

全球水质监测操作指南

联合国环境规划署 世界卫生组织
联合国教科文组织 世界气象组织

1987

中国预防医学科学院环境卫生监测所
重 庆 市 卫 生 防 疫 站

目 录

前言	(1)
第一章 监测点选择	(4)
1. 引言	(4)
2. GEMS/Water站位的定义	(4)
3. 监测点选择计划	(6)
4. 河流监测点的要求	(7)
5. 湖泊监测点的要求	(10)
6. 地下水监测点的要求	(12)
第二章 水样的采集	(15)
1. 引言	(15)
2. 采样的频率与时间	(15)
3. 地面水的采集	(20)
4. 现场质量保证	(25)
5. 现场测定项目	(27)
6. 现场数据的记录	(31)
7. 现场过滤和水样保存	(33)
8. 微生物分析的水样保存	(36)
9. 沉积物的采集	(37)
10. 样品的运输	(38)
第三章 分析方法	(39)
1. 引言	(39)
2. 物理及物理—化学检查	(41)
(一) 水温 (41) (二) pH (41) (三) 电导率 (44) (四) 残渣 (46)	
(五) 透明度 (51)	
3. 金属 (52)	
(一) 原子吸收光度法 (52) (二) 铝 (58) (三) 镉 (60)	
(四) (钙) (61) (五) 铬 (63) (六) 铜 (65) (七) 铁 (66)	
(八) 铅 (68) (九) 镁 (70) (十) 锰 (72) (十一) 汞 (73)	
(十二) 钾 (77) (十三) 钠 (78) (十四) 锌 (78)	
4. 非金属 (80)	
(一) 碱度 (80) (二) 砷 (82) (三) 硼 (84) (四) 氯化物 (87)	
(五) 氰化物 (91) (六) 氟化物 (94) (七) 氨 (98) (八) 凯氏氮 (102)	
(九) 硝酸盐 (105) (十) 亚硝酸盐 (114) (十一) 溶解氧 (115) (十二) 总磷及	
正磷酸盐 (122) (十三) 硒 (126) (十四) 活性硅 (129) (十五) 硫酸盐 (131)	
(十六) 硫化物 (135)	
5. 有机组分	
(一) BOD (138) (二) COD (145) (三) TOC (148)	
(四) 有机氯杀虫剂及多氯联苯 (150)	
6. 生物指示剂—叶绿素 II	(156)
7. 细菌检验	(158)

第四章 分析质量控制 (171)

1. 引言 (171)
2. GEMS/Water实验室分析
质量控制程序的组织 (171)
3. 实验室内部分析质量控
制规划 (173)

4. GEMS/Water质量控制
样品 (180)
5. GEMS/Water操作评价
研究 (181)
6. 文献目录 (略)

第五章 水文测量 (184)

1. 水文测量在水质监测中的
作用 (184)
2. 数据要求 (184)
3. 推荐的水文测量技术 (186)

4. 质量流量计算技术 (188)
5. 误差分析 (194)
6. 数据报告 (197)

第六章 数据处理 (199)

1. 引言 (199)
2. 数据输入 (199)
3. 结果输出 (202)

前 言

规划的背景及发起

多年来,许多国际组织对水污染和水质监测问题已经有所关注,几个涉及此问题不同侧面的组织已经分别以国际的、地区的或地方的规模建立,四个直接参与此规划的组织依然对水源的评价和监测表现出极大的兴趣。25.43 决议要求世界卫生组织协调政府部门以及有关的国际团体建立水质监督系统以便有效解决水污染问题,尤其是与公共卫生有关的水污染问题。据此,世界卫生组织发展了水质监测规划。联合国教科文组织的国际水文规划局负责水质的研究工作;联合国环境规划署支持 UNESCO 建立通海河流的登记计划;以提供河流对海洋污染的资料;通过世界气象组织(WMO)的水文和水源规划局获得现有水文站网和设备的有关资料。另外,此组织还负责水文测量网络的设计和管理的原则和技术。

自该组织成立后,UNEP 便参与并支持了一系列与水污染监测有关的活动,因此目前此规划便成为 UNEP 的全球环境监测系统(GEMS)的一部分。GEMS 包括四组主要活动:健康影响监测;气候影响监测,资源更新监测和海洋环境监测。全球水质监测规划(GEMS-/water)与空气和食品监测以及人类暴露评价共属于健康影响监测。一九七四年召开的政府间的监测会议提出不同环境的重点监测参数,测定项目大体与现有规划一致。

一九七四年 WHO 在 UNEP 的帮助下,开始制订与健康有关的全球水质监测的发展规划。为确定规划基本结构,一九七五年一月在西德 Koblenz 联邦水文研究所召开了一次专家会议。之后,又与其它国际组织进行了一系列磋商。一九七六年十一月,建立了全球水质监测的 UNEP/WHO/UNESCO/WMO 的联合规划,此规划的第一阶段预计于一九八一年完成,并由 UNEP 的环境基金资助。

规划的目标

- (a) 与新的水质监测系统成员国协作,加强现有系统。
- (b) 提高各成员国水质数据的正确性和成员国之间数据的可比性。
- (c) 通过长期监测持久性毒物,估价污染的影响和趋势。

规划的执行有赖于所有参加组织的密切协作,确保规划按全球一致的方式发展,并由中心协调人进行协调。

在每一个参加国内,有一个政府机构或研究所作为本国执行此规划的中心(国家中心)。WHO 以设于加拿大的内陆水中心(CCIW)的地面水和地下水水质协调中心作为全球数据处理中心。

规划执行现状

一九七七年十二月地区际专家会议上商讨并确定了规划的研究、方法和范围。规划开始六个月后,一九八三年十月又在 CCIW 召开了一次地区际回顾会议,对规划的设计和成就进行了评价,发现目的及规划本身都很切合实际,但缺少评价人类暴露污染物有关的数据,因此规定 GEMS/Water 中测定的指标应与 WHO 饮水水质准则的要求一致。

规划建立阶段的情况在一九八三年通过三种主要出版物概要印发,包括:参加规划的研究机构和政府机构目录;1979—1981 三年监测数据摘要及评价。规划初期的总体描述已在世界

卫生统计季刊上载登。

全球监测网络结构

许多国家参加了全球水质监测规划,对水源进行常规的水质监测,以提供有全球意义的综合的和零散的资料。全球监测站一般从现有的国家或地方监测网中选择,重点放在作为城市供水、灌溉、家畜用水和工业用水水源的水体(河流、湖泊和地下蓄水层)和废水排放接纳水体(影响站)。一些站位用于监测国际河流和湖泊、通海河流以及未受人类活动影响的水体(背景站)。在 Burlington 会议上,提出建立趋势站,作为第三类采样站,专门用于估价水质变化趋势。

最初设想全球监测网最终发展到接近1200站位。规划初期已经形成了一个不足 300 站位的框架结构,每个国家的站数都很有限,所以重点是将现有国家的和地方的站纳入全球规划,个别情况下也建立新站。以后将通过增加参加国家的数量和每个国家的站数来扩充整个系统。

到一九八三年中为止,监测网的发展规模和常规监测数据报告结果如下:

301个河流站位已经确定,其中240个站位已正常报告结果;

62个湖泊/水库站位已确定,其中43个站位已正常报告结果;

已确定的地下水站位有85个,其中有61个已进行常规监测并定期报告结果。

这样,最初规划的框架网络已正常运行。地区间不平衡仍然存在,将在规划后期进行调整,特别是要将 GEMS/Water 和 SCOPE/UNEP 国际 carbon unit 的河流监测网结合起来,以提高主要河流的全球覆盖面。

测定污染物

规划初期,监测指标分为三类:基本指标,选择性指标和具有全球意义的指标。第一类包括水质一般评价所需指标,测定这些指标不需要昂贵而复杂的仪器,所有站位均需测定。第二类指标包括对特定站位有重要意义的一些物质,以便确知其是否存在或怀疑其存在于某一站位。第三类包括排放到环境中具有长远意义的指标,这些物质具有毒性,不易分解,并能为生物所富集。

在 Burlington 会议上,取消了这种分类法。鉴于对公众用水越来越密切的关注,又将各指标分成基本指标和与各种用途有关的指标。基本测定项目中增加了更多无机组分,有关应用指标包括饮水、灌溉和一般水质指标,如水生物生长等。同时修订了采样频率,以适应最低监测要求。

分析质量控制

规划的基本目的之一是提高水质数据的正确性和可比性,为此采取以下三步:首先要求分析方法一致,且每个实验室都要采用。参考方法是以 EURO 手册为基础汇编而成。第二是要求参加此规划的每个实验室建立实验室内部质量控制的连续程序,并为此目的提供标准样品。第三是由全球参考实验室协调进行一系列实验室之间质量控制的对比研究。

第一次全球实验室间对比研究于一九八三年完成,共有80个实验室参加,其结果及讨论已刊载于《世界卫生统计》。

数据报告

以加拿大内陆水中心作为全球数据中心(GLOWDAT)。每个国家中心收集的水质数据和有关水文资料通过 WHO 地区办事处每半年或每季度报送全球中心。数据经处理、校正、

分析后返回国家中心。CCIW 编制并出版年度摘要报告, 还有独立数据评价报告、地区摘要报告和全球评价报告等。

技术支持

规划的执行和监测网的运行得到多方面的支持。在此规划发起之前已有两份技术指南可被直接采用: 一份是 UNESCO 和 WHO 出版的水质调查规划; 另一份是 WHO 的欧洲地区办事处 (WHO/EURO) 出版的分析方法。

另外, 特为规划参加国日常工作准备了 GEMS/water 操作指南, 其中包含有数据报告的标准格式。

WHO 地区办事处和 UNESCO 组织了一系列地区性培训班, 涉及到水质监测所有主要方面, 并注意了地区性问题。这些培训班也是各参加国之间就共同问题交换情报的讨论会。为把培训课程留作后用, UNESCO 的专家们还准备了讲义、直观教具等教学工具。

在规划的最初几年, 参加监测网的都是基本完善的监测站, 因此只需要有限的实验室用品和现场设备。这些对于保证获得具有代表性的样品, 保证测定的精密度是必须的。后来, 越来越多的实验室参加此规划, 越来越多的监测站加入到监测网中, 就需不断提供实验室用品和现场设备。

GEMS/water 操作指南

本操作指南为的是在全球范围内执行此规划尽可能一致。主要技术指导涉及到现场工作人员、实验室操作人员、数据处理人员和国家协调办公室, 即包括参加规划的所有人员。这次修订本包括了 Burlington 专家组所作的修改, 主要是测定项目和新的数据报表格式。

本操作指南共分六章, 分别说明如下:

第一章是采样点的选择, 提出了全球监测网中采样点的选择准则。其中给出的实用的说明和实例大多以 WMO 专家对全球水质监测建网设计初步考虑的研究为基础。国家情报表用以搜集与全球监测网中实验室和监测站的选择有关的资料以及附加资料。

第二章是采样步骤, 叙述了河、湖和地下水三种不同水体最起码的样品采集程序。本章还介绍了采样的详细方法、现场保存方法和现场测定项目的适宜分析步骤。

第三章是分析方法, 主要以 WHO 欧洲地区办事处制订的水质污染控制分析手册为基础。指标的选择是由一系列专家会议决定的, Burlington 的最后一次会议决定将所有指标分成基本指标和有关应用指标。

第四章是分析质量控制, 本章是与辛辛那提美国环保局的环境监测和支持实验室合作制定, 并由专家于加拿大内陆水中心磋商形成, 其中详细叙述了实验室内部和实验室间质控步骤, 以达到规划中规定的准确度。

第五章是水文测量, 由世界气象组织编写, 讨论了水文测量在水质监测中的作用, 它与 WMO 其它指南和手册紧密相关, 提供了详细的技术说明和基本的水文技术。

第六章是数据处理, 由 CCIW 的 WHO 协调中心编写, 其中详细描述了数据收集、转换和贮存的步骤及说明, 提供了站位鉴定和监测数据的申报表格, 并以附录形式给出了必要的编码。

第一章 监测点选择

1. 引言

1.1 水质监测要求给出可靠而有用的数据，因此必须考虑周全，以保证在分析及其它各步都产生最小误差。规划的第一步应该决定需要什么数据以及怎样利用这些数据，再以最低费用和获得有效信息为原则选择监测点，本章介绍如何选择恰当的采样点。

2. 站位定义

2.1 目的

全球水质监测规划中水质监测系统的基本目的是：

1. 估价人类活动对水质的影响和所需用途的适用性。
2. 测定水质的天然状态，考虑能否满足未来需要。
3. 跟踪观察特定危险物质的来源和途径。
4. 以具有代表性的站位，确定水质变化趋势。

解决第一个目的需要建立影响站 (impact station)，为第二目的建立背景站 (Baseline station)，达到第三目的要根据危险物质是人为的还是天然产生的而设立影响站或背景站，在一些主要的世界性河流建立趋势站 (trend station)。趋势站还可用于估算注入海洋的污染物质。

2.2 站位定义

背景站设在无污染物质直接扩散或污染点源的地方，用于决定指标的天然水平，观察在遥远的地区是否存在人工合成化合物（如 DDT），估计由全球大气污染导致的地面水质长期变化趋势（如硫酸盐、铝和 PH 值）。这种类型的采样点保持不变。

影响站适用于至少有一种主要用途的水体，它们或者注入海洋，或者受人类活动的影响。根据水的不同用途，影响站可分为四种类型：

- (a) 饮用水：站位设在饮用水处理前的汲水点。
- (b) 灌溉水：站位设在灌溉区入口处。
- (c) 养殖用水：河流和湖泊站位代表整个水体水质；湖或水库应设在中心。
- (d) 多重影响：采自站位的水有多种用途。

趋势站是专门为估测具有全球意义的变化趋势而设立，代表着受各种各样人类活动影响的一个广大范围，因此，这种站位有数量限制（每种类型的水体约设 20 个站位），并且要能够反映人类对水质的主要影响。由于这些站位具有较好的代表性和能对污染作出快速反映，建议这种站位主要建于河流，也可建于蓄水库和主要湖泊。

趋势站应频繁采样，以便增加平均浓度的统计意义，证实变化趋势。河流趋势站也可用于估测自河流注入海洋中污染物的量。

2.3 数据用途

数据的用途可分为运算和管理，或计划和研究等目的。

2.3.1 运算和控制

运算和控制的目的包括：

1. 鉴别需要改善的地区，并估计其迫切性。
2. 通过确定保持和改善水质控制措施的有效性，保护用水者。
3. 通过测定一段时间内水质的变化，找出变化趋势，提出先行措施。
4. 估测向水体的输入对水体水质变化的影响。
5. 测定国际边境地区交叉水系水质。
6. 估测在淡水潮汐顶峰时，由河水注入海洋的污染物总量。

前四项主要是局部的或地区性问题，包括河流流域、湖泊或含水层，而后两项常涉及国际责任问题。

2.3.2 计划和研究

计划和研究包括将资料用于：

1. 尽可能提供有关水质资料，以满足未来需要。
2. 预测输入的变化对水质的影响。
3. 为估计水文变化对河流特征的影响提供帮助。
4. 初步考虑将数学模型公式化。
5. 提供有关特定危险物质的事故和变化趋势的资料。

2.4 水应用

2.4.1 应用准测

采样点的选择依据水的不同用途、用水地点、用水量以及重要程度而定，受到偶然污染的可能性也是一个重要因素。设在大城市下游的河流用水点或靠近工业区的地下水源危险性更大，比那些设在城市的上游、受到某些污染的、具有类似用途的水源或远离潜在污染物质的水源更需监测。应该注意，农药的应用和运输都能产生比非污染区还严重的危险物。

估计不同水的相对重要性的准测推荐如下：

2.4.2 所有的水

应 用

准 测

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1. 饮水和生活用水 | 供应的人数 |
| 2. 农业灌溉 | 粮食的年产量和雇用劳动力 |
| 3. 家畜用水 | 动物数量，年商业价值，雇用人数 |
| 4. 工业用水：低级如冷却水、
高级，如食品及饮料 | 工厂在国家 and 地方的重要性，年产值，雇用人数 |

2.4.3 地面水

- | | |
|-----------|---------------------------------|
| 1. 商业养鱼场 | 所捕鱼的质量及价值，作为食物的重要性，
雇用人数 |
| 2. 运动，养鱼场 | 人数及使用频率，俱乐部会员，捕鱼权的价值 |
| 3. 娱乐消遣 | |
| 洗澡 | 人数、使用频率，俱乐部会员，与城区距离，
流入的其他水体 |
| 划船 | |
| 玩水 | |
| 4. 航运 | |

(淤塞或水生植物生长的危险性)

运输货物的质量和价值, 雇用人数

5. 排水

(淤塞或阻塞以引起洪水的危险性)

潜在毁坏的危险性, 补修费用, 影响人数

地面水可以同时有几种不同用途, 所以必须考虑其总体重要性。大多数地下水只限于所列用途中的一项。

在一个迅速发展的地区, 人口和工业都可能在一个相当短的时间内膨胀, 这将带来水体质量的变化。大型水力设备也可能影响水质。随着人口和工业的发展, 应重新评价采样点, 以便作出适当的改变。

2.5 采样点的定位

图 1 说明了河流采样点的定位, 并解释了不同点的选择准则。图 2 和图 3 以同样方式和相应准则说明了湖泊和地下水采样点的定位。

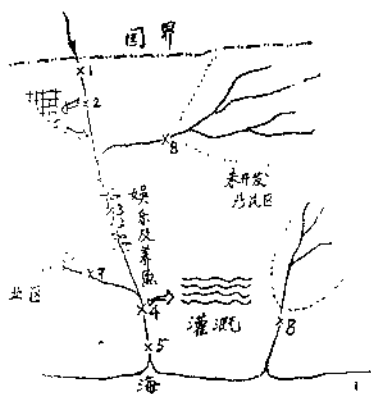


图 1. 河流监测点

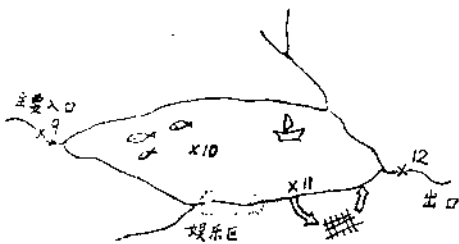


图 2. 湖水监测点

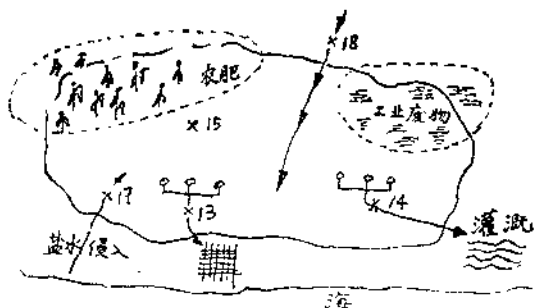


图 3. 地下水采样点

3. 监测点选择计划

3.1 过程

由于日常采样和分析耗资巨大, 因此花费一定时间和精力认真规划好整个监测系统是值得的。监测点的选择应该按下述的合理步骤进行, 并强调提出: 为便于作决定, 所收集的全部资料, 所作出的考虑及原因, 都必须记录归档。“记录能使人成为一个严谨的人”, 准确的记录还可便于将来快速查阅。

初步考察对选择站位是不可缺少的, 对于检查采样点的可接近性, 确定可能的采样方式(桥、船等), 估计采样和实验室分析所需时间以及采样一人员的花费等, 都是十分必要的。

3.2 情报汇总

1. 第一步是对情报进行评价, 并把直接或间接影响水质的所有因素罗列出来, 包括所有向水体排放和自水体汲取水的点源和面源, 还应包括地理、地形、气候和天气、水文地质、土地利用、都市化、工业化以及农业等方面的背景资料。评价应该尽可能包括这些因素在短期和长期内的任何可能变化。

2. 下一步是搜集有关水的应用及用量、水质要求以及相对重要性的全部资料并列成表, 其中还应包括应用中质量和数量上所有可能的变化和要求。

3. 列出目前尚未列出或尚未用上、但

将来可以利用和再循环使用的水源。

4. 应该搜集水体已经有一些水质数据。数据的年代会影响其价值。

5. 在这一步可用图说明其目前及将来的影响及应用的更重要方面。

3.3 所需数据评价

以搜集到的资料为基础, 尽可能作出如下评价:

- a. 评价水的各种用途及水质要求的相对重要性。
- b. 评价各种用途水质的影响因素的相对重要性。
- c. 确定为满足适当控制、规划、基本要求、特定危险物监测需要哪些资料。
- d. 选择应该提供必要资料的后备监测点。

3.4 初步调查

初步调查应尽可能包括设立监测点的所在区域, 以便帮助我们辨别水质不佳的水域。分析应包括基本指标和所搜集资料中出现重要情况的任何其它指标。调查不应局限于预设站位, 而应扩大到水体中其它可行的采样点。理想的情况是, 调查应该在一段具有代表性的时间内进行, 这样, 即使是一次性调查, 跟背景资料结合起来也是有指导意义的。

对于河流, 初步调查可以包括设在河流一部分地区的几个站位, 并且应该检查每个监测点的横向混合, 此类调查可能受到恶劣环境条件的影响, 如热带地区的雨季, 北欧的冬季及高山等。对于湖泊, 初步调查应了解藻类繁殖最高峰期的垂直分层和随后的冬季颠倒。对于地下水, 应分别调查几个钻孔、井和泉水露头, 绘制水质图, 以便选择最有代表性的站位。

3.5 复查

采样和分析开始时, 将所得数据送至负责水质控制和规划的单位, 经过一段时间后(如一年), 应对数据进行检查, 以判断能否满足要求。此时, 可考虑对采样点作些修改, 以改善所获数据的价值, 这样就可能需要进行一次广泛的调查。

即使监测系统已经运转, 按照所述规划重新进行综合检查, 可使资源利用变得更加充分。

采样点的选择程序如图4所示。

3.6 现场记录

全球环境监测系统国家资料表Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ, 作为本章的附录, 包括河流、湖泊和地下水采样点, 并说明每个采样点所需的资料, 其中包括位置、物理条件及流量条件的详情, 质量影响, 水的用途以及采样分析的详细情况。这些表格是每个点综合记录的基础, 对于解释所获数据, 特别是需要调整实验人员时, 是非常有价值的参考资料。

4. 河流监测点的要求

在基于以上考虑, 最终决定采样点后, 仍然存在以下影响其准确位置的实际因素。

4.1 代表性

水样必须具有代表性, 亦即水样中的变量必须具有采样时相同的数值, 因此, 对于一个有代表性的水样, 水体在采样地点必须充分混合。

由于受到流速、湍流和河流下游规模的限制, 支流进入后横向扩散迟缓。同样, 垂直方向的扩散也可能缓慢, 尤其是当支流和主河流存在着温差时更难混合均匀。

所有采样点处的断面都需要进行均匀性检查, 方法是在不同的深度间隔采样。根据河流的大小, 建议按表I所示进行。检查项目是哪些能在现场测定的变量, 如电导率、溶解氧、

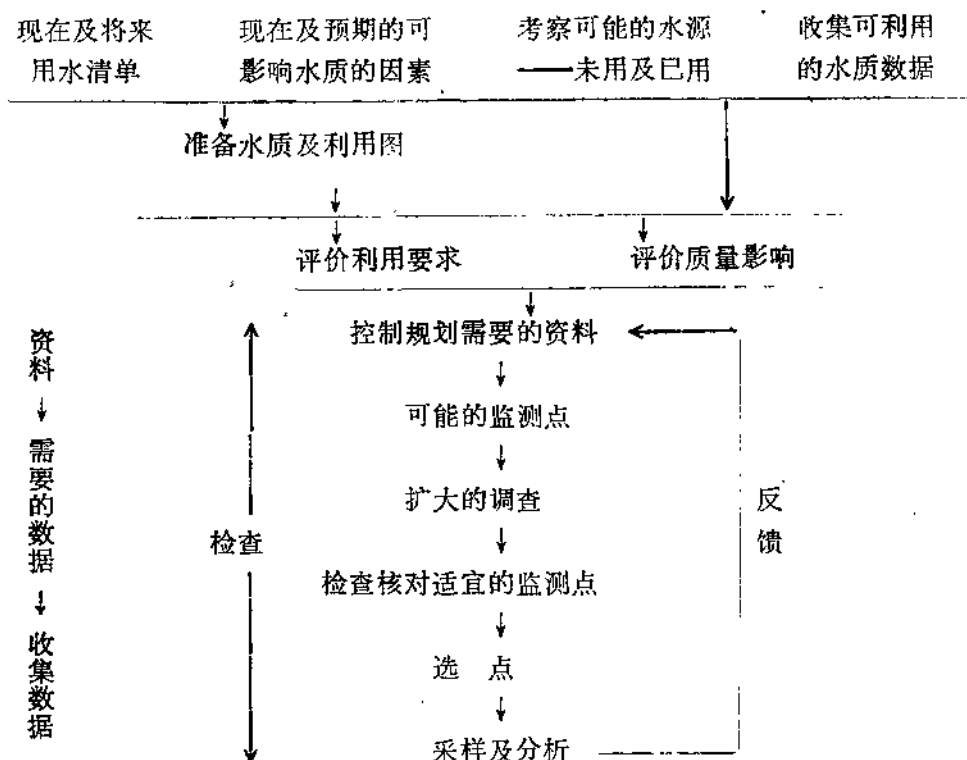


图4 采样点选择方案

PH值和温度。可以预料，即使溶解性物质充分混合，由于流速的不同，悬浮性固体的浓度在垂直方向上也是不同的。均匀性检验应该在高流量和低流量两种情况下重复进行。

表I 检查断面均匀性的河流采样

年平均流量 (m^3/sec)	分类名称	采样点数目	采样深度 ^[1]
小于5	小溪流	2	1
5—150	小河	4	2
150—1000	河流	6	3
大于1000	大河	最少6个点，根据河流增大，按2增加采样点	4

[1] 尽可能在表面30厘米或河底上30厘米采集水样，并注意不要搅动河底。

非均匀河流的采样过程可能非常令人厌烦，如将采样点下移到一个均匀的地方且数据仍能满足要求，则甚为理想。然而，一些河流尤其是大河流，这种情况是不大可能的，因为上游水在尚未混合之前又有新的支流进入水体，因此河流很少是均匀的，所以，其他文献中叙及的特殊步骤变得至为重要。

4.2 流量测量

采样时必须弄清站位所在处的流量，以便计算各个变量的质量流量，这对于水资源的合理管理以及解释该站水质的变化都是必须的。因此，选择监测站时应该尽可能把站位设在原来的流量测量站附近，计量站就是采样点更为理想。如果采样点设在计量站的上游或下游一点，而此点流量变化又不大，也是比较令人满意的。有时也可由两个或更多的计量点间接

计算流量。专为采样站安装计量设施是必要的，因为如果测量过程拖长，必定会拉长采样时间。水文测量一章有更详细的叙述，请参阅。

4.3 可达到性

采样人员通常需携带一个很重的采样工具箱及采得的水样，因此输送距离是有限的。采样点越难接近，一天内采得的样品数越少，所以要求采样点的位置在任何天气和流量下都可以达到。因此，可达到性是一个重点的考虑因素，对严峻的天气条件尤为如此（冰冻、高温、大雨等）。

4.4 与实验室间距离

样品测定指标分为三种类型：稳定的，如不随时间变化的氯化物；不稳定但可保存的，如氨氮；不稳定也不能保存的，如 BOD。将样品运送到实验室所花的时间，决定了一个特定采样点水样测定的先后次序。如果采样点与实验室之间运送时间超过24小时，则这个采样点是不合适的。

4.5 安全

采集湖泊和河流样品都可能危险，尤其是在恶劣的气候条件和高流量时，选点时在这方面应适当考虑。如除此危险点别无其它选择，则采样时不能有半点疏忽，并需使用安全装置。

4.6 干扰影响

如果采样点在导流坝下不远处，溶解氧含量会偏高；如采样点在坝上，则溶解氧含量会偏低。如在这些点连续采样，结果可以进行比较，但一般不能代表整个河流。同样，在有植物生长的河流下游地区采样，也不具有代表性，它们将受到光合作用和呼吸作用的影响。采样时最好避开地面水边界，如河岸或湖滨边线，因为这些地方的水不能代表整个水体。

4.7 采样设施

现有采样设施的可行性受到当地环境的限制，有优点，也有缺点，现叙述如下。

桥

采样者经常选择从桥上采样，因为采样点能准确标记，采样位置的横向和纵向控制容易，并且在任何天气和流量条件下都很安全。其缺点是来自道路交通的危险和干扰河流交通，尤其是在桥的下游河边采样。水力条件有助于混合，并能补偿溶解氧，但为量甚微。通常情况下，桥上采样是河流采样中最快速而经济的方式。

小船

小船提供了一种更灵活的采样方式，便于采集河流中任何点的水。然而，通常需要以地面上的一个或几个点作参考准确地标记采样点。采样时应小心并保证小船不致搅动底质而使其混入水样中。在高流速或暴风雨情况下航行是危险的，应配备救生衣。如果站位不多且站与站之间航行时间过长，船只航行的灵活性也就被抵消了。

涉水

在河水很浅时，可以涉水采样。由于涉水者不可避免地会搅动河底，因此样品必须采自涉水者所站位置的上游，这样采得的样品才具有代表性。

岸边

有时，岸边采样也是一种不得也的方式。样品应采自水势汹涌处或浅滩外水流较急和较深处。取样者应系上牢固固定在岸边的救生索。

索道

通常用于测定流速的索道，也可用于河流采样，但只限于较小河流。

直升飞机

直升飞机采样的优点之一是灵活，它能克服不易靠近采样点的困难，可从河流或湖泊中的任何点采得样品。优点之二是速度快，能在很短时间内从很多站位采样，并且采样操作简便快速。试验证明，水的扰动对溶解氧浓度的影响并不明显。这种采样方法耗资大，所以应结合采样与样品分析的总耗资进行考虑。

4.8 采样装置

采样操作将在第二章作全面介绍。采样瓶的材料和清洁程度必须满足痕量物质分析的要求（见第三章）。例如，当进行痕量有机物分析时，应避免使用塑料。

5. 湖泊位置要求

5.1 一般特性

湖可定义为被天然或人工陆地环绕起来的清洁水体。

与河水不同，湖水受到三维度的广泛影响，而河水只受到一维度因素的影响。由于湖水的复杂性，这里对引起湖水水质时间和空间变化的因素将作详细介绍。

湖的特征可用形态学、水文学、化学、生物学及沉积学等参数表示，这些参数则取决于湖的年龄、历史、气候及水的预算。这些综合因素决定了湖的特征，导致了水质在时间和空间的主要变化。

5.2 水的预算

湖水的成分受水预算的影响，即受湖水的输入和输出平衡的影响。然而这并非唯一的决定因素，因为在水体和底质之间还存在着一个交换问题，并且由于生物活动还会产生有机物质。

主要输入者通常是河的支流和可能携入天然和人为物质的河流。生活污水和工业废水可能直接进入湖体，也可能由农业灌溉排水等活动扩散至湖中。地下水和降雨也能引进外来物质。测定后面这些扩散源的输入当然是很困难的。

大多数的输出是沿着输入的路线倒流出去的，通过河流或通过民用和工业用汲出。使用后的水可能直接回到湖中，有时也进入河流出口。有时也存在着湖水的二次活动，即湖水离开湖后又进入含水层，最终由于蒸发而损失。

湖的理论保留时间是湖水总的输入量除以湖的容积。对于浅湖来说，几个月便可能变化，大湖、深湖则每十年或更长时间才可能发生较大变化。保留时间是在输入量发生较大变化后，输入和输出重新建立平衡所用的最短时间。实际上，除非湖水充分混合，这种情况很少出现。混合的程度取决于湖的形状、结构以及入水口和出水口的位置，如果湖伸长或分叉，即有许多分支或围成盆地，那么整个湖水的横向混合就会很差，各部分水之间就相应地存在着水质的差别。水的分层也会减少可用于释稀的水的体积。

5.3 湖泊营养化分类

依据植物的生长可将湖水分成四种主要类型。

寡营养的：营养物质（大部分是磷、氮化合物）的浓度很低，限制了生物的生长。有机物质的腐败跟生物生长处于平衡状态。

中营养的：营养物质的供应增加，相应地促使生物和有机物质增加，并开始积累，底层氧不是经常处于饱和状态。

富营养的：湖中营养物质丰富，生物繁殖茂盛，有机物质快速积累，大部分变成底层沉积物，消耗底层水域的溶解氧，有时完全耗尽。

营养不良的：有机物和腐殖质过度积累限制了生物的活力，这些湖大部分比较浅，呈酸性并且逐渐沼泽化。

这四种类型是自然产生的，并且由于自然过程的发展，从寡营养到富营养有时呈缓慢的趋势。

营养物质通过大气沉降、河流、直接的雨水、融雪径流、地下水、废水等途径而使摄入增多，加上各种各样的人类活动，加速了湖水从寡营养到富营养阶段的转化，这种变化主要取决于每单位湖面积营养物质（主要为磷）的输入速度和水的保留时间。这种自然过程的加强可看作是一种有机物质的污染。其结果必然是底部水域缺氧，透明度降低，表层水颗粒状有机物质增加，浮游生物和鱼的种类发生变化等。

5.4 分层和水的混合

湖的另一个特征现象是热分层，这种现象是由决定水的密度的温度影响引起的（4℃时水的密度最大），因而采样过程需要修改。

在温暖地区的春天和夏天，表层水变暖，密度下降，它们在密度较大的冷水之上浮动，不能进行垂直混合，温暖的表层即为湖面温水层。湖面温水层之下的冷水即为次水层。湖面温水层由于受到风和表面流的影响得以混合，并保持较高的温度。在湖面温水层和次水层之间存在着一个薄的温度变化带，即所谓的变相湖沼或斜温层。由于次温层得不到从大气中的直接复氧，所以，如果有有机物质很多便造成溶解氧的匮乏。在缺氧的条件下，底质中的各种化合物被还原成可溶性的还原形式并扩散到次水层中。以这种方式产生的物质包括氨、硝酸盐、磷酸盐、硫化物、硅酸盐、铁及锰的化合物。

当天气变冷时，表层水温度下降，斜温层温度降得更低。当表层水温度降低使水的密度比次温层的密度大时，便产生湖水的“颠倒”，这种过程非常迅速，从而导致湖水的垂直混合。

热分层在大湖中一般不会发生，除非水深达10米以上。在很深的湖中，此过程在整个冬天均可发生。小浅湖，尤其是流速很大的湖，一般不存在这种现象。

如果湖面被冰所覆盖，则发生倒置的热分层，即在4℃主水体的上面有一层更冷的水。当湖面冻结时，复氧过程便停止，形成了还原性条件。

在热带和赤道附近地区，深水湖通常全年分层，这种永久的分层导致了底层水域天然的和连续的缺氧。另一方面，浅的热带湖每年能发生几次完全混合。

颠倒的频率以及由颠倒而发生的混合依赖于局部的气候。以此为基础，可将湖分类如下：

1. 单次——每年一次——温水湖，不结冰
2. 二次——每年二次——温水湖，结冰
3. 多次——每年几次——浅的温水湖或热带湖
4. 常年——混合很差——热带深湖
5. 局部——不完全混合——主要的全年混合湖，但有时是深的单次混合或二次混合湖
横向混合受风的影响，但其作用通常只限于表层水。

5.5 生物活动的季节性和垂直变化

湖中生物会影响水质，这种影响与湖的年龄有关。多数生物活动是由于湖表层浮游生物的光合作用，结果造成了对氮、磷、硅等营养物质的吸收，呼出氧气，吸收二氧化碳，使水

的PH值升高。

在寒冷和温暖地区,光合作用显示明显的季节性,冬天光合作用少,夏天较多。在热带地区,藻类繁殖对水化学的影响更大。

在底层水域,由于来自湖上层藻类碎屑的细菌分解,导致了无机氮、磷的增加,水呈酸性化,最终溶解氧降低。这种氧的消耗直接与在底层水域循环的有机物量有关,反过来说是跟次层水的扩展联系在一起的。

在湖水倒置期间内,从上到下水质均匀,但不完全混合型湖仅顶层被混合。所以,湖水化学特性远比河水、地下水复杂,这是由湖的外部过程(水输入,化学,水平衡及蒸发)和内部过程(生物活动,水的混合)造成的,这同时也造成了水质的明显的时间和垂直变化。

5.6 采样位置的选择

湖水采样应遵循第三部分和图2所示的程序进行。应综合收集资料并加以评价,包括容积、表面积、平均深度、水的更新时间以及热的、深水生物分布的、水力学的和生态学的等有关湖特征的数据。以上所叙和图2所示是采样站位选择的准则。

输入湖中的物质通常受到高度的冲稀,有特殊用途的采样点,如果设置于较近于入水口和出水口处,监测影响比较方便,但测定数据仅限于局部应用。

在GEMS/water中,如果横向混合较好,则靠近湖心的一点就可用于监测长期趋势。如果整个湖分成几个湾状或盆状部分,就需要建立几个站位。作为指南,规定采样点数应等于湖面积(km^2)的对数值(log)的整数。

进行初步调查,对于确定采样位置是必要的,理想情况应按网络栅格或横断面逐一调查,但工作量太大,因此要求进行有限的调查就足够了。对于所获资料的研究,应能说明特定用途水的最适宜的采样区域。在这些区域选择一、二点核对其数值。在选站时就应牢记,在湖中采样所花费的时间和劳动比河水和地下水多。

非常重要,从作为饮水、工业用水或农业用水的湖泊进水口测得的数据不能反映整个水体的水质,而应根据其垂直断面确定,更不能用来预测其它站位的水质。

5.7 湖水采样和深度断面

湖水采样通常在船上进行。站位通常根据岸边参考物和回声深度断面判定。每次都能精确无误地辨认出站位并非易事,但如果横向混合好,这通常是不重要的。

一些样品需要在垂直方向上按一定间隔采得,将在第二章中作全面介绍,以下稍作建议:

- 两点深度(表面和底层),湖深不超过10米;
- 三点深度(表面、斜温层和底层),湖深不超过30米。
- 四点深度(表面、斜温层、上次层,底层)湖深至少30米。
- 如湖深超过100米,应考虑再增加采样深度。

6. 地下水采样位置要求

6.1 地面特征

含水层

地下水存在于多孔岩石(如沙岩)、多孔沉积物(如砂或砂砾层)或岩石断裂缝隙中(如石灰石)。含水的岩石体或沉积物称为含水层,饱和体的上部水平面称为水台。含水层介质的特点是多孔性和渗透性。孔隙率是孔和缝隙的体积与介质总体积之比,通过测量排水百分数,指示介质对水的贮存能力。渗透率是测量液体在一般位能梯度下流经介质的难易,指示出在

给定条件下水或其它液体通过介质的相对速率。对水即称为导水率。下面给出了几种典型介质的孔隙率和导水率。

表 2 几种多孔介质的孔隙率和导水率范围

介质材料	孔隙率(%)	导水率(cm/s, 20°C)
泥土	45—55	10^{-4} — 10^{-10}
淤泥	40—50	10^{-3} — 10^{-7}
砂	30—40	10^{-1} — 10^{-4}
砂砾	30—40	10^{-1} — 10^{-2}
砂岩	10—20	10^{-5} — 10^{-7}
石灰岩	1—10	10^{-7} — 10^{-9}

除非含水层含有原生水,即水跟矿物质紧密相联,否则地下水就是水循环的一部分,尽管其时间间隔可在数年以上。

土壤

在含水层的无机岩石之上是一层含有 5—10% 有机物质的土层。土壤的无机组分包括各种大小的颗粒,有机物质

包括动物和植物碎片,它们正处于腐烂的不同阶段。土壤中包含了各种各样的生物组织体。土壤类型有很大的差异性,但当水经过土壤进入含水层时,其特征均受到影响。

6.2 对地下水水质影响

含水层中水质依赖于注入地下的水的成分。在含水层中,水与介质之间相互作用,并发生反应。覆盖层的土壤也起着非常重要的作用,尤其是物理过滤和生化反应影响更大。大量的地下相互作用将带来溶解物质的转移和成分变化,概述如下:

物理过程

1. 扩散(稀释)——扩散容量直接取决于地下水的流速,即导水率和压力梯度,而反比于孔隙率。

2. 过滤作用——过滤效率取决于土壤和含水层颗粒的大小。

3. 气体运动——帮助维持有氧环境和生化氧化作用。

地球化学过程

1. 络合反应——增加水中离子的种类。

2. 酸/碱反应——随着 PH 值的降低,多数组分的溶解度增加。

3. 氧化/还原反应——例如在还原条件下,铁和锰的溶解度增加,铬溶解度降低,氮化合物和其它物质可能被还原。在氧化条件下,氮化合物可被氧化,铁和锰溶解度降低。

4. 沉淀/溶解过程——阴阳离子间反应导致沉淀或溶解,如方解石或 CaCO_3 。

5. 吸附/解吸过程——根据水中浓度,离子和分子可能被保留和释放。

生化过程

1. 腐败和呼吸——微生物可以氧化和分解大量有机和某些无机化学物质。

2. 细胞合成——吸收营养物质,在地上的运动放慢。

这些过程中能转移或破坏某些污染物质,例如有机物质的分解,但其它一些过程,如吸附,只能延缓污染物质的分解过程。尽管如此,由于这些活动能降低污染的最大浓度,所以当突然或不规则地发生水质变化时,这种过程的作用就体现出来。

6.3 人为影响

一般说,地下水的污染大多是因为受污染的水自地面渗入所引起,而已叙述过的各种自身变化和相互作用,对地下水起了一定的保护作用,尤其是对蓄水层深处的水,保护作用更大。然而,当受污染的水正好穿过汲水点时,其后果是严重的。由于水在含水层中流速极小,而水量很大,因此从污水渗入到能够从汲水点发现污染物需要很长时间,随导水率、水

压梯度以及孔隙率而不同。同样，将受污染的水冲洗出去也需要很长时间。由于“拖延”效应存在，时间甚至更长。在这种情况下，复原过程有时被看作是**不可逆的**而抛弃此水源，例如，有一被含酚废水污染的水源，在除去污染源20年后才得以恢复。

地下水的人为污染源可能是点源或面源，比较普遍的污染源列于表3。

表3 地下水的人为污染源

污染物质	点 源	分 散 源
生活污水	粪坑、化粪池、渗滤池排水系 统渗滤稳定池渗入	处理后污水的再注入、农田里过 多使用的污泥
生活固体废弃物	垃圾场和卫生填埋处的沥滤物	
农业废弃物	牲畜饲养场的渗透	雨水、灌溉用水和化肥及杀虫剂的溶液
工业废弃物	由弃置的工业废物沥滤出来工业废 水的处理，包括注入井中的冷却水， 在使用、贮存和运输过程中的偶然 溢出 从油箱和管道中渗漏	通过土地灌溉处理工业废弃物
一般		人为注入地面水 由受污染的河、湖或大气降水自然注入 由于过度抽水，海水及其它盐水含水层 的盐水入侵

6.4 选择

图4的程序作某些修改后，即可作为地下水站位选择的准则。如果可能，搜集一些水文资料，征求本领域专家的意见是必要的。

第一步是含水层的选择，评价其相对重要性，这要依据其总水量，受益人口数，对工农业的价值以及受威胁水质的数量，综合进行考虑。

有关含水层的综合资料应包括其水文情况，即位置、深度、含水层面积及其地质学和矿物学特征。还应了解其水位、水力梯度、传导率、水运动的速度和方向，并尽可能用平面图、剖面图和曲线图来说明。

为了解现有的和潜在的水质影响，应进一步搜集资料，记录详细的土地利用情况，表3。为我们搜集适宜资料指明了范围。

应由含水层供水的所有钻孔、泉眼和井连同其水质及监测资料列于一表。

含水层越大，越均匀，采自单一监测站的样品愈具有代表性。选站时通常仅限于现有的汲水点及泉眼，然而也可能花费大笔资金钻一新井眼，提供某个具有新的潜在污染源的水源的水质资料，或者通过介入一个主要危险污染物质和主要的汲水点之间充当预报影响站。还应考虑尽量缩短采样站和实验室的距离。

一眼井覆盖的区域面积依据水量而不同，一眼大水量的井，如 $2\text{ m}^3/\text{分}$ ，其汇水面积很大，而一眼小水量的井，如 0.2 升/秒 ，仅来自很小的局部。一眼高产量的井，由于其严重的水位降低效应，可能间接地影响水质。

含有任何特定危险物质的地下水都不能应用，如果某处废物中含有危险物质或天然地球化学证实某处存在危险物质，必须对这里的水进行检查，核实其中是否存在这些物质。

如果选定的含水层的水质不满足要求，则必须对现有水井进行分析调查，将调查资料跟总览表和背景资料综合考虑，有助于选择有代表性的采样方式。（杨振波译）