西部某铬污染场地修复生命周期评价（LCA）案例研究

THE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) FOR A CHROMIUM CONTAMINATED SITE: A CASE STUDY IN WEST CHINA

董璟琦，环境保护部环境规划院

CHINESE ACADEMY FOR ENVIRONMENTAL PLANNING

2018.06.09

汇报提纲 CONTENTS

1.研究背景

2.研究方法

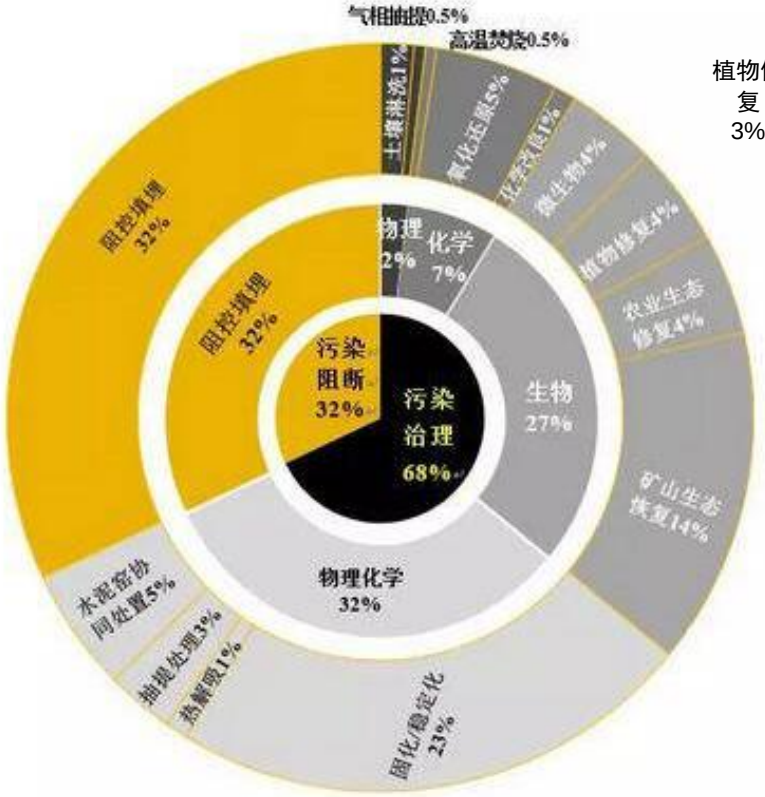
3.案例研究

- 场地污染概况
- 生命周期评价系统边界
- 生命周期清单分析
- 结果讨论

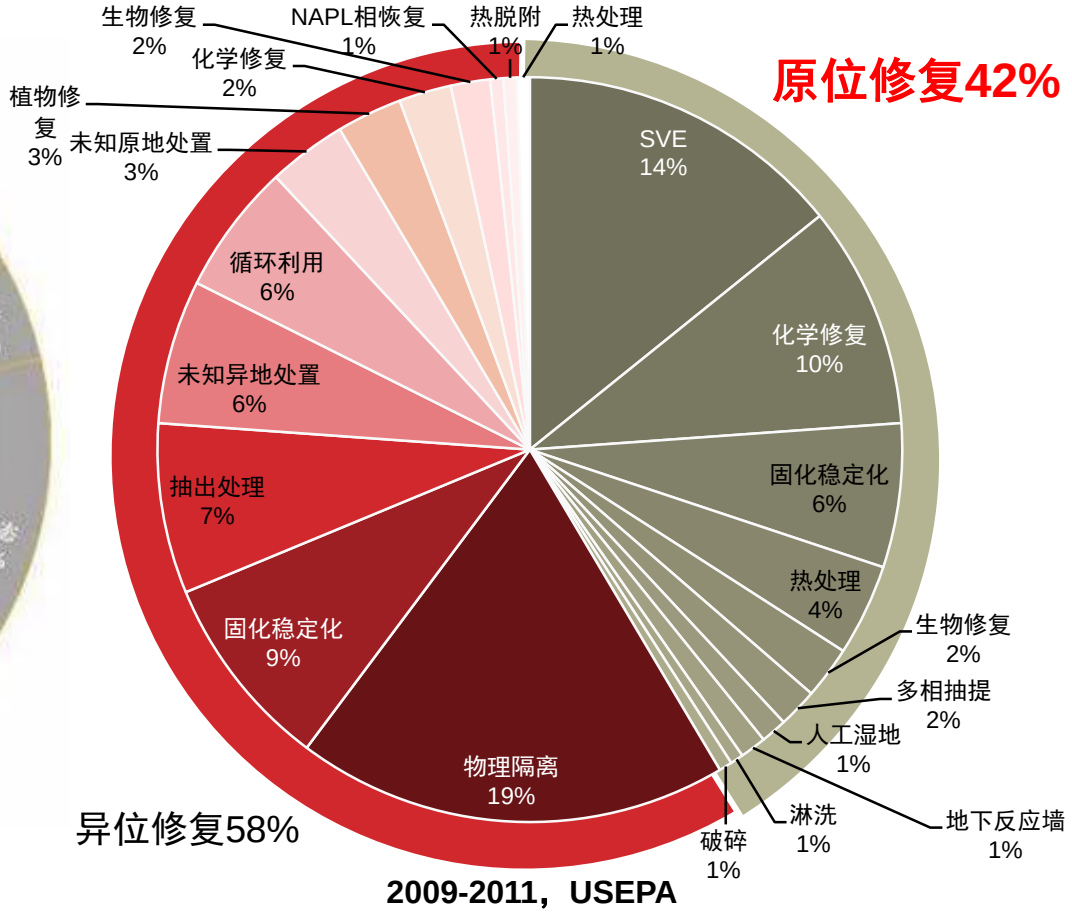
4.结论与展望

1、研究背景：面临问题

（1）环境修复的能耗物耗高：中国的污染地块数量众多、危害严重，当前的治理修复以能耗物耗严重的异位工程化措施为主。



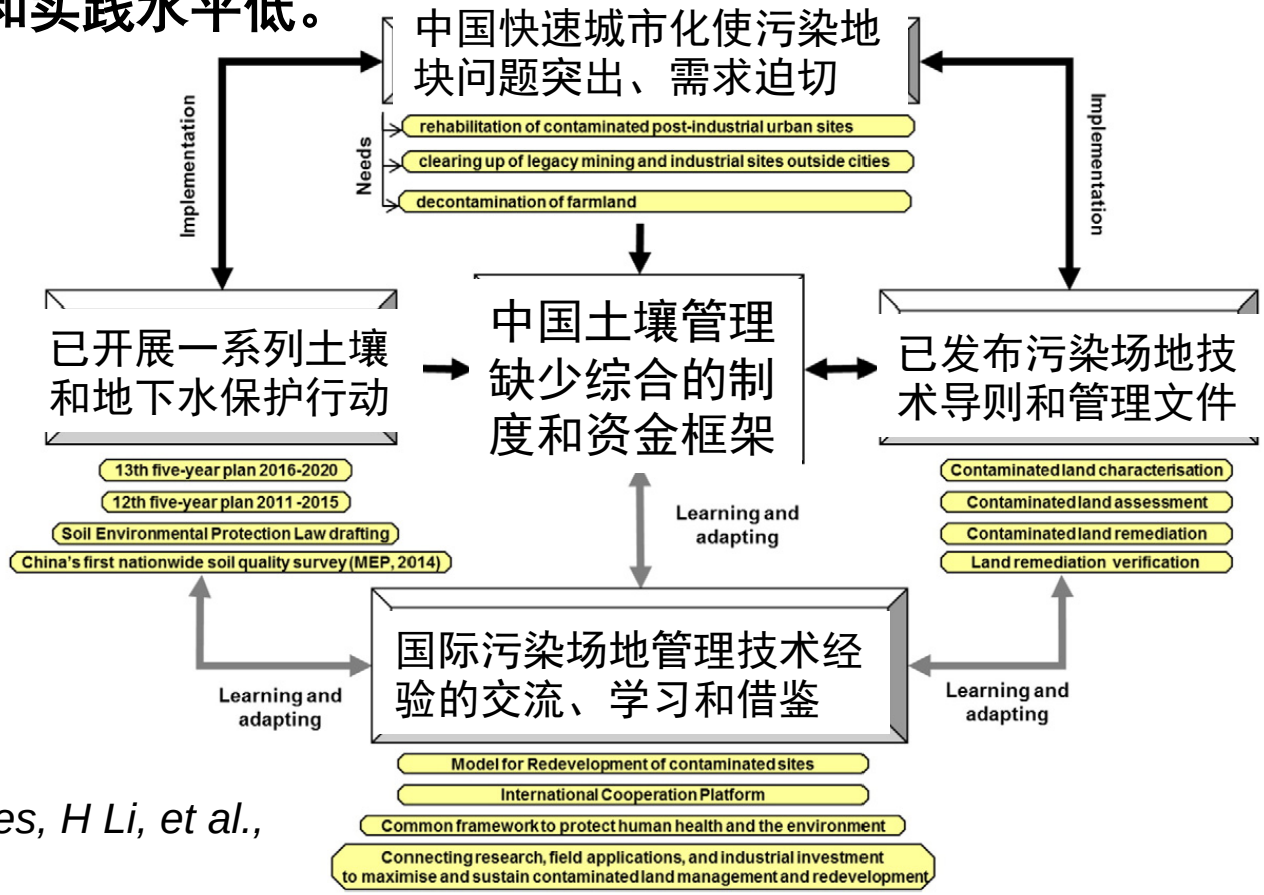
2008-2016我国土壤修复技术应用现状
（中国土壤修复技术与市场发展研究报告，2016）



2009-2011，USEPA

1、研究背景：面临问题

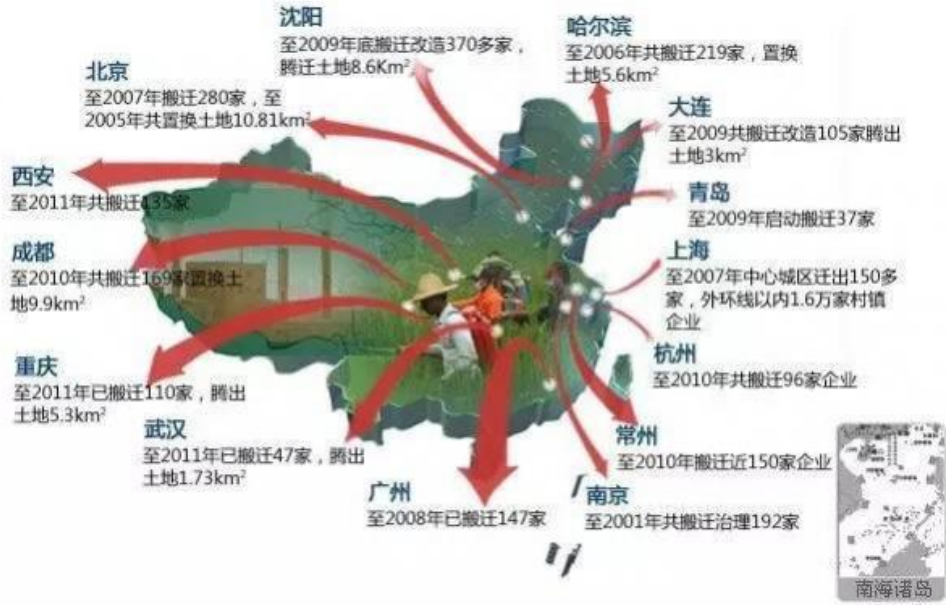
（2）土壤环境风险管理仍不健全：污染地块的基本信息匮乏，地方政府部门缺少有效的土壤环境风险管控的制度体系、技术规范，决策分析的理论依据和实践水平低。

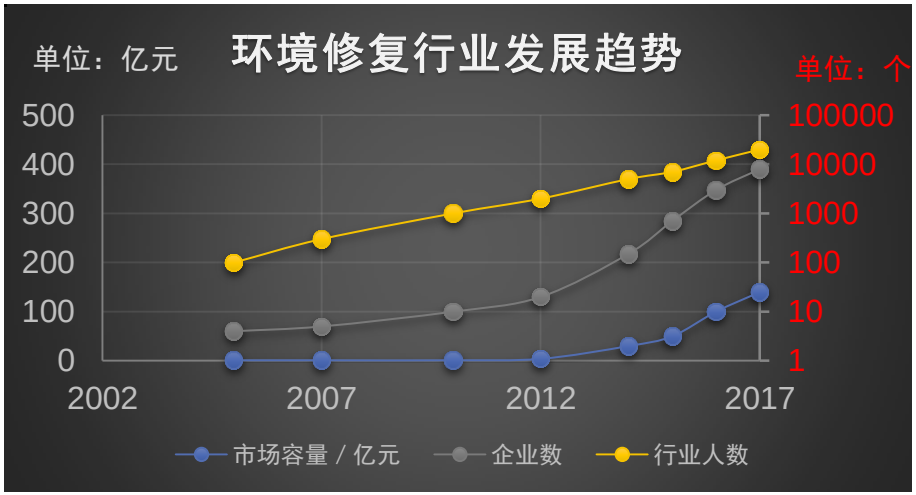


F Coulon, K Jones, H Li, et al., 2016

1、研究背景：面临问题

（3）绿色可持续评价的现实基础、迫切需求与重要意义：当前场地修复与土地再开发的快速发展和大量资金投入情境下，迫切需要基于全过程环境风险管控的绿色可持续评价体系与决策支撑能力。





提出科学问题？**QUESTIONS**?

- 污染地块信息匮乏与不足
- 环境修复粗放能耗物耗大
- 环境风险管理体系不健全
- 决策机制和过程不够完善

如何在现有基础上为有效推进中国场地修复绿色可持续发展提供技术支撑？

1.研究背景：GREEN AND SUSTAINABLE REMEDIATION

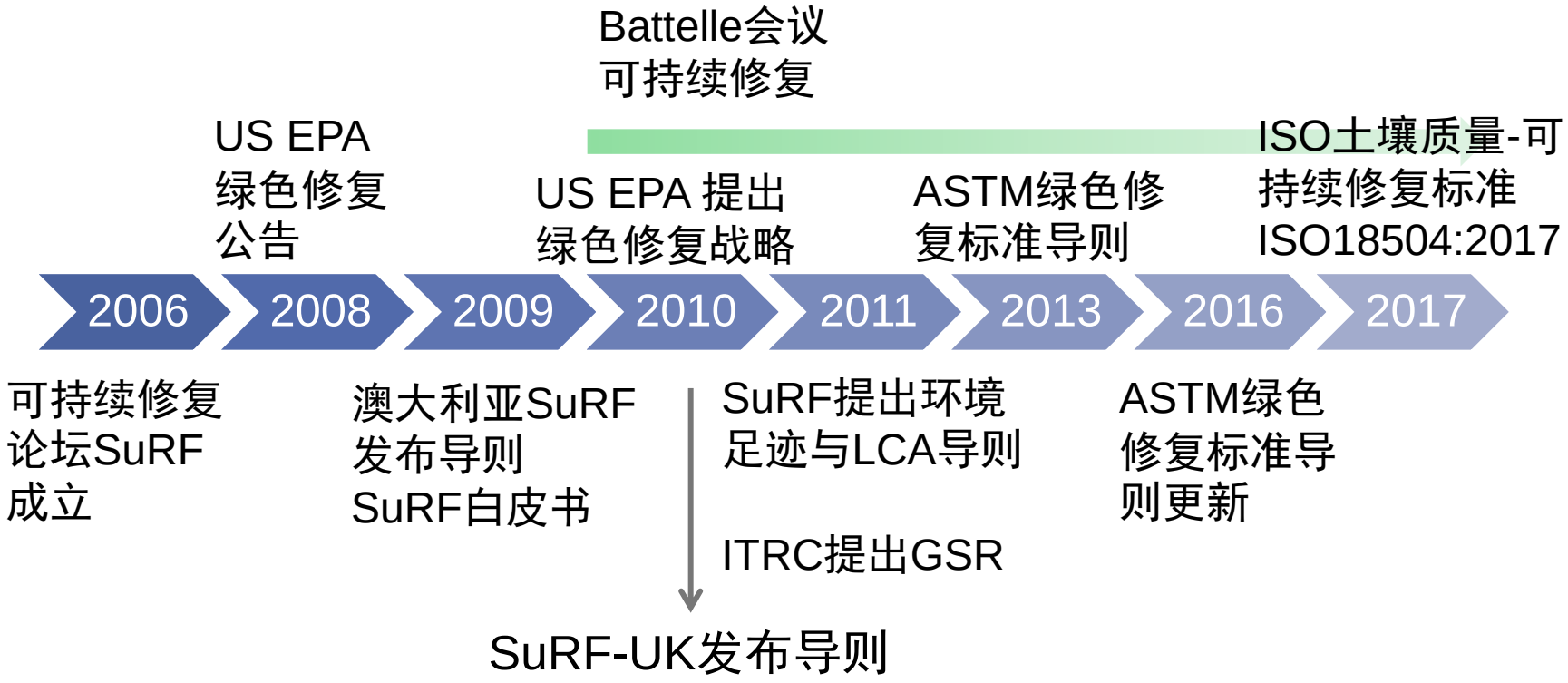
- **Sustainable Remediation**: a remedy or combination of remedies whose net benefit on human health and the environment is maximized through the judicious use of limited resources. (SURF, 2009)
- **Sustainable Remediation project**: is one that represents the best solution when considering environmental, social and economic factors – as agreed by the stakeholders. (NICOLE, 2008)
- **Green Remediation**: the practice of considering all environmental effects of cleanup actions and incorporating options to minimize the environmental footprints of cleanup actions. (USEPA, 2010)

EPA United States Environmental Protection Agency

NICOLE
Network for Industrially Contaminated Land in Europe

SURF
SUSTAINABLE REMEDIATION FORUM

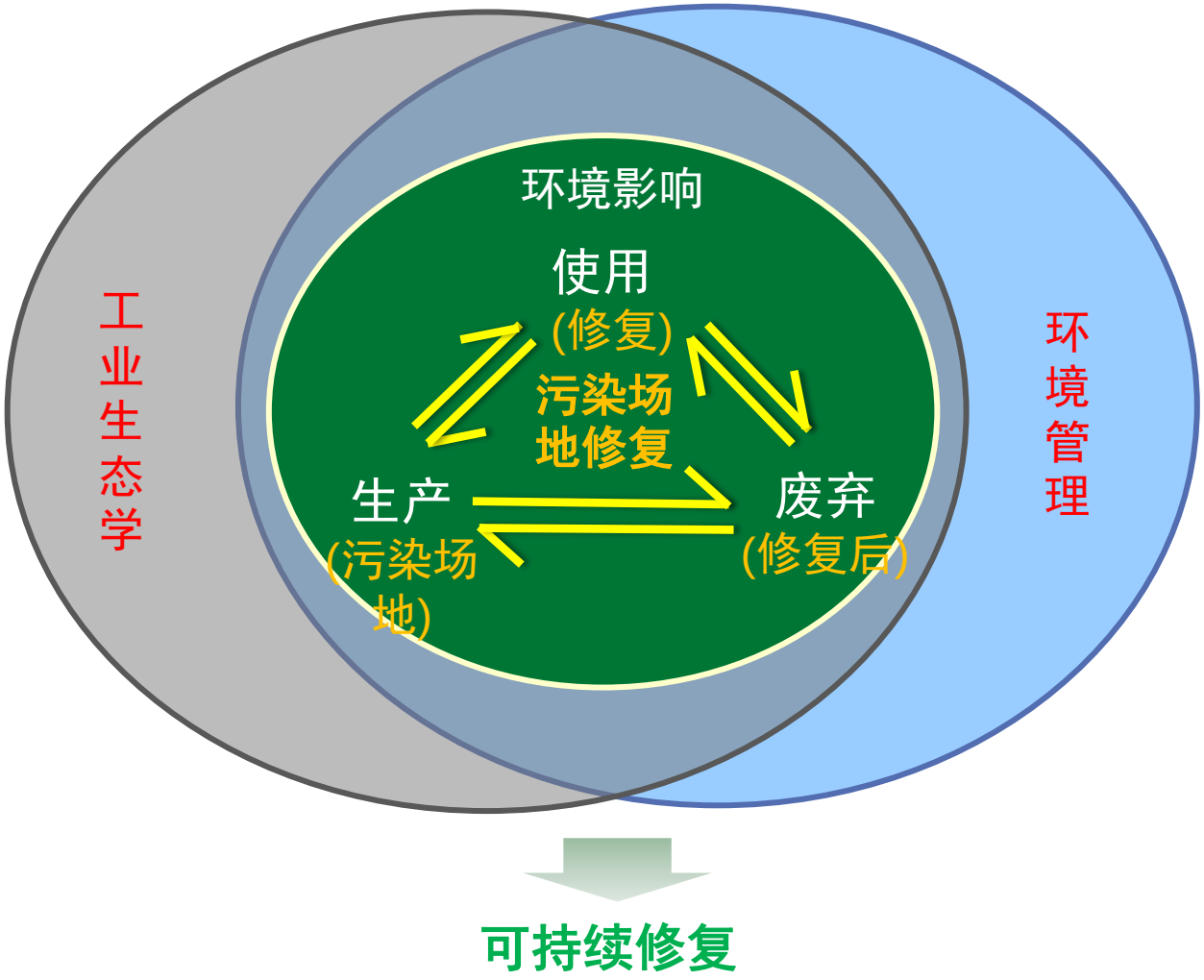
1.研究背景：GREEN AND SUSTAINABLE REMEDIATION



1.研究背景：GREEN AND SUSTAINABLE REMEDIATION

GSR研究类型	国家地区	方法	工具	主要文献
区域尺度棕地可持续再开发利用	美国	MCA	SITES，STAR, Envision…	Chen et al., 2009; SuRF, 2013.
	欧洲	MCA、CBA、LCA	SCORE、DESYRE	Pizzol et al, 2008; GARÇÃO R., 2015, Soderqvist et al., 2015; Sparrevik et al., 2011
绿色修复技术	美国	Env footprint BMP NEBA	SiteWise	Efroymson etc., 2004；US EPA, 2012; US EPA 2009-2014
绿色可持续修复评价	美国	LCA CBA	TRACI、FIELDS、SADA、Metrics toolbox	Bare et al., 2002; SADA, 2007; SuRF, 2011
	欧洲	LCA CBA MCA、Footprint	CML、REC、Tiered approach	van Wezel et al., 2007; Ellis & Hadley, 2009; Cappuyns & Kessen, 2013; Smith & Kerrison, 2013; Soderqvist, et al., 2015

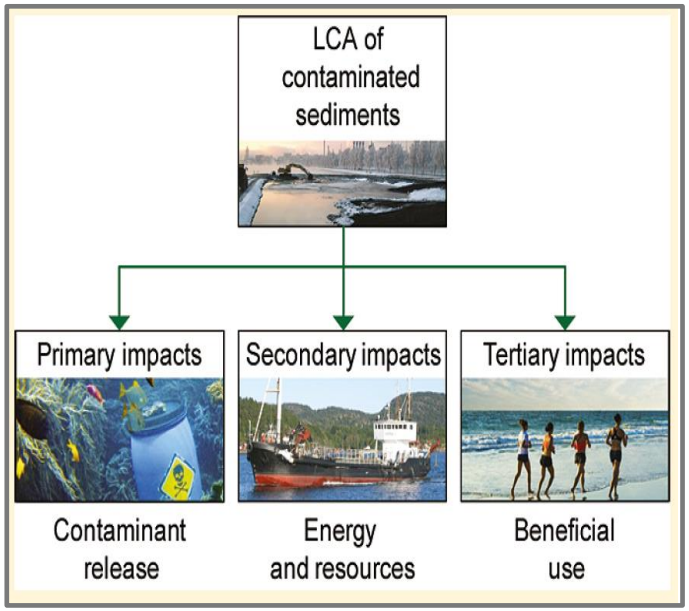
2、研究方法：生命周期评估（LCA）
LIFE CYCLE ASSESSMENT



1. 基于LCA及其它多目标决策方法的污染场地可持续管理框架的建立与应用；
2. 典型行业污染场地生命周期评估的清单分析与环境影响评价；
3. 定量化评估修复方案/修复工程的二次环境影响；
4. 污染场地修复生命周期评估的不确定性分析研究。

2、研究方法：生命周期评估（LCA）
LIFE CYCLE ASSESSMENT

生命周期评估包括社会、经济、环境三方面综合对污染场地修复开展可持续管理评价。广义的LCA方法包括社会、经济、环境三方面综合对污染场地修复开展可持续管理评价。其评估对象包括首要影响（Primary impact），二次影响（Secondary impact）和三次影响（Tertiary impact）。



Sparrevik et al., 2011. Use of Life Cycle Assessments To Evaluate the Environmental Footprint of Contaminated Sediment Remediation

技术导则

《修复行业环境足迹分析和LCA技术导则》（美国）

《生命周期评估国际标准》（ISO 14040/14044）

《绿色修复国际标准》（ASTM，E2893-16）

评价方法

Eco-points Method, IMPACT2002+，瑞士

ReCiPe2008，Eco-indicator95/99，

CMLCA2001，荷兰

TRACI，美国EPA

EDIP97/ EDIP2003，丹麦；EPS2000，瑞典

表 1　污染场地修复的主要 LCA 模型及其特性

Table 1　Summary of LCA models and their characteristics applied in contaminated site remediation

年份	国家或机构	模型	分类	特性
1990	瑞典	环境优先权模型		应用成本的概念进行环境影响评估，通过建立社会公认的社会环境安全目标，将环境问题转化成为一种社会成本
1991	瑞士	生态目标评估模型		可直接评价产品的环境影响，不需分类。以特定的区域内环境问题参数值与政府既定的环境目标值之差来评估对环境的影响
1995	荷兰	Eco-indicator 95	终结点模型	用单一的环境生态指数来描述系统的环境影响特性
1997	丹麦	EDIP 97	中间点模型	包含全球变暖、酸化、富营养化、人体毒性、生态毒性、臭氧消耗、光化学臭氧诱导形成的潜在影响
2003	丹麦	EDIP 2003	中间点模型	根据 EDIP 97 改进的模型，增加了一些在空间上有区别的特征模型，其预测结果与实际更为一致，而且更容易、更明确地解释对环境的破坏
1997	ISO	ISO 140042		对清单数据进行技术处理并选择分析步骤(包括数据分类和特征化处理、数值归一化、分级排序等)
1999	荷兰	Eco-indicator 99	终结点模型	基于对环境损害的原理进行环境影响评价，其环境可定义为产品资源、人类健康、生态系统 3 个方面
2000	瑞典	EPS 2000	终结点模型	通过对不同的环境影响指标取值来避免对环境保护目标的负面影响，影响类型包括生物多样性、产品、人类健康、资源和美学价值
2001	莱顿大学环境研究中心	CMLCA 2001	中间点模型	以全球年环境影响总值为标准，将影响分为材料消耗、能源消耗和污染 3 个大类，采用中间点分析减少了假设的数量和模型的复杂性
2002	瑞士联邦技术研究所	IMPACT 2002+	结合中间点模型与终结点模型	结合了 CML 2001 的中间点模型和 Eco-indicator 99 的结合点模型
2002	美国环境保护署(USEPA)	TRACI 2.1	中间点模型	基于《USEPA 超级基金风险评估导则》、《USEPA 暴露因子手册》、美国国家酸雨评估项目等，强化了毒性和健康风险评估，将影响因子分为致癌因子和非致癌因子
2008	荷兰	ReCiPe 2008	结合中间点模型与终结点模型	结合了 CML-IA 的中间点模型和 Eco-indicator 99 的终结点模型，提出 18 种中间点影响类型，并将其归纳至人类健康、生态系统和资源成本 3 种终结点类型
2004	日本	LIME	终结点模型	由先进工业科学与技术国家研究所提出，包括特征化、损害评估和赋权的日本国民经济归一化，还包括 11 种环境影响类别，归结到人类健康、社会福利、生物多样性和植物生产力 4 种损害类型

生命周期评估（LCA）模型和方法

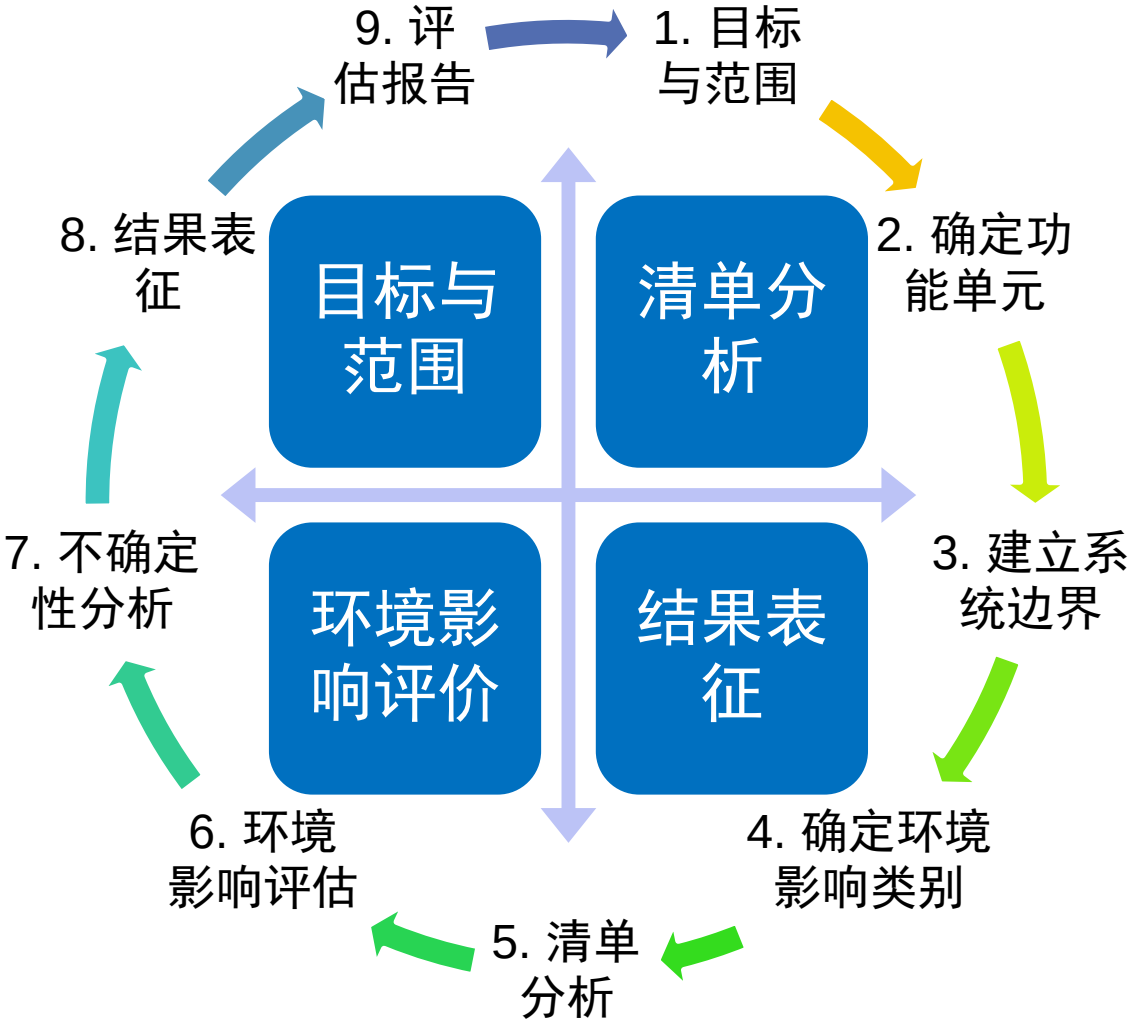
董璟琦，张红振，雷秋霜等. 污染场地修复生命周期评估程序与模型的研究进展[J]. 环境污染与防治，2016，38（12）：89-95.

文献	评估目标	修复技术	目标污染物	功能单元	时间界限	LCA 方法
土壤污染修复						
Page et al.(1999)	回顾性评价	挖出异位处置	铅	治理同等量的土壤（量/体积）	25 年	
Volkwein et al.(1999)						
Ribbenhed al.(2002)						
Blanc et al.						
Godin et al						
Toffoletto et al.(2005)						
Lesage et al.(2007b)						
Lemming et al.(2010b)						
Suer and Andersson (2010)						
Busset et al						
Brecheisen (2013)						
Hou et al.						

文献	评估目标	修复技术	目标污染物	功能单元	时间界限	LCA 方法
胡新涛，朱建新等 2012		碱性催化氧化；红外高温焚烧	多氯联苯	处理 1000kg 多氯联苯污染土壤		IMPACT2002+
Hou et al. (2016)	前瞻性评价	汞污染农田土壤的热脱附和固化稳定化修复技术	汞	修复 10000m³ 污染土壤至目标值	10 年	ReCiPe
Choi et al. (2016)	前瞻性评价	挖掘、覆盖、原位活性炭修复	PCBs、PAHs、氯代农药等疏水有机物	修复 1000 ㎡ 污染土壤	30 年	Eco-Indicator95
地下水污染修复						
Bender et al.(1998)	前瞻性评价	地下水抽提；蒸汽抽提；活性炭吸附联合原位生物修复	石油		未详细说明	
Vignes et al.(1999)	前瞻性评价	泵抽取并原地真空气提、活性炭处理及挖出热处理； 原位好氧、厌氧生物修复	三氯丙烷（TCP）、二甲苯；混合有机污染土壤			
ScanRail Consult et al.(2000)	前瞻性评价 回顾性评价	挖出并外部生物处理 原位处理（生物注入、生物通风、活性渗透墙、生物阻隔）	含氯溶剂 碳水化合物	未详细说明	未详细说明	EDIP97
Bayer and Finkel (2006)	回顾性评价	泵抽出处理；渗透墙	多环芳烃；柏油	控制一定的污染蓄水池区域	30 年	UBA Umweltbundesamt
Cadotte et al.(2007)	前瞻性评价	泵抽出处理，挖出现场堆肥；原位自然衰减，生物通风等	柴油	将 375 m³ 柴油污染场地修复到魁北克土壤 B 标准，并将饮用水、地下水和地表水中 C_{10}—C_{50} 含量修复到检测极限水平	2-300 年（根据修复技术而定）	TRACI
Higgins and Olson (2009)	回顾性评价	泵抽出处理；零价铁活性渗透反应墙	氯乙烷	有效控制地下水污染羽 30 年	30 年	TRACI
Mak et al. (2011)	前瞻性评价	不同介质渗透反应墙	六价铬，砷	将 20,000m3 污染地下水修复至目标值	30 年	TRACI
Lemming et al. (2012)	回顾性评价	长期监控；原位强化还原脱氯；原位化学氧化；长期监控+活性炭	三氯乙烯	消除 99%污染物，使下游 100 米处地下水中 TCE 浓度降至 1ug/L	80 年-830 年	EDIP2003 [b]；USEtox™ [c]
Hou et al. (2014a)	前瞻性评价	地下水抽出处理（P&T）、原位生物修复、PRB 和原位化学还原技术	PCE 及副产物	将系统边界内地下水 PCE 及副产物浓度修复至加州饮用水最大污染浓度（Cal-MCL）	30 年	TRACI

注：a）生态和健康毒性影响；b）非毒性影响；c）毒性影响

2、研究方法：生命周期评估（LCA）
LIFE CYCLE ASSESSMENT

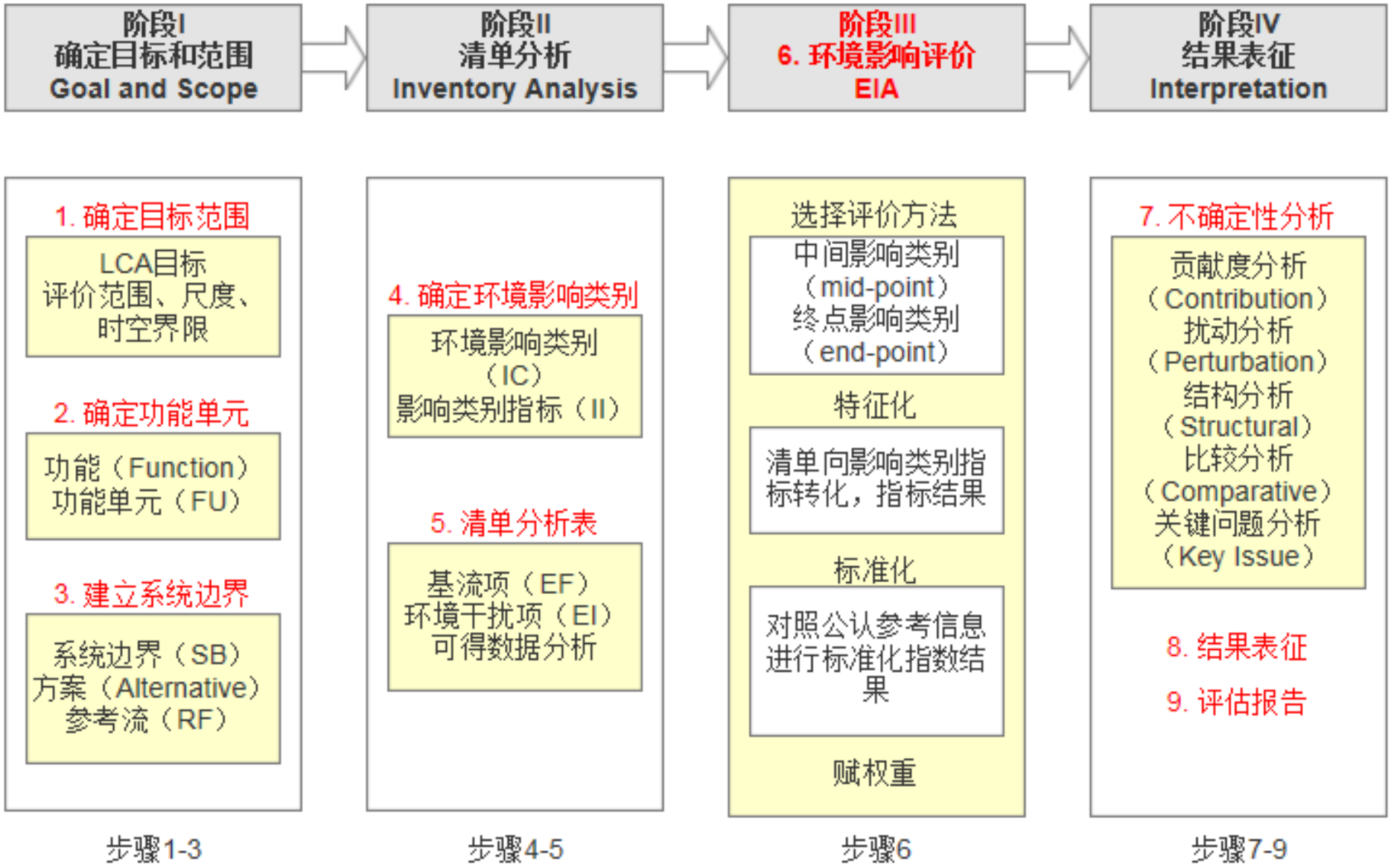


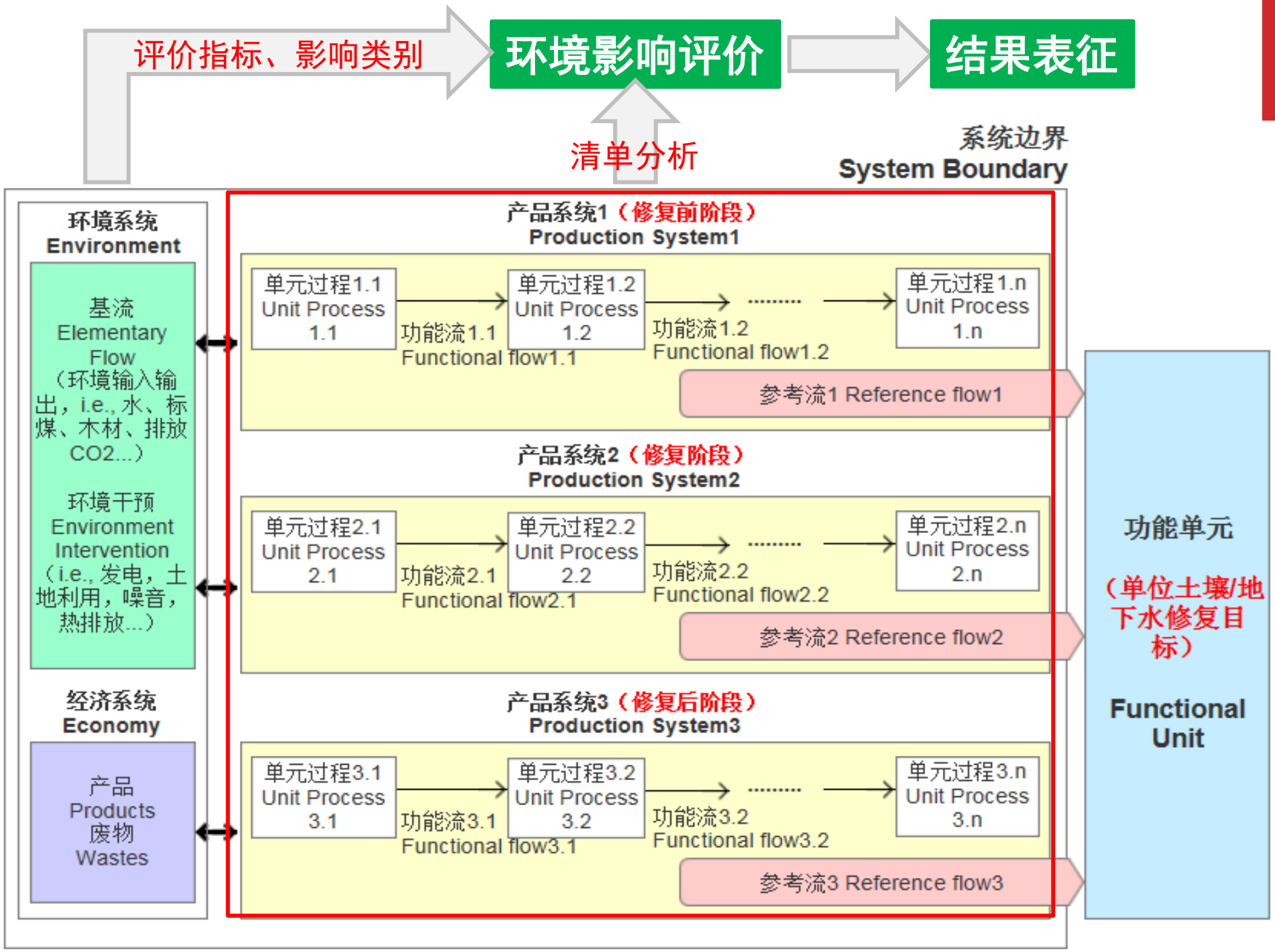
四阶段：

- 目标与范围
- 清单分析
- 环境影响评价
- 结果表征

九步骤

2、研究方法：生命周期评估（LCA）




评价指标、影响类别
环境影响评价
结果表征
清单分析
系统边界
System Boundary
环境系统
Environment
基流
Elementary Flow
（环境输入输出，i.e., 水、标煤、木材、排放CO2...）
环境干预
Environment Intervention
（i.e., 发电，土地利用，噪音，热排放...）
经济系统
Economy
产品
Products
废物
Wastes
产品系统1（修复前阶段）
Production System1
单元过程1.1 Unit Process 1.1
功能流1.1 Functional flow1.1
单元过程1.2 Unit Process 1.2
功能流1.2 Functional flow1.2
单元过程1.n Unit Process 1.n
参考流1 Reference flow1
产品系统2（修复阶段）
Production System2
单元过程2.1 Unit Process 2.1
功能流2.1 Functional flow2.1
单元过程2.2 Unit Process 2.2
功能流2.2 Functional flow2.2
单元过程2.n Unit Process 2.n
参考流2 Reference flow2
产品系统3（修复后阶段）
Production System3
单元过程3.1 Unit Process 3.1
功能流3.1 Functional flow3.1
单元过程3.2 Unit Process 3.2
功能流3.2 Functional flow3.2
单元过程3.n Unit Process 3.n
参考流3 Reference flow3
功能单元
（单位土壤/地下水修复目标）
Functional Unit

3、案例研究：CASE STUDY

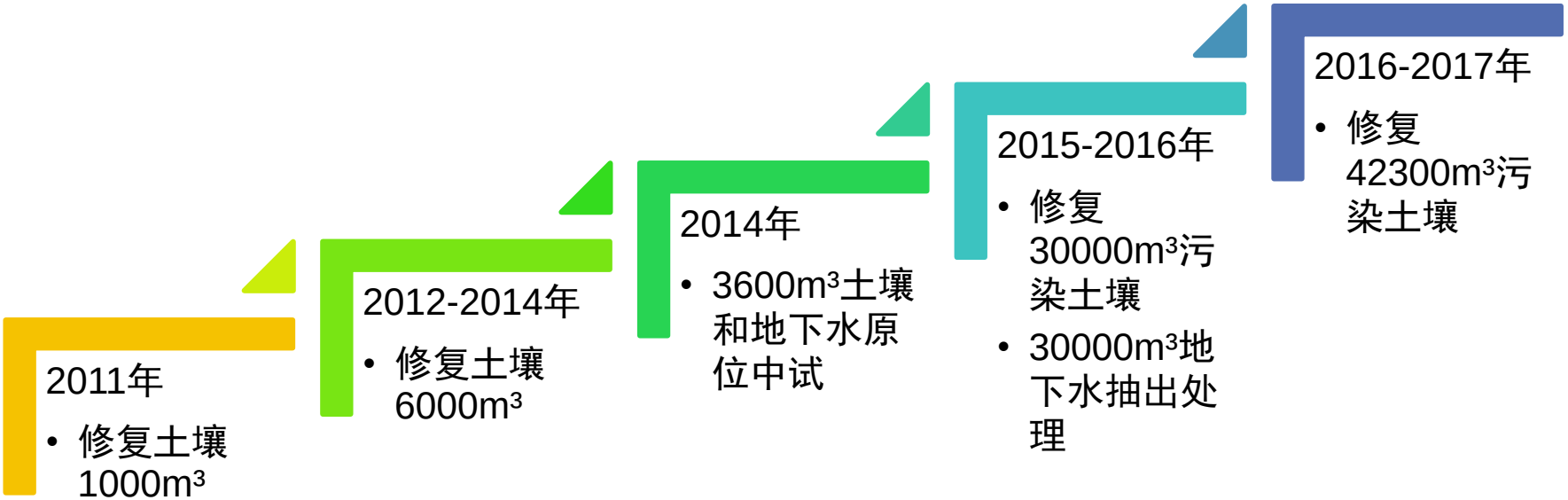
场地类型：原铬盐厂

占地面积：8.3万 m^2

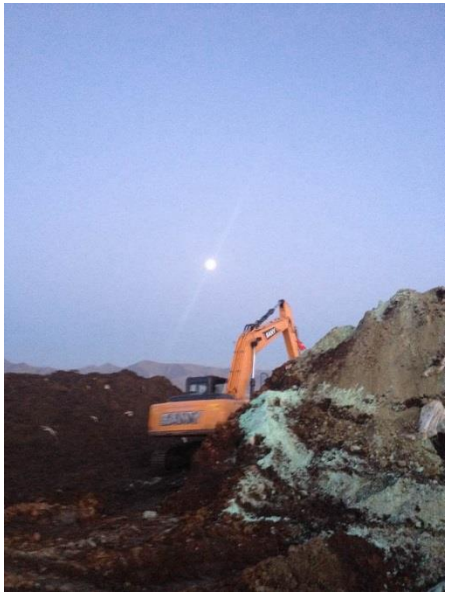
项目实施时间：2014 -

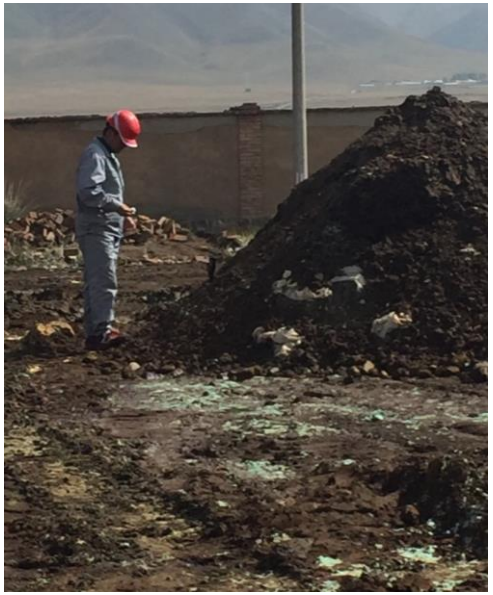
项目背景：1989年投入生产，1999年破产，10年间生产红矾钠（$Na_2Cr_2O_7 \cdot 2(H_2O)$）约4000 t，生产过程中排放的高浓度Cr(VI)废水、红矾钠生产母液以及简单堆放的4.8万m^3铬渣严重污染了厂区内外环境。

3、案例研究：CASE STUDY



3、案例研究：CASE STUDY

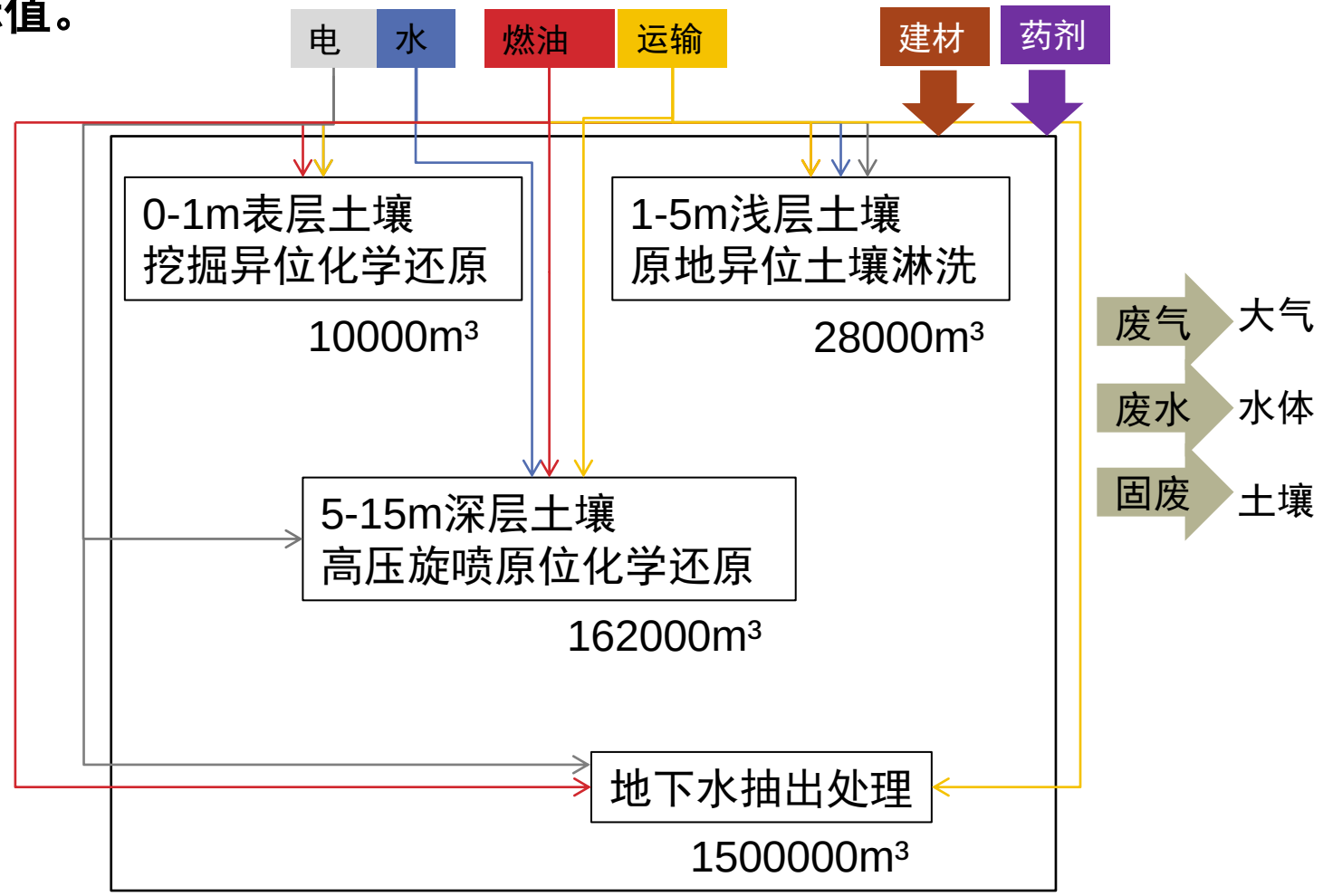




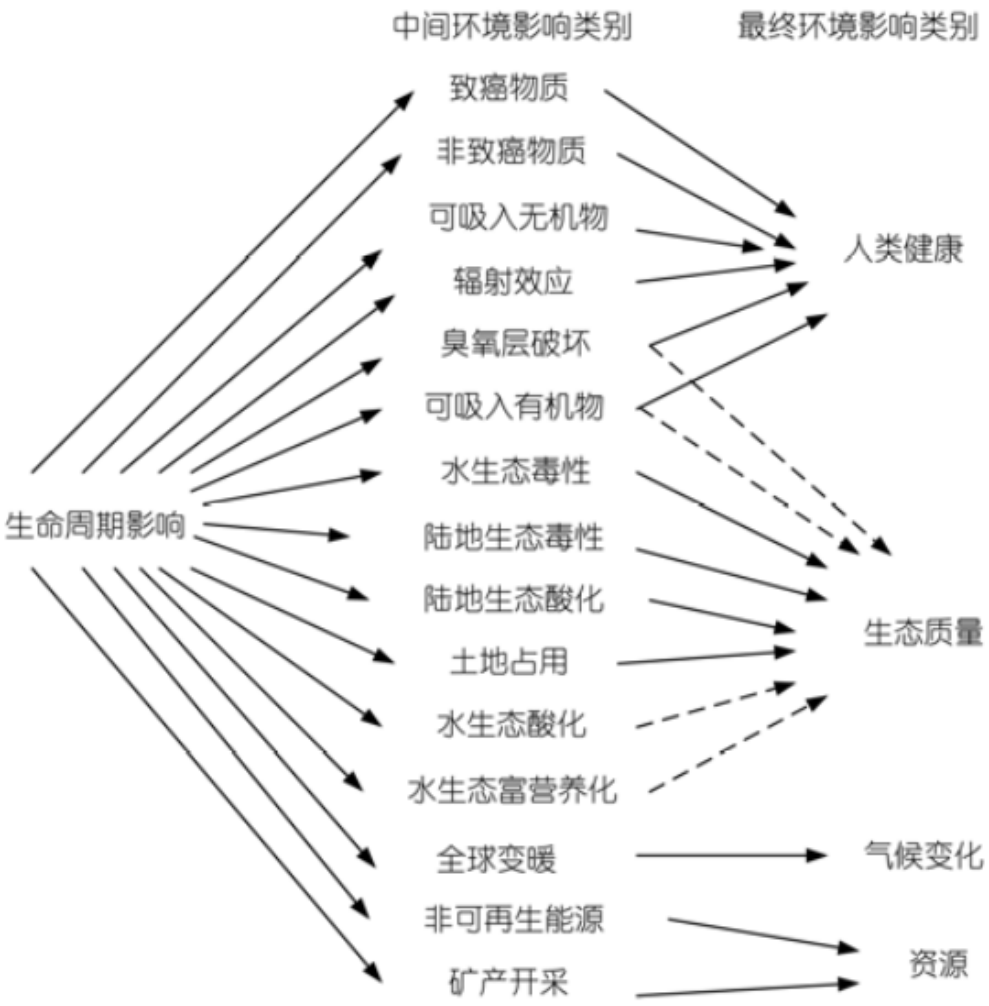
3、案例研究：CASE STUDY

生命周期评估功能单元：将20万方污染土壤和150万方污染地下水修复至目标值。

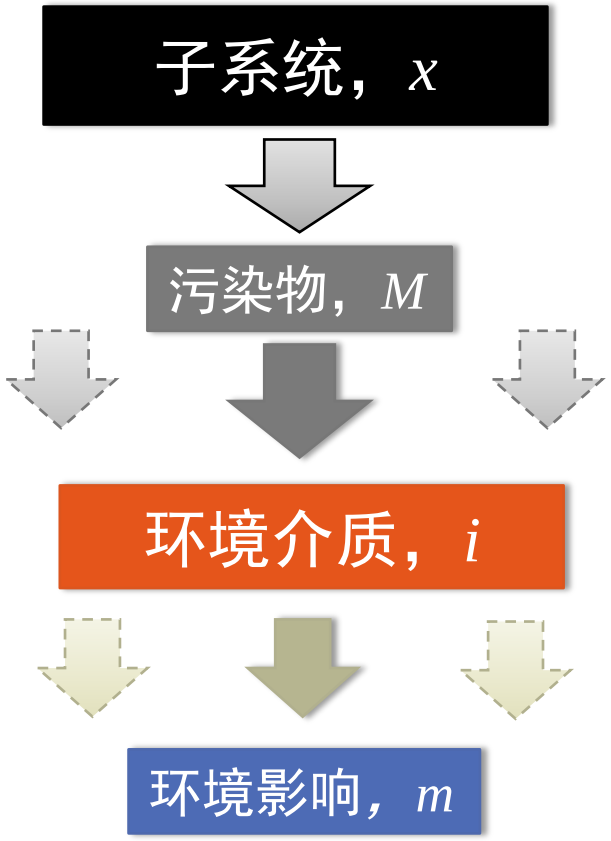
生命周期评估系统边界



3、案例研究：CASE STUDY



环境影响评价方法



IMPACT2002+ 中间和末端环境影响类别 (胡新涛 et al., 2011)

4、结论和展望 KEY POINTS

- 现阶段铬污染场地修复工程造成较严重的二次污染；
- 交通运输、化学药剂的使用、能耗是修复过程主要的二次污染贡献过程；
- 修复后在土壤和地下水中残留大量的硫酸根离子和氯离子（调酸），对土壤环境造成较大的影响。
- 改进现阶段治理修复技术，选择场地周边药剂和修复材料，采用低能耗设备，充分混合搅拌以节约药剂，增加机械运转负荷以降低怠速阶段的能耗等措施，充分评估和计算注射井数量和药剂投加量以平衡修复效果和二次污染之间的关系。
- 通过开展污染场地修复生命周期评估，可定量评估修复过程二次环境影响，促进污染场地绿色可持续修复

谢谢！