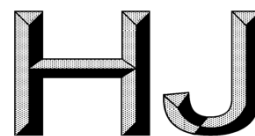


附件



# 中华人民共和国国家生态环境标准

HJ 610—202□

代替 HJ 610—2016

---

## 环境影响评价技术导则 地下水环境

Technical guidelines for environmental impact assessment  
—groundwater environment

（修订征求意见稿）

202□-□□-□□发布

202□-□□-□□实施

---

生态环境部

发布

目 次

前 言..... ii

1 适用范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 规划的地下水环境影响评价技术要求..... 4

5 建设项目地下水环境影响评价总体要求..... 5

6 地下水环境影响识别..... 7

7 地下水环境影响评价工作分级..... 7

8 建设项目地下水环境影响评价技术要求..... 9

9 地下水环境现状调查与评价..... 10

10 地下水环境影响预测..... 15

11 地下水环境影响评价..... 17

12 地下水环境保护措施与对策..... 18

13 地下水环境影响评价结论..... 20

附录 A （规范性附录） 地下水环境影响评价行业分类..... 22

附录 B （资料性附录） 常用地下水评价预测模型..... 24

附录 C （资料性附录） 地下水环境影响评价自评估表..... 34

附录 D （资料性附录） 水文地质参数经验值表..... 38

附录 E （资料性附录） 环境水文地质试验方法简介..... 39

附录 F （资料性附录） 正常状况地下水污染源强计算公式..... 41

## 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国水污染防治法》《中华人民共和国土壤污染防治法》《规划环境影响评价条例》《建设项目环境保护管理条例》《地下水管理条例》，规范和指导地下水环境影响评价工作，保护生态环境，防止地下水污染，制定本标准。

本标准规定了地下水环境影响评价的一般性原则、内容、工作程序、方法和要求。

本标准于 2011 年首次发布，2016 年第一次修订，本次为第二次修订。本次修订的主要内容如下：

- 删除了污染场地修复工程项目的相关要求；
- 明确了规划的地下水环境影响评价技术要求；
- 明确了建设项目与规划环评中地下水环境影响评价的衔接要求；
- 优化了建设项目的地下水环境影响评价要求；
- 补充和调整了相关术语和定义；
- 调整了地下水环境影响评价工作等级的判定依据；
- 调整了应急响应的相关要求；
- 修订了预测评价结论的判定依据；
- 修订了附录 A，补充了附录 B 常用地下水评价预测模型，新增了附录 C 地下水环境影响评价自评估表、附录 F 正常状况地下水污染源强计算公式。

本标准自实施之日起，《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ 610-2016）废止。

本标准的附录 A 为规范性附录，附录 B~附录 F 为资料性附录。

本标准由生态环境部环境影响评价与排放管理司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：生态环境部环境工程评估中心、昆明理工大学、北京师范大学、生态环境部环境规划院、生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心、吉林大学。

本标准生态环境部 202□年□月□日批准。

本标准自 202□年□月□日起实施。

本标准由生态环境部解释。

# 环境影响评价技术导则 地下水环境

## 1 适用范围

本标准规定了地下水环境影响评价的一般性原则、工作程序、内容、方法和要求。

本标准适用于对地下水环境可能产生重大影响的建设项目的环境影响评价。

本标准适用于国务院有关部门、设区的市级以上地方人民政府及其有关部门组织编制的可能对地下水环境产生重大影响的产业园区开发建设规划（以化工行业为主导产业的园区）以及煤炭矿区总体规划、城市轨道交通建设规划等有关规划的环境影响评价。其他规划的环境影响评价可参照执行。

## 2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

- GB 3838 地表水环境质量标准
  - GB 5084 农田灌溉水质标准
  - GB 5749 生活饮用水卫生标准
  - GB 16889 生活垃圾填埋场污染控制标准
  - GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
  - GB 18598 危险废物填埋场污染控制标准
  - GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
  - GB 39707 医疗废物处理处置污染控制标准
  - GB 50027 供水水文地质勘察规范
  - GB 50141 给水排水构筑物工程施工及验收规范
  - GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
  - GB/T 4754 国民经济行业分类
  - GB/T 14848 地下水质量标准
  - GB/T 50934 石油化工工程防渗技术规范
  - HJ 2.1 建设项目环境影响评价技术导则 总纲
  - HJ 2.3 环境影响评价技术导则 地表水环境
  - HJ 19 环境影响评价技术导则 生态影响
  - HJ 130 规划环境影响评价技术导则 总纲
  - HJ 131 规划环境影响评价技术导则 产业园区
  - HJ 164 地下水环境监测技术规范
  - HJ 463 规划环境影响评价技术导则 煤炭工业矿区总体规划
  - HJ 964 环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）
- 《建设项目环境影响评价分类管理名录》

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

**地下水** groundwater

地面以下岩土空隙中的水。

3.2

**水文地质条件** hydrogeological condition

地下水埋藏和分布、含水介质和含水构造等条件的总称。

3.3

**包气带** vadose zone

地面与地下水面之间与大气相通的，含有气体的地带。

3.4

**饱水带** saturated zone

地下水面以下，岩层的空隙全部被水充满的地带。

3.5

**含水层** aquifer

储存有地下水的透水岩层。

3.6

**弱透水层** aquitard

允许地下水以极小速度流动的弱导水岩层。

3.7

**隔水层** aquifuge

重力水流不能透过的土层或岩层。

3.8

**潜水** phreatic water

地面以下，第一个稳定隔水层以上具有自由水面的地下水。

3.9

**承压水** confined water

充满于上下两个相对隔水层间的具有承压性质的地下水。

3.10

**地下水补给区** groundwater recharge zone

含水层出露或接近地表，接受大气降水和地表水等入渗补给的地区。

3.11

**地下水排泄区** groundwater discharge zone

含水层的地下水向外部排泄的范围。

## 3.12

**地下水径流区** groundwater runoff zone

含水层的地下水从补给区至排泄区的流经范围。

## 3.13

**集中式地下水饮用水水源** centralized drinking groundwater source

进入输水管网送达用户的且具有一定供水规模（供水人口一般不小于 1 000 人）的现用、备用和规划的地下水饮用水水源。

## 3.14

**分散式地下水饮用水水源地** distributed drinking groundwater source

供水小于一定规模（供水人口一般小于 1 000 人）的地下水饮用水水源地。

## 3.15

**地下水环境现状值** current value of groundwater quality

建设项目实施前的地下水环境质量管理值。

## 3.16

**地下水污染对照值** control value of groundwater contamination

调查评价区内有历史记录的地下水水质指标统计值，或调查评价区内受人类活动影响程度较小的地下水水质指标统计值。

## 3.17

**地下水污染** groundwater contamination

人为原因直接导致地下水化学、物理、生物性质改变，使地下水水质恶化的现象。

## 3.18

**正常状况** normal condition

建设项目的工艺设备和地下水环境保护措施均达到设计要求条件下的运行状况。如防渗系统的防渗能力达到了设计要求，防渗系统完好，验收合格。

## 3.19

**非正常状况** unnormal condition

建设项目的工艺设备或地下水环境保护措施因系统老化、腐蚀等原因不能正常运行或保护效果达不到设计要求时的运行状况。

## 3.20

**地下水环境敏感目标** sensitive target of groundwater environment

是指集中式地下水饮用水水源和分散式地下水饮用水水源地，以及《建设项目环境影响评价分类管理名录》中所界定的涉及地下水的环境敏感区。

## 3.21

**规划区域** planning region

是指政府基于某些建设或开发目标划定的具有一定行政边界的空间范围。

## 4 规划的地下水环境影响评价技术要求

### 4.1 评价目的

以改善地下水饮用水水源水质和保障依赖地下水生态系统安全为核心，以防范或降低地下水污染风险为主要目标，开展规划评价区域地下水环境状况调查，识别规划实施的地下水环境制约因素，综合分析论证规划区域生态环境合理性和环境效益，提出规划区域地下水环境分区防控要求以及相应的规划优化调整建议，为规划决策和规划实施过程中地下水环境管理提供依据。

### 4.2 工作流程

根据规划编制早期阶段介入的原则，按照 HJ 130 相关工作要求开展规划各个阶段的地下水环境影响评价。

### 4.3 基本技术要求

4.3.1 规划的地下水环境影响评价不设评价工作等级，相关调查、监测、评价、预测等方法参照建设项目的地下水环境影响评价要求执行。

4.3.2 规划评价区域包括规划区域以及地下水环境可能受到规划实施影响的周边区域。

4.3.3 规划的地下水环境影响评价应确定规划基准年，收集和利用规划评价区域内已有的地质、水文地质、地下水开发利用以及地下水环境质量等资料，并说明资料来源和有效性。

4.3.4 在充分分析现有资料的基础上，确定地下水流向（流场），了解地下水埋藏情况；引用的地下水环境监测数据，应给出监测点位名称、位置，明确监测因子、时段、频次等，分析说明监测点位的代表性；常规地下水监测资料原则上应具有近 3 年或更长时间序列的水文周期，且能够说明各项指标的现状和变化趋势；识别规划实施的地下水环境制约因素。

4.3.5 当已有资料不能满足评价需求，或评价区域内有需要特别保护的环境敏感目标时，针对性开展必要的地下水环境现状调查，应基本明确地下水流向（流场）、资源利用现状、环境质量状况、环境敏感目标等。

4.3.6 对于已实施并产生不利环境影响的规划，应依据 HJ 130 及相关专项规划环评导则，开展地下水环境影响回顾性评价。调查地下水环境影响源分布现状，梳理可能影响地下水环境的历史突发环境事件，结合发生原因与处理方式，研判规划评价区域地下水环境质量现状或变化，有条件的情况下，分析原规划环境影响预测与现状演化趋势的差异性及原因。

4.3.7 应充分考虑规划的不同层级、类型和规模，根据环境影响特征和决策需求，采用定性和定量相结合的方式，开展地下水环境影响分析或预测，评估规划实施后可能对地下水环境的影响。

4.3.8 根据规划区域产业结构、布局及与周边地下水环境敏感目标的补径排关系，参照 HJ 164 等相关技术要求编制地下水跟踪监测计划，明确监测点位和层位，监测频次不少于每年丰、枯两期。

4.3.9 按照源头预防原则，综合分析论证规划选址/选线及布局等规划方案的环境合理性和环境效益，提出规划区域地下水环境分区防控要求和相应的规划方案优化调整建议。

### 4.4 典型规划的地下水环境影响评价具体要求

4.4.1 对于以石化、化工、冶炼、电镀等可能排放重金属、有毒有害水环境污染物的行业为主导产业的，或者布局有液态危险化学品仓储、危险废物处置场等高污染风险设施的产业园

区开发建设规划，在遵循 HJ 131 等相关技术导则要求的基础上，规划的地下水环境影响按以下要求评价。

4.4.1.1 应结合现有资料和补充调查成果，查清规划评价区域含（隔）水层结构及其分布特征、地下水补径排条件、地下水流场（流向）、各含水层之间以及地表水与地下水之间的水力联系、地下水开发利用现状与规划，初步掌握天然包气带防污性能，明确地下水环境敏感目标。

4.4.1.2 根据产业园区规划布局和规模，结合地下水环境敏感目标和跟踪监测需要，参照 HJ 164 等相关要求，布设地下水环境现状监测点，应覆盖园区（片区）边界、重点污染源、地下水环境敏感目标等，监测数据应能刻画园区（片区）地下水流场、反映水质基本状况。

4.4.1.3 根据规划评价区域地下水环境管理需求，分析规划实施后对相关含（隔）水层、地下水水质及地下水环境敏感目标的影响，提出减轻地下水不良环境影响的对策措施，制定园区（片区）地下水环境跟踪监测计划，跟踪监测点数量应能基本控制整个园区（片区）；有条件的产业园区，可结合规划布局、产业结构与规模、开发建设时序等方面，提出地下水环境分区管控和规划优化调整建议，编制水文地质图（含剖面图）、等水位线图、包气带防污性能分区图等图件。

4.4.2 对于煤炭矿区总体规划，应充分结合矿区地质、水文地质等资料，在遵循 HJ 463 等相关技术导则要求的基础上，重点分析疏干排水对规划评价区域及周边地下水环境敏感目标的影响，以及煤炭开采对于具有供水意义含水层的影响，提出切实可行的生态环境保护或影响减缓措施；其他具有近期开发方案的矿产资源开发规划，可参照执行。

4.4.3 对于城市轨道交通建设规划，可根据规划实施可能造成的地下水流场变化，重点分析对地下水环境敏感目标或与地下水有紧密联系环境敏感区的影响；其他具有近期建设方案的线性工程规划，可参照执行。

#### 4.5 规划区域内的建设项目环评简化条件

规划环评已基本明确评价区域的地下水流向（流场）、埋藏情况、资源利用现状、环境质量状况、环境敏感目标等（满足 4.3.4 和 4.3.5），且规划区域已按照 HJ 164 等相关技术要求实施地下水环境跟踪监测计划（满足 4.3.8），规划区域水文地质条件基础资料和现状监测数据可满足建设项目地下水环境影响评价需求，规划区域内的建设项目，可不开展地下水环境现状调查评价，仅调查建设项目场地天然包气带防污性能，开展分区防渗，针对可能造成地下水污染的主要装置或设施布设地下水环境跟踪监测点位。

### 5 建设项目地下水环境影响评价总体要求

#### 5.1 一般性要求

5.1.1 附录表 A.1 中相关行业的建设项目，按照相应评价工作等级开展地下水环境影响评价，应根据其在建设期、运营期和服务期满后（可根据项目情况选择）对地下水水质可能造成影响的特征，进行分析、预测和评估，提出预防或者减轻不良影响的对策和措施，制定地下水环境影响跟踪监测计划，为建设项目地下水环境保护提供科学依据。

5.1.2 附录表 A.2 相关行业的建设项目，不设地下水环境影响评价工作等级，可结合资料掌握情况、建设项目特征和水文地质条件，确定调查评价范围，开展必要的补充调查工作，定性或定量（相关方法参考附录 B.1~B.2）分析地下水水位的变化情况及影响范围，以满足 HJ 19、HJ 964 等对地下水水位的评价需求。

5.2 评价基本任务

地下水环境影响评价的基本任务包括：识别地下水环境影响，确定地下水环境影响评价工作等级；开展地下水环境现状调查，完成地下水环境现状监测与评价；预测和评价建设项目对地下水环境可能造成的影响；提出预防或者减轻不良影响的对策和措施，制定地下水环境影响跟踪监测计划和必要的应急预案。

5.3 工作程序

地下水环境影响评价工作可划分为准备阶段、现状调查与评价阶段、影响预测与评价阶段和结论阶段。地下水环境影响评价工作程序见图 1。

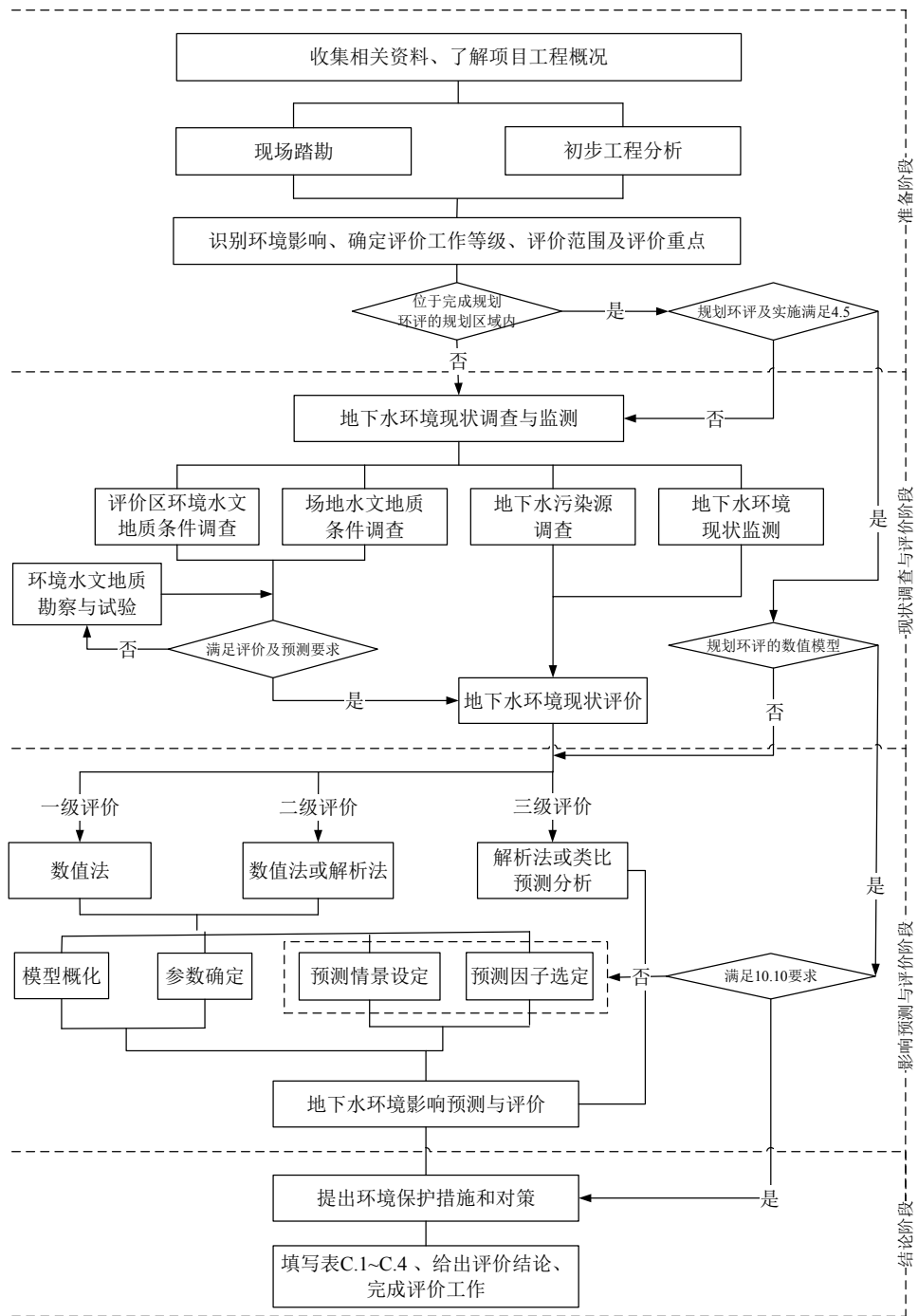


图 1 建设项目地下水环境影响评价工作程序图

## 5.4 各阶段主要工作内容

### 5.4.1 准备阶段

搜集和分析国家和地方有关地下水环境保护的法律、法规、政策、标准及相关规划等资料；了解建设项目的工程概况，进行初步工程分析，识别建设项目对地下水环境可能造成的影响；开展现场踏勘工作，识别地下水环境敏感程度；确定评价工作等级、评价范围以及评价重点。

### 5.4.2 现状调查与评价阶段

开展现场调查、勘探、地下水监测、取样、分析、室内外试验和室内资料分析等工作，进行现状评价。

### 5.4.3 影响预测与评价阶段

进行地下水环境影响预测，依据国家、地方有关地下水环境的法规及标准，评价建设项目对地下水环境可能造成的影响。

### 5.4.4 结论阶段

综合分析各阶段成果，提出地下水环境保护措施与防控措施，制定地下水环境影响跟踪监测计划，填写附录 C 中表 C.1~C.4，给出地下水环境影响评价结论。

## 6 建设项目地下水环境影响识别

### 6.1 基本要求

6.1.1 地下水环境影响的识别应在初步工程分析和确定地下水环境敏感目标的基础上进行，根据建设项目建设期、运营期和服务期满后（可根据项目情况选择）三个阶段的工程特征，识别其正常状况和非正常状况下的地下水环境影响。

6.1.2 对于随着生产运行时间推移对地下水环境影响有可能加剧的建设项目，还应按运营期的变化特征分为初期、中期和后期分别进行环境影响识别。

### 6.2 识别方法

6.2.1 根据附录 A，识别建设项目所属的地下水环境影响评价行业类别。

6.2.2 根据建设项目的地下水环境敏感特征，识别建设项目的地下水环境敏感程度。

### 6.3 识别内容

6.3.1 识别可能造成地下水污染的装置和设施（位置、规模、材质等）及建设项目在建设期、运营期、服务期满后（可根据项目情况选择）可能的地下水污染途径。

6.3.2 识别建设项目可能导致地下水污染的特征因子，特征因子应根据建设项目污废水成分（可参照 HJ 2.3）、液体物料成分、固废浸出液成分等确定。

6.3.3 识别附录表 A.2 建设项目可能因地下水位引起生态环境或土壤环境变化的途径、方式或因素，根据生态环境、土壤环境影响评价需求，识别依赖地下水的生态系统及其与建设项目的区位关系。

## 7 建设项目地下水环境影响评价工作分级

### 7.1 等级划分

涉及地下水水质影响的建设项目，地下水环境影响评价工作等级划分为一级、二级、三级。

### 7.2 评价工作等级划分依据

7.2.1 建设项目地下水环境影响评价的行业类别根据附录表 A.1 可分为 I 类、II 类和 III 类。

7.2.2 地下水环境敏感程度可分为敏感、较敏感、不敏感三级，见表 1。

表 1 地下水环境敏感程度分级表

| 敏感程度                                                      | 地下水环境敏感特征                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 敏感                                                        | 集中式地下水饮用水水源（包括已建成的在用、备用、应急水源，在建和规划的地下水饮用水水源）准保护区；除集中式地下水饮用水水源以外的国家或地方政府设定的与地下水环境相关的其他保护区，如热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源保护区                                                      |
| 较敏感                                                       | 集中式地下水饮用水水源（包括已建成的在用、备用、应急水源，在建和规划的地下水饮用水水源）准保护区以外的补给径流区；未划定准保护区的集中式地下水饮用水水源，其保护区以外的补给径流区；分散式地下水饮用水水源地；特殊地下水资源（如热水、矿泉水、温泉等）保护区以外的分布区等其他未列入上述敏感分级的环境敏感区 <sup>a</sup> |
| 不敏感                                                       | 上述地区之外的其他地区                                                                                                                                                         |
| <sup>a</sup> “环境敏感区”是指《建设项目环境影响评价分类管理名录》中所界定的涉及地下水的环境敏感区。 |                                                                                                                                                                     |

7.2.3 根据行业类别与地下水环境敏感程度分级结果，判定评价工作等级，见表 2。

表 2 评价工作等级分级表

| 行业类别<br>环境敏感程度              | I 类 | II 类 | III 类 |
|-----------------------------|-----|------|-------|
| 敏感                          | 一级  | 二级   | 三级    |
| 较敏感                         | 一级  | 三级   | 三级    |
| 不敏感                         | 二级  | 三级   | —     |
| 注：“—”指建设项目地下水环境影响评价可仅作简单分析。 |     |      |       |

### 7.3 特殊情况评价等级要求

7.3.1 利用废弃盐岩矿井洞穴或人工专制盐岩洞穴、废弃矿井巷道加水幕系统、人工硬岩洞库加水幕系统、地质条件较好的含水层储油、枯竭的油气层储油等形式的地下储油库应进行一级评价；危险废物填埋场应进行一级评价。

7.3.2 当同一建设项目涉及两个或两个以上场地且无法置于同一评价范围内时，各场地应分别判定评价工作等级，并按相应等级开展评价工作。

7.3.3 线性工程应根据所涉地下水环境敏感程度和主要站场（如输油站、泵站、加油站、机务段、服务站等）位置进行分段判定评价工作等级，并按相应等级分别开展评价工作。

7.3.4 污染源渗漏后无需经地下水水质监测即可及时发现并有效处置的，或污染物进入含水层前即可及时发现且能有效控制的，其建设项目地下水环境影响评价技术等级可适当下调一级，但不低于三级。

## 8 建设项目地下水环境影响评价技术要求

### 8.1 原则性要求

地下水环境影响评价应充分利用已有资料和数据，当已有资料和数据不能满足评价工作要求时，应开展相应评价工作等级要求的补充调查，必要时进行勘察试验。

### 8.2 一级评价要求

8.2.1 详细掌握调查评价区环境水文地质条件，主要包括含（隔）水层结构及其分布特征、地下水水位埋藏深度、地下水补径排条件、地下水流场、地下水动态变化特征、各含水层之间以及地表水与地下水之间的水力联系等，详细掌握调查评价区内地下水开发利用现状与规划。

8.2.2 详细掌握调查评价区地下水环境质量现状和地下水动态监测信息，进行地下水环境现状评价。

8.2.3 基本查清场地环境水文地质条件，有针对性地开展勘察试验，确定场地包气带特征及其防污性能。

8.2.4 采用数值法进行地下水环境影响预测，对于不宜概化为等效多孔介质的地区，可根据自身特点选择适宜的预测方法。

8.2.5 预测评价应结合相应环保措施，针对可能的污染情景，预测污染物运移趋势，评价建设项目对地下水环境敏感目标的影响。

8.2.6 根据预测评价结果和场地包气带特征及其防污性能，提出切实可行的地下水环境保护措施与地下水环境影响跟踪监测计划，必要时制定应急预案。

### 8.3 二级评价要求

8.3.1 基本掌握调查评价区的环境水文地质条件，主要包括含（隔）水层结构及其分布特征、地下水水位埋藏深度、地下水补径排条件、地下水流场等。了解调查评价区地下水开发利用现状与规划。

8.3.2 开展地下水环境现状监测，基本掌握调查评价区地下水环境质量现状，进行地下水环境现状评价。

8.3.3 根据场地环境水文地质条件的掌握情况，有针对性地开展必要的勘察试验。

8.3.4 根据建设项目特征、水文地质条件及资料掌握情况，采用数值法或解析法进行影响预测分析，评价对地下水环境敏感目标的影响。

8.3.5 提出切实可行的环境保护措施与地下水环境影响跟踪监测计划。

### 8.4 三级评价要求

8.4.1 了解调查评价区和场地环境水文地质条件。

8.4.2 基本掌握调查评价区的地下水补径排条件和地下水环境质量现状。

8.4.3 采用解析法或类比分析法进行地下水环境影响分析与评价。

8.4.4 提出切实可行的环境保护措施与地下水环境影响跟踪监测计划。

## 8.5 简单分析要求

8.5.1 基本了解调查评价区的地下水补径排条件。

8.5.2 可采用类比分析或经验分析等方法判断地下水环境影响的变化趋势。

8.5.3 根据实际需要提出地下水环境保护措施。

## 8.6 其他技术要求

8.6.1 一级评价要求场地环境水文地质资料的调查精度应不低于 1:10000 比例尺，调查评价区的环境水文地质资料的调查精度应不低于 1:50000 比例尺。

8.6.2 二级评价环境水文地质资料的调查精度要求能够清晰反映建设项目与环境敏感区、地下水环境敏感目标的位置关系，并根据建设项目特点和水文地质条件复杂程度确定调查精度，建议以不低于 1:50000 比例尺为宜。

# 9 建设项目地下水环境现状调查与评价

## 9.1 调查与评价原则

9.1.1 地下水环境现状调查与评价工作应遵循资料搜集与现场调查相结合、项目所在场地调查（勘察）与类比考察相结合、现状监测与长期动态资料分析相结合的原则。

9.1.2 地下水环境现状调查与评价工作的深度应满足相应的工作级别要求。当现有资料不能满足要求时，应通过组织现场监测或环境水文地质勘察与试验等方法获取。

9.1.3 对于一级、二级评价的改、扩建类建设项目，应开展现有工业场地的包气带污染现状调查。

9.1.4 对于长输油品、化学品管线等线性工程，调查评价工作应重点针对场站、服务站等可能对地下水产生污染的地区开展。

## 9.2 调查评价范围

### 9.2.1 基本要求

地下水环境现状调查评价范围应包括与建设项目相关的地下水环境敏感目标，以能说明地下水环境的现状，反映调查评价区地下水基本流场特征，满足地下水环境影响预测和评价为基本原则。

### 9.2.2 调查评价范围确定

9.2.2.1 建设项目（除线性工程外）地下水环境影响现状调查评价范围可采用公式计算法、查表法和自定义法确定。

应优先根据水文地质条件，采用自定义法确定；当建设项目所在地水文地质条件相对简单，且所掌握的资料能够满足公式计算法的要求时，可采用公式计算法确定；当不满足公式计算法的要求时，可采用查表法确定。当计算或查表范围超出所处水文地质单元边界时，应以所处水文地质单元边界为宜。

#### a) 公式计算法

$$L=\alpha\cdot K\cdot I\cdot T/n_e \quad (1)$$

式中： $L$ ——下游迁移距离，m；  
 $\alpha$ ——变化系数， $\alpha \geq 1$ ，一般取 2；  
 $K$ ——渗透系数，m/d，常见渗透系数见附录 D 表 D.1；  
 $I$ ——水力坡度，量纲为 1；  
 $T$ ——质点迁移天数，取值不小于 5000 d；  
 $n_e$ ——有效孔隙度，量纲为 1。

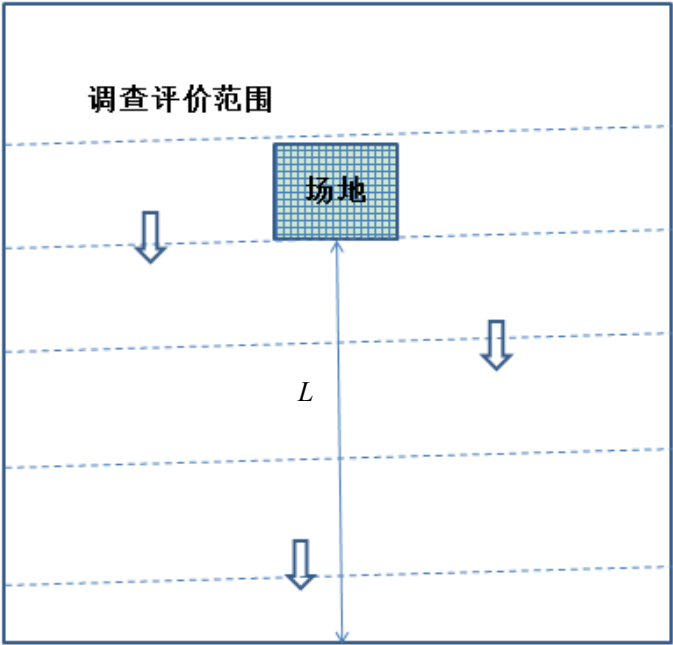
采用该方法时应包含重要的地下水环境敏感目标，所得的调查评价范围如图 2 所示。

b) 查表法  
参照表 3。

表 3 地下水环境现状调查评价范围参照表

| 评价工作等级 | 调查评价面积/km <sup>2</sup> | 备注                        |
|--------|------------------------|---------------------------|
| 一级     | $\geq 20$              | 应包括重要的地下水环境敏感目标，必要时适当扩大范围 |
| 二级     | 6~20                   |                           |
| 三级     | $\leq 6$               |                           |

c) 自定义法  
可根据建设项目所在地水文地质条件自行确定，须说明理由。



注：虚线表示等水位线；空心箭头表示地下水流向；  
场地上游距离根据评价需求确定，场地两侧不小于  $L/2$ 。

图 2 调查评价范围示意图

9.2.2.2 线性工程应以工程边界两侧分别向外延伸 200 m 作为调查评价范围；穿越地下水饮用水水源准保护区时，调查评价范围应至少包含水源保护区；线性工程站场的调查评价范围确定参照 9.2.2.1。

9.3 调查内容与要求

### 9.3.1 水文地质条件调查

在充分收集资料的基础上，根据建设项目特点和水文地质条件复杂程度，开展调查工作，主要包括：

- a) 气象、水文、土壤和植被状况；
  - b) 地层岩性、地质构造、地貌特征与矿产资源；
  - c) 包气带岩性、结构、厚度、分布及垂向渗透系数等；
  - d) 含水层岩性、分布、结构、厚度、埋藏条件、渗透性、富水程度等；隔水层（弱透水层）的岩性、厚度、渗透性等；
  - e) 地下水类型、地下水补径排条件；
  - f) 地下水水位、水质、水温、地下水化学类型；
  - g) 泉的成因类型，出露位置、形成条件及泉水流量、水质、水温，开发利用情况；
  - h) 集中供水水源地和水源井的分布情况（包括开采层的成井密度、水井结构、深度以及开采历史）；
  - i) 地下水现状监测井的深度、结构以及成井历史、使用功能；
  - j) 地下水环境现状值（或地下水污染对照值）。
- 场地范围内应重点调查 c）。

### 9.3.2 地下水污染源调查

9.3.2.1 调查评价区内具有与建设项目产生或排放同种特征因子的地下水污染源。

9.3.2.2 对于一级、二级的改、扩建项目，应在可能造成地下水污染的主要装置或设施附近开展包气带污染现状调查，对包气带进行分层取样，一般在 0~20 cm 埋深范围内取一个样品，其他取样深度应根据污染源特征和包气带岩性、结构特征等确定，并说明理由。样品进行浸溶试验，测试分析浸溶液成分。

### 9.3.3 地下水环境现状监测

9.3.3.1 建设项目地下水环境现状监测应通过对地下水水质、水位的监测，掌握或了解调查评价区地下水水质现状及地下水流场，为地下水环境现状评价提供基础资料。

#### 9.3.3.2 现状监测点的布设原则

- a) 地下水环境现状监测点采用控制性布点与功能性布点相结合的布设原则。监测点应主要布设在建设项目场地、周围环境敏感点、地下水污染源以及对于确定边界条件有控制意义的地点。当现有监测点不能满足监测位置和监测深度要求时，应布设新的地下水现状监测井，现状监测井的布设应兼顾地下水环境影响跟踪监测计划；
- b) 监测层位应包括潜水含水层、可能受建设项目影响且具有饮用水开发利用价值的含水层；
- c) 一般情况下，地下水水位监测点数以不小于相应评价级别地下水水质监测点数的 2 倍为宜，以查清建设项目场地的地下水水位及流场为原则；
- d) 地下水水质监测点布设的具体要求：
  - 1) 一级评价项目潜水含水层的水质监测点应不少于 7 个，可能受建设项目影响且具有饮用水开发利用价值的含水层 3~5 个。原则上建设项目场地上游和两侧的地下水水质监测点均不得少于 1 个，建设项目场地及其下游影响区的地下水水质监测点不得少于 3 个；
  - 2) 二级评价项目潜水含水层的水质监测点应不少于 5 个，可能受建设项目影响且具有饮用水开发利用价值的含水层 2~4 个。原则上建设项目场地上游和两侧的地下

水水质监测点均不得少于 1 个，建设项目场地及其下游影响区的地下水水质监测点不得少于 2 个；

- 3) 三级评价项目潜水含水层水质监测点应不少于 3 个，可能受建设项目影响且具有饮用水开发利用价值的含水层 1~2 个。原则上建设项目场地上游及下游影响区的地下水水质监测点各不得少于 1 个；
- e) 监测井较难布置的基岩山区，当地下水水质监测点数无法满足 d) 要求时，可视情况调整数量，并说明调整理由。一般情况下，该类地区一级、二级评价项目应至少设置 3 个监测点，三级评价项目可根据需要设置一定数量的监测点；
- f) 管道型岩溶区等水文地质条件复杂的基岩山区，地下水现状监测点应视岩溶和构造发育规律、次级水文地质单元分布和污染源分布情况确定，在集中径流通道（岩溶管道、构造通道等）、暗河及泉点布设监测点，并说明布设理由；
- g) 在包气带厚度超过 100m 的地区，当地下水水质监测点数无法满足 d) 要求时，可视情况调整数量，并说明调整理由。

#### 9.3.3.3 地下水水质现状监测因子

- a) 检测分析地下水中  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  的浓度；
- b) 地下水水质现状监测因子原则上应包括两类：

##### 1) 基本因子：

pH、总硬度、溶解性总固体、耗氧量、氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、铁、锰、汞、砷、镉、铬（六价）、铅；

##### 2) 特征因子：

根据 6.3.1、6.3.2 的识别结果，结合区域地下水水质状况确定。

#### 9.3.3.4 地下水环境现状监测频率要求

##### a) 水位监测频率要求

- 1) 评价工作等级为一级的建设项目，若掌握近 3 年内至少一个连续水文年的枯、平、丰水期地下水水位动态监测资料，评价期内应至少开展一期地下水水位监测；若无上述资料，应依据表 4 开展水位监测；

表 4 地下水环境现状监测频率参照表

| 频<br>分<br>布<br>区              | 评<br>价<br>等<br>级 | 水位监测频率          |    |    | 水质监测频率 |    |    |
|-------------------------------|------------------|-----------------|----|----|--------|----|----|
|                               |                  | 一级              | 二级 | 三级 | 一级     | 二级 | 三级 |
| 山前冲（洪）积                       |                  | 枯平丰             | 枯丰 | 一期 | 枯丰     | 枯  | 一期 |
| 滨海（含填海区）                      |                  | 二期 <sup>a</sup> | 一期 | 一期 | 一期     | 一期 | 一期 |
| 其他平原区                         |                  | 枯丰              | 一期 | 一期 | 一期     | 一期 | 一期 |
| 黄土地区                          |                  | 枯丰              | 一期 | 一期 | 一期     | 一期 | 一期 |
| 沙漠地区                          |                  | 枯丰              | 一期 | 一期 | 一期     | 一期 | 一期 |
| 丘陵山区                          |                  | 枯丰              | 一期 | 一期 | 一期     | 一期 | 一期 |
| 岩溶裂隙                          |                  | 枯丰              | 一期 | 一期 | 一期     | 一期 | 一期 |
| 岩溶管道                          |                  | 二期              | 一期 | 一期 | 二期     | 一期 | 一期 |
| a “二期”的间隔有明显水位变化，其变化幅度接近年内变幅。 |                  |                 |    |    |        |    |    |

- 2) 评价工作等级为二级的建设项目, 若掌握近 3 年内至少一个连续水文年的枯、丰水期地下水水位动态监测资料, 评价期可不再开展地下水水位现状监测; 若无上述资料, 应依据表 4 开展水位监测;
- 3) 评价工作等级为三级的建设项目, 若掌握近 3 年内至少一期的监测资料, 评价期内可不再进行地下水水位现状监测; 若无上述资料, 应依据表 4 开展水位监测;
- b) 地下水水质基本因子的监测频率应参照表 4, 若掌握近 3 年至少一期水质监测数据, 基本因子可在评价期补充开展一期现状监测; 特征因子在评价期内应至少开展一期现状监测;
- c) 在包气带厚度超过 100m 的评价区或监测井较难布置的基岩山区, 若掌握近 3 年内至少一期的监测资料, 评价期内可不进行地下水水位、水质现状监测; 若无上述资料, 至少开展一期现状水位、水质监测。

9.3.3.5 地下水样品采集与现场测定参照 HJ 164 执行。

9.3.3.6 规划环评地下水跟踪评价监测资料满足规划区内建设项目相应评价工作等级的地下水环境影响评价要求时, 可直接引用。

#### 9.3.4 环境水文地质勘察与试验

9.3.4.1 环境水文地质勘察与试验是在充分收集已有资料和地下水环境现状调查的基础上, 为进一步查明含水层特征和获取预测评价中必要的水文地质参数而进行的工作。

9.3.4.2 除一级评价应进行必要的环境水文地质勘察与试验外, 对环境水文地质条件复杂且资料缺少的地区, 二级、三级评价也应在区域水文地质调查的基础上对场地进行必要的水文地质勘察。

9.3.4.3 环境水文地质勘察可采用钻探、物探和水土化学分析以及室内外测试、试验等手段开展, 具体参见 GB 50027 等相关标准与规范。

9.3.4.4 环境水文地质试验项目通常有抽水试验、注水试验、渗水试验、浸溶试验及土柱淋滤试验等, 有关试验原则与方法参见附录 E。在评价工作过程中可根据评价工作等级和资料掌握情况选用。

9.3.4.5 进行环境水文地质勘察时, 除采用常规方法外, 还可采用其他辅助方法配合勘察。

### 9.4 地下水环境现状评价

#### 9.4.1 地下水水质现状评价

9.4.1.1 GB/T 14848 和有关法律法规及当地的生态环境管理要求是地下水环境现状评价的基本依据, 位于具有明确地下水环境管理目标的地区的建设项目, 水质现状按照相关管理目标或要求进行评价。

9.4.1.2 对属于 GB/T 14848 水质指标的评价因子, 应按其规定的水质分类标准值进行评价; 对于不属于 GB/T 14848 水质指标的评价因子, 可参照国家(行业、地方)相关标准(如 GB 3838、GB 5084、GB 5749 等)进行评价; 现状监测结果应进行统计分析, 给出最大值、最小值、均值、标准差、检出率和超标率等。

9.4.1.3 地下水水质现状评价应采用标准指数法。标准指数 $>1$ , 表明该水质因子已超标, 标准指数越大, 超标越严重。标准指数计算公式分为以下两种情况:

- a) 对于评价标准为定值的水质因子, 其标准指数计算方法见公式(2):

$$P_i = \frac{C_i}{C_{si}} \quad (2)$$

式中： $P_i$ ——第  $i$  个水质因子的标准指数，量纲为 1；

$C_i$ ——第  $i$  个水质因子的监测浓度值，mg/L；

$C_{si}$ ——第  $i$  个水质因子的标准浓度值，mg/L。

b) 对于评价标准为区间值的水质因子（如 pH），其标准指数计算方法见公式（3）、公式（4）：

$$P_{pH} = \frac{7.0 - pH}{7.0 - pH_{sd}}, \quad pH \leq 7 \text{ 时} \quad (3)$$

$$P_{pH} = \frac{pH - 7.0}{pH_{su} - 7.0}, \quad pH \geq 7 \text{ 时} \quad (4)$$

式中： $P_{pH}$ ——pH 值的标准指数，量纲为 1；

$pH$ ——pH 值的监测值；

$pH_{su}$ ——标准中 pH 值的上限值；

$pH_{sd}$ ——标准中 pH 值的下限值。

#### 9.4.2 包气带环境现状分析

对于评价工作等级为一级、二级的改、扩建项目，应开展包气带污染现状调查，分析包气带污染状况。

### 10 建设项目地下水环境影响预测

#### 10.1 预测原则

10.1.1 建设项目地下水环境影响预测应遵循 HJ 2.1 中确定的原则。考虑到地下水环境污染的复杂性、隐蔽性和难恢复性，还应遵循保护优先、预防为主的原则，预测应为评价各方案的环境安全和环境保护措施的合理性提供依据。

10.1.2 预测的范围、时段、内容和方法均应根据评价工作等级、工程特征与环境特征，结合当地环境功能和环保要求确定，应预测建设项目对地下水环境的影响，重点关注建设项目对地下水环境敏感目标可能造成的影响。

10.1.3 在结合地下水污染防治措施的基础上，对工程设计方案或可行性研究报告推荐的选址（选线）方案可能引起的地下水环境影响进行预测。

10.1.4 天然包气带厚度超过 100 m 的，主要预测污染物在包气带的迁移距离和浓度，但当垂向通道较为发育且下伏含水层存在供水价值时，应预测对含水层水质的影响。

#### 10.2 预测范围

10.2.1 地下水环境影响预测范围一般与调查评价范围一致。

10.2.2 预测层位应以潜水含水层或污染物直接进入的含水层为主，兼顾与其水力联系密切且具有饮用水开发利用价值的含水层。

10.2.3 当建设项目场地天然包气带垂向渗透系数小于  $1.0 \times 10^{-6}$  cm/s 或厚度超过 100 m 时，预测范围应扩展至包气带。

### 10.3 预测时段

地下水环境影响预测时段应选取可能产生地下水污染的关键时段，至少包括污染发生后 100 d、1000 d，服务年限或者能反映特征因子迁移规律的其他重要的时间节点。

### 10.4 情景设置

10.4.1 正常状况下，预测污染源连续恒定排放情景下预测时段内的地下水环境影响；不满足评价标准要求的，应结合跟踪监测点位布局、监测频次等内容，预测发现地下水污染及时采取处置措施后的地下水环境影响。

10.4.2 非正常状况下，根据跟踪监测点位布局、监测频次等内容，及时发现地下水污染，预测采取处置措施后的地下水环境影响。

### 10.5 预测因子

10.5.1 根据 6.3.2 识别出的特征因子，按照重金属、持久性有机污染物和其他类别进行分类，并对每一类别中的各项因子采用标准指数法进行排序，分别取标准指数最大的因子作为预测因子。

10.5.2 现有工程已经产生的且改、扩建后将继续产生的特征因子，改、扩建后新增加的特征因子。

10.5.3 国家或地方要求控制的污染物。

### 10.6 预测源强

10.6.1 正常状况下，预测源强应结合建设项目工程分析和相关设计规范确定，可参照附录 F。

10.6.2 非正常状况下，预测源强可根据地下水环境保护设施或工艺设备的系统老化或腐蚀程度等设定，一般为正常状况下源强的 10~100 倍。

### 10.7 预测方法

10.7.1 建设项目地下水环境影响预测方法包括数学模型法和类比分析法。其中，数学模型法包括均衡法、数值法、解析法等。常用的地下水预测数学模型参见附录 B。

10.7.2 预测方法的选取应根据建设项目工程特征、水文地质条件及资料掌握程度来确定。一般情况下，一级评价优先采用数值法，不宜概化为等效多孔介质的地区除外；二级评价中水文地质条件复杂且适宜采用数值法时，建议优先采用数值法；三级评价可采用解析法或类比分析法。

10.7.3 采用数值法预测前，应先进行参数识别和模型验证。

10.7.4 采用解析模型预测时，一般应满足以下条件：

- a) 调查评价区内含水层的基本参数（如渗透系数、有效孔隙度等）不变或变化很小；
- b) 水质影响型的建设项目，污染物的排放对地下水水流场没有明显的影响。

10.7.5 采用类比分析法时，应给出类比条件。类比分析对象与拟预测对象之间应满足以下要求：

- a) 二者的环境水文地质条件、水动力场条件相似；
- b) 二者的工程类型、规模及特征因子对地下水环境的影响具有相似性。

10.7.6 地下水环境影响预测过程中，对于采用非本导则推荐模式进行预测评价时，需明确所采用模式的适用条件，给出模型中的各参数物理意义及参数取值，并尽可能地采用本导则中

的相关模式进行验证。

## 10.8 预测模型概化

### 10.8.1 水文地质条件概化

根据调查评价区和场地环境水文地质条件，对边界性质、介质特征、水流特征和补径排等条件进行概化。

### 10.8.2 污染源概化

污染源概化包括排放形式与排放规律的概化。根据污染源的具体情况，排放形式可以概化为点源、线源、面源；排放规律可以概化为连续恒定排放或非连续恒定排放以及瞬时排放。

### 10.8.3 水文地质参数初始值的确定

包气带垂向渗透系数、含水层渗透系数、给水度等预测所需参数初始值的获取应以收集评价范围内已有水文地质资料为主，不满足预测要求时需通过现场试验获取。

## 10.9 预测内容

10.9.1 给出特征因子不同时段的影响范围、程度、最大迁移距离。

10.9.2 给出预测期内建设项目场地边界或地下水环境敏感目标处特征因子随时间的变化规律。

10.9.3 当建设项目场地天然包气带垂向渗透系数小于  $1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$  或厚度超过 100 m 时，须考虑包气带阻滞作用，预测特征因子在包气带中的迁移规律。

## 10.10 简化预测的条件

10.10.1 规划环评已采用数值模型进行了地下水环境影响预测且模型精度可满足建设项目相应评价等级技术要求的，鼓励规划区域内的建设项目使用规划环评建立的数值模型进行预测，简化建设项目环境影响预测。

10.10.2 规划环评建立的数值模型完成 10.9 预测内容，且预测对敏感目标的地下水环境影响可接受，规划区域内的建设项目环评可不再预测。

## 11 建设项目地下水环境影响评价

### 11.1 评价原则

11.1.1 评价应以地下水环境现状调查和地下水环境影响预测结果为依据，对建设项目建设期、运营期及服务期满后（可根据项目情况选择）不同环节及不同污染防治措施下的地下水环境影响进行评价。

11.1.2 地下水环境影响预测未包括环境质量现状值时，应叠加环境质量现状值后再进行评价。

11.1.3 应评价建设项目对地下水水质的直接影响，重点评价建设项目对地下水环境敏感目标的影响。

11.1.4 建设项目地下水环境影响评价应充分考虑规划环评结论和审查意见。

### 11.2 评价范围

地下水环境影响评价范围一般与调查评价范围一致。

### 11.3 评价方法

11.3.1 采用标准指数法对建设项目地下水水质影响进行评价，具体方法同 9.4.1。

11.3.2 对属于 GB/T 14848 水质指标的评价因子，应按其规定的水质分类标准值进行评价；对于不属于 GB/T 14848 水质指标的评价因子，可参照国家（行业、地方）相关标准的水质标准值（如 GB 3838、GB 5084、GB 5749 等）进行评价。

### 11.4 评价结论判定依据

11.4.1 满足评价标准要求的判定依据：

- a) 建设项目各个不同阶段，除场界内小范围以外地区，均能满足 GB/T 14848、国家（行业、地方）相关标准要求的；
- b) 在建设项目实施的某个阶段，有个别评价因子出现较大范围超标，但采取环保措施后，可满足 GB/T 14848 或国家（行业、地方）相关标准要求的；
- c) 通过跟踪监测能及时发现，采取环保措施能有效防止造成地下水环境敏感目标超标的，或有效遏制地下水水质持续恶化的；
- d) 达到地方地下水环境管理目标要求的。

11.4.2 以下情况应得出可以满足评价标准要求的结论：

- a) 正常状况和非正常状况下均满足 11.4.1 判定依据 a)、b) 或 d) 的；
- b) 正常状况下满足 11.4.1 判定依据 a) 或 b)，非正常状况下不能满足 a) 和 b)，但满足 c) 的。

11.4.3 以下情况应得出不能满足评价标准要求的结论：

- a) 不满足 11.4.2 的；
- b) 环保措施在技术上不可行，或在经济上明显不合理的。

## 12 建设项目地下水环境保护措施与对策

### 12.1 基本要求

12.1.1 地下水环境保护措施与对策应符合《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》《中华人民共和国土壤污染防治法》《中华人民共和国环境影响评价法》《地下水管理条例》的相关规定，按照“源头控制、分区防控、污染监控、应急响应”且重点突出饮用水水质和地下水生态环境安全的原则确定。

12.1.2 根据建设项目特点、调查评价区环境水文地质条件和场地包气带防污性能，在建设项目可行性研究提出的污染防控对策的基础上，根据环境影响预测与评价结果，提出需要增加或完善的地下水环境保护措施和对策。

12.1.3 改、扩建项目应针对现有工程引起的地下水污染问题，提出“以新带老”措施，有效减轻污染程度或控制污染范围，防止地下水污染加剧。

12.1.4 给出各项地下水环境保护措施与对策的实施效果，初步估算各措施的投资概算，列表给出并分析其技术、经济可行性。

12.1.5 提出合理可行、操作性强的地下水污染防控的环境管理体系，包括地下水环境跟踪监测方案等。

### 12.2 建设项目污染防控对策

### 12.2.1 源头控制措施

主要包括提出各类废物循环利用的具体方案，减少污染物的排放量；提出工艺、管道、设备、污水储存及处理构筑物应采取的污染防控措施，将污染物跑、冒、滴、漏降到最低限度。

### 12.2.2 分区防控措施

12.2.2.1 结合地下水环境影响评价结果，对工程设计或可行性研究报告提出的地下水污染防治方案提出优化调整建议，给出不同分区的具体防渗技术要求。

一般情况下，应以水平防渗为主，防控措施应满足以下要求：

- a) 已颁布污染控制标准或防渗技术规范的行业，水平防渗技术要求按照相应标准或规范执行，如 GB 16889、GB 18597、GB 18598、GB 18599、GB 39707、GB/T 50934 等；
- b) 未颁布相关标准的行业，应根据预测结果和建设项目场地包气带特征及其防污性能，提出防渗技术要求；或根据建设项目场地天然包气带防污性能、污染控制难易程度和污染物特性，参照表 7 提出防渗技术要求。其中污染控制难易程度分级和天然包气带防污性能分级参照表 5 和表 6 进行相关等级的确定。

表 5 污染控制难易程度分级参照表

| 污染控制难易程度 | 主要特征                          |
|----------|-------------------------------|
| 难        | 对地下水环境有污染的物料或污染物泄漏后，不能及时发现和处理 |
| 易        | 对地下水环境有污染的物料或污染物泄漏后，可及时发现和处理  |

表 6 天然包气带防污性能分级参照表

| 分级                                | 包气带岩土渗透性能                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 强                                 | $Mb \geq 1.0m$ , $K \leq 1.0 \times 10^{-6} cm/s$ , 且分布连续、稳定                                                                                                  |
| 中                                 | $0.5m \leq Mb < 1.0m$ , $K \leq 1.0 \times 10^{-6} cm/s$ , 且分布连续、稳定<br>$Mb \geq 1.0m$ , $1.0 \times 10^{-6} cm/s < K \leq 1.0 \times 10^{-4} cm/s$ , 且分布连续、稳定 |
| 弱                                 | 岩（土）层不满足上述“强”和“中”条件                                                                                                                                           |
| 注: $Mb$ : 岩土层单层厚度。<br>$K$ : 渗透系数。 |                                                                                                                                                               |

表 7 地下水污染防渗分区参照表

| 防渗分区  | 天然包气带防污性能 | 污染控制难易程度 | 污染物类型        | 防渗技术要求                                                                      |
|-------|-----------|----------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 重点防渗区 | 弱         | 易—难      | 重金属、持久性有机污染物 | 等效黏土防渗层 $Mb \geq 6.0m$ , $K \leq 1.0 \times 10^{-7} cm/s$ ; 或参照 GB 18598 执行 |
|       | 中—强       | 难        |              |                                                                             |
| 一般防渗区 | 中—强       | 易        | 重金属、持久性有机污染物 | 等效黏土防渗层 $Mb \geq 1.5m$ , $K \leq 1.0 \times 10^{-7} cm/s$ ; 或参照 GB 16889 执行 |
|       | 弱         | 易—难      | 其他类型         |                                                                             |
|       | 中—强       | 难        |              |                                                                             |
| 简单防渗区 | 中—强       | 易        | 其他类型         | 一般地面硬化                                                                      |

12.2.2.2 对难以采取水平防渗的建设项目场地，可采用垂向防渗为主、局部水平防渗为辅的防控措施。

12.2.2.3 根据非正常状况下的预测评价结果，在建设项目服务年限内个别评价因子超标范围超出厂界时，应提出优化总图布置的建议或地基处理方案。

### 12.3 地下水环境监测与管理

12.3.1 建立地下水环境监测管理体系，包括制定地下水环境影响跟踪监测计划、建立地下水环境影响跟踪监测制度、配备先进的监测仪器和设备，以便及时发现问题，采取措施。

12.3.2 跟踪监测计划应根据环境水文地质条件、地下水环境敏感目标、建设项目特点设置跟踪监测点，可参照 HJ 164 要求布设；跟踪监测点应明确与建设项目的地理位置关系，尽可能靠近建设项目场地或主体工程，并充分利用规划环评跟踪评价设置的监测点，给出点位、坐标、井深、井结构、监测层位、监测因子及监测频率等相关参数。

12.3.2.1 不满足 HJ 164 要求时，跟踪监测点可参照以下原则布设：

- a) 一级评价的建设项目，一般不少于 3 个，应至少在建设项目场地及其上、下游各布设 1 个，且监测点布置应结合预测评价结果和应急响应时间要求，并兼顾重点污染风险源；
- b) 二级评价的建设项目，应至少在建设项目场地下游布设 1 个监测点；
- c) 三级评价的建设项目可根据自身地下水环境管理需要适当布设监测点。

12.3.2.2 明确跟踪监测点的基本功能，如背景值监测点、地下水环境影响跟踪监测点、污染扩散监测点等，必要时，明确跟踪监测点兼具的污染控制功能。

12.3.3 位于基岩山区的建设项目，可选取现状调查的代表性监测点，结合水文地质条件布设跟踪监测点；具有优势通道的裂隙、管道型岩溶区的污染源跟踪监测点可布设于天然排泄点（泉、泄流点、暗河、天窗）。

12.3.4 包气带厚度超过 100 m 且天然防污性能强的，或位于无导通裂隙发育基岩上的建设项目，可不设置跟踪监测点。

12.3.5 制定地下水环境跟踪监测计划，一般包括：建设项目所在场地及其影响区地下水环境跟踪监测数据，排放污染物的种类、数量、浓度。

### 12.4 应急响应

预测评价 11.4.2 中 b) 得出结论的建设项目，应当根据水文地质条件、污染源分布特点、跟踪监测点布设情况以及污染物迁移特征等，制定地下水污染应急响应预案，明确污染状况下应采取的控制污染源、切断污染途径等措施。

## 13 建设项目地下水环境影响评价结论

### 13.1 环境水文地质现状

概述调查评价区及场地环境水文地质条件和地下水环境现状。

### 13.2 地下水环境影响

给出地下水环境影响预测评价结果，明确建设项目对地下水环境和敏感目标的直接影响。

### 13.3 地下水环境污染防控措施

根据地下水环境影响评价结论，提出建设项目地下水污染防治措施的优化调整建议或方案。

#### 13.4 总体结论

根据 11.4 影响评价结果，结合环境水文地质条件、地下水环境影响、地下水污染防治措施、建设项目总平面布置的合理性等方面进行综合评价，完成附录 C 自评估表，给出建设项目地下水环境影响是否可接受的结论。

## 附录 A

## (规范性附录)

## 建设项目地下水环境影响评价行业分类

根据建设项目对地下水水质、水位可能产生的影响，按照水质影响和水位影响，结合《国民经济行业分类》（GB/T 4754），划分地下水环境影响评价的建设项目类别。其中，地下水水质影响的建设项目类别分为Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类，详见表 A.1；地下水水位影响的建设项目类别详见表 A.2。

未列入附录表 A.1 和表 A.2 的行业，可不开展地下水环境影响评价。涉及重要环境敏感目标且存在地下水环境污染源和途径的建设项目，应结合地方或行业管理要求，根据污染源、污染物类型、污染途径及敏感目标等情况，开展必要现状调查留作本底，按照分区防控原则提出相应的防控措施，依据 HJ 164 等相应技术规范提出相应的跟踪监测要求。

表 A.1 涉及地下水水质影响的建设项目类别

| 项目类别<br>行业类别 | Ⅰ类                                                                                                                                                                                                                                                            | Ⅱ类                                                                                                                                                                                                                                             | Ⅲ类                                              |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 采矿业          | 陆地石油开采（0711）；锰矿、铬矿采选（082）；化学矿开采（102）；有色金属矿采选业（铝矿、镁矿采选除外）（09）                                                                                                                                                                                                  | 陆地天然气开采（0721）；煤炭采选（061、062、069）；铁矿、其他黑色金属矿采选（081、089）；铝矿、镁矿采选（091）；非金属矿采选（109）                                                                                                                                                                 |                                                 |
| 制造业          | 纺织业精加工（1713、1723、1733、1743、1752、1762）；皮革鞣制加工（1910）；毛皮鞣制加工（1931）；原油加工及石油制品制造（2511）；其他原油制造（2519）；炼焦（2521）；煤制合成气生产（2522）；煤制液体燃料生产（2523）；化学原料和化学制品制造业（26）；炼钢（有炼焦）（312）；常用有色金属冶炼（321）；贵金属冶炼（322）；稀有稀土金属冶炼（323）；金属表面处理及热处理加工（仅专业电镀企业）（3360）；金属废料和碎屑加工处理（仅废电池）（4210） | 纸浆制造（221）；生物质液体燃料生产（2541）；医药制造业（2710-2762）；化纤浆粕制造（2811），人造纤维（纤维素纤维）制造（2812），锦纶纤维制造（2821），涤纶纤维制造（2822），腈纶纤维制造（2823），维纶纤维制造（2824），氨纶纤维制造（2826），其他合成纤维制造（2829），生物基化学纤维制造（莱赛尔纤维制造）（2831）；铁合金冶炼（314）；有色金属压延加工（仅冷轧）（325）；非金属废料和碎屑加工处理（仅废油、废轮胎）（4220） | 炼铁（311）；农副食品加工（仅制糖业、屠宰及肉类加工）（134、135）；味精制造（146） |
| 管道运输业        |                                                                                                                                                                                                                                                               | 陆地管道运输（仅埋地的原油及成品油管道、厂际间埋地化学品管线）（5720）                                                                                                                                                                                                          |                                                 |
| 装卸搬运和仓储业     | 油气仓储（总容量 20 万立方米及以上的原油、成品油）（5941）                                                                                                                                                                                                                             | 油气仓储（总容量 20 万立方米以下的原油、成品油）（5941）；危险化学品仓储（5942）                                                                                                                                                                                                 |                                                 |

| 项目类别<br>行业类别     | I 类                                                  | II 类                                                                 | III 类           |
|------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 农、林、牧、渔业         |                                                      | 牲畜饲养（年出栏生猪 5000 头及以上的）（031）；家禽饲养（折合猪的养殖规模）（032）；其他畜牧业（折合猪的养殖规模）（039） |                 |
| 电力、热力、燃气及水生产和供应业 |                                                      | 火力发电（灰场）（4411）；生物质能发电（4417）；污水处理及其再生利用（4620）                         | 煤气生产和供应业（4513）； |
| 水利、环境和公共设施管理业    | 危险废物治理（7724）；固体废物治理（有填埋）（7723）；环境卫生管理（有垃圾填埋服务）（7820） | 固体废物治理（有填埋除外）（7723）；垃圾环境卫生管理（有填埋服务除外）（7820）                          |                 |

表 A.2 涉及地下水水位影响的建设项目类别

| 行业类别             | 项目类别                                                                               |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 电力、热力、燃气及水生产和供应业 | 水力发电（总装机 1000 千瓦及以上的水力发电；抽水蓄能电站）（4413）                                             |
| 水利、环境和公共设施管理业    | 库容 1000 万立方米及以上的水库；跨流域调水；大型河流引水；天然水收集与分配（仅平原区水库蓄水、地下水取水服务）（7630）                   |
| 农、林、牧、渔业         | 灌溉活动（仅 30 万亩以上的）（0513）                                                             |
| 建筑业              | 土木工程建筑业（长度大于 3 公里的隧道工程段）（481）                                                      |
| 采矿业              | 黑色金属矿开采（08）；有色金属矿开采（09）；非金属矿开采（109）；化学矿开采（102）；陆地石油、天然气开采（0711、0721）；煤炭开采（061、069） |

## 附录 B

## (资料性附录)

## 常用地下水评价预测模型

## B.1 地下水水流解析法和经验公式

## B.1.1 二维稳定井流问题

## B.1.1.1 二维稳定承压井流

含水层可以概化为平面上岛状，垂向上为圆柱形的均质各向同性介质，含水层周边均为一类定水头边界。在岛状含水层中心有一口完整井，以定流量抽水或注水，地下水流满足 Darcy 定律且为稳定流动。当流线为径向、等势面可概化为圆柱面时，离抽/注水井某处的水头可用公式 B.1 求解。

$$H=H_w+\frac{Q}{2\pi T}\ln\frac{r}{r_w}=H_w+(H_0-H_w)\frac{\ln\frac{r}{r_w}}{\ln\frac{R}{r_w}} \quad (\text{B.1})$$

式中：

$H$ ——距抽/注水井中心  $r$  处的水头，m；

$H_w$ ——抽/注水井中的水头，m；

$Q$ ——抽/注水井流量，抽水取正值，注水取负值， $\text{m}^3/\text{d}$ ；

$T$ ——承压含水层导水系数， $\text{m}^2/\text{d}$ ；

$r$ ——距抽/注水井中心的距离，m；

$r_w$ ——抽/注水井半径，m；

$R$ ——圆柱形含水层的半径，m；

$H_0$ ——圆柱形含水层外侧水头（保持不变），m。

## B.1.1.2 二维稳定潜水井流

含水层可概化为平面上岛状，垂向上为圆柱形的均质各向同性介质，含水层周边均为一类定水头边界。在岛状含水层中心有一口完整井，以定流量抽水或注水，地下水流满足 Darcy 定律且为稳定流动。当流线为曲线、等势面为弯曲面，地下水的垂向分流速可忽略时，离抽/注水井某处的水头可用公式 B.2 求解。

$$h^2=h_w^2+\frac{Q}{\pi K}\ln\frac{r}{r_w}=h_w^2+(h_0^2-h_w^2)\frac{\ln\frac{r}{r_w}}{\ln\frac{R}{r_w}} \quad (\text{B.2})$$

式中：

$h$ ——距抽/注水井中心  $r$  处的水位，m；

$h_w$ ——抽/注水井中的水位，m；

$Q$ ——抽/注水井流量，抽水取正值，注水取负值， $\text{m}^3/\text{d}$ ；

$K$ ——潜水含水层的渗透系数， $\text{m}/\text{d}$ ；

$r$ ——距抽/注水井中心的距离，m；

$r_w$ ——抽/注水井半径，m；

$R$ ——圆柱形含水层的半径，m；

$h_0$ ——圆柱形含水层外侧水位（保持不变），m。

### B.1.2 二维非稳定井流问题

#### B.1.2.1 二维非稳定承压井流

承压含水层可概化为均质各向同性、隔水底板水平和含水层等厚的完全弹性体，在侧向上是无限延伸的，在垂向上不存在越流补给。在含水层中有一口完整井，以定流量抽水或注水，地下水流满足 Darcy 定律。假定承压含水层的弹性释放是瞬时的，当初始水头线为水平，井径为无限小时，离抽/注水井某处的水头可用公式 B.3 求解。

$$H=H_0-\frac{Q}{4\pi T}W(u)=H_0-\frac{Q}{4\pi T}\int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x}dx \quad (\text{B.3})$$

$$u=\frac{r^2}{4at}=\frac{r^2\mu_e}{4Tt} \quad (\text{B.4})$$

式中：

- $H$ ——距抽/注水井中心  $r$  处的水头，m；
- $Q$ ——抽/注水井流量，抽水取正值，注水取负值， $\text{m}^3/\text{d}$ ；
- $T$ ——含水层导水系数， $\text{m}^2/\text{d}$ ；
- $H_0$ ——含水层初始水头（保持不变），m；
- $W(u)$ ——Theis 井流的井函数；
- $u$ ——变量，如式 B.4 示，量纲为 1；
- $a$ ——含水层的水力扩散系数， $\text{m}^2/\text{d}$ ；
- $\mu_e$ ——含水层的弹性储水系数，量纲为 1；
- $t$ ——抽/注水的时间，d。

#### B.1.2.2 Hantush-Jacob 非稳定井流

承压含水层可概化为均质各向同性、隔水底板水平和含水层等厚的完全弹性体，在侧向上是无限延伸的，在垂向上存在越流补给，其与相邻含水层之间的弱透水层的弹性储释水 / 储存可以忽略不计，而且假定相邻含水层的水头保持不变。在含水层中有一口完整井，以定流量抽水或注水，地下水流满足 Darcy 定律。假定承压含水层的弹性释放是瞬时的，当初始水头线为水平，井径为无限小时，离抽/注井某处的水头可用公式 B.5 求解。

$$H=H_0-\frac{Q}{4\pi T}W\left(u,\frac{r}{B}\right)=H_0-\frac{Q}{4\pi T}\int_u^\infty \frac{1}{y}e^{-\left(y+\frac{r^2}{4B^2y}\right)}dy \quad (\text{B.5})$$

$$B^2=\frac{TM'}{K'_z} \quad (\text{B.6})$$

式中：

- $H$ ——距抽/注水井中心  $r$  处的水头，m；
- $H_0$ ——含水层初始水头（保持不变），m；
- $Q$ ——抽/注水井流量，抽水取正值，注水取负值， $\text{m}^3/\text{d}$ ；
- $T$ ——含水层导水系数， $\text{m}^2/\text{d}$ ；
- $u$ ——变量，如式 B.4 示，量纲为 1；
- $W(u,\frac{r}{B})$ ——第一类越流系统的定流量井函数；
- $a$ ——含水层水力扩散系数， $\text{m}^2/\text{d}$ ；
- $B$ ——越流系数，如式 B.6 示，m；
- $K'_z$ ——弱透水层的垂向渗透系数， $\text{m}/\text{d}$ ；
- $M'$ ——弱透水层的厚度，m。

## B.1.2.3 二维非稳定潜水井流

潜水含水层可概化为均质各向同性和隔水底板水平，在侧向上是无限延伸的，在垂向上不存在越流补给。在含水层中有一口完整井，以定流量抽水或注水，地下水流满足 Darcy 定律。假定降深值远远小于潜水含水层厚度，当初始水头线为水平，井径为无限小时，离抽/注井某处的水位可用公式 B.7 求解。

$$h = \sqrt{h_0^2 - \frac{Q}{2\pi K} W(u)} = \sqrt{h_0^2 - \frac{Q}{2\pi K} \int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx} \quad (\text{B.7})$$

$$u = \frac{r^2}{4at} = \frac{r^2 \mu_d}{4Kh_m t} \quad (\text{B.8})$$

式中：

- $h$ ——距抽/注水井中心  $h$  处的水位，m；
- $h_0$ ——潜水含水层初始水位（保持不变），m；
- $Q$ ——抽/注水井流量，抽水取正值，注水取负值， $\text{m}^3/\text{d}$ ；
- $K$ ——含水层渗透系数，m/d；
- $u$ ——变量，如式 B.8 示，量纲为 1；
- $W(u)$ ——Theis 井流的井函数；
- $r$ ——距抽/注水井中心的距离，m；
- $a$ ——含水层的水力扩散系数， $\text{m}^2/\text{d}$ ；
- $\mu_d$ ——含水层的给水度，量纲为 1；
- $h_m$ ——潜水含水层平均厚度，可近似用  $h_m = h_0 - \frac{s}{2}$  估算， $s$  为降深（m），m。

## B.1.2.4 矩形面井非稳定井流

承压含水层可概化为均质各向同性、隔水底板水平和含水层等厚的完全弹性体，在侧向上是无限延伸的，在垂向上不存在越流补给。在含水层中某矩形范围内有多个均匀分布的完整井进行定流量抽注水，地下水流满足 Darcy 定律。假定承压含水层的弹性释放是瞬时的，当初始水头线为水平，井径为无限小时，离矩形抽/注范围中心的某处的水头可用公式 B.9 求解。

$$H = H_0 - \frac{\varepsilon t}{4\mu_e} A_r(l_x, l_y, x, y, at) \quad (\text{B.9})$$

潜水含水层可概化为均质各向同性和隔水底板水平，在侧向上是无限延伸的，在垂向上不存在越流补给。在含水层中某矩形范围内有多个均匀分布的完整井进行定流量抽/注水，地下水流满足 Darcy 定律。假定降深值远远小于潜水含水层厚度，当初始水头线为水平，井径为无限小时，离矩形抽/注范围中心的某处的水位可用公式 B.10 求解。

$$h = \sqrt{h_0^2 - \frac{\varepsilon at}{2K} A_r(l_x, l_y, x, y, at)} \quad (\text{B.10})$$

$$A_r(l_x, l_y, x, y, at) = S^*\left(\frac{l_x+x}{\sqrt{4at}}, \frac{l_y+y}{\sqrt{4at}}\right) + S^*\left(\frac{l_x+x}{\sqrt{4at}}, \frac{l_y-y}{\sqrt{4at}}\right) + S^*\left(\frac{l_x-x}{\sqrt{4at}}, \frac{l_y+y}{\sqrt{4at}}\right) + S^*\left(\frac{l_x-x}{\sqrt{4at}}, \frac{l_y-y}{\sqrt{4at}}\right) \quad (\text{B.11})$$

$$S^*(\alpha, \beta) = \int_0^l \operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{\sqrt{\tau}}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{\beta}{\sqrt{\tau}}\right) d\tau \quad (\text{B.12})$$

式中：

- $H$ ——位置  $(x, y)$  处的水头，m；
- $H_0$ ——承压含水层初始水头，m；
- $\varepsilon$ ——面井的开采/补给强度，即单位面积的抽/注水量，抽水取正值，注水取负值，

m/d;

$\mu_e$ ——承压含水层的弹性储水系数，量纲为 1；

$A_r$ ——矩形面井的井函数；

$h$ ——位置  $(x,y)$  处的水位，m；

$h_0$ ——潜水含水层的初始水位（保持不变），m；

$S^*$ ——变量，可通过自变量  $\alpha$ 、 $\beta$ （均为正数）的式 B.12 进行积分或查表计算，量纲为 1；

$a$ ——潜水含水层的水力扩散系数， $m^2/d$ ；

$l_x, l_y$ ——分别为矩形开采地段的长、宽长度的一半，m；

$\text{erf}()$ ——误差函数。

### B.1.3 隧道矿坑涌水量问题

#### B.1.3.1 水文地质比拟法

一般用于实际资料缺乏的地区。根据水文地质条件的相似性，采用研究区内局部地段或条件相似的其他地区的涌水量资料，推测研究区其他区域的涌水量。该方法也可称为地下水径流模数法，即求出其他研究程度高且与研究区水文地质条件相似的地下水径流模数，然后应用于研究区。可用式 B.13 表示。

$$Q=Q' \frac{F \cdot S}{F' \cdot S'} = Q' \frac{B \cdot L \cdot S}{B' \cdot L' \cdot S'} \quad (\text{B.13})$$

式中：

$Q$ 、 $Q'$ ——分别为拟建、既有隧道或矿坑的正常涌水量或最大涌水量， $m^3/d$ ；

$F$ 、 $F'$ ——拟建、既有隧道或矿坑的集水面积， $m^2$ ；

$S$ 、 $S'$ ——拟建、既有隧道或矿坑含水体中静止水位计起的水位降深，m；

$B$ 、 $B'$ ——拟建、既有隧道或矿坑衬砌前洞身宽度，m；

$L$ 、 $L'$ ——拟建、既有隧道或矿坑通过含水层的长度，m。

#### B.1.3.2 降水入渗法

一般用于实际资料缺乏的地区。适用于埋藏深度较浅的隧道或矿坑，根据地下水的补给条件，粗略计算隧道或矿坑正常涌水量，可用式 B.14 计算。

$$Q_s = 2.74 \cdot \alpha \cdot W \cdot A \quad (\text{B.14})$$

式中：

$Q_s$ ——隧道或矿坑通过含水层的正常涌水量， $m^3/d$ ；

$\alpha$ ——降水入渗补给系数，量纲为 1；

$W$ ——年降水量，mm/yr；

$A$ ——隧道或矿坑的集水面积， $km^2$ 。

## B.2 地下水非饱和水流运移解析法

### B.2.1 Green-Ampt 一维入渗模型解析解

该模型是模拟均质土壤的薄层积水入渗过程。假定在土壤水分入渗过程中，处于饱和水状态的土壤中存在干湿区域截然分开的湿润锋面，又称活塞模型。假定湿润土壤含水量达到饱和含水状态，水分运移过程符合 Darcy 定律；湿润锋前方的土壤空气压力为恒定值；湿润区饱和含水状态的土壤含水量恒定，不随土壤水分入渗时间而变化；湿润锋处水压为恒定值；湿润锋由初始含水量变为饱和含水量的土层厚度可以忽略。在地表的入渗率和在湿润锋

深度的入渗时间可用式 B.15 和 B.16 计算。

$$q = K_s \frac{Z_f + S_f + H}{Z_f} \quad (\text{B.15})$$

$$t = \frac{\theta_s - \theta_i}{K_s} \cdot \left[ Z_f (S_f + H) \ln \frac{Z_f + S_f + H}{S_f + H} \right] \quad (\text{B.16})$$

式中:

$q$ ——水分从地表进入土壤的入渗通量 (入渗率), 累积入渗量可由  $(\theta_s - \theta_0)Z_f$  求得, m/d;

$K_s$ ——土壤层饱和渗透系数, m/d;

$Z_f$ ——湿润锋深度, m;

$H$ ——表层积水深度, m;

$S_f$ ——湿润峰平均基质吸力, m;

$\theta_s$ ——土壤饱和含水率, 量纲为 1;

$\theta_i$ ——土壤初始含水率, 量纲为 1;

$t$ ——入渗至  $Z_f$  深度的时间, d。

### B.2.2 垂直入渗条件下的 Philip 公式

该模型是基于毛管理论的积水入渗模型, 假定土壤为均质的, 只存在垂向的一维流动。在初始时含水率恒定, 当地表含水率变化时, 取  $Z$  坐标向下为正, 水分运移过程符合 Darcy 定律, 其数学模型可用式 B.17 表示。

$$\begin{cases} \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} \\ \theta(z, 0) = \theta_i, & t = 0, z \geq 0 \\ \theta(z, t) = \theta_{z0}, & t > 0, z = 0 \\ \theta(z, t) = \theta_i, & t > 0, z = L \end{cases} \quad (\text{B.17})$$

式中:

$\theta(z, t)$ —— $t$  时刻  $z$  处土壤的含水率, 量纲为 1;

$t$ ——入渗的时间, d;

$z$ ——土壤的深度, m;

$D$ ——土壤的扩散度或扩散系数, 它是含水量  $\theta$  的函数,  $\text{m}^2/\text{d}$ ;

$\theta_i$ ——土壤的初始含水率, 量纲为 1;

$\theta_{z0}$ ——地表处 ( $z=0$ ) 已知的土壤含水率, 量纲为 1;

$K$ ——土壤的渗透系数, 是含水量  $\theta$  的函数, m/d。

在获得式 B.17 的级数解后, 取级数前两项得到 Philip 入渗公式:

$$i_0 = 0.5 \cdot S \cdot t^{0.5} + A \quad (\text{B.18})$$

式中:

$i_0$ ——土壤的入渗率, m/d;

$S$ ——土壤的吸湿率,  $\text{m}/\text{d}^{0.5}$ ;

$t$ ——入渗的时间, d;

$A$ ——稳定入渗率 (常数, 根据试验或经验取值), m/d。

### B.3 地下水溶质运移解析法

#### B.3.1 一维稳定流动一维水动力弥散问题

##### B.3.1.1 一维无限长多孔介质柱体，示踪剂瞬时注入

地下介质为均质各向同性，地下水流是一维稳定流动，一维空间为无限长。溶质运移是一维弥散问题，初始浓度为 0，在某处有瞬时的示踪剂投入，一维空间上的浓度可用公式 B.19 求解。

$$C(x,t) = \frac{m_f}{2n_e \sqrt{\pi D_L t}} e^{-\frac{(x-ut)^2}{4D_L t}} \quad (\text{B.19})$$

式中：

- $x$ ——距注入点的距离，m；
- $t$ ——时间，d；
- $C(x,t)$ —— $t$  时刻  $x$  处的示踪剂质量浓度，mg/L 或 g/m<sup>3</sup>；
- $m_f$ ——单位面积注入的示踪剂质量，g/m<sup>2</sup>；
- $u$ ——含水层中平均孔隙水流速度，m/d；
- $n_e$ ——有效孔隙度，量纲为 1；
- $D_L$ ——纵向水动力弥散系数，m<sup>2</sup>/d。

##### B.3.1.2 一维半无限长多孔介质柱体，一端为定浓度边界

地下介质为均质各向同性，地下水流是一维稳定流动，一维空间为半无限长。溶质运移是一维弥散问题，初始浓度为 0，某一侧为浓度变为定浓度边界  $C_0$ ，一维空间上的浓度可用公式 B.20 求解。

$$\frac{C(x,t)}{C_0} = \frac{1}{2} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{x-ut}{2\sqrt{D_L t}} \right) + e^{\frac{ux}{D_L}} \operatorname{erfc} \left( \frac{x+ut}{2\sqrt{D_L t}} \right) \right] \quad (\text{B.20})$$

式中：

- $x$ ——距注入点的距离，m；
- $t$ ——时间，d；
- $C(x,t)$ —— $t$  时刻  $x$  处的示踪剂质量浓度，mg/L 或 g/m<sup>3</sup>；
- $C_0$ ——注入的示踪剂浓度，mg/L 或 g/m<sup>3</sup>；
- $u$ ——含水层中平均孔隙水流速度，m/d；
- $D_L$ ——纵向水动力弥散系数，m<sup>2</sup>/d；
- $\operatorname{erfc}()$ ——余补误差函数。

#### B.3.2 一维稳定流动二维水动力弥散问题

##### B.3.2.1 瞬时注入示踪剂——平面瞬时点源

地下介质为均质各向同性，地下水流是一维稳定流动，二维空间为无限大。溶质运移是二维弥散问题，初始浓度为 0，在某处有瞬时的示踪剂投入，二维空间上的浓度可用公式 B.21 求解。

$$C(x,y,t) = \frac{m_M/M}{4\pi n_e t \sqrt{D_L D_T}} e^{-\frac{(x-ut)^2}{4D_L t} - \frac{y^2}{4D_T t}} \quad (\text{B.21})$$

式中：

- $x, y$ ——计算点处的位置坐标，m；
- $t$ ——时间，d；
- $C(x,y,t)$ —— $t$  时刻点  $x, y$  处的示踪剂质量浓度，mg/L 或 g/m<sup>3</sup>；

$M$ ——承压含水层的厚度, m;  
 $m_M$ ——长度为  $M$  的线源瞬时注入的示踪剂质量, g;  
 $u$ ——含水层中平均孔隙水流速度, m/d;  
 $n_e$ ——有效孔隙度, 量纲为 1;  
 $D_L$ ——纵向水动力弥散系数,  $m^2/d$ ;  
 $D_T$ ——横向水动力弥散系数,  $m^2/d$ 。

### B.3.2.3 连续注入示踪剂——平面连续点源

地下介质为均质各向同性, 地下水流是一维稳定流动, 二维空间为无限大。溶质运移是二维弥散问题, 初始浓度为 0, 在某处有持续的示踪剂投入, 二维空间上的浓度可用公式 B.22 求解。

$$C(x,y,t) = \frac{m_t}{4\pi M n_e \sqrt{D_L D_T}} e^{\frac{xu}{2D_L}} \left[ 2K_0(\beta) - W\left(\frac{u^2 t}{4D_L}, \beta\right) \right] \quad (B.22)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{u^2 x^2}{4D_L^2} + \frac{u^2 y^2}{4D_L D_T}} \quad (B.23)$$

式中:

$x, y$ ——计算点处的位置坐标, m;  
 $t$ ——时间, d;  
 $C(x,y,t)$ —— $t$  时刻点  $x, y$  处的示踪剂质量浓度,  $g/m^3$ ;  
 $M$ ——承压含水层的厚度, m;  
 $m_t$ ——单位时间注入示踪剂的质量, g/d;  
 $u$ ——含水层中平均孔隙水流速度, m/d;  
 $n_e$ ——有效孔隙度, 量纲为 1;  
 $D_L$ ——纵向  $x$  方向的水动力弥散系数,  $m^2/d$ ;  
 $D_T$ ——横向  $y$  方向的水动力弥散系数,  $m^2/d$ ;  
 $K_0(\beta)$ ——第二类零阶修正贝塞尔函数;  
 $W\left(\frac{u^2 t}{4D_L}, \beta\right)$ ——第一类越流系统井函数, 可如式 B.5 示;  
 $\beta$ ——变量, 如式 B.23 示, 量纲为 1。

## B.4 地下水数值模型

### B.4.1 地下水水流模型

数值法可以解决许多复杂水文地质条件和地下水开发利用条件下的地下水资源评价问题, 并可以预测各种开采方案下地下水位的动态变化, 即预报各种条件下的地下水状态。假定地下水流符合 Darcy 定律, 对于不符合 Darcy 定律的管道流 (如岩溶暗河系统等) 需要特殊处理。对于非均质、各向异性 (假定渗透主轴与笛卡尔坐标一致)、空间三维结构、非稳定地下水流系统, 可描述为如式 B.24 的控制方程。

a) 控制方程

$$\mu_s \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W \quad (B.24)$$

式中:

$\mu_s$ ——含水层弹性储水率, 1/m;  
 $h$ ——水位, m;

$K_x, K_y, K_z$ ——分别为  $x, y, z$  方向上的渗透系数, m/d;

$t$ ——时间, d;

$W$ ——源汇项, 表示为单位体积单位时间的补给或排泄水量, 补给为正值, 抽水为负值, 1/d。

b) 初始条件

$$h(x, y, z, t) = h_0(x, y, z) \quad (x, y, z) \in \Omega, t = 0 \quad (\text{B.25})$$

式中:

$h_0(x, y, z)$ ——已知初始地下水位分布, m;

$\Omega$ ——模型模拟区。

c) 边界条件

1) 第一类边界

$$h(x, y, z, t)|_{\Gamma_1} = h(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \in \Gamma_1, t \geq 0 \quad (\text{B.26})$$

式中:

$\Gamma_1$ ——第一类边界;

$h(x, y, z, t)$ ——第一类边界上的已知水位函数, m。

2) 第二类边界

$$-T \frac{\partial h}{\partial n} |_{\Gamma_2} = Q(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \in \Gamma_2, t > 0 \quad (\text{B.27})$$

式中:

$\Gamma_2$ ——第二类边界;

$T$ ——第二类边界处的导水系数, m<sup>2</sup>/d;

$\vec{n}$ ——第二类边界  $\Gamma_2$  的外法线方向;

$Q(x, y, z, t)$ ——二类边界上单位长度上的已知流量函数, m<sup>2</sup>/d。

3) 第三类边界

$$-\left[k(h-z) \frac{\partial h}{\partial n} + \alpha h\right] |_{\Gamma_3} = Q(x, y, z) \quad (\text{B.28})$$

式中:

$\alpha$ ——给定的常数或随时间变化的系数, m/d;

$\Gamma_3$ ——第三类边界;

$h$ ——第三类边界处水位, m;

$z$ ——边界处饱和含水层厚度, m;

$k$ ——第三类边界处的渗透系数, m/d;

$\vec{n}$ ——第三类边界  $\Gamma_3$  的外法线方向;

$Q(x, y, z)$ ——第三类边界上单位长度上的已知流量函数, m<sup>2</sup>/d。

#### B.4.2 地下水水质模型

水是溶质运移的载体, 地下水溶质运移数值模拟应在地下水流场模拟基础上进行。因此,

地下水溶质运移数值模型包括水流模型（见 B.4.1 节）和溶质运移模型两部分。当溶质扩散满足 Fick 定律，溶质运移的主方向与笛卡尔坐标系一致时，考虑对流弥散、衰变、抽注水、吸附解吸和一级化学反应过程，溶质运移的控制方程可用式 B.29 示。

a) 控制方程

$$R_d \frac{\partial nC}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( nD_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (nv_i C) - W(C_s - C) - \lambda_1 nC - \lambda_2 \rho_b \bar{C} \quad (\text{B.29})$$

式中：

$R_d$ ——迟滞系数或阻滞因子，量纲为 1，当含水层吸附特性为等温线性吸附时

$R = 1 + \frac{\rho_b}{n} K_d$ ， $K_d$  为平衡分配系数， $\text{m}^3/\text{g}$ ，表示组分在固体与溶液骨架之间的分配比例；

$n$ ——含水层孔隙度，量纲为 1；

$\rho_b = \rho_s (1 - n)$ ——含水层表观体密度， $\rho_s$  为含水层颗粒密度， $\text{g}/\text{m}^3$ ；

$t$ ——时间， $\text{d}$ ；

$x, y, z$ ——空间位置坐标（ $x_j$ ， $j=x, y, z$ ）， $\text{m}$ ；

$C$ ——组分的质量浓度，随  $x_j$  和  $t$  发生变化， $\text{mg}/\text{L}$  或  $\text{g}/\text{m}^3$ ；

$\bar{C}$ ——含水层骨架吸附的溶质浓度， $\text{mg}/\text{L}$  或  $\text{g}/\text{m}^3$ ；

$D_{ij}$ ——水动力弥散系数张量， $\text{m}^2/\text{d}$ ；

$v_i$ ——地下水渗流速度张量， $\text{m}/\text{d}$ ；

$W$ ——单位时间单位体积内含水层抽水/注水量，抽水取正值，注水取负值， $1/\text{d}$ ；

$C_s$ ——抽取或注入污染物组分的浓度， $\text{mg}/\text{L}$  或  $\text{g}/\text{m}^3$ ；

$\lambda_1$ ——溶解相一级化学反应速率， $1/\text{d}$ ；

$\lambda_2$ ——吸附相一级化学反应速率， $\text{m}^3/(\text{g} \cdot \text{d})$ 。

b) 初始条件

$$C(x, y, z, t) = C_0(x, y, z), \quad (x, y, z) \in \Omega, t=0 \quad (\text{B.30})$$

式中：

$C_0(x, y, z)$ ——已知初始浓度分布， $\text{mg}/\text{L}$  或  $\text{g}/\text{m}^3$ ；

$\Omega$ ——模型模拟区域。

c) 定解条件

1) 第一类边界——给定浓度边界

$$C(x, y, z, t)|_{\Gamma_1} = C_1(x, y, z, t), \quad (x, y, z) \in \Gamma_1, t \geq 0 \quad (\text{B.31})$$

式中：

$\Gamma_1$ ——第一类边界；

$C_1(x, y, z, t)$ ——第一类边界上已知浓度分布， $\text{mg}/\text{L}$  或  $\text{g}/\text{m}^3$ 。

2) 第二类边界——给定水动力弥散通量边界

$$-nD_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} |_{\Gamma_2} = f_i(x, y, z, t), \quad (x, y, z) \in \Gamma_2, t \geq 0 \quad (\text{B.32})$$

式中:

$\Gamma_2$ ——第二类边界;

$\vec{n}$ ——第二类边界  $\Gamma_2$  的外法线方向;

$f_i(x,y,z,t)$ ——第二类边界  $\Gamma_2$  法线方向  $n$  上已知的水动力弥散通量分布,  $g/(m^2 \cdot d)$ 。

3) 第三类边界——给定溶质通量边界

$$n\left(Cu_i - D_{ij} \frac{\partial C}{\partial n}\right)|_{\Gamma_3} = g_i(x,y,z,t), \quad (x,y,z) \in \Gamma_3, t \geq 0 \quad (B.33)$$

式中:

$\Gamma_3$ ——第三类边界 (也称为混合边界);

$\vec{n}$ ——第三类边界  $\Gamma_3$  的外法线方向;

$g_i(x,y,z,t)$ ——第三类  $\Gamma_3$  法线方向  $n$  上已知对流—弥散总的通量分布,  $g/(m^2 \cdot d)$ 。

## 附录 C

## (资料性附录)

## 地下水环境影响评价自评估表

表 C.1 地下水环境影响识别与工作等级

| 序号 | 工作内容                       | 填写内容                    | 填表说明/备注              |
|----|----------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1  | 建设项目是否位于产业园区规划区域           | 是□；否□                   | 选否，直接从本表第 7 项开始填写    |
| 2  | 规划区域是否完成规划环境影响评价           | 是□；否□                   |                      |
| 3  | 规划环评是否满足 4.3.4 和 4.3.5 要求  | 是□；否□                   | 选是，可不填写表 C.2 中 1~2 项 |
| 4  | 规划区域是否按照 4.3.8 要求开展地下水跟踪监测 | 是□；否□                   | 选是，可不填 C.2 中 4~8 项   |
| 5  | 规划环评是否建立数值模型               | 是□；否□                   | 选是，可不填表 C.3 中 1~2 项  |
| 6  | 是否满足 10.10 要求              | 是□；否□                   | 选是，可不填表 C.3          |
| 7  | 建设项目性质                     | 新建□；改扩建□；其他□            |                      |
| 8  | 所属行业类别                     | I 类□；II 类□；III 类□       |                      |
| 9  | 影响源                        | 池□；管□；罐□；其他□            | 详见报告 XX 章节或 XX 页码    |
| 10 | 与地面的接触关系                   | 埋地□；地面接触□；<br>无接触□      | 选无接触，则 11 选无         |
| 11 | 影响途径                       | 有□；无□                   | 选无，直接填写表 C.4 的相关内容   |
| 12 | 敏感程度                       | 敏感□；较敏感□；不敏感□           |                      |
| 13 | 评价工作等级                     | 一级□；二级□；三级□             |                      |
| 14 | 评价范围                       | 以文字形式表述四至范围和面积          | 详见图 X-X              |
| 15 | 敏感目标                       | 内容较少直接填写，较多时应列表表示       | 详见表 X-X              |
| 16 | 是否存在水位影响                   | 土壤方面□；生态方面□             | 无勾选的，不填本表 17~18 项    |
| 17 | 水位变幅                       | ( ) m                   |                      |
| 18 | 影响范围                       | 填写影响半径、影响面积大小或采用文字性描述表述 | 详见报告 XX 章节或 XX 页码    |

注：

- “□”为勾选项，可√；“（ ）”为内容填写项；“备注”为其他补充内容。
- “详见图 X-X”“详见表 X-X”或“详见报告 XX 章节或 XX 页码”是指表中无法填写图表或需填写的内容较多，索引至环评文件中具体位置。

表 C.2 地下水环境现状调查与评价

| 序号                                                                                                                             | 工作内容        | 填写内容                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                     |    |    |     | 填表说明/备注                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----|----|-----|------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                              | 资料收集        | a) <input type="checkbox"/> ; b) <input type="checkbox"/> ; c) <input type="checkbox"/> ; d) <input type="checkbox"/> ; e) <input type="checkbox"/> ; f) <input type="checkbox"/> ; g) <input type="checkbox"/> ;<br>h) <input type="checkbox"/> ; i) <input type="checkbox"/> ; l) <input type="checkbox"/> |                                     |    |    |     | 根据实际情况勾选                                             |
| 2                                                                                                                              | 调查评价区水文地质条件 | 水文地质图□; 水文地质剖面图□; 地下水流场图□;<br>其他图件□; 文字性描述□                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                     |    |    |     | 详见报告 XX 章节或<br>XX 页码                                 |
| 3                                                                                                                              | 场地天然包气带防污性能 | 包气带岩性 (    ); 包气带厚度 (    );<br>垂向渗透系数 (    )                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                     |    |    |     | 详见报告 XX 章节或<br>XX 页码; 租用现有已<br>硬化厂房的, 不填写            |
| 4                                                                                                                              | 现状监测点位      | 区位                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 上游                                  | 场地 | 下游 | 敏感点 | 点位布置图见图 X-X;<br>层位根据具体情况可<br>按介质+埋藏条件填<br>写, 如孔隙承压水。 |
|                                                                                                                                |             | 数量                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                     |    |    |     |                                                      |
|                                                                                                                                |             | 层位                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                     |    |    |     |                                                      |
| 5                                                                                                                              | 监测频次        | 水位                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 枯平丰□; 枯丰□; 1 期□; 2 期□;<br>其他 (    ) |    |    |     | 引用资料的, 注明时间的<br>有效性                                  |
| 6                                                                                                                              |             | 水质                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 枯平丰□; 枯丰□; 1 期□; 2 期□;<br>其他 (    ) |    |    |     |                                                      |
| 7                                                                                                                              | 现状监测因子      | 基本因子 (    ); 特征因子 (    )                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                     |    |    |     | 可填具体指标, 详见表<br>X-X                                   |
| 8                                                                                                                              | 评价标准        | GB/T 14848□; GB 3838□; 其他 (    )                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                     |    |    |     |                                                      |
| 9                                                                                                                              | 现状评价结论      | 超标因子及倍数 (    )                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                     |    |    |     | 可填如 Pb (2.5)、NH <sub>4</sub><br>(3), 详见表 X-X         |
| 10                                                                                                                             | 包气带污染现状     | 可能造成地下水污染的主要装置或设施周边包气带岩性、厚度以及包气带受污染的情况                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                     |    |    |     | 评价等级为一、二级的<br>改扩建项目填写, 详见<br>报告 XX 章节或 XX 页<br>码     |
| 注:<br>1. “□”为勾选项, 可√; “( )”为内容填写项; “备注”为其他补充内容。<br>2. “详见图 X-X”“详见表 X-X”或“详见报告 XX 章节或 XX 页码”是指表中无法填写图表或需填写的内容较多, 索引至环评文件中具体位置。 |             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                     |    |    |     |                                                      |

表 C.3 地下水环境影响预测

| 序号 | 工作内容   | 填写内容                              | 填表说明/备注                             |
|----|--------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1  | 预测因子   | ( )                               |                                     |
| 2  | 预测方法   | 附录 B□；其他□ ( )                     | 选其他的，需填写具体方法，内容较多可详见报告 XX 章节或 XX 页码 |
| 3  | 预测分析内容 | 预测时段、情景、源强以及影响范围                  | 详见报告 XX 章节或 XX 页码                   |
| 4  | 预测结论   | 达标结论：a) □；b) □<br>不达标结论：a) □；b) □ |                                     |

注：

- “□”为勾选项，可√；“（ ）”为内容填写项；“备注”为其他补充内容。
- “详见报告 XX 章节或 XX 页码”是指表中需填写的内容较多，索引至环评文件中具体位置。

表 C.4 地下水环境保护措施

| 序号 | 工作内容 | 填写内容                    |                      |       |      | 填表说明/备注                                                         |
|----|------|-------------------------|----------------------|-------|------|-----------------------------------------------------------------|
| 1  | 防控措施 | 源头控制□；分区防渗□；跟踪监测□；应急响应□ |                      |       |      |                                                                 |
| 2  | 源头控制 | 根据具体措施的实际填写             |                      |       |      | 详见报告 XX 章节或 XX 页码                                               |
| 3  | 分区防渗 | 防渗分区                    | 面积 (m <sup>2</sup> ) | 装置/设施 | 防渗措施 | “装置/设施”可填写车间名称、污水池等；“防渗措施”可填写具体措施或主要标准等。内容较多的，详见报告 XX 章节或 XX 页码 |
|    |      | 重点防渗区                   |                      |       |      |                                                                 |
|    |      | 简单防渗区                   |                      |       |      |                                                                 |
|    |      | 一般防渗区                   |                      |       |      |                                                                 |
| 4  | 跟踪监测 | 基本功能                    | 监测点数                 | 监测指标  | 监测频次 | 提供具体监测点位坐标和分布图，详见表 X-X、图 X-X，无法提供的，应当说明理由。                      |
|    |      | 背景/对照值监测点               |                      |       |      |                                                                 |
|    |      | 跟踪监测点                   |                      |       |      |                                                                 |
|    |      | 污染扩散监测点                 |                      |       |      |                                                                 |
| 5  | 应急响应 | 根据具体措施的实际填写             |                      |       |      | 详见报告 XX 章节或 XX 页码                                               |

注：

- “□”为勾选项，可√；“（ ）”为内容填写项；“备注”为其他补充内容。
- “详见图 X-X”“详见表 X-X”或“详见报告 XX 章节或 XX 页码”是指表中无法填写图表或需填写的内容较多，索引至环评文件中具体位置。

表 C.5 规划环评地下水环境影响

| 序号                                                                                                                         | 工作内容            | 填写内容                                                          | 填表说明/备注                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                          | 规划类型            | 产业园区规划□；煤炭矿区总体规划□；<br>城市轨道交通建设规划□；其他规划□                       |                                                           |
| 2                                                                                                                          | 规划层级            | 国家级□；省级□；市级□；其他□                                              |                                                           |
| 3                                                                                                                          | 评价范围            | 以文字形式表述四至范围和面积                                                | 详见图 X-X                                                   |
| 4                                                                                                                          | 水平年             |                                                               |                                                           |
| 5                                                                                                                          | 资料是否满足要求        | 是□；否□                                                         | 选是，本表 6 可勾选否选项                                            |
| 6                                                                                                                          | 是否补充调查          | 是□；否□                                                         | 选是，详见报告 XX 章节或 XX 页码；本表 5~6 均勾选否的，不填写本表 7~12 项            |
| 7                                                                                                                          | 地下水环境现状         | 确定地下水资源利用现状、地下水环境质量状况、地下水环境敏感目标，分析存在的地下水环境问题和制约规划实施的地下水环境主要因素 | 详见报告 XX 章节或 XX 页码                                         |
| 8                                                                                                                          | 回顾性评价           | 规划区域前期地下水环境状况及监管情况                                            | 详见报告 XX 章节或 XX 页码                                         |
| 9                                                                                                                          | 跟踪监测是否满足 HJ 164 | 是□；否□                                                         | 选是，需给出监测点具体位置和坐标等，详见表 X-X；选否，规划区域内建设项目填写表 C.1 时，不得勾选“是”选项 |
| 10                                                                                                                         | 跟踪监测点数量（个）      |                                                               |                                                           |
| 11                                                                                                                         | 监测频次            | 每年 1 次□；丰枯 2 期□；丰平枯 3 期□；<br>按季度 4 次□；其他（ ）                   |                                                           |
| 12                                                                                                                         | 优化调整建议          | 选址/选线或产业布局调整，以及地下水环境保护措施的优化调整                                 | 详见报告 XX 章节或 XX 页码                                         |
| 注：<br>1. “□”为勾选项，可√；“（ ）”为内容填写项；“备注”为其他补充内容。<br>2. “详见图 X-X”“详见表 X-X”或“详见报告 XX 章节或 XX 页码”是指表中无法填写图表或需填写的内容较多，索引至环评文件中具体位置。 |                 |                                                               |                                                           |

## 附录 D

(资料性附录)

## 水文地质参数经验值表

表 D.1 渗透系数经验值表

| 岩性名称 | 主要颗粒粒径 (mm)                                                                                                                                       | 渗透系数 (m/d) | 渗透系数 (cm/s)                                    |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------|
| 轻亚黏土 | 0.05~0.1<br>0.1~0.25<br>0.25~0.5<br>0.5~1.0<br>0.05~0.1<br>0.1~0.25<br>0.25~0.5<br>0.5~1.0<br>1.0~2.0<br>75~150<br>100~200<br>200~500<br>500~1000 | 0.05~0.1   | $5.79 \times 10^{-5} \sim 1.16 \times 10^{-4}$ |
| 亚黏土  |                                                                                                                                                   | 0.1~0.25   | $1.16 \times 10^{-4} \sim 2.89 \times 10^{-4}$ |
| 黄土   |                                                                                                                                                   | 0.25~0.5   | $2.89 \times 10^{-4} \sim 5.79 \times 10^{-4}$ |
| 粉土质砂 |                                                                                                                                                   | 0.5~1.0    | $5.79 \times 10^{-4} \sim 1.16 \times 10^{-3}$ |
| 粉砂   |                                                                                                                                                   | 1.0~1.5    | $1.16 \times 10^{-3} \sim 1.74 \times 10^{-3}$ |
| 细砂   |                                                                                                                                                   | 5.0~10     | $5.79 \times 10^{-3} \sim 1.16 \times 10^{-2}$ |
| 中砂   |                                                                                                                                                   | 10.0~25    | $1.16 \times 10^{-2} \sim 2.89 \times 10^{-2}$ |
| 粗砂   |                                                                                                                                                   | 25~50      | $2.89 \times 10^{-2} \sim 5.78 \times 10^{-2}$ |
| 砾砂   |                                                                                                                                                   | 50~100     | $5.78 \times 10^{-2} \sim 1.16 \times 10^{-1}$ |
| 圆砾   |                                                                                                                                                   | 75~150     | $8.68 \times 10^{-2} \sim 1.74 \times 10^{-1}$ |
| 卵石   |                                                                                                                                                   | 100~200    | $1.16 \times 10^{-1} \sim 2.31 \times 10^{-1}$ |
| 块石   |                                                                                                                                                   | 200~500    | $2.31 \times 10^{-1} \sim 5.79 \times 10^{-1}$ |
| 漂石   |                                                                                                                                                   | 500~1000   | $5.79 \times 10^{-1} \sim 1.16 \times 10^0$    |

表 D.2 松散岩石给水度参考值

| 岩石名称 | 给水度变化区间   | 平均给水度 |
|------|-----------|-------|
| 砾砂   | 0.20-0.35 | 0.25  |
| 粗砂   | 0.20-0.35 | 0.27  |
| 中砂   | 0.15-0.32 | 0.26  |
| 细砂   | 0.10-0.28 | 0.21  |
| 粉砂   | 0.05-0.19 | 0.18  |
| 亚黏土  | 0.03-0.12 | 0.07  |
| 黏土   | 0.00-0.05 | 0.02  |

## 附录 E

## (资料性附录)

## 环境水文地质试验方法简介

## E.1 抽水试验

抽水试验：目的是确定含水层的导水系数、渗透系数、给水度、影响半径等水文地质参数，也可以通过抽水试验查明某些水文地质条件，如地表水与地下水之间及含水层之间的水力联系，以及边界性质和强径流带位置等。

根据要解决的问题，可以进行不同规模和方式的抽水试验。单孔抽水试验只用一个井抽水，不另设置观测孔，取得的数据精度较差；多孔抽水试验是用一个主孔抽水，同时配置若干个监测水位变化的观测孔，以取得比较准确的水文地质参数；群井开采试验是在某一范围内用大量生产井同时长期抽水，以查明群井采水量与区域水位下降的关系，求得可靠的水文地质参数。

为确定水文地质参数而进行的抽水试验，有稳定流抽水和非稳定流抽水两类。前者要求试验结束以前抽水流量及抽水影响范围内的地下水位达到稳定不变。后者则只要求抽水流量保持定值而水位不一定达到稳定，或保持一定的水位降深而允许流量变化。具体的试验方法可参见 GB 50027。

## E.2 注水试验

注水试验：目的与抽水试验相同。当钻孔中地下水位埋藏很深或试验层透水不含水时，可用注水试验代替抽水试验，近似地测定该岩层的渗透系数。在研究地下水人工补给或废水地下处置时，常需进行钻孔注水试验。注水试验时可向井内定流量注水，抬高井中水位，待水位稳定并延续到一定时间后，可停止注水，观测恢复水位。

由于注水试验常常是在不具备抽水试验条件下进行的，故注水井在钻进结束后，一般都难以进行洗井（孔内无水或未准备洗井设备）。因此，用注水试验方法求得的岩层渗透系数往往比抽水试验求得的值小得多。

## E.3 渗水试验

渗水试验：目的是测定包气带渗透性能及防污性能。渗水试验是一种在野外现场测定包气带土层垂向渗透系数的简易方法，在研究大气降水、灌溉水、渠水等对地下水的补给时，常需要进行此种试验。

试验时在试验层中开挖一个截面积为  $0.3\sim 0.5\text{ m}^2$  的方形或圆形试坑，不断将水注入坑中，并使坑底的水层厚度保持一定（一般为  $10\text{ cm}$  厚），当单位时间注入水量（即包气带岩层的渗透流量）保持稳定时，可根据达西渗透定律计算出包气带土层的渗透系数。

## E.4 浸溶试验

浸溶试验：目的是为了查明固体废弃物受雨水淋滤或在水中浸泡时，其中的有害成分转移到水中，对水体环境直接形成的污染或通过地层渗漏对地下水造成的间接影响。

有关固体废弃物的采样、处理和分析方法，可参照执行关于固体废弃物的国家环境保护标准或技术文件。

### E.5 土柱淋滤试验

土柱淋滤试验：目的是模拟污水的渗入过程，研究污染物在包气带中的吸附、转化、自净机制，确定包气带的防护能力，为评价污水渗漏对地下水水质的影响提供依据。

试验土柱应在评价场地有代表性的包气带地层中采取。通过滤出水水质的测试，分析淋滤试验过程中污染物的迁移、累积等引起地下水水质变化的环境化学效应的机理。

试剂的选取或配制，宜采取评价工程排放的污水做试剂。对于取不到污水的拟建项目，可取生产工艺相同的同类工程污水替代，也可按设计提供的污水成分和浓度配制试剂。如果试验目的是为了确定污水排放控制要求，需要配制几种浓度的试剂分别进行试验。

附录 F

(资料性附录)

正常状况地下水污染源强计算公式

正常状况下，地下水污染源强应根据国家、行业和地方相关工程设施的防渗设计与验收技术规范确定，如 GB 16889、GB 18597、GB 18598、GB 18599、GB 50141、GB 50268、GB/T 50934 等。参照相关技术规范仍无法确定或无相关规范的，可参照附录 F 推荐的计算公式给定。

为便于地下水污染源强计算，根据物理形态差异，可将地下水污染源主要分为池体、罐体、管（渠）道和其他，计算方法如下。

F.1 池体

参照 GB 50141 池体构筑物允许渗水量的验收技术要求，池体渗漏量可按式 F.1 计算：

$$Q = \alpha \cdot q \cdot (S_{底} + S_{侧}) \cdot 10^{-3} \tag{F.1}$$

式中：

- $Q$ ——渗漏量，m³/d；
- $S_{底}$ ——池底面积，m²；
- $S_{侧}$ ——池壁浸湿面积，m²；
- $\alpha$ ——变差系数，一般可取 0.1~1.0，池体构筑物采取防渗涂层、防渗水泥等特殊防渗措施时，根据防渗能力选取；
- $q$ ——单位渗漏量，指单位时间单位面积上的渗漏量，L/m²·d；不同材质的池体构筑物的单位渗漏量参见表 F.1。

表 F.1 不同材质池体构筑物单位渗漏量

| 编号 | 材质      | 单位渗漏量（L/(m²·d)） <sup>1</sup> |
|----|---------|------------------------------|
| 1  | 钢筋混凝土结构 | 2                            |
| 2  | 砌体结构    | 3                            |

<sup>1</sup> 单位渗漏量的测试和计算方法详见 GB 50141。

F.2 罐体

常规单层罐体因罐体类型、材质、施工等因素存在可允许渗漏缺陷，对常压储罐罐底渗漏量，参照 API 581-2008（Risk-Based Inspection Technology, Downstream Segment, API RECOMMENDED PRACTICE 581 SECOND EDITION, SEPTEMBER 2008）采取如下计算方式。

罐体渗漏速率除受罐体自身质量特征影响外，还受限于罐体所储物质在渗入多孔介质中的渗透系数，详见式 F.2 和 F.3；若罐底为非多孔松散介质时，建议参考水文地质手册中的有关不同基岩裂隙介质的渗透系数经验值确定。

$$Q = 0.13 \cdot \pi \cdot d \cdot \sqrt{2gh} \cdot n, \quad K > 86.4d^2 \tag{F.2}$$

$$Q = 0.08 \cdot d^{0.2} \cdot h^{0.9} \cdot K^{0.74} \cdot n, \quad K \leq 86.4d^2 \tag{F.3}$$

式中：

- $Q$ ——罐体渗漏速率，m³/d；
- $d$ ——泄漏孔直径，mm，一般取值 3.175mm；

$n$ ——储罐泄漏孔的个数，详见表 F.2；

$h$ ——如果储罐底部设有防渗层，泄漏速率计算时流体液位高度  $h$  可设为 0.0762 m，若无防渗层，则按照储罐内实际的流体液位高度进行计算；

$g$ ——重力加速度，9.81m/s<sup>2</sup>；

$K$ ——污染物在多孔介质中的渗透系数，m/d，可由 F.4 计算获取；

$$K=k_w\left(\frac{\rho_l}{\rho_w}\right)\left(\frac{\mu_w}{\mu_l}\right) \tag{F.4}$$

式中：

$\rho_l$ ——污染物的密度，kg/m<sup>3</sup>；

$\mu_l$ ——污染物动力粘度，N·s/m<sup>2</sup>，代表性介质的密度和动力粘度详见表 F.3；

$\rho_w$ ——水的密度；

$\mu_w$ ——水的动力粘度；

$K_w$ ——水在多孔介质中的渗透系数的平均值（m/d），确定方法见式 F.5：

$$k_w=864\frac{(k_{w-L}+k_{w-U})}{2} \tag{F.5}$$

$k_{w-L}$ ——水在多孔介质中渗透系数的下限值，cm/s，见表 F.4；

$k_{w-U}$ ——水在多孔介质中渗透系数的上限值，cm/s，见表 F.4；

表 F.2 储罐罐底泄漏孔个数

| 储罐直径 (m)                      | 罐底泄漏孔个数 |
|-------------------------------|---------|
| 30.5                          | 1       |
| 61.0                          | 4       |
| 91.4                          | 9       |
| 注：其他直径尺寸的储罐，漏孔个数可以通过式 F.6 计算。 |         |

$$n_{rh,1}=\max\left[nint\left[\left(\frac{D}{C_{36}}\right)^2\right],1\right] \tag{F.6}$$

式中

$C_{36}$ ——单位制调整因子，取值 30.5；

$D$ ——储罐直径，m；

$nint[ ]$ ——取整函数，例  $nint[3.2]=3$ 、 $nint[3.5]=4$ 、 $nint[3.7]=4$  等。

表 F.3 代表性介质和性质参数

| 流体介质 | 代表性介质   | 摩尔分子量 | 流 体 密 度<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 流体动力粘度<br>(N·s/m <sup>2</sup> ) |
|------|---------|-------|---------------------------------|---------------------------------|
| 汽油   | C6-C8   | 100   | 684.018                         | 4.01×10 <sup>-3</sup>           |
| 轻柴油  | C9-C12  | 149   | 734.011                         | 1.04×10 <sup>-3</sup>           |
| 重柴油  | C13-C16 | 205   | 764.527                         | 2.46×10 <sup>-3</sup>           |
| 燃料油  | C17-C25 | 280   | 775.019                         | 3.69×10 <sup>-2</sup>           |
| 原油   | C17-C25 | 280   | 775.019                         | 3.69×10 <sup>-2</sup>           |
| 重燃料油 | C25+    | 422   | 900.026                         | 4.60×10 <sup>-2</sup>           |
| 重原油  | C25+    | 422   | 900.026                         | 4.60×10 <sup>-2</sup>           |

表 F.4 松散介质类型和性质参数

| 土壤类型 | 渗透系数下限值(cm/s)     | 渗透系数上限值(cm/s)     | 土壤孔隙度 |
|------|-------------------|-------------------|-------|
| 粗砂   | $1\times 10^{-1}$ | $1\times 10^{-2}$ | 0.33  |
| 细砂   | $1\times 10^{-2}$ | $1\times 10^{-3}$ | 0.33  |
| 精细砂  | $1\times 10^{-3}$ | $1\times 10^{-5}$ | 0.33  |
| 淤泥   | $1\times 10^{-5}$ | $1\times 10^{-6}$ | 0.41  |
| 砂质粘土 | $1\times 10^{-6}$ | $1\times 10^{-7}$ | 0.45  |
| 粘土   | $1\times 10^{-7}$ | $1\times 10^{-8}$ | 0.50  |

F.3 管道

管道一般可压力管道、无压管道和管渠三类，参照 GB 50141、GB 50268 管道允许渗水量的验收技术要求，管道渗漏量可按公式 F.7 计算：

$$Q=\alpha\cdot\beta\cdot q\cdot L$$
 (F.7)

式中：

- $Q$ ——废污水渗透量，m<sup>3</sup>/d；
- $L$ ——管道长度，km；
- $\alpha$ ——变差系数，一般可取 0.1~1.0，管道采取特殊防渗措施时根据防渗能力选取；
- $\beta$ ——调整系数，针对不同压力管道单位渗漏量的量纲差异给出的调整系数，有压管道取值 3.6，无压管道和渠道取值 0.001；
- $q$ ——单位渗漏量，L/min·km 或 L/d·km，不同材质有压管道和无压管道的单位渗漏量分别见 F.3.1 和 F.3.2，渠道或管渠渗漏量见 F.3.3。

F.3.1 有压管道

有压管道参照 GB 50268 可分为焊接接口钢管、球墨铸铁管、玻璃钢管、预（自）应力混凝土管、预应力钢筒混凝土管和硬聚氯乙烯管等，不同材质决定其允许渗漏量的大小和经验算法，详见表 F.5。

表 F.5 压力管道水压试验的允许渗漏量（L/min·km）

| 材质<br>管道内径 D（mm）                                                                                    | 焊接接口<br>钢管 | 球墨铸铁管、<br>玻璃钢管 | 预（自）应力混凝土管、<br>预应力钢筒混凝土管 | 硬聚氯乙烯管 <sup>1</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|--------------------------|---------------------|
| 100                                                                                                 | 0.28       | 0.70           | 1.40                     | 0.00028 × D × P/a   |
| 150                                                                                                 | 0.42       | 1.05           | 1.72                     |                     |
| 200                                                                                                 | 0.56       | 1.40           | 1.98                     |                     |
| 300                                                                                                 | 0.85       | 1.70           | 2.42                     |                     |
| 400                                                                                                 | 1.00       | 1.95           | 2.80                     |                     |
| 600                                                                                                 | 1.20       | 2.40           | 3.14                     |                     |
| 800                                                                                                 | 1.35       | 2.70           | 3.96                     |                     |
| 900                                                                                                 | 1.45       | 2.90           | 4.20                     |                     |
| 1000                                                                                                | 1.50       | 3.00           | 4.42                     |                     |
| 1200                                                                                                | 1.65       | 3.30           | 4.70                     |                     |
| 其他                                                                                                  | 0.05√D     | 0.1√D          | 0.14√D                   |                     |
| <sup>1</sup> P——压力管道的工作压力（MPa）；a——温度—压力折减系数；当试验水温 0~25℃ 时，a 取 1；25~30℃ 时，a 取 0.8；35~45℃ 时，a 取 0.63。 |            |                |                          |                     |

F.3.2 无压管道

无压管道参照 GB 50141、GB 50268 管道根据材质不同可分为钢筋混凝土管和化学建材管道，钢筋混凝土管允许渗水量见表 F.6，对不开槽施工内径大于或等于 1500 mm 且无须进行闭水试验的钢筋混凝土管道，允许最大渗水量可直接取 2 L/m<sup>2</sup>·d；化学建材管道允许渗水量按式 F.8 计算。

$$q=0.046D \tag{F.8}$$

式中：

$q$ ——允许渗水量，m<sup>3</sup>/d·km；  
 $D$ ——管道内径，mm。

表 F.6 钢筋混凝土无压管道水压试验的允许渗水量（m<sup>3</sup>/d·km）

| 管道内径 D（mm） | 允许渗水量 | 管道内径 D（mm） | 允许渗水量     |
|------------|-------|------------|-----------|
| 200        | 17.60 | 1200       | 43.30     |
| 300        | 21.62 | 1300       | 45.00     |
| 400        | 25.00 | 1400       | 46.70     |
| 500        | 27.95 | 1500       | 48.40     |
| 600        | 30.60 | 1600       | 50.00     |
| 700        | 33.00 | 1700       | 51.50     |
| 800        | 35.35 | 1800       | 53.00     |
| 900        | 37.50 | 1900       | 54.48     |
| 1000       | 39.52 | 2000       | 55.90     |
| 1100       | 41.45 | 其他         | 1.25√ $D$ |

F.3.3 渠道

渠道通常以无压为主，部分亦存在有压的情况，参照 GB 50268 主要计算公式如下：

压力管渠：
$$q_1=0.014D=0.014\frac{S}{\pi} \tag{F.9}$$

无压管渠：
$$q_2=1.25D=1.25\frac{S}{\pi} \tag{F.10}$$

式中：

$q_1$ ——压力管渠允许渗水量，L/(min·km)；  
 $q_2$ ——无压管渠允许渗水量，m<sup>3</sup>/(d·km)；  
 $D$ ——管道内径，mm；  
 $S$ ——管渠的湿周周长，mm。

F.4 其他

其他如固体废物处置场、尾矿区、暂存场以及其他可能受淋溶作用进入地下水而致污的，可参照公式 F.10 和 F.11 进行源强设置。

F.4.1 其他无防渗措施

无防渗措施条件下的入渗计算公式：

$$Q=\lambda \cdot F \cdot X \cdot 10^{-3} \tag{F.11}$$

式中：

$Q$ ——渗漏量，m<sup>3</sup>/d 或 m<sup>3</sup>/a；

$\lambda$ ——建设项目场地所在地的降雨入渗系数；  
 $F$ ——污染源覆盖区域垂向投影面积， $\text{m}^2$ ；  
 $X$ ——当地日最大降水量或多年平均降雨量， $\text{mm}$ 。

F.4.2 有防渗措施

有防渗结构的可采用如下公式：

$$Q=\varphi\cdot K\cdot I\cdot A \tag{F.12}$$

式中：

$Q$ ——渗漏量， $\text{m}^3/\text{d}$  或  $\text{m}^3/\text{a}$ ；  
 $K$ ——防渗系统等效渗透系数， $\text{m}/\text{d}$ ；  
 $I$ ——水力梯度，渗透地下水垂直于防渗层，在此取值为 1；  
 $A$ ——防渗面积， $\text{m}^2$ ；  
 $\varphi$ ——防渗结构失效率，通常单层膜结构防渗的取 0.007%~0.013%，双层膜结构取 0；采用其他防渗结构的可参照 F.1~F.3 相关渗漏量设计。

---