

电化学法处理含重金属电镀废水研究

电化学法常用于电镀行业产生的重金属废水以回收重金属，减少资源浪费。主要阐述了含重金属电镀废水的来源和分类，从电化学法的角度分析了不同重金属电镀废水处理的研究进展，并指出了电化学法处理重金属电镀废水存在的问题及实际应用情况，展望了电化学法在处理重金属废水处理方面的未来发展方向。

电镀行业排放的生产废水是造成环境污染的重要工业污染源之一，在2000年国内就成立了上万家电镀厂点，年电镀废水的排放量就已达到40亿m³以上，如果不经处理或处理效果不好，将造成资源浪费，并严重危害环境。电镀废水主要包括酸碱废水、部分有机废水和重金属废水，其中重金属废水又是电镀废水治理的重点。

目前，常规的重金属废水处理方法有化学沉淀法、吸附法、生物法等，其主要原理是将重金属转化成沉淀或其他形式，这易对环境造成二次污染。如部分工程项目采用Fenton试剂处理电镀废水，处理效果较好，但成本偏高。

近年来，电化学法作为重金属废水处理技术之一备受关注，其具有电解、絮凝、气浮、氧化还原和微电解等作用，这些作用在废水处理中常常同时进行。电解反应原理主要包括电凝聚、电氧化还原、电气浮。

其中，电氧化和电气浮分别用于处理有机废水和含固态小颗粒、油污废水；电还原是通过得电子还原高价态金属离子为低价态金属离子或金属沉淀，故该作用在重金属废水处理领域中广泛应用；而电絮凝原理是可溶性的铁、铝等阳极，在通直流电的情况下会失去电子形成金属阳离子Fe²⁺和Al³⁺，与溶液中的OH⁻生成金属氢氧化物胶体絮凝剂，不仅可以有效去除电镀废水中的重金属离子，同时还可以使废水中的含盐量降低。

1含重金属电镀废水的来源和分类

含重金属电镀废水主要产生于电镀处理过程中多余的或不规范操作造成废液以及清洗镀件或设备产生的废液，水质成分复杂，不易控制，其中除含有铬、镍、铜、锌等重金属离子外，还有氰化物、有机物等污染物的存在。根据目前电镀行业的发展，含重金属电镀废水按所含主要重金属物质进行如下分类。

- (1)含铬废水：铬系废水主要含有铬()、少量其他重金属离子；
- (2)含镍废水：主要污染物为镍离子、悬浮物等物质；
- (3)含铜废水：主要含有铜离子或络合铜离子；
- (4)重金属混合废水：主要含有铬及其他重金属离子、氰及悬浮物。

2电化学法处理含重金属电镀废水

2.1电化学法处理含铬电镀废水

电镀废水中存在大量铬，且主要以高价态存在，如Cr^{2O7}-和CrO₄²⁻。许多研究[4-6]采用铁-碳微电解或铁屑内电解处理含铬电镀废水，在pH值和停留时间最佳时，Cr⁶⁺去除率高达99%以上，出水能达标排放。刘峥等采用钛-铁双阳极电絮凝技术去除电镀废水中铬()，铬()的去除率可达96.57%。

当使用电化学与生物法组合处理时，Cr⁶⁺的去除率更好，还能同时去除废水中的有机污染物。如采用微电解/电解-生物法组合工艺处理时，微电解/电解法相当于废水的预处理，铬()的去除率可达90%以上，随后进入后续生化工艺处理后，Cr⁶⁺的去除率高达99.9%，去除效果明显。

单一的电化学法对含铬电镀废水处理效果明显，而与生物法联用后处理效果更佳，并可有效降低运行成本，具有进一步的推广价值。

2.2电化学法处理含镍电镀废水

在电镀工业上，电镀镍因其具有抗蚀性、耐磨性、可焊性等特点已广泛被使用，故其工业量仅次于表面镀锌排列第二。

含镍电镀废水如不处理直接排放，不仅对环境造成严重污染，并危害人体健康，而且还会造成资源浪费。目前，含镍电镀废水的处理方法和大部分工业废水处理方法一样，大致分为物化法、化学法、生物法或各方法的组合工艺。杨剑[11]通过实验探讨了微电解法处理高浓度含镍电镀废水的效果，镍的去除率可达64.09%，有利于后续处理。

刘存海等采用絮凝和电解组合工艺对宝鸡长岭集团的电镀车间含镍废水进行了研究，通过处理后出水中镍离子浓度降至0.365mg/L，出水低于0.5mg/L的国家标准。故将传统絮凝工艺与电化学法联用处理含镍电镀废水，可使废水直接达标的同时，还降低运行成本。

2.3 电化学法处理含铜电镀废水

在电镀行业中，镀铜常作为镀铬和镀镍等其他重金属表层的底层致使含铜电镀废水非常普遍。

而采用电化学法处理含铜电镀废水时还可以直接回收铜，陈昊等利用流化床电极处理低浓度硫酸铜废水，Tian等采用电解法研究Cu²⁺离子在不锈钢电极上的还原特性，Zhang等采用循环伏安法研究酸性环境中Cu²⁺离子的电沉积动力学行为，使出水能达标排放。朱又春采用磁电解技术处理含铜工业废水发现，其不仅能有效处理工业废水中污染物，还能进一步在阴极上回收致密均匀的金属铜。

但电解法由于受金属电沉积还原电位和传质过程的影响，在处理含铜电镀废水时，处理时间长、处理效率低、能耗高等缺点，限制了该方法在该领域的推广。为了提高处理效果，王刚等[17]则将两种电化学方法耦合处理含铜废水，处理效果明显优于单独微电解和电解法，并能促进反应的快速进行。

2.4 电化学法处理重金属混合电镀废水

电镀废水水质复杂，通常不止含一种重金属，而是多种重金属离子共存，马洪芳利用铁屑内电解法处理重金属混合电镀废水，出水中Cr⁶⁺含量小于0.5mg/L，其他金属离子均达到排放标准。

谭超雄等采用单一电絮凝处理含铜、铬两种重金属的电镀废水发现，在同一参数下，Cu的去除效果优于Cr。张条兰等采用电絮凝-活性炭纤维吸附法处理重金属混合电镀废水，重金属离子的去除率达到99.97%以上。

黄山市环境监测站联合黄山市环境工程公司采用“微电解—中和—混凝沉淀”工艺，处理日排放量为20t的含Cr⁶⁺、Ni²⁺、Cu²⁺电镀废水，总投资25万元，处理成本为1.5元/t。广东省石油化工设计院采用微电解电化学法处理惠州市某电镀厂废水，Q=80m³/d的工程总投资为26万元，处理成本约为1.05元/t。

采用电化学法与其他方法联用工艺处理重金属混合电镀废水时，处理成本从3~10元/t直接降到2元/t左右，处理成本明显降低。从成本和运行成本的角度出发，电化学法具有广泛的推广和应用价值。

3 存在的问题

随着近几十年政府对环保的重视以及水处理技术的快速研发和推广，电化学处理技术已经广泛应用于各工业废水行业，尤其是电镀废水行业。但随着电化学法更深层次的研究发现，该技术还存在一定的问题对其推广有局限性。主要是包括以下几个方面：

(1) 电化学法对不同的重金属处理效果不同，适应的条件(pH值、电极板间距、电极板等)也不一样，故对重金属混合电镀废水处理有限制；

(2) 单一使用电化学法处理含重金属电镀废水时，虽然处理效果好，但处理能耗高，造成运行成本增加；

(3) 受电极板的限制，目前大多数电化学处理技术仍处于小试阶段，还未广泛应用于工程项目中。

4 结论和展望

随着《电镀行业污染物国家排放标准》(GB21900—2008)的颁布，电镀行业废水中各重金属的排放要求均有所提高。为满足现有的排放标准和应对未来越来越严格的排放趋势，传统的处理技术均无法满足排放要求，均需采用深度处理，但这使得处理费用大大提高，并导致资源严重浪费。从长远发展来看，重金属电镀废水中重金属回收不仅能避免环境污染，还促进了循环经济发展，是从根本上减少对环境冲击的重要环节。

为实现这一目标，可采用电化学法与生物法或物化法相结合，以减少能耗，提高处理效果，达到废水处理和重金属回收的双重目的；因此，重点研发出低成本电极板和多维电化学反应器，以及选择出最佳的工艺组合来降低能耗，已成为目前重点研发的发展方向。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/145588.html>