

## 第二节 水源

### 一、概述

#### (一) 水的起源

水是地球上分布最广泛的一种物质，它存在于大气和地壳中，并为动植物生命体的重要组成部分。可是地球刚刚诞生时，地球上没有河流，也没有海洋，更没有生命，地球表面是干燥的，大气层中也很少有水分。那么如今浩瀚的海洋，奔腾不息的河流，烟波浩渺的湖泊，奇形怪状的万年冰雪，还有那地下的清泉伏流和那天空的彩云雾幕，这些水是从哪儿来的呢？目前虽未定论，但一般认为地球上的水与地球的发生和发展有密切联系，它是地球演化过程中的一种产物。

地球是太阳星云分化出来的星际物质聚合体，其基本组成有氢和氦气体及一些固体尘埃。固体尘埃聚集结合为地球的内核，外面围绕着大量气体，这时地球结构松散，质量不大，引力亦小，温度还很低。后来由于某些现在还没有弄清楚的因素作用，地球组成物质集合收缩，内核放射性物质产生能量，致使地球温度不断增高，有些物质慢慢变软熔化，较重物质，如铁、镍等聚集在中心部位形成地核，最轻物质浮于地表，而空间气体一方面在太阳辐射驱赶下进入宇宙空间；另一方面大气层的气体分子运动速度随着温度增高迅速增大，最后终于摆脱地球引力逃逸到宇宙中去，这样一来地球外围的大气层逐渐消失殆尽，氢和氦等成分也就不复存在。

随着地球表面温度逐渐降低，地表开始逐步形成坚硬的地壳。但因地球内部温度很高，岩浆活动非常激烈，火山喷发频繁，地壳亦不断发生变动，有些地方隆起形成高原和山峰，有些地方则下陷而成低地和山谷，同时喷发出来的大量气体，由于地球体积不断缩小，质量大大增加，地球引力也随之增强，此时有些气体无法摆脱地球引力，从而构成“原始地球大气”，其中主要成分有二氧化碳、甲烷、氮、氢、硫化氢及水蒸汽等。

喷发出来的水蒸汽就是地球上的水的先驱，那么水蒸汽又是从何而来的呢？如前所述，组成原始地球的固体尘埃，实际上就是衰老了的星球爆炸而成的大量碎屑，这些碎屑多是些无机盐类的东西，其晶格内部往往隐藏着许多水分子，即所谓结晶水合物，如 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 等这些结晶水在高温之下，离析出来变成水蒸汽。喷到空中的水蒸汽达到饱和时便冷却成云，以降水形式落到地面上来，聚集在低洼处，逐渐积累成湖泊和河流，最后汇集到地表最低洼区域形成海洋。

地球上的水在开始形成时，不论湖泊或海洋，其水量不会很多，随着地球由都产生的水蒸汽不断送入大气层，地面水量也不断增多，经历几十亿年地球演变过程，终于最后形成现代的江河湖海。

#### (二) 自然界的水

地球上的水在太阳热力作用下，形成巨大的循环系统。按其存在的部位可分为大气水、地表水及地下水三种类型。

地球表面的广大自由水面、潮湿地面，土壤表层和植物叶茎的水分在太阳辐射能的作用下，以蒸发状态存在于大气中。这些蒸发而成的水汽随着气流传播各处，在特定条件下，遇冷凝结成高度分散的液态和固态的凝结物，在低层大气中形成的这种凝结物(大小水滴或冰晶)的集聚叫雾，在自由大气中则为云，如以雨、雪、雹等形式降落下来，则统称为大气降水。有时也把直接在地面上和地面物体上的水汽凝结物，如霜、露等也列入大气降水范畴，不论其属何种类型都是空气中水汽凝结物。进入大气圈的水分统称为大气水或空中水。

大气水主要存在于对流层，对流层由于受地面冷热不均的影响而产生水平方向和垂直方向的空气对流，水汽也随之流动，它可以被输送到很远的地方，也可以被气流带至高空或从高空沉降下来，于是大气水遍及整个对流层。大气水分的多少随气温而变化，从赤道向两极逐渐减少，空中水汽的高度受到对流层的限制，对流层以上水分踪迹就非常罕见。

降水降到地表顺着地面坡度逐渐汇集成集中的水流，沿着地表呈线形凹槽泄水谓之河流，积于湖盆凹地的水流谓之湖泊，最终注入海洋，这些水体水面暴露于地面，统称为地表水，其中河流、湖泊等陆地水流称为大陆水，但在习惯上往往将其称之为地表水，而将海洋单独归为一类。

海洋具有广阔水面可以直接接纳大量降水，大多数陆地水体则不然，其水面面积与其流域面积相比是非常小的，它的水量主要是由流域内降水汇集而成的。陆地水形成一般要经过植物截留、土壤下渗、地面填洼、坡面漫流、河槽集流等径流形成过程。因此大陆水主要取决于气候因素(降水、蒸发)，其次是地形、森林植被、土壤蓄水能力及流域面积等汇流条件。

### (三)地球水的分布

地球表面约有 70%以上被水所覆盖，所以地球素有“水的行星”之称。总水量约为 13.68 亿 $\text{km}^3$ ，其中海水占 96.5%，淡水为 0.35 亿 $\text{km}^3$ ，占总水量 2.53%。

表 3-7 自然环境中水量分布

水的类型	水量	比例(%)
海水	1, 338, 00, 000	96.5
地下水	23, 716, 500	71
冰雪水	24, 064, 100	1.74
湖泊水	176, 400	0.013
沼泽水	11, 470	0.0008
河水	2, 120	0.0002
大气水	12, 90	0.001
生物水	1, 128	0.0001
总计	385, 984, 610	

由于开发困难或技术经济的限制，到目前为止，海水、深层地下淡水、冰雪固态淡水、盐湖水等很少被直接利用。比较容易开发利用的、对人类生活和生产关系密切的淡水储量为 400 多万 $\text{km}^3$ ，仅占淡水的 11%，总水量的 0.3%。

表 3-8 全世界淡水储量

水的类型	水量( $\text{km}^3$ )	比例(%)
地下水	10, 846, 500	30.96
冰雪水	24, 064, 100	68.70
湖泊水	91, 000	0.260
沼泽水	11, 470	0.033
河水	2, 120	0.006
大气水	12, 900	0.037
生物水	1, 120	0.0032
总计	35, 029, 210	

全世界径流总量为 47000km<sup>3</sup>，其中 2500km<sup>3</sup>为南极和格陵兰冰雪融水，河川径流量为 44500km<sup>3</sup>，除部分在内陆区消耗于蒸发外，约 95%排入海洋。河川径流是人类用水的基本来源，它是地球上水分循环中较活跃的部分，世界河床蓄水量大约 16 天就可更换一次，因此它有很强的净化能力。但全世界径流分布差异很大，大洋洲最丰富，其径流深全世界径流深平均值的 6 倍；其次是美洲、亚洲，而最低的是澳洲，为世界平均径流深的七分之一。中国河川径流深为 271 毫米，径流总量为 2600km<sup>3</sup>，占全世界径流的 5.5%，占亚洲径流总量的 19.3%，相当于欧洲径流总量 81%，居世界第三位，若按每人平均径流量计算则为 2600 立方米/年，是世界平均值的五分之一。同时还存在区域分布不均的问题，大体上呈东南向西北减少的趋势，我国东部、南部东南季风和西南季风的影响，降水丰沛，径流量大，其中台湾山地径流深高达 2000—4000 毫米，我国西北部降水稀少，蒸发旺盛，径流贫乏，如内蒙古高原西部地表径流大部在 25 毫米以下，沙漠地区甚至不足 5 毫米。

表 3-9 世界地表径流分布概况

地区	面积(百万平方公里)	径流深(毫米)	径流量(万平方公里)	比例%
欧洲	10.50	306	0.3210	7
亚洲	43.475	332	1.441	31
非洲	30.12	151	0.457	10
北美洲	24.2	339	0.82	17
南美洲	17.8	661	1.176	25
澳洲	7.683	45.3	0.0348	1
大洋洲	1.267	1610	0.2040	4
南极洲	13.98	165	0.231	5
全球陆地	149	314	4.680	100

### 三、水源的类型、特征及利用

各类水体是自然界水分循环的基本环节，水中化学物质组成成分的迁移转化又是自然界物质循环不可分割的部分，由于各类水体有其自身的形态特征及其环境条件，影响着水质形成过程及其时间和空间变化规律。因此自然界各类水体之间有一定的水质联系，又有各自特色，这对拟订水质保护，防止污染，控制、改造和利用水资源的规划和措施有密切关系。

#### (一) 大气降水水质特征

首先是大气降水中的组成物质来自大气层。在空中呈悬浮状态的大气水化学成分对阐明大气团的形成有很大意义。大气水在降落过程中洗涤近地面大气中的物质，因此大气降水的水质特征基本上能够反映大气层物质组成的状况，特别是地方性降水对揭露大气污染状况很有帮助。其次是大气降水中物质含量在天然条件下一般不大，近海和干燥地区相对较多，随着水汽输送距离增加而不断减少。近海沿岸降水中 Cl<sup>-</sup> 离子含量占绝对优势，内陆干燥的盐土地区也会含有很多的 Cl<sup>-</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>-</sup> 离子，工业区或大城市周围地区降水中 SO<sub>4</sub><sup>-</sup> 离子有增高趋势，在一般情况大气降水中仍然以 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 离子含量占优势。

1. 降水的特征：降水是大气中水蒸气遇冷凝结而成的。我国年降雨量为 6 亿  $m^3$  只相当于全球陆地降水 5%，且降水量的分布受季节、地域影响很大。我国东南沿海地区和岛屿降水量都在 1000mm 以上，中原地区多在 700mm，而西北内陆干旱地区则只有 300mm 或更低，降水主要来自冬季降雪。雨雪在降落的过程中与大气接触，气态污染物被吸收，固体污染物有的被溶解，有的被夹带而下。降水水质特点是矿化度低、水质软、一般含杂质和细菌较少，是属于比较清洁的。降水的水质主要受大气污染的影响，大气中的灰尘、煤烟、有害气体、有害金属、有机物、放射性物质及微生物等可溶解或混悬其中，使水质变坏。一般在城市降水的水质较差，而乡村、山区和森林地带海面降水的水质污染较轻。战争地区水污染严重，甚至可含有毒物。通常开始降落的雨雪水污染较严重，连续降雨雪一阶段后水质污染较轻。

雨雪水中矿物质很少，可含有少量硫酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氯化物、钙盐等。一般每升只有几毫克，多至 30-50mg/L。内陆地区雨雪水中钙离子、重碳酸盐和硫酸盐较高，沿海地区则氯化物较高。空气清洁的山区，乡村的雨雪水，每 ml 只几个细菌，而城市雨雪水每 ml 细菌可达数百至上千个。雨雪水 pH 值偏低，多在 5.0-7.0 之间，当受到污染时，pH 值低到 5 以下即成为酸雨。

## 2. 降水的利用

雨雪水因水量不恒定，且缺乏矿物质不宜于长期饮用，水质软易腐蚀金属，故一般不用作水源。但在缺水或水质不良地区如驻守海岛、高原、山区部队、西北、华北黄土高原和西北苦咸水地区，利用雨雪水作水源则较常见。

(1) 雨水的收集和利用：收集小量雨水可利用营房屋顶，将雨水用屋檐集水管收集，进入地面贮水池。但应注意雨前应将屋顶打扫干净，弃去开始下雨一段时间的雨水。贮水池应有盖，边沿高出地面防止地面水污染，可在贮水池旁筑一砂滤桶或池，雨水经过滤可改善水质，亦可挖水窖收集雨水。野战条件下，可利用帆布、雨布、塑料布、水桶收集雨水。如部队人数多或作小型集中式给水水源，则需要有较大的收集雨水场地，并构筑大的贮水池或修建水库。不论何种收集方式都应注意，收集雨水的容器、贮水池、场地均需保持清洁，远离污染源。贮水池应密封用唧筒或水泵取水。进入贮水池雨水可先经沙滤池作初步处理。雨水混浊时还应作净化处理，饮用时必需经过消毒。

(2) 冰雪水的收集与利用：在高寒而缺水地区或在战时，雪是最易取得的水源。雪水的水质，根据收集的场所的清洁情况而定。远离人群居住地区如高山、森林地区的雪比较清洁。新下的雪比积雪污染少，收集雪的场所应远离道路、居民区和部队驻扎地。战时当敌人可能使用核化生武器时，禁止采雪。取雪时应括去几厘米的表层雪，取中层的雪。取雪的运输工具、盛放容器最好专用并防止污染。收集的雪可盛于容器内加热或加热水使之溶化，雪水饮用前必须经过煮沸或消毒。通常一个体积疏松的雪可得 1/10 的水，而压实的雪可得 2/10 的水。

冰的采用卫生要求与雪相同，但冰常比雪污染严重因冰多为地面水，一个体积的冰溶化后约可得 6/10 的水。长期饮用雨雪水，应该加以矿化。

## (二) 地面水(surface water)

地面水主要由地面水流所形成，只有小部分是地下水形成的，包括海水、江河、湖、塘、溪流、水库等。地面水容易受到污染。其水质、水量受季节影响较大。我国调查饮用地面水人数为总人数的 27.61%。南北差异较大，东北地区居民饮用地面水者仅占 0.8%，而华南地区则为 45.0%。我军调查营区自备水厂采用地面水为水源的只占 11.5%。南方占 21.9%，北方占 2.4%。我国许多地区由于

过量开采地下水，致地下水量剧减，水质变坏，今后不论地方或军队将会更多的采用地面水作水源。

### 1. 地面水的类型和特征

(1) 江河水: 江河水的主要来源是降水，降水流经地面时，冲刷并携带地面泥沙及污染物流入江河，夏日山洪夹带大量泥沙进入江河，故江河水浑浊度较高，细菌也多。同时，因来源是降水，因此水质一般硬度不高，矿物质亦不太高。江河水流速快，稀释能力强，含溶解氧高，自然净化的能力也较强。除大的江河外，一般江河均按季节涨落，有的江河旱季基本无水。每年丰水期，大量降水进入江河，浑浊度与细菌含量更增高。但因水量大，盐类含量和硬度则下降。枯水期水量少，流速减慢，盐类和硬度升高。江河水流量大，水质较软，取用亦方便，故多选作集中式给水水源。但因江河水易受到污染，通常应经净化和消毒处理才能饮用。

(2) 湖水、水库水: 湖水、水库水来源于江河水、溶化的冰雪水、降水或地下水补给。湖水、水库水流速慢，悬浮物易于沉淀，浑浊度和细菌较江河水低，一般水质较软，pH 值低，盐类浓度不大，根据其水的来源而定，但易滋生水生物，尤其是藻类大量繁殖时，可给水带来色度与臭味，增加处理困难。湖和水库较深时，夏日表层水被加热，藻类易生长，由于藻类光合作用和与空气接触，表层水含有溶解氧相对较高，而底层水温度较低以及细菌对有机物的生物降解作用而变成缺氧。在秋季或春季当表层水和底层水温度一致时，可使上下层水产生混合作用，而致水质发生变化。湖和水库亦应防止受到污染，在筑坝拦蓄水以前，必须认真做好库底的卫生清理工作。湖和水库亦可作为饮用水水源。但小湖或小蓄水库由于自净能力差，易污染，一般不宜选作水源。

(3) 塘水: 多为人工挖掘的水塘，无河流补给，主要靠降水作为来源。由于水量少，易受污染，自净能力差，亦易滋生藻类。一般不宜作为水源，只有在缺水或地下水水质不良地区可作为分散式给水水源。

(4) 海水: 海洋是地球上最大的水源。海水占全球水量的 96.5%，但由于海水含盐量高，一般为 3% 左右，味苦咸不能作饮用。利用海水作水源从经济和技术上考虑都是有困难的。但有些阿拉伯国家由于地处沙漠缺水，也有靠海水淡化作为水源的。在海岛或舰艇上长期执行任务或在救生应急条件下可能要利用海水，特别是在海区或近海沙漠作战时，利用海水作水源就成为重要的问题。海湾战争已经证明了这一点。

### 2. 地面水的利用

(1) 直接取水: 以河、湖水作水源时，首先要选择符合卫生要求的取水点。清除取水点周围 100m 内污染源，河水取水点上游 1000m，下游 100m 内不应有污水排出口或近处无污水排放口的湖边取水。在取水处设置汲水码头或泵船或将取水管线延至河心或湖的深处取水，亦可修建取水构筑物，以保证水的质量。

分散式给水或临时给水，河流可采取分段用水或定时取水，池塘可采取分塘用水，选择周围污染少，水量大，水质较好的池塘作为饮用水源，其他池塘作洗涤用。

(2) 过滤取水: 分散式给水当河、湖、塘水的水质不良时，可以通过过滤的办法进行初步处理以改善水质。方法是在河、湖、塘岸边修建自然渗滤井或过滤井。

自然渗滤井是利用水源附近土壤的渗滤作用，当土壤具有较强渗透性时如砂质土壤，可在岸边附近打一井，距离远近根据土壤渗水性能而定，一般在 5-30m。

小型集中式给水也可利用此法，修筑较大的渗滤井取水，可以简化水处理过程，节约投资。

当水源附近土壤土质坚实不易渗水时可人工修筑过滤井。直滤式过滤井包括过滤池和清水井两部分，在岸边修筑砂滤池。装置粒径 0.2-1.0mm 的砂子 70-100cm 厚，一个约 150 人的连队需要砂面积为 1.7-2.4m<sup>2</sup>。底部垫 15cm 的砾石。清水池建在砂滤池旁从底部进水，池壁及底部均应不透水，井口应高出地面并加盖，用唧筒或公用水桶取水。因砂滤池属于慢滤，一般使用 2-4 月需刮砂或洗砂一次。据试验砂滤池使用良好时，平均可去除色度 60%，浑浊度 90%，细菌 90%，耗氧量与三氮也可部份去除。横滤式过滤井是在地面水源与清水井之间修一条砂滤沟，这种过滤井优点是修筑时不受地形限制，缺点是洗砂不容易，所以源水较浑浊时不适用。

### (三) 地下水 (underground water)

地下水是降水经过地表渗透和地面水通过河床或湖床渗入地下，聚积在土壤或岩层的空隙中形成的，地下水的储量约比河、湖水的总量多几十倍，但有的深层地下水是无法利用的。根据土壤和岩石透水性能可分为透水层 (pervious bed) 与不透水层 (impervious bed)，透水层是由颗粒疏松、空隙较大的砂质土壤、砂卵石、砂砾石岩石裂隙等构成。水在透水层内能流动和储存，所以又称为含水层。透水层和地表相连区域，也是降水和地面水给透水层内水的补给区。不透水层是由颗粒致密的粘土层、砂岩、花岗岩等构成。影响地下水量的主要因素有气候、地表水、补给区面积和地貌、土层和岩石的空隙及人类活动等等。地下水经过地层的渗滤，悬浮物和细菌被隔滤，一般感官性质较好，细菌少，矿物质较多，水

较硬是比较好的水源。我国和我军集中式和分散式给水水源均以地下水为主。由于国民经济的发展，地下水的开采和利用越来越多，不少地区地下水储量已日益减少，更由于环境污染，使得一些地下水水质变坏，甚至不能饮用，因此如何保护与合理使用地下水资源已成为我国的一个重要课题。

### 1. 地下水的类型和特征

(1) 浅层地下水：位于地表下第一个不透水层之上的地下水，分布很广，深度多在离地表几米至几十米之间。水量直接由地表补给，受气象因素如降水量与蒸发量影响较大。浅层地下水经过地层的渗滤，物理性状较好，细菌也较少。但在渗滤过地层时，可溶解土壤中的各种矿物盐类使水质变硬，而溶解氧则因土壤中的各种生化过程消耗而减少，并使二氧化碳含量增加。

浅层地下水的水质与土壤的卫生情况有很大关系。土壤受污染程度越重，水质亦越差，此外，土壤的性质也有关系，如流经细砂层的水就比较清洁，而流经大颗粒砾石或有裂隙岩层净水作用就很差或甚至没有作用。

(2) 深层地下水：位于第一个不透水层以下的地下水。由于地层起伏不平，当地下水承受一定压力时，称为承压地下水，深层地下水由降水和地面水补给，补给区常在远方的高地，但因埋藏较深，流速较慢，受气象影响较小，补给亦较困难。

取用深层地下水的水井称为深井，通常用深水泵汲取。压力大的深层地下水可从井管自行涌出称为自流井。深层地下水距离地表较深，上面有不透水复盖层，不易受到来自地表的污染，且由于流径较远，净化作用较好，故水质多较好。深层地下水水量水质比较稳定，水温恒定，透明无色，细菌含量少，矿化度高，水质较硬，铁、锰含量常较高。有的地下水含盐类如氯化钠、硫酸镁、硝酸盐等过高，使水带有苦碱味而不适于饮用。战时深层地下水不易受到核化生武器污染，比较安全。因此不论平时战时深层地下水都是首选的水源，适用于集中式给水。

(3) 泉水：指从地表缝隙自行涌出的地下水，是含水层或含水的通道被水流侵蚀露出地表形成的。根据地质构造可分为下降泉和上升泉两种。下降泉多由浅层地下水补给，水量不稳定受气候影响较大，随季节而变化，易受污染，上升泉以承压水为来源，水量较稳定，受气候影响较小，水质亦较好。但泉水的流量、水质动态变化的差别很大，有的泉年流量变化可相差百倍以上，泉水温度最高达140℃，最低只有0℃，矿化度高的可达30-40 g/L，而低的不到0.1g/L。泉水多用作分散式给水水源，水量充足时，也可作为集中式给水水源。

(4) 矿泉水：中含有适宜医疗或饮用的气体成分，微量元素和其他盐类组分可称为矿泉水。矿泉水分为饮用矿泉水和医疗矿泉水。但矿泉水的命名，必需符合GB8537-87《饮用天然矿泉水》标准或GB/T13727-92《天然矿泉水地质勘探规范》中的医疗矿泉水标准。例如地下水中锌、锶、锂任何一种超过0.2mg/L都可称为饮用天然矿泉水，又如锶达到10mg/L、锂达到5mg/L则可称为医疗矿泉水。矿泉水对人体健康和治理某些疾病有一定的益处，是一种很宝贵的水资源，应充分利用。

### 2. 地下水的利用

地下水的取用主要是挖掘水井。水井的种类很多，有大口井、小口井、管井、辐射井、坎儿井等。军队常用的有大口井和钻孔井。

(1) 大口井：要用于采取浅层地下水。井径根据用水量而定，通常分散式给水1-2m，集中式给水5-8m，井深多在15m内，多用于地下水位不超过12m，含水层厚度5-20m。大口井构造简单，容积大兼有调节水量作用，但因深度不大，

对水位变化适应性差。

大口井应选择水量较丰富，水质较好的地层，避免设于地势低而易积水的地点，井周围 30m 内不应有渗水厕所、垃圾堆、牲畜圈等污染源。

修建大口井要符合卫生要求。井壁可用砖、石、混凝土构筑，缝隙应用水泥或石灰砂浆勾缝，防止渗漏，井壁下部则可留有渗水孔隙。井底从下而上铺上小卵石、粗砂。井口应高出地面 0.5m，并在井口周围 2-3m 修建带坡度的不透水井台，井台边设排水沟，井口要加盖。井台下填以厚度大于 1.5m 夯实粘土层。

大口井用于集中式给水汲水多用离心泵或潜水泵，分散式给水、汲水则可用杠杆、辘轳、滑车，但应用公用水桶，亦可将井口封闭，用手压唧筒取水。

(2) 钻孔井(管井)：需用钻机钻过一个或几个不透水层，采取深层地下水，钻孔井管内径常

用 150-300mm，井口直径相应不少于 460-570mm，井深一般在 300m 以内。含水层一般应在 5m 以上。汲水需用水泵。

钻孔井由井室、井管、滤水管和沉砂管等组成。井室为防止井口污染和安放设备用，井室周围要用粘土或水泥封闭，厚度不小于 3m。井口应高出地面 0.3-0.5m。常用钻孔井井管有钢管和铸铁管，在含水层中用以收集地下水的一段井管，称为滤水管，滤水管下为沉砂管，长 2-3m，用来沉淀井水中泥砂。各管段联接及开口管头与水泵的联接，都应严密不漏。井管安装前应清洗，并用 10% 漂白粉溶液擦洗消毒。

(3) 泉的利用：利用泉作饮用水源时，首先应清除泉眼周围 30m 以内的污染源，将泉眼清理干净。泉眼上筑不透水蓄水池，池底铺卵石，池顶高出地面并加盖，上安通气管，池上部设溢流管，池周围挖排水沟，可利用地形高差，用水管将水引入营房内。

泉水一般水质较好，但如泉水温度随外界气温变化而变动，水量随天气干旱或降雨而变化或雨后水质变浑浊说明泉水来自浅层地下水易受到污染。泉口的污染和附近有污染源也是污染原因。

#### 四、水源的污染

##### (一) 水源污染及主要污染物

##### 1. 污染的来源

##### (1) 工业废水

工业废水是水源最重要的污染源。工业废水量大、面广、含污染物多，成分复杂，有

些成分在水中不易净化，处理也困难。如我国 1998 年污水排放总量 395 亿吨，其中工业废水为 201 亿吨。工业废水成分随不同的工业企业而有不同，主要来自冶金、化工、轻工三大部门的钢铁厂、炼油厂、各类化工厂、电镀厂、造纸厂、印染厂、合成纤维厂、焦化厂、煤气厂等，其中可能含有酸、碱、各种油类、各

种金属如砷、汞、铅、铬、镉、镍、锌、铜等，以及硫化物、氰化物、氟化物，各种有机物如酚、甲酚、二甲苯、多氯联苯、农药等。

此外，食品加工、制糖、酿造厂等废水含有大量有机物，而屠宰场、制革厂、生物制品厂废水则还可能含有病原体。

### (2) 生活污水

指部队或居民在生活中产生的污水，包括洗涤衣物、厨房、洗漱沐浴、厕所等排出污水。其中 99% 以上为水，固体物质小于 1%，且多为无毒物质。生活污水中含有有机物如蛋白质、脂肪、糖、尿素、合成洗涤剂等，无机物氮、硫、磷、钾、硫酸盐、氯化物、泥沙等。此外，还含有多种微生物，每毫升污水中含细菌达几百万个，还可能含有肠道致病菌、肠道病毒、结核杆菌和各种寄生虫卵。

我国 1998 年排放生活污水 194 亿吨，但在城市污水处理率仅 17.9%。而绝大多数均直接排入江河。生活污水污染地面水后，其中不溶解物质和胶质物质能使水变浑浊，污水中有机物氧化分解时需消耗水中溶解氧，使水成缺氧状态，需氧微生物不能生存，因而妨碍了水的自净过程，使水质变坏，发黑发臭。至于由于水受污染而引起肠道传染病的流行更是时有发生。

### (3) 农牧业污水

农业上最大量是灌溉，尤其是以农业为主的国家如印度农业用水量占总用水量 95.5%，美国为 44%，我国为 73%。农业用水除蒸发外，有 10-40% 渗入地下或流入江河。由于农田施肥、施放农药以及用污水灌溉，在回流水中可以含有化肥、农药、矿物质、有害物质与病原体，并可富集或附着于农作物上，通过食物链对人体健康产生危害。

畜牧用污水在畜牧发达国家其量也是很大的，据国外资料，牧畜产生的污水浓度比人的生活污水大，生化需氧量大 5 倍，总氮量大 7 倍，总固体量大 10 倍。

(4) 其它随大气扩散的有毒有害物质通过重力沉降和降雨过程等途径污染源。生活垃圾、工业固体废弃物直接排入江河及其在堆放时雨水淋洗或渗出液都可污染地面水或地下水。

表 3-10 工业废水中主要污染物和来源

种类	名称		主要来源
物理污染性物	热		热电站、核电站、冶金和石油化工等工厂
	放射性物质		核生产废物、核医疗和核研究单位
化学性污染物	无机物	铬	铬矿冶炼、镀铬、颜料等工厂
		汞	汞的开采和冶炼、仪表、水银法电解及化工等工厂
		铅	冶金、铅蓄电池、颜料等工厂
		镉	冶金、电镀、化工等工厂
		砷	含砷矿石处理，制药、农药和化肥等工厂

		氰化物 氮和磷 酸、碱、盐	电镀、冶金、煤气洗涤、塑料、化学纤维等工厂 化肥、制革、食品、毛纺等工厂 矿山排水；石油化工、化学纤维、化肥、造纸、电镀、酸洗、自来水等工厂
	有机物	酚类化合物 苯类化合物 油类	炼油、焦化、煤气、树脂等化工厂 石油化工、焦化、农药、塑料、染料等化工厂 采油、炼油、船舶及机械化工等。
生物性污染物		病原体	医院污水、屠宰、畜牧、制革、生物制品
		其它微生物	制药、酿造、制革等工厂

## 2. 主要污染物

水中污染物种类很多，按其性质可分为物理性污染物、化学性污染物和生物性污染物。

### (1) 化学性污染物

①无机污染物：主要有酸、碱、无机盐类(硫酸钠、硫酸镁、硫酸钙、氯化物、氢氧化物等)和有毒物质如重金属汞、镉、铅、铬及砷、钡、钒，其他如氟化物等，酸碱可改变水的 pH 值，破坏自然缓冲作用，杀灭或抑制水中细菌与微生物，妨碍水的自净及腐蚀管道。钙、镁盐类可增加水的硬度，有毒物质中重金属毒性强，微量即可引起中毒；可通过食物链富集；多有蓄积性，易造成慢性中毒，发病潜伏期长，治疗困难；污染环境后不易去除，因此对人体危害较大。

②有机污染物：水中有有机物很多，在全世界水中测出 2221 种有机化合物，有机物污染物大致可分为：

有机有毒物质：主要有农药(如有机氯农药 DDT、六六六、有机磷农药对硫磷、敌白虫、乐果)、多氯联苯、多环芳烃、二恶英。有些有机有毒物质，毒性大，能引起慢性中毒或致癌，在环境中不易降解。

需氧污染物：水受生活污水、食品饮料、屠宰、造纸等废水污染后，污水中所含的碳水化合物、蛋白质、脂肪、木质素等有机化合物在微生物作用下进行需氧分解，因此这些有机污染物称为需氧污染物。需氧污染物过多，可使水中溶解氧减少，影响鱼类和其他水生物生长，如溶解氧消耗尽，有机物只能进行厌氧分解，产生臭气，使水质恶化。

植物营养物质：包括氮、磷及其他一些植物生长、发育所需的物质。这些物质有利于植物的生长，但过多时能使水源过营养化而使水质恶化。植物营养物质主要来自工业、农业废水及生活污水。其中化肥是一个重要来源，我国全年化肥施用量约 1 亿吨，但有效利用率只有 40%左右，其余的化肥一部分进入大气，另一部分随农田排水和地面径流流入地面水和渗入地下水。目前大量使用的合成洗涤剂含有大量三聚磷酸盐，使生活污水中也含有磷，故有的国家已禁止出售含磷洗涤剂。

油类：由于石油及其油类制品的广泛使用，水源受石油污染日益增多，石油开采、炼制、储运和使用过程中及石油化工、机械制造工业都可排出废油和含油废水。石油及其油类制品比水轻又不溶于水，在水面形成薄膜，妨碍水从空气中

摄取氧气，造成水中溶解氧减少，产生恶臭，降低水质。油膜还可堵塞鱼的鱼鳃及对其他水生动物、水鸟产生有害影响，并可使鱼和水带有油臭味。石油及其制品中含有多环芳烃，通过水生生物富集，进入人体而对人体健康造成威胁。

类雌激素污染物：近年发现具有激素效应的化学物质——已造成环境的广泛污染。其中主要为杀虫剂如 DDT、开蓬、狄氏剂、硫丹等，化工产物如多氯联苯、二恶英、氯氟烃等，塑料及非离子表面活性剂生产的主要原料烷基苯类。国内已有少量研究发现水源水与自来水中存在类雌激素物质。国外许多研究发现，目前日益突出的人类生殖系统及内分泌系统功能障碍如男性精子数减少、儿童性早熟、生殖器官发育畸形，生殖系统及内分泌系统肿瘤如乳腺癌、卵巢癌、前列腺癌、睾丸癌等发病率的增加及高发年龄的提前都有可能与环境中的类雌激素类物质增多有关。环境类激素污染问题已引起国内外学者与政府的关注。

## (2) 物理性污染物

### ① ① 放射性物质

大多数水在自然状态下都含有微量的放射性物质。本世纪中叶由于核工业的发展，核爆炸试验，核电站的建立及同位素在医药、研究及工业中的应用，使环境的放射性水平增高，并使地面水和地下水受到污染。其中最危险的放射性物质为铯-90、铯-137 等。这些物质半减期长，可通过食物链富集，随水和食物进入人体，能在一定部位积累，可引起遗传变异或癌症。

### ② ② 热污染

火力发电站、核电站及其他工业产生的热废水污染江河、湖泊，可使水温升高，溶解氧减少，鱼发育受到阻碍，甚至死亡，亦可使水中存在某些有毒物质如氯化钾、异狄氏剂的毒性增加以及加剧富营养化作用。

## (3) 生物性污染物

致病微生物、寄生虫、某些生物进入水内，或某些藻类大量繁殖，使水质恶化，直接或间接影响人类健康或渔业生产。生物性污染物多来源于生活污水和某些工业废水，其中最危险的是来自人粪便的病原体(见下表)。

较重要的病原体有以下几种：

沙门氏菌属：是引起介水传染病较多见的菌属。沙门氏病患者的粪便、医院污水、家畜家禽粪便、屠宰场污水都含有沙门氏菌。如成都市检查 116 份污水样品，沙门氏阳性率达 52.6%。据报道沙门氏菌在 21-29℃ 水池中可生存 14-16 日，在医院污水中于 30℃ 下可存活 279 天。这些粪便或污水污染水源或食物，人饮用生水或食污染食物可以得病。伤寒是较常见的介水传染病，我国自 1958 年以来每年均有暴发流行。以云南为例 1964-1984 年共发生介水伤寒流行 80 起，发病人数 11815 人。据资料分析全年都可发生介水伤寒暴发流行，但有季节波动，一般四月份开始增多，五、六月继续上升，七、八、九月为高峰，以后逐渐下降。流行区域主要在农村，患者多为青少年。多数为井水污染，其次为河水、沟水、渠水污染，由集中式给水引起流行偶见，多为饮水未消毒。

表 3-11 通过人粪便进入水体的病原体

细 菌	病 毒	寄生虫
沙门菌属	脊髓灰质炎病毒	溶组织内阿米巴

志贺菌属	柯萨奇病毒	兰伯氏贾第虫
霍乱弧菌	人肠细胞病变孤儿病毒人等孢子球虫	
ElTor 弧菌	呼肠弧病毒	结肠小袋虫
致病性大肠杆菌	腺病毒	日本血吸虫
分支杆菌属	肝炎病毒	蛔虫
链球菌属	胃肠炎病毒	钩虫
芽孢杆菌属	轮状病毒	蛲虫
梭菌属		鞭虫
变形菌属		牛肉绦虫
克雷伯菌属		猪肉绦虫
沙雷菌属		短膜壳绦虫
假单胞菌属		细粒棘球绦虫
土拉热弗朗西丝菌		隐孢子虫
空肠弯曲杆菌		
钩端螺旋体属		
小肠结肠炎耶尔森菌		

---

志贺氏菌属：一般只存在于菌痢患者及短时带菌者粪便中，甚少见于家禽家畜粪便中，主要通过食物和接触而传染。也可通过水而传播，但在污水与水中检出率较低。六十年代以来几乎每年都有介水引起的细菌性痢疾流行，仅 1983 年就发生流行 28 次，患者 21491 人，遍及北京、辽宁、江苏、四川等十省市。除冬季外，其他各季都可发生流行，但以夏季为多。传染源多为急性病人，其次为慢性病人，健康带菌者较少，污染水源以井水为主，由自来水被污染引起爆发流行极少。

霍乱弧菌：是经水传播的主要传染病，霍乱恢复期的带菌率为 1.0-9.0%，副霍乱可达 9.5-25%。排菌一般为 6-15 日，最长 30-40 日，慢性带菌者可长达 4-15 个月。霍乱弧菌在水中生存受理化、生物影响因素较大，据观察可从一小时至 13 天。

急性腹泻大肠杆菌：分为致病性大肠杆菌、肠产毒性大肠杆菌和肠侵袭性大肠杆菌三种。能引起胃肠炎和腹泻，发病多为幼儿，特别是婴儿，英国曾检查 24864 名儿童检出率为 2.4%，家畜如猪、牛亦发现有带菌。德国汉堡六十年代地面水检出率为 0.1%，井水为 0.4%。

结核杆菌：可经水而传播，但较少见，且潜伏期至少 4-6 周，不易查明是否与水有关。

医院、牛圈、肉类加工厂污水可能检出人或牛型结核杆菌。曾发现未处理污水内含结核杆菌 1000-15000 个/100ml。结核杆菌在污水中可生存数日，特别是患者的痰。据报道含结核杆菌污水储存 124 日后，以豚鼠作试验仍有毒性。

钩端螺旋体：感染的家禽羊、猪、马、牛，如鼠、袋鼠、狐狸、鹿都可由尿排出钩端

螺旋体污染土壤和水源。流动慢的小河、水渠、小湖、游泳池适于其生存。

被家畜尿污染的土壤，在 15 日后仍可检出钩端螺旋体，雨水流经土壤，在 24 日仍可从雨水中检出钩端螺旋体。在水中存活时间受水的污染程度、水温、pH 值、盐分等因素影响而有不同。

**病毒：**主要是指与人类疾病有关的病毒。从人粪中已发现有 120 个病毒种型。总称肠道内病毒。包括肠道和非肠道病毒。肠道病毒又包括脊髓灰质炎、埃可、柯萨奇、甲型肝炎病毒。此外还有诺瓦克、轮状、呼肠孤、腺及细小病毒，动物粪便也可含有病毒，但是否能经水传染与人还需研究。人排出肠道病毒多为 15 岁以下儿童，估算粪便中肠道病毒浓度为 200u/g。Clark 计算家庭污水平均病毒浓度为 500u/100ml 污染地面水不超过 1u/100ml，视人口分布与污染机会而定。病毒在各种水源中都有检出，在世界河流中发现病毒的水样为 9-63%，在各国饮水中检出病毒为 2-56%。自来水中病毒浓度为 1PFU/60L-1PFU/L。病毒在水中存活时间受很多因素影响，如生物(蚝、蛤含抗病毒物质，线虫可吞食病毒等)、光照、pH 值、温度等。存活时间随病毒种类，生存条件而有不同，一般从几天至一百多天。粪便中病毒能引起的主要临床表现有脑膜炎、胃肠炎、心肌炎、呼吸道疾病、肝炎、结膜炎等。肝炎、脊髓灰质炎、诺瓦克、轮状病毒是已知水中 100 多种病毒中最有可能传播疾病的。由于病毒感染的剂量比细菌少，如口服一个病毒感染单位的脊髓灰质炎病毒就有可能使人感染，一般水处理工艺不能将病毒完全去除，对氯的抵抗力较细菌大等原因，水中病毒是个值得注意的问题。

**寄生原虫及蠕虫：**可以通过饮用或接触污染的水或食用污水灌溉的蔬菜等途径而传播。溶组织内阿米巴包囊可经水传播引起阿米巴痢疾，亚洲带虫率为 16%。曾有报道广州部队阿米巴痢疾占痢疾 3.1%。以色列调查生活污水中包囊为 5 个/L，污水处理厂出水为 1-2 个/L。包囊抵抗力大，在水中可存活 9-30 天，在土壤中存活 8 天，加氯消毒不易杀灭，只有靠混凝沉淀和过滤将之去除。

兰伯贾弟虫是一种具鞭毛的肠道原虫，可引起腹泻。美国时有流行，俄罗斯、北欧国家亦有发生。美国柯罗拉多州 Aspen 城 1094 名滑雪者因饮用被一漏水污水管污染的井水，有 11.3% 的人患病，在污水中检查出兰伯贾弟虫包囊。据 Rendtorff 以志愿者作试验，服 10-25 个包囊的 22 人中有 8 人受感染。一般消毒剂量不能将包囊杀灭，地面水需经混凝沉淀过滤消毒始可将其去除。蛔虫、鞭虫、钩虫、猪肉绦虫、牛肉绦虫等虫卵可通过粪便污染水源而传播给饮用者。血吸虫尾蚴、钩虫的感染性幼虫可通过污染水与人体接触而侵入人体。在污水中寄生虫卵估计为 1-2 个/100ml。

**水中藻类污染：**水中藻类种类繁多，以蓝藻对人类的影响最大。其中微囊藻属、鱼腥藻属、束丝藻属和颤藻属为常见对生物有潜在危害性藻类。许多藻类能产生肝毒素(微囊藻属)或神经毒素。近年来有不少关于人类饮用或接触藻类污染水体引起皮炎、结膜炎、鼻炎和胃肠炎的报道。水体富营养化可使水中藻类大量繁殖，引起水质恶化，水中大量生物死亡，给人类的生产生活带来严重损失。

### 3. 水源受有机物污染的指标

水源受生活污水和工业废水污染，有机物浓度是个重要指标，由于有机物的组成比较复杂，分别测定各个有机物是十分困难的，通常采用下面一些指标来相对说明有机物污染情况。

(1) 氮化合物：含氮的有机物如人畜粪便中所含的蛋白质进入水中后，在氨化细菌，一般是好氧性细菌和真菌作用下，经细菌分泌的蛋白质分解酶将蛋白质水解产生氨基酸，再通过脱氨基作用形成氨和有机酸。氨在好氧的条件下经亚硝酸菌氧化生成亚硝酸盐，亚硝酸盐再被硝酸菌氧化为硝酸盐。从有机性氮逐步分

解为无机性氮的过程称为有机物无机化。这一过程对水的自净和污水处理都有重大卫生意义。在含氮有机物氧化分解过程中，随同进入到水中的肠道微生物亦逐渐死灭，水则由污染而趋于自净，因此测定含氮有机物在不同氧化分解阶段产物，可作为了解水源水质的动态变化，判断水源污染和自净情况的重要指标。地面水与地下水中氮化合物主要来源于人畜粪便污水、农田排出水、地面径流、动植物残骸中的有机物，但也可能来自矿物质(盐类)。①有机氮与蛋白氮：有机氮是指有机性含氮物质总量。蛋白性氮是有机物中蛋白质分解的初步产物，即用碱性高锰酸钾能氧化成为氨氮的有机含氮物质，为有机氮一个组成部分。因有机氮测定较复杂，故在水质分析中常用蛋白性氮来表示水中有机氮的情况。

水源水中蛋白性氮的含量很少，清洁地面水多不超过 0.1mg/L，深层地下水不含有蛋白性氮。水源水中蛋白性氮增高，表示新近受到有机物污染。

②氨氮：通常清洁的水不含氨氮或含量甚微。水中氨氮主要来自有机物的分解，尤其是人畜粪尿等动物性有机物，如人每日排泄物中含尿素 30g，其中含氮 14g。水中氨氮也可因工农业废水污染而增高。由污染而引起氨氮的升高表明水质是不安全的。

除污染以外，水中氨氮的升高还可以由于其他原因，如深层地下水含有硫化氢或亚铁盐可将水中的硝酸盐还原为氨，接近地面土壤中的亚硝酸盐和硝酸盐在微生物作用下也可还原成氨，使浅层地下水含有氨。由于大气污染，也可使雨水尤其是城市的雨水中含氨，有时高达 5mg/L。森林沼泽中有时也含有较高的氨，可能与水中含有大量植物有关，使用铵明矾净水时，亦能使水中氨升高。由于这些原因在水中出现的氨氮，在卫生学上意义不大。

氨氮本身对人体健康无大影响，但水中氨氮较高时，可使水有臭味，氨氮升高说明水受到有机物新近污染，也可能有病原体随同有机物进入水内，因此水是不安全的，但要注意区分氨氮的来源。

水中氨氮没有一定标准，但有的国家或地区也订有标准。一般水源水中氨氮超过 0.5-1mg/L 可认为是严重污染，饮用水则不超过 0.02mg/L。

③亚硝酸盐氮：清洁水中不含有亚硝酸盐氮或含量极微。亚硝酸盐氮是含氮物质氧化过程的中间产物很不稳定。水中亚硝酸盐氮除来自污染以外，在深层地下水也可由于硝酸盐还原而来，雨水中特别是电雷后，亚硝酸盐氮可高达 1mg/L 以上。

水中微量亚硝酸盐氮对人体并无大影响。动物慢性中毒试验，以 1mg/kg 剂量饮用 6 个月有某些生化变化，无作用剂量为 0.1mg/kg。然以水中亚硝酸盐氮的含量，难以在人体蓄积到这样的浓度。但由于亚硝酸盐是一种致突变物，水中亚硝酸盐还是越低越好。水中亚硝酸盐氮的存在表示有机物分解还在进行，水中微生物仍很活跃，致病菌可能仍未死亡，这种水仍是不安全的。

一般水源中亚硝酸盐氮大于 0.03-0.1mg/L 认为是受到有机物严重污染。我国有的地区规定饮水中亚硝酸盐氮不得超过 0.002mg/L。但有的国家标准却订得较低如荷兰为 0.1mg/L，瑞典为 0.02mg/L。

④硝酸盐氮：地面水中硝酸盐氮含量不高，一般在 1mg/L 左右。地下水由于地质原因，有的很低，而高的可达 100mg/L 以上，硝酸盐氮除由于有机物氧化分解而来外，工农业废水的污染，特别是人工化肥的广泛使用，致很多水源受到污染，而使硝酸盐氮增高。

硝酸盐氮是有机物无机化的最后产物，它的存在表示无机化过程已完成，此时随同有机物进入水中的致病菌经过水的自净作用也多已死灭。因此水中只有硝

酸盐氮时，说明水的污染已经过去，水已达到自净。

硝酸盐氮对人体健康的影响见饮用水水质。水源水中硝酸盐氮多少才能说明受过污染，并无固定数据，一般可根据其动态变化或与当地水源一般含量作比较来大致确定。

测定水中各种氮化合物，不但可以了解水是否受到有机物污染，还可以大致判断污染的时间，污染的程度和污染的趋势。氮化合物在水中出现往往不止一项，有时两项，而且经常是三项，可根据它们出现配合的情况和含量进行综合评价(见下表)。在分析评价时还必须注意排除污染外的其他来源，并尽可能结合其他污染指标如氯化物、耗氧量、微生等综合分析。

表 3-12 氮化合物和污染自净的关系

氨氮	亚硝酸盐氮	硝酸盐氮	说明
+	—	—	1. 表示受到新鲜污染，硝化过程尚未进行 2. 如氨氮含量很高，说明是严重污染，由于缺氧，没有进一步氧化的条件，水可能有臭味 3.注意地质来源
—	+	+	偶然性污染，污染已过去，氧化分解在进程中，趋向于自净
—		+	1. 陈旧性污染，自净作用已完成 2. 如硝酸盐含量很高，可能系地质性来源
+	+	+	1. 持续性污染，一边污染，一边氧化分解在进行 2. 如果其中氨氮含量高，表示污染比较严重，而且有新鲜污染 3. 如果其中硝酸盐含量高，表示自净作用正在进行，氧化尚未完成，但趋向于自净清洁的水源水
—	—	—	洁净的水源水

(2) 化学耗氧量(COD) 水中有机物很多，测定方法比较复杂，因此多用间接方法如耗氧量来推测水中有机物含量。耗氧量是指一升水中的还原物质在一定条件下被氧化时消耗氧的毫克数。通常用高锰酸钾作氧化剂，但因高锰酸钾氧化能力较弱，且只能测定含碳的有机物，水中存在的亚硝酸盐、亚铁盐也能消耗高锰酸钾，因此耗氧量不能表示水中有机物的真实含量，而只有相对意义。耗氧量越高表示水中有机物越多，但评价时应结合其他指标。清洁的地面水耗氧量多不超过 2-4mg/L。地下水常在 2mg/L 以下，深井水多在 1mg/L 以下，沼泽水则可达 10mg/L 以上。

(3) 生化需氧量(BOD) 水中有机物被需氧生物氧化时需要消耗氧气。水样在一定条件下，于一定时间内(一般采用 5 日，20℃)进行需氧生物氧化所消耗的溶解氧量称为生化需氧量。水中有机物越多，生化需氧量就越高。在一定温度范围

内，温度越高，完成生物氧化过程就越快。一般以温度 20℃为标准温度，在此温度下，有机物要 20 天才能完全氧化分解。因时间过长，在实际工作中都以 5 天作为标准时间，为维持水中一定的溶解氧，保持水的自净作用，限制有机物对水源排放，了解水受有机物污染情况，生化需氧量是一个重要指标。

清洁水的生化需氧量一般都在 3mg/L 以下。我国长江、黄河水系清洁断面水质和嫩江源头水均低于 3mg/L，我国规定地面水水质卫生要求生化需氧量不超过 3-4mg/L，工业废水最高容许排放浓度为 60mg/L。

(4) 溶解氧(DO) 水源水与空气接触过程中，空气中的氧可溶解于水内成为溶解氧，水生植物尤其是藻类。由于光合作用能使水中溶解氧增多，水中溶解氧含量与空气分压，大气压力和水温有密切关系，一般温度越高，水中溶解氧越低，在 101KPa(760mmHg)大气压力下，空气中含氧 20.9%时，氧在淡水中的溶解度如下表。

表 3-13 氧在淡水中不同温度的溶解度(mg/L)

水温(℃)	溶解度
0	14.62
5	12.48
10	11.08
15	10.15
20	9.17
25	8.38
30	7.63
35	7.10
40	6.60

在清洁的地面水中溶解氧一般接近饱和。当水受有机物污染，溶解氧可显著降低，污染严重时，有机物被微生物氧化分解将水中溶解氧耗尽，厌氧菌繁殖发育，有机物进行厌氧分解，水质恶化而变黑发臭。水受还原性物质污染时，也可使消耗水中溶解氧。鱼类等水生生物的生存与溶解氧关系密切，当溶解氧降到 3mg/L 或以下时，就不能维持鱼类良好生长，甚至窒息死亡。溶解氧 4mg/L 是保证多数鱼种鱼群生存的最低浓度，溶解氧的测定，对了解地面水源的污染和自净有重要意义。测定一条河流不同地段的溶解氧可了解不同地段水的自净速度。

我国南方河流溶解氧一般高于 6mg/L，北方河流溶解氧较高。我国地面水水质卫生要求溶解氧不低于 4mg/L。

#### 4. 我国水污染情况

据 1998 年中国环境情况公报，全国大江大河均受到不同程度的污染，并呈发展趋势，工业发达城市(镇)附近水域的污染尤为突出。

在七大水系和太湖、巢湖和滇池的断面监测结果，符合《地面水环境质量标准》1、2类的占 36.2%，符合 3 类标准占 6.7%，属于 4、5 类以下的占 63.1%。污染类型为有机污染，主要污染物为氨氮、高锰酸钾指数(耗氧量)和挥发酚、石油。

城市地面水普遍污染严重，并呈恶化趋势。统计的 176 条流经城市的河流中，绝大多数受到不同程度污染，主要污染物为石油、氨氮、挥发酚、生化需氧量、总汞等。

据 120 个城市地下水水质监测分析结果，多数城市地下水受到污染，且有逐年增加的趋势，主要超标项目有总硬度、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、铁、锰、氯化物等。由于城市地下水超采，大部分城市和地区直地下水水位下降，形成不同规模直地下水降落漏斗，如苏州、无锡和常州地下水降落形成的漏斗面积超过 5000KM<sup>2</sup>；地下水超采还带来城市地面下降和海水倒灌，如珠海由于地下水水位降低造成海水倒灌，使饮用水含盐量大幅超标。

### 5. 水体富营养化

主要指水流缓慢、更新期长的地表水体，接纳大量氮、磷植物营养素引起的藻类等浮游生物急剧增殖的水体污染。自然界湖泊也存在富营养化现象，由贫营养-富营养-沼泽-干地，但变化速率很慢；而人为污染所致的富营养化，速率很快。特别在海湾地区出现富营养化。在水温、盐度、日照、降雨等合适的水文和气象条件下，细胞中含有红色色素的甲藻或者其它浮游生物大量繁殖，并在上升流的影响下聚积而出现，海洋学家称为“赤潮”。

营养污染物质的来源是广泛而大量的。有生活污水(有机质、洗涤剂)、农业(化肥、农家肥)、工业废水、垃圾等。每人每天带进污水中的氮约为 0.11 磅；近十年来由于洗涤剂的大量使用，生活污水中的磷 30-50% (英国)、36% (前西德)、50-75% (美国) 是来自洗涤废水。工业固氮量 1963 年约为 3000 万吨，预计 2000 年将达 1 亿吨；1972 年世界磷肥产量为 2109 万吨。除以工业“三废”形式进入环境外，主要通过使用，流失到环境中来。一般被植物吸收的量约为施用量的 20%—50%，即有 50%—80% 的化肥流入江河湖海和地下水体之中。我国若干城市及某些工业污水中所含植物营养素如下图。

表 3-14 我国若干城市污水中的植物营养物含量 (mg/L)

城市	总氮	氨氮	磷	钾
上海	93	-	-	19.5
哈尔滨	63-67	25-30	-	-
包头	57	10-23	-	-
天津	50	29	32	10
北京(清河)	41.2	11.2	-	11.2
北京(高碑店)	19-36	-	4-10	13-45
北京(右安门)	26.7-55.4	22-48	11-39	5.2-11.7
武汉	28.7-47.5	25.2-40.3	11.5-34.5	29.1
芜湖	15.0-23.7	-	20-24	1.8-3.9
株州	13.7	11.2	3	-
西安	36	3.7	4-21	13-40
成都	43.4	-	-	微

水体富营养化显著的危害是①促使湖泊老化；②破坏水产资源。已阐明的赤潮生物毒素之一的房蛤毒素 [C<sub>10</sub>H<sub>17</sub>N<sub>7</sub>O<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> 是一种神经毒素，家兔静脉注射致死剂量为 3—4 微克 / 公斤 (体重)，小鼠最低致死剂量为 8—10 微克 / 公斤 (体重)，在水中可使鱼类等水生动物中毒病变和死亡。日本深受赤潮之害。濑户内海 1955 年才发生五次，1956—1965 年 39 次，1966—1970 年 35 次，1971 年一年发生 136 次，1973 年以后每年发生 200—300 次。我国 1977 年 8 月在天津近海发生一次。

日本仅布磨滩 1972 年赤潮一年死亡 1428 万尾，损失 71 亿日元；③危害水源，硝酸盐、亚硝酸盐对人、畜有害。尤其对婴儿、胎儿可导致变性血红蛋白增高，丧失输氧能力。正常值为 1—2%，高达 10% 时出现临床症状，达 30—40% 时出现缺氧症状，达 50—70% 时发生死亡。另外，它们又是强致癌物亚硝胺的前身物，因此受到重视。不少国家饮水卫生标准规定，硝酸盐氮、亚硝酸盐氮总计不得超过 10mg / L。

防治富营养化的途径是：①合理使用化肥，防止流失；②降低工业废水 N、P 的排放量；③粪便等有机废弃物中 N、P 可考虑制造沼气后作有机肥；④生活污水可先进行污水灌溉或污水养殖水生植物吸收氮、磷；⑤地下肥水不宜饮用，可代部分肥料用于灌溉，防止新肥水产生；⑥在湖泊、海湾及饮用地下水源地带进行监测、预报。

### 三、水的自净

#### (一) 地面水的自净作用

地面水受到污染后，经一定时间，由于物理化学和生物学的各种因素综合作用，使受污染的水逐渐消除污染恢复原来的水质，这个过程称为水的自净作用 (self-purification of waters)。

地面水的自净作用与污水排放量、污染物种类、性质和浓度、气象、水文和地质状况、水中溶解氧含量及微生物种类、含量等都有密切关系。

1. 混合稀释：污水进入流动水内，主要靠水的湍流运动形成涡流扩散，使水和污水混和，污染物逐渐被稀释。湖泊受风力作用或表底水温差上下对流而使水与污水混和稀释。污水与地面水的温差或因溶解盐类的不同亦有利于两者混和扩散。

河流的混和和稀释能力随流速、流量、河床形状等因素而不同。河流流速快、流量大、河床弯曲不平，其混和稀释作用就较强。湖泊、水库水量虽大，但流动较慢，因此混合稀释不能起到很好作用。此外，污水排出口的位置与构造也和混和过程有关。如将污水排出口深入河心，并将排水管设置成多个出水口，将有利于污水的混和稀释。

2. 沉降和逸散：污水中的悬浮物进入地面水后逐渐下沉，悬浮物比重越大，颗粒越粗，水流越慢，沉降作用也越好，故湖泊、水库沉降自净就比较明显。通过沉降作用还可将附着于悬浮物的一部分微生物和寄生虫卵同时下沉。除重力沉降外，污染物也可通过吸附沉降，即悬浮于水中的污染物可被水中胶状物质、固体微粒、浮游生物所吸附随之沉降，如 DDT，对硫磷就有明显被吸附倾向。有的污染物如砷化物易与水中氧化铁、硫化物结合而发生共沉淀。溶解性物质亦可通过生物体吸收而随残骸下沉。

沉降于水底的污染物可积存于淤泥中，但当流水量增加，流速加快时，又可将河底淤泥重新冲起，引起二次污染如一些难以降解的重金属。因此污染物沉降到水底时，水的污染虽暂时被消除，但仍可成为潜在的污染源。

此外，污染地面水的一些挥发性物质如酚类、硫化氢、氰氢酸等，可在阳光和水流搅动下挥发逸散于大气。如据试验在含酚与氰化物的污水上方空气中即可测得酚与氰化物。含酚的污水即使没有经过稀释，在水渠内流动 2.5—5h，酚也可经挥发而减少 99%。

3. 中和：地面水中常含有一些磷酸盐矿物和石灰石、硅酸盐、粘土等对酸性废水有一定的中和作用。而溶解于水中的二氧化碳和混悬的二氧化硅则对碱性废

水有中和作用。酸性和碱性废水间互相也可中和一部分。

河水 pH 值不同，对污染物在河流中的净化与迁移有很大影响。在弱酸河水中磷、铜、锌、三价铬等污染元素易随水迁移，在碱性河水中砷、六价铬、钼、硒等也易随水迁移。

4. 生物净化：生物净化在地面水自净中是最重要的。参与生物净化过程的有水栖细菌层、真菌、藻类及许多单细胞与多细胞低等生物。它们可将有机物分解，将有毒物质分解为无毒的产物。

有机物的分解主要是微生物作用，可分为需氧和厌氧分解两种类型。当水中溶解氧足够有机物需要时，则进行需氧分解，需氧分解较快，有机物含有的硫、磷、氮和碳等化合物分解成硫酸盐、磷酸盐、硝酸盐和二氧化碳等无机物，这些最终产物是稳定的，没有特殊臭气。但当水中溶解氧供应不足时，则进行厌氧分解，有机物分解为硫化氢、氨、甲烷等不稳定化合物，且具有难闻臭气，厌氧分解进行较缓慢。

水中某些有毒物质如某些酚类化合物和杀虫剂对微生物、藻类有一定毒性，因而可影响水的自净作用。

当河流受到污染时，一些对污染很敏感的生物很快消失如蜉游幼虫、鱼、硅藻等。相反的，那些耐污染生物如淤泥蠕虫、真菌及某些绿藻就存留下来，并得到大量发展。而当河流因自净作用逐渐变成清洁时，耐污染的生物又消失，不耐污染的生物又复出现。所以这些生物也可以作为评价河流污染与自净的一个指标。

5. 耗氧与复氧：在水中除有机物分解需消耗氧外，沉积水底污物的分解，废水中一些还原物质及水生植物呼吸(夜间)也都要消耗水中的氧使溶解氧含量下降。

在消耗水中溶解氧的同时，空气中氧亦不断地溶入地面水中，补充水中的溶解氧，这个过程称为复氧作用。急流和起伏不平的河床及风力引起的波浪可使水的复氧过程加快。雨水和清洁支流也可以带入部份溶解氧。水中的绿色植物如藻类等，在光合作用下放出氧气亦可补充水中溶解氧。复氧过程是地面水自净的必要条件，有些河流冬季冰封，不能进行自然复氧，因此河水对耗氧污染物的自净也差。

6. 病原体的死亡：在地面水自净过程中，水中微生物由于受到日光、温度作用，水生生物拮抗作用，噬菌体的吞噬作用，以及不适宜的环境因素影响而逐渐死亡。但目前对污水中微生物进入水内的消长规律还不清楚。寄生虫卵进入水内后，除血吸虫、姜片虫、肺吸虫能在水中孵化外，其它虫卵多先沉降到水底，然后逐渐死亡。

7. 生物学转化和生物富集：有些污染物进入水体后，可经微生物作用使之转化，转化后其毒性可增高或降低，水源受污染的危害性亦随之加重或减轻。例如随污水进入水中的无机汞在微生物作用下可转化为毒性更大的甲基汞和二甲基汞。

水中的污染物亦可被水生生物吸收，而在生物体内浓集，并通过食物链可逐渐富集到几万至几十万倍。如水内汞浓度为  $0.01 \mu\text{g/L}$ ，经浮游生物、鱼、虾、大鱼逐步富集，最后大鱼体内含汞量为  $1-10\text{mg/kg}$ ，较原水浓集  $10-100$  万倍。除汞外，有机毒物如有机氯农药、多氯联苯、多环芳烃及芳香族氨基化合物等，都很难被生物分解，但却能通过食物链逐级富集，对生物和人类造成长期危害。

但水的环境容量是有限的，即水的自净是有一定限度的，如超过环境容量的污染，即使河流有较长的流程或较长时间，仍不能达到自净，不能以为大江河流量大，就可以任意排放。例如世界第三大河美国的密西西比河，流量虽大，仍受到严重污染，在河水内发现数十种有害物质。我国第一大河长江，流量大，水量占全国水资源的 36%，但因沿岸城市污水和工业废水基本未经处理排入长江而受到严重污染，致沿江 170 多个自来水厂有半数的水厂出厂水不合格。

## (二) 地下水的自净作用

地下水因上面复盖有土层或不透土层，以及土壤具有机械隔滤、吸附、离子交换、稀释和微生物分解作用，污水渗入土层到一定的距离，可以自净到无害或无毒的程度。自净的程度与污染物种类、土壤的性质、地下水的情况等因素有关。

地面水或污水中的微生物往土壤渗透时，90%的微生物被阻留在 40cm 深度，微生物渗入的深度与土壤性质有关。如在细砂中渗透距离为 10-15cm，而在透水性好的卵石和裂隙石灰岩中迁移距离可达 800-1000m。土壤表层如遭受破坏，微生物能深入土壤污染地下水。由于地下水不易接触到大气，溶解氧含量低，又受不到日光照射，流速缓慢，其他微生物少，因此自净作用差，时间也长。

污水中的化学污染物在渗透过程中自净主要是由于吸附作用。吸附作用对重金属如汞、镉、铅、铁等，有机物如有机氯农药、石油产品、氯苯、多环芳烃等影响较大，如中细矿对镉、铅、铜、锌的去除深度为 30cm，去除率可达 95%以上。酚则要 100cm 才达最大去除率。化学污染物在地下水迁移过程中常发生沉淀和已沉淀物的溶解作用，使地下水中某些成分减少或增加。化学污染物在地下水中可较微生物迁移得更远，如在砂中可达 200m，在石灰岩地区可迁移得更远。地下水对化学污染物的自净能力较差，有的可能需百年之久。