

目 录

第一章 水文循环与水体污染

第一节	水文循环与天然水质	(1)
第二节	水文循环与水体污染	(6)
第三节	各种水体污染的特点	(9)
第四节	水量资源与水质污染	(13)
第五节	水污染物及其危害	(20)
第六节	水质的度量及要求	(28)

第二章 水体污染的水文特性

第一节	河川流量和水质污染	(41)
第二节	水污染与其他水文特征	(50)
第三节	污水排放动态	(55)
第四节	河流水质变动	(61)
第五节	水库水质性状	(73)

第三章 水体污染的水力特性

第一节	紊流现象	(84)
第二节	静水扩散	(98)
第三节	紊动扩散	(116)
第四节	纵向离散	(119)
第五节	边界反射	(138)

第四章 水体自净作用及特点

第一节	物理净化作用	(142)
第二节	化学及生化净化	(149)
第三节	河流自净方程	(159)
第四节	有机物净化的室内实验	(164)
第五节	影响自净的作用	(174)
第五章 水体水质数学模拟		
第一节	水质模型化概述	(183)
第二节	水体水质基本模型	(191)
第三节	水质基本模型的简化	(200)
第四节	二维水质模型解例	(202)
第六章 河流水质数学模型		
第一节	单变量水质数学模型	(210)
第二节	多变量水质数学模型	(222)
第三节	河流一维水质模型的解析解	(229)
第四节	河流一维水质模型的数值解	(236)
第五节	河口水质数学模型	(254)
第七章 湖、库水质数学模型		
第一节	完全混合型水质模型	(264)
第二节	湖泊(或水库)分层水质模型	(273)
第三节	非完全混合型水质模型	(278)
第四节	水库水质数学模型	(283)
第五节	水库水质演算方法	(286)
第八章 水质模型参数的估算		
第一节	流量与流速值的确定	(290)
第二节	扩散离散系数的推算	(291)

第三节	耗氧系数 K_1 值的估算	(305)
第四节	复氧系数 K_2 值的测算	(314)
第五节	河流水质模型多维参数整体综合估计的方法	(325)
第九章 水质预测预报方法		
第一节	水质预测预报概述	(342)
第二节	建立相关统计模式	(346)
第三节	求解确定性水质模型	(356)
第四节	面源污染研究概述	(374)
第五节	面源的水质预测模型	(378)
第十章 水体水质管理控制		
第一节	水体水质管理标准	(397)
第二节	纳污能力计算模式	(401)
第三节	污水排放标准算例	(409)
第四节	水体污染控制途径	(419)
主要参考文献		
附录：水质调查与监测方法		

第一章 水文循环与水体污染

自然界中水分的循环与水质有密切的关系。所谓水分循环，又称水文循环是指水从水面和陆面由液态或固态因蒸发变为气态，被气流带到空中，有时输送到远处，在适当条件下又凝结为水滴，以降水的形式落在地面，循环往复的过程。

水文循环包含空中（大气），地面（海面 and 陆面）和地下三大极为复杂又相互联系的系统。大家知道，水有良好的溶剂，所以在自然界的水文循环过程中，水和一些物质接触的时候，这些物质就以各种各样的形式分散或溶解在水中，形成天然水的水质状态，叫做本底状态。由于人类生产、生活活动排放污染物，使水文循环中形成的天然水质又加入了人为污染的增添量，引起天然水水质的恶化，导致水体污染，例如可能由于大气污染（二氧化硫和氮）形成酸雨降落地面，而地面的水体（包括地下水）则可能直接遭受人为影响造成水质污染。

第一节 水文循环与天然水质

水文循环是由大循环与小循环组成的（见图1—1）。从主要蒸气源地海洋上（占世界总水量97.3%）蒸发出来的

水分，被气流带到大陆上空，遇冷凝结，成云致雨，降落地面。降落的水量中一部分又重新蒸发；一部分汇入河川，注入海洋；还有一部分渗入土壤后，直接以地下水的形式注入海洋。这种海陆间的水分交换过程叫做大循环。

陆地上水分蒸发，凝结又降落到陆地，或从海洋上蒸发的水气在空中凝结，又以降水的形式落在海洋上，这种局部的水文循环，叫做小循环。

在水文循环过程中，天空与地面和地下之间通过降水，蒸发和下渗进行水分交换。海洋与陆地间也进行水分交换，天然水在这个运动过程中，其水质随之发生复杂的变化，例如陆地上每年有 36×10^{12} 米³的水流入海洋，这些水把约 3.6×10^9 吨的可溶解物质带入海洋。因此，自然界完全纯净的水是不存在的，以化学成分来看，天然水可以认为是在自然条件下溶解了气体，离子和来源于矿物及生物的胶体物质的复杂综合体。

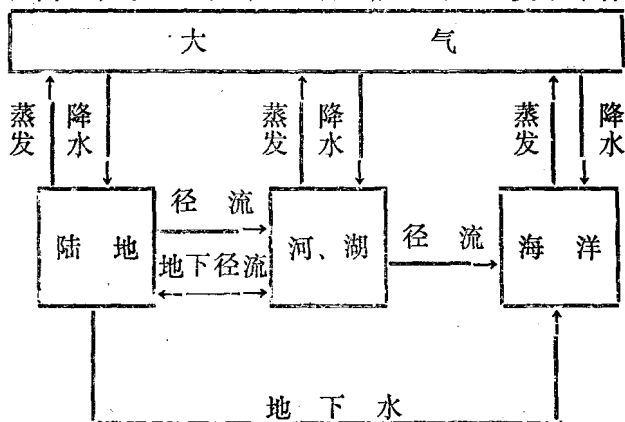


图 1—1 全球水循环示意图

到现在为止，已知的108种化学元素中，在天然水中就发现60多种，其中有些是主要成分，含量较大；有些却很少。按其含量及其存在的形式不同，天然水化学成分的组成可分为下列几种：

主要离子：阳离子 Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， K^{+} ， Na^{+} ， H^{+}

阴离子 HCO_3^{-} ， CO_3^{2-} ， SO_4^{2-} ， Cl^{-} 等；

溶解气体：

溶解氧(O_2)，二氧化碳(CO_2)及硫化氢(H_2S)；

生物原生质：

主要是水生生物或微生物的有机体分解后的一些产物，

如 NO_3^{-} ， NO_2^{-} ， Fe^{3+} ， Fe^{2+} ， NH_4^{-} 等离子和

P， SO_2 等；

微量元素：

Br， I^{-} ， Mn^{2+} ， Cu^{2+} 和 F^{-} 离子等；

有机物质：

如腐植质，水生物的排泄物等。

实际上，在自然界水文循环的三大环节中，由于天然水接触的物质不同，其组成成分也不同。

降水：是水文循环的大气圈环节，由大气中的水蒸气凝结降落而成。似乎是天然水中最纯洁的水。实际并不然。当水蒸气在凝成水滴的过程及其下降时，就吸收，溶存了空气中的不同气体以及各种飘尘、杂质，如氧气、氮气、二氧化碳和空中的灰尘微粒、微生物等，使其纯洁程度遭到了破

坏。据1977年报导，中国科学院环化所和地化所曾测出了世界屋脊珠峰冰雪中溶存有铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）等。不过就降水的化学成分来说，矿物质的含量还是比较少的。

地表水：就水文循环的地面环节来说，降落到地面的水，渗透过土壤，冲刷着岩石，改变了天然水中的气体成分，富集了盐分和有机物，而后汇集于河流、湖泊、注入海洋。有些挥发成分则可能蒸发回到大气。可见天然地表水成分还与地表径流形成地区及水体所处地理位置的地形，土壤、地质、植被、水文地质和不同的气候季节有密切的关系。不同的河流和湖泊，水的化学成分，微生物的含量，以及物理性质也不相同，甚至同一条河流。在各个河段，由于自然条件的不同也显示出差异。

例如：地形陡削的山区，容易形成山洪，水中矿物质，悬浮物的数量会同时显著增多，不同的土壤地质条件会影响冲刷下来的盐类含量。江河发源于高山峻岭，或流过沼泽地区，使水中溶有可溶性的杂质和土壤中的腐植质，所以硬度（ Ca^{2+} ， Mg^{2+} 离子的含量）及含盐量增高，并使水带有很高的色度和有机物。

江河水中的化学成分随季节的变化也很大。

冬季：一般水的浑浊度较低，而硬度及含盐量较高。这是因为此时的江河水源主要来自浅层地下水补给所致，水中的溶解氧数量由于被水体中各种性质不同的生化过程所消耗而不断减少，当河面封冻时，有的甚至会导致水中缺氧而鱼类死亡。

春季：有春汛的地区，一方面由于融雪水中含有大量氧气而使河水含氧数量有所增加，另一方面则由于从土壤表层冲刷下来的有机污染物增加了河水的生化需氧量。春汛过后，有的地区出现短暂的枯水，水质情况与冬季类似。

夏季：水质情况与冬季相反，这是因为暴雨冲刷，泥沙俱下，引起浑浊度增高，而硬度及含盐量大大降低，因为引起这些矿物性杂质数量增加的潜水占总径流量的比例很少，当然汛期中有机物数量会达到最高峰，但是也由于得到饱氧气的雨水补给而获得额外的氧气。此外，夏季是水生植物的茂盛时期，由于光合作用的结果，有的可以看到河水含氧量的过饱和现象。部分有机物质则充作水底植物和浮游生物的养料。

秋季：河水消退，水温逐渐下降，河水开始储存冬季所需的溶解氧。例如：氧的数量能从水温为 20°C 时的 9.17 毫克/升，上升至 0°C 时 14.62 毫克/升。与此同时，水中有机物质的生物氧化过程逐渐消退。

湖泊水（包括水库）流动性较小，悬浮物质容易下降，因而浑浊度较低，但其化学成分与流入湖泊的水源有关，同时，也受到自然条件的影响，使各个湖泊的水质都不相同。有的湖泊矿物质较多，清澈透明。有的湖泊其硬度和含盐量却很高。一般说来，大湖泊的化学成分，受季节变化的影响较小，不过，在夏季，水生植物的繁殖使水的色度增加，同时，上层水中的 CO_2 ，因参加了水生植物的光合作用而减少，溶解氧的含量则因此而增多。冬季，这种现象恰好相反。

地下水：是水文循环的地下环节。一般说来，地下水所含的矿物质较多，其水化学成分根据所接触的岩石地质而异，但是地下水比较清彻透明，很少含有悬浮物。

第二节 水文循环与水体污染

随着世界人口的增长（据估算1900年为15亿5千万人，1960年约增至30亿人，1981年为45亿人）和现代工农业的出现，人类活动对水文循环的地面环节导致了重大影响。地面水的水量和水质，在某些局部地区，甚至发生了很大的变化。

河流是水文循环地面上的主要路径，也是人类干预最多的水体。大气水分，凝结致雨，降落地面，渗入土中。当降雨超渗时，即开始产生径流。在流域上未开发地区形成天然地表与地下径流（受严重污染的暴雨如酸雨等除外）；在农业耕地上形成农药化肥污染的农业径流；在矿山（特别是露天矿）形成受矿区开发活动污染的矿山径流；在城市形成受工业和生活污染的城市径流。当流域上这些径流汇入河道，向下游流去时，又受沿河工业、农业、城市用水排水的污染。人类活动对水循环地面、地下环节污染影响示意如图1—2（在不考虑大气污染导致降水污染的情况下）。

当然，河道中受污染的水，又由于稀释与自净等作用，随着河水流送的距离和时间的推移而净化（主要指易分解的污染物）。所以，水质污染实际是指在确定的时间内，进入水体一定水域中的污染物含量（包括热能），超过了水体的

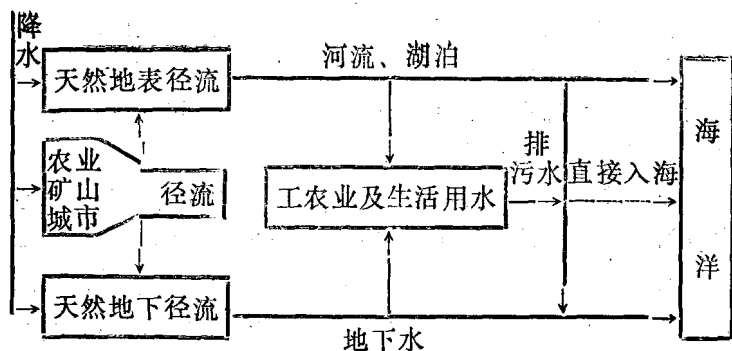


图 1—2 人类生产、生活对水的污染示意图

自净能力，使水体水质变坏，影响水的用途，甚至严重地危害人们的健康，完全丧失水体的利用价值。

从水文循环运动过程中，水污染的发生与发展来看，水体水质污染，就其成因可分两类：一类是由自然地理因素引起的，称为自然污染；另一类是由人为因素引起的，称为人为污染，前者是指由于特殊的地质或其它自然条件，使一些地区某种化学元素大量富集，或天然植物在腐烂中产生某些毒物等，从而污染了河水。广义的自然污染有时也包括流域降雨冲刷汇集的有机质和泥沙。而由于一般自然地理条件所造成的水体天然水质含量，则通常称为水质自然背景值（或本底值）。后者指由于人类活动（工业、农业、城镇生活等）所造成的人为污染，这是水源保护事业所关心的。

如按污染来源的形式而言，则基本可分为两种，即点源和面源（或称非点源）。

点污染源，指废污水以地点集中的形式排入水体，例如

工业废水和生活污水的排放口，其特点是排放一般具有经常性，变化规律则依工矿生产废水排放，城镇生活污水排放情况而改变。它既有季节性又有随机性。有的则集中经污水处理厂处理后再排入水体。

面污染源，指污染物来源于水体的集水面上。如农业污水及城市地面和矿山采矿径流冲刷污水和天然污水，当污水由坡面直接汇入水体，因交界呈线状又称“线源”或“散源”。其特点是发生时间都在降雨形成径流之时，具有间歇性，它的变化服从降雨径流、产流、汇流规律，并受被污染的下垫面因素的制约，例如城市地面污染状况，农作物的分布，耕作的管理（农药、施肥），矿产的开采、分布及特殊的自然条件，和流域植被与土壤分布等。实际上面源又可分为地表水作用下的污染物运动变化和地下水作用下污染物运动变化。前者服从地表水水文学的降雨产、汇流规律，后者服从地下水水文学的渗透，出、入流规律。当然还有水中污染物本身物理运动、化学反应和生化效应的演化规律，这些都是环境水文学研究的重要内容。

除上述污染源以外，在排出废气较多的工矿区附近，大气中含有的某些污染物质将随大气降水或因自身重量而降落，污染水体。工业废渣及其他固体废物堆积在水体近旁，其中的可溶性物质，被雨水淋溶而流失，以致污染水体。又如将废物废渣废热水直接倾倒或排入江河、湖泊；或船艇排污，漏油等事故，水体局部被污染的程度更为严重。

水体被污染有的能直观地觉察到，例如水体颜色的变化、浑浊，散发着难闻的气味，某些生物的减少或死亡，另

一些生物的出现和骤增等。有的是直观不出来的，需要借助于仪器观测和分析或调查研究。

为了研究被污染水的变化情况，常常按污染后的性状和特点分为以下几种类型：

(1) 化学性污染。包括有机、无机化合物的污染。具体讲就是水中溶解氧减少，溶解盐类增加，水硬度变大，酸碱度发生变化及水中含有剧毒物质。

(2) 物理性污染。包括水的颜色、浑浊度、温度的变化。也包括水面漂浮油膜、泡沫以及水中放射性物质的增加。

(3) 生物性污染。包括水中出现的细菌和污水微生物的产生。

上述几种类型的水污染在自然水域中并不是单一存在的，而是几乎同时存在的，并且相互影响，处于不断变化之中。

第三节 各种水体污染的特点

陆地上各种水体的特性和运动规律不同，因之它们在受到污染后的性状亦不相同。

(1) 河流污染特点。河流是陆地上最重要的水体，世界上的大工业区和城市大都建立在河流之畔，依靠河流供水，运输。同时也将废水，污水排入河流。目前，工业地区和人口密集地区的河流，大多数遭受了不同程度的污染。由于河流水体具有的特性，其污染情况有如下特点：

1、污染程度随径污比而变：河流的径流量和排入河流中的污水，污物量决定了径污比。在排污量相同的情况下，河流的径流量大、污染轻，反之就重。河流的径流量随时间变化，因此河水的污染程度亦随时间而变化。

2、污染物扩散快：河水是流动的，上游河段遭受污染会很快影响到下游。所以河流污染影响的范围不仅限于污染发生区。其次，从对具有回游习性的鱼类影响来看，河流中某一段受到污染，可以影响到全部河道的生态环境。

3、污染影响大：河流是人类的主要饮用水源，所以河水中的污染物可直接通过饮水危害人体。河流还是淡水水产品的主要产地。所以河流污染又可通过水生动物（鱼、贝类）食物链影响人体。河流又是农田灌溉的主要水源，因之污染了的河水又可通过农作物的累积而影响人体。如在日本发生的骨痛病，就是用被镉污染了的河水灌溉农田，使水稻中镉含量增高而使人们致病的。

4、污染容易控制：河水交替快，自净能力强，水体范围相对较小，因此其污染较易控制，如英国的太晤士河，多年来污染严重，1850年后水中生物基本绝迹，但经过几十年的治理在两岸兴建大型污水处理厂，工业废水全部经过处理后再排入河道，已使太晤士河部分河段水质得到改善，到1969年，河中又重新有鱼群出现。

（2）湖泊污染特点：湖泊、水库是陆地上水交换缓慢的水体，其中非排水湖因湖水不能再流出，故对物质的积累与海洋相同。排水湖亦常因其流速小，水域广阔，可使某些污染物长期停于水体中发生质的变化和量的累积，而改变水

体状态和造成污染。其污染特点如下：

1、湖泊污染的来源广、途径多，种类复杂。

上游和湖区的入湖河道，可以携带其流经地区厂矿的各种工业废水和居民生活污水入湖。湖区周围农田和果园土壤中的化肥，农药残留和其他污染物质可通过农田回归水和降雨径流的形式进入湖泊。湖中生物（水草、鱼类、藻类和底栖动物）死亡后，经微生物分解，其残留物也可污染湖泊。几乎湖泊流域环境中的一切污染物质，都可以通过各种途径最终进入湖泊。故湖泊较之河流来说，通常其污染来源更广，种类更复杂。当流域上大量使用化肥时，还能造成氮、磷等营养元素进入湖泊，使藻类大量繁殖，从而溶解氧降低，生物迅速窒息而死。这就是所谓的“富营养化”，而富营养化在河里很少见，所以湖泊污染的类型较河流为多。

2、湖水稀释和搬运污染物质的能力弱。

废水排入水体后，水体对污染物质的稀释和搬运的能力，通常同水流流速成正比，流速越大，稀释和搬运的能力越强，湖泊由于水域广阔，贮水量大，流速缓慢，故污染物质进入后，非但不易迅速地被湖水所稀释而达到充分的混合，相反却对沉降有利，而且也难于通过湖流的搬运作用，经过出湖河道向下游输送。一般河流，洪水季节由于流量的迅速增加，河水稀释和搬运废水的能力随之加大，能使水质大为改善，而湖泊由于滞洪作用，洪水进入湖泊后迅速减缓，稀释和搬运污染物质的能力远不如河流那样。这充分表明：河流是属于污染物质循环中易于搬运的过路类型，而湖泊大多属于污染物质循环中易于沉积的封闭类型。河流型的

湖泊则介于这二者之间。此外，流动缓慢的水面还使水的复氧作用降低，从而使湖水对有机物质的自净能力减弱。

3、湖泊对污染物质的生物降解、累积和转化能力强。

湖泊是孕育水生动植物的天然场所，流动缓慢的湖水，有利于湖泊生物对微小物质的吸收。不少生物能富集铜、铁、钙、硅、碘等元素，要比水体原来的浓度大几百倍、几千倍，甚至几万倍。水体受污染后，污染物质除了直接从水体进入生物体以外，还可通过食物链中多级生物的吞食，不断富集和转移。如 DDT 及其分解产物，可通过水→藻→虾→昆虫→小鱼→而到达鸥，鸥体内的浓度比水中浓度大一百多万倍。有的生物则能对有机污染物质进行分解。例如，酚可在藻类、细菌、或底栖动物的新陈代谢中，分解成二氧化碳和水，从而有利于湖水净化。有些生物还能把一些毒性不大的无机物转化成毒性很大的有机物。例如，无机汞可被生物转化成有机的甲基汞，并在食物链中传递浓缩，使污染危害加重。

(3) 地下水污染特点：地下水流动极其缓慢，因此地下水污染具有过程缓慢，不易发现后难以治理的特点。受污染的地下水域，在彻底控制其污染源后，一般得几十年后才能使水质复原。地下水的污染方式分直接污染和间接污染两种。前者是污染物直接来自污染源，在污染过程中污染物的性质不变，这是地下水的主要污染方式；后者是由污染物作用于其他物质，使这种物质进入地下水，形成污染。例如地下水中硬度的增加就是间接污染造成的。间接污染过程复杂，污染原因、污染来源和途径难于查出。

地下污染途径可归纳四类：1、间歇入渗型，是雨水或灌溉水等使污染物随水通过非饱和带，间断的渗入含水层。如淋滤固体废物堆引起的地下水污染属之。2、连续入渗型，由污水聚集地（如污水渠、污水池、污水渗井等）和受污染的地表水体，连续向含水层渗漏而造成的地下水污染类型。以上两类主要污染潜水。3、越流型，污染物通过越流方式从已受污染的含水层转移到未受污染的含水层。如通过破损的井管污染潜水和承压水。4、径流型，污染物通过地下水径流进入含水层，污染潜水或承压水。如污染物通过地下岩溶孔道进入含水层属之。

地下水污染后难以复原，故应以预防为主进行保护。最根本的保护办法是尽量减少污染物进入地下的机会和数量，如对污水聚集地段要进行防渗。选择具有最优的地质，水文地质条件的地点排放废物等。

第四节 水量资源与水质污染

一、水量资源及其利用

从广义上讲，地球上各种水体容蓄的水量都属于自然界的水量资源，见表1—1。全球约有14.5亿立方公里的水量，但其中咸水或高矿化度水约占总水量的98%，淡水仅占总水量的2%左右，而淡水中冰川与冰盖又约占85%，只有15%左右的淡水资源开发利用条件比较容易。

狭义的水量资源系指对人类生活和发展工农业生产有着

表 1—1 全球各种水体的水量资源 M.I.Lvovitch

各种水体	水量资源 (万KM ³)	其中淡水资源 (万KM ³)	水量更替期 (年)
大 洋	137000		3000
地下水	6000		5000
(浅层地下水)	400	400	330
冰 川	2400	2400	8600
湖 泊	23	12.5	10
土壤水	8.2	8.2	1
大气水	1.4	1.4	0.027
河槽水	0.12	0.12	0.032
全球水体	145000	2822	2800

摘自 "Selected works in water Resonrces" Intev-
nation water Resources Association.V·S·A1975

密切关系的淡水，若按地球总水量计，淡水仅占千分之三。在水文循环中，由于各种水体年流入量不同，因此水量更替期也有较大差异，更替期越长的水体，恢复起来越困难。

我国水量（淡）从总量看是丰富的，但按人口平均拥有水量的水平较低。据统计，我国正常年平均降水深 630 毫米（全球大陆为 800 毫米），年降水总量约为 6 万亿立方米（约占全球陆地年降水总量 119 万亿立方米的 5%）。其中 56% 成为土壤水并最终消耗于土壤蒸发与植物蒸腾。只有 44% 成为河川径流，约为 2.65 万亿立方米（约相当于全球年径流总量 47 万