

华北平原的农田灌溉水文地质问题

沈 树 荣

华北平原是我国的重要粮棉产区。为了实现农业四化，保证农业丰产，研究华北平原的农田灌溉水文地质条件，是一项重要的工作。华北平原的年降雨量不过 400—600 毫米，而且大多集中在七八九月，春季雨量极为稀少，有“十年九旱”之说。华北平原的地表水资源也不够丰富，即使全部加以控制，与耕地的灌溉需水量相差仍远。有些地方由于不适当地蓄积和利用地表水，还引起了灌区土壤次生盐碱化，给农业生产带来了一些危害。因此，如何合理开发利用地下水资源的问题，就被提到议事日程上来了。当前华北平原的农田灌溉水文地质问题，主要有两个方面，一是利用地下水供灌溉，一是防治土壤的盐碱化。在研究这两个问题以前，有必要先论述一下华北平原的水文地质特征。

华北平原的水文地质特征，可以总结为纵向、横向、垂直、交叉四个方面的变化：

1. 纵向的变化。是指与主要河流和地下水主要流向平行的变化。华北平原从山区到滨海，是主要河流（滦河、海河、黄河、淮河等）的流向，也是地下水的主要流动方向。顺着这个方向，水文地质条件的变化最为显著：含水层的岩性成份由以粗颗粒为主变为以细颗粒为主；含水层的层次和数目由少变多，厚

度则由厚变薄；潜水位埋藏深度由深变浅；地下水的逕流条件由通畅变为迟滞，水质由好变坏，淡水含水层的分布深度也由浅变深。这种“纵向的”变化，是华北平原区域水文地质条件的最大特征，已有许多学者作过明确论述，在此不多作重复。

2. 横向的变化。是与平原上主要河流和地下水主要流向垂直的变化。造成这类变化的原因是地质构造、地质发展历史和地形地貌条件的差异性。这类变化的规模有大有小，初步分之为三级：

(1) 整个华北平原，第四纪地质发展历史和沉积条件的不同，可以分为北、中、南三部份。平原北部（大致在今黄河以北）山前地带在二、三百米深度内主要是冲积扇群的洪积层，而且延伸很远。说明山区和平原之间的升降幅度较大，源源不断有粗颗粒碎屑物的供给，因此地下水的贮存条件最好。平原中部河湖相的沉积物最为发育，从地表到地下都有发现。在时代上从下更新世到现代的都有，如郑州、商丘一带，100—150 米以下有厚层的湖积层，淮北地区在人工开挖的河床中普遍见到黑灰色和黄色的湖积物，有的还直接见于地表。鲁西平原有好几层湖积层灰黑色淤泥，已知最深的（如金乡附近）在 60—70 米以下，最浅的（在梁山、郛城、钜野、嘉祥一带）在地表以下 4—8 米处。在

湖积层之上或湖积层之間，有黄河和淮河水系的冲积层，顆粒較細，含水性一般不好。平原南部，黃汲清先生在《中国主要地质构造单位》一书中即已指出它“不是一个真正的冲积平原。它是一个准平原，部份地被黄河迁移沉积下来的泥砂所掩盖。”第四紀沉积物的厚度最薄，地下水的貯存条件較差。基岩的埋藏深度在徐州、宿县一带只有30—70米，有些地方还有孤立的寒武奥陶紀小山出露。

(2) 在上述的平原各部中，还有次一級的横向变化。这种变化同样是受地质构造和地质发展历史控制的。以平原的北部为例，河北平原和太行山麓之間，北段有明显的断层，中段断层不清楚，南段为阶梯式的断裂，山前的冲积扇发育情况也就不相同。北段如拒馬河冲积扇、易水冲积扇等形态明显，含水层由粗变細的递变規律清楚，中段如槐河冲积扇，泚河冲积扇等就較不发育，第四紀沉积物的厚度很薄，复盖在第三系上；南段如白馬河冲积扇、沙河冲积扇、洛河冲积扇，漳河冲积扇等都有两个发育阶段，有两个明显的含水組，下面一組直复于基岩之上。

(3) 更低一級的横向变化，是由于地形地貌条件的不同而造成的。例如在山前地带，冲积扇和冲积扇間地区，水文地质条件就有很大不同。象拒馬河冲积扇的剖面渗透系数(KM值)(据波兰专家安·克列茲柯夫斯基的材料)可达1500，頂部甚至达2500；南面的瀑河、漕河冲积扇的KM值亦达100。但是冲积扇間地区的KM值不到250，相差甚巨。同一个冲积扇中，也常常有某些地段由于經常是主要水流的流經带，粗顆粒的沉积物要比别的地方发育，富水性也特別好。例如唐河冲积扇頂部，水井单位涌水量一般为

40—50吨/时，但在定县城关附近一綫增高至60吨/时以上。这种横向变化，在冲积平原上更为突出，象河北省东光以北运河两侧，地表以下60米內可遇到40—50米的細砂层，水质良好；但往北不远，泊头附近在上述深度內就无可以利用的含水层，在地表以下70至100米內才有20米左右的細砂层；往西10公里左右，王老庄一带，60米內都是苦水。

綜上所述，可見横向变化比之縱向变化更要复杂些。在实际应用上，对于編制区域性的水利规划來說，掌握縱向的区域性变化固然是重要的，但是同样也需要了解主要的横向变化。而在編制某一个县社的地下水开采設計时，在縱向变化上往往处于同一单元，变化不大，但是由于較低級的横向变化引起的差別仍然可能很大，甚至从富水带突变为貧水带(如由冲积扇变为冲积扇間地区，河道带变为河間地带等)。在具体打井布置井位时，掌握富水带的横向分布規律，就更具有实际意义了。

3. 垂直的变化。垂直方向的变化也取决于沉积环境和地质发展历史。在沉积条件比較恒定和地质发展历史比較單純的地区，含水层在垂直方向上的变化也比較简单，不同含水层之間的水力联系也可能比較密切。相反，条件多变，地质发展历史比較复杂时，就可能有迭置的不同含水組出現，例如滨海地区，有陆相的沉积物，有海相的沉积物，含水层和水质都有較大的变化；在河北平原中部，上部有現代和古代的河道带含水組，下部出現了傾伏的冲积扇含水組；豫东、魯西、淮北，在較新的冲积层之下都有較老的河湖相含水組出現，有的地方也有一部分傾伏冲积扇含水組。在上述不同含水組之間，

水力联系就要差些。

最近李四光教授提出在华北平原可能广泛存在冰碛和冰水堆积物，而且不止一层。由于冰川堆积的岩相多变，将使华北平原的水文地质条件大大复杂化，同时冰川泥砾和冰川纹泥的透水性极差，对不同的含水组也会起阻隔的作用。

总起来说，华北平原，除了山前地区的沉积物颗粒普遍粗大而在有些地方出现单一含水层以外，普遍存在着多层含水层。如何认识这些含水层之间的关系，除了上面所说的一般规律外，还应该介绍两种观点：

(1) 波兰专家安·克列兹柯夫斯基曾把平原地区的含水层划为三大组：第一含水组位于300米以下，一般水井多未揭露；第二含水组是近山河流造成的冲积扇沉积物，在山前地区直接露出地表，平原中部则倾伏于第三含水组之下；第三含水组是河道带的沉积物。克氏认为三个含水组“有着密切的水力联系，在补给和排泄方面，垂直作用大于水平作用”。

(2) 从实际应用角度看，各个含水层之间即使具有水力联系，关系也并不密切。这种情形从水质、水头的差异上都可看出。当半透水层和不透水层的厚度较大，层次较多时，差别更为明显。象河北滨海地区，浅层地下水矿化度达10—50克/升，250米以下则有矿化度为1—2克/升的微咸水，在河北平原中部，淡水含水层埋藏在地表70—110米以下，浅部的地下水矿化度一般都在3克/升以上，还有高达15克/升的。假如上下含水层之间有良好的通道和密切的联系，相差当不致如此之巨。水质的差异在矿化度很低的山前地区不容易看出问题，但在水头

方面同样有线索可寻，特别值得注意的是自流水的出露区。仍以河北为例，自流水不但见于滨海地区，见于平原中部的任丘、献县、衡水，也见于离山麓很近的昌平、保定、定县和邢台等地，说明自流水与当地潜水之间并没有十分良好的联系。

以上所说是天然状态下的情况。在开发利用地下水时更能证明浅层水和深层水之间联系一般并不良好。许多地方把水质较差的浅部潜水止住不用，开采时并没有发生过上部潜水下渗污染下部淡水的事例。在开采深部含水层时，对潜水的的影响即使在山前地区也往往是微乎其微的。相反，假如一个水井同时揭露了两个水质、水头不同的含水层，不加止水，很快就会由于人为的串通而引起严重的后果。例如河南曾打过一口自流井，由于止水不好，自流水流量的堰尺读数由四月份的13厘米降为八月份的9.5厘米，附近浅井中的水位在同一时期则上涨了4米（包括季节性水位变化在内），把井也泡塌了。这些例子同样可以用来说明潜水和自流水原先并不存在十分密切的联系。

综上所述，可见在垂直方向上当有多层含水层存在时，直接的密切的水力联系一般是不好的，因此一般都有条件分别开采，不致引起严重的干扰。

4. 交叉的变化。是指不同水文地质单元接壤地区的交互作用。造成这种交叉变化的原因，一方面是由于华北平原总的形势虽然是西高东低，但是东部有一段受阻于山东丘陵，发源于秦沂山脉的河流如汶河、泗水等却从相反的方向流入华北平原；另一方面，华北平原上最大的河流黄河，具有河道多变的特点，据历史所载，河道摆动幅度北达天

津,南及长江。黄河北流的结果,与海河水系的沉积物发生交叉作用,南流的结果,既与鲁西诸河发生交叉,又交叉与袭夺了淮河水系。交叉作用不仅使沉积物的分布更为复杂,而且在交叉处形成窪地、湖泊,如河北的大陆泽、宁晋泊、白洋淀等,山东的东平湖、蜀山湖、微山湖等,安徽的城东湖、城西湖、瓦埠湖等,其发展与消亡也大多与黄河的改道有关。如历史上有名的梁山泊经过983年、1017年、1019年、1020年、1077年、尤其是1194年的黄河南泛,水汇其中,规模大增,其后黄河南徙,逐渐淤平。又如洪泽湖也是1194年黄河夺淮后才扩大的,但同时受到严重淤积,许多地方近代都已变为沼泽了。

交叉作用也有规模较小的。例如不同冲积扇之间,沉积物也可能发生交叉沉积的现象,在地形上也出现冲积扇间的窪地。如在河北徐水、容城、安国等地都有,但面积较小,呈狭条状分布,有季节性的积水。

窪地地下水埋藏很浅,水力坡度极微,排泄条件极为不良,容易产生沼泽化和盐碱化。一些大型的窪地,由于积水时期较长,水量较大,因而窪地中心地下水水质尚不甚劣,而在周缘高地及窪地间微微高起的缓岗上,矿化度最高,如宁晋泊、大陆泽周缘可达10—30克/升。小型的碟形和槽形窪地,地下水矿化度最高处一般都在窪地的中心。

二

综合以上的四种变化,可将华北平原上的各个地段,分作几种类型,它们的农田供水和盐碱化防治问题是不相同的。

1. 山前平原型:山前平原由冲积扇群组成,一般具有含水层厚度大、岩性粗、地

下水质良好、水量丰沛、供水条件好,地下水逕流通畅、水位较深、盐渍化威胁不大的特征。但冲积扇本身与冲积扇间地区的差异还是很大的。因此山前平原型又可分为冲积扇和冲积扇间地区两个亚型。

(1) 冲积扇亚型:一般说来,冲积扇的农田供水水文地质条件最好,选择井位的问题不大,往往都能打出水量丰富、水质良好的水井。即使存在一些横向变化,有的地方水量特别大些,有的地方稍小,但通常都不致使打出的井无法利用。这些地区,实际上群众已经打了许多水井,有长期的利用历史。一般不存在地下水不够用的危险。这些地区主要应该解决的问题是:如何更加经济合理地利用地下水,确定合理的井距、井深和水井结构。从目前的布局看,水井的密度一般较大,一口井往往只控制二三百亩地,或更少些。但是水井的潜力还很大,假如充分发挥效用,有的可浇到千亩以上。

在冲积扇上也有一些地段的供水条件比较困难,主要是冲积扇的顶部,由于水位较深,超过六、七米以上时,一般象离心泵等抽水设备,就不能发挥作用,同时沉积物颗粒较粗,钻进比较困难,土法打井不好施工。

冲积扇的沉积物既较粗大,渗透性也较好,如果引用地表水灌溉,沿途的渗漏量很大。但是冲积扇地区地形较陡,一般为1/200—1/2000,地下水的水位埋藏深度较大,一般在2—6米以上,水力坡度一般为1/1000,因此虽有渗漏,也不致把地下水位抬高太多和引起盐碱化。只是在冲积扇的尾部,地形趋于平缓,向冲积平原或交叉窪地过渡,地下水位的埋藏深度变浅为1.5—2.5米,地下水逕流也较缓慢,同时沉积物的颗粒变细,有泉水溢出。有

的冲积扇的中下部还有窪地存在,可以短期积水。在这些地区,都可能有沼泽化和盐碱化现象出现,因而在冲积扇的下部也必须注意盐碱化的防治并进行相应的水文地质调查。

以上所说是冲积扇亚型的一般情况。但是不同冲积扇由于规模大小、含水层的厚度和隔水层的多少、补给条件的不同等等,农田灌溉水文地质条件也是不一样的。现在已经有人根据水文地质特征对太行山东麓的冲积扇进行分类,这是很有意义的。今后如能对华北平原各个冲积扇作更进一步的研究,从农田灌溉的角度划分类型,显然能对合理利用地下水资源,克服自然灾害,改变自然面貌有很大的好处。

(2) 冲积扇間地区亚型:农田灌溉水文地质条件较之冲积扇亚型大为逊色。首先在农田供水方面,由于位于冲积扇的边缘,良好的含水层往往较少;同时又受两个冲积扇的交叉作用,沉积物的分布比较复杂。在这些地方打井,有些井可能打得比较成功,含水层层数较多,水量较大;也有一些井可能含水层又少且薄,出水不好。因此在开发利用地下水以前,有必要先做勘探工作,了解含水层的变化规律。

冲积扇間地区在地形上较为低窪,排水条件较差,常有小型的积水窪地,有必要防治土壤的盐碱化和沼泽化。

2. 冲积平原型:其特点是地形十分平缓,地面坡度约为 $1/5000-1/10000$,河流大多为地上河。如黄河河床高出两岸地面约 $2-10$ 米,因此不仅汛期不能起到排除两岸积水的作用,就是枯水季节,也有地表水补给地下水的现象。地下水的水力坡度十分平缓,为 $1/5000-1/12000$ 。水位很浅,一般在

2 米左右,个别地区深于 3 米,但在低窪地区,往往不到 1 米,甚至有接近地表和积水的。由于河流的多次泛滥和反复沉积,平原沉积物在垂直剖面上比较复杂,表层沉积物以亚砂土和亚粘土为主,砂土和粘土较少。地下水的矿化度,在平原西部,一般为 $0.5-1.5$ 克/升,中部为 $1-3$ 克/升,与滨海平原接壤处增高到 $2-5$ 克/升,平原中的低窪封闭地区,矿化度更高。

从农田供水方面来看,利用地表水必须解决渗漏和排水的问题。地下水由于冲积平原地区的含水层较薄、层次分散、岩性变细、水量变小、淡水含水层埋藏有的地方较深,因此供水条件也不好。同时由于横向变化的结果,河道带与河间地带参差分布,富水带和贫水带相替出现,淡水带和咸水带穿插交错,开采条件颇为复杂。往往一个井打得很成功,而附近即可能砂层锐减,或者有坏水出现。所以在这类地区,进行农田供水水文地质勘察,十分必要,而且必须采用综合勘探方法,物探结合钻探,才能摸清水文地质条件的变化规律,指导开采工作。

从农田灌溉角度出发,如何进一步划分冲积平原的类型,还是一种新的尝试。初步设想,分为单式冲积平原和复式冲积平原两种亚型。

(1) 单式冲积平原亚型:是指主要由某一水系单独形成的冲积平原,条件比较简单,深部沉积层的情况大致与地表相似。因此在农田供水方面,主要是寻找水量比较充沛的埋藏的古河道。

(2) 复式冲积平原亚型:在复式冲积平原的表部,是河流——主要是黄河的冲积层,在复式冲积平原下面,往往埋藏有近山河

流的傾伏冲积扇。这种傾伏的冲积扇,具有农田供水的良好条件。所以在复式冲积平原,寻找和圈定傾伏冲积扇的范围,对农业供水具有十分巨大的意义。

在土壤盐碱化方面,复式冲积平原由于交叉作用而多窪地,易于积水,地下水也接近封閉停滯状态,水位埋藏又浅,因而条件比之单式冲积平原往往更为恶劣。

3. 滨海平原型:淡水或微咸水含水层的埋藏較深,盐山黃驊一带达270多米,浅部的水质恶劣,矿化度一般为10—50克/升,个别地区可达150克/升以上。但在某些古河道中,水质較好,如盐山一带在20米以上曾找到淡水古河道,往下又变为咸水。由于含水层薄、岩性又細,水量很小,用机器抽水水井很快就会枯竭。此外在海岸沙丘中也有水质較好的上层滯水,但水量更加微小。滨海平原的两端淡水及微咸水的埋藏深度較中部为浅,如天津为70—100米,广饒为30—100米。滌河河口因海岸距山区較近,冲积扇类型的粗顆粒沉积物可以一直分布到海滨,地下水逕流条件比較通暢,水质最为良好。

滨海地区有含海生貝壳的淤泥及亚粘土、粉砂等海相沉积物,地下水中含有Br、I、F等元素,并有原生盐土的存在。土壤含盐量在海岸一带最高(如黃驊),近海岸地区即使在地表以下6米深处,含盐量仍达1—2%。盐土类型主要为强盐化的氯化物盐土(內陆地区則主要为氯化物硫酸盐盐土,其次有硫酸盐氯化物盐土、硫酸盐盐土及碱化苏打盐土等),在靠近河流、灌渠或降水易于渗透的地区,土壤含盐量有降低的現象。

三

在研究华北平原的农田灌溉水文地质問題时,还应该考虑以下几点:

1. 对地下水資源的評價問題,前面已經說过,华北平原利用地下水十分重要,不加以开发利用是不对的。但如認為地下水源极其丰沛,取之不尽,用之不竭,漫无节制地任意开采,显然也是不对的。只有因地制宜,綜合利用地下水和地表水,才能妥善地解决农业灌溉用水問題。

2. 盐碱化的成因和盐分重分配問題:土壤次生盐碱化的根本原因,是由于地下水位升高以后,地下水順着毛細管上升,受到蒸发濃縮把盐分积累在土壤表层的結果。地下水的矿化度对于盐漬化的速度有影响,但对于能否造成盐碱化,不起决定作用。起决定作用的是地下水的埋藏深度,当其超出盐碱化的临界深度时就有造成盐碱化的威胁。实际上許多地方經過灌溉以后,地下水的矿化度反而降低了,例如山东某灌区,开灌后地下水矿化度为2—3克/升的面积减少了28.4%,小于1克/升的則增加了21.3%。但是由于地下水位的增高,灌区盐碱化的威胁也增加了。事实証明,不少灌区的地下水矿化度并不高,有的还在1克/升以下,由于水位埋藏太浅,仍然有盐碱化的发生与发展。

灌区次生盐漬土的盐分主要集中在土壤表层,改良盐漬土时可以利用灌溉洗土,把富集于地表的盐分重新納入地下水中,一部分則迁到土壤下部或被排走。

3. 利用矿化水扩大灌溉水源,降低潛水水位,防治盐碱化的問題:灌溉可以兼收压盐之利,但必須控制潛水位,不然反而会促进盐碱化的重新发展。过去由于不适当地利用地表水,大水漫灌,滲漏严重,有的灌

究竟有一半水量渗入地下。目前有些地方停止了渠灌,准备改用地下水,那么利用地下水以后,会不会也产生同样的后果呢?目前用作灌溉的地下水源,尤其是平原的中下部,一般是較深的含水层,根据前面的論述,和当地的潛水一般沒有良好的直接联系,地下水灌溉定額低、渗透有限,当然不能与地表水灌溉,尤其是漫无节制的大水漫灌同日而語。但是渗漏终究是难免的,加以平原中下部潛水的逕流条件很差,日积月累,仍有可能抬高潛水位;若不注意排水,人工降低潛水水位,仍然有发生盐碱化的危险,不过速度較慢,历时較久而已。

談到排水問題,平原地区地形平緩,特别是低窪地区,水平排水十分困难。若能采取垂直排水方法,并且把排出的潛水,用于灌溉,兼收排水和灌溉之利,岂不更好。一般認為,华北平原中部和东部的潛水水质不好,不宜灌溉。但据干旱地区的經驗,由于水源缺乏,矿化度較高的水也往往用于灌溉,并获得很好的收成。有些地区还有利用海水与淡水混合浇地的經驗。国外有的資料談到,用小于5克/升的矿化水浇棉花,仍能获得良好收成;有的資料表明,用8—10克/升的水浇灌棉花和苜蓿,产量比正常的灌溉减少不到9%,用18—20克/升的水灌溉,产量也不过减少18%。华北平原中下部的潛水水质,絕大部分要比上述的例子好得多,是不是也可以用作灌溉,是一个值得研究的問題。当然在使用矿化水灌溉时,必須注意采用一套适合的灌溉制度和措施,不然更会促进盐碱化的发生与发展。

从降低潛水水位的需要看,潛水如果单独灌溉,水质不行,也可以考虑和其他淡水水

源混合起来利用;即使完全不能利用,也有必要进行专门处理,加以排除。这样做在灌溉上当然会增加不便和提高成本,但从长远利益着想,为了防治土壤的盐碱化,有灌有排,是十分必要的。况且华北平原水源本来不很充足,如能因排水而扩大水源,意义就更大了。

以上所說,只是一个設想。至于垂直排水和水平排水在經濟上何者較为合算,用矿化水在华北平原不同地段浇地,究竟有无可能,还需要作更进一步的計算和試驗。在組織試点工作中,要配合相应的地下水长期动态观测工作。

四

根据以上論述,可以总结为如下四点:

1. 华北平原各个地段,受縱向、横向、垂直、交叉四方面变化的綜合影响,具有不同的农田灌溉水文地质条件,在实际工作中,特別需要研究横向和垂直的变化。

2. 华北平原地下水尚有很大开发潜力,但从全面实现水利化看,水量并不十分充裕,因而在大力利用地下水的同时,决不可忽视对地表水的利用。

3. 潛水水位的升高,超过临界深度,是造成土壤次生盐碱化的直接原因。因此在平原中部,無論利用何种水源进行灌溉,都必須注意排除潛水,降低潛水位。

4. 利用矿化潛水,可以兼收灌溉和排水之利,对防治盐碱化和扩大灌溉水源都有好处,值得注意研究。

以上意見,限于个人水平,不見得恰当。收集的資料也不全面,論証很不充分,錯誤及不足之处,望予指正。

(参考文献从略)