

中国铅锌矿床地质 勘探问题研究

王育民 欧阳昌泰 陈遇灏等著

地质部地质研究所地质研究所

BZN

中国铅锌矿床地质勘探问题研究

王育民 欧阳昌泰 李少廉 著
陈遇瀛 王亭山 蔡开发

湖南省地质矿产局
湖南省矿产储量委员会

一九八四年九月

封面设计：蒋尚文

中国铅锌矿床地质勘探问题研究

出版单位：湖南省地质矿产局

湖南省矿产储量委员会

印刷单位：湖南省地质矿产局四一八队印刷厂

目 录

前言	1
第一章 铅锌矿产资源特点和利用现状	2
第一节 铅锌矿的一般特性	2
一、铅锌元素的一般地球化学特征	2
二、铅锌矿物种类和主要铅锌矿物特征	6
三、铅锌金属的物理化学性质	7
四、铅锌金属工业用途	10
第二节 铅锌资源分布利用情况	10
一、铅锌资源分布情况	10
二、铅锌储量利用情况	11
第三节 铅锌矿开发生产概况	13
一、矿山建设情况	13
二、铅锌矿山生产概况	14
三、主要铅锌选矿厂生产现状	15
四、主要铅锌冶炼厂生产现状	15
五、经济效果	16
第四节 铅锌金属消费组成	16
第五节 对我国铅锌矿地质勘探成果的估价及其技术政策的认识	19
一、对我国铅锌矿地质勘探成果的估价	19
二、对我国铅锌矿资源勘探技术政策的认识	20
第二章 铅锌矿床分类研究及其矿床基本地质特征	21
第一节 分类的回顾与评述	21
第二节 中国铅锌矿床分类	26
一、分类目的、原则	26
二、矿床分类的主要标准	26
三、分类系统与方案	26
第三节 中国铅锌矿床主要类型及其基本地质特征	27
一、混浆源热液系铅锌矿床 (A)	27
二、岩壳源层控系铅锌矿床 (B)	33
三、幔浆源火山系铅锌矿床 (C)	55
四、混合源断裂系铅锌矿床 (D)	65
五、岩壳源沉积系铅锌矿床 (E)	76
六、中国铅锌矿主要矿床类型地质特征比较	71
第四节 关于铅锌矿床成矿规律问题的探讨	78
一、关于大地构造因素对铅锌矿床分布规律的制约关系问题	78
二、关于我国铅锌矿床层控性问题	79

三、关于我国铅锌矿床成矿期问题·····	83
第三章 铅锌矿床地质研究程度问题·····	88
第一节 关于控矿地质因素研究问题·····	88
一、矿区地层岩石研究方面·····	88
二、控矿构造研究方面·····	89
三、岩浆活动和岩浆岩研究方面·····	90
四、围岩蚀变研究方面·····	92
五、矿体形状、形态、产状研究方面·····	93
六、矿床成因研究方面·····	96
第二节 关于矿床物质组分与矿石类型的研究·····	98
一、铅锌矿物组成·····	98
二、矿床物质组分组成与分布特征·····	98
三、伴生元素种类、含量、赋存状态、富集程度·····	100
四、铅锌矿石类型的研究·····	123
第三节 关于地表地质研究问题·····	129
一、矿区地质填图质量现状·····	129
二、关于矿区地质图比例尺的选择·····	131
三、矿区地质填图一般要求·····	132
第四节 典型矿床地质勘探史研究·····	132
一、目的意义·····	132
二、找矿史研究·····	133
三、勘探史研究·····	135
四、找矿与勘探中值得吸取的几点经验教训·····	143
第四章 铅锌矿床勘探类型研究·····	144
第一节 勘探类型研究使用现状·····	144
第二节 勘探类型的研究原则、方法、依据·····	145
一、勘探类型研究原则·····	145
二、勘探类型的研究方法、步骤·····	146
三、研究勘探类型的资料依据·····	146
第三节 确定勘探类型三大地质因素及其具体标志变化等级标准的研究·····	147
一、确定勘探类型的主要地质因素·····	147
二、各项地质因素具体标志及其变化等级标准的确定·····	154
三、各地质因素具体标志在不同勘探类型中的特征及其变化规律性·····	173
第四节 铅锌矿床勘探类型的划分·····	183
第五节 研究使用勘探类型的正反两方面经验·····	194
第六节 铅锌矿床勘探类型实例·····	197
第Ⅰ勘探类型·····	197
一、云南金顶矿区·····	197
第Ⅱ勘探类型·····	197
二、湖南桃林矿区·····	197
三、青海锡铁山矿区·····	198
四、甘肃厂坝矿区·····	198
第Ⅲ勘探类型·····	198

五、广东凡口矿区	198
六、甘肃小铁山矿区	199
七、江苏栖霞山矿区	200
八、湖南黄沙坪矿区	201
第Ⅳ勘探类型	201
九、湖南水口山矿区	201
十、辽宁关门山矿区	202
十一、广东银屎矿区	202
第Ⅴ勘探类型	203
十二、辽宁青城子矿区	203
十三、山西西榆皮矿区	204
十四、吉林天宝山矿区	205
第五章 铅锌矿床控制程度与勘探网度的研究	207
第一节 矿床控制程度与勘探网度的使用研究现状	207
一、我国铅锌矿床勘探网度使用情况	207
二、矿床勘探网度验证对比研究现状	207
三、研究勘探网度资料依据	210
第二节 铅锌矿床勘探网度验证对比方法、内容与标准的研究	211
一、勘探网度验证对比方法	211
二、验证对比的原则要求	211
三、勘探网度验证对比项目与误差计算公式	213
四、验证对比中误差衡量标准的分析研究	214
第三节 对各类铅锌矿床勘探网度验证对比的研究	218
第Ⅰ勘探类型铅锌矿床勘探网度的验证对比	218
一、金顶矿区	218
第Ⅱ勘探类型铅锌矿床勘探网度的验证对比	221
二、桃林矿区	221
三、锡铁山矿区	227
四、厂坝矿区	229
第Ⅲ勘探类型铅锌矿床勘探网度的验证对比	233
五、小铁山矿区	233
六、孟恩套力盖矿区	237
七、凡口矿区	240
八、黄沙坪矿区	247
九、泗顶矿区	254
十、德兴矿区	258
十一、栖霞山矿区	264
十二、小西林矿区	267
十三、四川天宝山矿区	271
十四、矿山厂矿区	277
十五、渔塘寨矿区柔先山矿段	279
十六、岫岩矿区	280
第Ⅳ勘探类型铅锌矿床勘探网度的验证对比	284

十七、银屎矿区	284
十八、沙里塔什矿区	289
十九、关门山矿区	291
二十、水口山矿区	298
第 V 勘探类型铅锌矿床勘探网度的验证对比	302
二十一、桓仁矿区	302
二十二、吉林天宝山矿区	304
二十三、青城子矿区	308
二十四、西榆皮矿区	311
第四节 关于研究矿床控制程度、合理运用勘探网度的正反两方面经验	314
一、对我国铅锌矿床勘探网度研究、运用情况的基本估价	314
二、在合理运用勘探网度上存在的几个值得注意的问题	315
三、关于正确研究矿床控制程度和运用勘探网度的几点意见	316
四、注意反复研究矿床控制程度,验证论证勘探网度合理性	317
五、根据矿床形态及其规模特征,合理选择勘探网形	324
第五节 铅锌矿床勘探网度的研究	324
一、研究、确定勘探网度的基本原则和依据	324
二、各类矿床勘探网度综合研究结果	325
三、中国铅锌矿床勘探网度方案	325
第六章 铅锌矿床勘探程度的研究	328
第一节 首采地段的勘探程度	328
一、首采地段重要性	328
二、首采地段勘探程度实例介绍	328
三、首采区勘探程度的分析	331
四、对首采地段勘探程度的基本要求	332
第二节 矿床边界轮廓控制	332
一、基本情况	332
二、边界轮廓控制对矿山建设的影响	333
三、对矿床边界轮廓控制的一般要求	333
第三节 地勘储量比例的研究	334
一、衡量各级储量比例的范围	334
二、勘探深度的研究	334
三、衡量储量比例的计算单位	336
四、储量比例的研究	336
第四节 铅锌矿床勘探程度中值得重视的几个问题	339
一、分段分期勘探	339
二、主次矿体关系	340
三、新、老矿山关系	341
四、矿石质量优劣关系	341
五、水文地质条件复杂与否关系	342
六、矿山外部建设条件优劣关系	342
第七节 铅锌矿地质勘探方法和工作质量的研究	343
第一节 勘探手段选择问题	343

一、基本情况	343
二、关于钻探、坑探手段在铅锌矿床勘探中选择使用情况的分析总结	343
三、关于勘探手段选择、使用中的几个问题	346
四、关于正确运用勘探手段的意见	348
第二节 物化探工作	349
一、物化探在铅锌矿普查勘探中的应用情况	349
二、物化探在铅锌矿普查勘探中的应用效果	349
三、物化探找矿实例	350
四、做好普查、勘探中物化探工作的几点意见	363
第三节 勘探工作质量	364
一、钻探工程	364
二、坑探工程	369
三、槽、井探、浅钻（取样钻）浅部山地工程	370
四、采样加工	371
五、化学分析种类、项目与质量检查	375
第八章 铅锌矿床综合评价与勘探问题的研究	378
第一节 铅锌矿床伴生组份分布、富集情况	378
第二节 综合评价、综合勘探工作情况	380
第三节 综合评价、综合勘探工作中的主要经验	382
第四节 对搞好“双综”工作的几点意见	385
第九章 铅锌矿床水文地质问题的研究	387
第一节 铅锌矿床水文地质基本特征及工作现状	387
一、铅锌矿床水文地质基本特征	387
二、水文地质工作现状	387
第二节 铅锌矿床水文地质类型	388
第三节 不同水文地质类型矿床实例	388
一、广东凡口矿区	388
二、广西泗顶矿区	393
三、湖南香花岭矿区	396
四、湖南水口山矿区	398
五、江苏栖霞山虎爪山矿段	403
六、黑龙江小西林矿区	407
七、辽宁关门山矿区	409
八、四川大梁子矿区	410
九、湖南桃林矿区	411
第四节 铅锌矿床水文地质工作正反两方面的经验	412
一、关于矿床水文地质研究、控制程度方面的经验	412
二、水文地质勘探方法、手段的选择，应根据不同水文地质类型具体对待	412
三、重视区域水文地质条件的研究工作，对于查明、正确评价矿区水文地质条件具有重要意义	413
四、水文地质研究控制程度差，是造成矿床水文地质补勘主要原因	413
五、勘探阶段注意做好地下水排供结合，综合利用评价工作，往往可收到事半功倍的效果	413
第五节 矿区水文地质勘探工作中几个主要问题的探讨	414

一、关于群孔抽水试验水位降深问题·····	414
二、关于做好钻孔简易水文地质观测工作问题·····	415
三、关于做好岩溶水文地质调查工作的问题·····	415
四、关于勘探阶段矿坑涌水量计算深度问题·····	415
第六节 复杂矿床水文地质研究程度一般要求·····	415
第十章 矿床开采、矿石加工技术条件的研究和要求 ·····	417
第一节 采矿工业技术要求 ·····	417
一、概况·····	417
二、我国铅锌矿山采矿现状·····	419
三、矿床开采技术条件研究程度·····	423
第二节 选矿工业技术要求 ·····	426
一、概况·····	426
二、典型实例·····	426
三、铅锌精矿质量标准及其价格·····	433
四、影响选矿效果的若干地质因素·····	435
五、铅锌矿石可选性试验·····	437
第三节 冶炼工业技术要求 ·····	439
一、概况·····	439
二、我国铅锌冶炼现状·····	446
三、我国铅锌冶炼的综合利用·····	447
四、铅锌冶炼对原料的质量要求·····	448
五、铅锌冶炼产品质量标准及其价格·····	450
第十一章 铅锌矿床储量分类、分级及其级别条件和储量计算问题的研究 ·····	453
第一节 关于铅锌矿储量分类、分级问题 ·····	453
一、B级储量所起作用实际情况的分析·····	453
二、关于D级储量作用问题·····	453
第二节 关于储量级别条件的分析研究 ·····	454
一、划分储量级别条件的因素问题·····	454
二、关于确定储量级别条件的意见·····	455
三、研究确定各级储量条件的不同精度界线或标准的依据·····	456
四、关于拟定各级储量条件精度要求标准的意见·····	456
五、关于储量级别条件要求精度中几个问题的探讨·····	457
第三节 储量计算中几个参数的确定问题 ·····	458
一、体重测定与计算问题·····	458
二、特高品位的处理问题·····	460
第四节 矿体的合理圈定 ·····	461
一、矿体的外部边界圈定·····	461
二、矿体内部圈定·····	462
第五节 储量计算方法 ·····	472
一、铅锌矿储量计算·····	472
二、伴生元素的储量计算·····	473
第十二章 铅锌矿床技术经济评价问题的研究 ·····	477
第一节 合理确定铅锌矿石工业指标 ·····	477

一、基本情况	477
二、现行工业指标存在的若干问题	485
三、对我国铅锌矿石一般工业指标的研究和推荐方案	487
四、对我国铅锌矿床伴生组份一般工业指标的研究和推荐方案	489
第二节 铅锌矿床勘探技术经济效果的总结与分析	491
一、勘探周期	496
二、勘探工程量	498
三、勘探成本	499
四、勘探经济效果评述	502
第三节 铅锌矿床地质勘探可行性研究	503
一、矿床地质勘探可行性研究的目的、内容	504
二、价格法计算矿区评价品位的公式	504
三、国内铅锌矿采选技术经济指标	505
四、多种金属换算成单一金属的计算方法	507
第四节 典型实例分析——湘西花垣渔塘寨土地坪矿段	507
一、矿区地质工作简况	507
二、矿床经济评价资料依据	508
三、矿床勘探可行性研究与计算	509
四、矿床勘探可行性研究结论	514
第五节 矿山建设可行性研究简介	514
一、矿山建设可行性研究一般的内容和深度	515
二、矿山建设可行性研究典型实例	515

前 言

本书是在《我国铅锌矿床地质勘探工作初步总结》一书的基础上，根据近年来参加《铅锌矿地质勘探规范》编制工作，收集积累的铅锌矿地质勘探报告及有关科研成果、矿山设计、建设、采选冶生产等方面的大量新资料，在新形势指导下，通过系统整理、分析研究和全面修改补充后而写成的。

我们主观愿望是，力求在总结、研究深度和广度上能有所完善和提高，并在内容上应作较大的补充。如充实了原有铅锌矿床类型、地质研究程度、矿床探采验证对比等章节；新增了铅锌矿资源利用现状分析，矿床水文地质，矿床综合评价与勘探，物化探以及矿床技术经济评价问题的研究等章节。因此，可以认为它是目前我国铅锌矿床地质与勘探方面比较全面系统的总结研究成果。也是建国三十多年来，从事铅锌矿业开发的地质、设计、基建、矿山、冶炼等部门有关科技人员集体劳动和智慧结晶。

我们不敢冒昧将此书当作“勘探方法手册”提供给大家。但能否说，为从事铅锌矿业开发工作的同行们，在深入研究我国铅锌矿床地质与勘探等有关问题时，作为一份实际素材或讨论问题的引子提供给大家，而起一个“引桥铺路”作用呢？看来亦有待于实践检验和同行们的评定。事情总是一分为二的。书中内容求全，篇幅庞大的反面，往往也带来了某些繁杂，重复弊端。尽管在执行中注意了此事，但限于精力和水平，仍然在所难免。毫无疑问，本书在某些观点、提法以及选材准确性等方面，也定会存在不少问题或错误，欢迎批评指正。值得指出的是，书中有关铅锌矿勘探评价的技术要求、质量标准等具约束性内容，如与现行颁发规范有矛盾时，仍以规范为准。我们只不过是提出一些个人不成熟的看法，进行学术探讨而已。

在撰写本书工作中，得到地质部、冶金部、全国储委上级领导机关有关同志的热忱鼓励，特别是省局苏林克、龚静夫、陈仕谋等领导同志重视和热忱支持；得到广东省地矿局、冶金部长沙有色冶金设计研究院，湖南省地质学会，湖南省地矿局四〇二队等单位的始终支持；得到了全国各省（区）、市地矿局、冶金局、冶金地质勘探公司及其所属有关地质队、科研所、设计院、矿山、冶炼厂以及有关省储委等近六十个兄弟部门、单位大力支持，积极提供情况和资料，提出不少中肯批评意见和很好的具体修改建议。在书中我们还重点引用了长沙有色院、兰州有色院、北京有色总院以及辽宁、广东、广西等有色院总结的凡口、德兴、小铁山、西榆皮、柴河、泗顶等矿山的铅锌矿床探采验证对比成果。在本书的定稿和出版中，还得到省地矿局四一八队和省储委办公室郭泽璋、黄德俊等工程师在图件修改、编辑、清绘、校对等出版技术方面，协助做了大量工作。在此一一致以谢意。

第一章 铅锌矿产资源特点和利用现状

第一节 铅锌矿的一般特性

一、铅锌元素的一般地球化学特征

铅锌元素分别属门氏化学周期表中的第ⅣA族第6周期和第ⅡB族的第4周期。铅锌元素在地球及其层壳中的丰度，据黎彤（1976年）资料如表1-1。铅锌元素在岩石圈中的克拉克值，据A·Π·维诺克拉多夫资料各为 $1.6 \times 10^{-3}\%$ （即16g/T）和 $5 \times 10^{-3}\%$ （即50g/T）。因此，铅锌在地壳中属不十分稀少的元素。

表1-1 铅锌元素在地球及其层壳中丰度

元 素	地 壳	上 地 幔	下 地 幔	地 核	地 球
铅	12	2.1	0.1	42	13
锌	94	60	30	680	180

铅锌元素在各类岩石中的平均含量，由于各家研究的材料精度和代表性不尽一致，因此得出的数据亦有所差异。如A·Π·维诺格拉多夫1962年如表1-2。

表1-2 铅锌元素在各类岩石中的丰度

元素	石陨石—球陨石、矽酸盐相	超基性岩（纯橄岩、橄辉岩、辉岩）	基性岩（玄武岩、辉长岩、苏长岩、辉绿岩）	中性岩（闪长岩、安山岩）	酸性岩（花岗岩、流纹岩）	沉积岩（粘土+页岩）
铅	(2×10^{-5})	11×10^{-5}	8×10^{-4}	1.5×10^{-3}	2×10^{-3}	2×10^{-3}
锌	5×10^{-3}	3×10^{-3}	1.3×10^{-2}	7.2×10^{-3}	6×10^{-3}	8×10^{-3}

K·Turkian k·wedepohl 1961年资料如表1-3。

表1-3 铅锌元素在各类岩石中的丰度

元 素	火 成 岩					沉 积 岩			深 海 沉 积 物	
	超基性岩类	玄 武岩类	花 岗 岩 石		正长岩	页 岩	砂 岩	碳 酸 盐 岩	石 灰 质	粘 土 质
			富Ca	贫Ca						
Pb	1×10^{-4}	6×10^{-4}	1.5×10^{-3}	1.9×10^{-3}	1.2×10^{-3}	2×10^{-3}	7×10^{-4}	9×10^{-4}	9×10^{-4}	8×10^{-3}
Zn	5×10^{-3}	1.05×10^{-2}	6×10^{-3}	3.9×10^{-3}	1.3×10^{-2}	9.5×10^{-3}	1.6×10^{-3}	2×10^{-3}	3.5×10^{-3}	1.65×10^{-2}

注：(重量%)

另牟田邦认为：锌在陨石中平均含量推测在138ppm；而锌在粘土和页岩中含量则可高达80~230ppm。

尽管上述数据有所不同，但仍可大致表明铅锌元素在岩石圈中的分布规律，主要以中、酸性岩和沉积岩的平均含量较高，超基性、基性岩和陨石相中含量较低。锌在超基性岩和基性岩中虽具有一定的含量，但仍不及中、酸性和沉积岩中高。

铅锌元素在水圈中特别是海水的含量远不及岩石圈中高。据И·戈尔德别尔格（1963年）资料铅为 0.002mg/l 锌为 0.01mg/l ，且以 Zn^{2+} 、 ZnSO_4 化合物形式存在，大于铅在海水中丰度值5倍。铅锌元素在生物圈有时含量很高：据V·M·戈尔德斯密特对煤灰中元素的分析资料，铅锌元素在煤灰中的最高含量与岩石圈中的最高含量相对比，其富集程度如表1~4。据维诺格拉多夫（1954年）资料，在有机体中铅锌元素平均含量各为 $5 \times 10^{-5}\%$ ， $5 \times 10^{-4}\%$ 。而锌元素在某些海生有机体中含量比周围水介质可增高数十万倍。

表1—4 铅锌元素在煤灰中最高含量及其富集程度

元 素	在煤灰中最高含量 (%)	与岩石圈中最高含量对比富集程度 (倍)
铅	0.1	70
锌	1.0	50

铅锌元素根据其地球化学特征，在地球化学分类上属于V·M·戈尔德斯密特分类法的第三组——亲铜元素组，或A·H·查瓦里茨基分类法的第四族——硫化矿床典型成矿元素族。铅锌元素的离子最外电子数均为18，属铜型离子，与硫的亲合力强，有形成硫化物及其类似化合物的强烈倾向，电离势大于“酸性场”的元素，较难成离子状态，而常成为原子晶格或金属晶格，构成金属矿床的主要成矿元素。

铅锌元素主要地球化学参数或物理化学、晶体化学特征如下表1~5。

表1—5 铅锌元素主要地球化学参数或物理化学晶体化学特征

元素	原子序数	原子量	电价	电离势	负电性	离子电位	离子半径	原子半径	能量系数	共生序数	配位数	外围电子构型
Pb	82	207.21	2		1.6	1.51	1.32	1.75	1.65	1.5	6	$6\text{S}^2 6\text{P}^2$
			1		1.8	2.16	0.84	1.75	7.95	1.5		
Zn	30	65.38	2		1.5	2.41	0.83	1.39	2.20	2.0	4	$3\text{d}^{10} 4\text{S}^2$

由上可知铅锌元素在原子核外电子层构造和晶体化学特点上均属铜型离子，具有相同的化学键和电价，以及负电性、原子半径、能量系数（ ΘK ）的相似性。加之，铅锌元素熔点或沸点高，原子体积小，具有“集中元素”的性格，易在地壳的岩石圈的局部地区形成铅、锌元素的自然集中，达到“地球化学堆积”或“工业堆积”程度。因此，铅锌元素在自然界经常呈二价化合物而紧密共生，并在铅锌硫化物中往往伴生多种稀散元素和贵金属，因此有“多金属”之称。

铅锌元素的地球化学行为或在地壳中迁移的一般规律：

岩浆作用阶段其特点是：随着温度的下降及其物理化学条件的变化，自岩浆熔融体中形成各种高温氧化物等矿物为主。因为在早期结晶作用阶段，结晶的产物主要是具有高 ΘK 值的离子和高晶格能、离子半径小的矿物。而铅锌元素因其离子半径较大， ΘK 值和晶格能较小，电价亦低，铅在早期结晶作用期间，除个别呈极性异价类质同象状态包

含于某些含钙或钾的矿物中外，一般不参予活动；锌在早期结晶作用阶段，也仅有极少部分参与活动。如锌在早期结晶产物的铂族矿物中呈原子晶格的类质同象的混合物存在。一般认为：锌与早期结晶作用产物——铁镁矿物（辉石、角闪石、特别是黑云母）之关系，尽管离子半径和电价相同，但因彼此间的负电性和键性、离子类型不同，故呈类质同象置换可能性很小。但是，据E·B桑岱和S·B·戈尔迪奇认为：火成岩中的锌，主要是氧化物中的 $\text{Fe}^{3+}\text{Mg}^{3+}\text{Fe}^{2+}$ 等共生，特别是Fe、Mg矿物中常常明显地呈混晶产出。牟田邦彦指出：辉长岩类中的氧化铁，特别是从钛铁矿中析出Zn达3000ppm，从橄榄岩中的铬铁矿中析出Zn达10000ppm。但总的看来，铅锌在岩浆作用的早期结晶期间是不能形成工业矿床。正如A·E费尔斯曼分类中所指出的铅锌元素在参予早期结晶作用时，只属“次要元素”系列。

伟晶作用阶段，主要是那些以奇数电价为主的，离子半径特别小或离子半径大，以及电价高、半径小易形成络阴离子的亲石元素或“酸性”元素。它们与氧的亲合力很强，呈离子键结合。而锌等亲铜元素在整个伟晶作用期间占很次要的地位。Zn和Ti、Mg、Fe、Se等元素因其离子半径均在 $0.6\sim 0.8\text{\AA}$ ， $B\Theta K$ 在 $1.0\sim 1.5$ 范围变化。因此，在整个伟晶作用过程中虽析出范围极广，但却无Zn等元素的析出。Pb与Cd、Rb、Tl、Ba、Sr、Bi等元素，因其离子半径较大，均在 $1.2\sim 1.65\text{\AA}$ 、 $B\Theta K$ 值小，均在 $0.3\sim 0.8$ 范围变化，从能量上分析，只能在伟晶作用的晚期出现集中。Zn元素在伟晶作用阶段，有时呈类质同象形式构成含Be的矽锌矿或锌日光石等矿物。从总体来看，铅锌元素在整个伟晶作用阶段，其重要性同样也是极其有限的。在自然界中一般很少见形成具有工业意义的铅锌矿床。或仅作为花岗伟晶岩矿床中的所谓“偶然元素”或极为次要的伴生矿物出现。

热液作用阶段，众所周知是形成铅锌硫化物等多金属矿床重要阶段，当然也是亲石元素构成金属氧化物矿床的重要阶段。热液作用是在岩浆熔融体中矽酸盐结晶基本结束后产生的，亦即大体上相当于A·E·费尔斯曼划分H—I—E相的范围，由水的临界温度 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下开始热液作用的。此间来自岩浆期后的残余溶液中相对地富集了大量的热液形成物，即A·E费尔斯曼划分的“硫化场”元素或A·H查瓦里茨基的“硫化矿床中的典型成矿元素”，或V·M·戈尔德斯密特的亲铜元素。当然，其中也包括了部分酸性岩浆元素或亲石元素。但是铅锌等却构成了参予热液作用形成物的“最主要”的元素系列。在热液作用中的铅锌等亲铜元素，主要地球化学特征是以铜型离子为主，当失去电子时不引起体积的明显缩小，它们具高的电离势和负电性，故相应地表现为有强的极化能和形成原子键的趋向，与硫具有强烈的亲合力。因而在自然界中铅锌主要是呈原子晶格即硫化物的热液矿床出现。

由于铅锌元素的离子半径和电价中等， ΘK 值较低，再加上氧、硫两元素在热液作用过程中的化学动态影响，如在地壳深处条件下由氧的浓度是微不足道的，只有当热液从深处上升时，才能使氧的浓度逐趋增高：这就决定了铅锌元素只有在还原条件下形成硫化物矿床，硫化氢在热液形成的初期（ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）不易离解，在电荷上为中性气体，随着热液温度的逐渐下降， H_2S 在碱性溶液中的溶解度大大增加， S^{2-} 的浓度也相应地大大增加，为形成重金属硫化物创造了有利条件。从而决定了铅锌等硫化矿主要形成于热液作用的中期阶段即中温热液阶段；而热液作用的早期高温阶段或热液作用的末期低温阶段，

对于内生铅锌硫化矿床的形成只占次要地位。这与我国铅锌硫化矿床地质分布特点是相符合的。从A·E·费尔斯曼共生序数来看,热液作用形成物的元素生成顺序,先是热液中沉淀的是呈离子晶格的氧化物,表现在矿石矿物的沉淀是顺序高价的氧化物黑钨矿、锡石等,后是呈原子晶格的硫化物黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等。脉石矿物生成顺序,先是矽酸盐,而后是石英、氟石、直至具有铬阴离子 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 、 $[\text{SO}_4]^{2-}$ 的碳酸盐和硫酸盐矿物。

上述地球化学特征,特别是电子层构造确定的铅锌离子本身性质和晶格构造,配位数,置换的能量效应等因素,就决定了铅锌元素在热液作用过程中,还能与其它元素经常呈不同性质的类质同象的置换现象。属高配位数的方铅矿晶格中(Pb^{2+} 配位数为6),只见有少数Bi、Sn等类质同象混入物,而Pb、Ag则经常是异价类质同象置换;但在配位数较低的闪锌矿晶格中(Zn^{2+} 配位数为4)产生类质同象置换则更为广泛。有人指出在闪锌矿中可以发现几十种元素,但经常呈类质同象的是:Fe、Cd、In、Mn等元素,有时Fe、Mn、Cd等类质同象混入物的含量可达百分之几。由于铅锌元素具有这种得天独厚的地球化学特性,这就赋予了铅锌硫化矿床中往往伴生有多种多样的稀散元素和贵金属。因此,在工业价值上往往使其“身价”提高百倍。

表生作用阶段,铅锌元素在不同类型的粘土质土壤中以细小分散相颗粒形式或呈离子交换形式,如 Pb^{2+} 替代 K^+ 而引起含有机质的森林土壤或黑土中有铅的富集,或被具有强吸附和交换离子的富腐植质、铁锰氢氧化物的胶体强烈吸收;铅锌在沉积岩的粗碎屑物中,含量一般极微,但在还原环境下含有大量的 H_2S 存在的页岩中的Pb含量约20ppm,而Zn有时可富集至200~1000ppm,如德国曼斯菲尔德含铜页岩中含Pb高至5000ppm。但是,表生作用对铅锌元素影响最大者,乃是氧化作用。它使原在内生作用形成紧密共生的铅锌硫化矿床,破坏原有地球化学平衡条件,发生显著的迁移作用使铅锌元素分离,形成不同性质的铅锌氧化矿物,以达到新的地球化学平衡。

原在内生条件下以共价键形式结合为主的铅锌硫化物,当转入外生条件经受氧化作用时,则改以离子键的结合形式为主,因它具有最大稳定性。而共价键不及原来显著,金属键基本消失。由于锌具有较高的氧化电位,闪锌矿在表生带中能被 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 H_2SO_4 和 CuSO_4 中的 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 离子所置换,使锌成为硫酸盐。由于铅锌硫酸盐的溶解度相差十分悬殊, PbSO_4 溶解度为0.041克/升,而 ZnSO_4 溶解度则高达531.2克/升,较 PbSO_4 溶解度几乎高1300倍。因此,铅锌元素的迁移程度显著不同,铅金属基本上是在矿床氧化带露头原地残留形成次生矿床;而锌金属流失或渗透到下部与不同的介质进行相互交代,形成锌的次生氧化物。在氧化带的条件下,铅锌硫化物的变化程序一般是:方铅矿氧化后形成不易溶的铅矾,当与碳酸盐溶液或方解石进行交代生成白铅矿,如继续氧化,则可逐步交代形成磷氯铅矿 $[\text{Pb}_3(\text{Pb}_4)_3\text{Cl}]$ 和矾铅矿 $[\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_3\text{Cl}]$ 。故其演变过程大体是:方铅矿→铅矾→白铅矿→磷氯铅矿、矾铅矿;而闪锌矿经氧化后生成硫酸锌,因其极易溶解于水,而被淋滤流失,当迁石灰岩、碳酸盐物质,则发生相互交代作用形成菱锌矿;如与其它杂质或不同性质的围岩作用时,则形成水锌矿或异极矿等复杂的含锌氧化矿物。否则,锌全流失,仅残存铅的氧化物。

值得指出的是:我国不少铅锌硫化矿床由于氧化作用较深,往往可使伴生于铅锌硫化矿中的某些稀散元素或贵重金属产生相对的富集,甚至形成以某种稀散元素(Ge)为主的矿床,大大地提高工业价值。

另外，在国外某些氧化带中的锌矿，经受变质作用后形成以红锌矿为主的锌矿床，如美国新泽西州府兰克林矿区，我国目前尚未发现。

二、铅锌矿物种类和主要铅锌矿物特征

在自然界中，铅锌矿物目前已知各有144种和58种。我国已发现的各有42种和15种。但是，具有工业意义的铅锌矿石矿物不多，其中重要的铅锌矿石矿物为：硫化物、硫酸盐和碳酸盐类矿物。铅为11种，锌为6种。而余下的大多数是属于次要的或在自然界分布稀少的矿物。如按矿物学的分类体系来看，这些铅锌矿石中的次要的或稀少的铅锌矿物分布情况见表1-6。

表1-6 不同类别次要或稀少铅锌矿物分布情况

矿物类别	矿种数	所占比例 (%)
第一大类：自然元素	2	1
第二大类：氧的化合物	120	67
第一类：氧化物和氢氧化物	30	其中：(25%)
第二类：矽酸盐	23	(18%)
第三类：硼酸盐	3	
第四类：磷酸盐、砷酸盐、矾酸盐	35	(28%)
第五类：钼酸盐、钨酸盐	3	
第六类：铬酸盐	2	
第七类：碳酸盐	8	
第八类：硫酸盐	16	(13%)
第三大类：硫的化合物及类似化合物	14	24
第一类：简单硫化物	4	
第二类：复杂硫化物	1	
第三类：硫酸盐	39	
第四大类：卤化物	15	8
合计	185	

由此可知，铅锌矿石中的次要或稀少矿物绝大部分为氧化物类型，其中第一类又以氧化物和氢氧化物，第二类矽酸盐、第三类磷酸盐、砷酸盐、矾酸盐较普遍；其次，属于第二大类硫的化合物及其类似化合物类型，并以硫酸盐占绝对优势。上述铅锌的稀少矿物，一般都呈类质同象形式或其它混合物形式产于其它矿物中，加之矿物性质复杂，在自然界分布极其有限，因此，在目前绝大部分尚无工业利用价值，不能构成单独的铅锌矿床。

在最重要的17种铅锌矿石矿物中，目前工业上利用最多的，绝大部分均属铅锌硫化物中的方铅矿和闪锌矿，而铅锌氧化矿石在我国虽部分已被工业利用，但远不及前者

重要。现将我国铅锌工业矿物及其主要的矿物学特征列表1—7介绍如下。

三、铅锌金属的物理化学性质

1. 铅锌金属物理性质:

铅为兰灰色金属，新鲜断面具有强烈的金属光泽，性质很软，其莫氏硬度为1.5，铅中含有少量的砷、锑、碱金属和碱土金属，易使硬度增高。铅的展性良好，但延性甚小。固体铅的比重为11.34，液体铅的比重为10.667。铅的熔点低（327℃），沸点为1525℃，在500~550℃时，铅显著挥发。铅的溶化潜热为6.26卡/克，气化潜热为201卡/克，铅的平均热容，固体铅为0.0327卡/克度（18~300℃），液体铅0.0335卡/克度，铅为热和电的不良导体，导热率仅为8.5%，导电度仅为10.7%。（如果取银的导热度和导电度为100），铅可与锌、锡、锑、砷等金属组成合金。某些铅的合金具有很低的熔点。

锌为兰白色的金属，其新鲜断面具有金属光泽。锌在其熔点附近的比重为7.10~7.16，压延后的比重为7.19，熔融锌的比重为6.48。锌属非磁性的金属，在室温下锌脆弱，莫氏硬度为2.0，但加热到100~150℃便变为很柔软，可压成0.05毫米的薄片，或抽成细丝；如继续加热至250℃时，锌又变脆甚成粉末。锌的导电性为银的导电性的27.9%，导热性为银的导热性的24.2%。锌的其它主要性质如下：

熔点	419.4℃
沸点	906℃
比热（18℃）卡/克度	0.1275
比热（蒸气锌）卡/克度	0.076
熔化热卡/克	27.03
气化热卡/克	425
热含量（熔点时）卡/克	45.2
热含量（沸点时）卡/克	159

2. 铅锌金属的化学性质:

铅在干燥的空气中，或在不含空气的水中，不发生化学变化，但在潮湿和含有CO₂的空气中，便失去光泽，被PbO₂薄膜所覆盖，并逐渐变成碱性PbCO₃、Pb(OH)₂。溶化的铅在有空气存在时，则逐氧化成氧化铅。在空气中熔化的铅继续加热到330~450℃时，生成PbO转变成成为Pb₂O₃；当温度升高至450~470℃时，形成Pb₃O₄。但在高温下都不稳定，易离解为PbO和O₂。如 $Pb_3O_4 \rightleftharpoons 3PbO + \frac{1}{2}O_2$

铅的最好溶剂是稀硝酸。盐酸和硫酸仅仅作用于铅的表面，形成几乎不溶的PbCl₂和PbSO₄的膜，故能保护表面层的铅不再受酸作用。铅溶解于200℃以上溶解浓硫酸中，并能溶于H₂SiF₆、HBF₄、CH₃CO(OH)和硝酸银等试剂中。但在硫酸和硝酸的混和酸，亚硝酸、碱、氨和氨盐、氯和含氯的溶液，氟氢酸及其盐类，五氧化二磷、熔融的硼、大多数的有机酸及氧化钾等。试剂中，均属稳定，具有较好防腐能力。

锌在室温的干燥空气下无影响，如在含有CO₂的潮湿空气中，可将锌的表面氧化成ZnCO₃、3Zn(OH)₂的薄膜，此膜很致密，可保护锌锭内部不再被氧化。在505℃时，锌在氧化气氛中燃烧是兰白色火焰。锌易溶于稀硫酸和盐酸中，同时也溶于碱性溶液中。