

活性污泥法污水处理技术在上海的早期传入与实践

徐子钦, 段海龙*

内蒙古师范大学 科学技术史研究院, 呼和浩特 010022

摘要: 20 世纪初, 上海公共租界工部局为了解决抽水马桶带来的水环境问题, 邀请英国化学家福勒来沪进行考察, 提出结合活性污泥法的处理方案。文章以活性污泥法污水处理技术传入上海的过程为重点, 分析了福勒提出活性污泥法方案的过程, 梳理了工程师前往美国、加拿大考察并评估该技术在上海的适用性, 探讨了活性污泥法落地上海, 建造污水处理实验室的情况。这是活性污泥法首次进入上海, 也是第一次传入中国, 促进了近代上海的城市现代化建设。活性污泥法在上海的传入, 反应了技术移植过程中的常规程序, 即提出方案、调研与选择、探索实践模式。活性污泥法的引入, 是近代技术进入中国的典型案例。

关键词: 污水处理; 上海公共租界; 活性污泥法; 技术引进

中图分类号: T-09

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2024)03-0278-10

引言

活性污泥法是一种生物处理污水技术, 主要利用微生物去除污水中的有机物、磷素和氮素, 以及吸附污水中悬浮固体等进行污水处理。活性污泥法的出现最早可追溯至 19 世纪末到 20 世纪初, 它的诞生改变了人类对污水的处理方式。随着污水处理行业的广泛

应用, 活性污泥法开始在世界范围内传播。1918 年, 上海公共租界工部局决定采用活性污泥法来解决水环境问题, 活性污泥法首次被引入上海。目前对活性污泥法传入上海的相关研究成果较少, 且多基于租界史、公共卫生史中^[1-7], 从技术史视角来对这方面进行的研究仍有一定不足。本文拟以档案史料为依据, 从技术史视角探讨活性污泥法传入上海的过程, 并对

收稿日期: 2023-10-25; **修回日期:** 2023-12-04

基金项目: 内蒙古师范大学基本科研业务费专项资金资助“中西科技文化交流与传统工艺案例研究”(2022JBXC019); 内蒙古师范大学研究生科研创新基金资助项目“污水处理技术在中国的传播”(CXJJS22142)

作者简介: 徐子钦 (1997—), 男, 硕士研究生, 研究方向为技术史。E-mail: xzq_0603@qq.com

*段海龙 (1975—), 男, 教授, 研究方向为技术史。E-mail: duanhailong0923@163.com (通讯作者)

引用格式: 徐子钦, 段海龙. 活性污泥法污水处理技术在上海的早期传入与实践[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2024, 16(3): 278-287. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.23011025

Xu Z Q, Duan H L. Early Introduction and Practice of Activated Sludge Sewage Treatment Technology in Shanghai[J]. Journal of Engineering Studies, 2024, 16(3): 278-287. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.23011025

其应用情况进行研究,以期对近代中国污水处理技术史研究提供有益的补充。

1 活性污泥法的发明

20世纪初,随着工业化和城镇化的加剧,城市人口日益增长,带来了一系列的社会环境问题。其中,抽水马桶的广泛使用,让水资源的污染逐步成为社会生活中的重要问题。为了应对这一问题,先后产生了许多方法,如稀释、沉淀、化学处理以及电解处理等方法^[8]。但是这些方法都比较简单,不足以处理掉污水中的有机物质和无机盐,污水处理需要一种新的技术。

1882年,苏格兰化学家安格斯·史密斯(Robert Angus Smith, 1817—1884)为了寻找新的污水处理的方法,根据“好氧条件可以避免不良的、恶臭的厌氧反应”的特性,开始向污水槽中曝气,以求能发现新的污水处理技术^[9]。之后又有许多专家投入到相关实验中。但是,这项污水处理技术虽然在理论上能够成立,可是实验结果却不尽人意,普通的曝气只能减缓污水的腐败,不能很好地起到净水效果,同时,实验花费的费用也与结果差距较大。

在活性污泥法的发明过程中,吉尔伯特·约翰·福勒(Gilbert John Fowler, 1868—1953)起到了关键性的作用。福勒于1868年1月23日出生于巴黎。先后毕业于英国西德科特学校(Sidcot School)和曼彻斯特欧文学院(Owen's College)。福勒毕业后在曼彻斯特大学教授物理、化学等课程。1896年,福勒被任命为曼彻斯特市议会河流委员会的化学家和细菌学助理,并在曼彻斯特大学学习了细菌学^[10]。1904年获得海德堡大学的理学博士。他设计了一种保留污泥的曝气系统,并引入了活性污泥的想法^[11]。

1897年,福勒在进行污水曝气实验时,产生了带有沉淀物的清澈污水。但他认为污水中存在沉淀是失败的,污水中的杂质可以进行溶解或是气化才是污水的最佳处理方式^[9]。1912年,福勒应邀到美国劳伦斯市(Lawrence)的研究所观摩进行的污泥实验。这次访问,福勒产生了他关于活性污泥的“启发性想法”。虽然福勒对他之前的曝气实验感到失望,但他



图1 吉尔伯特·约翰·福勒(1868—1953)^[12]

Figure 1 Gilbert John Fowler, 1868—1953^[12]

很快抓住了使用悬浮生物培养物的概念,并在回到英国曼彻斯特后建议并开展了几个相关的实验^[13]:

1912年11月,福勒博士就纽约的污染问题访问了美国。回来后不久,他向作者们[阿德恩(Edward Arden)和洛克特(Wilam T. Lockett),后同,笔者注]描述了他在马萨诸塞州劳伦斯实验站看到的一个正在进行的实验室实验……。福勒博士建议,新的工作可能会在某种类似的路线上进行,并且具有优势。

根据这一建议,作者们对污水排放问题进行了进一步的调查。

1914年,福勒指导的两个学生阿德恩和洛克特在进行活性污泥实验的过程中取得重要成果^[13]:

(1) 活性污泥是通过长时间的曝气得到的固体物质,可以加快氧化过程。

(2) 活性污泥与污水接触方式和比例决定反应速率。

(3) 污泥的堆积会造成反应速率的下降。

(4) 温度对氧化过程有相当大的影响。当温度持续低于10℃时,净化效果会严重降低。温度在20~24℃时,澄清效果和一般净化方面没有观察到实质性的差异,尽管硝化变化随着温度的升高而更快地进行。在较高的温度下,反应前期澄清效果会受到一定程度的干扰,从而导致硝化作用延迟。随后硝化速率有所增加。

(5) 在实验条件下,将平均浓度的曼彻斯特污水与活性污泥接触6~9 h,可获得氧化良好的污水。曝气的时间取决于所处理的污水的浓度和所需的净化

程度。

(6) 活性污泥在性质和成分上与普通污水污泥有很大的不同。它处于良好的氧化状态, 可以很容易地在过滤器上排干, 并具有高氮含量。

这一成果在英国的化学工程学会杂志上发表, 由此活性污泥法诞生^[14]。

由于反应后产生的污泥可以使污水的处理效果提高, 福勒认为污泥可以去除水中有机物的活性, 这种污泥也成为“活性污泥”。劳伦斯实验室则将污水曝气后产生的污泥丢弃。

活性污泥法的发明改变了人们对污水处理方式的认知, 它不仅可以有效地处理生活污水, 去除其中的有机物质和无机盐, 而且还可有效地处理工业生产中产生的工业污水。

2 公共租界工部局邀请福勒开展的工作

19世纪末, 上海公共租界发展平稳, 抽水马桶开始广泛使用, 由此产生的大量含有粪便的污水通过下水管道进行排放。这些污水不仅对河流造成污染, 还引发了下水道内污物的积聚问题, 对居民正常生活产生了负面影响。更为重要的是, 公共租界自来水厂位于黄浦江下游, 排水口位于黄浦江上游, 因此供水也遭到了污染。这些问题, 工部局董事会^①早在1883年就已经开始关注, 并且提出拒绝将抽水马桶接入排水管网系统的政策^[15]。到20世纪初的这段时间, 工部局多次修改《西式建筑章程》^②中相关规定^[16], 但效果并不理想。

1915年, 工部局工程师戈弗雷(Chas. H. Godfrey)提出将所有的污水进行统一回收, 通过油船将污水池中的粪秽运输到吴淞江, 再将污水排放入化粪池以达到净水的目的^[17]。同时他还主张采用污水农场的方式, 利用污水中含有大量对植物生长有益物质的性质, 将污水排放到一个特定的区域之后, 使污水对种植的卷心菜、甜菜等物质进行施肥的方式处理粪秽^[3], 但这些方式都没有受到工部局的重视。

1917年, 工部局和租界居民矛盾爆发, 租界居民就“抽水马桶合法性”一事将工部局告上法庭, 租界领事公堂审理了诉讼案件^[2]。最终, 工部局败诉, 租界领事公堂要求工部局必须迅速解决抽水马桶和水环境污染问题。在这种情况下, 工部局决定邀请福勒来解决上海面临的水污染问题。4月11日, 工部局工程师向董事会转交了一封福勒的信件。在信件上, 福勒请求相关部门在他到达之前将所有与污水相关的表格、图纸、照片等资料寄给他, 以便他制定相关报告^[18]。

1918年5月, 福勒应邀抵达上海后, 立即开始研究公共租界面临的水环境问题。经过初步调查后, 福勒提出利用黄浦江的潮汐效应来解决这一问题^{[19][22]}。

目前水厂的选址是考虑到其便利性, 并且在定居点的管辖范围之内。为了获得相当纯净的水, 必须只在洪潮时取水, 但由于上海的污染不会在一次潮汐中流入大海, 因此必须有一部分污染返回取水点。只在涨潮时取水的主要好处是可以实现彻底的混合和稀释。

在黄浦江涨潮时, 将水引入自来水厂供应租界; 退潮时, 排水口开始排放污水进入黄浦江。这种方法充分利用了黄浦江的自然特性, 进行间歇性供水和排水。此外, 他还提出寻找新的排水口, 减少排水对供水的污染。

福勒提出的方案遭到了工部局官员海登斯塔姆(von. Heidenstam)的反对。他认为这种方式不能从根本上解决上海的问题。1918年5月24日, 海登斯塔姆写信给福勒, 建议对黄浦江的水文数据进行深入研究, 包括涨潮和退潮对水流的影响。

5月28日至6月3日, 福勒在工部局的相关部门的帮助下, 收集了黄浦江、扬子江等地的水样本。这些样本包括同一天内同一位置不同时段的水样、涨潮和退潮时水中大肠杆菌数量、每毫升水中微生物数量以及在37℃下1h的氧气吸收量。通过对这些测量数据的分析, 福勒发现在不同位置的水样中都存在大量

① 上海公共租界工部局董事会是公共租界的最高决策机构。它的职能包括指导公共租界内的市政、监管警务、制定和修改《土地章程》附律、人员任用、经费安排等。董事会的成员由公共租界纳税人会议选举产生。

② 《西式建筑章程》是一部在上海公共租界时期制定的法规, 主要用于规范西式建筑的设计、施工和管理。

的大肠杆菌^[20]。这导致无论将新的排水口位置如何更换, 都不能解决供水污染的问题。福勒想要换排水口来解决供水污染的问题显然行不通。同时, 福勒在6月1日收到了海登斯塔姆提供的黄浦江水文研究资料^[20]:

福勒博士, 我在5月27日的信中进一步提到了从支流排入黄浦的污水的流向问题, 在扬子浦和岬角附近(都在水厂下面不远)进行了七次试验。看来可以肯定的是, 一个小漂浮物将无限期地保持与岸边几乎不变的距离, 除非它到达离岸边约300英尺(1英尺=0.3048 m, 笔者注)的地方。这个距离似乎是由支流的水流流速决定的, 但据观察, 它的流速不会超过扬子浦河的100或200英尺。如果它到达离河岸500英尺的地方, 它就会进入中游。

这一结论打破了福勒的计划, 退潮时黄浦江的污水扩散能力无法将污水在涨潮之前完全排放干净。采用这种方法来解决上海的水环境问题, 几乎没有效果。于是福勒决定从净化污水的角度来解决上海的问题。

1918年6月12日, 福勒在工部局董事会上作了一份相关报告, 详细介绍了上海的情况, 并提出从“排放”和“净化”两个方面来解决污水问题^[20]:

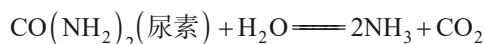
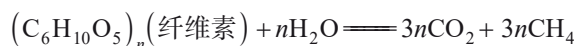
显然, 如果要消除现有的污染并增加输水系统, 就必须有一个既能输送固体污水也能输送液体污水的下水道系统……与此同时, 有必要采取一些临时方法来处理这种情况, 这是通过所谓的污水池(cesspools)和化粪池(septic tanks)来完成的。

由于公共租界的排水管道系统并不适于处理含有固体物质的污水, 因此福勒建议建立一个独立的污水管网系统, 用来输送含有固体物质的污水, 主要用于排放生活污水^[20]。新的污水管网系统需要具备处理含有粪便等固体的能力, 所以需要设计更大的倾斜角度。然而, 上海的地质和土壤条件, 深度挖掘不可行, 福勒决定在中途设置泵站。泵站的作用是将水提升到一定高度, 然后利用下水管道的倾斜角度使污水自然流动。利用这种方法, 能够有效地解决粪秽污水的排放问题。

在净化方面, 福勒提出一种使用连续流动的化粪池进行污水处理。在化粪池中, 污水从化粪池一端流

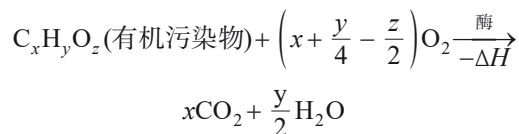
入, 停留在池中一段时间, 同时发生发酵反应并改变其成分, 然后从化粪池另一端流出。这种能够改变污水成分的发酵反应, 就是活性污泥法中的厌氧反应。

厌氧反应作为活性污泥法净化污水流程中的首要步骤, 主要通过厌氧细菌将污水中的纤维素、乳化液和尿素分解为气体和溶于水中的物质。



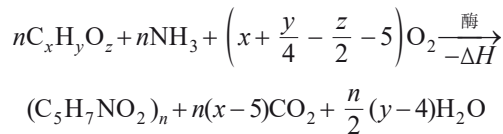
然而, 仅通过厌氧反应处理的污水中仍然含有胶体悬浮物, 在水流中仍然会沉淀。为了将水中的胶体悬浮物处理掉, 在厌氧反应之后还需要进行活性污泥法的第二部分反应——好氧反应。好氧反应是通过向污水中注入大量氧气进行曝气, 将污水中的碳质物质氧化成二氧化碳, 氮质物质氧化成硝酸盐。随后的反应将硝酸盐转化为硝酸。在好氧反应中产生的棕色腐殖质沉淀就是活性污泥。

微生物对一部分有机物进行氧化分解, 最终形成 CO_2 和 H_2O 等稳定的无机物质, 并从中获取合成新细胞物质所需要的能量^{[21]374}:

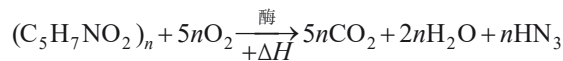


式中, ΔH 代表反应的焓变, 表示反应过程中系统与周围环境交换的热量, $+\Delta H$ 表示反应是吸热反应, $-\Delta H$ 代表反应是放热反应。

另一部分有机污染物为微生物用于合成新细胞, 即合成代谢, 所需能量取自分解代谢^{[21]374}:



微生物在曝气池中还有内源代谢反应^{[21]374-375}:



福勒在报告中提到的“排放”和“净化”的解决方案, 结合在一起就是一套完整的上海水环境问题的解决方案——喷射式污水排放系统。工程师戈弗雷同意福勒的提议, 并提出建立一个联合委员会, 专门负

责处理水和污水问题, 并且随时准备处理紧急情况^{[19]223}。

经过对上海环境的考察研究, 福勒最终提出采用活性污泥法污水处理技术来解决上海面临的水环境问题。同时, 福勒在考虑解决上海问题时, 采取了全局性的视角, 通过全面了解上海的整体情况之后, 提供了解决方案。他与工部局治标不治本的想法不同, 也不会“低估他们(工部局)未来的需求, 即使他们(工部局)认真考虑过未来^[20]”。他强调:“无论是当前的决策还是将来的规划, 都应该成为深思熟虑的整体计划的一部分, 该计划应该能够满足上海, 包括法租界和华界在未来50年内的需求^[20]。”

3 对活性污泥法技术的适用性研究

1918年6月17日, 福勒受邀参加工部局卫生委员会的会议, 对“喷射式污水排放系统”的可行性进行了研究^[18]。委员会强调, 在决定是否采用此类系统之前, 必须对其进行全面的考虑和审查^[20], 所以这项计划可能需要数年时间才投入使用。与此同时, 抽水马桶的需求不断增长。因此, 当前迫在眉睫的问题是当前如何有效地处理这些污水。

针对这些问题, 福勒在会议上提到几个解决方案^[20]:

(1) 现有的排空污水池的方法可以改进, 最重要的是, 它应该足够大并且每天清空。

(2) 在任何情况下, 建造化粪池必须安装“好氧过滤器”, 即使有了这些过滤器, 也只能作为一种权宜之计, 而且与住宅的距离不应超过100英尺。

(3) 由于需要清除的污水量大幅增加, 在采用适当的污水处理方案之前, 通过雇用更多的苦力对厕所进行持续监督, 可能会有所改善。

好氧过滤器由碎石及其他材料组成, 当液体流入过滤器时, 液体经过长时间与过滤材料接触发生了有氧反应, 之后水流从过滤器底流出, 水流就完成了简单的净化, 并且可以进行排放。虽然经过处理的污水仍然会含有细菌, 但对河流危害性很小。

同年7月8日, 戈弗雷对福勒的报告进行研究之

后, 他对福勒的想法表示赞同。并提出了关于活性污泥法方案的建议, 认为有必要将所有的公共旱厕改为使用抽水马桶, 并通过喷射器将污水排放到活性污泥处理系统中。戈弗雷早在1915年就提出过与福勒相似的意见^[22], 但当时没有得到工部局的重视。但戈弗雷的报告中没有考虑到卫生委员会不愿放弃从家庭和公厕中收集粪便以获取收入的问题, 所以他的报告只提到污水池的方案。

最终, 工部局董事会委员们对福勒的报告、各部门的意见以及卫生和工务委员会的建议进行审议之后, 决定采用“喷射式污水排放系统”结合活性污泥法的排污计划。但他们明确指出, 鉴于现有设施中恶臭问题的加剧, 有必要采取一个小规模的方案设计进行实验, 并与主要方案最终进行结合^[23]。虽然工部局对活性污泥法有了一定的了解, 但是对其在上海的适用性、应用情况、建设预算等情况并不了解。

1918年11月30日, 工部局决定派遣戈弗雷前往美国和加拿大对使用活性污泥法的城市进行考察, 以确保方案的可行性和有效性^{[24]291}。

戈弗雷抵达芝加哥后, 获得了兰登·皮尔斯(Langdon Pierce)提供的一份最近对沃斯堡(Fort Worth)、圣马科斯(San Marcos)和休斯敦(Houston)污水处理厂的视察报告。戈弗雷在他给工部局的报告中提到^{[24]292}:

从工程运行和施工过程的检查中获得的经验, 以及负责人如此礼貌地提供给我的信息, 都是最有价值的。我带回了大量关于污水处理问题的最新文献, 这些文献将用于准备上海方案的细节, 但由于本报告只是我调查的总体概况, 我将推迟讨论技术细节, 直到准备好最终报告。

戈弗雷访问芝加哥期间, 其卫生区建设了一座大型活性污泥处理厂, 用于处理德斯普兰河(Desphorand River)地区的污水。与此同时, 芝加哥卫生区的污水处理厂还将余下的活性污泥用作农业肥料, 并从中获得一些收益。针对这一点, 戈弗雷强调工部局不要依据这种情况来决定使用活性污泥法。他

认为, 首要考虑的是如何有效地处理污水, 而不是追求经济利益^{[23]292}。他在对波士顿、密尔沃基、纽约、华盛顿等城市考察期间, 主要关注解决公共租界定居点周围因生活污水引起的视觉和气味问题, 同时也着重考虑了在进行污水处理时如何避免进一步污染黄浦江及其支流。

戈弗雷的考察对于上海公共租界应用活性污泥法具有极其重要的意义。考察期间, 他积极向美国的有关专家和工程师交流上海的情况, 并征求他们的意见。由于上海的情况的特殊性, 大多数美国的专家和工程师并未直接经历过类似的情况。尽管如此, 他们对于上海的问题都表现出浓厚的兴趣, 并与戈弗雷进行交流, 以期解决上海独特的平坦地形和底土不稳定等方面的问题。

在考察密尔沃基的过程中, 戈弗雷注意到密尔沃基的污水问题与上海存在许多相似之处。活性污泥法作为一种生物处理污水的方法, 污泥中的生物活性至关重要。温度作为一个影响活性污泥的重要因素, 受到了工部局的关注。戈弗雷也对此进行了考察^{[23]292}。

没有接到密尔沃基有极端天气的报告, 而且其气温范围与多伦多几乎完全相似。因此, 不需要担心上海生活污水处理会受到明显不利影响, 因为与多伦多相比, 大气温度的任何下降都是微不足道的, 而污水本身的温度在任何情况下都可以忽略不计。

但戈弗雷在美国和加拿大的考察只进行了两个月, 没有对活性污泥法在一年内的运行情况进行详细考察。从1924年上海步枪靶场污水处理厂的每月数据(表1)可以明显看出, 由于不论是索金江(Sawginkiang)还是虹口浜(Hongkew Creek), 夏季水中的溶解氧明显低于冬季水中的溶解氧, 并且低于全年平均值。于是在表1中可以看到, 上海工部局采取了一种抵消活性污泥活性下降的方式, 即在冬季每日处理的水量上进行相应的减少。

经过对美国 and 加拿大的考察, 戈弗雷对活性污泥法在污水处理中的应用情况有了一定了解。同时, 美国 and 加拿大的许多城市在使用活性污泥法之前, 都进行过实验, 同时取得了显著的成效, 例如他在寄给工

表1 1924年步枪靶场污水处理厂处理量以及水样中溶解氧的吸收量^[25]

Table 1 Processing capacity of the Rifle Range Sewage Treatment Plant in 1924 and the absorption of dissolved oxygen in water samples^[25]

月份	平均日流量/gal	溶解氧浓度/(10 ⁻⁵ mg/L)			
		未经处理的污水 ^①	废水 ^②	索金江 ^③	虹口浜 ^④
1月	199000	27.33	1.55	7.41	4.77
2月	189000	33.98	1.53	5.54	5.24
3月	199000	24.6	2.73	5.29	4.5
4月	210000	31.26	2.19	4.55	3.1
5月	257000	22.15	1.21	2.9	1.69
6月	303000	16.1	1.11	2.91	1.54
7月	313000	—	0.78	3.17	1.71
8月	332000	7.9	1.24	1.83	1.33
9月	348000	7.4	0.82	0.98	1.18
10月	281000	13.53	0.85	1.7	2.13
11月	249000	18.8	2.2	4.93	4.27
12月	241000	19.04	1.82	5.12	8.22
平均	259000	21.52	1.5	3.86	3.31

①每月在相同点位取样181个;
②每月在相同点位取样647个;
③每月在相同点位取样637个;
④每月在相同点位取样598个。
注: 1 gal=3.7854 L; 测量条件是在21℃下, 测量5 d取平均值。

部局的信件中提到, 密尔沃基在活性污泥实验上投入了25万美元并正在建设一座大型活性污泥处理厂。所以他认为要使活性污泥法在污水处理中发挥高效作用, 需要进行大量的实验和调查工作^{[24]292}。

实验工作和数据收集是非常重要的, 无论采用何种污水处理方法来解决上海面临的水环境问题, 都需要进行这些工作。因此, 戈弗雷建议立即开始实验工作, 同时, 在实验过程中准备所有污水处理计划中所需的所有数据。

戈弗雷的建议非常重要, 对黄浦江的水进行细菌和化学分析, 确定这些用于排放污水的河流的性质。并且, 通过这些数据分析, 可以更好地了解污水排放对周边水体的影响, 包括水质和生态系统的变化。这样的数据对于制订污水处理计划和预测污水处理厂建成后对水质的改善至关重要。

4 活性污泥法技术在公共租界落地

1919年8月8日,卫生委员会^①和工程委员会^②召开了一次联席会议,会议结合戈弗雷的报告,详细讨论了上海当时的情况^{[24][29]}:

工程师在扩充他的报告时引用了一些数字,显示待处理的抽水马桶污水量迅速增加,并制作了图表,在图表上指出了几个现有的设施,以及需要清除的污水池内容物的数量不断增加,而目前可用的方法无法妥善处理这些污水。

尽管当时没有详细的数据或估算可用,但戈弗雷列出了公共租界初步应用活性污泥法的措施。这些措施根据公共租界中央区需要处理的污水量出发,包括下水管道的布设、提升泵站和污水处理厂的建造以及整个工程的预算等^[26]。这些措施得到了董事会的认可,但是需要戈弗雷做出一套完整的计划和预算,经过董事会们详细审定之后才可以进行。

于是,为了解决当下的问题,1919年,工部局在扬州路建造了第一座污水处理实验室,进行小范围活性污泥法的实验,后又在汇山码头、开纳路、欧阳路建造三座实验室^[27]。由于粪秽不允许排放入下水管道,这四座污水处理厂的污水全部由真空罐车将污水池中的污水运送到实验室进行处理。并且经过处理后的污水需要经过检测,合格之后再通过真空罐车运输后进行排放。经过实验室处理后的污水呈淡黄色,并且没有剧烈刺鼻性气味^[26]。

活性污泥实验室对污水的处理仅仅是通过活性污泥法对污水进行生物处理,所以排出污水的性质足以证明活性污泥法能够解决上海污水问题。结果显示良好,因此实验继续进行了下去。工部局总卫生化验师珀西·冈特(Percy Gaunt)针对活性污泥的实验是非常成功的,他认为就现在公共租界对活性污泥法的掌握程度来看,足以解决上海面临的污水问题^[25]:

这些污水处理厂所处理的污水,在强度和新鲜度方面,可以说是较大型污水处理厂所能达到的极端水

平的典型代表,所取得的成果表明,任何可行的净化程度都是可以保证的,其成本与污水的强度成正比,而且完全不会造成局部污染。

1921年,随着活性污泥实验的顺利进行,工部局决定将欧阳路污水处理实验室改建为污水处理厂,用于处理公共租界内中央区的污水。但是工部局根据建造污水处理厂及下水管道的经济性考虑之后,决定建造三个污水处理厂处理租界内污水。于是又在本纳路以及公共租界东端各建立一个污水处理厂^[28]。这三个污水处理厂都采用活性污泥法进行污水处理,并且在设计图纸、用于活性污泥法作业设备采购方面都基本相似。而工部局决定建造三个污水处理厂的主要原因是经济问题的考虑。

综上,可以看出,工部局对于福勒提出的利用活性污泥法来解决上海水环境问题的提议非常重视,无论是在多次会议上讨论,还是派遣工程师对活性污泥法的应用进行考察,都体现了工部局对活性污泥法的支持和认同。正是由于对活性污泥法传入的积极性和严谨程度,直接促进了活性污泥法在中国的首次传入。

5 结论

20世纪初,活性污泥法污水处理技术的传入是工部局保护和改善公共租界环境至关重要的解决途径,也是近代西方技术引进的重要探索。活性污泥法在上海的传入是西方近代污水处理技术首次传入我国。其传入过程具体表现为三个阶段,分别是提出方案、调研与选择、探索实践模式。

在提出方案阶段,福勒在工部局的邀请下,建议利用活性污泥法解决租界污水问题。虽然福勒对上海的情况有着实地的考察和研究,但方案的提供依旧建立在理论和经验之中。值得肯定的是,这是活性污泥法第一次传入中国,并且为工部局之后解决上海污水问题提供了实质性的方向。在调研和选择阶段,工部

① 卫生委员会是上海公共租界工部局下属的一个行政部门,主要负责公共租界的公共卫生管理。它的职责包括环境卫生、垃圾处理、粪便清除等方面的工作。

② 工程委员会(也被称为工务委员会)是上海公共租界工部局下属的一个专门委员会,主要负责公共租界的市政工程和基础设施建设。它的职责包括规划和监督道路、桥梁、下水道等公共设施的建设和维护。

局开始自主对活性污泥法进行研究, 其中包括对活性污泥法方案适用性的研究、对应用活性污泥法的西方城市进行技术的考察和学习, 以及活性污泥法的本土实验。工部局真正对活性污泥法有了了解, 为之后污水处理厂的建立奠定了基础。在探索实践阶段, 工部局开始着手建立应用活性污泥法的污水处理厂, 包括拨款、选址、东区污水厂的建设情况和应用情况等。

活性污泥法的引入在上海公共租界的污水处理中扮演了关键的角色。通过采用这一技术, 不仅改善了公共租界的水污染问题, 同时, 由于污水的合理排放和有效处理, 公共租界的建设和发展也因此得到了提

升。生活污水处理方式的改变, 逐渐改变着人们对旱厕的认识。随着抽水马桶开始代替旱厕, 城市建设、城市环境、公共卫生等多领域都随之发生改变, 促进了上海的城市现代化进程。

上海公共租界工部局引进活性污泥法水处理技术, 是西方先进技术进入近代中国的一则典型案例, 反映了先进技术被引入的一般特点。活性污泥法的引入, 只是在上海租界内, 对上海租界外的影响程度有限; 技术的引进完全由外国人运作, 对中国人掌握此项技术几乎没有产生积极的作用, 这是此项技术引入的局限性。

参考文献

- [1] 胡昌新. 上海水史话[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2006.
Hu C X. History of Water in Shanghai[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2006.
- [2] 马长林. 上海的租界[M]. 天津: 天津教育出版社, 2009.
Ma C L. Concession in Shanghai[M]. Tianjin: Tianjin Education Press, 2009.
- [3] 沈辛成. 生活污水系统在上海公共租界的形成: 兼论公共卫生研究中的现代性误区[J]. 史林, 2019(1): 14-24, 218.
Shen X C. The creation of sanitary sewage system in Shanghai's international settlement[J]. Historical Review, 2019(1): 14-24, 218.
- [4] 乔飞. 上海租界排水系统的发展及其相关问题研究(1845—1949年)[D]. 上海: 复旦大学, 2007.
Qiao F. Study on the development of drainage system in Shanghai concession and its related problems (1845—1949)[D]. Shanghai: Fudan University, 2007.
- [5] 张泰山. 民国时期国人对公共卫生建设的认识[J]. 安徽史学, 2008(5): 46-54.
Zhang T S. People's understanding about the sanitation construction during the era of the Republic of China[J]. Historical Research in Anhui, 2008(5): 46-54.
- [6] 何小莲. 论中国公共卫生事业近代化之滥觞[J]. 学术月刊, 2003, 35(2): 61-67.
He X L. On the origin of modernization of public health in China[J]. Academic Monthly, 2003, 35(2): 61-67.
- [7] 陈蔚琳. 晚清上海租界公共卫生管理探析(1854—1910)[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
Chen W L. The analysis on public health management in Shanghai international concession, 1854—1910[D]. Shanghai: East China Normal University, 2005.
- [8] 查尔斯·辛格, 特雷弗·I·威廉斯. 技术史 第4卷 工业革命 约1750年至约1850年[M]. 辛元欧, 刘兵, 译. 上海: 上海科技教育出版社, 2004: 349-350.
Singer C, Williams T I. A History of Technology, Volume 4: the Industrial Revolution, c. 1750—c. 1850[M]. Oxford: Oxford University Press, 1958.
- [9] Alleman J, Prakasam T. Reflections on seven decades of activated sludge history[J]. Water Pollution Control Federation, 1983, 55(5): 436-443.
- [10] Watson H B, Watson H E, Bennett G M. Obituary notices: Alan Edwin Bradfield, 1897—1953; Gilbert John Fowler, 1868—1953; Samuel Smiles, 1877—1953[J]. Journal of the Chemical Society (Resumed), 1953: 4189-4200.
- [11] Fowler G, Mumford E M. Preliminary note on the bacterial clarification of sewage[J]. Journal of the Royal Sanitary Institute, 1913, 34(10): 497-500.
- [12] Ramaswamy K. The science of Gilbert Fowler[EB/OL]. [2020-12-29] (2023-09-30). <https://connect.iisc.ac.in/2020/12/the-science-of-gilbert-fowler/>.

- [13] Ardern E, Lockett W T. Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters[J]. Journal of the Society of Chemical Industry, 1914, 33(10): 523-539.
- [14] 高久珺. 城市水污染控制与治理技术[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2020: 70.
Gao J J. Urban Water Pollution Control and Treatment Technology[M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 2020: 70.
- [15] 上海市档案馆. 工部局董事会会议录(第8册)[M]. 上海: 上海古籍出版社, 2001: 516.
Shanghai Archives. Minutes of Board Meeting of Ministry of Industry and Information Technology[M]. Shanghai: Shanghai Classics Publishing House, 2001: 516.
- [16] 焦存超, 陈业新. 上海公共租界工部局拒绝新式粪便处置系统的原因探析[J]. 上海交通大学学报(哲学社会科学版), 2016, 24(6): 84-93.
Jiao C C, Chen Y X. Reasons for rejecting the new system of night soil disposal by Shanghai municipal council[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University (Philosophy and Social Sciences), 2016, 24(6): 84-93.
- [17] Godfrey H C. Water closets: Sewage systems[N]. The Municipal Gazette, 1915, VIII (419): 252.
- [18] 上海市档案馆. 工部局董事会会议录(第20册)[M]. 上海: 上海古籍出版社, 2001: 619.
Shanghai Archives. Minutes of Board Meeting of Ministry of Industry and Information Technology[M]. Shanghai: Shanghai Classics Publishing House, 2001: 619.
- [19] Gilbert John Fowler. Sewage disposal and water supply[N]. The Municipal Gazette, 1918-7-12(583).
- [20] 上海公共租界工部局工务处建造东西区污水处理实验室的函件[A]. 上海: 上海市档案馆, 全宗号U1, 卷宗号14-2590.
Letter From the Works Committee of The Municipal Council of International Settlement of Shanghai on The Construction of The Eastern and Western Sewage Treatment Laboratory[A]. Shanghai: Shanghai Municipal Archives, U1-14-2590.
- [21] 范瑾初, 金兆丰. 水质工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
Fan J C, Jin Z F. Water Quality Engineering[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [22] Godfrey H C. Sewage disposal and water supply: municipal engineer's report[N]. The Municipal Gazette, 1919, XII(616): 43.
- [23] Shanghai Municipal Council. Sewage disposal and water supply[N]. The Municipal Gazette, 1918, XI(584): 236.
- [24] Godfrey H C. Sewage disposal: engineer's report[N]. The Municipal Gazette, 1919, XII(648): 291-296.
- [25] Gaunt P. Sewage treatment and disposal: report of chief sanitation chemist[N]. Annual Report of the Shanghai Municipal Council, 1924: 302.
- [26] Godfrey H C. Sewage disposal[N]. The Municipal Gazette, 1919, XII(667): 424.
- [27] 《上海市政工程志》编纂委员会. 上海市政工程志[M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1998: 266.
Compilation Committee of Shanghai Municipal Engineering Journal. Shanghai Municipal Engineering Journal[M]. Shanghai: Shanghai Academy of Social Sciences Press, 1998: 266.
- [28] Godfrey H C. Sewage disposal: proposed sewerage scheme[N]. The Municipal Gazette, 1921, XIV(767): 329.

Early Introduction and Practice of Activated Sludge Sewage Treatment Technology in Shanghai

Xu Ziqin, Duan Hailong*

Institute of History of Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

Abstract: In 1917, the Shanghai International Settlement's Municipal Council invited British chemist Gilbert John Fowler to Shanghai to assess the water quality and urban environment within the settlement. Fowler proposed a wastewater treatment solution using the activated sludge process. After understanding and mastering the activated sludge technology, the Municipal Council decided to apply it in the Settlement.

The article uses archival documents to study the introduction, proposal, research, selection, and exploratory practice of wastewater treatment technology in the Shanghai International Settlement. It is divided into four main parts:

(1) The invention of the activated sludge process is outlined. In 1914, Gilbert John Fowler, along with his students Edward Arden and William T. Lockett, conducted experiments on activated sludge, turning wastewater clear and producing a nitrogen-rich substance—activated sludge.

(2) The proposal and selection of wastewater treatment solutions are studied. The widespread use of flush toilets led to severe water environmental problems. In response, the Municipal Council began seeking solutions. In 1918, Fowler was invited to Shanghai by the Council, where he proposed using the activated sludge process to address Shanghai's water issues based on the local environment.

(3) The suitability of the activated sludge process as examined by the Municipal Council is analyzed. In 1919, following Fowler's proposal, the Council's board studied its feasibility and dispatched engineer Chas. H. Godfrey to research the activated sludge process.

(4) The application of the activated sludge process by the Municipal Council is discussed. In 1919, the Council began small-scale experiments with the activated sludge method, constructing four experimental wastewater treatment plants. The experiments proved that the activated sludge process could solve the wastewater issues, and Percy Gaunt was hired as a new sanitary chemist to work on wastewater treatment.

During this period, the introduction of wastewater treatment methods in the Shanghai International Settlement underwent a process of proposal, research, selection, and exploratory practice. The introduction of the activated sludge wastewater treatment technology by the Municipal Council is a typical example of Western advanced technology entering modern China. The study of the introduction, assessment, exploration, and application of Western wastewater treatment technology in Shanghai provides a model for technological introduction and reflects the general characteristics of advanced technology adoption. However, the impact of the activated sludge method was limited to within the Settlement; its introduction was entirely operated by foreigners, which hardly enabled Chinese to master the technology, marking a limitation of this technological introduction.

Keywords: wastewater treatment; Shanghai public concession; activated sludge process; technology introduction