

中国地下水质量变异特征及趋势的初步分析

田 春 声

(地质科学院水文地质工程地质研究所)

本文用环境水文地质观点,对我国城市水荒、地下水污染及地下水开采利用过程中出现的质量恶化特征和某些指标变异趋势进行初步分析,不当之处敬请批评指正。

一、城市水荒的产生及影响

水既是宝贵资源,又是人类环境要素之一。由于长期在生产上的用水无政府状态和生活上用水的浪费,特别在工业和人口集中的大城市,需水量已经超过天然资源,城市缺水严重,供水能力和需水矛盾日益突出,有些城市已经出现水荒问题。

靠地下水为主要供水水源的北方城市,由于地下水过量开采,动用静储量,使地下水位下降、漏斗不断扩大,成为城市重要的环境水文地质问题之一。如北京200平方公里的范围内,承压水头下降22米,天津在650平方公里范围内形成降落漏斗,水位下降40米。沈阳市地下水降落漏斗面积已经相当于市区的面积,并且每年还在以0.5~1米的速度继续下降。西安、太原等城市水位下降达40~50米。河北沧州和江苏常州属我国中小型新兴城市,由于地下水过量开采,也造成大面积水位下降,沧州漏斗面积已达上千平方公里。

由于水位下降,使含水层厚度减小,单井涌水量降低。如北京某水源地同1959年比较,出水量已经减半,东郊只能达到原来的20~30%,最高40%。据沈阳市五个水源地的统计,1977年开采量为1962年的89%,1980年则只有64%。照此开采下去,到2000年,北部开采区含水层将可能被疏干。我国著名的太原晋祠泉和济南趵突泉,都因过量开采面临枯竭的威胁。

由于水位下降必须更新取水设备,所造成的经济损失是严重的。沈阳市1970年普遍加深开采井至60~80米,有的达100米。40%自备水源达不到定额出水量。有些城市还发生工、农业争水的矛盾。

更为严重的是由于过量开采地下水,水位下降,使包气带土层渗压固结变形和含水砂层被压密而产生地面沉降。上海市地面沉降是众所周知的,其主要原因是过量开采地下水,这一点已通过人工回灌初步取得成效所证实。天津市的地面沉降范围和第二含水组水位下降漏斗相一致。西安市地面沉降量最大的时间区段也和1972~1978年地下水开采量剧增相吻合。其它诸如常州、沧州、洛阳、太原等城市均发现有类似问题。

要解决上述这些问题,首先必须加强水资源管理,合理开采地下水,要有地质部门参加,制定水资源开发利用规划,对那些严重缺水的城市,要重点解决节约用水和扩大水源问题。对于水位下降严重、甚至发生地面沉降的城市,要开展人工回灌,保护环境,保护工业正常生产和人民身体健康。

二、地下水污染特征

(一) 我国地下水污染突出的特点是集中在工业发展、人口密集的城市地区。

由于工业“三废”和生活污水未经处理任意排放,使得一些城市地下水普遍遭到污染,有些城市较为严重,据50多个大、中城市的统计,有94%受到不同程度的污染。其中严重污染的城市大约占26%,中等污染的城市大约占48%,轻度污染的城市大约占20%,而水质较好未被污染的城市只有个别几个。

(二) 污染物的种类及分布

1. 常规组分的含量普遍增高,无论是由于工业,还是生活和农业污染的影响,地下水含盐量普遍增加,首先反映为常规组分,如硫酸根、氯离子、钙、镁等离子的含量显著增高,矿化度由0.2毫克/升增至2毫克/升以上,呈大面积的污染,有些地区硝酸根含量很高,三氮组分的增加,是生活污染物质有机分解的重要标志。

2. 酚、氰、砷、汞、铬等有毒元素,在一些严重污染城市中较为普遍,加上其它某些重金属和有机化合物的出现,反映出工业“三废”对地下水的污染。这些物质除酚类及氰化物之外,一般在地下水中的空间和时间分布都比较稳定,分布面积往往不大,检出率不高,但在检出井中,超出率都很高,超标倍数很大,并且在污染水井附近,必然有相应的某些工厂的污染源存在,污染物的检出浓度和时间,都和污染源的排放有密切关系。

此外,某些个别污染物质,在个别城市污染较重,如沈阳的镉污染,包头、天津、南通的氟污染。北京、石家庄的有机磷污染,辽阳、鞍山的硝基化合物污染,兰州、锦州、吉林的石油化工污染等,都反映了地下水受工业污染的特征。

(三) 城市地下水污染和所处的环境水文地质条件密切相关。

由于地下水埋藏在地下,因此污染原因、污染程度和分布范围,受城市所处的环境水文地质条件所决定。我国城市按所处的环境水文地质特征,分为:1. 山前冲、洪积平原类型,如北京、沈阳、包头、石家庄。2. 河流阶地或山间谷地型,如哈尔滨、郑州、南京、武汉、重庆、西安等。3. 滨海类型如广州、上海、大连、青岛、天津。4. 岩溶类型。如南宁、柳州、桂林、贵阳、济南、太原等。5. 内陆类型,如乌鲁木齐市。

不同类型的水文地质条件各异,存在的水文地质问题也各具特色。在保护地下水资源工作中,要根据上述不同类型的环境水文地质特征,区别对待,因地制宜地采取防治措施。

(四) 地下水污染的主要原因有:工业及生活污水通过各种途径,特别是渗坑、渗井排入地下污染地下水;工业废渣及城市垃圾经雨水淋滤渗入地下;水源防护带不良;不合理的污水灌溉及农药、化肥长期使用;人为因素(人工回灌、井壁渗漏、过量开采,或地下工程等)均能导致地下水污染。

三、对地下水中某些组分变异趋势的分析

(一) 地下水硬度升高问题

地下水的硬度是重要的水质指标,特别是在污染区内,它是污染发展状况的直接和间接指标。

目前,我国无论大中小城市,地下水硬度的升高已是普遍问题,而且有逐年上升的趋势,成为城市地下水水质变异的重要特征。如北京地下水硬度超标(指饮水标准,以下同)面积为208平方公里。地下水硬度超标率大于50%的城市有北京、上海、天津、沈阳、包头、吉林、武汉、大连、乌鲁木齐等城市。太原、西安、南通也很严重。

我们对沈阳市七个市政水源地的十一眼水井,自1957年以来的历史资料统计结果,每年硬度平均增加0.4德国度,1957年平均硬度值10德国度,1975年增为17德国度,且有两个井超标,预计到1985年将增加到21德国度,三个水井超标。1995年平均硬度将超标,达到26德国度,其中有五眼井超标严重,占总井数的46%。这种发展趋势是值得重视的。

地下水硬度的升高,一般与区域地下水矿化作用,区域性环境污染以及其它多种因素有关。自然界钙、镁离子是广泛存在的,也是动植物主要营养元素之一。在一定的环境中,水中的钠离子和氨离子可代换在土壤和岩石表面吸附的钙镁离子,这就是地下水硬度升高的主要机理。由于工业污染所引起的硬度增加,以永久硬度为主。因为环境污染,各种盐类进入地下,地下水发生硫酸盐化、碳酸盐化和硝化作用等,使得大量的钠离子或者氨离子置换土壤中吸附状态的钙镁离子,因而永久硬度增高。城市生活污水、垃圾、通过生物分解产生二氧化碳,也可促使地下水中碳酸盐硬度增加。这在一些历史古城尤为突出。此外,由于污水的灌溉,各种盐类污染物质特别是硝酸盐类下渗,也造成上述离子交换条件,使硬度升高。总之,现代工业污染和长期历史性生活污染,各种盐类渗入地下,促进地下水中盐类之间的离子交换作用,使钙镁离子逐年升高,成为污染区的明显指标。这已成为我国城市地下水水质变异的突出特征之一。

(二) 地下水的氮污染

硝酸根、亚硝酸根和氨,通常称为“三氮”,地下水中有硝酸和亚硝酸存在时,是地下水受生物有机污染的标志。当再有氨存在时,说明既是历史污染,也有现在的新污染。

我国城市地下水中的硝酸盐含量的增高,也是普遍现象。这些硝酸盐类通常来自工业排放的大气,溶于雨水、雾中进入地下;工业和生活污水中有机质分解形成硝酸盐进入地下;以及土壤中肥料、有机物分解等。由此可见,氮污染主要是人类活动作用的结果,特别是在居民集中的地区和历史古城的中心地带尤为明显。因此,无论大中小城市,都有硝酸盐的检出。大城市如北京、上海、沈阳、西安、南京、太原、呼和浩特、长春、吉林、哈尔滨、成都等。中等城市如宁波、温州、银川、邯郸、保定等。小的县城、村镇在河南、陕西、山东、吉林等都有报导。在这些城市中,尤其以吉林、银川、温州、贵阳污染最重,三氮几乎全部超标半数以上。

为了解决硝酸盐的污染,首先应尽快建立和健全城市排污管网系统,严禁渗井、渗坑排放污水,管理好城市垃圾和污水。其次要建立地下水源防护区,区内禁止排放垃圾及进行污水灌溉。在农业上要合理使用化肥和农药,建立合理的污水灌溉规程和定额。还要注意城市污水治理,防止工业污水中硝酸盐类进入地下污染地下水。由于硝酸盐地下水(即所谓肥水)的肥力强,也可以提取作为农业灌溉使用,这样既治理地下水,又实行综合利用。

四、地下水中氟的富集问题

地下水中氟的富集也是许多城市和环境水文地质问题之一,多数是属于第一环境,即地下水中氟的天然富集,如我国东北、华北、西北和西南地区广泛分布着氟中毒等地方病,都和氟的天然富集有一定关系。但在一些城市也发现有第二环境问题,是在人为开发地下水的过程中,由于工业污染而形成的高氟区如天津、包头、太原、南通等城市,既有地下水中氟的天然富集,也有人为的氟污染,有的城市地下水中氟超标率达50%以上。这里对氟的富集条件进行简单的分析讨论。

(一) 氟的地球化学特性

氟是卤族元素中的一种非金属元素,也是人体中不可缺少的微量元素之一,其化学性质极为活泼,能与许多元素组成地壳最广泛分布的化合物,如氟化氢、氟化钙、氟化镁、四氟化硅等,存在于硅酸盐和磷酸盐中。在酸性条件下,氟化物常以络合物的形式存在,在碱性条件下,氟以离子(F^-)的形式迁移。在自然界中氟常以复杂的化合物形式存在,主要含氟矿物有萤石、冰晶石、黄玉、磷灰石、氟磷灰石、黑云母、金云母、角闪石、电气石等。因此包含上述矿物的酸性岩浆岩、变质岩或海相沉积岩的含氟地质体就成为地下水中氟富集的物质来源。

(二) 氟的水文地球化学特征

上述这些氟的复杂化合物,风化后能使氟转入水中生成易溶解的氟化物。氟溶解于水中的能力取决于化合物的溶解度,氟在卤族元素中离子半径最小,在酸性或中性的水中,它和离子半径较小的钙、镁、铝、铁等形成稳定的化合物,其中氟化铝的溶解度最大,因此含氟的硅铝酸盐是地下水中氟的主要来源。地下水中钙、钠元素对氟的影响与氟化钙和氟化钠的溶度积有关,当温度在 $20^{\circ}C$ 时,氟化钙的溶解度为 $16mg/l$ 。地方性氟病常受氟钙比($\gamma F/\gamma Ca$ -离子活度)所制约。在碱性的重碳酸型水中,氟与钠相互作用形成易溶的氟化钠,其溶解度为 $40000mg/l$,呈离子状态存在于水中,并具有很高的稳定性。综上所述,氟在水中的富集程度取决于水的矿化度、化学成分、温度、pH值、硅酸的含量以及含水岩石的岩相地球化学特征。所以在深层地下水中,中等矿化度碱性的重碳酸钠型水,便于氟离子的运移和富集。

(三) 水文地质条件和气候的影响

在地区的分布上,高氟区常在洪积扇的前缘,冲积平原的下游或盆地的中心边缘等地形平坦地带出现,这些地区水交替缓慢,在垂直方向也具有随深度的增加,水交替作用迟缓而氟含量增高的趋势,因为水交替缓慢,一方面地下水能充分溶解介质中的氟化物,另一方面水中的阳离子交替作用加强,钠离子取代水中的钙离子,因而可以形成大量的氟化钠在水中迁移。在干旱半干旱地区,由于气候炎热,雨量较少,因此地下水强烈蒸发,矿化度较高,给氟的富集造成有利条件。有人指出氟的最大含量产生于矿化度在 $600\sim 900mg/l$ 的水中,当矿化度继续增多时则导致氟含量的某些降低。

在吉林和辽宁省的西部地区、内蒙包头山前洪积扇的前缘、华北平原的东部、山西几个大型盆地中部和新疆准噶尔盆地的西南边缘地带,都具备上述环境水文地质和气候条件,广泛出现高氟地区。

此外地质构造对氟的富集具有一定的影响,深大断裂往往是氟富集的通道,如沧州地区津浦铁路沿线,受深大断裂影响,地下水中氟含量呈条带状升高。天津地下热水中氟含量升高,都说明氟与地质构造的关系。

研究地下水中氟的富集和运移规律,对于改水防病具有重要意义,在那些既有天然富集又有人为环境污染的地区,必须注意研究氟的运移机理,区分影响地下水中氟的天然富集和人为污染的因素,才能提出正确的治理措施,前者要着重区域性的改水,后者则应重点治理污染源,防止对地下水的污染。

除了氟的地方性疾病外,在我国还有其它一些地方病,如分布在我国十四个省的克山病和大骨节病,以及某些局部地区分布着具有区域性的肝癌和食管癌等,目前广大环境医学工作者和环境水文地质工作者正在研究中,对其病因也有许多假说和争论,但许多研究结果和改水成效表明,这些地方病和环境水文地质条件有着密切关系,因此深入研究这些地区的环境水文地质特征和人体健康的关系,对控制和预防病区的发展具有重要意义。