

中国地质科学院科研报告 0055

沈阳市地下水环境质量 评价及污染质在包气带 运移规律试验研究

水文地质工程地质研究所

1984年



对《沈阳市地下水环境质量评价及 污染质在包气带运移规律试验研究》的 评 审 意 见

沈阳市地下水污染的研究，属国家重点科研项目“重点城市环境地质和水源保护的研究所”的一部份，我所环境水文地质组的同志自一九七五年起参加了该项研究工作，与辽宁省及沈阳市有关单位协作，对沈阳市的污染源、地质环境及水化学等进行了大量的实际调查工作，并开展了污染质在包气带介质中运移规律的研究。在上述工作的基础上于一九七九年编写出本报告。

报告由三个部份组成。第一部份主要阐述沈阳市环境水文地质特征及地下水的污染问题；第二部份重点论述了环境质量评价问题；第三部份是关于污染质在包气带不同介质中垂直运移规律的实验研究。

该报告在数年来科研工作实践及比较丰富的资料基础上，探讨了有关沈阳市地下水污染及环境质量评价问题，对于问题的分析研究达到了一定的深度。

报告第一部份提出了“区域背景值”、“污染起始值”、“污染指数”等概念，并在此基础上，判定地下水的污染程度和特征，上述途径在评价地下水的污染情况方面是正确的，这是一个很好的尝试。

报告第二部份着重论述了沈阳市地下水环境评价问题，这一部份作为本报告的主体，对问题的论述达到了一定的水平。

在全面地论述地下水污染的主要因素及分量分析的基础上，建立了沈阳市地下水环境质量评价模型，并进而对该区环境质量进行了分区评价。所提出的原则和方法（包括质量评价模型）在污染水文地质研究方面是有一定意义的。

报告的第三部份总结了污染质在包气带不同介质层中垂直运移规律试验的情况。此类试验虽属初步尝试，但至为必要，舍此，将无法深入地讨论有关地下水污染的某些机理问题。

其中最可贵的是提出了实践过程中存在的问题，发现问题是解决问题的前提，这些问题的提出对进一步完善这方面的试验工作具有重要作用。

根据试验结果所提出的一些看法，虽属探讨性的，但也是值得重视的。

总之，这份科研报告比较系统地提出了研究地下水污染及评价环境质量的方法，对开展环境水文地质工作具有指导作用。建议对不同章节中的重复内容予以删节，对图件作必要的复核后，印发给有关部门使用。

前 言

沈阳市是我国重要工业城市之一，面积二百二十平方公里，是多种工业集中的城市。城市供水是以地下水为主，具有五十多年的供水历史。解放以来，随着工业迅速发展和人口的增长，使用水量不断上升，比解放前增长十三倍多。沈阳地处浑河冲积、洪积扇上，虽然水量丰富，水质也良好，但地表覆盖粘土层不厚，东部地区含水层直接裸露地表，极易被污染。全市1,400多个工厂，每天排放465万吨污水，通过各种途径、渗入地下而造成地下水的严重污染，据几年来监测资料统计，其中一项以上指标超过饮用水标准者达监测井总数的58%~74%。当前解决水源不足和防止污染的继续发展，已成为城市建设中迫在眉捷的问题之一。本专题的目的就是为了查明沈阳市环境水文地质条件，地下水污染的现状，进而探讨防止地下水污染的方向，为解决水质恶化问题提供依据。为市政建设规划提供参考意见。

沈阳市虽然是一个较为古老的城市，但解放前遗留下来的水文地质资料很少，仅南部苏家屯以南一些矿区地质资料较为丰富，解放后，1956年沈阳城市勘察院进行1/10万水文地质勘察和辽宁省水文地质大队1/20万水文地质普查等工作，对沈阳市第四纪地质结构、含水层分布特征等进行了较系统的描绘，市自来水公司积累了几十年的水化学资料，以及城市建设部门长期积累的工程地质和自备水井勘探资料，都对研究沈阳市环境水文地质条件具有一定的参考价值。

1973年全国第一次环境保护会议上，沈阳市被列为全国重点环境保护城市之一，1974年我们开始筹备本专题工作，1975年地质部下达科研任务第124项，即重点城市（北京、上海、沈阳、武汉）环境地质和水源保护的研究，其中“沈阳市地下水污染调查和环境质量评价”，负责单位由辽宁省地质局，参加单位为水文地质工程地质研究所。同年沈阳市地下水污染的研究，列为沈阳市工业“三废”和水源污染联合普查计划，我们参加了由沈阳市统一组织，有地质、环境保护、卫生防疫、自来水等有关生产、科研和教学单位参加的枯丰水期联合普查工作，并联合编写了《沈阳市地下水污染普查工作报告》，1976年国家科委又作为科研项目第66项中的一部份下达。1976~1978年间，我们同沈阳观测站协作进行每年枯、丰水期两次水质监测，（每次调查约330眼水井，采样1650个）和重点地段水化学调查及区域背景值调查研究；开展了野外路线勘察，并收集有关资料，进行地质结构、污染源的分析研究工作；进行了污染物质在包气带介质中运移规律野外现场试验；还对几年来监测的水化学资料数据，采用数理统计法进行整理，借助于电子计算机进行处理，尝试建立环境质量模型，进行环境质量评价和影响分析。

进行环境质量评价的目的，就是要在查清地下水污染发生、发展现状的基础上，对影响地下水污染的各种因素（天然及人为因素）进行分析研究，建立环境质量模型，进而预测其发展趋势，以及提出防止污染的有力措施和治理意见，并为城市规划和合理布局提出可行的方案。

当前,地下水环境质量评价的内容和方法是广大环境水文地质工作者着重探讨的课题之一,到目前为止,我国对地下水环境质量评价的方法,还多采用直接评价法,包括污染指数法、分区评价法和水文地质图系法,这些方法归纳起来多属现状评价,就是在水化学调查的基础上,对地下水污染现状进行直接编图或分区论述。这种方法的优点是直观、准确,也是评价工作的基础,但在人口密集,工厂繁多的大城市,控制采样点的精度是非常困难的,而且这种方法本身也缺乏对引起污染的各种因素之间的有机联系的分析,特别是缺乏对人为经济活动效果和天然因素的综合考虑,也不便于各地区的对比和提出切实可行的防治措施。在本报告中不仅采用了上述那些直观评价方法和观点,而且对地下水污染的各种环境因素进行具体分析,采用统计和比拟的方法,建立它们与污染程度之间的关系模型,从而计算各个地段的相关统计量——环境质量变异系数,将影响地下水所处的环境质量给予相对的定量评价,并在分析各个地段地下水水质恶化的主要原因的基础上,提出治理措施和规划意见。

随着环境水文地质工作的深入开展,对地下水中污染物质运移的机理,已经越来越被广大的环境地质工作者所关注。然而,被污染的地下水,通过不同的介质,由于其介质本身的物理、化学特征不同、同污染物质之间产生吸附、化合、离子交换,生物分解等各种物理、化学和生物化学作用,在这些复杂的、相互矛盾、相互制约的天然地质体中,弄清污染质的发生、发展,运移的机理,是十分困难的,但又是非常必要的,为此目的,我们配合野外工作,初步开展了几种常见的有机污染物质和重金属污染质在包气带中运移机理的试验,并把一些粗浅的认识,写入此报告中,我们认为对进一步研究地下水污染机理是非常有益的。

本报告主要内容分为三大部份,第一部分阐明沈阳市环境水文地质特征及地下水污染现状,;第二部分论述沈阳市地下水的环境质量评价;第三部分是污染质在包气带介质中运移规律试验研究。主要由田春声、尹宝瑞、杨广仁执笔,参加本课题研究和报告编写工作的(野外工作及室内资料整理、图件编制、复制、出版工作)还有环境地质组:韩行琦、王学俭、王鸿燕、等同志,我所实验室、后勤处、绘图组、复制室许多同志都予以大力协助。

工作期间,辽宁省水文地质总站、沈阳市环境保护研究所提供了资料和协助。辽宁省地质局试验室协助了样品分析工作,煤炭设计院土分析室及中国科学院林土所对土样分析给予了大力协作,在此一并致谢。

目 录

前 言

沈阳市环境水文地质特征及地下水污染现状	(1)
一、沈阳市环境水文地质特征	(1)
(一) 地貌条件	(1)
(二) 地质结构	(2)
(三) 环境水文地质特征	(4)
二、地下水污染物质的来源	(6)
(一) 工业污水渗入污染地下水	(6)
(二) 地表废渣和大气烟尘经降水和地表水淋滤渗入污染地下水	(8)
(三) 河渠渗漏引起地下水的污染	(9)
(四) 农灌及农药对地下水的污染	(10)
(五) 污染源等级的划分	(10)
三、地下水污染的分析方法	(11)
(一) 地下水污染的基本概念	(11)
(二) 数理统计在地下水污染评价中的应用	(16)
四、地下水的污染现状	(17)
(一) 污染物质的种类、含量及分布特征	(17)
(二) 地下水污染的动态特征	(24)
(三) 不同污染类型的地下水水化学季节变化特征	(29)
(四) 影响地下水污染的主要因素的分析	(33)
五、地下水理化性质变异速度预测	(33)
沈阳市地下水环境质量评价	(41)
一、评价的基本原则和方法	(41)
(一) 基本原则和方法	(41)
(二) 地下水污染影响分量的研究	(43)
(三) 环境质量变异系数及环境质量模型的建立	(52)
(四) 地下水环境质量变异系数临界值的确定	(53)
二、地下水环境质量分区与评价	(54)
(一) 地下水严重污染区[Ⅰ]	(54)
(二) 地下水中等程度污染区[Ⅱ]	(62)
(三) 地下水轻度污染区[Ⅲ]	(65)
(四) 地下水基本上未污染区[Ⅳ]	(65)

污染质在包气带运移规律的试验研究.....	(66)
一、试验的依据、目的任务及方法.....	(66)
(一) 试验的依据和目的任务.....	(66)
(二) 试验的装置结构、方法及程序.....	(67)
二、污染质在包气带介质中运移的基本规律.....	(68)
三、介质层中铬、镉、铅与有机质, 铬与铁的回归分析.....	(85)
四、渗液中某些重金属污染质析出和被介质吸附净化机理.....	(93)
实验中存在的问题.....	(95)
结 语.....	(95)
参考文献.....	(98)

沈阳市环境水文地质特征及 地下水污染现状

一 沈阳市环境水文地质特征

(一) 地貌条件

沈阳市位于松辽平原的东南部，东靠平缓起伏的低山丘陵（绝对高程100—200米），西部和西南部为一望无际的浑河冲积平原，地势平坦，由东北向西南倾斜（绝对高程30—50米）。沈阳市区地处自上新世以来经过两次发育的浑河冲洪积扇上，北以二台子、北陵至芳士的陡坎与老冲洪积扇相接，南至浑河岸。市内有南运河、新开河、细河、长河和胜利、卫工、肇工、徽山等明渠通过，不同程度的接受全市污水的排放。根据地貌成因类型和形态特征，将研究区划分为以下几个地貌单元（见附图1）。

I、堆积地形：

1. 浑河漫滩：主要分布在浑河两岸，顺河流方向坡降为0.5%，由冲积砂、砾石组成，地下水丰富，含水层裸露地表，与地表水体有直接水力联系，地表污水极易渗入地下污染地下水。面积有限。

2. 浑河高漫滩：位于新开河和南运河流域，自东向西呈喇叭形分布，此二河原为浑河古道经人工开挖而成，其上游都源出浑河，流至市区东部东塔街附近分流，分别流经市区北部和南部，向西南最后汇入浑河，沈阳市区东部大部分座落在这一地貌单元上，地势平坦低洼，相对高差10米左右，由冲积、洪积砂砾石组成，地表为砂及亚砂土覆盖，两河沿途接纳工厂污水成为污染地下水的重要来源。

3. 浑河新洪积扇：分布在市区中心和西部，多为冲积、洪积细砂和砾石组成，是本市供水的主要地下含水层，上部有亚粘土覆盖，厚一般不超过2—3米，为此对地下水不受污染起到一定保护作用。但由于人为因素影响，地势高低不平，常常由于人工开挖，当揭穿表层粘土时，造成地下水污染。

4. 浑河老洪积扇：在市区的北部，在北陵以北和新洪积扇呈东西向陡坎相接，高差10米左右，表层有较厚的黄褐色黄土状亚粘土，对地下水起保护作用。

II、侵蚀堆积地形：

1. 山间谷地：位于东部低山丘陵和阶梯状台地及新老洪积扇交界处，是由地表水体横跨几个地貌单元，切割和堆积而形成的。

2. 沟谷洼地：位于老洪积扇前缘与高河漫滩交界处，由于地表暂时性水流冲积而成，沟谷洼地上有许多古低洼湿地，沼泽泡塘等。

Ⅲ、剥蚀堆积地形，

剥蚀堆积阶梯状台地，基底是前震旦系片麻岩，上覆较厚的粘土，高程80—100米。东北高、西南低。

Ⅳ、剥蚀地形，

剥蚀低山丘陵地形，分布在研究区东北部，在古老的片麻岩上覆盖着残、坡积粘土层。剥蚀堆积和剥蚀地形，主要分布于市区东北，远离研究区，因而不属于重点研究对象。综合研究区地貌特征，其对地下水污染的影响程度，可分为五级（见表 I—1）。

沈阳市地貌类型分级表

表 I—1

成因类型	形态类型	代 号	质量分级	质量系数
堆积地形	河漫滩	I ₁	5	0.7
	高漫滩	I ₂	4	0.5
	新洪积扇	I ₃	3	0.3
	老洪积扇	I ₄	2	0.2
侵蚀堆积地形	山间谷地	II ₁	4	0.5
	沟谷洼地	II ₂	4	0.5
剥蚀堆积地形	阶梯状台地	III	1	0
剥蚀地形	低山丘陵	IV		

(二) 地 质 结 构

研究区地处新华夏构造体系的辽东半岛凸起和松辽平原拗陷的交界处，基底是由起伏不平的前震旦系古老片麻岩和混合花岗岩组成，东高西低，只东陵以东出露地表，陶瓷厂新立堡一带埋深30—50米，万泉到劲松机械厂80~120米，铁西、于洪区一带150—250米，其中有几个小型凸起和浑河、铁西、沈西三个大断裂带。由于埋藏很深，对研究区地下潜水和浅层承压水无显著影响。

第三系砂砾岩，泥岩覆盖于基底岩层之上，厚度由东向西增加，东陵一带开始沉积，到铁西、于洪区一带厚度80—150米。说明新生代以来东陵一带继续上升（见图 I—1）。

第四系地层：下更新统（Q₁）为棕色洪积冲积砾石、卵石夹粘土，西部边缘上覆3—7米棕红色粘土；中更新统（Q₂）为黄褐色黄土状亚粘土（10—15）米，下伏亚砂土（5—15）米，上更新统（Q₃）为黄褐色冲、洪积黄土状亚粘土，浑河北，老冲洪积扇厚度为15—25米，浑河南厚度为8—15米，下伏10—35米粗砂砾石夹薄层亚粘土；全新统（Q₄）下部为近代冲积洪积砂砾石层上覆2—3米厚的亚粘土，分布于新洪积扇上，上部为近代冲积卵、砾石，砂砾及亚砂土，分布于近代河床两岸的高河漫滩上（见图 I—2）。

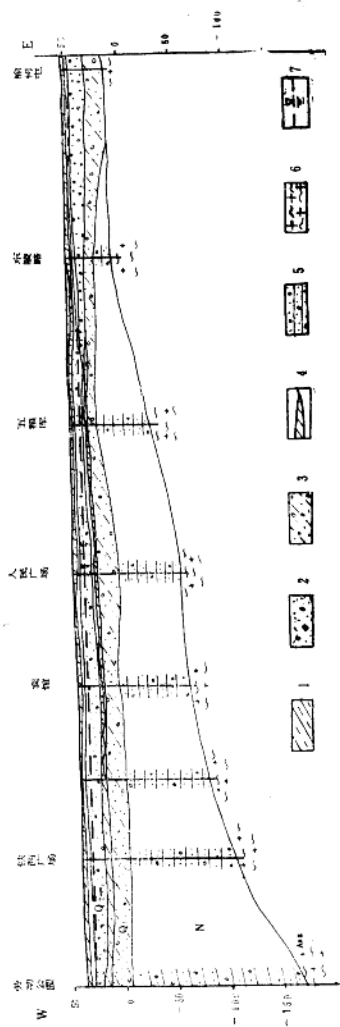


图1-1 沈阳平原地质结构剖面示意图

1. 表亚礫土 2. Q_{3-4} 砂礫石層 3. Q_1 砂礫石層 4. 亞粘土夾層 5. N第三系砂礫岩 6. AnZ前震旦系花崗片麻岩 7. 地下水位

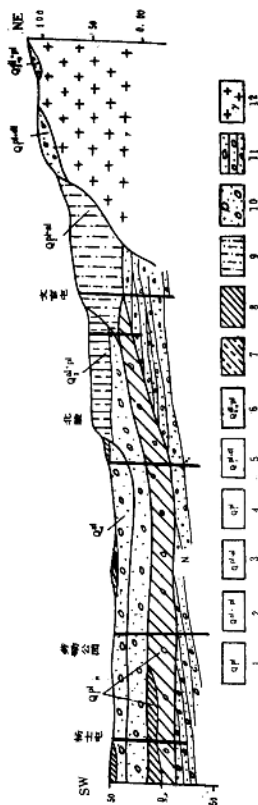


图1-2 沈阳平原第四系地质结构剖面图

1. 全新统冲洪积层 2. 上更新统冲洪积层 3. 中更新统冲洪积层 4. 下更新统冲洪积层 5. 全新统+更新统坡积层 6. 全新统+更新统坡积层 7. 亚粘土 8. 粘土 9. 黄土状亚粘土 10. 砂礫卵石 11. 第三系礫岩泥岩 12. 花崗岩

这里将第四系包气带岩性综合体按其结构和粘性土的厚度分为如下几个类型:

1. 近代河流冲积松散砂砾石层, 厚度 3—5 米, 透水性良好, 使地表污水极易渗入地下污染地下水。

2. 近代冲积砂层, 厚 5—10 米, 分布于河床下游及古河道, 局部夹有透镜状亚砂土, 透水性良好, 易造成地下水的污染。

3. 近代冲积洪积亚粘土, 砂砾石层、双层结构层, 顶部有 0.5—2 米厚的亚砂土, 渗透系数不大 (2 米/日左右) 可对下部含水层起一定保护作用, 但长期渗透仍能污染下部砂砾石层, 西部有亚砂土夹层。

4. 近代冲积亚粘土、砂砾石层, 双层结构层, 其灰黄色亚粘土层为 Q_2 冲积洪积成因, 致密坚实, 透水性较差, (<1.0 米/日) 吸附能力强, 可作为良好的天然保护层, 厚度不等, 根据厚度不同对地下水保护性能的差异, 可分为 0—1 米, 1—2 米, 2—3 米, 3—5 米, 大于 5 米五个等级。下部为砂砾石层 5—10 米, 分选差、有亚砂土的透镜体。一旦局部开挖, 破坏亚粘土保护层时, 仍可造成地下水污染。

5. 冲积洪积黄土状亚粘土, 砂砾石双层结构层, 黄土状亚粘土, 结构致密, 渗透系数小于 0.1 米/日, 可成为地下水的良好保护层, 下部砂砾石层富水性较好, 但距城市较远, 尚不是主要开采含水层 (见附图 2)。

(三) 环境水文地质特征

I、地下水的类型及埋藏分布特征

研究区地下水以第四系砂、砾、卵石层中孔隙潜水和浅层承压水为主, 分布均匀, 迳流条件良好, 水量丰富, 是沈阳市主要供水水源。市区西部第三系砂砾岩层中孔隙承压水和东部丘陵区的前震旦系岩层风化壳中裂隙水, 富水性较弱。这里着重说明第四系孔隙潜水及浅层承压水。

1. 近代冲积和洪积砂、砾、卵石层潜水及浅层承压水, 主要分布在洪积扇区包括浑河漫滩, 高漫滩、古河道、山间谷地, 河谷洼地, 含水层颗粒由上而下变粗, 自东向西由粗变细, 浑河北岸含水层厚度 10—20 米, 渗透系数 30—100 米/日, 单井出水量一般 2000—3500 吨/日, 水位埋深 5—10 米, 局部开采漏斗中心大于 20 米, 河漫滩无覆盖层, 高漫滩含水层顶部覆盖 0.5—3 米亚砂土, 垂直渗透性良好, 渗透系数 0.3—0.4 米/日, 新冲、洪积扇局部地段亚粘土覆盖层 1—5 米不等, 地下水矿化度 0.5—1.5 克/升。浑河南岸含水层厚度 14—17 米, 上覆 1—8 米亚粘土, 地下水埋深 1—5 米, 近浑河为潜水, 远离浑河为承压水, 含水层渗透系数 45—150 米/日, 单井出水量 3000—10000 吨/日, 矿化度小于 0.5 克/升。

2. 冲积洪积砂砾石承压水, 分布于北陵以北浑河古冲积洪积扇上, 含水层为中粗砂、砾石层, 局部夹粘土, 厚度 10—35 米, 由东向西逐渐增厚, 顶部覆盖有 8—15 米黄土状亚粘土, 含水层渗透系数 30—100 米/日, 单井出水量 200—4600 吨/日, 地下水埋深大于 15 米, 矿化小于 0.5 克/升, 水质较好。

II、地下水补给、迳流、排泄条件

区域地下水补给来源主要是大气降水垂直补给, 其次为东部基岩裂隙水的侧向迳流补

给。新冲、洪积扇也接受老冲、洪积扇地下水的侧向补给，浑河及八条人工河渠不同程度的补给地下水，而河渠则接纳各工厂、企业所排放的污水。地下水的流向自东向西由山区流向平原，工业和生活废水也通过各种渠道进入地下形成人为的小循环。地下水动态受气候影响，7—9月为丰水期，4—6月为枯水期，水位变化幅度1—3米。地下水化学特征：上游广泛分布着重碳酸钙镁型水，进入市区变为硫酸、重碳酸和氯化物钙镁型水，甚致出现硝酸盐型水，矿化度为0.5克/升增至1.5克/升，硬度大于25度，有的达50度左右（指德国度，以下同）。

III、地下水的开采现状

沈阳市地下水资源较为丰富，自1925年以来，已有50余年的供水历史，给排水设计院1956年在800平方公里范围内提交80万吨/日的开采储量。据统计1953年9.07万吨/日，1960年36.9万吨/日，1973年63万吨/日，1978年80万吨/日，加上自备水源和灌溉用水，目前，全市总开采水量已达150万吨/日，相当于整个洪积扇上的总开采储量。由于用水量逐年增加，实际开采量大于地下水的天然开采储量，因而不得不动用静储量，造成地下水位连年下降，全市20几个水源地，均已形成下降漏斗，其中以铁西、李官堡下降漏斗最大，范围达32和24平方公里，并在逐渐扩大，现已将十几个水源地连成一片，形成近150平方公里漏斗区，波及到整个沈阳的西部城区，如每年下降0.4米，并继续以每年6.83平方公里的速度扩大，估算每年可疏干地下水近10亿立方米，到本世纪末，北部含水层将有被疏干的可能（见附图3）。

IV、影响地下水污染的环境地质因素

水文地质条件对地下水污染的影响是比较复杂多样的，它取决于污染质的运移方向和规律，首先在东部地下水位埋深较浅的地段，主要是垂直渗透污染表层粘性土层薄，地下水埋深浅，易造成地下水的污染，其影响因素是与包气带的地质结构，表层隔水层的厚度，地下水位埋深以及地下水开采程度有密切关系。而西部地区地下水埋深相当大，地表有较厚粘性土保护层时，主要是以水平方向污染质的运移和扩散运动为主。

随着开采强度的增加，降落漏斗不断扩大，增加水力坡度和地下水流速，扩大汇水面积，将加速地下水污染。而实际上这种影响是非常复杂的，有时由于局部表层隔水层被破坏造成点状污染，有时含水层裸露地表，地表污水直接渗入造成片状或条带状污染。因此污染质在地下水中运动的机理均需按具体情况而定，我们对沈阳市地下水污染的特点的分析，考虑地下水开采程度和地下水位的影响因素划分为以下几个等级。

人为开采对地下水质量影响分级

表 I—2

影响程度	开采量 ($T/D \cdot km^2$)	漏斗最大深度 (m)
1	>10000	5—15
2	8000~10000	>10
3	6000~8000	5—10
4	4000~6000	<5
5	<4000	0

二 地下水污染物质的来源

(一) 工业污水渗入污染地下水

目前沈阳市每年排放污水 1.7 亿吨, 其中工业排放污水单位 1,400 余个, 有毒污水 9,000 余万吨。这些污水 80% 以上为电镀污水、工业酸洗污水、轻工业废碱水、冶金工业含金属污水、纺织印染工业污水、煤气炼焦工业含酚污水、有机化工污水等(见表 I—3), 它们含有害

沈阳市工业污水排放情况综合表

表 I—3

工业污水种类	排放量 万吨/年	主要成份	单位数	分布范围
工业电镀污水: 电镀、 酸洗、印刷、照像、制版	1435	氰、铬、铜、 锌、镍、汞、 三酸	213	遍布全市区较大型 电镀工业, 于铁西、 大东及皇姑区北
工业酸洗污水: 酸洗、 煮矾酸、化验酸、盐	599	三酸	231	遍布于全市; 主要集 中在铁西、大东两区
轻工业废碱水: 废碱水 法兰处理碱水、造纸污 水	1119	碱、铬酸、 脂类	57	分布全市、集中于 铁西、大东区
冶炼工业含重 金属 污 水: 金属冶炼、铸造冷 却、工业化验	1404	铜、铅、镍 锌、三酸	46	集中于铁西区
煤气炼焦工业含酚污水	214	酚、氨、氰 甲醇、丙酮 脂肪酸等	14	集中于铁西区
纺织印染、制革、油漆 污水	432	氨、氮、染 料、醛、酯 硫、醇、碱	29	集中铁西、大东区
石油化工污水: 石油、 化工橡胶、塑料、制药	4261	硝、胺基化 合物、油类、 酚类、苯类、 醇类、三酸	121	集中于铁西、大东区

注: 资料来源于沈阳环保所污染源综合调查报告

物质50余种,计37,000余吨,其中汞、铬、镉、铅、砷等重金属5000余吨,酸7,000余吨,碱1,200余吨,酚、油、有机溶剂、硝基、胺基化合物9,000余吨,三酸、盐类16800余吨。这些污水,经市政下水道、明渠、农灌等途径排放到地下。

在许多砂砾石含水层直接裸露地表或者表层仅有薄层亚砂土覆盖地段的工厂,由于生产设备陈旧,工艺水平落后,防渗设施不够完备或下水管道年久失修,防渗条件差,工厂排放污水直接渗入地下污染地下水。即使表层有较好的覆盖层,污染质也可通过人工开挖或遗弃而没有经严格处理的废井形成地下水补给“天窗”污染地下水。

有些工厂采用渗井、渗坑、天然砂坑排放污水或使污水漫流,直接渗入地下污染地下水,据不完全统计,采用这种排污方式的工厂有60余个,年排污水28万吨,含有毒物40余种,其中主要有汞、铬、镉、酚、氰、酸、碱和放射性物质,均超过饮用水标准(见表I—4、表I—5)

沈阳市渗坑、渗井排污情况一览表

表 I—4

序号	排放方式	厂数	坑数 (井)	结 构	排污量 (T/M)
1	渗 井	35	56	井口1.5—4 m ² 深2—7 m, 最深10m,无衬砌,砂底	168585
2	渗 坑	16	16	一般为圆形,直径1—10 米 最大50米,深2—3 米砂底	133272
3	自然坑	3	3	如砂坑,深8—10 米, 宽 150—200 米,长300 米。	3370
4	污水漫流	6	6		40710
合计		60			285937

渗坑、渗井排放主要污染物统计表

表 I—5

污 染 物	Hg	Cr	C ₆ H ₅ OH	CN	HCl	江 矾	硫化物	化学耗氧量
最高含量(mg/l)	7000.0	300.0	8000	9	33000	0.06	30.0	1200
超标倍数	13999	599	1599	17			29	11

注:资料来源于沈阳市水文地质站渗井、渗坑调查

例如大成站污水排入天然水坑内,直接渗入地下,每天排放200吨污水,其中有毒污水占20%,毒物150余种,其中有机毒物占70%。

采用渗坑、渗井排污的工厂有95%分布在浑河以北新冲、洪积扇区,地势平坦,除部分砂砾石层直接露出地表外,大部分地区含水层上覆0.5—3米亚砂土,透水性良好,潜水埋藏浅,污水排放直接污染地下水。这类厂矿虽数量不多,排污量不大,但危害不小。

所有这些工业直接污染地下水的特征是:污染地段和工厂的分布有直接关系,污染的时

间和产生毒物的生产过程、排放时间相一致；污染物的成份和工业生产中流失的有毒物质成分有直接关系。

(二) 地表废渣和大气烟尘经降水

和地表水淋滤渗入污染地下水

沈阳市每年排放废渣 350 万吨，包括尾矿渣 61 万吨，生活垃圾 85 万吨，工业废渣 199 万吨，其中有有毒废渣 78 万吨，大部分未作处理，长期堆放，各种有毒成分经由水淋滤渗入地下污染地下水（见表 I—6）。

沈阳工业毒渣排放表

表 I—6

种类	全市总排放量(吨/年)	主要排放单位	排放量(吨/年)	积存量(吨)	注
铬渣	16192	新城化工厂	15000	60000	
锌渣	13450	沈阳冶炼厂	12000	50000	
镉渣	200	前进化工厂	190		
铅渣	35380	沈阳冶炼厂	35000		
氰化物渣	135	红星制药厂	70		
六六六渣		沈阳化工厂	1800		

注：资料来源于沈阳环保所

最突出者为新城化工厂排放铬渣，每年 15000 吨，目前已存放 6 万吨，形成长 190 米、宽 65 米、高 3 米的渣山，占地面积 12,000 平方米，逐年增加，污染面积达 15 平方公里。毁坏庄田，破坏附近水源。其次为冶炼厂的锌渣，每年排出 5—6 千吨，现已堆积 5 万吨，锌浸出渣 2 万吨，其中含镉 60 吨。堆积在第三钢厂，造成丁香屯水源地的严重污染。市电镀厂污水处理厂沉淀池的铬渣也长期堆放，该厂地下水受污染严重，直接威胁东北工学院水源地。

除废渣污染外，空气烟尘污染也不容忽视，全市年排放烟气 500 亿立方米，烟尘 29 万吨，一氧化碳 11 万吨，二氧化硫 10 万吨，氮氧化物 2 万吨，工业有害气体中有金属及其它化合物，不饱和碳氢化合物，有机溶剂等，不仅污染空气，也经雨雪降落地面，渗入地下污染地下水（见表 I—7 和 I—8）。

沈阳市工业有害气体和粉尘成份统计表

表 I—7

污染类别	污染物	排放量 (吨/年)	排放浓度 (mg/m ³)	主要排放单位	排放数 (T)
金属及 化合物	铅	1277	1—9	沈阳冶炼厂	
	砷	109			
	镉	10			
	汞	16			

不饱和碳 氢化物	裂介气体 氧化尾气	2999 84000	油脂化工厂
有机溶剂	树脂酊	0.36—500	230
硅及粉尘	硅及粉尘	2.6—250	212
有毒气体	二氧化碳	第一钢厂、先锋化工厂	
	二氧化硫	沈阳冶炼厂	
	氯化氢	东北制药厂	
	硫化氢	新城化工厂	
	铬酸	新城化工厂	
	氮氧化物	沈阳化工厂、红卫化工厂	

沈阳大气中有害物质浓度表

表 I—8

污染物	平均浓度 (mg/m ³)	超标倍数	最高浓度 (mg/m ³)	超标倍数	备注
CS ₂	0.234	0.56	1.56	9.4	
CO	0.99	接近标准	10.36	9.84	
Hg	0.0016	4.3	0.0352	116.3	
Pb	0.0019	1.7	0.0214	29.6	
No	0.043		0.302		
飘尘	1.980	12.2	7.26	47.4	

注：资料来源于沈阳环保局

(三) 河渠渗漏引起地下水的污染

浑河是流经沈阳市区唯一的天然河流，是地下水的重要补给来源之一，其它八条河渠对附近地下水也有补给作用，全市废水主要通过八条河渠排入浑河，不仅污染地表水体，沿途地下水也遭污染。目前沿途有 1728 座厂矿日排放污水总量 49 万吨，其中有害工业废水 18.7 万吨，每年流失有害物质 24965.12 吨。

受工业污染最严重的是卫工明渠和肇工明渠，两渠交叉分别流入张士灌渠和细河。每日接纳 487 个工厂的污水 28 万吨，占全市工业废水总排量的 50%，每年通过两渠流失有害物质 18626.6 吨，占全市总排放有害物质的 50%，水呈灰棕色，有刺激嗅味，常年不冻，汇入细河处污水中镉、铬、铅、铜、锌等金属均超过国家排放标准，其中铬已超 2.4 倍、氰已超 3.6 倍、酚已超 124 倍、油已超 78 倍，细河于黄腊坨子入浑河，使浑河水质恶化。

胜利明渠和南运河污染也较严重，胜利明渠每日接纳 168 个工厂的污水 6.7 万吨，每年流失有毒物质 422.95 吨，水呈黑色，酚油超标 40 倍，氰超标 2.4 倍，铬超标 2 倍。镉达最高允许浓度。渠底淤泥含汞 1.26 毫克/公斤、铬 27.94 毫克/公斤，砷 5.58 毫克/公斤，枯

水期常断流枯干，污水全部渗入地下。

南运河每日接纳 537 个工厂的污水 7.7 万吨，每年流失有毒物质 3785.6 吨，水中含酚 0.16 毫克/升，超标 15 倍，油 11.2 毫克/升，超标 36 倍，化学耗氧量 101 毫克/升，超标 25 倍，氨氮和亚硝酸盐均偏高，溶解氧在枯水期为零，丰水期 1 毫克/升，水呈灰黑色，味溴。河底淤泥含铬 87.5 毫克/公斤，砷 9.5 毫克/公斤，镉、锌等均有检出，这两条河渠通过罗士圈子和龙王庙排入浑河，或引入浑南灌渠，用于农业灌溉。

新开河流入浑北灌渠，每年 5—10 月引入浑河水稀释 107 个工厂的污水 4.6 万吨，用于农灌流失有害物质 1282.3 万吨，枯水期停止引河水，水质变坏，酚、油、镉、铜、锌均超标，因此对地下水的危害不容忽视。

浑河在进入沈阳市之前已受污染，在上游抚顺每天接纳 40 万吨含油、酚、氨、汞和粉煤灰等工业废水，河水混浊度高达 120 度，沈阳每天将近 50 万吨污水通过河渠排入浑河，使其进一步污染，浑河东大桥酚超标 12.5 倍，油 24.6 倍，镉、铬、汞、铅、锌、铜、砷等重金属元素均有检出，到市区镉、铬、铅、锌、铜等增加了 1—7 倍，酚油增加 2—4 倍，氨氮增加一倍，同时硝基、胺基等有机成分增多。

综上所述，浑河及八条河渠普遍受到工业污染，河渠沿途下渗及浑河对潜水的补给，造成地下水不同程度的污染，尤其是人工大量开采地下水，导致地下水位逐年下降，增加了水力坡度，进而加速了浑河及支流对地下水的补给，使地下水污染速度加快，污染范围不断扩大。

（四）农灌及农药对地下水的污染

污水灌溉，目前已成为农业增产的重要措施之一，但由于工业污水未经严格处理或灌溉方法不当，特别是在地下水埋藏较浅的砂类土地区，会使地下水受到严重污染。沈阳市郊区大部分土地都引用污水灌溉，这就使沈阳市工业产生的大量有毒物质参与了新的自然循环，不仅污染农作物，而且不断的随水流向地下扩散‘或经过废井直接流入地下污染地下水，例如张士灌区引卫工明渠含镉污水灌溉，使土壤含镉量达 14 毫克/升，（正常允许值为 0.5—1 克/公斤）对于各种金属物质在包气带中运移试验结果表明，长期污灌结果，污染质会随着时间的增长不断沿土层逐渐下移，直至进入地下水。

（五）污染源等级的划分

地表污染源的种类繁多，各种工业性质也不尽相同，一般来说，城市排放到环境中的污染物质，由于地球化学效应的结果，对地下水污染的强弱不等，因此城市的污染并不等于地下水的污染源。地下水的污染源和污染质，应根据污染源调查资料和地下水监测资料结合起来进行判断，这些污染源对地下水的危害程度，大体上取决于有毒物质排放量和渗入地下可能性的多少。

对于工业生产过程中渗失而进入地下的污染质可能性的多少，只能用工厂的类型来进行判断，这种类型包括产生污染质的种类、规模，现代化程度和污水处理水平，经过对沈阳市

工业污染源的分析研究，归纳为大型现代化企业、中等类型企业、社办五小企业和农业灌溉等几种类型，并分别按照统计结果给予特定系数（见附图4）。

对污水排放量的评价，则采用等标污染排放系数，它是表示与污染物质种类、浓度和污水量有关的需要处理污水的程度，也就是单位面积或单位渠段上的等标污染排放量即：

$$Q = \frac{Q_s}{S} \text{ 或 } Q = \frac{Q_s}{L}$$

$$Q_s = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_b} P_i$$

式中：\$Q_s\$：为某地段或某渠段等标污染排放系数（万吨/年·平方公里）

\$S\$、\$L\$：分别为某地段面积和渠段长度（\$km^2\$ 或 \$km\$）

\$Q_s\$：等标污染排放量（万吨/年）

\$n\$：为有害物质的种类数

\$i\$：为某种有害物质

\$C_i\$：第 \$i\$ 种有害物质的浓度（\$mg/l\$）

\$C_b\$：第 \$i\$ 种有害物质排放标准（\$mg/l\$）

\$P_i\$：第 \$i\$ 种有害物质的污水排放量（万吨/年）

在综合评价污染源的好坏对地下水的影响中通过上述工厂类型和等标污染排放系数的总和来进行判断。

三 地下水污染的分析方法

（一）地下水污染的基本概念

1、地下水污染的标准

在我国对于地下水污染现状的评价，无论是数理统计法或是单项指标制图法，都涉及到污染标准的问题，污染标准是评价地下水质量的前提，而且许多环境地质工作者的认识也不尽相同，这里提出我们的认识。

为了说明并对比地下水的污染程度，首先必须有一个统一的标准，我国许多环境地质工作者，通常以国家饮用水水质标准草案作为污染标准，这是因为地下水通常作为饮用水为目的而评价的缘故，严格说来，它只能表示人体对地下水中某些元素的适应能力，而且随着各地环境的变迁，病理学研究程度，以及其它因素而改变的，是一个相对的标准，作为地下水的污染指标还是不够的，因为地下水从未受到污染到开始污染以至到严重污染和不能饮用，是要经过一个从量变到质变的过程，特别是地下水，由于它的埋藏、补给、迳流条件的复杂，不仅污染难以察觉，而且一经发现某些元素超过饮用水标准，再进行治理就很困难了，往往要经过几年、十几年、几十年的时间，耗费大量人力物力，也难以达到净化的理想程度，因此从预防为主方针来讲，研究地下水开始有污染的迹象，到污染一定程度，乃至不能饮用这样一个污染过程是具有极其重要的意义的。