

云南省省院省校合作项目 (2000YK - 04)

会泽铅锌矿攻关项目 (云南驰宏锌锗有限公司资助)

联合资助

国家自然科学基金项目 (40172038、40372048)

云南会泽超大型铅锌矿床 地球化学及成因

——兼论峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系

黄智龙 陈 进 韩润生 李文博
刘丛强 张振亮 马德云 高德荣 杨海林 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

云南会泽铅锌矿床为位于扬子地块西南缘的川-滇-黔铅锌多金属成矿域中很具代表性的超大型矿床,该矿床规模大、铅锌品位高、伴生有用组分多,具有很高的经济价值和研究价值。云南驰宏锌锗有限公司(原会泽铅锌矿)、昆明理工大学地质系和中国科学院地球化学研究所在云南省省院省校合作项目、会泽铅锌矿攻关项目和国家自然科学基金项目等多个课题联合资助下,密切合作对会泽超大型铅锌矿床进行了成矿理论和找矿研究,在成矿理论方面获得许多新的认识,在找矿方面取得重大突破。

本书主要是会泽超大型铅锌矿床理论研究成果的总结。在全面介绍矿床区域地质、矿区地质和矿床地质特征基础上,利用多种定年方法对矿床进行了精确定年,系统分析了矿床成矿元素、稀土元素含量以及碳、氢、氧、硫、铅、锆同位素组成,从成矿物质来源、成矿流体来源以及岩浆活动、构造、地层与成矿的关系等方面讨论了矿床成因,建立了矿床成因模式。此外,针对“峨眉山玄武岩与铅锌成矿之间是否存在成因联系”这一悬而未决的问题,本书还全面概述了峨眉山大火成岩省的地质、地球化学特征及地幔柱成因的重要证据,重点从成矿时代、成矿物质来源、成矿流体来源和成矿热动力来源等方面探讨了峨眉山玄武岩岩浆活动与铅锌成矿之间的内在联系。

本书既可供从事矿床学、地球化学、岩石学和找矿勘探的科研、教学人员及研究生参考,也可为矿山生产单位引用。

图书在版编目 (CIP) 数据

云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因:兼论峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系/黄智龙等著. —北京:地质出版社, 2004. 12
ISBN 7-116-04294-6

. 云... . 黄... . 铅锌矿床 - 地球化学 - 研究 - 会泽县 铅锌矿床 - 成因 - 研究 - 会泽县 峨眉山 - 玄武岩 - 关系 - 铅锌矿床 - 成矿条件 - 研究
. P618. 400. 627. 44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 128017 号

YUNNAN HUIZE CHAO DAXING QIANXIN KUANGCHUANG
DIQIU HUAXUE JI CHENGYIN

责任编辑:陈磊 祁向雷

责任校对:田建茹

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324565 (编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京中科印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm¹/₁₆

印 张:12.25

字 数:300 千字

印 数:1—600 册

版 次:2004 年 12 月北京第一版·第一次印刷

定 价:38.00 元

ISBN 7-116-04294-6/P·2537

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

金属矿产资源的可持续供应是我国经济增长、国家安全和提高国际竞争力的重要保障，资源经济也是我国实施西部大开发战略中的主导因素。Cu、Pb、Zn、Au、Ag、PGE等是我国的紧缺金属矿产资源，虽然国家投入了大量人力、物力、财力对这些紧缺矿产进行专项研究，在成矿理论及找矿方面都有所突破，但随着地质科研工作的不断深入和找矿勘探程度的不断提高，找矿工作由地表逐渐转向深部，目前作为指导找矿工作的成矿理论也越来越不能满足要求，这就需要地学工作者进一步完善现有成矿模式、建立新的成矿理论，用新的概念、理论、模式、观点、思路和技术方法，勘查发现深部的大型、超大型矿床，实现地质找矿的重大突破，促进国民经济的发展。

云南会泽铅锌矿是我国著名的 Pb、Zn、Ge 生产基地之一，在我国有色金属工业发展中占有举足轻重的地位，为云南冶金工业的可持续发展做出了重要贡献。该矿经过 40 多年的发展，先后有矿山厂和麒麟厂两个矿山投入生产，已成为采、选、冶、化联合企业，形成了氧化矿、硫化矿两套采、选、冶生产系统，采选能力 230 kt/a，铅锌冶炼能力 65 kt/a、锗 10 t/a。但是，与众多老矿山一样，会泽铅锌矿也面临资源枯竭的威胁，截至 1998 年，该矿已探明保有铅锌金属储量只能供矿山开采 8 ~10 a 的时间。面对这一严酷的现实，为了延长矿山的开采年限，进一步提高矿山的经济效益，稳定上万职工的正常生产和生活，就必须利用新理论、新技术、新方法在矿山深部及外围寻找新的资源。为此，云南驰宏锌锗有限公司（会泽铅锌矿）、昆明理工大学国土资源学院和中国科学院地球化学研究所联合承担了云南省省院省校合作项目“会泽铅锌矿区及外围隐伏矿定位预测研究（2000 ~2003；批准号：2000YK-04；项目由云南驰宏锌锗有限公司董事长（原会泽铅锌矿矿长）王洪江高级工程师为总负责，云南驰宏锌锗有限公司总工程师陈进高级工程师、昆明理工大学国土资源学院韩润生教授和中国科学院地球化学研究所所长刘丛强研究员为技术负责）”的研究工作；此外，云南驰宏锌锗有限公司还先后与昆明理工大学国土资源学院和中国科学院地球化学研究所密切合作进行了题为“会泽麒麟厂铅锌矿床深部找矿预测（1998 ~2000）”和“会泽铅锌矿矿床成因及成矿规律研究（1999 ~2001）”攻关项目（云南驰宏锌锗有限公司资助）的研究工作，中国科学院地球化学研究所同时还承担了题为“大规模流体运移与‘麒麟厂式’铅锌矿成矿（2001 至现在；批准号：40172038、40372048）”国家自然科学基金项目的研究工作。通过这些科研项目的实施，在成矿理论方面获得许多新的认识，同时在矿区深部先后找到了 8 号、1 号和 10 号原生矿体，铅锌等金属的储量大幅度增加，矿床规模达超大型。本书主要是理论研究成果的总结。

全书共分十章。第一章概述了会泽超大型铅锌矿床研究现状和存在的问题，同时介绍了本书主要研究内容及获得的主要研究成果；第二章从地层、构造、岩浆岩和矿产等方面

介绍了矿床区域地质背景；第三章首先介绍了矿区地质，然后从矿体特征、矿石组成及结构构造、围岩蚀变、成矿期次划分等方面总结了矿床地质特征；第四章根据矿区（及矿区外围）地层、峨眉山玄武岩成矿元素含量和脉石矿物方解石、控矿构造带中方解石稀土元素地球化学，分析了区域地层和峨眉山玄武岩提供成矿物质的潜力，探讨了成矿物质和成矿流体的来源；第五章系统介绍了矿床硫、碳、氢、氧以及铅、锶同位素地球化学特征，重点讨论了成矿物质和成矿流体的来源；第六章首先概述了铅锌矿床定年研究现状和存在的问题，然后介绍了矿床闪锌矿 Rb - Sr 和方解石 Sm - Nd 等时线定年结果，同时简述了定年意义；第七章首先介绍了地幔柱成矿作用和峨眉山玄武岩与铅锌成矿关系的研究现状，然后较为系统的总结了峨眉大火成岩省以及矿区（及矿区外围）峨眉山玄武岩的地质、地球化学特征，同时提供了峨眉大火成岩省地幔柱成因的重要证据，最后从成矿时代、成矿物质来源、成矿流体来源、成矿热动力等方面揭示了峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系；第八章首先描述了矿区构造体系及其地质特征，然后分析构造控矿规律和构造控矿模式；第九章分析了矿区赋矿地层（下石炭统摆佐组）的岩性、地球化学和成因特征及其与其他非赋矿碳酸盐岩地层的差异，讨论了赋矿地层在成矿过程中的作用；第十章首先根据区域地质、矿区地质、矿床地质、矿床地球化学等方面的研究成果，总结出矿床成因信息，然后通过与 MVT 铅锌矿床地质、地球化学进行对比，确定矿床可能的成因类型，最后建立矿床的成矿模式。

各章编写分工是：前言，黄智龙、陈进、韩润生；第一章，黄智龙、李文博、陈进、韩润生；第二章，黄智龙、韩润生、杨海林；第三章，陈进、高德荣、韩润生、黄智龙；第四章，黄智龙、李文博、陈进、韩润生；第五章，黄智龙、韩润生、李文博、张振亮、陈进；第六章，李文博、黄智龙、陈进、刘丛强；第七章，黄智龙、刘丛强、张振亮；第八章，韩润生、马德云、杨海林；第九章，黄智龙、韩润生、杨海林、陈进、高德荣、马德云；第十章，黄智龙、李文博、韩润生、陈进。全书由黄智龙、陈进、韩润生统一修改定稿。

研究过程中得到云南驰宏锌锗有限公司（会泽铅锌矿）、昆明理工大学和中国科学院地球化学研究所各级领导的大力支持和帮助，同时得到中国科学院地球化学研究所涂光炽院士的指导。除本书作者外，参加野外和室内研究工作的还有云南驰宏锌锗有限公司地测科全体人员，昆明理工大学国土资源学院李元教授、吴静博士、马更生工程师、符兵硕士和邹海俊硕士，中国科学院地球化学研究所张乾研究员、李朝阳研究员、夏勇博士、许成博士、管涛博士、张兴春博士、刘玉平博士、谢力华博士后和郑中硕士。中国科学院地球化学研究所、日本国立民族历史博物馆、南京大学现代分析测试中心和中国地质科学院矿床地质研究所完成了本次工作的分析测试。中国科学院地球化学研究所高振敏研究员、张乾研究员、胡瑞忠研究员、裘愉卓研究员、陈衍景研究员、温汉捷研究员，昆明理工大学李峰教授、冉崇英教授，贵州大学朱立军教授、何明勤教授以及贵州省地质矿产厅韩至均教授级高级工程师等以不同方式审阅过全文或部分章节，并提出了宝贵的修改意见。在此表示真诚的谢意！

感谢云南省科学技术厅、云南驰宏锌锗有限公司（会泽铅锌矿）和国家自然科学基金

金委资助的科研项目，有机会让云南驰宏锌锗有限公司、昆明理工大学和中国科学院地球化学研究所密切合作开展对会泽超大型铅锌矿床成矿理论和找矿研究。虽然该书由中国科学院地球化学研究所牵头撰写，但所获的认识为三家单位共同的研究成果。

由于各种原因，书中的认识和解释难免有不妥之处，敬请批评指正。

黄智龙 陈进 韩润生

2004年11月4日

目 录

第一章 绪论	(1)
一、研究现状	(1)
二、主要研究内容及取得的主要认识	(4)
第二章 区域地质	(7)
第一节 地层	(7)
一、基底	(7)
二、盖层	(9)
第二节 构造	(9)
一、南北向构造带	(9)
二、北东向构造带	(10)
三、北西向构造带	(10)
第三节 岩浆岩	(10)
第四节 矿产	(12)
第三章 矿床地质	(15)
第一节 矿区地质	(15)
一、地层	(15)
二、构造	(17)
三、岩浆岩	(18)
四、矿产	(18)
第二节 矿体地质	(18)
一、矿体产出特征	(18)
二、矿体形态、产状和规模	(21)
三、矿石特征	(24)
四、围岩蚀变	(25)
五、成矿期、成矿阶段及矿物生成顺序	(27)
第四章 成矿元素及稀土元素地球化学	(28)
第一节 成矿元素地球化学	(28)
一、分析对象	(28)
二、分析结果	(28)
三、成矿物质来源信息	(31)
第二节 脉石矿物方解石 REE 地球化学	(33)
一、脉石矿物方解石基本特征	(33)
二、分析结果	(34)
三、讨论	(38)
第三节 北东向构造带中方解石 REE 地球化学	(43)
一、NE 向构造带中方解石基本特征	(43)

二、分析对象及分析结果	(44)
三、讨论	(46)
第五章 同位素地球化学	(50)
第一节 S 同位素	(50)
一、分析样品及分析方法	(50)
二、分析结果	(50)
三、讨论	(54)
第二节 C、O 同位素	(55)
一、分析样品及分析方法	(55)
二、分析结果	(55)
三、讨论	(58)
第三节 H、O 同位素	(59)
一、分析样品及分析方法	(59)
二、分析结果	(59)
三、成矿流体中 H ₂ O 的来源	(60)
第四节 Pb 同位素	(63)
一、分析样品及分析方法	(64)
二、分析结果	(65)
三、讨论	(70)
第五节 Sr 同位素	(72)
一、分析样品及分析方法	(72)
二、分析结果	(73)
三、讨论	(73)
第六章 成矿时代	(77)
第一节 闪锌矿 Rb - Sr 等时线定年	(78)
一、存在的问题及研究进展	(78)
二、样品选择及分析方法	(80)
三、定年结果	(80)
第二节 方解石 Sm - Nd 等时线定年	(82)
一、样品及分析方法	(83)
二、定年结果	(84)
第七章 峨眉山玄武岩及其与铅锌成矿的关系	(87)
第一节 引言	(87)
一、地幔柱成矿作用	(87)
二、峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系	(88)
第二节 峨眉山大火成岩省	(88)
一、时空分布	(89)
二、岩相学	(90)
三、地球化学	(93)
四、成因讨论	(106)
第三节 矿区 (和矿区外围) 峨眉山玄武岩基本特征	(108)

一、岩相学	(109)
二、地球化学	(109)
三、岩石成因	(115)
第四节 峨眉山玄武岩与成矿的关系	(117)
一、成矿时代	(117)
二、成矿物质来源	(117)
三、成矿流体来源	(117)
四、成矿热动力	(118)
第八章 构造与成矿的关系	(119)
第一节 构造体系	(119)
一、断裂结构面力学性质的系统鉴定	(119)
二、构造体系演化	(123)
第二节 构造控矿	(123)
一、控矿构造型式	(123)
二、成矿构造体系	(123)
三、构造控矿特征	(124)
四、构造控矿规律	(125)
五、构造控矿模式	(126)
第九章 地层与成矿的关系	(127)
第一节 岩性及成因	(127)
一、岩性特征	(127)
二、成因	(128)
第二节 地球化学	(128)
一、主要元素	(128)
二、稀土元素 (REE)	(130)
第三节 地层在成矿过程中的作用	(137)
一、成矿空间	(137)
二、地球化学障	(138)
第十章 矿床成因	(139)
第一节 成因信息	(139)
一、有利的成矿背景	(139)
二、独特的矿床地质特征	(139)
三、成矿物质、成矿流体多源性	(140)
四、成矿流体均一化	(140)
第二节 成因类型及成矿模式	(141)
一、成因类型	(141)
二、可能的成矿模式	(144)
参考文献	(146)
附表	(154)

第一章 绪 论

矿床成因对深部及外围找矿具有重要的指导作用。会泽超大型铅锌矿床位于扬子地台西南缘川 - 滇 - 黔铅锌多金属成矿域的中南部, 该区具有十分有利的成矿地质背景, 加之矿床具有独特的地质特征, 尤其是其铅锌含量高 (Pb + Zn 多在 25% ~35%, 部分矿石 Pb + Zn 含量超过 60%)、伴生有用元素多 (Ag、Ge、Cd、In、Ga 等) 等特征暗示其成矿机制较为特殊。涂光炽院士 2001 年在实地考察该矿床后的座谈会上指出: 像会泽超大型铅锌矿床规模如此大、品位如此高、有用组分如此多的铅锌矿床在世界范围内也极少报道; 涂光炽院士 (在中国科学院地球化学研究所学术报告会上) 同时指出, 分散元素 (Ge、Ga、Cd 和 In 等) 只有在较为特殊地质环境下才能聚集成矿。会泽超大型铅锌矿床除 Pb + Zn 品位高外, 集众多分散元素于一身, 暗示其成矿环境极为特殊, 加上该矿床在川-滇-黔铅锌多金属成矿域中很具代表性, 因而具有很高的研究价值。

一、研究现状

会泽超大型铅锌矿床以其规模大、品位高、伴生元素多而吸引了许多国内外地学工作者的关注, 虽然近年来许多学者从矿床地质 (柳贺昌和林文达, 1999; 高德荣, 2000; 陈进等, 2001; Han et al., 2004)、构造控矿 (韩润生等, 2000)、成矿物质与成矿流体来源 (柳贺昌和林文达, 1999; Zhou et al., 2001; 黄智龙等, 2001a; Huang et al., 2003) 和成矿预测 (高德荣, 2000; 陈进等, 2001; 韩润生等, 2001a) 等方面对该矿床做过研究工作, 但目前对成矿时代、成矿物质来源、成矿流体来源与演化、峨眉玄武岩岩浆活动与成矿的关系等方面的认识还存在很大分歧。在此就这些问题分析国内外研究现状。

1. 成矿时代

到目前为止, 包括会泽超大型铅锌矿床在内的川-滇-黔铅锌多金属成矿域还没有一个准确可信的年代学数据, 这严重制约了矿床成矿机制研究, 不同学者根据地质和区域铅锌矿床 Pb 同位素模式年龄对其成矿时代有不同的认识, 张云湘等 (1988) 认为包括会泽铅锌矿在内的滇东北铅锌矿带为多期成矿产物, 主成矿期为海西晚期和燕山期; 杨应选和管士平 (1994) 将康滇地轴东缘铅锌矿床 (包括会泽超大型铅锌矿床) 划分为海西成矿期和印支-燕山成矿期; 欧锦秀 (1996) 将黔西北青山铅锌矿床矿石铅单阶段演化模式年龄 134 ~192 Ma 作为成矿年龄, 认为矿床形成于燕山期; 张立生 (1998) 认为该区铅锌矿床成矿作用发生于晚二叠纪; 柳贺昌和林文达 (1999) 将该区铅锌矿床作为上古生界矿床讨论, 认为矿床形成于海西晚期和印支-燕山期; 管士平和李忠雄 (1999) 利用 Pb 同位素组成计算出该区铅锌矿床成矿时代为 245Ma; Zhou 等 (2001) 认为会泽超大型铅锌矿床形成于喜马拉雅期; 黄智龙等 (2001b) 根据川-滇-黔铅锌多金属成矿域 400 多个矿床 (点) 集中分布于峨眉山玄武岩以下各时代地层中 (只有 3 个矿化点在三叠纪地层中例外), 推测矿床成矿时代可能与峨眉山玄武岩岩浆活动时代相近。

铅锌矿床定年一直是国内外地学界的难题，即使是世界上研究程度最高的 MVT 矿床也是如此 (Sangster, 1996)，其主要原因是铅锌矿床中一般缺少可直接用于同位素定年的矿物 (Nakai et al., 1993; Sangster, 1996)。Symons and Sangster (1991) 和 Symons 等 (1995) 曾利用古地磁法确定了 MVT 矿床的成矿时代，但由于其理论不完善和在古地磁极解释上的不确定性而未得到广泛应用。随着测试技术的提高，Changkakoti 等 (1988)、Nakai 等 (1990, 1993)、Brannon 等 (1992)、Christensen 等 (1995a, 1995b) 相继在《Nature》等高级别刊物上发表了一批直接测定铅锌矿床中硫化物 (主要是闪锌矿) 或其中流体包裹体 Rb - Sr 等时线年龄。刘建明等 (1998) 认为，由于样品处理过程中很难排除次生包裹体的影响，直接测定的硫化物中流体包裹体 Rb - Sr 等时线年龄可能会存在多解性；单一硫化物 Rb/Sr 值变化不明显，很难构筑一条等时线，用矿物组合来测定 Rb - Sr 等时线年龄可能更好。Re - Os 法是一种较新的同位素定年方法，由于 Re 为亲铜元素、Os 为亲铁元素，在硫化物沉淀过程中 Re/Os 值的分异显著 (Ravizza and Turekian, 1989)，可直接测定硫化物的年龄。虽然目前 Re - Os 法主要用于测定辉钼矿的年龄 (刘建明等, 1998)，但也有学者报道过黄铁矿的 Re - Os 年龄 (Stein et al., 1998)；国内也有学者致力于该方法的开发研究，并已开始用于测定黄铁矿等多种硫化物的年龄 (陈江峰，私人交谈)，相信该方法能在测定铅锌矿成矿时代上有很好的应用前景。

Sm、Nd 同为稀土元素 (REE)，稳定性好，变化同步，不易受改造，母体衰变形成的子体容易在矿物的晶格中保存下来，所以 Sm - Nd 等时线是一种较为理想的定年方法。许多学者已成功利用萤石、白钨矿和电气石等含 Ca 矿物对相关矿床进行了 Sm - Nd 等时线定年 (Halliday et al., 1990; Chesley et al., 1991, 1994; Kent et al., 1995; Eichhorn et al., 1997; Jiang et al., 2000)。方解石是许多矿床中常见的脉石矿物，研究表明，REE 进入方解石晶体中，除了晶体溶解之外，其他过程不可能破坏方解石稀土配分模式这个地质记录密码 (Zhong and Alfonso, 1995)，因此，这种矿物具有 Sm - Nd 等时线定年的潜力。彭建堂等 (2002) 成功地利用 LREE 亏损型热液方解石对湘中锡矿山锑矿床进行了 Sm - Nd 等时线定年。方解石是会泽超大型铅锌矿床原生矿石中最主要的脉石矿物，黄智龙等 (2001a) 的研究表明，该区不同产状方解石为同源产物，其 REE 含量变化范围宽，Sm/Nd 值变化大，为 Sm - Nd 等时线定年创造了条件。

2. 成矿物质来源、成矿流体来源与演化

由于会泽超大型铅锌矿床赋存于下石炭统摆佐组白云岩中，区域上有大面积峨眉山玄武岩分布，较多学者认为成矿物质由碳酸盐岩地层和玄武岩提供 (廖文, 1984; 陈进, 1993; 柳贺昌和林文达, 1999; 韩润生等, 2001b)，但也有不同的认识，如李连举等 (1999) 提出上震旦统、下寒武统、中上泥盆统和石炭系地层是区域重要的矿源层；胡耀国 (1999) 则认为成矿物质主要来源于区域前寒纪基底 (如昆阳群等)；Zhou 等 (2001) 根据铅锌等成矿物质的背景含量、Pb 和 Sr 同位素组成认为成矿物质主要由早震旦纪火山岩提供；李文博等 (2002) 的研究发现，会泽超大型铅锌矿床矿区外围各时代碳酸盐岩地层 Pb、Zn、Ge、Ga、Cd 和 In 等成矿元素的含量明显低于克拉克值，也低于中国东部碳酸盐岩上述元素的平值含量，结合各时代碳酸盐岩地层普遍有重结晶特征，暗示其中成矿元素有明显被迁移现象，表明成矿元素可能由各时代的碳酸盐岩地层提供；铅同位素组成研究 (后文) 也证实，碳酸盐岩地层、峨眉山玄武岩、基底地层均可能提供成矿物质。

上述均表明, 会泽超大型铅锌矿床成矿物质具有“多来源”特征。

由于会泽超大型铅锌矿床不同稳定同位素组成示踪出不同成矿流体来源, 有关成矿流体来源更是众说纷纭。柳贺昌和林文达(1999)、韩润生等(2001b)和本次工作测得原生矿石中矿石矿物的 ^{34}S 值主要在11‰~17‰, 表明硫来源于海水硫酸盐的还原, 区域上多个时代的碳酸盐岩地层中含有重晶石、石膏等硫酸盐矿物, 且其硫同位素组成(^{34}S : 13‰~17‰)与矿石相近, 证实成矿流体中的硫主要来源于碳酸盐岩地层; 原生矿石中脉石矿物方解石的 $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值和 $^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值分析为-2.1‰~-3.5‰(均值-2.8‰)和介于16.7‰~+18.6‰(均值17.7‰), 在 $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ - $^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图上集中于岩浆碳酸盐岩与海相碳酸盐岩之间的狭小范围内, Huang等(2003)据此认为矿床成矿流体为壳-幔混合流体, 其中壳源组分可能主要由矿区(或区域)碳酸盐岩地层提供, 而幔源组分则可能与区域大面积峨眉山玄武岩岩浆活动过程中的去气作用有关; 原生矿石中脉石矿物方解石流体包裹体的 D 值和 $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值分别为-55.8‰~-75‰和6.44‰~8.04‰(柳贺昌和林文达, 1999), 在岩浆水H、O同位素组成范围之内, 表明成矿流体中的 H_2O 主要来自深部。这些资料均表明, 会泽超大型铅锌矿床成矿流体具有“多来源”特征。

虽然会泽超大型铅锌矿床现已探明的1号、6号、8号和10号原生矿体出露于不同标高(分别为1751 m、1631 m、1571 m、1451 m), 但其矿物组合相似(矿石矿物为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿, 脉石矿物为方解石); 本次工作(后文)测得6号和1号矿体的方解石Sm-Nd等时线年龄一致, 分别为(226 ±15) Ma和(225 ±38) Ma; 不同矿体的Pb、S、C、O同位素组成区别不明显(后文), 且各自具有较小的变化范围。这些特征均表明, 矿床为均一化成矿流体同期成矿作用的产物, 管士平和李忠雄(1999)也指出, 康滇地轴东缘分布于不同层位的铅锌矿床为同一体系一次性成矿作用的产物。会泽超大型铅锌矿床S同位素组成存在 $^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} > ^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > ^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$, 表明成矿过程中硫已达到平衡; C、O同位素组成显示成矿流体为壳-幔混合流体(Huang et al., 2003), 但其 $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值和 $^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值相对稳定, 均表明矿床成矿流体存在均一化过程。Zhou等(2001)也认为该矿床Pb同位素组成不具明显的变化为成矿流体存在均一化的结果。

3. 峨眉山玄武岩与成矿的关系

会泽超大型铅锌矿床(以及川-滇-黔铅锌多金属成矿域的众多矿床)的外围有大面积峨眉山玄武岩出露, 对峨眉山玄武岩岩浆活动与成矿的关系, 不同学者有不同的认识, 廖文(1984)、陈进(1993)、柳贺昌(1995)和韩润生等(2001b)认为峨眉山玄武岩在成矿过程中提供成矿物质; 张云湘等(1988)、胡耀国(1999)认为峨眉山玄武岩在成矿过程中主要起提供热动力作用; 李文博等(2002)的分析结果显示, 峨眉山玄武岩成矿元素背景含量明显高于各时代碳酸盐岩地层的含量, 但不同地区峨眉山玄武岩成矿元素含量相对稳定、且与中国东部以及国外玄武岩成矿元素含量不具明显变化, 表明这种岩石在成矿过程中提供大量成矿物质的可能性较小。黄智龙等(2001b)的初步研究结果表明, 会泽超大型铅锌矿成矿时代与峨眉山玄武岩成岩时代相近, 峨眉山玄武岩具有提供成矿物质的潜力, 伴随峨眉山玄武岩岩浆活动过程中去气作用形成的流体参与了会泽超大型铅锌矿床(以及川-滇-黔铅锌多金属成矿域)的成矿作用, 峨眉山玄武岩岩浆活动在成矿过程中提供了热动力。

地幔柱-热点成矿作用是当今矿床学研究的又一前沿课题之一。李红阳等(1996)和

牛树银等 (1996) 指出, 地幔柱-热点活动可形成有利于成矿的“成矿物质大规模聚集的成矿物质场”、“驱动壳/幔成矿物质的热-化学交换和流体输导运移的成矿能量场”和“矿质迁移和沉淀的成矿空间场”, 因而从根本上控制了“大矿集中区”的发育; 王登红 (1996) 在评述地幔柱-热点成矿作用中强调, 地幔柱-热点可能影响到各种环境的矿床和地球演化各个阶段的成矿作用; 刘丛强等 (2001) 列举了大量实例说明伴随地幔柱活动的岩浆作用过程中的地幔去气和岩浆去气作用形成的流体参与了成矿作用。国外较早开展地幔柱-热点成矿作用研究, Sawkins (1976)、Mitchell and Garson (1981) 和 Piragno (2000) 分别总结了该领域的研究成果, 发现自然界许多金属、非金属矿床成矿都与地幔柱-热点活动有密切联系。国内对该领域的研究起步较晚, 但李红阳等 (1996)、牛树银等 (1996) 对华北地台金银多金属矿床地幔柱-热点成矿作用做了较为系统的研究, 侯增谦和李红阳 (1998) 论述了三江特提斯成矿域幔柱构造与成矿系统。

峨眉玄武岩是我国较为典型地幔柱活动产物 (Chung and John, 1995; 王登红, 2001; Xu et al., 2001; Song et al., 2001), 谢家荣 (1964) 在 20 世纪 60 年代就注意到西面大面积峨眉山玄武岩岩浆活动与成矿具有内在联系, 但由于在这类岩石中没有找到像样的矿床而一直未被矿床学家所重视, 到 90 年代随着地幔柱-热点成矿作用研究的不断深入, 峨眉山玄武岩岩浆活动与成矿关系才逐渐被我国矿床学家所关注, 侯增谦和李红阳 (1998) 已将三江地区金属矿床与幔柱构造对应起来, 将赋存于碳酸盐岩地层的铅锌银矿床 (川-滇-黔铅锌金属成矿域的矿床绝大部分为这种类型) 归入热幔柱成矿体系的热幔柱-热点成矿系统之内, 其成矿体制为热动力成矿; 王登红 (2001) 也认为, 我国西南部包括铅锌矿床在内的许多金属矿床的大规模成矿作用与地幔柱活动存在密切联系。

二、主要研究内容及取得的主要认识

1. 主要研究内容

本书的主要研究内容: 通过区域野外地质考察, 结合遥感、地球物理资料, 从区域构造演化、地层分布及沉积环境、岩浆活动规律以及成矿元素含量等方面研究了矿床的区域成矿地质条件; 通过会泽超大型铅锌矿床及附近的铅锌矿床 (点) 的野外地质调查, 对现有勘探工程、开拓工程和采矿工程进行深入详细地的地质观察, 研究了矿床的矿区地质、矿床地质特征; 在室内详细镜下观察基础上, 利用先进的分析测试技术进行了同位素年代学、主要元素、微量元素、稀土元素、Sr、Pb、S、C、H、O 同位素组成测定, 确定了矿床的成矿时代, 探讨矿床成矿物质、成矿流体的来源及演化; 通过区域、矿区和矿区外围峨眉山玄武岩岩石学、主要元素、微量元素、稀土元素和同位素地球化学研究, 探讨了峨眉山玄武岩的成因以及提供成矿物质和成矿流体的潜力, 揭示了峨眉山玄武岩岩浆活动与铅锌矿成矿的内在联系; 在考察矿区及区域不同时代地层的分布、与岩浆岩及铅锌矿床之间的关系接触基础上, 测定了矿区不同地层成矿物质的相对含量, 探讨了地层提供成矿物质的潜力, 综合矿床地球化学研究结果, 研究了地层与铅锌矿成矿的关系; 通过野外地质考察, 确定了矿区不同期次构造的性质及其与区域深大断裂之间的内在联系, 重点分析了矿区北东向构造 (控矿构造) 力学性质及其控矿特征, 结合地球化学分析资料, 研究了构造活动过程中流体的来源、组成及演化, 进而讨论了构造与铅锌矿成矿的关系; 综合所获各种地质、地球化学资料, 总结出矿床成因信息, 初步建立

了矿床成因模式。

2. 取得的主要认识

(1) 会泽超大型铅锌矿床可能为一种新类型铅锌矿床：矿床不仅具有有利的成矿地质背景，而且具有独特的地质特征，尤其是其规模大、品位高、伴生有用元素多在世界范围内极为少见。对比分析结果表明，该矿床地质、地球化学化学特征既不同于 MVT 铅锌矿床、也不同于 SEDEX 铅锌矿床，笔者认为可能是一种新类型铅锌矿床，暂称之为“麒麟厂式”铅锌矿床。

(2) 获得了精确的成矿年代学数据：利用矿石矿物闪锌矿 Rb - Sr 等时线测得会泽超大型铅锌矿床 1 号矿体成矿时代为 (225.9 ± 1.1) Ma、6 号矿体为 (224.8 ± 1.2) Ma、10 号矿体为 (226.0 ± 6.9) Ma，脉石矿物方解石 Sm - Nd 等时线测得矿床 1 号矿体成矿时代为 (225 ± 38) Ma、6 号矿体为 (226 ± 15) Ma。可见，该区不同矿体的成矿时代基本一致，加之不同矿体的矿物组合以及 Sr、Pb、S、C、H、O 同位素组成不具明显变化，认为矿床为一次性成矿作用的产物。所获成矿时代与峨眉山玄武岩成岩时代相近（前者略低于后者），为峨眉山玄武岩岩浆活动与铅锌成矿作用之间存在密切联系提供了年代学证据。

(3) 成矿物质、成矿流体多来源：成矿元素地球化学以及 Pb、Sr 同位素组成研究表明，区域褶皱基底（昆阳群和会理群）、各时代碳酸盐岩地层和峨眉山玄武岩均可能提供会泽超大型铅锌矿床成矿物质，其中褶皱基底（昆阳群和会理群）为重要的矿源层。S 同位素组成显示，矿床成矿流体中的硫来源于海水硫酸盐的还原，主要由矿区（或区域）含膏盐地层提供；C、H、O 同位素组成表明，成矿流体为壳-幔混合流体，其中壳源组分可能主要由矿区（或区域）碳酸盐岩地层提供，而幔源组分则可能与区域大面积峨眉山玄武岩岩浆活动过程中的去气作用有关；脉石矿物方解石 REE 地球化学和控矿构造带脉状方解石 REE 地球化学进一步证实，伴随峨眉山玄武岩岩浆活动过程中去气作用（包括地幔去气作用和岩浆去气作用）形成的流体参与了矿床的成矿作用。可见，矿床成矿物质、成矿流体具有多源性。

(4) 成矿流体均一化：会泽超大型铅锌矿床不同矿体具有相似的矿物组合（矿石矿物为方铅矿、闪锌矿和黄铁矿，脉石矿物为方解石）、基本一致的成矿时代、同位素组成不具明显的区别且各自具有较小的变化范围，这些均表明矿床成矿流体存在均一化过程。据此，笔者推测矿床存在成矿流体均一化场所——成矿流体储库，至于该成矿流体储库的规模、具体位置、形成机制还有待深入研究。从矿床铅锌品位高、伴生元素多、矿物组合相对简单等特征看，成矿流体在成矿流体储库中有一高度浓缩过程。

(5) 构造、地层和峨眉山玄武岩与成矿均存在密切联系：会泽超大型铅锌矿床明显受构造控制，区域小江深断裂带和昭通-曲靖隐伏断裂带为形成深源成矿流体提供了有利的成矿地质背景，矿山厂、麒麟厂压扭性断裂为含矿流体的贯入提供了通道，下石炭统摆佐组中北东向层间压扭性断裂为矿质提供了储存空间，并直接控制了矿体的形成和分布。下石炭统摆佐组碳酸盐岩为该区最主要赋矿地层，该套地层的矿物组合和地球化学特征与区内其他时代碳酸盐岩地层均存在一定的差异；在成矿过程中该套地层除提供部分成矿物质、成矿流体外，还起到“地球化学障”的作用。区域大面积峨眉山玄武岩为峨眉山大火成岩省的重要组成部分，其 3 个岩区（西岩区、中岩区和东岩区）的矿物组合、地球

化学以及形成环境均存在一定的差别，但成因上密不可分，为地幔柱岩浆活动产物；矿区及矿区外围峨眉山玄武岩为峨眉山大火成岩省东岩区组成部分，在铅锌成矿过程中起到提供部分成矿物质、成矿流体以及成矿热动力等重要作用。

(6) 初步建立了矿床成因模式：综合各种地质、地球化学资料，初步建立了会泽超大型铅锌矿床成矿模式——“均一化成矿流体贯入成矿”，其成矿机制简述为：峨眉山玄武岩岩浆活动引发区域大规模流体运移，使地层中膏盐层的硫还原成硫代硫酸和氢硫酸，并淋滤各时代地层（包括基底）中的成矿元素，携带成矿元素的流体运移至成矿流体储库发生混合、均一化和浓缩形成高度富集铅锌等成矿元素的成矿流体，沿有利构造贯入成矿。

第二章 区域地质

会泽超大型铅锌矿床位于距云南省会泽县县城约 40 km 的矿山镇境内（矿山总部在者海镇）。大地构造处于扬子地台西南缘、攀西裂谷（或康滇地轴）主干断裂带——小江深断裂带东侧，小江深断裂带和昭通-曲靖隐伏深断裂带间的北东构造带、南北构造带及北西岷都构造带的构造复合部位（图 2-1）。矿床位于川-滇-黔铅锌多金属成矿域中南部，为该成矿域内的典型超大型铅、锌、银、锗多金属矿床。该区地壳结构复杂、构造活动强烈、岩浆活动频繁，具有十分有利的成矿地质背景。

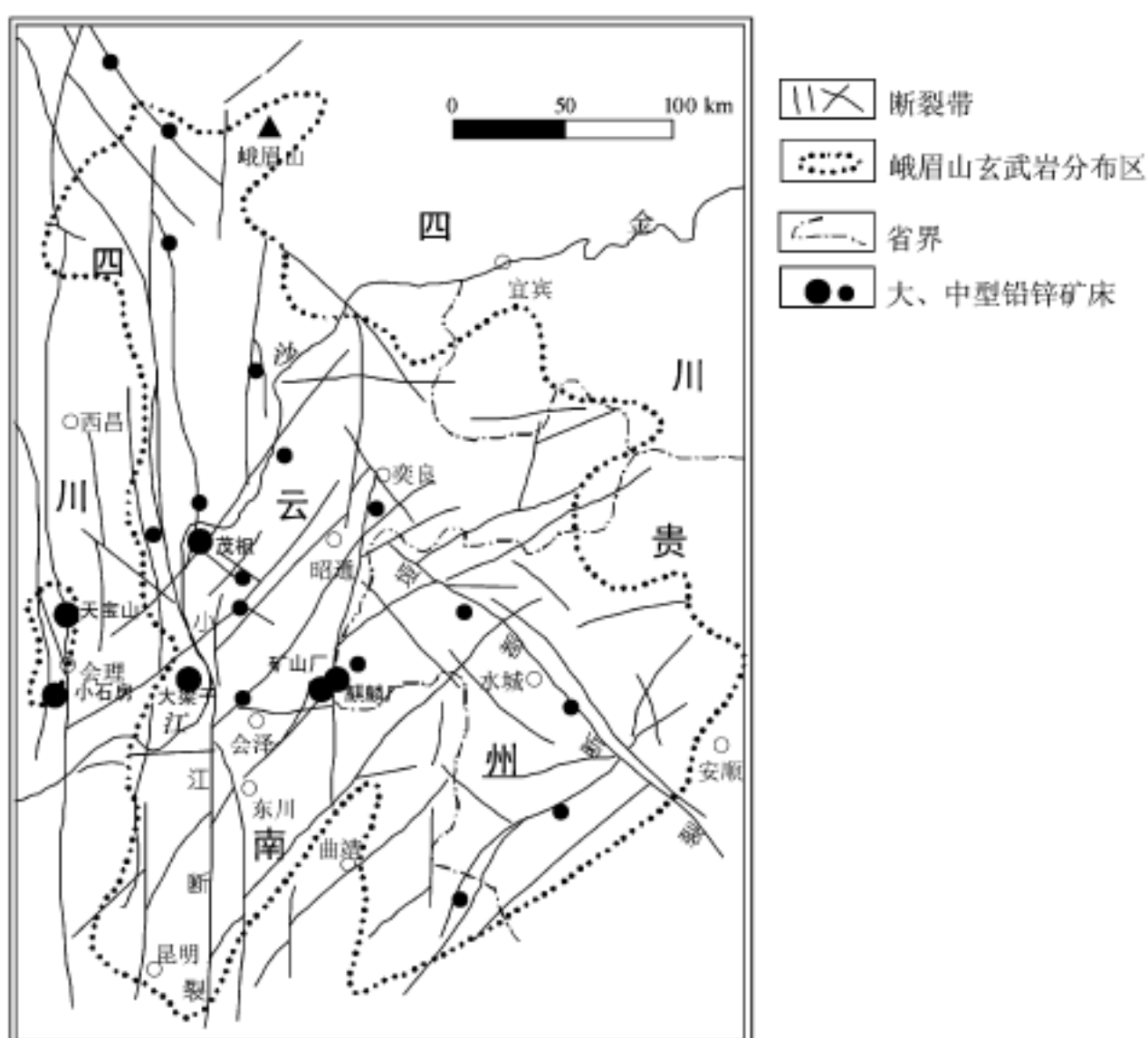


图 2-1 川-滇-黔铅锌多金属成矿域构造、玄武岩和矿床分布简图

第一节 地 层

一、基底

区域基底地层具有“双层结构”，即古元古代-太古宙结晶基底和中元古代褶皱基底。

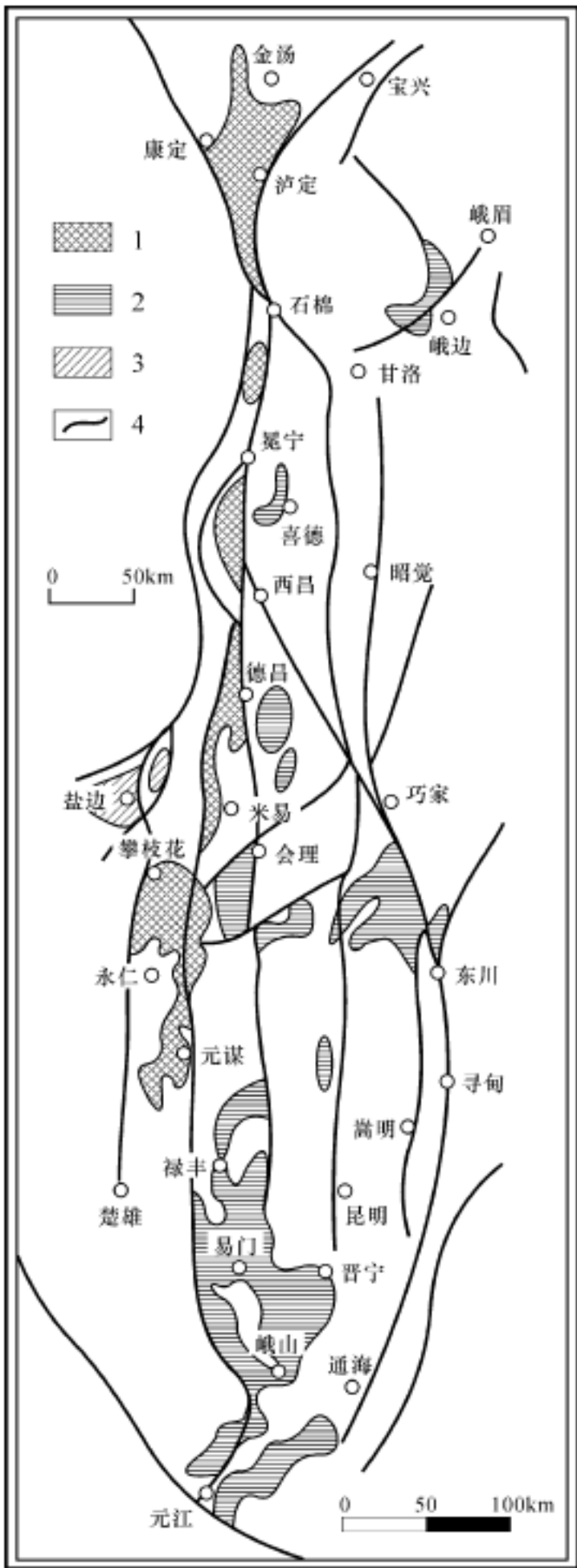


图 2-2 扬子地台西缘基底地层分布图

1—康定群；2—会理群（昆阳群）；3—盐边群；4—断裂带

结晶基底为以康定杂岩为主体的康定群，其分布北起四川康定-泸定之间，南经石棉、冕宁、西昌、攀枝花延至云南元谋一带，两侧均为断裂带所限（图 2-2）；康定群为一套片麻状的岩石组合，主要由斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、黑云变粒岩和少量二辉麻粒岩等组成，岩石普遍遭受重熔混合岩化作用，局部出现奥长花岗质、英云闪长质和角闪二辉质混合片麻岩；原岩恢复结果表明，该套地层为一套火山-沉积岩组合，其下部以基性火山熔岩为主，向上变为中酸性火山岩及火山碎屑岩-火山质浊积岩，最后转为正常的沉积岩；张云湘等（1988）获得该区同德混合岩化麻粒岩 Pb-Pb 全岩等时线法年龄为 2957 Ma、沙坝混合片麻岩 Rb-Sr 等时线年龄为 2404 Ma。

褶皱基底地层分布于以轴部为南北向康定群结晶基底带为界的两侧（图 2-2），西侧以盐边群为代表，分布于盐边一带，厚度近 10000 m，主要为一套轻微变质的复理石和枕状熔岩组合，形成于优地槽构造环境；东带以会理群为代表，主要分布于会理、通安和会东一带，总体以浅变质的正常沉积岩为特征，夹少量火山岩，变质程度为低绿片岩相，厚度近 1500 m，形成于冒地槽构造环境；从柏林（1988）报道其 Rb-Sr 等时线年龄为 906.7 ~1185.6 Ma。会泽超大型铅锌矿床所在区域仅出露褶皱基底，以昆明群为代表，主要分布于东川、易门一带，厚度近 10000 m，主要为一套由碳酸盐岩和碎屑岩组成的复理石建造，著名的东川铜矿床和易门铜矿床均产于该套地层中；常向阳等（1997）获得东川地区昆阳群落雪组白云岩、黑山组炭质板岩的 Pb-Pb 等时

线年龄为 1600 ~1800 Ma、大营盘组炭质板岩 Pb-Pb 等时线年龄为 1200 ~1300 Ma。

二、盖层

区域盖层发育自震旦纪至第四纪各时代地层，虽然不同地区相同时代地层的名称和出露厚度有所差异，但其岩性可进行对比（张云湘等，1988；柳贺昌和林文达，1999）。其中震旦系下统为一套陆相红色磨拉石建造，向东逐渐过渡为陆-浅海相碎屑沉积；上统下部零星出露陆相冰川堆积物，中部由北向南由碳酸盐岩过渡为碎屑岩，上部为碳酸盐岩，其中含膏盐层。寒武系上统为碳酸盐岩；中、下统以碎屑岩为主夹碳酸盐岩，下统夹含磷碎屑岩。奥陶系下部以碎屑岩为主、夹少量碳酸盐岩，中部为碳酸盐岩，上部为页岩、碎屑岩或白云岩。志留系主要为滨-浅海相砂岩、泥岩及泥质碳酸盐岩，局部为白云岩。泥盆系为滨-浅海相碎屑岩及碳酸盐岩。石炭系底部为含煤碎屑沉积，向上为碳酸盐岩。二叠系下统以海相碳酸盐岩为主，下部为砂岩、页岩；上统主要为滨-浅海相含煤碎屑岩及碳酸盐岩和陆相含煤砂泥岩。三叠系下部为长石石英砂岩、粉砂岩夹泥岩、泥灰岩，中部以碳酸盐岩为主，上部为碎屑岩夹泥灰岩、煤层。侏罗系为长石石英砂岩、粉砂岩及页岩，底部常见一砾石层，上部夹少量泥晶灰岩。白垩系为紫红色含岩屑石英砂岩及砾岩层。第三系主要为湖沼相粘土岩、砾岩，夹褐煤层。第四系为残坡积、冲积、洪积砂砾粘土层，河湖相或湖沼相沉积物中夹褐煤或泥炭层。

第二节 构造

会泽超大型铅锌矿床大地构造位置处于扬子地台西南缘、攀西裂谷（或康滇地轴）主干断裂带——小江深断裂带东侧，小江深断裂带和昭通-曲靖隐伏深断裂带间的北东构造带、南北构造带及北西垭都构造带的构造复合部位，可见其构造（尤其是断裂）体系非常复杂。从构造展布看，本区构造大体可划分为三组，即南北向构造带、北东向构造带和北西向构造。

一、南北向构造带

以安宁河深断裂带、小江深断裂带和昭通-曲靖隐伏深断裂带为代表（图2-1）。安宁河断裂带为攀西裂谷（或康滇地轴）主干断裂带之一，居于攀西裂谷轴部，北起四川石棉，经冕宁、西昌、德昌和会理后，穿过金沙江与云南境内易门断裂带相连。张云湘等（1988）总结了该断裂带的基本特征：形成时间早，继承先成基底断裂，发生过多期活动，始终控制两侧的地质构造发展；不同构造阶段表现不同的力学性质，中元古代初具张性岩石圈断裂，晋宁运动转化为压性壳断裂，澄江期又转为张性岩石圈断裂，海西-印支期发展为典型裂谷型岩石圈断裂，喜马拉雅期被改造为压性冲断裂，现代又表现为左旋走滑断裂；海西-印支期的张性岩石圈断裂属性最为明显，组成攀西裂谷轴部的主干断裂，控制着裂谷内岩浆活动和盆地形成。此外，该断裂带对川-滇-黔铅锌多金属成矿域内铅锌矿床的分布也具有重要的控制作用，四川境内的天宝山和小石房大型铅锌矿床就分布在断裂带内（图2-1）。

小江深断裂带也为攀西裂谷（或康滇地轴）主干断裂带之一，北西由四川昭觉、宁南延入云南，经巧家、蒙姑沿小江河谷延伸，到东川附近分成东、西两支，西支经乌龙、