



新型气浮-沉淀工艺

THE MODIFIED UNIT OF INTEGRATED FLOTATION AND SEDIMENTATION

孙志民 编著

中国林业出版社

THE MODIFIED UNIT OF INTEGRATED FLOTATION AND SEDIMENTATION

新型气浮-沉淀工艺

孙志民 编著



中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新型气浮—沉淀工艺 / 孙志民编著. — 北京: 中国林业出版社, 2017.4

ISBN 978-7-5038-8962-2

I. ①新… II. ①孙… III. ①生物膜(污水处理)—技术 IV. ①X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 078450 号

本书编委会

主 编: 孙志民

副主编: 张锐坚

编 委: 唐曾晖 李鲁新 周午阳 徐晓然

出版 中国林业出版社 (100009 北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号)

E-mail Lucky70021@sina.com

电话 (010) 83143520

印刷 北京卡乐富印刷有限公司

发行 中国林业出版社总发行

版次 2017 年 4 月第 1 版

印次 2017 年 4 月第 1 次印刷

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 13.5

印数 1~5000

字数 280 千字

定价 48.00 元

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

前言 PREFACE

国内外生产和生活饮用水的原水，主要取自地表水源。其水体水质受自然与人为因素等影响，普遍存在季节性变化的特征。主要表现为，冬季低温、低浊或低浊度；春秋季节藻类含量高；夏季大雨或暴雨后，浊度突然或持续升高，有时铁锰、色度、氨氮、 COD_{Mn} 等增高；有些水源枯水季节水量减少，水质变差。这些变化既有规律性，又表现为随机性。

水厂通常采用常规处理工艺，应对处理水源水质季节性变化较大的原水，存在较大的局限性。

沉淀是常规处理工艺中的至关重要的环节，是水厂普遍采用的工艺。对于处理藻类高、低温低浊或低浊度原水效果较差，有时导致水厂无法达标供水，甚至无法正常供水。

气浮工艺可以很好处理藻类高、低温低浊或低浊度原水，同时，对铁锰、色度、氨氮、 COD_{Mn} 等较高原水的处理效果比沉淀工艺好；但气浮工艺对高浊度原水处理效果较差，甚至无法处理。

利用气浮与沉淀工艺各自的优点弥补对方的不足，自1990年起参与设计建造国内外首座侧向流斜板浮沉池，并作为第一发明人申请发明专利“侧向流斜板浮沉固液分离方法及装置”（专利号：CN1079411）获得授权，吉林市自来水公司通过转让获得22万元转让费，至今本书作者孙志民（博士、研究员），近30年来一直致力于浮沉（池）工艺技术的研究与应用。

融合多年的供水生产、建设、研发、设计经验，基于国家自然科学基金、广东省科技计划、广东省省部产学研等项目资助的大量试验研究成果，经过对侧向流斜板浮沉池的不断改进，本书作者孙志民博士建立并完善了新型气浮-沉淀工艺，申请获授权“气浮与沉淀固液分离装置”（专利号：CN1600695）、“气浮与沉淀固液分离工艺去除藻类的方法”（专利号：CN101580314）等多项发明与实用新型专利。目前，珠海三灶水厂（2万 m^3/d ）和中山长坑水厂（0.6万 m^3/d ）、南头水厂（2万 m^3/d ）等改造与建设工程，均建成新型气浮-沉淀池投产运行，效果良好。

本书作者孙志民融合几十年的生产、工程、设计和研究经验，主持编写

了本书《新型气浮-沉淀工艺》。

全书共分为7章:第1章绪论;第2章气浮与沉淀组合工艺的产生与发展;第3章新型气浮-沉淀工艺研究;第4章新型气浮-沉淀(池)工艺设计;第5章新型气浮-沉淀工艺的建造和调试;第6章新型气浮-沉淀工艺实际应用;第7章新型气浮-沉淀工艺的运行管理及设施维护。

本书重点阐述了新型气浮-沉淀工艺的发展过程、技术原理、设计应用方法,并对工程应用实例进行了详细介绍,内容全面丰富。本书可为国内外的水厂建设与改造工程提供理论和技术依据,并可供从事水处理工作的科技工作者、工程设计人员、技术与管理人员、操作人员 and 高等工业院校相关专业的师生参考。

全书由孙志民、张锐坚统稿,第1章和第2章由唐曾晖编写,第3章由张锐坚编写,第4章由李鲁新编写,第5章由周午阳编写,第6章由李鲁新、周午阳编写,第7章由徐晓然编写。

由于编著者水平有限,书中疏漏或不足在所难免,敬请同行相关人员和广大读者不吝指教。

编者

2017年4月

目录 CONTENTS

前 言

第1章 绪 论	1
1.1 水源	1
1.2 现有给水处理工艺	18
第2章 气浮与沉淀组合工艺的产生与发展	35
2.1 解决沉淀工艺局限性及气浮与沉淀组合工艺的产生	35
2.2 气浮与沉淀组合工艺的分类定义	36
2.3 气浮与沉淀组合工艺的发展	38
2.4 浮沉（池）工艺与气浮－沉淀组合工艺的比较	54
第3章 新型气浮－沉淀工艺研究	62
3.1 新型气浮－沉淀工艺研究基础	62
3.2 新型气浮－沉淀工艺试验研究	68
3.3 新型气浮－沉淀工艺的研究机理	85
第4章 新型气浮－沉淀（池）工艺设计	115
4.1 新型气浮－沉淀（池）工艺设计研究	115
4.2 新型气浮－沉淀（池）工艺设计实例	122
第5章 新型气浮－沉淀工艺的建造和调试	132
5.1 新型气浮－沉淀池土建施工	132
5.2 新型气浮－沉淀池设备材料选型与安装	133
5.3 新型气浮－沉淀池设备的调试运行	140
第6章 新型气浮－沉淀工艺实际应用	143
6.1 珠海三灶水厂改造工程	143
6.2 中山长坑水库净水厂改造	158
6.3 同类型工艺除藻除浊效果比较	169
第7章 新型气浮－沉淀工艺的运行管理及设施维护	172
7.1 新型气浮－沉淀工艺系统的运行管理	172
7.2 构筑物（池体）及内部填料装置运行维护	193
附 录	196

第1章 绪论

1.1 水源

水源是供给城镇生产生活用水的给水工程（包括取水设施、供水厂、供水管网等）所取用原水的水体。取水设施从水源水体中取到原水，输送至供水厂净化处理后，通过管网输送至各个用户。

生产生活用水绝大多数情况下必须是淡水，因此水源水体通常必须是淡水水体。而且生产生活用水对水质有一定的要求，受给水处理工艺技术及经济性限制，作为水源水体的水质，必须满足一定的条件，即必须达到国家标准的要求。

受自然界变化的影响，特别是人为污染的影响，许多水体已经不能满足水源水质标准的要求，不能作为生产生活饮用水水源，造成许多地区出现水质型缺水。

1.1.1 水源分类

水源主要是淡水水体，包括地球陆地表面上的地表水和地球陆地表面下的地下水。即水源按其存在形式分为地表水源和地下水源两大类^[1]。

1.1.1.1 地表水水源

地表水主要包括江河、湖泊和水库、冰川、沼泽，我国大部分供水厂采用地表水水源。原水主要取自江河、湖泊和水库^[2]。受筑坝拦截影响，河流存在“河流水库化”趋势^[3]，我国长江流域内已建成大约4.8万座水库，水坝对河流流量的拦截调蓄，极大地改变了河流原有的自然过程，包括水量、水动力、水化学、水生生物、物质循环等。水动力强度降低，河流“急流生态环境”逐渐向湖泊的“静水环境”方向演化^[4]。

我国湖泊众多，其中面积大于 1km^2 的天然湖泊有2300多个，总淡水储存量 $2.25 \times 10^8 \text{km}^3$ ；水库86852座^[5]，总容积达到 $4.13 \times 10^8 \text{km}^3$ ，湖泊和水库总储水量达 $6.38 \times 10^8 \text{km}^3$ 。目前，水库已成为我国最主要的地表水水源，近80%的城市供水靠水库蓄水^[4]。

1.1.1.2 地下水水源

地下水是指储藏在地球表面以下各种形式的水，分为表层地下水、层间

地下水与深层地下水。

表层地下水是指地球表面以下地层中不透水层以上由自然降水与地表水渗入土壤地层产生的渗流,如土壤水和潜水等,与外界环境联系较为紧密;层间地下水是指在地层中不透水层以下位置,自然降水与地表水经长途渗流形成的水层;深层地下水多为岩层裂隙或岩层储存的水,与外界环境联系较少。所有地下水,只要水质满足要求均可以作为水源。

许多地区由于地下水的集中或过量开采,已造成地下水位急剧下降,引起地面沉降、海水倒灌等问题^[6]。我国地下水多年超采量高达 92 亿 m^3 ,已形成 164 个地下水超采区^[7]。随着对地下水开采的限制,水库和湖泊已成为城市的主要水源,特别是我国西北地区的城市,水库已逐渐取代地下水,成为城市的主要供水水源^[8]。

1.1.2 水源水质特征

水源水均为自然界中的水,特别是地表水,是一个包含各种不同杂质(溶解性和非溶解性物质)的极其复杂的综合体,其所包含的杂质按颗粒大小及存在形态,可分为悬浮物质、胶体和溶解物质^[6]。

1) 悬浮物质,如泥沙与黏土等悬浮无机质、水草、藻类、原生动物、细菌和病原菌等^[6]。

2) 胶体,如水中黏土、无机硅酸胶体、腐殖质胶体等,大部分有机物呈胶体状态^[9]。

3) 溶解物质,溶解于水中的氧和二氧化碳、氮气、硫化氢等气体,钾、钠、钙、镁、铁、锰、氯、硫酸根、碳酸氢根和碳酸根等离子;硝酸根、亚硝酸根、磷酸二氢根和磷酸氢根离子等生物原生质,有溴、氟、碘等微量元素;有含量极少的镭(Ra)、氡(Rn)等放射性元素,以及其他溶解有机物等^[10]。

这些杂质直接影响水质,包括物理性质和化学性质在内的水在环境作用下所表现出来的综合特征。天然水评价指标一般包括色、嗅、味、透明度或浊度、水温等物理特性及矿化度、总硬度、氧化-还原电位、pH、生化需氧量和化学需氧量等化学特性^[11]。

水的物理化学性质绝大部分由溶解和分散在天然水中的气体、离子、分子、胶体物质及悬浮物质所决定。例如,悬浮物质是决定透明度、浊度和色度的主要因素,同时悬浮无机杂质影响细菌和病毒的测定^[12],更重要的是悬浮无机杂质会促进细菌的生长繁殖,总矿化度即各种离子、分子和化合物的总量体现含盐量,按矿化程度不同划分低矿化度的淡水类型和高矿化度的咸

水类型；水中钙、镁、铁、锰、镉、铝等溶解盐类的含量称硬度，含量高的硬度大，反之硬度小。

水中杂质的含量随环境条件不同而不同^[13]，各种水体的水质也不相同。

总地说来，地表水中杂质种类和含量与径流沿途的岩石、土壤、植被类型等流域地质与生态环境及补给源有关，水温则与气候温度条件有关。而地表水补给源主要为雨水、融雪、地下水三类，其中雨水补给最为普遍，其水质与当地的气象条件、降水量和降水淋溶的大气颗粒物的化学成分密切相关；而地下水水质则主要与含水层岩石的化学成分和补给区的地质条件有关。地下水的含盐量、硬度、浊度及温度等水质指标受气温、降水量等因素影响较小，但受当地地质条件影响较大。

江河水一般水量丰富，但流量和水位变化较大。水的浑浊度较高、变化较大，硬度较低，有些河流在汛期含沙量很高^[2]。由于江河水主要来源于雨雪，受地理位置，季节的影响很大。南方降水频繁，河水水量充沛，北方雨水少，河水流量冬夏相差很大，旱季许多河流断流，严寒地带，冬季河流封冻，输水、取水困难。水质方面，江河水水中杂质含量较高，浊度高于地下水，水质变化幅度大，受气候影响^[14]，水温度不稳定，季节性变化较大。另外，易受各种污染，生活污水和工业废水的排放、各种有机物、微生物、有害细菌、病毒以及无机矿物质、重金属、酸碱性物质等大量存在，常使河流受到不同程度的污染。总地说来，河流上游水质较好，下游水质较差，流量大时，污染物得到稀释，水质稍好，流量越小，水质越差。

湖泊和水库水体大，水量充足，流动性小，储存时间长，长期自然沉淀作用明显，通常悬浮物少，浊度较河水低，化学成分比河水简单，但水中营养成分高，浮游生物和藻类多，内源污染负荷高，与生物活动有关的元素和化合物，浓度变化较大，不利于水质净化处理。不同深度的水温和水质不同，相对而言水质、水量稳定，但在有风浪时及暴雨季节有浑浊现象，水的浊度加大，尤其是冬季出现低温低浊现象，成为水处理的难点。在浮游生物，特别是藻类的繁殖季节，水的色度增加，或发异臭。

高地水库（如北京密云水库、青岛崂山水库）常远离城市，不易受城市和农田的污染，易于保护，水质优良，是理想的水源。多用途（供水、航运、防洪、灌溉、养鱼、排水等）水库，易受污染，水质较差^[2]。

水库与湖泊水不同的是，水库建库时，山体开挖、植被破坏，砍伐树林引起水土流失等，可能造成大量泥沙、山体土壤进入库区并沉入库底，土壤中的有机质在库底发生分解，消耗水体中溶解氧，同时产生有机酸，可能使

其库底的水化学环境发生缓慢的变化^[15]。

选择地表水做水源，一般都需对所取到的原水利用混凝、沉淀、过滤、消毒等工艺进行处理，原水水质较差的还要进行深度处理，直至达到国家标准，才能供给用户使用^[16]。

地表水的矿化度、硬度以及铁锰的含量一般较低，一般不需进行处理。

地下水的悬浮物及浊度一般低于地表水，受过滤与溶解双重作用的影响，通常地下水无需澄清、沉淀、过滤处理。当水质不符合要求时，水处理工艺比地表水简单。但地下水中溶解的物质比江河水多，一般含盐量为200~500mg/L，硬度一般为60~300mg/L（以氧化钙计），少数地区的硬度高达300~600mg/L，而且地下水的含盐量、矿化度一般随深度而增大，离子组成从低矿化度的淡水类型转化为高矿化度的咸水类型。另外，地下水混合程度弱，不如地表水均匀。地下水多呈现弱酸性、中性、弱碱性反应，pH一般在5~9之间^[17]。

1.1.3 水源水质变化规律及影响因素

即使是同一水体，其水质也是不断变化的。总体来说，水源水质存在规律性变化和随机变化两大类^[18]。规律性变化主要是季节性规律变化，随季节变化而变化；随机变化则主要是自然因素及人为污染所导致的，其变化是不确定的、无规律的。

1.1.3.1 季节性规律变化

水源水质季节性变化主要由气候气温变化、降水量变化、植物生长季节性变化、季节性农耕活动等引起；北方高寒地区还与高山融雪、冰川融化有关。水源水质季节性变化也存在相同的内在规律，不同水源水质季节性变化不同的原因，是各影响因素的影响程度不同，最终导致各影响因素综合作用的结果不同。各影响因素的影响程度差异则主要取决于水体地域性差异、水体类型差异、地质条件差异、周边环境差异等，总的来说，仍存在一定的规律性，归纳如下。

（1）太阳辐射、气温导致的水源水质季节性规律变化

气候气温对水体的影响明显，其中湖泊、水库水最为显著。在垂向形成水体分层与破坏水体分层并产生水体对流现象，是气候气温对水体的最大影响。另外，太阳辐射、气温对水体的影响还主要通过影响水分蒸发作用、营养盐在沉积物中的附着累积速率等途径实现。

由于湖泊、水库的大量存在及大量河流“水库化”，加之我国近80%的

城市供水来源于水库水,水体热分层现象广泛存在于水源中^[4]。对于一定水深的湖泊、水库而言,水体流动性较差,因此都有不同程度的垂直水温分层现象,水库(特别是深水水库)由于受季节气候太阳辐射强度、气温变化而引起的热分层和对流现象更是水库的一个重要特征。

在河流分类上,可以将所有天然河流分为常流河与季节河。常流河是指河道中具有永久性水流即常年维持一定流量的河流,季节河则是指一年中某一季节或一个较长的时间中干涸无水的河流。气候条件对常流河与季节河的形成,影响极大,有时候起到决定性的作用。一般而言,干旱区的河流均为时令河(季节性河流),半干旱区的较大河流可以为常流河,较小河流则为季节河。半湿润区和湿润区的河流,除了某些特殊情况以外,只要流域面积足够大,皆为常流河^[19]。

太阳辐射强度、气温变化通过影响水分蒸发作用,进而影响水体水量,最终影响水体中污染物浓度。高原和半干旱区湖泊的水分蒸发作用远强于位于其他地区的湖泊,营养盐在沉积物中的累积也更快^[20]。

水源水体中植物的生长受太阳辐射强度、气温影响,因此也存在明显的季节性变化。植物光合作用、呼吸作用以及植物体内氮、磷等营养元素的吸收与释放活动,直接影响水质情况。当光合作用强时复氧快,当呼吸作用强时耗氧快,当植物量大时,磷等营养元素的释放量也大,如蓝藻水华引起水体内部源磷的大量释放导致氮磷比显著下降的原因。

(2) 降水及积雪冰川融化导致的水源水质季节性规律变化

除了能直接导致水量变化以外,水体外源污染物如土壤中的有机质、泥沙等还能通过降水、高山融雪、冰川融化等冲刷作用带入河流、湖泊。因此降水量及积雪冰川融化量的季节性变化也是水源水体水质季节性变化的主要因素之一。

暴雨径流主要影响中上层水体水质,径流携带了大量的营养盐及有机物潜入水体,使得水体溶解氧含量增加,同时水体浊度大幅升高,总氮、总磷、有机物含量明显增加^[21]。

(3) 农耕活动导致的水源水质季节性规律变化

随着雨季、旱季的更替,村民大面积农作物品种和种植量不同,施肥和灌溉排水量不同,携带进入水体的外源污染物含量也不同。尤其明显的是,在农耕季节,与肥料相关的氮、磷及有机物等,一般其浓度均大幅提高。这也是面源污染的特点。

(4) 水源水质指标季节性规律变化

上述各影响因素对水体中不同污染物指标的含量及浓度变化的影响不尽相同。其中受太阳辐射、气温影响较大的指标是水温、溶解氧、铁、锰、pH、浊度、氨氮、总氮(TN)、总磷(TP)、水生生物特别是浮游植物、叶绿素a等^[22]；受降水量及积雪、冰川融化量影响较大的是浊度、氨氮、总氮、总磷等；受季节性农耕活动影响较大的是pH、浊度、氨氮、总氮、总磷等。各影响因素综合作用导致污染物指标含量及浓度变化十分复杂，但总地说来，仍有一定季节相关性。

1) 水温及水密度。绝大部分水体在夏季形成正向水体分层即上层水体较下层水体温度高的热分层。每年的春末夏初，由于强烈的太阳辐射和较高气温作用，水体上层迅速升温，密度减小，而水体下层的温度仍稳定处于较低的温度，密度较大。一般来说，深度超过7m的湖库就可能形成温跃层，在温跃层内水深每下降1m，水温下降1℃或1℃以上^[23]，在气温极低的少数地区（北方或高原寒带地区）的冬季，则能形成逆向水体分层，即上层水体较下层水体温度低的热分层，在秋冬季，水体温度不断降低，当水温下降到4℃时达到最大密度，而后随着温度的不断降低，密度也随之降低。在每年秋冬季节（正向分层水体）或春季（逆向分层水体），处于分层消亡时期，水体发生垂向翻转混合，此时上下层水体温度相等呈现先逐渐降低直至为零而后继续大幅反向增加的走势。总地说来，水体热分层期下层水温较为恒定，受气候影响导致水温变化的是上中层水温，进入混合期，上下层水体混合均匀，传热通道疏通，下层水温与中上层水温一样受气温变化的显著影响。

2) 溶解氧。水中溶解氧含量取决于复氧与耗氧过程的相对强弱（处于动态平衡状态），同时受水温、水质、水动力及氧分压等环境因素综合影响。在不同水层复氧与耗氧能力的差异及水体温度分层对垂向水层间氧的传质交换的限制，直接导致存在季节性热分层结构的水体，其溶解氧分布也具有明显的季节性分层特征。

与水温分层一样，溶解氧在温跃层附近一般也存在跃层，水体溶解氧急剧下降，且温跃层以下溶解氧基本恒定并处于缺氧甚至厌氧状态。^[21]另外，在水体分层结构失稳、上下层水体垂直交替过程中，若过多分层期时积蓄在下层水体中的还原性物质带入上层湖水，则易造成因耗氧量过多、耗氧和复氧机制不平衡而导致表层水体溶解氧骤降为缺氧状态。自20世纪90年代初以来，包括百花湖水库在内的贵州多座水库频繁出现的季节性（多为夏末初秋）缺氧和鱼类窒息死亡与此有关^[4]。

3) 化学需氧量 (COD)。地表水水源有机污染检测值一般夏天大于冬天。夏季由于洪水和暴雨,常挟带泥沙和大量有机物进入地表水,使夏季 COD 浓度偏大。汛期暴雨之后,常常由于河水猛涨,地面上大量有机物被带入河中,原水中有机物含量达到顶峰。

4) 氮、磷营养盐。水源水体中氮、磷营养盐浓度随季节变化,主要受外源污染和内源污染的双重作用。农耕施肥灌溉、降水冲刷携带等属于外源污染,生活垃圾污染虽然在少雨季节对水体影响较小,但却是雨季时流域污染暴发的重要原因。雨季初期,非雨期地表积累的污水、垃圾、畜禽粪便、农田秸秆随着暴雨的冲刷进入河流,导致氮磷含量陡增^[20]。

丰水期水体氮、磷含量一般会突然增加:一是由于雨水的冲刷和地表径流带入一部分磷进入水体;二是冲刷往往易扰动沉积物,导致再悬浮且释放氮、磷^[20]。然而,过大的降水量能稀释污染物浓度,氮含量随着降水量的增大呈现先增后减的关系,这也是非点源污染水体的主要特征。暴雨所携带的大量的腐殖质及泥沙进入水库,是导致水体总磷含量大幅升高的主要原因。

水体中沉淀物氮、磷释放等属于内源污染,其中以磷释放为主,在富营养化湖泊中,被沉积物吸附的磷又能释放到水体中。浅水湖泊的磷释放占到整个磷负荷的很高比例,有时甚至超过外源负荷。因此,水体中磷的季节变化在浅水湖泊和分层的深水湖泊中差异巨大:在分层的深水湖泊,夏季磷由于颗粒物的沉降不断地从表水层向深水层转移,而在深水层矿化的磷只有等到秋季的混合期才能回到表水层。而在浅水湖泊的趋势却正好相反,即夏季沉积物的磷释放增加而使水体中的磷含量增加^[24]。

氨氮是无机氮的主要存在形态,水体中氨氮以游离氨(NH_3)或铵盐(NH_4^+)的形式存在,较高的温度有利于水中的氨转化为亚硝酸盐或硝酸盐,因此夏季水中氨氮含量偏低。氨氮浓度的季节变化与 COD 相似。水体中的总氮包括氨氮、硝态氮、亚硝酸态氮和有机氮^[25]。水体中总氮浓度季节变化高峰出现在夏季,而冬季含量较低。总体来说,总氮浓度随季节变化比较平稳,且总氮浓度的变化受硝态氮季节变化的影响^[26]。

5) 藻类等浮游植物的垂向分布及含量、叶绿素 a。藻类等浮游植物的生长受光照、水温、酸碱度和氮磷等营养盐含量等影响。

从浮游植物群落结构季节性演替上来看,夏季以耐高温且具备悬浮机制的蓝藻为主,而以梅尼小环藻、针杆藻等为代表的硅藻能适应低温、弱光条件,成为了秋冬季的优势种群。绿藻则为广布种群,其季节性变化不明显。

浮游植物群落结构和演替规律与氮、磷营养盐的浓度及比例密切相关,

浮游植物可以吸收不同形态的氮、磷。同时,氮、磷营养盐的改变也会改变浮游植物群落结构^[27]。因此,氮、磷的季节性变化能助推浮游植物生长的季节性变化。

藻类等浮游植物的种类总数随着季节的变化而变化,其中各门藻类植物的种类组成也存在季节性变化。

叶绿素 a 浓度是评估水体富营养化程度和水华风险的重要指标,水体中的叶绿素 a 水平与藻类等浮游植物的生长活动、水体透明度、营养盐水平以及藻类自身悬浮特征有着密切关系,因此在一定程度上反映了水中藻类等浮游植物的数量。叶绿素 a 浓度越高,说明水体的富营养化程度越高,水华风险越大。水华风险在春秋季节最大,夏季次之,冬季最小;在夏季和春秋季节,叶绿素 a 平衡浓度呈现先升高后降低再升高的趋势^[28]。

6) pH。水体 pH,是反映水体酸碱度的指标,水温、水量和降水等因素会影响水体 pH 变化。存在热分层的水体,其 pH 亦具有季节性的分层特征,其变化与同时期水温、溶解氧变化趋势基本一致,总体上随水深的增加而减小^[29]。

由于藻类光合作用,消耗水中的 CO_2 ,对水环境中的碳酸盐动态平衡产生影响,促使上部水体 pH 升高并呈偏碱性。随着水深增加,光照强度减弱,藻类数量、溶解氧浓度不断降低,在兼性厌氧菌的新陈代谢及其矿化降解作用下,有机物分解产生的二氧化碳及有机酸使得 pH 也同时下降,导致底部水体 pH 降低^[29]。

水体的分层与混合过程对水体酸碱度产生较大影响;而 pH 的降低也将加速沉积物的释放,影响水质^[30]。

7) 铁、锰、硫化物等还原性物质。铁、锰都属于金属元素,在自然界的岩石和土壤中都很常见,它们往往是一对伴生元素同时存在于天然水中,含铁的地表中或多或少都含有一定量的锰。夏季热分层期^[15],底部为缺氧、厌氧环境,厌氧菌比较活跃,加上有机物分解产生的二氧化碳及有机酸含量上升导致的酸性环境,导致水库底泥中难溶于水的铁、锰在弱酸及还原性水体中形成易溶态进入水体,造成水库底层水质铁、锰浓度较高。在冬季时,表层水温下降,水库上、底层的水温差异减小,水体在夏季形成正向水体分层即上层水体较下层水体温度高的热分层消失,水体上、下层对流不断增强,水库底层水体中的铁、锰逐渐扩散至水库上层水体,从而使上层水体在冬季会出现铁、锰浓度超标。随着冬季结束,在水库中上层的铁、锰在溶解氧充足且呈弱碱性的上层水体中,重新被氧化成不溶态而沉于库底,在夏季来临

之际,铁、锰重新因水体分层而被隔于水体底层^[15]。

硫化物等还原性物质与铁、锰一样,其浓度变化的垂向分布和季节性特性比较明显,也是上、下水层因耗氧和复氧机制不平衡、溶解氧分层分布所直接导致的结果,且规律一致。

8) 浊度。存在热分层的地表水,其浊度在温跃层内达到最大值,如千岛湖水库等,而地表水表层水体浊度突然升高往往存在内源与外源两方面因素。内源污染主要源于水体热分层结构失稳,形成表面和底部水层对流混合出现的“翻湖”现象,导致沉淀物再悬浮。气候、强降雨、风、浪等因素均能导致水体热分层结构失稳。

外源污染主要发生在多雨洪水季节,暴雨径流冲刷地表大量覆盖的死亡植物、生物、泥沙,携带大量的颗粒状、胶体态和少量溶解态的腐殖质进入水体,使水体浊度增大。一般在夏季涨潮期间地表水浑浊度均高于平水期,是内源污染与外源污染的叠加作用。

河流水浊度一般均为季节性变化,丰水期水质浑浊度最差,枯水期最好^[31]。冬季水量小浊度低,夏季水量大浊度高。浊度低时,一般小于20NTU,甚至小于5NTU,而一到雨季,暴雨过后原水浊度突然升高至几百到几千NTU^[32]。

1.1.3.2 自然因素所致随机性变化

日常随机的自然现象以及突发性自然环境灾害能引起水体水质随机性变化。日常随机的自然现象主要指非降雨季节的强降雨、强风大浪、藻类暴发等;自然环境灾害则主要有山体滑坡、泥石流、山洪暴发、冰川暴发、台风、地震等。

自然因素导致的水体水质变化主要集中于物理性污染,具体表现在:一方面是造成水体自身污染,如引起水流扰动,破坏热分层,造成沉积物再悬浮,导致浊度升高,并释放底泥中累积的营养物质至水体^[33],再如高温气候或藻类暴发,导致水体自身缺氧,大多数水生动物和植物死亡,尸体等能造成菌类和病毒含量增长;另一方面是增加水体污染物总量,如强降雨冲刷泥沙不仅提高水体色度、浊度等指标,还加强对矿物质的溶解作用、对大气的淋洗作用、对地面的冲刷作用,挟带各种其他污染物进入水体,导致水质硬度、酸碱度、污染物含量(氨氮、重金属、有机物、矿物质等)变化^[34]。

一般而言,日常随机的自然现象引起的随机变化较小,突发性自然环境灾害引起的随机变化较大。

1.1.3.3 人为污染变化

人为污染按污染源可分为工业废水污染、城市污水污染、农业污染、固体废物污染等^[35]。工业废水及生活污水超标排放引起水源水质变化，农业污染主要是过度使用化肥和农药，使农业灌溉回流水或被雨水冲刷的表土中含有较高浓度的氮、磷、有毒农药等。固体废物污染是指生活垃圾、工业废料、人畜粪便等固体废物随意或不合理堆放被雨水冲刷甚至直接被弃于水体。

人为污染中威胁最大的是突发性水污染事件。人为污染所致突发水污染事件主要指由于突发性的污染物质泄漏、排放造成水质瞬间严重恶化的事件，主要包括船舶燃油泄漏、化学品事故、工厂事故性泄漏、码头装卸事故泄漏、交通事故性泄漏或投毒等人为风险事件及其他^[36]。

1.1.4 南方某水库水源水质变化规律实例分析

华南地区某水厂原水取自水库，水库库容为 600 万 m³ 左右，主要是自然降水，属于典型的南方水库水水源，其水质变化情况如下。

1.1.4.1 浊度变化

水厂原水浊度检测结果如表 1-1 所示。

表 1-1 原水浊度检测结果（2008 ~ 2010 年）

单位：NTU

时间	原水浊度		
	最高值	最低值	平均值
2008.01	14	4.2	11
2008.02	10	3.1	13
2008.03	15	12	14
2008.04	37	26	34
2008.05	156	44	51
2008.06	133	24	28
2008.07	30	22	27
2008.08	152	24	39
2008.09	41	19	32
2008.10	26	15	22
2008.11	20	12	14
2008.12	14	6.7	11
2009.01	7.9	4.5	6.7

续表

时间	原水浊度		
	最高值	最低值	平均值
2009.02	11	6.6	9.2
2009.03	15	11	12
2009.04	26	15	28
2009.05	130	21	26
2009.06	33	24	28
2009.07	30	22	27
2009.08	154	39	47
2009.09	42	27	33
2009.10	30	17	25
2009.11	19	12	16
2009.12	12	7.5	9.8
2010.01	7.4	3.9	5.8
2010.02	5.9	3.1	3.9
2010.03	18.9	3.3	5.2
2010.04	19	3	6.7
2010.05	127	21	24
2010.06	133	24	28
2010.07	144	31	38
2010.08	37	26	30
2010.09	31	24	26
2010.10	24	17	19
2010.11	19	12	16
2010.12	14	8.6	11.5

根据表 1-1, 该水厂 2008~2010 年月平均浊度检测结果可知:

1) 水源水体浊度季节变化较大, 月最高变化范围为 5.9~156 NTU, 月最低变化范围为 3.1~39 NTU, 月平均变化范围为 3.9~51 NTU。由于该水厂水源水体主要来源于天然降水的水库水, 降水受季节影响, 水库水浊度则受降水冲刷地表产生的泥沙等固体物质, 以及入流水库水量大、流速大, 冲击水库底部底泥产生悬浮, 导致水体浊度升高, 一旦暴雨, 浊度一般会骤然增大。

2) 该水厂原水为水库水, 冬季浊度较低, 月份最高为 5.9 NTU, 存在低温低浊情况。