



2022 北京国际模拟联合国大会
Beijing International Model United Nations 2022

背景文件

Background Guide

联合国环境规划署

United Nation Enviromental Programme

议题：全球城市废水处理问题与治理

目录

1 欢迎辞	4
2. 联合国环境规划署	6
2.1. 简介	6
2.2. 资金来源和资金用途	6
2.2.1 灵活资金	6
2.2.2 专项资金	7
2.3. 责任与职能	8
2.4. 基本架构	8
3. 城市废水基本概念	9
3.1. 定义	9
3.1.1 废水与污水	9
3.1.2 城市废水的组成特点	10
3.2. 分类	11
3.2.1 工业废水	11
3.2.2 生活废水	12
3.2.3 其他废水	13
4. 城市废水处理机制分析	14
4.1. 各国排放标准的异同	14
4.2. 城市废水排放的监管	17
4.2.1 监测参数	17
4.2.2 监测频率	17
4.2.3 监测地点	18
4.2.4 数据质量	18
4.3. 常见废水处理方法	19
4.3.1 工业废水	19
4.3.2 生活废水	20
4.4. 对于废水意外泄漏所采取的应急措施	20
4.4.1 迅速控制事态	21

4.4.2 消除事故后果，做好现场恢复	21
4.4.3 查清泄漏原因，评估危害程度	21
4.5. 全球水质监测	22
5. 治理城市废水问题所面临的挑战	25
5.1. 排放标准问题	25
5.1.1 相邻城市间排放标准的不统一	25
5.1.2 国际协调问题	27
5.1.3 监管与惩处机制问题	27
5.2. 城市管网建设问题	28
5.2.1 城市管网的歧视性分布	28
5.2.2 调整成本较高	29
5.3. 废水处理技术普及问题	30
5.4. 信息收集与数据统计问题	32
6. 可能的解决措施	33
6.1. 国内层面：加强国内废水治理能力	33
6.1.1 废水处理能力建设	33
6.1.2 立法与执法能力	35
6.2. 国际层面：通过国际合作提高全球范围废水治理能力	36
6.2.1 国家间的双边与多边合作	36
6.2.2 联合国环境规划署所采取的行动	37
6.2.3 其他相关国际机构、组织或机制	38
7. 国家立场分析：如何定位国家立场	40
7.1. 水与可持续发展问题在国家战略定位中作用	40
7.2. 定位国家的水外交战略	41
7.3. 定位国际公共产品对本国的利益	41
8. 思考问题：	42

1. 欢迎辞

尊敬的各位代表：

欢迎来到“命运与共，奋楫前行·2022 年北京国际模拟联合国大会”，感谢你们选择联合国环境规划署——全球城市废水处理问题与治理，委员会主席团全体成员在此欢迎你们的到来！祝愿你们可以在本次会议中可以深入了解“全球城市废水处理问题与治理”议题并在参会过程中有所收获。也希望你们在参与多边外交模拟、体验外交外事活动的同时，为解决全球城市废水问题提供不一样的青年声音。为全球水资源保护、世界可持续发展，推动生态文明建设作出贡献。

20 世纪以来，随着工业化的不断推进，全球城市化率在不断提高。然而，与此同时，不当排放城市污水造成的不良影响与日俱增，快速城市化给城市的淡水供应、污水与废水处理、生活环境与公共卫生都带来了十分巨大的压力。

在人与自然关系日益严峻的当下，人类也进一步觉醒。1987 年，世界环境与发展委员会发布了《我们共同的未来》报告，首次提出“可持续发展”的概念，即“既能满足当代需要，又不会对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。这一概念在 1992 年的联合国环境与发展会议上被广泛采纳。在可持续发展概念指导下，推动城市污水治理、建设可持续发展的城市水系统，便成了为全球水资源和城市可持续发展的重要议题。

尽管联合国和世界各国已经做出了许多努力，全世界依然面临着严重的水问题。根据联合国儿童基金会和世界卫生组织在 2019 年发布的报告，全球数十亿人仍然难以获得水卫生保障。全世界约有 22 亿人没有安全管理的饮用水服务，42 亿人没有安全管理的环境卫生服务，30 亿人缺乏基本的洗手设施。¹ 除此之外，由于缺少有效的处理，人类活动产生的废水超 80% 未经处理就排放到河流或海洋。² 这进一步加剧了全球面临的水资源危机。

为应对日益严峻的城市污水问题，联合国在其工作战略中多次提及了城市废水问题。在可持续发展概念的指导下，2000 年，联合国推出了“联合国千年发展目标”（MDGs）。2015 年，在 MDGs 的基础上推出了《2030 可持续发展议程》（SDGs）。在 SDGs 中，城市废水应对问题继续在多个议程项目下被提及。其中目标 6 为“为所有人提供水 and 环境卫生并对其进行可持续管理”、目标 11“建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区”直接指导了城市废水治理的总方向和长远目标。

¹ WHO, UNICEF, “1 in 3 people globally do not have access to safe drinking water – UNICEF, WHO”, <https://www.who.int/news/item/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water-unicef-who>, 最后访问时间：2022/1/7.

² United Nations, “Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all”, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>, 最后访问时间：2022/1/7.

联合国环境规划署（UNEP），作为联合国系统内负责全球环境事务的牵头部门和权威机构，有责任激发、提倡、教育和促进全球资源的合理利用并推动全球环境的可持续发展。作为全球环境的权威代言人，它有义务、有责任为全球城市废水的治理提供一个有建设性的方案与政策建议，并且促进全球协调一致地实现可持续发展。

在本次会议中，各位代表作为各国的外交官，应着眼于推动打造全球可持续发展的城市废水处理体系，从而促进人与自然间的可持续发展。为推动全球水资源的可持续利用和《2030可持续发展议程》的最终完成提供自己的力量。而这需要每一位代表的倾情付出。

让我们携起手来，创造一个更加绿色和可持续发展的地球。

联合国环境规划署主席团

2022年1月7日

2. 联合国环境规划署

2.1. 简介

联合国环境规划署（UNEP），简称联合国环境署，是全球环境领域的牵头机构，负责制定全球环境议程，促进联合国系统内连贯一致地实施环境可持续发展层面相关政策，并承担全球环境权威倡导者的角色。³

联合国环境规划署的工作使命是通过信息告知、采用各种形式的激励手段和国际赋权等方式，确保各国人民在不损害子孙后代生活质量的前提下提高自身的生活质量，与各个国家建立国际伙伴关系，从而共同关爱我们的环境。⁴

20 世纪 50 至 60 年代是环境污染和生态破坏日益严重的时期，人类面临的环境挑战已经呈现全球化、国际化的趋势。1972 年 6 月第一次人类环境与发展会议在瑞典首都斯德哥尔摩召开，会上发表了人类环境宣言并决定在联合国框架下成立一个负责全球环境事务的组织，统一协调和规划有关环境方面的全球事务，联合国环境规划署由此诞生成立。截止到目前，联合国 193 个成员国全部为联合国环境规划署成员，其中 58 个国家为其理事会成员。

2.2. 资金来源和资金用途

值得注意的是，联合国环境规划署的行动资金主要来自成员国捐款，占到资金收入的 95%。⁵ 这些自愿捐款拥有两种用途：灵活资金和专项资金。运用这些资金，联合国环境规划署支持全球环保项目的开展以及相关多边外交行动的开展。

2.2.1 灵活资金

灵活资金的核心来源是环境基金。环境基金是联合国环境规划署全球工作最重要的资金来源。它构成了联合国环境规划署执行工作方案的基本能力，由 193 个会员国资助。环境基金主要用于：

3 UNEP:《关于联合国环境规划署》，《为什么联合国环境规划署重要》，<https://www.unep.org/zh-hans/guanyulian-heguohuanjingshu/weishenmelianheguohuanjingshuzhongyao>，最后访问时间：2022/1/8。

4 同上，最后访问时间：2022/1/8。

5 UNEP: “Funding and partnerships”，<https://www.unep.org/about-un-environment-programme/funding-and-partnerships>，最后访问时间：2022/1/10。

- 执行联合国环境规划署所负责的环境专题方案；
- 审议现有的环境问题，帮助决策者可以将其政策转化为实际行动，将现有的最先进科学知识转化为与决策相关的信息，帮助弥合科学与政策的鸿沟；
- 支持环境署下属专家小组评估和识别新出现的环境问题；
- 组织联合国环境规划署下属的科学政策平台（science-policy platforms）⁶，联合全球科学家、政府、工厂企业、国际组织以及公民社会；
- 支持创新以应对环境挑战；
- 宣传以提高全球对环境问题的认识；
- 支持应对环境问题的能力建设和创新技术转让；
- 组织联合国环境大会推进全球环境议程；
- 提供秘书处和下属监督机制的所需的资金。⁷

2.2.2 专项资金

专项资金在联合国环境规划署的资金来源中起到补充作用。专项资金主要指那些给予或指定用于特定项目、主题、国家等的资金。利用这些资金，联合国环境规划署能够在更多国家和更多合作伙伴间扩展和执行他们的环境的计划。



图 1：2020 年前 15 项专项资金去向⁸

⁶ 科学政策平台是 UNEP 为全球治理搭建的多边对话平台，主要有：政府间气候变化专门委员会（气专委）、国际资源小组、生物多样性和生态系统服务政府间科学政策小组、气候与清洁空气联盟、绿色增长知识平台、环境直播平台。

⁷ UNEP: “Environment fund”, <https://www.unep.org/about-un-environment-programme/funding-and-partnerships/environment-fund>, 最后访问时间：2022/1/10.

⁸ UNEP: “Earmarked Contributions”, <https://www.unep.org/about-un-environment/funding-and-partnerships/funding-facts/earmarked-contributions>, 最后访问时间：2022/1/10.

2.3. 责任与职能

联合国环境规划署的工作主要划分为以下七大领域：气候变化，灾害与冲突，生态系统管理，环境治理，化学品与废物，资源效率和环境审查。其有责任与义务在这七大类领域履行其职责。

联合国环境规划署应履行的主要职责是：

- 利用现有最佳科技能力来分析全球环境状况并评价全球和区域环境趋势，提供政策咨询，就各类环境威胁提供早期预警，并促进和推动国际合作与行动；
- 制定旨在实现可持续发展的国际环境法并促进其实施，包括协调现有的各项国际公约；
- 促进采用以商定的行动以应对新出现的环境挑战；
- 利用环境署的相对优势和科技专长，加强在联合国系统中环境领域活动的协调作用，并加强其作为全球环境基金执行机构的作用；
- 促进人们提高环境意识，为执行国际环境议程的各阶层行动者之间进行有效合作提供便利，即作为国家和国际科学界决策者之间有效的联络人；
- 在环境体制建设的重要领域中为各国政府和其他有关机构提供政策和咨询服务。

2.4. 基本架构

联合国环境大会作为联合国环境规划署的理事会存在。联合国环境大会实行普遍会员制，联合国环境规划署目前由 193 个会员国组成，大会由其中 58 个会员国构成。环境大会每两年举行一次会议，确定全球环境政策的优先事项，并制定国际环境法。大会通过其决议和行动呼吁，发挥领导作用，推动就环境问题采取的政府间行动。

联合国环境署由以执行主任为核心的高级管理团队实施管理。并通过各业务司、区域或国家联络处、办事处以及不断发展壮大的合作中心网络开展工作。联合国环境署同时也主管多项环境协定的实施，承担秘书处或机构间协调主体的职责。

3. 城市废水基本概念

3.1. 定义

污水与废水的区别较小，但在联合国文件中对应不同的翻译。不过也不必过于追究定义的细小区别，做到明确城市水治理应解决的对象即可。在多数情况下，两种定义可以交叉使用，但在专业的报告中仍需区分。

3.1.1 废水与污水

废水 (Wastewater)，一般指使用过的水（如在制造过程中使用过）。⁹ 在联合国官方文件中“Wastewater”一词一般被翻译为废水。城市废水一般分为三大类家庭生活废水、商业废水和工业废水。除以上外，废水还包括风暴、雨水和其他城市地表径流。在常识判断中偏向于认为，雨水导致的地表径流是干净的，但事实并非如此。这些径流中冲刷走停车场和屋顶的有害物质，这会给河流和湖泊带来很大伤害。¹⁰ 由于废水的成分都在不断变化，因此很难确定这个词本身的单一定义。

污水 (Sewage)，一般是指在生产生活中排放的水的总称。¹¹ 其最原本的含义是“垃圾液体或通常由下水道带走的废物”。¹² “污水”多用于描述家庭住宅产生的所有类型的废水。污水有两种类型：黑水和灰水。灰水来自于淋浴、浴缸、漩涡浴缸、洗衣机、洗碗机和厨房水槽以外的水槽。黑水来自厕所和厨房水槽。¹³ 黑水和灰水具有不同的特性，但都含有需要处理的污染物和致病因子，因此都需要进行统一收集和处理。

尽管通常情况下，“废水”和“污水”经常互换使用，但两者在本义上存在差异。事实上，污水的概念是废水概念的一个子集。但在长期的使用中，废水与污水的概念逐步混淆，不再十分严谨地区分。在中文中与英文的对照翻译中经常被混用，因此在中英文对照时需要注意。

⁹ Merriam-Webster, “Wastewater”, “Definition of wastewater”, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/wastewater>, 最后访问时间: 2022/1/13.

¹⁰ USGS, “Wastewater Treatment Water Use Completed”, By Water Science School, June 18, 2018, <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/wastewater-treatment-water-use>, 最后访问时间: 2022/1/13.

¹¹ 中华人民共和国生态环境部:《中华人民共和国污水排放标准》, https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/shjbh/swrwpfbz/199801/t19980101_66568.s.html, 最后访问时间: 2022/1/13.

¹² Merriam-Webster, “sewage”, “Definition of sewage”, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/sewage>, 最后访问时间: 2022/1/13.

¹³ UNL, “Wastewater - What Is It?”, <https://water.unl.edu/article/wastewater/wastewater-what-it>, 最后访问时间: 2022/1/13.

3.1.2 城市废水的组成特点

废水的主要成分依然是水。其他的物质仅占废水的一小部分，但其总量可能足以危及公众健康和环境。城市中居民生活、工业、医疗、服务业等多样化的用水方式，使得城市废水污染物种类多、数量大、危害大。

细菌与病原体

首先，大量的细菌与病原体存在于废水当中。这些微生物几乎可以从任何地方进入废水当中，可能的来源包括医院、学校、公共厕所和食品加工厂。一些与废水相关的疾病相对常见。比如可由废水中的多种病原体引起的胃肠炎、可能由隐孢子虫引起的其他疾病等。其他主要的废水相关疾病包括甲型肝炎、伤寒、脊髓灰质炎、霍乱和痢疾。¹⁴ 这些疾病的暴发可能是由于饮用水井被废水污染，食用受污染的鱼类或在受污染的水域中进行娱乐活动。

有机物

并且，城市废水中含有大量的有机物，它们进入湖泊、溪流和海洋等水域对于水体生态环境是十分危险的，因为生物体使用水中的溶解氧来分解废物。这会减少或耗尽水生生物所需的水中的氧气供应，导致鱼类死亡以及气味和水质的整体退化。¹⁵ 分解废水中废物所需的氧气量被称为生化需氧量（BOD），是用于评估整体废水强度的测量值之一。同时，一些有机化合物比其他化合物更稳定，不能被生物体快速分解，这给环境恢复带来了额外的挑战。

无机物

除有机物外，无机矿物、金属和化合物，在城市废水中都很常见。它们可以有多种来源，包括工业和商业来源、雨水以及破裂管道的流入和渗透。大量的无机物质会污染土壤和水。其中一些物质对动物和人类有害，并可能积聚在环境中，引发长期影响。因此，通常需要额外的处理步骤来从废水源中去除无机材料。

其他营养物质

由于城市绿化使用和其他工业生产的排放，城市废水中往往含有丰富的养分，这些养分可能以硝酸盐和磷酸盐的形式存在。对于水生生物体来说，其生长只需要少量的营养物质，因此相对来说处理后的废水中通常存在过量的营养物质。在严重的情况下，接受水中过量的营养物质会导致藻类和其他植物迅速生长，甚至导致赤潮的发生，耗尽水中的氧气，继而导致缺氧，鱼类和其他水生生物死亡。

¹⁴ Oxymem a DuPont brand, "Sewage versus Wastewater - What's The Difference?", <https://www.oxymem.com/blog/sewage-versus-wastewater-whats-the-difference>, 最后访问时间: 2022/1/13.

¹⁵ 同上, 最后访问时间: 2022/1/13.

3.2. 分类

对于大部分国家和地区而言，工业废水与生活废水是城市废水最主要的组成部分。除这两类外，商业废水、城市地表径流等也是城市废水。

3.2.1 工业废水

工业废水指的是在工业生产过程中所产生的废水、废液，具体包括生产废水、冷却水、生产污水等。在进行工业生产的过程中所用到的部分生产原料、产生的中间产物和污染物等都会进入生产用水当中，随水流失形成工业废水。¹⁶

工业废水有着许多不同的种类，其构成也是十分复杂。正是由于工业废水种类繁多、构成复杂的特点，使得工业废水处理起来十分的困难，很容易对环境造成污染和破坏。例如，在电解盐工业废水中含有大量的汞，农药生产工业废水中含有大量的农药，石油炼制废水中含有大量的酚，这些物质既会对人体产生极大的危害，也会对环境造成极大的破坏。

其中，重金属、有机需氧、化学毒物、酸、碱等物质是造成污染的主要原因。它所蕴含的剧毒，可以轻易的杀死河流、湖泊中的生物，造成大量的生物灭绝。

若工业废水未经有效的处理直接排放进入河流、湖泊，既会污染地下水，也会通过灌溉污染农作物，甚至会通过水循环系统污染到饮用水。此外，一些工业废水在其蒸发过程中，对大气也造成了很大的污染。

除上述危害外，这些工业污水还可能会渗入土壤，进而影响农作物的生长。有些植物吸收在工业废水后，体内会有有害物质的残留。如果动物误食了此类植物，则可能导致有害物质的进一步传播。最终，这些物质会通过食物进入人体，给人类带来严重的疾病。

同时，需要注意的是，工业废水的排放强度与产业类型有密切联系，不同的工业类型排放的污染量也不尽相同。以中国徐州的数据为例，不同的工业门类占工业产值比例与其废水排放强度不完全相同。

工业行业	产值占工业总产值比重/%				工业废水排放强度/(t·万元 ⁻¹)			
	1996	2000	2005	2010	1996	2000	2005	2010
采矿业	11.76	8.93	10.33	5.32	2.27	7.34 (13)	22.51	13.57
食品饮料和烟草制造业	5.31	24.02	19.91	12.27	10.39	27.16 (7)	4.18	1.32
纺织业	9.85	8.53	6.05	5.79	5.59	12.60 (10)	6.08	5.57
皮革毛皮及其制品业	1.46	0.73	0.42	0.30	0.63	8.11 (12)	34.59	2.15
造纸及纸制品业	2.02	2.09	1.89	1.43	0.75	103.59 (4)	202.35	149.99
印刷业	1.03	0.46	0.43	0.31	0.30	1.67 (17)	6.55	3.23
电力、蒸汽、热水生产供应业	7.40	10.47	0.91	2.63	1.65	115.69 (3)	59.17	218.12
石油加工业	0.04	0.10	0.82	0.94	1.90	398.46 (1)	117.06	2.67
化学工业	7.40	6.96	5.87	11.07	14.40	77.27 (5)	17.33	12.74
医药工业	0.96	0.83	0.88	1.94	4.05	10.03 (11)	20.15	7.50
化学纤维工业	0.15	0.38	0.15	0.15	0.76	201.83 (2)	19.03	27.65
橡胶、塑料制品业	3.04	2.00	1.39	2.62	2.32	2.26 (16)	5.89	0.88
其他非金属矿物制品业	1.82	4.28	7.37	10.04	9.74	38.62 (6)	12.51	0.34
黑色金属冶炼及压延加工业	2.37	3.57	6.67	5.49	6.46	22.19 (9)	13.35	3.01
有色金属冶炼及压延加工业	1.34	1.53	2.98	2.17	1.89	0.40 (18)	47.24	0.30
金属制品业	3.15	2.11	2.05	3.23	3.01	26.20 (8)	0.68	2.03
机械电气电子设备制造业	15.68	16.24	19.92	27.48	26.46	5.77 (14)	6.74	0.35
其他行业	25.22	6.77	11.96	6.82	8.53	2.31 (15)	2.32	0.84

括号内数字代表排序

表 1：徐州市主要工业行业工业废水排放特征¹⁷

¹⁶ 章淼淼：《工业废水处理方法研究及技术进展探析》，《化工管理》，2019 年第 12 期，第 52 页。

¹⁷ 范珊珊、仇方道、沈正平：《徐州市经济增长与工业废水的关系及成因》，《江苏师范大学学报（自然科学版）》，2016 年第 3 期第 34 卷，第 14 页。

中国长期面临着工业废水造成的污染问题。以资源密集型为主的工业模式会为城市带来大量污染，随着向技术密集型工业转型，污染问题将得到减轻。依然以徐州为例，由于近20年来徐州市持续不断的推动工业发展，其结构由资源密集型向技术密集型转型。同时，工业的发展加快了工业技术的创新步伐，使得工业废水排放强度持续降低。

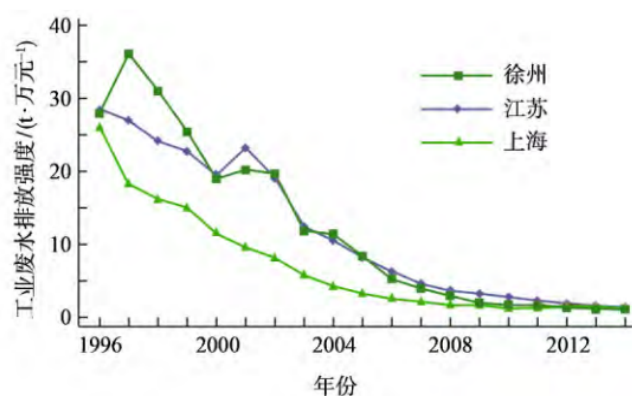


图 2：徐州、江苏、上海工业废水排放强度变化¹⁸

3.2.2生活废水

生活废水 (household wastewater)，指的是人类日常生活中所产生的废水。例如洗澡、冲马桶、洗衣服、洗碗等行为中所产生的废水都属于生活废水。除家庭所产生的废水外，生活废水还包括来自商业建筑的废水，如办公楼、零售商店和餐馆。城市管网是生活废水排放和运输的主要途径。

与污水一样，生活废水也可以分为黑水和灰水两类。黑水是厕所废水，一般指含有粪便的生活废水。相对于灰水，黑水中的污染物更多，且含有一些对人体有害的细菌，因此它们被要求放在单独的特殊容器中进行无害化处理。此外，黑水不直接的供人类消费，它们通常被当作肥料进行再利用。灰水是洗衣服、洗澡和洗碗所产生的废水。这类水通常在水处理厂处理，可以被人类重复使用，通常用于冲厕所、洗车和灌溉。

虽然与工业废水相比，生活废水的污染性相对偏小，但是它依然不能不经处理就直接排放到自然环境当中。因为其含有的微生物、有机物等有害物质会对自然水体产生众多不良影响。

¹⁸ 范珊珊、仇方道、沈正平：《徐州市经济增长与工业废水的关系及成因》，《江苏师范大学学报（自然科学版）》，2016年第3期第34卷，第13页。

3.2.3 其他废水

城市地表径流

随着城市化的推进，大部分植被被不透水的地表所取代，导致下渗能力减弱，因此产生了更多的地表径流。排水系统是收集地表径流的主要方式，它包含了路缘、雨水下水道和沟渠三个部分。

当雨水流过地表时，会吸收潜在的污染物，这些污染物可能包括沉积物，营养物质（来自草坪肥料），细菌（来自动物和人类废物），杀虫剂（来自草坪和花园化学品），金属（来自屋顶和道路）和石油副产品（来自泄漏的车辆）。¹⁹ 这些污染物主要来源于地表沉积、大气沉降、城市排水及城市开发建设过程中造成的水土流失。的各类污染物蓄积在街道、屋顶等不透水表面上，经雨水冲刷进入受纳水体。²⁰

不同的城市功能区划具有不同的土地利用类型、下垫面等，是影响城市地表径流污染特征的主要因素。按照城市地表的功能分区，地表径流的来源可以分为住宅区、商业区、交通区、工业区和景观区等。其中，住宅区受不透水的屋顶表面影响较大，径流中往往有含量较高的重金属；²¹ 商业区及交通区受路面沥青轮胎磨损、汽车尾气等过程的影响，径流中有浓度较高的颗粒物及多环芳烃等；²² 工业区能够为城市地表径流贡献一部分耗氧物质、重金属、有机物等；²³ 景观区往往存在暴露的地表及丰富的植物，其地表径流一方面表现出与农业面源相似的氮磷等营养元素污染特性，一方面又容易引入吸附在植物叶片上的大气沉降污染物。

核废水

核废水，一般指由核电站排放的废水，是存在一定放射性的废液。放射性废液的主要成分为：氙、燃料的裂变产物、燃料污染物的裂变产物以及活化腐蚀产物等。

核废水中的放射性元素主要源于核电站所排放的冷却剂。在反应堆运行的过程中，一回路冷却剂中溶解性的硼酸会通过反应产生氙元素，造成冷却剂中的氙浓度也不断积累。然而现在没有经济可行的技术将氙从一回路冷却剂中分离出来，因此只能采取排放冷却剂的方式来维持一回路冷却剂中氙的活度水平。

总而言之，核废水的泄漏，将对全球生态带来众多不可逆影响。

¹⁹ USGS, "Runoff: Surface and Overland Water Runoff Completed", By Water Science School June 6, 2018, <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/runoff-surface-and-overland-water-runoff>, 最后访问时间：2022/1/13.

²⁰ 马学琳、李洪波、罗宁、赵建国：《城市地表径流污染研究》，《中国资源综合利用》，2021年第5期第39卷，第112页。

²¹ 同上，第113页。

²² 张蕾，周启星：《城市地表径流污染来源的分类与特征》，《生态学杂志》，2010年第11期。

²³ 马学琳、李洪波、罗宁、赵建国：《城市地表径流污染研究》，第113页。

4. 城市废水处理机制分析

4.1. 各国排放标准的异同

当今，世界各地的环境卫生和废水管理状况差异很大，这也正是使可持续发展目标 6 的 2030 议程更具有挑战性的的重要因素。水性排泄物管理（冲水厕所和污水管网连接到集中的废水处理厂）是许多国家和地区废水排放的标准模式，尤其是在较富裕的国家。但是在一些国家或地区的城市管网却尚未完善，使得未经处理的废水和排泄物的排放污染了街道、农田和淡水水体。例如，在一些撒哈拉以南非洲国家，只有约 10% 的人口的污水排放与下水管道系统相连接（包括科特迪瓦、肯尼亚、莱索托、马达加斯加、马拉维和乌干达）。由于各国的自然与经济因素的差异，国际上很难达成一致的废水排放标准，加之流域间存在国际冲突，使得这一问题迟迟难以解决。

尽管由于多种因素的制约，国际上并未达成统一的废水排放标准，但联合国环境规划署出台的《环境卫生、废水管理和可持续性——从废物处理到资源回收（第 2 版）》中，对于废水排放和再利用提出了一些统一的指导性的建议。其中指出：废水处理在再利用方面应该尽力执行以下几个功能²⁴：

- 减少或灭活病原体；
- 去除有机物质；
- 去除富营养性物质；
- 去除微污染物。

根据已达成的有关废水排放和再利用的基础共识，可以认识到：各国应在遵循已签署的双边或多边协定的前提下，结合本国特殊的自然与社会情况，制定废水排放标准。各国处理水平应基于²⁵：

- 废水是被排放到卫生下水管道系统，还是排放到地表水；
- 如果排放至卫生下水管道系统，应考虑许可要求中的国家和地方标准以及卫生下水管道系统的输送和处理废水的能力；
- 如果排放至地表水，应考虑接收水体对排放废水中污染物的负荷和同化能力；
- 容纳水体的预期用途（例如作为饮用水源、娱乐、灌溉、航运或其他）；
- 敏感受体（例如濒危物种）或栖息地的存在；
- 相关行业的良好国际行业惯例（GIIP）。

24 United Nation environment programme, Sanitation, Wastewater management and Sustainability 2nd Edition, 2020, p.51.

25 International Finance Corporation, Environmental, Health, and Safety (EHS) Guidelines, 2007, p.26.

由于相似的地理位置特征会、国际性河流决定的国家上下游关系、国家间的合作关系等因素的影响，部分国家间或区域内形成了一些适用于多边或本区域或流域内的废水排放和再利用的标准。这些区域或流域间统一标准的形成，可能为国内和国际废水排放标准的设立提供参考和科学依据。

接下来将展示一些典型的区域或流域的废水排放标准：

美国

1948 年，美国国会制定了《联邦水污染控制法》；1972 年，制定了《清洁水法》（Clean Water Act-CWA）对《联邦水污染控制法》进行了大幅修订。此两项法案都有一个鲜明的特点，即为了尊重美国的联邦体制，将水资源管理的许多方面完全留给了各州自己处理。为了达成这个目标，《清洁水法》只对废水处理的源头和结尾进行了规定，将处理过程更多的留给州政府自治处理。

《清洁水法》由两部分组成：一部分是授权联邦财政援助建设城市污水处理厂的条款，另一部分是适用于工业和城市排放者的法规要求。该法案被视为是一项技术强制法规（从技术上对化学、物理、生物或其他成分的含量、速率和浓度做出了限制），因为它对受监管者提出了严格的要求，要求他们在法律规定的期限之前实现更高的污染减排水平。美国早期强调的重点是控制传统污染物的排放（例如水生环境中可生物降解的悬浮固体或细菌），而 2016 年开始，控制有毒污染物的排放成为了水质规划的重点。但 CWA 在处理对地下水污染的问题上依然存在分歧。

除此之外，自 1987 年以来美国的水质规划主要针对点源污染，即工业和市政设施从管道和排放口等离散源排放的废物。对于某些类型的污染物，出水限制更为严格：没有点源可以排放“任何放射性、化学或生物战剂，任何高放射性废物或任何医疗废物”。并且美国的废水污染物排放限值还基于多日平均值，比如规定了常规污染指标 BOD5、TSS 的 7d 平均限制或 30d 平均限制。

欧盟

1997 年欧盟通过了关于城市废水处理的理事会指令 91/271/EEC，其涉及了生活废水、废水混合物和工业污水的收集、处理和排放；2000 年，通过了《水框架指令》（The EU Water Framework Directive-WFD）。《水框架指令》要求欧盟成员国到 2027 年在所有地表水和地下水体中取得良好状态。良好状态的评价主要基于四个方面：地表水的生态状况、地表水的化学状态、地下水的化学状态和地下水的定量状况。

地表水的生态状况评估了由生物质量要素——浮游植物、大型植物、底栖动物群和鱼类——所表示的总体生态系统健康状况。如果显示生态系统状况欠佳，则将进一步评估水形学和物理化学参数：养分、氧气状况、温度、透明度、盐度和河流流域特有污染物。地表水的化学状态则根据环境金属质量标准指令中列出的优先物质标准进行评估。良好的地下水化学状态是指特定物质的浓度不超过相关标准允许的浓度，并且其浓度不妨碍相关的地表水体达到良好状态，或不会对直接依赖有关地下水的陆地生态系统造成重大损害。最后，良好的地下水定量状况则评估了含水层的流失程度。

与美国的 CWA 相比，《水框架指令》涉及的方面更全面，即体现了各国的废水排放标准也受到地下水状态的影响。相较于美国点源污染的管理模式，欧盟更侧重于河流流域的综合管理，即注重各国的废水排放对河流流域的整体影响。欧盟也提倡各成员国在《水框架指令》的基础上，根据各国的水域特点、经济技术条件等制定更为严格的排放标准。

中国

中国从 1998 年开始实施《污水综合排放标准》，并在 2016 年开始实施《GB/T 31962-2015 污水排入城镇下水道水质标准》。前者按照污水排放去向进行分类，分年限规定了 69 种水污染物最高允许排放浓度及部分行业最高允许排水量。后者规定了排入城市下水道污水中 35 种有害物质的最高允许浓度。除此之外，还有其他行业排放标准、地方或流域排放标准以及环保部门行政要求作为排放的根据。根据国家综合排放标准与行业标准不交叉执行的原则，一般情况下从严执行。

中东和北非地区

中东和北非地区的废水处理体现了鲜明的再利用性，由于其生活废水和工业废水的处理成本较高，且存在较大的地下水污染问题，所以各国间尽量达成统一的排放和利用标准，以展开更多有关废水排放和处理的科研和建设上的合作。

中东和北非地区城市废水的初级处理主要为去除沉降的固体以及任何吸附或夹带的物质，例如与固体有关的重金属。初级处理对健康和农艺参数的影响（城市废水排放对农业生产参数的影响）不太重要。在生物过滤器或活性污泥工厂中，污水的常规二级处理旨在去除更多的可生物降解的有机物质，并且通常去除一级处理后的剩余的高达 80%-90% 的 BO₅。三级处理工艺则需要更为复杂的单元工艺组合来获得高质量的流出物。

4.2. 城市废水排放的监管

在 4.1 中，已经阐释了部分国家或地区间废水排放的标准的差异性，以及其政策制度的特点。为适应本国废水排放的标准和经济技术现状，各国也形成了不同的监管方式。总的而言，在城市废水排放的监管问题上，应考虑以下几个方面：

4.2.1 监测参数

为监测选择参数应能表明工艺过程中所关注的污染物，并应包括符合要求的参数；国际上一般将监测参数分为物理、化学、生物三类。物理参数主要包括温度、颜色和色度、嗅和味、浊度和透明度等；化学参数主要包括有机物含量、无机物含量、pH 值和重金属含量等；生物参数主要包括细菌数量、总大肠杆菌群等。

以中国为例，根据以上参数，废水的五项检测项目一般是指 pH 检测、SS 检测、氨氮检测、BOD（Biochemical Oxygen Demand 生物耗氧量）检测和 COD（Chemical Oxygen Demand 化学耗氧量）检测。

4.2.2 监测频率

为了确定废水的监测频率，应通过审查设施的排放数据，或在没有实际数据的情况下审查类似排放者的信息的方式，来考虑各种参数浓度的可变性。在确定适当的监测频率时，应考虑的因素包括²⁶：

- 排放的时间特征。对具有批次生产过程或季节性变化的排放的监测，应考虑到排放时间的依赖性变化，因此比监测连续排放要复杂得多。可能需要更频繁地监测，或通过复合方法对变化很大的过程中产生的废水进行采样。
- 处理设施的设计容量。在处理设施所处理的废水接近其极限时，监测频率可能需要增加。例如，在平均流速相等的情况下，一个不容易受到其他水流系统影响的大型潟湖（lagoon）系统需要的监测频率，低于因一个大批量排放而经历流量波动的过载处理设施。与接收批量排放的设施相比，泻湖系统应该具有相对较高的稳定性。
- 废水处理方法。对于类似的处理过程，监测频率将是相似的。设施所使用的废水处理类型可能会影响废水监测的频率。采用生物处理的工业设施将具有与使用相同的装置进行废水处理的二级处理厂相似的监测频率。如果处理方法是适当的，并能在一贯的基础上实现较高标准的污染物去除率，监测的次数就会比处理不充分的工厂少。

26 U.S. NPDES Permit Writers' Manual, CHAPTER 8. Monitoring and Reporting Conditions, 2010, p.5.

- 污染物的性质。为了准确描述废水排放的特征，对于含有特殊污染物的废水或污染物性质不同的废水，可以增加监测频率。
- 其他考虑因素：监测地点、监测成本等。

4.2.3 监测地点

监测地点的选择应以提供代表性的监测数据为目标。污水取样站可以位于最终排放地点，也可以在合并不同排放之前的战略上游点。过程排放不应在处理之前或之后稀释，以达到排放或环境水质标准。根据监测地点的不同，一般可分为：水源监测、流入物监测和流出物监测²⁷。

水源监测是在将水源用作工业用水（如作为接触式冷却水的河水）之前对其进行的监测。

流入物监测是在废水得到处理之前对其进行监测。当需要对废水进行表征以确定是否符合许可条件时，监管者应要求对废水进行监测，例如公营污水处理厂的二级处理标准所规定的 5 天生化需氧量 (BOD 5) 及总悬浮固体 (TSS) 去除率限制等。进水和水源监测地点应确保在可能改变进水性质的任何工艺或处理之前，有一个具有代表性的原进水样品。

流出物监测是对所有处理过程后的最终出水进行监测。监管者应要求对处理后的废水进行监测，以确定是否符合规定中规定的最终废水限制。废水监测也可用于提供数据，以评估排放对接收水可能产生的影响。废水监测点应提供排放到接收水中的废水的代表性样本。应在所有工业用途和处理过程结束后建立废水监测点。最重要的是，最终排放限制的适用点和需要监测的点必须相同。合理的废水监测点应在排放到接收水之前。

4.2.4 数据质量

监测项目应采用国际认可的样本采集、保存和分析方法。抽样应由受过培训的人员进行或在其监督下进行。分析应由获得许可或认证的实体进行。此外，抽样和分析的主体应准备并实施“质量保证 / 质量控制 (QA/QC)”计划，“质量保证 / 质量控制”文件应包括在监测报告中。

最常见的两种取样方法是简单取样和混成取样。²⁸ 简单取样是指在不超过 15 分钟的时间内采集的单个样本，并代表采集样本时的情况。当被采样的废水的流量和特性相对恒定时，简单取样是合适的。样品容量取决于要进行的分析的类型和数量。简单取样也可以用来确定一个参数的空间变化程度，或在短时间内变化程度的信息。它们也可以用于监测间歇废水从混合良好的间歇处理槽流。

²⁷ U.S. NPDES Permit Writers' Manual, CHAPTER 8. Monitoring and Reporting Conditions, 2010, p.2.

²⁸ 同上文，p. 7.

混合取样是随着时间的推移收集的，要么通过连续采样，要么通过混合离散样品，来表示在采样期间的废水的平均特征。混合取样可能比简单取样更能代表一定时间内的污染物排放情况，一般在以下情况下使用：

- 需要对混合期间的平均污染物浓度进行测量；
- 需要测量单位时间内的质量负荷；
- 废水的特性变化很大。

混合取样可以是离散样品，也可以是单个组合样品，可以用手动或自动采样器采集。一般会采用时间比例取样和流量比例取样。监管者应清楚注明许可证所需要的类型。

4.3. 常见废水处理方法

4.3.1 工业废水

废水处理的目的是将废水中所含的污染物分离，或将其转化为无害和稳定的物质或可分离的物质，从而净化废水。废水处理技术，按其作用原理，可分为物理法、化学法、物理化学法和生物法四类。

(1) 物理法：物理法是通过物理或机械作用分离或回收废水中不溶解的呈悬浮状态的污染物的废水处理方法，其处理过程不改变污染物质的化学性质。物理法废水处理技术通常有调节、筛滤、过滤、沉淀、浮力浮上、离心分离、磁分离等。

(2) 化学法：化学法是通过加入化学物质，使其与废水中的污染物质发生化学反应来分离、去除、回收废水中呈溶解、胶体状态的污染物或将其转化为无害物质的废水处理方法。化学法废水处理技术通常有混凝法、中和法、氧化还原法、化学沉淀法等。

(3) 物理化学法：物理化学法是利用传质原理处理或回收利用废水的技术方法。常见方法包括：吸附法、离子交换法、膜分离法、汽提法、吹脱法、萃取法、蒸发法、结晶法等。

(4) 生物法：生物处理法就是利用微生物的新陈代谢功能，通过微生物的吸附、降解废水中的有机污染物，将废水中呈溶解、胶体以及微细悬浮状态的有机物、有毒物等污染物质，转化为稳定、无害的物质的废水处理方法。

生物处理法通常又分为好氧生物处理（如活性污泥法、生物膜法、生物稳定塘和土地处理法等）和厌氧生物处理（如厌氧活性污泥法和厌氧生物膜法）两种方法。好氧生物处理是在有溶解氧的条件下，依靠好氧菌及兼性厌氧菌分解氧化废水中的有机物，以降低其含量。厌氧生物处理则是在无溶解氧的条件下，依靠兼性厌氧菌和专性厌氧菌转化和稳定有机物，主要用于处理高浓度有机工业废水和城市污水中的污泥，且可以回收甲烷作为燃料。

4.3.2 生活废水

(1) 膜分离法：膜分离法是利用膜对混合物中各组分的选择渗透作用的差异，实现对液体的分离、分级、提纯和富集的方法的统称。膜分离技术不断的发展，从微滤（MF）和超滤（UF）的出现，再到电渗析（ED）的问世，接着出现反渗透（RO），再后来是纳滤（NF）。膜分离技术的不断进步为城市污水处理提供了重要的手段。

(2) 活性污泥法：活性污泥法是应用最广的好氧生物处理污水的方法。活性污泥是由细菌、真菌、原生动物、后生动物等微生物群体与污水中的悬浮物质、胶体物质混杂在一起所形成的、具有很强的吸附分解有机物能力和良好沉降性能的絮绒状污泥颗粒，具有生物化学活性，同时，也能去除部分磷素和氮素。传统的活性污泥法，常常基建费用高、运行成本高、能耗大、管理复杂，会产生大量的污泥，因此，仍需对这些污泥进行无害处理。

(3) 生物膜法：生物膜法和活性污泥法一样大多属于好氧生物法。生物膜法常见的工艺类型有生物滤池、生物转盘、接触氧化、生物流化床等。污水与生物膜接触后，溶解性有机物和少量悬浮物被生物膜吸附降解为稳定的无机物（如：二氧化碳、水等），从而起到净化效果的一种生物处理方法。该方法具有管理方便、运行成本低等优点，对污水的水质和水量变化有着较强的适应能力，不会发生污泥丝状膨胀，产生的剩余污泥量少。其缺点是对环境温度的要求较高，因为温度太低或太高都会影响生物膜的活性，从而导致生物膜的坏死和脱落；作为载体的滤料，其比表面积对生物膜法净化效果有较大的影响，为了达到预期处理效果，需选用比表面积符合要求的滤料；同时，其滤料属于消耗品，需要进行周期性的更换，管理费用较高。

4.4. 对于废水意外泄漏所采取的应急措施

废水意外泄漏事故的严重程度各不相同，在此专门介绍程度较深、影响较广、以至升级为“突发水污染事件”的废水泄漏事故。

根据各国相关法律规定，往往由实际承担废水处理工作的单位作为事故一级响应主体；可能发生废水意外泄漏事故的单位，应当制定有关该事故的应急方案，做好应急准备并定期演练；当事故发生时，有关者应当立即启动应急方案，采取隔离等应急措施，防止水污染物进入水体，并向上级单位或政府主管部门报告。

在实际生产生活中，由于各单位主营的废水处理类型不同，对不同废水的应急处理预案以及所用到的工艺也不同，以下简单介绍几个共同的基本任务。

4.4.1迅速控制事态

对发生事故造成的危害进行检测、监测，确定流失、泄漏、扩散的废水的类别、数量，明确事故的发生时间，测定事故的危害区域、危害性质及危害程度。及时控制住造成事故的危害源是应急处理工作的重要任务。只有及时地控制住危险源、防止事故的继续扩展，才能有效进行救援。

同时，采取拦截、导流、疏浚等形式防止水体污染扩大。并且应采取隔离、吸附、打捞、氧化还原、中和、沉淀、消毒、去污洗消、临时收贮、微生物消解、调水稀释、转移异地处置、临时改造污染处置工艺或临时建设污染处置工程等方法处置污染物。必要时，采取停产、减产、减排，减轻环境污染负荷。

4.4.2消除事故后果，做好现场恢复

针对不同的具体情况，以及对人体、土壤、空气等造成的现实危害和可能造成的危害，及时采取适当的安全处置措施，例如封闭、隔离、洗消、检测等，对泄漏及受污染的区域、物品进行消毒或其他无害化处理，防止对人体的继续危害和环境的污染，及时清理废墟和恢复基本设施，将事故现场恢复至相对稳定的基本状态，必要时封锁污染区域，以防扩大污染。

4.4.3查清泄漏原因，评估危害程度

泄漏发生后应及时调查事故发生的原因和事故性质，评估泄漏事故的危害范围和危害程度，查明人员伤亡情况，查清事故原因，落实事故责任，编写调查报告，采取纠正和预防措施。针对预计可能出现的突发事件隐患，还应制订避免事故发生的安全防范措施。并且应及时通知下游相关方和其他可能被影响的方面，进行相应的防备，减少其他可能发生的事故或损失。

当前几乎所有的废水意外泄漏事故，都被界定为突发性水污染事故的其中一种情况，依照突发性水污染事故的应急处理预案执行。因此从广义上讲，与其要改进废水意外泄漏应急处理措施，不如改进突发性水污染事故的一般性处理措施，在此提供以下几个角度：

- 一、制定突发性水污染事故应急处理的法律法规。制定水资源污染紧急状态法，明确需要实行紧急状态的条件、程序和紧急状态时权力的行使等，通过立法来完善由经济处理主体、紧急行政措施、应急处理法律后果等构成的突发性水资源污染事故应急处理制度。
- 二、建立迅速、准确的事故损失评估体系，提升应急处理技术。

- 三、建立起突发环境事件专家咨询库，确保在突发事件发生后能迅速成立突发环境事件应急处置专家咨询组，为指挥决策提供专业咨询，建立起污染事故鉴定评估机构。与此同时，还要不断加大科研的投入力度，全面提升突发环境污染事件应急处理技术，处理好水污染事件。
- 四、加强突发性水污染事件的应急动态监测能力，建立水情信息传递体系。水资源动态监测可以在水资源恶性事件发生前、中、后，对水资源事件造成的后果进行预测、分析与评价，为处理事件提供科学的依据。

4.5. 全球水质监测

全球水质监测系统（GEMS/Water）是联合国组织实施的一项监测世界范围河流、湖泊和含水层中水质的国际合作研究计划²⁹，也是全球环境监测系统（GEMS, Global Environment Monitoring System）中的一部分。

全球环境监测系统的特点是它不只与联合国环境规划署合作，还与世界卫生组织（WHO, World Health Organization）、世界气象组织（WMO, World Meteorological Organization）、粮食和农业组织（FAO, Food and Agricultural Organization）等许多联合国组织及其成员国发生联系并协调工作。

GEMS 主管气候、资源、人体健康这三方面的环境监测，有关健康项目（HRM, Health Related Monitoring of Environmental Pollutants）以 WHO 为中心开展，HRM 通过评价对人体健康有害的环境污染物质的接触量来监测污染物质，作为世界水质监测计划的 GEMS/Water 自是 HRM 中不可或缺的一个环节。

GEMS/Water 由四个联合国机构共同参与协调，它们分别是联合国环境规划署、世界卫生组织、世界气象组织和联合国教科文组织（UNESCO）。GEMS/Water 成立于 1978 年，但其渊源可追溯至 1971 年的一个政府间监测工作组（IWGM, Intergovernmental Working Group on Monitoring），该工作组为其初步确定了监测目标、研究实施办法和设计实施次序。

联合国环境署在环境审查相关工作中，主要聚焦三点：评估、预警、信息管理。³⁰GEMS/Water 的具体目标和主要工作与之一脉相承。GEMS/Water 的主旨是收集全球水质数据，评估全球内陆水质的现状和趋势，为国际社会提供有关水质的可靠数据，以支持有关该主题的科学评估和决策。而为了实现这一主旨，有三个基本目标：建立全球水质监测网；提高成员国之间水质资料的正确性和可比性；评价一些持久性有害物质污染水的事件及长远趋势，提

²⁹ Silvio Barabas: 《GEMS/WATER— 全球水质监测》，《科学对社会的影响》，1983 年第 1 期，第 90 页。

³⁰ 联合国环境规划署：《2018 年度报告》，2019 年 3 月 4 日，第 30 页。

供严重污染的预警。它的主要工作可以简单地被笼统地分为三部分：管理水数据，发展监测能力，评估淡水质量。具体而言，GEMS/Water 需要与成员国合作建立新的水质监测系统和加强现有的系统，交换各国间有关水质数据资料，收集水质现状的数据，谋求世界统一的水质分析法，解释并改进成员国与成员国之间水质数据的有效性、可靠性和可比性，掌握世界水质变化状况，还要敦促政府单独或联合为保护、恢复和改善环境采取补救措施。

GEMS/Water 计划由七个主要部分构成：(a) 在河流、湖泊和含水层的适当地点建立全球监测站网；(b) 采用统一的取样和分析方法；(c) 执行连续的数据质量保障条例；(d) 发展和使用综合性数据库和回收系统；(e) 组织全球水质监测各方面的雇员的训练班；(f) 准备操作者手册；(g) 供应有限数量的设备。其中最主要、最核心的活动就是水样监测。

水样监测是指对水样预先选定的物理参数和化学参数进行周期性测量，所测量的水样取自河流、湖泊和含水层预先选定的地点，除了部分通过就地简易测量就可以获取的参数外，其余所有参数都必须在送到指定实验室的样品上测量，前提是水样保存得当，不会引起参数变化。监测站大约分为两种，基本站（Baseline Station）和影响站（Impact Station），基本站用于观察未受到人类活动影响的水体的自然状态，影响站用于估计水体收到人类活动影响的程度，还有一部分尚未分类，有时也会有“趋势站（Trend Station）”的叫法出现。但总体上，这些监测站设立的地点都经过审慎的筛选，通常都具有重要意义，例如横贯几国或构成国际线的河流与湖泊，从人口密集区、工业区挟带大量污水和污染物流往海洋的河流等。为实现全球水质监测计划建立全球水质监测网的最终目标，大约需要建立 1200 个全球性监测站，才能使淡水质量采样点遍及全世界。

需要测定的参数大致分为三类，一类是被认为对水质一般评价有重要意义的参数，如温度、pH、溶解氧、悬浮物、大肠杆菌等，一类是具有全球意义的决定要素，如铅、汞、镉等长期有毒的污染物，最后一类是一些只具有局部意义的任选参数。

全球水质监测计划与全球环境监测计划的其他项目相同，也是在国家、区域和世界三个水平上实施的。一般每个参加国指定一个国家中心，负责对取样点、监测站和要监测的参数提出选择意见，同时负责把国家水质数据传递给区域中心。区域中心需要整理来自国家中心的输入数据，并将其进一步传递给全球中心，同时还需负责执行区域数据质量保障条例和组织定期训练班。全球中心则负责建立数据库和回收系统，处理和存储来自区域中心的数据，监督执行数据质量保障条例，发行汇集所有监测站数据并显示分析结果、流速、流量的综合年度报告。GEMS/Water 的全球中心设在位于安大略博灵顿的加拿大内陆水域中心（CCIW, Canada Centre for Inland Waters, 又译为加拿大内陆水研究中心）。由于汇集了所有选定

区域、所有选定参数的资料，CCIW 又被称为“资料银行”或“数据银行”³¹。为了处理这些纷繁浩杂的数据，一个名为“GLOWDAT”的全球水质数据管理系统应运而生，这些经过层层递交的数据被分析处理后，还将连同其他水文情报一起，传递回区域中心。如今联合国已建成 GEMSat 信息系统，将从全球水质监测网络收集的地表和地下水质量监测数据共享。

除此之外，GEMS/Water 还肩负着一项重要的日常任务。为了提高水质监测数据的准确度，也为了实现提高成员国之间水质资料正确性和可比性的基本目标，谋求世界统一的水质分析法成了 GEMS/Water 不可推卸的重要责任。全球水质数据如此庞大，精确度不够就会难以实现达成预期目的；针对同一试样，分析单位不同，分析人员不同，也会得出不一样的结果，因此实施水质分析精确度管理（AQC, Analytical Quality Control）既具有重要性，也具有必要性。AQC 会对参加 GEMS/Water 监测的同一试样进行分析，研究各分析部门之间的相对分析误差，并在 WHO 的六个区域各设立一个地区基准实验室（Regional Reference Laboratory）对参加监测的单位进行技术指导。

目前，由于受到人力、物力、财力的限制，AQC 数据管理仅在部分地区实行，还未全面展开。整个 GEMS/Water 计划面临的更严峻的问题是：由于发展中国家的监测体制尚不完善、分析仪器配备不足、监测站较少等原因，其递交的一类基本参数的数据较多，二类全球监测项目的数据较少。同时，有些发展中国家由于经济困难不参加 GEMS/Water，以及有些发达国家由于监测数据可能被用来推测国家实力或作为分担治理国际水域污染经费的依据等原因消极参与。这些问题都亟待解决。

31 郑雯君：《全球水质监测计划 (GEMS/Water) 进展概况和今后的任务》，《交通环保》，1983 年第 5 期，第 38 页。

5. 治理城市废水问题所面临的挑战

进入 21 世纪以来，我们可以看到无论是发展中国家还是发达国家在废水处理方面都取得了一些成就。各个国家和地区都不同程度地根据本国或区域城市废水的情况，设计了废水处理标准和处理方法。其中较为完善的方法和标准，为落后地区废水处理系统和政策的建设提供了良好的参考。

虽然全球在废水处理领域已取得了一定的成果，但我们依然无法忽视在全球城市废水治理问题中可能面临的挑战，这些挑战也是阻碍按时实现联合国 2030 年可持续发展目标的重要因素。

5.1. 排放标准问题

废水的合理排放既保障了生产生活环境，也促进了水循环和更多的水资源的利用。前文已经对于全球城市废水排放标准进行了一些整体的概述，也根据不同区域的显著自然和社会特征，对一些具体国家或区域的废水排放标准进行了一些简要介绍。尽管大部分国家和地区都根据本区域内的自然和社会特征设计了废水排放标准，但在流域上下游之间以及不同区域之间，依然存在排放标准不统一的问题亟待解决。

5.1.1 相邻城市间排放标准的不统一

相邻城市排放标准的不统一主要是指国内流域内上下游之间的废水排放标准不统一。这一排放标准的不统一影响的大多数是河流流域内的城市，特别是在例如美国这样地方政府具有较大权力设计本地区的废水排放标准的国家，流域内城市间废水排放标准存在较大的分歧。³² 以田纳西州和阿肯色州为例，根据美国废水管理办公室公布的城市截留雨水处理标准，两州在雨水保留和例外情况的规定上都有所不同。处于上游的田纳西州规定保留“渗透、蒸发、收获或使用前 1 英寸的降雨”，例外情况规定“如果保留标准达不到，则对剩余体积应用 80% TSS 去除标准”。处于下游的阿肯色州则都采用“Narrative Standard”。

从世界各国排放废水的方式可以看出，大部分国家和地区的城市废水都选择排放至流动水体，只有少数废水会用于水资源的再利用。而对于河流流域内的地区而言，流动水体也是其工业和生活用水，甚至是饮用水的来源。换句话说，一般在城市规划上，大多数城市都选择在本城市的上游取水，并在城市的下游地区排放废水，所以废水排放势必会影响到下游城市的取水问题。因此在此问题上，城市间关于废水排放标准的问题需要更多的协商。

对于国内流域整体而言，城市间废水排放标准不会存在较大的差异。废水排放标准的严格程度从上游至下游相对而言一般呈现宽松——严格——较宽松的模式。

32 U.S. Office of Water, Office of Wastewater Management, Summary of State Stormwater Standards, 2011, p.74, p.93.

一般的河流上游地区，工业和城市人口较稀少，且废水处理和排放的成本较高。所以大部分国家和地区为了促进上游地区的工业和城市发展，一般在上游地区采用较为宽松的废水处理标准，特别是工业废水排放标准。这样的标准固然会吸引更多需水量较大的工业部门迁移至河流上游地区，但这就势必导致河流源头地区受到不可逆的消极影响，且造成更高的环境修复成本，对于上游地区的整体生产和人居环境也会造成更多不利的影响。所以如何协调上游地区废水排放高成本和环境治理高代价之间的矛盾是标准制定者在这一地区需要思考的问题。

河流的中游地区一般会采用更为严格的排放标准。其原因不仅有城市数量和产业密度的增加，还有河流的自净能力较上游较弱，需要在废水排放前进行更多的处理等。此外，下游地区一般有更多的城市人口和更为密集的产业，其对于其上游，也就是河流的中游地区，有更多的废水排放的限制。这就导致河流中游地区的排放标准不仅受到本身因素的影响，还与下游地区的标准制定者之间存在矛盾分歧。

河流的下游地区一般是城市和产业最密集的地区。这一地区的废水排放的需求量最大，且废水中含有的各种物理、化学、生物物质是最多的。不仅如此，相较于中游和上游，这一地区对航运的需求更大。河流下游地区在排放废水时，不仅需要考虑废水排放对于本地区水域航运的影响，还要考虑其对于河流入海口海洋环境的影响。对于下游地区的排放标准的制定者而言，如何合理排放废水，特别是向近海海域排放废水，无疑是保障近海水域环境和海陆间水循环的严峻挑战。

在世界范围内，河流上下游之间的生态补偿机制很常见，也是上下游城市间水资源共同治理的重要举措。以中国长江流域为例，湖南省与江西省共同签订了《涿水流域横向生态保护协议》。两省商定：以位于江西省萍乡市与湖南省株洲市交界处的国家考核金鱼石断面的水质为依据，实施涿水流域横向生态保护补偿。若金鱼石断面当月的水质类别达到或优于国家考核目标（Ⅲ类），湖南省拨付相应补偿资金给江西省；若金鱼石断面当月水质类别劣于国家考核目标（Ⅲ类），或当月出现因上游原因引发的水质超标污染事件，江西省拨付相应补偿资金给湖南省。

综上所述，相邻城市间排放标准的不统一主要是因为国内河流流域上下游之间存在矛盾，并且城市内部对于废水排放的高需求和废水处理的高成本之间也存在矛盾。这些矛盾的解决不仅需要各城市在遵守国家统一的废水排放标准的情况下，根据本流域的特殊自然和社会特征，制定更为严格的废水排放标准，研究低成本高能效的特色废水处理模式；更需要城市间进行更多的协商，以规定更多关于废水排放的奖惩机制，从而确保废水排放标准的有效执行。

5.1.2 国际协调问题

在水资源日益紧张的环境下，各国对于国际性河流的争夺也日益激烈。在东南亚、南亚、中东、非洲等地区，对水资源的争夺甚至已经演化成国际危机，威胁着这些地区的和平稳定。而废水排放只是上下游国家之间关于水资源争夺的一个缩影。

相较于国内河流流域内的矛盾而言，国际性河流流域内则存在更多的矛盾，国家间对于废水排放标准的协商也更加困难。对于较长的国际性河流而言，其废水的排放标准相较于国内河流而言，是具有显著差异的。国际性河流流域内的废水排放无疑需要流域内所有国家间进行协商。然而，一些关键的国际性河流的流域治理谈判却长期处于搁置状态。就废水排放的标准而言，上游国家在此问题上一定会被要求做出较大的让步和牺牲，而上游国家则可能以废水排放的标准为筹码，要求下游国家给予更多的经济利益。特别是在经济技术较落后的地区，本国的废水处理技术本就处于起步阶段，需要将更多的预算分配到经济建设，特别是高污染的重工业上，再加上自然环境的恶劣进而导致的高成本废水处理模式，部分上游国家就更能做出废水标准的让步。长此以往，各国在国际性河流的废水排放标准问题上僵持不下，很难达成一致标准，也阻碍联合国环境规划署在相关流域发展计划的开展。

尽管我们可以看见，部分区域内对于废水排放和处理和标准达成了统一意见，例如欧盟通过《水框架指令》和国家间频繁的协商谈判，较大程度上缓解了莱茵河流域内各国在水资源问题上的矛盾，但当遇到废水泄漏等特殊状况，例如 1986 年瑞士化学公司仓库火灾后污水泄漏时，各国在责任和索赔问题上依然会存在较大的争端。

综上所述，国际性河流流域冲突多发生在经济较为落后或者水资源短缺的国家。这些区域的废水排放处于起步阶段，需要各国进行更多轮的流域内国家谈判。同时流域内各国能否重视此问题，并在废水排放和处理模式的探索和设备研发方面是否能达成合作，是这些区域内水资源矛盾能否缓解的关键因素。同时，国家间也不能忽视特殊类型废水的处理排放和紧急事件的预防和责任分配，并通过进一步完善已有的多边协议，更为科学地处理类似事件。

5.1.3 监管与惩处机制问题

与排放标准相关的还有监管与惩处机制的问题，不过这一问题形成的机理与上述两点有所不同，它并非源自区际排放标准的不协调，而是源于制度政策的草率制定。

有些地方在立法阶段就没有树立健全的法律法规，而是空留一条原则性的口号，将本该细化的规定大而化之，毫无可操作性，导致执法阶段找不到依据，更难施以恰当的处罚。除了相关制度的空白，要求过高也是废水治理的机制性弊端之一。譬如典型的废水处理零排放误区，实际上，真正意义上的零排放是做不到的，相关排放标准难以落实，随之而来的就是监管不严和“一刀切”的问题。

行政层面，具体到不同国家，又会有不同的问题，常见的比如管理机构杂乱问题，各个管理主体各管一块，有责无权，有权无责，主体不定，权限不明，管理对象也就不清楚，且人员过多，实际过程中又会互相牵制，导致标准执行效率低下。

5.2. 城市管网建设问题

5.2.1 城市管网的歧视性分布

对世界上大多数国家而言，城市废水的收集、处理和排放都需要通过城市管网连接污水产生地、污水处理厂和排放源。在部分地区，城市管网还承担着缓解城市内涝和运输再生水源的任务。尽管大部分国家已经建设了本国的城市管网，并连接进入了家庭、工厂、污水处理厂等区域，但由于本国经济技术现状的限制或是废水处理意识的欠缺，部分国家在城市管网建设的分布上存在明显的侧重，也就导致了这些国家对于其部分地区或者是废水处理的环节存在明显的忽视。

从地区性分布而言，部分发展中国家的城市管网分布存在城际不平等及城区内部不平等的问题。从联合国环境规划署的数据调查中可以发现，很多国家都存在数据覆盖率低的现象：例如工业污水的数据覆盖率非常低，目前没有足够的数据来估计全球状况或趋势。城市管网的分布多分布在经济较为发达的地区。像在 5.1 中所说的河流上游等较为偏远落后的地区，城市管网的建设的计划通常因为经济预算而被搁置，环境水质监测也就更是无从谈起。如美国阿拉巴马州黑带地区朗兹有大约 40% 到 90% 的家庭化粪池系统出现故障，或者在部分社区根本没有。当地的居民以黑人和穷人为主，无法负担起新的地下污水系统的数千美元。³³

城区内部的管网建设的不平等现象则更为普遍。工业园区和城区中心地带，废水接收、运输和处理设施往往更加先进，也能够得到有效的监管和维护。但是在居住区，特别是低级住宅区和贫民窟，城市管网难以得到有效的监管和维护，甚至是城市管网的缺失。这些地区通常还存在露天排便和直接向河流和街道倾倒废水等现象。以印度为例，印度是世界上城市人口最密集的国家之一，但是目前印度有 93% 的污水未经处理即可进入池塘、湖泊或河流，据估计，其 56% 的人口无法获得适当的卫生设施。例如，在该国最大的贫民窟达尔瓦里，有 100 万居民，但只有 1000 个厕所。随着非正式定居点在未来几年的扩大，该市将不得不应对处理不当或未经处理的污水带来的巨大健康风险。³⁴ 在新冠疫情的背景下，糟糕的水体卫生状况可能使疫情形势变得更加严峻。

33 Daniel C. Vock, "America Has a Sewage Problem", February 20, 2019, <https://www.governing.com/archive/gov-sewage-septic-tank-pollution-health.html>

34 Joe McCarthy, "Open Defecation Is a Problem in India's Cities & Rural Areas: ", November 17, 2016, <https://www.globalcitizen.org/en/content/urban-rural-two-sides-of-indias-sanitation-problem/>

承接上文提到的地区性分布歧视，从废水处理的环节而言，部分地区缺乏统一的废水接收装置，即废水在产生之时就没有被城市管网系统接收。这一现象在上文所说的低级住宅区和贫民窟最为常见，实现生活废水的统一收集和管理是部分国家缓解水体污染的重要举措之一。除此之外，更多的国家缺少对废水处理和排放的监管，不仅导致很多的企业和污水处理厂降低排放标准以满足其经济效益，更有可能导致很多的安全隐患，造成污水泄漏等紧急情况的发生。

综上所述，由于经济发展要求的有意忽视和相关意识缺乏的无意忽视，大多数国家都存在城市管网建设的歧视性分布问题。在新冠疫情的背景下，城市管网的建设和废水处理的监管急需进一步的落实和加强，这不仅是监测和预防新冠疫情的必要举措，更是推进实现可持续发展目标的必经之路。联合国环境规划署希望各国能通过各种必要的途径开展宣传教育工作，首先从基层解决由此产生的废水排放的无序问题，同时希望各国能加强治理和建设层面的合作。

5.2.2调整成本较高

大部分中心城市都配有地下管道、泵站和污水处理厂，但我们不能忽视的是，这些废水处理系统的建造和运行成本高昂，需要不间断的电力、熟练的操作员和大量的成本维护。因此对于废水处理刚起步或者较为落后的国家而言，城市管网存在“重建设，轻维护”的问题。且地方政府对于企业和社区对其自身废水处理管道的维护缺乏监管。对于发展中国家而言，废水处理的主体一般都采用此种模式：由国家主导提供安全、清洁的水供应，理想情况下，管道污水系统连接到大型集中式污水处理厂（通常使用活性污泥和曝气或膜生物反应器）。在发展中国家，国家的作用可能特别强大，因为水费往往是由政府定价，而不是由市场驱动的。通常，污水处理服务和技术市场由少数几家具有巨大经济和游说力量的大公司主导。因为废水行业的有形资产具有较长的寿命，并且是资本密集型的，这使得拥有大量基础设施的社会技术系统比其他系统更加稳定。诸如城市管道这类的城市基础设施投入成本高，周期长，需要长期投入维护和监管资金，大部分企业对此都缺乏积极性，使其系统更新缓慢，运行效率低下。同时，部分地区还存在严重缺水问题，给清洁水的提供造成了更多麻烦。例如巴西45%的人口集中于东南沿海地区，但只能获得3%的可用水，使这一地区的废水处理运营和维护成本进一步增加，水务工作的开展更加困难。³⁵

³⁵ Babette Never, Katharina Stepping, Comparing urban wastewater systems in India and Brazil: options for energy efficiency and wastewater reuse, 2018, p.1132.

对于发达国家而言，设备老化和劳动力老龄化也是废水处理高成本的原因。以美国为例，美国东北部超过 50% 的配水和收集系统已有 60 多年的历史，而中西部 35% 的水处理基础设施也已有 60 多年的历史。除此之外，水行业被普遍认为是一个技术专业人员人口老龄化的行业，缺少更多技术人员的加入。同时，能源是废水管理中最大的支出之一。除了监管框架之外，降低能源成本是废物管理者的首要任务。据估计，一个发达国家将其电能的 2-3% 用于废水管理。通常从废水收集阶段到废水排放阶段都需要电能来维持。因此，能源成本占据了运营成本的很大一部分。随着能源成本预计在未来十年将继续上升，每个废水处理计划都必须开始考虑高效的废水处理技术，以降低运营成本。

废水处理的成本问题一直是阻碍各国完善或更新本国废水处理系统的重要因素，由于废水处理的市场化程度偏低，在此问题上，各国也缺乏技术研发的动力。联合国环境规划署鼓励各国能够根据地区特色，探索更多低成本与节能减排的废水处理方式，例如玻利维亚埃尔阿尔托市城市周边社区的分散式排泄物管理和当地污水再利用、纳米比亚的温得和克市从城市污水中回收饮用水等成功的本土化案例。同时也鼓励国家间可以就新型废水处理方式进行讨论，探索低能耗、高能效的排水方式，并加强国家间技术讨论。

5.3. 废水处理技术普及问题

尽管大部分现代国家在 20-21 世纪建成了城市废水的处理系统，但根据联合国调查数据显示，全球依然有数十亿人缺乏安全管理的环境卫生和基本的个人卫生服务，特别是在最不发达国家。全球范围内，家庭产生的所有废水中，44% 没有得到安全处理，即没有经过二级处理或更高工艺的处理，或者污水排放没有达到相关标准。世界上大部分地区缺乏关于废水总量和工业废水流量的可比数据。尽管世界上 60% 的受监测水体具有良好的环境水质，但由于国家和水流域层级存在数据缺口，很难评估全球的状况和趋势，这使得数十亿人生活在危险之中³⁶。世界上大多数发展中国家的废水处理技术多起步于国家独立之后，或是继承了殖民时代留下的废水处理设施和技术。但一个世纪以来，全球废水处理水平之间的差距依然巨大，落后地区的废水处理技术发展长期处于停滞阶段。废水处理技术在普及方面出现困难，有多种原因，首先需要从国内和国际两个层面来分析。

从国内的层面而言，首先是国家间废水处理和排放标准不同。在 4.1 和 4.2 中已提到，由于经济发展的需要，发展中国家的废水排放和处理标准一般而言是比发达国家低的，对于更高层面的废水处理技术和设备的需求较低，在技术更新上持消极态度。这也就导致了从国家整体层面对于更新和普及废水处理技术等环境保护类政策关注较弱，进而导致地方政府和

36 联合国环境规划署，《2021 年最新进展摘要：可持续发展目标 6——为所有人提供水和环境卫生》，2021，第 9 页。

企业一再降低废水排放标准，长期缺少对现有的城市管网系统和污水处理厂的监管，探索更多低成本、高效率的废水处理方法也就更是无从谈起。为了有效落实废水的基层处理，唤醒民众和企业对于废水处理重要性的意识，这是各个国家应该可以从宣传教育和监督指标两个层面进行着手应对的。

从国际的层面而言，国家间关于废水处理技术的交流也存在诸多障碍。由于各国自然和社会环境的差异，废水处理技术的交流的有效程度十分有限，而更多有实际价值的交流多集中于资金支持和废水处理商业化的层面。同时，缺少更为广阔的平台和资金、人员来对技术不发达地区的情况做出详细调查，在普及废水处理技术层面，各国更多的考虑是经济利益。由于水务基础设施的周期长、见效慢，需要更多的时间来考察新技术的可操作性和可持续性，资金流的稳定对于技术交流的成果落实就十分重要。奖惩机制与其执行机制在国际技术交流间也存在着不同的矛盾，如何建设简单可行的激励机制，提高国家主体和企业主体的积极性，协调多方利益也是所有代表应该考虑的重要问题。

此外，技术本身也是一个重要原因，例如工业废水成分复杂，因此工业废水处理技术的复杂程度也相应地上升了一个台阶。在选择治理工艺时要从多个角度通盘规划，不光要关注废水处理的“此时此地”，还必须追本溯源，将排污企业的生产工艺纳入考虑范围之内。

复杂的处理技术需要大量资金成本与能耗，有些企业缺少资金，没有受到普及实属必然。但处理废水的主体并非只有企业，在处理生活污水时，政府也有捉襟见肘的时候。在部分发展中国家，城市污水处理作为基本公共服务范畴内的事务，由政府承担兜底责任，当污水处理收费不足以支付污水处理服务费时，就需要财政资金来弥补。而根据相关统计数据显示，在污水处理收支方面存在压力，仍是国家间政府一种较为普遍的现象。

除了财力、物力问题，还有人力问题。相关领域专业人才的缺失，导致废水处理技术得不到改进，处理机制得不到优化，治理工艺得不到创新。如果能对城市废水进行科学规划，通过对污水合理布局、统筹规划、集中处理，以最小的投入得到较好的社会效益与经济收入。或者结合科学技术、先进经验，对其进行探索与学习，从而找出最佳治理方案，让污水处理的相关技术进入新的状态，这也是推进生态系统与经济效益持续发展的有效方法³⁷。

纵览全局，不难发现，许多国家政府和企业对废水处理问题的忽视也是当今废水处理技术普及问题的症结之一。政府没有对废水处理问题提起足够的重视，不关心废水处理设施的配置，不增加废水处理的资金投入，何谈废水处理技术的普及。企业更是如此，有些只将经济效益放在首位的企业，认为治理废水除了应付环保部门的检查以免于处罚外，并无益处，反而增加了成本，故而不愿在废水处理方面投入太多。

37 丁丽：《城市污水处理存在的问题及对策探究》，《科技资讯》，2019年第11期，第77页。

5.4. 信息收集与数据统计问题

信息收集与数据统计问题是对于决策层面而言的，联合国将信息和数据视为环境水治理乃至实现所有 2030 年可持续发展目标的重要支撑之一，并鼓励和督促各国加强数据收集和能力建设工作。

在《2030 年可持续发展议程》中，数据的重要性被多次提及，联合国希望得到优质、易获取、及时和可靠的分类数据，³⁸ 然而结果却不尽如人意。《2021 年最新进展摘要——可持续发展目标 6——为所有人提供水和环境卫生》报告了水和环境卫生治理方面仍存在巨大数据缺口的情况，一般的联合国会员国拥有可持续发展目标 6 全球指标三分之二左右的数据，24 个联合国会员国拥有不到一半的指标数据。³⁹ 尽管这些全球指标能够有效地反映总体进展情况，但对国家和国家以下的各决策单位而言，仍无法满足他们制定政策和进行规划的需求。

从全球治理的角度来说，要使信息收集和数据统计问题得到完美的解决，不只是监测更多的指标这么简单。SDG6 对数据和信息方面的成功标准是共享所有相关指标的高质量信息，即所有决策者都很容易获得它们，微观层面上是在各部门之间共享，宏观层面上还要做到跨国界的共享。

当我们深入了解数据和信息在决策过程中所起的作用后会发现，监测设施的缺乏、专业知识的不足和财政资金的短缺可能并不是解决这一问题所面临的最大障碍。在实际情况中，那些全球指标的监测也未必能对当时当地的水环境改善作出显而易见的帮助。就前文提到的废水处理收支不平衡问题而言，这种情况出现的原因之一也与信息收集有关。譬如在某国的市政系统中，污水处理标准和污水处理服务费标准的制定职责分属不同部门，如果部门之间所掌握的成本信息不够畅通，那么污水处理服务费标准与污水处理收费标准就极易存在不平衡、不匹配的问题。

数据的收集和信息的共享，对于实现整个可持续发展目标 6 来说，近似车之两轮、鸟之两翼，在发展过程中不宜偏废，但也需按照实际情况区分具体问题的轻重缓急。

38 《变革我们的世界：2030 年可持续发展议程》，A/RES/70/1，2015 年 10 月 21 日，第 11 页。

39 联合国水机制：《2021 年最新进展摘要：可持续发展目标 6——为所有人提供水和环境卫生》，2021 年 7 月，第 5 页。

6. 可能的解决措施

6.1. 国内层面：加强国内废水治理能力

6.1.1 废水处理能力建设

非政府主体能力建设

联合国环境规划署曾指出：确保私人领域发挥其应有的功能，是整个环境卫生和污水处理系统的关键，也是最具挑战性的管理问题之一。⁴⁰ 实际上，这句话中“私人领域”这一概念可以推广至所有非政府主体，包括但不限于企业和家庭。

在这一方面，最重要的解决措施之一是保证非政府主体的废水处理设施是有效的。尤其是对于工厂以及城市管网体系不完善的地区来说，这一点极为重要。因为它们的废水排放途径和相关设施往往是由用户自己选择和购买的。非政府主体对废水处理技术选择和使用会直接影响到公共领域的管理，只有正确使用、定期维护和清洁的设施才能发挥其应有的作用。因此，各国有必要制定合理的沟通策略，通过税收调整、补贴、技术援助等方式对有困难的非政府主体提供帮助。同时，政府也可以对非政府主体的废水处理设施选择做出一定程度上的规范和限制，通过定期监测或抽查等方式保证处理设施的可靠性。

实现非政府主体建设的另一个关键点在于推动家庭对废水预先处理。尽管家庭废水在进入城市管网后会得到统一的处理，但如果进行预先处理，则可以提高其再利用的价值。预先处理必然会产生相应的费用，或对家庭设备有一定的要求，因此如何建立家庭对预先处理的支付意愿是难点所在。特别是在城市地区，用户很难直接感受到效益。在这种情况下，政府可以通过减少服务费或退税等方式重新分配系统的净收益，或者通过法律途径来为家庭创造收益。⁴¹

例如，瑞典的《环境排放法》规定“禁止在环境敏感地区建造采用传统现场废水处理技术的房屋，但部分采用资源回收系统的建筑可以获得建筑许可。”在此以黑水处理为例，对此资源回收系统的运作流程进行详细的阐述。采用资源回收系统的家庭会被要求使用特殊的马桶和家庭水箱，以减少对黑水的稀释，使黑水在家庭层面得到预处理。之后家庭向市政公用事业部门支付费用，市政部门会以特殊方式收集预处理后的黑水，并送至特定的处理工厂用于生产化肥。在此案例中，家庭和政府达成了双赢：家庭获得了建筑许可；政府让家庭建立了支付意愿，同时实现了对家庭废水的预处理。

⁴⁰ UNEP, *Sanitation, Wastewater Management and Sustainability—from Waste Disposal to Resource Recovery*, 2020, p.87.

⁴¹ Ibid, p.91.

优化公共废水处理体系

城市废水处理流程比较固定，通常为：产生的废水通过城市下水道管网运送至集中处理厂或临时储存点。由此，可将城市废水处理体系分为废水收集系统（排水管网）和废水处理系统（污水处理厂）两部分。类比可得，对公共废水处理体系的优化可以从管道优化和处理方法多样化两方面进行，以下将对此分别展开说明。

管道优化又包括对管道布局的调整和对管道本身的优化。由于调整废水管网布局所需成本较高，因而在实际中运用较少。对于管道本身的优化是指对管道材料、管网内环境等要素的改进。实际上，管道在收集和运输废水的同时，其内部温度、材质等因素也使废水产生变化。这些变化不仅会影响排水管道的输送效率，而且直接影响污水处理厂等进水水质。⁴²又由于城市污水管道具有管径大、管道长的特点，废水会在管道中长时间滞留，所以若采用特殊技术改变管道内的微生物容量和溶解氧的浓度，则可以实现在管道内初步处理污水。

例如，有学者曾经进行了在管网中应用固定化细胞技术的污水净化模拟实验。实验结果表明，在管网系统中设置固定化细胞，施以适当的人工曝气，并保证污水在管道内有一定的停留时间的条件下，可使污水中的 COD 去除率大于 60%，达到国家综合排放标准的二级标准。⁴³与传统的废水处理技术相比，利用管道进行废水处理具有不占地表土地、经济性强、易于管理等特点。它既可以作为小规模城市处理废水的主要方法，也可以作为中、大型城市缓解污水处理厂压力的辅助措施。由此可见，不管从经济维度还是环境保护维度来看，管道优化都是提高国内废水处理能力的良好方法。

处理技术的改进与更新是优化公共废水处理体系的另一大重点。对于现有的污水处理技术的介绍详见背景文件 4.3 部分。总的来看，虽然生物法的成本相对较高，但它是目前为止效果较好的方法。另外，需要明确的是废水处理技术需要因地制宜。在许多改善卫生设施和废水管理的尝试中，都存在一个常见的错误，即直接采用在其他地区效果好的技术。这种错误会导致处理方法不能轻易适应人口密度的变化、在暴雨和洪水期间发生故障等问题。由于城市管网的完善程度、人口密度、自然条件等因素的不同，各个城市在处理废水的方式必定会存在一定的差异。因此在处理技术的选择上，不能只追求高效，还要注重因地制宜。

42 李伟、魏晓峰：《利用下水道管渠空间处理城市污水的探讨》，《百科论坛》，2012 年 5 月 8 日，第 266 页。

43 同上，第 266 页。

6.1.2 立法与执法能力

制定全面的废水处理标准

首先，全面的废水处理标准应该对废水的各项指标作出规定，并且地区应根据实际情况对全国性的标准中未规定的项目作出补充。

其次，废水减排指标的执行主体不应按照行政区域为单位进行划分，而应以流域为单位划分或采取两者结合的管理模式。如果以地方行政区域进行划分，则可能产生各行政区间相互推诿责任的情况，很难界定污染的责任主体。这种方法缺乏对流域整体性的统筹管理，容易导致标准难以实现。

最后，政府也应考虑废水处理标准对于境内河流和国内境外河流的适用性。部分国家的法律采取将境内国际河流作为国内河流对待的方法，但这种方式缺乏长远的考虑。例如，在特殊情况下，政府可能会为了工业的快速发展而选择暂时牺牲国内环境，通过降低废水排放标准或者放宽监管力度来降低成本。如果这部分废水排放进入国际河流，则可能会损害下游国家的权益，甚至引发流域其他国家的强烈不满和谴责。因此，各国有必要采取措施完善废水进入国内境外河流的标准。

加强废水排放的监管

除了提高检测频率外，加强废水排放的监管还可以通过增加监管主体的方式实现。废水排放监管大多是通过政府渠道进行的，但实际上也应让公众参与监管。公众参与不仅仅是以法律形式赋予了公民参与的权利，还需要明确公众参与的形式和具体程序，不能只流于形式。同时，政府和企业也应公开污水排放的相关数据与标准，让公众了解情况。

完善奖惩机制

实现废水治理能力提升的一大重点即为惩罚制度的完善。有效的惩罚机制应满足分层惩治、惩罚力度适当等特点。对于违法排放废水并造成严重恶果的企业而言，应规设置高额的处罚金额，并责令其整改甚至关闭。除了完善处罚机制外，也可以对积极履行废水处理义务的个人或单位给予奖励，以起到示范作用。例如，《中华人民共和国污水防治法》中规定：县级以上人民政府及其有关主管部门对在水污染防治工作中做出显著成绩的单位和个人给予表彰和奖励。

6.2. 国际层面：通过国际合作提高全球范围废水治理能力

在国际层面，合作的主要内容可大致分为四类。

第一，是促进各国废水处理能力的建设。对于全球城市废水问题而言，目前为止最大的矛盾点是城市发展需求与废水处理技术间的不匹配。这一矛盾在发达国家与发展中国家之间体现地尤为明显。发展中国家需要大规模、快速的工业发展和城市扩张，并且其城市人口密度较大，因而会产生大量家庭、工业废水。但其又缺乏成熟的废水处理技术。发达国家虽然掌握成熟的处理技术，但其工业已进入缓慢增长阶段，城市建设也趋于完善。

第二，是水质监测能力的提升。联合国水机制的报告称：“由于国家和水流域层级存在数据缺口，很难评估全球的状况和趋势，这使得数十亿人生活在危险之中。”⁴⁴ 由此可见，国际水质监测能力亟待完善。

第三，是区域内的责任分配与协调。城市废水在经过处理后一般有两个归宿：再利用或排放进入其他水体。对于后者而言，由于许多河流都具有流域跨国特点，因此如何协调河流沿岸各国的责任与义务也是提高全球废水治理能力的一大关键。

第四，是排放及水污染标准的制定。正如 5.1 部分所述，区域、国际的排放标准还尚未完善。以下将从不同的合作手段出发，阐述国际层面的解决措施。

6.2.1 国家间的双边与多边合作

国家间关于废水方面的双边、多边合作一般包含在跨界水合作或防治水污染的大议题下，其主要的合作内容主要为上文所述目标中的后三类。

世界上各国关于具体跨界水域的双边与多边条约数量很多，但对废水排放问题的讨论是从二十世纪后期才开始的。1997 年联合国大会通过了具有里程碑意义的《国际水道非航行利用法公约草案》，其中规定“经任何水道国请求，各水道国应进行协商，以期商定彼此同意的预防、减少和控制国际水道污染的措施和方法，如：订立共同的水质目标和标准……”此外，发展中国家在废水处理方面的合作开始较晚，略落后于发达国家。据统计，2007 年以前大约 2/3 的有关跨界水合作的条约产生在欧洲和北美。⁴⁵ 以下将以通过具体案例，对国家间合作进行更详细的阐述。

⁴⁴ 联合国水机制：《2021 年最新进展摘要：可持续发展目标 6——为所有人提供水 and 环境卫生》，2021 年 7 月，第 8 页。

⁴⁵ 胡文俊：《国际水法的发展及其对跨界水国际合作的影响》，《国际瞭望》2007 年 11 月 10 日，第 64 页。

中俄合作。中俄两国间的水治理合作主要集中在水质监测方面。2001年，在《中俄睦邻友好合作条约》中首次开展了两国间有关治理水污染的合作。此后第二年，两国就开展了联合水质监测，并共同分析勘测结果。2006年，中俄签订了《中华人民共和国政府和俄罗斯联邦政府关于合理利用和保护跨界水的协定》，其中首次提及废水排放问题：“（两国应）制定和采取必要措施，预防和减少由于污染物的排放而导致的对跨界水的跨界影响，并对有关信息进行交换。”在本份协定中，中俄还决定要共同制定跨界水质标准、再次开展水质监测，并成立保护跨界水联合委员会。此后，联合委员会成为了中俄两国开展废水处理合作的重要途径，平均每2年召开一次会议。

欧盟合作。欧盟的废水处理合作开始较早，其规定也更为全面和具体。早在1950年，欧盟便成立了莱茵河国际保护委员会，负责制定排放标准、监测污水排放并对违规企业进行惩罚。例如该委员会通过的《防治热污染公约》中强调“莱茵河沿岸的电站和工程必须修建冷却塔，确保排放的水温低于规定值”。⁴⁶2000年，欧盟又出台了《水框架指令》（以下简称“指令”），将废水排放标准拓展至更多流域。在国际层面，指令规定了成员国需要采用统一的排放标准。在企业层面，指令规定了企业排放各类有害物质的排放指标；指出企业需要自行处理其产生的废水；明确了污水处理厂需要对企业的排放和治理情况进行定期检查，若超标则排污者将面临的处罚。⁴⁷除此之外，欧盟也积极开展水质监测，包括成立调查小组、设置国际水质监测站、布局水质监测网络等行动。总而言之，欧盟合作中关于废水排放的相关规定及监管措施，值得其他国家进行借鉴与参考。

6.2.2 联合国环境规划署所采取的行动

与国家间的双边、多边合作不同，联合国环境规划署更加注重实现国际合作内容的前两类，即对于废水处理和水质监测能力的提升。为提高全球范围的废水治理能力，联合国环境规划署有针对性地出版了《环境卫生、废水管理和可持续性——从废物处理到资源回收》（Sanitation, Wastewater Management and Sustainability—from Waste Disposal to Resource Recovery）。这本书详细阐述了全球废水处理的现状与问题，汇集了废水管理方面的最新的思想、技术，并列举了有代表性的应用案例。它使政策受众和相关从业者能够了解废水治理中的关键问题。目前为止，该出版物已更新至第二版。

此外，由于城市废水的不当排放是导致水质下降的主要因素之一，故联合国环境规划署对于废水问题的讨论多包涵在大议题——“水质问题”或“水污染问题”之下。具体而言，联合国环境规划署是可持续发展目标6.3（到2030年，通过以下方式改善水质：减少污染，

46 赵虹眉：《澜沧江—湄公河流域跨界水污染防治》，硕士学位论文，昆明理工大学国际法系，2014年5月，第52页。

47 同上，第41页。

消除倾倒废物现象，把危险化学品和材料的排放减少到最低限度，将未经处理废水比例减半(-50%)，大幅增加全球废物回收和安全再利用⁴⁸⁾的主要监管主体之一。为实现此目标，联合国环境规划署从监测、治理等角度出发，采取了诸多行动。

在监测方面，联合国环境规划署参与运作全球淡水环境监测系统 (GEMS/Water)。有关该系统的详细内容已经在“4.5 全球水质监测”部分进行了详细地介绍，故此处不再赘述。

在治理方面，联合国环境规划署采取了水资源综合管理 (Integrated Water Resources Management-IWRM) 措施。虽然此项措施主要是针对可持续发展目标 6.5 (确保到 2030 年为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理) 而提出的，但实际上对缓解废水污染、提高水质也起到了积极的作用。水资源综合管理是一项跨部门的治理措施，它打破了原有水资源管理中各部门独立进行的传统。简单来说就是综合管理废水排放、生态系统保护、饮用水开采等部门。其理论基础是：有限的水资源的许多不同用途是相互依存的。例如，城市和工业废水会污染河流；河流污染又会进一步导致用于饮用或工业的淡水减少。联合国环境规划署通过联合国水机制等途径，让各国报告 IWRM 的实施情况，同时 IWRM 的数据门户也为各国提供相关数据和信息。

再从国际合作的视角来看，联合国环境规划署积极举办联合国环境大会，为所有部门、各级政府和各行各业共同探讨水问题及其他环境问题提供了良好的平台。联合国环境大会是全世界最高级别的环境决策机构，其前身是联合国环境规划署理事会，每两年举办一届。在 2021 年召开的第五届联合国环境大会中，各参与国家、国际组织再次对废水治理问题进行了讨论。联合国环境规划署也对全球废水管理体系的建设做出了进一步展望，称“将扩大进行中的关于废物绿色化和废水管理基础设施的工作；将支持各级政府开发、实施和遵守有复原力且有效的废物和废水管理体系，以及包括自然基础设施在内的可持续基础设施。”⁴⁹⁾

6.2.3 其他相关国际机构、组织或机制

联合国水机制 (UN-Water)

联合国水机制成立于 2003 年，负责协调各联合国实体和国际组织在水和环境卫生问题方面的工作。该机制以《2030 年可持续发展议程》和《联合国气候变化公约框架》内的《巴黎协定》为核心，致力于解决全球范围内的水与卫生问题。需要注意的是，联合国水机制并非一个独立运作的机构或组织，而是一个“机构间机制”。联合国水机制汇集联合国实体和国际组织的意见、各国数据，以制定合适的方案，再通过其成员和合作伙伴实施这些方案。该机制的参与成员包括联合国粮食及农业组织、联合国环境规划署、国际电信联盟、联合国开发计划署等。

48 联合国水机制：《2021 年最新进展摘要：可持续发展目标 6——为所有人提供水和环境卫生》，2021 年 7 月，第 9 页。

49 《联合国环境大会第五届会议报告：2022-2025 年中期战略》，UNEP/EA. 5/3/Rev. 1，2021 年 2 月 22 日至 26 日，第 27 页。

联合国水机制的主要工作内容包括通知政策，监测和报告，以及举办纪念活动。“通知政策”即为确定新出现的问题，制定有效的合作对策，并为提供与政策进程有关的信息。“监测和报告”主要通过“可持续发展目标 6 综合监测倡议（IMI-SDG6）”来实现。该倡议汇编了各国有关 SDG6 全球指标的数据，并在每年以报告的形式呈现可持续发展目标 6 的进展和现存挑战。此外，IMI-SDG6 还致力于提高各国的参与程度。由于部分国家的技术、人力资源等因素的限制，很难实现有效数据的收集。为此，IMI-SDG6 向各国提供了一系列技术和能力建设支持，包括提供监测方法和指南，举办网络研讨会和在线教程，开展区域和全球层面的技术援助等。“举办纪念活动”包括但不限于协调世界水日、世界厕所日这两个年度全球活动。

世界水质联盟

世界水质联盟 (World Water Quality Alliance-WWQA) 成立于 2019 年 9 月 19 日，由联合国环境规划署和欧盟委员会联合研究中心 (Joint Research Centre -JRC) 共同发起。世界水质联盟是一个由多个国际或区域性组织共同组成的联盟，具有自愿性和灵活性。其主要职能为探讨和交流全球、区域、国家和地方背景下的水质风险，并提出维护和恢复生态系统、人类健康及福祉的解决方案。该联盟汇集了水质科学、技术创新、治理和外交等多领域的专业知识，向各国政府和其他相关主体提供关于水质问题的评估与解决方案。迄今为止，已经有 80 多个组织加入了世界水质联盟。

7. 国家立场分析：如何定位国家立场

7.1. 水与可持续发展问题在国家战略定位中作用

城市废水治理问题是全球水治理问题的下属议题，联合国全球水治理需要各国的积极参与。然而不同类型的国家参与全球水治理的能力、意愿、目的也不尽相同。

对于大部分发展中国家而言，其治理能力有限，很难依靠自身力量来应对水资源引起的非传统安全威胁。⁵⁰ 发展阶段不同导致了环保问题在发达国家和发展中国家议程中的先后次序不同。发达国家在环境问题上紧迫感要大于发展中国家，但由于其综合实力较强，其应对水问题的能力也相对较强。由于发展中国家经济实力弱，环保能力不强，因此其遭受的全球环境问题带来的危害和损失要远远大于发达国家。

对于一国而言，国家治理能力不足导致的环境资源短缺可能引发的冲突、加剧民族矛盾，甚至危害政府的执政稳定性。受到环境资源短缺影响的民众会被迫迁移到其他地方，这有可能造成新移民与当地人口的冲突。在发展中国家，环境移民和生产下降最终会降低国家治理能力。政府的管理水平也会削弱国家控制民族矛盾的能力，这就会增加内部政治的不稳定以及精英政治对国家权力的挑战。人口增加、包括水资源在内有限的资源承载能力会引起生产力水平降低、生活水平下降、大面积生态移民等现象，进而会出现社会动荡和国家经济水平下降。⁵¹

如果各国能够充分利用自身在地缘、经济和技术等方面的优势，发挥主观能动性向周边国家和世界有需要的国家提供水资源类公共产品，⁵² 就构建水资源合作机制展开务实合作，则不仅可以有效缓解水资源紧张关系，还可以促进国家间关系改善，也将对外交战略的实施起到积极的推动作用。⁵³

根据以上原理，对于各国在城市废水治理议题上的具体立场也可进行定位。

50 邢伟：《美国对东南亚的水外交分析》，《南洋问题研究》，2019年第1期，第23页。

51 Thomas F. Homer — Dixon, "Environmental Scarcities and Violent Conflict: Evidence from Cases", "International Security", Vol. 19, No. 1 (1994), pp. 31-32.

52 李志斐：《水问题与国际关系：区域公共产品视角的分析》，《外交评论》，2013年第2期，第115页。

53 郭延军：《“一带一路”建设中的中国周边水外交》，《亚太安全与海洋研究》，2015年，第4期，第82页。

7.2. 定位国家的水外交战略

水外交是当代国家参与国际外交的重要手段之一，各国的水外交战略不同也影响到各国在城市废水的全球治理过程中的具体定位。水外交一般可以理解为一国政府为确保跨界水资源开发与合作中的利益，通过外交方式包括技术和社会层面的举措来解决跨界水合作问题的行为。⁵⁴

全球水外交战略在很多大国的外交战略中扮演了重要的角色。以美国的全球水外交为例。在 20 世纪 70 年代，美国的水外交主要是通过美国国际开发署（USAID）的健康用水与卫生项目，针对性地向发展中国家提供水资源治理的支持工作。其获得了发展中国家的普遍支持和国际社会的广泛关注，逐渐确立了美国在该领域的技术、资金和政策方面的全球领导力。⁵⁵ 并直接和间接地主导了联合国千年发展目标等全球水治理目标和标准的制定，甚至作为美国参与中东政治的重要手段。

除此以外，区域内国家间水外交是协调流域内关系的重要环节。马来西亚与新加坡为协调新加坡城市用水拥有一系列双边协定。在大湄公河流域国家间也拥有一系列水合作项目。

“澜沧江—湄公河水资源合作”是“澜湄合作”确立的五大优先发展领域之一。⁵⁶

因此在定位废水治理问题上的国家立场，应当设立在各国宏观水外交战略和可持续发展战略上进行宏观地考察。

7.3. 定位国际公共产品对本国的利益

公共产品（public goods）的概念最早由保罗·萨缪尔森（Paul Samuelson）在福利经济学中提出，指区别于私人产品的一类比较特殊的产品，“任何人对这种产品的消费，不会因为其他人的同时消费而产生效用减少”。⁵⁷ 国际公共产品是公共产品在世界范围内的扩展和延伸。全球的水资源在理论上是一种公共产品。治理城市废水，保证水资源的安全与可持续发展是世界范围内的共同问题。基于这种假设，应对全球范围的废水问题是需要各国应共同参与的。

然而，全球水资源和水安全作为一种国际公共产品，不具有完全的公共性。在消费水资源时，水资源具有一定排他性。针对这种不完全的国际公共产品，治理时可能会建立排他性消费机制和成本分担机制。对于这种机制，各国应对各自的立场予以考虑，进一步强调其排他性抑或是强调其公共性。

54 许成：《新加坡与马来西亚水外交问题研究》，硕士论文，华中师范大学国际政治专业，2019 年，第 7 页。

55 李志斐：《美国的全球水外交战略探析》，《国际政治研究》，2018 年第 3 期第 39 卷，第 64 页。

56 中华人民共和国外交部：《澜沧江—湄公河合作重要文件与领导讲话》，《中国—东盟研究》，2017 年第 2 期，第 174-176 页。

57 Paul A. Samuelson, “The Pure Theory of Public Expenditure”, Review of Economics and Statistics, Vol. 36, No.4, 1954, p.387.

8. 思考问题：

1. 全球水质监测的下一个阶段性目标应该是什么？
2. 如何从国际层面改进各国的监管和惩处机制？
3. 是什么阻碍了全球范围的水标准的制定？
4. 联合国环境规划署的资金的募集方式和使用方式对联合国参与水治理有何特殊影响？
应怎样使用联合国环境基金？
5. 流域内所有国家是否应该采用统一的废水排放标准？为什么？
6. 与农村废水问题相比，城市废水问题具有哪些特殊性？

参考文献：

1. 章淼淼：《工业废水处理方法研究及技术进展探析》，《化工管理》，2019 年第 12 期；
2. 邢伟：《美国对东南亚的水外交分析》，《南洋问题研究》，2019 年第 1 期，第 23 页；
3. Thomas F. Homer — Dixon, “Environmental Scarcities and Violent Conflict: Evidence from Cases”, “International Security”, Vol. 19, No. 1 (1994), pp. 31-32;
4. 李志斐：《水问题与国际关系：区域公共产品视角的分析》，《外交评论》，2013 年第 2 期；
5. 郭延军：《“一带一路”建设中的中国周边水外交》，《亚太安全与海洋研究》，2015 年，第 4 期；
6. 许成：《新加坡与马来西亚水外交问题研究》，硕士论文，华中师范大学国际政治专业，2019 年；
7. 李志斐：《美国的全球水外交战略探析》，《国际政治研究》，2018 年第 3 期第 39 卷；
8. 中华人民共和国外交部：《澜沧江—湄公河合作重要文件与领导讲话》，《中国—东盟研究》，2017 年第 2 期，第 174-176 页；
9. UNEP. Sanitation, Wastewater Management and Sustainability—from Waste Disposal to Resource Recovery, 2020;
10. 李伟、魏晓峰：《利用下水道管渠空间处理城市污水的探讨》，《现代企业教育》，2012 年第 9 期；
11. 联合国水机制：2021 年最新进展摘要：可持续发展目标 6——为所有人提供水 and 环境卫生，2021；
12. 胡文俊：《国际水法的发展及其对跨界水国际合作的影响》，《水利发展研究》，2007 年，第 11 期，第 :63-67 页；
13. 赵虹眉：《澜沧江—湄公河流域跨界水污染防治法律机制研究》，《昆明理工大学》，2014 年；
14. 联合国环境规划署 . 联合国环境大会第五届会议报告：2022-2025 年中期战略，UNEP/EA.5/3/Rev.1, 2021；
15. 王慧：《中蒙俄朝四国界江界湖水安全问题国际合作研究》，硕士论文，黑龙江大学，2021 年 5 月 17 日；

16. 王曦、杨兴:《论国际淡水资源利用和保护法的发展》,《法学论坛》,2005 年第 1 期,第:132-139 页;
17. 马学琳、李洪波、罗宁、赵建国:《城市地表径流污染研究》,《中国资源综合利用》,2021 年第 5 期第 39 卷;
18. 张 蕾,周启星:《城市地表径流污染来源的分类与特征》,《生态学杂志》,2010 年第 11 期;
19. 范珊珊、仇方道、沈正平:《徐州市经济增长与工业废水的关系及成因》,《江苏师范大学学报(自然科学版)》,2016 年第 3 期第 34 卷;
20. 《变革我们的世界:2030 年可持续发展议程》,A/RES/70/1,2015 年 10 月 21 日;
21. 联合国水机制:《2021 年最新进展摘要:可持续发展目标 6——为所有人提供水和环境卫生》,2021 年 7 月,瑞士日内瓦;
22. Paul A. Samuelson, “The Pure Theory of Public Expenditure” , Review of Economics and Statistics, Vol. 36, No.4, 1954;
23. WHO, UNICEF, “1 in 3 people globally do not have access to safe drinking water – UNICEF, WHO” ;
24. U.S. Office of Water, Office of Wastewater Management, Summary of State Storm water Standards, 2011 ;
25. <https://www.who.int/news/item/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water-unicef-who>;
26. United Nations, “Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all” , <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>;
27. UNEP:《关于联合国环境规划署》,《为什么联合国环境规划署重要》, <https://www.unep.org/zh-hans/guanyulianheguohuanjingshu/weishenmelianheguohuanjingshuzhongyao>;
28. UNEP: “Funding and partnerships” , <https://www.unep.org/about-un-environment-programme/funding-and-partnerships>,
29. UNEP: “Earmarked Contributions” , <https://www.unep.org/about-un-environment/funding-and-partnerships/funding-facts/earmarked-contributions>;

30. UNEP: “Environment fund” , <https://www.unep.org/about-un-environment-programme/funding-and-partnerships/environment-fund>;
31. Merriam-Webster, “Wastewater” , “Definition of wastewater” , <https://www.merriam-webster.com/dictionary/wastewater>;
32. USGS, “Wastewater Treatment Water Use Completed” , By Water Science School, June 18, 2018, <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/wastewater-treatment-water-use>;
33. 中华人民共和国生态环境部: 《中华人民共和国污水排放标准》, https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/shjbh/swrwpfbz/199801/t19980101_66568.shtml;
34. Merriam-Webster, “sewage” , “Definition of sewage” , <https://www.merriam-webster.com/dictionary/sewage>;
35. UNIVERSITY of NEBRASKA-LINCOLN, “Wastewater - What Is It?” , <https://water.unl.edu/article/wastewater/wastewater-what-it>;
36. Oxymem a DuPont brand, “Sewage versus Wastewater - What’ s The Difference?” , <https://www.oxymem.com/blog/sewage-versus-wastewater-whats-the-difference>;
37. USGS, “Runoff: Surface and Overland Water Runoff Completed” , By Water Science School June 6, 2018, <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/runoff-surface-and-overland-water-runoff>.