

# 天津汤浅蓄电池有限公司污染地块 风险评估报告

项目单位：天津汤浅蓄电池有限公司

编制单位：恩拜欧（南京）环保科技有限公司

二零一九年四月

---

## 摘 要

恩拜欧（南京）环保科技有限公司受土地使用权人天津汤浅蓄电池有限公司（以下简称“天津汤浅”）委托，通过现场踏勘、资料收集、现场取样和检测分析，对天津汤浅地块进行了污染地块土壤环境初步调查及详细调查工作。在调查分析的基础上，对超出筛选值的部分土壤进行了风险评估分析。

### 场地描述

汤浅地块位于天津市西青经济开发区（四期）赛达世纪大道与赛达八支路交叉口，东至赛达世纪大道，南至赛达八支路，西至现状空地，北至赛达七支路，面积约 49564 平方米。该地块历史上为空地。调查地块属于工业用地性质。未来土地使用权出让给其他公司，作为工业用地继续使用；或者由西青开发区管委会负责盘整处理。

### 初步调查概况

土壤环境调查主要参照《场地环境调查技术导则》（HJ25.1-2014）、《场地环境监测技术导则》（HJ25.2-2014）、《建设用地土壤环境调查评估技术指南》（2018）文件规定和规范，主要工作内容包括资料收集、现场踏勘、制定调查工作计划、现场采样、实验室分析、结果分析与报告编制。通过现场踏勘、资料收集、人员访谈，在初步调查阶段根据现有厂区使用功能分区，所分区块选取 14 个土壤采样点，7 个地下水采样点，1 个雨水采样点。共采集土壤样品 44 个，地下水样品 7 个、雨水样品 1 个。土壤检测分析因子包括 pH 值、重金属（铜、铅、镍、镉、汞、砷、铬）、硫酸盐、VOCs、SVOCs。地下水检测分析因子包括《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）中的常规因子、VOCs、SVOCs。

结果表明 S6、S14 点位表层土壤中重金属铅超过《土壤环境质量 建设

---

用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第二类用地筛选值。地下水中铅等重金属指标均满足IV类水限值。地块内雨水检测值未超过IV类水限值。

本次初步调查得出如下结论：确认调查地块为污染地块，需进一步开展详细调查工作，确定土壤中铅的污染程度及范围。

### 详细调查概况

在初步调查的基础上，详细调查进一步确定土壤污染物的空间分布状况及其范围，以及对土壤及地下水的影响情况，为风险评估、风险管控或者治理与修复等提供支撑。对初步调查阶段中超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第二类用地筛选值的点位 S6、S14 附近区域进行加密布点，土壤采样点位数每 400m<sup>2</sup> 不少于 1 个，其他区域每 1600m<sup>2</sup> 不少于 1 个。现有厂区使用功能分区，所分区块选取 40 个土壤采样点，4 个地下水采样点。将调查区域划分为两类：

**污染风险区域：**非主要车间、成品库等辅助设施等存在污染可能性的区域；

**高污染风险区域：**主要生产车间、污水管网沿线、初调超标点位等污染可能性高的区域。

共有 40 个采样点位采集 131 个土样（包含 12 个地下水平行样）；同时设 4 个地下水采样点采集 5 个地下水样品（包含 1 个地下水平行样）。

土壤样品的检测指标主要包括：《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB 36600-2018）45 项基本项目，分别为：pH 值、重金属（铜、铅、镍、镉、汞、砷、六价铬）、硫酸盐、VOCs、SVOCs；地下水样品的检测指标包括：pH 值、重金属（铁、锰、铜、锌、铝、钠、汞、砷、硒、镉、六价铬、铅）、色、嗅和味、浑浊度、肉眼可见物、总硬度、溶

---

解性总固体、硫酸盐、氯化物、挥发性酚类、阴离子表面活性剂、耗氧量、氨氮、硫化物、总大肠菌群、菌落总数、亚硝酸盐、硝酸盐、氰化物、氟化物、碘化物、VOCs、SVOCs。

土壤环境质量调查结果显示：土壤 pH 处于 8.23 ~ 11.6 之间偏碱性，部分点位的土壤 pH 在 10 以上；铅、铜、镍、镉、汞、砷、六价铬均有检出，但未超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第二类用地筛选值。

地下水环境质量调查结果显示：铅等重金属指标均满足IV类水要求；仅 W10 点位氯仿有微量检出，但未超过IV类水限值；其余挥发性有机物、半挥发性有机物均低于检出限。

本次详细调查得出如下结论：初步调查重金属铅超筛选值点位 S6、S14 周边加密点位以及其它点位检测值均未超出筛选值。本调查地块的地下水中铅等重金属指标均满足IV类水限值。建议对于调查中超过筛选值的点位进行风险评估工作，以确定风险是否可控，是否需要进一步的修复工作。

### **危害识别**

本地块主要污染源为浅层土壤重金属铅污染。浅层重金属污染主要分布在厂区西边裸露的草坪或花坛处。鉴于该用地规划为工业用地，主要的受体为成人。

### **暴露评估**

调查地块属于工业用地性质。未来土地使用权出让给其他公司，作为工业用地继续使用；或者由西青开发区管委会负责盘整处理。

---

成人血铅模型（ALM）考虑直接摄入土壤和室内灰尘中铅的暴露途径，采用生物动力学斜率系数（BKSF）表征环境铅暴露与孕妇血铅含量的线性关系，采用几何标准差描述类似铅暴露场景下个体间血铅含量的差异。

### 毒性评估

国内外大量资料证实，铅是一种易在体内积蓄的重金属元素。体内血铅水平达到一定程度，将对人体多个系统产生损害，如精神障碍、噩梦、失眠、头痛等慢性中毒症状，严重者有乏力、食欲不振、恶心、腹胀、腹痛、腹泻等症状。铅还可以通过血液进入脑组织，造成脑损伤。

### 风险表征

对于非敏感用地，ALM 模型评价在土壤铅暴露环境下，孕妇体内胎儿血铅平均含量是否超过  $10 \mu\text{g}/\text{dL}$ ，是目前国际上比较通用的一种人体健康风险评价方法。

### 风险评估结论

成人血铅模型 ALM 预测结果表明，天津汤浅蓄电池有限公司地块土壤铅浓度超过筛选值的点位 S6、S14，引起成人体内胎儿血铅累积的平均水平分别为  $4.97\mu\text{g}/\text{dL}$  和  $4.59\mu\text{g}/\text{dL}$ 。参照美国国家疾病控制中心对儿童铅中毒的极限值（ $10\mu\text{g}/\text{dL}$ ），初步评定地块土壤铅对成人的血铅危害程度为 I 级。

### 风险管控及修复建议

由于浅层土壤重金属铅未超过《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第二类用地管制值，所以在第二类用地规划下，通过直接摄入土壤和呼吸吸入灰尘的暴露途径，该污染物对人体健康风险可以接受，不需要进行修复。考虑到暴露途径等的不确定

---

性，作为风险管控的一个环节必须严格限制地块使用方式，如改变地下水利用方式时，通知和公告地块潜在的风险。

---

# 目 录

1 概述.....	1
1.1 项目概况.....	1
1.2 评估范围.....	2
1.3 评估目的.....	3
1.4 评估依据.....	4
1.5 基本原则.....	6
1.6 工作方案.....	6
2 初步和详细调查概况.....	9
2.1 污染物种类.....	10
2.2 地块污染物空间分布状况及其范围.....	11
2.3 地块污染物含量数据.....	12
2.4 调查结果分析.....	12
2.5 结论及建议.....	13
3 危害识别.....	14
4 暴露评估.....	15
5 毒性评估.....	16
6 风险表征.....	18

---

7 不确定性分析.....	20
8 风险评估结论.....	21
9 风险管控建议.....	21

附件

附件 1	初步调查报告	附件 2	详细调查报告
附件 3	专家评审意见	附件 4	对专业评审意见的回复及确认单



# 1 概述

## 1.1 项目概况

天津汤浅蓄电池有限公司注册于 1994 年 1 月，是由天津市机电工业控股集团公司和日本株式会社杰士汤浅国际共同组建的合资企业。公司占地面积 49564 m<sup>2</sup>，建筑面积 25339 m<sup>2</sup>，绿化面积 14400 m<sup>2</sup>，停产前生产规模为年产密闭免维护铅酸蓄电池 200 万只。

搬迁后的地块可能遗留有原企业生产活动产生的有害物质，会对该地块的土壤和地下水造成一定的污染。根据《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》（环办[2004]47 号）、《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环发[2012]14 号）、《污染地块土壤环境管理办法（试行）》、《天津市环保局工业企业关停搬迁及原址场地再开发利用污染防治工作方案》（津环保固[2014]140 号）等相关文件要求，已关停并转、破产或搬迁的工业企业原场地采取出让方式重新供地的，应当在土地出让前完成场地环境调查和风险评估工作。根据《国务院关于印发“十三五”生态环境保护规划的通知》（国发[2016]65 号），自 2017 年起，对拟收回土地使用权的有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革等行业企业用地，以及拟规划为居住和商业、学校、医疗、养老机构等公共设施的上述企业用地，由土地使用权人负责开展土壤环境状况调查评估。

受土地使用权人天津汤浅蓄电池有限公司（以下简称天津汤浅）委托，恩拜欧（南京）环保科技有限公司承担天津汤浅污染地块土壤环境调查工作。2017 年 9 月，对该地块及临近地区土地利用状况进行了第一次资料收

集、对地块进行了污染物浓度和空间分布初步调查；由于第一次调查时天津汤浅未搬迁完毕，生产设备未完全拆除，参考国家相关要求及专家咨询会意见，2018年12月进行了第二次初步调查工作。2019年3月，对该地块进行了污染物浓度、空间分布及污染原因详细调查工作。

调查地块属于工业用地性质。未来土地使用权出让给其他公司，作为工业用地继续使用；或者由西青开发区管委会负责盘整处理。

## 1.2 评估范围

地块位于天津市西青经济开发区（四期）赛达世纪大道与赛达八支路交叉口，占地面积为 49564 m<sup>2</sup>。东至赛达世纪大道，南至赛达八支路，西至现状空地，北至赛达七支路。地理位置见图 1.2-1，卫星图见图 1.2-2，调查地块边界拐点坐标见表 1.2-1。



图 1.2-1 调查地块地理位置图



图 1.2-2 调查区域卫星图（红色线框范围内）

表 1.2-1 调查地块边界拐点坐标一览表

方位	X (m)	Y (m)
东	283017.956	104357.615
西	282893.592	104023.704
南	282777.883	104180.782
北	283133.653	104200.521

### 1.3 评估目的

此次风险评估是针对天津汤浅停产并准备搬迁的地块，主要目的为在场地环境调查的基础上，分析污染物土壤对人群的主要暴露途径，评估污染物对人体健康的致癌风险或危害水平。

## 1.4 评估依据

### 1.4.1 相关法律、法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2014；
- (2) 《中华人民共和国水污染防治法》，2017；
- (3) 《中华人民共和国土壤污染防治法》，2018；
- (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2016；
- (5) 《土壤污染防治行动计划》（“土十条”），2016；
- (6) 《污染地块土壤环境管理办法（试行）》，2016；
- (7) 《天津市土壤污染防治工作方案》（“天津市土十条”），2016。

### 1.4.2 相关标准

- (1) 中华人民共和国国家标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）；
- (2) 中华人民共和国国家标准《地下水环境质量标准》（GB/T 14848-2017）；
- (3) 中华人民共和国国家标准《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）。

### 1.4.3 相关技术导则及规范

- (1) 中华人民共和国国家环境保护标准《场地环境调查技术导则》（HJ25.1-2014）；
- (2) 中华人民共和国国家环境保护标准《场地环境监测技术导则》（HJ25.2-2014）；

- (3) 中华人民共和国国家环境保护标准《污染场地风险评估技术导则》（HJ25.3-2014）；
- (4) 中华人民共和国国家环境保护标准《污染场地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2014）；
- (5) 中华人民共和国国家环境保护标准《污染场地术语》（HJ682-2014）；
- (6) 中华人民共和国环境保护行业标准《地下水环境监测技术规范》（HJ/T 164-2004）；
- (7) 中华人民共和国生态环境部《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》，2014；
- (8) 中华人民共和国生态环境部《关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定》，2017；
- (9) 中华人民共和国生态环境部《建设用地土壤环境调查评估技术指南》，2018。

#### 1.4.4 其他

- (1) 《天津汤浅蓄电池有限公司年产摩托车密闭免维护铅酸蓄电池 200 万只项目项目环境影响报告表》，2008；
- (2) 《天津汤浅蓄电池有限公司环境保护现状调查分析报告》，2013；
- (3) 天津市生态环境局《天津市工业企业场地调查评估及修复管理程序和要求（暂行）》，2014；
- (4) 天津市生态环境局《建设用地土壤环境调查评估及治理修复文件编制大纲（试行）》，2018；

(5) 杨彦, 李晓芳, 王琼, 等。基于人体健康模型 (IEUBK、ALM) 的温岭地区土壤环境铅基准值研究[J]. 环境科学学报, 34 (7) :1808-1817, 2014;

(6) Pocock S J, Shaper A G, Walker M, et al. Effects of tap water lead, water hardness, alcohol, and cigarettes on blood lead concentrations [J]. Journal of Epidemiology and Community Health, 37(1):1-7, 1983.

(7) 美国环保署(EPA) . Recommendations of the Technical Review Workgroup for Lead for an Approach to Assessing Risks Associated with Adult Exposures to Lead in Soil. EPA-540-R-03-001, <https://semspub.epa.gov/work/HQ/174559.pdf>, January 2003.

## 1.5 基本原则

**针对性原则：**针对地块的特征和潜在污染物特性，进行污染物浓度和空间分布调查，为地块的环境管理提供依据。

**规范性原则：**采用程序化和系统化的方式规范地块环境调查过程，保证调查过程的科学性和客观性。

**可操作性原则：**综合考虑调查方法、时间和经费等因素，结合当前科技发展和专业技术水平，使调查过程切实可行。

## 1.6 工作方案

### 1.6.1 评估方法

由于《污染场地风险评估技术导则》(HJ25.3-2014)不适用于铅、放射性物质、致病性生物污染以及农用地土壤污染的风险评估，故此次风险评估选用国际上认可度较高的成人血铅模型 (ALM)。



成人血铅模型（ALM）是由美国环保署（USEPA）Technical review Workshop for Lead 于 1996 年提出，该方法通过评估暴露于商业/工业用地铅污染土壤的孕妇胎儿血铅含量来表征铅污染土壤的人体健康风险并用于推导铅的土壤铅环境基准。该方法只考虑直接摄入土壤和室内灰尘中铅的暴露途径，采用生物动力学斜率系数（BKSF）表征环境铅暴露与孕妇血铅含量的线性关系，采用几何标准差描述类似铅暴露场景下个体间血铅含量的差异。

由于天津汤浅场地的地下水不作为饮用水源，所以不计算保护地下水的土壤风险控制值。

## 1.6.2 工作内容

本次调查主要参照《建设用地土壤环境调查评估技术指南》（2018）文件规定和规范，主要工作内容包括危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征、风险控制值计算。具体工作内容如下：

### （1）危害识别

收集场地环境调查阶段获得的相关资料和数据，掌握场地土壤和地下水中关注污染物的浓度分布，明确规划土地利用方式，分析可能的敏感受体，如儿童、成人、地下水体等。

### （2）暴露评估

在危害识别的基础上、分析场地内关注污染物迁移和危害敏感受体的可能性，确定场地土壤和地下水污染物的主要暴露途径和暴露评估模型，确定评估模型参数取值，计算敏感人群对土壤和地下水中污染物的暴露量。

### （3）毒性评估

在危害识别的基础上，分析关注污染物对人体健康的危害效应。由于铅对儿童认知能力和神经系统的强烈毒性，通常认为不存在允许铅暴露量

安全水平限值, 因此在对铅污染的毒性评价时不再采用RfD/RfC方法, 从而采用基于受体血铅浓度水平的方法。

#### (4) 风险表征

在暴露评估和毒性评估的基础上, 成人血铅模型 (ALM) 采用生物动力学斜率系数(BKSF) 表征环境铅暴露与孕妇血铅含量的线性关系, 计算孕龄妇女体内胎儿血铅平均含量。参照铅中毒风险等级, 确定特定暴露途径下的人体健康风险等级。

#### (5) 土壤和地下水风险控制值的计算

在风险表征的基础上, 判断计算得到的风险值是否超过可接受水平。如污染场地风险评估结果未超过可接受风险水平, 则结束风险评估工作; 如污染场地风险评估结果超过可接受水平, 则计算土壤、地下水中关注污染物的风险控制值; 根据计算结果, 提出关注污染物的土壤和地下水风险控制值。

### 1.6.3 工作程序

本次调查的技术路线如图 1.6-1 所示。



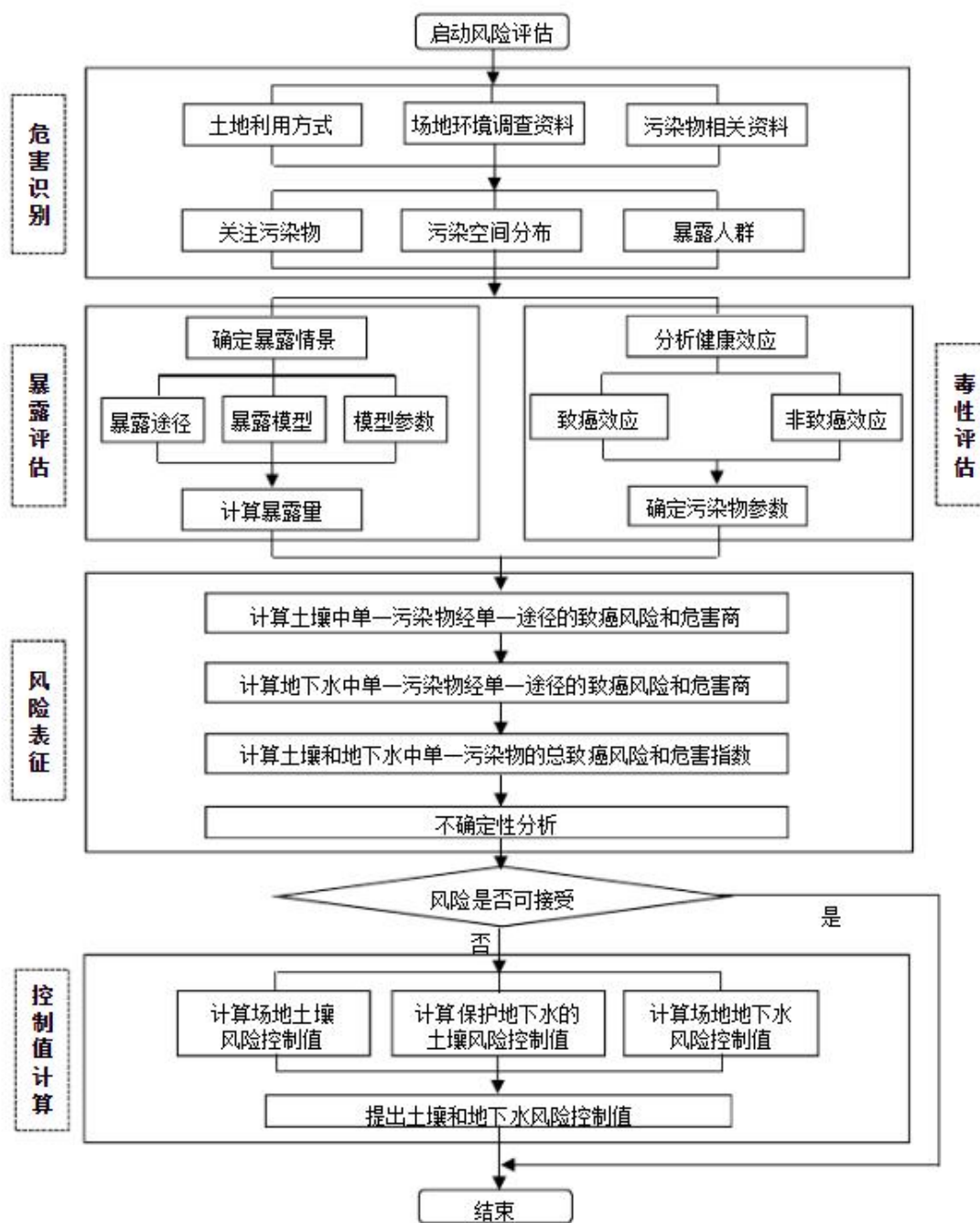


图 1.6-1 污染场地风险评估程序与内容

## 2 初步和详细调查概况

初步调查在场地内共布设土壤监测点 14 个，采集到土壤样品 38 个，全部送检；布设土壤对照点 2 个，采集到土壤样品 6 个，全部送检；布设

地下水监测井 7 口，采集地下水样 8 个（包括 1 个平行样），全部送检；  
布设雨水取样点 1 个，采集雨水样品 1 个，全部送检。土壤主要检测指标  
包括：pH 值、重金属（铜、铅、镍、镉、汞、砷、六价铬）、硫酸盐、VOCs、  
SVOCs；地下水主要检测指标包括：pH 值、重金属（铁、锰、铜、锌、铝、  
钠、汞、砷、硒、镉、六价铬、铅）、色、嗅和味、浑浊度、肉眼可见物、  
总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、挥发性酚类、阴离子表面活性  
剂、耗氧量、氨氮、硫化物、总大肠菌群、菌落总数、亚硝酸盐、硝酸盐、  
氰化物、氟化物、碘化物、VOCs、SVOCs；雨水主要检测指标包括：pH  
值、重金属（铜、铅、镍、镉、汞、砷、六价铬）、硫酸盐。

详细调查在地块内共布设 40 个土壤调查点位共采集了 131 个土壤样品  
（包括 12 个平行样），在 4 个点位共采集了 5 个地下水样品（包括 1 个平  
行样）。本次土壤样品的检测指标主要包括：《土壤环境质量 建设用地土  
壤污染风险管控标准》（GB 36600-2018）45 项基本项目，分别为：pH 值、  
重金属（铜、铅、镍、镉、汞、砷、六价铬）、硫酸盐、VOCs、SVOCs；  
地下水样品的检测指标包括：pH 值、重金属（铁、锰、铜、锌、铝、钠、  
汞、砷、硒、镉、六价铬、铅）、色、嗅和味、浑浊度、肉眼可见物、总  
硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、挥发性酚类、阴离子表面活性剂、  
耗氧量、氨氮、硫化物、总大肠菌群、菌落总数、亚硝酸盐、硝酸盐、氰  
化物、氟化物、碘化物、VOCs、SVOCs。

## 2.1 污染物种类

根据调查结果分析可知，本场地超出《土壤环境质量 建设用地土壤污  
染风险管控标准》（GB 36600-2018）筛选值的关注污染物为浅层土壤中的  
重金属铅。具体情况参见表 2.1-1。

表 2.1-1 场地关注污染物情况一览表

介质	污染物种类	污染物名称
土壤	重金属	铅

## 2.2 地块污染物空间分布状况及其范围

超标点位分布情况见图 2.2-1、表 2.2-1。

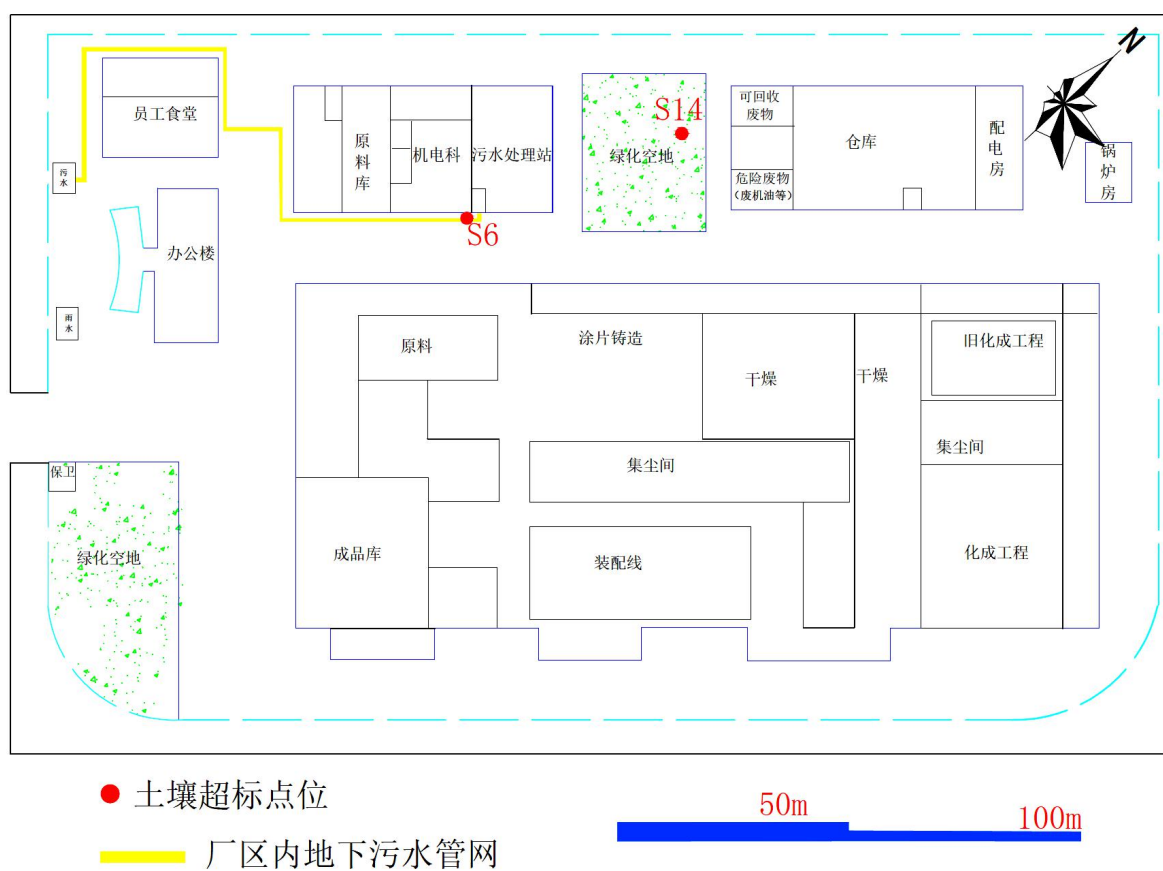


图 2.2-1 铅超标点位示意图

表 2.2-1 铅超标点位分布情况

超标点位	位置	深度
S6	裸露的草坪	0.2 m
S14	裸露的草坪	0.2 m

## 2.3 地块污染物含量数据

序号	土壤超标点位	深度 (m)	超标指标	检测结果 (mg/kg)	筛选值 (mg/kg)	超标倍数
1	S6-1	0.2	铅	1530	800	0.91
2	S14-1	0.2	铅	1310	800	0.64

## 2.4 调查结果分析

### 2.4.1 初步调查

根据初步调查分析检测结果，调查地块主要存在以下问题：

#### （一）土壤

1、场地土壤样品中 S6 点位 0.2 m 处、S14 点位 0.2 m 处土壤中的重金属铅超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第二类用地筛选值，超标倍数分别为 0.91 倍、0.64 倍；铜、镍、镉、汞、砷、六价铬均有检出，但未超过第二类用地筛选值；

2、受检样品中部分点位的土壤 pH 较高，S2、S4、S5 的土壤 pH 在 10 左右，S14 点位的土壤 pH 在 11 左右；

3、场地土壤对照点位 DZ1、DZ2 的各项检测值均满足第二类用地筛选值。

## （二）地下水

1、场地地下水样品 pH 值满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类水要求；

2、场地地下水中铅等重金属均满足IV类水要求；

3、场地地下水中甲苯、1,3-二氯苯有检出，但未超过IV类水限值；其余挥发性有机物、半挥发性有机物均低于检出限；

4、场地地下水中部分常规指标为V类水。

## （三）雨水

1、场地雨水样品 SW 中重金属铜、铅、镍、镉、汞、砷、六价铬中，铜、汞、砷均低于检出限，其他检测因子未超过《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）IV类水标准。

2、场地雨水中硫酸盐有检出，但未超过IV类水限值。

本次初步调查得出如下结论：确认调查地块为污染地块，需进一步开展详细调查工作，确定土壤中铅的污染程度及范围。

### 2.4.2 详细调查

根据详细调查分析检测结果，详细调查土壤及地下水检测因子均未超过筛选值，风险可控。

## 2.5 结论及建议

### 2.5.1 结论

本次详细调查得出如下结论：

1、通过对初步调查铅超筛选值点位的 S6、S14 周边加密调查，各调查点位检测值均满足筛选值，S6 点位超标原因可能为含铅污泥外运过程中的滴漏，S14 点位超标原因可能为从可回收废物而来的铅尘散落所致；其余土壤监测点位检测值均满足第二类用地筛选值，另外含水层底板顶部处的底泥经检测，未超过第二类用地筛选值，表明污染未迁移至深层。

2、调查地块地下水中铅等重金属指标均满足IV类水限值。

### 2.5.2 建议

1、对于调查中超过筛选值的点位进行风险评估工作，以确定风险是否可控，是否需要进一步的修复工作；

2、若未来用地性质发生变更，应重新进行地块环境调查评估工作。

## 3 危害识别

本地块污染概念模型如图 3-1 和表 3-1 所示。铅蓄电池生产中，产生的铅烟、铅尘、含铅废水在排气及排水过程当中通过大气沉降和排水管道渗漏造成铅污染。重金属铅通过人体直接摄入含铅土壤或吸入室内含铅灰尘两种暴露途径对人体产生危害。

根据初步调查和详细调查的结果，S6 点位和 S14 点位表层土壤超出了《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB 36600-2018）第二类用地筛选值。

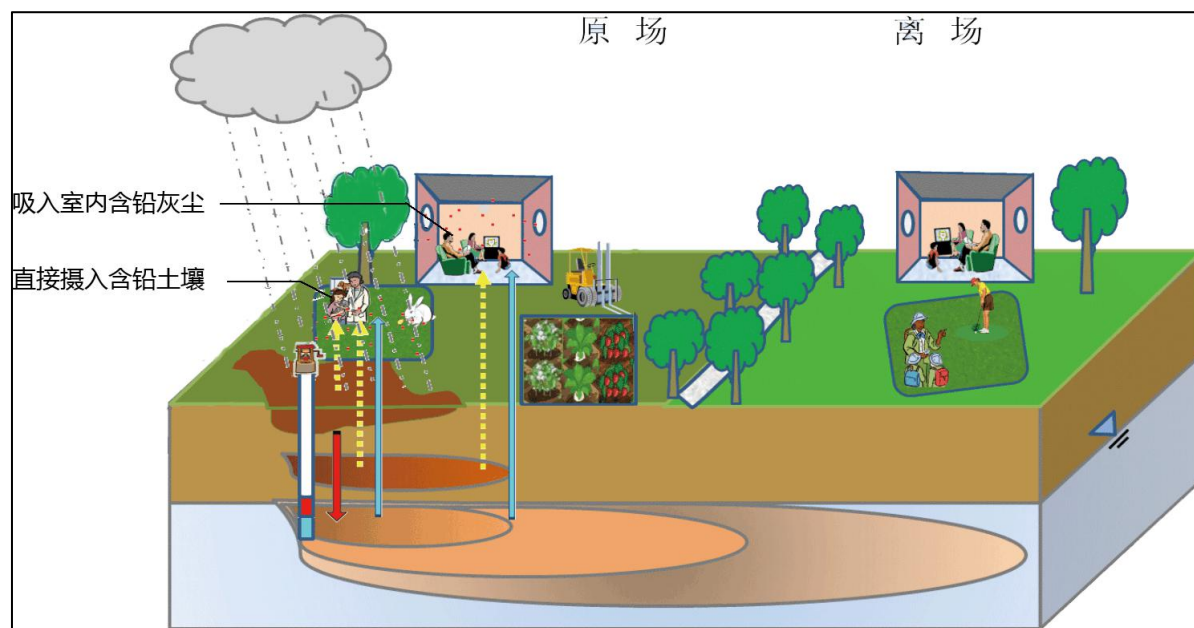


图 3-1 污染地块概念模型图

表 3-1 污染地块概念模型表

关注污染物	土地利用方式	污染源	关注区域	暴露途径	受体
重金属 (铅)	工业用地	铅粉制造、板栅铸造、铅零件铸造、极板制造、极板化成、电池装配工段会产生铅烟、铅尘、含铅废水，铅烟、铅尘可能通过大气沉降附着在裸露的地面	裸露的草坪或花坛	直接摄入土壤、吸入室内灰尘	成人

## 4 暴露评估

调查地块属于工业用地性质。由于天津汤浅地块的地下水不作为饮用水源，所以不计算保护地下水的土壤风险控制值。

1996年，为了满足非住宅危险废物场地的人体健康铅风险评估需要，美国环保署（USEPA）为铅技术审查工作组（TRW）制定了成人铅暴露评估方法（ALM）。ALM模型描述了非居住区土壤中暴露物对成人的风险，

且重点在于针对污染土壤的暴露量导致的妇女体内胎儿的血铅浓度升高进行评估。

成人血铅模型（ALM）考虑直接摄入土壤和室内灰尘中铅的暴露途径，采用生物动力学斜率系数（BKSF）表征环境铅暴露与孕妇血铅含量的线性关系，采用几何标准差（GSD）描述类似铅暴露场景下个体间血铅含量的差异，并通过胎儿与母体的血铅含量比例系数来评价成人（孕龄妇女）在土壤铅暴露的环境中引起胎儿血铅含量超过某一限值的事件发生概率。此外，该模型还可以通过限制胎儿血铅浓度来控制育龄妇女血铅浓度，并反算土壤中铅的浓度限值，因此被广泛用于制定商业用地、工业用地土壤中铅的限值规范。

## 5 毒性评估

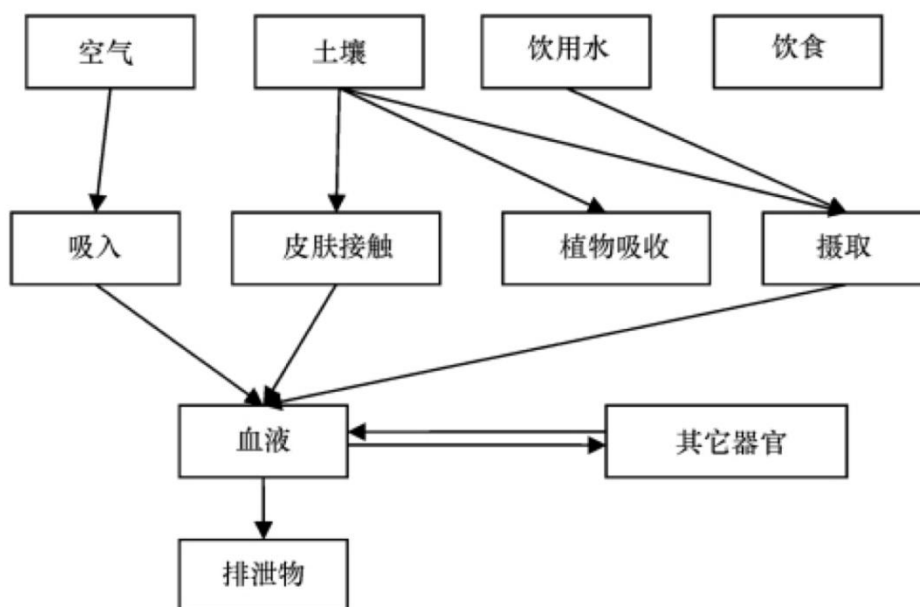


图 5-1 血铅模型的生物学结构图

铅是一种多系统、多亲和性的毒物，其毒性主要作用于人体的胎盘和神经。铅的性质稳定，不可降解，阻碍血细胞形成。相比其它重金属，铅



对人体的危害更为复杂。铅通过肠道和呼吸道进入人体，再经主动运输和被动扩散两种方式由小肠和肺泡吸收进入血液；之后一部分沉积于骨骼（通常所说的储存池），另一部分随血液分布到全身各器官和组织（通常所说的交换池），从而产生毒性作用。交换池中的铅主要指血液和软组织中的铅，这部分铅绝大多数在 25~35d 转移到骨组织中；储存池中的铅主要指骨组织中的铅；交换池与储存池中的铅维系着动态平衡（图 5-1）。国内外大量资料证实，铅是一种易在体内积蓄的重金属元素。体内血铅水平达到一定程度，将对人体多个系统产生损害，如精神障碍、噩梦、失眠、头痛等慢性中毒症状，严重者有乏力、食欲不振、恶心、腹胀、腹痛、腹泻等症状。铅还可以通过血液进入脑组织，造成脑损伤。血铅的理想水平应该为零，然而，由于受环境等多种因素影响，多数人体内或多或少都有铅存在。

铅中毒的分级标准总结如下：

I、血铅 $<99\mu\text{g/L}$ 相对安全，但已有胚胎毒性，孕妇易流产。

II、血铅 $100\sim 199\mu\text{g/L}$ ，为轻度铅中毒，通常无明显的症状，但神经传导速度下降，并对儿童的智力发育存在一定的影响，血铅水平每上升 $100\mu\text{g/L}$ ，智商要下降6~8分，此外，对儿童的行为及体格生长也产生不良的影响。

III、血铅 $200\sim 499\mu\text{g/L}$ ，为中度铅中毒，铁锌钙代谢受影响，出现缺钙、缺锌、血红蛋白合成障碍，会有免疫力低下、学习困难、智商水平下降或体格生长迟缓等症状；

IV、血铅500~699 $\mu\text{g/L}$ ，为重度铅中毒，可出现性格多变、易激怒、多动症、攻击性行为、运动失调、视力和听力下降、不明原因腹痛、贫血和心律失常等中毒症状。

V、血铅 $\geq 700\mu\text{g/L}$ ，为极重度铅中毒，可导致肾功能损害、头痛、惊厥、昏迷甚至死亡。

参照国际惯用标准，我国将血铅的相对安全标准定为10~14  $\mu\text{g/dL}$ 。

## 6 风险表征

对于非敏感用地，ALM 模型评价在土壤铅暴露环境下，孕妇体内血铅平均含量是否超过 10  $\mu\text{g/dL}$ ，是目前国际上比较通用的一种人体健康风险评估方法。这里的 10 $\mu\text{g/dL}$  是儿童铅中毒的指示值。1991 年美国国家疾病控制中心将儿童铅中毒定义为：只要儿童血铅水平超过或等于 100 $\mu\text{g/L}$ （10 $\mu\text{g/dL}$ ），不管其有无相应的临床症状和体征以及生物化学指标改变，即可诊断为儿童铅中毒。

ALM 模型中的暴露模块用于预测土壤铅胁迫下成人体内的血铅含量。成人体内的血铅含量按式 6-1~6-4 计算：

$$INTAKE = \frac{C_{soil} \cdot IR_s \cdot EF_s}{AT} \quad (6-1)$$

$$UPTAKE = AF_s \cdot INTAKE \quad (6-2)$$

$$\Delta PbB = \Delta INTAKE \cdot AF_s \cdot BKSF \quad (6-3)$$

$$PbB_{adult, central, goal} = \frac{BKSF \cdot IR_s \cdot AF_s \cdot EF_s}{AT} \cdot C_{soil} + PbB_{adult, 0} \quad (6-4)$$

根据胎儿血铅浓度与孕妇血铅浓度的线性关系，胎儿血铅浓度按式 6-5 计算：

$$PbB_{fetal} = R_{fetal / maternal} \cdot PbB_{adult} \quad (6-5)$$

上述式中各参数取值详见表 6-1。

表 6-1 模型变量含义及取值

参数	意义	单位	取值
INTAKE	每日铅平均摄入率	μg/d	待求
UPTAKE	每日铅平均吸收率	μg/d	待求
Δ PbB	血铅浓度增加量	μg/dL	待求
PbB <sub>adult,central,goal</sub>	暴露于铅污染场地的孕妇血铅平均含量目标值	μg/dL	待求
PbB <sub>adult,0</sub>	无铅暴露时育龄妇女的血铅背景水平	μg/dL	3.86*
AT	长期暴露平均时间	d	365
BKSF	血铅与每日摄入体内铅含量的斜率系数	d/dL	0.4**
IR <sub>s</sub>	每日土壤摄入量	g/d	0.1***
AF <sub>s</sub>	肠胃对摄入体内的铅的吸收效率	-	0.12
EF <sub>s</sub>	每年平均暴露于铅污染场景的天数	d	220
R <sub>fetal/maternal</sub>	胎儿与母亲血铅含量比例系数	-	0.6*
C <sub>soilmax</sub>	土壤中铅的最高检测值	mg/kg	1530
C <sub>soilmin</sub>	土壤中铅的最低检测值	mg/kg	6.08

\* 杨彦，李晓芳，王琼，等。基于人体健康模型（IEUBK、ALM）的温岭地区土壤环境铅基准值研究[J]，环境科学学报，34（7）:1808-1817，2014。

\*\* Pocock S J, Shaper A G, Walker M, et al. Effects of tap water lead, water hardness, alcohol, and cigarettes on blood lead concentrations [J]. Journal of Epidemiology and Community Health,37(1):1-7, 1983.

\*\*\* 参照《污染场地风险评估技术导则》（HJ25.3-2014）附录G的推荐数据。

经模型预测，土壤点位 S6、S14 天津汤浅蓄电池厂地块土壤铅致使成人孕妇胎儿血铅累积的平均水平为 4.97 $\mu\text{g}/\text{dL}$  和 4.59 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 。参照美国国家疾病控制中心对儿童铅中毒的极限值（10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ），天津汤浅蓄电池厂地块土壤中铅的最大浓度尚未构成对成人孕妇胎儿的危害，人体健康风险可以接受。

对于天津汤浅地块的土壤铅浓度致使成人孕妇胎儿血铅累积的平均水平，按照美国疾病控制中心的分类标准可初步评定为I级，见表 6-2。

表 6-2 血铅水平分级标准

危害等级	I	II	III	IV	V	VI
血铅水平/ ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	$\leq 10$	10~14	15~19	20~40	45~69	$\geq 70$

## 7 不确定性分析

造成污染场地风险评估结果不确定性的主要来源，主要包括在调查阶段取样分析、暴露情景假设、评估模型的适用性、模型参数取值等。开展评价结果不确定性影响因素分析，对污染场地的风险管理，降低场地污染物所带来的健康风险具有重要意义。从场地污染风险评估的过程来看，其不确定性的主要来源主要有以下几个方面：

(1) 调查阶段：由于场地现场环境限制无法按布点方案取样，样品运输、分析时产生的误差，这些因素均可能对评价结果产生不确定性。

(2) 数据收集和分析阶段：模型需要参数众多，部分参数采用的是 ALM 模型推荐的默认值，这些因素均可能对评价结果产生不确定性。

(3) 暴露评价阶段：模型中对污染物的浓度作了浓度不随时间变化的假设，本场地关注污染物为铅，其在土壤与地下水环境中，污染物的浓度会发生变化，如发生化学反应等。

(4) 风险表征阶段：前面各阶段的不确定性集中体现在风险结果上，导致风险评价结果的不确定性。

## 8 风险评估结论

成人血铅模型 ALM 预测结果表明，天津汤浅蓄电池有限公司地块土壤铅浓度超过筛选值的点位 S6、S14，引起成人血铅累积的平均水平分别为  $4.97\mu\text{g/dL}$  和  $4.59\mu\text{g/dL}$ 。参照美国国家疾病控制中心对儿童铅中毒的极限值 ( $10\mu\text{g/dL}$ )，初步评定地块土壤铅对成人孕妇胎儿的血铅危害程度为 I 级。

## 9 风险管控建议

由于浅层土壤重金属铅未超过《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 36600-2018）第二类用地管制值，所以在第二类用地规划下，通过直接摄入土壤和呼吸吸入灰尘的暴露途径，该污染物对人体健康风险可以接受，不需要进行修复。由于浅层土壤重金属铅超过第二类用地筛选值，应对场地内土壤的扰动和外运进行严格限制，考虑到暴露途径等的不确定性，作为风险管控的一个环节必须严格限制地块使用方式，如改变地下水利用方式时，通知和公告地块潜在的风险。