

摘要

目前我国水资源的短缺和水污染情况的加重,使人们警觉到水环境污染已直接关系到人民的健康安全和社会、经济的可持续发展。国内外的实践证明,水质安全预警和污水再生回用是充分利用水资源,解决水资源短缺和水污染的有效途径。

为了保证空港东南中水处理厂将来的有效、经济运行,本课题对其进水水质指标(pH、SS、总氮、总磷、氨氮、COD等)进行了采样监测。在一年水质监测资料的基础上分析该污水水质现状、特征、变化及其原因。水质分析表明:该水厂进水虽为70%工业废水和30%生活污水的混合污水,但其水质特征与一般生活污水相近;该污水各水质指标一年的实测数值基本符合正态分布规律,污水水质各指标大部分在一定范围内波动(pH: 7-8, SS: 40-130mg/L, 总氮: 15-35mg/L, 氨氮: 9-31mg/L, 总磷: 1.9-4.7mg/L, COD: 130-370mg/L),剧烈的水质波动是由工业废水的排放情况导致的。

本文在水质分析的基础上,结合中水厂预警目标,提出了原水预警的含义及特点。预警是建立在预测的基础上的,本文综合介绍了BP神经网络预测法、混沌最大Lyapunov指数预测法和灰色系统预测法。并根据本课题实际情况,采用灰色系统预测法对各预警指标进行了预测,得到了良好的预测效果。最后,依据水质背景数据资料,综合污水排放标准(GB 8987-1996)和水厂设计要求确定了预警系统的警限、警级并对警情做出简单释义,初步提出了应对措施的建议。

关键词: 污水; 水质分析; 水质预测; 污水水质预警系统

ABSTRACT

With the shortage of water and the seriousness of water pollution, it is awared that water pollution has affected the people's health security and sustainable development in society and economic. Practices in domestic and overseas prove that the system of early-warning of water quality and the technology of recycle of wastewater are effective approaches to solve the problem of the shortage of water and the seriousness of water pollution.


In order to operate economically and effectively, the wastewater quantity of the Sewage Treatment Plant is investigated in this paper . Typical water quality indexes (pH、SS、TN、TP、NH₃-N 、COD) were monitored. By the one-year monitoring of the wastewater quantity, the present level and the features of wastewater quantity and the reasons are analysed. The results show that the water quality is resemble to sewage although the wastewater is mixed by industrial wastewater and sewage. The influent quality changes with time and belongs to normal distribution, The water quality indexes basically change in a certain range (pH: 7-8, SS:40-130mg/L TN: 15-35 mg/L, NH₃-N: 9-31 mg/L ,TP: 1.9-4.7mg/L ,COD:130-370 mg/L). The dramatic changes of water quality is caused by industrial wastewater.

Based on the analysis of the water quality and the goal of the early-warning of water quality, the definitions and features of the precaution of water quality have been proposed. Precaution is grounded on prediction. In this paper, BP neural network, the Lyapunov exponent method of chaos theory and the Grey system to forecast the future water quality are presented. According to the situation of this object, the grey model is used ,and the predication result is good in application. Then, based on the data of water quality monitored, the integrated effluent standards and the design requirements of the Sewage Treatment Plant, the warning level limit and the simple interpretation of it are proposed. Finally, a preliminary suggestion of response to the recommendations are made .

KEY WORDS: Sewage; Analysis of the water quality; Water quality forecast; Early-warning system of sewage

独创性声明

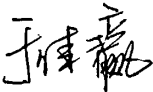
本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得天津大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。


学位论文作者签名： 签字日期： 09年 6月 5日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(保密的学位论文在解密后适用本授权说明)

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期： 09年 6月 5日

签字日期： 09年 6月 5日

第一章 绪论

1.1 课题研究背景及意义

1.1.1 引言

随着社会经济的快速发展和资源环境压力的上升,环境安全已受到不同程度的威胁,环境安全问题也越来越引起人们的注意。生态环境中的重要组成要素——水,是生命之源,是人类赖以生存、不可缺少的自然资源,因此水环境安全直接关系到群众健康、社会稳定和经济发展。当前世界水资源面临空前危机。近百年间,世界人口增加了2倍,用水量增加了5倍,对人类和环境产生了巨大影响。我国是一个水资源短缺的国家,人均水资源拥有量仅为世界人均水资源拥有量的1/4,另外,随着社会经济的发展、城市规模的不断扩大及用水量的持续增大,排入江河湖库的污水不断增加,可以说,水资源短缺和水污染是水环境面临的两大难题^[1]。

近年来,水质污染问题已引起政府部门和学术界的高度关注。当前,迫切需要大力建设发展水环境安全的评估体系、预测预警系统和相应的环境管理体系。另外,随着人口的增长,生活水平的提高,城市化速度的加快,使城市对水的需求量不断增加。一方面对淡水的用量大量增加,另一方面将生产出更多污水,中水回用是解决城市水资源危机的重要途径,也是协调城市水资源与水环境的根本出路^[2]。开发和应用投资省、见效快、运行成本低的中水回用处理技术已经成为确保社会经济可持续发展的重大课题。

天津市属于资源型缺水城市,多年人均水资源量仅为370m³,是全国水资源最为紧缺的地区之一,污水处理及再生回用是解决本市水资源问题的有效途径之一。

本课题正是在上述背景下而展开的一项工作,系天津市空港物流加工区污水处理一期工程——空港东南中水厂原水水质监测评估与安全预警系统项目,其中所做的工作主要围绕进水水质监测、分析,在线安全预警及紧急应对对策进行。

1.1.2 研究意义

一般来说,控制水污染事故的发生,控制水质发生不良变化的有效方法就是防患于未然,在准确预测的基础上,在水环境发生恶性质变之前,能及早提出预

告、报警，并及时采取相应调整措施，加以有效抑制、减缓、控制、整治，使其进入良性循环。同时，从我国水质统计的现状来看，大多是事后的统计资料，缺乏超前的信息支持，而事中或事后的统计监督，难以在水质恶化的警情发生之前有效、及时地予以警告，当事后得到统计数据时，往往已造成无法挽回的损失。因此，有必要对水质进行预警、预报，预防水质变化的发生^[3]。

概括起来，水安全系统预警具有重要意义，主要表现在以下几个方面^[4]：

(1) 水安全预警为决策提供及时准确的信息。水安全预警可以为及时掌握水安全态势的变化，找出存在的问题、改进的方向，可以防患于未然，为政府的水问题决策提供信息。

(2) 水安全预警可以提高民众参与意识。水安全预警的公布，可以让民众知道水环境的真实情况，是对民众进行水安全教育，增添水患意识，提高节水意识，同时可以提高民众参与意识。

(3) 水安全预警机制有利于加强水供给和水需求管理。水安全预警对水供给和水需求的规模、增长的趋势都作了相应的预测，我们就可以提前知道了解水的安全状况，便于尽早对水供给和水需求协调问题作出安排。

直至目前为止，水安全预警系统已大大应用于河道、水库、饮用水水源水等水体的水质预警领域中^[5-10]。而本课题针对中水处理厂原水的预警还属较新领域。本预警系统的研究，旨在保障再生水出水水质和生态安全性。这是针对水处理工程预警系统的探索性研究，在提高水厂水处理效率降低水处理成本方面具有积极意义。

1.2 研究概况

1.2.1 水质在线监测研究应用概况

20 世纪 80 年代后期，国际水协会提出了 ICA 技术的概念，ICA 是仪器化(instrumentation)、控制化(control)和自动化(automation)的简称。经过二十多年的发展，国际上仪器化的技术已经成熟，在线水质监测仪器已经应用于污水处理厂的实时监测^[11]。

在线监测技术将实验室水质分析过程，即药剂配制、预处理、反应和计量等过程完全自动化，并将他们组合在一起，通过一定的集成实现过程控制。这种方法利用各种探头和仪器，放置在水环境现场，对水质变化进行连续或者定时检测，并将检测数据进行储存、加工和远程传输，最后进行集中监控管理。它可以自动、连续地测定几个项目，做到及时、准确地掌握地表水和污水水质及其变化情况。

水质在线监测系统可分为地表水和污水在线监测系统,可以自动、连续地测定几个项目,做到及时、准确地掌握地表水和污水水质及其变化情况。

为有效控制水环境日益恶化的趋势,各国对水质环境标准进行了进一步的修改和实施,同时各国对水环境质量监测的要求也越来越高。早在1970年美国和日本等发达国家对河流和湖泊等地表水开展了自动在线监测,同时对城市和企业的污水处理厂排水也实行自动在线监测。所采用的方法有实时在线监测和间歇在线监测两种。测定项目有水温、氧化还原电位、溶解氧、浊度、电导率、氨氮、氟化物和氰化物等。随着地表水富营养化的日趋严重及执法的严格化和实施总量控制,在20世纪70年代末又增加了化学需氧量、汞、总氮和总磷等自动在线监测项目,通过远程传输系统把监测数据自动传到各级环保主管部门和环境监测执法部门。

目前已有了很多关于水质在线监测系统的研究工作。李欣等^[12]开发出基于Labview的水质监测虚拟仪器,通过系统设置了采样点数、采样频率等,可以同时监测氟离子、氯离子、溶解氧、COD或BOD进行监测。郭小青等^[13]提出一种基于CAN总线的水质参数在线监测系统。该水质参数在线监测以PC机为主机,以具有CAN总线控制功能的80C592单片机及外围电路和各类参数监测仪表为分机,以CAN总线通信接口适配卡连接构成系统。结论认为,该系统能够实时监测pH值、氧化还原电势、浊度、电导率、溶解氧、余氯等水质参数。在线监测技术的不断发展,为水安全预警系统实时性、准确性的不断完善提供了技术支持。

1.2.2 水质预警研究及应用

预警是指对某一警素的现状和未来进行测度,预报不正常状态的时空范围和危害程度。此概念最早应用于军事领域,近年已得到了更为广泛的应用。所谓水质预警,是指在一定范围内,对一定时期的水质状况进行分析、评价,对水环境发生的影响变化进行监测、分析,对其发生及其未来发展状况进行预测,确定水质状况和水质变化的趋势、速度等,预报不正常状况的时空范围和危害程度,按需要适时地给出变化或恶化的各种警戒信息及相应的综合性对策,即对已出现问题提出解决措施,对未出现或即将出现的问题给出防范措施及相应级别的警戒信息^[2]。

国际上从事预警研究,主要从20世纪80年代中期开始。在美国企业危机和策略管理研究中,首先提出了预警理论。至今,先后应用与军事,经济,交通,核电站,企业财务风险等领域。近年来,预警理论逐步被应用于水质管理中。它通过地理信息系统(GIS)、数据库管理系统(DBMS)等计算机技术手段和遗传

算法、误差反传等网络模型得以实现。以后很多学者在以上基础手段在水质预警方面的应用上做出了研究探索。朱灿等^[14]所研究西江水质预警预报系统,采用集成 GIS 组件和水量水质是指模型的耦合方式,一方面建立基于 GIS 的水环境评价和污染物总量控制,另一方面在发生污染事故后,能够快速预报污染物扩散时间、面积、范围、程度及对下游所造成影响。谢洪波等^[15]也做了基于 GIS 的地下水污染预警系统的研究,其采用二次开发模式,按地下水质量标准 and 灰色预测模型建立基于地理信息系统的地下水污染预警系统。在水质预测预警领域,各种评价预测方法正在发展。杨国栋等^[16]比较人工神经网络和综合污染指数法对同一实例的评价预测结果,研究表明,前者更具优越性。相信在未来的水质预测预警中有很大的研究价值和应用前景。李秉文等^[17]在吉林西部实例的研究中,在对水质数据进行分析的基础上,利用预警模型对水质进行预警,将其结果作为信息传输到 MAPGIS 的空间分析子系统,使预警结果可视化。窦明、李重荣等^[18]在对汉江水质预警系统研究中,研究将信息技术和预警理论结合起来,建立了水质预警的信息平台。另外,韩晓刚等^[19]所进行的混沌理论在水质预警系统中的应用研究,利用混沌理论中的 Lyapunov 指数法对某水厂在线监测指标的周平均进行了预测,结果比较令人满意,此理论在未来的水质预测中将具有良好的应用前景。

我国关于水质预警研究虽起步较晚,所涉及领域还比较窄。但各方面理论和实践研究正在蓬勃发展,为以后的研究工作奠定了坚实的基础。

本项研究对象为示范区中水处理厂原水,研究目的为把握污水水质走向及保证水处理出水水质。这在目前所检索到的文献中鲜有涉及。

1.3 本论文研究工作

1.3.1 研究对象及内容

在监测区域内污水原水水质并整理水质指标数据的基础上,对水厂的原污水水质特征、变化规律进行分析,确定污水类型,针对确保再生水水质、生态安全性、水处理工艺正常高效运转的预警目标,初步探索安全保障技术体系即原水水质监控评估与安全预警系统,内容主要包括:进水水质监测、分析,水质预测原理及方法研究、警限警级的确定。其主要技术内容有:

- (1) 系统监测工业区内综合污水水质,根据所得水质指标数据全面分析其水质特点、变化规律及变化范围,掌握其基本特征;
- (2) 根据研究目的明确示范区中水处理厂内原污水预警水质指标。
- (3) 根据已掌握水质特征规律、预警目的和预测周期,研究相应水质预测

模型。

(4) 设置警线、警级，明确警义，初步提出相应反应措施。

1.3.2 工作步骤

首先，根据研究目的针对研究对象进行调查研究、专家咨询，初步确定研究方向及方法。

其次，调查、自行监测研究对象水质指标，对其各个代表性水质指标的变动范围、幅度等数据资料进行整理分析，并进行必要的筛选或优化监测数据的工作。

第三，查阅国内外有关预警理论和方法的文献，对预警的理论和方法体系有一定的理解。预警理论在其他领域的应用已经比较深入，但在水质预警，尤其是针对污水水质预警方面刚刚起步。本课题将对研究对象原水预警，建立中水厂进水水质预警系统的基本框架及预警指标体系。

第四，详细分析水质类型及特点，分析影响水质变化的主要因素，研究其变化趋势，在此基础上进行预测预警研究，为水厂高效、稳定运行提供依据。

第六，对原水进行预测预警。根据水质监测资料、排放标准、要求水质标准和水处理主要工艺的运行特征确定警限警级。

最后，对水质发生恶性突变以至影响出水质量及水处理工艺运行，初步提出预防措施、治理措施以及运行管理方面的措施以纠正其不良影响，供相关部门决策参考之用。

本课题研究结果，可作为天津空港物流加工区污水处理一期工程——东南中水处理厂原水监测预警系统设计建立的参考依据之一。

第二章 市政污水水质预警理论研究

2.1 水质在线监测系统

2.1.1 系统功能及组成

在线监测系统的作用是实时测定污染物数据,一方面避免传统监测方法的从采样点到实验室运输过程中污染物的变化,省掉取样后添加保护剂的麻烦,另一方面使监测数据的获得更加及时。同时在线监测仪器带有的 RS232 或 RS485 的接口,能够做到将监测到的数据及时远程传输到上级主管部门,大大提高环境监管的速度和力度,对于环境管理来说,是一个新的突破^[20]。水质预警主要是建立在水质在线自动监测系统的基础上,在通过对后台数据库的综合分析、评价、预测的基础上,建立水质预警机制。

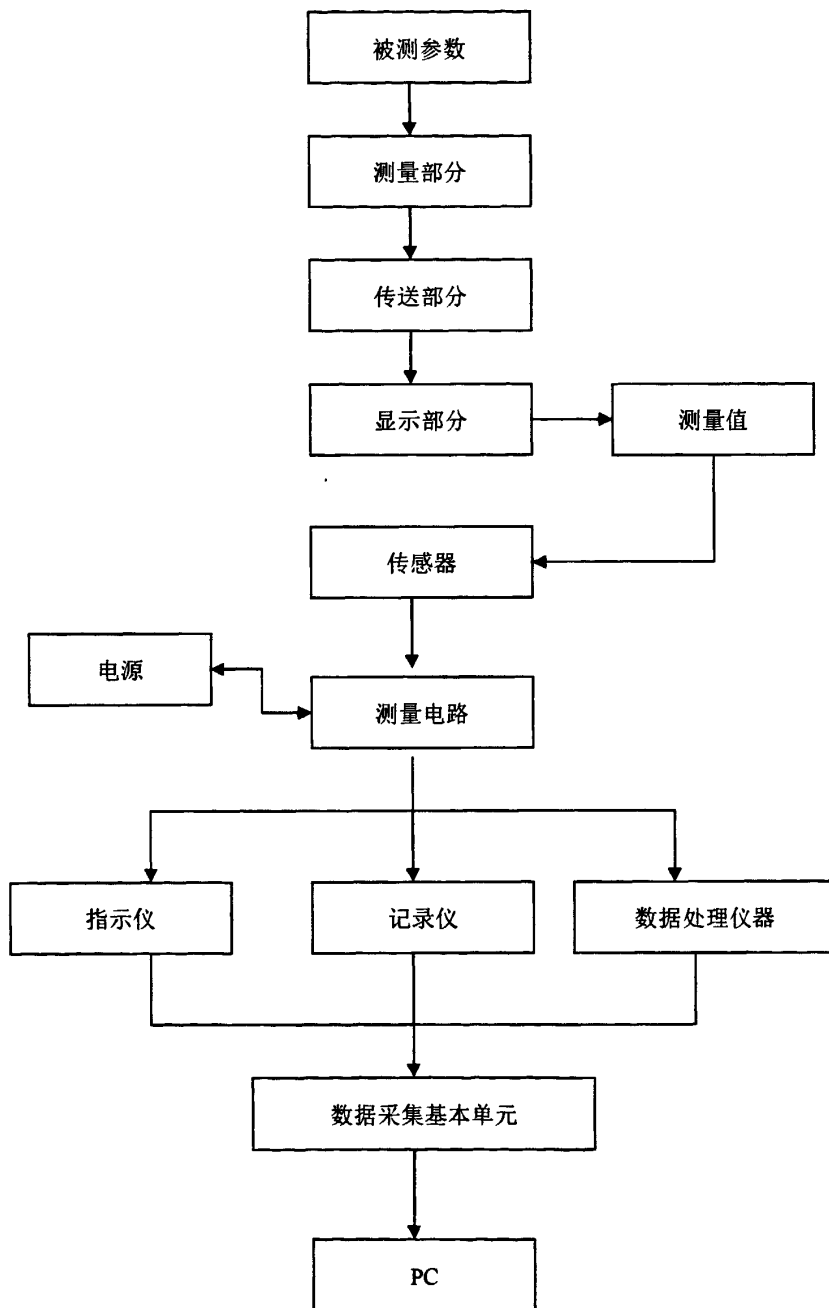
水质在线监测系统主要由测量仪器、自动检测系统和数据采集系统这几部分组成^[11],如图 2-1 所示。

2.1.2 可应用的监测指标及其相应在线监测仪表

在污水处理过程中,需要测量的参数多种多样,如污水处理厂进出水温度、pH、浊度、化学需氧量等。对于温度、压力、液位、流量这些物理量,一般称其为热工量。诸如 pH、溶解氧、浊度、污泥浓度、电导率等参数,称为成份量。用于测量热工量的仪表一般被称为热工测量仪表;用于测量成份量的仪表一般称为成分分析仪表,在污水处理过程中常常称为水质分析仪表^[5]。测量仪表的种类很多,随着技术的发展,越来越多的被应用于污水处理厂的水质监测,以城市污水处理厂为例,常规监测指标及在线测量仪表如表 2-1。

2.1.3 在线监测系统应用概况

随着在线监测技术的不断发展,其应用领域不断拓宽且对水环境安全问题的影响也日趋深入。在魏文达^[21]所介绍的广西水源地水质自动在线监测系统的应用情况中可以看出,基于在线监测系统的建立和对系统的不断改进完善,使该系统能够很好的为其涉及区域的饮用水安全提供及时、准确、完整的数据依据。另外,在线自动监测系统用于污水厂进水水质的监测,也可带来可观的实用价值。



2-1 水质在线监测系统组成示意图

表 2-1 城市污水处理厂常用检测仪器

工艺参数	测量介质	测量部位	常用仪表
流量	污水	浸出水管道	电磁流量计
	污泥	明渠 回流污泥管道 回流污泥管道 剩余污泥管道 消化污泥管道	超声波明渠流量计 电磁流量计 超声波明渠流量计 电磁流量计 电磁流量计
	沼气 空气	消化池沼气管路 曝气池空气管路	孔板流量计、涡街流量计等 (防爆) 孔板流量计、均速管流量计
温度	污水	进、出水	Pt 100 热电阻
	污泥	消化池 污泥热交换器	Pt 100 热电阻 Pt 100 热电阻
压力	污水 污泥 空气	泵站进出口管路 泵站进出口管路 曝气管道鼓风机出口	弹簧管式压力表、压力变送器 弹簧管式压力表、压力变送器 压力变送器
	沼气	消化池 沼气柜	压力变送器(防爆) 压力变送器(防爆)
液位	污水	进水泵站集水池 格栅前、后液位差	超声波液位计 超声波液位计
	污泥	消化池 浓缩池	超声波液位计、差压变送器等 (防爆) 超声波液位计

续表 2-1 城市污水处理厂常用检测仪器

pH	污水	进、出水管路或渠道	pH 仪
电导率	污水	进、出水管路或渠道	电导仪
浊度	污水	进、出水管路或渠道	浊度仪
污泥浓度	污泥	曝气池、二沉池、回流污泥管路	污泥浓度仪
溶解氧	污水	曝气池、二沉池	溶解氧测定仪
污泥界面	污水、污泥	二沉池	污泥界面计
COD	泥	进/出水	COD 在线测量仪
BOD	污水	进/出水	BOD 在线测量仪
沼气成分	污水	消化池沼气管道	CH ₄
氯	消化沼气 污水	接触池出水	

污水处理厂的进水水质直接影响到污水处理系统的运行，进出水和相关运行参数的实时测定为污水处理厂的稳定运行可提供准确及时的数据信息。

2.2 水质预警理论研究

预警思想古已有之，预警一词最早出现于军事领域。通常意义上，预警就是事先发出警告，提示人们注意本系统在运行中即将出现的不均衡状态、突变事件和无序结构，以便及时采取措施，将系统推进到一个新的结构状态。预警是监测的目标之一，是监测结果的一种反映形式^[22]。

对环境而言，预警是指对环境进行定性、定量分析并确定其变化趋势、速度及质量状态变化的动态过程，而后做出预测和报警，并采取相应对策。在社会生活中，预警有着广泛的应用。如天气预报，就是根据天气变化的各种变化信号，采用科学的监测手段和仪器，收集预警信号，并据此发布预报。

我国的预警理论研究最初是从经济循环波动问题入手的，起始于 20 世纪 80 年代中期，到了 20 世纪 90 年代，经济预警的应用领域进一步拓展，不仅在宏观经济领域，而且在微观经济领域也得到了广泛应用^[23]。从水资源方面来讲，目前评价的理论和方法都比较成熟，在水质管理及其他领域得到了很好的应用。近年来对预测的方法和模型进行的研究有很大的进展，但其成熟程度仍不太理想。预警则是对前两阶段研究结果的基础上，对预测值也即未来的变化趋势区分其好坏，使管理决策者能够非常直观地对预测值进行判断与选择，最终实现预警的目

的——安全管理。我国对环境预警的研究尚处于探索阶段，理论和方法均处于起步阶段^[3]。

2.2.1 水质预警含义与特点

2.2.1.1 水质安全预警含义

水质安全系统预警概括的说就是对水质偏离期望状态的预测和警示，这主要包括水安全系统现状评估、变化趋势预测、调控方案三部分^[4]。

(1) 水安全评估系统

准确恰当地反映水环境系统的现状是预警的基础。对某一水环境系统进行水安全状况具体评价时，可采用指标体系的方法。

(2) 预测未来水安全状态的变化趋势

预测未来水安全状态变化趋势是根据未来某一时期内，系统内部各要素变化情况进行水安全程度的预测，并根据结果决定是否发出警示。水安全系统预警应该在水安全系统功能失衡，或可能发生重大转折之前，及时发出信息，起预报警示作用^[24]。系统功能失衡常常在系统某些指标的变化中先行暴露或反映出来，这类变量构成了水安全系统变化的晴雨表或指示器。这些反映系统变化的指标可以通过预测性评估，判断水安全体系是否存在问题。

(3) 水安全系统状态调控

对水安全系统的不正常状态提出及时干预的方案和措施、使水安全系统在未来可预警的时间段内保持正常状态是预警的最终目的。

2.2.1.2 水质预警特点

(1) 警情的突发性和累积性

水质发生异常所具有的突发性是由水资源系统自身性质决定的。开发利用水资源会打破系统平衡，如果控制不当，会造成这些系统的逆向演替。这种演替在时间上，表现从量变到质变的过程，包括渐变、突变、连续、间断、波动、周期、累积等各种演变形式；在空间上，则是系统内部各要素的消长、进退和更换、环境结构和功能变动、演化和重构、环境质量的进化或退化。

警情的累积性要求所进行的水资源开发利用预警分析能涵盖一定的时间、空间范围。而其突发性则要求重在警情的预报及尽早发现警兆并提供切实可行措施化解警情。

(2) 警兆的滞后性

由于警情的累积性特征，对自然资源开发产生后果的显露要相对滞后一段时

间,在警兆表现出来以后,警情就已具有严重的危害性了。因此,进行预警分析时,要相应地有一些先验性指标,才能保证预警系统的决策子系统能及时采取有效措施。

(3) 警源的复杂性

首先,由于水资源内部存在替代、共生、此消彼长等复杂的关系,即使是对某一种水的开发利用度进行预警分析,也必须考虑到它与其它水之间可能存在的种种联系。其次,水质预警分析不可能完全借助现成的经济核算指标来完成,还必须依靠一些新的指标,如生态经济效益、环境成本与效益、社会成本与效益等。有些指标,如环境成本与收益等含有部分不可或很难量化的内容。

再次,在考虑预警时,实际上是将当代人置于水资源的保管者的地位上,而不再是水资源的主宰者。这种主观地位上的变化会引起一些判断标准的变化,这些标准可能与区域、部门的纯经济发展预警产生冲突^[3]。

(4) 预警的集中性

预警的着眼点和目标不满足于一般的现状和分析,而突出其先觉性和警觉性。即预警主要是对负面环境影响及危害的预测上,并且集中在恶化过程,严重质量突变和恶化状态分析上,突出对其可能的危害做出警示。

(5) 预警的动态性

评价的取值一般是静态的、一次性的,结论亦是一次性的,而预测具有一定的动态性,但主要是预测演化方向。预警的取值是多维的,即对时间系列变化的预测或某一环境因子,可以做出恶化趋势、恶化状态、恶化速度等若干种预测。

(6) 预警的深刻性

评价——预测——预警——防控,预测是在评价的基础上进行的,而预警又是在一般评价的基础上实现的。预警的实现需要有评价和一般预测等大量工作作为基础,只有认识把握现状和演化趋势才能实现预警。预警阐明的环境问题对揭示环境本质及变化规律更为深刻、准确。可以说,预警研究的目的性、针对性更为集中、强烈,对环境的监督、管理作用更大,从而实现其警告、警示的作用。

2.2.2 水质预警分类

水质预警是一个多层次、多标准的应用系统,根据不同的分类标准,可有多种分类方法^[25]。

按警情发生状态分类,可分为渐变型预警;突发型预警。

按预警目的分类,可分为生态环境预警;生命健康预警;经济预警。

按预警的时空范围分类,可分为空间预警,也称状态预警;时间预警,也称趋势预警。

根据预警层次类型分类,可分为因子预警;子系统预警;大系统预警。

根据评价区域范围分类,可分为全区域(流域)预警;亚区域预警。

根据评价对象的状态及恶化趋势情况分类,可分为不良状态预警(包括重警预警和巨警预警),即对已处于恶化或对人类活动造成危害的生态环境做出预警,这与一般现状评价的警告相似;恶化趋势预警;恶化速度预警。

按预警的空间尺度分类,可分为全球预警;国家预警;省域预警;县域预警;某一部门的预警。

按预警的时间尺度分类,可以分为中长期预警,即在中长期,如10年甚至几十年范围内对水质进行预警;短期预警,即在短期,如1—5年内对水质进行预警。

根据预警的方式分类,可以分为指标预警,即采用预警指标对地下水水质水位进行预警;统计预警,即采用统计分析的方法对地下水水质水位进行预警;模型预警,即使用数学模型对水质进行预警。

2.2.3 水质预警内容结构

2.2.3.1 明确警义

明确警义是指确定研究对象即警素的划分。警素是构成警情的指标,也就是水质出现了什么异样情况。水质预警就是要将对水质产生影响的各要素变化过程中要出现的“危险点”或“危险区”做出预计,发出警报。这种“危险点”或“危险区”是水质发展过程中的一种极不正常的情况,在预警科学中被称为警素。

2.2.3.2 寻找警源

警源是导致警情的发生。警源可分为两类:内源(内因)与外源(外因),警情往往是内外因结合起作用的结果。内源是在自然背景条件下所产生的警源,是指自然界中一些容易发生异常变化而导致自然灾害并由此引发水环境警情的客观信息。外源是外部输入的警源,来系统以外的导致警情产生的根源,在本课题的情况下,主要是外源诱发警情。寻找警源是分析警兆的基础,也是排除警患的前提。

2.2.3.3 分析警兆

分辨警兆是预警工作的关键环节。警情产生于警源,警源经过一定的量变和质变过程,导致警情的爆发。警情在爆发前总会有一定的先兆即警兆出现。警兆与警情共生。因此预警不能停留在对警源的分析上,而应该对警兆作进一步的分析。警兆的确定既可以是定性的经验判断,也可以从警源分析入手。

2.2.3.4 预报警度

警度预报有两种方法：一是建立关于警素的普通模型，先作出预测，然后根据警限转化为警度。二是建立关于警素的警度模型，直接由警兆的警级预测警素的警度。在预报警度中，需要注意结合经验，这样可提高预警的可靠性。

警度的划分方法较多，一般多采用统计方法，按时间序列值的标准差划分预警区间。通常把警度划分为5个分类即无警、轻警、中警、重警和巨警，警度还可以采用灯号显示模型，可采用五灯制显示系统，即蓝灯、绿灯、黄灯、红灯和双红灯。这五种警度分别与警素指标的数量变化区间即警限(每警度级别相应上下限)相对应。因此，相应地有无警警限、轻警警限、中警警限、重警警限、巨警警限。这里无警警限的确定最为关键。测定警度的关键在于确定警限。警限也可以叫做临界值，是确定一个与预警指标相适应的合理测度，作为提出预测对象运行正常的衡量标准，并以此判别预测对象运行中是否出现警情以及其严重程度，当指标值超过警限之一时，警度将发生变化。

2.2.3.5 排除警患

排除警患是预警的最终目的。根据预报的警度来采取相应的措施，运用宏观调控工具，对有警情况及时采取适用措施。

2.2.4 水质评价、预测方法

(1) 水质评价

目前，用于水质综合评价的方法主要有单因子评价法、综合指数评价法、模糊综合评价法、神经网络评价法等。影响水环境的因素众多，且具不确定性，加之评价等级与环境质量等级之间的关系比较模糊，致使水环境质量评价结果存在一定程度的不确定性。

(2) 水质预测

水质指标的准确预测是预警的前提条件，水质的预测由预测模型实现。根据所依据理论基础的不同，水质预测模式大致可以归纳如表^[26]2-2。

表 2-2 水质预测方法比较

预测方法	理论基础	适用情形	数据资料	难易程度
数理统计	概率与数理统计原理	中、长期预测	要求有较丰富的数据资料	单因素简单多因素繁琐
灰色系统理论	灰色系统理论	中、短期预测	适用于资料不足的情形	简单
神经网络模型	神经网络原理	中、短期预测	要求有丰富的数据样本	已工具化、程序化
水质模拟模型	水质模拟模型原理	较小时间尺度	要求有较丰富的数据资料	较复杂
混沌理论	混沌理论	短期预测	要求有丰富的数据资料	复杂

第三章 原水水质分析

3.1 研究对象水厂概况

3.1.1 中水处理厂区域环境

天津空港物流加工区位于天津市东南部东丽区界内,用地西部为天津滨海国际机场,用地东北为集居住、商业、旅游于一体的东丽湖地区。规划用地四至范围:北至津汉公路,东至津歧公路延长线,西南至京津塘高速公路,规划总占地为55平方公里。空港物流区用地范围原隶属东丽区农垦局,区内主要以农田水面村庄为主,在区域中部为滨海高尔夫球场(占地约63公顷),另外还有少量的企事业及军事用地。由于该地区主要以农田水面村庄为主,因此,除企事业及军事用地有少量的市政设施以外,大部分地区无市政基础设施。

本课题研究对象——天津空港物流加工区西南中水处理厂工程,中水厂规模3万 m^3/d ,采用MBR工艺,占地约1.15公顷。其服务范围是空港物流加工区一期23.5平方公里范围内(西南部地区)的中水用户。天津空港物流加工区东南中水处理厂工程建设地点位于天津空港物流加工区一期用地区域中污水处理厂区内,项目选址在规划干道七以北、规划干道十四以东的地块内。

3.1.2 中水处理厂应用处理工艺流程概况

本工程中水处理工艺方案选择MBR处理工艺。MBR处理工艺的采用,是因为其可使中水回用工程建设费用和运行管理费用降至最低。MBR采用模块式设计,可根据中水回用水量变化和処理要求进行组合。这种模块式组合工艺在工程分期建设和运行管理方面具有非常大的灵活性。特别是在工程建设初期,建设资金比较紧张的情况下,这种灵活性显得尤为重要。

工艺流程如图3-1。

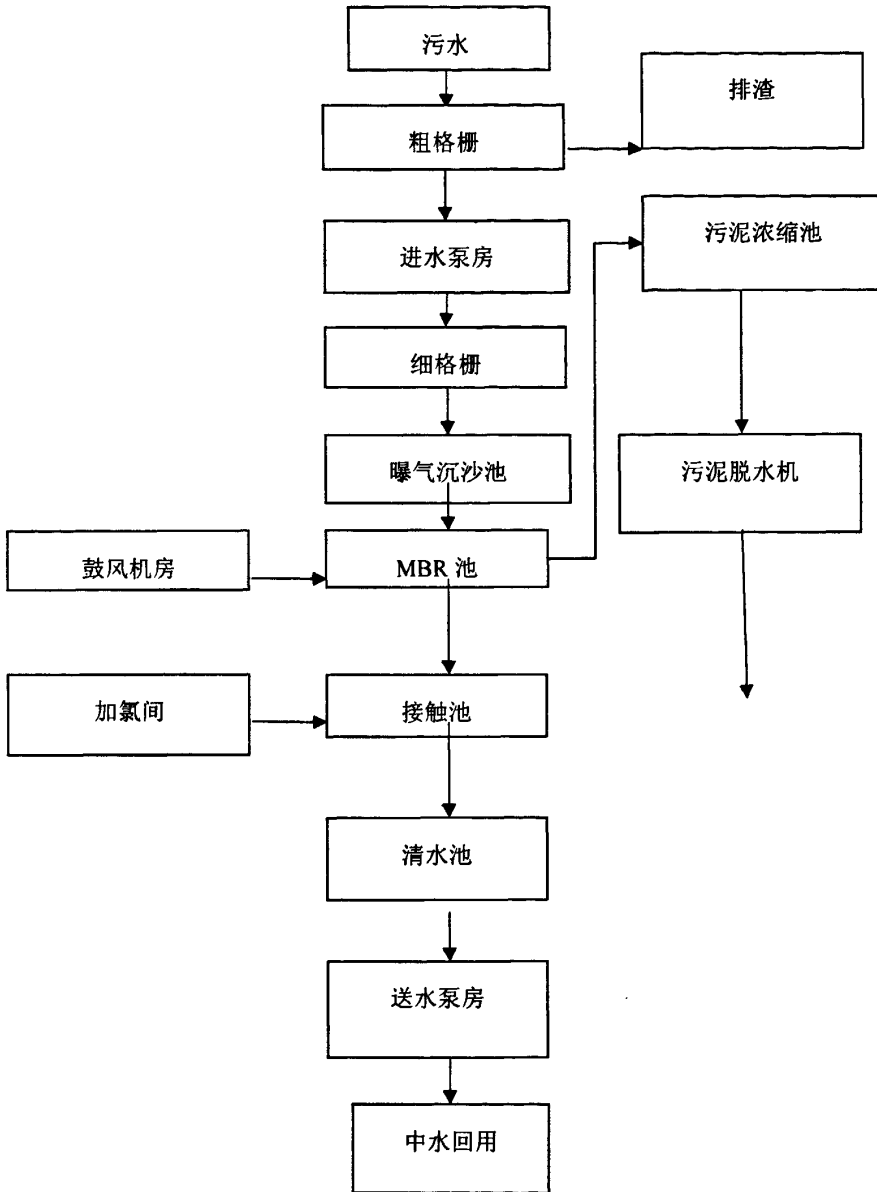


图 3-1 水处理工艺流程框图

3.1.3 中水处理厂接纳污水类型、性质，出水要求及用途

本课题水厂接纳污水为区域内市政污水，由区域内企业工厂排出的工业废水和生活污水混合组成。根据再生水回用目标和物流加工区回用水量预测，依照《天津空港物流加工区区域中水规划方案》规划依据，本中水处理厂工程的建设规模确定为 3 万 m³/d。

本工程再生水目前主要作为绿化和景观河道补充水回用，将来随着规划进一步实施，再生水将回用于园内绿化、道路喷洒、景观河道补充水和企业用水。根据国家《城市污水再生利用景观环境用水水质》(GB/T 18921-2002)规定的标准，对 TN、NH₃-N 和 TP 都有较严格的要求，如表 3-1。

表 3-1 设计进、出水水质指标设计标准

项目	原水	出水	
		水质	去除率
COD _{Cr}	400 (mg/L)	≤60 (mg/L)	≥85%
SS	220 (mg/L)	≤10 (mg/L)	≥95%
TP	4 (mg/L)	≤0.5 (mg/L)	≥87%
TN	45 (mg/L)	≤15 (mg/L)	≥67%
NH ₃ -N	30 (mg/L)	≤5 (mg/L)	≥83%
浊度		≤5 (NTU)	
pH		6.0—8.3	

3.2 研究对象水质监测及分析

3.2.1 原水水质监测指标及监测频率的选择

根据后续水处理出水水质要求及原水市政污水的水质特征，确定预警指标为：pH、SS、COD_{Cr}、TP、TN、NH₃-N。

由于区域规划、区域的经济构成、发展水平在不断的调整变化之中，其间有许多不确定的因素，又加上该加工区刚开始建设，缺乏有针对性的污水水质资料，使得获得进水水质的准确一手资料相当困难。本课题中，持续一年对原水水质的上述水质指标进行监测，监测频率为每周采样监测一次，其间配合 24 小时连续

监测，监测频率为每2小时采样监测一次，以此监测资料为依据分析该厂进水水质现状，并对其进行污水水质特点进行分析。

3.2.2 原水水质监测方法及仪器

水质监测中使用的分析方法依据国家环保局编著的《水和废水监测分析方法》(第四版)^[27]，各指标监测方法如表3-2。

表3-2 分析项目及分析方法一览表

检测指标	测定方法	分析方法依据来源
pH 值	METTLER TOLEDO DELTA 320pH 计	GB 6920-86
SS	重量法	GB 11901-89
化学需氧量 (COD _{Cr})	重铬酸钾法	GB 11914-89
氨氮	纳氏试剂分光光度法	GB 7479-87
总氮	过硫酸钾氧化-紫外分光光度法	GB 11894-89
总磷	过硫酸钾消解法-钼酸铵分光光度法	GB 11893-89

3.3 研究原水水质数据的收集和分析

3.3.1 原水水质采样监测及数据收集

数学模型是建立在大量历史观察数据基础之上的，数据的收集和整理往往关系到研究课题的进度甚至完成。本课题中，项目工程一直在进行中，因此缺乏水质资料的历史资料，水质数据资料由监测而得。课题研究区域内的居民生活废水与由企业排出的经处理、达到排放标准的工业废水混合，由地下管网系统汇总至空港东南中水处理厂进水口处。水样采集点设为本工业区市政污水进入处理厂处的管道口。采样监测工作从2007年11月7日持续至2008年12月5日(08年1月30日—08年3月13日除外)，监测频率为每周一次。另外，在08年4月29日10:00至08年4月30日8:00、08年6月7日10:00至08年6月8日8:00、08年9月2日10:00至08年9月3日进行了24小时连续监测，采样频率为每两小时一次。为了了解水质的变化关系，水质分析分为单个指标的水质分析和多个指标的相互分析。

水质指标监测数据见表3-3。

第三章 原水水质分析

表 3-3 水质指标数据表

指标/日期	pH	总氮 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)
2007-11-7	7.47	15.28	23.80	1.81	215.42	72
2007-11-14	8.00	27.16	31.22	6.48	143.65	36
2007-11-21		24.69	42.36	2.25	182.93	41
2007-11-30	7.34	30.53	24.12	7.49	160.00	292
2007-12-5	8.15	28.18	34.62	2.16	106.92	34
2007-12-12	8.04	24.24	29.91	2.33	220.18	40
2007-12-19	7.34	37.87	29.77	2.08	913.94	57
2007-12-26	7.74	33.59	27.67	2.17	162.96	40
2008-1-2	8.15	32.70	29.25	2.01	171.36	50
2008-1-9	8.17	30.54	22.46	2.09	206.04	62
2008-1-16	8.93	25.30	12.18	2.54	331.20	72
2008-3-23	8.00	51.83	50.18	2.89	268.00	51
2008-3-30	8.55		31.27	2.90	214.03	40
2008-4-13	8.30		31.53	3.06	206.73	48
2008-4-20			50.71	3.21	261.36	
2008-4-27	8.91		17.02	1.20	203.53	84
2008-5-3	8.69		19.83	3.30	246.49	94
2008-5-11	8.40	30.65	17.34	4.50	158.60	140
2008-5-18		29.32	14.05	4.70	367.35	294
2008-5-30	6.87	24.67	24.03	1.70	137.33	46
2008-6-6	6.78	12.57	10.37	1.96	148.15	38
2008-6-13	7.20	31.83	21.13	4.83	117.07	36
2008-6-20	7.32	34.48	8.29	4.67	126.83	
2008-6-27	6.90	11.57	8.21	3.93	187.60	
2008-7-3	6.81	14.99	8.43	5.22	148.39	78
2008-7-10	7.69	16.76	9.15	3.33	333.59	176
2008-7-17	7.52	12.54	8.61	1.32	169.82	68
2008-7-24	7.13	22.98	25.96	3.72	315.63	90
2008-7-31	7.29		23.91	5.90	438.46	76
2008-8-21	7.23	11.95	15.32	3.69	102.62	133

续表 3-3 水质指标数据表

指标/日期	pH	总氮 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)
2008-8-28	7.07	15.37	8.39	4.59	436.23	96
2008-9-5	7.01	26.23	12.28	3.26	263.15	47
2008-9-12	6.99	16.70	9.33	1.79	196.76	81
2008-9-19	7.20	17.44	12.60	4.20	305.20	107
2008-9-25	7.14	20.09	15.67	3.18	264.39	137
2008-10-2	7.33	35.84	26.40	1.97	429.10	90
2008-10-10	6.97	43.62	19.89	2.68	368.72	78
2008-10-17	7.19	42.06	26.31	2.50	199.39	129
2008-10-24	7.89	25.29	22.06	4.62	305.66	109
2008-10-30	7.92	53.61	35.76	4.19	120.30	63
2008-11-6	7.34	27.48	21.33	3.75	200.27	77
2008-11-14	7.09	33.02	18.29	2.11	349.55	112
2008-11-21	8.22	23.93	19.53	5.20	276.02	59
2008-11-28	7.09	40.52	28.66	1.91	356.17	110
2008-12-5	7.60	29.69	17.04	2.30	422.31	139

3.3.2 原水水质分析

本课题研究原水系排入设有污水处理厂的排水系统中的市政污水,按污水综合排放标准 GB8978-1996 要求,排入设置污水处理厂的排水系统的污水执行三级标准,对污水排放的相关指标值要求^[28]如表 3-4。

(1) 基础数据单指标分析

污水水质单指标年监测结果如图 3-4~图 3-9 所示。

根据长期常规监测结果可以看出,其原水水质指标中,pH、SS 值完全达到排放标准,见表 3-4,无任何超标记录。氨氮、COD 指标状态不稳定且常有超出三级标准甚至严重超标的情况。可见,本研究对象水体的主要污染物为有机类化合物,同时,也应该把此类项目放在预警的重要位置上。GB8978-1996 的三级排放标准可作为污水水质异常预警的一个警线划定依据,用于判断区域内排污单位超标排污的可能性。

大多市政污水具有生活污水的特征,但不同区域,因工业废水量的比例和性

质的不同，市政污水的水质特征会发生明显的变化。典型的生活污水水质变化范围见表^[29]3-5。

在图 3-4~图 3-9 中，将各水质指标所有数据升序排列，去除一定比例的最大值和最小值，可得一定几率的水平值，见表 3-6。

表 3-6 中的数据与一般生活污水的一些水质资料（表 3-5）对比可知：本课题中水厂原污水中虽然有工业废水的纳入，但其水质特征基本倾向生活污水，且属于中等浓度范围。其中 TP 水平值甚至属于低浓度生活污水水平，其原因分析认为工业废水中含有的生活污水特征污染物浓度较小。

从总体上看，水质变化呈不规律紊动状态，各指标浓度随时间变化幅度见表 3-7。

表 3-4 相关水质指标及其排放要求归纳表

指标/标准	一级	二级	三级
pH	6-9	6-9	6-9
SS	70	150	400
氨氮 (mg/L)	15	25	—
COD (mg/L)	100	150	500

表 3-5 生活污水典型指标值

指标	浓度 (mg/L)		
	低	中	高
SS	100	220	350
总磷	4	8	15
总氮	20	40	85
化学需氧量 COD	250	400	1000

表 3-6 监测指标水平值

指标	去除比例 (%)	几率%	水平值
pH	5	90	6.8-8.7
	10	80	6.97-8.5
	15	70	7-8.2
SS (mg/L)	5	90	36-176
	10	80	40-139
	15	70	40-133
总氮 (mg/L)	5	90	12.54-51
	10	80	14.99-40.52
	15	70	15.3-37.8
氨氮 (mg/L)	5	90	8.3-50
	10	80	8.61-31.53
	15	70	9.3-31.3
总磷 (mg/L)	5	90	1.4-5.8
	10	80	1.81-4.83
	15	70	1.96-4.7
CODcr (mg/L)	5	90	107-437
	10	80	126-368
	15	70	144-367

表 3-7 水质变化幅度表

指标	最大值 (mg/L)	最小值 (mg/L)	相差倍数
SS	294	34	约 9
CODcr	913.94	102.62	约 9
总氮	53.61	11.57	约 5
氨氮	50.71	8.21	约 6
总磷	7.49	1.2	约 6

COD、SS 幅度较大且可达到较高浓度，显然这是工业废水排入的后果。在污染源调查中，可以肯定区域内的企业工厂以纺织、食品加工企业为主，且 COD

为两类企业的废水的重要污染物之一，且都具有变化范围大的特点^[30-33]。

pH 稳定在 6.5-9 范围内，不随时间季节的改变而发生较大波动，这也是在生物处理时 pH 的要求范围即 6-9 之内的，这对后继的污水处理是有益的。从目前的水质监测数据来看，工业废水的排放对 pH 也没有冲击作用。

如图 3-4~图 3-9，从水质情况总体走向来看，冬季、夏季水质情况相对较好，而春秋两季都有明显的水质恶化趋势。这种水质季节性的变化趋势，可能与区域内企业厂矿的生产周期和人们季节性用水量变化有关。

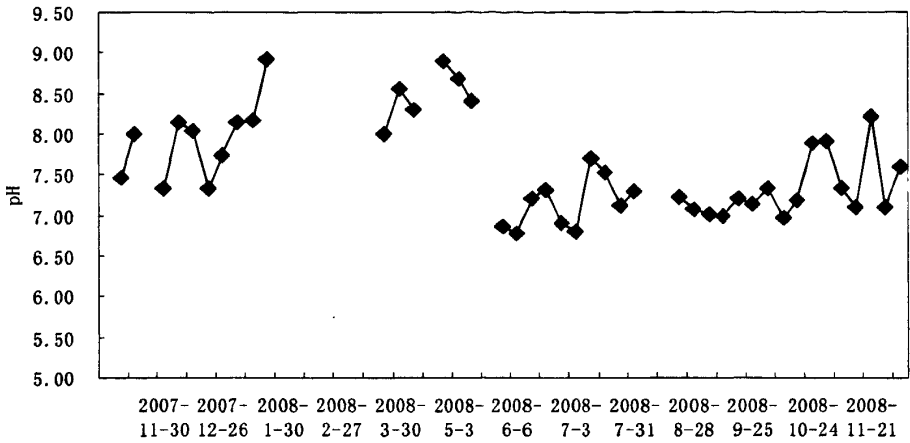


图 3-4 原水 pH 年变化曲线

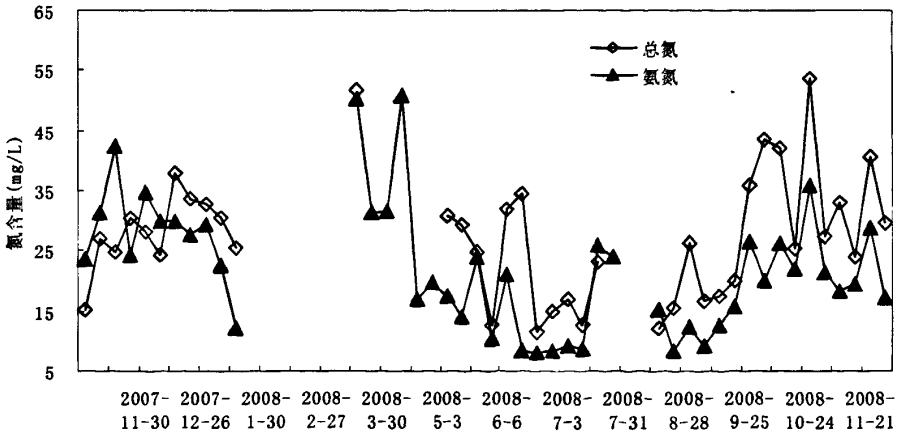


图 3-5 原水含氮量年变化曲线

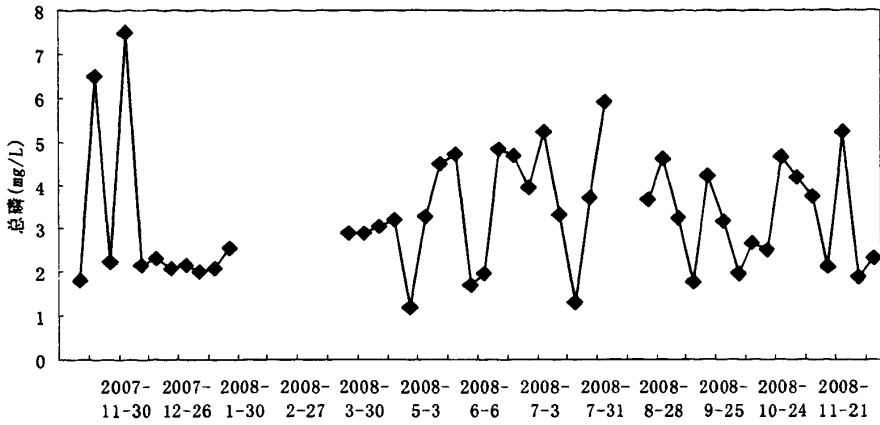


图 3-6 原水总磷年变化曲线

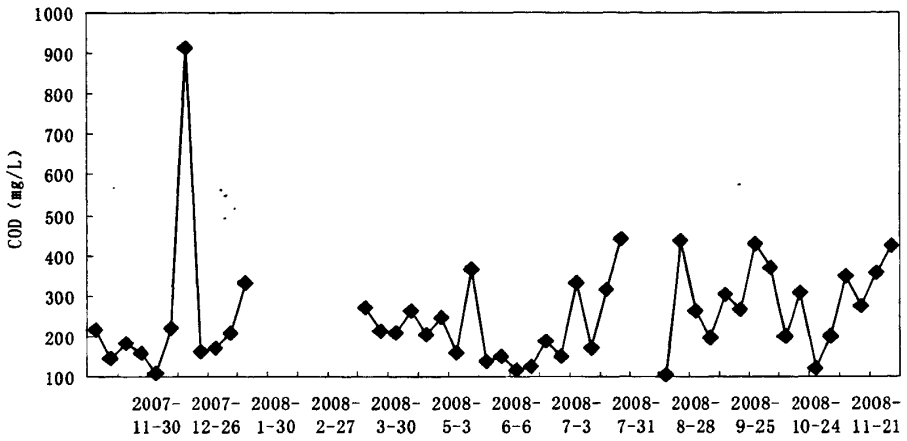


图 3-7 原水 COD 年变化曲线

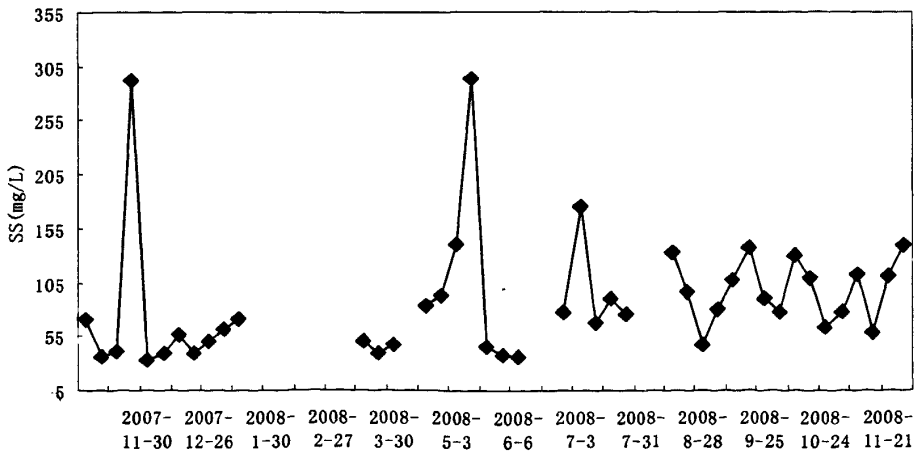


图 3-8 原水 SS 含量年变化曲线

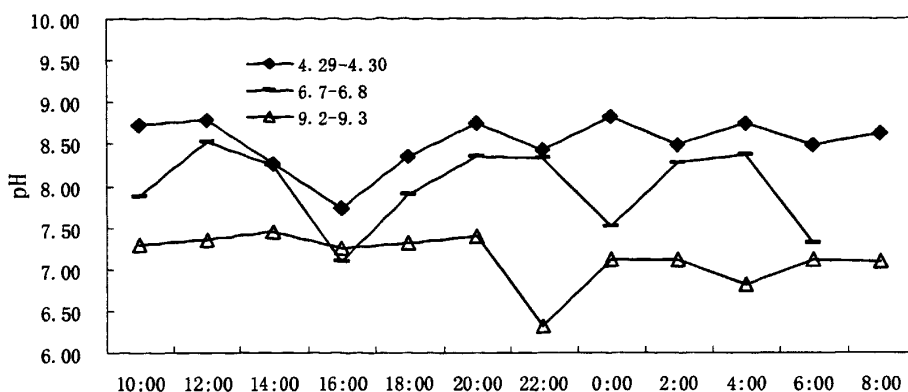


图 3-9 原水 pH24h 变化曲线

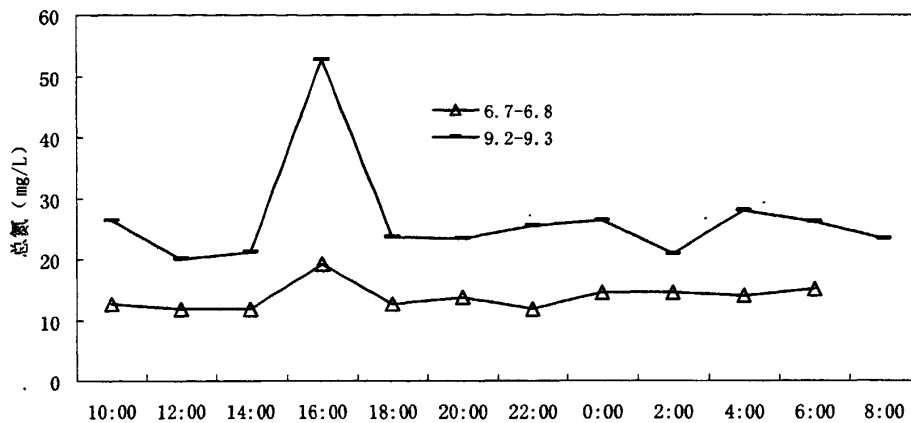


图 3-10 原水总氮含量 24h 变化曲线

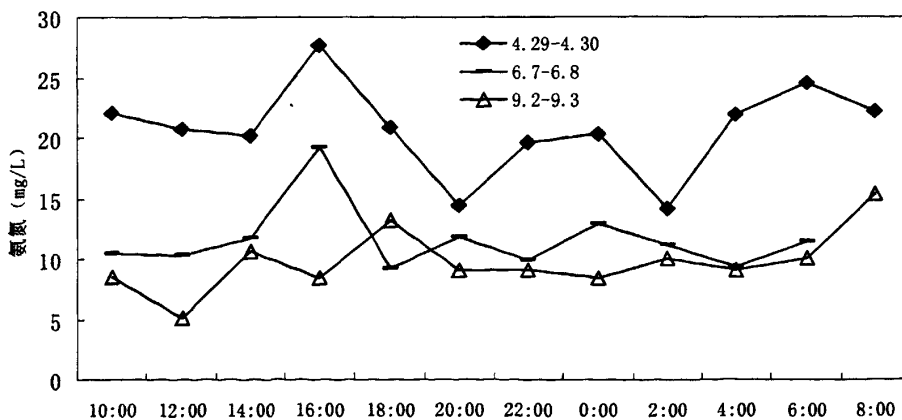


图 3-11 原水氨氮含量 24h 变化曲线

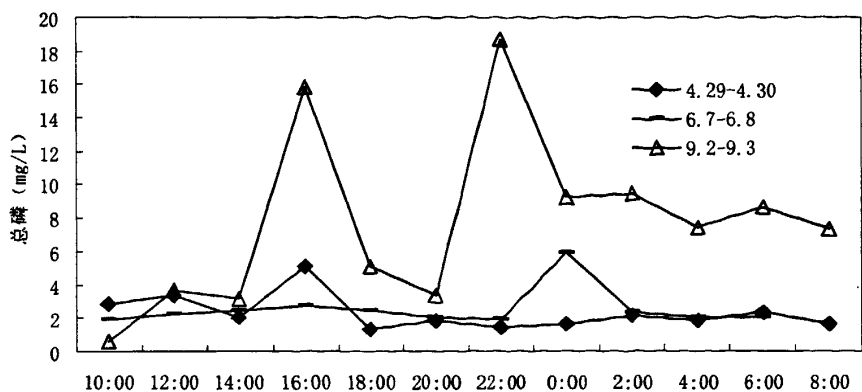


图 3-12 原水总磷 24h 变化曲线

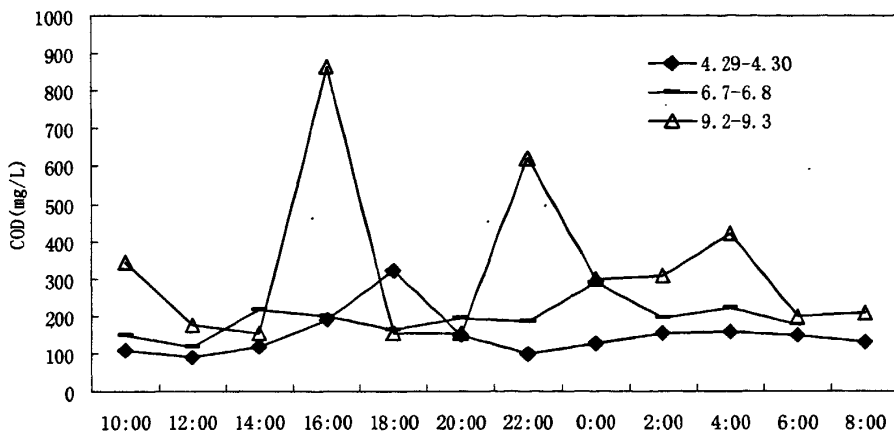


图 3-13 原水 COD_{Cr} 24h 变化曲线

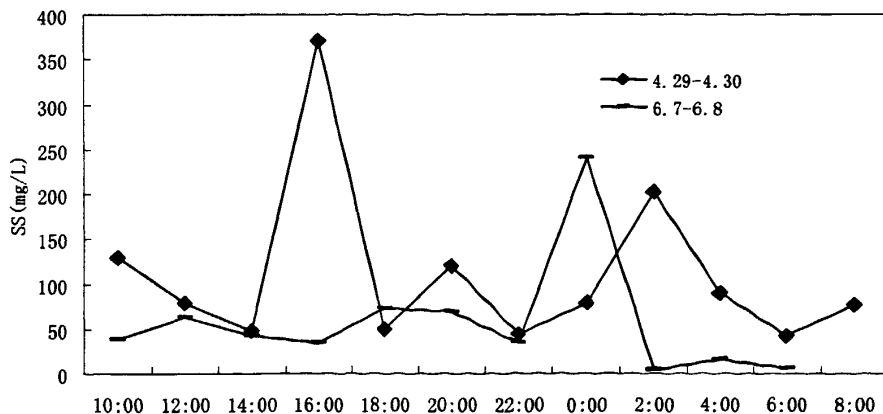


图 3-14 原水 SS 含量 24h 变化曲线

24 小时连续监测结果如图 3-9~图 3-14 所示。

在 24h 变化规律中，在 16:00 这点上可以看到氮磷含量，COD，SS 值有明显异常，有突然升高的现象，而与此同时，pH 值稍有下降趋势。造成这种现象的原因可能是区域内工厂企业的废水集中排放造成的。另外，在 22:00 左右又出现 COD、总磷含量的突然升高，而这一现象应该是由晚生活用水高峰引起的，磷含量的增高恰好可以说明这一点。

由于区域内建设尚未完成及其他原因，区域内企业运行情况并不能详尽调研，且无历史监测资料可以获得。所以，对区域内水质特征、变化规律的认识是建立在一年的监测资料之上的，这并不能使我们从根本上掌握所研究水体水质特点，但也不会妨碍我们对所研究水体的大体把握，且采样、检测过程的严谨进行为获得准确的数据资料提供了保障。

(2) 基础数据多指标对比分析

多个指标的比较分析中，主要有三种比较方式，将各次实验的数据按时间排列并编号，监测实验 40 次左右，以次数为自变量，指标为因变量作图；以一个指标为自变量，另一个指标为因变量作图；以一个指标为自变量，另一个指标与其比值为因变量作图。

1) 总氮与氨氮

氮含量的比较分析如图 3-15~图 3-17。

图 3-15 反映了 TN 与氨氮含量相对变化的情况。图中总氮含量除极值外，其他部分变化比较平缓，波动范围为 15-40mg/L，与生活污水总氮浓度特征相似。图 3-16、图 3-17 反映 TN 与 NH₃-N 相对含量的变化，由图 3-16 可以看到，TN 与 NH₃-N 含量变动大致一致，NH₃-N 较高时，一般 TN 含量也较高，也就是说工业废水对总氮（主要以硝酸盐形式）的贡献是比较低的，TN 主要来自于生活污水。由图 3-17 可知，总氮氨氮比值一般情况下较为稳定，偶尔出现极大值，可能与工业废水偶尔超标排放产生相当含量的硝酸盐有关，同时也和氧化作用有关，工业废水中的氧化物和污水在管道中的时间停留都会对使氧化反应发生。

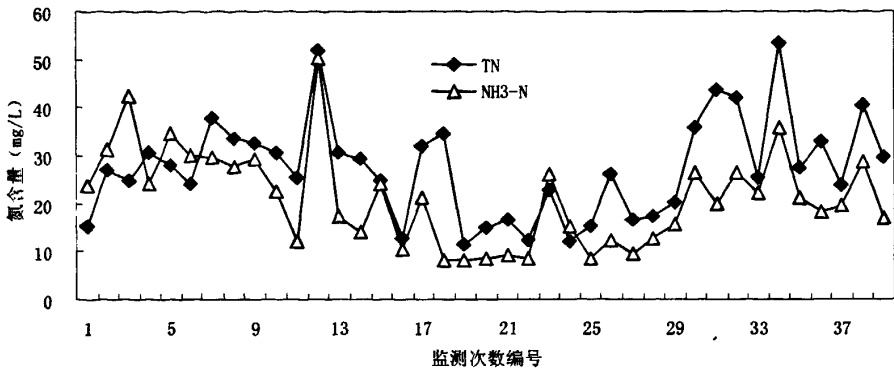


图 3-15 TN, NH₃-N 对比变化曲线

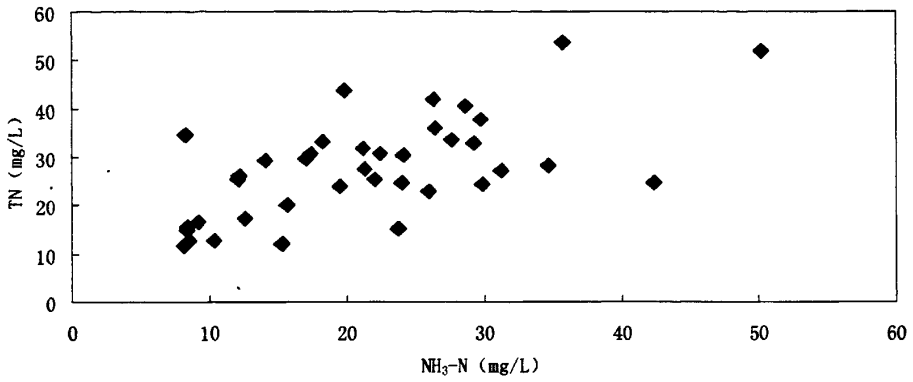


图 3-16 TN 值相对 NH₃-N 值变化

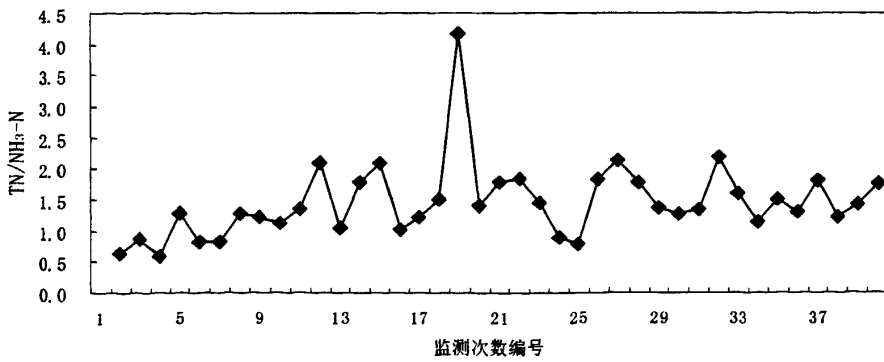


图 3-17 TN/NH₃-N 值变化曲线

2) 总氮和总磷

氮磷含量比较分析如图 3-18~图 3-20。

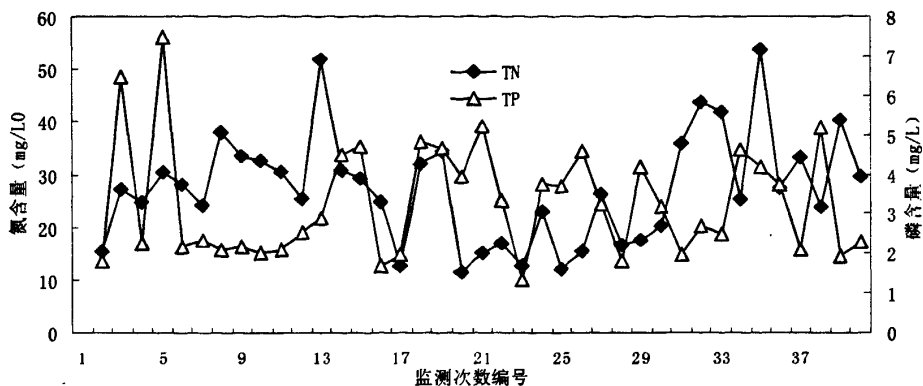


图 3-18 TN、TP 对比变化曲线

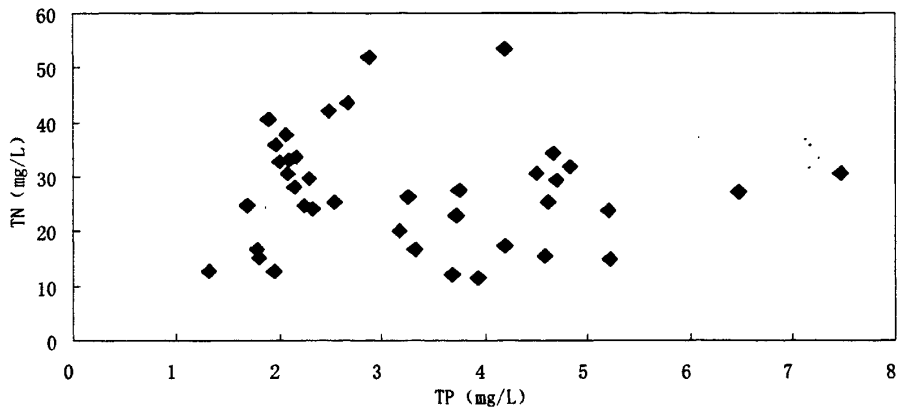


图 3-19 TN 值相对 TP 值变化

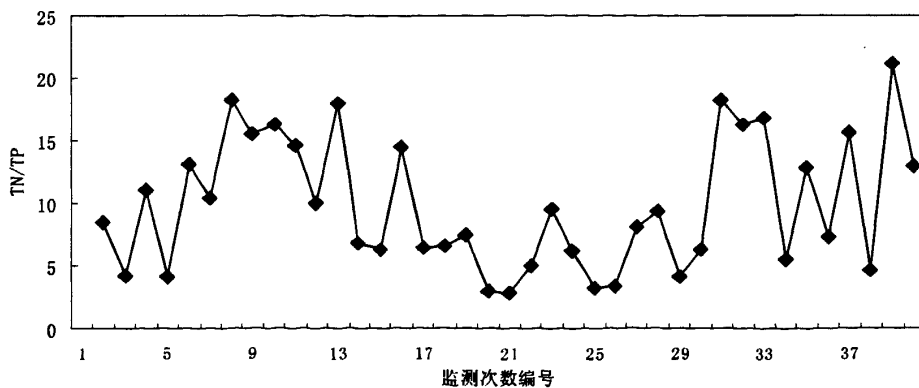


图 3-20 TN/TP 比值变化曲线

由图 3-18 反映了总磷与总氮的年变化情况。氮磷量变化鲜有一致。由图 3-19 也可以看到，一般情况下，磷含量低时，氮含量较高，磷含量较高时，氮含量反而相对较低，分析可能由工业废水和生活污水的排放时间不同造成。

图 3-20 反应了 TP 与 TN 值的相对情况，变化较大。生物处理时的营养比例为 N: P=5: 1。中水处理厂原水中 TN 与 TP 的比例在大多数时间里都是偏大的，在污水处理中应注意 TN 的过剩。

3) 化学需氧量 COD 与 SS

COD 与 SS 的比较分析如图 3-21，图 3-22。

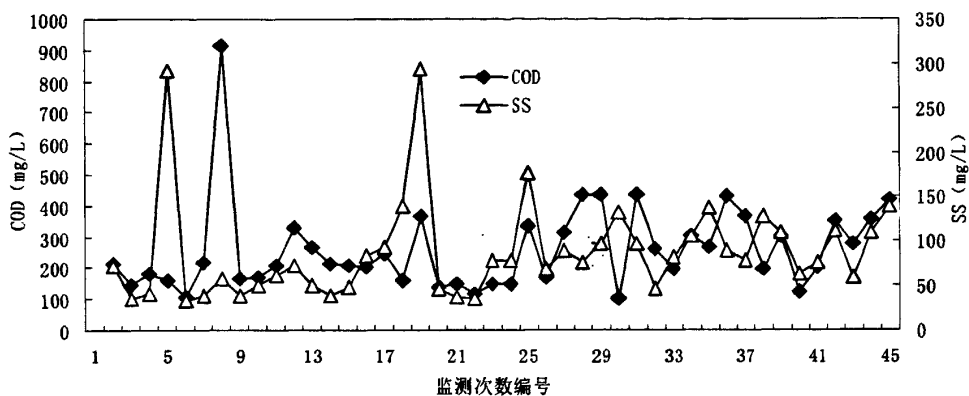


图 3-21 COD、SS 对比变化曲线

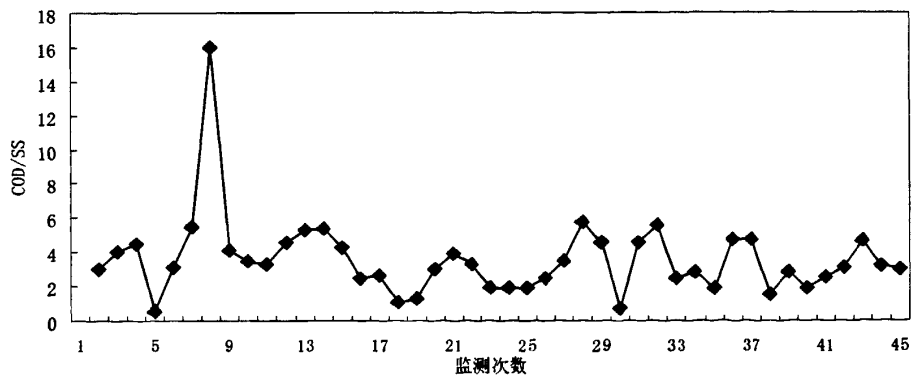


图 3-22 COD/SS 比值变化图

图 3-21 和图 3-22 反映了 SS 与 COD 的变化情况。年变化情况两者有一定的相关性。

在比值变化中,在大多数情况下,COD 含量偏大时,比值较大,COD 含量偏小时,比值较小。这表明 COD 含量较大时,主要是溶解性有机物,表明纺织类、食品加工类等工业废水的排放对 COD 含量的变化有很大影响。

(3) 水质数据概率统计分析

水质指标的数据,可认为是大量的随机样本。将实测的水质数据分别按水质指标类别由小到大排列,并统计其达到各实测数值的累积个数,按 $P = n/n_{\max} + 1$ 计算小于等于某一浓度出现的频率,其中, n_{\max} 表示实测水质指标数值的总计个数。 n 表示某一浓度值的累积个数。

如果样本具正态分布的性质,则这些实测水质指标数据经过适当的变化,可渐进地遵从标准正态分布^{[34][35]}。标准正态分布的分布函数为:

$$P_N(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (3-1)$$

式中 x ——实数;

$P_N(x)$ ——标准正态分布的分布函数,即随机变量 δ 不超过实数 x 的概率 $P_N(\delta \leq x)$ 。

转化标准正态分布的计算方法为:

$$x^* = (x - \mu) / \sigma \quad (3-2)$$

$$P_N^*(x) = n / n_{\max} \quad (3-3)$$

式中 x ——实测水质指标的值;

x^* ——变换为标准正态分布的实测水质指标指数值;

μ ——实测水质指标数值的平均值;

σ ——实测水质指标数值的标准差;

P_N^* ——利用实测数据累计个数渐进拟合的标准正态分布的分布函数;

n_{\max} ——实测水质指标数值的总计个数。

污水水质指标的实测数据的准确性和数量是整个概率分析的基础,应该尽量采用比较准确的数据,数量则越多越好,一般不宜少于 30 个^[36]。本课题数据资料满足这一条件。

原水水质实测数据与标准正态分布性质分析如图 3-23~图 3-28。

原水水质指标中, pH、总氮、氨氮、总磷、COD 的实测数值经过最佳逼近后,接近正态分布。而 SS 实测数值的最佳逼近值与标准正态分布拟合效果较差,这与工业废水的排放情况密切相关。本课题污水处理厂的进水水质基本符合正态

分布规律，即符合一般城市生活污水特性^[35-38]，这与前述观点一致即本课题研究原污水虽然为 70%工业废水和 30%生活污水混合组成，但基本符合一般生活污水水质特征规律，这主要因为，规划区域内虽然现主要设有食品加工厂，纺织印染厂等，还有不同类型企业工厂在陆续建设运行中，但对各工业企业的污水排放有严格管理。工业废水接入规划区域排水系统的水质按有关标准执行。特别是对含重金属和有毒有害物质的工业废水，必须在车间排放口达到国家规定的排放标准要求（《污水综合排放标准 GB8978-1996》）。

因此，本课题研究污水性质与一般城市污水特征相似，可视为生活污水进行处理。

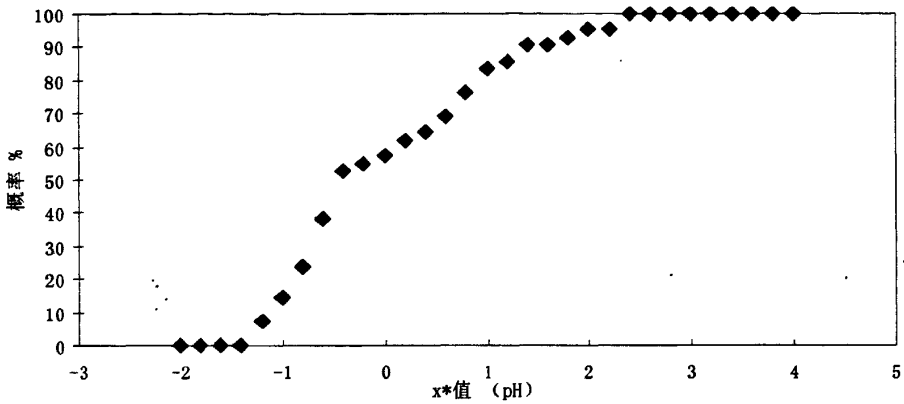


图 3-23 进水水质 pH 数据正态分布

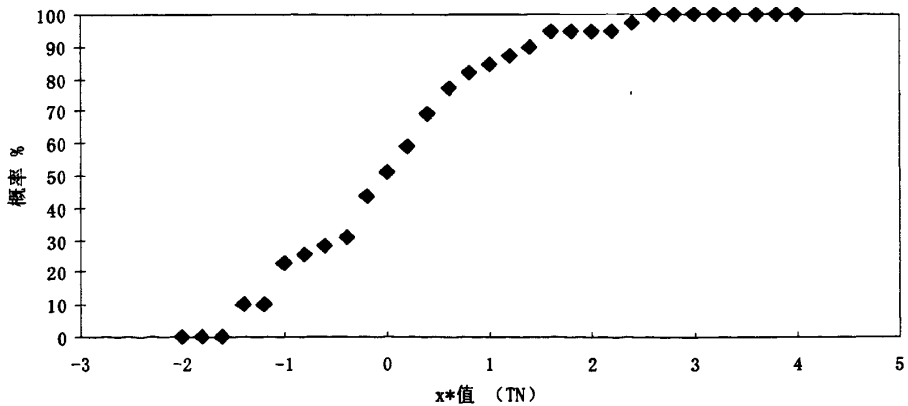


图 3-24 进水水质 TN 数据正态分布

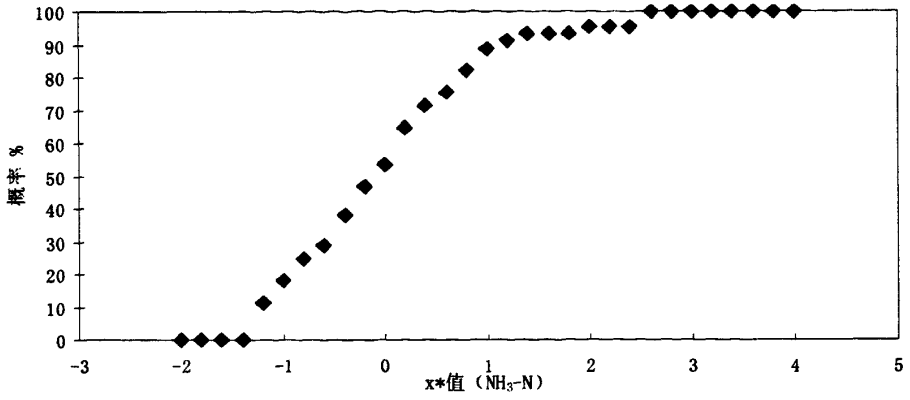


图 3-25 进水水质 NH₃-N 数据正态分布

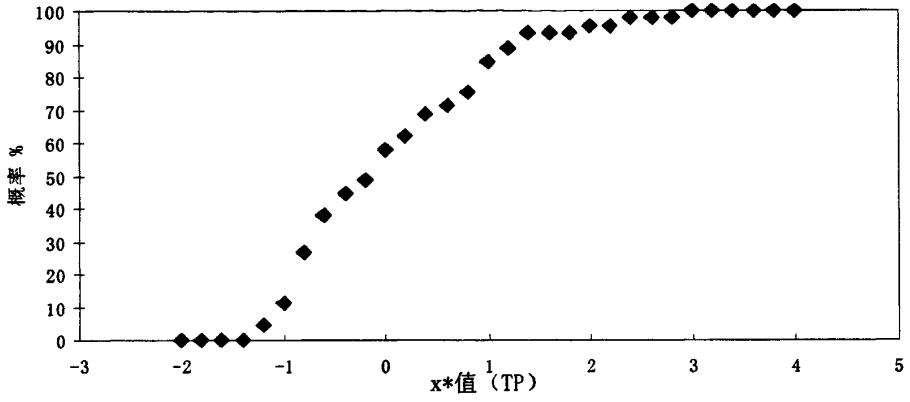


图 3-26 进水水质 TP 数据正态分布

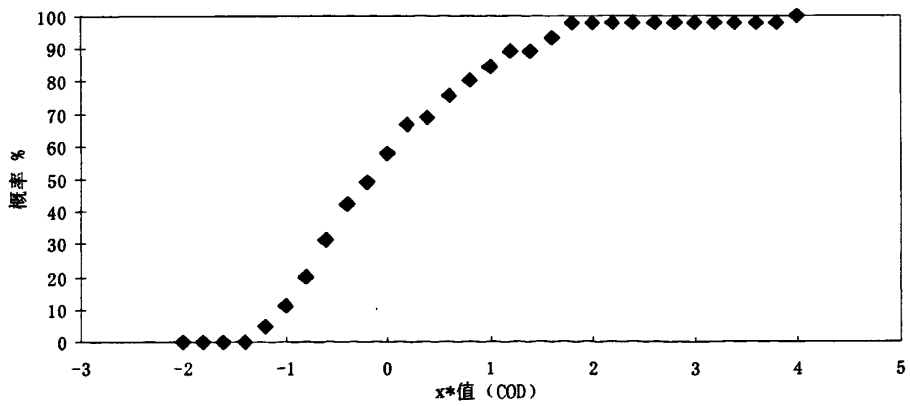


图 3-27 进水水质 COD 数据正态分布

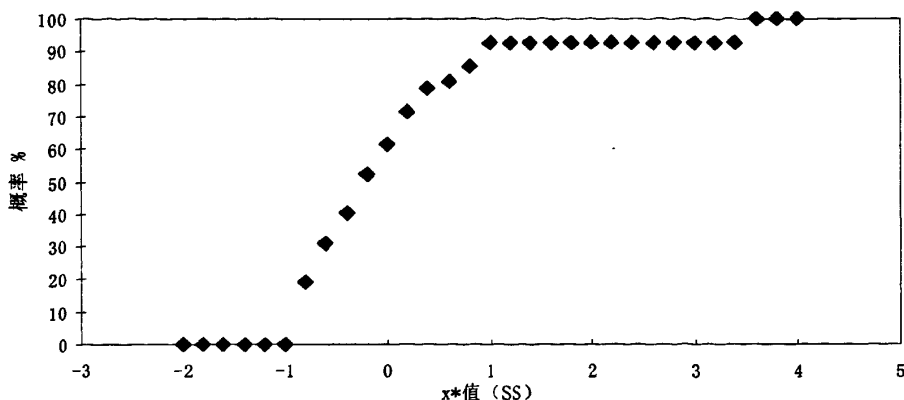


图 3-28 进水水质 SS 数据正态分布

综上，本课题原水水质特征倾向于一般生活污水的水质，原水污染物浓度大部分是在一定范围内波动变化的。本文拟定以 $P=70\%$ 所对应浓度来描述这个范围，此范围可代表以对水厂进水水质一年监测数据为基础对污水厂进水水质正常的波动范围。水质指标主要统计数据见表 3-8。

表 3-8 水质指标统计分析数据表

	pH	总氮 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	COD (mg/L)	SS(mg/L)
平均值	7.59	27.36	22.14	3.28	254.65	88.62
标准差	0.59	10.31	10.41	1.41	137.05	57.22
最大值	8.93	53.61	50.71	7.49	913.94	294.00
最小值	6.78	11.57	8.21	1.20	102.62	34.00
保证率 70% 对应浓度	7-8	≤ 31	≤ 26	≤ 3.8	≤ 300	≤ 100

本文拟定保证率为 70% 时所对应水质指标值界定为水质动态变化的一般状态，超出这一范围时，可能由排污单位排污状态、水量等因素的变化所导致，此时，应密切注意水质走向，防范水质的剧烈变化而引起的不良变化，如超出污水处理工艺的设计范围、导致出水水质恶化。

这一范围的界定为以后对水质异常情况的预警提供了一定依据。

值得注意的是，此次所得统计分析结果，分析样本量较少，大致由 40 个样本统计而得。要得到更加准确的水质特征情况，使水质正常范围的界定得到更充分的依据，应加大监测力度，得到大量的水质监测数据。这一工作，将在水质在

线监测系统安装调试并正常运转的情况下得到很好的完善。

另外，研究区域内企业工厂还在陆续的建设或投入生产中，排污水质、水量情况还将不断变化。所以，水质实测资料的概率统计分析应随着这些变化不断调整，得以把握适合实际污水水质特征和污染物浓度浮动范围随之发生的变化，保证水安全预警系统的适用性、可靠性。

第四章 空港中水处理厂原水水质预警系统理论研究

4.1 预警目的确立及指标选择

4.1.1 预警目的研究

本课题建立的中水处理厂原水水质监测、安全与警系统旨在掌握原污水水质动态特征、保证水厂出水水质达到回用标准并保障水处理工艺的正常运行。

本课题主要实现以下两方面的预警要求：

(1) 预报并预警原污水水质波动异常情况

如前所述，原污水水质的变化基本在一定范围内波动，对此范围的偏离意味着不同程度的水质异常或污水排放未达到污水排放三级标准。它可由气象条件、排污单位排放情况、用水量变化等因素导致。

(2) 预报并预警出水水质恶化或出水水质未达标情况

原水中污染物的浓度与处理后的剩余污染物浓度相关联，原水中超负荷的污染物质必然导致处理后出水水质的恶化。防范和避免这种情况的发生是课题的主要研究任务。

4.1.2 预警指标的选择

由污水综合排放标准 GB8978-1996 相关要求及项目进出水水质要求，确定 pH、SS、总氮、氨氮、总磷和 COD 作为预警水质指标。

pH 微生物处理工艺对 pH 变动范围有一定要求，pH 值的异常会导致后续微生物处理工艺处理效果下降甚至失灵。

悬浮物 SS 在污水中呈颗粒状的污染物质，代表了可以沉淀、混凝沉淀或过滤等物化方法去除的污染物，也是影响感观性状的水质指标。

总氮 TN 水中有机氮、氨氮和总氧化氮的总合，是废水处理的重要控制指标。

氨氮 NH₃-N 主要来源于人和动物的排泄物，是生活污水中典型性水质指标。

总磷 TP 污水中各类无机磷的总合。与总氮类似是废水处理的另一个重要控制指标。

化学需氧量 COD 尽管 BOD 是城市污水中常用的有机物污染浓度，但是存在着分析上的缺陷：5 天的测定时间太长难以指导实践；污水中难生物降解的物

质高时 BOD，测定误差较大；工业废水中含有抑制微生物生长的物质，影响测定结果。因此有必要采用 COD 这一指标作为补充和替代。COD 可以更加精确地表示出污水中有机物的含量，并且测定的时间短不受水质的限制。城市污水的 BOD₅ 和 COD 之间保持着定的相关系数，通过大量的数据对比，可以近时似地从 COD 推求出 BOD。

本课题的预警不同于其他水质预警的多指标评价体系，而是单指标、一维时间序列的预警。

4.2 原水水质的预测

4.2.1 预测方法原理

4.2.1.1 BP 神经网络的水质预测模型

人工神经网络(简称 ANN)是一种由大量简单的人工神经元广泛连接而成的，用于模拟人脑神经网络的复杂网络系统，具有较强的自适应能力。人工神经网络模型也具有较强非线性动态处理能力，可以实现高度的非线性映射，从而在谱图分析，混合物定量分析，化合物结构和性能分析等多个化学化工领域中得到了成功应用^[40-42]。近年来，BP 神经网络原理也在水质预测领域亦得到多方面的应用。

BP 神经网络通常是指基于误差反向传播算法的多层前向神经网络，BP 算法已经成为目前最为广泛的神经网络学习算法，据统计有近 90% 的神经网络应用是基于 BP 算法的^[43]。由于 BP 网络的神经元采用的传递函数通常为 sigmoid 型可微函数，所以可以实现输入和输出间的任意非线性映射，从而使得它在诸如函数逼近、模式识别、数据压缩等领域有着更加广泛的应用^[43-48]。

BP 神经网络是模拟人的神经系统结构，由许多并行的神经元组成的具有学习能力、记忆能力、计算能力和智能处理能力的非线性自适应的动态系统。如图 4-1，它一般由一个输入层、若干个隐层和一个输出层构成，每层具有多个神经元，相邻两层节点之间单方向相互连接，隐含层和输出节点的输入是前一层节点的输出的加权和。

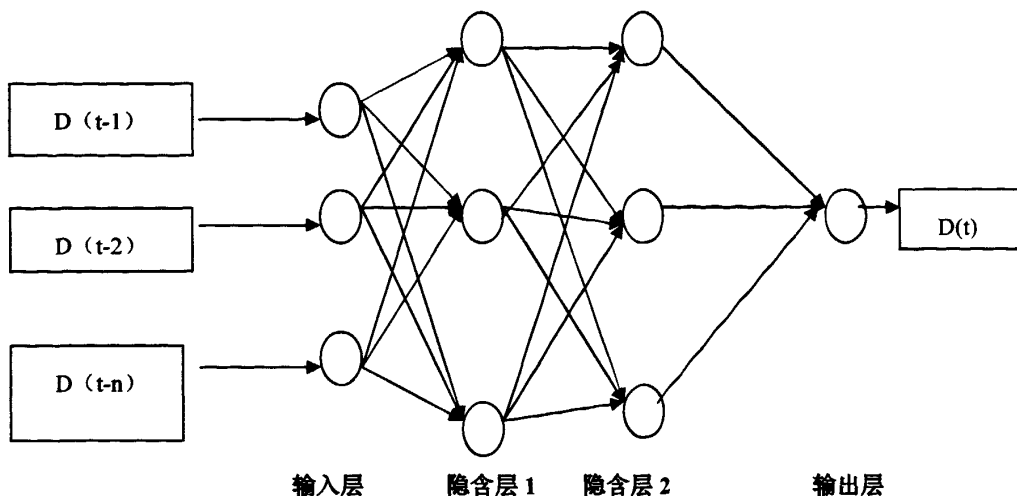


图 4-1 神经网络模型结构

BP 反向传播神经网络的学习过程主要由四部分组成：

- (1) 输入模式顺传播：输入模式由输入层经中间层传播计算；
- (2) 输出误差逆传播：输出的误差由输出层传向输入层；
- (3) 循环记忆训练：模式顺传播与误差逆传播的计算过程反复交替循环进行；
- (4) 学习结果判别：规定全局误差是否趋向极小值。

BP 反向传播神经网络算法过程步骤可以简单描述如下：

- (1) 权值和阈值初始化，随机地给出全部权值和神经元阈值赋以初始值，同时，计数器置零： $t=0$ 。
- (2) 给出训练样本值，即给定输入 $x_i (i=1,2,\dots,n)$ 和目标输出 $y_k (k=1,2,\dots,l)$ 。
- (3) 计算神经网络前向传播信号。对于具有 n 个节点的输入层， m 个节点的隐含层和 1 个节点输出的三层网络而言，输入/隐含层中的隐含层节点输出是：

$$Z_j = f(\sum_{i=1}^n W_{ij}^1 X_i) \quad j=1,2,\dots,m \quad (4-1)$$

而隐含层/输出层中的输出节点是

$$y_k = f(\sum_{j=1}^m W_{jk}^2 Z_j) \quad k=1,2,\dots,l \quad (4-2)$$

式中 w_{ij}^1, w_{jk}^2 ——输入/隐含层、隐含层/输出层的网络权值；

w_{0j}^1, w_{0k}^2 ——阈值的连接权值，且 $x_0=1, z_0=1$ 为直接阈值。

另外节点作用函数式为 S 型函数，

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-s}} \quad (4-3)$$

(4) 修正权值。从输出层开始，将误差信号沿连接通路反向传播，以修正权值，即是

$$W_{ij}^1(t+1) = W_{ij}^1(t) + \theta^1 \delta_{Rj}^1 X_i \quad (4-4)$$

$$W_{ij}^2(t+1) = W_{jk}^2(t) + \theta^2 \delta_{Rj}^2 Z_j \quad (4-5)$$

式中 θ^1 、 θ^2 ——学习系数；

δ_{pj}^1 、 δ_{pj}^2 ——误差项；

x_i 、 z_j ——输入层和隐含层的值。

如果为输出层节点，则

$$\delta_{pk}^2 = y_k(1 - y_k)(y_k^0 - y_k) \quad (4-6)$$

式中 y_k^0 ——输出信号。

如果为隐含层节点，则

$$\delta_{pj}^1(t+1) = z_j(1 - z_j) \sum_{k=1}^m \delta_{pk}^2(t) \cdot w_{jk}^2(t) \quad (4-7)$$

(5) 如果达到精度要求，即

$$\Delta E < \varepsilon, \Delta E(t) = E(t+1) - E(t) \quad (4-8)$$

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^1 (y_k(t) - y_k^0(t))^2 \quad (4-9)$$

式中 ε ——误差精度要求。

$0 \leq \varepsilon \leq 1$ 或者如果达到循环次数要求，即

$$t \leq T^0 \quad (4-10)$$

式中 T^0 ——循环次数要求，它是一个很大的正整数，一般为设计者自己设定。

上述两个判据式(4-8)，(4-9)或满足(4-10)，则完成网络训练；否则 $t+1 \rightarrow t$ ，转向(4)，继续训练BP神经网络。

4.2.1.2 混沌时间序列水质预测模型

关于混沌概念，确切的定义很难给出。一般认为，混沌就是指在确定性系统中出现的一种貌似无规则的、类似随机的现象。对于确定性的非线性系统出现的具有内在随机型的解，就成为混沌解。这种解在短期内可以预测而在长期内却不可预测，因此与确定解和随机解均不同。

混沌轨道具有对于初值的敏感性，即从两个相邻的初始条件出发的两条轨道之间的距离将随时间指数而增加，这种敏感性可以 Lyapunov 特征指数定量的描

述。对多维的动力学系统来说,若 Lyapunov 特征指数为正,则可认为系统一定是具有混沌性的。因此,时间序列的最大 Lyapunov 特征指数是否大于零可以作为该序列是否是混沌的一个判据,这种方法给出了一个定量的标准。

Lyapunov 特征指数刻画的是相空间中相体积收缩和膨胀的几何特性。因此, Lyapunov 特征指数作为量化对初始轨道的指数发散和估计系统的混沌量,使系统的一个很好的预测参数^{[49][50]}。

设 λ 为系统最大 Lyapunov 指数, $X(t)$ 是中心点, $X(t')$ 是 $X(t)$ 的最近临点,令 $X(t)$ 与 $X(t')$ 间的欧氏距离为 d ,则:

$$d = \| X_{(t)} - X_{(t')} \| \quad (4-11)$$

$X_{(t)}$ 与 $X_{(t')}$ 经 1 步演化为 $X_{(t+1)}$ 与 $X_{(t'+1)}$, 根据最大 Lyapunov 指数的物理意义,可得

$$e^{\lambda} = \frac{\|X(t+1) - X(t'+1)\|}{\|X(t) - X(t')\|} \quad (4-12)$$

式中 “ \cdot ” ——相点数。

式 (4-12) 即为一维 Lyapunov 指数预测模式。

具体算法如下:

(1) 根据 G-P 算法和 Takens 定理求得系统的嵌入维数 m 和时间延迟 τ , 得到重构相空间:

$$X(t) = \{\chi(t), \chi(t-\lambda), \dots, \chi[t-(m-1)\tau]\}$$

(2) 计算最大 Lyapunov 指数 λ 。

(3) 寻找中心点 $X(t)$ 临近状态 $X(t')$, 并计算 $d = \| X_{(t)} - X_{(t')} \|$ 。

(4) 由公式计算 $\lambda(t+1)$, 并根据某种约定规则对根进行取舍过程由图 4-2 表示^[19]。

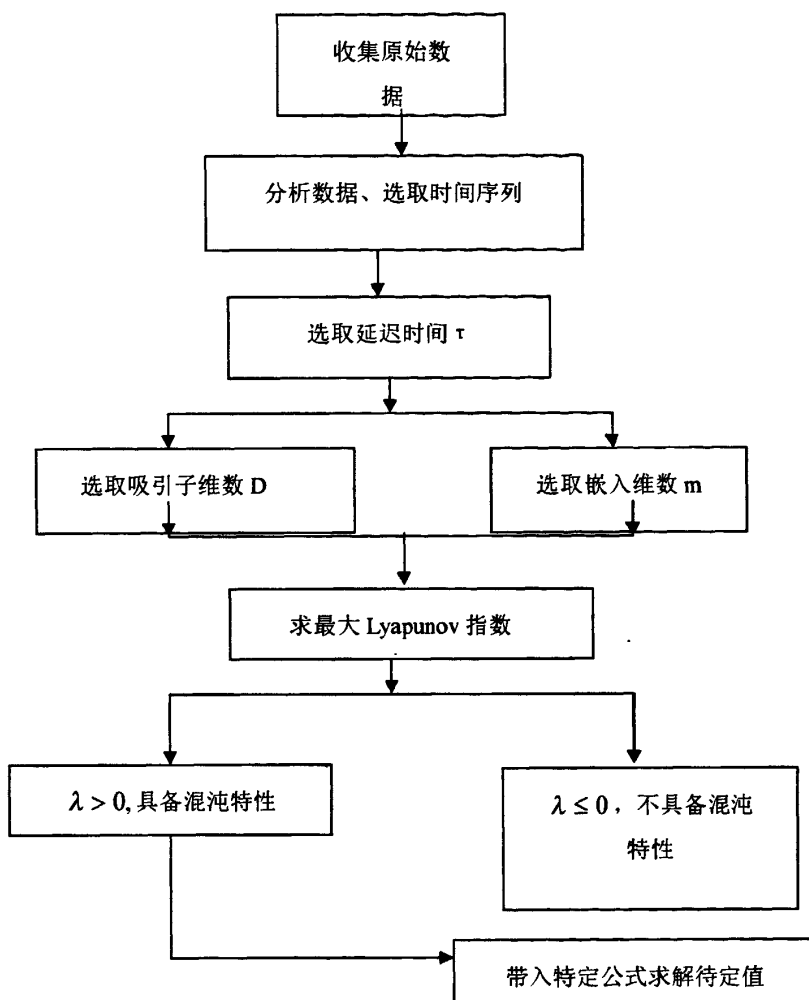


图 4-2 混沌最大 Lyapunov 指数法计算流程

4.2.1.3 灰色系统水质预测模型

灰色理论的研究对象是“部分信息已知、部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统，它通过对“部分”已知信息的生成、开发实现对现实世界的确切描述和认识^[51]。在进行水质预测时，需要从模型的内容和形式作出恰当的选择。灰色系统理论预测法对监测数据信息量要求较少（最少 3 个数据即可），它具有实用性、简洁性、现实性等优点。

灰色预测方法的特点表现在：首先是它把离散数据视为连续变量在其变化过程中所取的离散值，从而可利用微分方程式处理数据；而不直接使用原始数据而是由它产生累加生成数，对生成数列使用微分方程模型。这样可以抵消大部分随机误差显示出规律性。

灰色预测 GM (1, 1) 模型是最常用的一种灰色模型^[52]，G 表示灰色，M 表示模型，(1, 1) 表示一阶的，一个变量的微分方程模型。

GM (1, 1) 建模过程和机理如下：

记原始数据序列 $X^{(0)}$ 为非负序列

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)\} \quad (4-13)$$

式中 $x^{(0)}(k) \geq 0, k = 1, 2, \dots, n$ 。

其相应的生成数据序列为 $X^{(1)}$

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), \dots, x^{(1)}(n)\} \quad (4-14)$$

式中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n$ 。

Z (1) 为 X (1) 的紧邻均值生成序列

$$Z^{(1)} = \{z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), \dots, z^{(1)}(n)\} \quad (4-15)$$

式中 $Z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1), k = 1, 2, \dots, n$ 。

称 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 为 GM (1, 1) 模型，其中 a, b 是需要通过建模求解的参数，若 $a = (a, b)^T$ 为参数列，且

$$Y = \begin{bmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ \vdots \\ X^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) \cdot 1 \\ -Z^{(1)}(3) \cdot 1 \\ -Z^{(1)}(4) \cdot 1 \\ -Z^{(1)}(5) \cdot 1 \end{bmatrix} \quad (4-16)$$

则求微分方程 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 的最小二乘估计系数列，满足

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (4-17)$$

称 $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$ 为灰微分方程 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 的白化方程，也称影子方程。

综上所述，则有

(1) 白化方程 $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$ 的解或称时间响应函数为

$$\hat{x}^{(1)}(t) = (x^{(1)}(0) - \frac{b}{a})e^{-at} + \frac{b}{a} \quad (4-18)$$

(2) GM (1, 1) 灰微分方程 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 的时间响应序列为

$$\hat{x}(k+1) = (x^{(1)}(0) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a}, k = 1, 2, \dots, n \quad (4-19)$$

(3) 取 $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1)$, 则

$$\hat{x}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a}, k = 1, 2, \dots, n \quad (4-20)$$

(4) 还原值

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k), k = 1, 2, \dots, n \quad (4-21)$$

4.2.2 预测模型的建立方法

4.2.2.1 BP 神经网络的水质预测模型建立的实现

首先, 根据输入要素的多少和要求预测的数据组数确立水质评价人工神经网络模型的输入输出节点数。本课题监测预警选用 6 个指标 (pH、SS、总氮、氨氮、总磷、COD), 拟定预测下一个预测周期的水质指标, 所以本模型输入层节点为 6, 输出层节点为 1。本文构建的神经网络的主要框架是以若干连续实际值作为输入值, 预测下一预测周期的输出值, 预测模型描述为:

$$D(t) = F(D(t-1), D(t-2), \dots, D(t-n)) \quad (4-22)$$

式中 $D(t)$ ——时刻 t 某水质指标的实际监测数据;

N ——输入层的节点数;

F ——由神经网络确定的输入-输出映射关系。

本课题拟定预测下一个预测周期的一组水质指标值, 若需要延长预测时间, 预测下几个预测周期的多组水质指标值, 那么输出节点相应增加个数, 并适当增加隐层层数。

从理论上来看, 只要隐含层和节点足够多, BP 神经网络就能够模拟任何非线性关系。在本文中, 可设定隐含层个数为 2。像这样的 4 层 BP 神经网络, 已经在河道、地表水等很多水体的水质预测中被应用过^{[16][53-56]}。

选取样本。神经网络水质预测模型需要在多组数据的基础上, 反复学习模拟, 因此, 此模型的建立需要大量的连续的水质资料。现拟设需 601 次水质监测资料, 每次资料包含 pH、SS、总氮、氨氮、总磷、COD 这六个水质指标数据。将这 600 组数据建立水质指标数据库并命名 M。

我们要训练出这个预测模型的每层权值和阈值, 使我们得到的未来一周的预测值与我们的真实值很接近时, 在我们设定的误差范围内时, 我们就可以说我们训练成功了; 所以我们每预测出一次结果后, 就把它和真实值比较, 看是否能达到我们的要求, 达不到的话, 就采用逆向法去修改每层的权值。

接下来,访问数据库,把前 600 组数据赋值给 X_1 ,作为输入值;把第 601 组数据赋值给 $real$,以用来作为判断预测值是否达到我们目标的依据^[57]:

`connA=database('M',''); // 连接到数据库 M。`

`cursorA=exec(connA, 'SELECT*FROM shuichang');` 执行 SQL 语句和打开油标。

`cursorA=fetch (cursorA);` 导入数据到 MATLAB 单元数组。

`waterdatabase=cursorA.Data;` //把数据送到 `waterdatabase` 中。

`for i=1: 600 x1=waterdatabase (i,:) end` 把前 600 次的的数据赋值给 X_1 。

`real=waterdatabase (601,:);` 把第 601 次的的数据赋值给 $real$ 。

然后可以进行学习过程,训练出每层的权值与阈值,下面是学习过程:

(1) 选择输入层的权值 W_1 与阈值 θ_1 ,选择的是由随机序列 `random` 产生,且 W_1 与 θ_1 的值都在 -1 和 +1 之间; X_1 为输入值;激励函数选择 $f(x) = 1/(1 + \exp(-x))$,

式中 $x = W_1 * X_1 - \theta_1$ 。

(2) 选择第一隐层的权值 W_2 与阈值 θ_2 , X_2 为上层的输出即此层的输入,激励函数选择 $f(x) = 1/(1 + \exp(-x))$,

式中 $x = W_2 * X_2 - \theta_2$ 。

(3) 选择第二隐层的权值 W_3 ,与阈值 θ_3 , X_3 ,为上层的输出即此层的输入,激励函数选择 $f(x)=x+ave$,

式中 $x = W_3 * X_3 - \theta_3$;

Ave ——每一列数据的平均值。

得到了预测值 `forecast`,

(4) 计算 $E = (real - forecast) * (real - forecast)$ 是否小于我们设定的误差 ε ,若 $E \geq \varepsilon$ 的话,进入下一步;若 $E < \varepsilon$ 的话,每层的权值与阈值就可以找到。

下面几步是进入反向传播过程:

(5) 对 $y=x+ave$ 进行求导得到 $y'=1$,然后再把 $y'=1$,乘以一个微小的量加到 W_3 和 θ_3 ,得到新的 W_3 和 θ_3 ;

(6) 对 $y = 1/(1 + \exp(-x))$ 进行求导 $y' = y * (1 - y)$,然后再把第 2 隐层得到的输出值,即为 y 代入 y' ,再把 y' 乘以一个微小量加到 W_2 和 θ_2 ,得到新的 W_2 和 θ_2 ;

(7) 对 $y = 1/(1 + \exp(-x))$ 进行求导 $y' = y * (1 - y)$,然后再把第 1 隐层得到的输出值,即为 y 代入 y' ,再把 y' 乘以一个微小量加到 W_1 和 θ_1 ,得到新的 W_1 和 θ_1 ;

(8) 返回计算第一步到第三步,采用新的权值 W_i 和 $\theta_i (i = 1, 2, 3)$ 。

整个运算过程可通过编程或借助 MATLAB 神经网络工具箱进行。

4.2.2.2 Lyapunov 指数预测模型建立的实现

水质指标混沌特性的确定

(1) 数据资料的相空间重构

选取由一定时间监测的水质指标数据构成的离散时间序列, 由此序列得到嵌入 m 维相空间的相点:

$$\begin{aligned} y_1 &= (x_1, x_{1+\tau}, x_{1+2\tau} \cdots x_{1+(m-1)\tau}) \\ y_2 &= (x_2, x_{2+\tau}, x_{2+2\tau} \cdots x_{2+(m-1)\tau}) \\ &\vdots \\ y_{N_m} &= (x_n, x_{n+\tau}, x_{n+2\tau} \cdots x_{n+(m-1)\tau}) \end{aligned} \quad (4-23)$$

式中 $N_m = n - (m-1)\tau$ 。

这些相点在相空间中形成一条轨线。相空间重构的关键在于确定 m 和 τ 。

(2) 延迟时间 τ 的选择

延迟时间 τ 是表示时间序列中各个数据相互关系的参数。如果 τ 选择偏大, 会使系统内部原有的关系消失, τ 选择偏小的话, 又会使这些关系被覆盖, 两种现象都会导致系统信息的丢失, 影响重建相空间的质量。任意数据样本不能随意照搬现有的选择模式, 要根据系统自身时间序列的特点选择, 带有一点的主观性。本课题水质参考天津市某水厂原水混沌预测实例^[19], τ 可选择 5-8。

(3) 吸引子维数 D 、嵌入维数 m 的选取

M 的选择与 τ 具有很强的主观性。 m 选取过大, 可能引起噪声干扰, m 过小, 则将无法容纳原水水质时间序列的吸引子。因此, 在选择过程中应充分考虑所研究时间序列的特点进行方法选择, 必要时选取不同 m 值, 比较起预测效果, 从而确定最优 m 。

(4) 求解 Lyapunov 指数, 判断混沌性

可采用 Wolf 法 (较传统) 进行计算, 主要步骤如下:

重构相空间后, 取初始相点记为 $y(t_0)$, 设其与最近邻点 $y_0(t_0)$ 的距离为 L_0 , 追踪这两点的时间演化, 直至某 t_1 时刻, 其间距超过某规定值 ε , $L'_0 = |y(t_1) - y_0(t_0)| > \varepsilon$, 保留 $y(t_1)$, 并在 $y(t_1)$ 邻近另找一个 $y_1(t_1)$ 点, 使得 $L_1 = |y(t_1) - y_1(t_1)| < \varepsilon$, 并且使 $y_0(t_1) - y(t_0)$ 与 $y_1(t_1) - y_1(t_0)$ 之间的夹角尽可能小, 继续上述过程, 直至 $y(t)$ 到达时间序列构成的相空间的终点, 则最大 Lyapunov 指数为:

$$\sigma = \frac{1}{t_m - t_0} \sum_{i=0}^M \ln \frac{L'_i}{L_i}$$

如果最大 Lyapunov 指数 > 0 , 则说明系统具有混沌性, 其时间序列的短期预

测可行。

如果最大 Lyapunov 指数 <0 ,则说明系统不具备混沌性,不能用混沌理论进行预测^[53]。

应用混沌相空间模线性回归模型进行水质指标的预测

具备混沌特性的序列需代入特定公式求解需要预测的下一个数值,需对 $L_1(i)$ 与 $L_2(i)$ 作线性回归分析(最小二乘法)可得到符合所需线性关系式中的参数 a, b , $L_2(i) = a + bL_1(i)$

具体步骤^[58]:

(1) 根据上述方法重构 m 维相空间后,求最后一些相点的最近邻点及它们之间的欧式距离;

(2) 求上述相点发展一定时间后的欧式距离;

(3) 对所求的两组距离应用最小二乘法拟合出二者之间的线性关系;

(4) 将该线性关系用于预报,得出最后分量为第一个预报值的相点与上一最近邻点发展所得的相点之间的距离;

(5) 根据欧式距离计算公式算出相点的未知分量即为第一个预报值;

(6) 将第一个预报值看作实际值返回步骤(4)继续下一时刻的负荷值,直至所有时刻的负荷预报值都预报完毕。

4.2.2.3 灰色 GM (1, 1) 模型预测的实现及预测效果检验

(1) 样本选取

选取 08 年 8 月 21 日至 08 年 10 月 24 日各水质指标的监测值作为原始数据,见表 4-1。由前五组实测数据建模预测下一组数据,依次类推,得出 5 组预测数据,将预测数据与实测数据相比较,得出平均相对误差,检验模型的精度。

表 4-1 灰色系统样本集

指标/日期	pH	总氮 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)
2008-8-21	7.23	11.95	15.32	3.69	102.62	133
2008-8-28	7.07	15.37	8.39	4.59	436.23	96
2008-9-5	7.01	26.23	12.28	3.26	263.15	47
2008-9-12	6.99	16.70	9.33	1.79	196.76	81
2008-9-19	7.20	17.44	12.60	4.20	305.20	107
2008-9-25	7.14	20.09	15.67	3.18	264.39	137
2008-10-2	7.33	35.84	26.40	1.97	429.10	90
2008-10-10	6.97	43.62	19.89	2.68	368.72	78
2008-10-17	7.19	42.06	26.31	2.50	199.39	129
2008-10-24	7.89	25.29	22.06	4.62	305.66	109

(2) 建模预测工具

本文采用 MATLAB 作为计算平台，编制程序实现数值计算和预测。编程如下：

```

y=input('数据输入');
n=length(n,1);
yy=ones(n,1);
yy(1)=y(1);
for i=2:n
    yy(i)=yy(i-1)+y(i);
end
B=ones(n-1,2);
for i=1:(n-1);
    B(i,1)=(yy(i)+yy(i+1))/2;
    B(i,2)=1;
end
BT=B';
For j=1:n-1
    YN(j)=y(j+1);
end
YN=YN'
```

```

A=inv(BT*B)*BT*YN;
a=A(1);
u=A(2);
t=u/a;
t_test=input(预测个数)
i=1:t_test+n;
yys(i+1)=(y(1)-t).*exp(-a.*i)+t;
yys(1)=y(1);
for j=n+t_test:-1:2
    ys(j)=yys(j)-yys(j-1);
end
x=1:n;
xs=2:n+t_test;
yn=ys(2:n+t_test);
plot(x,y,'r',xs,yn,'*-b');
det=0;
for i=2:n
    det=det+abs(yn(i)-y(i));
end
det=det/(n-1)
disp('预测值为:', num2str(ys(n+1:n+t_test)));

```

(3) 预测结果及模型检验

采用相对误差检验指标对模型的精度进行检验,各预测值及其与实测值间的相对误差见表 4-2。

由预测结果看,灰色系统预测具有预测精度较高、样本要求少的优点。采用灰色系统 GM(1, 1) 模型对该污水厂原水水质的预测效果总体比较令人满意,但个别发生突变点的预测结果相对误差较大,这对把握污水发生突变警情是不利的。

表 4-2 灰色系统预测结果

指标	实测值	预测值	残差	相对误差 %
pH	7.14	7.23	0.09	1.26
	7.33	7.41	0.08	1.09
	6.97	7.03	0.06	0.86
	7.19	7.10	-0.09	-1.25
	7.89	7.85	-0.04	-0.51
TN (mg/L)	20.09	15.56	-4.53	-22.55
	35.84	43.68	7.84	21.88
	43.62	61.01	17.39	39.87
	42.06	55.55	13.49	32.07
	25.29	29.98	4.69	18.54
NH ₃ -N (mg/L)	15.67	13.25	-2.42	-15.44
	26.40	16.56	-9.84	-37.27
	19.89	35.32	15.43	77.58
	26.31	27.21	0.9	3.42
	22.06	28.87	6.81	30.87
TP (mg/L)	3.18	2.70	-0.48	-15.09
	1.97	3.70	1.73	87.82
	2.68	2.69	0.01	0.37
	2.50	1.70	-0.8	-32.00
	4.62	2.24	-2.38	-51.52
COD (mg/L)	264.39	184.09	-80.3	-30.37
	429.10	287.14	-141.96	-33.08
	368.72	505.87	137.15	37.20
	199.39	438.15	238.76	119.75
	305.66	266.94	-38.72	-12.67
SS (mg/L)	137	104	-33	-24.09
	90	189	99	110.00
	78	134	56	71.79
	129	76	-53	-41.09
	109	98	-11	-10.09

4.2.3 三种预测模型的分析比较

通过使用 BP 神经网络模型来估计未来水质参数,基本上算是成功的,这一点在许多文献研究中都已被证实。人工神经网络具有的高维性、并行分布处理性,以及自适应、自组织、自学习等优良特性,对于水质预测等复杂问题研究具有很好的适用性。这一预测理论和方法发展已比较成熟,建模、学习、预测过程都已工具化,使用方便。

同时也可以看到 BP 算法的一些不足:

(1) 由于学习速率是固定的,所以网络收敛速度慢,需要很长的训练时间。

(2) BP 算法可以使权值收敛到某个值,但并不能保证其为误差平面的全局最小值,即存在“局部最小值”问题。

(3) 网络隐含层数、节点数的选择确定尚缺乏严格的理论上的依据指导,一般是根据经验或者通过重复试验确定。而隐层节点数目前也还没有成熟统一的确定方法。常用的确定方法有公式法^[59]、递减法^[60]、增长法、试算法^[61]等。主要是根据具体情况,结合经验来确定。因此,网络往往存在很大的冗余性,一定程度上增加了网络学习的负担。权值和阈值开始很难确定。如何找出规律性的参数还有待研究。

(4) 网络的学习和记忆具有不稳定性。这就意味着,如果增加了学习样本,训练好的网络就得重新训练,对于之前的权值和阈值没有记忆。在本课题中,研究区域内工厂企业在陆续建设和运转中,排水水质和水量还在不断变化中,预测模型也应随这样的变化不断调整,由此,会大量增加建模工作,难以保证预测模型的适用性。

另外, BP 神经网络模型的建立需要大量的连续的水质指标数据资料支撑。因此,对于数据资料匮乏的实例,可能出现网络学习、训练失败的情况,导致无法预测。

最大 Lyapunov 指数预测应用混沌理论和相空间重构思想,从总体上把握水体水质系统的复杂特征,把复杂的具有多重耦合关系的多变量的系统转变为研究简单的单变量系统,研究复杂系统的内在的演化规律(系统吸引子),预测水体水质系统的短期发展变化趋势。

混沌序列在短期内可以表现出很好的预测效果^{[19][62][63]},而在长期内却不可预测,若时间序列的最大 Lyapunov 指数 $\lambda > 0$,则表明时间序列的演化轨迹是发散的,具有分叉和倍周期特征,因而不能进行长期预测,但可以预知它的最大预测时间尺度 T ,它与最大 Lyapunov 指数 λ 成倒数关系,即: $T = 1/\lambda$ 。对于混沌

系统,当预测时间小于最大预测时间尺度 T 时,系统预测误差随预测步长的增加而增大,但是比较平稳,一旦超过这个界限,误差将会倍增,便失去了预测的意义。混沌理论在短期预测应用中,整体预测效果较好。在诸多的时间序列 Lyapunov 指数的计算^[64-66]中也存在一些不足之处:

(1) 主观参数—延迟时间 τ 、嵌入维数 m 的选择虽然方法很多,但主观性很强。重构中所选择的嵌入维和延迟时间往往对结果产生较大的影响^[67]。对于同一个问题的研究,不同研究者所得的结果可能有很大不同,目前尚缺乏一种较为通用的方法。

(2) 数据量问题。根据 Takens^[68]等人的理论,混沌研究的是无限长且不含噪声的时间序列,在这一序列中可以包含整个系统的演化特征和趋势。这就要求需要相当数量的数据,同时存在着一个如何选择最佳时间序列长度的问题。

(3) 噪声的影响。除了一些参数选择上的主观性外,噪声在系统的混沌性研究的影响很大,其影响表现为:破坏吸引子的自相似性;增加嵌入维数;可能使得轨道的演化不是指数式的,而是扩散性的分岔;更严重的是可能出现无论采用什么样的方法和选取多大的数据量,都会出现误差被跳跃性放大的现象;无论系统的噪声水平达到如何小的比例,对于一些参数的估计仍然不准确。目前在除噪方面研究还较少,方法也并不成熟。

(4) 计算过程相当复杂,结合 MATLAB、混沌计算工具箱可提高运算效率。

(5) 在应用混沌原理进行预测之前,判断研究样本的混沌性是必要的。不具备混沌性特的序列不可以利用混沌原理进行预测。这就意味着,有些需要预测的指标无法用混沌原理进行预测,然而 λ 的值,一方面是系统内部特性所决定,另一方面也与之前的参数选取有关,后者对混沌时间序列预测原理的应用带了很大障碍。

上述两种水质预测方法,已在水质预测方面得到多次成功应用,而且混沌理论最大 Lyapunov 指数预测法在短期预测方面的优越性对本课题研究预警系统的预警特性十分适合。但由于样本量的限制,使本课题在现阶段还不能利用这两种方法建立起完备的水质预测体系。相对而言,灰色系统“小样本”、“贫信息”的特点在本课题工程缺乏水质资料的阶段显现出优势。其应用须注意以下几点:

(1) 原始数据列最好是等时空距的观测结果。

(2) 一般以最新数据为参考点取定邻域。

(3) 取定邻域进行建模预测时,邻域数列中的数据个数不得少于 4 个。

在对本课题水质部分数据的预测中可以看出,灰色系统预测效果较好,尤其针对变化幅度不大的水质指标如 pH,但对于变化幅度较大、变化较突然的指标如 COD、SS,预测效果不十分理想,个别发生突变点的预测结果相对误差较大,

这对把握污水发生突变警情是不利的。对于突变性指标的精确预测还需进一步研究。

4.2.4 关于预测模型建立的建议

本文针对本课题所研究进水污水的水质资料匮乏的实际情况采用了灰色系统预测方法水质指标的变化情况进行预测，并得到了较好的预测效果。

在未来，在研究区域内企业工厂情况稳定，水厂水质在线监测系统运行并积累大量相关水质数据的情况下，水质预测模型也应该作进一步的调整以获得较精确的预测效果。关于本课题污水水质预测模型的建立，本文有以下几点看法：

首先本课题研究水质系研究区域内由生活污水和工业废水组成的综合生活污水。水质变化的范围、频率较其他河流、湖泊、水源水、水库水地下水等水体要大得多。这些水体水质的变化相对缓慢，且变化幅度相对较小，对于这类水体的预警大多以一年为预测周期，这样的预测周期长度对这类水体的水质变化特征也是适合的。而本次安全预警的建立需要把握这些变化特征，预报可能因超标排放引起的水质突变和由此导致的处理厂出水水质的恶化。这个过程应该是及时的，这就要求预测的周期应该是较短的。另外，所研究综合污水是由30%的生活污水和70%的工业废水组成的，工业废水比例较大，工业废水排放情况对综合水质会产生较大的影响。工业废水水量和水质应该根据工厂的工艺特点确定，并应与国家现行的工业用量有关规定协调。在废水工程设计时，可以根据行业的特性估计废水水质特点，依据产品或产值单耗水量来计算工业废水量，但在开发区的发展阶段，有些地区尚无明确的工厂性质，另外即使同一性质的工厂，如生产设备和管理水平的不同，其废水排放标准亦不一样。这也同样导致废水水质有不定期突变的可能，这也需要对水质的预测以短周期的形式进行。

其次，预测模型建立后应对其进行不断的验证和调整。这是出于目前研究区域内污水水质的动态性的考虑。区域内企业工厂分布暂未稳定，许多企业、工厂、工程还在陆续建设和投入运转或生产调整中。随着区域规划的不断实现，区域内的厂区分布、排水量、排水水质等还将不断有所变化。

最后，要获得预测效果精确的预测模型，需要有相当数量的水质指标数据资料作基础，这些资料可在水厂建立完善后，通过水厂的在线监测系统获得。水质的预测可以以每周、每天或几小时为周期进行。

4.3 原水水质预警

4.3.1 预警目的和警限依据

本研究课题拟建的空港东南中水处理厂原水安全预警系统旨在针对以下三方面情况进行预测报警：

(1) 对污水水质的波动异常进行预报预警

由前文所述的一年污水水质监测资料及对其的分析得知，流入水厂的污水各水质指标大多分别是在一定范围内波动的。这个范围可作为污水水质的背景范围、对污水水质指标特征的一般描述。当水质指标超出这个范围，是水质异常并可能伴有其他将会产生不良影响的预示。此时，应对水质指标的变化密切关注。

(2) 对超标排污的可能性进行预报预警

本课题所研究污水性质虽与一般生活污水性质大致一致，但其组成包括相当比例的工业废水，虽然区域内企业工厂工业废水接入规划区域排水系统的水质按有关标准执行，特别是对含重金属和有毒有害物质的工业废水，必须在车间排放口达到国家规定的排放标准三级标准要求（《污水综合排放标准 GB8978-1996》）。但在实际运转情况中，个别的企业、工厂由于管理水平、技术水平等其他因素，不可避免有超标排放的可能，因此，工业废水的排放情况大大影响着水质变化，这种变化继续恶化就会对中水处理厂的出水水质进而对水处理工艺产生不良影响。综上，对可能由工业废水超标排放引起的水质突变，进行预报预警并采取相应措施进行修正是十分必要的。

(3) 对出水水质的达标情况进行预报预警

污水再生回用是本研究项目工程的最终目的。

本工程再生水主要作为绿化和景观河道补充水回用，对出水水质有严格要求，应达到国家《城市污水再生利用景观环境用水水质》（GB/T 18921-2002）规定的标准。对出水未能满足回用标准的情况应当予以预报警示，及时采取相应措施，保证出水水质达标要求。

针对以上预警目标，采取的评价标准有：

原水水质一般波动范围，见表 4-3。

综合污水排放标准三级标准要求，见表 4-4^[28]。

污水处理厂设计进出水水质指标要求，见表 3-1。

表 4-3 水质指标变化范围

	pH	总氮 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	COD (mg/L)	SS(mg/L)
保证率 70%对应浓度	7-8	31	26	3.8	300	100

表 4-4 水质指标综合排放标准相关要求

指标/标准	pH	SS (mg/L)	氨氮 (mg/L)	COD(mg/L)
排放标准	6-9	400	—	500

4.3.2 预警警级划分

本文水质预警不同于其他水质预警，根据预警要求，需对每个水质指标进行预警，采用单指标预测法，而不是对水质指标进行综合评价后对综合水质状况进行预警。

将原污水中的每个预警指标看成一个独立的表征水质的指标，依据前述标准划分警限，进行预警。本文根据研究项目和区域的实际情况，选取 pH、SS、总氮、氨氮、总磷、COD 六个指标作为预警指标依据水质一般背景情况、综合污水排放标准和水厂设计指标对每个单指标进行预警。预警的警级分为无警、轻警、中警、重警，如表 4-4。

4.3.3 预警结果意义及分析

水质指标预警如表 4-5 所示，pH，SS，总氮，氨氮，总磷、COD 指标的预警警级意义为：

无警：水质指标在一般范围内波动。

轻警：水质指标超出一般范围，但超出幅度不大，还不足以影响出水水质。但水质指标波动有异常倾向，需采取密切监控措施，加大监测密度，及时掌握水质走向。

中警：水质指标进一步恶化，导致出水水质不达标可能。此时，应采取相应的 MBR 工艺的调整，如改变污泥及出水回流条件等，同时还应在处理工艺末端加设监测点，监控处理后出水水质。

重警: 指标浓度超出综合污水排放标准的三级标准要求, 有违规排放的可能。此时, 可在排水管网系统中增设水质监测点, 并在主要排污单位的排水处进行监测, 查找排污超标源。

需要提出的是, 由一年监测资料实测数据及分析可知, TP 含量有 25% 以上的数值超过污水厂设计进水水质, 需要对 TP 含量积极监测, 密切关注。

表 4-5 原污水主要指标预警表

预警指标/预警预报	无警	轻警	中警	重警
pH	7-8	(6, 7) ∪ (8, 9)	—	≤6 ∪ ≥9
SS (mg/L)	≤100	(100, 220)	(220, 400)	≥400
总氮 (mg/L)	≤31	(31, 45)	≥45	—
氨氮 (mg/L)	≤26	(26, 30)	≥30	—
总磷 (mg/L)	≤3.8	(3.8, 4)	≥4	—
COD (mg/L)	≤300	(300, 400)	(400, 500)	≥500

4.4 小结

首先明确了本课题拟定建立的水质安全预警系统的作用和目标。

其次, 在对已监测积累的一年原水水质资料进行整理分析的基础上, 对 BP 神经网络预测法、混沌时间序列预测方法、灰色系统预测的原理、预测过程、适用范围和优缺点等方面进行阐述, 并根据本课题水质资料匮乏的特点采用灰色系统预测方法对水质指标值进行了预测, 收到了良好的预测效果。

再次, 根据本课题拟建的预警系统的应用目的, 确定对每个水质指标进行单独预警即采用单指标预测。确定以原水水质一般波动范围、综合污水排放标准三级标准要求、污水处理厂设计进出水指标浓度为预警依据。

然后, 根据前述预警依据, 对各个指标进行警限警级的划分, 并解释其表征意义。

最后, 对各警情情况分析, 并对相应应对做出了初步的简单建议。另外也提出了 TP 指标含量相对偏高的情况, 建议对此情况引起足够的重视。

第五章 结束语

5.1 总结

(1) 东南中水处理厂进水污水的水质特征

07年11月至08年12月对空港东南中水处理厂原污水水质各项指标的实测资料表明, 其与其他城市生活污水各指标特征基本相似。经对水质资料的分析, 研究对象各水体水质指标具有一定程度的正态分布特征, 水质指标值大体在一定范围内波动(即 pH: 7-8; SS: 40-130mg/L; 总氮: 15-35mg/L; 氨氮: 9-31mg/L; 总磷: 1.9-4.7mg/L; COD: 130-370mg/L)。

污水水质 pH 值变化稳定且一直保持在适合生物处理的范围内即 6~9, COD 较高值的出现与工业废水的排放和 SS 含量的升高有关。污水中 TP 含量较设计进水指标值偏高, 30%以上的监测数值接近或超过水厂进水 TP 设计指标值即 4mg/L。水质指标的季节性变化主要随区域内用水量的变化而变化; 水质指标的突然变化主要由工业废水排放的情况决定。

(2) 对水质预测的研究

预警的研究必须建立在预测的基础上, 本文分别对 BP 神经网络、混沌时间序列预测方法和灰色系统预测方法的原理特点、计算过程、优缺点和适用性进行研究对比。采用灰色系统预测方法对水质指标 (pH、TN、NH₃-N、TP、COD) 进行了预测, 预测效果良好。

(3) 水质预警方法的研究

针对原水各个污染指标的预警, 本文采用单指标预警。并根据水质变化范围、综合污水排放标准和水厂设计进水指标针对水质异常及水质处理的出水达标情况划分警限警级, 对原水水质进行预警。

5.2 有待进一步完善的工作

由于时间问题和本人水平有限, 参考资料不多, 尤其是数据资料不完备, 使得在本研究中还存在许多缺憾, 希望能在今后的工作中得以实现。

(1) 对于污水厂原污水的水质预测。由于所获得的历史数据资料很短、许多区域内企业工厂运行情况资料不齐全且本人建模、计算机软件知识的匮乏, 未能建立起系统的水质预测模型。希望在今后的工作中, 尤其是中水厂在线监测系统建立运行后, 做好监测数据的收集与整理工作, 建立完备的、科学、适用的水

质预测模型。

(2) 由于实际条件的限制, 本文未对原污水中的重金属指标进行监测研究, 在未来的工作中, 做好这部分工作对更好的实现对排污单位的监督, 保障水处理工艺正常运转有重要的实际意义。

(3) 对于水厂原污水的预警, 国内外研究的不多, 预警的方法和体系还有待于进一步研究。在条件允许的情况下, 应考虑机理模型的建立, 对污水中污染物的迁移、降解、沉积等做出预测, 可信度会更高。

(4) 在预测预警的基础上, 如果能以 GIS 为核心进行开发, 建立空港加工区域内给排水预警信息系统, 把现实中对象管网、明渠空间位置和相关的水水质、水量、排污条件等属性有机地结合起来, 能够实现对空间信息的查询、空间分析、可视化表达、辅助决策等, 将会为管理和决策部门提供强有力的技术支撑。

总之, 本文在东南中水处理厂原水水质分析、水质预测预警的研究中虽做了些工作, 但距离实际应用、能够借此科学地管理决策还有一定的差距。本人今后还将继续对预警理论在污水方面的应用进行深入研究。

参考文献

- [1] 王先平. 水污染控制工程中的水质参数在线监控[J]. 环境与开发, 1999, 14 (2): 38-40
- [2] 武贵桃. 大力推广中水回用实现污水资源化[J]. 中国人口资源与环境, 2003, 13 (2): 120-121
- [3] 董志颖, 王娟, 李兵. 水质预警理论初探[J]. 水土保持研究, 2002, 9 (3): 224-226
- [4] 陈绍金. 水安全系统评价、预警与调控研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005
- [5] 夏晶, 吴海所, 尹大强, 等. 长江(江苏段)沿江开发水质监控预警系统建设[J]. 四川环境, 2006, 25 (1): 96-99
- [6] 刘念林, 李明东, 张自权. 嘉陵江水污染预警与控制系统初探[J]. 四川理工学院学报, 2008, 21 (1): 111-113
- [7] 吕宝华, 崔双发, 郑艳波, 等. 辽宁大伙房水库水质变化与安全预警[J]. 东北水利水电, 2007, 25 (2): 54-56
- [8] 张锡辉, 郑振华, 欧阳二明, 等. 水源水质在线监测预警系统的建设[J]. 中国给水排水, 2005, 21 (11): 14-17
- [9] 王凯军, 曹剑锋, 徐蕾, 等. 地下水资源管理预警系统的建立及应用研究——以长春城区为例[J]. 水科学进展, 2005, 16 (2): 238-243
- [10] 陈光明, 周密, 周冬生. 长江饮用水源地水质自动遥测预警系统研究[J]. 水利水文自动化, 2006, (3): 13-16
- [11] 施汉昌, 何细勇, 刘辉. 污水处理在线监测仪器原理与应用[M]. 北京: 化工工业出版社, 2008
- [12] 李欣, 齐晶瑶. 多参量水质检测虚拟仪器系统的构建与应用[J]. 工业水处理, 2002, 22 (11): 5-7
- [13] 郭小青, 项新建. 基于 CAN 总线的水质参数在线监测系统[J]. 杭州应用工程技术学院学报, 2001, 13 (2): 15-18
- [14] 朱灿, 李兰, 董红, 等. 基于 GIS 的数字西江水质预警预报系统设计和应用[J]. 中国农村水利水电, 2006, (10): 9-11
- [15] 谢洪波, 钱壮志, 尹国勋, 等. 基于 GIS 的焦作市地下水污染预警系统[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30 (1): 94-96
- [16] 杨国栋, 王肖娟, 尹向辉. 人工神经网络在水环境质量评价和预测中的应用[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18 (6): 10-13
- [17] 李秉文, 刘明, 冯明祥. 辽河流域水质预警预报系统的探讨[J]. 东北水利水电, 2000, 18 (9): 39-43

- [18] 窦明, 李重荣, 王陶. 汉江水质预警系统[J]. 人民长江, 2002, 33 (11): 38-40
- [19] 韩晓刚, 黄廷林, 卢金锁. 混沌理论在水质预警系统中的应用[J]. 供水技术, 2007, 1 (1): 42-45
- [20] 陈家军, 杨卫国, 尹涓. 水质在线监测系统及其应用[J]. 现代仪器, 2007, 13 (6): 62-67
- [21] 魏文达. 广西饮用水源地水质自动在线监测系统的应用分析[J]. 水利水文自动化, 2008, (3): 24-27
- [22] 何焰, 由文辉. 水环境生态安全预警评价与分析——以上海市为例[J]. 安全与环境工程, 2004, 11 (4): 1-4
- [23] 黄继鸿, 雷战波, 凌超. 经济预警方法研究综述[J]. 系统工程, 2003, 21 (2): 64-70
- [24] 王金南, 吴舜泽, 曹东. 环境安全管理评估与预警[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [25] 陈治谏, 陈国阶. 环境影响评价的预警系统研究[J]. 环境科学, 1992, 13 (4): 20-23
- [26] 李如忠. 水质预测理论模式研究进展与趋势分析[J]. 合肥工业大学学报, 2006, 29 (1): 26-29
- [27] 国家环境保护总局. 水和废水检测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- [28] 国家环境保护局, GB8978-1996, 中华人民共和国国家标准污水综合排放标准, 北京: 中国环境科学出版社, 1997-02-01
- [29] 张中和. 给水排水设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
- [30] 何珍宝. 印染废水特点及处理技术[J]. 印染, 2007, 33 (17): 41-44
- [31] 张兴文, 滕仕峰, 孟治国等. 食品加工废水处理工程[J]. 水处理技术, 2006, 32 (3): 70-75
- [32] 程建光. 食品工业废水治理的探讨[J]. 山东科技大学学报, 2000, 19 (3): 116-118
- [33] 刘梅红. 印染废水处理技术研究进展[J]. 纺织学报, 2007, 28 (1): 116-119
- [34] 王卿卿, 王社平, 鞠兴华. 城市污水处理厂及中试装置设计水质统计分析与确定[J]. 工业用水与废水, 2008, 39 (2): 52-55
- [35] 周克钊, 周教. 城市污水设计水质与实测资料的概率分析[J]. 西南给排水, 2006, 28 (3): 1-7
- [36] 周克钊, 蔡松柏. 试论我国城市污水稳定塘的技术经济性(下)——稳定塘系统的流程优化[J]. 中国给水排水, 1990, 6 (6): 40-47
- [37] 李学桥, 马莉. 神经网络工程应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996
- [38] 文嘉祥, 漆国先. 城市生活污水中几种污染物的数理统计分析[J]. 贵州环保

- 科技, 1998, 4 (4) : 35-44
- [39]李学桥, 马莉. 神经网络工程应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996
- [40]Ni Y N, Huang C F, Kokot S. Application of multivariate calibration and artificial neural networks to simultaneous kinetic spectrophotometric determination of carbamate pesticides[J]. *Chemom Intell Lab Sys*, 2004, 71 (2) : 177-193
- [41]Wang W, Paliwal J. Generalization Performance of Artificial Neural Networks for Near Infrared Spectral Analysis[J]. *Biosystems Engineering*, 2006, 94 (1) : 7-18
- [42]Arab C M, Beglari M, Bagherian G. Prediction of cytotoxicity data(CC50) of anti-HIV 5-phenyl-1-phenylamino-1H-imidazole derivatives by artificial neural network trained with Levenberg-Marquardt algorithm[J]. *Journal of Molecular Graphics and Modeling*, 2007, 26 (1) : 360-367
- [43]胡守仁, 余少波, 戴葵. 神经网络导论[M]. 北京: 国防科技大学出版社, 1993
- [44]焦李成. 神经网络系统理论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990
- [45]应行仁. 三层神经网络隐单元与样本记忆的关系[J]. 模式识别与人工智能, 1990, 3 (1) : 29-34
- [46]王科俊, 王克成. 神经网络建模、预报与控制[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996
- [47]王艳琼, 白秀琴. 基于 BP 神经网络模型的水质评价及预测[J]. 武汉工业学院学报, 2007, 26 (1) : 64-66
- [48]胡守仁. 神经网络应用技术[M]. 北京: 国防科技大学出版社, 1993
- [49]韩敏. 混沌时间序列预测理论与方法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007
- [50]韩敏, 史志伟, 席剑辉. 储备池状态空间重构与混沌时间序列预测[J]. 物理学报, 2007, 56 (1) : 43-50
- [51]刘思峰, 党耀国, 方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [52]柏文, 吴建伟, 郭磊, 等. 灰色预测在水质预测中应用[J]. 科技信息 (学术版), 2008, (15) : 34-35
- [53]王晓萍, 孙继洋, 金鑫. 基于 BP 神经网络的钱塘江水质指标的预测[J]. 浙江大学学报, 2007, 41 (2) : 361-364
- [54]周志华, 曹存根. 神经网络及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [55]杨志英. BP 神经网络在水质评价中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2001, (9) : 27-29
- [56]杨继臣, 张新政. BP 神经网络在水质参数预测中的应用[J]. 计算机与数字工程, 2006, 34 (11) : 24-26

- [57] 楼顺天, 施阳. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——神经网络[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 1999
- [58] 吉国力, 程军, 米红, 等. 应用混沌相空间模线性回归模型研究短期负荷预报[J]. 系统工程理论与实践, 2001, (6): 138-140
- [59] 张立明. 人工神经网络的模型及其应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1993
- [60] Hyunjin L, Hyeyoung P, Yillbyung L. Network optimization through learning and pruning in neuromanifold[J]. *Lecturt Notes in Computer Science*, 2002, 2417: 169-177
- [61] Husken M, Jin Y, Sendhoff B. Structure optimization of neural networks for evolutionary design optimization[J]. *Soft computing-A fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 2005, 9 (1): 21-28.
- [62] 赵鹏, 张宏伟. 基于 Lyapunov 指数的改进预测模型及其在城市用水量短期预测中的应用[J]. 天津大学学报, 2007, 40 (12): 1500-1506
- [63] 马惠群, 孙秀玲, 曹生乐, 等. 基于 Lyapunov 指数 λ 的混沌预测及其在水文中的应用[J]. 山东科学, 2006, 19 (4): 15-18
- [64] Albano A M, Passmante A, Farrell M E. Using higher-order correlations to define an embedding window[J]. *Physica*, 1991, 54D(1, 2): 85-97
- [65] Sano M, Sawada Y. Measurement of the Lyapunov spectrum from a chaotic time series[J]. *Physical Review Letters*, 1985, 55(10): 1082-1085
- [66] Eckmann J P, Ruelle D. Ergodic theory of chaos and strange attractor[J]. *Reviews of Modern Physics*, 1985, 57 (3): 617-656
- [67] Grassberger P, Procaccia I. Estimation of the Kolmogorov entropy from a chaotic signal[J]. *Physical Review*, 1983, 28A (4): 2591-2593
- [68] Takens F. Detecting strange attractors in turbulence[J]. *Lecture Notes in Mathematic*, 1981, 898: 366-381

发表论文和参加科研情况说明

参与的科研项目：

1. 天津市科技创新专向资金项目“多水源开发与循环利用成套技术示范工程”，项目编号：06FZZDSH00900
2. 天津市科技支撑计划项目“投菌法改善水质技术研究”，项目编号：043115111-5

致 谢

本论文的工作是在我的导师孙井梅副教授的悉心指导下完成的，孙井梅副教授严谨的治学态度和科学的工作方法给了我极大的帮助和影响。在此衷心感谢两年来孙老师对我的关心和指导。

在土建馆实验期间，土建馆徐老师、齐老师、姚师傅、王师傅，在我的实验中提供了很大的帮助，在此表示衷心的感谢。

感谢黄老师、刘老师给予我很好的建议，谢谢你们。

在实验室工作及撰写论文期间，李鹏、常素云、刘爽、孟广、赵成云等同学对我论文中的研究工作给予了热情帮助，在此向他们表达我的感激之情。

感谢各位老师百忙之中对我的论文的审查、指导。

另外也感谢我的父母、亨奎，你们无私的付出给了我无限大的成长空间，是你们在我难过时默默为我祝福，是你们在我有所成功时给予我更大的激励和快乐，你们时时刻刻的牵挂使我觉得温暖，在我遇到困难时感觉自己并不孤单，你们的理解和支持使我能够在学校专心完成我的学业。

感谢所有的人！