地下水污染防治分区划分

工作指南

2019 年 9 月

目　次

第一章　总　则 1
1.1　编制目的 1
1.2　适用范围 1
1.3　编制依据 1
1.4　术语与定义 2
1.5　指导原则 2
1.6　组织编制单位 2
第二章　工作内容和流程 4
2.1　工作内容 4
2.2　工作流程 4
第三章　地下水污染防治分区划分技术方法 6
3.1　地下水污染源荷载评估 6
3.2　地下水脆弱性评估 13
3.3　地下水污染现状评估 16
3.4　地下水污染防治分区划分 18
第四章　报告编制要求 23
4.1　报告文本 23
4.2　成果图 23
4.3　成果表 25
附录 A （资料性附录） 岩溶区地下水脆弱性评估指标说明 26
附录 B （资料性附录） 地下水污染防治分区划分报告编制大纲 30

地下水污染防治分区划分工作指南

第一章　　总　则

1.1 编制目的

为贯彻落实《全国地下水污染防治规划（2011-2020 年）》《地下水污染防治实施方案》（环土壤〔2019〕25 号），遏制我国地下水污染加剧趋势，推进我国地下水污染监督防治，规范地下水污染防治分区划分工作，根据《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》及相关法律、法规、标准，编制《地下水污染防治分区划分工作指南》（以下简称指南）。

1.2 适用范围

本指南适用于区域尺度地下水污染防治分区划分，精度一般不低于 1:25 万。

1.3 编制依据

本指南引用了下列文件或其中的条款。凡是未注明日期的引用文件，其最新版本适用于本指南。

GB 5084 农田灌溉水质标准

GB/T 4754 国民经济行业分类

GB/T 14848 地下水质量标准

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 338 饮用水水源保护区划分技术规范

HJ 773 集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求

1.4 术语与定义

下列术语与定义适用于本指南。

地下水污染源荷载：指污染源对地下水的影响程度，取决于污染源的类型、规模、释放污染物的可能性、污染物的毒性等。

地下水脆弱性：本指南中指地下水系统的防污性能，即在一定的地质与水文地质条件下，地下水系统抵御污染的能力。

地下水污染防治分区划分：基于地下水污染现状特征，结合地下水污染源荷载、脆弱性评估结果，对地下水污染防治类型和等级提出分区。

1.5 指导原则

（1）简单实用原则：地下水污染防治分区划分方法的原理简单且实用性强，通过结合地下水环境保护需求和经济社会发展规划，可提出科学合理的污染防治分区建议。

（2）分区分级原则：综合考虑水文地质单元及行政区划，根据地下水污染源荷载、脆弱性、使用功能以及污染状况，确定保护区、防控区及治理区等三类分区，根据污染状况和防控值进一步划分不同分区内的地下水污染防治级别。

（3）适时调整原则：根据评估区地下水污染源荷载、地下水污染状况等因素的重大变化情况，结合地下水环境管理要求，适时对地下水污染防治分区的划分结果进行调整。

1.6 组织编制单位

本指南由生态环境部土壤生态环境司、水生态环境司组织，

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、北京师范大学、清华大学、中国地质科学院水文地质环境地质研究所、中国地质科学院岩溶地质研究所、北京市环境科学研究院、北京市地质环境监测总站、河北省地质环境监测院等单位起草编制。

第二章　　工作内容和流程

2.1 工作内容

综合考虑水文地质结构、地下水污染源荷载、脆弱性、地下水使用功能、污染状况和行政区划等因素，建立地下水污染防治分区划分体系，划定地下水污染保护区、防控区及治理区。其中，保护区划分为一级保护区、二级保护区和准保护区；防控区划分为优先防控区、重点防控区和一般防控区；治理区划分为优先治理区、重点治理区和一般治理区。

2.2 工作流程

地下水污染防治分区划分工作主要包括地下水污染源荷载评估、地下水脆弱性评估、地下水污染现状评估等步骤。具体工作流程见图 1。

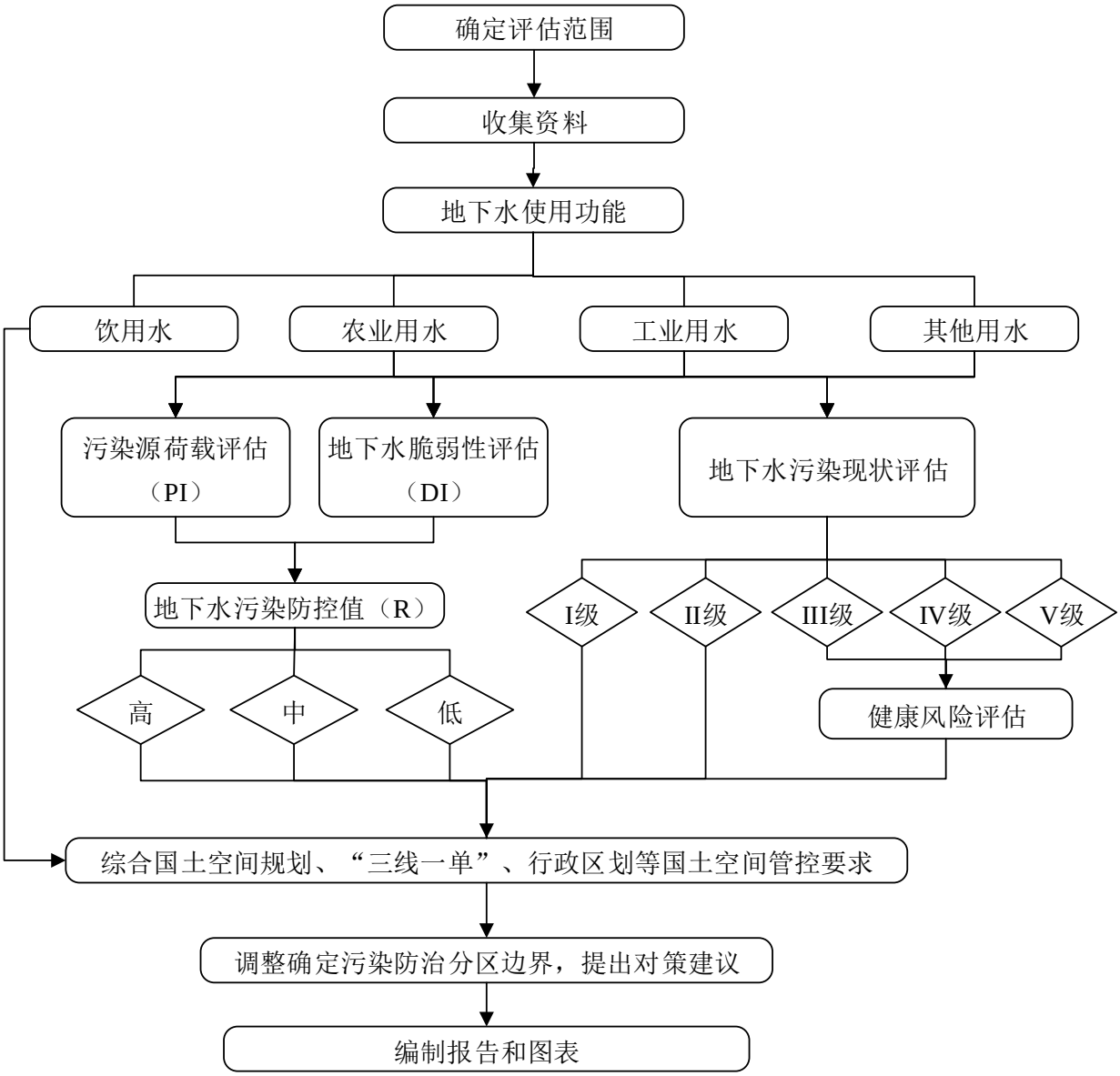
确定评估范围
收集资料
地下水使用功能
饮用水
农业用水
工业用水
其他用水
污染源荷载评估（PI）
地下水脆弱性评估（DI）
地下水污染现状评估
地下水污染防控值（R）
I级
II级
III级
IV级
V级
高
中
低
健康风险评估
综合国土空间规划、“三线一单”、行政区划等国土空间管控要求
调整确定污染防治分区边界，提出对策建议
编制报告和图表

图 1　工作流程图

第三章　地下水污染防治分区划分技术方法

3.1 地下水污染源荷载评估

3.1.1 地下水污染源

地下水污染源主要包括工业污染源、矿山开采区、危险废物处置场、垃圾填埋场、加油站、农业污染源、高尔夫球场和地表污水等。本指南中地下水污染源的范围、资料来源为污染源普查、土壤污染状况调查和详查、环境影响评估报告等，详见表 1。

表 1　污染源范围和资料来源

编号	污染源类型	范围	资料来源
1	工业污染源	工业园区或工业集聚区、化学品生产企业、废弃污染地块	污染源普查、土壤污染状况调查和详查
2	矿山开采区	大中型矿山、尾矿库	矿山调查表、污染源普查、土壤污染状况调查和详查
3	危险废物处置场	全部	污染源普查、环境影响评价报告、土壤污染状况调查和详查
4	垃圾填埋场	生活垃圾卫生填埋场和填埋总量大于 200 吨的非正规/简易垃圾填埋场	污染源普查、环境影响评价报告、土壤污染状况调查和详查
5	加油站	全部	加油站名单、环境影响评价报告
6	农业污染源	农业种植（耕地）、规模化养殖场	污染源普查、土地利用调查、水利普查
7	高尔夫球场	全部	环境影响评价报告
8	地表污水	劣 V 类的河流、湖库	水环境监测报告

3.1.2 单个污染源荷载风险评估指标体系

单个地下水污染源荷载风险计算公式如下:

$$P_i = T_i \times L_i \times Q_i \qquad (3\text{-}1)$$

式中，P_i表示污染源 i 的污染源荷载风险指数，T_i表示污染源 i 的污染物毒性，L_i表示污染源 i 的污染源释放可能性，Q_i表示可能释放污染物的量。

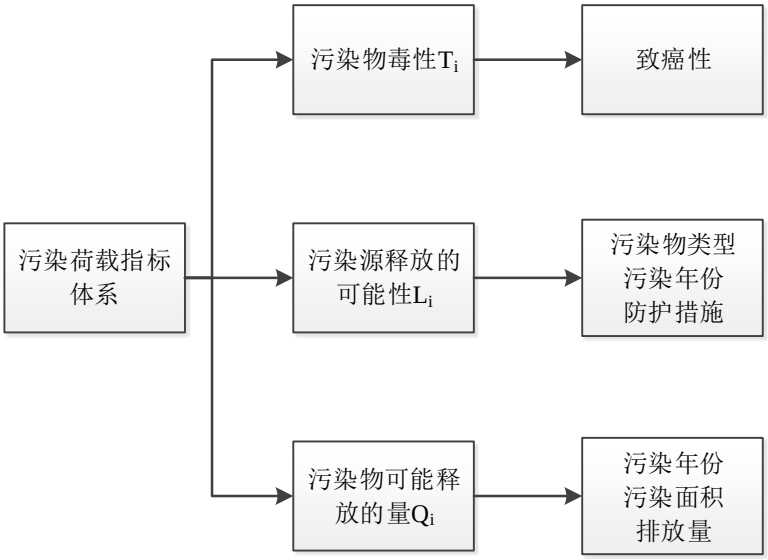

图 2　污染源荷载评估指标体系

3.1.2.1污染物毒性

污染物毒性的评价需考虑污染物的物理化学性质、降解、迁移性等因素，与受体的致癌或非致癌风险直接相关。在污染物指标明确的情况下，毒性评分优先采用表 2 进行计算，存在多种污染物时一般取毒性最高的污染物作为计算指标; 若无法确定污染物指标时，可采用表 3 进行计算。各污染源的缓冲区半径是指在污染源占地面积的基础上污染物可能迁移扩散的半径范围，主要与污染物类型有关，其推荐值见表 3。

表 2　地下水中部分污染物及其毒性评分表

污染物名称	类型	毒性	
		T_i 评分	参考文献
1,1,2,2-四氯乙烷	CD	2.8	IRIS
2,4,5-涕丙酸	C	2.1	IRIS
2,4,6-三氯酚	CD	1.8	IRIS
砷	C	3.7	HEAST
苯	CL	2	IRIS
邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	CD	1.5	IRIS
四氯化碳	CD	2.5	IRIS
氯仿	C	1.2	IRIS
二氯乙烷	CD	2.4	IRIS
二氯甲烷	CD	1.3	IRIS
六氯苯	CD	3.7	IRIS
六氯丁二烯	CD	2.3	IRIS
林丹	C	3.6	HEAST
三氯乙烯	CD	1.5	HEAST
三氟硝铵	C	1.3	IRIS
氯乙烯	CL	3.8	HEAST
亚硝酸盐	C	1	-
铬	C	2.7	IRIS
镉	C	1.7	HEAST
铅	C	1.3	MCL
1,2-二氯乙烯	ND	0.2	IRIS
2,4-二氯苯氧基乙酸	N	0.5	IRIS
甲草胺	N	0.5	IRIS
滴灭威	N	1.3	IRIS
锑	N	1.9	IRIS
阿特拉津	N	0.8	IRIS
苯达松	N	1.1	IRIS
铍	N	0.8	IRIS
甲苯酚	N	0.2	IRIS
氰草津	N	1.2	IRIS
氰化物	N	2	IRIS
异狄氏剂	N	2.5	IRIS
六氯环戊二烯	ND	0.6	IRIS
铁	N	0.5	MCL
汞	ND	2	HEAST
甲氧氯	N	2.3	IRIS
镍	N	1	IRIS
硝基苯	ND	1.8	IRIS
硒	N	1	HEAST
银	N	1	IRIS
四氯乙烯	ND	0.5	IRIS

污染物名称	类型	毒性	
		T_i 评分	参考文献
钒	N	1	IRIS
甲基叔丁基醚	N	1.5	-

注：C 为致癌物质，N 为非致癌物质，D 为比水重的非水相有机物，L 为比水轻的非水相有机物

表 3　污染源毒性指标评分表

污染源类型		毒性类别	T_i 评分	缓冲区半径推荐值（km）
工业污染源		石油加工、炼焦及核燃料加工业	2.5	1.5
		有色金属冶炼及压延加工业	3	1
		黑色金属冶炼及压延加工业	2	1
		化学原料及化学制品制造业	2.5	2
		纺织业	1	2
		皮革、毛皮、羽毛（绒）及其制品业	1	2
		金属制品业	1.5	1
		其他行业	0.2	1
矿山开采区		煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业	1.5	1.5
		黑色金属矿采选业	2	1
		有色金属矿采选业	3	1
		非金属矿采选业	1	1
危险废物处置场		工业危废、危险化学品为主	2	1
垃圾填埋场		生活垃圾为主	1.5	2
加油站		石油烃类、多环芳烃类	2.5	1.5
农业污染源	农业种植	化肥、农药、重金属为主	1.5	1.5
	规模化养殖场	抗生素药物为主	1	1
高尔夫球场		农药	1.5	1.5
地表污水		工业、生活、农业废水排放等	1	1

注：矿山开采区和工业污染源分类参考 GB/T 4754

3.1.2.2污染源释放可能性

污染源释放可能性与其防护措施有着密切关系。一般情况下，有防护措施且存在年限时间较短，污染源释放可能性较低；若存在时间久、防护措施维护不当，则污染源释放可能性会增加；若未采取任何防护措施，污染源释放可能性认定为 1，评分标准详见表 4。

表 4　污染源释放可能性分级标准

污染源类型		释放可能性	L_i 评分
工业污染源		建厂时间 2011 年之后	0.2
		建厂时间 1998 年~2011 年之间	0.6
		建厂时间 1998 年之前或无防护措施	1
矿山开采区		毕产，矿井已回填	0.1
		毕产，矿井未回填	0.5
		在产	0.7
		尾矿库或转运站有防渗	0.5
		尾矿库或转运站无防渗	1
垃圾填埋场		≤5 年，无害化等级 I 级	0.1
		>5 年，无害化等级 I 级	0.2
		≤5 年，无害化等级 II 级	0.2
		>5 年，无害化等级 II 级	0.4
		≤5 年，无害化等级 III 级	0.4
		>5 年，无害化等级 III 级	0.5
		简易防护，无害化等级 IV 级	0.6
		无防护，无害化等级 IV 级	1
危险废物处置场		正规	0.1
		无防护措施	1
加油站		≤5 年，双层罐或有防渗池	0.1
		（5，15]年，双层罐或有防渗池	0.2
		>15 年，双层罐或有防渗池	0.5
		≤5 年，单层罐且无防渗池	0.2
		（5，15]年，单层罐且无防渗池	0.6
		>15 年，单层罐且无防渗池	1
农业污染源	农业种植	水田	0.3
		旱地	0.7
	规模化养殖场	有防护措施	0.3
		无防护措施	1
高尔夫球场		≤18 洞	0.1
		（18,36]洞	0.2
		>36 洞	0.5
地表污水		/	1

3.1.2.3可能释放污染物的量

可能释放污染物的量与污染源规模、污染物排放量等因素相关，污染源规模越大，污染物排放量越高，则可能释放到地下水中污染物的量越大，分级及评分标准详见表 5。

表 5　可能释放污染物的量分级及评分表

<table>
<tr><th colspan="2">污染源类型</th><th>类型</th><th>Q_i 评分</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="8">工业污染源
（废水排放量，单位：×10³t/a）</td><td>≤1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>（1,5]</td><td>2</td></tr>
<tr><td>（5,10]</td><td>4</td></tr>
<tr><td>（10,50]</td><td>6</td></tr>
<tr><td>（50,100]</td><td>8</td></tr>
<tr><td>（100,500]</td><td>9</td></tr>
<tr><td>（500,1000]</td><td>10</td></tr>
<tr><td>>1000</td><td>12</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">矿山开采区
（规模，单位：无量纲）</td><td>小型</td><td>3</td></tr>
<tr><td>中型</td><td>6</td></tr>
<tr><td>大型</td><td>9</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">垃圾填埋场
（填埋量，单位：×10³m³）</td><td>≤1000</td><td>4</td></tr>
<tr><td>（1000,5000]</td><td>7</td></tr>
<tr><td>>5000</td><td>9</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">危险废物处置场
（堆放量或填埋量，单位：×10³m³）</td><td>≤10</td><td>4</td></tr>
<tr><td>（10,50]</td><td>7</td></tr>
<tr><td>>50</td><td>9</td></tr>
<tr><td colspan="2">加油站
（容量为 30m³ 的油罐数量，单位：个）</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="11">农业污染源</td><td rowspan="4">农业种植
（化肥使用量，单位：kg/ha）</td><td>≤180</td><td>1</td></tr>
<tr><td>（180,225]</td><td>3</td></tr>
<tr><td>（225,400]</td><td>5</td></tr>
<tr><td>>400</td><td>7</td></tr>
<tr><td rowspan="7">规模化养殖场
（COD 排放量，单位：t/a）</td><td>≤2</td><td>1</td></tr>
<tr><td>（2,10]</td><td>2</td></tr>
<tr><td>（10,50]</td><td>4</td></tr>
<tr><td>（50,100]</td><td>6</td></tr>
<tr><td>（100,150]</td><td>8</td></tr>
<tr><td>（150,200]</td><td>9</td></tr>
<tr><td>>200</td><td>10</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="5">高尔夫球场
（占地面积，单位：hm²）</td><td>≤50</td><td>1</td></tr>
<tr><td>（50,100]</td><td>2</td></tr>
<tr><td>（100,200]</td><td>3</td></tr>
<tr><td>（200,300]</td><td>4</td></tr>
<tr><td>>300</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="5">地表污水（径流量，单位：m³/s）</td><td>≤100</td><td>1</td></tr>
<tr><td>（100,1000]</td><td>3</td></tr>
<tr><td>（1000,5000]</td><td>5</td></tr>
<tr><td>（5000,10000]</td><td>7</td></tr>
<tr><td>>10000</td><td>9</td></tr>
</table>

注： 1. 矿山规模参见“矿山生产建设规模分类一览表”（国土资发〔2004〕208 号）

2. 规模化养殖场评分中，可参见《主要污染物总量减排核算细则(试行)》，根据养殖场规模，按注表 1 初步估算出 COD 排放量

注表 1　畜禽类 COD、氨氮换算表

畜禽类别	猪	奶牛	肉牛	蛋鸡	肉鸡
COD（kg/个）	36	1065	712	3.32	0.99
氨氮（kg/个）	1.8	2.85	2.52	0.1	0.02

3.1.2.4单个污染源荷载风险等级划分

将单个污染源风险（P_i）按公式（3-1）进行计算，计算结果 P_i 值由大到小排列，根据取值范围分为低、较低、中等、较高、高 5 个等级，在 GIS 环境下计算得出每一类污染源的荷载风险等级分区图。

3.1.3 综合污染源荷载评估方法

根据区域上各类污染源分布和污染特性，评价综合污染源荷载等级，并依据各类污染源计算结果迭加形成污染源荷载等级图。荷载综合指数计算公式:

$$PI = \sum W_i \times P_i \qquad (3\text{-}2)$$

式中，PI 表示污染源荷载综合指数，W_i 表示第 i 类污染源类型的权重（见表 6），P_i 表示第 i 类污染源的荷载。PI 值越大，表明污染源荷载越大。

表 6　荷载指标权重 Wi 推荐值表

评估因子	工业污染源	矿山开采区	垃圾填埋场	危险废物处置场	加油站	农业污染源	高尔夫球场	地表污水
权重	5	5	3	4	3	2	1	1

3.1.4 地下水污染源荷载评分结果及分区

根据地下水污染源荷载评价标准（见表 7），对区域地下水

污染源荷载评分结果进行分级，按污染源荷载综合指数值 PI 由大到小依次为高、较高、中等、较低、低 5 个等级，形成地下水污染源荷载评估分区图。

表 7　地下水污染源荷载评价标准

地下水污染源荷载综合指数值 PI	[0,20]	（20,40]	（40,60]	（60,80]	（80,200]
地下水污染源荷载级别	低	较低	中等	较高	高

3.2 地下水脆弱性评估

地下水脆弱性评估主要针对浅层地下水，与污染源或污染物的性质和类型无关，主要取决于地下水所处的地质与水文地质条件。因此，地下水脆弱性评估需在判定地下水类型（孔隙水、岩溶水和裂隙水）后，识别不同类型地下水脆弱性的主控因素，并收集相应的指标资料。

资料来源于水文地质调查、环境地质调查、气象、土壤质地类型、地下水监测孔钻孔报告等。

3.2.1 孔隙水/裂隙水脆弱性评估

孔隙水/裂隙水脆弱性评估建议采用 DRASTIC 模型，在应用过程中可根据水文地质条件的差异性予以调整。DRASTIC 模型由地下水位埋深（D）、垂向净补给量（R）、含水层厚度（A）、土壤介质（S）、地形坡度（T）、包气带介质类型（I）和含水层渗透系数（C）等 7 个水文地质参数组成。模型中每个指标都分成几个区段，每个区段赋予评分。然后根据每个指标对脆弱性影响大小计算相应权重，最后通过加权求和，得到地下水脆弱性指

数（DI）。

$$DI = D_w D_R + R_w R_R + A_w A_R + S_w S_R + T_w T_R + I_w I_R + C_w C_R \qquad (3\text{-}3)$$

式中，DI 表示地下水脆弱性指数，字母 D、R、A、S、T、I、C 说明参见表 8，下标 R 表示指标值，下标 W 表示指标的权重。根据 DI 值，将脆弱性分为低、较低、中等、较高和高 5 个等级。DI 值越高，地下水脆弱性越高，反之脆弱性越低。

孔隙水/裂隙水脆弱性各评估指标的数据来源、说明及推荐权重见表 8，指标等级划分和赋值见表 9。

表 8　DRASTIC 模型各指标说明和权重推荐值

指标	数据来源	说明	推荐权重
地下水位埋深（D）	水平年高水位期地下水水位统测资料	地下水位埋深指地表到潜水面的距离，单位为 m，精度至少满足 1:5 万	5
垂向净补给量（R）	降水量减去地表径流量和蒸散量或降水量乘以降水入渗系数	以大气降水为区域潜水补给最主要来源时，可近似采用降水入渗补给量代替垂向净补给量；在有其他主要的补给途径时，要综合考虑各种补给来源对潜水的补给量。在农灌区需迭加灌溉回归量，在地表水和地下水有水力联系的评估区需迭加地表水渗漏量。单位为 mm/a	4
含水层厚度（A）	含水层顶底板等值线图或钻孔资料	含水层厚度可以从含水层顶、底板等值线图中计算得出，或从钻孔资料分析得出，单位为 m，按 2 个钻孔/100 km^2~4 个钻孔/100 km^2 分析	3
土壤介质（S）	钻孔柱状图或区域土壤分区图	土壤层为地表厚度 2m 或小于 2m 的风化层，按 4 个钻孔/100 km^2~10 个钻孔/100 km^2 分析	2
地形坡度（T）	DEM 坡度提取	利用 1:5 万或 1:1 万地形图的 DEM 提取后，在 GIS 中可自动生成坡度值，单位为%	1
包气带介质类型（I）	钻孔柱状图或野外剖面	包气带是指潜水水位以上或承压含水层顶板以上、土壤层以下的非饱和区或非连续饱和区的岩层，根据钻孔资料获取包气带介质类型。按 4 个钻孔/100 km^2~10 个钻孔/100 km^2 分析计算，以专家和有经验的水文地质工作者进行判断定名，或者收集已完成的包气带岩性图	5
含水层渗透系数（C）	经验值或野外抽水试验	含水层渗透系数从野外抽水试验获取，或从钻孔资料分析得出，按 2 个钻孔/100 km^2~4 个钻孔/100 km^2 分析，单位为 m/d	3

表 9　孔隙水/裂隙水脆弱性评估指标等级划分和赋值

指标	评分									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	>30	（25,30]	（20,25]	（15,20]	（10,15]	（8,10]	（6,8]	（4,6]	（2,4]	≤2
R	0	（0,51]	（51,71]	（71,92]	（92,117]	（117,147]	（147,178]	（178,216]	（216,235]	>235
A	>50	（45,50]	（40,45]	（35,40]	（30,35]	（25,30]	（20,25]	（15,20]	（10,15]	≤10
S	非涨缩和非凝聚性粘土（岩石）	粘质壤土（粘土）	粉质壤土	壤土	砂质壤土（砂土）	胀缩或凝聚性粘土	粉砂、细砂	砾石/中砂、粗砂	卵砾石	薄或缺失
T	>10	（9,10]	（8,9]	（7,8]	（6,7]	（5,6]	（4,5]	（3,4]	（2,3]	≤2
I	粘土	亚粘土	亚砂土	粉砂	粉细砂	细砂	中砂	粗砂	砂砾石	卵砾石
C	[0,4]	（4,12]	（12,20]	（20,30]	（30,35]	（35,40]	（40,60]	（60,80]	（80,100]	>100

注：各参数指标赋值标准单位见表 8

根据上述各指标的评分和权重值，经计算可知地下水脆弱性综合指数取值范围为 23~230。综合指数值与脆弱性评价结果级别的对应关系如表 10 所示。

表 10　孔隙水/裂隙水脆弱性评价结果等级划分推荐值

地下水脆弱性综合指数值 DI	≤70	（70,100]	（100,120]	（120,150]	＞150
地下水脆弱性级别	低	较低	中等	较高	高

3.2.2 岩溶水脆弱性评估

岩溶地区具有独特的地质构造和地形地貌，本指南建议采用 PLEIK 模型进行岩溶区地下水脆弱性评估。该模型共包括 5 个指标：P 为保护性盖层厚度，L 为土地利用类型，E 为表层岩溶带发育强度，I 为补给类型，K 为岩溶网络系统发育程度。具体评

估过程可参考附录 A。

3.2.3 地下水脆弱性评分结果及分区

综上，地下水脆弱性评估结果是对地下水脆弱性指数进行分级，一般按脆弱性由高到低依次为高、较高、中等、较低、低 5 个等级，在 GIS 环境下计算得出地下水脆弱性评估分区图。

若评估内存在采空塌陷区和岩溶塌陷区，则其脆弱性评估结果应直接给定为高。

3.3 地下水污染现状评估

地下水污染现状评估主要针对不同的地下水使用功能区的地下水污染程度。评价指标主要为“三氮”、重金属和有机类等指标，其中，重金属和有机类评估指标至少要包括《有毒有害水污染物名录》明确的有毒有害污染物。通过扣除背景值的方式进行评估，可直观反映人为影响的污染状况，根据评估指标超过地下水使用功能的程度进行分区。

3.3.1 地下水使用功能分区

地下水的使用功能主要包括饮用水、农业用水、工业用水等，对于其他不确定使用功能的地下水定义为“其他类”。通过完成对不同使用功能的调查，并在 GIS 环境下编制形成地下水使用功能分区图，当同一区域内地下水存在多种使用功能时，按照最高使用功能确定该区域的地下水功能。

资料主要来源于水文地质调查、水利普查、环境影响评价报告、土地利用类型调查等，详见表 11。

表 11　地下水使用功能分类表

编号	使用功能类型	资料来源
1	饮用水（城市及农村集中式）	水文地质调查、水利普查、饮用水水源基础环境状况调查评估报告、饮用水水源保护区划分报告及水源保护区划定矢量文件、农村供水水利工程报告
2	农业用水	水利普查、水文地质调查、土地利用类型调查、农业灌溉区评估报告
3	工业用水	环评报告、取水许可
4	其他类	无

3.3.2 地下水污染现状评估方法

地下水污染现状评估水质资料来源包括区域地下水监测、在产企业自行监测、土壤污染状况调查和详查等地下水水质监测数据。根据收集的资料和调查的结果，参照 GB/T 14848、GB 5084 以及相关水质标准，根据公式（3-4）分别对“三氮”、重金属和有机类等指标进行地下水污染分级。

$$P_{ki} = \frac{C_{ki} - C_{oi}}{C_{bi}} \qquad (3\text{-}4)$$

式中，P_{ki} 为 k 水样 i 指标的污染指数；C_{ki} 为 k 水样 i 指标的检测结果；C_{oi} 为 k 水样 i 指标的对照值或 i 指标的区域背景值；C_{bi} 为 k 水样 i 指标满足地下水使用功能的标准限值，无明确使用功能时取对照值或背景值与 GB/T 14848 中 IV 类标准限值中的较大值。

3.3.3 地下水污染现状评估结果及分区

根据地下水污染指数的计算结果，“三氮”、重金属和有机类

等污染指标在评估区内污染分级标准见表 12。根据上述结果编制地下水污染现状分区图件，主要反映地下水中“三氮”、重金属和有机类污染物在评估区的空间分布情况。

表 12　地下水污染现状评估标准

污染分级	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
指数范围	≤0	（0,1.0]	（1.0,2.0]	（2.0,3.0]	>3.0

3.4 地下水污染防治分区划分

3.4.1 地下水污染防控值的计算

根据地下水污染源荷载（PI）、脆弱性（DI）的评分结果，采用公式（3-5）计算得出不同区域的防控值。

$$R = PI \times DI \qquad (3\text{-}5)$$

式中，R 表示评价区的防控值，PI 表示污染源荷载综合指数，DI 表示脆弱性综合指数。结果一般采用等间距法划分为高、中、低 3 个等级，在 GIS 环境下计算成图。

3.4.2 地下水污染防治分区划分结果

3.4.2.1保护区的划分

对于明确存在集中式地下水型饮用水使用功能的区域，则评定为保护区。二级区划需按照 HJ 338 所确定的一级保护区、二级保护区及准保护区进行分区和分级。若未划定准保护区的，则参见 HJ 338 将地下水型饮用水源补给区划分为准保护区。

3.4.2.2治理区的划分

对于地下水污染现状评估结果为 III 级及以上的工业、农业使用功能区或超过可接受健康风险水平的其他使用功能区，则评

定为治理区。若存在已发现造成地下水污染的污染地块，也应一并纳入治理区。

治理区一般分为三级，即优先治理区（地下水污染现状评估结果为 V 级的工业使用功能区）、重点治理区（地下水污染现状评估结果为 III 级、IV 级的工业使用功能区，地下水污染现状评估结果为 V 级的农业使用功能区，以及超过可接受健康风险水平的其他使用功能区）、一般治理区（地下水污染现状评估结果为 III 级、IV 级的农业使用功能区）。

3.4.2.3**防控区的划分**

对于地下水污染现状评估结果为 I、II 级的农业、工业及未超过可接受健康风险水平的其他使用功能区，评定为防控区。

防控区一般分为三级，即优先防控区（未超过可接受健康风险水平且污染防控值高的其他使用功能区，以及地下水污染现状评估结果为 I 级、II 级且污染防控值高的农业、工业使用功能区）、重点防控区（未超过可接受健康风险水平且污染防控值中或低的其他使用功能区，以及地下水污染现状评估结果为 II 级且污染防控值中或低的农业、工业使用功能区）、一般防控区（地下水污染现状评估结果为 I 级且污染防控值中或低的农业、工业及其他地下水使用功能区）。此外，在地下水作为重要供水水源的地区，可将富水性好（单位涌水量 > 5000 m^3/d）或具备潜在饮用功能的区域划定为优先防控区。

3.4.2.4区划结果修正

根据初步确定的地下水污染防治分区划分结果，即根据地下水使用功能和污染现状得出一级区划结果，分为保护区、防控区、

治理区。再根据不同的使用功能、区划防控值的高低又得到不同优先等级的二级区划结果，具体结果分析见表 13。最后，根据评估区内国土空间规划、“三线一单”、行政区划等国土空间管控相关的制度规范性文件，调整各一级和二级区划分结果，力求地下水污染防治分区划分结果贴合实际管理需求，能够真正地服务于地方管理。

考虑到地层构造及沉积作用，部分地区（如华北平原）地层沉积以砂、砂砾石、粘性土层等相互交错出现，含水层存在单层向多层过渡分布的规律。建议在有条件的情况下，可开展地下水污染防治分区立体分层区划，在单一结构含水层和多层结构含水层分别考虑相应的地下水脆弱性、地下水使用功能和地下水污染现状特点，获得立体式分层区划分结果。

根据地下水使用功能和污染状况等因素的变化情况，可适时调整划分结果。若后续监测过程中发现不同区域内地下水污染状况发生明显变化，或地下水使用功能存在重大调整时，则需要对划分范围进行修改，调整保护区、防控区和治理区的划分结果。

在进行不同评估区域区划结果整合时，若出现因评价尺度不统一造成评价结果无法以区域形式呈现时，可在小比例尺图上以标注点的形式标注区划结果和防治措施。

表 13　地下水污染防治分区划分结果分析详表

一级区划	二级区划	使用功能	污染指数	防控 R 值	对策建议（推荐）
保护区	一级保护区	地下水型饮用水源一级保护区	/	/	依据国家和地方有关法律，禁止在饮用水水源一级保护区内新建、改建、扩建与供水设施和保护水源无关的建设项目；已建成的与供水设施和保护水源无关的建设项目，由县级以上人民政府责令拆除或者关闭。禁止在饮用水水源一级保护区内从事网箱养殖、旅游、游泳、垂钓或者其他可能污染饮用水水体的活动。其余技术要求参照 HJ 773 执行。若扣除天然背景值影响后，水质未能达到 III 类水质标准要求的，应采取必要的水处理措施，并开展地下水污染修复工程，确保供水安全
	二级保护区	地下水型饮用水源二级保护区	/	/	禁止在饮用水水源二级保护区内新建、改建、扩建排放污染物的建设项目；已建成的排放污染物的建设项目，由县级以上人民政府责令拆除或者关闭。在饮用水水源二级保护区内从事网箱养殖、旅游等活动的，应当按照 HJ 773 等规定采取措施，防止污染饮用水水体。若扣除天然背景值影响后，水质未能达到 III 类水质标准要求的，应开展地下水污染修复工程，确保取水口水质稳定达标
	准保护区	地下水型饮用水源准保护区（或地下水型饮用水源补给区）	/	/	禁止在饮用水水源准保护区内新建、扩建对水体污染严重的建设项目；改建建设项目，不得增加排污量。禁止建设城市垃圾、粪便和易溶、有毒有害废物的堆放场所，因特殊需要建立转运站的必须经有关部门批准并采取防渗漏措施；化工原料、矿物油类及有毒有害矿产品的堆放场所必须有防雨、防渗措施；不得使用不符合 GB 5084 的污水进行灌溉。其余技术要求参照 HJ 773 执行。若扣除天然背景值影响后，准保护区或补给区内监测结果显示未能达到 III 类水质标准要求的，应制定水质达标方案或采取相应修复或风险管控措施，确保取水口水质稳定达标

一级区划	二级区划	使用功能	污染指数	防控 R 值	对策建议（推荐）
防控区	优先防控区	其他	III 级、IV 级、V 级，且未超过可接受健康风险水平	高	定期开展环境监测，并采取相应的防控措施阻止污染进一步扩散，一旦发现地下水污染风险不可接受，需将防控区调整为治理区
		农业、工业及其他	I 级、II 级	高	若该区域荷载较高，则加强地下水环境监测；若该区域脆弱性较高，应严格新、改、扩建重污染建设项目准入
	重点防控区	其他	III 级、IV 级、V 级，且未超过可接受健康风险水平	中、低	建议采用必要的制度控制措施，防止污染进一步扩散
		农业、工业及其他	II 级	中、低	可在防控值相对较低、条件较好的防控区内新建建设项目，但须按照环境影响评价政策，做好相应的地下水污染防渗措施等
	一般防控区	农业、工业及其他	I 级	中、低	严格执行环境影响评价政策，做好相应的地下水污染防渗措施等。可在防控值相对较低、条件较好的防控区内新建建设项目
治理区	优先治理区	工业	V 级	/	参照 HJ 25.6，开展治理区地下水修复和风险管控工作，尤其是污染物属于《有毒有害水污染物名录》的，应优先开展治理工作
	重点治理区	工业	III 级、IV 级	/	参照 HJ 25.6，开展治理区地下水修复和风险管控工作，尤其是污染物属于《有毒有害水污染物名录》的，应优先开展治理工作
		农业	V 级	/	开展地下水污染修复工作，或更换井灌区灌溉用水
		其他	III 级、IV 级、V 级，且超过可接受健康风险水平	/	开展治理区污染源排查，必要时开展地下水环境状况调查，确定污染来源和路径，并进行污染风险评估。参照 HJ 25.6，针对风险不可接受的区域开展修复或风险管控方案制定，确定修复目标或风险管控目标，启动地下水污染修复工作
	一般治理区	农业	III 级、IV 级	/	更换井灌区灌溉用水，在有条件的情况下，逐步开展地下水污染修复工作，根据土地功能和地下水污染途径，制定修复目标，筛选修复技术，推进农田生态修复的示范工程

注：“其他”指不明确地下水使用功能区域

第四章　报告编制要求

4.1 报告文本

通过对评估区行政区划情况、土地利用类型、水文地质条件、地下水环境现状和地下水污染源情况等进行分析，开展地下水污染源荷载评估、地下水脆弱性评估、地下水污染现状评估，基于上述评估结果，计算可得地下水污染防治分区划分结果，并提出不同分区的地下水污染防治对策建议。地下水污染防治分区划分报告编制大纲可参见附录 B。

4.2 成果图

成果图主要包括地下水污染源荷载、脆弱性、污染现状评估过程中的单指标分级图等。基于 GIS 空间分析平台，图件精度一般不小于 1:25 万，坐标系统采用 2000 国家大地坐标系，空间数据离散时建议采用“克里金法”（Kriging）进行插值。

表 14　地下水污染防治分区划分所需成果图（GIS）需求表

评估内容	资料图	单指标分级图	评价结果图	数量	备注（“数量”计算不含资料图）
污染源荷载	地下水“双源”清单图、土地利用类型图	工业污染源、矿山开采区、危险废物处置场、垃圾填埋场、加油站、农业污染源、高尔夫球场、地表污水等地下水污染源荷载分级图	地下水污染源荷载评估分区图	≥2	成果图的数量可随污染源数量的增加或减少而变化
脆弱性	综合水文地质平面图和剖面图，钻孔柱状图、DEM 高程图等	孔隙水/裂隙水：地下水水位埋深、净补给量、含水层厚度、土壤介质类型、地形坡度、包气带介质类型、含水层渗透系数分级图	地下水脆弱性评估分区图	8	成果图的数量可随影响指标的增加或减少而变化
		岩溶水：保护性盖层厚度、土地利用类型、表层岩溶带发育强度、补给类型、岩溶网络系统发育程度分级图		6	
污染现状	地下水系统分区图、地下水（环境）功能区划图等	地下水使用功能分布图、地下水三氮（硝酸盐、亚硝酸盐及氨氮）、重金属（铅、汞、铬、镉和类金属砷等）和有机类（二氯甲烷、三氯甲烷、三氯乙烯、四氯乙烯、多氯联苯、酚类、石油类等）等污染评估图	地下水污染现状评估分区图	≥4	成果图的数量根据污染指标的数量增加
分区划分	（采用前三项评估的结果图）	区划防控值分级图	地下水污染防治分区划分成果图	≥1	除地下水污染防治分区图外，成果图也可按防控类型编制“XX 地区保护区/防控区/治理区分布图”

4.3 成果表

本指南的成果表主要用来分析保护区、治理区和防控区的占地面积与空间贡献率（如表 15，也可采用饼状图进行分析）；也可进一步分析防控区内地下水污染源荷载、脆弱性和污染现状评估结果的空间贡献情况，以加强地下水污染防治措施的有效性和落地性。

表 15 地下水污染防治分区划分结果汇总表

一级区划	二级区划	面积（km^2）	占评估区百分比（%）	防治措施
（区划评估区名称：如 XX 省、区、市）	合计		100%	
保护区	一级保护区			
	二级保护区			
	准保护区			
防控区	优先防控区			
	重点防控区			
	一般防控区			
治理区	优先治理区			
	重点治理区			
	一般治理区			

附录 A
（资料性附录）
岩溶区地下水脆弱性评估指标说明

A.1 保护性盖层（P）

保护性盖层通常是指地下水位以上的所有岩土层，既包括上覆非岩溶地层（如第四系松散沉积物等土层），也包括地下水位以上的岩溶化地层（如表层带上部）。在岩溶区，保护性盖层对污染物的拦截作用显著，岩溶含水层上部覆盖的松散层通常被认为是影响地下水脆弱性的首要因素。本指标体系中的保护性盖层是指地下水位以上的非岩溶地层（如第四系松散沉积物等土层）；地下水位以上的岩溶化地层（如表层岩溶带上部），可参考表层岩溶带发育强度进行评价。

保护性盖层厚度与地下水滞留时间密切相关，是评价地下水脆弱性的重要特征参数；盖层越薄，地下水脆弱性越高。根据碳酸盐岩上覆地层（土层）存在与否及其透水性可将土层分为两种情况，再按边界范围划分为四类（见表 A.1）。

保护性盖层性质，包括结构、构造、有机质、粘土矿物、饱水度和导水率等与物理、化学和生物有关的特殊要素，使保护性盖层对大部分污染物具有潜在的降解（或吸附）功能。为此，采用 CEC（阳离子交换容量）这一可以体现上覆岩土层脆弱性的指标，与覆盖层厚度属性共同构成评分矩阵（见表 A.2）。分值越低，地下水脆弱性越低，系统的防污性能越强。

表 A.1　保护性盖层厚度属性分类

保护性盖层分级	特性描述	
	A.土层直接覆盖于灰岩或高渗透率的碎石上	B.土层覆盖于低渗透率的底层上，如湖积物、粘土等
P_1	土层厚度 0 cm ~20 cm	不超过 1 m 的底层上土层厚度 0 cm ~20 cm
P_2	土层厚度 20 cm ~100 cm	不超过 1 m 的底层上土层厚度 20 cm ~100 cm
P_3	土层厚度 100 cm ~150 cm	超过 1 m 的底层上土层厚度 20 cm ~100 cm 左右
P_4	土层厚度>150 cm	低渗透率的底层上覆土层厚度超过 100 cm，或者超过 8 m 的粘土或淤泥，或者非岩溶岩石地层

表 A.2　保护性盖层评分矩阵

保护性盖层	CEC 含量（meq/100g）			
	<10	10~100	100~200	>200
P_1	10	8	6	4
P_2	9	7	5	3
P_3	8	6	4	2
P_4	7	5	3	1

A.2 土地利用类型（L）

根据不同用途，土地利用类型可分为林地、草地、园地、耕地、裸地、村镇及工矿用地等六种，其属性分类详见表 A.3。

表 A.3　土地利用程度属性分类

土地利用类型及评分			特性描述
低↓高	林地	1	以乔木为主、植被覆盖率大于 60%的有林地（不包括幼林）
	草地	3	以灌丛、荒草为主的土地（包括幼林）
	园地	6	用于种植果树的土地
	耕地	8	用于耕种的土地（包括菜地）
	裸地	9	几乎无植被覆盖
	村镇及工矿用地	10	包括居民区、工厂和矿山用地、公路等工程建设用地

A.3 表层岩溶带发育强度（E）

表层岩溶带的发育主要受岩性、岩石结构、构造、地貌、水动力条件、土层及植被覆盖情况等因素影响。表层岩溶带发育程度可以通过两个基本的尺度来度量：垂直相交溶蚀通道在特定尺度内的平均深度和频率（即个数）；溶蚀通道包括岩溶节理、溶蚀裂缝、小溶沟、溶隙、溶管、小溶坑或竖井。表层岩溶带的发育分级可通过测量很方便地进行（见表 A.4）。

表 A.4　表层岩溶带属性分级

表层岩溶带类型及评分		特性描述
强烈发育的表层岩溶带	10	最小溶蚀间距（<0.25 m），典型溶蚀深度>2 m
高度发育的表层岩溶带	8	较近的溶蚀间距（<0.5 m），平均溶蚀深度 1m~2 m
中等发育的表层岩溶带	6	中等溶蚀间距（<1 m），平均溶蚀深度 0.5m~1.0 m
轻度发育的表层岩溶带	4	较大的溶蚀间距（>2 m），平均溶蚀深度小于 0.5 m
不明显发育的表层岩溶带	2	在基岩上观察不到表层岩溶的溶蚀发育
发育不清楚的表层岩溶带	1	表层岩溶带不可见或被厚层沉积物所覆盖

当表层岩溶带定量测量难度较大时，可以参照表 A.5 对水位之上的表层岩溶带进行分级。

表 A.5　表层岩溶带属性分级

表层岩溶带类型		E	备注
均匀状纯碳酸盐岩类	灰岩连续型，表层岩溶带强烈发育	10	中－厚层纯灰岩
	灰岩夹白云岩型，表层岩溶带高度发育	[8,9]	无非碳酸盐岩夹层，不纯碳酸盐岩夹层小于 10%
	灰岩－白云岩交互（间隔）型，表层岩溶带中等发育	[6,7]	
间层状碳酸盐岩类	断续状不纯碳酸盐岩型，表层岩溶带轻度发育	[4,5]	非碳酸盐岩夹层小于 15%，不纯碳酸盐岩厚度大于 50%
	非碳酸盐岩－不纯碳酸盐岩交互型，表层岩溶带不明显发育	[2,3]	非碳酸盐岩厚度大于 30%，不纯碳酸盐岩厚度大于 50%
不纯碳酸盐岩	表层岩溶带不发育	1	非碳酸盐岩厚度大于 50%，不纯碳酸盐岩厚度小于 30%

对于岩溶区内夹非岩溶区的情况，非岩溶区 E 因子赋值可根据岩石性质和构造缝发育密度来执行。对于硬质岩石（如砂岩、砾岩等），当构造裂缝发育密度大于 3 条/m、延伸长度大于 1 m 时，E 因子可赋值 3~4；当构造裂缝发育密度小于 0.5 条/m、延伸长度小于 1 m

时，E 因子可赋值 2~3。对于软质岩石（如泥岩、页岩）E 因子赋值为 1~2。

A.4 补给类型（I）

补给类型既包括岩溶含水层的补给类型，又包括补给强度。在覆盖型岩溶区，以面状入渗补给为主，同时还存在点状集中入渗补给（裸露区发育的落水洞等）。入渗补给量受降雨强度、土地利用类型及地形坡度的影响。补给类型属性分级见表 A.6。

对于夹于岩溶区内的非岩溶区，补给类型可根据平均地形坡度分别按 I_3、I_4 来考虑；对于地形坡度<10%的耕作、荒地区和坡度<25%的草地、林地区按 I_3 来考虑。

表 A.6　补给类型分级

补给类型	属性描述	
集中补给 ↓ 分散补给	I_1	落水洞或漏斗周围 500 m 区域或伏流两侧各 500 m 距离
	I_2	落水洞或漏斗周围 500 m~1000 m 之间且向落水洞汇流坡度>10%的耕作区和坡度>25%的草地区和伏流两侧 500 m~1000 m 之间
	I_3	落水洞或漏斗周围 500 m~1000 m 之间，且汇流坡度<10%的耕作区和坡度<25%的草地区
	I_4	上述之外的汇水区域

结合补给类型，地面入渗补给强度对岩溶水系统脆弱性的影响详见表 A.7。为体现风险评估意义，降雨强度可采用当地多年日最大降雨强度平均值。

表 A.7　入渗补给强度分级与评分

补给类型	雨强特性（mm/d）		
	<10	10~25	>25
I_1	4	[5，9]	10
I_2	3	[4，7]	8
I_3	2	[3，5]	6
I_4	1	[2，3]	4

A.5 岩溶网络发育情况（K）

岩溶网络发育评分可参考表 A.8、A.9，表 A.8 适于资料不足时的判断评分；表 A.9 采用地下水径流模数作为反映含水层岩溶网络发育的参数，可定量地评价含水层岩溶网络发育特征；地下水径流模数同样适用于岩溶区内分布的非岩溶含水层。另外，在无可利用监测资料时，还可参考表 A.5 简单地确定含水层岩溶网络发育程度。

表 A.8　岩溶网络发育程度分类

发育类型及评分		属性描述
强烈发育的岩溶网络	[8,10]	存在良好发育的岩溶网络（由分米级到米级的管道组成，连通性极好，很少阻塞）
弱发育的岩溶网络	[4,7]	存在微弱发育的岩溶网络（小型管道，连通性较差或被充填，分米级的或更小尺寸的空洞）
混合和裂隙含水层	[1,3]	孔隙区出露泉水，无岩溶发育，仅存裂隙含水层

地下水径流模数，亦称“地下径流率”，是 1 平方公里含水层分布面积上地下水的径流量；表示一个地区以地下径流形式存在的地下水量的大小。年平均地下径流模数可用下式求算：

$$M = Q/(86.4F) \tag{A.1}$$

式中，M 表示地下水径流模数，$L \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$；$F$ 表示含水层分布面积，km^2；Q 表示地下水天然径流量，m^3/d。

表 A.9　岩溶网络属性的径流模数分类

岩溶网络类型与评分		径流模数（$L \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$）
强烈发育的岩溶网络	[8,10]	>15
中等发育的岩溶网络	[6,7]	7~15
弱发育的岩溶网络	[4,5]	1~7
混合和裂隙含水层	[1,3]	<1

A.6 评价与分级

为定量评价地下水脆弱性大小，需要对 PLEIK 属性进行数值计算，主要包括两个部分：权重赋值确定与指标等级划分（见表 A.10）。计算方法见公式：

$$DI=P_wP_R+L_wL_R \tag{A.2}$$

其中，DI 值为脆弱性等级，DI 值越低，脆弱性越低；下标 W 和 R 分别表示指标的权重值和等级分值。

各指标权重赋值可采用层次分析法确定。方法如下：

将地下水脆弱性评价模型中各指标组成指标集：D=（P，L，E，I，K）=（保护性盖层，土地类型及利用程度，表层岩溶带，补给类型，岩溶网络发育程度）。

根据覆盖性岩溶区的水文地质条件，确定 5 个因子的相对重要性为：保护性盖层>土地类型及利用程度>表层岩溶带>补给类型>岩溶网络发育程度。由两两比较确定优先矩阵，再对优先矩阵进行一致矩阵转化并利用方根法进行归一化，得到最终的权重矩阵，再利用公式计算权重：

$$\overrightarrow{W} = (P_W, L_W, E_W, I_W, K_W) \tag{A.3}$$

$\vec{w} = (w_1, w_2, \ldots, w_5)$ 以广西柳州市、河池市、南宁市等为例计算得到的权向量为：

$$W=（0.29，0.24，0.20，0.16，0.11） \tag{A.4}$$

根据上述各指标的评分和权重值，经计算可知岩溶地下水脆弱性综合指数取值范围为 1~10。综合指数值与脆弱性评价结果级别的对应关系如表 A.10 所示。

表 A.10　岩溶地下水脆弱性评估结果等级划分推荐值

DI 值	[1,2]	（2,4]	（4,6]	（6,8]	（8,10]
脆弱性分级	低	较低	中等	较高	高

附录 B
（资料性附录）
地下水污染防治分区划分报告编制大纲

1 前言

包括地下水污染防治分区划分原则、任务目的、范围、精度和技术路线等。

2 评估区概况

包括评估区行政区划情况、土地利用类型、地表水系特征、水文地质条件、地下水环境现状和地下水污染源基本情况等。

3 地下水污染源荷载评估

包括区域内涉及的地下水污染源的污染物毒性、释放可能性及可能释放污染物的量计算结果等。

4 地下水脆弱性评估

包括评估区地下水类型确定、脆弱性评价方法筛选、脆弱性评估结果计算等。

5 地下水污染现状评估

基于地下水使用功能分区，计算得到的不同使用功能地下水污染分布情况。

6 地下水污染防治分区划分

包括地下水保护区、防控区、治理区划定结果等。

7 地下水污染防治分区对策建议

针对地下水保护区、防控区、治理区分别提出防治对策与建议。

8 附图