

# 喀斯特区域地下水污染问题初步探讨

缪 钟 灵

(贵州工学院地质系)

我国分布着大片喀斯特区, 这些地区矿产、水利资源丰富, 由于工业建设的发展, 城市的扩大, 人口的增加, 给环境带来了一些影响, 其中地下环境的污染是环境地质中的一个突出问题, 这里, 主要指的是地下水的污染。喀斯特地下水与非喀斯特地下水相比, 在接受污染、传播、扩散或贮留污染物等方面独具特色。

喀斯特区分布着大量的落水洞、漏斗和溶洞, 各种类型的污水经由洞穴转移到地下河, 渗进潜水, 甚至向深部承压水扩散。由于喀斯特地下水联通性好, 水力坡度大, 水流速度快, 从而使得一个地下流域或一个含水层在不太长的时间内全部遭到污染。

其次, 喀斯特地表缺少森林植被, 土层薄少, 污水废液几乎不受任何过滤、吸附、离子交换等净化作用, 以其原始排放浓度向地下渗灌, 而石灰岩类岩体化学活性低, 自净能力差, 致使污染物得以远距离迁移和长期保存, 得不到充分的分解或降解。

进行喀斯特地下水污染问题研究, 既要掌握它的特性, 又要认识到它是区域水循环的一个环节, 也是地下水圈的一部分, 对它的研究脱离不了地球水体、水循环、水污染的研究范畴。喀斯特地区的污染有各种情况:

## 一、不同喀斯特水体对污染的反映

喀斯特地下水运动和储存有三种形式: 地下河、潜水、承压水。

1. 地下河: 它是介于潜水面和地表面之间最活跃的水体, 通常在溶洞和管道中流动, 有时它与潜水面接近、合并, 甚至以虹吸管形式插入潜水面以下, 在溶洞中流动时, 它的河槽形态与地表河流没有差别, 好像是加了盖的河流一样, 它接收降雨和表流的补给, 也接收潜水的补给, 有时它也补给潜水, 但与承压水关系不密切。地下河流速大多在  $n \times 10^0 \sim n \times 10^{-1}$  厘米/秒间, 多为紊流, 也有层流。地下河水中溶解氧比地表河少, 没有光照, 微生物种类少, 繁殖慢, 河流底质(淤泥、沙)稀少零星, 大多数是石质的河床, 自净能力比地表河流差, 因而地下水极易污染又极易携带和传播污染。当地下河与溶潭或地下湖或以虹吸管形式向深部穿插连通时, 地下河对污染物传播作用就更为恶劣。

2. 潜水: 即一般所谓的具有自由地下水面的喀斯特含水层, 它是喀斯特区最富于储水的部位, 与地表水有积极的交替和排泄补给关系, 水主要贮存在各式洞穴和溶隙中, 水流速较快在  $n \times 10^0 \sim n \times 10^{-2}$  厘米/秒间, 主要是层流, 局部也会产生紊流。喀斯特潜水含水层厚度随着地质条件和地貌条件而变化, 当其厚度较大时, 在它的垂直方向上, 喀斯特化程度和富水性是不均匀的, 在平原和盆地中最上部50~70米; 在山地河谷区最上部200米范围内, 是最富水和水最积极的交替带。因而潜水体被污染特点, 污染物浓度、保存和自净等也是深浅有别。一般的情况是交替最积极的上部带, 易受污染, 但也易于更新; 而交替缓慢的下部带

较难污染，但一经污染则易长期保持难以更新。

3. 承压水：是喀斯特区具有压力水头的含水层，通常埋藏于深部，其产状受地质构造控制，向斜盆地、单斜坡地、断块山区往往是承压水埋藏良好场所，承压水主要在溶隙和溶孔中运动，流速缓慢，多数小于  $n \times 10^{-2}$  厘米/秒，承压水交替循环缓慢、水年龄较老，更新周期长，地质上处于封闭或半封闭的环境，因而它较难遭受污染，而污染后又极难恢复和治理。

表 1 不同类型喀斯特水对污染反映程度表

地下水类型	流速 (厘米/秒)	流态	埋深	储水空间	与地表水 联系	水体更新周期	遭受污染 可能性	处理难易
地下河	$n \times 10$ $\sim n \times 10^{-1}$	紊流 为主	浅	溶洞 溶洞网	极密切	数月至数年	最易	易处理
潜水	$n \sim n \times 10^{-2}$	紊流 为主	浅及较深	溶隙	密切	数十年至数百年	易	上部易处理 下部难处理
承压水	$< n \times 10^{-2}$	层流	深	溶隙溶孔	不密切	数千年以上	较难	极难处理

## 二、地表覆盖程度对污染的影响

裸露型喀斯特区对污染是毫无防范的，而覆盖型地区就不同了，它由于有土层或松散沉积物的覆盖，能减少乃至消除污染物的下渗，从水文地质学角度研究覆盖层性质和透水性及其对污染物的作用较为重要。

1. 透水性强的盖层：分两类，一类是砂土、砂砾土之类未胶结的松散物质和弱胶结或风化剧烈的砂岩类岩层，以粒间渗透为主；另一类是裂隙性渗透层，如砂岩、泥灰岩、页岩以及玄武岩、花岗岩之类，某些粘土和亚粘土类也具裂隙渗透性。这类盖层即使有20米以上厚度，也难隔断地表污染物与地下水的联系。砂层垂直传导速度随颗粒直径均匀程度胶结程度而变化颇大，从每日数分米到每日十数米不等；裂隙性盖层垂直传导速度更大，因而地表污染物可以在数小时或1~2天内转移到地下水中。

2. 弱透水盖层：一般是指细粒沉积，它对污染物有过滤、吸收、吸附等作用，同时较低或很低的渗透速度又限制了污染物向下的迁移扩散，使地下水遭受污染的时间大为滞后，浓度大为下降。

3. 不透水盖层：粘土以及页岩之类的致密岩土一般被当作不透水的，自然界中绝对不透水的岩土是没有的，然而通过这些岩土中少量的微裂隙下渗的污水，对地下水体的质量并不起显著的影响，因而不透水盖层是喀斯特地下水良好的保护层。

在史密斯所著的《应用地貌学》一书中，研究了喀斯特地下水污染状况，得出不同污染物穿透覆盖层能力不同，比如各种油类废液及某些有毒废液的穿透能力就比其它污染物强，即使有20米厚的弱透水盖层相隔，仍能在地下水中发现污染物的踪迹。（见表2）

## 三、喀斯特地下水污染途径划分

污染物在地下水中迁移距离和扩散范围取决于污染物进入地下水流域的位置以及进入地下的方式，当污染物在上游补给区进入地下时，整个流域将最大限度的遭受污染，尚有向深部扩散迁移的可能，这是最恶劣的情形；当污染源位于排泄区，则污染物在地下传播就受到很大限制；当地下是单一管道或地下河时，污染物可以快速的通过并排向数十公里外的泉水点或地下河出口；而当地下的喀斯特呈网络状的裂隙—管道系统时，污染物将弥散于整个含

表 2 在不同厚度覆盖层下喀斯特地下水污染的可能性

废 物 类 型	透 水 的		不 透 水 的		弱 透 水 的		粒 间 渗 透 的		裂 隙 性 的	
	5 米	20 米	5 米	20 米	5 米	20 米	5 米	20 米	5 米	20 米
城市垃圾堆	有	有	无	无	无	无	有	无	有	有
污水和污泥	有	有	无	无	无	无	有	无	有	有
建筑及废墟	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无
无毒工业废物	有	有	无	无	无	无	有	无	有	无
含油的或有毒的工业废物	严重	严重	无	无	有	有	严重	有	严重	严重

(引自《应用地貌学》)

水层中，向深部和侧向得到最充分的扩散机会，此种条件下的污染过程将是最复杂的。污染源处于不同的地质构造部位，处于不同的地貌单元，污染物排入地下的方式和途径也是多种多样的，为了治理污染，杜绝污染有必要弄清喀斯特水文地质结构，查清污染途径，方能制定有效的对策。

归纳起来地下水污染途径有以下几种：

1. 补给区污染型 在高原山区以及某些峰丛谷地、峰林盆地的地形内，分水岭或地下水补给区常有开阔的地形可利用，自然成为兴建城市、发展工业的场所，这类地区、不管盖层的性质和厚度是否有利，地表总是有不少垂直型溶隙、落水洞、天然井等渗漏通道，这些地区内的洼地或溶蚀盆地也是不可靠的，在天然条件下它们就吞没或吸收山溪、小河和大气降雨，当工厂或城镇的污水盲目排放时，其后果就更为惨重，中下游以及整个地下流域均可污染。贵州清镇县的一个有机物工厂就建在县城附近一小河的上游，恰恰相当于地下水流域的上游补给区，大量含汞、氰的废液经过广泛分布的三叠系石灰岩白云岩中的各种形式洞穴和溶隙注入地下，顺着水力坡向，向中下游蔓延，使原有城镇居民正常供水的泉井和龙潭水均遭受不同程度的污染，水质变坏，严重者不能饮用。

2. 天窗型污染 在某些覆盖型喀斯特区，石灰岩或白云岩顶板虽有一隔水层，但隔水层并不完整严实，可能为古河流侵蚀而缺失，亦可能因地下溶洞塌陷而破坏，使第四纪松散沉积物在一些地点直接与下伏石灰岩接触，而松散沉积物中的污染物对于石灰岩来说成为次生污染源，隔水层中每处被破坏点称为“潜伏天窗”，污染物通过“天窗”进入石灰岩体。

3. 虹吸型污染 虹吸管是喀斯特地下水特有的运移形式，在深切峡谷地形或某些向斜盆地或断块山地中，虹吸管可以深入河面，潜水面以下数百米，它的一端和浅部水体相联，也就有导入污染的可能。断裂—尤其是那些深而大的断裂、晚近期还在活动的断裂，大多数场合是导水的，其形状相似于一个插往深部的倒虹吸管。如果污染物一旦沿虹吸管运动，则污染将向深部转移弥散。

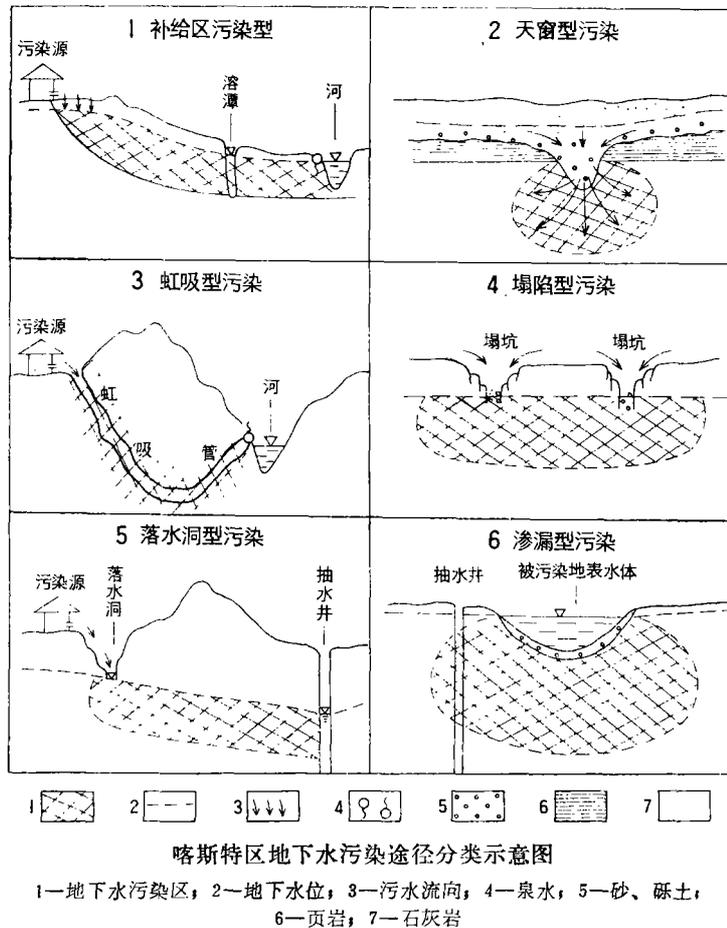
4. 塌陷型污染 塌陷是喀斯特地表不稳定的表现形式，在天然状态下塌陷进程较为缓慢，在人为扰动下塌陷将剧烈和快速的发展，抽水、采矿等都会大规模触发塌陷，塌陷通常是突然的，在人们预料不到的时间和地点上出现。塌坑成了污水下灌的通道，塌陷区成了地下水污染区，贵州水城盆地的污染说明了这点，那里地下水重污染区在平面分布上正好与严重塌陷区相重合，国内外还有很多其它例子也可证明这一现象。

5. 落水洞型污染 落水洞是最廉价藏垢纳污的场所，大量的垃圾，生活区和医院的污

水, 矿山的酸性水, 工厂的废料废液等等都向其中倾倒; 落水洞的吞吸能力特强, 小型河溪, 尤其是那洗刷城镇的污浊的暴雨径流, 大部分消入落水洞, 落水洞只不过是个中转站, 它不储存也不净化, 就把污染物转送给地下河或潜水含水层。

6. 渗漏型污染 水库、湖泊、河流这些地表水体往往易受污染, 地表水体的底泥中更容易积累浓度高得多的有毒有害物质, 成为一个强烈的次生污染源, 以致当水体澄清后其底质中的污染物还长久的保持着。当地表水体附近的水井在抽水时, 地表水体向水井渗漏补给途中, 在底泥内获得了污染成份, 从而也就污染了水中的水质。

当然还可以细分出一些其它的形状, 但在我国主要是这六个途径。(见图)



(上接第20页)

从表中可以看出, 本区石英角斑岩碱质总量从7.17%—7.67%、平均为7.48%。Na<sub>2</sub>O的含量从4.79—5.41%, Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O为1.66—3.07, 平均为2.22。Na<sub>2</sub>O/CaO平均比值为4.23。本区石英角斑岩的化学成分与安徽张八岭、甘肃白银厂石英角斑岩的化学成分含量非常接近, 其中灌云县陡沟样品的K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O含量和白银厂石英角斑岩的K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O含量几为一致。

4. 在细碧—石英角斑岩系中夹白云石英片岩和石英岩之正常沉积变质岩。

上述特征表明苏北云台组之变质细碧—石英角斑岩, 与国内外同类岩石相比既有相同之处又有其不同之点。目前国内外所发现的细碧—石英角斑岩系多属绿片岩相, 由于变质浅, 普遍保留有残余结构, 原岩易于识别; 本区细碧—石英角斑岩系的变质程度相对较深, 属绿帘一角闪岩相变质, 残余结构较少, 原岩面目难辨。这是本区细碧—石英角斑岩的独特之处。

根据岩石的野外产出状况、变余结构构造以及矿物成分和化学成分特征, 并结合当时的构造环境, 首次提出本区存在细碧—石英角斑岩系, 无疑对本区今后开展地质调查和研究, 对地层的划分和对比, 对了解本区当时的地壳演变历史以及寻找与其有关的矿产将有所启发和帮助。特别是本区已发现有黄铁矿化, 对寻找与此有关的铜矿、多金属矿更应引起重视。