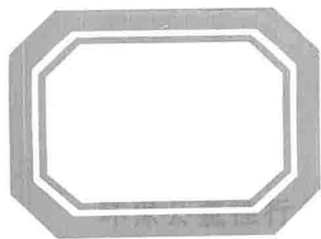


环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

环境铅暴露的 来源解析

HUANJIANG QIANBAOLU DE
LAIYUAN JIEXI

赵秀阁 段小丽 曹素珍 林春野 孙承业 编著



科研专项经费项目系列丛书

· 环境与健康 · 科研专项“涉铅企业周边儿童血铅污染的环境暴露来源解析及
防控对策研究”(项目编号: 201109064)

环境铅暴露的来源解析

赵秀阁 段小丽 曹素珍 林春野 孙承业 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

环境铅暴露的来源解析/赵秀阁等编著. —北京: 中国环境出版社, 2013.11

ISBN 978-7-5111-1621-5

I. ①环… II. ①赵… III. ①铅中毒—预防 (卫生)
IV. ①R135.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 258472 号



出 版 人 王新程
责任编辑 孟亚莉
责任校对 唐丽虹
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (环评与监察图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2013 年 12 月第 1 版
印 次 2013 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 10.25
字 数 220 千字
定 价 40.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》

编著委员会

顾 问：吴晓青

组 长：熊跃辉

副组长：刘志全

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

本书编写组

主编

- 赵秀阁 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
段小丽 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
曹素珍 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
林春野 北京师范大学
孙承业 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所

参加编写

- 陈奕汀 四川省环境保护科学研究院
聂 静 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
王贝贝 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
黄 楠 中南大学冶金与环境学院
李天昕 北京科技大学
范德龙 北京科技大学
董 婷 北京科技大学
程红光 北京师范大学
李培中 北京师范大学
张宏顺 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所
孟聪申 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所
张霖琳 中国环境监测总站
梁 宵 中国环境监测总站
王 琳 北京师范大学
田 靖 鞍山市环境监测站
魏永杰 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
马 瑾 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
王宗爽 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
王先良 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
王菲菲 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
钱 岩 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
王红梅 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室
张金良 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室

“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境

科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 234 项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011 年 10 月

目 录

第一章 概 述	1
1.1 铅的理化性质	1
1.2 铅的用途	2
1.2.1 铅酸蓄电池	3
1.2.2 汽油防爆剂	3
1.2.3 铅颜料	3
1.2.4 铅管和铅板	4
1.2.5 铅防护容器	4
1.2.6 电气与无线电通信	5
1.2.7 印刷	5
1.2.8 工程与电子设备	5
1.2.9 其他用途	5
本章参考文献	6
第二章 铅的来源、排放及分布	7
2.1 铅的来源与排放	7
2.1.1 铅矿	8
2.1.2 煤	12
2.1.3 石油	14
2.2 环境介质中的铅	15
2.2.1 室内外空气中铅污染水平	15
2.2.2 土壤/尘中铅的污染水平	16
2.2.3 水中铅的污染水平	18
2.3 铅的迁移转化	19
2.3.1 水体中铅的迁移转化	19
2.3.2 土壤中铅的迁移转化	20
2.3.3 空气中铅的迁移转化	20
本章参考文献	20

第三章 铅的暴露评价	24
3.1 铅的健康效应	24
3.1.1 对神经系统的损害	24
3.1.2 对消化系统的损害	25
3.1.3 对血液系统的损害	25
3.1.4 对泌尿生殖系统的损害	25
3.1.5 对心血管系统的损害	26
3.1.6 对骨骼系统的损害	26
3.1.7 对内分泌系统的损害	26
3.1.8 对免疫系统的损害	27
3.2 铅的人体暴露	27
3.2.1 暴露评价简介	27
3.2.2 暴露途径及特征	32
3.2.3 铅的暴露评价	45
3.3 铅的生物标志物	49
3.3.1 生物标志物简介	49
3.3.2 铅的暴露生物标志物	51
3.3.3 铅的效应标志物和易感性生物标志物	57
本章参考文献	59
第四章 铅的健康风险评价	64
4.1 环境健康风险评价方法简介	64
4.1.1 环境健康风险	64
4.1.2 环境健康风险评价的基本步骤	65
4.1.3 环境健康评价的计算过程	66
4.2 铅的危害识别	67
4.2.1 基本信息	68
4.2.2 毒性资料	68
4.3 铅的剂量—反应关系	69
4.3.1 铅的剂量	69
4.3.2 铅的效应	69
4.4 铅健康风险评价中常用的暴露参数	70
4.4.1 暴露参数的简介	70
4.4.2 健康风险评价中的暴露参数	72
4.4.3 我国人群相关暴露参数	73

4.5 基于环境介质铅的健康风险评价	89
4.5.1 矿区土壤铅污染的健康风险评价	89
4.5.2 大气铅污染的健康风险评价	92
4.5.3 饮用水铅污染的健康风险评价	93
4.5.4 食物铅污染的健康风险评价	94
4.6 基于生物标志物的健康风险评价	96
4.6.1 模型评价方法	96
4.6.2 直接评价方法	101
本章参考文献	102
第五章 铅暴露来源解析	107
5.1 统计学/模型推断方法	108
5.1.1 基本原理	108
5.1.2 方法介绍	108
5.1.3 应用	109
5.2 空间分析方法	110
5.2.1 基本原理	110
5.2.2 方法介绍	111
5.2.3 应用	111
5.3 同位素示踪方法	112
5.3.1 基本原理	112
5.3.2 方法介绍	112
5.3.3 应用	113
5.4 其他方法	126
本章参考文献	128
第六章 铅的风险防控对策	136
6.1 国外经验	136
6.1.1 美国	136
6.1.2 欧盟	139
6.1.3 日本	140
6.2 我国现状	141
6.2.1 政策、法律、法规	141
6.2.2 有关标准	142
6.2.3 有关措施	147

6.2.4 存在的问题	148
6.3 我国铅风险防控的必要性	149
6.4 我国铅污染防治对策建议	150
6.4.1 继续开展全国范围内铅污染导致健康损害的专项调查	150
6.4.2 健全环境与健康监管体制	151
6.4.3 补充环境标准确立保障人体健康的中心地位	151
6.4.4 构建重金属（铅）环境与健康风险评估体系	152
6.4.5 依据土壤污染水平积极推动土壤修复工作	152
6.4.6 加强铅污染环境与健康信息公开及宣传教育	152
本章参考文献	153

第一章 概 述

铅是对人体有毒有害的重金属之一。美国环保局根据充分的动物实验及部分人体研究，自 1993 年起将铅及其化合物归类为对人类可能致癌物（Group B2）。美国国家环境卫生科学研究所建议，将醋酸铅（ $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ ）和磷酸铅（ $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_3$ ）作为合理的、预期的人类致癌物。

尽管有很多证据证明铅暴露具有潜在的致癌性（IARC，2006），IARC（国际癌症研究机构）仍因为铅对人类及动物的致癌效应均不明确，将无机铅化合物归类为对人类可能致癌物（Group 2A），将有机铅化合物归类为非致癌物（Group 3）。

我国自 1987 年起，将铅纳入了有毒化学品的优先登记名单，并于 1989 年规定铅为水中优先控制污染物黑名单中 10 种无机污染物之一（周文敏，1991）。

1.1 铅的理化性质

铅是一种化学物质，化学符号是 Pb（拉丁语 Plumbum），CAS 号为 7439-92-1，是周期表中第四族元素，原子序数 82，相对原子质量 207.2。纯铅为蓝灰色或银灰色，没有氧化层的铅色泽光亮，密度高，硬度非常低，延性很强（李瑞松，1996）。

金属铅的熔点较低，为 327.5°C ，沸点为 1620°C ，加热至 $400\sim 500^\circ\text{C}$ 时即有大量铅蒸气冒出，在空气中迅速氧化为氧化亚铅（ Pb_2O ），凝集成铅烟（王守志，1992；陆贞玉，李文智，2009）。随着熔铅温度的升高，铅可以生成氧化铅（密陀僧， PbO ）、三氧化二铅（黄丹、樟丹， Pb_2O_3 ）、四氧化三铅（红丹， Pb_3O_4 ）。所有铅的氧化物都以粉末状态存在，易溶于酸。

由于金属铅密度较大（ 11.34 g/cm^3 ），所以单位体积的金属铅很重， 1 m^3 的铅重达 11.3 t；铅质软且有良好的展性，在常温下即可扎成铅皮、铅箔，但没有延性，不能拉成丝；铅对 X 射线及 γ 射线具有良好的吸收能力，广泛用作 X 光机和原子能装置的防护材料。正是具有硬度小、密度大，熔点低、容易提取，比较软、易于加工，在液态下流动性大等特性，并且分布广泛，铅已经成为人类最为广泛使用的金属之一。

金属铅的导电性能低，且易氧化。金属铅在空气中受到氧、水和二氧化碳作用，其表面会很快氧化成灰黑色的氧化铅。这层氧化铅形成一层致密的薄膜，防止内部的铅进一步

2 环境铅暴露的来源解析

被氧化。铅的化学性质比较稳定，不易被腐蚀，因此它往往用于制作装载强腐蚀性物质（比如硫酸）的容器。加入少量铈或其他金属可以提高它的抗腐蚀性。

在加热下，铅能快速地与氧、硫、卤素化合；铅与冷盐酸、冷硫酸几乎不起作用，能与热或浓盐酸、硫酸反应；铅与稀硝酸能反应，但与浓硝酸不反应，且能缓慢溶于强碱性溶液（郭学益，2009）。铅对人体健康危害主要与它的氧化活性有关。

铅及其化合物的主要性质见表 1-1（Weast，1985）。

表 1-1 铅及其化合物的主要性质

物质名	化学式	原子量/ 分子量	熔点/ ℃	沸点/ ℃	颜色和 物理形态	冷水中 溶解度/ (g/L)	溶剂
铅	Pb	207.19	327.502	1 740	蓝灰色或 银灰色	不溶	HNO ₃ 、热的浓硫酸、 热水、甘油、乙醇（轻 微溶解）
醋酸盐	Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	325.28	280	—	片状结晶	443	—
碳酸盐	PbCO ₃	267.2	315（分解）	—	白色粉末	0.001 1	酸、碱、热水中分解
氯酸盐	Pb(ClO ₃) ₂	374.09	230（分解）	—	—	可溶	乙醇
氯化物	PbCl ₂	278.1	501	950	—	919	氨盐、在稀盐酸和稀 氨水中微溶、热水中 33.4 g/L
硝酸盐	Pb(NO ₃) ₂	331.2	470（分解）	—	白色粉末	376.5	乙醇、碱、氨、热水 中 1 270 g/L
正磷酸盐	Pb ₃ (PO ₄) ₂	811.51	1 014	—	—	0.000 14	碱、HNO ₃
草酸盐	PbC ₂ O ₄	295.21	300（分解）	—	—	0.001 6	HNO ₃
二氧化物	PbO ₂	239.19	290（分解）	—	棕色结晶	不溶	稀盐酸、微溶于醋酸
一氧化物	PbO	223.19	888	—	黄色粉末和橘 黄色结晶两种 变体	0.017	稀 HNO ₃ 、醋酸
硫酸盐	PbSO ₄	303.25	1 170	—	白色粉末	0.042 5	氨盐、微溶于浓硫酸
硫化物	PbS	239.25	1 114	—	黑褐色结晶	0.000 86	酸

1.2 铅的用途

铅早在几千年前就已被人们认识并广泛应用。《圣经·出埃及记》中就已经提到了铅，公元前 3000 年，人类已会从矿石中熔炼铅。在英国博物馆里藏有在埃及阿拜多斯清真寺发现的公元前 3000 年的铅制塑像。在公元前 1792—前 1750 年巴比伦皇帝汉穆拉比统治时期，已经有了大规模的铅生产。

我国早在殷代末年纣王时便会炼铅。公元前 16 至前 11 世纪的商朝中期，青铜器的铸造便已使用到铅。公元 400 年前，我国古籍中便记载了铅白的人工合成步骤。铅提炼出

来后可以制作成铅丹或铅白等，其成分为水合白铅矿，主要应用在配釉和制作颜料（又称铅粉、水粉、胡粉）中，例如秦俑彩绘便使用了铅白。铅对近代文明的贡献很多，其中应当首推铅字。1450年，德国人谷登堡将制成的铅合金活字版以油墨印刷，从而奠定了现代铅印的基础。现在，铅及其化合物已经被广泛应用于工业生产过程及各种产品生产中，如建筑、化工、制造、印刷、交通运输、军火等多个行业，以及颜料和油漆、化妆品、电子产品器件、陶瓷和釉料、医药、放射性防护等多类产品。

2012年，我国精炼铅产量为464.6万t，消费量为462.8万t，最大消费领域为铅酸蓄电池生产，约占铅总消费量的70%（王金良，孟良荣，2006），其次为铅板及铅管、铅片及合金生产和颜料、化工制品生产（阎雷姣，李响，2012）。

1.2.1 铅酸蓄电池

铅酸蓄电池具有电力强劲、使用寿命长、使用范围广、原材料丰富、造价低廉等显著优点，是一种技术完备、性能优越、发展十分成熟的传统蓄电池。目前被广泛应用于生产、生活等各个领域，它所消耗的铅量占全球总耗铅量的82%（阎雷姣，李响，2012）。铅酸蓄电池一般由正极板、负极板、隔板、电池槽、电解液和接线端子等部分组成，其电极主要由铅制成。我国是铅酸蓄电池的生产大国，主要产地包括浙江、山东、河北、江苏、湖北、广东等。

1.2.2 汽油防爆剂

汽油是从石油中提炼出来的一种液体燃料，也是人类使用最为广泛的一种燃料。石油（或者称为原油）是不能直接作为燃料使用的，是烃类化合物的混合物。在汽油的各种性质中，抗震性是其最主要的一个性能。为了提高汽油的抗震性，可以在汽油中适当加入一些添加剂去抑制自燃的发生。用得最多、效果颇佳的添加剂就是四乙基铅。加0.1%的四乙基铅可以使直馏汽油的辛烷值提高14~17，辛烷值愈低的汽油，加四乙基铅的作用愈明显。如在正庚烷中加0.1%四乙基铅可提高辛烷值47。四乙基铅的作用是在燃烧过程中分解出铅，然后氧化成氧化铅。氧化铅在烃类的燃烧反应中，可以将烃类过氧化物分解成醛类化合物，从而减少了烃类过氧化物分解成自由基的机会，使汽油蒸气的自燃倾向大大减少，从而起到了抗震的效果，而航空用油的四乙基铅的含量还要更高一些（陶甄，1983）。

1.2.3 铅颜料

颜料是一类具有装饰和保护双重作用的有色物质，通常是以细微粒子的分散形式应用于涂料、油墨、塑料、橡胶、纺织品、纸张、建材和搪瓷等制品中（毕胜，2003）。颜料按分子结构和组成，可分为无机颜料、有机颜料和金属颜料等类型。全球颜料消费总量中，67%用于油墨，16%用于涂料，10%用于塑料，其他用途占7%。

铅铬颜料行业是一个传统行业（杜昌林，2013）。铅铬黄颜料（孙焦明，2012）英文

名称: Lead Chromate Yellow, 颜料索引号: 颜料黄 34 C.I.Pigment Yellow 34; CASRN: 7758-97-6。分子式为 $x\text{PbCrO}_4 \cdot y\text{PbSO}_4 \cdot z$ (x 、 y 的数值随铅铬黄颜料的颜色变化而变化, z 为无机或有机表面处理物质), 相对分子量为 323.22。其性状为单斜或斜方结晶体的黄色粉末, 相对密度为 6.12, 熔点为 844°C 。不溶于水、溶剂和醋酸, 溶于强碱或无机强酸。铅铬黄作为一种重要的无机彩色颜料, 也是传统意义上最重要的无机黄颜料, 从 18 世纪起, 铬黄颜料就已经开始风靡世界了 (Cowley, 1986)。铅铬黄色谱完整, 工业产品按色泽深浅分, 有柠檬黄、浅铬黄、中铬黄、深铬黄和钼铬黄等品种。因其具有优良的使用性能, 价格低廉, 色泽艳丽, 色域广泛, 所以在涂料、油墨、塑料、人造革的着色以及广告色的制造等方面得到广泛应用。

无机颜料的生产有着悠久的历史, 公元前 3000—前 2000 年, 人类发明了铅白的生产方法, 公元 1 世纪开始有了红丹和黄丹的生产, 1818 年铅铬颜料问世。我国铅铬颜料的生产开始于 20 世纪 40 年代, 最早生产铅铬颜料的是精勤家庭化学工业社, 创建于 1937 年 1 月, 月产量 50~100 kg, 1946 年成立了新中油脂厂, 到 1975 年已经建立了十余家国有企业, 各企业的产量从几百吨到 2 000 t 不等, 总产量在 10 000 t 左右。到了 2011 年, 铅铬颜料的产量已达 52 699.9 t。目前, 我国现有铅铬颜料生产企业 40 余家, 分布较为分散, 沿海、中南、中原三大区域都有。东南沿海地区是国内铅铬颜料生产制造业最为引人关注的中心区域, 各企业的生产工艺基本相同。据了解, 中小规模的铅铬颜料生产企业在江苏、浙江、山东、河南、河北、湖南也有不少, 产能在 1 000 t/a 以上的不足 20 家。

铅铬黄在我国虽已有几十年的生产基础, 但其品种的质量水平还较低, 高技术含量的产品还很少。铅铬黄致命的弱点是含有铅、铬重金属元素, 使之在国际上的应用受到越来越严格的限制, 产量也逐渐萎缩, 越来越多地被性能更好的新品 (如铋黄, 即钼酸铋/ 钼酸铋混合体) 所取代。目前的产品只能用于性能要求不高的场合, 其中 80% 左右用于涂料工业。

1.2.4 铅管和铅板

铅管和铅板在化工、冶金中常作为保护设备的耐酸、耐腐蚀材料、铅与其他金属组成合金, 广泛用于轴承耐磨合金、印刷活字版合金、焊料合金以及榴炮弹壳等。

自来水管和管道焊料中铅的渗出以及水龙头含有的铅是城市自来水中铅污染的主要来源。用 488 nm 蓝色荧光测定两种自来水管中的铅含量, 结果表明镀锌钢管管道水样中铅的含量为 $0.0259\text{ }\mu\text{g/ml}$, 硬聚氯乙烯 (U-PVC) 管道水样中铅的含量为 $0.0135\text{ }\mu\text{g/ml}$ 。因此, 若考虑潜在的铅污染作为自来水管道的选材, 硬聚氯乙烯 (U-PVC) 管道可能优于镀锌钢管管道 (党艳秋, 王炳福, 2007)。

1.2.5 铅防护容器

铅由于其较好的 X 射线及 γ 射线吸收能力, 被广泛地用作 X 光机和原子能装置的防护材料, 也常用于进行放射性化学药剂试验的实验室。铅罐和铅片可保护操作人员免受放

射性药品危害，并防止胶片因辐射的散射光源而走光；衬铅被视为“重屏蔽容器”，用于清除核废料；铅皮可保护运送放射性液体的管道。高速切屑钢含铅 0.2%~0.5%，具有易于机器加工的特性，在现代工程上必不可少。

铅及其合金是生产电缆的重要原料，主要用作电缆的护套材料，在绝缘层外，保护层内。铅套是以挤包的形式存在，在电缆中可以看做是铠装层，也可以看做是护套层，不过国家标准将它视为一个独立的结构，主要起保护缆芯的作用。一般铅套电缆在电力电缆当中使用较多，具体可参考国家标准 GB/T 12706—2008。导体—绝缘—成缆—内护—铅套—外护套，这是最基本的结构。以前的铅套电缆护层起着防腐蚀与防机械损伤的作用，也用来增加屏蔽效果。过去的铝套电缆和敷设于腐蚀环境中的铅套电缆都要加上塑料外护层。现在的无卤要求越来越高，铅套材料的市场已经萎靡，铝套电缆开始逐步替代铅套电缆。但在海水工业中，铅套材料比铝套材料有优势。

1.2.6 电气与无线电通信

长期以来，市话电缆采用纸绝缘铅护套通信电缆。当电线用橡皮绝缘时，铅电缆包皮用于制造包裹电缆及海底电缆的铅皮和熔断保险丝；它可用来隔绝引起橡皮损坏的光和大气成分。海底电缆也是一种用铅包皮以防止海水和海底有机物腐蚀的有效密封。铅的这一用途正被较坚固耐久且更合适的绝缘材料所取代。

1.2.7 印刷

长期用于印刷杂志和报纸的活字金由含铅（80%）、锑和铋的合金组成，此种合金凝固时膨胀并产生较好的印刷效果。目前，由于采用平版胶印等较新的印刷技术，印刷中对铅的需求不断减少，含铅合金在印刷中的应用将会被逐渐淘汰。

1.2.8 工程与电子设备

铅最早的一个用途是用作焊料。尽管铅在某些工程上的用量正在减少，但某些用途的用量正大量增长，其中一个用途是作为防散射 X 射线和其他原子辐射的防护用具。

1.2.9 其他用途

酒瓶塞用铝箔保护，目前虽已采用许多代用品，但比较昂贵的酒仍在用它。另外，由于其较大的比重，铅是制造子弹、炮弹等的最好材料。铅的一些化合物，如氧化铅在橡胶硫化过程及精炼石油时，用作促进剂；另外一些含铅化学物质，如醋酸铅等不仅用于医药部门，而且还在纺织工业上用作媒染剂等。

从人们深入认识到铅对人体的毒害作用以来，基于性能及环保的要求，铅的应用和消费日益降低。目前，虽然汽油、染料、焊锡和水管中一般都不含铅，但铅及其化合物在其他众多领域的使用仍相当广泛，如用作蓄电池的电极、聚氯乙烯的稳定剂、各种电子产品

器件等。

本章参考文献

- [1] ATSDR, lead [EB/OL], <http://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=22>.
- [2] Cowley A C D. 1986. Lead chromate - that dazzling pigment. Review of Progress in Coloration and Related Topics. 16 (1): 16-24.
- [3] IARC. 2006. Lead and lead compounds. Monographs 87.
- [4] USEPA. Lead and compounds (inorganic) [EB/OL], <http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0277.htm#content>.
- [5] Weast R C, Astle M, et al. (1984). 1985: CRC handbook of chemistry and physics, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- [6] 毕胜. 2003. 国内外颜料工业概况及发展趋势. 涂料工业, 7: 44-47, 56.
- [7] 党艳秋, 王炳福. 2007. 两种自来水管对水中铅含量的影响. 科技咨询导报, 21: 32-34.
- [8] 杜昌林. 2013. 铬铅颜料行业的现状及走向. 中国涂料, 2: 34-38.
- [9] 郭学益, 钟菊芽, 宋瑜, 等. 2009. 我国铅物质流分析研究. 北京工业大学学报, 11: 1554-1561.
- [10] 陆贞玉, 李文智. 2009. 铅中毒. 中国校医, 23 (5): 600-602.
- [11] 孙焦明. 2012. 铅铬黄颜料使用及安全性能. 中国涂料, 9: 17-18, 27.
- [12] 陶甄. 1983. 汽油与铅污染. 环境科学动态, 1: 4-5.
- [13] 王金良, 孟良荣. 2006. 精铅市场和铅蓄电池的发展: 2006 中国动力电池高层论坛论文集.
- [14] 王守志. 1992. 重点登记管理化学毒物介绍之二十九——铅及其化合物. 化工劳动保护 (工业卫生与职业病分册), 1: 37-38.
- [15] 阎雷姣, 李响. 2012. 《废旧铅酸蓄电池绿色节能回收工艺调研及其标准体系的建立》的意义. 品牌与标准化, 2: 15-16.
- [16] 周文敏, 傅德黔, 孙宗光. 1991. 中国水中优先控制污染物黑名单的确定. 环境科学研究, 4 (6): 9-12.