

美国水环境质量报告(摘录并编译)

编译说明：中国和美国对水环境质量的评价方法有本质不同，因此得出的评估结论有十分显著的差别。所谓“他山之石可以攻玉”，了解其他国家水环境质量评价方法、评价指标和评价结论并与我们目前的评价框架结构和结论进行比较，有助于我们认清形势、发现差距、适当调整水环境/水生态保护策略。

河流和溪流水质报告(资料来源：National Water Quality Inventory: Report to Congress, 2017；2016年美国国家水质清单报告；其他资料)：

这份《全国水质清单报告》总结了4项具有统计代表性的全国水环境资源调查数据(National Aquatic Resource Surveys, NARS)和各州根据清洁水法305(b)/303(d)提交给美国环境保护局的调查评估报告(简称305b/303d报告)汇编而成向国会提交的美国国家水质清单报告。清单报告中二个数据源报告虽然在设计和目标上有所不同，但相辅相成，提供了关于国家水质状态的宝贵观点。

NARS是根据全国范围内基于随机抽样方式的持续性调查而得到的水质基线状态。NARS报告制度的初衷是为了回应社会对水质监测的批评、呈现国家报告全国水环境状况的能力，分别由以下4个分报告组成：

- **河流和溪流**：根据国家河流和溪流评估结果(2008-2009年)，46%的河流和溪流按英里数统计处于较差的生物条件，磷和氮是被评估的最普遍的化学胁迫因子。
- **湖泊、池塘和水库**：根据2012年国家湖泊评估报告，全国21%的湖泊处于超级营养状态(即达到了最高的营养盐浓度、藻类及水生植物生物量)，磷和氮是湖泊中最普遍的胁迫因子。
- **沿海水域**：根据2010年国家沿海状况评估报告，全国18%的沿海和五大湖水域生物状况被评为“差”；14%水域根据综合水质评价为“差”。磷是导致水质“差”的主要胁迫因子。
- **湿地**：根据2011年国家湿地状况评估报告发现，全国32%湿地面积的生物条件为“差”，主要的胁迫因子包括硬质化(土壤板结)和植被破坏。

各州针对具体用途和具体地点的监测评估主要服务于地方水环境管理和决策，根据305b要求提交的水质清单包括受损水体(303d)和受损因子。对围绕水质设定用途(水质目标)的评估结果表明，大部分水域的现状水质不能充分支持至少一种设定用途。在2016年各州提交的报告中总结了主要超标污染物和污染源：

- **主要超标污染物**包括汞(主要是鱼体组织中的汞超标)，病原体，营养盐，多氯联苯，泥沙淤积，有机物蓄积和缺氧(编译注：有机物蓄积和缺氧水体对应中国的黑臭水体)；
- **主要污染源**包括大气干湿沉降和农业面源。

由于各州水质调查中采用的水质采样和评价参数、水质标准、评估方式和数据源周期有很大不同，各州提交的报告更多针对需要修复的水体清单及其胁迫因子，是随时更新的数据源。(编译注：加州水资源控制委员会(SWRCB)和区域水质控制委员会(RWQCBs)制定的水质标准共有十类指标，分别是EPA地面水水质基准中的常规和非常规指标；EPA地面水水质

基准中的保护人体健康和保护水生生物指标；美国娱乐水体水质标准；美国环境健康危害评估办公室(OEHHHA)和健康服务部门颁布的最大生物组织残留水平(MTRLs)和增量数据水平阈值(EDLs)；美国国家科学院(NAS)发布的保护野生动物的水生生物体内污染物残留水平；美国 EPA 发布的水和沉积物综合毒性阈值；感官指标如油污和垃圾；生物完整性指标如土著生物种的多样性和生境变迁；生物群体和群落结构退化和水质演变趋势分析。加州水质标准是加州法规，采纳了联邦 EPA 等机构的参考值或基准值。)

NARS 的评价结果及关键发现：

- **生物状况**：生物条件是水体健康最全面的指标。当一条河流的生物状况良好时，河流的化学状况和物理状况通常也会处于良好状态。生物状况评价采用常用的指数方法，NARS 采用了底栖无脊椎动物(水生昆虫和其他生物如淡水螯虾)的多样性指数。主要数据源是 2008~2009 年 NARS 派出的 85 个调查小组对全国 1,924 条河流和小溪进行了采样分析，其结果代表了 120 万英里的河流和小溪。评价结果表明：全美被评估水体中只有 28% 的河流和溪流的生物状况“良好”，25% 的生物状况为“一般”，46% 的生物状况处于“差”的状态(右图)。本次评估的生物状况比上次评估下降了 9%，且没有多少溪流生物条件能够达到“良好”状况。

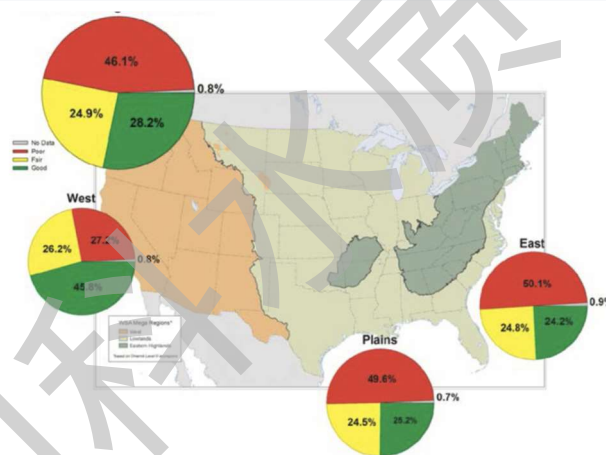


Figure 1. Biological condition of the nation's rivers and streams (Source: NRSA 2008/09)

- **化学胁迫因子**：NARS 选择了 4 项化学评估参数，分别是总磷、总氮、盐度和酸化。在这 4 项污染因子中，磷和氮污染问题尤其突出。按照 EPA 营养盐生态分区的营养盐基准和概率统计方法估算，46% 的河流和溪流(按长度计)磷的水质分级为“差”、41% 的河流和溪流氮的水质分级为“差”。按照大型底栖无脊椎动物指数评估为生物条件“差”的河流和溪流总英里数大约是氮磷营养盐超标水体总长度的 2 倍(编译注：换言之，营养盐超标至少导致 50% 的水体生物条件变“差”)。本次评估的磷污染问题严重，比上次评估下降了 14%，没有多少溪流磷条件能够达到“良好”状况。
- **物理生境胁迫因子**：NARS 选择了 4 项物理生境评估参数，分别是河床淤积、岸边带植被覆盖度、岸边带物理结构扰动(如水边的人类活动)和鱼的生境条件(如产卵地和孵化地)。在这 4 个评价参数中，“差”的岸边带植被覆盖度(总长度的 24%)和高强度的岸边带物理结构扰动(总长度的 20%)最为普遍。有 15% 河流和溪流总长度生物条件变“差”(很大程度上是由于河床淤积，大约对应 50% 生物条件为“差”的河段长度(编译注：或河床淤积河段中大约有 50% 导致生物条件变“差”)。但是对比上次，本次评估的生境状况明显好转，岸

边带植被覆盖度增加了 10%，人类活动对岸边带的扰动减少了 12%，更多溪流物理生境条件达到“良好”状况。

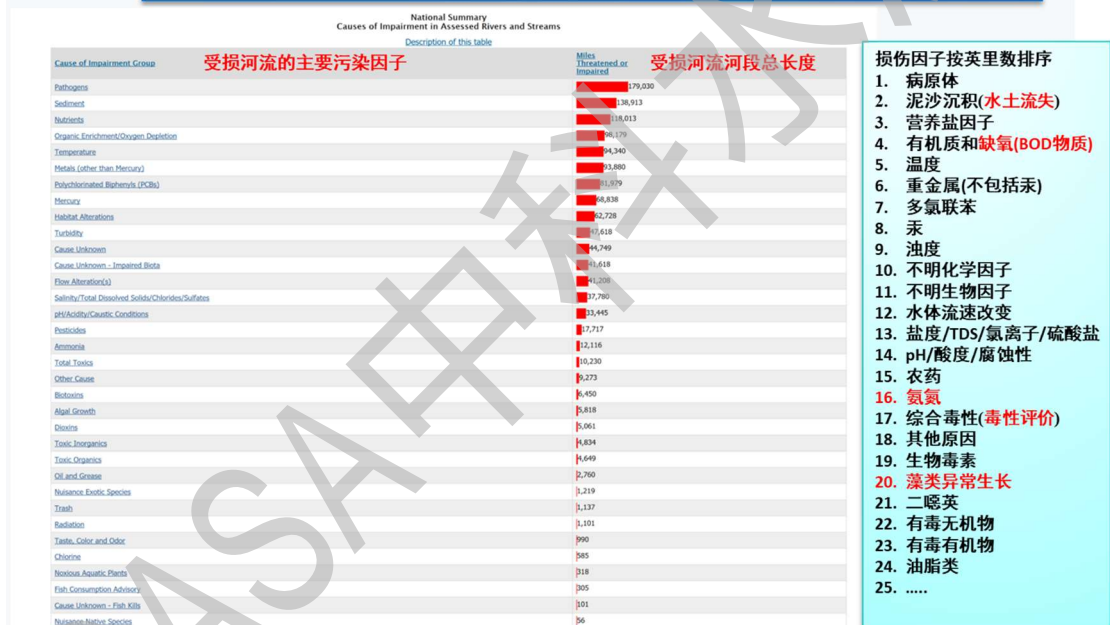
- **人类健康指标**：NARS 调查中只选择了 2 项健康评估参数，分别是河流水体鱼体组织中的汞和河流和溪流水中的肠球菌(编译注：肠球菌和大肠杆菌是美国娱乐水体水质标准中的 2 个关键指标)。评估结果表明 13 114 英里的河流长度存在鱼体组织汞超标、23% 的河流和溪流肠球菌超过健康阈值。

各州按照清洁水法 305b/303d 条款要求评价了近 110 万英里的河流和溪流，占全美水体总长度(350 万英里)的 31%，评价结果及关键发现包括：

- **根据设定用途的评价结果**：(编译注：美国清洁水法 305b/303d 条款要求各州根据设定用途和水质标准不断更新水域质量评估报告，其中水质标准由 4 个部分组成，分别是用途、相关的水质基准、反退化政策要求和其他标准实施保障条件)。超过 64 万英里或评估总长度的 55.5%河段不能支持各州确定的一个或多个设定用途；分级为“良”的河流和溪流长度为 48 万 7 千英里，占总评估长度的 44%，有 5550 英里的河段虽然目前还支持一个或多个设定用途，但是已经明显开始退化。(编译注：当同一水域具有多个设定用途时，合并相关用途的水质标准进行综合评估并将超标指标作为受损因子。如果不同设定用途的水质标准中存在相同评价参数，则选择该参数中最严格的标准。水域的设定用途由各州确定后报批，包括如水源水源保护、水生生物保护、娱乐、贝类养殖、农业灌溉等。需要指出：美国的设定用途虽然对应中国的水功能分区，但是 GB3838-2002 将多个用途合并在一个类别、不同用途则采用相同参数和阈值进行评估)。
- **病原体**：常用细菌参数标记粪便污染及其对人体健康的影响。因病原体污染而导致的水体或其用途受损是最主要的污染因子，2016 年水质清单报告中列出的总受损河段长度为 17 万 9 千英里。
- **泥沙淤积**：泥沙淤积会填平河床，改变河道地貌条件，窒息鱼卵和底栖动物，干扰饮用水处理工艺，妨碍水体娱乐活动。2016 年水质清单报告中列出的总受损河段长度近 13 万 9 千英里，物理生境改变的河段总长度 62 728 英里。
- **营养盐过剩**：营养盐过剩会导致不希望出现的藻类或杂草超常生长，并因此导致溶解氧浓度水平下降。2016 年水质清单报告中列出的因营养盐过剩的总受损河段长度近 11 万 8 千英里，出现藻类或水生植物异常生长的水体总长度是 5818 英里，包括藻毒素在内的生物毒素污染水体 6 450 英里。
- **有毒物质指标**：按照水、沉积物或鱼体组织中有毒物质含量超标，2016 年各州汇总的有毒物质或综合毒性指标超标情况为：除汞之外的金属(93880 英里)，汞(68838 英里)，多氯联苯(81979 英里)，农药(17717 英里)，综合毒性(10230 英里)和二噁英(5061 英里)。

由于美国的水质评价同时针对水质标准超标和受损现象,而受损主要是生物条件受损(编译注:水生生态质量评估通常针对现象,如物理生境改变和泥沙淤积等不能用数值标准方式评估。即使有些水质参数如 pH 和溶解氧有标准限值,确定其受损因子和污染源依然十分困难)。EPA 要求各州报告受损水体的同时需要报告污染源。在许多情况下各州不能确定污染源,只能用“未知”或“无特定污染源”方式进行报告。国家水质清单报告的污染源数据因此只是根据各州报告中能够明确的污染源数据汇总。普遍存在的主要污染源或胁迫因子包括农业生产所产生的污染主要通过耕作、放牧和养殖废弃物排放,属于面源污染;大气干湿沉降来源复杂,包括工业排放和汽车尾气;水利工程包括导流措施、沟渠化和改变了水流自然循环和水资源分配模式的堤坝工程。在许多情况下,受损河段遭受不止一种污染物或污染因子的胁迫。下图是 2016 年美国水质清单报告中受损河流长度及其主要污染因子。

美国国家受损河流的主要污染因子分析(2016年)



2016年(12年后)有机物蓄积导致的缺氧水体总长度98179英里, 排名第四!

(编译注:美国国家水质清单是水体修复规划或 TMDL 的基础。各州按照 305b/303d 要求提交的水质清单报告又称 303d 清单或受损水体清单。EPA 将根据 303d 清单进行优先排序,确定需要修复的受损水体并下达最大日负荷计划或 TMDL 要求。TMDL 一经批复,即可进入下一步的水体修复行动。)

湖泊、池塘和水库水质报告(资料来源：National Water Quality Inventory: Report to Congress, 2017；National Lakes Survey, 2012；其他来源)：

这份湖泊、池塘和水库水质清单报告总结了 2012 年的美国湖泊调查报告 (National Lakes Surveys, NLA)和各州根据清洁水法 305(b)/303(d)提交给美国环境保护局的调查评估报告(305b/303d 报告)，汇编而成向国会提交的美国国家水质清单报告。清单报告中二个数据源报告虽然在设计和目标上有所不同，但相辅相成，提供了国家水质状态的宝贵观点。

2012 年湖库调查评价结果及其与 2007 年调查结果的比较(资料来源：National Lakes Assessment 报告和其他资料)：

NLA 计划的第二次综合调查于 2012 年完成，调查了 1038 个湖库，代表了全国面积大于 1 英亩、深度大于 1 米的 112 000 个自然和人工湖库。NLA 计划的目的是产生国家湖泊生态环境质量状况的科学、可靠数据、为湖库生态环境质量演化趋势提供基线信息、提升各州湖库监测和质量评估能力。(编译注：NLA 计划的目的与中国第一次湖库健康调查类似。)

NLA 计划对湖库质量的评价依据二个准则：水质基准方法(如娱乐用水水质标准)和参考条件方法，采用相同的调查评估指南文件，以保证不同湖库评估方法的一致性。这二套方法各有优缺点，具体参数及其阈值在不同评估期略有不同，相互验证补充。参考条件方法是水生态质量评价方法类型，综合了物理完整性、化学完整性和生物完整性指标，数据分析采用了区域特异的参考条件。为了确定参考条件或基线条件，NLA 选择每个营养盐生态分区中的一组扰动最小、条件成熟的湖库或点位作为参考条件。NLA 的参考条件定义为在当前的景观格局情况下可获得的最佳化学、物理和生物栖息地条件或“仅存的最佳条件”(Best of what's left, Stoddard et al. 2006)。在确定参考条件方法中将质量评价参数分为四组，分别是底栖无脊椎动物、浮游动物、营养盐和物理生境，并以生物条件相关参数为核心来确定营养盐条件和物理生境条件的参考点参数及其阈值。(编译注：EPA 将全国的湖库划分为 9 个营养盐生态分区和 5 个生物参考状态分区，首先为每个分区的参考湖库设立了各自的最小(或小概率)被扰动和最大(或大概率)被扰动时的条件参数。以其中的物理化学参数为例，NLA 在初筛层级中采用了 12 个物理和化学参数来界定生物条件的扰动情况，包括酸中和容量($ANC \leq 25 \text{ ueq/L}$ 或 $ANC < 0 \text{ ueq/L}$)、溶解有机碳($DOC < 5 \text{ mg/L}$)、湖泊水位变动的合理范围、TP、TN、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、浊度、湖岸物理生境扰动指数阈值。这些参数中的任何一个参数超过阈值都会被从参考点中剔除。相同的方法也被用来筛选该生态分区内湖泊中最大扰动生物条件的参考点位，按照单因子评价准则因此只需要找到 12 个参数中的任何 1 个参数超过最大扰动参考条件的点位。例如，生态分区中的沿海平原湖泊分区(CPL)的总磷浓度在最小扰动状态下是 $TP < 0.05 \text{ mg/L}$ ，而其最大扰动状态出现在 $TP > 0.2 \text{ mg/L}$ ，根据这 2 个阈值可以界定磷参数的扰动状态及其区间。其他评价指标包括营养盐条件、底栖动物条件、浮游动物条件、物理生境条件、水化学条件(编译注：水化学条件参数包括酸度、溶解氧、营养状态、总氮、总磷、叶绿素 a 和浊度。营养条件按照叶绿素 a 划分为贫营养、中营养、富营养和超营养 4 种状态；总氮、总磷、叶绿素 a 和透明度按照营养盐参考条件划分为最小干扰、中度干

扰和最大干扰三个等级)。有关多参数组合方式、参数阈值的定值方式、以及数据综合汇总方式本文不累述，请各位自行参考有关文献资料。

2012 年的 NLA 报告的评价结果及关键发现：

- **营养条件**：全国统一的营养条件参数是叶绿素 a 浓度。NLA 根据叶绿素 a 估计了湖泊的营养条件或初级生产力(下表)。根据表中的分级阈值，全美 21%的湖泊含有最高浓度的叶绿素 a，可被归类为严重受干扰湖泊或超营养化的湖泊，34%的湖泊是富营养化湖泊，35%是中营养湖泊，只有 10%的湖泊叶绿素 a 含量低，属于寡营养型。NLA 测量了蓝藻细胞的密度，将蓝藻产生藻毒素作为一个潜在的健康风险指标。分析显示，情况正在恶化，2012 年最受干扰的湖泊数量比 2007 年增加了 8.3%。

	贫营养化	中营养化	富营养化	超营养化
Chlorophyll-a (µg/L)	≤2	>2 and ≤7	>7 and ≤30	>30

- **营养盐污染**：营养盐污染是全国普遍存在的问题。大约 1/3 的湖泊(35%)氮超标，2/5 的湖泊(40%)磷超标。过多的营养物质氮或磷会导致藻类大量繁殖，溶解氧含量降低，并对水生生物造成危害。此外，对 NLA 数据的补充研究分析发现以前磷含量低的湖泊磷含量正在增加。与 2007 年相比，2012 年调查中低磷湖泊的数量减少了 18.2%。
- **生物条件**：发现 31%的湖泊底栖大型无脊椎动物群落已经退化，退化的种群包括小型水生生物如蜗牛和蜉蝣。营养盐条件与生物条件的相关性分析表明，磷含量高的湖泊底栖大型无脊椎动物群落退化的可能性为正常湖泊的 2.2 倍，氮含量高的湖泊底栖大型无脊椎动物群落退化的可能性为正常湖泊的 1.6 倍。
- **物理生境条件**：通过对湖岸带植被覆盖、浅水生境、陆-水界面的湖泊生境复杂性和湖岸线人类干扰四组指标的观察评估了物理生境条件。健康的湖岸带生境条件能够减缓了径流污染，并为水生生物提供了多样而复杂的生态位。2012 年的调查发现，28%的美国湖泊由于湖岸带植被覆盖受损归类为最大物理生境扰动状态，29%由于湖泊栖息地的复杂性影响被归入最大扰动湖泊状态。
- **湖泊水位**：无论是通过自然过程还是通过人工取水，湖泊水位下降都可能对自然栖息地条件产生不利影响。NLA 显示从 2007 年到 2012 年湖泊水位波动范围异常的情况有所改善，受水位干扰的湖泊减少了 13%。
- **微囊藻毒素**：藻类毒素如微囊藻毒素能够在 39%的湖泊中被检出，但只有不到 1%的湖泊水体中藻毒素浓度能够达到世界卫生组织规定的中等或高关注水平。尽管只有不到 1%的湖泊水体中藻毒素浓度能够达到世界卫生组织规定的中等或高关注水平，藻毒素的检

出率比 2007 年调查高出 9.5%。(编译注：蓝藻中只有部分是产毒素藻，且产毒藻能否产毒还需要其他环境条件支持。)

- **农药污染**：30%的湖泊检出除草剂阿特拉津，但只有不到 1%湖泊中的阿特拉津浓度能够达到美国环保署对淡水水生植物的关注水平。

- **NLA 的调查表明美国的湖泊正处于人类活动压力之下。NLA 建议需要特别关注如何减少营养盐污染来改善湖泊条件。EPA 正在多方面努力，以减轻美国湖泊和其他水域营养盐污染的严重程度和对生态系统的影响。这些努力包括前瞻性的法规、开展技术推广活动和与合作伙伴建立联系、向各州提供技术和方案支持、资助营养物质减排的活动和研发项目。(编译注：与中国不同，美国联邦法规对生活污水处理实施没有氮磷排放限制或 TBEL 的要求，而是将氮、磷排放许可制度放在水质管理计划或 WQBEL 中。这样的做法优点是对富营养化水体的管理有的放矢和优化绩效，缺点是不能有效降低流域或区域氮、磷的排放总量。)**

各州按照清洁水法 305b/303d 的要求评价了 18 513 899 英亩的国家湖泊，占全美湖泊总面积 (4710 万英亩)的 39.3%，汇总的评价结果及关键发现包括：

- 各州共认定有 13 009 273 英亩湖泊或占评价湖泊的 70.3%为受损水域(编译注：此处的受损是指不能支持州政府指定的一种或多种用途，如钓鱼或游泳，不同于 NLA 评估中的大概率干扰状态，因此这个评价的受损水域百分数不同于 NLA 定义的受损百分数。我们可以简单理解成中国的 1+N 方案，其中的“1”是国家对水域状况的总体评价，“N”是各地根据统一的水质标准获得的具体水域超标现象。前者主要服务于决策和管理，后者则服务于水体修复行动计划中的重点控制单元/超标因子。)，5 470 004 英亩湖泊(评价湖泊的 29.5%)被评为良好(指完全能够支持所有用途)，另有 34 621 英亩湖泊被认为受到威胁(编译注：这部分水域虽然目前能支持其用途，但有恶化趋势，因此不符合水质标准中的反退化政策要求，也属于超标水域或需要严格控制进一步的人类开发活动)。
- **汞污染**：在湖泊水体鱼组织中广泛检出，可能对食用鱼的人群和野生动物健康产生危害和风险。
- **营养盐**：过量的磷和氮等营养物质会刺激不受欢迎的藻类和水生杂草的生长，从而破坏湖泊生态系统，导致溶解氧含量降低。
- **多氯联苯**：这类持久性有机有毒污染物能在鱼体和沉积物中长期存留，主要来自工业排放，对人体健康和环境具有潜在风险。

由于根据美国清洁水法 305b/303d 要求的湖泊水质评价针对用途及其相关的水质标准来确定受损水域，虽然各州按照 EPA 要求报告受损水体的同时需要报告污染源，但在许多情

况下各州并不能确定引起水域受损的污染源或关键污染因子，只能用“未知”或“无特定污染源”方式进行报告。给国会的水质清单报告是根据各州报告汇总的主要污染物及其污染源：

- 本地和远程大气沉降，主要污染因子是汞、多氯联苯和金属等有毒物质；
- 农业活动，如作物生产、放牧和动物饲养操作，主要污染因子是氮和磷；
- 自然来源，如湖泊内源污染，干旱或水禽的活动。

编译：王子健 研究员

欢迎转发与引用。引用时请注明：原始资料来源于” The National Rivers and Streams Assessment 2008–2009 : A Collaborative Survey, 2016; National Water Quality Inventory: Report to Congress,2017; The National Lakes Assessment, 2012“。

CASA 中科水研