

青海省海北州海晏县地下水 污染防治试点项目

实

施

方

案

海北藏族自治州生态环境局

2021 年 9 月

目 录

第 1 章 总则	1
1.1 项目背景	1
1.2 项目概况	2
1.2.1 项目名称与类型	2
1.2.2 项目管理与实施单位	2
1.2.3 项目实施范围	3
1.2.4 项目主要实施内容与规模	3
1.2.5 项目总投资与实施期限	4
1.2.5.1 项目总投资与资金来源	4
1.2.5.2 项目实施期限	4
1.3 编制依据	4
1.3.1 法规、政策	4
1.3.2 标准规范与技术导则	5
1.3.3 相关资料	6
1.4 编制原则与内容	7
1.4.1 编制原则	7
1.4.2 编制内容	8
第 2 章 项目区概况	10
2.1 自然概况	10
2.1.1 地理位置	10
2.1.2 地形地貌	11
2.1.3 气候气象	12
2.1.4 地层岩性	12
2.1.5 地层结构	13
2.1.6 水文地质	18
2.2 历史生产情况及污染识别	23
2.2.1 历史生产工艺	23
2.2.2 原生产平面布置	24
2.2.3 污染识别及污染物毒性分析	26
2.3 场地前期环境调查及评估工作概述	27

2.3.1 第一阶段场地环境调查.....	29
2.3.1.1 调查布点及采样.....	29
2.3.1.2 调查结果.....	29
2.3.2 第二阶段场地环境调查.....	41
2.3.2.1 调查布点及采样.....	41
2.3.2.2 调查结果.....	41
2.3.3 场地风险评估.....	57
2.3.3.1 风险表征.....	58
2.3.3.2 场地风险评价结果.....	60
2.3.3.3 场地修复目标值.....	60
2.3.4 第三阶段场地环境调查.....	62
2.3.4.1 调查布点及采样.....	62
2.3.4.2 调查结果.....	63
2.3.5 第四阶段场地环境调查.....	67
2.3.5.1 调查采样及布点.....	67
2.3.5.2 土壤调查结果.....	75
2.3.5.3 厂区及周边区域地下水修复范围和方量.....	83
2.3.5.4 厂区下游泉眼出露区域地下水修复范围和方量.....	86
第 3 章 项目总体思路与修复目标.....	88
3.1 项目总体思路.....	88
3.2 技术路线.....	88
3.3 项目实施范围确定.....	90
3.4 项目目标.....	92
3.4.1 修复目标确定.....	92
3.5 项目总体布置.....	93
第 4 章 项目技术筛选.....	95
4.1 地下水修复技术比选.....	95
4.2 地下水修复技术建议.....	100
4.2.1 厂区内污染地下水的修复治理技术建议.....	100
4.2.2 厂区外污染地下水的修复治理技术建议.....	100
第 5 章 地下水修复与风险管控方案.....	101

5.1 工程施工总体部署.....	101
5.1.1 施工总体目标.....	101
5.1.2 工程实施内容.....	101
5.1.3 工程实施路线.....	102
5.2 施工现场总平面布置.....	103
5.3 工程施工准备.....	105
5.3.1 现场交接.....	105
5.3.2 技术准备.....	106
5.3.3 劳动力准备.....	108
5.3.4 施工机具准备.....	110
5.3.5 进场物资材料准备.....	110
5.4 工程施工测量.....	111
5.4.1 测量放线的基本要求.....	111
5.4.2 测量准备工作.....	112
5.4.3 测量工作流程.....	113
5.5 厂区内地下水（15-25M）修复实施方案.....	114
5.5.1 高浓度六价铬地下水抽出处理.....	114
5.5.1.1 抽出处理工艺流程.....	114
5.5.1.2 地表污水处理系统建设.....	115
5.5.1.3 施工工艺参数.....	118
5.5.1.4 施工内容.....	119
5.5.1.5 抽出影响分析.....	122
5.5.1.6 主要工程量表.....	123
5.5.2 低浓度六价铬地下水原位注射修复.....	124
5.5.2.1 原位化学还原修复工艺流程.....	124
5.5.2.2 施工工艺参数.....	126
5.5.2.3 原位注入井设计.....	128
5.5.2.4 原位注射修复系统.....	128
5.5.2.5 施工内容.....	131
5.5.2.6 主要工程量表.....	136
5.5.3 地下水修复过程监测.....	137
5.6 厂区外地下水风险管控实施方案.....	138

5.6.1 厂区下游原位反应带建设.....	138
5.6.1.1 施工工艺流程.....	138
5.6.1.2 施工工艺参数.....	139
5.6.1.3 修复施工设备.....	141
5.6.1.4 施工内容.....	143
5.6.1.5 主要工程量.....	144
5.6.2 监控自然衰减.....	144
5.6.2.1 监测点位布设.....	144
5.6.2.2 监测指标选择.....	146
5.6.2.3 监测频次确定.....	148
5.6.2.4 原位反应带药剂补充.....	148
5.6.2.5 自然衰减监测工作量小结.....	148
第 6 章 环境保护措施.....	149
6.1 项目实施过程中环境影响分析.....	149
6.1.1 废气污染物.....	149
6.1.2 废水污染物.....	149
6.1.3 噪声.....	149
6.1.4 固体废物.....	150
6.2 环境保护措施.....	150
6.2.1 场地清理管理.....	150
6.2.2 施工废水处理措施.....	150
6.2.3 固体废物管理措施.....	151
6.2.4 噪声控制管理措施.....	151
6.2.5 药剂投加与搅拌过程的环境管理措施.....	152
第 7 章 劳动卫生安全防护.....	154
7.1 设计采用的劳动安全卫生标准.....	154
7.2 危害职工安全和健康的因素及防护措施.....	154
7.2.1 危害因素.....	154
7.2.2 防护措施.....	156
第 8 章 项目修复效果评估方案.....	160

8.1 评估范围	160
8.2 厂区内污染地下水修复效果评估	160
8.2.1 地下水抽出处理效果评估	160
8.2.2 地下水原位注入修复效果评估	160
8.2.2.1 采样节点	160
8.2.2.2 采样持续时间和频次	161
8.2.2.3 布点数量与位置	162
8.2.2.4 检测指标	162
8.2.2.5 地下水修复效果评估标准值	162
8.2.2.6 地下水修复效果达标判断	163
8.2.2.7 残留污染物风险评估	164
8.3 厂区外下游污染地下水效果评估	164
8.3.1 原位反应带修复效果评估	164
8.3.2 厂区下游地下水污染监控自然衰减	165
第 9 章 项目投资估算	166
9.1 估算依据	166
9.1.1 工程费用估算依据	166
9.1.2 其它费用编制依据	166
第 10 章 效益分析	168
10.1 社会效益分析	168
10.2 经济效益分析	168
10.3 环境效益分析	168
10.4 示范效益分析	169
第 11 章 项目实施保障与进度安排	170
11.1 组织保障措施	170
11.1.1 建立统筹机制与协调机制	170
11.1.2 落实招投标制	170
11.1.3 落实项目监理制	171
11.1.4 落实合同管理制	172
11.1.5 落实第三方验收评估制	172

11.2 项目管理措施.....	172
11.2.1 加强项目档案管理.....	172
11.2.2 加强项目资产管理.....	172
11.2.3 落实验收相关要求.....	173
11.2.4 加强项目后期管护.....	173
11.3 项目周期规划.....	173
11.4 项目实施进度规划.....	174

第 1 章 总则

1.1 项目背景

为贯彻落实习近平总书记对地下水污染防治工作的重要批示精神，落实《中共中央 国务院关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》中提出的“深化地下水污染防治”要求，保障地下水安全，加快推进地下水污染防治，2019 年 3 月，生态环境部、自然资源部、住房城乡建设部、水利部、农业农村部等五部门联合印发《地下水污染防治实施方案》（环土壤〔2019〕25 号）（以下简称《实施方案》）。《实施方案》中提出了“一保、二建、三协同、四落实”的工作任务，“四落实”即落实《水十条》确定的四项重点任务，其中一项任务是开展地下水修复试点。同年，地下水环境保护及污染修复项目被列入水污染防治储备中央储备库入库范围中，并要求重点实施地下水污染防控与修复、地下水环境状况调查评估、地下水环境监管能力建设等项目。

原海北化工厂位于海北州海晏县，距县城约 6km，占地面积约 8.3 万 m²，于 1988 年建成，1989 年投入试生产，1999 年破产。从投入生产至破产的 10 年间累计生产红矾钠（Na₂Cr₂O₇·2(H₂O)）约 4000t，生产过程中排放的高浓度 Cr⁶⁺废水、红矾钠生产母液以及简单堆放的 4.8 万 m³ 铬渣严重污染了铬盐厂内及下游的土壤及地下水。

从 2006 年国家发展改革委以发改投资〔2006〕1263 号文下达原海北州化工厂遗留铬渣治理项目开始，项目区内先后实施了 863 课题-铬污染土壤修复治理技术与示范研究、青海省原海北化工厂铬污染场地土壤异位治理技术及配套废水修复技术示范项目等 9 项工程，包含了场地调查、构筑物拆除与修复、重污染土修复、地下水污染治理技术中试等建设内容，

总投资达到 18799.19 万元。截止 2020 年底，原海北化工厂厂区内污染土壤治理已完成。但地下水污染问题尚未得到解决，地下水中六价铬污染正在持续扩散。为减少六价铬污染对周边人群和生态环境的危害，遏制地下水中六价铬污染进一步向下游扩散，去除六价铬污染地下水对哈利润河及下游水库的影响，需继续对厂区内及下游的污染地下水进行治理和风险管控。

目前，原海北化工厂厂区地下水污染源已经基本移除，同时针对场地也开展并完成了地下水修复小试、中试等技术研究工作，开展地下水修复项目条件已具备。

2021 年 7 月，海北州生态环境局根据青财资环字〔2021〕946 号批复的项目绩效目标，进一步通过多次现场详细的调研、调查、复核以及对关键问题的深度梳理诊断和分析，结合项目主要问题的紧迫性程度、实际条件、项目整体绩效可达性和下达项目资金情况等，按照整体治理修复、分期实施的思路，对项目实施内容进行了进一步的深度细化和优化，编制完成了本次项目实施前期技术成果《青海省海北州海晏县地下水污染防治试点项目实施方案》。

1.2 项目概况

1.2.1 项目名称与类型

- (1) 项目名称：青海省海北州海晏县地下水污染防治试点项目
- (2) 项目类型：2021 年度中央水污染防治专项
- (3) 项目性质：新建地下水污染试点项目

1.2.2 项目管理与实施单位

- (1) 项目省级主管部门：青海省生态环境厅

(2) 项目责任主体单位：海北藏族自治州人民政府

(3) 项目实施单位：海北藏族自治州生态环境局

1.2.3 项目实施范围

结合前期四个阶段地下水的调查结果，绘制了厂区地下水六价铬污染修复范围图，详见图 1-1 所示。经过测量计算，厂区内地下水修复面积约为 55333m²。



图 1-1 厂区地下水六价铬污染修复范围

1.2.4 项目主要实施内容与规模

对海北化工厂内的地下水污染范围进行修复，修复面积约为 55333m²，地下水污染含水层平均层厚为 10m（含前期调查过程中提到的浅层和深层地下水）。对厂区内饱和层地下水（15-25m）污染区域，采用抽出处理和原位化学还原相结合的方法进行修复治理，具体实施内容：

(1) 项目补充调查

对项目区内地层结构、水文地质状况和地下水污染现状进行补充调查；

(2) 将地下水中六价铬浓度较高的污染水抽出一个循环至污水处理区进行处理，处理水量为 221330m³；

(3) 对剩下的低浓度六价铬污染地下水进行原位化学还原治理；

(4) 开展厂区外地下水修复：对厂区外受厂区内地下水污染羽扩散而成的污染区域，在厂区内下游方向建设 3 条原位反应带，使污染物在地下水流动过程中逐渐衰减。开展自然衰减效果长期监测，定期、长期监控地下水污染物变化情况。

1.2.5 项目总投资与实施期限

1.2.5.1 项目总投资与资金来源

本项目总投资估算为 9498.024 万元，包括工程费用（直接建安工程费用）、工程建设其他费用（二类费用）和基本预备费。

1.2.5.2 项目实施期限

项目分年度实施，第一期实施年度为 2021 年 7 月-2022 年 12 月。第二期实施年度计划分为两阶段：第一阶段原位反应带建设，2022 年 5 月-2022 年 12 月；第二阶段自然衰减监测，2023 年 1 月-2027 年 12 月。

1.3 编制依据

1.3.1 法规、政策

(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015年1月1日）；

(2) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年10月1日）；

(3) 《中华人民共和国大气污染防治法》（2018年10月26日修订）；

- (4) 《中华人民共和国水法》（2016年7月2日修订）；
- (5) 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2019年1月1日）；
- (6) 《中华人民共和国水污染防治法》（2017年6月27日修订）；
- (7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年4月29日修订）；
- (8) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（2018年12月29日修订）；
- (9) 《中华人民共和国清洁生产促进法》（2003年1月1日）；
- (10) 《中华人民共和国安全生产法》（2014年12月1日）；
- (11) 《土壤污染防治行动计划》（国发〔2016〕31号）；
- (12) 《地下水污染防治实施方案》（环土壤〔2019〕25号）；
- (13) 《危险化学品安全管理条例》（2013年12月7日修订）；
- (14) 《国家危险废物名录》（2021年版）。

1.3.2 标准规范与技术导则

- (1) 《地下水环境质量标准》（GBT 14848-2017）；
- (2) 《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）；
- (3) 《污染场地风险评估技术导则》（HJ25.3-2019）；
- (4) 《场地环境监测技术导则》（HJ25.2-2019）；
- (5) 《污染场地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）；
- (6) 《土壤环境监测技术规范（HJ/T166-2004）》；
- (7) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)；
- (8) 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- (9) 《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T55-2000）；

- (10) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011);
- (11) 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》
(GB18599-2021) ;
- (12) 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) ;
- (13) 《建设工程安全生产管理条例》(国务院令第393号)(2003) ;
- (14) 《建设工程施工现场管理规定》(2012) ;
- (15) 《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》(GBZ159-2004) ;
- (16) 《工业企业内铁路、道路运输安全规程》(GB4387-2008) ;
- (17) 《建筑施工土石方工程安全技术规范》(GJG180-2009) ;
- (18) 《污染场地修复收技术规范》(DB11/T783-2011) ;
- (19) 《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》
(GB36600-2018) ;
- (20) 《污染地块土壤环境管理办法(试行)》(环境保护部令〔2017〕
第42号) ;
- (21) 《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》
(HJ25.5-2018) ;
- (22) 《水污染防治资金管理办法》(财资环〔2019〕10号)。

1.3.3 相关资料

- (1) 《青海海北化工厂地质工程勘察报告》 ;
- (2) 《青海省海北化工厂场地调查报告》(2009年7月) ;
- (3) 《青海省海北化工厂场地风评报告》(2016年1月) ;
- (4) 《青海省原海北化工厂铬污染场地第四期调查报告》(2013年4

月)；

(5)《原海北化工厂铬污染场地土壤异位治理修复(一期)工作总结报告》；

(6)《青海省西宁市历史遗留铬渣综合治理项目可行性研究报告》(2016年1月)；

(7)《原海北化工厂二期污染土壤及地下水修复效果评估报告》(2017年11月)；

(8)《原海北化工厂铬污染土治理项目(2017年续建)修复效果评估报告》；

(9)《原海北化工厂铬污染场地治理项目(2018年续建)施工组织设计》；

(10)《原海北化工厂铬污染场地治理(2018年续建)施工竣工报告》；

(11)《原海北化工厂铬污染场地治理项目(2018年续建)环境监理总结报告》；

(12)《原海北化工厂铬污染场地治理项目(2018年续建)监理工作报告》；

(13)《原海北化工厂铬污染场地治理项目(2018年续建)自检报告》；

(14)《青海省财政厅关于下达2021年中央水污染防治专项(第一批)市州级项目资金的通知》(青财资环字〔2021〕946号)；

(15)其他报验、记录、批复等资料、文件。

1.4 编制原则与内容

1.4.1 编制原则

整体考虑、系统治理。从场地修复治理全生命周期出发，理清地下水污染所处场地修复治理的阶段和对应的任务，全局考虑、系统推进。坚持调查优先、土壤与地下水协同管控与修复，打通地下水污染“汇”与地上污染“源”之间协同治理通道，协同推进厂区内外地下水污染修复与管控。

问题导向，明确目标。牢牢把握住现状、问题、目标、措施这一条主线，综合分析水文地质条件和地下水污染特征，开展项目区地下水污染问题诊断，以维护区域地下水环境质量为核心，明确绩效目标，设置具体工程，配套管理措施；科学制定达标的时间表，坚持目标管理、过程推动、绩效控制的倒逼机制，提高针对性和解决问题的有效性。

突出重点、分类施策。依据项目区地下水污染程度、实施条件等选取不同的修复或管控措施。在治理技术选取上以可行、有效为首要考虑因素，选取适合区域现状、开展过小试、中试后效果明显且成熟科学的技术方法。

公众参与，社会共治。将公众参与作为本项目重要环节，广泛听取社会公众对绩效目标、工程措施的意见和建议，接收公众和社会监督，引导公众参与区域水生态保护行动。

1.4.2 编制内容

本实施方案以开展“青海省海北州海晏县地下水污染防治试点，开展原海北化工厂地下水管控修复”为主要任务，重点围绕厂区内外下水受铬污染等主要问题和短板，以全面解决项目区地下水污染问题，建立长期管控监测制度，形成可推广的技术模式和管理经验，为青海省类似区域开展地下水污染修复提供示范经验为目标，从项目区概况、现状分析与主要问题分析诊断、项目实施总体思路和目标、地下水修复与管控方案、投资估算及资金筹措、项目实施计划安排、项目实施环境影响分析、劳动卫生安全防护、预期效益分析、项目实施保障措施等方面，对本项目的建设必要

性、技术可行性、经济合理性、实施可能性和项目效益分析等进行综合研究和设计，为项目的立项和实施建设提供科学依据。

第 2 章 项目区概况

2.1 自然概况

2.1.1 地理位置

原青海海北化工厂位于海晏县城东部，距海晏县城约 6 km，厂区中心地理坐标为北纬 $36^{\circ}54'19''$ 、 $101^{\circ}2'15''$ 。位于祁连山南支脉—达坂山东段南缘，海晏盆地东北部山前冲洪积平原，地势较平坦，地面高程 2935.3~2966.3 m，相对高差约 31m。场地东南西北四个方向被农田、有机肥厂以及河流所环绕，具体如图 2-1 所示。东侧：草原牧场；南侧：草原牧场，距离场区南侧 700 m 处有一处铬渣堆场；西北侧：有机肥厂，距离场区西侧 1.3 km 处分布上星火村、下星火村和河沿村，西北方向 1 公里处有多个地下水流出的泉眼；北侧：北面约 100 m 有大片的种植地。



图 2-1 原海北化工厂周边概况图

厂区南侧 600m 远处是原来的铬渣堆场，污染较严重。铬渣堆场长 200m、宽 100m，总面积为 2000m²，如图 2-2 所示。

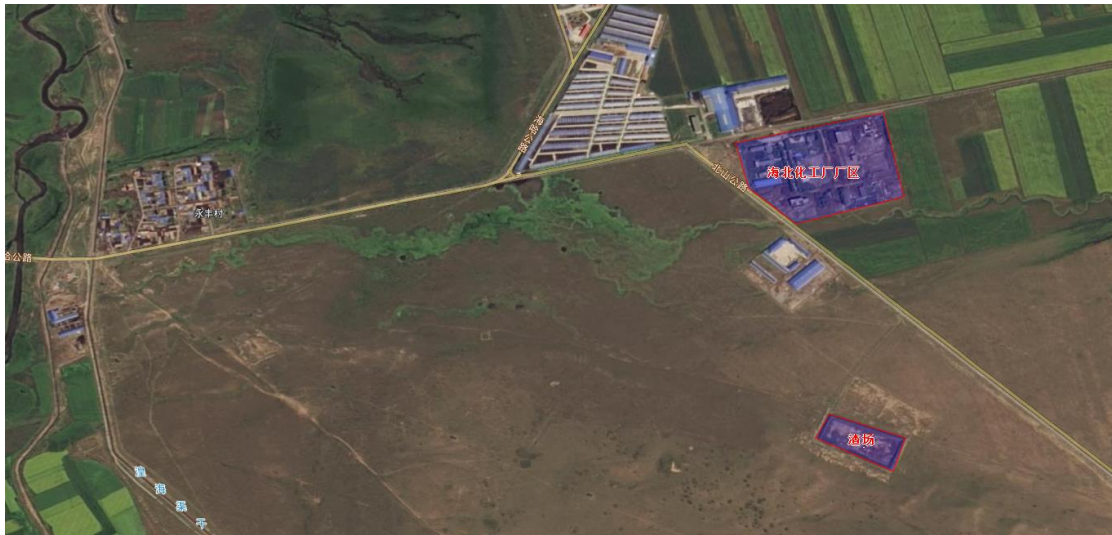


图 2-2 原铬渣堆场位置图

2.1.2 地形地貌

原海北化工厂所处的大地构造部位隶属于祁吕贺山字形构造体系系西翼反射弧与前弧衔接处，系由一系列紧密的褶皱、断裂及凹陷盆地所组成，河西构造体系仅于达坂山-团保山北坡表露。本区所处的大地构造部位分析，构造应力场的主压应力应当于东北-南西向，因此，在区内产生了一系列北西-南东向构造群体。

纵观全区构造形迹的展布规律，大致可归纳为两组：一组以西北 20° 60° 方向延展，与区域构造线基本吻合；另一组以北东 20° 30° 方向延展，与区域构造线斜交。无论是山字型构造体系或河西构造体系，均表现了强烈的“控水”作用，特别在两组断裂的交接复合部位其“控水”作用尤为明显。

勘察场地位于祁连山南支脉—达坂山东段南缘，海晏盆地东北部山前冲洪积平原，距海晏县城约 6km，地势较平坦，地面高程 2935.3-2966.3m，相对高差约 31m。

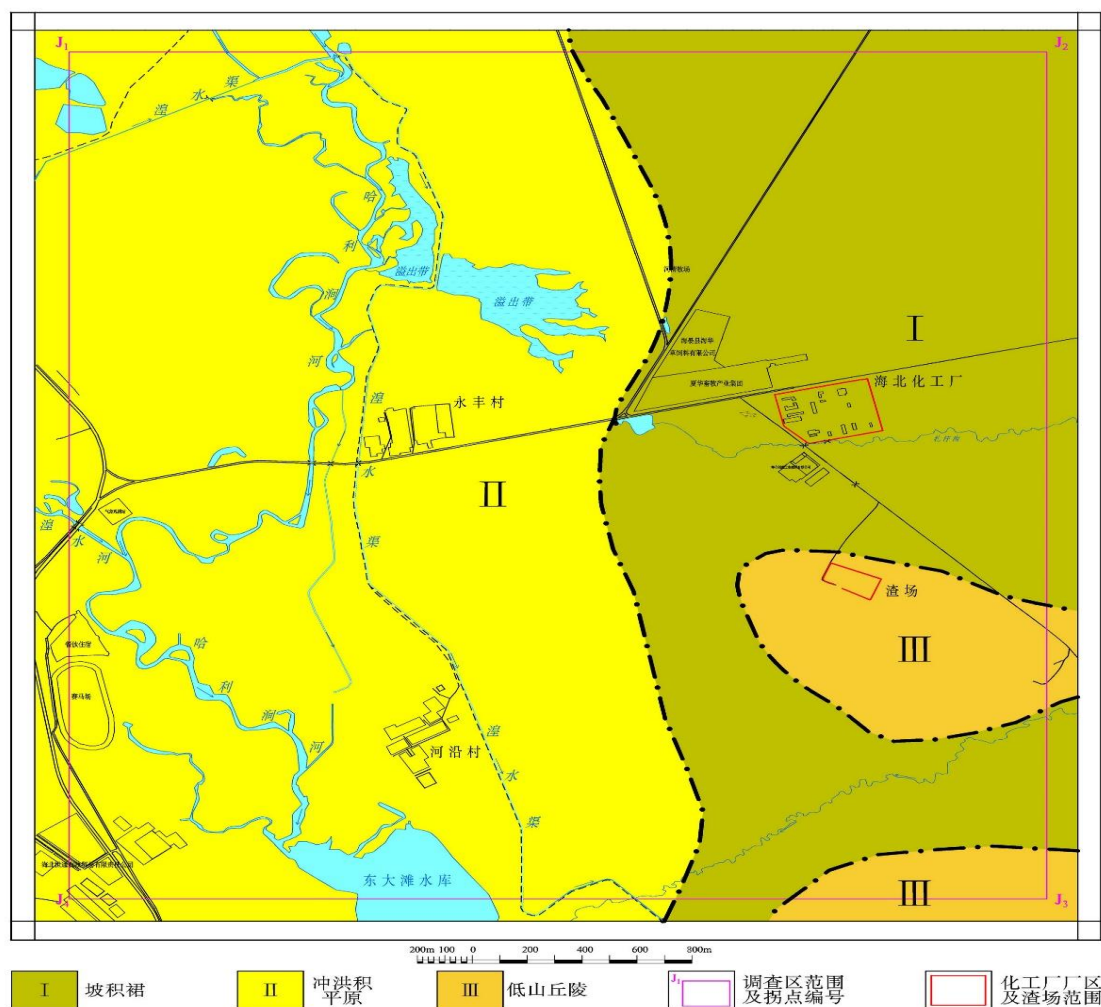


图 2-3 项目区域地貌图

2.1.3 气候气象

原海北化工厂地处青海湖盆地东北部,属典型的高原干旱半干旱大陆性气候,具有冬季寒冷、夏季凉爽、干旱多风、昼夜温差大的特点。年平均降水量 277~499mm,最大降水量 512.3mm,平均蒸发量 2364.7mm,年平均气温 0.2~3.4℃,历年极端最高气温 30.5℃,极端最低气温-32.6℃,主导风向多为西北和东南,平均风速 2.1m/s,最大风速 22.3m/s,全年平均日照时数约为 2580~2750h,标准冻深 1.81m。

2.1.4 地层岩性

根据前期地调查结果,场地揭露地层为第四系松散堆积物,自上而下

依次为砂卵砾石（ Q_4^{al+pl} ）、粘土（ Q_4^{al+pl} ）、卵砾石（ Q_4^{al+pl} ），其岩性特征及分布规律分述如下：

①砂卵砾石层（ Q_4^{al+pl} ）：杂色，分选差、磨圆较好，颗粒形状以亚圆形为主。卵砾石主要成分为花岗岩、砂岩等，最大可大于50cm。本层夹有多层粉质粘土及粘土，粘性土以透镜体形式分布，棕黄色，可塑，透镜体厚度一般在0.2~0.5m。

该层调查区地均有分布，厚度不均匀，一般山前地带厚度较薄，冲洪积平原中心地带厚度增厚。根据施工钻孔，厂区与灰场一带层厚35~60m。

②粘土层（ Q_4^{al+pl} ）：棕黄色，坚硬，根据物探资料，粘土层在调查区基本连续、均匀分布，厚度变化不很大，施工钻孔揭露的厚度7.5~10m。

③砂卵砾石层（ Q_4^{al+pl} ）：杂色，分选差、磨圆较好，颗粒形状以亚圆形为主。卵砾石主要成分为花岗岩、砂岩等。以透镜体形式夹有少量粉质粘土及粘土，棕黄色，饱和，其粘性土含量较第一层砂卵砾石层少。

2.1.5 地层结构

为了进一步查明整个调查区的地层岩性及隔水层的连续性，前期已有调查采取了地球物理勘探与水文地质钻探相结合的方式开展了进一步勘探工作。在工作区共布设高密度电法测线3条，为了增加测试的深度及精度，在高密度电法测线局部区域又布设瞬变电磁测线9条三条测线均为东西走向，WT1位于渣场北侧贴渣场北角而过，WT2横穿旧厂区，WT3位于海华草饲料厂北300m，横穿地下水溢出带。三条测线的综合剖面图见图2-4至图2-6。对于视电阻较高区域推测为砂卵砾石层，标高为2953.5m~3051.3m；视电阻低的推测为卵石层夹粘土，标高为2910.7m~3019.8m；深部视电阻最高区域推测为基岩，标高为2693.2m~2844.4m，详见表2-1。从表2-1可知，原海北化工厂地表至卵石

层夹粘土层深度为50m。

表 2-1 各测线标高及其推测岩性

测线	标高			
WT1	2953.5m~3049.3 m	2913.5m~3018.5 m	2800m~2977.5m	2693.2m~2844.4 m
WT2	2960.5m~3051.3 m	2910.7m~3019.8 m	2791.9m~2971.6 m	2693.2m~2844.4 m
WT3	2964.5m~3047.8 m	2924.5m~3017.2 m	2795m~2975.7m	2695m~2839.2m
推测 岩性	砂卵砾石层	卵石层夹粘土	砂卵砾石层	基岩

青海省海北化工厂水文地质勘查及地下水污染调查项目WT1线综合剖面图

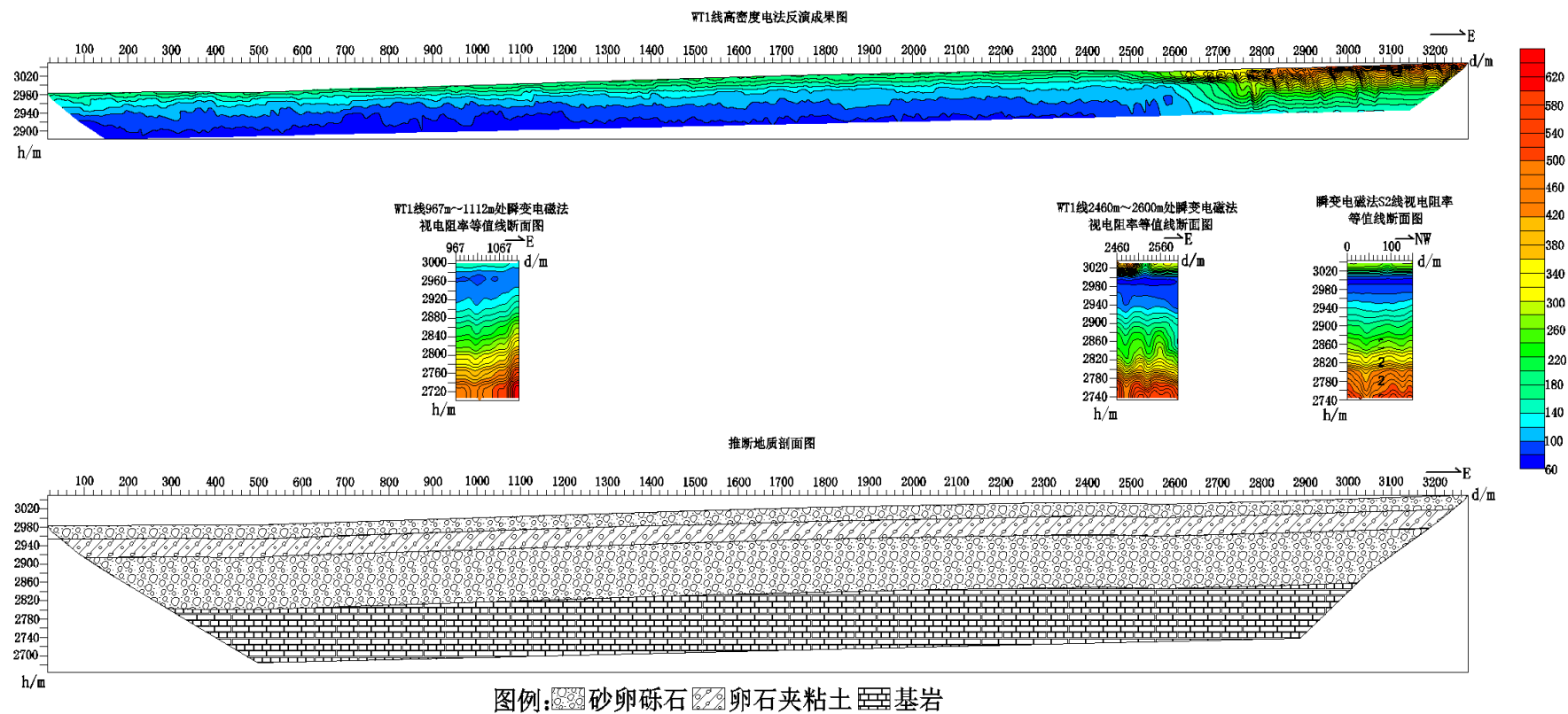


图 2-4 WT1 线综合剖面图

青海省海北化工厂水文地质勘查及地下水污染调查项目WT2线综合剖面图

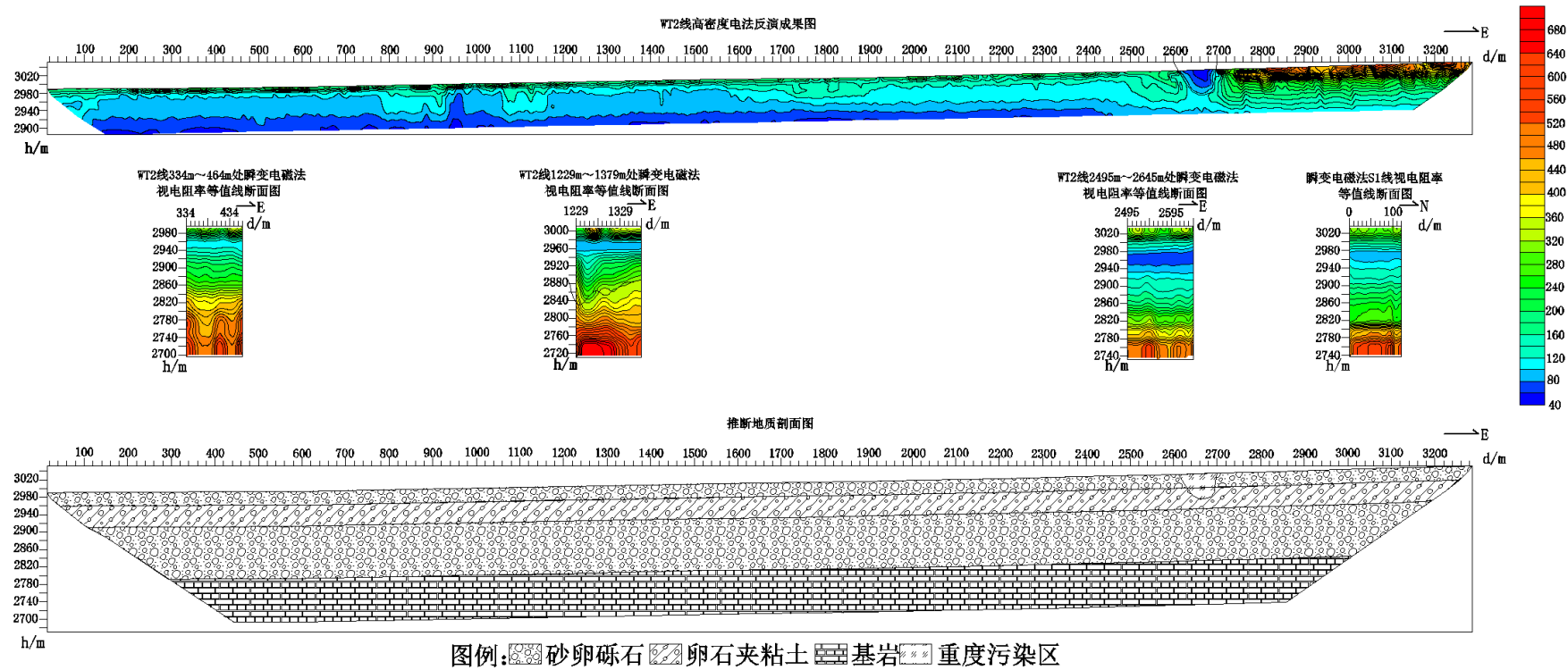


图 2-5 WT2 线综合剖面图（厂区内）

青海省海北化工厂水文地质勘查及地下水污染调查项目WT3线综合剖面图

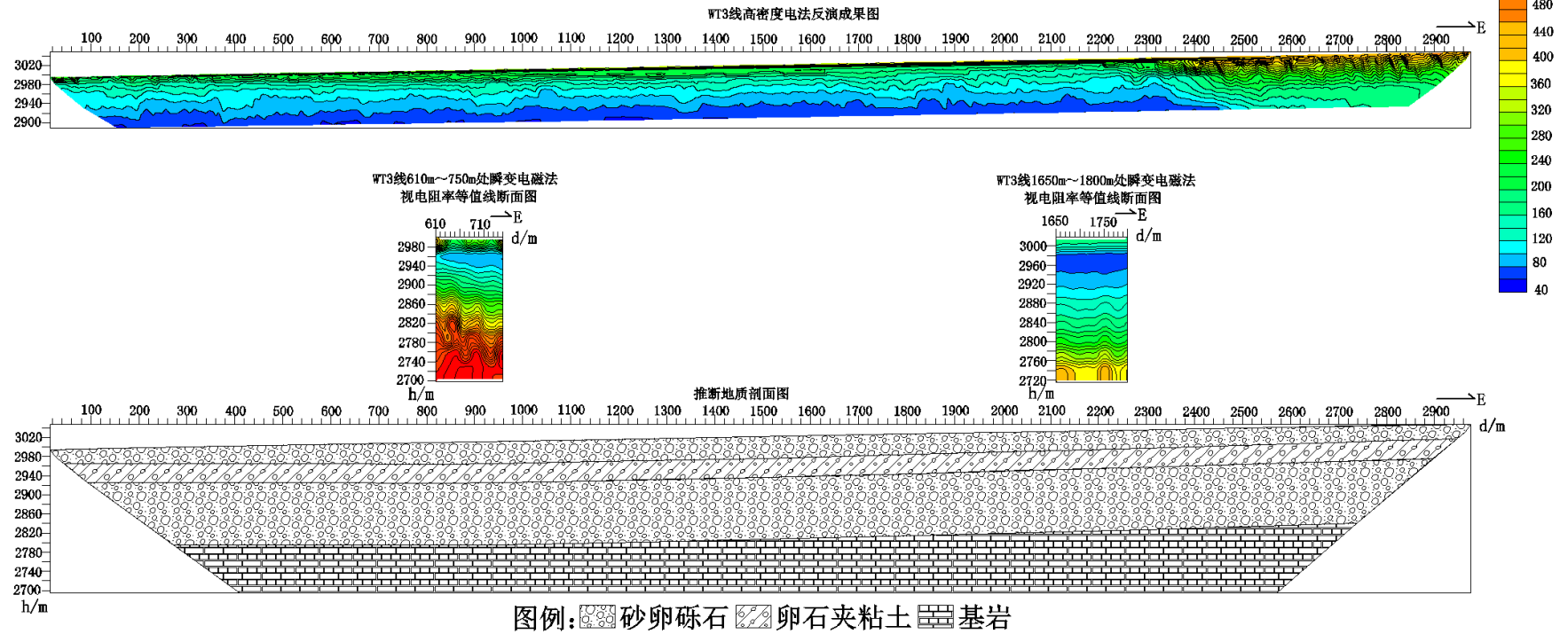


图 2-6 WT3 线综合剖面图

2.1.6 水文地质

(1) 含水层分布及富水性

调查区为第四系松散岩类孔隙水含水岩组,按含水岩性的分布和埋藏条件,可划分为潜水和承压水。

潜水:调查区内普遍分布,良好的地层分布和岩性特征,有利于大气降水的补给。潜水含水层岩性主要为砂卵砾石,其磨圆较好,含水、储水空间较大,含水层厚度一般在20~45m,水位埋深0~18m,富水性好、渗透性强,根据厂区钻孔QZ01抽水资料,涌水量为160.56m³/d时,降深仅为0.101m,渗透系数为353.08m/d。调查区内潜水水质由于受化工厂及灰场废渣的影响,大部分受到Cr(VI)污染,根据取样分析,污染程度较大,一般Cr(VI)浓度在47.2~88.3mg/L之间,超过《地下水质量标准》(GB/T 14848-1993) III类标准的1000多倍。

承压水:调查区内普遍分布,含水岩性主要为砂卵砾石,其磨圆较好,含水、储水空间较大,根据钻孔和物探资料,承压水顶板埋深一般在35~65m,底板埋深在180~200m,含水层厚度较大,本次勘查钻孔仅揭露承压含水层45m。承压水头埋深一般在0~17m,水量丰富、渗透性能强。根据厂区钻孔SZ01抽水资料,涌水量为166.32m³/d时,降深仅为0.064m,渗透系数为102.07m/d。调查区内由于承压顶板厚度较大,隔水性较好,化验资料显示调查区内承压水水质良好,未检出Cr(VI),说明调查区承压水未受到污染。

(2) 含水层之间的水力联系

调查区地下水类型有潜水和承压水,物探结果表明,调查区含水层之间普遍分布了一层粘性土,本次钻探证实了物探结果的推断。

已有调查工作在厂区施工了QZ01(潜水孔)、SZ01(承压水孔),

在渣场施工了QZ02（潜水孔）、SZ02（承压水孔）。厂区粘土层厚度为7.5m，渣场粘土层厚度为10m。并从以下几个方面判定含水层之间的水力联系。

①水位：厂区和渣场潜水与承压水均存在一定的水位差，且承压水水位略低于潜水水位；如：厂区QZ01（潜水）、SZ01（承压水）水位标高分别为3019.850m、3019.494m，承压水水位低于潜水水位0.356m；渣场QZ02（潜水）、SZ02（承压水）水位标高分别为3020.651m、3020.079m，承压水水位低于潜水水位0.572m。

②抽水试验：厂区QZ01（潜水）、SZ01（承压水）相距约8.2m，分别进行了单孔抽水试验，QZ01孔抽水水位降深0.101m，SZ01孔水位降深为0m；SZ01孔抽水水位降深0.064m，QZ01孔水位降深为0m。渣场：QZ02（潜水）、SZ02（承压水）相距约8.9m，分别进行了单孔抽水试验，QZ02孔抽水水位降深12.54m，SZ02孔水位降深为0m；SZ02孔抽水水位降深0.095m，QZ02孔水位降深为0m。

厂区、渣场抽水试验结果表明，潜水含水层与承压水含水层之间的水力联系极不密切。

③水质：厂区潜水中Cr(VI)超标1000多倍、渣场潜水有Cr(VI)的检出，而厂区和渣场的承压水样品均未检出Cr(VI)。

④粘性土的性质：钻探结果表明，潜水含水层和承压水含水层之间的粘性土厚度为7.5~10m，为粘土，黄褐色—红褐色，硬塑状态。成为良好的隔水层，对污染物的扩散起到良好的控制和阻隔作用。

从以上几个方面可以确定：潜水含水层和承压水含水层之间分布较大的厚度、良好的粘性，稳定、连续分布的粘土层，是良好的隔水层，使得潜水和承压水之间的水力联系极不密切。

(3) 水文参数计算

利用钻探成井的QZ01、SZ01、QZ02、SZ02孔各做了一组单孔抽水试验，具体参数见表。其中，QZ01和QZ02孔为潜水完整井，SZ01、SZ02孔为承压水非完整井，分别采用如下公式计算水文地质参数：

表 2-2 抽水试验参数表

孔号	静止水位埋深 (m)	井半径 r (m)	含水层厚度M (m)	水位降深S (m)	涌水量 Q (m ³ /d)	渗透系数K (m/d)	影响半径R (m)	地下水类型
QZ01	15.503	0.0585	42.997	0.101	160.56	353.08	24.89	潜水
QZ02	15.832	0.0585	20.168	12.540	57.36	0.37	68.52	潜水
SZ01	15.818	0.05	25.500	0.064	166.32	102.07	6.47	承压水
SZ02	16.945	0.05	45.000	0.095	165.60	33.42	5.49	承压水

(4) 潜水流场特征

2015年11月12日，通过统测44口调查区范围内潜水钻孔的地下水水位，水位标高为2988.931~3026.973m。

表 2-3 潜水水位统测点基本情况一览表

井 号	坐标		孔口标高 (m)	埋深 (m)	水位标高 (m)
	X	Y			
HBBS4_SW2	4086487.444	413971.274	3032.508	13.100	3019.408
HB4SW7	4086286.798	414013.516	3033.731	13.870	3019.861
HB4QW7	4086287.112	414014.303	3033.724	13.890	3019.834
HB4QW4	4086422.298	414121.163	3036.904	17.009	3019.895
HB4SW4	4086421.591	414121.387	3036.916	17.008	3019.908
HB4SW5	4086459.200	414060.909	3035.068	15.248	3019.820
HB4QW5	4086459.981	414060.783	3035.071	15.254	3019.817
HB4QW6	4086368.894	414060.257	3034.953	15.091	3019.862
HB4SW6	4086367.897	414060.329	3034.936	15.088	3019.848
HB4QW2	4086353.348	414193.505	3038.049	17.994	3020.055
HB4SW2	4086352.443	414193.789	3038.069	18.022	3020.047
ZS1	4086410.289	414212.825	3037.010	16.980	3020.030
HB4QW3	4086497.988	414179.835	3037.258	17.340	3019.918
HB4SW3	4086496.980	414180.477	3037.290	17.378	3019.912
HB4W1	4086349.095	414283.973	3041.063	20.885	3020.178
HBBS4QW8	4086474.486	413895.879	3030.430	10.868	3019.562

井 号	坐标		孔口标高 (m)	埋深 (m)	水位标高 (m)
	X	Y			
HBBS4SW8	4086473.536	413896.068	3030.414	10.857	3019.557
HB4W26	4086465.678	413790.823	3028.574	9.194	3019.380
HB4W14	4085925.539	414017.315	3031.813	11.636	3020.177
HB4SW13	4085667.765	414060.917	3036.216	16.063	3020.153
HB4QW13	4085668.181	414060.297	3036.180	16.075	3020.105
HB4W11	4085534.115	414147.668	3041.741	14.768	3026.973
HB4SW12	4085620.447	414096.832	3036.746	16.092	3020.654
B1	4085629.502	414166.322	3035.970	15.312	3020.658
HB4QW10	4085549.727	414223.910	3037.873	16.906	3020.967
HB4SW10	4085548.877	414223.556	3037.851	16.885	3020.966
HB4W9	4085644.314	414292.535	3038.450	17.649	3020.801
HB4W25	4085735.126	414218.801	3036.479	15.699	3020.780
HB4W17	4086154.468	413550.785	3023.423	4.084	3019.339
HB4W16	4086408.726	413600.459	3024.166	4.947	3019.219
HBBSN-W5	4086355.991	413298.487	3020.287	2.387	3017.900
HBWW1-1	4086406.320	413336.653	3019.749	1.500	3018.249
HB4W15	4086891.610	413598.577	3025.375	6.646	3018.729
HBBSN-W4	4087653.996	413266.990	3021.663	4.209	3017.454
HBWW2-1	4086246.611	412726.135	3008.982	3.158	3005.824
HB4W20	4086578.724	412926.629	3011.859	0.220	3011.639
HBBSN-W8	4086143.986	411821.829	2996.332	1.895	2994.437
HB4W23	4086556.873	412195.437	2998.140	1.467	2996.673
HB4W24	4086013.427	412227.395	2996.858	2.090	2994.768
HB4W19	4086903.465	412796.781	3007.925	1.081	3006.844
HB4W27	4085084.034	412607.793	2998.541	9.610	2988.931
HB4W22	4087418.751	412580.862	3002.151	0.131	3002.020
QZ01	4086418.808	414053.621	3035.353	15.503	3019.850
QZ02	4085606.735	414130.593	3036.483	15.832	3020.651

调查区潜水等水位线图见图2-7。

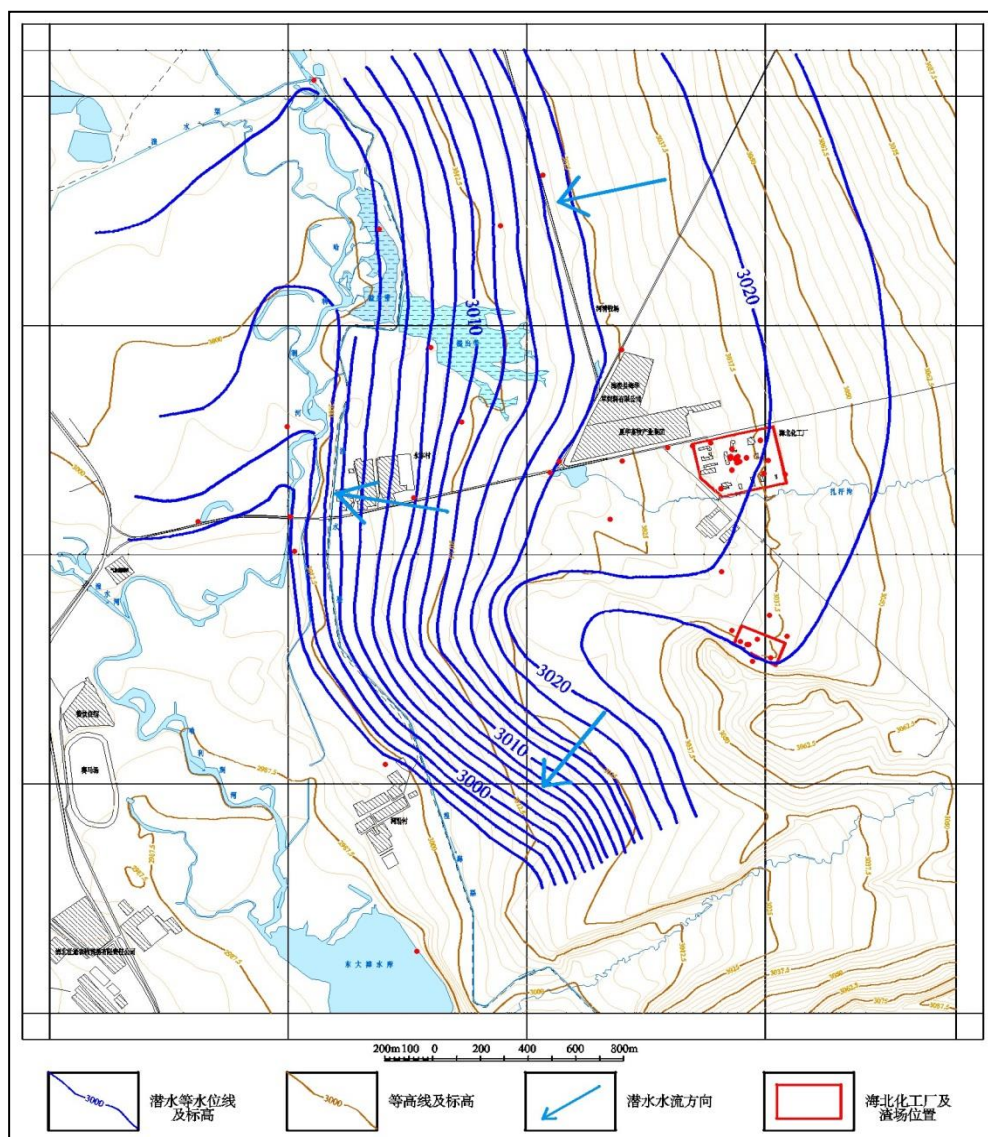


图 2-7 调查区潜水等水位线图（2015.11.12）

从图中可以看出，潜水含水层的平面流场主要受地形、地貌、地层分布和地层岩性的控制和影响。地形、地貌整体上控制和影响了潜水的流向，潜水流向与地形坡度基本一致，总体向河流方向径流、排泄；地层分布和岩性，控制和影响了潜水的径流特征，山前坡洪积地带，含水岩性主要为砂卵砾石层，其含水性、渗透性良好，水力坡度较小；河谷地带受坡洪积、冲洪积等综合作用的影响，含水岩性颗粒较细，且粘性土的交错分布和穿插，使其含水性、透水性受到明显的影响，径流受阻，水力坡度变大。厂区地带受东部、西南部山区、丘陵的地形、地貌和河谷地带岩性组合特征的影响，加之本地段含水岩性颗粒粗，渗透性能极强，在平面流场上反映

出其水力坡度较缓，呈现出一个富水性极好的富水地带。

(5) 补径排条件

补给条件：调查区地下水主要受大气降水入渗补给，该区包气带岩性为砂卵砾石，地形坡度并不很大，无较大冲沟，且处于草原区，地表植被较茂盛，有利于大气降水的入渗；其次为厂区东、东南的中高山、低山非冻区基岩裂隙水的侧向补给；同时，有少量地表水的补给，如厂区东侧的扎汗沟和湟水渠的入渗补给。

径流条件：调查区潜水径流严格受地形控制，据潜水等水位线图分析，潜水水流方向与地形起伏基本一致。

排泄条件：调查区南部地下水最终侧向排泄于哈利润河或直接排泄入东大滩水库；调查区南部地下水在哈利润河左岸地势低洼处出露形成地下水溢出带，以地表水的形式排泄入哈利润河。

2.2 历史生产情况及污染识别

2.2.1 历史生产工艺

依据 2012 年编制的《青海省海北化工厂铬渣污染场地环境风险定量评估报告》得知，由于海北化工厂破产多年，所涉及的基本资料多已难于找到，根据现场情况，结合采访咨询信息推断，红矾钠产品采用硫酸法生产，硝酸酐采用硫酸熔融法生产。主要原料铬铁矿来源于祁连山，其他原材料绝大部分来源于该州或该省境内，储量丰富，运输方便。海北化工厂采用我国铬盐生产的常用方法——纯碱焙烧硫酸法，具体生产工艺流程见图 2-8。

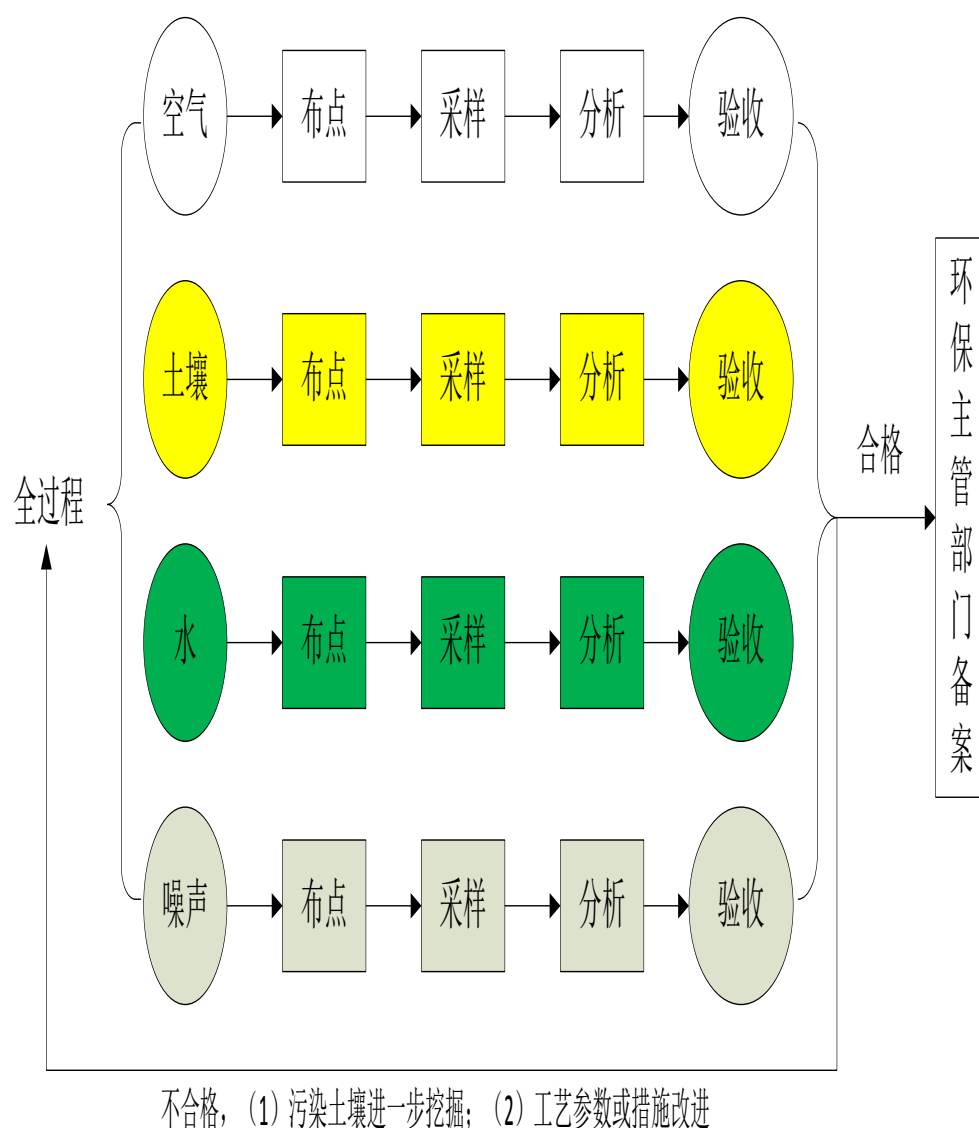


图 2-8 纯碱焙烧硫酸法生产红矾钠的工艺流程

该工艺的缺点是铬提取率低、产渣量大(每生产 1t 重铬酸钠产生 1.8-3t 铬渣)，造成资源、能源的极大浪费和严重的环境污染；生产过程中还需在焙烧原料中加入石灰石、白云石等炉料填充剂，因此产生的铬渣中含有大量的钙镁化合物而呈碱性，其组成随原料产地和生产配方的不同而有所改变。

2.2.2 原生产平面布置

海北铬盐厂始建于 1988 年，1989 年投入试生产。该化工厂内原生产

布局和功能分布如图 2-9 所示。



图 2-9 原海北化工厂平面布置图

以厂区内的道路为界，整个厂区可以分为三个功能区，厂区右上部分为两条道路所围，包括生产车间、产品库房、原料库房、铬渣堆场等建筑，相当于厂区的生产制造区域；道路南面部分包括锅炉房、水处理车间、循环水冷却车间、机修车间、燃料储备车间等，相当于生产辅助区域；道路西端包括办公楼、医务保健楼等，相当于办公区域。

原海北化工厂区内主要构筑物的概况见表 2-4。

表 2-4 海北化工厂主要构筑物概况

主要构筑物名称	长（南北）/m	宽（东西）/m	面积/m ²
整个厂区	250	345	8.3×10 ⁴
铬渣堆场	26	35	910
浸出车间	84	12	1008
红矾车间	47.5	11.5	602
铬酐车间	17.5	17.5	306

产品库房	41.5	12	498
------	------	----	-----

2.2.3 污染识别及污染物毒性分析

根据污染物识别与污染物毒性分析结果,为详细调查海北化工厂污染状况,2008年至2015年间,场地累计开展四个阶段调查工作,经过资料收集、污染物识别、调查采样、风险评估,确定了污染土壤、地下水与建筑垃圾修复工程量。海北化工厂四个阶段环境调查统计情况见表2-5。通过对海北化工厂的调查,发现厂区主要污染物为各类含铬化合物。所有铬化合物浓度过高时都有毒性,但不同价态的铬化合物毒性的强弱有较大区别。金属铬很不活泼,二价铬化合物一般认为无毒。三价铬进入人体过多时,可对人体健康带来危害,但三价铬的毒性较小。六价铬毒性较大,通常以铬酸盐或冲铬酸盐存在,由于溶解度大且易被迅速吸收,对生物组织有刺激性和毒性。

(1) 对水生生物的毒性

海洋水生生物对铬有强的富集能力,其浓缩系数为:海藻 60~120000;无脊椎动物 2~900;鱼类 2000。铬浓度 5mg/L 时,鱼类出现中毒。铬浓度 20mg/L 可使鱼类死亡。Cr(VI) 0.05mg/L 可使水蚤致死,无论是三价或六价铬,对水生生物都能产生毒害作用。

(2) 对植物的毒性

土壤中过量的铬将抑制水稻、玉米、棉花、油菜、萝卜等作物的生长,这些作物由于铬的毒害而发生不同程度的减产,其具体表现为:降低作物的发芽率;引起作物叶片失绿;阻碍作物根的延伸,减少作物根的数量。六价铬比三价铬毒性更强。铬酸钠浓度达 0.1mg/L 时,对小麦、玉米等有毒害作用。由于作物吸收的铬大部分累积在根里,根细胞体积小,数量少,因此作物根部受害最严重。

(3) 对动物的毒性

动物喂饲中毒量的铬酸盐，出现生长障碍，家兔两小时内的致死量是1.9g。给予大剂量铬酸以后，尿中往往有蛋白和脱落细胞，肾充血，脂肪变性、坏死。豚鼠用较小剂量，如0.2~0.5%铬酸钾溶液0.25mL，只出现轻微损害。长期重复较小剂量，不引起病变，铬酸盐对肾小管的亲和力比肾小球强。最早阶段有血管损害，以后迅速影响肾小管，不久后即以肾小管为主要临床表现。

(4) 对人的毒性

铬对人的毒害主要是偶然吸入极限量铬酸或铬酸盐后，引起肾脏、肝脏、神经系统和血液的广泛病变，导致死亡。长期接触Cr(VI)化合物，致皮肤过敏和溃疡、鼻中隔穿孔和支气管哮喘。目前尚无二价、三价铬化合物引起毒性效应的确切证据。Cr(VI)具有强氧化性，易穿入生物膜，其毒理作用在于干扰人体内的正常氧化还原和水解过程。

2.3 场地前期环境调查及评估工作概述

根据污染物识别与污染物毒性分析结果，为详细调查海北化工厂污染状况，2008年至2015年间，场地累计开展四个阶段调查工作，经过资料收集、污染物识别、调查采样、风险评估，确定了污染土壤、地下水与建筑垃圾修复工程量。海北化工厂四个阶段环境调查统计情况见表2-5。

表 2-5 污染调查工作情况汇总

调查阶段	调查时间	调查区域	调查目的	采集样品		调查结论	
				布点数量	地下水样	土壤	地下水
第一阶段	2008.10	厂区及周边； 以厂区为核心	确定厂区土壤污染程度； 确定地下水污染扩散趋势。	37	37	①土壤污染集中在厂区内，往厂区外横向扩散很小。②土壤污染纵向扩散严重，污染深度达 15m 以上，直至地下水位。	地下水污染严重，且向西偏北的方向扩散。
第二阶段	2009.7	原生产厂区	侧重土壤污染工程量的调查； 侧重地下水污染特性的分析； 确定厂区污染区域、程度、深度及土方量等。	29	29	①土壤污染集中在煅烧车间、浸出车间和铬渣堆场三处，污染土方量约 21.7 万 m ³ 。	地下水污染源位于浸出车间和铬渣堆场，并有往西北方向扩散的趋势。
第三阶段	2014.12	厂区及周边，渣场	对厂区及周边，渣场土壤、地下水、地表水污染情况做进一步补充调查。	6	10	厂区内原铬渣场附近和二车间，以及厂区外渣场的土壤均受六价铬污染严重。污染深度达地表以下 18m。	厂区和渣场内地下水均严重超标，六价铬随土壤下渗可能是地下水污染的主要原因。
第四阶段	2015.7	海北化工厂厂区和渣场为核心，东西 2 公里，南北 1 公里的区域，包括海北化工厂原生产区、铬渣堆放区、附属生活区、上星火村，以及西面涌泉和哈勒景河	调查土壤污染浓度和空间分布以及岩土水文地质，分析地下水污染特性，为后续场地的修复治理提供参考和依据。为场地的环境管理提供基础数据和信息，为加强污染场地环境管理提供支撑。	56	35	渣场土壤受堆渣影响其表浅层污染严重，深层土壤在渗透系数较大的沙砾层或因地下水淋洗作用有所降低，但在渗透系数较大的含细砂土混合层中土壤铬污染程度也较重。	厂区内地下水基本都已受到六价铬污染，且地下水中六价铬浓度较高，易随地下水迁移。

2.3.1 第一阶段场地环境调查

2.3.1.1 调查布点及采样

第一阶段场地环境调查开展时间为 2008.10。第一阶段场地调查采用判断布点的原则，在场地污染识别的基础上，选择潜在污染区域进行土壤和地下水布点采样，对污染区域、污染深度、污染物种类进行确认。

现场采样调查过程中，以污染严重的生产厂区为中心，沿地势、风向和地下水流布设土壤采样点 37 个，地下水采样点 37 个（土壤裸孔采样），基本涵盖生产厂区、附属生活区、地下水泉涌区域和下游几个村庄，直至哈利润河附近。现场采用 A-100 型和 150 型柴油液压钻机冲击回转钻探土孔，采集的样品使用 XRF 进行筛选，从表土直至地下水之间，选择有代表性的土壤样品；最后将采集的土壤样品和地下水样品送往实验室进行化学分析。

2.3.1.2 调查结果

第 1 次调查结果显示，海北化工厂内的铬污染较重，下游土壤中的铬污染较轻；但下游地下水中的铬污染较重，这与地下水中铬污染随地下水流向下游有关。

表 2-6 海北化工厂第一阶段调查分析结果

孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK1	0.2	1.1924	58.42	黄土状土
ZK1	1.0	0.1564	26.32	粉质粘土
ZK1	3.0	0.3556	25.39	
ZK1	5.0	0.1776	39.26	
ZK1	7.0	0.2724	33.75	圆砾
ZK1	9.0	0.1648	29.13	
ZK1	11.0	0.9936	52.58	
ZK1	13.0	0.3236	41.91	
ZK1	15.0	0.1436	28.75	
ZK1	17.0	0.1524	24.19	
ZK1	19.0	0.2728	31.19	
ZK1	21.0	0.392	25.52	

孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK1	23.0	0.2968	35.13	
地下水总铬浓度				0.00484 mg/l
地下水位				21.5 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZKB	0.2	6.246	540.05	黄土状土
ZKB	0.5	6.2428	455.5	
ZKB	1.5	5.8716	451.53	
ZKB	2.5	3.2696	333.1	砾砂
ZKB	4.0	2.1632	209.5	
ZKB	5.1	4.3496	312.93	粉砂
ZKB	6.0	2.0152	263	圆砾
ZKB	8.0	1.9364	207.9	
ZKB	10.0	3.7376	309.42	
ZKB	12.0	1.9416	265.8	
ZKB	14.0	1.7124	262.2	
地下水总铬浓度				168 mg/L
地下水位				15.5 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK11	0.2	1.1708	245.69	黄土状土
ZK11	1.0	2.7808	279.27	粉砂
ZK11	2.0	3.0152	334.26	圆砾
ZK11	4.0	3.254	358.38	粉质粘土
ZK11	6.0	2.013	260.1	圆砾
ZK11	8.0	2.1724	355.77	
地下水总铬浓度				0.01591 mg/L
地下水位				6.6 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK12	0.2	3.216	341.46	黄土状土
ZK12	1.0	2.9288	355.41	
ZK12	2.0	3.4584	368.01	
ZK12	4.0	2.9176	307.71	圆砾
ZK12	6.0	2.9032	326.52	
地下水总铬浓度				0.00049 mg/L
地下水位				4.7 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK10	0.2	1.2356	281.1	黄土状土
ZK10	1.0	1.1344	259.7	
ZK10	2.0	1.0836	248.8	
ZK10	3.0	0.4844	164.25	圆砾
ZK10	5.0	0.4996	162.53	

孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK10	6.0	0.592	220	砾砂
ZK10	7.0	0.3476	153.89	
ZK10	8.2	0.4176	161.71	粉质粘土
ZK10	9.5	0.4308	164.39	圆砾
地下水总铬浓度				0 mg/L
地下水位				8.7 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK22	0.2	0.0736	38.6	黄土状土
ZK22	1.0	0.0636	30.2	
ZK22	2.0	0.4976	38.5	
ZK22	3.0	0.226	34.8	砾砂
ZK22	5.0	0.12	29.4	圆砾
ZK22	7.0	0.0908	23.09	
地下水总铬浓度				0.00055 mg/L
地下水位				5.5 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK4	0.6	0.862	139.3	黄土状土
地下水总铬浓度				0.02632 mg/L
地下水位				1.2 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK13	0.2	2.8612	215.2	黄土状土
ZK13	1.0	2.3564	160.2	
地下水总铬浓度				0 mg/L
地下水位				1.9 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK16	0.2	1.6812	166.4	黄土状土
ZK16	1.0	0.9768	145.3	
ZK16	2.0	0.6124	94.1	圆砾
ZK16	4.0	0.8752	106.2	
ZK16	6.0	0.6656	91.63	
ZK16	8.0	0.5776	53	
地下水总铬浓度				0 mg/L
地下水位				9.9 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK17	0.2	0.2396	58.3	黄土状土
ZK17	1.0	0.3108	35.8	
ZK17	1.5	0.2264	43.4	
ZK17	4.0	0.2268	40	圆砾
ZK17	6.0	0.1504	71.6	
地下水总铬浓度				0.018 mg/L

孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
地下水位				6.55 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK8	0.2	0.2645	25.2	黄土状土
ZK8	1.0	0.3712	37.1	
ZK8	2.0	0.212	31.2	
ZK8	3.0	0.1564	28.4	圆砾
ZK8	5.0	0.1412	27.8	
ZK8	7.0	2.2836	222.13	
ZK8	9.0	2.498	262.6	
地下水总铬浓度				169 mg/L
地下水位				6.6 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK30	0.2	0.726	81.7	黄土状土
地下水总铬浓度				0.00161 mg/L
地下水位				0.35 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZKA	0.2	132.336	438.6	黄土状土
ZKA	1.0	112.896	410	
ZKA	2.0	86.728	385.38	
ZKA	4.0	29.96	264	圆砾
ZKA	5.0	28.16	278.55	
ZKA	6.0	37.6	313	粉砂
ZKA	8.0	21.872	220.39	圆砾
ZKA	10.0	33.2	294.9	
ZKA	12.0	27.32	287.37	
ZKA	14.0	21.52	263.7	
ZKA	16.0	64.736	325.26	
ZKA	18.0	66.072	318	
地下水总铬浓度				239 mg/L
地下水位				16.5 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK29	0.2	1.2792	57.95	黄土状土
ZK29	1.0	1.1632	46.53	圆砾
ZK29	2.0	1.008	44.84	
ZK29	4.0	0.8184	44.77	
ZK29	6.0	0.6724	41.48	
ZK29	8.0	0.648	40.38	
ZK29	10.0	1.2056	51.38	
ZK29	12.0	0.7036	46.8	
ZK29	14.0	0.7364	44.35	

孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
地下水总铬浓度				0 mg/L
地下水位				14.6 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK33	0.2	0.5448	237.2	黄土状土
ZK33	1.0	0.3864	216.2	
ZK33	2.0	0.3932	212.1	圆砾
ZK33	4.0	0.376	224.9	
ZK33	5.0	0.7312	225.1	粉质粘土
ZK33	6.0	0.3952	225.7	
ZK33	8.0	0.4408	162.62	圆砾
地下水总铬浓度				0.00059 mg/L
地下水位				8.8 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK2	0.2	0.682	41.77	黄土状土
ZK2	0.9	0.1636	30.33	
ZK2	2.0	0.6708	30.56	圆砾
ZK2	4.0	0.5048	28.09	
ZK2	6.0	0.3672	36.82	粉质粘土
地下水总铬浓度				0.00121 mg/L
地下水位				4.9 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK35	0.2	0.486	47.1	黄土状土
ZK35	1.0	0.2972	43	
ZK35	3.0	0.1684	35.14	圆砾
ZK35	5.0	0.4044	27.63	
ZK35	7.0	0.2688	24.49	
ZK35	8.2	0.1284	45.42	粉砂
ZK35	9.0	2.88	35.65	圆砾
ZK35	11.0	0.3804	67.88	
地下水总铬浓度				0.00039 mg/L
地下水位				11.3 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK23	0.2	0.3876	33.8	黄土状土
ZK23	1.0	0.1584	23.6	
ZK23	2.0	0.11	23.4	圆砾
ZK23	3.0	0.2012	28.3	
ZK23	5.0	0.1672	15.5	
ZK23	7.0	0.1296	16.8	
地下水总铬浓度				0.00461 mg/L
地下水位				6.75m

孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK6	0.6	0.182	23.5	黄土状土
地下水总铬浓度				27 mg/L
地下水位				0.45 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK5	0.5	0.2328	24.8	黄土状土
ZK5	1.5	3.7484	167.5	
地下水总铬浓度				0.01782 mg/L
地下水位				0.7 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK15	0.2	0.2436	24.6	黄土状土
ZK15	1.0	0.2604	31.5	
ZK15	2.0	0.572	35.4	圆砾
ZK15	4.0	0.488	32.6	
ZK15	6.0	0.3496	38.4	
地下水总铬浓度				0.00482 mg/L
地下水位				1.5 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK32	0.2	0.7812	68.94	黄土状土
ZK32	1.0	0.9152	85.41	
ZK32	2.0	0.7084	70.12	
ZK32	3.0	1.2044	97.56	砾砂
ZK32	5.0	1.3492	164.52	圆砾
地下水总铬浓度				2.53 mg/L
地下水位				3.8 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK20	0.2	0.8452	123.66	黄土状土
ZK20	1.0	0.866	113.4	
ZK20	2.0	0.7144	96.98	圆砾
ZK20	4.0	0.9096	78.39	
ZK20	6.0	0.6144	54.36	
ZK20	8.0	0.684	76.75	
ZK20	10.0	0.8584	75.78	
地下水总铬浓度				0 mg/L
地下水位				9.75 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK31	0.2	1.1148	111.4	黄土状土
地下水总铬浓度				0.011 mg/L
地下水位				0.85 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构

孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK3	0.2	0.538	76	黄土状土
ZK3	1.0	0.3184	53.5	
ZK3	3.0	0.2972	44.1	圆砾
ZK3	5.0	0.262	44.9	
地下水总铬浓度				0.0007 mg/L
地下水位				3.9 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK28	0.2	0.8828	77.08	黄土状土
ZK28	1.0	0.6484	42.27	
ZK28	2.0	0.5672	45.31	圆砾
ZK28	4.0	0.5404	42.95	
ZK28	6.0	0.6424	35.4	粉砂
ZK28	7.0	0.8268	48.29	圆砾
ZK28	9.0	0.952	51.45	
ZK28	11.0	0.998	48.62	
ZK28	13.0	1.9716	41.99	
地下水总铬浓度				1.85 mg/L
地下水位				12.5 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK37	0.2	0.3464	38.55	圆砾
ZK37	1.0	0.0992	20.44	
ZK37	2.0	0.2544	26.62	
ZK37	4.0	0.3472	30.2	粉质粘土
ZK37	6.0	0.1972	29.82	
ZK37	8.0	0.2908	35.77	
ZK37	9.0	0.1516	24.77	
ZK37	10.0	0.2544	15.26	
ZK37	12.0	0.1992	13.82	
ZK37	14.0	0.2304	19.64	
ZK37	16.0	0.3788	23.91	
地下水总铬浓度				
地下水位				
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK24	0.2	0.4416	31.72	黄土状土
ZK24	1.0	0.3596	30.69	
ZK24	2.0	0.252	15.72	粉砂
ZK24	4.0	0.2136	12.77	
ZK24	6.0	0.2544	17.69	砾砂
ZK24	8.0	0.2956	14.56	细砂
ZK24	10.0	0.2024	17.18	

孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
地下水总铬浓度				0.00099 mg/L
地下水位				11.2 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK34	0.2	0.3228	59.03	黄土状土
ZK34	1.0	0.3396	45.6	
ZK34	2.0	0.3892	47.76	圆砾
ZK34	4.0	0.3012	20.3	
ZK34	6.0	0.5704	32.24	
地下水总铬浓度				0.00387 mg/L
地下水位				2.7 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK38	0.2	0.8364	115.2	黄土状土
ZK38	1.0	0.69	105.3	
ZK38	2.0	0.6976	86.9	圆砾
ZK38	4.0	0.5696	82.89	
ZK38	6.0	0.7868	71.1	
ZK38	8.0	0.8088	71.82	
ZK38	10.0	0.8276	96.62	
地下水总铬浓度				0.0634 mg/L
地下水位				10.4 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK21	0.2	0.5408	101.5	黄土状土
ZK21	1.0	0.7504	118.1	
ZK21	3.0	0.6328	42.4	圆砾
ZK21	5.0	0.7096	64.1	
ZK21	7.0	0.6404	47.1	
ZK21	9.0	0.4808	33.3	粉质粘土
地下水总铬浓度				0.00053 mg/L
地下水位				8.95 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK14	0.6	2.48	141	黄土状土
地下水总铬浓度				0.00311 mg/L
地下水位				0.6 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK36	0.2	0.402	26.03	黄土状土
ZK36	1.0	1.1904	25.24	
地下水总铬浓度				0.82 mg/L
地下水位				0.43 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK18	0.2	0.2316	89.5	黄土状土

孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK18	1.0	0.2568	75.9	圆砾
ZK18	2.0	0.2948	76.8	
ZK18	3.0	0.3652	64.5	
ZK18	5.0	0.1264	73.8	
ZK18	7.0	0.1296	40.1	
地下水总铬浓度				0.0027 mg/L
地下水位				3.8 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK19	0.2	0.2136	23.5	黄土状土
ZK19	1.0	0.398	36	
ZK19	2.0	0.4548	40.1	
ZK19	4.0	0.214	26.1	圆砾
ZK19	6.0	0.1984	13.4	
地下水总铬浓度				0 mg/L
地下水位				5.1 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK7	0.2	0.824	89.1	黄土状土
ZK7	0.5	0.7152	79.96	
ZK7	1.5	0.7012	81	
ZK7	3.5	1.0564	126.2	圆砾
ZK7	5.0	0.7612	75.8	砂砾
ZK7	7.5	0.4848	60.7	圆砾
ZK7	9.5	0.5408	59.2	
地下水总铬浓度				0.26 mg/L
地下水位				8.8 m
孔号	取样深度	六价铬 mg/kg	总铬 mg/kg	土层结构
ZK9	0.2	2.4992	148.6	黄土状土
地下水总铬浓度				53 mg/L
地下水位				1 m

第一阶段调查表层土壤样品六价铬、总铬检出情况以及地下水总铬检出情况见图 2-10 至图 2-12。

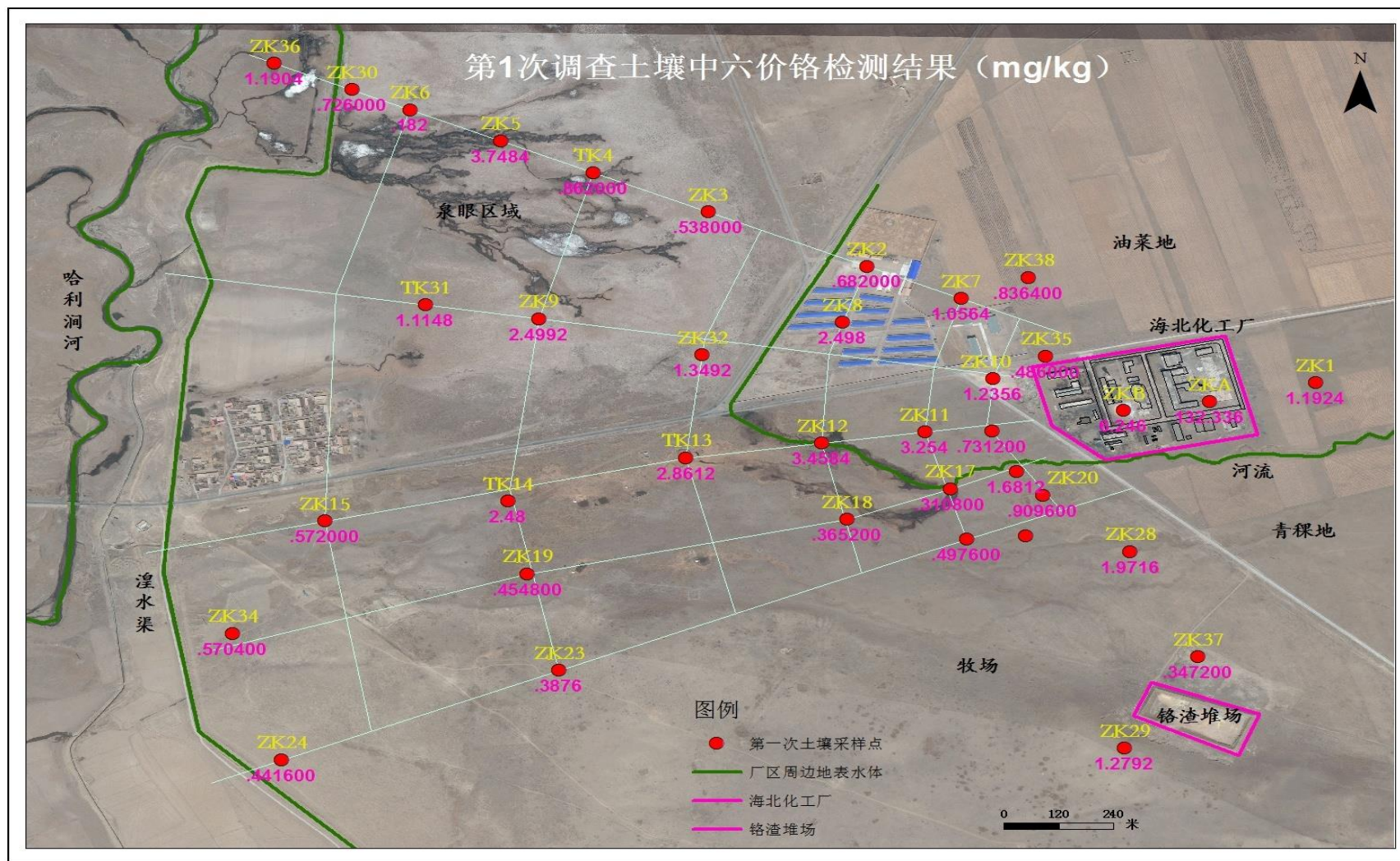


图 2-10 第一阶段调查表层土壤中六价铬浓度

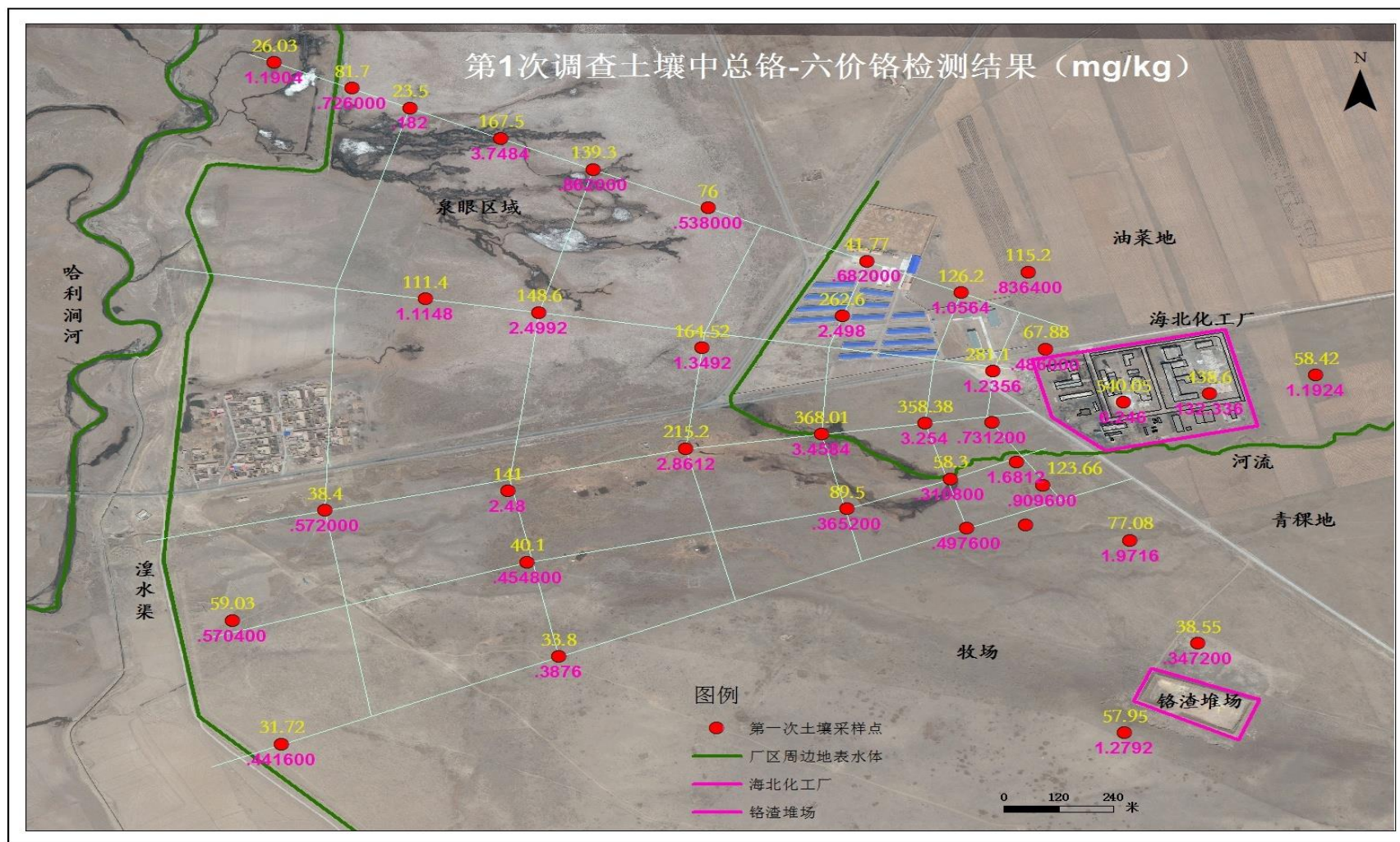


图 2-11 第一阶段调查表层土壤中总铬浓度

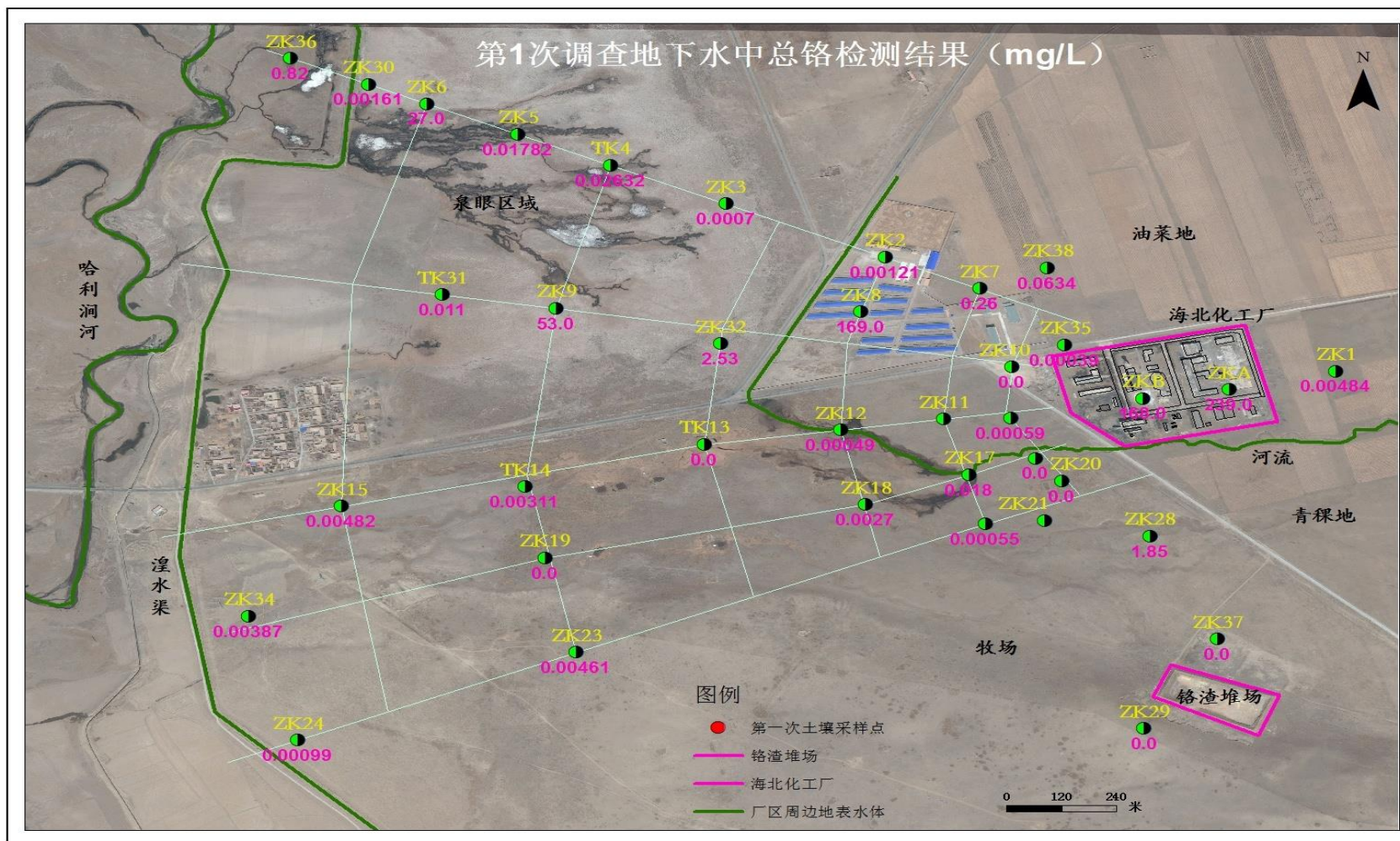


图 2-12 第一阶段调查土孔中地下水的总铬浓度

2.3.2 第二阶段场地环境调查

2.3.2.1 调查布点及采样

2009 年 7 月至 9 月，采用判断布点的原则，在场地污染识别和第一阶段现场采样分析的基础上，根据化工厂原有工艺、设备安置情况和遗留废物堆置现状，重点选择海北化工厂原生产厂区潜在污染区域，对原海北化工厂进行土壤和地下水第二阶段调查，对污染区域、污染深度、污染程度进行确认。

第二阶段场地环境调查和采样工作主要对原生产厂区进行加密布点进行调查。布点重点调查原生产车间和废物堆存场所，如原料堆、原铬渣堆场、原浸出车间、原铬酐车间、原红矾车间、废芒硝堆、废水处置车间等区域。第二阶段调查采用 A-100 型和 150 型柴油液压钻机及 200 型车载式柴油液压钻机冲击回转钻探，一共钻探 29 个土壤钻孔，29 个地下水采样点，累计深度 564m，平均孔深 19.5m。共采集土壤样品 631 个，地下水样 29 个（裸孔采样）。

2.3.2.2 调查结果

表 2-7 海北化工厂第二阶段调查分析结果

孔号	取样深度/m	Cr ⁶⁺ mg/Kg	总 Cr mg/Kg	孔号	取样深度 /m	Cr ⁶⁺ mg/kg	总 Cr mg/Kg
ZK 1	0.2	15.3	70.5	ZK 2	0.2	50.3	720
ZK 1	0.5	15.1	48	ZK 2	0.5	47.2	259.5
ZK 1	1	23.2	35	ZK 2	1	17.9	118
ZK 1	1.5	19.1	39	ZK 2	1.5	17.7	46
ZK 1	2	11.5	21	ZK 2	2	10.6	33.5
ZK 1	3	46.0	32	ZK 2	3	14.3	38.5
ZK 1	4	53.5	34	ZK 2	4	14.5	42
ZK 1	5	21.7	32	ZK 2	5	25.4	44
ZK 1	6	14.4	46.5	ZK 2	6	43.7	33
ZK 1	7	10.7	30	ZK 2	7	17.9	76
ZK 1	8	17.9	31.5	ZK 2	8	24.9	29.5

孔号	取样深度/m	Cr ⁶⁺ mg/Kg	总 Cr mg/Kg	孔号	取样深度 /m	Cr ⁶⁺ mg/kg	总 Cr mg/Kg
ZK 1	9	39.7	32	ZK 2	9	35.8	30.5
ZK 1	10	14.4	35.5	ZK 2	10	21.4	32
ZK 1	11	53.7	16	ZK 2	11	15.3	
ZK 1	12	10.9	20	ZK 2	12	7.6	23
ZK 1	13	17.8	21.5	ZK 2	13	11.5	58
ZK 1	14	11.8		ZK 2	14	15.2	100
ZK 1	15	15.1	36	ZK 2	15	19.4	24
ZK 1	16	22.6		ZK 2	16	23.3	33.5
ZK 1	17	11.5	33.5	ZK 2	17	7.7	116.5
ZK 1	18	22.1		ZK 2	18	11.5	
ZK 1	19	11.3		ZK 2	19	22.1	
ZK 1	20	36.7		ZK 2	20	3.7	
ZK 1	21	55.1		ZK 2	21	0.0	
ZK 1	22	61.9		ZK 2	22	25.9	
ZK 3	0.2	0.0	57	ZK 4	0.2	0.0	545
ZK 3	0.5	0.0	50.5	ZK 4	0.5	0.0	72.5
ZK 3	1	0.0	34	ZK 4	1	0.0	37.5
ZK 3	1.5	0.0	34.5	ZK 4	1.6	0.0	37
ZK 3	2	7.9		ZK 4	2	0.0	35
ZK 3	3	0.0	28	ZK 4	3	0.0	38
ZK 3	4	0.0	33	ZK 4	4	0.0	31
ZK 3	5	0.0	34	ZK 4	5	0.0	
ZK 3	6	0.0	38.5	ZK 4	6	0.0	35.5
ZK 3	7	0.0	37.5	ZK 4	7	0.0	33.5
ZK 3	8	0.0	41.5	ZK 4	8	0.0	42
ZK 3	9	0.0	29.5	ZK 4	9	0.0	101
ZK 3	10	11.7	35.5	ZK 4	10	7.5	37
ZK 3	11	0.0	56.5	ZK 4	11	0.0	35.5
ZK 3	12	15.6		ZK 4	12	0.0	34
ZK 3	13	0.0	30	ZK 4	13	0.0	35.5
ZK 3	14	0.0	33	ZK 4	14	10.9	41.5
ZK 3	15	0.0		ZK 4	15	0.0	39.5
ZK 3	16	32.0	32.5	ZK 4	16	11.2	33.5
ZK 3	17	18.6	32.5	ZK 4	17	0.0	35
ZK 3	18	17.8	24.5	ZK 4	18	0.0	41

孔号	取样深度/m	Cr ⁶⁺ mg/Kg	总 Cr mg/Kg	孔号	取样深度 /m	Cr ⁶⁺ mg/kg	总 Cr mg/Kg
ZK 3	19	14.3	24	ZK 4	19	0.0	
ZK 3	20	14.3	19	ZK 4	20	0.0	27
ZK 3	21	17.9	30	ZK 4	21	0.0	
ZK 3	22	18.5	37	Zk 04			
ZK 5	0.2	1332.3	2880	ZK 06	0.2	0.0	224
ZK 5	0.2	1259.6	0	ZK 06	0.5	10.2	178
ZK 5	0.5	37.5	3425	ZK 06	1	0.0	246
ZK 5	1	587.6	4760	ZK 06	1.5	0.0	120
ZK 5	1.5	130.9	815	ZK 06	2	0.0	104
ZK 5	2	14.8	0	ZK 06	3	0.0	88
ZK 5	3	229.8	323	ZK 06	4	0.0	64
ZK 5	4	22.5	119.5	ZK 06	5	0.0	94
ZK 5	5	48.1	203	ZK 06	6	0.0	238
ZK 5	6	0.0	89.5	ZK 06	7	0.0	208
ZK 5	7	40.0	72	ZK 06	8	3.4	126
ZK 5	8	47.2	47.5	ZK 06	8.1	0.0	82
ZK 5	9	50.7	177	ZK 06	9	0.0	72
ZK 5	10	22.3	150	ZK 06	10	0.0	76
ZK 5	11	7.6	39	ZK 06	11	0.0	120
ZK 5	12	18.5	90.5	ZK 06	12	0.0	100
ZK 5	13	58.9	0	ZK 06	13	0.0	94
ZK 5	15	0.0	42	ZK 06	14	0.0	70
ZK 5	16	0.0	39	ZK 06	15	71.6	462
ZK 5	17	0.0	41	ZK 06	16	0.0	102
ZK 5	18	10.9	59.5	ZK 06	17	0.0	166
ZK 5	19	3.5	49	ZK 06	18	13.5	306
ZK 5	20	0.0	34.5	ZK 06	19	0.0	136
ZK 5	21	0.0	122.5				
ZK 5	22	7.3					
ZK 07	0.5	281.9	1080	ZK 08	0.2	5177.5	38600
ZK 07	0.9	0.0	2820	ZK 08	0.5	471.5	2440
ZK 07	1.5	355.5	1510	ZK 08	1	375.7	5520
ZK 07	1.6	417.4	1066	ZK 08	1.5	169.8	1094
ZK 07	2.8	0.0	422	ZK 08	2	26.0	1588
ZK 07	3.4	0.0	116	ZK 08	3	737.0	0

孔号	取样深度/m	Cr ⁶⁺ mg/Kg	总 Cr mg/Kg	孔号	取样深度 /m	Cr ⁶⁺ mg/kg	总 Cr mg/Kg
ZK 07	4.8	0.0	1118	ZK 08	3.4	229.4	890
ZK 07	5.6	3.4	106	ZK 08	5	227.9	1030
ZK 07	6.5	634.2	332	ZK 08	7	148.2	612
ZK 07	7.4	200.3	836	ZK 08	7.4	733.6	0
ZK 07	8.5	146.7	2750	ZK 08	8	215.9	492
ZK 07	8.9	26.8	866	ZK 08	9	40.6	320
ZK 07	9.6	201.6	1572	ZK 08	17	94.2	1880
ZK 07	10.6	288.9	2270	ZK 08	18	33.8	2160
ZK 07	11	67.8	2000	ZK 08	19	20.3	146
ZK 07	12.3	312.7	1600				
ZK 07	12.8	293.4	3320				
ZK 07	13.4	959.0	2860	10m~16m XRF 快速分析,Cr 显示为 0			
ZK 07	13.5	611.2	2580				
ZK 07	14.5	265.7	1710				
ZK 07	16.3	1376.8	5820				
ZK 07	18	80.5	3840				
ZK 07	19	128.5	7280				
ZK 07	20	46.0	6200				
ZK 9	0.2	0.0	55	ZK 10	0.2	0.0	46.5
ZK 9	0.5	0.0		ZK 10	0.5	3.8	47.5
ZK 9	1	0.0	43	ZK 10	1	0.0	44
ZK 9	1.5	0.0	39.5	ZK 10	1.5	0.0	
ZK 9	2	10.4	33.5	ZK 10	2	82.4	48.5
ZK 9	3	0.0	31	ZK 10	3	0.0	36
ZK 9	4	3.5	23.5	ZK 10	4	3.6	42
ZK 9	5	0.0		ZK 10	5	7.2	39
ZK 9	6	18.0	30	ZK 10	6	0.0	37.5
ZK 9	7	0.0	30.5	ZK 10	7	7.0	35.5
ZK 9	8	3.5	47.5	ZK 10	8	0.0	42.5
ZK 9	9	0.0	30.5	ZK 10	9	0.0	37.5
ZK 9	10	3.5	42	ZK 10	10	7.3	37
ZK 9	11	3.5	31	ZK 10	11	0.0	31.5
ZK 9	12	0.0	44	ZK 10	12	0.0	35
ZK 9	13	52.0	34.5	ZK 10	13	0.0	31
ZK 9	14	0.0	41.5	ZK 10	14	0.0	35.5

孔号	取样深度/m	Cr ⁶⁺ mg/Kg	总 Cr mg/Kg	孔号	取样深度 /m	Cr ⁶⁺ mg/kg	总 Cr mg/Kg
ZK 9	15	0.0	70.5	ZK 10	15	0.0	32
ZK 9	16	3.7	38	ZK 10	16	3.4	38
ZK 9	17	0.0		ZK 10	17	0.0	35
ZK 9	18	0.0		ZK 10	18	11.3	32
ZK 9	19	3.7	35	ZK 10	19	3.5	38
ZK 9	20	0.0	45	ZK 10	20	10.2	30.5
ZK 11	0.2	7732.7	12000	ZK 12	0.2	687.2	2301.36
ZK 11	0.5	2747.7	5200	ZK 12	0.5	1605.8	4150
ZK 11	1	6034.7	9950	ZK 12	1	1517.5	4300
ZK 11	1.5	5860.0		ZK 12	1.5	566.6	550
ZK 11	2	5254.2	7650	ZK 12	2	34.0	115
ZK 11	2.5	4021.7	5850	ZK 12	3	34.3	125
ZK 11	3	3973.4	5650	ZK 12	4	10.2	79.5
ZK 11	4	1272.4	1350	ZK 12	5	41.1	38
ZK 11	5	435.7		ZK 12	6	60.8	89
ZK 11	6	663.6	940	ZK 12	7	303.9	280
ZK 11	7	353.5	580	ZK 12	8	0.0	47.5
ZK 11	8	1133.5	1430	ZK 12	9	0.0	50
ZK 11	9	284.4	3485	ZK 12	10	0.0	511
ZK 11	10	184.8	475	ZK 12	11	24.0	54
ZK 11	11	259.0	975	ZK 12	12	0.0	80
ZK 11	12	39.3	79.5	ZK 12	13	13.6	55.5
ZK 11	13	6.9	70	ZK 12	14	23.8	266
ZK 11	14	54.8	124.5	ZK 12	15	0.0	40
ZK 11	15	0.0	51.5	ZK12	16		
ZK 11	16	13.8	70	ZK 12	17	42.1	50.5
ZK 11	17	27.7	100	ZK 12	18	0.0	102
ZK 11	18	0.0	102	ZK 12	19	55.5	41
ZK 11	19	0.0	65	ZK 12	20	35.9	72
ZK 11	20	7.0	39				
ZK 11	21	0.0	77				
ZK 13	0.2	1575.5	1250	ZK 14	0.2	14.4	47.5
ZK 13	0.5	2189.0	4450	ZK 14	0.5	24.6	39.5
ZK 13	1	2773.9	3520	ZK 14	0.6	10.7	67.5
ZK 13	1.5	381.9		ZK 14	1	0.0	39

孔号	取样深度/m	Cr ⁶⁺ mg/Kg	总 Cr mg/Kg	孔号	取样深度 /m	Cr ⁶⁺ mg/kg	总 Cr mg/Kg
ZK 13	2	174.7	445	ZK 14	1.5	3.6	38
ZK 13	3	92.4	360	ZK 14	2	0.0	28
ZK 13	4	10.1	78	ZK 14	3	3.6	39.5
ZK 13	5	118.9	78	ZK 14	4	3.6	35.5
ZK 13	6	16.6	102	ZK 14	5	18.2	33
ZK 13	7	0.0	119	ZK 14	6	0.0	38.5
ZK 13	8	54.4	238.5	ZK 14	7	0.0	40
ZK 13	9	7.3	58	ZK 14	8	0.0	46.5
ZK 13	10	61.2	261	ZK 14	9	0.0	105
ZK 13	11		206.5	ZK 14	10	7.5	39.5
ZK 13	12	0.0	80	ZK 14	11	21.2	92.5
ZK 13	13	203.3	668	ZK14	12	0.0	34
ZK 13	14	60.2	192	ZK 14	13	6.9	35.5
ZK 13	15	44.7	89	ZK 14	14	13.8	23
ZK 13	16	7.3	849.5	ZK 14	15	3.5	28
ZK 13	17	3.7	76	ZK 14	16	7.0	41.5
ZK 13	18	0.0		ZK 14	17	0.0	50.5
ZK 13	20	537.6		ZK 14	18	3.5	62.5
ZK 13	21	359.9	131	ZK 14	19	6.9	55
ZK 15	0.2	0.0	50	ZK 16	0.2	0.0	48.5
ZK 15	0.5	11.1		ZK 16	0.5	0.0	37.5
ZK 15	1	0.0	53.5	ZK 16	1	19.3	39
ZK 15	1.5	14.8	0	ZK 16	1.5	0.0	47
ZK 15	2	0.0	46	ZK 16	2	3.9	99.5
ZK 15	3	0.0	37.5	ZK 16	3		
ZK 15	4	0.0	34.5	ZK 16	4	19.3	44.5
ZK 15	5	0.0	34.5	ZK 16	5	7.6	20.5
ZK 15	6	3.6	30.5	ZK 16	6	19.1	22.5
ZK 15	7	0.0	35	ZK 16	7	26.7	22.5
ZK 15	8	0.0	35	ZK 16	8	15.7	33.5
ZK 15	9	0.0	30	ZK 16	9	22.6	34
ZK 15	10	0.0	34	ZK 16	10	7.7	24.5
ZK 15	11	0.0	35.5	ZK 16	11	11.3	23
ZK 15	12	11.5	25.5	ZK 16	12	11.5	42
ZK 15	13	0.0	41	ZK 16	13	15.4	40.5

孔号	取样深度/m	Cr ⁶⁺ mg/Kg	总 Cr mg/Kg	孔号	取样深度 /m	Cr ⁶⁺ mg/kg	总 Cr mg/Kg
ZK 15	14	0.0	41	ZK 16	14	7.8	37.5
ZK 15	15	0.0	33	ZK 16	15	11.3	30.5
ZK 15	16	3.7	32	ZK 16	16	15.3	41
ZK 15	17	0.0		ZK 16	17	50.1	106
ZK 15	18	7.4	27				
ZK 15	19	0.0	28				
ZK 17	0.2	1812.3	3500	ZK 18	0.2	7.0	95.5
ZK 17	0.5	95.7	137.5	ZK 18	0.5	24.2	291.5
ZK 17	1	70.2	278	ZK 18	1	10.5	264.5
ZK 17	1.5	25.3	139.5	ZK 18	1.5	6.9	81.5
ZK 17	2	46.5	173.5	ZK 18	2	20.5	78.5
ZK 17	3	10.9	175	ZK 18	3	30.7	112
ZK 17	4	3.5	62.5	ZK 18	4	20.7	220.5
ZK 17	5	7.1	168.5	ZK 18	5	322.0	
ZK 17	6	18.1	55	ZK 18	6	3.5	
ZK 17	7	3.6	42.5	ZK 18	7	17.0	84
ZK 17	8	35.2	62.5	ZK 18	8	14.0	71.5
ZK 17	9	0.0	72	ZK 18	9	31.4	105
ZK 17	10	0.0	49	ZK 18	10	20.7	173.5
ZK 17	11	0.0	66	ZK 18	11	20.7	105
ZK 17	12	3.6	58	ZK 18	12	0.0	
ZK 17	13	59.6	109.5	ZK 18	13	0.0	78.5
ZK 17	14	0.0	90	ZK 18	14	0.0	125
ZK 17	15	0.0	271.5	ZK 18	15	7.2	107
ZK 17	16	3.5	107.5	ZK 18	16	14.6	187
ZK 17	17	0.0		ZK 18	17	0.0	99.5
ZK 17	18	14.2	58	ZK 18	18	46.4	98.5
ZK 17	19	10.5					
ZK 17	20	14.3	52				
ZK 19	0.2	38.6	159	ZK 20	0.2	22.0	410.5
ZK 19	0.5	28.2	232	ZK 20	0.5	0.0	291
ZK 19	1	50.8	117.5	ZK 20	1	33.3	168.5
ZK 19	1.5	53.6	84.5	ZK 20	1.5	36.8	212.5
ZK 19	2	17.2	107	ZK 20	2	29.9	215
ZK 19	3	13.8	161	ZK 20	3	44.6	134.5

孔号	取样深度/m	Cr ⁶⁺ mg/Kg	总 Cr mg/Kg	孔号	取样深度 /m	Cr ⁶⁺ mg/kg	总 Cr mg/Kg
ZK 19	4	15.7	220.5	ZK 20	4	0.0	53.5
ZK 19	5	12.0	135.5	ZK 20	5	0.0	95.5
ZK 19	6	244.2	209	ZK 20	6	0.0	123
ZK 19	7	54.2	1280	ZK 20	7	0.0	72.5
ZK 19	8	759.8		ZK 20	8	0.0	101
ZK 19	9	1772.1	1360	ZK 20	9	0.0	
ZK 19	10	687.7	729.5	ZK 20	10	0.0	50
ZK 19	11	945.7	1165	ZK 20	11	0.0	84.5
ZK 19	12	869.1		ZK 20	12	7.4	39
ZK 19	13	1468.7	1135	ZK 20	13	0.0	
ZK 19	14	1313.2	1225	ZK 20	14	0.0	731
ZK 19	15	672.0	1320	ZK 20	15	380.5	428.5
ZK 19	16	1046.9	1130	ZK 20	16	13.9	91
ZK 19	17	161.1	510	ZK 20	17	73.3	163
ZK 19	18	144.3					
ZK 19	18	60.9	285.5				
ZK 21	0.2		65				
ZK 21	0.5	24.1	67	ZK 22	0.5	0.0	48.5
ZK 21	1	10.6	56.5	ZK 22	1	25.0	134
ZK 21	1.5	13.9	25	ZK 22	1.5	0.0	47
ZK 21	2	14.1		ZK 22	2	10.6	35
ZK 21	3	0.0	32	ZK 22	3	35.2	125.5
ZK 21	4	0.0	33.5	ZK 22	4	10.8	67
ZK 21	5	10.3	24	ZK 22	5	0.0	38.5
ZK 21	6	0.0	29	ZK 22	6	0.0	45
ZK 21	7	10.4		ZK 22	7	0.0	48
ZK 21	8	10.5		ZK 22	8	0.0	52.5
ZK 21	9	318.2	39	ZK 22	9	0.0	102.5
ZK 21	10	0.0	36	ZK 22	10	0.0	93.5
ZK 21	11	0.0	53.5	ZK 22	11	0.0	167
ZK 21	12	3.9	33	ZK 22	12	0.0	96
ZK 21	13	0.0	36.5	ZK 22	13	11.3	68
ZK 21	14		36	ZK 22	14	14.7	
ZK 21	15	0.0	69	ZK 22	15	33.7	99.5
ZK 21	16	0.0	46	ZK 22	16	7.6	62.5

孔号	取样深度/m	Cr ⁶⁺ mg/Kg	总 Cr mg/Kg	孔号	取样深度 /m	Cr ⁶⁺ mg/kg	总 Cr mg/Kg
ZK 21	17	0.0	38				
ZK 23	0.2	14.4	55	ZK 24	0.2	0.0	
ZK 23	0.5	0.0		ZK 24	0.5	0.0	42
ZK 23	1	0.0		ZK 24	1	0.0	46.5
ZK 23	1.5	18.0	35	ZK 24	1.5	0.0	30.5
ZK 23	2	3.5		ZK 24	2	0.0	32.5
ZK 23	3	0.0	35	ZK 24	3	0.0	32.5
ZK 23	5	14.0	40	ZK 24	4	0.0	49
ZK 23	6	17.6	36	ZK 24	5	0.0	33
ZK 23	7	39.8	37	ZK 24	6	0.0	31
ZK 23	8	14.2	30.5	ZK 24	7	0.0	40.5
ZK 23	9	0.0		ZK 24	8	0.0	39
ZK 23	10	0.0	35.5	ZK 24	9	0.0	37.5
ZK 23	11	11.1		ZK 24	10	14.8	27.5
ZK 23	12	0.0	33	ZK 24	11	0.0	36.5
ZK 23	13	0.0	32.5	ZK 24	12	0.0	22
ZK 23	14	0.0	36.5	ZK 24	13	0.0	39.5
ZK 23	15	0.0	33	ZK 24	14	21.1	31.5
ZK 23	16	0.0	60				
ZK 23	17	6.9					
ZK 23	18	10.4	35				
ZK 25	0.2	0.0	42.5	ZK 26	0.2	20.7	51.5
ZK 25	0.5	0.0	43.5	ZK 26	0.5	10.3	39.5
ZK 25	1	8.0	35.5	ZK 20	1	3.4	40
ZK 25	1.5	0.0	30	ZK 26	1.5	3.5	43.5
ZK 25	2	0.0		ZK 26	2	7.0	38.5
ZK 25	3	0.0	40.5	ZK 26	3	3.5	31.5
ZK 25	4	0.0	35	ZK 26	4	10.5	32
ZK 25	5	0.0	38.5	ZK 26	5	0.0	
ZK 25	6	0.0	21	ZK 26	6	0.0	25.5
ZK 25	7	0.0	31.5	ZK 26	7	0.0	30
ZK 25	8	0.0	115.5	ZK 26	8	0.0	30.5
ZK 25	9	0.0	33.5	ZK 26	9	7.1	30.5
ZK 25	10	0.0	36	ZK 26	10	14.7	29
ZK 25	11	0.0	43	ZK 26	11	7.2	35.5

孔号	取样深度/m	Cr ⁶⁺ mg/Kg	总 Cr mg/Kg	孔号	取样深度 /m	Cr ⁶⁺ mg/kg	总 Cr mg/Kg
ZK 25	12	15.7	103	ZK 26	12	7.1	39
ZK 25	13	0.0	37	ZK 26	13	10.6	177.5
ZK 25	14	0.0		ZK 26	14	14.2	23.5
ZK 25	15	0.0	39.5	ZK 26	18	13.8	
ZK 27	0.2	17.7	35	ZK 28	0.2	11.6	48.5
ZK 27	0.5	28.8	39	ZK 28	1	87.7	36
ZK 27	1	18.2	29.5	ZK 28	1.5	15.0	
ZK 27	1.5	10.8	41	ZK 28	2	15.3	29
ZK 27	2	14.4	34	ZK 28	3	11.5	26.5
ZK 27	3	10.8	0	ZK 28	4	7.7	20.5
ZK 27	4	3.6	29	ZK 28	5	78.9	30.5
ZK 27	5	24.8	37	ZK 28	6	56.7	93.5
ZK 27	6	36.2	30.5	ZK 28	7	7.6	
ZK 27	7	3.6	33.5	ZK 28	8	14.7	23
ZK 27	8	10.8	15	ZK 28	9	33.5	30
ZK 27	9	7.2	34.5	ZK 28	10	18.4	21.5
ZK 27	10	14.2	31	ZK 28	11	21.9	61
ZK 27	11	3.6	30.5	ZK 28	12	3.7	
				ZK 28	13	0.0	
ZK 27	12	35.9	27.5	ZK 28	14	11.2	19.5
ZK 27	13	34.0	35	ZK 28	15	3.7	45
ZK 27	14	30.6	60.5	ZK 28	16	3.7	74.5
ZK 29	0.2	38.1	827	ZK 29	8	185.4	172
ZK 29	0.5	53.4	500	ZK 29	9	622.9	680
ZK 29	1	75.3	970	ZK 29	10	186.9	
ZK 29	1.5	67.0	861.5	ZK 29	11	75.0	171
ZK 29	2	335.1	700	ZK 29	12	377.0	521.5
ZK 29	3	30.9	300	ZK 29	13	178.4	181.5
ZK 29	4	79.9		ZK 29	14	135.9	259
ZK 29	5	65.1	218.5	ZK 29	15	125.2	257
ZK 29	6	277.0		ZK 29	16	399.3	510
ZK 29	7	244.8	265	ZK 29	17	318.8	570



图 2-13 第二阶段调查表层土壤中六价铬浓度 (0-1.5m)



图 2-14 第二阶段调查土壤中六价铬浓度（1.5-5m）



图 2-15 第二阶段调查土壤中六价铬浓度（5-10m）



图 2-16 第二阶段调查土壤中六价铬浓度（10-13m）



图 2-17 第二阶段调查土壤中六价铬浓度（13-20m）



图 2-18 第二阶段调查土壤中六价铬浓度（20-23 m）

2.3.3 场地风险评估

中国环境科学研究院按照《污染场地风险评估技术导则》（2012年）的相关规定和要求，按照前期第一阶段和第二阶段场地环境调查的污染物数据，结合场地污染概念模型以及未来的规划用途综合考虑，开展了污染场地人体健康风险评估，获得了适用于原海北化工厂厂内土壤和附近2平方公里地下水的三价铬和六价铬的人体健康风险值及目标修复值。人体健康风险评估主要包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征和控制值计算五个步骤。

（1）危害识别

海北化工厂历史上的跑冒滴漏和无组织排放，以及企业关停后铬渣的长期堆存淋溶，场地土壤和地下水都受到严重的铬污染。根据海北州海晏县工业园区总体规划设计，海北化工厂地块将用做工业用地。在工业等非敏感性用地方式下，成人的暴露周期长、暴露频率高，选择成人期的暴露来评估污染物的致癌和非致癌风险。

（2）暴露评估

场地的关注污染物为三价铬和六价铬，不存在吸入气态污染物暴露途径。因此，暴露途径只有土壤的经口摄入、皮肤接触和呼吸吸入途径，以及地下水饮用的四个暴露途径，其中致癌风险只评估六价铬的土壤颗粒呼吸吸入途径（目前只有六价铬存在呼吸吸入致癌斜率因子）。同时，整个生产区土壤作为一个污染源考虑对地下水的淋溶影响，受影响的污染地下水做一个污染源进行分析。

暴露参数包括暴露频率、暴露期、土壤和地下水的摄入量 and 人体的相关参数。人体相关参数如体重、寿命、空气呼吸率和日饮水量等主要依据国内的相关统计数据确定，部分数据根据场地实际情况测定。

（3）毒性评估

毒性评估的工作内容包括分析关注污染物的健康效应(致癌和非致癌效应)，确定污染物的毒性参数值。

对于非致癌物质，假定其在高浓度条件下都会产生不良的健康效应。阈值指在此剂量下不良的效应开始出现。低于阈值剂量被认为是安全的，而高于阈值剂量可能会导致不良的健康效应。

对于致癌物质，致癌效应的剂量~反应关系是以各种关于剂量和反应的定量研究为基础建立的。致癌风险的关键是控制污染物的浓度确保致癌的风险处于可接受的风险水平上。

(4) 风险表征

在风险表征阶段，将铬（三价、六价）作为主要关注污染物，并以不同土壤层不同暴露途径开展了致癌风险值及非致癌危害商的计算。

2.3.3.1 风险表征

(1) 致癌风险计算

评估场地的主要污染物质为含铬物质，由于三价铬缺乏致癌效应及相关毒性参数，国内外研究报道中也未见相关数据，因此场地致癌风险评估主要针对六价铬展开，将不对三价铬进行分析计算。

国内风评导则中，六价铬只有吸入致癌风险的斜率因子参数可用，其他两项经口和经皮的致癌斜率因子都未提供，国内外的研究中对六价铬经口的致癌毒性分歧较大，还未得出严谨的结论，因此评估只考虑吸入污染土壤颗粒的致癌风险。

表 2-8 工业用地吸入土壤颗粒致癌风险计算

参数名称			参数取值	参数来源	备注
PISER _{ca}	吸入土壤颗粒暴露量 (致癌效应)		7.00E-09 kg kg ⁻¹ d ⁻¹	风评导则	计算结果
SFi	呼吸吸入致癌斜率因子		4.20E+01 (mg kg ⁻¹ d ⁻¹) ⁻¹	风评导则	选取推荐值
Csur	表层土壤污染物浓度	六价铬	1125 mg/kg	实测	95%置信 上限值
CR _{PIS}	吸入土壤颗粒暴露于单一	六价铬	3.31E-04	风评导则	计算结果

	污染物致癌风险				
--	---------	--	--	--	--

(2) 非致癌危害商计算

风险评估的表层土壤单一污染物的暴露途径包括三个,分别是经口摄入、皮肤接触和吸入土壤颗粒。

表 2-9 工业用地经口摄入土壤非致癌危害商计算

参数名称			参数取值	参数来源	备注
OISER _{nc}	经口摄入土壤暴露量 (非致癌效应)	三价格	1.176E-06 kg kg ⁻¹ d ⁻¹		计算结果
		六价格			
C _{sur}	表层土壤中 污染物浓度	三价格	2508 mg/kg	实测	95%置信上限
		六价格	1125 mg/kg		
RfDo	经口摄入参考剂量	三价格	1.5 mg kg ⁻¹ d ⁻¹	风评导则	选取推荐值
		六价格	3.00E-03 mg kg ⁻¹ d ⁻¹		
SAF	暴露于土壤的参考剂量分配系数		0.20	风评导则	选取推荐值
HQ _{OIS}	经口摄入土壤暴露于单一 污染物非致癌危害商	三价格	9.83E-3		计算结果
		六价格	2.21		计算结果

表 2-10 工业用地皮肤接触土壤非致癌危害商计算

参数名称			参数取值	参数来源	备注
DCSER _{nc}	皮肤接触的土壤 暴露量 (非致癌)	三价格	6.66E-08 kg kg ⁻¹ d ⁻¹	风评导则	计算结果
		六价格			
C _{sur}	表层土壤中 污染物浓度	三价格	2508 mg/kg	实测	95%置信上限
		六价格	1125 mg/kg		
RfD _d	皮肤接触参考剂量	三价格	0.0195 mg kg ⁻¹ d ⁻¹	风评导则	选取推荐值
		六价格	7.50E-5 mg kg ⁻¹ d ⁻¹		
SAF	暴露于土壤参考剂量分配系数		0.20	风评导则	选取推荐值
HQ _{DCS}	皮肤接触土壤暴露单一 污染物非致癌危害商	三价格	0.0428		计算结果
		六价格	5.00		

表 2-11 工业用地吸入土壤颗粒非致癌危害商计算

参数名称			参数取值	参数来源	备注
PISER _{nc}	吸入土壤颗粒暴露量 (非致癌效应)	三价格	2.01E-08 kg kg ⁻¹ d ⁻¹	风评导则	计算结果
		六价格			
C _{sur}	表层土壤 污染物浓度	三价格	2508 mg/kg	实测	95%置信上限
		六价格	1125 mg/kg		
RfD _i	呼吸吸入参考剂量	三价格	2.68E-5 mg kg ⁻¹ d ⁻¹	RBCA 模型参数	依据 RBCA 模型与风评 导则公式
		六价格	2.68E-5		

参数名称			参数取值	参数来源	备注
			mg kg ⁻¹ d ⁻¹		计算修正
SAF	暴露于土壤参考剂量分配系数		0.20	风评导则	选取推荐值
HQPIS	吸入土壤颗粒暴露于单一污染物非致癌危害商	三价铬	9.43		计算结果
		六价铬	4.23		

(3) 所有污染物致癌风险和非致癌危害指数

表 2-12 土壤所有关注污染物各暴露途径累计致癌风险

途径 致癌风险 污染因子	经口摄入土壤	皮肤接触土壤	吸入土壤颗粒物	饮用地下水	所有途径单一污染因子累计致癌风险	累计致癌风险值
六价铬	—	—	3.31E-04	—	3.31E-04	3.31E-04
三价铬	—	—	—	—	—	

表 2-13 土壤所有关注污染物各暴露途径累计非致癌危害商

途径 非致癌危害商 污染因子	经口摄入土壤	皮肤接触土壤	吸入土壤颗粒	所有途径单一污染因子累计非致癌危害商	累计非致癌危害商
三价铬	9.83E-3	0.0428	9.43	9.483	20.923
六价铬	2.21	5.00	4.23	11.44	

2.3.3.2 场地风险评价结果

在风险表征阶段，将铬（三价、六价）作为主要关注污染物，并以不同土壤层不同暴露途径开展了致癌风险值及非致癌危害商的计算，按照污染物的致癌风险可接受值为 10^{-6} 、非致癌风险可接受值小于 1 作为污染场地的风险评价基准，得出如下结论：

表层土壤中六价铬在经口摄入土壤和吸入土壤颗粒物这两个暴露途径的致癌风险均超过 10^{-6} ，并达到 10^{-4} 数量级，风险水平较高；六价铬的非致癌危害在各暴露途径下也都超过可接受值 1，其各暴露途径累计的非致癌危害达到 11.44，危害水平较高。

表层土壤中三价铬在经口摄入土壤和皮肤接触土壤这两个暴露途径的非致癌危害都远远小于 1，危害水平在可接受范围之内，但在吸入土壤颗粒非致癌危害商高达 9.483，危害水平较高。

2.3.3.3 场地修复目标值

(1) 土壤修复目标值

比较经过上述计算得到的各关注污染物基于致癌风险的土壤限值、基于非致癌风险的土壤限值和基于淋溶风险的土壤限值,合理选择场地土壤修复建议目标值。

表 2-14 各种途径计算下的修复目标值比较

计算途径	目标值结果 mg/kg		备注
	六价铬 mg/kg	三价铬 mg/kg	
致癌风险土壤限值 (可接受风险 10^{-5})	34.0	—	建议表层客土, 场地再利用表层硬化阻断途径
非致癌风险土壤限值	98.4	264.6	建议表层客土, 场地再利用表层硬化阻断途径
淋溶风险土壤限值	44.6	—	

根据海北化工厂污染场地的实际情况,该地块未来规划作为工业用地进行开发,建议在场地修复治理中对场地表层土壤进行客土置换,在场地后期开发中对场地表面进行硬化,阻断表层污染土壤暴露途径,因而可以切断吸入土壤颗粒致癌风险暴露途径。因此场地土壤建议修复目标值主要考虑淋溶风险,暂定为 44.6mg/kg。考虑目前实验结果及国内外的修复技术水平,修复的可行性,根据《污染场地风险评估导则》对修复目标值的确定方法,建议将场地的六价铬修复目标值定为 50mg/kg。经中国环境科学研究院实验证明,以目前的实验结果及场地的具体情况,修复到 50mg/kg 从可接受性、可行性、经济性等考虑为最优目标值。

(2) 地下水修复目标值

表 2-15 基于地下水饮用途径非致癌风险的修复目标值计算

参数名称			参数取值	参数来源	备注
CGWER _{nc}	饮用地下水暴露量 (非致癌效应)	三价铬	1.65E-02 L kg ⁻¹ d ⁻¹	风评导则	计算结果
		六价铬			
RfDo	经口摄入参考剂量	三价铬	1.5 mg kg ⁻¹ d ⁻¹	风评导则	选取推荐值
		六价铬	3.00E-03 mg kg ⁻¹ d ⁻¹		
WAF	暴露于水的参考剂量分配系数		0.20	风评导则	选取推荐值
AHQ	可接受危害商值		1		

SL _{Gw}	基于饮用地下水途径 非致癌风险修复目标值	三价铬	18.2 mg/L		计算结果
		六价铬	0.0364 mg/L		计算结果

根据《原海北化工厂厂区内六价铬污染土壤和地下水修复治理方案》（2015 年 7 月），项目场地周边主要为农田和工厂，且场地下的地下水汇入东大滩水库后一部分用作灌溉用水。

场地地下水修复标准的确定较之前的风险评估有所不同，由于本项目重点关注地下水污染对地表水环境质量的影响，由地表水环境功能要求，采用地下水污染模拟预测结果，计算地下水污染修复（防控）目标。具体到本项目，地表水保护对象为场地西北方向 1 公里处多个地下水流出的泉眼（A、B、C 泉），因此，泉眼处地下水的修复应采用地下水 III 类水标准 0.05mg/L（III 类以人体健康基准值为依据，主要适用于集中式生活饮用水水源及工、农业用水）；由于污染地下水自厂区流出之后在迁移到达泉眼处会得到一定的稀释，因此厂区内地下水的六价铬修复标准可基于对以上稀释倍数的准确评估，即地下水 III 类水标准 0.05mg/L 乘以稀释倍数。因此，综合考虑海北化工厂厂区至排泄点（A 泉）之间的自然衰减作用，因此海北化工厂厂区内地下水中六价铬浓度修复标准建议为 0.5mg/L。

2.3.4 第三阶段场地环境调查

2.3.4.1 调查布点及采样

2014 年 12 月期间，根据第一阶段和第二阶段场地环境调查和采样分析的结果，以及化工厂原有工艺、设备安置情况和遗留废物堆置现状，对原海北化工厂开展了第三阶段调查。第三阶段场环境地调查和采样工作主要对原生产厂区和渣场进行加密布点进行调查。采用文登 200 工程钻机钻探，一共钻探 6 个土壤钻孔（地表以下 13-21m 不等），累计深度 105m，平均孔深 17.5m，共采集土壤样品 40 个。一共钻探 10 个地下水采样点，

其中浅层井 8 口（地表以下 3-19m 不等，深层井 2 口（地表以下 22.5-23.5m），累计深度 127.1m，平均井深 12.71m，共采集地下水样 10 套。同时，采集了地表水样品 10 套。

2.3.4.2 调查结果

第三阶段调查结果表明：

（1）厂区内原铬渣场附近和二车间，以及厂区外渣场的土壤均受六价铬污染严重，六价铬浓度在 0.25-492mg/kg 之间，最大超过风险值（50mg/kg）8.84 倍，污染深度达地表以下 18m。

（2）厂区和渣场内地下水均严重超标，六价铬浓度在 0-399.5mg/L 之间，最大超过《地下水质量标准》III类标准（0.05mg/L）7989 倍，厂区下游 W5 监测井中六价铬也超过标准值 44.6 倍。

（3）厂区内部分深层井和厂区外距离较近的浅层井内地下水六价铬未检出，可能与前期修复中试过程中还原药剂注入后随地下水的迁移及还原作用有关。

（4）哈利润河中游所取地表水有六价铬检出，超过《地表水环境质量标准》中IV类水标准 0.82 倍。

（5）由土壤污染深度和地下水污染情况推断，六价铬随土壤下渗可能是地下水污染的主要原因。

（6）由厂区外地下水和地表水六价铬检出情况推测，地表水污染可能与泉眼出露有关。

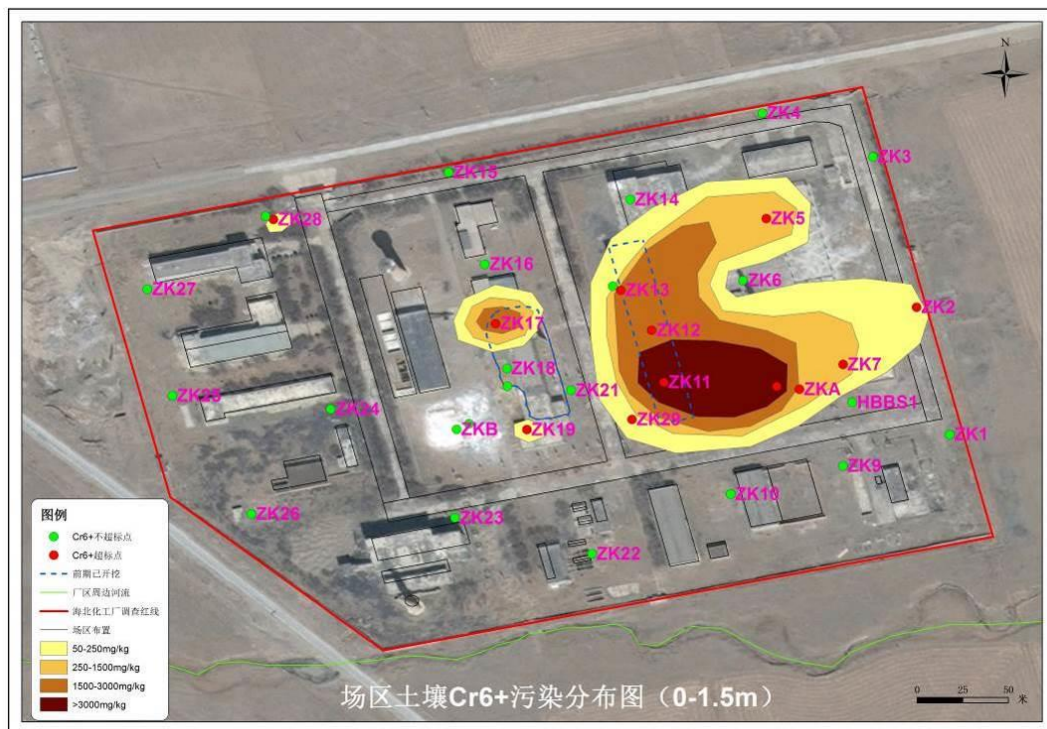


图 2-19 第三阶段调查第一层（0-1.5m）土壤中六价铬污染分布

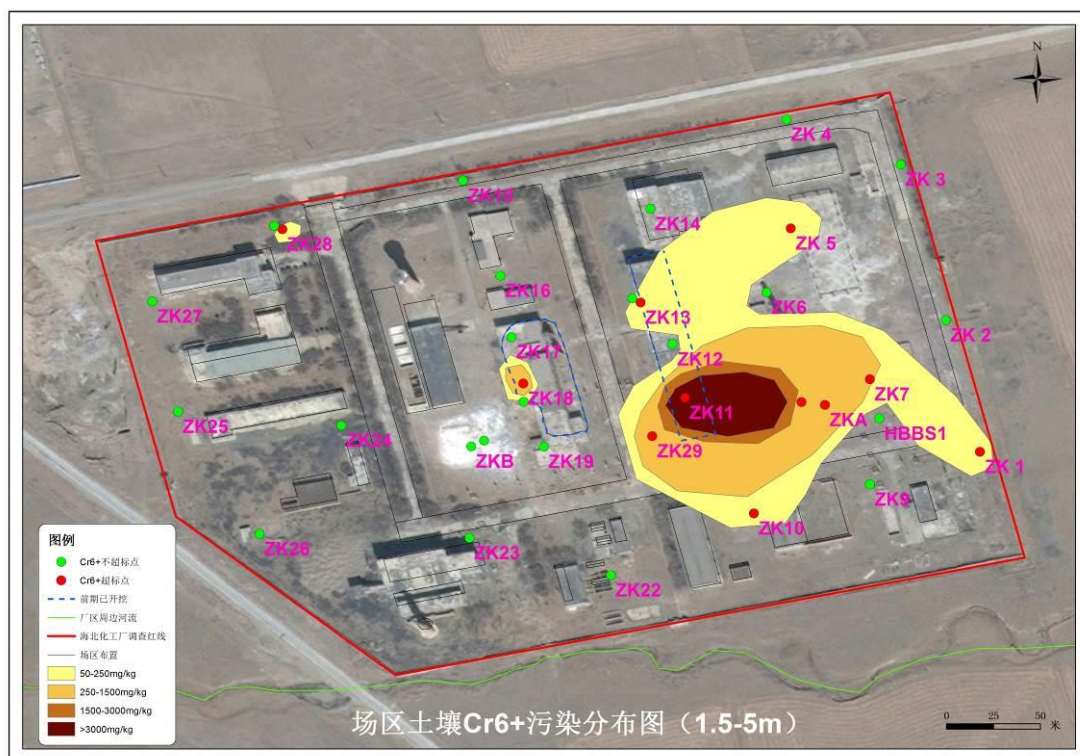


图 2-20 第三阶段调查第二层（1.5-5m）土壤中六价铬污染分布

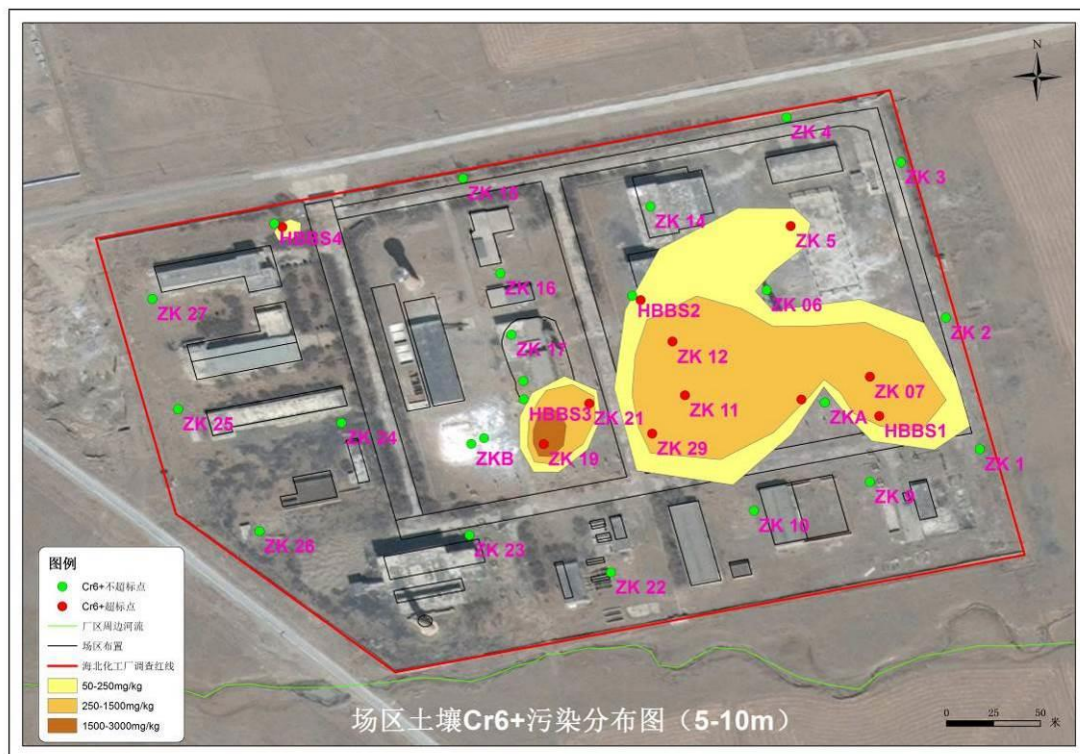


图 2-21 第三阶段调查第三层 (5-10m) 土壤中六价铬污染分布

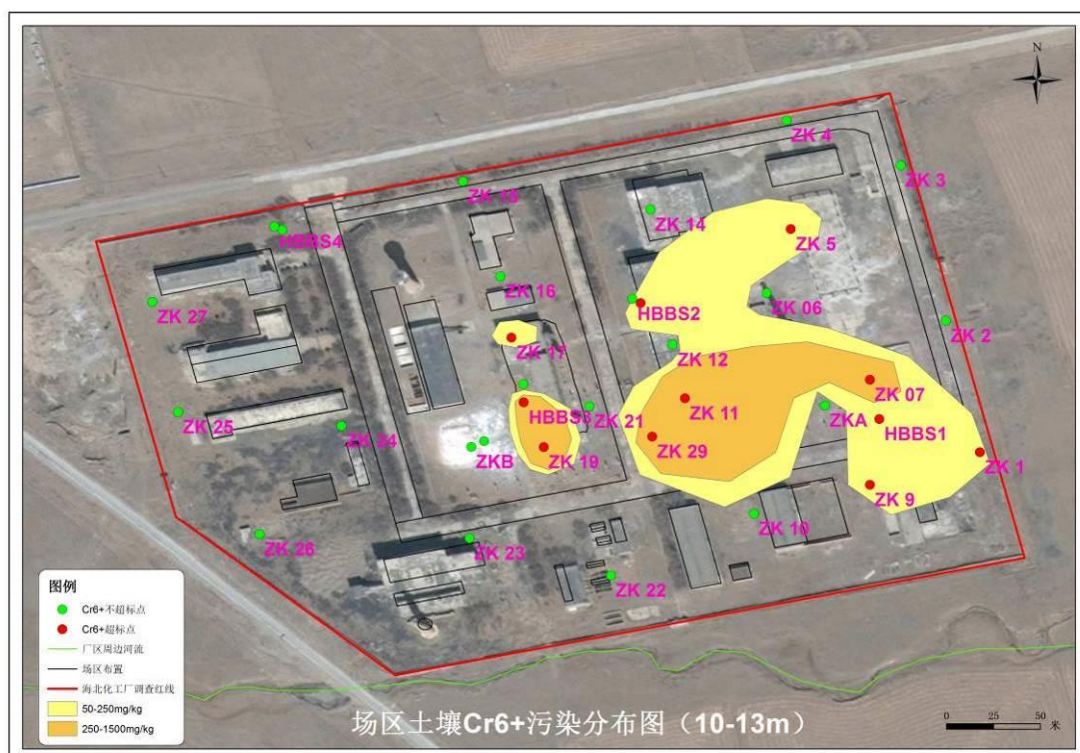


图 2-22 第三阶段调查第四层 (10-13m) 土壤中六价铬污染分布

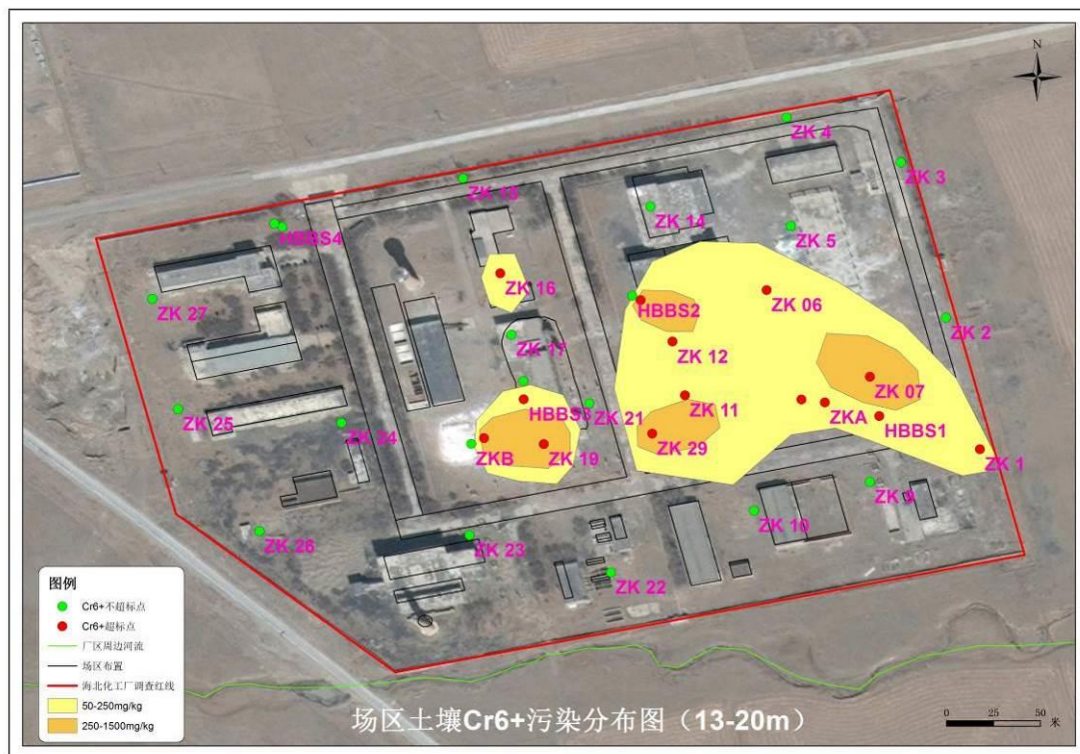


图 2-23 第三阶段调查第五层 (13-20m) 土壤中六价铬污染分布



图 2-24 第三阶段调查第六层 (20-21m) 土壤中六价铬污染分布

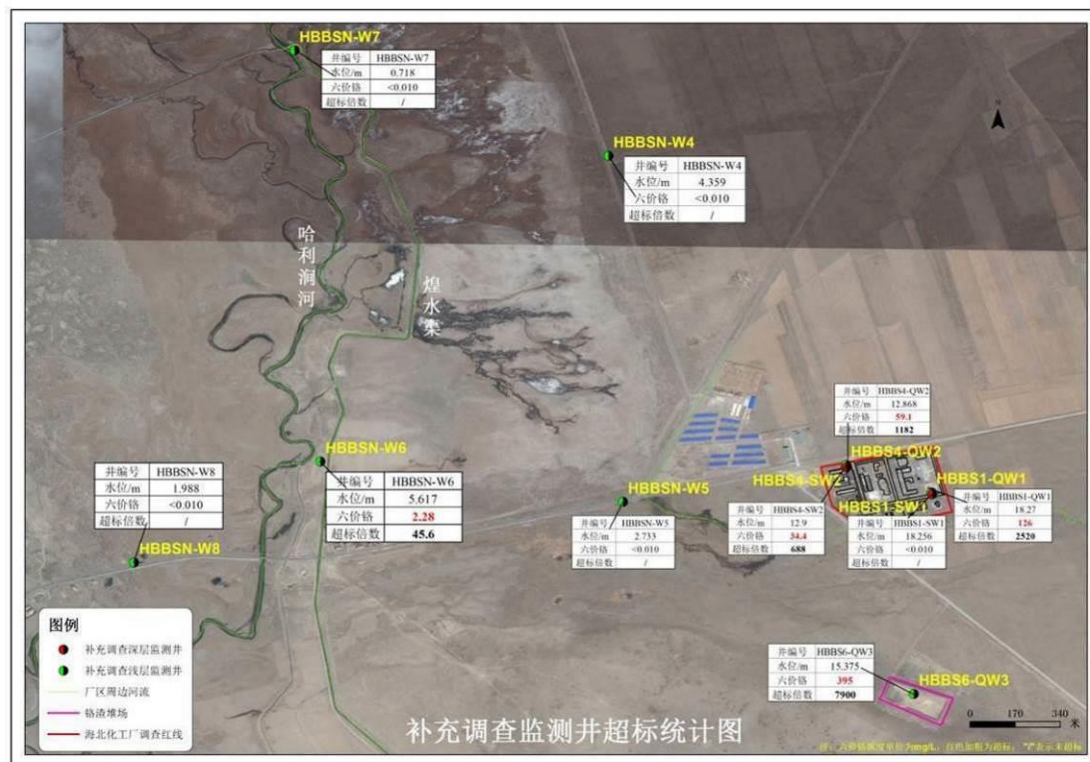


图 2-25 第三阶段调查地下水中六价铬污染情况

2.3.5 第四阶段场地环境调查

2015 年 7 月，完成海北化工厂第四阶段的场地环境调查工作。第四阶段场地环境调查工作内容包括：

- (1) 场地及所在区域水文地质调查；
- (2) 海北化工厂内、海北化工厂铬渣堆场土壤和地下水补充调查；
- (3) 海北化工厂和海北化工厂铬渣堆场周边（尤其是下游）地下水污染调查。

2.3.5.1 调查采样及布点

(1) 土壤调查范围

结合前期调查和现场踏勘的结果分析，第四阶段土壤补充调查范围包括：

- ①海北化工厂厂区内部分区域；

②海北化工厂南侧铬渣堆场区域。

(2) 土壤采样点布设

结合前三阶段调查结果，第四阶段调查共 56 个土壤采样点。其中 33 个位于海北化工厂内，23 个位于海北化工厂东南侧的铬渣堆场。第四阶段调查土壤采样点位置见图 2-26 和图 2-27。

第四阶段调查采用文登 200 工程钻机进行取样。根据场地前期调查结果分析，海北化工厂厂区内土层自上而下依次为：①黄土状土（ Q_4^{al+pl} ）：层厚 0.2-1.5m；②砾砂（ Q_4^{al+pl} ）：揭露厚度 1.5-8.7m（局部未揭穿）；③圆砾（ Q_4^{al+pl} ）：揭露厚度 2.9-8.6m；（未揭穿）；③-1 粉质粘土（ Q_4^{al+pl} ）厚度 2.1m，为场地区第一层隔水层；③-2 粉砂（ Q_4^{al+pl} ），潮湿-饱和，砂质较纯净，颗粒较均一。

为获取污染物的垂向迁移和分布情况，第四阶段调查至少在每个土层采集 1 个土壤样品以期全面反映污染的垂向分布特征，每个土壤点位采集 7 个土壤样品。土壤采样深度分别为 0.5m、1.5m、4.0m、8.0m、12.0m、水位附近、水位以下 3m 深度处，在实际采样中，根据采样点所处功能区域的地层特征、现场快速检测（XRF）及感官判断结果进行采样深度的适当调整，优化分层采样深度划分，确保采集的土壤样品最具代表性。

本次调查 56 个土壤采样点实际采样数为 405 个（含 12 个质控样）。



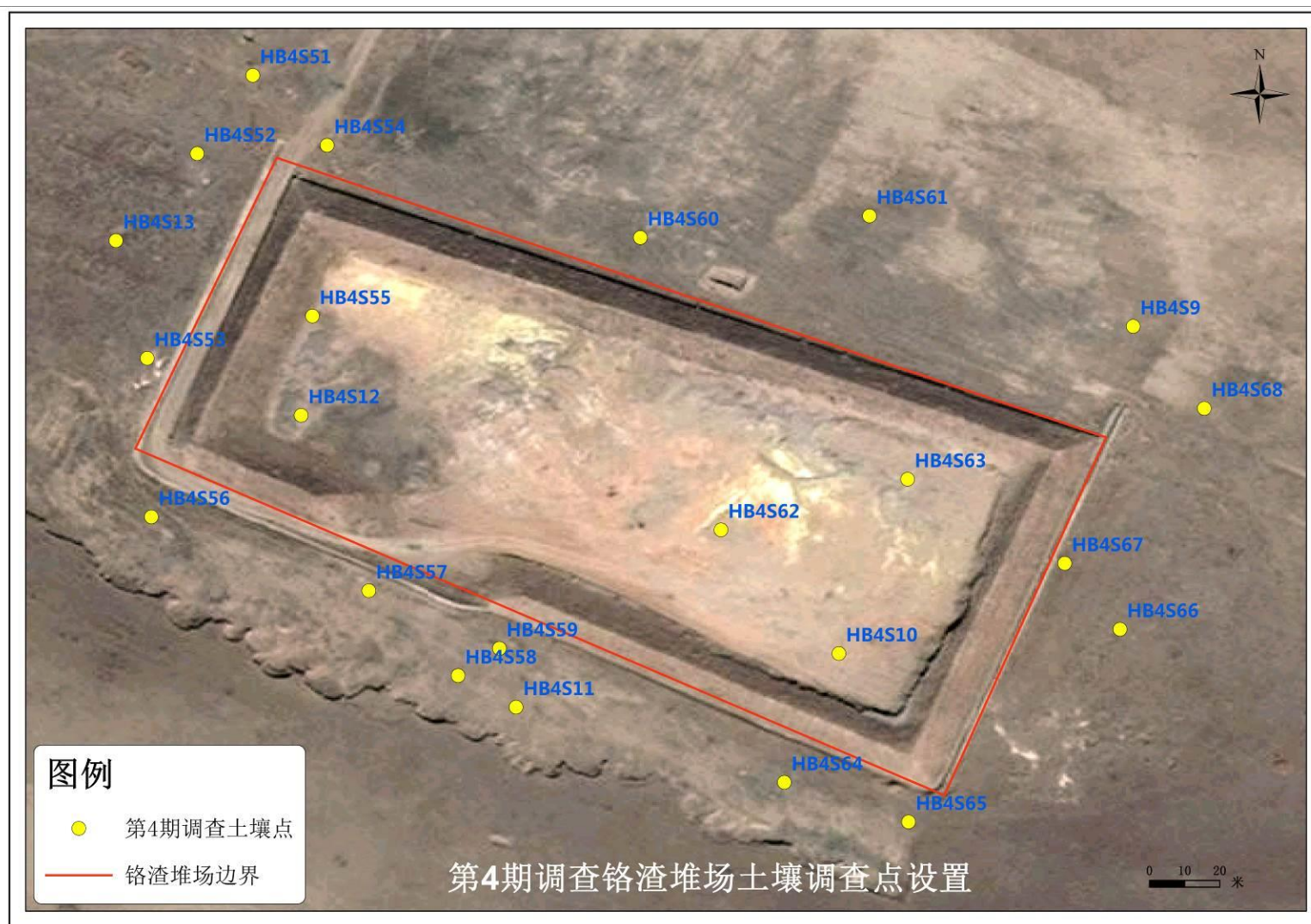


图 2-27 第四阶段调查铬渣堆场土壤采样点位置图

(3) 地下水调查范围

结合前期调查和现场踏勘的结果分析，本次地下水补充调查范围包括：

- 1) 海北化工厂厂区内及周边区域；
- 2) 海北化工厂东南侧铬渣堆场及周边区域；
- 3) 海北化工厂下游区域。

(4) 地下水监测井布设

地下水调查方式为建监测井后采样分析。依据前期调查结果分析，地下水的流向为自东南方向流至西北方向，所以，第四期补充调查沿着地下水流向在厂区内、厂区周边、渣场内、渣场周边和厂区及渣场下游布设 35 口监测井，其中厂区及厂区周边布设 19 口（其中 7 组对井、5 口单井），渣场及渣场周边区域布设 9 口（其中 2 组、5 口单井）对井，其他 7 口单井位于厂区和渣场下游。地下水监测井位置见表 2-16，监测井建设点位图见 2-28。

表 2-16 第四阶段调查地下水监测井位置

序号	监测井	位置描述	目标水层	坐标 (X)	坐标 (Y)	高程 (H)	井深 (m)	水位埋深 (m)
1	HB4W1	厂区西南侧 5 米	厂区浅层地下水	4086346.328	414288.098	3040.259	23.0	20.885
2	HB4QW2	厂区西南角仓库门口	厂区浅层地下水	4086350.542	414197.670	3037.233	21.5	17.994
3	HB4SW2	厂区西南角仓库门口	厂区深层地下水	4086349.636	414197.965	3037.264	25.5	18.022
4	HB4QW3	厂区东北部	厂区浅层地下水	4086495.234	414183.997	3036.435	21.5	17.340
5	HB4SW3	厂区东北部	厂区深层地下水	4086494.228	414184.649	3036.469	25.5	17.378
6	HB4QW4	厂区中部道路东侧 10 米	厂区浅层地下水	4086419.479	414125.298	3036.108	21.5	17.009
7	HB4SW4	厂区中部道路东侧 10 米	厂区深层地下水	4086418.689	414125.518	3036.113	25.5	17.008
8	HB4QW5	厂区中北部变压器旁	厂区浅层地下水	4086457.213	414064.900	3034.265	21.5	15.244
9	HB4SW5	厂区中北部变压器旁	厂区深层地下水	4086456.433	414065.009	3034.266	25.5	15.248
10	HB4QW6	厂区中部白色渣堆旁	厂区浅层地下水	4086366.056	414064.356	3034.153	21.5	15.091
11	HB4SW6	厂区中部白色渣堆旁	厂区深层地下水	4086365.086	414064.427	3034.154	25.5	15.088
12	HB4QW7	厂区西南角厂房西侧	厂区浅层地下水	4086284.272	414018.389	3032.916	21.5	13.890
13	HB4SW7	厂区西南角厂房西侧	厂区深层地下水	4086283.975	414017.599	3032.907	25.5	13.870
14	HB4QW8	厂区西北角外侧	厂区浅层地下水	4086471.720	413899.935	3029.600	21.5	10.868
15	HB4SW8	厂区西北角外侧	厂区深层地下水	4086470.767	413900.124	3029.592	25.5	10.857
16	HB4W9	渣场东北侧 30 米	渣场浅层地下水	4085641.222	414296.691	3037.626	21.0	17.649
17	HB4QW10	渣场内东南角	渣场浅层地下水	4085546.591	414228.041	3037.043	21.5	16.906
18	HB4SW10	渣场内东南角	渣场深层地下水	4085545.755	414227.672	3037.021	25.5	16.885
19	HB4W11	渣场中南侧 25 米	渣场浅层地下水	4085530.999	414151.766	3040.929	26.0	14.768
20	HB4W12	渣场内部西南角	渣场浅层地下水	4085617.380	414100.918	3035.931	29.0	16.092
21	HB4QW13	渣场中西侧 20 米	渣场浅层地下水	4085664.725	414064.984	3035.427	26.5	16.075

序号	监测井	位置描述	目标水层	坐标 (X)	坐标 (Y)	高程 (H)	井深 (m)	水位埋深 (m)
22	HB4SW13	渣场中西侧 20 米	渣场深层地下水	4085665.122	414064.405	3035.394	29.5	16.063
23	HB4W14	渣场西北侧 250 米	渣场下游浅层地下水	4085922.562	414021.431	3031.015	17.0	11.636
24	HB4W15	夏华养殖场北端路边	厂区浅层地下水	4086889.030	413602.567	3024.611	11.7	6.646
25	HB4W16	厂区西侧 300 米路边	厂区浅层地下水	4086405.972	413604.412	3023.398	12.0	4.947
26	HB4W17	厂区西南侧 450 米小河边	厂区浅层地下水	4086151.645	413554.779	3022.638	9.5	4.084
27	HB4W18	厂区西北 1250 米草厂内	泉眼区浅层地下水	4087431.212	413093.761	3014.068	8.7	水头高于管口
28	HB4W19	厂区西北 1200 米泉水汇集区旁	泉眼区浅层地下水	4086900.928	412800.478	3007.207	7.0	1.081
29	HB4W20	星火村东北 300 米	泉眼区浅层地下水	4086576.053	412930.352	3011.148	6.0	0.220
30	HB4W22	厂区西北 1600 米黄水渠西侧	泉眼区浅层地下水	4087416.343	412584.474	3001.421	7.3	0.131
31	HB4W23	星火村西北侧 300 米哈河西侧	泉眼区浅层地下水	4086554.224	412198.845	2997.485	7.0	1.467
32	HB4W24	星火村东南侧 240 米，哈河边	泉眼区浅层地下水	4086010.578	412230.811	2996.201	7.5	2.090
33	HB4W25	渣场中北侧 90 米	渣场浅层地下水	4085732.051	414222.944	3035.632	21.0	15.699
34	HB4W26	厂区西侧 100 米三叉路口边	厂区浅层地下水	4086462.916	413794.844	3027.809	16.5	9.194
35	HB4W27	下星火村北侧水沟边	泉眼区浅层地下水	4085080.849	412611.309	2997.839	19.0	9.610



图 2-28 第四阶段调查地下水监测井位置图

2.3.5.2 土壤调查结果

不同土样中六价铬和总铬浓度如表 2-17 所示。土样中总铬浓度在 20.9-510mg/kg 之间，六价铬浓度在 0.25-492mg/kg 之间。六价铬占总铬的比例在 0.37%-99.79%之间，平均为 26.48%。

表 2-17 第四阶段调查土样中六价铬和总铬浓度

样品编号	深度	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	总 Cr(mg/kg)	Cr ⁶⁺ /总 Cr (%)
HB4S1	0.5	1.0	38.2	2.62
	1.5	1.0	43.1	2.32
	4	1.0	58.8	1.70
	8	1.0	42.8	2.34
	12	1.0	57.7	1.73
	18	1.0	44.1	2.27
	21	1.0	106	0.94
HB4S2	0.5	0.69	62.4	1.11
	1.5	0.64	98.5	0.65
	4	0.66	174	0.38
	5	1.43	83	1.72
	8	2.65	82.1	3.23
	12	2.42	474	0.51
	18	2.85	119	2.39
	21	3.32	141	2.35
HB4S3	0.5	0.42		-
	1.5	0.26		-
	4	0.2		-
	5	0.26		-
	8	0.24		-
	12	0.18		-
	18	0.2		-
	21	0.31		-
HB4S4	0.5	1.23		-
	1.5	1.05		-
	4	1.02		-
	5	0.8		-
	8	1.46		-
	12	3.49		-
	19	16.8		-
	21	0.8		-
HB4S5	0.5	0.21		-
	1.5	0.19		-
	4	0.38		-
	5	0.42		-
	8	0.13		-
	12	0.11		-

样品编号	深度	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	总 Cr(mg/kg)	Cr ⁶⁺ /总 Cr (%)
	18	11.6		-
	21	2.34		-
HB4S6	0.5	86.4		-
	1.5	155		-
	4	41.3		-
	8	265		-
	12	308		-
	13	359		-
	16.5	3.37		-
	21	106		-
HB4S7	0.5	0.27		-
	1.5	0.14		-
	4	0.2		-
	8	0.22		-
	12	0.21		-
	15	0.2		-
	21	0.25		-
HB4S9	0.5	0.23	42.3	0.54
	1.5	0.1	33.9	0.29
	4	0.22	69.6	0.32
	8	0.18	76.1	0.24
	12	0.16	81.2	0.20
	18	0.38	84.3	0.45
	21	0.38	113	0.34
HB4S10	0.5	52.3	625	8.37
	1.5	54.8	140	39.14
	4	73.7	193	38.19
	8	168	363	46.28
	12	57.7	527	10.95
	18.5	0.55	67	0.82
	21	114	558	20.43
HB4S11	0.5	4.97	93.9	5.29
	1.5	0.5	45.4	1.10
	4	0.46	37.2	1.24
	8	0.43	50.1	0.86
	12	0.29	32	0.91
	18	0.23	26.9	0.86
	21	0.25	26.1	0.96
HB4S12	0.5	71.9		-
	1.5	0.38		-
	4	41.3		-
	8	79.8		-
	12	0.25		-
	18	0.32		-
	21	0.28		-
HB4S13	0.5	0.26	74.6	0.35
	1.5	0.22	43.8	0.50

样品编号	深度	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	总 Cr(mg/kg)	Cr ⁶⁺ /总 Cr (%)
	4	0.12	43.6	0.28
	8	0.13	30.2	0.43
	12	0.21	35.6	0.59
	18	0.15	66	0.23
	21	0.23	72.2	0.32
HB4S25	0.5	1.86	82.4	2.26
	1.5	1.0	118	0.85
	4	1.0	111	0.90
	8	2.98	77.7	3.84
	12	1.32	74.9	1.76
	18	1.0	98.5	1.02
	21	1.0	53.4	1.87
HB4S26	0.5	16.2	161	10.06
	1.5	1.0	128	0.78
	4	3.48	55.7	6.25
	8	1.32	75.2	1.76
	12	13	88.6	14.67
	18	4.84	209	2.32
	21	1.63	115	1.42
HB4S27	0.5	1.3	300	0.43
	1.5	2.89	115	2.51
	4	0.72	114	0.63
	8	1.29	110	1.17
	12	1.95	138	1.41
	18	0.91	94	0.97
	21	0.7	227	0.31
HB4S28	0.5	72.9	570	12.79
	1.5	1.0	119	0.84
	4	4.97	119	4.18
	8	1.0	123	0.81
	12	1.0	69.9	1.43
	18	1.0	63.7	1.57
	21	1.0	88.6	1.13
HB4S29	0.5	1.34	117	1.15
	1.5	2.08	62.2	3.34
	4	1.0	69.2	1.45
	8	4.45	55.5	8.02
	12	1.0	63.6	1.57
	18	12.3	178	6.91
	21	1.0	79.3	1.26
HB4S30	0.5	1.0	46.4	2.16
	1.5	1.0	83.6	1.20
	4	1.0	57.6	1.74
	8	1.0	89.2	1.12
	12	1.0	78.7	1.27
	18	1.0	69.9	1.43
	21	1.0	77.5	1.29

样品编号	深度	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	总 Cr(mg/kg)	Cr ⁶⁺ /总 Cr (%)
HB4S31	0.5	9.36	155	6.04
	1.5	0.91	74	1.23
	4	4.21	140	3.01
	5	3	146	2.05
	8	5.4	93.4	5.78
	12	1.24	86.1	1.44
	18	2.27	168	1.35
	21	3.35	94.4	3.55
HB4S32	0.5	0.82	98.2	0.84
	1.5	0.46	62.7	0.73
	2.5	0.84	82.1	1.02
	4	0.44	247	0.18
	8	0.49	56.4	0.87
	12	0.75	134	0.56
	18	0.78	109	0.72
	21	2.65	208	1.27
HB4S33	0.5	0.4	116	0.34
	1.5	3.7	78.8	4.70
	4	0.27	102	0.26
	8	0.28	73.8	0.38
	9	0.28	59	0.47
	12	0.31	47	0.66
	18	0.32	88.6	0.36
	21	0.32	86.2	0.37
HB4S34	0.5	59.6	476	12.52
	1.5	0.71	161	0.44
	4	5.03	570	0.88
	5	7.33	746	0.98
	8	4.64	155	2.99
	12	2.46	129	1.91
	18	1.67	506	0.33
	21	1.05	122	0.86
HB4S35	0.5	113	277	40.79
	1.5	20.5	181	11.33
	4	1.0	79.4	1.26
	8	5	78.5	6.37
	9	9.77	71.6	13.65
	12	268	325	82.46
	18	99.3	153	64.90
	21	742	854	86.89
HB4S36	0.5	1.0	96.9	1.03
	1.5	1.0	55.7	1.80
	4	1.0	75.3	1.33
	8	1.0	92.6	1.08
	12	1.0	62.4	1.60
	18	1.0	89.7	1.11
	21	1.0	69.8	1.43

样品编号	深度	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	总 Cr(mg/kg)	Cr ⁶⁺ /总 Cr (%)
HB4S37	0.5	1.0	52.2	1.92
	1.5	1.0	110	0.91
	4	1.0	73.8	1.36
	8	1.0	59	1.69
	12	1.0	64.8	1.54
	18	1.0	63.4	1.58
	21	2.62	132	1.98
HB4S38	0.5	0.13	56.4	0.23
	1.5	0.25	52.3	0.48
	4	0.81	62.1	1.30
	8	0.34	62.8	0.54
	12	0.29	121	0.24
	18	0.26	152	0.17
	21	0.28	97.3	0.29
HB4S39	0.5	2.25	114	1.97
	1.5	1.42	68.9	2.06
	4	1.22	47.1	2.59
	8	1.0	57.3	1.75
	12	1.0	53	1.89
	18	1.4	66.9	2.09
	21	1.0	118	0.85
HB4S40	0.5	3.05	110	2.77
	1.5	8.67	163	5.32
	2.5	4.09	52	7.87
	4	4.42	141	3.13
	8	8.55	124	6.90
	12	35.8	93.7	38.21
	18	1.44	106	1.36
	21	1.06	78.3	1.35
HB4S41	0.5	21.7		-
	1.5	21.3		-
	4	4.16		-
	8	0.96		-
	12	2.18		-
	18	2		-
	21	0.42		-
HB4S42	0.5	0.7	59.3	1.18
	1.5	4.57	57.6	7.93
	4	3.68	128	2.88
	8	2.44	81.4	3.00
	12	19.5	82.8	23.55
	18	0.61	116	0.53
	21	1.06	107	0.99
HB4S43	0.5	2.63	197	1.34
	1.5	2.7	83.3	3.24
	4	3.77	59.5	6.34
	8	4.12	126	3.27

样品编号	深度	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	总 Cr(mg/kg)	Cr ⁶⁺ /总 Cr (%)
	9	2.9	77.3	3.75
	12	1.53	74.7	2.05
	18	21.2	102	20.78
	21	8.87	115	7.71
HB4S44	0.5	31.4	116	27.07
	1.5	20.8	54.4	38.24
	4	21.5	80.9	26.58
	8	84.5	88.9	95.05
	12	69.3	145	47.79
	18	27.2	129	21.09
	21	89.5	152	58.88
HB4S45	0.5	8	409	1.96
	1.5	7.26	65.6	11.07
	4	1	31.5	3.17
	8	1	87.9	1.14
	12	1.85	116	1.59
	18	21.5	98	21.94
	21	32.2	98.9	32.56
HB4S46	0.5	1.07	131	0.82
	1.5	0.12	73.4	0.16
	4	0.28	86.7	0.32
	8	0.5	102	0.49
	12	0.38	99.5	0.38
	18	7.42	145	5.12
	21	34	95.6	35.56
HB4S47	0.5	1.0	61.5	1.63
	1.5	1.0	88.3	1.13
	4	3.46	70.6	4.90
	8	1.0	78.7	1.27
	12	1.0	49.9	2.00
	18	3.79	82.2	4.61
	21	2.32	80.8	2.87
HB4S48	0.5	1.0	61.6	1.62
	1.5	1.0	21.9	4.57
	4	1.0	21.3	4.69
	8	1.0	50.1	2.00
	12	1.0	58.5	1.71
	18	1.0	101	0.99
	21	1.0	62.9	1.59
HB4S49	5	0.25	116	0.22
	4	0.27	70.2	0.38
	8	0.27	109	0.25
	0.5	0.28	53.6	0.52
	12	0.28	55.9	0.50
	15	0.32	54.8	0.58
	1.5	0.34	94.5	0.36
	21	0.84	172	0.49

样品编号	深度	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	总 Cr(mg/kg)	Cr ⁶⁺ /总 Cr (%)
HB4S50	0.5	0.28	62.1	0.45
	1.5	0.21	54.2	0.39
	4	0.2	53.3	0.38
	8	0.24	80.2	0.30
	12	0.21	78.3	0.27
	15	0.24	107	0.22
	21	17.2	92.3	18.63
HB4S51	0.5	0.19	56.6	0.34
	1.5	0.27	34.9	0.77
	4	0.28	27.1	1.03
	8	0.22	78.3	0.28
	12	0.24	160	0.15
	18.5	0.37	70.1	0.53
	21	0.23	75.2	0.31
HB4S52	0.5	0.13	90.5	0.14
	1.5	0.12	33.7	0.36
	4	0.1	28.3	0.35
	8	0.1	44.7	0.22
	12	0.11	89.9	0.12
	18.5	0.11	90	0.12
	21	10.4	87.9	11.83
HB4S53	0.5	0.2	56.3	0.36
	1.5	0.22	113	0.19
	4	0.14	54.5	0.26
	8	0.1	43.7	0.23
	12	0.13	31.8	0.41
	18	0.1	35.9	0.28
	21	0.15	38	0.39
HB4S54	0.5	0.1	65	0.15
	1.5	0.1	51.8	0.19
	4	0.1	43.4	0.23
	8	0.1	122	0.08
	12	0.1	40.6	0.25
	18	0.1	42.3	0.24
	21	30.8	85.5	36.02
HB4S55	0.5	154	205	75.12
	1.5	162	229	70.74
	4	16.8	98.4	17.07
	8	52.2	116	45.00
	12	0.41	68.2	0.60
	18	1.68	75.9	2.21
	21	2.58	133	1.94
HB4S56	0.5	0.26	44.7	0.58
	1.5	0.18	28.4	0.63
	4	0.16	22.2	0.72
	8	0.19	36.3	0.52
	12	0.27	28.9	0.93

样品编号	深度	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	总 Cr(mg/kg)	Cr ⁶⁺ /总 Cr (%)
	18	0.14	47.6	0.29
	21	0.17	33.7	0.50
HB4S57	0.5	0.2		-
	1.5	0.32		-
	4	0.22		-
	8	0.21		-
	12	0.21		-
	18	0.21		-
	21	0.23		-
HB4S58	0.5	0.22		-
	1.5	0.23		-
	4	0.23		-
	8	0.17		-
	12	0.19		-
	18	0.23		-
	21	0.2		-
HB4S59	0.5	0.37		-
	1.5	0.19		-
	4	0.15		-
	8	0.21		-
	12	0.2		-
	18	0.24		-
	21	0.18		-
HB4S60	0.5	0.41		-
	1.5	0.2		-
	4	0.2		-
	8	0.2		-
	12	0.24		-
	17.5	0.13		-
	21	0.2		-
HB4S61	0.5	0.13		-
	1.5	0.23		-
	4	0.16		-
	8	0.19		-
	12	0.19		-
	17.5	0.19		-
	21	0.25		-
HB4S62	0.5	535	2220	24.10
	1.5	817	1040	78.56
	4	310	427	72.60
	8	119	258	46.12
	12	64.2	40.4	158.91
	17.5	58	203	28.57
	21	0.1	237	0.04
HB4S63	0.5	668	733	91.13
	1.5	335	396	84.60
	4	2780	2880	96.53

样品编号	深度	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	总 Cr(mg/kg)	Cr ⁶⁺ /总 Cr (%)
	8	76.8	142	54.08
	12	61.6	366	16.83
	18	23	625	3.68
	21	0.57	74.5	0.77
HB4S64	0.5	0.1	25.5	0.39
	1.5	0.1	86.2	0.12
	4	0.1	25.3	0.40
	8	0.1	31	0.32
	12	0.1	55.5	0.18
	18	0.1	47.6	0.21
	21	0.1	44.1	0.23
HB4S65	0.5	0.1	41.6	0.24
	1.5	0.1	39.4	0.25
	4	0.1	46	0.22
	8	0.1	76.4	0.13
	12	0.1	52.3	0.19
	18	0.1	69.7	0.14
	21	0.1	86.1	0.12
HB4S66	0.5	0.37	58.3	0.63
	1.5	0.14	110	0.13
	4	0.1	60.2	0.17
	8	0.11	51.3	0.21
	12	0.19	110	0.17
	18.5	0.12	70.4	0.17
	21	0.31	59.1	0.52
HB4S67	0.5	0.14	76	0.18
	1.5	0.18	58.3	0.31
	4	0.19	127	0.15
	8	0.22	121	0.18
	12	0.4	80.5	0.50
	18	0.36	104	0.35
	21	0.25	76.1	0.33
HB4S68	0.5	0.4	72.2	0.55
	1.5	0.27	47.6	0.57
	4	0.35	102	0.34
	8	0.1	66.8	0.15
	12	0.1	55	0.18
	18	0.1	64.3	0.16
	21	0.1	54.4	0.18
最大值		2780	2880	158.91
最小值		0.11	21.3	0.04
平均值		26.43	131.40	7.60

注：表中红色加粗倾斜字体表示该样品六价铬含量超过本场地前期风险评估确定的六价铬目标值，即 50mg/kg。

2.3.5.3 厂区及周边区域地下水修复范围和方量

调查结果显示，厂区及渣场内部和周边区域六价铬浓度在 0-144mg/L 之间。地下水六价铬超标倍数在 0.302-287 倍之间。

表 2-20 厂区及渣场内部和周边区域地下水六价铬超标情况

监测井	位置描述	六价铬浓度（mg/L）	超标倍数
HB4SW10	渣场内东南角	0.651	0.302
HB4SW6	厂区中部白色渣堆旁	1.91	2.82
HB4QW6	厂区中部白色渣堆旁	13	25
HB4SW5	厂区中北部变压器旁	21.5	42
HB4QW8	厂区西北角外侧	38.1	75.2
HB4SW4	厂区中部道路东侧 10 米	42	83
HB4QW5	厂区中北部变压器旁	71.5	142
HB4W26	厂区西侧 100 米三叉路口边	88	175
HB4QW4	厂区中部道路东侧 10 米	144	287

结合四个阶段地下水的调查结果，绘制了厂区和渣场内部及周边区域浅层和深层地下水六价铬污染修复范围图，详见图 2-29 至图 2-32。

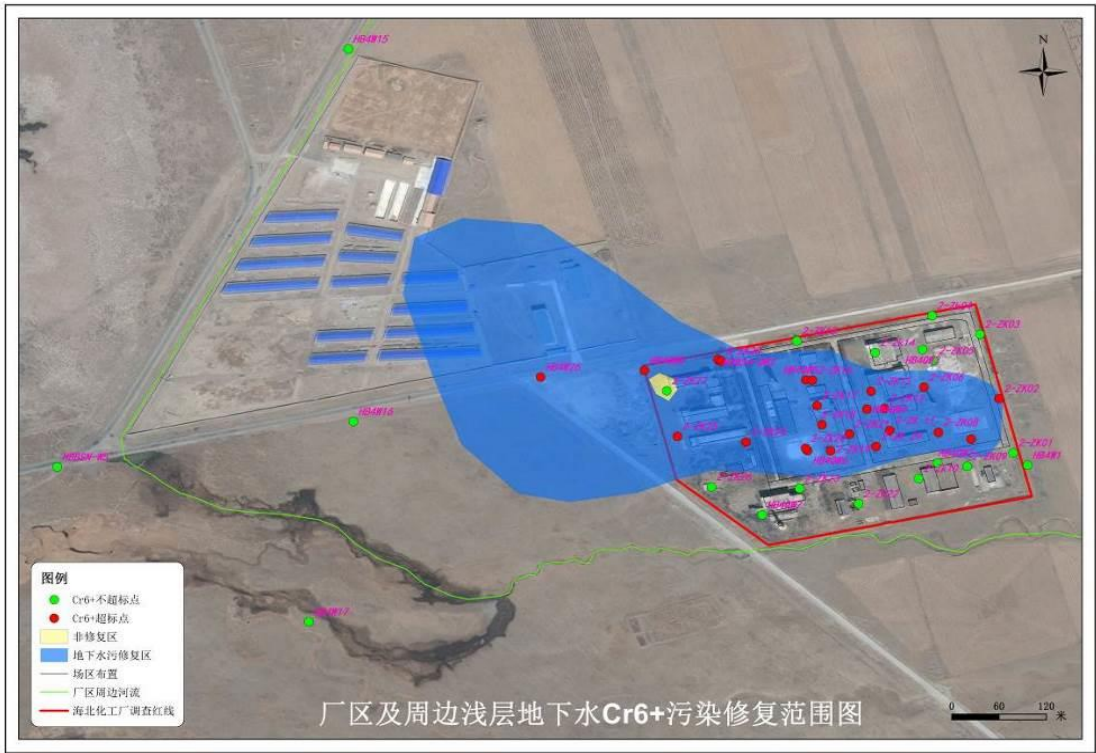


图 2-29 厂区及周边浅层地下水六价铬污染修复范围



图 2-30 厂区及周边深层地下水六价铬污染修复范围



图 2-31 渣场及周边浅层地下水六价铬污染修复范围



图 2-32 渣场及周边深层地下水六价铬污染修复范围

根据地下水水位数据可知，厂区及周边平均地下水水位埋深为 18 米，渣场及渣场周边平均地下水水位埋深为 17 米，并结合地下水修复范围图，估算出厂区和渣场内部及周边区域浅层和深层地下水六价铬污染修复方量为 565490.6m³。

表 2-21 厂区及渣场内部和周边区域地下水六价铬修复方量计算表

分区	分层	层厚(m)	面积 (m ²)	修复方量 (m ³)	合计 (m ³)
厂区及周边	浅层	3	122327.0	366981	517604.6
	深层	4	37655.9	150623.6	
渣场及周边	浅层	4	9949.3	39797.2	47886.0
	深层	4	2022.2	8088.8	
总计					565490.6

2.3.5.4 厂区下游泉眼出露区域地下水修复范围和方量

调查结果显示，厂区及渣场下游泉眼出露区域六价铬浓度在 0-0.353mg/L 之间。说明场地内受污染地下水在向下游运移的过程中，地下水中的六价铬浓度有所衰减，结合四个阶段调查中该区域的地下水调查

情况，绘制厂区及渣场下游泉眼出露区地下水修复范围图，该修复范围面积为 780743.5m²，详见图 2-33。根据 HB4W19 的最大井深 7 米，水位埋深 1.081 米，设定该污染地下水水层厚度约为 6 米，因而结合绘制的地下水污染范围图估算超过风险筛选值（0.05mg/kg）的地下水积总计约为 4684461.0m³。

表 2-22 厂区及渣场下游泉眼出露区域地下水六价铬超标情况

监测井	位置描述	六价铬（mg/L）	超标倍数
HB4W19	厂区西北 1200 米泉水汇集区旁	0.353	6.06
HB4W20	星火村东北 300 米	0.311	5.22

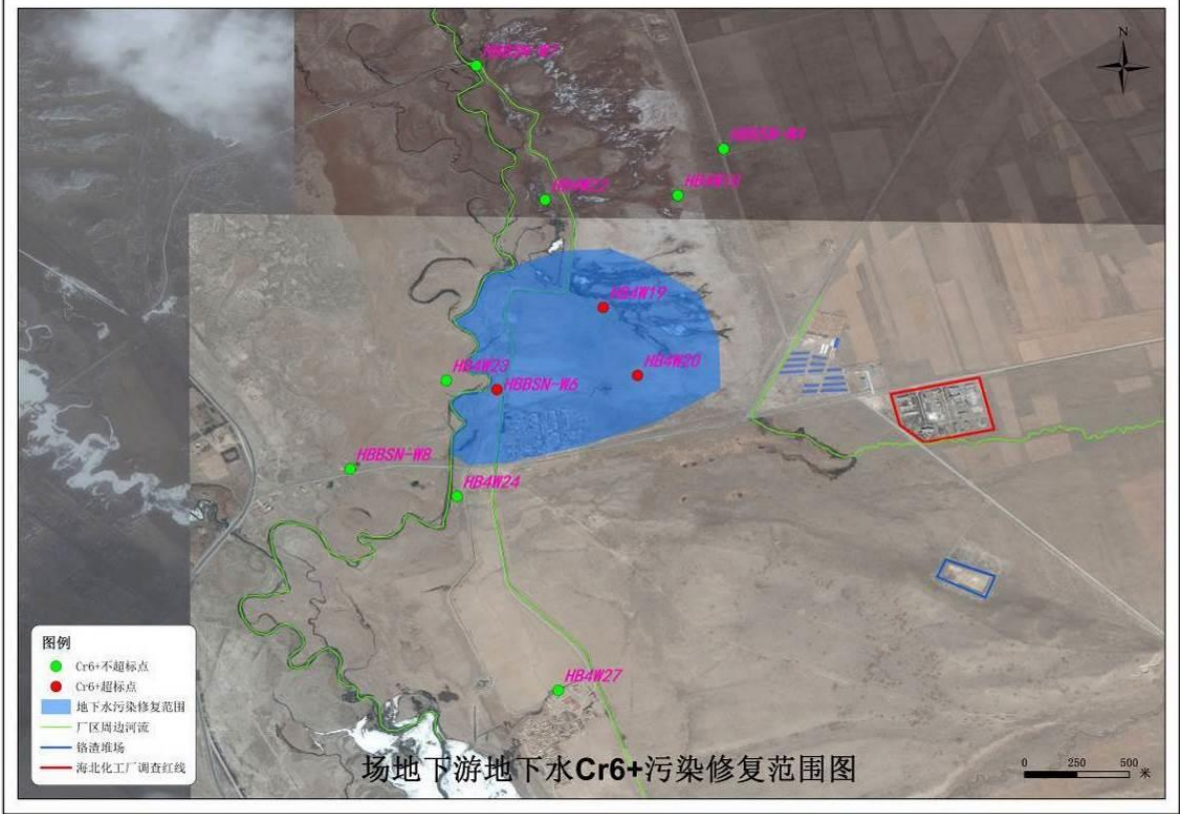


图 2-33 场地下游地下水六价铬污染修复范围

第3章 项目总体思路与修复目标

针对本项目拟解决的主要问题，以问题和目标为导向，结合项目区近年应开展过的调查与评估、污染源控制、重污染土治理工作基础，严格落实《中共中央 国务院关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》中提出的“深化地下水污染防治”要求，按照《地下水污染防治实施方案（环土壤〔2019〕25号）》、《土壤污染防治行动计划》等文件要求，确定本项目实施的总体思路、技术路线、绩效目标和工程布置。

3.1 项目总体思路

深入贯彻落实国家、省级对地下水污染防治要求及部署，针对项目区地下水污染、牛羊饮水隐患、湟水河水质安全隐患问题，以改善项目区地下水环境质量为核心，坚持源头治理、系统治理、综合治理，突出问题导向和目标导向，采用原位-异位技术相结合、修复与管控相结合，推进厂区内外共治，全面解决项目区地下水污染问题，建立长期管控监测制度，形成“多源治理+途径阻隔+监测自然衰减”可推广的技术模式和管理经验，为青海省类似区域开展地下水污染修复提供示范经验。

3.2 技术路线

本项目在充分分析场地现状的基础上，开展问题识别；针对主要问题提出修复目标和绩效目标；开展修复模式选择、修复技术筛选，制定确保目标可达的修复措施。项目总体技术路线见图 3-1 所示。

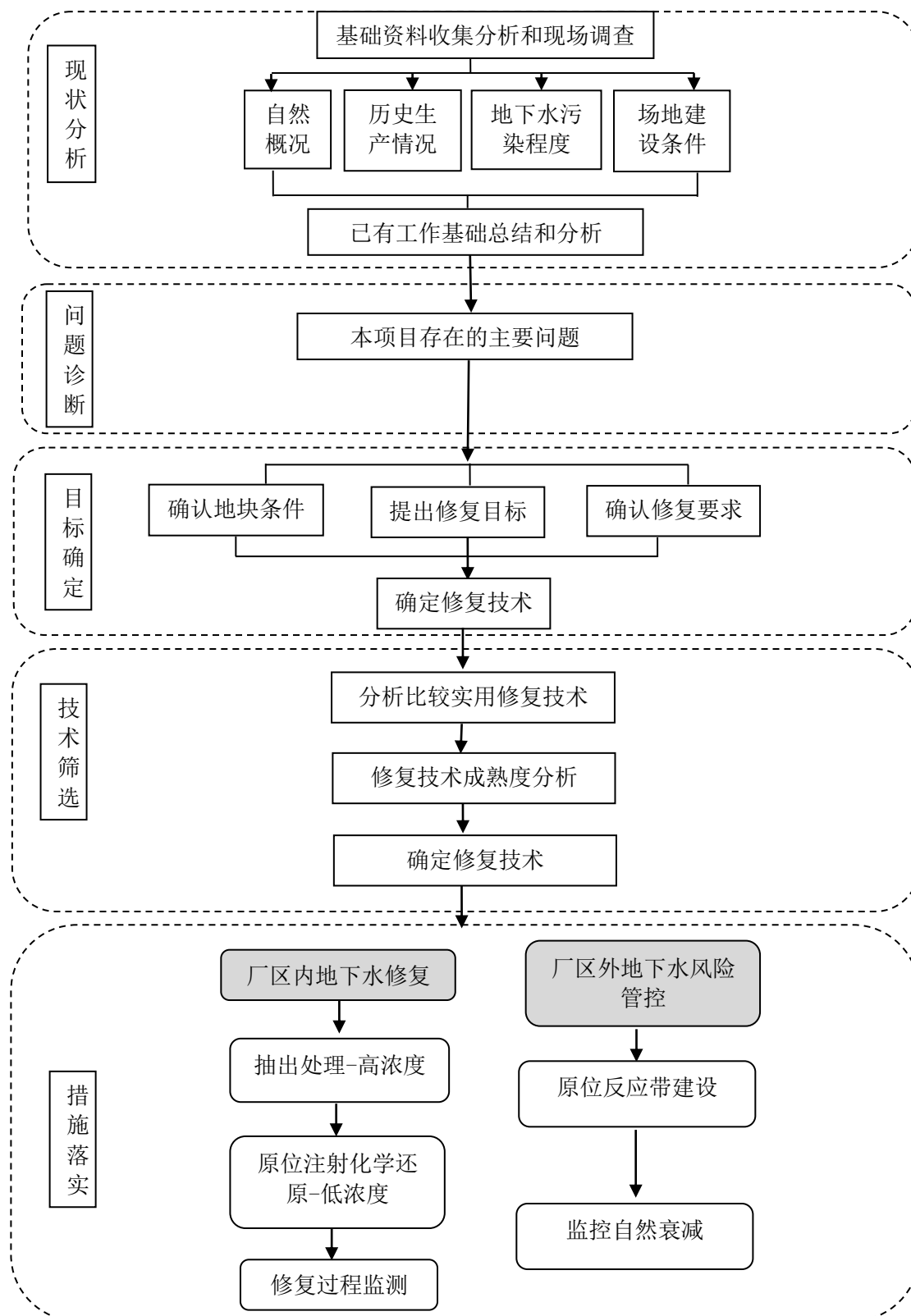


图 3-1 项目总体技术路线

3.3 项目实施范围确定

根据最新一期的地下水详细调查数据，项目区地下水污染范围见图 3-2、3-3 和 3-4 所示。

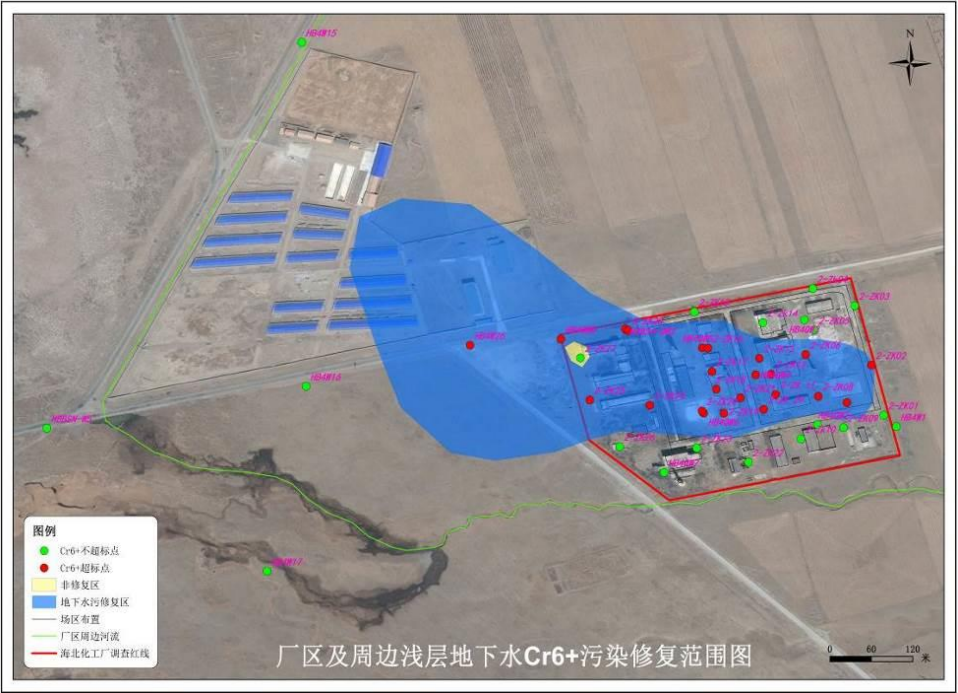


图 3-2 厂区及周边浅层地下水六价铬污染修复范围



图 3-3 厂区及周边深层地下水六价铬污染修复范围

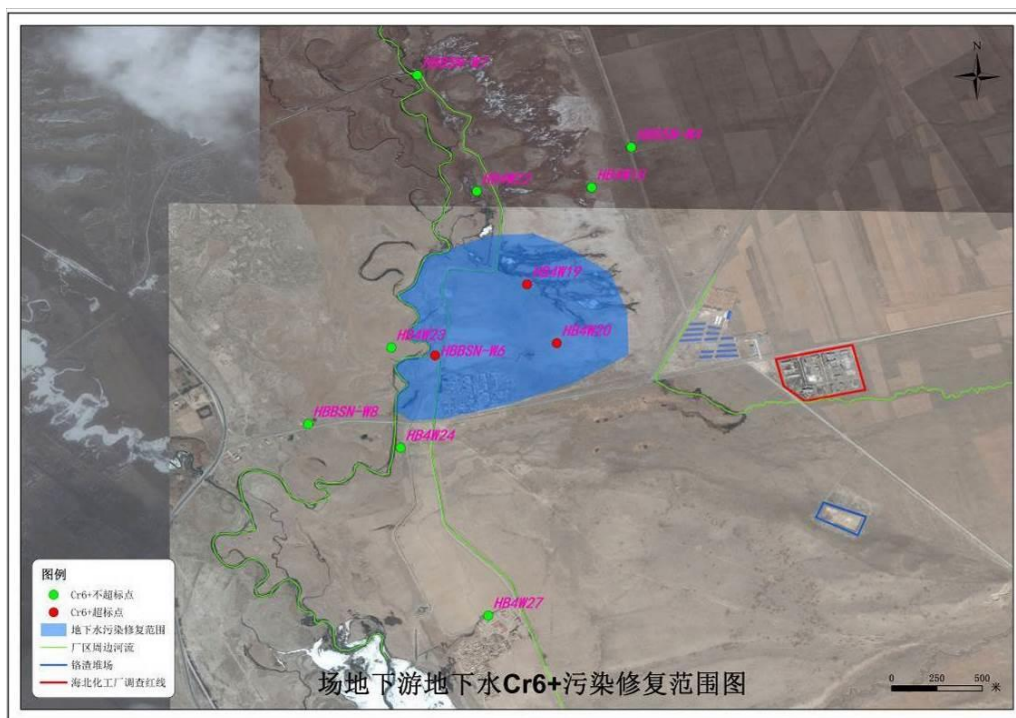


图 3-4 场地下游地下水六价铬污染修复范围

本次厂区内地下水治理范围以厂区及周边浅层地下水六价铬污染修复范围为基础，叠加厂区红线，得出厂区内治理范围为 55333m²，具体见图 3-5 所示。

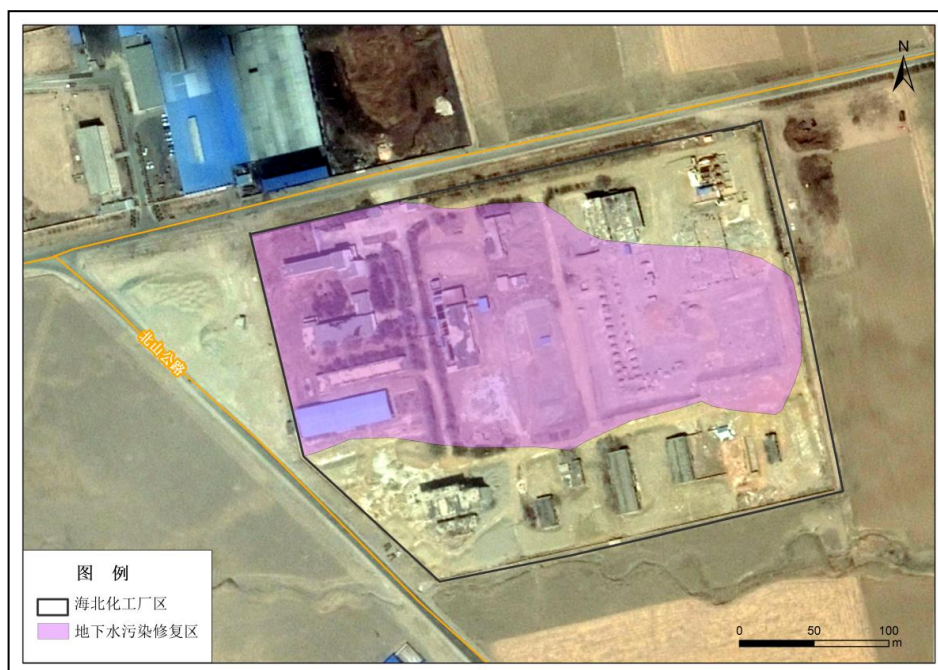


图 3-5 厂区地下水六价铬污染修复范围

3.4 项目目标

3.4.1 修复目标确定

根据《原海北化工厂厂区内六价铬污染土壤和地下水修复治理方案》等一系列前期工作，项目场地周边主要为农田和工厂，且场地下的地下水汇入东大滩水库后一部分用作灌溉用水。

场地地下水修复标准的确定较风险评估有所不同，由于本项目重点关注地下水污染对地表水环境质量的影响，由地表水环境功能要求，采用地下水污染模拟预测结果，计算地下水污染修复（防控）目标。

表 3-1 基于地下水饮用途径非致癌风险的修复目标值计算

参数名称			参数取值	参数来源	备注
CGWER _{nc}	饮用地下水暴露量 (非致癌效应)	三价铬	1.65E-02 L kg ⁻¹ d ⁻¹	风评导则	计算结果
		六价铬			
RfDo	经口摄入参考剂量	三价铬	1.5 mg kg ⁻¹ d ⁻¹	风评导则	选取推荐值
		六价铬	3.00E-03 mg kg ⁻¹ d ⁻¹		
WAF	暴露于水的参考剂量分配系数		0.20	风评导则	选取推荐值
AHQ	可接受危害商值		1		
SL _{Gw}	基于饮用地下水途径 非致癌风险修复目标值	三价铬	18.2 mg/L		计算结果
		六价铬	0.0364 mg/L		计算结果

具体到本项目，地表水保护对象为场地西北方向 1 公里处多个地下水流出的泉眼（A、B、C 泉），因此，泉眼处地下水的修复应采用地下水 III 类水标准 0.05mg/L（III 类以人体健康基准值为依据，主要适用于集中式生活饮用水水源及工、农业用水）；由于污染地下水自厂区流出之后在迁移到达泉眼处会得到一定的稀释，因此厂区内地下水的六价铬修复标准可基于对以上稀释倍数的准确评估，即地下水 III 类水标准 0.05mg/L 乘以稀释倍数。综合考虑海北化工厂厂区至排泄点（A 泉）之间的自然衰减作用，因此海北化工厂厂区内地下水中六价铬浓度修复标准为 0.5mg/L。

3.5 项目总体布置

本项目实施内容主要布设在厂区内和厂区下游两个区域,其中厂区内主要实施高浓度抽出处理、低浓度原位注射修复工程;下游主要实施原位反应带建设和自然衰减监测工程。项目总布置如图 3-6 所示。

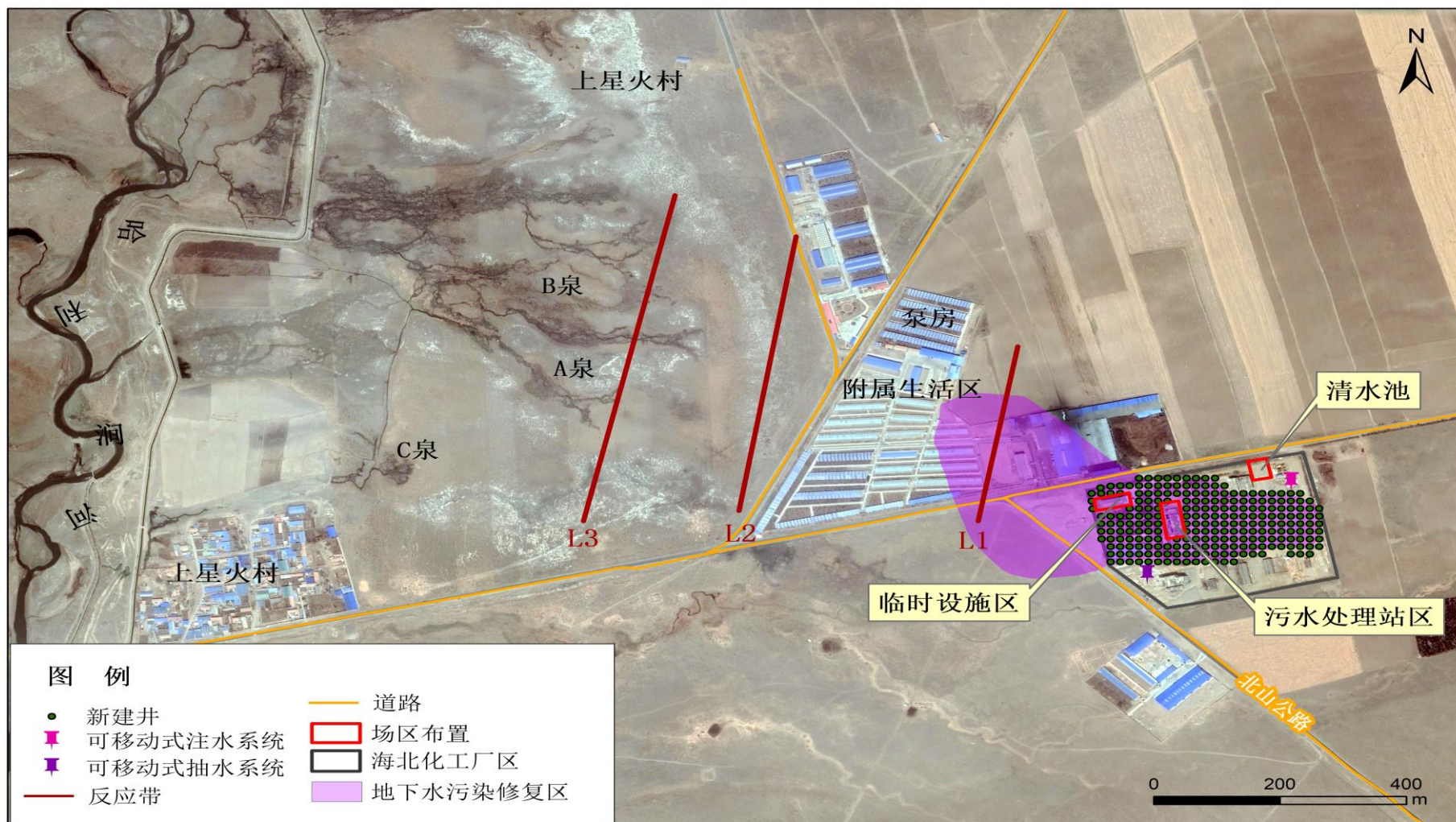


图 3-6 项目工程布置图

第4章 项目技术筛选

4.1 地下水修复技术比选

按照《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》等文件，目前已有地下水修复及管控技术及适用性见表4-1所示。

本次地下水修复工程目标污染物为六价铬，因此首先排除原位微生物修复技术、原位化学氧化技术、地下水曝气技术、自由产品回收四类技术。结合本项目场地污染物分布特点、场地土壤和水文地质条件以及场地施工限制、当地社会经济实际情况，充分考虑我国污染地下水修复技术的成熟可靠性、修复成本、资源需求、安全健康环境、环境可接受性、修复周期等方面，通过详细分析监控自然衰减、阻隔、抽出处理、原位化学还原、可渗透反应墙等地下水修复技术的经济合理性、技术可行性，确定适合本项目的修复工程技术，具体比选过程见表4-2所示。

表4-2 项目地下水修复技术比选表

技术名称	与本项目适应度分析	经济性分析	需要注意的事项
阻隔技术	本项目提出了厂区地下水六价铬修复目标和下游泉眼修复目标两项，因此在厂区内单纯的开展阻隔技术不满足目标要求	治理成本适中	
抽出处理技术	项目区渗透性好，污染羽范围较大，抽出技术适用度高	治理成本适中	抽出处理技术前期效果显著，但后期效果较差，同时存在拖尾和反弹现象，需要与其他技术联用
原位化学还原技术	在本场地内开展过中试，与场地适用性较高	治理成本偏高	由于厂区内地下水六价铬浓度较高，直接采用原位化学还原要求高，成本高，需要与其他技术联用
监控自然衰减技术	该技术适用于污染程度较低、污染物自然衰减能力较强的区域，与本项目中下游地下水管控要求符合性较高	治理成本偏低	由于纯粹依靠自然衰减，对污染物去除效率没有保障，需要与其他技术联用

渗透反应墙技术	由于该项技术工程设施投资较大，工程措施较复杂，同时需要适时更换滤料；需要对地下水的 pH 等进行控制；深度限制在 3-12m 等一系列限制条件，与本项目的符合项较低	治理成本适中	
原位反应带技术	该项技术操作简便，灵活性高，与与本项目中下游地下水管控要求符合性较高	治理成本适中	由于项目活性容易丧失，同时有二次污染风险，需要与监控自然衰减技术联用，同时控制药剂用量且定期补充药剂

通过以上比选，抽出处理技术、原位化学还原技术、监控自然衰减技术和原位反应带技术适用于本项目，但均有一定的不足，建议采用联用的方式。

表 4-1 地下水修复和管控技术适用性

技术	优点	缺点/适用性	发展历程	技术联用	效率	时间	治理成本	环境风险
监控自然衰减技术	费用低于其他技术；不产生二次污染，对生态环境干扰小	适用于污染程度较低、污染物自然衰减能力较强的区域；实施前需要详细评估地下水自然衰减能力，后期需要较长监测时间	90 年代开始应用，目前应用较为普遍	可与多种原位处理技术联用	低到中	较长	低	低
阻隔技术	泥浆墙施工相对简单，使用的泥浆及回填材料也较为普遍，可有效将污染物阻隔在特定区域中	泥浆墙深度受一定限制，泥浆墙底部须进入到低渗透性土层(比如粘土)足够深度，一般情况下需要与地下水抽出处理系统联用；效果受地下水中酸碱组分、污染物类型、活性、分布、墙体的深度、长度和宽度、场地水文地质条件等影响	80 年代开始应用	可与抽出处理技术联用	较高，可以有效阻隔地下水污染	较长	低-中	低
抽出处理技术	适用范围广；对于污染范围大、污染羽埋藏深的污染场地治理具有优势；系统运行初期的污染物去除率较高；设备简单易于安装	一般仅适用于渗透性较好的含水层；修复周期较长；对修复区干扰大；可能导致地下水资源的浪费；非水相液体难以清除干净；若不去除污染源，停止抽水时，拖尾和反弹现象严重；需要持续的能量供给和系统维护	80 年代开始应用，属于应用最广泛、成熟度最高的技术之一，但目前应用已大幅下降，主要作为污染羽水力控制手段	可与原位微生物修复技术、原位化学还原技术联用	初期效果较好，后期较差	数年到数十年	初期投资中等，但运行周期长且总运行成本较高	低
原位化学氧化技术	反应速度快，修复时间短	地块水文地质条件可能会限制化学物质的传输；受腐殖酸含量、还原性金属含量、土壤渗透性、pH 变化影响较大；适用于渗透性较好的孔隙、裂隙和岩溶含水层	90 年代以来作为高效修复技术，在国外已经广泛应用，国内已有工程应用	可与监控自然衰减技术联用	较高	周期较短，数月到数年	高	高
原位微生物修复技术	适用于大面积污染区域的治理；成本较低；对环境影响较低	地下水环境需适宜所需微生物的生长，在非均质性介质中难以覆盖整个污染区	90 年代后期开始应用	可与地下水曝气、抽出处理技术等联用	适合条件下较高	数年到数十年	中到高	中

技术	优点	缺点/适用性	发展历程	技术联用	效率	时间	治理成本	环境风险
地下水曝气技术	对修复场地干扰小；设备简单，安装方便；修复(防控)效率高，治理时间短；运行和维护费用较低	对于非挥发性的污染物不适用；不适合在低渗透率或高黏土含量的地区使用；不能应用于承压含水层的污染物治理；控制不当可能导致地下水中污染羽迁移；蒸气可能会迁移和释放到地表，造成二次污染	80 年代中期开始应用，90 年代迅速发展。在 1982～1999 年美国地下水污染“超级基金”治理项目中占 51%	通常与土壤气体抽提技术联用	较高	数月到数年	中	较高
自由产品回收	可在短时间内去除非水相液体中大量污染物，从而加快地下水修复(防控)效率	受场地水文地质条件限制，特定情况下需与表面活性剂联用以提高回收效率；残留污染物需要进一步处理；DNAPL 的回收较为困难		通常与土壤气体抽提、双相抽提、或微生物修复技术联用	一般	数月到数年	中	中
原位化学还原技术	反应速度快，清除时间短；反应强度大	场地水文地质条件可能会限制化学物质的传输；一些含氯有机污染物的降解产物仍有一定的毒性；固定的污染物在某些特定的条件下可能会重新释放出来；一些危险化学物质的使用可能会引起安全问题	90 年代以来作为高效修复技术之一迅速发展，比如基于零价铁一类技术	可与监控自然衰减技术联用	较高	数月到数年	中到高	低至中
渗透反应墙技术	工程设施较简单，可一次完成，后期运转及维护费用较低；反应介质消耗较慢，具备几年甚至几十年的处理能力	工程设施投资较大，工程措施较复杂；难以保证拦截所有污染物；渗透反应墙填料需要适时更换；需要对地下水的 pH 等进行控制；深度限制在 3-12m；可能存在二次污染	1989 开始研究，1994 年开始商业应用		一般至较高	通常需持续监测 2 年或以上，墙体可持续使用 5-10 年	中	低至中

技术	优点	缺点/适用性	发展历程	技术联用	效率	时间	治理成本	环境风险
原位反应带技术	技术操作简便, 具有高度的灵活性	在地下水环境中的流动性较差, 迁移距离有限; 随着与地下水中常规离子组分、溶解氧等反应, 导致老化, 降低活性	2000 年在国外开始应用, 国内已有应用		较高	周期较长, 需要数年或更长时间	中	低至中
制度控制	费用低, 环境影响小	存在地下水污染扩散风险, 时间较长	国外已广泛应用, 国内已有应用		低	周期较长, 需要数年或更长时间	低	低

4.2 地下水修复技术建议

4.2.1 厂区内污染地下水的修复治理技术建议

根据前期场地调查结果，场地地下水埋深约 15m。经技术筛选，本项目使用抽出处理和化学还原联合技术修复厂区内六价铬污染地下水(含饱和层污染土壤)，修复过程中采用抽出处理、原位注射相结合的方式进行。

即先抽出地下水中六价铬浓度较高的污染水体，运往污水处理池进行异位处理；再通过原位注射化学还原药剂的方法修复地下水中剩余的六价铬浓度较低的污染水体。

其中，原位注射工艺采用注入井的方式进行。通过向含水层中注入化学还原药剂，以创造有利于六价铬还原成毒性低很多的三价铬的生化条件，从而达到去除六价铬污染的效果。

4.2.2 厂区外污染地下水的修复治理技术建议

在消除厂区内重污染地下水的基础上，对厂区外地下水采用原位反应带+监控自然衰减的技术进行修复，通过在厂区外地下水下游方向建设 3 条原位反应带，通过六价铬与反应带内污染物的长期反应，达到降低厂区外地下水中六价铬浓度的目的。

第 5 章 地下水修复与风险管控方案

5.1 工程施工总体部署

5.1.1 施工总体目标

根据本项目工程的特点以及地下水修复管控技术要求,制定本项目工程实工的总体目标,见下表。

表 5-1 工程施工总体目标

序号	目标类别	目标内容
1	工期目标	主体修复工程完成期限: 2022 年; 监测地下水污染自然衰减工作期限: 5 年。
2	质量目标	厂区地下水六价铬浓度修复目标: ≤ 0.5 毫克/升; 厂区西北 1 公里泉眼出水六价铬浓度控制目标: ≤ 0.05 毫克/升; 地下水修复治理工程质量满足国家相关标准, 通过第三方效果评估单位验收并取得青海省生态环境主管部门的认可。
3	安全施工目标	安全管理目标为: 杜绝重大伤亡事故, 因工死亡责任指标为零, 杜绝重大机械事故及急性中毒事故, 杜绝重大火灾事故及火灾伤亡事故, 确保工程安全。
4	环保及文明施工目标	本工程严格遵守国家以及青海省有关建设工程环境保护、文明施工规范和管理条例, 确保污染地下水修复管控过程中不对周边环境造成二次污染; 现场污水、噪声排放符合国家及当地环境标准要求。将工程实施全过程中可能造成的环境和社会影响降到最低, 并维持在可控范围以内。
5	维稳目标	保证施工过程不发生群体事件、意外事件。

5.1.2 工程实施内容

依据《青海省财政厅关于下达 2021 年中央水污染防治专项(第一批)市州级项目资金的通知》青财资环字[2021]946 号文件资金下达额度及方式, 本项目在进行补充调查的基础上分期实施, 具体实施内容为:

(1) 项目补充调查

拟对项目区内污染地下水现状进行调查,进一步确认现状情况下的地下水污染特征因子指标。

(2) 第一期: 厂区内地下水修复

本项目拟对海北化工厂内的地下水污染范围进行修复,修复面积约为 55333m², 污染地下水平均层厚为 10m (含前期调查过程中提到的浅层和深层地下水)。

对厂区内饱和层地下水(15-25m)污染区域,依据六价铬浓度高低,分为高浓度和低浓度污染地下水,采用抽出处理和原位化学还原相结合的方法进行修复治理;①先将地下水中六价铬浓度较高的污染水体抽出至污水处理区进行处理;②再对剩下的低浓度六价铬污染地下水进行原位化学还原治理。

高浓度和低浓度地下水的区分是:根据前期调查,55333 m²地下水污染范围所对应的一倍孔隙体积(即 55333 平米乘以 10 米厚的污染厚度乘以 0.4 的孔隙度=221332 方)里的污染浓度比较高,因此可以认为是高浓度污染地下水;抽完一倍(一个循环)孔隙体积后,地下水中剩余污染浓度明显降低,认为是低浓度污染地下水。

(3) 第二期: 厂区外地下水修复

对厂区外受厂区内地下水污染羽扩散而形成的污染区域,在厂区外下游方向建设 3 条原位反应带,使污染物在地下水流动过程中逐渐衰减,从而达到污染物消减的目的,进一步使得下游泉眼出水中的六价铬浓度逐渐降低。

5.1.3 工程实施路线

项目总体修复治理实施路线如图 5-1 所示,主要包括准备阶段、实施阶段和监测验收阶段。

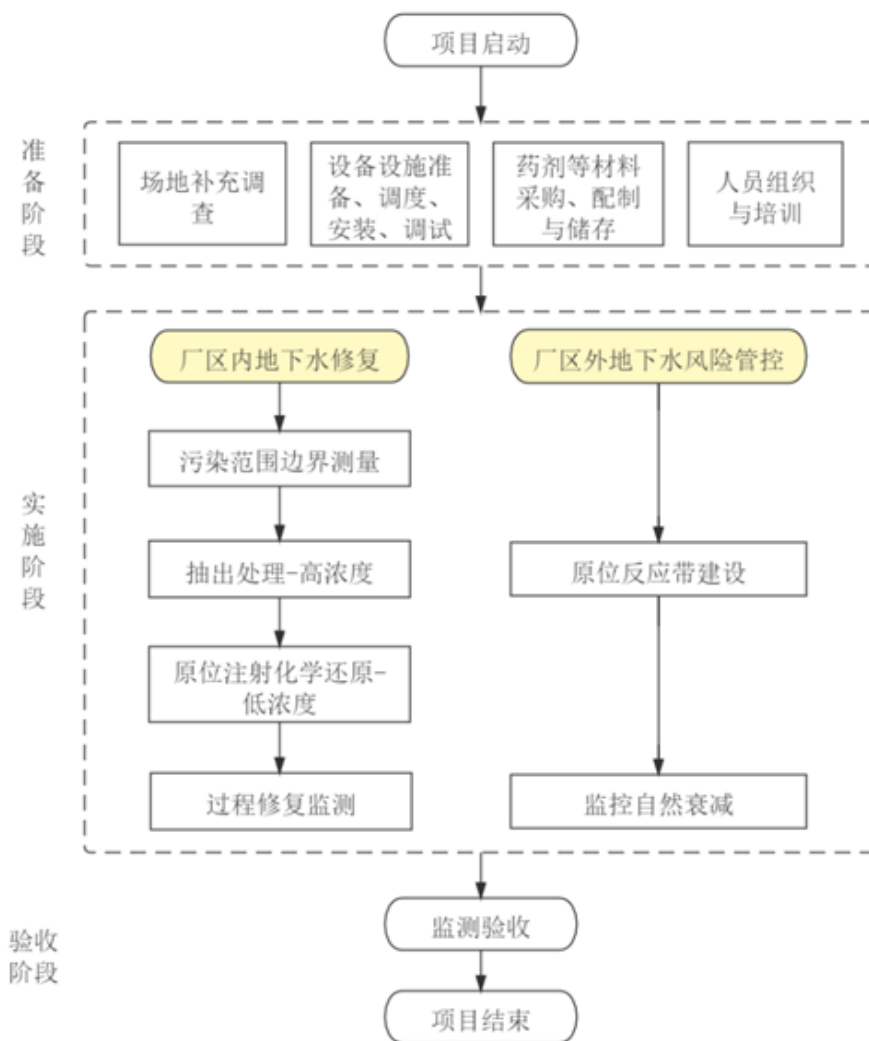


图 5-1 项目实施路线图

5.2 施工现场总平面布置

本次项目场地整体工程的布置示意图如图 5-2 所示，项目开始实施时可结合施工需要设置相应功能区域。主要包括：

- (1) 办公区和生活区。办公区包括现场人员办公室、会议室、项目展览室以及项目施工人员食宿区。
- (2) 仓库区。仓库区用于存放现场使用的各种耗材和药剂等。
- (3) 地下水原位修复区。
- (4) 污水处理区。污水处理区位置预计布设在场地西北角。

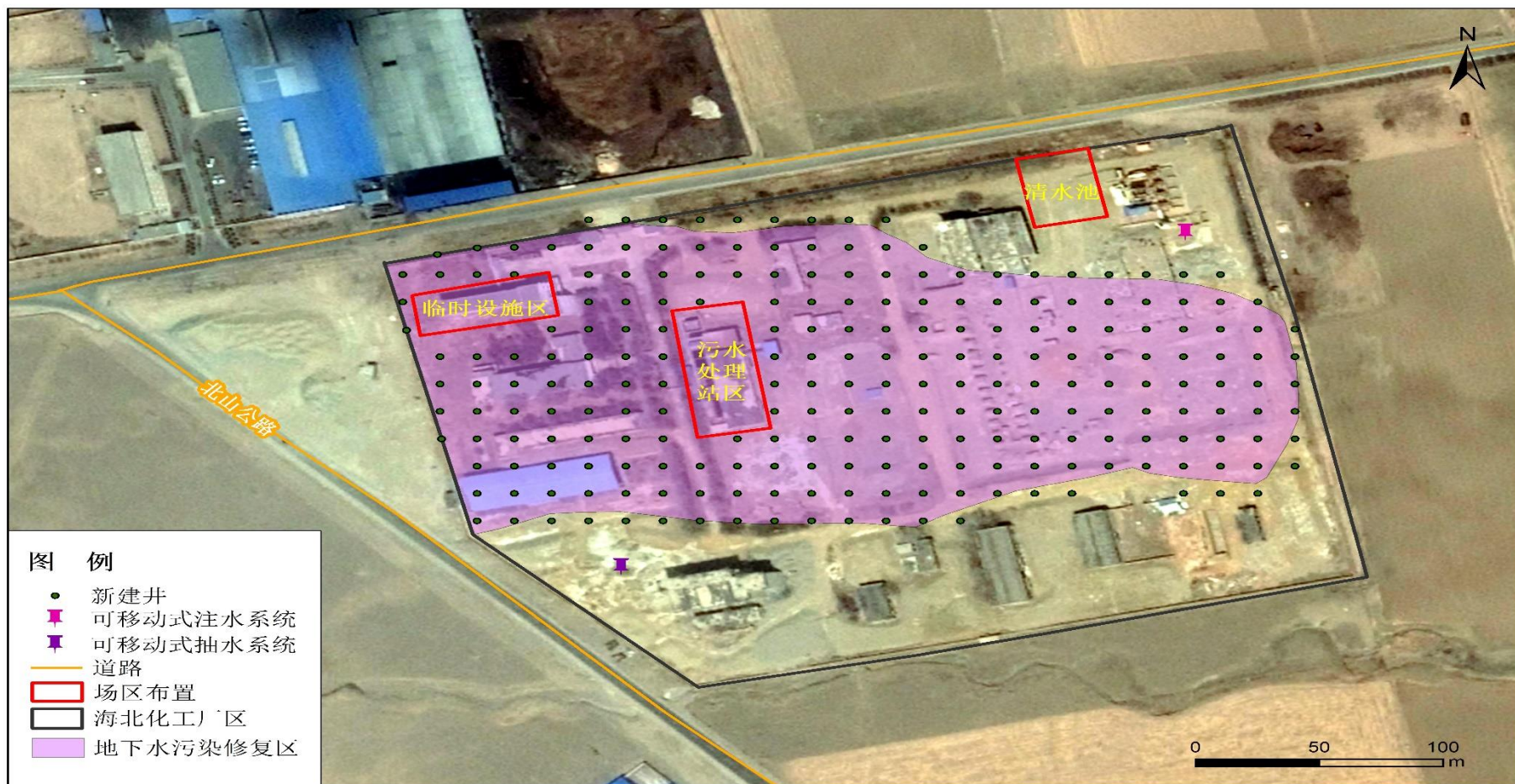


图 5-2 厂区内布置示意图

5.3 工程施工准备

本项目施工准备主要包括：外部环境方面及施工现场情况了解和规划；与各方的联系沟通；内部环境方面的技术准备；施工计划准备；施工劳动力准备；进场施工机具准备；物资材料准备，以及临时设施施工准备等工作。

工程开工前，由项目技术负责人组织项目经理部有关技术人员认真熟悉施工方案，参加由建设单位组织召开的设计交底、施工临时水电交接、施工现场勘察、基础及管线交底、前期场地调查交底；技术部根据实施方案编制实施性分项工程施工组织设计并向相关人员进行技术交底和岗前培训，工程部按照施工总进度计划的总体安排编制材料进场计划、设备进场计划、人员进场计划。

施工准备工作计划详见下表。

表 5-2 施工准备工作内容

序号	工作内容		执行人员
1	与建设单位及各方单位联系沟通、做好各项交接		项目经理
2	技术交底、编制实施方案		技术负责人
3	按工程进度计划编制进度表，标明设备综合协调图纸		生产经理
4	编制施工预算、成本核算书		预算员
5	根据交接的基准点进行施工验线		测量员
6	根据技术交底、实施方案报材料计划		各专业施工员
7	临建、临时道路	配电房、各种库房、车间大棚	施工员、电工
		办公用房、临时围墙	施工员
		待检区、道路和绿化	施工员
8	施工供电	施工现场以外电源	电工
		施工现场以内电源	电工
9	施工供水管网调整		施工员
10	劳动力进场教育、安全教育		安全经理

5.3.1 现场交接

进场交接内容主要包括进驻现场和现场交接两大项，具体内容如下：

(1) 现场交接和场地确定：进场后，首先接管施工现场，与业主方办理现场交接手续；根据业主方的要求并与业主协调一致后，确定施工现场使用范围，以便于安排现场内各场地、道路的使用，以及临时围挡的施工。

(2) 测量定位桩点和资料的移交：进场后，与业主及时进行测量定位桩的确认，并进行相关场前期地调查、地下管线、原场地基础资料的交接和手续办理。

(3) 临时水电条件落实：进场后，与建设单位落实现场施工用电源、水源和污水处理等施工条件。

(4) 与监理单位的协调和沟通：进场后，及时与监理单位进行联系和沟通，听取监理单位的要求、意见和建议，以及监理公司对修复工作的打算和安排，并按其要求开展相关工作。

(5) 与政府相关部门的衔接和沟通：进场后，及时与政府有关部门取得进一步联系，取得政府相关部门的支持，为修复工作创造良好的外部条件。

(6) 对修复区域及附近场地进行清理和平整，开拓作业面，以便现场人员和机械施工。在修复区域周边设置封闭式围挡，并设置出入口及门卫室，作为施工人员、设备的专用通道，悬挂警示、宣传标识标牌，提高现场人员安全意识，保证现场人员安全生产。

5.3.2 技术准备

技术准备工作主要包括以下工作：

1) 施工测量和控制网布设

进场后，及时报批定位和测量放线施工方案，根据市政规划红线桩、测量定位水准点，进行平面控制网和高程控制网的布设，并对原施工的测

量控制网和桩点进行复测和核验；同时做好测量桩位的保护。

2) 场地补充调查

在进入正式施工修复作业前，项目经理部技术负责人抓紧组织各专业施工技术人员先进行补充调查，细化各污染区域地下水污染程度、分布范围，作为后期正式施工作业工程参数设计的基础数据，具体工作内容如下：

①地球物理勘探：依据 CJJ7-2007《城市工程地球物理探测规范》拟在场地范围布置 26 条高密度电法剖面，其中场地东西向设置 11 条物探剖面，南北向设置 15 条物探剖面，剖面线主要位于场地及其上下游，在高密度电法测线局部区域布设瞬变电磁测线。

②地下水污染补充调查和水文地质钻探：用于揭露地层岩性和结构、地下水赋存特征，开展水文地质实验获取水文地质参数，采集含水介质样品检测分析其污染特征，进一步确定地下水污染羽范围，监测地下水水位、水质等，依据《场地环境监测技术导则》HJ25.2-2014、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ25.6-2019 要求，结合场地实际情况，布设水文地质监测点 27 个，新建 20 个，修缮利用场地原有监测井 7 个；结合水文地质调查，拟在边界处布设 23 个边界地质钻孔。

③土壤污染调查：按照《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ25.1-2019）、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2-2019）和《建设用地土壤环境调查评估技术指南》中的要求，本次补充调查拟在场地内部设置土壤采样点 30 个，场地外布设土壤采样点 17 个，其中选择 12 个前期调查点位（场地内部 6 个、场地外 6 个）作为验证点进行采样，土壤采样点可利用水文地质钻孔取样。

④更新概念模型：通过分析地块地质与水文地质条件、地下水污染特征、受体与周边环境情况等，对地块环境调查和风险评估阶段构建的地块概念模型进行更新，重点关注污染羽的变化。地块概念模型需包含以下信

息：一是地质与水文地质条件，包括底层分布与岩性、地质构造、地下水类型、含水层系统结构、地下水分布条件、地下水流场、地下水动态变化特征、地下水补径排条件等；二是地下水污染特征，包括污染源、目标污染浓度、污染范围、污染物迁移途径等；三是受体与周边环境情况，结合地块地下水使用功能和地块规划，分析污染地下水与受体的相对位置关系、受体的关键暴露途径等。

3) 制定施工进度计划和相关计划

根据合同约定和业主方要求，制定工程施工总控制进度计划、阶段施工进度计划；根据进度计划制定各配套计划，包括方案编制计划、劳动力计划、药剂采购进场计划、施工机械设备进场计划和分包队伍进场计划、检验试验计划、资金计划等。及时报送业主方和监理单位审批确认。

4) 施工组织设计和方案编制报审

根据现场交接、交底以及对有关情况的进一步掌握，组织技术人员完善、优化施工组织设计，及时报送业主方安排专家会议论证；同时按照施工进度要求，提前编制各专项施工技术方案，以指导整个工程的施工。

5) 技术安全交底

以施工组织设计和各专项施工技术方案为依据，在各工序施工之前，分级进行认真详尽、有针对性和可操作性的技术安全交底，使所有工程技术管理人员、作业班组、施工操作人员在施工开始前做到明确工作任务。

6) 物资设备材料计划

按照工程总控制进度计划、分阶段施工进度计划以及配套计划，根据图纸编制各种物资、设备、材料计划，及时组织加工、采购和按计划进场。

5.3.3 劳动力准备

为全面实现工程的工期、质量、安全等综合目标，选择高素质的劳动

力队伍是关键。为满足本工程施工需要,将引进竞争机制和激励约束机制,保证劳务队伍的素质、数量、能力和水平。在修复施工期间,在合格的劳务队伍中选择优秀的整建制施工队伍负责施工任务,以便于工作面的迅速展开,劳动力及时到位,资源和生产要素合理调配和使用。

本项目选用具有较高技术水平和类似地下水修复工程施工经验的劳务施工队伍,要求配置的劳动力素质高、数量充足,善于打硬仗。

(1) 劳动力配置原则

根据施工部署的安排,在力求现场施工队组规模适中、工作量均衡、作业面稳定的原则下,进行各专业施工队组组建及其作业区域任务分配。

(2) 投入的劳动力来源

投入的劳动力为土壤修复相关的技术工种,包括机械操作工、机修工、维修电工等,选择具有丰富的施工经验的技术工人,组织时优先选派曾经参与过相类似工程施工人员参建。

(3) 劳动力计划表

本项目地下水修复与风险管控工程实施期间配备劳动力见下表。

表 5-3 拟投入劳动力计划表 (单位: 人)

工种	按工程施工阶段投入劳动力情况					
	施工准备	补充调查	厂区内地下水修复	厂区外地下水风险管控	地下水监测	效果评估
项目技术管理人员	6	6	12	12	6	6
挖掘机司机	2	2	2	/	2	2
铲车司机	2	2	2	2	2	/
自卸汽车司机	4	4	/	/	/	/
测量放线员	2	2	2	2	2	2
电工	2	/	2	2	/	2
普工	4	4	4	4	4	4
材料员	2	2	2	4	2	2
资料员	2	1	1	1	1	2

工种	按工程施工阶段投入劳动力情况					
	施工准备	补充调查	厂区内地下水修复	厂外地下水风险管控	地下水监测	效果评估
吊车司机	2	/	/	/	/	2
污水处理站人员	/	/	6	/	/	/
抽水泵站	/	/	4	/	2	/
注水泵站	/	/	6	/	/	/
安保人员	2	2	2	2	2	2

注：1 专业技术人员开工前入驻项目现场；2 其他人力资源按照施工进度陆续进场。

5.3.4 施工机具准备

根据本项目地下水修复与风险管控确定的技术工艺以及工程量，现场修复管控施工主要机械设备及仪器详见下表。

表 5-4 拟投入的主要施工机械设备/仪器

序号	机械/设备名称	型号规格	数量	用于施工部位
1	挖土机	PC-360	1 台	清水池施工
2	自卸汽车	—	4 台	土方运输
3	引孔钻机		2 台	旋喷引孔
4	高压旋喷钻机	高架式	3 台	高压旋喷注入
5	装载机（铲车）	ZL-50	2 台	场地平整、药剂运输
6	污水处理系统	600m ³ /d	1 套	抽出地下水处理
7	汽车吊	QY25D	1 台	设备安装
8	RTK	华测 T8	1 台	工程控制定位等
9	全站仪	GTS-1000	1 台	控制桩点的测设、校核；工程控制定位等
10	水准仪	KL-60	1 台	高程测量、标高控制

注：仪器设备与机械设备按现场施工需要进行相应的增减调整。

5.3.5 进场物资材料准备

开工前落实各项施工用料的计划，按照贯标程序要求选定合格供方和产品，签订供货协议，并分期分批组织进场。

进场材料均具备出场合格证,材料进场后由专人对进场材料进行外观检查,如需复试物理、化学性能,则交由第三方专业检测机构进行检测。

若因施工场地限制,现场不可能存放比较多的药剂,对各种药剂的进场时间、数量等提前做好月(旬、周)计划,认真组织,专人负责,分阶段分批量陆续进场,保证工程正常使用。

根据工期及现场实际情况,工程所需材料在正式开工后根据上表所示时间分批进场,个人防护用品应在开工之日准备不少于 80%下表所估算用量,并根据现场实际使用消耗情况随时进行补充。项目主要材料进场计划见下表。

表 5-5 主要材料进场计划表

序号	名称	数量	单位	备注
1	防尘防毒面具	40	个	开工后即全部进场,所有进场施工人员已全部配备。
2	呼吸机	40	个	
3	口罩	200	个	
4	防护服	40	套	
5	劳保鞋	20	双	
6	防水鞋	40	双	
7	安全帽	40	个	
8	护目镜	40	个	
9	防化学品手套	40	双	
10	反光背心	40	套	
11	滤毒盒	80	个	
12	耳塞	40	对	

5.4 工程施工测量

5.4.1 测量放线的基本要求

(1) 按照污染范围图纸进行测量放线,并请建设单位、生态环境主管部门、环境监理单位、监理单位等相关部门参与;

(2) 符合《工程测量规范》(GB50026-2007)的设计要求;

(3) 使用成果桩要校核坐标成果桩及高程水准点，其误差在允许范围内取平均值；

(4) 测量人员必须持证上岗，不得使用无证人员放线；

(5) 每次使用全站仪时都要进行照准后视点进行校验、水准测量尽量采用等距离测量、钢尺做往返丈量；

(6) 认真执行国家法令、政策与法规，明确为施工服务的目的；

(7) 严格遵循先整体后局部，先控制后细部放线的工作程序；

(8) 严格审核测量起始依据的正确性，坚持测算工作，步步有校核的方法；

(9) 坚持定位放线工作，必须执行自检、互检合格后，由有关部门及监理验收的工作制度；

(10) 测量记录保证原始真实，数据正确，内容完整，字迹工整清楚，测量资料要及时收集整理，认真保管；

(11) 做好竣工测量资料的填写、保管、移交工作；

5.4.2 测量准备工作

(1) 测量人员准备

现场配备专职测量员负责对测量人员进行技术交底，主持测量日常工作。测量放线人员应对图纸进行审核，并应及时了解与掌握有关工程设计变更文件以确保测量放样数据的准确可靠。所有测量人员必须经过培训并持有上岗证方可实施测量工作，熟练掌握仪器的操作规程，熟练测量理论，对实施过程中出现的问题能够会分析原因并正确的运用误差理论进行平差计算，做到按时、快速、精确的完成每次测设任务。

(2) 测量仪器准备

为能准确及时的定位应选用适合、高效的测量仪器，各测量仪器与工

具的使用均须经计量检定单位或部门检验合格，并在有效期限内。在使用过程中，应及时校准、保养、维护，本项目施工主要测量仪器设备详见下表。

表 5-6 主要测量仪器设备

序号	测量器具名称	数量	用途
1	塔尺	1 把	标高控制
2	钢尺	4 把	高程传递、量具
3	50m 钢尺	1 把	测量量具
4	RTK	1 台	工程控制定位等
5	全站仪	1 台	控制桩点的测设、校核；工程控制定位等
6	水准仪	1 台	高程测量、标高控制
7	对讲机	6 部	联络通讯
8	笔记本式计算机	1 部	计算验算

备注：各类测量器具数量根据现场实际使用情况可适度调整。

5.4.3 测量工作流程

本项目测量体系采用 CGCS2000 坐标系或海北州当地坐标系，测量施工流程如下图所示。

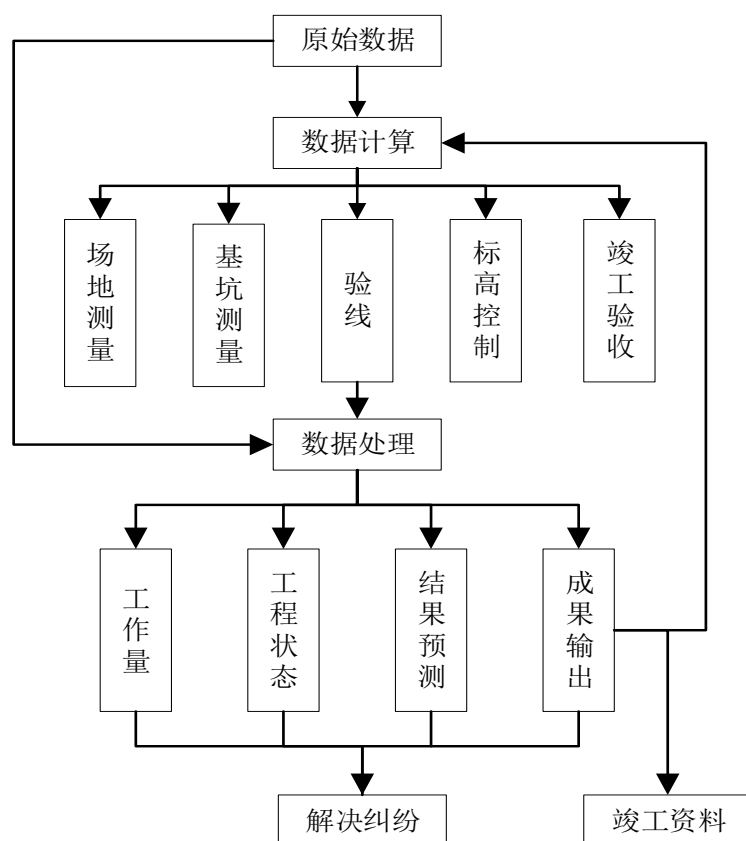


图 5-3 测量工作流程图

5.5 厂区内地下水（15-25m）修复实施方案

本项目拟对海北化工厂内的地下水污染范围进行修复，修复面积约为 55333m²，地下水含水层平均层厚为 10m。

根据污染地下水中六价铬浓度高低，采用抽出处理和原位化学还原相结合的方法进行地下水修复治理：①先将高浓度六价铬污染地下水抽出至地表污水处理设备进行处理；②再对剩下的低浓度六价铬污染地下水进行原位化学还原治理。

5.5.1 高浓度六价铬地下水抽出处理

5.5.1.1 抽出处理工艺流程

抽出处理技术是通过构筑一定数量的抽水井和相应的地表污水处理系统，利用抽水泵抽取高浓度六价铬污染地下水至地表，然后用地表污水处理设备进行处理的方法。通过不断地抽取污染地下水，使污染晕的范围

和污染程度逐渐减小,并使含水层介质中的污染物通过向水中转化而得到清除。处理达标后的水体,在厂区内进行回用,回用用途主要包括:(1)回灌入地下水井中(2)作为原位注射的药剂稀释用水。

地下水抽出处理工艺流程如下图所示。

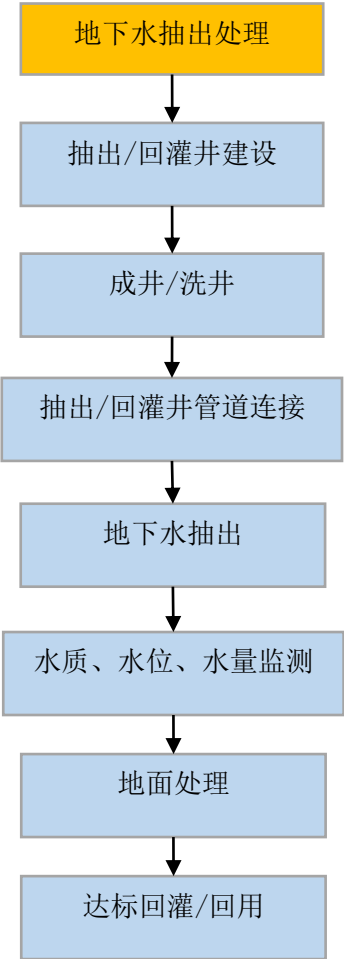


图 5-4 地下水抽出处理工艺流程图

5.5.1.2 地表污水处理系统建设

(1) 现有污水处理系统现状

根据项目区前期踏勘情况,该污水处理厂沉淀池等构筑物存在生锈,底部防渗损坏现象。其余设备:如板式压滤机、加药设备等已被破坏,无法使用;污水运行控制系统:线缆及元件已拆除;管道存在生锈、破裂情况;各类泵缺失或损坏;除土建部分能修缮后使用外,其余设备、管道等

需要重新更换及构建，污水处理站现状见图 5-5。



图 5-5 污水处理厂现状

(2) 污水处理系统修缮和扩建

本项目计划对场地前期已有的污水处理系统进行修善和扩建，以建造一座日处理量为 $600\text{m}^3/\text{d}$ 的地下水抽出处理站，本项目拟建设污水处理系统平面布置如下图所示。

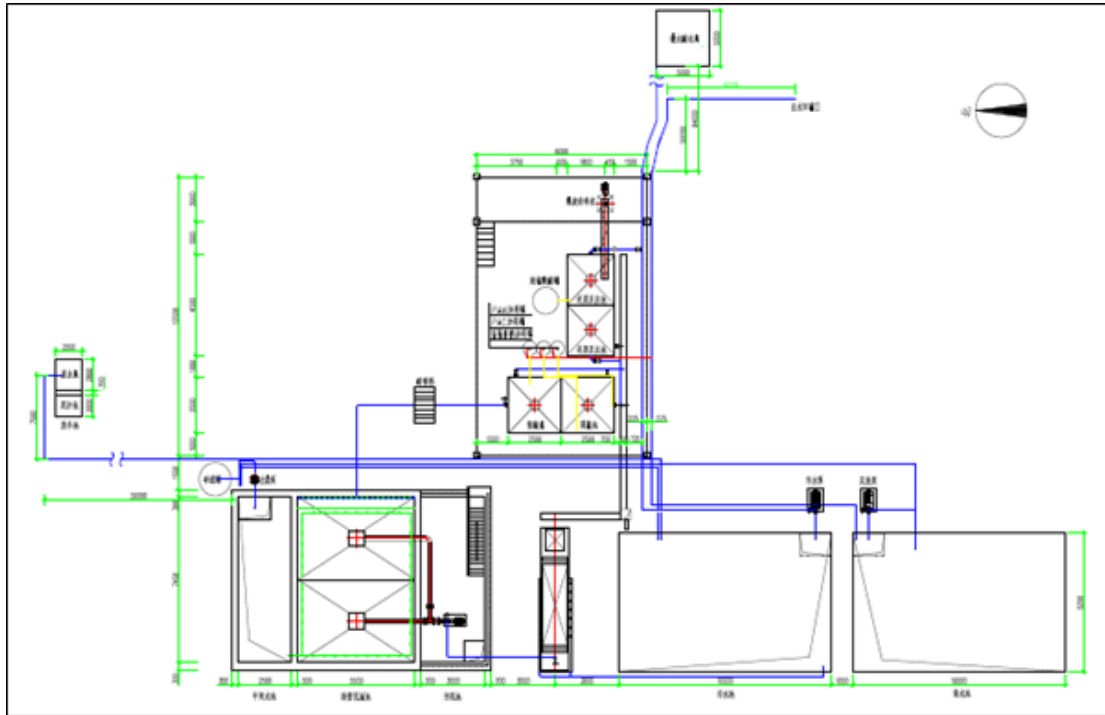


图 5-6 污水处理系统平面布置

地表污水处理系统拟定采用“化学还原+碱水调节沉淀+絮凝砂滤”处理工艺流程：待处理污水泵提进入还原反应池，用 pH 控制仪、计量泵定量加入硫酸、焦亚硫酸钠药剂在酸性环境下进行还原反应，将六价铬还原成三价铬。反应完毕后，废水流入 pH 调整池，控制氢氧化钠添加量回调 pH，在弱碱性环境下三价铬开始沉淀，废水进入絮凝池进行混凝反应，进行初步的固液分离，上部清液进入斜板沉淀池，进一步去除固体悬浮物。沉淀池上清液经中间水池调整进行砂滤后出水。沉淀池污泥用泥浆泵抽吸进入板框压滤机，脱水后泥饼外送处置，滤液排到第一个 pH 调节池进行处理。污水处理工艺流程如下图所示。

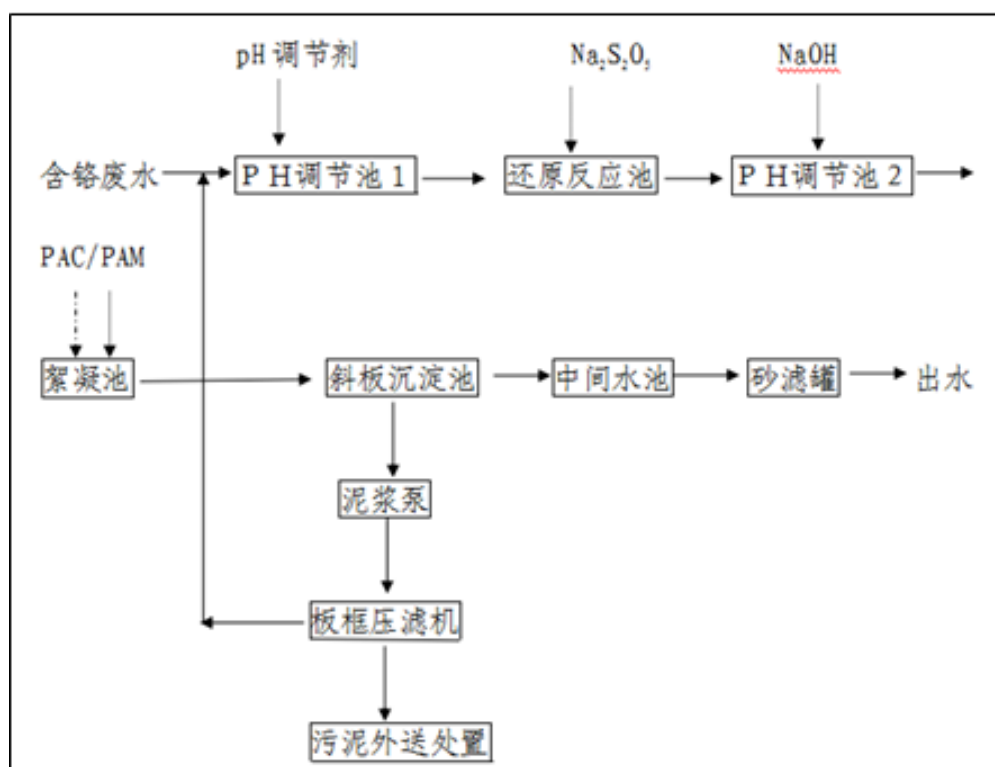


图 5-7 污水处理工艺流程

5.5.1.3 施工工艺参数

(1) 地下水抽出/回灌井设计

为最大限度和最快时间抽出高浓度六价铬污染地下水，在抽水井和回灌井布局上，针对本场地地下水中六价铬污染因子特性，结合场地地下水流向，抽水井应设置在场地下水流向的下游，回灌井应设置在场地下水流向的上游，抽水井和回灌井的流量设计应达到总体平衡，确保修复过程持续进行。被抽出的污染地下水需经过地表水处理站进行处理，达到修复目标后（0.5 mg/L）才能再向地下回灌。

根据项目地下水修复目标、修复技术路线以及本场地水文地质试验，结合上述抽出/回灌井布局原则，设计在厂区地下水污染羽下游布设地下水抽出井 60 口，在地下水污染羽上游布设达标水回灌井 60 口。厂区内地下水修复区采用均匀布井方式，通过抽水和回灌作用使污染羽的六价铬浓度在较短时间内快速降低，结合下一阶段还原药剂强化修复，使厂区内地

下水修复整体达标。

本项目抽出/回灌井设计井管直径设计为 110mm。井管功能段分为密封段、抽出/回灌段和沉砂段三部分。其中筛管的长度和位置，应根据水层岩性特征和技术经济等因素确定。针对本场地厂区内污染地下水埋深在 15-25m 处，因此设计抽出/回灌井建设深度为 26 m，其中筛管设计长度为 10.5 m，筛管位于地面以下 15-26m。筛管割缝宽度不超过 0.2mm，或管段外层包裹三层 10-20 目纱网。抽出/回灌段以上均为密封段，井管密封至地表井头处。

（2）地下水抽出标准

根据前期调查，本项目现有 55333 m² 地下水污染范围所对应的一倍孔隙体积（即 55333 平米乘以 10 米厚的污染厚度乘以 0.4 的孔隙度 = 221332 方）里的污染浓度比较高，认为是高浓度污染地下水。

根据对高低浓度的划分标准、项目绩效目标要求，需要将修复范围含水层内的污染地下水抽出一个循环后送场内的污染处理站进行处理，修复面积约为 55333m²，地下水含水层平均层厚为 10m，孔隙度定为 0.4，因此预计抽出-处理高浓度污染地下水 221330m³。当抽出处理的污染地下水水量达到 221330m³，则高浓度抽出处理工程量完成，进入原位注射修复工程阶段。

（3）地下水抽水处理药剂使用量

处理高浓度六价铬污染地下水 221330m³，根据小试、中试药剂使用量及结果，本项目高浓度六价铬抽出处理药剂计算用量为 1297.65 吨。

5.5.1.4 施工内容

（1）抽出/回灌井建设

地下水抽出/回灌井建设施工流程如下所示：

定位探管→钻机对中→成孔→井管安装→洗井→试抽

1) 定位探管

井位施放时详细核实区域地下管线分布,避开各种障碍物及前期施工井位。抽水井间距可做局部调整,但最大不能超过 1 米。

2) 钻机对中

将钻机安装好后移至井位附近,核对井位,将钻头中心对准井管中心点,调节钻机垂直度。冲击钻开孔不低于 0.6m,成孔直径不低于 0.3m。

钻进要做到以下要求:

中心位置: 100mm;

截面尺寸: 不小于设计尺寸;

孔底高程: $\pm 50\text{mm}$;

桩孔垂直度: 1%;

3) 成孔

先用人工埋深护壁管,护壁管安装好后开始钻进成孔。护壁管应按照预制尺寸随钻钻进,单节混凝土预制护壁管不超过 3 米,具体情况应随地质条件进行调整。护壁管采用汽车吊随钻安装,施工过程需统筹安排重机械,防止出现事故。

钻孔钻进采用泥浆护壁,施工时保持孔内泥浆高度,防止塌孔,达到设计深度后终孔。

4) 井管安装

井孔深度经验收合格后,用抽渣筒清孔,清孔后采用汽车吊吊装井管,各节井管之间应采用螺纹及螺钉进行紧固,连接严密。吊装时调整好井管中心位置与垂直度,井管就位固定后,管上口设临时封闭。

5) 填充滤料

井管吊放好后,延井管周围均匀投放滤料,滤料为 2-4mm 石英砂。

滤料层上以膨润土及水泥砂浆固封。

滤料投放前应清孔稀释泥浆。当投放滤料管口有泥浆冒出或向管内灌水能很快下渗时说明渗水性能合格。

6) 洗井

采用空压机、活塞联合洗井，在空压机洗净之后再采用活塞洗井。重复以上洗井过程，直至满足出水含砂率小于 1/10000，以保证抽水设备正常运转不致使泥沙带出引起地层下沉。

洗井要求达到水清沙净。下管、填充填料完成后应立即进行洗井，成井-洗井间隔时间不能超过 8 小时，采用隔离塞分段洗井，如果泥浆中含沙量较大，可先进行捞渣，再进行洗井。

7) 试抽

运行前进行试抽，检查抽注水是否正常及运行条件控制，有无淤塞现象。如有异常情况，应进行检修。抽水泵放置在抽水井井底 0.5 米处。

(2) 抽出/回灌井管道连接

本项目地下水抽出/回灌的输水管道拟采用 UPVC 管道，采用临时性钢丝软管接入主管道，将抽出的污染地下水输送至地表污水处理站，处理达标后再通过回灌井注入地下。抽出/回灌地下水输送管网的安装及施工方法如下所述。

1) UPVC 管道和管件的检验

管材进入施工现场后，首先检查管材尺寸误差是否超标；管材壁厚是否均匀、有否变形；承口有无开裂；管材是否内含杂质；插口端部倒角是否合乎标准；插口有无插入深度标线；管件与管材的规格、材质、标准是否一致等。如发现有损坏、变形、变质迹象或存放超过规定期限时，及时进行抽样鉴定。

2) UPVC 管道安装

UPVC 管在安装前须进行承口与插口的管径量测，并编号记录，进行公差配合，以便安装时插入容易和保证接口的严密性。UPVC 管安装程序为：清理工作面→试插→粘接剂连接→养护

3) UPVC 管道试压和验收

硬聚乙烯给水管道水压试验有严密性试验和强度试验两项内容。

严密性试验：管道充水 12h 后，将管内水压加到 0.35MPa，并保持 2h，检查部位是否有渗漏或其它不正常现象。试验时为保持管内压力可向管内补水。严密试验时，若在 2h 中无渗漏现象为合格。

严密性试验合格后，进行强度试验，管内试验压力为设计工作压力的 1.5 倍，但不低于 0.35Mpa，保持试验压力 2h，当压降 0.02Mpa 时，向管内补水，记录为保持试验压力所增补水量的总值，若漏水量不超过规范允许漏水量时，则认为试验管段承受了强度试验。

4) 钢丝软管连接

UPVC 主管道预留带阀门的快速转接口，转接口可连接一分多转换接头，利用已有井抽出地下水的钢丝软管管头安装转接口，灵活快速与主管道相连。

(3) 抽出回灌调试及运行

抽出回灌系统正式运行前，应进行 1-3d 的调试及试运行，保证输水管网密闭性完好，各设备运转良好，抽出/回灌水量达到设计要求方能正式运行。

5.5.1.5 抽出影响分析

地块现状水流条件

(1) 根据前期水文地质试验，东部化工厂区区域含水层渗透系数约为 353.08m/d。

(2) 根据水文地质概念模型，确定模拟范围东侧、南侧、北侧为人为边界，根据厂区钻孔水位绘制区域地下水位等值线图，在厂区上游3021m 沿线概化为给定水头边界，南侧和北侧按垂直等水位线绘制连线为零通量边界，西侧以泉眼汇入河流为排泄面根据地表水实测高程概化为定水头边界。模拟区总面积约 7 km²。

(3) 利用正演试错法，反复调整需要识别的参数，输入模型并执行正演模拟，直到模型结果与现状调查中的流场拟合程度较好为止。选取厂区钻孔水位数据进行验证。厂区内，厂区邻近下游，泉眼临近井位验证井均满足验证要求，化工厂内模拟水位与验证井观测水位高程差在 10cm 以内。化工厂边界外模拟水位与验证井观测水位高差在 50cm 以内。泉眼出露区域符合实际位置。

假设抽水条件下的稳定流

(1) 假设地块下游边界布设 15 口抽水井，每口抽水井每天抽水量为 1000 方，即厂区内每天抽 15000 方。通过地下水等值线观察，对下游几乎无影响。因此厂区内每天抽取 600 方地下水不会对下游造成影响。

此外根据厂区内抽水试验，试验井流量约为 160 方/天，水位降深值约为 0.1 米。如单井抽水量提高至 600 方/天，水位降深值推算约为 0.3-0.5 米。该程度水位降深介于该区域丰枯水期水位变化范围内，通常不会对地质基础造成显著影响。

5.5.1.6 主要工程量表

表 5-7 高浓度六价铬地下水抽出处理工程量表

序号	项目	子项	名称	规格型号	单位	数量
1	高浓度地下水抽出处理	污水处理站	还原反应系统	600m ³ /d	座	1
2			PH 调整系统	600m ³ /d	座	1

3			絮凝系统	600m ³ d	座	1
4			调节系统	600m ³ d	座	1
5			斜板沉淀系统	600m ³ d	座	1
6			中间水池	600m ³	个	1
7			加药及计量系统		套	1
8			控制系统	电控柜模拟图	套	1
9			管件、装配件	ABS 或 UPVC	套	1
10		高浓度地下水抽出系统	抽水井	井深 26m,井数 60 口	m	1560
11			抽水系统		套	6
12		高浓度地下水处理系统	高浓度地下水		M ³	221330
13			药剂		吨	1297.65
14			处理时间		d	380
15		达标地下水回灌系统	回灌井	井深 26m,井数 60 口	m	1560
16			回灌系统		套	6

5.5.2 低浓度六价铬地下水原位注射修复

5.5.2.1 原位化学还原修复工艺流程

高浓度污染地下水抽出处理后,对厂区内残留的低浓度污染地下水采用原位化学还原的修复技术。通过向地下水时污染羽区域注入还原药剂,通过还原作用,使地下水中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。本项目原位化学还原修复面积约为 55333m²,污染地下水含水层平均层厚为 10m。地下水原位化学还原修复技术原理如下图所示。

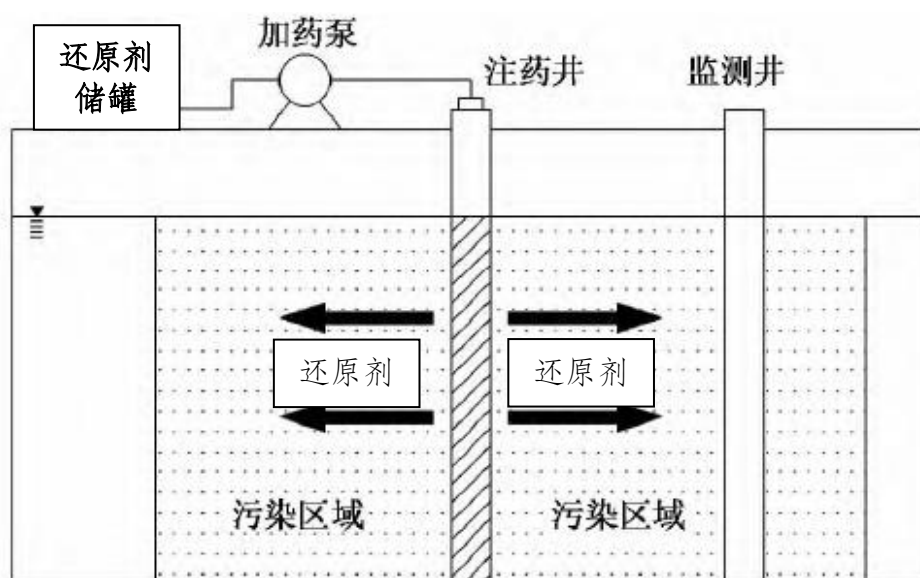


图 5-8 原位化学还原技术原理示意图

系统构成和主要设备一般包括：由药剂制备/储存系统、药剂注入井（孔）、药剂注入系统、监测系统等。

其中，药剂注入系统包括药剂储存罐、药剂注入泵、药剂混合设备、药剂流量计、压力表等组成；药剂通过注入井注入到污染羽，注入井的数量和深度根据污染羽的分布和污染程度进行设计；在注入井的周边及污染区的外围还应设计监测井，对污染区的污染物及药剂的分布和运移进行修复过程中及修复后的效果监测。

本项目原位注射化学还原修复的施工总体流程如下：

管线勘查→定位测量→注入井及监测井建设施工→修复装备及系统加工与安装→药剂注入输送管网施工→注入清水试验→化学还原剂注入（工艺流程如下图所示）。

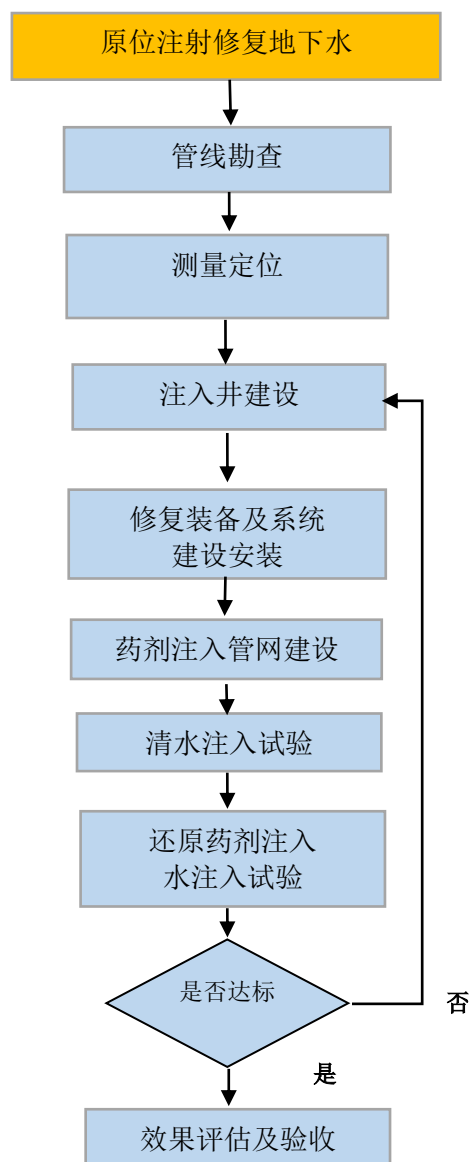


图 5-9 原位注射化学还原工艺流程

5.5.2.2 施工工艺参数

(1) 注入井布设设计

根据小试、中试结果，结合污染土壤修复药剂的使用效果，选用还原药剂对污染地下水进行修复。原位注入井注入修复施工前，需先开展关键参数的实验工作，结合现场情况，本项目注入设置 3 组影响半径实验，影响半径分别为 $R=4\text{m}$ 、 $R=6\text{m}$ 和 $R=8\text{m}$ 。注射压力设置 0.2MPa 、 0.3MPa 和 0.4MPa 分别进行实验，实验后选择最佳参数进行实施。

根据污染区域修复面积和已有的小试、中试结果设计，初步设计原位注入井，化学还原注入点布点示意图如下图所示。注入井影响半径 6m，井点之间间距 10m，实际井点间距根据现场试验确定。

表 5-8 原位注射井钻孔布设参数表

注射井间距	扩散半径	井搭接	注射井（个）	平均井深（m）	注射厚度（m）
10m	6m	1	490	26	10

注：扩散半径根据类似地层结构和工程实践经验得出，暂定 6m，最佳扩散半径及行距应以现场生产性试验为准，并对注射参数做相应优化调整

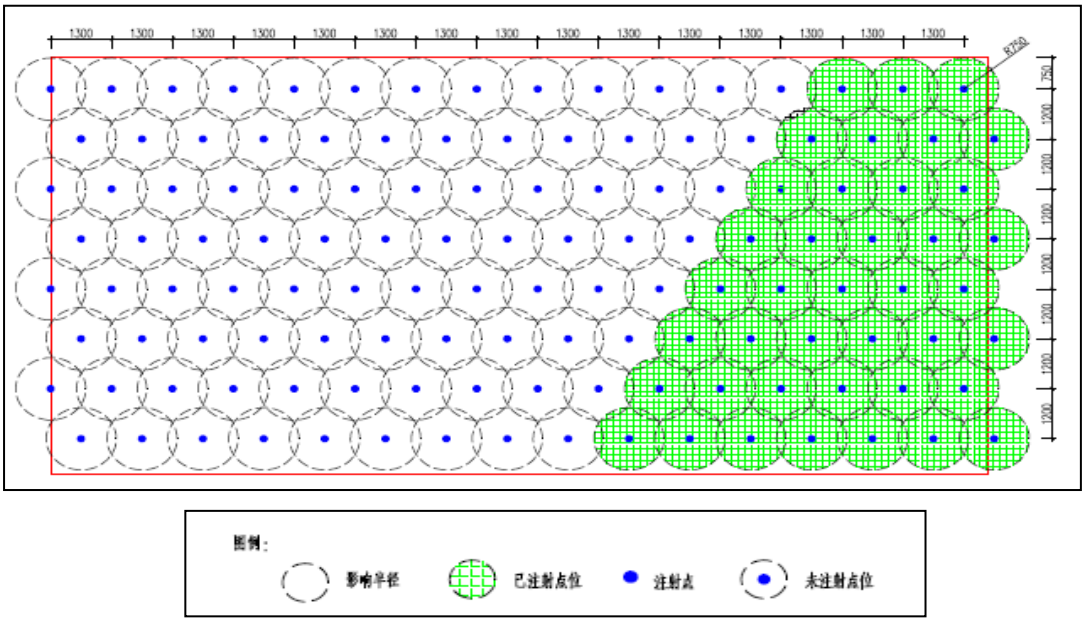


图 5-10 原位注入井布点示意图

根据小试、中试结果，结合污染土壤修复药剂的使用效果，选用还原药剂对污染地下水进行修复。原位注入井注入修复施工前，先开展关键参数的实验工作，结合现场情况，本项目注入设置 3 组影响半径实验，影响半径分别为 $R=4m$ 、 $R=6m$ 和 $R=8m$ 。注射压力设置 0.2MPa、0.3MPa 和 0.4MPa 分别进行实验。实验后选择最佳参数进行实施。

(2) 修复药剂用量

根据小试、中试结果，本项目还原药剂对污染地下水进行修复计算药剂用量为 550 吨。

5.5.2.3 原位注入井设计

注入井建设根据现场地下水条件进行设计。根据水文地质资料得知，海北化工厂所在区域地下水埋深约为 15m，污染深度为埋深 15-25m 处，地下水污染深度为 10m。因此设计注入井管径为 75mm，井深 26m，其中筛管设计长度为 10.5 m，筛管位于地面以下 15-26m。

井管材料采用壁厚大于 2.5mm 的 PVC 管，其中滤水管选用缝宽 0.5~1 mm 的割缝筛管，滤水筛管外以细铁丝包裹和固定 2 层的 40 目尼龙网。井底设置 0.5m 厚的沉淀管。具体建井实施过程按照国内建井技术要求和规范执行。

5.5.2.4 原位注射修复系统

原位垂直井注入修复工艺其设备单元主要由三大部分组成，分别为气动源单元、药剂溶配药单元和药剂注入单元，其中药剂注入单元为原位垂直井注入工艺的核心设备单元，主要由药剂注入、分散系统和注入井系统组成。另外，气动源单元主要为药剂注入设备提供动力，药剂溶配药单位为注入设备连续提供一定配比的药剂溶液。

原位垂直井注入系统工作原理为由气动源系统的空压机提供气源，催动注入系统注入泵向注入井内注入化学还原药剂，还原药剂在一定压力下通过注入井的筛管向井四周扩散与土壤及地下水中的污染物接触反应，使污染物还原降解，从而达到修复污染场地的目的。注入系统各部分系统单元及设备组成描述如下。

（1）注入井原位化学还原修复装置包括四个系统：1）气动源系统；2）溶配药系统；3）原位注入系统；4）注入井系统。



图 5-11 原位注入系统现场照片



图 5-12 原位注入系统现场照片



图 5-13 原位注入系统现场照片



图 5-14 原位注入系统现场照片

(2) 注入井原位化学还原装置各系统的组成如下：气动源系统是由配电箱、空压机和空气过滤罐组成；溶配药系统是由活化药剂存储罐、加药泵、耐酸碱钢丝管以及混合药剂搅拌罐组成；原位注入系统是由注入泵、耐酸碱钢丝管、水表、一分四转换头及压力表组成。注入井系统是由井头、转换接头、快速接头、PVC 白管（2 英寸）、PVC 井管（2 英寸）、井堵及填料组成。

(3) 注入井原位化学还原装置的连接方式特征为：空压机与配电箱通过电缆相连，空气过滤罐与空压机通过气管相连，加药泵、搅拌机、注入泵与空气过滤罐通过气管相连，活化药剂存储罐与加药泵通过耐酸碱钢丝管相连，混合药剂搅拌罐与加药泵通过耐酸碱钢丝管相连、混合药剂搅拌罐上设有粉末状药剂进料口，注入泵与混合药剂搅拌罐通过耐酸碱钢丝管相连，注入泵出口管路上连接有压力表和水表，一分四转换接头与注入泵通过耐酸碱钢丝管相连，一分四转换接头通过耐酸碱钢丝管、快速接头及转换接头、与注入井连通。

(4) 注入井原位化学还原技术装置中配件特征为：加药泵、搅拌机、注入泵都为气动元件（避免了因电缆被混合药剂浸泡发生漏电），气动管

采用 PVC 管，氧化药剂输送管采用耐酸碱钢丝管。



图 5-15 原位注入系统现场照片

(5) 注入井原位化学还原注入装置注入井特征为：注入井与井壁之间填充密封材料以防止系统与地上外界环境短路，密封材料由下往上依次为石英砂、膨润土，膨润土：混凝土 1:1 及砂浆，其中石英砂的粒径为 0.5~1.0 mm，膨润土的粒径为 0.5~1.5 mm，水泥和膨润土的质量比为 1:1。

(6) 注入井原位化学还原技术装置操作特征在于注入时先开启一分四接头阀门，再开启注入泵气动阀，停止注入时，先关闭注入泵气动阀，再关闭一分四转换接头阀门。



图 5-16 原位注入系统连接现场

5.5.2.5 施工内容

低浓度六价铬污染地下水原位注射修复主要包括管线勘查、测量放

线、地下水修复系统建设、清水试验和地下水修复药剂注射等。

(1) 管线勘查

通过早期收集的场地管线分布图,现场施工前使用探地雷达或管线探测仪,在相关熟悉场地管线布置人员的陪同下,辅助以探槽开挖等技术手段完成管线的勘察,确定管线类型、埋深和走向,保证现场施工安全,避免本次项目施工对既有管网造成影响。

(2) 测量放线

根据设计的修复点位坐标,现场采用测量放线的手段,在地下水修复区域进行测量和放线。陆续标记出注入区域,同时标记出原位注入井点的位置。

(3) 注入井(监测井)建设

确定原位注射系统修复井的建设位置后,按照规范建造注射井和监测井。本项目采用直推式中空螺旋钻建井方式建井。中空螺旋钻建井完全满足各项地下水井规范要求,标准操作流程参考《地下水环境监测技术规范》(HJ/T 164-2004)与美国ASTMD5092-2004导则等。该方式对地层扰动小,减少循环泥浆等工序对地层渗透性影响。

具体建设步骤简述如下:

1) 定位,表面清理;

2) 钻杆安装并钻进,钻进过程中适时清理并收集溢出土壤(为防止现场环境破坏,现场溢出的土壤放置在建筑彩条布上,集中运出现场处理),并连接新钻杆,直至达到预期深度;

3) 击落木塞,装入筛管(或井屏);

4) 提升并卸下钻杆,逐渐倒入石英砂至计算量;

5) 提升钻杆卸下钻杆,倒入粘土或膨润土,至计算量;

6) 制作井保护;

7) 做好井标记;

8) 地下水井设立后为将钻孔时产生的杂质和周围含水层中淤泥洗出, 需进行洗井 (同样为保护现场环境, 现场抽出的地下水全部收集在 100L 容积的水桶), 以防筛管堵塞和井水浑浊。

(4) 抽提/注入系统建设安装

1) 管材准备

注入管道和抽提管道开筛部分均提前进行打孔, 见图 5-17。



图 5-17 修复系统所用管材

2) 管道安装

按照设计的地下水抽提系统、地下水与药剂混合系统, 以及药剂注入系统, 进行管道的安装和连接, 包括管道混合器、过滤器、流量计、压力表等配件的安装, 见图 5-18, 保证管道的流通性和密封性。



图 5-18 地下水抽提/注入管道安装

3) 注入泵和药剂罐的安装

活动板房建设完成后，进行抽水泵（潜水泵）、注入泵（计量泵）、药剂罐等的安装，以及相关电路的连接，见图 5-19。



图 5-19 注入泵和药剂罐安装

（5）清水实验

原位注射前，需做清水实验，确定注射参数（压力及流量等）。之后将注射井链接好快速接头及钢丝管，使用空压机及隔膜泵分层注射配置好的混合液。注射过程中，实时监测有无“药剂溢出”状况发生，如果发生，放慢或停止注射。注入结束，封堵注入孔，用封堵楔子及膨润土封堵注入孔，避免涌浆。

（6）地下水修复药剂注射

1) 药剂用量确定

在进行药剂注入前，根据修复区域体积、孔隙度、地下水中六价铬浓度等参数对药剂的用量进行估算。

2) 修复前采样检测

修复前，采集原始地下水样品，送检第三方检测机构，用以对比修复前后的修复效果。

3) 原位注射

将注射、抽提井与地表注入/抽提系统相连接，使用潜水泵从抽提井中将地下水抽出，与修复药剂在地表进行混合后，利用计量泵分层注入到注入井中。

原位注入采用稀释后的药剂，直接注入到药剂储存罐中，储存罐顶部封口，并安装进气阀门，出药口安装控制阀门。使用时将药剂储存罐与气动隔膜泵连接，打开进气阀门和药剂控制阀门即可。

注入设备连接完成后，直接启动电源进行药剂注入，注入时采用间歇注入的方式。初次注入使用清水，记录注入时间、影响半径等数据，通过调节注入压力、注入时间等参数，使注入影响半径达到设计的影响半径以上方可进行药剂注入。

注浆泵和空压机组成高压发生系统，施工时将药剂和空气同时注入到土壤中，使药剂和污染物充分接触。注浆压力和空气压力能否达到设计要求直接影响污染土壤的修复效果。因此，需定时调节注浆与空气压力，保证工艺顺利进行。

注射过程中，有“药剂溢出”状况发生，此时，放慢或停止注射，等药剂入渗后，再继续注射过程。注入过程对注入时间、计量泵的流量、注入量等进行准确记录。每个井的注入时间、注入流量和总注入量如表 5-9 所示。



图 5-20 药剂注入过程

5.5.2.6 主要工程量表

5-9 原位注射化学还原修复工程量表

序号	项目	子项	名称	规格型号	单位	数量
	低浓度地下水原位注射修复	原位注射试验	清水试验		次	6
			关键参数试验	影响半径为 R=4m、R=6m 和 R=8m；注射压力 0.2MPa、0.3MPa 和 0.4MPa	次	3*3 次
1		原位修复注入	注水井	75mm ,	m	12740

2		系统	原位注射系统		套	10
3		修复药剂	还原药剂		吨	550
4		原位修复周期	原位注射时间		天	450

5.5.3 地下水修复过程监测

依据《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）规定，原位修复场地中地下水修复监测采样布点要求如下：

（1）原则上对照井至少设置 1 个，内部监测井至少设置 3~4 个，控制井至少设置 4 个，可根据修复工程特点合理调整。原则上内部监测井设置网格不宜大于 80 m×80 m，存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域，监测井设置网格不宜大于 40 m×40 m。

（2）当含水层厚度大于 6 m 时，原则上应分层进行采样，可采用多层监测，根据污染物特征、含水层结构等进行合理调整。对于低密度非水溶性有机物污染，监测点应设置在含水层顶部；对于高密度非水溶性有机物污染，监测点应设置在含水层底部和隔水层顶部。针对不同含水层设置监测井时应分层止水。

依据上述要求，本次地下水修复设置 32 个监测点位，其中修复范围上游 1 口（需新建井），修复范围内 28 口，修复范围下游 3 口，其中修复范围内 28 口采用前期调查监测井和抽（注）水井。

药剂注射完成后，每 15 天在各监测井中取地下水样进行分析，持续 3 个月。样品分析指标包括特征污染因子和潜在污染因子指标：pH、六价铬、总铬、硫酸盐、硫化物、CODcr 等。

表 5-10 地下水修复过程监测统计

序号	名称	位置	单位	数量	备注
1	监测井	修复范围上游	口	3	

		和下游			
2	过程监测样品	修复范围上游、范围内和下游	次	192	6 次*32 个点位

5.6 厂区外地下水风险管控实施方案

5.6.1 厂区下游原位反应带建设

本项目厂区外附近下游地下水中六价铬浓度仍较高,为阻止其继续向下游迁移,在垂直地下水流向的方向,建设原位反应带进行修复,地下水中的六价铬流经原位反应带时,六价铬被还原成三价铬进而沉淀下来,达到降低水体中六价铬的目的。根据地下水污染羽范围及地下水流向分析,厂区下游共建设 3 条原位反应带,即厂区下游边界附近(L1)、下游中间区域(L2)以及泉眼附近(L3),原位反应带建设位置如图 5-21 所示。

5.6.1.1 施工工艺流程

原位反应带建设施工工艺流程如下图所示。

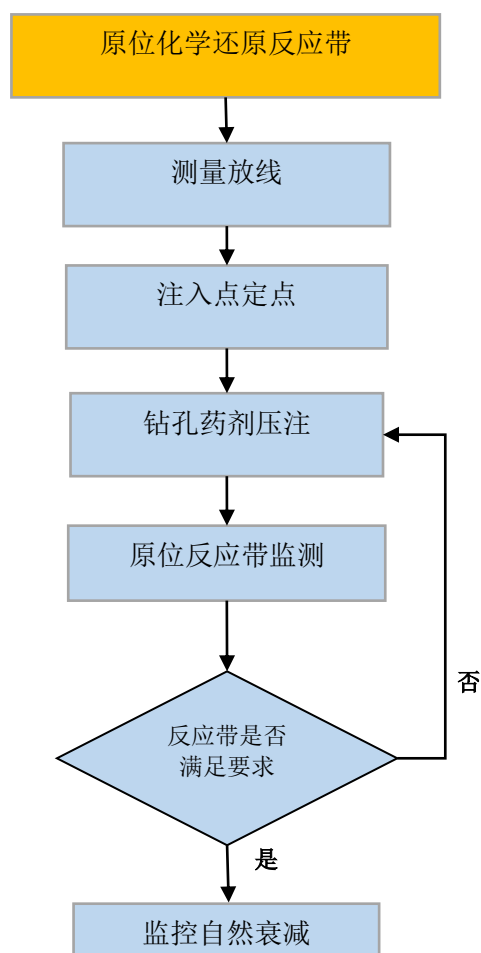


图 5-22 原位反应带建设施工工艺流程

5.6.1.2 施工工艺参数

(1)在海北化工厂外地下水下游方向建设 3 条原位反应带(图 5-22), 3 条原位反应带垂直于地下水流向、平行建设; 厂区下游边界附近原位反应带 L1 长约 400m、下游中间区域原位反应带 L2 长约 400m, 泉眼附近原位反应带 L3 长约 600m。

(2) 原位反应带采用 Geoprobe 钻机以垂直注入的方式, 注入药剂, 按照注入影响半径为 2.6m 计, 注入孔有效反应直径为 5m, 因此注入点间距设计为 5m, 实际注入点间距根据现场试验确定, 注入药剂深度为进入隔水黏土层 1m, 含水层厚度一般在 20~45m, 水位埋深 0~18m, 原位反应带建设平均深度按 46m。

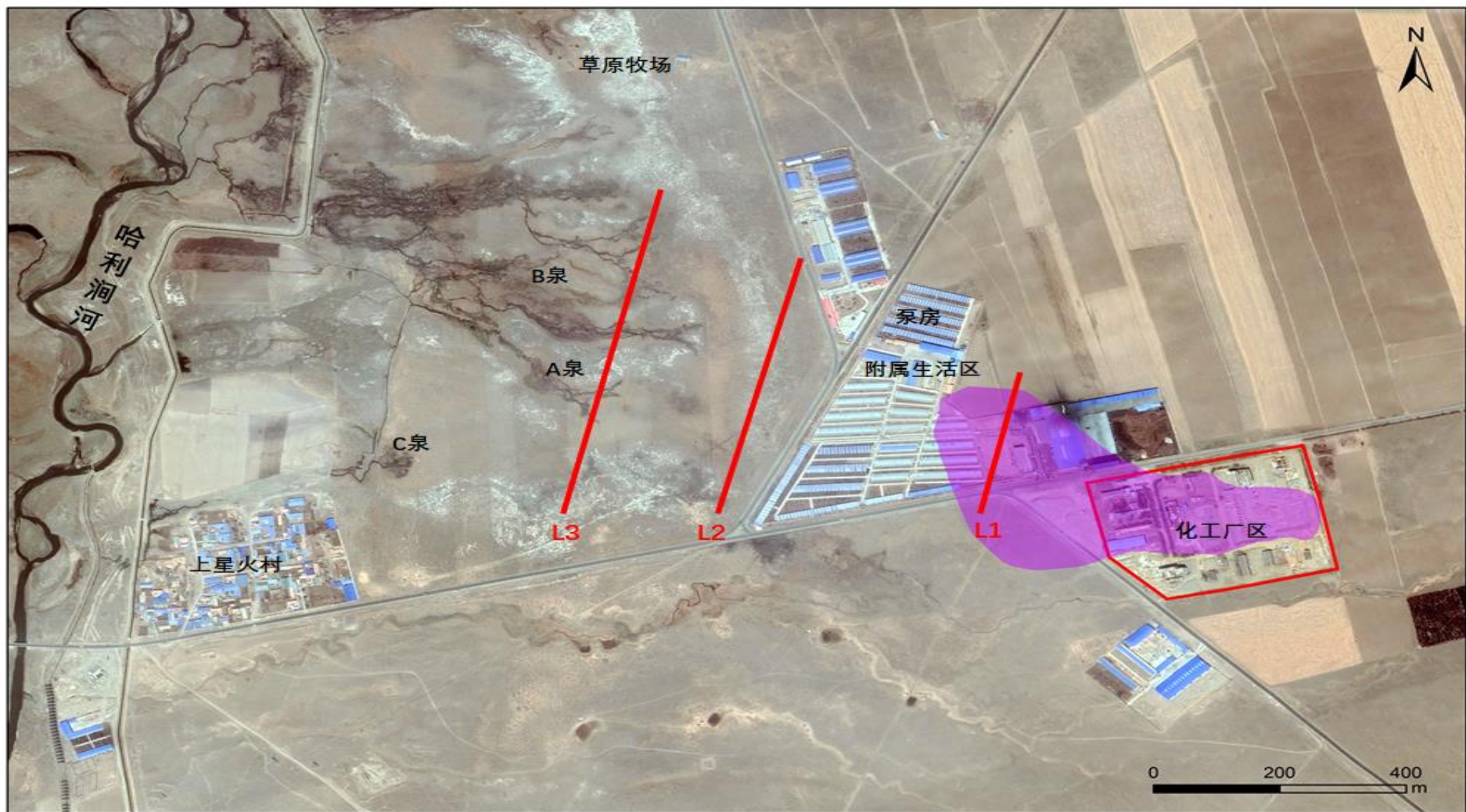


图 5-21 原位反应带建设位置图

(3) 药剂采用药剂（主要成分为零价铁和缓释碳源），添加比例（质量比）1%，配制成液体后随钻机注入。各注入点位药剂使用量根据现场注入深度进行调节，按照土壤容重 1.8t/m^3 、注入点影响半径为 2.6m 计，各点位每米深度药剂注入量为 382kg 。

5.6.1.3 修复施工设备

原位反应带采用专业原位注射设备（Geoprobe 钻机）钻孔注射高浓度药剂浆液的方式完成构建。该技术设备主要包括钻进系统和注入系统两部分。

钻进系统主要由钻进驱动系统、钻杆及特殊钻头构成，钻杆钻进至指定深度，直接将修复药剂喷入土壤。施工过程对土壤直接扰动小，基本不破坏地层结构，可保持地基承载力。可以定点、定深、定量地进行药剂注入，根据不同位置、不同污染程度配置药剂，提高药剂利用率，降低施工成本。瞬时高压注入，在饱和层中形成压裂裂隙，使药剂更容易扩散到预定位置，加强修复效果。加压注入施工过程不产生生产废水，能有效避免二次污染的产生。加压注入施工设备简单，操作所需空间小，工作面整洁规范，能最大限度的保证施工人员生产安全。

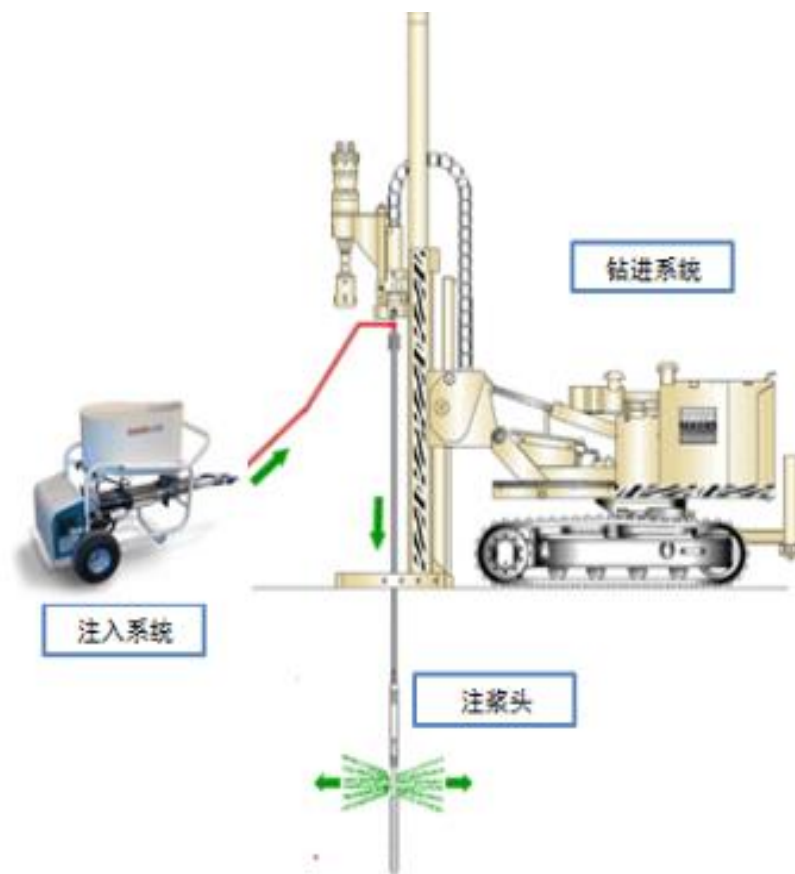


图 5-23 原位高压注射设备

表 5-11 原位高压机械注射设备参数

性能	参数
工作环境的温度范围	-29℃ 到 49℃
设备重量	3427 kg
作业半径	3 m
影响半径	0~5 m
钻进系统型号	6620DT
钻进系统供压	11.2 MPa
钻进系统功率	36 kW
注入系统型号	2000 型
注入系统供压	11.2 MPa
注入系统流量	100 L/min

原位化学反应带设置中应用的机械设备清单如下表所示。

表 5-12 原位机械高压注射设备清单

序号	设备名称	设备型号	配置数量	技术参数	备注
01	Geoprobe 钻机	DT6620	1	10.3 MPa; 36 kW	Geoprobe
02	注入系统	Geosolutions2000	1	110 L/h	Geoprobe
03	挖掘机	PC-90	1	0.3~0.5 m ³	

5.6.1.4 施工内容

施工过程包括测量放线、定点、钻井钻孔注入等。

(1) 测量放线

本项目设计在海北化工厂外地下水下游方向建设 3 条原位反应带,因此根据设计的反应带建设位置进行测绘放线,标记出三条原位反应带施工区域。

(2) 钻井注入点定点

根据施工方案确定原位反应带 Geoprobe 钻机钻井点的位置,依次定点并进行现场标注,钻井点设计间距 5m,尽可能避开地下管线区域以及附属设施设施(例如井盖、雨篦子、电线杆等)。

(3) Geoprobe 钻井压注

选择点位中的一点开始试钻和试压注,一次性钻孔至地下水黏土隔水层 1m 处。

成井后开始慢慢向上提升钻杆,一直提升至地下水稳定水位高度以上 1m 处(稳定水位通过监测井测量判断),提升过程中通过注入系统由钻杆底端的注浆头注入药剂至该地层。高压注入药剂影响半径 2.6m,由一排直径 5.2m 的药剂填充柱连接而成原位反应带。注药过程中,记录注入压力及药剂注入量。

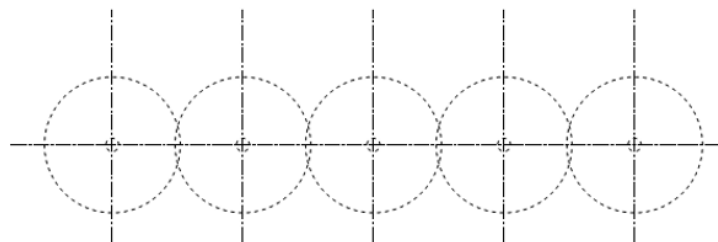


图 5-24 原位化学反应带压注示意图

(4) 原位反应带监测

厂区下游地下水反应带建设完成后，应在三条反应带内布设监测点位，定期监测原位反应带的完整度以及修复药剂含量情况；监测过程中若发现反应带部分区域修复药剂含量低的情况，应对该区域进行药剂补注，确保原位反应带完整并满足修复要求。

5.6.1.5 主要工程量

表 5-13 原位化学反应带建设工程量表

序号	名称	单位	数量	注药井深度	备注
1	原位反应带 L1	m	400	3680	间距 5m，深 46m
2	原位反应带 L2	m	400	3680	间距 5m，深 46m
3	原位反应带 L3	m	600	5520	间距 5m，深 46m
4	药剂	吨	182.5	—	

5.6.2 监控自然衰减

本项目厂区内的污染地下水修复完成后（抽出处理和原位建井注入完成后），下游的 3 条原位还原反应带建设完成后，开始对厂区下游的地下水污染进行监控自然衰减，本项目监测周期定为 5 年。自然衰减监测过程中发现有效果降低、二次污染等问题，需要对药剂及时进行补充、采用应急手段确保二次污染物消除或降低。

5.6.2.1 监测点位布设

参照《污染地块地下水修复和风险管控技术导则（HJ 25.6-2019）》

中运行监测要求，原位反应带建成后，对原位反应带两侧及中间区域进行监测，分别在 3 条原位反应带的两侧及中间区域布设监测点位，共计布设 28 个监测点，分别监测厂区外地下水在经过原位反应带前、中、后的六价铬浓度。看地下水中六价铬浓度的衰减趋势，监测 5 年后进行修复效果评估。

根据项目区前期踏勘，下游已有项目区前期已实施项目现存可用监测井 6 座（现场核实具备采样条件），国土部门长期监测井 7 口，具体分布及现状如图 5-25 和 5-26 所示。因此，本次新增监测井 15 口，具体分布如图 5-27 所示。



图 5-25 已有可用监测井分布图



图 5-26 已有监测井现状

5.6.2.2 监测指标选择

按照《污染地块地下水修复和风险管控技术导则（HJ 25.6-2019）》要求，需要对地下水水位、水质、注入药剂特征指标、二次污染物等进行监测，具体包括：

（1）地下水水位和水质：包括地下水水位、六价铬和总铬浓度；

（2）注入药剂特征指标：包括药剂浓度以及因药剂注入导致地下水水质变化的参数，包括 pH、电导率、总硬度、氧化还原电位、溶解氧等；

（3）二次污染物：硫酸盐、硫化物，金属离子铁、锰，以及碱度、硝酸盐、亚硝酸盐、总有机碳、COD_{Cr} 等。

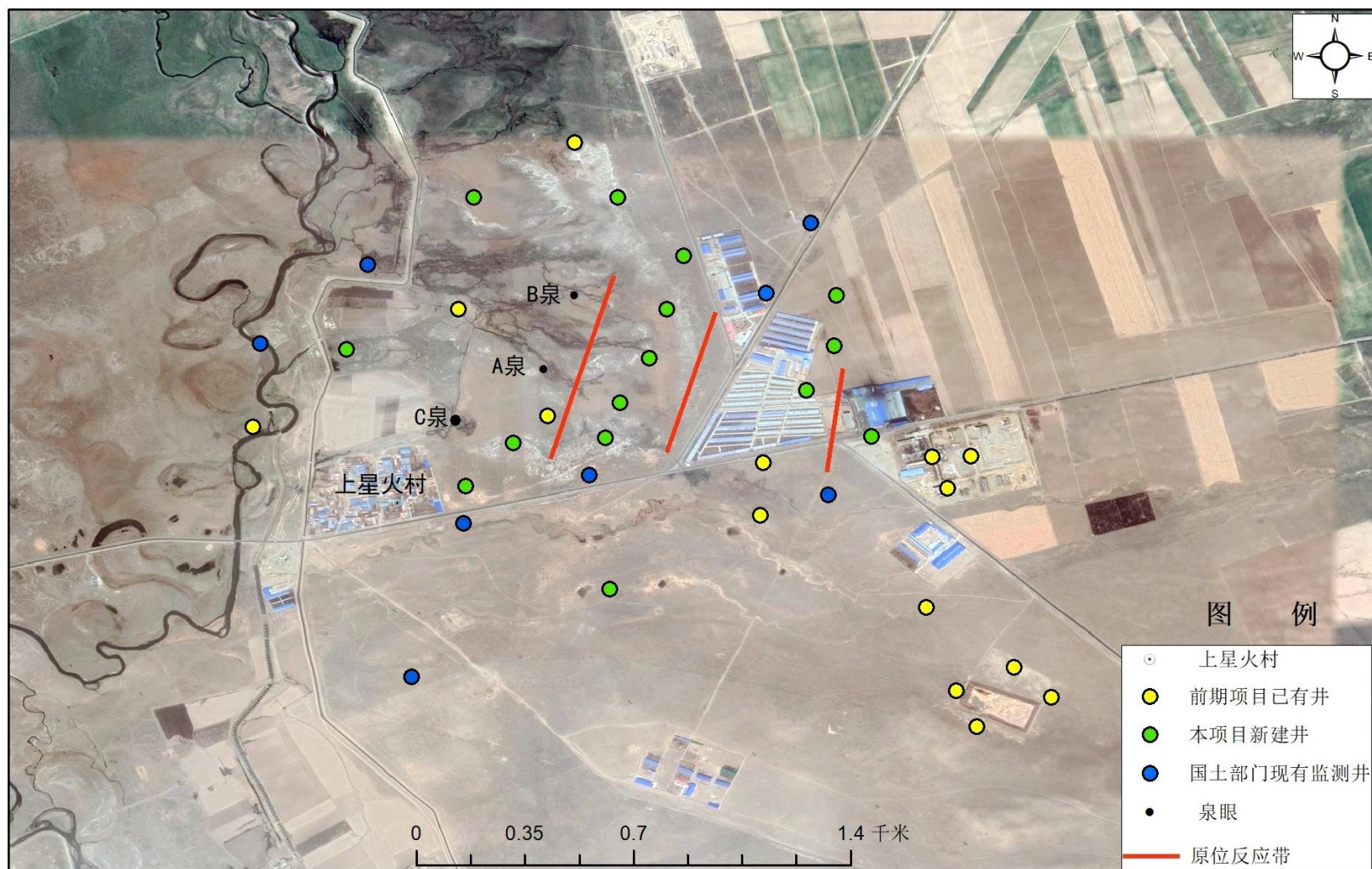


图 5-27 自然衰减新增监测点位布设图

5.6.2.3 监测频次确定

按照《污染地块地下水修复和风险管控技术导则（HJ 25.6-2019）》要求：地下水修复工程的运行初期，宜采用较高的监测频次，运行稳定期及运行后期可适当降低监测频次。工程运行初期原则上监测频次为每半个月一次；运行稳定期原则上监测频次为每月一次；运行后期原则上监测频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于 1 个月。

根据以上要求，原位反应带的自然衰减监测频次如表 5-14 所示。

表 5-14 原位反应带自然衰减监控频次示意表

工程运行期	监测频次	监测总期数
工程运行初期（前 1 年）	每半月一次	24 次
运行稳定期（1 至 2 年）	每月一次	12 次
运行后期（2 至 5 年）	每两个月一次	18 次

5.6.2.4 原位反应带药剂补充

在自然衰减过程中，需要根据定期的监控结果，补充原位反应带内药剂，根据经验值估算，每年补充药剂一次，5 年监控期内共补充药剂 4 次，若在监测过程中出现异常，则增加当期的药剂补充量。原位反应带药剂补充工作由原位反应带和自然衰减建设施工方全程负责开展。

5.6.2.5 自然衰减监测工作量小结

根据监测点位的布设情况、监测指标选择情况和监测频次的确定，自然衰减监控工作量见表 5-15 所示。

表 5-15 新建自然衰减监测井数量表

序号	名称	规格	单位	数量	备注
1	自然衰减监测井建设	孔径 110mm	口	15	新建 15 口，借助已有 13 口
2	定期监测		次	28 点位*54 次	监测因子包括水位、特征指标和二次污染防治指标等
3	原位反应带药剂补充		次	4 次	含药剂和机械

第 6 章 环境保护措施

6.1 项目实施过程中环境影响分析

本项目对地下水污染进行修复治理不仅具有实际的修复意义,同时还具有示范性工程的性质。此次采用的修复方法基本为原位修复方法,充分考虑现场可用的资源和设备,尽可能降低对环境的影响和扰动。但是在现场工程实施的过程中,不可避免的会产生少量污水、扬尘、噪声和气体,需要对周边环境进行影响分析。

本项目实施工期接近 1 年,气候从干燥至雨水然后又转为干燥,整体气候环境会经历大风,扬尘和暴雨等天气现象。容易出现的环境影响如下:

6.1.1 废气污染物

施工期主要产生扬尘和尾气。扬尘主要是土壤转运、水泥池子拆除、建筑垃圾运输和场地平整过程中产生的;废气主要是施工机械和运输车辆排放。

由于本项目施工期土方工程不多,主要为场地清理、部分建筑拆除等,且周边 1km 范围内无居民点,施工扬尘对外环境影响甚微。由于该地风速较大,大风天气较多,大气扩散条件良好,因而尾气排放对环境空气的影响很小。

6.1.2 废水污染物

施工期产生的废水主要为洗井和采样过程中产生的废水,地下水原位修复过程中抽出的含六价铬废水,以及施工人员生活污水等。这些污水均排往厂区现有的污水处理池进行处理,满足处理要求进行回灌或原位注射药剂稀释用水。

6.1.3 噪声

施工期噪声源主要为施工过程中使用的运输车辆、挖掘机、推土机和

钻取土壤钻孔等施工机械设备。虽然大部分施工设备的噪声值较高，但因施工现场周边 1km 范围内无居民点，届时施工噪声对附近居民没有影响。

6.1.4 固体废物

施工期产生的固体废物主要为建筑垃圾、施工人员产生的生活垃圾。生活垃圾集中收集后均及时送至当地生活垃圾填埋场进行卫生填埋处置，对周围环境影响很小。由于修复过程中产生的建筑垃圾量非常少，因此所以现场建筑垃圾集中收集后拉运至当地建筑垃圾填埋场处理。

6.2 环境保护措施

以“预防为主，防治结合”的原则为指导，防止污染土壤和地下水对周边环境和施工人员造成危害，从现场修复施工过程的各个环节切实做好土壤和地下水修复过程中的管理并防止二次污染。

6.2.1 场地清理管理

场地清理管理是保证修复工程过程中的场地清洁、有序和无二次污染而提出的相关管理措施，也是一套从进场到离场实施全过程监控和管理的规范体系。

修复场地入口处，明确张贴清洁管理的相关规定，确保污染物一直控制在场地范围内。虽然没有外运土方或者异地处理，但是同样防止车辆在进场和出场防止将污染土壤带出场地。现场所有使用的物料和临时转运的土壤和建筑垃圾，需要明确分区，做好覆盖和清理工作。

施工区域内，树立醒目标语牌，加强环保文明施工的宣传力度。有污染迹象的土壤和建筑垃圾应先进行集中堆放，表面覆盖LDPE膜，防止风力传播污染。同时将无污染迹象的回填土集中堆放，以便后期使用。全部工程完成后，在征得监理单位的同意时，拆除一切的临时性建筑，拆除后的场地按照相关规定进行打扫和清洁。

6.2.2 施工废水处理措施

为保证安全生产，必须做好施工废水的处理工作，保持土体干燥，用潜水泵将废水统一收集起来，保障修复工程顺利实施。

（1）合理安排施工程序和进度，避开雨季施工，确需雨天作业，应尽量减少施工时间。

（2）尽可能减少开挖表层土壤裸露面积和时间，生产过程中产生的土石方妥善堆置。

6.2.3 固体废物管理措施

在场地清淤清理过程产生的垃圾要分类堆放、分类处置。建筑垃圾应集中到场内未污染区域堆放。每个工区工作面必须设立指定的堆放点，堆放点要经环保监察机构认可，并设专人管理。防止渣土随意堆弃，防止扰民。

在项目施工期间，应通过加强施工管理及施工结束后的及时清运、处置可以减少和防止项目固体废物对周围环境的影响。

6.2.4 噪声控制管理措施

施工期间噪声、振动的产生是不可避免的，为减少施工噪声对周围环境的影响，建议采取以下措施：

（1）尽量选用低噪声、低振动系列工程机械设备，对施工机械设备要采取有效的降噪减振措施，如加弹性垫，包覆和隔声罩等办法。

（2）合理布局施工现场：避免在同一地点安排大量动力机械设备，以避免局部声级过高。固定地点施工机械操作场地，由于离居民区较远，不会产生大的环境影响。

（3）合理安排施工时间，缩短施工周期，减轻施工噪声对局部区域声环境的影响。首先，制订施工计划时，应尽可能避免大量高噪声设备同时施工。其次，高噪声设备施工时间尽量安排在日间，减少夜间施工量。

(4) 机动车辆进出施工场地应禁止鸣笛, 夜间(22 时至次日 6 时)严禁使用各种产生噪声较大的机械设备。

(5) 在施工的各阶段均应严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 中的各项规定, 将施工噪声控制在限值以内。

(6) 对施工场地噪声除采取以上减噪措施外, 还应与沿线周围单位、居民建立良好的社区关系, 对受施工干扰的单位和居民应在作业前予以通知, 并随时向他们汇报施工进度及施工中对降低噪音采取的措施。此外, 施工期间应设热线投诉电话, 接受噪音扰民投诉, 并对投诉情况进行积极治理。

6.2.5 药剂投加与搅拌过程的环境管理措施

药剂的投加对地下水修复效果起着至关重要的作用, 它会影响地下水修复效果, 影响工程验收, 因此要进一步加强管理, 保障工程顺利进行。

(1) 设备、机械由专人操作, 操作人员必须持证上岗, 遵守操作规程, 严禁酒后驾驶和操作。

(2) 搅拌机械工作区域设立安全操作规程等明显安全标识牌;

(3) 随时注意搅拌站机械仪表指示灯, 保证机械安全运转, 做好机械的日常维护、保养工作。

(4) 搅拌作业区应搭设防护棚, 四周围挡, 降低粉尘、噪声的排放。

(5) 上料时严禁抛洒, 以减少粉尘的排放。

(6) 药剂要合理安置, 做到随取随用, 严禁大量堆积在搅拌机旁, 以免受潮或失效。

(7) 药剂包装物要及时收集整理、集中存放, 严禁随处乱扔。

(8) 药剂和其他易飞扬的细颗粒材料, 应安排在库内存放或严密遮盖, 运输时要防止遗撒、飞扬, 卸运时应采取有效措施, 以减少扬尘。

（9）要做好现场施工人员的安全防护工作，如穿着橡胶工作服、佩戴防护面具等。

第 7 章 劳动卫生安全防护

7.1 设计采用的劳动安全卫生标准

从 1995 年 1 月 1 日起,《中华人民共和国劳动法》正式执行,其中,对操作工人的劳动安全生产进行法律保护,因此,本工程混色机的劳动安全卫生设施必须符合国家规定的标准。

- (1) 《工业企业设计卫生标准》(TJ36-79);
- (2) 《工业企业厂内运输安全规程》(GB4387-84);
- (3) 《生产设备安全卫生设计总则》(GB5083-85);
- (4) 《作业场所空气中粉尘测定方法》(GB5748-85);
- (5) 《生产性粉尘作业危害程度分级》(GB5817-86);
- (6) 《企业职工伤亡事故调查分析规则》(GB6442-86);
- (7) 《企业职工伤亡事故经济损失统计标准》(GB6721-86);
- (8) 《机械设备防护罩安全要求》(GB8196-87);
- (9) 《缺氧危险作业安全规程》(GB8958-88);
- (10) 《阻燃防护服》(GB8965-88)。

7.2 危害职工安全和健康的因素及防护措施

7.2.1 危害因素

本工程的主要危害因素可分为两类:其一为自然因素形成的危害和不利影响,一般包括地震、不良地质、暑热、雷击、暴雨等因素;其二为生产过程中产生的危害,包括有害粉尘、火灾爆炸事故、机械伤害、噪声振动、触电事故、坠落及碰撞等各种因素。

(1) 自然危害因素分析

①地震:地震是一种能产生巨大破坏的自然现象,对建筑物的破坏作

用更为明显，他作用范围广，从而威胁设备和人员的安全。

②暴雨和洪水：暴雨和洪水威胁机械设备、操作车间、废水处理单元等安全，作用范围大，但在该区域出现的机会不多。

③雷击：雷击能破坏建筑物和设备，并可能导致火灾和爆炸事故的发生，其出现的机率不大，作用时间短暂。

④不良地质：不良地质对建筑物的破坏作用较大，甚至影响人员安全。同一地区不良地质对建筑物的破坏作用往往只有一次，作用时间不长。

⑤风向：风向对有害物质的疏松作用明显，如果工作人员处于危害源的下风向则极为不利。该地域属于典型的高原干旱半干旱大陆性气候，具有冬季寒冷、夏季凉爽、干旱多风、昼夜温差大的特点，项目施工期间主导风向为东南风，因此，土方开挖、建筑物拆除、运输、药物混合、污染土暂存区等车间产生的污染粉尘易对人体健康产生不利影响。

⑥气温：人体最适宜的环境温度，当环境温度超过一定范围时，会产生不舒服感，气温过高会发生中暑；气温过低，则可能发生冻伤和冻坏设备的现象。气温对人的作用广泛，作用时间长，但其危害后果较轻。

自然危害因素的发生基本是不可避免的，因为它是自然形成的；但可以对其采取相应的防范措施，以减轻人员、设备等可能受到伤害或损害。

（2）生产危害因素分析

①高温辐射：当工作场所的高温辐射强度大于 $4.2 \text{ J/cm}^2 \text{ min}$ 时，可使人体过热，产生一系列生理功能变化，使人体体温调节失去平衡，水盐代谢出现紊乱，消化及神经系统受到影响，表现为注意力不集中，动作协调性、准确性差，极易发生事故。

②振动与噪声：振动能使人体患振动病，主要表现为头晕、乏力、睡眠障碍、心悸、出冷汗等。噪声除损害听觉器官外，对神经系统、心血管系统亦有不良影响。长时间接触，能使人头痛头晕，易疲劳，记忆力减退，

使冠心病患者发病率增多。

③火灾爆炸：火灾、爆炸是一种剧烈燃烧现象，当燃烧失去控制时，便形成火灾事故，火灾事故能造成较大的人员及财产损失。

④机损、货损事故：机损、货损事故是土壤治理工程施工作业现场存在的较为突出的事故类型。其发生的主要原因包括设备、设施缺陷，司机违章作业，盲目操作、指挥配合不当，道路狭窄、标识不清或恶劣的气候等原因造成。

⑤有毒物质危害：污染土壤清挖、建筑拆除、运输、药物混合搅拌等过程中产生的重金属扬尘危害最为严重，对施工人员身体健康造成严重的影响。

⑥噪声危害：本工程受噪声危害的人员为机修人员和各类机械司机，其中挖掘机司机受噪声危害最为严重，达Ⅰ级危害。长时间会造成听力损伤，此外还会对人的神经系统、消化系统、心血管系统产生不良影响。

⑦其它安全事故造成的设备损失、危机人身安全：此外，触电、碰撞、坠落、机械伤害等事故均对人身形成伤害，严重时可能造成人员的死亡。

7.2.2 防护措施

为保证生产安全运行，采取以下措施：

（1）项目建筑物的结构、基础、抗震等符合国家相应的法律规范和安全等级。建筑物采取必要的防雷设施，以确保建筑安全。项目建成后进行严格的建筑安全验收。

（2）加强对施工队的管理，开展安全教育，制定严格的安全操作规程和严格的安全管理制度；

（3）工程维护人员进入车间、工作区进行维护操作时应佩带通讯器材，维护人员在上岗前应了解一定的安全知识，参加安全操作生产培训；

(4) 工程区各车间应注意防火，特别是冬季；

(5) 参观人员进入土壤修复场地应事先登记。

(6) 用电安全和机械操作安全。施工现场外露的电气设备均采用防潮型设备，增加安全防护罩，并设立明显的危险标志。电气设备的布置注意留有足够的安全操作距离。在机械设备中人体可能靠近的运动部件设置防护罩或采取隔离措施。所有电气设备应设明显的警示标志。

(7) 合理划分各功能区，使生产作业各成体系，避免交叉、互相干扰以保证生产安全。对可能产生的重金属危害，在不影响工作的情况下，应尽量采取隔离措施，以达到避免重金属污染的目的。

(8) 污染土壤清运及处置施工作业区周围设围墙与生产辅助建筑区分隔，避免无关车辆及非生产作业人员的出入，减少事故隐患。

(9) 污染土壤清运及处置施工作业区现场机械设备、运输工具和吊装设备等的装卸、储运须严格执行国家、行业标准法规。

(10) 施工现场道路作环形布置，运输车辆单行，尽量避免、减少车流的平面交叉。施工现场道路宽度能够满足大型运输机械、车辆行驶和转弯半径及消防通道要求。

(11) 大型机械设备均设有风速风级报警装置、防风、防滑、防撞设施和避雷装置。设备上易发生人员坠落等危险的部位加装防护板、防护栏杆、防滑板等，以保证作业人员的安全。

(12) 作业前对装卸机械、吊具须进行全面的安全检查；对超限制定特殊的作业方案，配备相应的吊具。

(13) 电气设备均选用经国家安全认证产品，并具有防盐雾、腐蚀性能，采用吨 N-C-S 接零保护系统。按《漏电保护器安全监察规定》考虑漏电保护。触电危险大的作业采用安全电压电源供电。变电所内高压电

气设备装有防误操作装置。

(14) 施工现场采用铁架灯塔照明, 使作业场所等处有足够的照度, 以保证作业和车辆行走的安全, 并使工人进行维修或更换灯具时安全性有所提高。

(15) 施工现场内所有危险场所、安全设施、安全标志均按照有关规定进行涂色和标记。

(16) 维修作业使用的手握电动工具、电焊机等安装漏电保护器, 防止触电。加强对设备的维修管理以保证作业安全。

(17) 选用低噪声设备或有降噪设计的设备, 将低噪声作为设备选型与招标的参数之一。加强机械设备维护保养, 减少非正常运行产生的噪声。在噪声场所作业人员应配带耳塞、护耳罩以加强个体防护措施。

(18) 建立、健全各项安全规章制度, 加强劳动安全卫生监察工作。定期对职工进行劳动安全教育和职业技能培训, 不断提高职工的素质和自我防护能力。工作人员经考核后持证上岗。

(19) 建立严格的环境卫生消毒制度, 防止各种疾病交叉传播, 确保人员的身体健康。

(20) 为提高监控系统运行可靠性和土壤修复工程的科学管理水平, 减轻操作人员的劳动强度, 采用由可编程程序控制器及工业 PC 机构成的分散式计算机监视、控制及数据采集系统。

(21) 选择自动化程度较高的处理设备, 以减少工人的劳动强度。

(22) 在总平面布置中, 各生产区域、装置及建筑物的布置均留有足够的防火安全间距, 道路设计则满足消防车对通道的要求。在工艺设计中, 在可能有燃爆性气体的室内设自然通风及机械通风设施, 使燃爆性气体的浓度低于其爆炸下限。有爆炸危险的室内设不发火花地面。在爆炸和火灾

危险场所严格按环境的危险类别选用相应的电气设备和灯具。

(23) 采暖设备及管道应采取保温、隔热措施,避免热辐射对人员造成危害。

(24) 发生因公伤亡事故等情况时,依照国家有关规定及时进行登记、报告、统计、调查和处理。

第 8 章 项目修复效果评估方案

本项目治理工程修复效果评估参考《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）进行。由于本项目分期实施且实施年限长，因此修复效果评估分期开展，并根据工作要求提供年度总结报告。

8.1 评估范围

地下水修复效果评估范围应包括地下水修复范围的上游、内部和下游，以及修复可能涉及的二次污染区域。

本项目地下水修复效果评估范围为海北化工厂厂区内地下水污染范围以及厂区外下游地下水污染监测衰减范围。

8.2 厂区内污染地下水修复效果评估

8.2.1 地下水抽出处理效果评估

厂区内抽出处理后的地下水达标后回灌到现场井体中，多余水体用做原位注射药剂稀释用水。抽出处理后的水体监测频次按照修复批次进行，在处理后的水质满足修复目标要求后，方认为该批次地下水处置达标。

8.2.2 地下水原位注入修复效果评估

8.2.2.1 采样节点

（1）需初步判断地下水中污染物浓度稳定达标且地下水流场达到稳定状态时，方可进入地下水修复效果评估阶段。地下水修复效果评估采样节点见图 8-1。

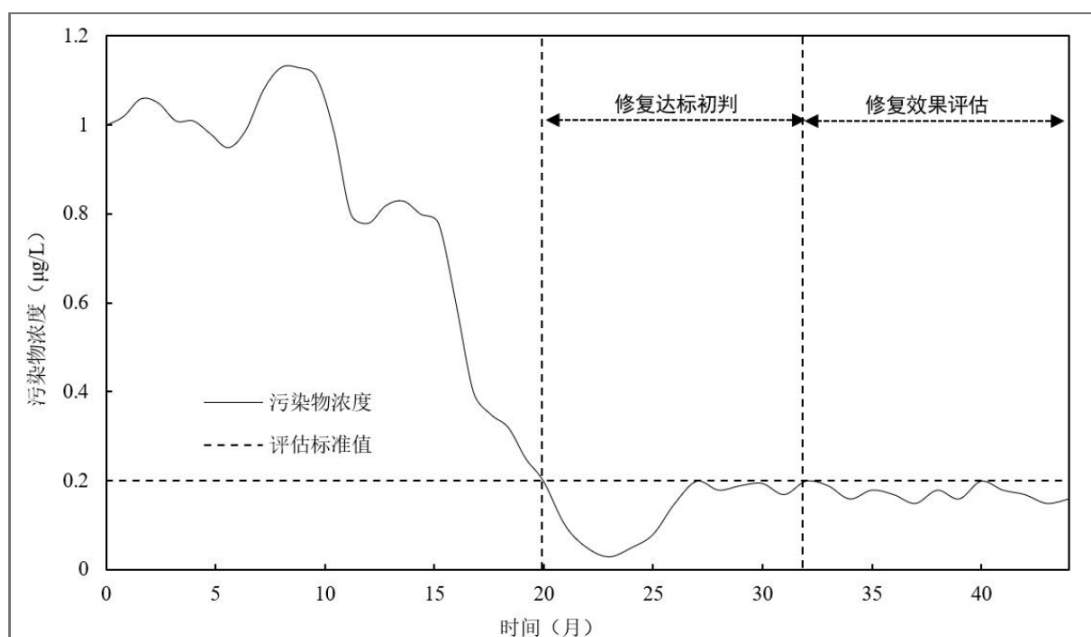


图 8-1 地下水修复效果评估采样节点示意图

(2) 原则上采用修复工程运行阶段监测数据进行修复达标初判，至少需要连续 4 个批次的季度监测数据。若地下水中污染物浓度均未检出或低于修复目标值，则初步判断达到修复目标；若部分浓度高于修复目标值，可采用均值检验或趋势检验方法进行修复达标初判，当均值的置信上限（upper confidence limit，简称 UCL）低于修复目标值、浓度稳定或持续降低时，则初步判断达到修复目标。均值检验和趋势检验案例参见 HJ25.6-2019 附录 D。

(3) 若修复过程未改变地下水流场，则地下水水位、流量、季节变化等与修复开展前应基本相同；若修复过程改变了地下水流场，则需要达到新的稳定状态，地下水流场受周边影响较大等情况除外。

8.2.2.2 采样持续时间和频次

(1) 地下水修复效果评估采样频次应根据地块地质与水文地质条件、地下水修复方式确定，如水力梯度、渗透系数、季节变化和其他因素等。

(2) 修复效果评估阶段应至少采集 8 个批次的样品，采样持续时间至少为 1 年。

(3) 原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于 1 个月。

8.2.2.3 布点数量与位置

(1) 原则上修复效果评估范围上游应至少设置 1 个监测点，内部应至少设置 3 个监测点，下游应至少设置 2 个监测点。

(2) 原则上修复效果评估范围内部采样网格不宜大于 80 m×80 m，存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域，采样网格不宜大于 40 m×40 m。

(3) 地下水采样点应优先设置在修复设施运行薄弱区、地质与水文地质条件不利区域等。

依据上述要求，对于厂区内区域，本次地下水修复设置 15 口监测井，其中修复范围上游 1 口，修复范围内 10 口，修复范围下游 4 口。

修复效果评估充分利用地块环境调查、工程运行阶段设置的监测井，现有监测井应符合地下水修复效果评估采样条件。

8.2.2.4 检测指标

药剂注射完成后，定期分别监测井中取地下水样进行分析，样品分析指标包括：pH、六价铬、总铬、硫酸盐、硫化物、COD_{Cr} 等。

8.2.2.5 地下水修复效果评估标准值

项目场地周边主要为农田和工厂，且场地下的地下水汇入东大滩水库后一部分用作灌溉用水。依据风险计算和评估结果，综合考虑项目场地周边主要为农田和工厂，且场地下的地下水汇入东大滩水库后一部分用作灌溉用水，故建议本项目场地地下水修复标准为：地下水排泄点（A 泉）

处六价铬浓度达到地下水 III 类水标准 0.05mg/L，地下水 IV 类水标准 0.05mg/L。IV 类水指以农业和工业用水质量要求以及一定水平的人体健康风险为依据，适用于农业和部分工业用水，适当处理后可作生活饮用。考虑海北化工厂厂区至排泄点（A 泉）之间的自然衰减作用，因此海北化工厂厂区内地下水中六价铬浓度修复标准建议为 0.5mg/L。

8.2.2.6 地下水修复效果达标判断

（1）原则上每口监测井中的检测指标均持续稳定达标，方可认为地下水达到修复效果。若未达到修复效果，应对未达标区域开展补充修复。

（2）可采用趋势分析进行持续稳定达标判断：

a）地下水中污染物浓度呈现稳态或者下降趋势，可判断地下水达到修复效果。

b）地下水中污染物浓度呈现上升趋势，则判断地下水未达到修复效果。

（3）在 95%的置信水平下，趋势线斜率显著大于 0，说明地下水污染物浓度呈现上升趋势；若趋势线斜率显著小于 0，说明地下水污染物浓度呈现下降趋势；若趋势线斜率与 0 没有显著差异，说明地下水污染物浓度呈现稳态。趋势检验案例参见 HJ25.6-2019 附录 D。

（4）同时满足下列条件的情况下，可判断地下水修复达到极限：

a）地块概念模型清晰，污染羽及其周边监测井可充分反映地下水修复实施情况和客观评估修复效果。

b）至少有 1 年的月度监测数据显示地下水中污染物浓度超过修复目标且保持稳定或无下降趋势。

c）通过概念模型和监测数据可说明现有修复技术继续实施不能达到预期目标的主要原因。

d) 现有修复工程设计合理，并在实施过程中得到有效的操作和足够的维护。

e) 进一步可行性研究表明不存在适用于本地块的其他修复技术。

8.2.2.7 残留污染物风险评估

(1) 对于地下水修复，若目标污染物浓度未达到评估标准，但判断地块地下水已达到修复极限，可在实施风险管控的前提下，对残留污染物进行风险评估。

(2) 残留污染物风险评估包括以下工作内容：

a) 更新地块概念模型：掌握修复和风险管控后地块的地质与水文地质条件、污染物空间分布、潜在暴露途径、受体等，考虑风险管控措施设置情况，更新地块概念模型，具体参照 HJ 25.5 执行。

b) 分析残留污染物环境风险：地块内非水溶性有机物等已最大限度地被清除，修复停止后至少 1 年且有 8 个批次的监测数据表明污染羽浓度降低或趋于稳定，污染羽范围逐渐缩减，或地下水中污染物存在自然衰减。

c) 开展人体健康风险评估：残留污染物人体健康风险评估可参照 HJ 25.3 执行，相关参数根据地块概念模型取值。对于存在挥发性有机污染物的地块，可设置土壤气监测井采集土壤气样品，辅助开展残留污染物风险评估。

(3) 若残留污染物对环境和受体产生的风险可接受，则认为达到修复效果；若残留污染物对受体和环境产生的风险不可接受，则需对现有风险管控措施进行优化或提出新的风险管控措施。

8.3 厂区外下游污染地下水效果评估

8.3.1 原位反应带修复效果评估

原位反应带运行监测 5 年后,对厂区下游的地下水进行六价铬检测分析,厂区西北 1km 泉眼出水六价铬浓度控制目标暂定为 0.05mg/L (2017 年 8 月地下水中六价铬检测浓度为 21.8mg/L)。

8.3.2 厂区下游地下水污染监控自然衰减

该项目修复验收结束后,厂区下游地下水中的六价铬将继续通过自然衰减作用降低,后期进行定期监测,持续监测期为 1 年,监测频次为每季度一次。

第 9 章 项目投资估算

9.1 估算依据

9.1.1 工程费用估算依据

(1) 编制依据采用 2016 版《青海省房屋建筑与装饰工程消耗量定额与基价》、2016 版《青海省安装工程消耗量定额与基价》、2016 版《市政工程消耗量定额与基价》，并参考本地区类似工程投资情况估列；

(2) 工程材料执行《青海工程造价管理信息》（2021 年第 3 期海北州地区建筑工程材料指导价格）；

(3) 《关于建筑业实施营业税改增值税后调整青海省建设工程计价依据》（青建工[2019]116 号）；

(4) 采用青建工(2018) 228 号文《青海省住房和城乡建设厅关于调整建设工程安全文明施工费的通知》。

(5) 采用青建工(2019) 434 号文《青海省住房和城乡建设厅关于调整青海省建设工程预算定额人工费单价的通知》。

(6) 青建工〔2019〕361 号关于调整 2016 年《青海省建筑安装工程费用项目组成及计算规则》工伤保险等费用的通知。

(7) 青建工〔2020〕255 号关于调整建设工程安全文明施工费的通知。

(8) 依据海北化工厂已开展的小试中试工作修复成本分析。

9.1.2 其它费用编制依据

(1) 建设单位管理费按照《财政部关于印发〈基本建设财务管理规定〉的通知》(财建[2016]504 号)；

- (2) 工程建设监理费按照《国家发展改革委、建设部关于印发〈建设工程监理与相关服务收费管理规定〉的通知》(发改价格[2007]670号);
- (3) 测绘费依据国测财字〔2002〕3号文计取;
- (4) 招标代理费依据计价格〔2002〕1980号的通知;
- (5) 场地准备及临时设施费依据建标〔2007〕164号的通知;
- (6) 《财政部关于印发〈基本建设项目竣工财务决算管理暂行办法〉(财建[2016]503号);
- (7) 《基本建设财务规则》(中华人民共和国财政部令第81号)。

第 10 章 效益分析

10.1 社会效益分析

原海北化工厂下游泉眼出露区为下星火村的草原牧场，出露的泉水是草原上牛羊的饮用水源。原海北化工厂及下游主要污染源是红矾钠生产过程中“跑、冒、滴、漏”含六价铬废液、母液及厂区残留的废渣料渣场堆放的废渣和被污染的饱气带土壤层。污染区内地下水环境污染严重，给当地藏族和蒙古族两个少数民族为主的居民带来危害，也给湟水及沿途傍河取水的地下水水源地带来隐患。通过本项目的实施可以修复厂区内污染地下水，同时实现裸露泉眼达到地表水三类标准，满足工农业生产需要。项目的实施，对保障项目区居民身体健康、维护项目区民族团结具有重要的作用。项目的实施将增强公众地下水保护的危机意识，有利于形成全社会保护地下水环境的良好氛围；有利于提高公众对地下水生态环境保护工作满意度、减少地下水突发环境污染事件。

10.2 经济效益分析

根据海北州海晏县工业园区总体规划设计，海北化工厂地块修复验收后将用做工业用地投入使用。项目的实施，将在场地土壤污染治理的基础上实现对地下水的全面修复和管控，土地的再次利用，将实现一部分的经济效益。另一方面，项目的实施有利于生态农牧业的发展，有利于提升项目区整体形象，优化投资环境，有利于地区的高质量发展。

10.3 环境效益分析

项目将通过采用原位-异位技术相结合、修复与管控相结合，推进厂区内外共治、高-低浓度污染地下水分类处置，全面控制项目区地下水污染问题。项目的实施将有效改善项目区地下水水质，实现裸露泉眼达到地下水三类标准，满足工农业生产需要。同时，通过控制地下水污染进一步

保障地表水环境质量，为顺利实现地下水污染防治实施方案要求提供保障。

10.4 示范效益分析

原海北化工厂场地是国内有代表性的六价铬污染场地，也是国内较早开展水土一体化修复试点的场地，已完成的调查、修复试点工作相对充分，在国内较早采用了高压旋喷、原位注入、土壤淋洗等工艺修复六价污染土壤，有条件为国内其他六价铬污染场地提供借鉴，通过本项目的实施可以实现国内第一个重污染、流速快同时涉及环境敏感区的六价铬污染场地的彻底修复，为原位注入、原位反应带等相关技术的推广应用打好基础。

本场地计划同时完成修复工程和风险管控工程，将建立建设单位牵头、咨询单位主导、施工单位配合的管理机制，为国内同类型复杂污染场地在修复、风险管控的有机结合上提供借鉴。同时本场地位于海北州，经济发展相对落后，场地曾发生污染事件且涉及民族地区较为敏感，项目的相关管理经验可为相似场地工作的开展提供指导。

第 11 章 项目实施保障与进度安排

11.1 组织保障措施

11.1.1 建立统筹机制与协调机制

海北藏族自治州人民政府是本项目实施工作的责任主体，政府主要领导为第一责任人，政府要切实加强组织领导、强化监管。项目承担单位海北藏族自治州生态环境局需成立项目领导机构，负责研究解决项目建设过程中的重大问题，部署和组织协调项目建设的工作和任务，监督、检查。对建设项目进行统一部署、综合决策，协调各部门利益和关系，克服分治弊端，合理调配资源、优化组合生产要素，确保建设目标的实现。

11.1.2 落实招投标制

（1）招投标依据

依据国家发展和改革委员会《必须招标的工程项目规定》中的规定：本工程属于依法必须招标的项目，参加投标单位必须拥有该类专项工程建设二级以上施工资质，并有相应项目的业绩。

根据该工程的特点制定招标计划和方案。结合工程项目特点，采取公开招标形式选择施工单位。由符合资质要求的招标代理单位，组织专家分别对参与投标的施工企业进行资质审核和业绩调查，报项目领导小组集体审定，经公开竞争，选择实力可靠的施工企业作为该项目的施工单位，业主与施工单位签定承包合同，对项目建设进行合同管理。

（2）招投标形式

A、招标范围及标段的划分：设计招标、建安工程招标、监理招标、设备招标；

B、招标方式：项目工程的设计、施工、监理等采购活动拟采用公开招标方式；

C、招标组织形式：上述招标范围内全部工程，均由业主单位委托具有法人资格的代理招标单位负责组织进行。受委托单位负责承办招标的技术性和实务性工作，决策仍由业主决定。

D、根据《工程建设项目招标范围和规模标准规定》和《海北州财政局关于调整印发海北州2019-2020年度政府集中采购目录及限额标准的通知（北财〔2018〕640号）》，包括项目的设计、施工、监理的采购，达到下列标准之一的，必须进行公开招标：

① 施工单项合同估算价在400万元人民币以上的；

② 勘察、设计、监理等服务的采购，单项合同估算价在200万元人民币以上的。

未达到上述公开招标数额标准的，采购人可根据项目特点，依法选择竞争性磋商、竞争性谈判、询价等适宜的非招标采购方式。

11.1.3 落实项目监理制

由项目业主通过招投标或委托选择具有资质的监理单位作为项目建设委托监理单位，并签定监理委托合同，明确监理单位责任与义务。按照合同要求，控制工程建设的投资、工期、质量，并协调各方关系。从施工合同的签定到实施，从施工各工序环节到阶段工程质量验收，进行全过程监理。实行施工质量一票否决制，确保工程建设的质量，保证整个项目建设的顺利实施。

本项目为地下水污染防治试点项目，由于技术难度高、执行时间长，因此业主还需选取、委托有资质的单位开展环境监理。环境监理单位需依据有关环保法律法规、环境监理合同等，对建设项目实施专业化的环境保护咨询和技术服务，协助和指导建设单位全面落实建设项目各项环保措施，防止二次污染。

11.1.4 落实合同管理制

合同管理是工程项目管理的重要内容之一，是对工程施工合同的签订、履行、变更和解除等进行筹划和控制的过程，其主要内容有：根据项目特点和要求确定合理的合同结构，选择合适的合同文本，确定合同计价和支付方法，对合同的履行过程进行跟踪及控制，以及合同索赔和反索赔等。因此工程项目参建各方必须签订目标明确、职责分明的合同进行管理，双方严格按照合同的约定履行职责，对工期、质量、安全等实行目标管理，建立奖罚机制。确保工程建设按期保质顺利完成。

11.1.5 落实第三方验收评估制

项目完成后，海北州生态环境局根据国家及青海省关于污染场地修复验收的相关要求，及时委托相关单位开展第三方评估工作，并通过该工作的开展和实施，综合评估治理范围内地下水修复治理效果，治理工程对地下水的改善情况，以及该场地所用修复技术的修复效果等。

11.2 项目管理措施

11.2.1 加强项目档案管理

从项目的实施方案制定，到项目初步设计、招投标、施工、监理、竣工验收、交付使用及资金管理方面，根据档案管理文件的要求，建立起单独、完整的项目管理档案，包括项目实施的各种技术档案、程序档案和运行管理档案，保存纸质原始记录和影像资料，并建立电子档案。

11.2.2 加强项目资产管理

对项目形成的固定资产，应严格按有关规定要求，纳入固定资产进行管理。涉及移交的，应严格履行相应手续。完善项目固定资产的管理制度，应从根源上杜绝固定资产流失的现象发生，做到账目、实物相符。具体而言就是应明确固定资产的各责任人的权利与义务，使与固定资产相关的个人与各项行为明确化、透明化。要求在资产管理的各个环节，严格按照权

限、程序、手续进行审批。

11.2.3 落实验收相关要求

(1) 验收组由自然资源、林草、农业、环保、水利等相关专业人員组成，验收组人数为单数。

(2) 验收组应对验收内容提出明确的验收意见，验收意见必须经验收组成员签字确认。验收组成员对验收意见有保留意见时，应在验收成果资料中明确记载，并由保留意见人签字。

(3) 验收过程中发现的问题，由验收组提出处理意见。验收时若发现重大问题，验收组可终止验收，并报告验收组织单位。

(4) 验收组成员在验收工作中应恪守公平、公正、客观、科学的原则。

11.2.4 加强项目后期管护

本项目实施年限长，自然衰减监测结束后仍需持续进行各类监测井等设施的管护，还需根据环境管理要求开展定期的监测，确保项目区地下水环境风险可控。

11.3 项目周期规划

本项目实施过程分为前期准备阶段和工程施工阶段。

前期准备阶段主要包括可行性研究、治理方案设计、施工图设计、资金筹措等相关工作。工程实施阶段主要包括土建施工、药剂和材料采购、设备安装和调试、污染治理工作等。工程实施分阶段实施，其中第一阶段实施周期为2021年9月至2022年12月。第二阶段实施周期预计为2022年5月至2022年12月。厂区外监控自然衰减工作持续至2027年，届时根据污染物衰减情况确定后续工作安排。

11.4 项目实施进度规划

项目实施的进度安排见表 11-1。如项目启动时间延后，则各项工作时间顺延。

表 11-1 项目实施进度计划表

序号	项目内容	工期/月	开始时间	完成时间
1	前期工作	4 月	2021 年 8 月	2021 年 12 月
2	施工准备工作	1 月	2022 年 4 月	2022 年 5 月
3	第一阶段（厂区内地下水修复治理工程）施工	5 月	2022 年 5 月	2022 年 10 月
3	第二阶段（厂区外地下水修复治理工程）施工	5 月	2022 年 5 月	2022 年 10 月
4	项目主体工程竣工验收	2 月	2022 年 10 月	2022 年 12 月
5	厂区内临设拆除、退场	1 月	2023 年 4 月	2023 年 5 月
6	厂区外监控自然衰减	60 月	2022 年 12 月	2027 年 12 月
7	项目总体验收	2 月	2027 年 10 月	2027 年 12 月