

地下水污染防治重点区划定 技术指南（试行）

2023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	3
第二章 工作内容和技術路线	5
2.1 工作内容	5
2.2 技术路线	5
第三章 技术方法	6
3.1 确定评估范围	6
3.2 收集资料	6
3.3 划定重点区	6
3.4 提出对策建议	10
3.5 编制报告和图件	10
第四章 质量控制	13
第五章 更新重点区划定成果	14
附录 A (资料性附录) 地下水富水性评估	15
附录 B (资料性附录) 孔隙水/裂隙水脆弱性评估	16
附录 C (资料性附录) 岩溶水脆弱性评估	18

附录 D (资料性附录) 地下水污染源荷载评估	23
附录 E (资料性附录) 地下水污染防治重点区划定报告编制大纲	31

地下水污染防治重点区划定技术指南（试行）

第一章 总 则

1.1 编制目的

为贯彻落实《地下水管理条例》《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》，规范地下水污染防治重点区划定，识别保护类区域和管控类区域，推动地下水环境分区管理、分级防治，将《地下水污染防治分区划分工作指南》（环办土壤函〔2019〕770号）修订为《地下水污染防治重点区划定技术指南（试行）》（以下简称指南）。

1.2 适用范围

本指南适用于省级行政区域的地下水污染防治重点区划定工作。地市级、县级及其他行政区域的地下水污染防治重点区划定可参照执行。

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/T 4754 国民经济行业分类

GB/T 14157 水文地质术语

GB/T 14848 地下水质量标准

HJ 338 饮用水水源保护区划分技术规范

DZ/T 0288 区域地下水污染调查评价规范

DD 2019-04 水文地质调查图件编制规范 第 1 部分：水文地质图（1：50000）

《地下水型饮用水水源补给区划定技术指南（试行）》（环办便函〔2022〕335号）

《“三线一单”成果数据规范（试行）》（环办环评〔2018〕18号）

《关于调整部分矿种矿山生产建设规模标准的通知》（国土资发〔2004〕208号）

《主要污染物总量减排核算细则（试行）》（环发〔2007〕183号）

1.4 术语与定义

下列术语与定义适用于本指南。

地下水污染防治重点区：基于地下水资源保护、污染防治等管理需要，确定的应当加强地下水污染防治的区域，包括保护类区域和管控类区域。

保护类区域：为防止地下水型饮用水水源污染、保障水源水质，要求加以特殊保护的一定范围的区域，包括地下水型饮用水水源一级保护区、二级保护区、准保护区、补给区，以及矿泉水、名泉等特殊地下水资源保护区域。

管控类区域：除保护类区域外，基于地下水富水性、质量现状和脆弱性综合分析需加强地下水污染防治的重点区域。根据污染源荷载程度，进一步分为一级管控区和二级管控区。

一级管控区：管控类区域内，地下水污染源荷载高，措施以控

制风险、削减存量为主的区域。

二级管控区：管控类区域内，地下水污染源荷载中等或低，措施以预防污染、防止新增为主的区域。

地下水型饮用水水源补给区：开采条件下，地下水型饮用水水源开采井所能捕获的地下水的径向区域。

地下水富水性：以一定降深、一定口径下的单井涌水量来表征的含水层富水程度。

地下水功能价值：根据水量和水质确定的地下水开发利用的重要程度。

地下水脆弱性：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。

地下水污染源荷载：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。

1.5 指导原则

(1) 简单实用：地下水污染防治重点区划定方法在遵循科学规律的基础上，做到原理清晰简单、基础充分可靠、操作简便易行，提出对策建议要充分结合地下水环境保护需求和经济社会发展规划，清晰合理、明确实用。

(2) 突出重点：按照地下水“双源”（地下水型饮用水水源和地下水污染源）监管思路，以保护较高开发利用价值含水层为重点，加强水源水质保护，突出对地下水功能价值高且脆弱性高的区域的污染源管控。坚持实事求是、兼顾当前与长远，避免保护不足，防止保护过度。

(3) 适时调整: 根据地下水型饮用水水源、地下水污染源荷载、地下水功能价值等因素的变化情况, 结合地下水环境管理要求, 适时对地下水污染防治重点区的划定结果进行调整。

第二章 工作内容和技术路线

2.1 工作内容

地下水污染防治重点区划定包括保护类区域划定和管控类区域划定。通过收集地下水型饮用水水源保护区、准保护区、补给区，以及矿泉水、名泉等特殊地下水资源保护区域等资料，补充必要的调查工作，确定保护类区域。通过开展地下水功能价值评估、地下水脆弱性评估、地下水污染源荷载评估等工作，确定管控类区域。结合国土空间规划、生态环境分区管控方案、行政区划等，最终确定地下水污染防治重点区，地下水污染防治重点区以外的区域为一般区。针对不同分区，提出差别化对策建议，编制地下水污染防治重点区划定报告和图件。

2.2 技术路线

地下水污染防治重点区划定技术路线见图 1。

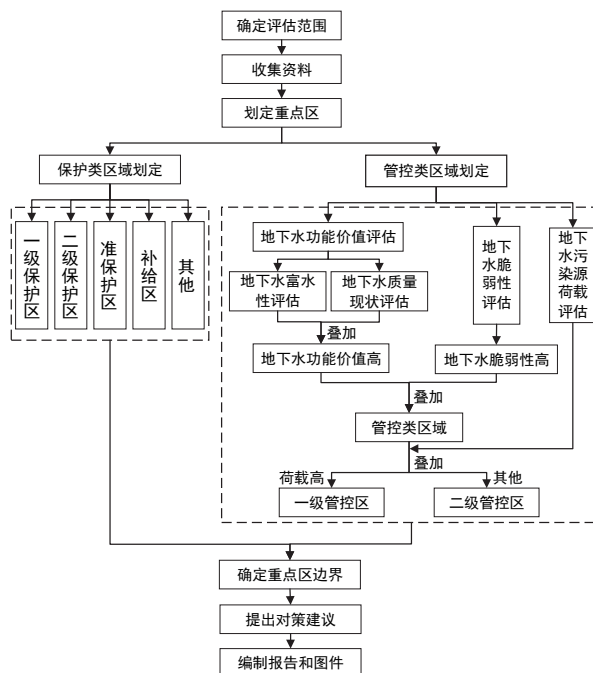


图 1 技术路线图

第三章 技术方法

3.1 确定评估范围

以行政区为评估范围，重点针对平原（含高平原）、盆地以及人类活动频繁的丘陵等地貌单元，可根据管理需要酌情将山地纳入评估范围。

3.2 收集资料

地下水污染防治重点区划定应充分收集水源基本情况、矿泉水和名泉等特殊地下水资源情况、水文地质条件、气象水文条件、地下水质量状况、污染源信息、生态环境分区管控成果等相关资料，如地下水型饮用水水源保护区及补给区划分技术报告、区域水文地质调查报告、地下水环境状况监测及调查报告、重点行业企业用地土壤污染状况调查报告、第二次全国污染源普查报告、生态环境分区管控研究报告及准入清单等相关资料，并开展必要的补充调查工作。

3.3 划定重点区

3.3.1 保护类区域划定

保护类区域包括地下水型饮用水水源一级保护区、二级保护区、准保护区、补给区，以及矿泉水、名泉等特殊地下水资源保护区域。其中，对已划定的水源一级保护区、二级保护区、准保护区，以收集资料为主；未划定的，参照 HJ 338 划定。对已划定的补给区，以收集资料为主；未划定的，参照环办便函〔2022〕335 号划定。矿泉水、名泉等特殊地下水资源保护区域以收集资料为主。

3.3.2 管控类区域划定

基于地下水功能价值评估、地下水脆弱性评估结果，扣除保护

类区域，划定管控类区域，结合地下水污染源荷载评估结果，将管控类区域划分为一级管控区和二级管控区。

3.3.2.1 地下水功能价值评估

根据地下水富水性和质量现状评估结果，识别地下水功能价值高的区域。

(1) 地下水富水性评估

以潜水为主，兼顾承压水。针对不同介质类型的含水层，根据地下水丰富程度，将富水性评估结果分为强、中等、弱三个级别，评估方法见附录 A，在 GIS 环境下计算得出地下水富水性分区图。

(2) 地下水质量现状评估

1) 以潜水为主，兼顾承压水。监测指标应至少包括 GB/T 14848 中扣除微生物指标和放射性指标外的 35 项常规指标，参照 GB/T 14848 对地下水质量进行评价。水质评价所采用的水质资料应能够代表区域水质现状，原则上以近 5 年内的水质数据为主，以资料收集为主，必要时开展补充调查。将水质类别 I~III、IV、V 类分别评估为好、中等、差三个级别，在 GIS 环境下计算得出地下水质量现状分区图。

2) 进行地下水质量现状分区时，应同时满足以下条件：

①水质监测点位于具有水力联系的同一含水层；

②监测点位相对均匀分布，监测点位数量不宜低于 DZ/T 0288 要求，山区和丘陵区按 0.5~1 组/100km² 取样，平原地区按 3~4 组/100km² 取样，可根据污染源分布情况、人类活动集中程度等因地制宜适当调整点位数量。

(3) 地下水功能价值评估结果

1) 根据地下水富水性和质量现状评估结果，叠加形成地下水功能价值矩阵，见表 1。

2) 地下水功能价值高的区域原则上包括富水性强水质好、富水性强水质中等、富水性中等水质好的区域，以及将地下水作为唯一供水来源的区域、地下水储备区。

3) 地下水功能价值中等的区域，可根据供水现状及管理需要，纳入地下水功能价值高的区域。

表 1 地下水功能价值矩阵表

富水性 \ 质量现状	好	中等	差
强	高	高	中等
中等	高	中等	低
弱	低	低	低

3.3.2.2 地下水脆弱性评估

(1) 孔隙水、裂隙水的脆弱性评估建议采用 DRASTIC 模型，岩溶水的脆弱性评估建议采用 PLEIK 模型，评估方法分别见附录 B 和附录 C。当多种地下水类型交互存在时，建议采用两种方法分别进行脆弱性评估，本着“应纳尽纳”的原则，通过图形叠加取高值确定地下水脆弱性。根据水文地质条件差异对评估方法进行调整的，需经专家论证。

(2) 根据评估结果，将地下水脆弱性分为高、中等、低三个级别，在 GIS 环境下计算得出地下水脆弱性分区图。

(3) 采空塌陷区和岩溶塌陷区等地下水脆弱性为高。

3.3.2.3 地下水污染源荷载评估

(1) 在对各类污染源进行单个污染源荷载评估的基础上，开展

综合污染源荷载评估，评估方法见附录 D。

(2) 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。

(3) 将污染物毒性、污染源释放的可能性和可能释放污染物的量进行乘积，计算得出单个污染源荷载评估结果，并采用等间距法分为高、中等、低三个级别。

(4) 综合污染源荷载评估应根据各类地下水污染源权重，叠加单个污染源荷载评估结果，并按地下水污染源荷载评估标准(见表 2)分为高、中等、低三个级别，在 GIS 环境下得出综合污染源荷载分区图。

表 2 地下水污染源荷载评估标准

地下水污染源荷载综合指数值	[0, 40]	(40, 60]	>60
地下水污染源荷载级别	低	中等	高

3.3.2.4 管控类区域的划定结果

(1) 将地下水功能价值高且地下水脆弱性高的区域(扣除保护类区域)划定为管控类区域，其中，污染源荷载高的区域为一级管控区，其他区域为二级管控区。

(2) 根据管理需要，可以调整管控类区域及其优先级，如可将功能价值高、脆弱性为中等的区域纳入管控类区域，在此基础上，将其中的污染源荷载中等的区域纳入一级管控区。亦可根据管理需要将其他污染源荷载高的区域及地下水污染区域等纳入管控类区域，优先级视情况进一步确定。

3.3.3 确定重点区边界

在划定保护类区域和管控类区域的基础上，根据国土空间规划、生态环境分区管控方案、行政区划等，合理确定地下水污染防治重点区，充分利用具有永久性的明显标志，如分水线、行政区界线、公路、铁路、桥梁、大型建筑物、水库大坝、水工建筑物、河流汉口、航道、输电线、通信线等标示，确定地下水污染防治重点区的地理界线、并修改完善电子图件。按照顺时针方向确定主要拐点的经纬度坐标，最终确定重点区边界、坐标表。

3.4 提出对策建议

针对不同分区，依据相关法规标准提出对策建议。地下水型饮用水水源保护区按照相关法律从环境准入等方面开展管控，补给区从环境状况和污染风险等方面开展调查评估，采取相应的风险防范措施；矿泉水、名泉等特殊地下水资源保护区域依据国家、地方相关管理要求开展差异化管控；管控类区域中一级、二级管控区按照相关法律法规从环境监测、隐患排查、风险管控、环境准入等方面开展差异化管控。一般区按照相关法律法规、管理办法等开展常态化管理。

3.5 编制报告和图件

包括报告文本、成果图、成果表等，相关成果数据的内容、形式和结构可参照环办环评〔2018〕18号整理。

3.5.1 报告文本








报告文本主要包括地下水污染防治重点区划定原则、基本概况、保护类区域和管控类区域划定、地下水污染防治重点区划定成果、对策建议、质量控制及相关附图和附表等。地下水污染防治重点区划定报告编制大纲见附录 E。

3.5.2 成果图

成果图主要包括地下水功能价值、脆弱性、污染源荷载评估过程中的单指标分区图及综合指标分区图等。基于 GIS 空间分析平台，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）等方法进行插值。图例格式见表 3。

表 3 地下水污染防治重点区电子地图图例格式要求

图例名称	图例格式	配色方案	大小/磅
一级保护区线		RGB (255,0,0)	1
二级保护区线		RGB (255,255,0)	1
准保护区线		RGB (0,112,255)	1
补给区线		RGB (0,160,0)	1
饮用水水源一级保护区		RGB (255,0,0)	/
饮用水水源二级保护区		RGB (255,255,0)	/
饮用水水源准保护区		RGB (0,92,230)	/
饮用水水源补给区		RGB (0,160,0)	/
富水性强		RGB (80,130,50)	/
富水性中等		RGB (205,205,100)	/
富水性弱		RGB (200,225,180)	/
质量现状好		RGB (0,255,0)	/
质量现状中等		RGB (255,255,150)	/
质量现状差		RGB (255,0,0)	/
功能价值高		RGB (215,170,130)	/
功能价值中等		RGB (175,195,125)	/
功能价值低		RGB (240,235,160)	/
脆弱性高		RGB (190,145,0)	/

图例名称	图例格式	配色方案	大小/磅
脆弱性中等		RGB (170,210,140)	/
脆弱性低		RGB (255,230,150)	/
污染源荷载高		RGB (130,90,0)	/
污染源荷载中等		RGB (255,170,0)	/
污染源荷载低		RGB (230,250,220)	/
一级管控区		RGB (100,60,5)	/
二级管控区		RGB (255,230,150)	/

3.5.3 成果表

成果表主要包括地下水污染防治重点区各级分区的面积、占比及重点区主要拐点坐标，地下水污染防治重点区划定结果汇总表样见表 4。

表 4 地下水污染防治重点区划定结果汇总表

一级分区	二级分区	面积 (km ²)	占行政区比例 (%)	主要拐点坐标
(XX 省、区、市)	合计			
保护类区域	一级保护区			
	二级保护区			
	准保护区			
	补给区			
	其他			
	小计			
管控类区域	一级管控区			
	二级管控区			
	小计			

注 1：“补给区”为扣除一级、二级和准保护区外的其他主要补给区域。

注 2：“其他”为矿泉水、名泉等特殊地下水资源保护区域。

第四章 质量控制

为确保地下水污染防治重点区划定工作质量，保障划定成果科学合理，符合地方实际，应针对评估范围确定、资料收集、重点区划定、重点区边界及对策建议确定、报告和图件编制等环节开展质量控制，主要从以下五方面进行检查。

1.评估范围是否包括平原（含高平原）、盆地以及人类活动频繁的丘陵等地貌单元。

2.资料收集是否全面、数据来源是否真实有效；在现有工作基础不足的情况下，是否规范开展了必要的补充调查。

3.保护类区域划定是否全面、准确。管控类区域划定的富水性评估方法选取是否合理；地下水质量现状评估监测指标、点位分布及精度是否满足要求，水质分区是否综合考虑水文地质条件；脆弱性评估方法选取是否合理，各指标识别及量化是否准确，当对评估方法进行调整时是否充分论证其科学性；污染源荷载评估中地下水污染源类型是否全面，相关参数是否符合实际，计算过程及结果是否正确；重点区分区、分级方法是否符合要求，结合监管需求是否对重点区成果进行修正等。

4.重点区是否根据国土空间规划、生态环境分区管控方案、行政区划等合理确定，边界是否反映了所在水文地质单元的特征、是否充分利用永久性的明显标志进行确定；对策建议是否结合地方实际情况进行细化。

5.报告文本内容是否全面，成果图、成果表是否规范。

第五章 更新重点区划定成果

因国家与地方发展战略、地下水型饮用水水源、地下水功能价值、地下水污染源荷载等因素发生重大变化需调整的，可适时组织调整，原则上可每 3~5 年更新一次。

本指南自印发之日起实施。本指南印发前已印发的地下水污染防治分区划分方案或地下水污染防治重点区划定方案，有效期内可从其规定。

附录 A
(资料性附录)
地下水富水性评估

针对不同介质类型的含水层，选取合理的方法，评定含水层富水性等级。富水性等级，或称含水层资源量分级，反映地下水资源量的相对丰富程度，是含水层各项天然补给量总和的等级划分。富水性分级方法参照《水文地质手册（第二版）》和 DD 2019-04。各个地区应结合实际情况，根据地下水丰富程度，将富水性等级分为强、中等、弱三个级别。

A.1 松散岩类孔隙水

对松散岩类孔隙水，根据各含水岩组的结构、赋存条件与补给条件等综合因素，结合勘探孔或生产井单井涌水量（或单位涌水量）资料，按单井涌水量划分富水等级，单位为 m^3/d ，划分为 >1000 、 $100\sim 1000$ 、 <100 三个级别。

A.2 碎屑岩类裂隙孔隙水

对碎屑岩类裂隙孔隙水，根据碎屑岩承压水（指两个隔水层之间的含水层）组成的岩性、构造条件及补给条件，结合勘探资料，按单井涌水量划分富水等级，单位为 m^3/d ，划分为 >1000 、 $100\sim 1000$ 、 <100 三个级别。

A.3 碳酸盐岩类裂隙岩溶水

对碳酸盐岩类裂隙岩溶水，应根据岩性、构造、地貌、补给条件与水动力条件，结合勘探资料，按泉、地下河流量与地下水径流模数等综合因素，划分富水等级。

在泉流量资料或地下河测流资料较少的情况下，可将地下水径流模数作为划分碳酸盐岩类裂隙岩溶水富水等级的主要指标，单位为 $\text{L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ，划分为 >6 、 $3\sim 6$ 、 <3 三个级别。在泉流量资料或地下河测流资料较多的情况下，可采用泉或地下河流量统计结果，将多数常见泉（或地下河）的流量作为划分富水等级的指标，单位为 L/s ，划分为 >1000 、 $100\sim 1000$ 、 <100 三个级别。

A.4 基岩裂隙水

对基岩裂隙水，应根据岩性、构造、地貌、降水、植被等综合因素，结合泉流量统计与地下水径流模数划分富水等级。

在泉水流量资料较少的地区，可将地下水径流模数作为划分富水等级的指标，单位为 $\text{L}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ ，划分为 >6 、 $3\sim 6$ 、 <3 三个级别。在泉水流量资料较多的地区，可按流量统计结果划分富水等级，单位为 L/s ，划分为 >1 、 $0.1\sim 1$ 、 <0.1 三个级别。

附录 B
(资料性附录)
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，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) 7 个指标组成。模型将每个指标分为几个区段，每个区段分别赋予评分。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)。

$$DI = D_W D_R + R_W R_R + A_W A_R + S_W S_R + T_W T_R + I_W I_R + C_W C_R \quad (B.1)$$

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 B.1，下标 W 表示指标的权重，下标 R 表示指标的分值。根据 DI 值，将脆弱性分为高、中等、低三个级别。DI 值越高，地下水脆弱性越高，系统的防污性能越弱，反之脆弱性越低，系统的防污性能越强。

孔隙水/裂隙水脆弱性各评估指标的数据来源、说明及建议权重见表 B.1，指标等级划分和赋值见表 B.2。

表 B.1 DRASTIC 模型各指标说明和权重建议值

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。在农灌区需叠加灌溉回归量，在地表水和地下水有水力联系的区域需叠加地表水渗漏量。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 2~4 个钻孔/100 km ² 分析，含水层结构复杂区域应适量增加钻孔数量	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 <2m 的风化层，按 4~10 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

指标	数据来源	说明	推荐权重
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 4~10 个钻孔/100 km ² 分析计算, 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 2~4 个钻孔/100 km ² 分析, 单位为 m/d	3

表 B.2 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	非胀缩和非凝聚性粘土 (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 B.1。

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。DRASTIC 的地下水脆弱性级别与综合指数对应关系如表 B.3 所示。

表 B.3 孔隙水/裂隙水脆弱性评估标准

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

附录 C
(资料性附录)
岩溶水脆弱性评估

PLEIK 模型由保护性盖层 (P)、土地利用类型 (L)、表层岩溶带发育强度 (E)、入渗补给强度 (I)、岩溶网络发育程度 (K) 5 个水文地质参数组成。

C.1 保护性盖层 (P)

保护性盖层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。保护性盖层可用厚度和性质来表征。

保护性盖层厚度与地下水在包气带内的滞留时间密切相关。盖层越薄，地下水在包气带内的滞留时间越短，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 C.1）。

保护性盖层性质使其对大部分污染物具有潜在的降解（或吸附）功能，包括土层结构构造、有机质与粘土矿物含量、饱水度和导水率等与物理、化学和生物有关的特殊要素；通常可采用 CEC（阳离子交换容量）指标来表征，与覆盖层厚度属性共同构成评分矩阵（见表 C.2）。

表 C.1 保护性盖层厚度属性分类

保护性盖层 厚度分级	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地层上，如湖积物、粘土等
P1	土层厚度 (0,20] cm	不超过 1 m 的地层上覆土层厚度 (0,20] cm
P2	土层厚度 (20,100] cm	不超过 1 m 的地层上覆土层厚度 (20,100] cm
P3	土层厚度 (100,150] cm	超过 1 m 的地层上覆土层厚度 (20,100] cm
P4	土层厚度 >150 cm	低渗透率的地层上覆土层厚度 >100 cm，或者 >8 m 的粘土或淤泥，或者非岩溶岩石地层

表 C.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
P1	10	8	6	4
P2	9	7	5	3
P3	8	6	4	2
P4	7	5	3	1

C.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、裸土地、城镇村及工矿用地六种，其属性分类与评分详见表 C.3。

表 C.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 生长乔木、竹类、灌木的土地。不包括生长林木的湿地，城镇、村庄范围内的绿化林木用地，铁路、公路征地范围内的林木，以及河流、沟渠的护堤林用地
	草地	3 生长草本植物为主的土地，包括乔木郁闭度<0.1 的疏林草地、灌木覆盖度<40%的灌丛草地，不包括生长草本植物的湿地、盐碱地
	园地	6 种植以采集果、叶、根、茎、汁等为主的集约经营的多年生作物，覆盖度大于 50%或每亩株数大于合理株数 70%的土地，包括用于育苗的土地
	耕地	8 利用地表耕作层种植农作物为主，每年种植一季及以上（含以一年一季以上的耕种方式种植多年生作物）的土地，包括熟地，新开发、复垦、整理地，休闲地（含轮歇地、休耕地）；以及间有零星果树、桑树或其他树木的耕地；包括南方宽度<1.0 米，北方宽度<2.0 米固定的沟、渠、路和地坎（埂）；包括直接利用地表耕作层种植的温室、大棚、地膜等保温、保湿设施用地
	裸土地	9 表层为土质，植被覆盖度≤5%的土地。不包括滩涂中的泥滩
	城镇村及工矿用地	10 城乡居民点、独立居民点以及居民点以外的工矿、国防、名胜古迹等企业事业单位用地，包括其内部交通、绿化用地

C.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。表层岩溶带发育强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获取（见表 C.4）。

表 C.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	最近的溶蚀间距 (<0.5 m)，平均溶蚀深度 (1,2] 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 (0.5,1] 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≤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 C.5 对水位之上的表层岩溶带进行分级。

表 C.5 表层岩溶带属性分级

表层岩溶带类型及评分			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 无非碳酸盐岩夹层，不纯碳酸盐岩夹层<10%
	灰岩夹白云岩型，表层岩溶带高度发育	[8,9]	
	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<15%，不纯碳酸盐岩厚度>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]	
不纯碳酸盐岩	表层岩溶带不发育	1	非碳酸盐岩厚度>50%，不纯碳酸盐岩厚度<30%

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

C.4 入渗补给强度 (I)

入渗补给强度受降雨强度、土地利用类型、地形坡度等的影响，可用补给方式和降雨强度两个参数来表征。

在覆盖型岩溶区，以面状分散入渗补给为主；在裸露岩溶区，以点状集中入渗补给（落水洞等）为主。补给方式属性分级见表 C.6。对于岩溶区内夹非岩溶区的情况，补给方式可根据平均地形坡度分别按 I₃、I₄ 来考虑；对于地形坡度<10%的耕地、荒地区和坡度<25%的草地、林地区按 I₃ 来考虑。

表 C.6 补给方式分级

补给方式	属性描述	
集中补给	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 (500,1000] 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 (500,1000] m 之间
↓		
分散补给	I ₃	落水洞或漏斗周围 (500,1000] 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

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。结合补给方式, 地面入渗补给强度对岩溶水系统脆弱性的影响详见表 C.7。

表 C.7 入渗补给强度分级与评分

补给方式	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

C.5 岩溶网络发育程度 (K)

岩溶网络发育评分可参考表 C.8、C.9, 表 C.8 适于资料不足时的判断评分; 表 C.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 C.5 确定含水层岩溶网络发育程度。

表 C.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, 仅存在裂隙含水层

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。年平均地下水径流模数可用下式求算:

$$M = Q / (86.4F) \quad (C.1)$$

式中，M 表示地下水径流模数，L/（s·km²）；F 表示含水层分布面积，km²；Q 表示地下水天然径流量，m³/d。

表 C.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/（s·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

C.6 评价与分级

为定量评价地下水脆弱性，需对 PLEIK 参数进行数值计算，主要包括两个部分：权重赋值确定与指标等级划分（表 C.10）。计算方法见公式：

$$DI = P_W P_R + L_W L_R + E_W E_R + I_W I_R + K_W K_R \quad (C.2)$$

其中，DI 值为脆弱性等级，DI 值越小，脆弱性越低；下标 W 表示指标的权重，下标 R 表示指标的分值。

各指标权重赋值可采用层次分析法确定。方法如下：

将地下水脆弱性评估模型中各指标组成指标集：D=(P,L,E,I,K)=(保护性盖层，土地利用类型，表层岩溶带发育强度，入渗补给强度，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>土地利用类型>表层岩溶带发育强度>入渗补给强度>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，利用公式计算权重：

$$\vec{W} = (P_W, L_W, E_W, I_W, K_W) \quad (C.3)$$

经计算可得到岩溶水脆弱性综合指数 DI 取值范围为 1~10。采用 PLEIK 模型计算的地下水脆弱性级别与综合指数对应关系如表 C.10 所示。

表 C.10 岩溶水脆弱性评估标准

地下水脆弱性综合指数值 DI	≤4	(4, 6]	>6
地下水脆弱性级别	低	中等	高

附录 D
(资料性附录)
地下水污染源荷载评估

D.1 地下水污染源

本指南中地下水污染源的类型、范围等来源于污染源普查、土壤污染状况调查和详查、环境影响评价报告等资料，详见表 D.1。

表 D.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；石油加工、炼焦及核燃料加工业；有色金属冶炼及压延加工业；黑色金属冶炼及压延加工业；化学原料及化学制品制造业；纺织业；皮革、毛皮、羽毛（绒）及其制品业；金属制品业等；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、环境影响评价报告
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>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

D.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：

$$P_i = T_i \times L_i \times Q_i \quad (D.1)$$

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。

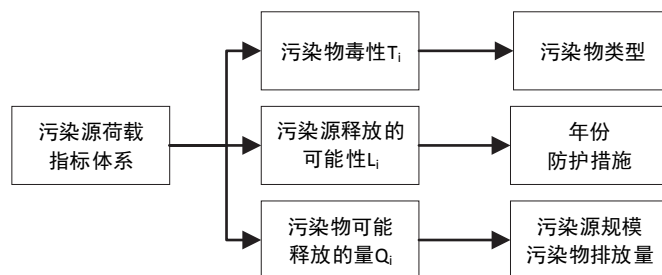


图 D.1 污染源荷载评估指标体系

D.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 D.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 D.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 D.3。

表 D.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	-

污染物名称	类型	毒性	
		T _i 评分	参考文献
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
铈	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
乙基二丙基硫氨基甲酸酯	NL	0.1	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
赛克津	N	0.1	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
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 D.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。

D.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 D.4。

表 D.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		投产时间 2011 年之后	0.2
		投产时间 1998~2011 年之间	0.6
		投产时间 1998 年之前或无防护措施	1
矿山开采区		闭产, 矿井已回填	0.5
		闭产, 矿井未回填	0.7
		在产	0.3
		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 AAA 级	0.1
		>5 年, 无害化等级 AAA 级	0.2
		≤5 年, 无害化等级 AA 级	0.2
		>5 年, 无害化等级 AA 级	0.4
		≤5 年, 无害化等级 A 级	0.4
		>5 年, 无害化等级 A 级	0.5
		简易防护, 无害化等级 B 级	0.6
		无防护, 无害化等级 B 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

D.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 D.5。

表 D.5 可能释放污染物的量分级及评分表

污染源类型		类型	Q _i 评分
工业污染源 (废水排放量, 单位: $\times 10^3 \text{t/a}$)		≤ 1	1
		(1,5]	2
		(5,10]	4
		(10,50]	6
		(50,100]	8
		(100,500]	9
		(500,1000]	10
		>1000	12
矿山开采区 (规模, 单位: 无量纲)		小型	3
		中型	6
		大型	9
垃圾填埋场 (填埋量, 单位: $\times 10^3 \text{m}^3$)		≤ 1000	4
		(1000,5000]	7
		>5000	9
危险废物处置场 (堆放量或填埋量, 单位: $\times 10^3 \text{m}^3$)		≤ 10	4
		(10,50]	7
		>50	9
加油站 (容量为 30m^3 的油罐数量, 单位: 个)		1	1
农业污染源	农业种植 (化肥使用量, 单位: kg/ha)	≤ 180	1
		(180,225]	3
		(225,400]	5
		>400	7
	规模化养殖场 (COD 排放量, 单位: t/a)	≤ 2	1
		(2,10]	2
		(10,50]	4
		(50,100]	6
		(100,150]	8
		(150,200]	9
>200	10		
高尔夫球场 (占地面积, 单位: hm^2)		≤ 50	1
		(50,100]	2

污染源类型	类型	Q _i 评分
高尔夫球场 (占地面积, 单位: hm ²)	(100,200]	3
	(200,300]	4
	>300	5
地表污水 (径流量, 单位: m ³ /s)	≤100	1
	(100,1000]	3
	(1000,5000]	5
	(5000,10000]	7
	>10000	9

注 1: “矿山开采区”规模参见国土资发〔2004〕208 号中“矿山生产建设规模分类一览表”。

注 2: “规模化养殖场”评分可参见环发〔2007〕183 号, 根据养殖场规模, 按表 D.6 初步估算出 COD 排放量。

表 D.6 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

D.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 (D.1) 进行计算, 计算结果 P_i 值由大到小排列, 采取等间距法分为高、中等、低三个级别, 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。

D.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叠加形成污染源荷载等级图。荷载综合指数计算公式:

$$PI = \sum W_i \times P_i \quad (D.2)$$

式中, PI 表示污染源荷载综合指数, W_i 表示第 i 类污染源的权重 (见表 D.7), 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 D.7 地下水污染源荷载指标权重 W_i 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

D.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估标准 (见表 D.8), 对区域地下水综合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、中等、低三个级别，形成地下水污染源荷载分区图。

表 D.8 地下水污染源荷载评估标准

地下水污染源荷载综合指数值 PI	≤ 40	(40, 60]	> 60
地下水污染源荷载级别	低	中等	高

附录 E
(资料性附录)
地下水污染防治重点区划定报告编制大纲

E.1 前言

包括地下水污染防治重点区划定原则、任务目的、范围、精度和技术路线等。

E.2 基本概况

包括行政区划情况、自然地理特征、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基本情况等。

E.3 地下水型饮用水水源及特殊地下水资源概况

包括地下水型饮用水水源基本情况，水源保护区、准保护区、补给区以及矿泉水、名泉等特殊地下水资源保护区域划分情况。

E.4 地下水功能价值评估

包括地下水质量现状评估和富水性评估等。

E.5 地下水脆弱性评估

包括地下水类型确定、脆弱性评估方法筛选、脆弱性评估结果计算等。

E.6 地下水污染源荷载评估

包括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等。

E.7 地下水污染防治重点区划定

包括地下水污染防治保护类区域、管控类区域划定结果及边界确定等。

E.8 地下水污染防治重点区对策建议

针对地下水污染防治保护类区域和管控类区域分别提出对策建议等。

E.9 质量控制

包括评估范围确定、资料收集、重点区划定、对策建议确定、报告和图件编制等环节开展的质量控制措施。

E.10 附图

地下水型饮用水水源保护区、准保护区、补给区以及矿泉水、名泉等特殊地下水资源保护区域等相关附图。

地下水功能价值评估：包括地下水富水性分区图、质量现状分区图、功能价值分区图等。

地下水脆弱性评估：包括地下水脆弱性单指标分区图、地下水脆弱性分区图等。

地下水污染源荷载评估：单个污染源荷载分区图、综合污染源荷载分区图等。

地下水污染防治保护类区域分区图、管控类区域分区图、重点区划定成果图等。

E.11 附表

地下水污染防治重点区划定相关过程表及成果表。