

地下水污染调查与预测计算

[苏] E. И. 明 金 著

王霞玲 常连贵 廖进德 译

姚 雨 凤 校



中国建筑工业出版社

水电部科技情报所	
图书总号	5822
分类号	X 502

地下水污染调查与预测计算

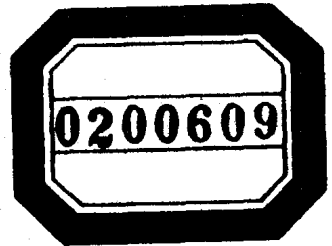
[苏] E.И.明 金 著



006170 水利部信息所

王 露 玲 常 连 贵 廖 进 德 译

姚 雨 凤 校



中国建筑工业出版社

本书论述了在地下水可能受到或已受到污染的情况下，为制定预防措施所必须进行的水文地质调查和预测计算方法。书中列举了一些污染地区水文地质调查的实例，提出了防止和消除污染的建议。对在不同的水文地质条件下，地下水可能污染的条件做了统一分类。

在译校中对原书中的一些错误作了改正，删去了个别字句，并将书名改译为《地下水污染调查与预测计算》。

Е. Л. МИНКИН
ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОГНОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ
ДЛЯ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА», МОСКВА 1972

* * *

地下水污染调查与预测计算
王 霞 玲 常 连 贵 廖 进 德 译
姚 雨 凤 校

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 3 1/8 字数: 84 千字

1978年11月第一版 1978年11月第一次印刷

印数: 1—11,180册 定价: 0.30元

统一书号: 15040·3513



目 录

引言	1
第一篇 开采区内淡地下水的污染	4
第一章 细菌污染	4
第二章 化学污染	7
污染来源和污染物渗入地下水的途径	8
污染条件的分类	10
第二篇 为制定防止污染措施提供依据, 在地下水污染 地区的水文地质调查	17
第三章 确定污染原因、规模和性质的调查	17
第四章 在显露污染的地区进行综合调查	28
坦波夫市一个企业区的调查	29
莫斯科近郊制药厂区的调查	39
莫斯科一个工厂区的调查	51
第三篇 预测水源地地下水水质可能发生变化的水文地 质计算	65
第五章 预测计算的方法原理	70
第六章 开采含水层中发现污染基地时的预测计算	78
确定污染水从污染基地流入水源地的可能性	78
确定开采水中污染物的可能最大浓度	80
确定首批污染水流入水源地的时间和 开采水中污染物浓度的变化	83

引 言

地下水很早就被人们广泛用于各种目的，首先是用于饮用。可以毫不夸张地说，不利用地下水，许多国家（包括苏联）的很多地区就不能存在下去，工农业就得不到发展。

近几年来，地下水在那些以前利用地面水作为供水水源的地区，开始起着日益增大的作用。

这与两个基本情况有关。第一是地面水被污水污染，污水量随着工业的发展和居民点福利设施的完善而不断增加。由于工业的发展，许多河流被严重污染，在某些情况下，已经不能再作为供水水源。

第二是地下水能很好地防止各种污染，因此，与地面水相比较，人们优先采用地下水作为供水水源。

很显然，既然地下水在人类生活中起着如此重要的作用，就很有必要对其进行可靠的保护，首先是防止污染。几乎到十九世纪末叶，这个问题还没有引起应有的重视。大量地下水往往是从自流井中得到的，在这些井区内，地下水受到良好的天然保护，很少受到污染。由于微生物学和细菌学发展较慢，还不能对地下水质量进行分析，并把肠胃病与地下水中细菌污染联系起来分析研究。这时工业还不够发达，污水对地下水的化学污染还没有构成严重威胁。

只是到了十九世纪末叶和本世纪初，由于日益广泛利用地下水作为供水水源，才首次提出保护地下水质量的问题。

但是，直到伟大的十月革命，在保护地下水不受污染方面，实际上几乎没有采取什么措施。就是在苏维埃政权的头几年，1924~1927年，防止地下水污染的措施也很少，主要是对个别水源井结构和水源井附近地区的卫生情况提出一些建议。这些建议

的依据，就是对水井区水文地质条件的分析。

国家开始工业化后，建立了大型工业企业，这就要求对保护地下水不受污染的问题采取新的态度。为了保证这些企业和居民点生活饮用水的需要，出现了大型地下水源地，并把大片地区纳入水源影响区，这就迫切要求在很大地区内创造一定的卫生条件，即建立卫生防护带。

到1930~1940年，地下水的防护任务主要是防止细菌污染。这时，发表过许多文章（主要是在美、英杂志上），讲述地下水因受细菌污染引起肠胃病的各种情况，地下水的污染来源和途径。在B.И.穆斯卡特关于供水水源卫生防护的著作中（1937），对于上述的情况，以及俄国水质污染的情况，做了简介和概述。B.И.穆斯卡特指出，污染液体的渗透途径可以是多种多样的，即使是被不透水粘土层严密覆盖的深层含水层，如果在生产井附近及距井很远的距离内，没有遵守卫生防护要求，也可能受到污染。

从五十年代开始，由于工业的迅速发展，首先是化学工业，使得排到地面和水池内的被稳定化学化合物污染的污水量增多，出现很多地下水受到严重化学污染的情况。在苏联和外国，发表了许多关于工业污水对地下水影响问题的著作，谈到了上述污水对地下水的化学污染（如1963年瓦斯曼·涅姆斯基的著作，1965年奥欣采夫的著作，1957年季诺维也夫著作，1959年维诺格拉多夫的著作）。

美国学者D·莫里斯（1963）密切结合密执安州水文地质条件，用许多事例试图系统说明地下水的污染来源及途径。

地下水受污染的情况迅速增多并构成威胁。这就迫切需要采取措施防止污染，并且消除地下水中已发现的污染基地——污染水的扩散地段。

制定这样的措施并提出依据是个十分复杂的问题，这是因为污染来源多种多样，污染物质实际上是各式各样的，必须逐个确定污染物进入地下水的途径。不解决地下水的污染来源和途径问

题，就不能采取有效措施来消除污染基地或使其局部化。如果不知道污染基地的界线和污染物在这些基地范围内平面和剖面上的分布情况，这些措施也不会有效。为了回答这些问题，需要进行广泛、复杂的专门水文地质调查。要在短期内用最少的费用进行这种调查，就要对在该地区的具体水文地质条件下最可能的污染来源及污染物进入地下水的途径有个清楚的概念。这样的概念只有对许多已查明和研究过的地下水污染情况的资料进行分析研究整理后才能得出。

所以，本书的第一篇，就是对已有的地下水污染资料进行综合，说明污染来源和污染液渗入地下水的途径。在此基础上，结合各种的水文地质条件，对地下水污染条件进行统一分类。

从两个基本污染种类——细菌污染和化学污染中，本书只阐述最普遍的一种——化学污染。

本书的第二篇是对地下水污染地区进行水文地质调查的方法提出建议，并列举在一些地区进行这种调查的实例。

消除地下水中污染基地或使其局部化的措施，在大多数情况下，是很费力的，并且花钱很多。所以，比较切合实际的，是分阶段实施这些措施。为此，需要根据水文地质调查资料，对污染基地界线的可能位移和污染物质在地下水中的浓度（当它们沿含水层流动时）和生产井抽出的水中浓度的可能变化做出预测。

本书的第三篇介绍预测性的水文地质计算方法。

第一篇 开采区内淡地下水的污染

所谓开采水源区内地下水的污染，是指除水源本身的影响之外，凡是生产活动和居民生活条件的各种因素的影响造成直接或间接地使水质任意恶化，并且这种水质恶化使地下水全部或部分地不适于供水之用。

如果矿化水由于在自然条件下已扩散到水源开采区，或者矿化水与含水层和地表水源具有水力联系的缘故，而引起它渗入水源地，这种情况不能称为地下水的污染。只说明，由于取水量超过水源区的开采储量而引起水源区的地下水疏干。开采量应掌握在水源地工作时不发生矿化水渗入水源地的现象。

第一章 细 菌 污 染

细菌污染是指地下水中出现病原菌。

因为地下水的细菌污染对居民的健康有严重威胁（在人类历史上由此曾多次引起各种致命的流行性肠胃病），所以与地下水的细菌污染作斗争具有特别重要的意义。国家卫生防疫站通过经常从水源地取水样进行细菌分析的方法，对开采含水层的水质进行经常检验，确定被分析的水中各种病原菌的含量是一件非常艰巨的事，往往得不到同样的结果。为此在上世纪末，卫生部门制定了测定细菌污染的较简单而又十分可靠的方法。

曾经发现，病原菌在河水中生存能力很低，比从同一个来源进入水流内的其它相对的无害菌的生存能力更低。值得注意的是进入地下水的大肠杆菌，和人、畜肠道里出来的病原菌一样，对生存条件的要求很低，即使病原菌生命停止以后，它们很长一段

时间还活在水中。

调查证明，水中含少量大肠杆菌说明没有受到病原菌污染。因此，在卫生实践中，为了判断水是否被细菌污染，只要确定水中大肠杆菌的含量就足够了。

这种确定方法很好制定，比较简单，又很可靠。按照现行的卫生标准，为一升水中大肠杆菌的含量不超过三个，这样的水称为净水。

在卫生和水文地质工作实践中，一般地下水的细菌状况用菌值表示，即一个大肠杆菌占有的毫升水量。因此，对净水来说，按照国家标准菌值应在 333 以上。病原菌进入地下水后经过一定的、往往是有限的时间，就停止了生命，它们在地下水流条件下生存的时间直到现在还没有一个肯定的说法。根据一些调查者的材料，其生存时间为几十昼夜，而根据另一些材料，则达到1000昼夜。必须指出，不管什么情况，这些材料都是指大肠杆菌在水流中的停留时间，而不是指病原菌本身。

有关病毒在地下水中生存条件的材料更少，实际上我们对病毒在地下水流条件下生存的时间，和它们随渗透水在含水层中移动的特点还一点也不清楚。

由于病原菌在地下水中生存的时间有限，所以细菌污染扩散面不大，而且是暂时性的。但是世界上各地区，由于地下水细菌污染引起的极严重的流行病爆发事件是很多的。

综合研究地下水受细菌污染的资料表明，在大多数情况下，受污染的只是潜水，这是自然的。要使地下水在一定时间内受污染，细菌就应该用很短的时间进入地下水。就是在这样短的时期内要保存细菌的生命力常常只有在下列条件下才有可能：细菌由于通过满布的孔隙渗入地下水或直接流入地下水。否则，由于包气带的土壤具有高度的净化能力，细菌往往还未到达潜水表面就已死亡。只有当接近潜水埋藏表面的污染源经常起作用 and 包气带内土壤的净化能力大大减弱时，细菌才有可能进入潜水，并形成污染基地。

分析潜水受细菌污染的各种情况表明，引起潜水中形成污染基地的主要来源是：1）污水灌溉田和过滤场，牲畜圈和各种污水坑（这里污染水直接渗入地下水内，或者由于土壤包气不够和不断送入新的污物，包气带在很大程度上丧失了自己的净化性能）；2）损坏的下水管道（管道和管道接头的完整性破坏了，污水沟壁和沟底没有防渗层）；3）被污染的地面，特别是包气带由渗透性良好的裂隙、岩溶或粗碎屑岩层形成，经过这些岩层在地面上被污染的大气降水可以无阻碍地渗入潜水；4）直接排入泄水井、坑和水井内的污水。

深层承压水内的细菌污染基地只有在下列两种情况下才可能形成：1）污水排入泄水井时；2）被污染的潜水经过腐蚀的管道和报废的勘探井及废旧生产井的管外空间渗入。

必须指出，根据过去的概念，在污染潜水不可能进入的自溢的深层承压水中，也发现过细菌污染。过去认为自溢处和在自溢管内的压力大大高于潜水含水层的压力，所以潜水不可能渗到溢水井的管道内，甚至这些管道已被腐蚀或在联结处已渗漏的情况下也如此。但是自溢深层承压水被细菌污染的一些事实迫使人们改变这些概念。

在自溢时井管内水流速度很大的条件下，经过自溢井管的腐蚀管壁和破损的联结处可能吸入污染潜水。同样，我们认为，在给水管网中有时也会发生污染。它们在生产井的出口处完全是洁净的，但是由于给水管网靠近损坏的下水道就被严重污染。

上述细菌污染来源，不管含水层是否已经开采，都使地下水中形成污染的基地。

在水源地工作的影响下，细菌污染的水由污染基地移到水源地，如果这种移动时间比细菌在地下水中生存的时间短，则水源地也被污染。

地下水没有污染基地时，水源地也可能被污染。这是因为污染液体是从上面经过生产井的腐蚀管道或管外空间进入的。这种污染条件主要是由用水户本身造成的，特别是在农村。很常见

的例子是，生产井直接布置在牲畜圈、畜牧场等这样的污染源附近，这样，当然不具备建立卫生防护区的条件。

污染往往与被污染的地表水源的水流入渗透性取水构筑物有关。

不管是什么途径或什么来源，细菌污染都不会直接进入地下水，因为有它一定的局限性，它不能扩散到离污染来源太远的地方，只有在某些岩溶地区的地下水例外，在那里，有时在离泉水上游几公里地方的细菌污染会在饮用这泉水的居民中间引起肠（胃）病。

细菌污染的地下水有较快的自净能力，这就决定了与细菌污染作斗争的方法。如果能成功地消灭污染来源或截断进入地下水的污染途径，那么甚至在地下水中有很大污染基地的情况下，地下水在短期内就会变得很洁净。因此，当发现地下水细菌污染时，主要任务是找到污染来源和污染液体渗进地下水的途径，如果成功地消灭了污染来源或截断污染液体进入地下水的途径，污染就消除了。

在一些情况下，特别是在农村，采取上述消灭已发现的地下水细菌污染的措施是不可能的。例如，水源井位于牲畜圈院和其它较大的生活污水构筑物附近时，就不能实现这些措施，因为这些地区是经常起作用的污染来源。在这样的条件下，最合理的措施是废掉水源井，以便将水源井建在能满足卫生防护要求的新的地方。

第二章 化学污染

地下水的化学污染表现在地下水的成分中出现新的物质或是已有的自然化学成分的含量增加。如果地下水的品质产生这种恶化，它就不能满足对它提出的要求，利用它将不利于、甚至有害于居民的健康。这时，污染的地下水对居民健康的影响可能是直接的（水中含有的污染物，造成用水的人中毒或生病），或

间接的（水质在气味、颜色和味道方面变坏，这样水在一定程度上或完全变得不利于应用）。

在很多情况下，污染地下水的化学化合物是有机物和无机物，其浓度小时，会引起水质恶化，浓度较高时，会使居民中毒或生病。

有机和无机污染物，如果它们不被含水层吸附，在它们相互之间和与含水层也不起反应，即使由于工业废水和地下水相互作用，使含水层中起物理化学变化的环境它们也不发生沉淀，同时它们也不被含水层中的细菌所分解或阻滞时，可能就会无限期地存在于地下水中。因此地下水的化学污染危害是最大的，也是最难消除的。

污染来源和污染物渗入地下水的途径

在绝大多数情况下，地下水中污染物的主要来源是工业企业的污水。由于很多现有开采地下水的取水构筑物都属于渗透式的，即主要靠地表水补给，地表水就成为这种水源地区地下水污染的真正来源或潜在来源。

大量的污水进入各种沉淀池、废渣池、集水池、蒸发池、尾矿池和灰渣坑等等，污水通过这些池底和池壁渗透，会使地下水形成污染基地。应该补充一点，现有的处理构筑物一般都是超负荷工作。大量的污水送到渗透场、灌溉田或者没有经过必要的处理直接流到地面。在后一种情况下污水便积存在地势低的地方，并且渗入地下水中。这种排泄不合要求或处理得不夠的污水地段，常常成为地下水的污染来源。成为污染来源的还有损坏的下水道，或者沟壁和沟底没有封闭的污水排水沟。最后，在一些情况下，污水进入地下水是直接通过为排走手工业、工业和生活污水而建造的泄水井。

除了污水以外，一定数量的污染物是随着下列地区渗透的大气降水进入地下水的。这些地区是固体废料（特别是化学生产废料）堆积地段，各种工业企业的污染用地和靠近有空气污染的企

业地区，食盐堆场、石油产品、化工生产的原料和成品贮存场地，施用肥料和化学毒品的农田等。在贮存液体石油地段，地下水的污染往往同这些石油产品直接渗入其内有关。淡地下水中污染物的来源之一是下伏含水层的矿化地下水。例如，为了建造地下气库和油库进行范围广阔的、但不总是质量好的勘探和试验工作过程中，有一些深井没有及时封闭或者填塞的不够好，由于这些深井盐水溢出地面，并随之渗透，顺着井身，或顺着管外空间进入上部含水层，也会使地下水水质恶化。

最后，地下水可能在没有任何外来污染物流入的情况下受到污染。这种污染往往在一些通过降低地下水开采的金属矿床区出现。当降低地下水系统或水源井间断工作时，地下水位升高，便使在早期疏干带中受氧化的易溶化合物溶解。

甚至在降低地下水系统或水源井工作没有发生间断的条件下，地下水也会发生污染情况：例如疏干区内形成的易溶化合物同渗透的大气降水一起进入地下水。

因为在大多数情况下污染物进入地下水是呈水溶液状，有隔水岩层覆盖的含水层自然能较好地防止污染溶液渗透进去。在这方面处于不利条件的是潜水。绝大多数严重污染的情况都发生在潜水内。

潜水的污染来源有：1）生活和工业废水的聚集地段（沉淀池、集水池、蒸发池、废渣池、尾矿池、渗透场等）；2）地面堆积固体废料的地段（垃圾场、食盐堆积场等）和工业生产污染地区；3）损坏的下水道和有工艺流程中的溶液流到地下并渗入地下水的个别车间；4）石油制品、化学生产的原料和制成品的仓库和贮存地方；5）矿化水从深井溢出地表的地段；6）广泛施用肥料和化学毒品的农田，以及用污水灌溉的农田；7）排入泄水井和大口井内的污水；8）含有矿化水的下伏含水层，它们经过设备不好和没有封闭的勘探井的管外空间或经过这些井腐蚀的（或已坏的）井管与潜水有联系；9）与潜水有水力联系的污染的地表水源。

能够引起深层承压含水层污染的来源很少。从上述来源中仅有后三种属于这类来源。另外，当深层含水层的隔水顶板有《水文地质窗》或被坑道破坏时，污染的潜水亦能引起深层承压地下水的污染。

污染的溶液经过各种途径从污染源进入地下水，最常见的潜水污染情况是污染的溶液经过包气带渗入或渗透，不少潜水和深层承压水的污染是经过各种坑道发生的（泄水井，大口井，废旧的勘探井和装备不好的不用的生产井，其它坑道），如果不从这些矿坑里抽取地下水，它们就会将这里的含水层同地面或同其它含有污染水或矿化水的含水层联系起来，在地下水中形成污染基地。在从污染基地地区内生产井取水的影响下，污染的地下水便顺着地层进入生产井内，并将其污染。于是在污染基地和水源地之间，形成了污染水的扩散带。当污染的地表水靠近渗透式取水构筑物时，也会形成类似的地带。如果污染溶液从污染源进入地下水是直接经过管外空间或者经过经常取水但井管已被腐蚀的生产井发生的，则地下水中不会形成很大的污染基地——污染水顺含水层向下移到井的滤水管地带（如果它们经过没有水泥灌浆的管外空间）或者顺着井管被腐蚀的井身进入水泵。在这种情况下，只是在管井附近的有限地方地下水受到污染。

往往地下水的污染是从不同的来源经过几种途径造成的。这样的污染情况最复杂，消除或限制污染的措施最费力，并且是长期的。

污 染 条 件 的 分 类

通过分析和综合研究淡地下水的污染资料，可将开采区内淡地下水污染条件作如下分类（表Ⅱ-1）。

除了已知的地下水污染情况以外（图Ⅱ-1）在表Ⅱ-1内反映了确定污染可能性的一般水文地质规律和边界条件。化学污染源和污染物进入地下水的途径是分类的根据。

地下水污染条件的分类

表 II-1

污染溶液 进入的情况	污染溶液 的 种 类	污 染 物 的 来 源	被污染 的 含 水 层	代 号		污 染 示意图
				污染 类型	污染 亚类	
从上面进 入(经过包 气带周期性 渗透)	大气降水	污染的大气,工业企业 固体和液体废 料 堆 积 地 段、垃圾堆、堆盐场 污染的土壤、企业与居 民点的污染地区, 贮存原 料、成品、石油产品的仓 库和贮存地方	潜水	I	I 降	图 II-1a
	废水	灌溉田 排泄少量废水的地段			I 废	—
	灌溉水和 大气降水	大量施用肥料和化学毒 药的农作物区			I 灌	图 II-1b
从上面进 入(经过包 气带不断渗 透)	废水, 生 产的液体废 料, 人工的 溶液, 石油 产品	废水积聚地段(集水池、 沉淀池、废渣池、蒸发池 和其它池; 尾矿池、灰渣 坑、渗滤场、废水淹没的 低凹处) 破损的下水管道; 排废 水的沟渠、冲沟和凹地 液体废料排泄地段或溶 液经常漏失的地段, 易燃 润滑油料仓库	潜水	II	II 废	图 II-1c
	天然矿化 水	矿化自流水溢出地表的 地段 手工业废水的 积 存 地 方			II 矿	图 II-1d

续表

污染溶液 进入的情况	污染溶液 的 种 类	污 染 物 的 来 源	被污染 的 含 水 层	代 号		污 染 示意图
				污染 类型	污染 亚类	
通过岩溶发育的渠道, 泄水矿坑, 通过开采地下水的管井或使开采含水层与上覆和下伏含水层相串通的管井直接溢流	地 面 径 流	如同 I-a 亚类中列举的各种来源, 需具有从这些来源向附近岩溶漏斗和矿坑径流的条件	潜水 (极少数深层承压水)	Ⅲ	Ⅲ 表	图 II-1d
	废 水	泄水矿坑, 包括废井	潜水和深层承压水	Ⅲ	废	图 II-1e
	污染的地下水	在上覆含水层中污染的地下水的扩散地段	深层承压水	Ⅲ	污	图 II-1ac
	天然矿化水	含有矿化水的下伏含水层	潜水和深层承压水	Ⅲ	矿	图 II-1g
通过含水层顶板的《水文地质窗》从上面流入或通过这种顶板大面积越流	污染的地下水	在上覆含水层中污染的地下水的扩散地段	深层承压水	Ⅳ		图 II-1u
从地面水源经岩层侧向进入	污染的地面水	污染的地表水源(河流、水库、湖泊、沼泽)	潜水和少数深层承压水	V		图 II-1n
含水层疏干时从含水层本身进入	经过疏干地带渗入的大气降水	含有在空气氧化作用下易溶解的矿物和化合物的开采含水层的疏干地带	潜水和深层承压水	Ⅵ	Ⅵ 降	图 II-1j
	上升到从前疏干地带内的开采含水层的地下水				Ⅵ 采	图 II-1k

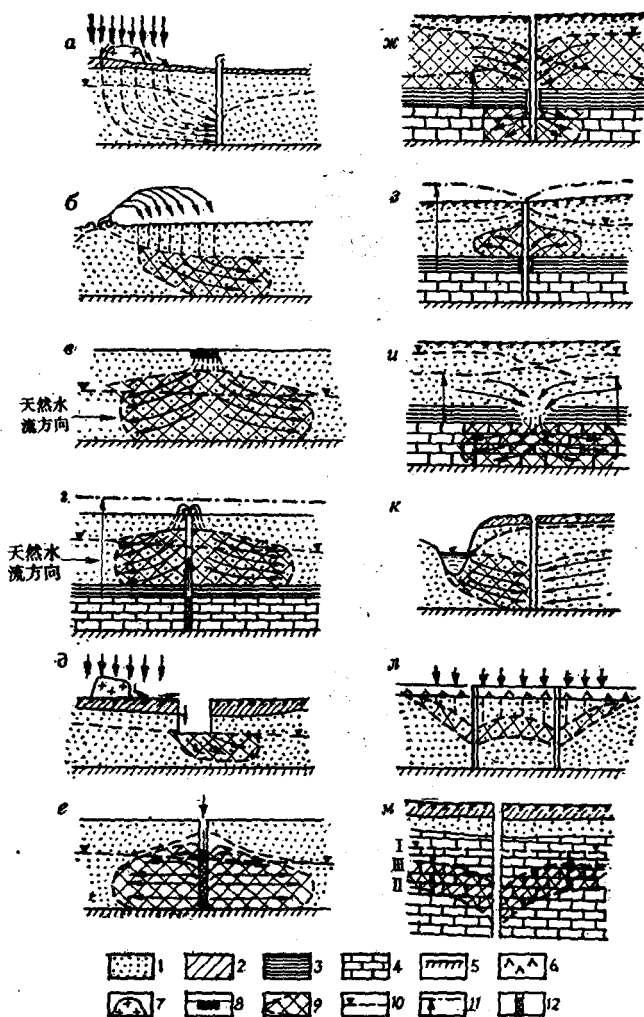


图 11-1 a、b、c、d、e、ж、з、и、к、л、м

表 11-1 所列的污染示意图

1—砂；2—亚粘土；3—粘土岩；4—石灰岩；5—隔水层；6—泥炭；7—地面上的污染源；8—工业废水集水池；9—污染水扩散地带；10—潜水位；11—承压水水位；12—带有滤水管的管井