

铅 毒 防 护



QIANDU FANGHU QIANDU FANGHU

QIANDU FANGHU

李蕙 主编

中国劳动出版社

5.1

H

铅 毒 防 护

李 蕙 主 编

中国劳动出版社

内 容 提 要

本书共分十五章。详细地介绍了铅毒危害、铅中毒的临床表现。重点阐述了铅矿开采、选矿、冶炼及铅的应用工业（包括化工、印刷、蓄电池业等）铅毒的来源，工程防护技术措施，如铅毒源的密闭装置、通风排铅系统的计算与设计。此外，还扼要介绍了空气及生物样品中铅的监测方法及有关铅毒的综合预防措施。

本书可供有关铅生产的企业、科研、学校和设计部门从事环境保护、劳动保护和通风除尘等专业技术人员参考。对从事职业病及有关监测人员也能提供一定的帮助。

铅 毒 防 护

李 蕙 主 编

责任编辑 张秉淑

中国劳动出版社出版

（北京市和平里中街12号）

北京市隆昌印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

787×1092毫米 16开本 13.75印张 335千字

1991年3月北京第1版 1991年9月北京第1次印刷

印数，3000册

ISBN 7-5045-0645-1/R·011 定价：7.60元

前 言

本书共分十五章。详细地介绍了铅毒危害、铅中毒的临床表现。重点阐述了铅矿开采、选矿、冶炼及铅的应用工业（包括化工、印刷、蓄电池业等）铅毒的来源；工程防护技术措施，如铅毒源的密闭装置、通风排铅系统的计算与设计。此外，还扼要介绍了空气及生物样品中铅的监测方法，及有关铅毒的综合预防措施。

本书在编写时力求有理论而重实践；图文并茂。还介绍国内外一些先进技术与经验，这对今后有关企业的技术改造和设计有一定的指导和参考价值。

本书在编写过程中得到了劳动部职业安全卫生监察局和有色金属工业总公司安环部的大力支持，在此致诚恳的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，热诚地希望读者批评指正。

参加本书编写的有李蕙、邱肇云、罗纪祥、艾楚林、李支霏、武芳莲、肖光志等，李蕙主编。

目 录

第一章 概 述

- 第一节 铅工业在国民经济中的重要地位..... 1
- 第二节 我国铅工业的发展状况..... 2
- 第三节 铅的主要性质..... 3
- 第四节 铅毒预防的重要意义..... 4

第二章 铅毒的危害

- 第一节 铅进入人体的途径..... 6
- 第二节 铅在人体内的代谢过程..... 7
- 第三节 铅在人体内的中毒机理.....10
- 第四节 铅的安全浓度.....11

第三章 铅中毒的临床表现及诊断

- 第一节 铅中毒的临床表现.....16
- 第二节 实验室检查.....17
- 第三节 铅中毒的诊断.....24

第四章 铅中毒的治疗

- 第一节 驱铅疗法.....28
- 第二节 中草药治疗.....31
- 第三节 对症治疗.....32
- 第四节 其它疗法.....33
- 第五节 急性及有机铅中毒的治疗.....34

第五章 铅毒的综合预防措施

- 第一节 组织管理措施.....35
- 第二节 铅毒源的调查.....36
- 第三节 防铅毒的工程技术措施.....38
- 第四节 个人防护.....42

第六章 铅毒的来源

- 第一节 铅毒的来源.....45
- 第二节 铅矿开采和选矿中的铅毒源.....45
- 第三节 铅冶炼生产中的铅毒源.....46
- 第四节 化工工业的铅毒源.....47
- 第五节 蓄电池制造业的铅毒源.....48
- 第六节 印刷行业的铅毒源.....49
- 第七节 铅的其它应用工业的铅毒源.....50

第七章 铅毒源的密封

第一节 密闭形式	51
第二节 贮矿仓的密闭	52
第三节 运输设备的密闭	54
第四节 破碎设备的密闭	56
第五节 筛分设备的密闭	61
第六节 投料、出料设备的密闭	62
第七节 通风柜	63

第八章 抽风排毒

第一节 抽风量的计算与选择	64
第二节 排风系统	77

第九章 除尘

第一节 除尘器的分类及其效率估计	86
第二节 铅生产中几种常见的除尘器	89
第三节 其它除尘方法	106

第十章 铅矿开采铅毒的防护

第一节 铅矿开采的一般方法及某些方法的进展	116
第二节 铅矿井下通风	121
第三节 铅矿开采中应注意的防护问题	126

第十一章 铅选矿厂中的铅毒防护

第一节 铅矿精选中的生产工艺简介	130
第二节 选矿中的技术装备	130
第三节 选矿中铅毒防护现状	132
第四节 选矿中铅毒防护的努力方向	133

第十二章 铅冶炼业铅毒的防护现状

第一节 铅冶炼工艺流程概述	135
第二节 国外铅冶炼工艺及尘毒控制技术	145
第三节 我国铅冶炼生产工艺及技术装备现状	158
第四节 铅冶炼工艺的发展趋势	162

第十三章 铅冶炼业铅毒的防护措施

第一节 工艺技术条件的控制	169
第二节 生产设备的密闭	173
第三节 铅冶炼烟气的处理	179
第四节 铅烟雾的净化	187

第十四章 铅应用工业铅毒的防护

第一节 化学工业铅毒的防护	190
第二节 印刷业铅毒的防护	192
第三节 蓄电池工业铅毒的防护	194
第四节 其它业的铅毒防护	195

第十五章 铅毒监测

第一节 铅毒监测概况.....	197
第二节 厂房空气中铅的测定.....	200
第三节 生物样品中铅的测定.....	205

第一章 概 述

第一节 铅工业在国民经济中的重要地位

铅是我国有色金属发展的主要产品。我国铅的储藏量很大,这为发展铅工业提供了坚实的基础。同时,还由于铅在国内外有很好的消费市场。据资料报导:铜、铝、铅和锌约占我国全部有色金属消耗量的96%,世界上铅的消费量以2~3%的速度增长。当前,我国几种主要的有色金属还不能满足国民经济的需要,每年要花大量的外汇进口这些金属材料。优先发展铝,积极发展铅、锌和铜,是我国有色金属工业的发展方针。

由于铅具有各种优良的特性,如密度高、熔点低、柔软、易加工、抗腐蚀性强,故在许多工业部门有着广泛的用途。见表1—1。铅的主要用途是:

1. 蓄电池工业 蓄电池工业需要用大量的氧化铅,用作栅状铅片之中的填充料,蓄电池的阳极板是金属铅铸成的。我国近几年蓄电池业所消耗的铅量占总铅消耗量的28%。

2. 耐酸防腐及屏蔽材料 可用作电缆包皮,各种耐酸、防腐铅板和铅管;防放射性线用的防护层和防护屏。

3. 合金材料 耐磨轴承、印刷活字板、焊料等合金均要用铅金属。

4. 化工原料 醋酸铅不仅用于医药部门,而且在纺织工业上用来作媒染剂;氧化铅在橡胶硫化过程及精炼石油时,用作促进剂;染料、玻璃、陶瓷及油漆工业要用铅丹;四乙基铅加入汽油中作为动力汽油的抗震剂等等。

表1—1 铅合金成分和用途

类 别	主 要 成 分	用 途
耐蚀合金	Pb—6Sb—0.2Cu—0.5Sn Pb—6.5Sb—Sn Pb—1PbO Pb—0.18Sn—0.1Bi—0.15As—0.1Te Pb—0.5	化工设备和管道 蓄电池板 蓄电池栅板、消声器构件 电缆护套 电话电缆护套
焊料合金	Pb—50Sn Pb—1Sn—1.5Ag	电子工业用焊料 高温焊料、电解槽耐蚀件
轴承合金	Pb—16Sb—16Sn—2Cu Pb—15Sb—5Sn—1Cu	轴 承 轴 承
印刷合金	Pb—20Sb—Sn—1Cu	铅字和铅板
模具合金	Pb—10Sb—3Sn—40Bi	塑料和机械工业用模具

从表1—2可以看出铅金属的消费所占的比例,从而反映出铅的主要用途。

表1—2 铅 的 消 费 情 况

用 途 (%)	中 国	美 国	世 界
蓄 电 池	28	63.45	50~60
汽油防爆添加剂		18.92	12~20
弹 药	9	6.81	6
颜 料		7.17	7
电缆包皮	16	2.00	
焊 料		5.2	6
轻 工	13		
氧 化 物	12		
铅 材	8	2.55	
其 他	14		
总消费量 (吨)	20.4	117.67	470~560

第二节 我国铅工业的发展状况

我国古代的炼铅技术长期处于世界领先地位，制作铅白、铅丹等医药以及化装用的铅化合物等，其发明和应用年代也远在欧洲之前。

我国不仅有着铅生产的悠久历史，还在有着丰富的资源，在有色金属品种中，铅金属是资源优势的品种。分布面广，全国有七个自然地区，如南岭、兰坪、秦岭、三会、内辽、狼山、长江中下游地区等。

新中国的铅工业是在十分薄弱的基础上发展起来的。1952年，我国实际铅产量为8921吨。超过了旧中国的最高水平。到1984年末，实际产铅量为224596吨。目前全国铅生产企业已遍布全国各地，并形成采、选、冶及加工的配套企业。随着生产规模的不断扩大，生产技术和各项技术指标也取得了可喜的进步。

我国铅矿开采方法以地下开采为主，采用传统的有轨开采技术。地下开采占95%，露天开采占5%。国外发展起来的高效率安全大直径深孔采法已在凡口铅锌矿试验成功，并推广使用。近年来，铅锌矿山平均出矿品位铅加锌为5~7%，铅大约占1.64%。

我国铅锌矿山选矿厂处理的原矿，主要为硫化矿，仅少部分氧化矿和混合矿。硫化矿的选矿方法一般采用优先浮选，或混合浮选流程；某些矿山还采用优先浮选和混合浮选相结合的可浮选流程。氧化矿选矿法采用硫化—浮选流程，极难选的送冶炼厂直接处理。混合矿选矿方法仍以浮选为主。我国铅锌选矿生产工艺与国外基本相同，技术指标也比较接近，但精矿质量略显逊色。

我国铅冶炼全部采用火法生产，湿法炼铅尚处于试验研究阶段。硫化铅精矿的处理以烧结机（或烧结锅）烧结—鼓风炉熔炼—火法与电解法精炼流程占主导地位。采用其它工艺进行生产的有南宁冶炼厂采用反射炉沉淀熔炼法生产粗铅；广州前进冶炼厂采用沸腾炉低温熔烧—电炉反应沉淀熔炼法生产粗铅；正在西北建设的铅锌冶炼厂将采用国外先进的QSL直接炼铅法。氧化铅矿与氧化铅精矿，少部分掺与硫化矿一起处理。大部分采用制团—鼓风炉熔炼流程处理。与国外炼铅厂相比，我国的炼铅厂生产规模较小，装备水平不高，自动化程度较低，富氧与预热空气冶炼技术也尚未采用，烟气中二氧化硫大部分没有回收，存在环境与铅

中毒问题。

我国注意了发展铅生产的同时,也进行了再生铅的生产,建立了一些再生铅冶炼厂,这对回收国家的铅资源和发展地方工业都起到了积极的作用。

根据我国和世界铅金属的消费量来看,铅的需求量还会大幅度地增长,发展铅生产是势在必行。表1—3为铅需求量的预测值。

表1—3 1985年至2000年铅需求量预测值

国 家	需 求 量 预 测 值(万 吨)			
	1985年	1990年	1995年	2000年
中 国	20	25	30	36
世 界	587	672	721	711

我国发展铅工业,不但有丰富的资源和广阔的国内外市场,而且有较高的经济效益。党中央和国务院十分重视铅锌工业的发展。确定了“积极发展铅锌”的正确方针,制定了既宏伟又可行的发展规划及一系列鼓励铅锌工业发展的政策。我国发展的目标不仅要使铅锌产量居世界前列,而且在装备水平及技术经济指标上也要赶超世界先进水平。

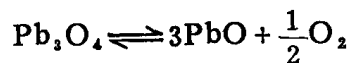
第三节 铅 的 主 要 性 质

一、铅的化学性质

铅是元素周期表中第四类主族元素,原子序数为82,原子量207.19,化合价为+2和+4价。

常温下,在干燥的空气中,铅不会发生任何化学变化。而在潮湿和含有二氧化碳的空气中,铅被氧化成二氧化铅,形成暗灰色的覆盖膜,此膜可以慢慢地软化,变成碱性碳酸铅 $[3\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2]$,可防止内部继续氧化。

铅在空气中加热熔化时,开始氧化生成氧化铅(PbO),加热至 $330 \sim 450^\circ\text{C}$,则可转变成三氧化二铅(Pb_2O_3),继续加热到 $450 \sim 470^\circ\text{C}$,转变成四氧化三铅(Pb_3O_4)。但这些化合物在高温下都不稳定,易离解为氧化铅和氧。如:



铅不溶于硫酸和盐酸,在常温下只不过在铅的表面起作用。但在煮沸的盐酸和加热至 200°C 的浓硫酸的作用下,铅能缓慢地溶解。铅易溶于硝酸(特别是稀硝酸)、硼氟酸、硅氟酸和醋酸。

二、铅的物理性质

铅为蓝灰色的金属,未被氧化的表面带有强烈的金属光泽。纯铅柔软,能被指甲刻划,其莫氏硬度为1.5。

铅的熔点较低(327.5°C),比重大(固体时的比重为11.34,液体随温度升高而降低)。流动性好,在 340°C 时,其粘度为0.0189泊。

铅的沸点为 1525°C ,在 $500 \sim 550^\circ\text{C}$ 时,铅显著地挥发,其蒸汽压与温度的关系见表1—4。

硫化铅的挥发率比金属铅的挥发率大10倍,温度越高挥发越严重。

表1—4 铅挥发的蒸汽压与温度的关系

温度(°C)	620	710	820	960	1130	1292	1360	1415
蒸汽压 (帕斯卡)	9.81×10^{-3}	9.81×10^{-2}	9.81×10^{-1}	1	98.1	490.5	981.0	2923.38

铅是不良导体, 导热和导电分别为银的8.5%和10.7%。铅有良好的属性, 容易被加工成铅皮和铅箔, 但延性较差。

三、铅的毒性

铅具有一定的毒性, 对人体能造成一定的危害。根据有关资料报导, 元素铅和硫化铅毒性甚小。因为硫酸铅在弱酸中的溶解度为9.5%, 硫化铅则只有2.5%。铅的氧化物, 如氧化亚铅和一氧化铅多溶于弱酸中, 进入人体后容易被吸收, 是铅中毒的主要根源。铅白(PbCO_3)可溶于醋酸和碳酸中, 在胃液的溶解度可达59.8~77.9%。碳酸铅的溶解度为46%; 碱性硫酸铅的溶解度可达24.7~30%, 这些化合物对人的危害都较大。

铅侵入人体后, 主要分布在骨骼、血液、皮肤、结缔组织和肝脏等组织中, 引起铅吸收或铅中毒症状。

第四节 铅毒预防的重要意义

由于铅有着广泛的用途, 人们才要进行铅的生产。但是, 铅毒又是客观存在的, 在接触铅作业时, 很难免不受铅毒的危害。要克服这一矛盾, 只有从预防上想办法, 积极采取措施, 把铅毒危害降低到最低水平, 首先应对铅毒预防的重要意义有一个正确的认识。

一、铅毒给人们带来的严重后果不容忽视

铅是人体中不需要的少数几种元素之一。铅进入人体后, 具有很大的危害性, 严重的可以引起铅中毒, 给人的健康带来不同程度的威胁, 有的还可能丧失劳动能力。

临床上有急性中毒和慢性中毒, 前者常见于短时间内摄入大量铅及其铅化合物所致。职业性铅中毒主要表现为慢性中毒, 其临床表现有如下几方面: ①神经衰弱症候群; ②消化功能紊乱; ③腹绞痛; ④血管症状表现为面容苍白和高血压; ⑤贫血; ⑥周围神经炎; ⑦中毒性脑病; ⑧内脏损伤。总之, 患铅中毒的人会感到全身不适, 精神萎靡, 体质下降, 严重的还会死亡。

同时, 由于铅毒所造成的危害, 给企业带来的经济损失也是相当可观的。接触铅生产的有关企业, 每年要花费大量的医疗费、疗养费、营养补贴及农赔费等, 给企业增加了成本。表1—5为1980~1984年所调查的两个厂因铅毒造成的直接经济损失情况。

表1—5 铅毒给企业造成的经济损失

厂 名	项 目	直 接 经 济 损 失 (万 元)	折合每吨铅所增加的成本 (元)
株州冶炼厂		171.4	9.22
沈阳冶炼厂		1245.4	74.63

二、铅工业的发展将受到铅毒危害的制约

由于铅毒给人和环境带来严重的危害, 尽管人们在不懈地努力设法控制, 但漫长的生产

实践告诉我们，这并非是一件简单的事。如在发达的资本主义国家，花了相当大的投资进行防铅毒有关的技术改造，铅中毒的蔓延虽得到控制，但并非完全杜绝了铅毒的危害。而国家越来越要求严格的卫生标准，企业下大力气也难以达到，有的不得不被迫停产倒闭。

我国铅工业虽已形成规模，但无论从采、选、冶和加工业来看，这些企业的设备陈旧，工人多是手工操作，自动化程度相当低。每年企业也花了一定的投资，进行防铅毒方面的技术改造，但远远达不到控制的要求，因此，铅中毒仍普遍存在。目前，有些从事铅作业的工人不安心工作，要求调离岗位，已形成事实。工人的积极性得不到发挥，也影响到技术经济指标。

为了改变以上状况，不得不促使企业家花大量投资进行防铅毒有关的技术改造。无疑地会增加产品的成本。但有人预测铅的价格有下跌的趋势，对于这种形势的估计也应有充分地认识。

三、保护劳动力是社会赐予的神圣职责

人类创造财富的目的，是为了劳动者自身的解放，这也是我们建设社会主义的唯一目标。解放后，党和政府对职业的防治给予了高度的重视。在目前生产力还不发达的情况下，仍然尽量地给予劳动者关心和爱护。工人得了职业病可以及时治疗，接毒工人因患职业病可以终身享受有关劳保待遇。为了改善工人的劳动条件，花了一定的经费进行技术改造，这一切表明：我们的党和政府把保护劳动力看成是自己履行的神圣职责，同时也充分说明了社会主义制度的优越性。

但由于生产落后所造成的劳动条件还不够好，党和政府也将采取积极的态度在逐步的克服。如当资金和技术暂时还有困难的情况下，就采取了一些综合的预防措施。如对职工加强安全卫生的知识的教育；加强个人防护措施，缩短工时；提高工人的保健补贴，增强营养等。当接铅工人患有铅中毒时，让其脱产治疗，直至恢复健康才能上原岗位工作。这一切都说明党和政府对劳动者关怀备至。随着生产力的发展，劳动条件和劳动环境是会逐步好转的，社会所赐予的责任将使我们充满信心。

第二章 铅 毒 的 危 害

第一节 铅进入人体的途径

铅进入人体的途径有呼吸道、消化道和皮肤。在生产环境中，铅主要是通过呼吸道吸收。

一、呼吸道吸收

空气中的铅随环境的不同有很大的差异。人们在从事有关铅作业的生产时，空气中的铅随时有经过呼吸道进入人体的可能。空气中含铅浓度越高，随呼吸道吸入人体的铅量也会增加。

空气中的铅以铅蒸气、粉尘和烟雾存在。无机铅在呼吸道内的吸收率与铅烟或铅尘颗粒的大小及换气速度有密切关系，颗粒细小，换气速度减慢则可增加粒子与肺泡壁相碰的机会。据有关资料报导：以直径为0.75毫微米的铅尘颗粒的滞留量最大，如铅尘颗粒直径平均为0.05毫微米时，在呼吸道的滞留量为35%；直径为1.0毫微米时，滞留量为43%；而直径为0.75毫微米时，滞留量可高达54%。

一般情况下，成人每天由空气中所吸收的量为总吸收量的31~39%，而铅在肺内沉淀吸收率为30~50%。呼吸道中的二氧化碳遇水生成碳酸，这将促使铅的溶解和吸收。同时，铅还可被呼吸道中的吞噬细胞很快带进血液。

二、消化道吸收

水和食物都含有微量的铅，一般人从水和食物中摄取的铅量为0.1~0.6毫克。另外，在铅生产工作中，铅还可通过污染的手指进入消化道。

铅由消化道进入人体要比经呼吸道进入人体的量少，因为进入消化道的铅只有十分之一被吸收。铅由肠道吸入进入门循环，通过肝脏，一部分由胆汁排到肠内，随粪排出，一部分进入血液。

三、皮肤吸收

铅及其无机化合物一般不能由皮肤侵入，有机铅则可以通过皮肤迅速吸收。如醋酸铅、油酸铅、环烷酸铅和四乙基铅均可通过皮肤吸收，以蒸气形式存在的四乙基铅还可以经呼吸道进入人体。

被吸收到血液中的铅，大部分经过肾脏和消化道随尿、粪排出，也有少量可通过唾液、乳汁、汗液、月经等排出。另一部分储留在血液中的铅，以磷酸氢铅、甘油磷酸化合物、蛋白质化合物或铅离子状态随血液循环至全身，随后约91~95%的铅以不溶性的磷酸三铅的形式储存在骨骼中，仅少数储存在肝、脾、脑等器官和红细胞内。表2—1和表2—2为人体每日铅出入量。

表2-1 人 体 每 日 铅 摄 入 量

	摄 入 量 (微克)			
	进 入 量		吸 收 量	
	均 值	范 围	均 值	范 围
食 物	260	100~440	26	10~14
水	20	0~100	2	0.10
空 气	20	2~126	6	1~38
总 计	300	102~666	34	11~92

表2-2 人 体 每 日 铅 排 出 量

	排 出 量 (微克)		1950年蓄积量 (毫克)	
	均 值	范 围	均 值	范 围
粪	175	60~400		
尿	30	10~53		
汗	65	28~160		
毛 发	23	1~42		
蓄 积	17	3~11	121	51~205
总 计	300	100~666		

第二节 铅在人体内的代谢过程

铅不是人类营养所必需的金属，而在人类生活中，常接触微量的铅。如所有的食物中都可能含微量的铅，一般加工的食品含铅量比未加工的要多，蔬菜含铅量少。人体内骨骼中含铅量较多，各种内脏、血液中和尿中均含有铅。

正常人体内含铅总量是100~200毫克。在一般情况下，接触一定量的铅，入量和排出量是平衡的，成人体内组织铅含量可参见表2-3。

表2-3 人 体 组 织 含 铅 浓 度

	铅 浓 度 (湿量 百万分之一)		
	非职业性铅接触者 (15例)	职业性铅接触者 (3例)	严重铅接触者 (1例)
骨			
胫 骨	32.65	59.20	221.00
肋 骨	19.65	35.60	61.00
肝	1.11	1.17	1.36
肾			
皮 质	0.73	0.44	0.47
髓 质	0.58	0.60	0.60
胰 腺	0.43	0.48	0.47
脾	0.40	0.22	
肺	0.30	0.29	0.16
甲 状 腺	0.24	0.19	0.19
脑 皮 质	0.14	0.17	4.17
胃	0.09	0.08	0.08
心 脏	0.07	0.06	0.35
肌 肉	0.06	0.04	

当人吸入过量的铅时，尿铅排出量会迅速增加，但一般低于吸收量，这就可能出现血铅增高，软组织内蓄积过量铅而产生毒性作用。

一、铅在软组织细胞内的代谢

较低浓度的铅能对细胞造成特殊的毒性作用，如钙的转送及细胞素酶系统功能减低等。

铅与红细胞血浆的相互关系：进入血液内的铅只有6%在血浆内，且多与血浆白蛋白结合，其余有90%以上与红细胞内血红蛋白分子结合，且多与 β -链血红蛋白结合。铅在红细胞内的半衰期约25天，铅进入红细胞后大部分比较稳定，但有25%与低分子量蛋白结合，处于可移动状态，约20%与红细胞膜结合，易于扩散。实验表明：红细胞内铅与血浆铅之间存在着一种平衡关系，人体软组织的铅是通过血浆铅进入的。

有人用 ^{203}Pb 同位素研究从血浆到细胞外液的输送速度，发现此过程大约要一小时发生，有人发现铅作业工人血浆铅浓度增高与血铅的增高呈平行关系；血浆铅浓度在非接触组为0.02微克/升，而一例血铅80微克/分升的铅中毒患者，其血浆铅为2微克/升。

很多资料表明，钙离子可以调节铅由红细胞膜到血浆的输送，这是由于铅与钙在红细胞膜竞争相似的结合部位，当钙离子超过4.0毫克/分升时（正常人4.0~5.2毫克/分升），可使红细胞内铅浓度明显下降。

二、铅在脑、肝、肾细胞内的代谢

（一）神经细胞内铅与钙的相互作用

铅对神经传递有特殊的影响，它有胆碱能的抑制作用及多巴胺能的加强作用，此类作用可能由于铅与钙的相互作用所致。有人用细胞培养法研究了在低浓度下铅（0.10毫克当量的硝酸铅）进入脑细胞线粒体的过程，证明了铅与钙很快（30分钟内）聚集在线粒体内的相同部位，在体外培养的肾小管细胞、肝细胞以及分离的骨细胞中也发现铅与钙的相似聚集情况。铅对线粒体的亲和力说明铅在低浓度下对包括神经细胞在内的多种细胞有广泛的毒性作用。它能增加细胞对钙离子的摄入而抑制钙的释放，从而干扰了多种细胞的正常功能。同时，由于铅对血红素合成的抑制，可影响到以血红素为细胞色素系统补充成分的所有组织。有人也观察到低浓度铅可引起中枢神经细胞色素系统功能的紊乱。

（二）铅对肝细胞代谢的影响

有人发现，在对肝细胞培养时，当培养基中铅含量仅为10微米时，可明显增加线粒体对钙摄入。同样浓度的铅对培养的离体骨细胞也可增加钙的摄入及抑制钙的释放，在人体细胞内引起代谢的紊乱，以钙离子为介质的 α -肾上腺素能对丙酮酸激活性的调节作用减低。也有人证明铅在试管内引起细胞色素 P_{450} 与混合功能氧化酶活性降低。因此，在铅吸收过量的人中，出现肝脏细胞色素系统功能的紊乱。

（三）铅对肾脏超微结构与代谢的影响

维生素 D_3 在人体内需经过肝脏转变成 25—OH—D_3 ，然后再经肾脏内1-羟化酶系统的羟化作用，始终能转变为 $1.25\text{—(OH)}_2\text{D}_3$ 而发挥其调节钙、磷代谢作用。1-羟化酶系统的羟化步骤是在肾小管细胞的线粒体中进行的，它是由复杂的细胞色素 P_{450} 酶系统完成的。参与该过程的重要成分很多，包括完整的线粒体，三羧酸循环的底物。电子传递（细胞色素 P_{450} ）氧化磷酸化以及还原型辅酶Ⅱ（NADPH）。调节或激活酶系统需依靠肾脏细胞线粒体功能的完整性，细胞内外液离子环境及线粒体对钙的摄入等来控制。铅能干扰一种或几种1-羟化酶系统的成分，从而减低肾脏合成 $1.25\text{—(OH)}_2\text{D}_3$ 的量。事实上，有人已证明血铅

增高时，循环中维生素D水平减低。

三、铅与卟啉代谢

在血铅“正常”或接近正常时，反映铅对软组织毒性的敏感性指标有：嘧啶5a—核苷酸酶的出现，红细胞内原卟啉的改变，尿中 6β —OHF排出量减少；血液中 $1.25-(OH)_2D$ 降低。这些敏感性指标的测定结果，可以帮助临床上早期铅中毒的诊断。

以上这些敏感性指标中，研究得最多的是红细胞内原卟啉的改变。现已证实，在卟啉代谢中，铅至少对三种酶有抑制作用，即 δ —氨基乙酰丙酸脱水酶（ALAD），粪卟啉原氧化酶与铁络合酶。其中只有ALAD不在线粒体内而在胞浆内，在成熟的红细胞内仍存在，故测定较容易。血红素的合并非仅在红细胞内进行，体内多数细胞均有此功能，血红素除了用于形成血红蛋白外，也可形成肌红蛋白（myoglobin）及微粒体内的细胞色素如 P_{450} 等。

由于铅对卟啉代谢中的一些重要酶有抑制作用，干扰了正常血红素的合成，因此诊断铅中毒所采用的很多指标与此有关。如尿中 δ —氨基乙酰丙酸（ALA）、粪卟啉（CP）之测定；血中点彩、网织、硷粒红细胞检查；血中ALAD与红细胞内（游离）原卟啉之测定等。

图2—1为铅对卟啉代谢的影响。

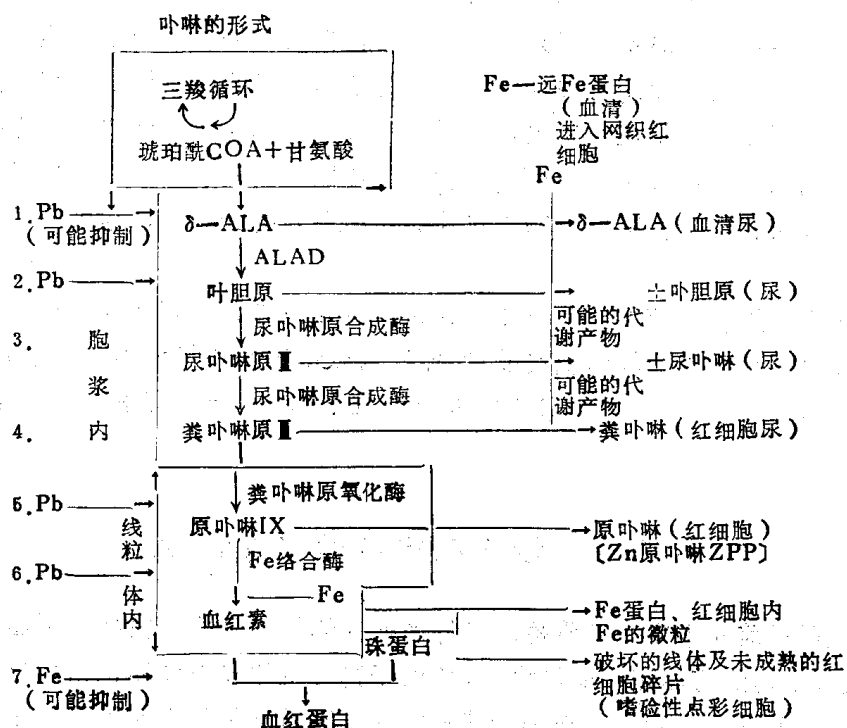


图2—1 铅对卟啉代谢的影响

四、铅在骨细胞内的代谢

铅在肝、肾、肺、脑、胰和主动脉等器官停留的时间并不长，几周以后铅离开软组织转移到骨骼，形成不太溶解的磷酸铅 $[Pb_3(PO_4)_2]$ 沉积下来。铅在骨骼内先存于骨小梁，以后逐渐分配到皮质。在体内有90~95%的铅存在于骨骼内。长骨含铅量（32微克/克）比肋骨（8.7微克）多。发育期的儿童干骨后端铅沉积最多。骨铅随年龄而增加，软组织与骨铅的增长并不平行。20岁以后软组织改变不大，只是主动脉中铅量逐渐增加。

过去曾认为骨铅可长期处于较稳定的状态,有许多学者通过实验研究,提出了一些新的看法。如目前公认的络合剂对骨铅有一定的影响,这是因为络合剂可作用于骨细胞的代谢,改变细胞膜的通透性或改变钙、磷、铅离子在细胞内的输送过程。目前,从铅中毒临床用依地酸钙治疗取得较好的效果,也证实了这一观点的正确。

骨组织内铅与某些金属有一定的相互作用,如在进行骨组织培养时,增加培养基内Ca-EDTA浓度,能使骨组织内之铅、锌、铬、铁等含量明显减低。人体经络合治疗后,骨库内可消耗一些重要金属,此种情况可能引起血红素的减低及骨细胞代谢的改变。现已证明减低培养基内锌浓度会促使已结合在骨内的 ^{210}Pb 与 ^{45}Ca 的释出。在体内,当细胞外液锌浓度减低时,可促进铅由骨组织向软组织移动。如在驱铅治疗前若有锌的缺乏,在络合治疗期间由于体内锌的进一步减少,可改变铅在骨与血之间的平衡。

五、年龄、性别与铅代谢的关系

体内铅负荷主要包括骨铅、软组织与血铅三部分,其中骨铅随年龄而增加。60至70岁的男性,正常骨铅含量可超过200毫克。女性的骨铅较低。2岁至14岁的正常儿童,其骨铅总量约为8~18毫克。成人体的铅有95%贮存在骨内,骨小梁与骨密质均可摄入铅。整个骨铅可分为两部分,一部分处于较稳定状态,其半减期可达数年或更久;另一部分虽然比例较小,但很重要,它具有代谢活性,可以迅速转移血液与软组织。

儿童期骨铅约占体内铅总量的75%,低于成年。但儿童期骨铅浓度比组织铅浓度增加得快,从婴儿到青春期骨骼组织均增加40倍,而在此期间骨铅的浓度增加一倍,这样实际上骨铅总量增加80倍或更多。儿童在快速生长期循环中 $1,25-(\text{OH})_2\text{D}$ 增加,肠道吸收的铅及骨骼释出的铅均可增加。在妊娠期,铅可通过胎盘传给胎儿;哺乳期,铅可由母亲的乳汁传给下一代。动物实验铅传给幼小哺乳动物为母体铅负荷总量的2~6%,这就说明儿童更易发生铅中毒。

铅的各贮库之间的转移速度,儿童比成人快,且儿童骨铅可移动的比例较成人大。已知骨铅的可移动部分可超过整个软组织铅贮量。血铅与软组织铅和年龄的关系不大。一岁内儿童软组织内含铅量较低(0.3ppm),较大的儿童与成年妇女的含铅量相似,儿童骨铅对血铅的影响不可忽视。

第三节 铅在人体内的中毒机理

铅中毒的机理目前尚未完全弄清楚,但许多研究的结果表明:铅离子可通过与体内一系列的蛋白质、氨基酸内的官能团和酶等络合,从而干扰了机体多方面的正常生化和生理活动,而引起铅中毒。一般早期中毒,反应为功能性病变,随着病情的发展可发生某些器质性病变。中毒机理可从如下几方面概括。

一、铅对造血系统的影响

铅能影响卟啉代谢,导致血红蛋白形成障碍,引起铅性贫血。卟啉是血红蛋白合成过程中的中间产物,以琥珀酸、甘氨酸为原料,在辅酶的催化作用下,经过 α -氨基- β -酮己二酸、 δ -氨基乙酰丙酸、卟胆原等阶段合成尿卟啉,再由尿卟啉转变为粪卟啉和原卟啉,再以原卟啉与亚铁结合成正铁血红素,正铁血红素与珠蛋白合成血红蛋白,血红蛋白自合成过程与铅影响合成的环节示意图见图2-2。