 随着越来越多成本低廉的吸附剂被研制并用于放射性废水的处理, 吸附法可作为低放射性废水的主处理工艺使用; 离子交换法净化系数高, 操作简单, 可作为主处理工艺使用; 膜分离法中的反渗透技术作为主处理工艺在发达国家已得到了较为广泛的应用, 随着纳滤、膜蒸馏等新兴膜分离技术的发展, 未来膜分离法在低放射性废水的处理工艺中将发挥更大的作用。

4. 结语

本文通过对各种常规技术工程应用实例的总结, 得出了组合工艺在低放射性废水处理技术中适用面更广的结论。放射性废水大部分属于核工业废水, 这些废水中含有大量的硼、磷等无放射性但对环境有害的物质, 组合工艺相比于普通的单一工艺更有利于有效去除废水中的不同污染物; 对于其他的废水, 组合工艺可以更加高效、安全地去除核素。本文可以为我国未来低放射性废水处理技术的发展方向提供

参考,为我国核工业的绿色发展提供建议,有利于“人与自然和谐共生的现代化”顺利实施,有利于美丽中国的早日建成。

基金项目

本研究由市科技局科技攻关计划(2016RAQXJ176),中央高校基本科研业务费(HEUCMF180207),中央高校基础研究资助项目(HEUCFG201820)资助。

参考文献

- [1] 马丽, 王建华, 李吉鹏, 等. 某滨海核电厂低放射性废水的海洋环境影响预评价[J]. 应用海洋学学报, 2013(1): 29-35.
- [2] 武国正, 徐宗学. 核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究[J]. 环境科学, 2012(7): 2438-2443.
- [3] 沈舞婷. 核应急废水处理用普鲁士蓝/碳纳米管海绵吸附材料及性能[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2014: 3-4.
- [4] 姚尚锋, 甘宝霞. γ 射线弹和射线防护[J]. 现代物理知识, 2001(6): 36.
- [5] 石晓亮, 钱公望. 放射性污染的危害及防护措施[J]. 工业安全与环保, 2004, 30(1): 6-9.
- [6] Kaufman, A.B. and Eckerman, R.C. (2013) Nuclear Radiation. NUCLEAR RADIATION, 22-23.
- [7] 施性清. 国家环保局发布《放射性废物的分类》等三项国家标准[J]. 广州环境科学, 1996(2): 19.
- [8] 潘玲. 聚合物辅助超滤技术处理模拟低放射性废水中的铀和镭[D]: [硕士学位论文]. 上海: 中国科学院研究生院(上海应用物理研究所), 2014: 8.
- [9] 马骏彪, 韩买良. 核电站废料处理技术[J]. 华电技术, 2009(12): 70-72.
- [10] 李雯玺. 聚合物辅助超滤法去除中低水平放射性废水中的钴[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2011: 9-10.
- [11] Sancho, M., Arnal, J.M. and García-Fayos, B. (2013) Treatment of Hospital Radioactive Liquid Wastes from RIA (Radioimmunoassay) by Membrane Technology. *Desalination*, **321**, 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.03.032>
- [12] 周书葵. 放射性废水处理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 45-47.
- [13] Rehman, S.K.U., Ibrahim, Z., Memon, S.A., et al. (2016) Nondestructive Test Methods for Concrete Bridges: A Review. *Construction & Building Materials*, **107**, 58-86. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.011>
- [14] 乐志东. 中低放废液反渗透处理数学模型研究及验证[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2014: 13.
- [15] 高杰. 组合微滤工艺处理含铯铷废水以及造粒法的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2010: 14.
- [16] 曹井国. 组合微滤工艺去除水中特殊污染物的研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2010: 11-12.
- [17] 靳向丹. 搅拌造粒-微滤组合工艺处理含铯、铁、镍废水[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2014: 5-6.
- [18] 韦玉青. 络合-超滤技术处理含铜、锌、镉重金属废水的研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2012: 6.
- [19] Zhang, X., Suo, S., Jiang, Y., et al. (2015) Preparation of Hollow Fiber Ceramic UF Membrane and its Application in the Treatment of Heavy Metal Ion Wastewater. *Journal of Ceramics*, **58**, 57-61.
- [20] 沈振华, 张玉先. 改性沸石用于饮用水除氟的试验研究[J]. 工业安全与环保, 2006(3): 14-16.
- [21] 李永青, 冯孝杰, 杨琴, 等. 沸石吸附处理低放射性废水试验研究[J]. 环境科技, 2011(S1): 13-14.
- [22] El-Kamash, A.M. (2008) Evaluation of Zeolite A for the Sorptive Removal of Cs^+ and Sr^{2+} Ions from Aqueous Solutions Using Batch and Fixed Bed Column Operations. *Journal of Hazardous Materials*, **151**, 432-445. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.009>
- [23] 伍涛. 铀中钆的化学分离与分析方法研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国原子能科学研究院, 2002: 8.
- [24] Başçetin, E. and Atun, G. (2006) Adsorption Behavior of Strontium on Binary Mineral Mixtures of Montmorillonite and Kaolinite. *Applied Radiation & Isotopes*, **64**, 957-964. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2006.03.008>
- [25] Shibi, I.G. and Anirudhan, T.S. (2005) Adsorption of Co(II) by a Carboxylate-Functionalized Polyacrylamide Grafted Lignocellulosics. *Chemosphere*, **58**, 1117-1126. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.065>
- [26] 张建梅, 韩志萍, 王亚军. 重金属废水的治理和回收综述[J]. 湖州师范学院学报, 2002, 24(3): 48-52.

- [27] 高永, 顾平, 陈卫文. 膜技术处理低浓度放射性废水研究的进展[J]. 核科学与工程, 2003, 23(2): 173-177.
- [28] 王建龙, 刘海洋. 放射性废水的膜处理技术研究进展[J]. 环境科学学报, 2013, 33(10): 2639-2656.
- [29] Gao, J. (2002) Membrane Separation Technology for Wastewater Treatment and Its Study Progress. *Environmental Protection Science*, **31**, 123-127.
- [30] 王静, 张雨山. 超滤膜和微滤膜在污(废)水处理中的应用研究现状及发展趋势[J]. 工业水处理, 2001(3): 4-8.
- [31] 张长平. 组合微滤工艺处理含裂片核素废水的冷试验研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2009: 9.
- [32] 曾小飞. 超滤法净化缓流水源水试验研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- [33] Zakrzewska-Trznadel, G. (2006) Membrane Processes for Environmental Protection: Applications in Nuclear Technology. *Nukleonika*, **51**, S101-S111.
- [34] Wang, J. and Chen, C. (2009) Biosorbents for Heavy Metal Removal and Their Future. *Biotechnology Advances*, **27**, 195-226. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.002>
- [35] Agency, I.A.E. (2004) Application of Membrane Technologies for Liquid Radioactive Waste Processing. International Atomic Energy Agency, Vienna, 13-16.
- [36] 单征. 压力驱动膜去除中低水平放射性废水中的钴[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2012: 14.
- [37] 梁睿荣, 颜幼平, 姚兴. 微滤 - 反渗透工艺深度处理造纸废水及效果分析[J]. 环境工程, 2014(6): 33-37.
- [38] 李小燕, 张叶. 放射性废水处理技术研究进展[J]. 铀矿冶, 2010, 29(3): 153-156.
- [39] 李福志, 孙大卫. 内陆 AP1000 核电项目低放废液排放的主要污染物及其处理技术[J]. 原子能科学技术, 2012, 46(增刊): 137-141.
- [40] Wilson, J.H. (2000) Effective Liquid Waste Processing Utilizing Membrane Technologies. *Proc. EPRI Int. Low Level Waste Conf.*, San Antonio, TX.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2332-7111, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: nst@hanspub.org