



文章栏目：“我国典型突发环境事件的应急处置案例解析”特邀专稿

DOI 10.12030/j.cjee.202008108

中图分类号 X507

文献标识码 A

陈思莉, 黄大伟, 张政科, 等. 流域突发水污染事件应急处置工程削污技术[J]. 环境工程学报, 2021, 15(7): 2233-2238.

CHEN Sili, HUANG Dawei, ZHANG Zhengke, et al. Pollution reduction technologies for emergent water pollution disposal in river basins [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(7): 2233-2238.

## 流域突发水污染事件应急处置工程削污技术

陈思莉, 黄大伟, 张政科, 王骥, 邴永鑫, 常莎, 邬清伟\*

生态环境部华南环境科学研究所(生态环境部生态环境应急研究所), 广州 510530

第一作者: 陈思莉(1982—), 女, 硕士, 正高级工程师。研究方向: 突发环境事件应急处置技术开发, 水处理研究与设计。E-mail: [chensili@scies.org](mailto:chensili@scies.org)

\*通信作者: 邬清伟(1974—), 男, 博士, 正高级工程师。研究方向: 环境应急处置技术, 环境风险管理, 水污染治理。E-mail: [guoqingwei@scies.org](mailto:guoqingwei@scies.org)

**摘 要** 针对我国重大环境污染事件应急处置需求, 系统分析总结了典型水环境污染应急处置案例, 经凝练、集成和应用验证, 形成并完善了流域突发水污染事件应急处置工程削污技术。从必要性、可行性等角度论述了工程削污技术的选择原则, 总结了流域突发环境事件中重金属和类金属、有机物和还原性污染物等典型污染物的削减和应急处置方法, 归纳了应急处置工程中实施削污措施的技术要点, 形成了流域突发环境污染事件应急处置工程削污技术储备库, 将为今后流域突发环境事件应急处置和管理提供支撑。

**关键词** 流域; 突发环境事件; 应急处置; 工程削污

我国目前处于突发环境事件高发期。根据生态环境部公开发布的生态环境状况公报(2014—2019年), 全国共发生突发环境事件约 1 900 起, 其中生态环境部直接调度、指导处置的突发环境事件 434 起, 水污染事件占 60% 左右。与一般环境污染不同, 突发环境事件具有形式多样、发生突然、危害严重、处置任务艰巨等特点, 一旦发生往往给人民生命健康、国家财产造成重大损失。流域突发污染事件若未及时妥善处理, 可能导致跨省、跨国界污染, 产生极大社会影响。采取科学、及时、有效的工程削污措施, 在短时间内将大范围、高浓度环境污染物降至低浓度或无环境损害水平, 是实现污染事件应急处置最核心的目标。

生态环境部华南环境科学研究所环境风险管理与应急技术研究中心(简称“环境应急技术研究中心”)为生态环境部下属的唯一以环境应急为主要任务的二级机构, 专门从事突发环境事件应急处置等工作。2012—2019 年, 环境应急技术研究中心先后处理 80 余起流域突发环境事件, 具备丰富的应急处置经验, 开发实施了多种的应急处置削污工程技术。本研究拟梳理归纳形成流域突发环境污染事件应急处置工程削污技术储备库, 为突发环境事件应急处置和管理提供参考。

### 1 应急处置削污工程实施原则

流域突发水环境事件中, 应急处置措施主要包括源头阻断、截流引流、工程削污、调水稀释、供水保障等。实际处置工程中可根据污染事件情况选择一种或多种措施, 而确定具体工程削

收稿日期: 2020-08-12; 录用日期: 2021-04-26

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(PM-zx703-202002-079); 广东省省级科技计划项目(2016B020240007)

污措施时,应科学研判实施的必要性和可行性。

### 1.1 削污工程必要性的研判

1) 污染直接环境危害特征。污染的直接危害是指由于污染物进入水体后给水体环境、生物和人群带来的直接危害或威胁。不同污染物进入水体的危害表现往往不同,有些呈现急性毒性,有些有长期的慢性毒性,还有一些则会造成长期的生态或健康威胁。当污染事故中的污染物具有以上特征时,特别是威胁到人群生命安全时,更应加以重视,并研究开展进一步污染处置工作的必要性。

2) 污染物的总量。当污染物在水体中分布较广且总量较大时,通过简单的转移、稀释等措施往往不能消除污染危害,需要用到工程手段来削减水体中的污染物。

3) 处置方法的复杂性。当污染物的处理方法比较复杂时,简单的处置措施无法达到预期效果。因此,在工程处置措施中宜考虑采用强化处理技术。

4) 污染危害的当前范围和潜在影响区域。污染危害的范围不仅是进行必要性研判的依据,也是进行污染影响形式和程度评估的基础。一般来说,污染危害的范围可以用危害面积、受影响人群数来表示,亦可用受影响的持续时间来表示。污染随时间的可能扩展,其影响区域则不仅限于当前区域,会波及很多潜在的受影响区域。无论是当前区域还是潜在影响区域,当污染物含量很大、污染危害达到一定规模时,就需要采用工程措施来消除污染物。

5) 时间的紧迫性。某些突发污染事件尽管当前影响区域不大,但其潜在的危害和影响范围巨大,因而必须在短时间内在特定区域内完成削减目标。为此,就要通过污染物削减工程来实现这一削减目标。

6) 污染事件损失的大小。突发污染事件发生后,造成的损失有急性的也可能有慢性的,有生态的危害也有危及生物人群生命的。此外,所造成的流域内水体价值损失也是名目繁杂,如水产损失、水利利用损失、沿岸农民灌溉和使用的损失等。更重要的还有已发生的当前损失和处于危险中的潜在损失。损失或危害的持续时间也是判别危害严重性的重要因素,当危害持续时间长且难以恢复时,就必须及时果断地采取污染物削减措施。

总的来说,环境危害严重性、危害持续性、危害规模大小、处理处置处理方法复杂程度、时间紧迫性等,是决定污染物削减工程实施与否的重要依据。当突发污染事件危害范围大、损失大时,就应坚定采取削污工程措施以阻断污染物扩散。

### 1.2 削污工程可行性的研判

削污工程的可行性研判是针对可能采用的工程技术方法,就其实施后能否或在多大程度上达到预期的阻断污染物扩散并解决环境危害的判定。削污技术可行性的判定应综合考虑科学性、可操作性、时效性、达标能力、环境影响以及社会接受程度等因素。

1) 科学性是指处理技术在理论上是否可行。具体包括涉及的水力、物理、化学、生物等科学原理,以及在工程设计过程中是否遵循这些基本原理。

2) 可操作性是指该技术方案实施的现实可能性。应针对突发事件发生地的实际情况,考察为完成工程措施所需要的各项条件在当地能否得到满足,包括所需的装置、材料、交通、动力的供应能力、数量和质量。应避免采用需特殊制备的工艺设备,在交通不便的地方还需要考虑材料的运输等情况。施工场地的水文、水质、河床及地质情况也是影响实施方案能否实现的重要因素。

3) 时效性是指技术方案短时间内能完成建设并运行。一个工程措施即使科学性没问题,现场也有充分条件能保证实施。但如果不能及时解决突发事件造成的危机,即不能在规定的时间内完成危机管控及消除,则依然不能算是一个可行和有效的方法。只有能在预定时间内完成区域生态环境危机解除的方案才是有效可行的方案。

4) 环境影响是指技术方案实施后负面环境影响可控。工程方案实施后对环境的负面影响也应在可控范围内,并能够通过积极的措施予以补救。如果判定拟实施的方案在后续阶段对环境有重大及不可挽回的影响,则必须重新考虑是否实施该方案。例如,在某些区域实施的工程措施如果有破坏珍贵物种及生态平衡的风险,甚至破坏后长期无法恢复,则该方案的可行性就需要重新修正。

5) 社会接受程度是指技术方案的实施不会造成舆论争议。工程措施可行性论证中还须考虑社会公众的普遍感受。由于污染事故是公众关注的焦点,故在采取应急处置措施时必须采用公众能够接受的处理技术或方法,采取对人群影响小的工程措施。否则,可能会造成一起事故还未解决,处置过程中所引发另一个事件又成为舆论焦点,不利于事故的及时可靠解决。

## 2 削污工程的技术选择原则

在流域突发水污染事故应急处置过程中,所选择的削污技术应遵循以下4个原则。1) 快速有效,确保达标。即拟确定的削污技术,应能够快速有效地去除污染物,达到应急处置目标。2) 因地制宜,可操作性强。由于各突发环境事件中的污染物、污染程度、地域条件、水利水文条件、天气条件等的差异,故须因地制宜地将传统的污水处理工艺中“小池”取得的有效经验运用到流域环境“大池”中。考虑到污染物削减工程中实施条件的有限性,可通过结合事发地域现有条件,整合现有资源,针对不同作业环境因地制宜地选定合适的削污技术,使具体工程具有可操作性和适用性,为污染物削减工程的顺利开展提供技术保障。3) 以人为本,二次污染风险最小。应以人为本,把人民群众的饮用水安全放在第一位。同时,须充分考虑到由污染物削减工程可能引起的二次污染风险,尤其是在涉及到环境敏感区的污染物削减工程中,如自然保护区、水源保护区等,应做到多调研、多模拟、多综合,多思考,尽量将环境风险控制到最低。4) 材料设备供应及运输方便,经济合理。在制定削污工程方案时,应针对工程设施设备、药剂、耗材的采购及动力运输等各方面做好统筹规划,对于经济上不合理或者短期内难以调配的物资,可及时调整实施方案或通过其它有效手段解决。此外,要建立后备物资供应体系,既要保证数量,也要保证质量,从而满足削污工作中各时段的工程需要,保证污染物削减工程的实施效果。

## 3 典型污染物的削减应急处置技术方案

通过对近10年国内突发水环境污染事件中污染物的总结与归纳,结合《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)、《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)等水质标准中涉及的指标,突发水环境污染事件中须通过工程削污技术处理的污染物主要分为重金属和类金属、有机物和还原性污染物。通过查阅文献资料<sup>[1-7]</sup>,结合课题组流域应急削污工程处置经验和研究成果<sup>[8-14]</sup>,梳理总结出典型污染物的削减应急处置技术。

### 3.1 重金属和类金属污染

环境水体重金属污染应急处理与含重金属废水处理具有不同的思路和策略。环境水体具有水量大、流动性强等特点,各项参数随时变化,难以人为控制。因此,环境水体重金属污染削减主要通过2种途径。1) 通过调度水力水量<sup>[3,15]</sup>(降低或者关闭阀门)来减少或者阻断污染河段上游清水的下泄量,从而减缓污染带向下游推移的过程,为下游采取工程措施拦截污染物争取时间。2) 采取有针对性的快速沉降<sup>[4-6]</sup>措施,使重金属污染物尽快沉积到水体底泥中。

流域水体受到金属和类金属污染,一般采用化学混凝沉淀法<sup>[1,5-7,10-11,14]</sup>予以削减,不同重金属采用的削减药剂不同,表1列举了典型金属和类金属应急削减方法。

3.2 有机物污染

有机物主要指符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)中有机物指标的物质。流域水体受到有机物污染时，一般采用吸附法<sup>[7, 15-17]</sup>予以削减；对于某些挥发性有机物，吸附法可能难以在短时间内取得良好效果，可考虑采用吹脱法<sup>[18-19]</sup>去除。表 2 列举了典型有机物污染物及其应急削减方法。

3.3 还原性污染物

流域水体受到还原性物质污染时，一般采用化学氧化法<sup>[7, 18, 20-21]</sup>进行削减。表 3 为典型还原性物质应急削减方法。

4 削污技术工程实施要点

4.1 化学混凝沉淀工艺应急削污技术工程实施要点

流域突发环境事件应急处置中，化学混凝沉淀的实施方式分为 2 种方式，即河道直接加药和旁路加药。直接加药适合于流量较大的河道 ( $Q>0.5\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ )。药剂直接投加至河道内时，不另设搅拌装置，通过水流作用混合均匀。旁路加药适合于流量较小的河道或封闭水体 ( $Q<20\ 000\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ )。加药时需在河堤另建混凝池及沉淀池。

投药系统亦分为 2 种。一种适用于加药点附近无桥梁等跨河设施且河道水深大于 50 cm 的情形，需使用浮桶等将穿孔加药管置于河道水面上(如图 1 所示)；另一种适用于有桥梁的河道，穿孔加药管随桥梁架设。两者均需根据加药量配备相应数量及大小的储罐，且至少应保证药剂储存量使用 1 d 以上。

投药方式采用湿式投加，并优先选择液体药剂直接投加。当只能选择固体药剂时，则需要先将其溶解成液体药剂，再进行计量、投加。溶药池一般为现场开挖。建议最大池深不超过 4 m，单池大小应满足至少 5 h 的投药量。若单池面积因当地土壤性质无法达到此要求时，可设置多组，同时设置溶药、投药 2 组池子交替使用，以提高效率。池底防水布应加块石压重，以免在池内注水后防水布出现上浮现象。溶药方式可选择潜水泵混合、挖土机搅拌

表 1 典型金属和类金属污染物应急削减方法

Table 1 Emergent pollution removal methods for metal and metalloid contaminants

| 污染物 | 应急削减方法 <sup>[7, 10-11, 14]</sup> |
|-----|----------------------------------|
| 砷   | 预氧化、铁盐混凝沉淀                       |
| 铊   | 氧化、混凝沉淀                          |
| 硒   | 铁盐混凝沉淀                           |
| 锑   | 酸性条件下铁盐混凝沉淀                      |
| 钼   | 铁盐混凝沉淀                           |
| 铬   | 硫酸亚铁还原混凝沉淀                       |
| 镉   | 碱性混凝沉淀，硫化物沉淀                     |
| 汞   | 硫化物沉淀，碱性混凝沉淀                     |
| 镍   | 硫化物沉淀，碱性混凝沉淀                     |
| 铅   | 硫化物沉淀，碱性混凝沉淀                     |
| 铜   | 硫化物沉淀，碱性混凝沉淀                     |
| 银   | 硫化物沉淀，碱性混凝沉淀                     |
| 锌   | 硫化物沉淀，碱性混凝沉淀                     |
| 锰   | 碱性混凝沉淀                           |
| 铍   | 碱性混凝沉淀                           |
| 钡   | 碱性混凝沉淀，硫酸盐沉淀                     |
| 铝   | 化学沉淀                             |
| 铁   | 氧化                               |

表 2 典型有机物污染应急削减方法

Table 2 Emergent pollution removal methods for typical organic pollution

| 污染物类别   | 污染物名称    | 应急削减方法及效果 <sup>[9]</sup> |
|---------|----------|--------------------------|
| 芳香族化合物  | 苯        | 吸附(效果显著)                 |
|         | 甲苯       | 吸附(效果显著)                 |
|         | 硝基苯      | 吸附(效果显著)                 |
|         | 四氯苯      | 混凝沉淀(效果显著)               |
|         |          | 吸附(效果显著)                 |
|         | 六氯苯      | 混凝沉淀(效果显著)               |
|         |          | 吸附(效果显著)                 |
|         | 挥发酚类(苯酚) | 吸附(效果显著)                 |
| 农药类     | DDT      | 吸附(效果显著)                 |
|         | 六六六      | 吸附(效果显著)                 |
| 氯代烃     | 四氯化碳     | 吸附(效果较差)                 |
|         |          | 吹脱(效果显著)                 |
| 人工合成污染物 | 石油类      | 混凝(效果显著)                 |
|         |          | 吸附(效果显著)                 |



表 3 典型还原性物质污染应急削减方法

Table 3 Emergent pollution removal methods for typical reducing material pollution

| 污染物                                               | 常用氧化剂      | 应急削减方法 <sup>[7]</sup> |
|---------------------------------------------------|------------|-----------------------|
| 游离氰化物                                             | 氯、臭氧等      | 化学氧化                  |
| 络合氰化物                                             | 氯、臭氧等/亚铁离子 | 化学氧化+络合沉淀             |
| 硫化物                                               | 氯、臭氧、高锰酸钾等 | 化学氧化                  |
| 部分低价重金属离子(Mn <sup>2+</sup> 、Ti <sup>+</sup> 、As等) | 氯，高锰酸钾等    | 预氧化+混凝沉淀              |

等多种方式。

加药管一般分为穿孔加药管、非字型加药管和多管加药。通常可利用桥梁、闸坝架设，筑坝缩短河道宽度来投加或直接投药。当投药管大于 20 m 且投药量小于 20 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> 时，建议采用穿孔加药管，否则采用非字型加药管或多管加药。穿孔加药管建议孔间距为 0.2~0.5 m，孔口直径为 Φ10 mm。当管长较短又要使用穿孔加药管时，可适当缩小孔间距，或多个穿孔管并行敷设。非字型加药管的孔间距建议 > 1.5 m，具体参数可根据实际情况酌定。若现场施工难度较大或投加量较大时，也可采用多管直接投加的方式。

4.2 吸附工艺应急削污技术工程实施要点

吸附工艺主要针对芳香族化合物、农药、石油类等可吸附有机物泄漏的应急处置。根据污染物的性质，吸附材料在垂直布设深度上有差异，需根据实际做相应调整。主要分为筑坝吸附(如图 2 所示)和围油栏拦截吸附。吸附材料主要有吸油毡、无纺布、活性炭、秸秆、稻草、麦草、麻袋、棉被等。拦截类设备主要有围油栏、拦河净化屏等。

4.3 化学氧化工艺应急削污技术工程实施要点

氧化剂和混凝剂不可同时投入水中，以避免二者发生反应而降低去除效果。在氧化剂选用时应特别注意，次氯酸钠、亚氯酸钠、次氯酸钙、液氯等含氯氧化剂只适用于可控封闭水体，不适用于河流。该工艺的投药方式采用湿式投加。

5 结语

流域突发性水环境污染事件是否需要实施工程削污，需要在必要性、可行性等方面进行科学研判，以顺利、经济合理地消除环境危害和风险。通过工程削污技术的实施，可实现短时间内将大范围高浓度的污染危害转化成小范围、长期、无损害的自然过程。根据国内 80 余起流域突发环境事件的应急处置削污工程技术实施经验，对重金属和类金属、有机物和还原性等不同类型污染物总结出不同的消污工艺方法，及各技术方法的工程实施要点，可为突发环境事件应急处置提供参考。

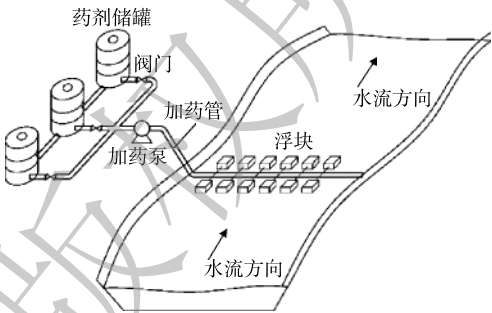


图 1 典型河道加药系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of a typical dosing system in rivers

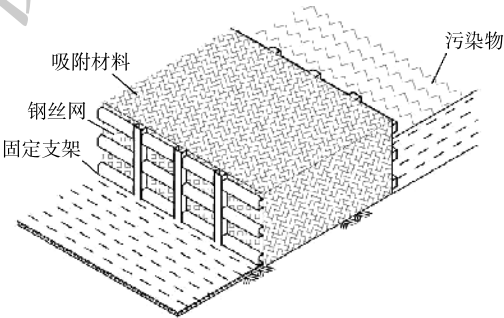


图 2 小流域的吸附坝示意图

Fig. 2 Schematic diagram of a adsorption dam in small watersheds

## 参考文献

- [1] 张晓健. 甘肃陇星锑污染事件和四川广元应急供水[J]. 给水排水, 2016, 52(10): 9-20.
- [2] 张晓健, 陈超, 米子龙, 等. 饮用水应急除镉净水技术与广西龙江河突发环境事件应急处置[J]. 给水排水, 2013, 49(1): 24-32.
- [3] 林朋飞, 张晓健, 陈超. 硫化物沉淀法在水源突发锌污染中的应用研究[J]. 中国给水排水, 2014, 30(11): 48-51.
- [4] 林朋飞, 张晓健, 陈超, 等. 含钼废水处理及饮用水应急处理技术及工艺[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014, 54(5): 613-618.
- [5] 郭燕妮, 方增坤, 胡杰华, 等. 化学沉淀法处理含重金属废水的研究进展[J]. 工业水处理, 2011, 31(12): 9-13.
- [6] 张晓健. 松花江和北江水污染事件中的城市供水应急处理技术[J]. 给水排水, 2006, 42(6): 6-12.
- [7] 张悦, 张晓健, 陈超, 等. 城市供水系统应急净水技术指导手册[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [8] 朱芳瑶, 王骥, 冯立师, 等. 化学氧化消减装置研发及其应急处理氨氮污染源[J]. 中国给水排水, 2020, 36(1): 29-35.
- [9] 孙兰, 魏清伟, 陈尧, 等. 流域溢油污染中常见吸油材料吸附效果研究[J]. 水处理技术, 2019, 45(9): 53-56.
- [10] 冯立师, 王骥, 潘超逸, 等. 混凝法应急处理低温低浊含磷废水的研究[J]. 工业水处理, 2019, 39(7): 24-27.
- [11] 陈齐玮, 陈思莉, 常莎, 等. 低温低浊水中聚硫酸铝应急处理Cr(VI)的实验[J]. 工业水处理, 2018, 38(12): 56-59.
- [12] 吴琼明, 陈思莉, 常莎, 等. 吸附-混凝应急处理地表水中石油的实验研究[J]. 工业水处理, 2018, 38(10): 83-86.
- [13] CHEN S, FENG L, PAN C, et al. Case study on emergency disposal of aniline pollution in Zhanghe River[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 267(6): 062005.
- [14] CHEN S L, ZHANG Z K, SHA C, et al. Emergency treatment of tailings reservoir leakage pollution in watershed: Taking manganese pollution as an example[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 199(2): 022026.
- [15] 张晓健, 陈超, 李伟, 等. 汶川地震灾区城市供水的水质风险和应急处理技术与工艺[J]. 给水排水, 2008, 44(7): 7-13.
- [16] 李勇, 陈超, 张晓健, 等. 饮用水中典型致嗅物质去除技术研究[J]. 环境科学, 2008, 29(11): 3049-3053.
- [17] 张晓健, 陈超, 林朋飞. 应对水源突发污染的城市供水应急处理技术研究与应用[J]. 中国应急管理, 2013(10): 11-17.
- [18] 张伟. 曝气吹脱去除水源水中挥发性有机物的应急处理技术研究[D]. 北京: 清华大学, 2011.
- [19] 程治良, 夏珍, 徐春梨, 等. 水力喷射空气旋流器吹脱处理氯苯废水[J]. 工业水处理, 2017, 37(12): 78-81.
- [20] 朱芳瑶, 常莎, 陈尧, 等. 化学氧化法应急处理甲醛污染饮用水源的工艺研究[J]. 工业水处理, 2018, 38(9): 29-32.
- [21] 叶圣豪, 孙贤波, 胡兰芳, 等. 化学氧化法对焦化废水中氰化物深度处理的效果[J]. 净水技术, 2011, 30(1): 45-48.

(责任编辑: 靳炜)

## Pollution reduction technologies for emergent water pollution disposal in river basins

CHEN Sili, HUANG Dawei, ZHANG Zhengke, WANG Ji, BING Yongxin, CHANG Sha, GUO Qingwei\*

South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment (Research Institute of Eco-Environmental Emergency, Ministry of Ecology and Environment), Guangzhou 510530, China

\*Corresponding author, E-mail: guoqingwei@scies.org

**Abstract** To address the need of emergent disposal of environmental pollution in China, this study systematically presented typical emergent disposal cases of water environmental pollution and summarized pollution reduction technologies for treatment engineering for water pollution emergencies in river basins. The selection principles of engineering pollution reduction technologies were discussed from the perspectives of necessity and feasibility. The reduction and emergency disposal methods of typical pollutants such as heavy metals and metalloids, organic matters and reducing pollutants were also summarized. Technical key points for pollution reduction measures were highlighted to form a basin environmental pollution incident treatment technology library. This study intends to provide support for the future emergency response and management in river basins.

**Keywords** river basin; emergent environmental pollution event; emergent treatment; pollution reduction by engineering