



中国 环境 地质 研究

孙昌仁 主编

科学出版社



中国环境地质研究

孙昌仁 主编

科学出版社

1988

内 容 简 介

本书共选论文35篇，其内容基本反映了我国环境地质工作各个领域的最新成就，包括区域环境地质评价、矿山环境地质、城市环境地质、地质自然保护和环境水文地球化学、地方病环境地质、环境地质制图以及新技术新方法在环境地质中的应用等等。

该书可供从事环境地质工作的工程技术人员、科学研究和教学人员参考。

中国环境地质研究

孙昌仁 主编

责任编辑 邵正华

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

北京昌平兴华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988年12月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1988年12月第一次印刷 印张：15.625

印数：0001—5,000 字数：362,000

ISBN 7-03-001129-5

P·204

定价：8.00元

前 言

全面研究环境以及人类经济活动对它的影响，已愈来愈引起人们的关怀和重视。在人类赖以生存的自然环境中，地质环境为人们提供了居住与发展的场所、多种矿产资源和丰富的地下水资源。地质条件是人类生存与发展必不可少的重要的基本环境要素。在今天，随着经济建设的发展和人口的增加，人类活动对资源和环境的冲击日益加剧。从包括地下水在内的水资源来看，天然水资源愈来愈明显地受到人类经济和社会活动的影响。不适当的开发利用、浪费和环境污染造成水资源短缺在有些地区甚至已成为制约经济发展的重要因素，并已影响人们的生活和人体健康。从灾害地质以及环境生态等方面来看，问题也日趋突出。人类活动引起的地质灾害和工程建设环境地质问题的频繁出现，已给社会和经济的发展造成危害。

由于我国幅员辽阔，地质环境条件远比其它国家复杂得多，加之我们有十亿多人口需要在这块土地上生存、繁衍、开拓，尽管地质环境给予我们众多的有利条件，也给我们带来了大量的不利因素，而我们所面临的又是一个经济与社会大发展的时代。我国环境地质工作，就是在这种特定条件下产生和发展起来的。这就必然赋予我们环境地质工作者以重大的责任，使环境地质成为社会主义现代化建设的一个重要组成部分，它应该对保障和促进社会主义现代化建设顺利进行发挥重要作用。

我们也高兴的看到，环境地质事业正在发展，研究领域正在不断扩大，甚至已经开始与许多相关的自然科学领域相互渗透，诸如大气与地质环境的关系，地表水体与地质环境的关系，土壤、生物与地质环境的关系等等。总之，凡是与地质有关的地球表面的各种环境要素，都已逐步开始进行研究，以求在社会与经济活动中，通过物质、能量的迁移转化趋利避害，为人类创造一个更加适合的环境。

为此，我们借中国地质学会环境地质专业委员会成立和第一届环境地质工作经验交流会之机，收集了一些有代表性文章，选编成书，提供同行们在工作中参考。选编小组由孙昌仁、李梅玲、李京森、王芸生等同志组成。在选编过程中，我们力求反映我国当前环境地质研究的新水平，但由于水平有限，难免有不当之处，敬请指正。

编 者

目 录

略论中国环境水文地质发展动向·····	孙昌仁 (1)
我国主要城市地下水水质问题的主要成因分析及其防治对策·····	李京森 (6)
我国热矿水的分布、利用和资源保护·····	安可士 (15)
我国主要城市地下水位区域下降成因分析及其对策探讨·····	倪 涵 (19)
山西岩溶泉及岩溶地下水的污染与防治·····	韩行瑞 唐建生 李庆松 梁永平 (25)
福建省环境地质的若干特征·····	王振民 陈国荣 (40)
昆明盆地几个环境地质问题·····	饶庆云 (46)
吉林省西部低平原地下水中氟的富集环境及其特征探讨·····	安钟元 (53)
西安地区承压水中氟、砷富集的地质环境研究·····	沈小珍 (61)
陕西省地方性氟病的环境水文地质探讨·····	董发开 (67)
皖西大别山地区环境地质问题及环境地质区划初步研究·····	周 霆 周明全 彭玉怀 (72)
富蕴地震断裂带及其区域稳定性初析·····	李智毅 (78)
佛子岭水库与地震·····	曹光振 (84)
长江中、下游的矾与长江的整治·····	李立文 (91)
柳州市地下水水质现状及污染预测·····	郝祥英 (98)
唐山市区地面塌陷及地下水中铬污染研究·····	张洪波 (105)
合理地下水位的确定与旱涝盐碱的综合治理·····	许志荣 (113)
贵州高原岩溶区土地资源利用的环境地质问题及治理的探讨·····	李兴中 徐际鑫 毕 坤 (123)
隐伏岩溶区不良工程地质现象的产生及其防治·····	郭志业 (129)
天然岩溶洞穴环境工程问题·····	朱文孝 (136)
人为活动对矿山环境的影响·····	谭绩文 邵爱军 (146)
矿区的环境工程地质问题浅析·····	刘传正 (158)
试论环境地质的一般理论与研究方法·····	多超美 (167)
中国地下水水质图(小比例尺)的编制原则与方法·····	阎葆瑞 王明德 张 胜 (172)
岩溶塌陷分布图的编图原则与方法——以中国南方岩溶塌陷分布图为例·····	康彦仁 章有强 (179)
环境地质制图刍议·····	王明德 (184)
多孔介质饱水二维水动力弥散室内初步研究·····	焦赳赳 文冬光 李新兵 (188)
在环境调查中大力推广多时相遥感图象的对比研究·····	严 刚 (200)
遥感技术在地震预测中的定量方法·····	秦小光 (205)
含氟水区高、低氟含水岩组划分的试验研究——以邯东平原第四系地下水为例·····	

.....汤鸣皋 沈照理 杨静肃 杨仲生 贾凯峰 王昌申	(212)
城市地下水采、灌过程中井管腐蚀堵塞的微生物作用研究.....	阎葆瑞(219)
回灌与地下水质变化.....	磨寿元 郭志业(225)
第二松花江流域地下水环境背景值研究的实验室方法.....	谢明武(232)
对环境水文地质室内试验若干问题的认识.....	沈 工(237)
趋势面分析用于污染起始值计算初试.....	汪 海(241)

略论中国环境水文地质发展动向

孙 昌 仁

(地质矿产部水文地质工程地质司)

环境地质工作,在我国国民经济与社会发展中的重要地位,越来越被人们所认识。当今世界各国面临的人口、资源和环境三大问题中,水资源是其中一个比较突出的问题。它既是自然资源中的重要组成部分,又是环境的基本要素。由于不合理地过量开采地下水和水资源不断遭到污染,从而引起的各类环境问题日益突出,这已引起人们的高度重视。

水资源的利用效益,在很大程度上取决于水质的好坏。尽管水资源保护技术不断进步,但水质逐年恶化的趋势并没有得到控制,这就更加剧了水资源的供需矛盾。因此,在进行水环境综合评价和制定水资源合理开发利用规划时,必须注意对水质的要求。

近些年来,我国环境地质工作,针对已出现的各类与地质有关的环境问题,作了大量的调查研究,为城市规划、国土整治、地质自然保护区的调查、环境生态研究、灾害地质、地方病防治以及为地下水免遭污染和合理开发利用地下水资源等方面,提供了大量的地质、水文地质资料,概括起来主要有以下几方面。

一、区域环境水文地质调查

区域环境水文地质工作,主要是指在宏观范围内进行的综合性环境水文地质评价。这可以在一个大的地质自然单元范围内,也可以在某一个行政区域范围内进行的环境水文地质调查与评价工作。在研究区域范围内的环境水文地质条件、规律,综合分析区域内存在的各类与地质有关的环境问题,并作出相应的评价和发展趋势的预测。这项工作最近几年发展得较快,不论在方法和内容上都有一定程度的提高。促成其发展变化的原因,除客观需要外,一个重要的因素就是化学分析仪器精度的提高,有可能对地下水中许多微量与痕量污染物做出精确测定,为开拓这一领域向深度和广度发展提供了条件。吉林省地质矿产局率先进行了第二松花江流域地下水背景值的研究。他们通过对地下水中污染质运移和定量评价污染流与天然地下水围岩等的相互关系,确切地反映出地下水中的有益与有害元素的背景值,以期在工作内容、方法步骤和深度等方面取得经验。辽宁省地质矿产局在下辽河平原地区进行的综合环境水文地质工作,主要是针对这一地区,环境水文地质工作研究程度高,工业发达,城市群高度集中,用水量大,易造成污染等特点,宏观全区主要环境水文地质工程地质问题,按地下水系统理论,有针对性的提出了

合理开发利用地下水资源方案及治理对策。我国华北、长江三角洲等地区也正在开展此项工作。

二、城市环境地质工作正在兴起

城市是当前环境地质工作的重点地区,随着城市人口高度集中以及近代工业的不断兴起,城市供水及水质恶化等环境问题日趋严重,特别随着旧城市的改造和新城市的不断出现,有的还将形成互相连结的工业城市群,城市供水及水质恶化等环境问题更为严重。在城市结构,功能以及城市的布局都在发生较大变化的情况下,各城市的主要环境地质问题,应根据各城市的自然环境,资源状况,现状基础等条件来确定。

目前,我国城市发展比较快,遇到的问题多,有共性、也有特性。从共性来讲,城市的基础地质以及工程地质工作都比较薄弱,有待进一步加强。但往往由于这方面的失误,给新旧城市的发展带来很多不利因素。还有随着人口的增加和工业的发展,城市固体废弃物,以及生产和生活废水及污水排放等也逐日增多,给城市带来不少新的环境问题。从特性来讲,由于城市基础地质条件的不同,所以不同的城市存在着不同的水文地质、工程地质、环境地质问题。

当前,不论南方或是北方一些城市,一个带有普遍性而又比较突出的问题是水资源不足和水质逐年恶化,有的已经成为城市发展的制约因素,所以加强地下水资源的环境质量评价工作,是非常必要的。这些城市虽然早已开展了这项工作,但多偏重于现状评价,只有少数城市开展了环境影响评价工作。为了从战略上解决地下水污染与防治措施,我们开展了重点城市和地区的2000年环境水文地质预测工作。这项工作大大推动了预测评价的深入发展,并为城市环境保护和建设规划提供了科学依据,无疑,这项评价和预测信息也将对国家城市水资源宏观决策提出依据。实践证明,城市环境地质工作,涉及面广,社会性强,层次复杂,具有高度的综合性,要求在一个地区内,既要包括有自然环境质量评价(主要指地质、水文地质以及物理、化学方面的问题),又要包括有次生环境(指工业三废和生活污染)及社会环境问题。面对这样复杂的评价对象,应认真总结国内外关于地下水污染机理的研究,以及我国在这方面所取得的经验和教训。目前已有不少环境水文地质总站从过去感性指标措施而逐步过渡到利用化学、物理和生物地球化学指标,进行一定程度的定量评价。在研究内容上,更密切的结合了地质条件,注意了地下水在流经围岩过程中,对所含有的各类元素迁移、转化、沉淀、吸附、分解、合成、氧化、还原等各种复杂的物理化学作用,并进一步采用数字模型进行评价。

地下水环境质量评价的最终目的是为制定地下水环境质量标准、开采规划控制地下水污染,制定区域环境综合防治方案而提供科学依据。

从世界上许多国家的近代历史经验证明,水资源的保证程度,是经济发展和城市建设的重要制约条件之一。做好水资源的合理利用与保护工作已成为地区发展的中心问题。从利用角度来看,应力求使水资源充分发挥综合效益,以满足国民经济各部门的用水要求。从保护水资源来看,必须使水资源在利用的过程中得到合理的保护。

三、环境水文地质为地方病防治提供了水文地质依据

地下水在天然和人为作用影响下,对人体产生生理与健康的影响,形成地区性疾病,人们称之为地方病。这项调查研究工作,早在50年代初期,我国在进行综合水文地质调查的同时,就已经开始。现在又有人称之为病理环境水文地质学,其所研究的内容都不外乎是围绕着地方病的产生、发展、变化与自然环境。地质条件及在天然和人为作用下,水文地球化学的变化规律与形成各种疾病都有一定的相互关系。查明元素在不同地质条件下的分布规律,迁移条件和进入人体的各种条件,形成现今常见的地方病。

地方性氟中毒是一种典型的地方病。它是通过饮水、食物和空气等途径长期摄入过量的氟所引起的一种慢性全身性疾病。该病在我国分布较广,除上海外,其它省(区)、市都有不同程度的流行,而且病情较重,病区呈不均匀的灶状分布。据调查,这些地区主要受燕山期的火山喷出岩,花岗岩等影响。通过降水淋滤而迁移、富集,在地形低,排水不畅,蒸发强烈的地区易于形成。而这些地区又多出现土壤盐碱化或次生盐碱化,使地面水中的氟离子富集、浓缩,导致浅层地下水含氟量高。一般大于 2 mg/L ,最高可达 32 mg/L 。深层高氟水主要分布在渤海海滨平原地区,地质条件多为海陆交替相地层。在此地理条件影响下,形成高氟水。长期饮用,在人体内形成氟化钙沉积,使骨质硬化,造成功能障碍。

地方性甲状腺肿(以下简称“地甲病”)和地方性克山病(以下简称“克山病”),该病在我国除了华北平原部分地区、四川盆地中部、洞庭湖湖滨平原以及部分沿海平原外,广大的山地、丘陵地区均有程度不同地甲病分布,除上海外都有流行,我国地甲病重病区主要分布在东北的大兴安岭、长白山、华北的燕山区、中部的秦岭大巴山、鄂西山、大别山区、东南部的浙、闽山区、南岭丘陵地区、西南的喜马拉雅山区和云贵高原东南缘山区、西北部的帕米尔高原东麓、昆仑山北侧及天山南北侧的山前冲积平原地区。

地甲病的流行与饮水中碘含量关系密切,地方病大都发生在地甲病流行区。

机体摄碘量不足是引起缺碘性地甲病的主要原因,碘元素在自然界遍布于大量水,土壤、动植物和人体中,但碘又是迁移能力强的元素,易淋溶流失,特别是山岳冰川、山地丘陵地带,侵蚀作用强烈,土壤中的碘被冲刷迁移,环境介质中碘含量低,故在许多地区形成缺碘的生态环境。这是地甲病与克山病严重流行的地理原因。

克山病在地甲病流行区,主要原因是母亲怀孕时碘摄入量低,胎儿得不到适量的甲状腺激素和碘所形成的。主要表现为呆、傻、聋、哑、小、甲状腺功能低下,严重者生活不能自理。

关于大骨节病和克山病,它的地理分布都在东北到西南的一条宽阔地带。该病发病原因尚待进一步研究,经我国地学、医学、生物化学等多种学科专业人员对病区自然环境综合考察,积累了大量资料,多数认为,病区生态环境水中,土的化学物质异常,是发病的主要原因。

总之,经地质矿产部环境水文地质工作者的多年研究及国外一些资料表明,地方病的产生,显然是受宏观的自然地球化学环境控制。关于自然地球化学环境对人体健康发

生影响的理论,早年就有人创立关于“生物地球化学省”这一概念,十几年前,英国地球化学家哈密尔顿又发现,任何一种人体组织中的元素丰度与地壳元素丰度相同,证明人体与自然地球化学环境密切相关,自然环境中任何一种元素出现明显异常,都可能对人体健康产生影响。说明许多地方病之所以具有强烈地带性分布特征是与当地的自然环境、地质、地貌、水文地质条件等有着密切的相关关系的。

四、从水资源的开发利用看我国北方、 生态环境的变化和存在的问题

我国干旱、半干旱地区面积约 $500 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全国总面积50%以上, 是世界中纬度干燥带的重要组成部分。我国地表水资源虽较丰富, 但分布极不平衡, 北方干旱、半干旱地区仅占10%, 严重影响农牧业的发展。从地表景观生态和农林牧业的变化都反映出水是这一地区的关键因素, 甚至可以说, 在北方干旱地区, 地下水资源远较其它矿产资源更为重要。我国的新疆、甘肃、青海、内蒙古及东北西部等干旱地区, 尽管有丰富的矿产资源、辽阔的可耕地、草场和森林, 但由于水资源缺乏或在地区分布上的不平衡, 也仍处于无法开拓的状态。近年来, 随着这一地区的发展, 人为因素明显增加, 地表生态和耐旱植被大批死亡, 沙化日趋严重, 从历史上看, 这些地区并不是未被开垦的处女地, 从城堡废墟、村落残迹证明, 古代的开发者早已涉足于此, 只是由于他们不了解生态科学, 一旦环境生态遭到破坏后, 不得不抛弃这块土地, 另奔他方谋求生路。历史的教训和眼前的现实都告诉我们, 在开发生态环境极为脆弱的干旱地区, 必须谨慎地对待生态环境问题。在这些地区长年工作的广大环境水文地质工作者们, 早已注意了它的发展趋势, 并多次提出警告性预测, 但并没有引起有关部门的注意, 沙化和盐碱化还在继续发展。从历史资料可知, 新疆塔克拉玛干沙漠南缘, 历史上曾有过十分发达的农业; 内蒙古毛乌素沙漠南缘, 历史上曾有过十分发达的农业, 而有一些地带曾经是水草丰茂的草原; 乌兰布和沙漠曾经是黄河的冲积平原, 著名的粮食产区, 这些地方后来都被沙漠吞噬了。有资料反映, 仅半个世纪以来, 北方干旱地区所形成的现代沙化土地约达5万多平方公里, 潜在的土地沙化还在继续, 它将继续夺走人们可资利用的土地资源。

盐碱化的产生和扩展, 反映出水资源、水利工程和土地利用上的不合理而造成的生态环境问题。

归根结底, 在干旱、半干旱地区出现的此类环境生态问题, 无非是水资源和土地利用上的不合理而造成的。如果我们从环境水文地质和环境生态角度去理解自然, 用现代科学技术去分析、开发、利用这些自然资源, 就有可能充分发挥它的巨大资源优势, 取得更大的经济环境效益。

五、关于地质自然保护区的建立

我国地域辽阔, 自然条件复杂, 有极为丰富的地质资源, 地质类型繁多, 地貌景观奇特, 这些都直接或间接的揭示了我们伟大祖国历经沧桑变化的地质发展史, 无论从时

间演变序列还是从空间分布上都有极其重要的科学价值。它远不只限于对开发矿产资源和地质科学及旅游等有重要价值,它还是我国四化建设、培育青少年进行爱国主义教育的天然博物馆。为此,我们有责任对这些特殊的地质、地貌、地质自然遗迹进行调查、评价和保护,特别是随着四化建设的高速发展,人民生活普遍得到提高的今天,要求旅游的人们越来越多,由于人们对这些反映古老的地质发展史和自然演化史的标志、遗迹缺乏足够认识,使它不断遭受人为不自觉的破坏。如果我们不从现在开始有计划、有步骤地进行考察、研究,确立一些有价值的重点保护区加以保护,那么就有可能在短期内,把这些不可再生资源遭到更加严重的破坏。到那时,我们就有可能成为“千古罪人”了。

地质矿产部多年来一直对这项工作给予足够的重视,特别最近几年来,曾多次发出通知,要求各省(区)、市地质部门都要引起充分注意。1985年11月地质矿产部与国家环境保护局在湖南省共同召开了“我国首次地质自然保护工作会议”,这次会议在各部门领导的支持下,在湖南省地质矿产局的热情接待与组织下,会议取得了十分可喜的成绩。大家不仅对湖南省武陵源地区的地质、地貌、天然环境生态等进行了实地考察的评价,而且提高了对地质自然保护区工作的认识,对全国各地一些特殊的地质、地貌、古生物等进行保护的必要性有了进一步的认识。

我们还将把我国一些有科研价值的地质、地貌、古生物、冰川、化石、泉群、瀑布等逐步分门别类的按不同等级加以考察、研究,并将根据其保护价值、程度加以确立不同级别的保护区,列入国家计划,有步骤的逐个完成。

我国主要城市地下水水质问题的 主要成因分析及防治对策

李 京 森

(地质矿产部环境水文地质总站)

我国城市人口约占全国总人口的1/5。城市地区人口集中,工商业、交通运输和科技文教事业发达,在国民经济发展中作用重大。为此,分析研究我国主要城市地下水水质问题的成因,提出防治对策,对于保护城市地下水资源,保证国民经济的发展,具有重要意义。

本文是以三大直辖市——北京、天津、上海,除广州、合肥、兰州、南宁、拉萨以外的各省省会和自治区首府,以及发展中的城市桂林、常州、海口等总计27座主要城市的水文地质部门进行的地下水监测、预测研究成果为基础编写的。这27座城市,除乌鲁木齐与西宁位于西部地区以外,绝大部分位于东部和中部,其地下水以松散沉积物孔隙水和岩溶水为主。地下水开采量在城市供水总量中占50%以上的城市约占1/2。

一、主要城市地下水水质现状及发展趋势预测概述

1. 地下水水质现状

以现行生活饮用水水质标准为标准,依据上述27座城市地下水水质主要指标的超标率、超标面积和对现有水源地的危害程度,可将主要城市地下水水质状况划分为:很差、较差、稍差、较好四级(表1)。

27座城市中,水质差的城市共计21座,占77.8%。其中,“很差”的有3座。其特点是:由于生活、工业污染造成地下水的一般理化性质指标较高,总硬度超过25德国度的面积均在200—250km²以上,硝酸盐氮含量超过10mg/L的面积为50—330km²,且城市地下水水源地受到严重危害;其他主要污染指标还有矿化度、Cr⁶⁺、氰化物和挥发酚类等。

地下水水质“较差”的城市有5座,其中有的城市由于环境污染,地下水的总硬度、矿化度、硝酸盐含量等指标较高,有的由于天然地质环境条件而存在天然水质不良问题,如滨海城市地下水总硬度、矿化度较高,冲湖积层分布区的城市地下水的铁、锰含量较高。

地下水水质“稍差”的城市有13座。城市生活污染使地下水总硬度、硝酸盐、氨氮等

表1 城市地下水水质分级

水质 级别	地下水主要水质超标情况		不良水质地下水对 现有地下水水源地的 危害	天然水质不良问题
	超标面积 (km ²)	监测井超 标率(%)		
很差	>200	>40	严重危及	先用各项指标按左侧所列分级标准划分水质级别,然后将天然水质不良问题指标去掉,再进行水质级别划分,若级别有所降低,则将前述所划级别降低一级,但最低应列为“稍差”
较差	100—200			
稍差	20—100	20—75	危及	
较好	点状或零星块状, 最大不超过20	<20	不危及或基本不危及	基本不存在

较高。由于天然环境水文地质条件,河流三角洲及滨海地区城市地下水硬度、矿化度、氯化物含量等较高;有冲湖积物分布的城市,地下水铁、锰含量较高。

地下水水质“较好”的城市有6座。地下水水质符合生活饮用水水质标准,虽仍有星点状污染,但不危及城市地下水水源地。

综合上述城市地下水水质监测资料,当前城市地下水水质的主要问题是:

(1) 城市生活污染为主造成的地下水硬度、硝酸盐超标,氨氮、亚硝酸盐、矿化度的检出与超标,某些城市地下水氯化物含量也在升高,甚至引起地下水化学类型发生变化。

(2) 工业污染对城市地下水的影响,目前是局部的、范围较小的,但有些城市是比较严重的,其主要指标是有毒、有害组分,如挥发酚类、铬、氰化物等。

(3) 一些城市使用未经处理的污水灌溉农田,在适宜的地质条件下,引起一定范围地下水的污染。

(4) 地下水天然水质不良问题。如湖沼相沉积环境下的铁、锰、砷含量较高的地下水,滨海地区咸水,地下热水分布区高氟地下水等。

2. 2000年以前地下水水质发展趋势预测

根据地下水水质多年监测资料,上述27座城市有选择地运用回归分析,趋势外推和

表2 城市地下水水质单项指标发展趋势预测分类方法

发展趋势类别	$\Delta Ci/Co_i$		ΔS (km ²)	
	常量指标	微量组分	$S_0 < 200$ 时	$S_0 \geq 200$ 时
急剧上升	> 1		> 50	> 100
快速上升	0.5—1		25—50	50—100
中速上升	0.2(或0.25)—0.5		10—50	25—50
缓慢上升	0.05(或0.1)—0.2(或0.25)	0.1—0.2(或0.45)	< 10	< 25
基本稳定	< 0.05 (或< 0.1)	< 0.1	< 10或缩小	< 25或缩小

概率统计、水动力弥散等方法,对2000年城市地下水的总硬度、矿化度、硝酸盐以及化学耗氧量(COD)、氯化物等水质指标,分别进行了发展趋势预测。

以某一指标2000年年平均预测值 $\hat{C}_i$ 与1980年该指标监测数据的年平均值 C_i 之差($\hat{C}_i - C_i$),作为该时间段的变化幅度 ΔC_i ,取 ΔC_i 与该指标生活饮用水水质标准 C_{oi} 之比($\Delta C_i/C_{oi}$),以及超标面积的扩大数量 ΔS 为依据,进行城市间单项指标发展趋势的对比,可划分为急剧上升,快速上升等五类(见表2)。预测城市主要单项指标发展趋势分类如表3所示。

表3 2000年以前预测城市地下水水质主要单项指标预测发展趋势分类

水质指标	预测城市数量(座)	各类别城市数量(座)					代表年份年平均超标城市数量(座)		
		急剧上升	快速上升	中速上升	缓慢上升	基本稳定	1980年	1990年	2000年
总硬度	25*	2	3	6	6	10	5	12	13
矿化度	24*	1	2	8	7	9	5	7	9
硝酸盐	18*	3	4	3	1	8	6	7	8
COD	13	0	4	1	0	8	5	6	7
氯化物	6	0	0	2	1	3	0	0	0
硫酸盐	5	0	0	2	2	1	0	0	0
挥发酚类	6	2	1	1	0	2	2	3	—
铁	5	0	0	2	0	3	4	4	5

*上海、郑州、杭州三市分别预测了两组含水层,其发展趋势不同时,分别计数。

根据 $\Delta C_i/C_{oi}$ 分类的划分下限,对单项指标发展趋势类别按比例打分,可以给定各单项指标发展趋势分指数 T_i (见表4)。采用公式 $T = \sum_{i=1}^n T_i$,可以求出城市地下水水质发展趋势综合指数 T ,以其作为2000年以前预测城市地下水水质发展趋势综合评价分类的依据,可划分为急剧恶化、快速恶化、中速恶化等五类。分类的标准及结果如表5所示。

表4 T_i 的确定

地下水水质单项指标发展趋势类别	$\Delta C_i/C_{oi}$	T_i
急剧上升	> 1	10
快速上升	$0.5-1$	5
中速上升	$0.2(\text{或}0.25)-0.5$	2
缓慢上升	$0.1(\text{或}0.05)-0.2(\text{或}0.25)$	1
基本稳定	$< 0.1(\text{或}<0.05)$	0

表6 2000年以前城市地下水水质发展趋势综合评价

发展趋势类别	T	城市数量 (座)	占预测城市总数的百分比 (%)
急剧恶化	≥ 20	4	14.8
快速恶化	10—19	8	29.6
中速恶化	5—9	4	14.8
缓慢恶化	1—4	7	26.0
基本稳定	0	4	14.8

二、地下水水质问题的主要成因分析

分析地下水水质问题的成因,是制订地下水水质保护对策,控制污染与水质恶化的依据。为此,现根据环境水文地质条件对上述水质状况的形成原因初步分析如下。

1. 污染物直接入渗

在不良的天然环境水文地质条件下,污染物直接入渗,造成地下水污染与水质恶化。

污染物垂直污染地下水的主要方式有:

- (1) 城市市政管网不健全,生活废水或工业污水任意随地漫流排放,或通过渗坑、渗井、岩溶落水洞等垂直排放。
- (2) 不合理地进行污灌。包括污灌地段选择不合理;使用未经处理的污水进行污灌;灌溉制度与灌溉定额不合理等造成污水田间渗漏。
- (3) 排污河渠与污灌沟渠、污水蓄水池等地表污水体渗漏。
- (4) 工业废渣或生活垃圾露天堆放,其中的污染物经降水等淋溶随水入渗。
- (5) 大气污染物经干湿沉降,落至地表,又随水入渗。
- (6) 化肥、农药等污染土壤,在灌水、降水等淋溶作用下污染地下水。

地下水易于遭受污染物直接入渗污染的地区有:

- (1) 松散沉积物孔隙潜水和山前冲洪积平原、山间河谷与山间盆地河谷的浅部松散沉积物孔隙承压水分布区。由于孔隙潜水的补给大多来自垂直入渗,污染物通过包气带污染潜水是显而易见的,特别在潜水位以上可以阻滞污染物向下运移的粘性土保护层缺失或很薄时,孔隙潜水更易遭受污染。当潜水受到污染以后,还可通过浅部承压水隔水顶板分布不稳定的地段,使浅部承压水受到污染。如地处内陆山前地带的乌鲁木齐,城市污水的91.6%通过渗坑、渗井、明渠、暗沟、漫流、随意泼洒等形式在市区渗失,其余8.4%也在市区下游通过污灌蒸发与在干河道漫流渗失,加之百万人口的粪便垃圾等的降水淋溶,使地下水硬度、矿化度超标面积达200km²以上,硝酸盐超标面积达50km²,超过地下水背景值的污染区面积达366.7km²,占研究区面积的63.2%。再如地处永定

河冲洪积扇的北京西郊首钢排污渠渗漏与污灌造成的地下水酚、氰污染；北京城近郊以历史上使用大量渗井排放生活污水为主要原因之一，造成地下水硬度与硝酸盐含量升高；地处山间盆地河谷的西安旧城区和北郊地区，由于历史生活污染与污灌造成地下水硬度、矿化度、硝酸盐含量升高；地处黄河冲积平原的郑州市，北郊、东郊、东北郊等污灌区明显污染，市区严重污染，是由于污灌、垃圾任意堆放，无衬砌污水河道渗漏、渗坑、渗井排污、大气污染严重等造成了地下水硬度、氯化物、硫酸盐和三氮含量较高。

(2) 岩溶地下水分布区地表岩溶发育，污染物沿岩溶裂隙、孔洞进入含水层。如贵阳市，该市市区的南明河已受严重污染，因河水补给两岸岩溶地下水，使地下水也受到污染，该市地下水大肠杆菌检出率为100%，仅个别点不超标，市区地下水细菌总数超标率也高达55.6—67.0%，且浅层高于深层。

(3) 基岩裂隙水分布区，污染物通过透水的松散沉积物盖层或直接经基岩裂隙进入含水层。如长春市区基岩构造裂隙水，因生活污染物沿基岩裂隙直接入渗，氯离子与硝酸盐含量呈正相关关系。

2. 天然环境水文地质条件的变化

地下水开采活动引起天然环境水文地质条件发生变化，造成地下水污染。主要途径有：

(1) 多层组混合开采(如咸淡水混合开采)或成井工艺不佳，以及井管破损，废井林立，沟通了不同水质含水层等原因，造成串层污染。天津、上海、海口等城市开采咸水层下的承压淡水，造成开采层水质咸化，即为例证。天津市因此使某些开采井地下水的化学类型由 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{Na}$ 型变为 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型。

(2) 开采造成水位持续下降，改变水动力条件，引起水质不佳含水层或污染水补给，使开采层水质恶化。天津市开采了第二承压含水组，水位逐年下降引起上层咸水越流补给，是天津市开采层淡水咸化的又一原因。此外，杭州市开采古河道孔隙承压淡水体，引起外围咸水体入侵，造成淡水体缩小，水质恶化。西宁市开采各川地下水，在水位持续下降情况下，引起各川边缘受第三系含盐地层影响的咸潜水向低水位的淡水体侵入，使淡水体矿化度、硬度逐渐升高。乌鲁木齐市大量开采孔隙水也引起两侧河谷劣质潜水补给的增加。南昌市开采第四系孔隙水，引起第三系红层溶蚀裂隙微咸水的越流补给，使孔隙水局部苦咸。

(3) 地下热水开采形成了新的污染源。福州市地下高氟热矿水的出露与开采，使其下游附近的第四系孔隙水遭到污染。

3. 环境化学条件的变化

由于环境污染或地下水开采造成环境化学条件的变化，引起地层中某些组分的迁移，使地下水水质恶化。对地下水硬度升高问题的研究认为，由于开采水位下降，改变了含水层漏斗部分的氧化还原条件，促使土体中有机成分分解，二氧化碳分压增大，同时，生活污染物进入土体，其中有机物的分解也使二氧化碳分压增大，从而促进了土体中难溶的方解石、白云石的溶解，钙、镁离子转入地下水，使其硬度升高。此外，酸性

废水的排放也可使土体方解石、白云石溶解；污水中某些盐类进入含水层所产生的盐效应等也可促进地下水硬度升高。又如武汉研究认为，碱性废水进入土体，有利于砷的迁移，可使地下水砷含量升高。

4. 地下水人工回灌造成的污染

为调节地下水资源，缓和地面沉降，部分城市开展了人工回灌地下水，但由于回灌水水质不完全符合要求，引起地下水污染。上海市承压地下水的挥发酚类污染。天津市承压水有机及有害物质污染，均位于人工回灌井周围，与人工回灌有关。

5. 原生地球化学条件形成的地下水本底问题

(1) 冲湖积层、三角洲冲积层还原条件下铁、锰含量高的地下水。武汉、南昌、上海、常州、哈尔滨及长春等城市第四系孔隙水，即因此而铁、锰含量较高。

表 6 主要城市地下水水质问题主要成因分析

序 号	城市名称	地 下 水 污 染											地下水天然本底问题	
		污染物直接入渗						地下水开采活动			环境 化学 条件 改变	人工 回灌		
		排 污 方 式 不 当	污 灌 渗 漏	地 表 水 渗 漏	固 体 废 物 淋 溶	气 体 沉 淀 大 染 污	污 水 干 降	农 业 污 染 土 源 溶	不 含 同 水 层	水 质 串 层				水 位 下 降 引 起 动 力 条 件 变 化
1	北 京	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓		
2	天 津	✓*							✓	✓			✓	✓
3	石 家 庄	✓	✓	✓								✓		
4	太 原	✓	✓	✓					✓					
5	呼 和 浩 特	✓	✓	✓			✓	✓		✓		✓		
6	沈 阳	✓												
7	长 春	✓	✓	✓										✓
8	哈 尔 滨	✓												✓
9	上 海							✓					✓	✓
10	南 京	✓		✓		✓								
11	常 州	✓												✓
12	杭 州	✓								✓				✓
13	福 州	✓				✓					✓			✓
14	南 昌	✓					✓			✓				✓
15	济 南	✓					✓			✓				
16	郑 州	✓			✓	✓	✓							