

85年5月23日

# 中国斑岩铜(钼)矿床

芮宗瑶

黄崇轲

齐国明

徐珏

张洪涛

著

地质出版社

# 中国斑岩铜（钼）矿床

芮宗瑶 黄崇轲 齐国明 徐珏 张洪涛 著

地 质 出 版 社

## 内 容 简 介

本书是一部斑岩铜(钼)矿床的专门论著。它是根据中国地质科学院矿床地质研究所《中国斑岩铜(钼)矿成矿机制和评价标志》研究成果编写而成,全书共分二十一章,它首次对我国斑岩铜(钼)矿床的地质特征、成矿理论和矿床评价等方面进行了比较系统、全面的总结。本书理论联系实际,对于岩石化学、微量元素、成因矿物、包裹体、稳定同位素和物理化学等的实际应用也有较好的论述。

本书适合金属矿床学、地球化学和矿物学的地质工作者和高等院校地质专业的师生参考。

## 中国斑岩铜(钼)矿床

芮宗瑶 黄崇钊 齐国明 徐压 张洪涛 著

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑:毕庶礼

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本:  $787 \times 1092^{1/16}$  印张:  $22^{7/8}$  字数: 525,000  
1984年11月北京第一版·1984年11月北京第一次印刷

印数: 1—1,950册 定价: 5.55 元

统一书号: 15038·新 1064

## 前 言

2

斑岩铜(钼)矿地质工作是新中国建立后开始的。本世纪五十年代初开展了铜矿峪、大黑山等斑岩铜、钼矿地质勘探,五十年代中期先后发现了铜厂、富家坞、多宝山、金堆城和栾川等特大型斑岩铜、钼矿床,七十年代以来又先后发现了希望很大的玉龙斑岩铜(钼)矿带及其他矿床和矿带,使此类型矿床储量在我国一跃而为首位,成为我国最重要的铜矿类型。与此同时,在找矿勘探方面,还积累了丰富的经验。

由于我国特定的地质发展历史、地质构造和岩浆活动特点,决定了世界三大主要斑岩铜(钼)矿带——古亚洲带(北部成矿域)、环太平洋带(东部成矿域)和特提斯—喜马拉雅带(西南部成矿域)——都贯通我国地域,因此,在我国具有广阔的找寻斑岩铜(钼)矿的前景。加之斑岩铜矿储量一般较大,矿石易采易选,并伴生有金银等多种有益组分,且多可露采,经济上有利,适于建立较长期的稳定的生产基地。因此,斑岩铜(钼)矿受到地质工作者的广泛重视。

为了更好地总结和研究中国斑岩铜(钼)矿的地质特征、成矿机制、成矿规律和评价标志,促进该类型矿床的普查勘探工作,地质矿产部(原国家地质总局)下达了“斑岩铜矿地质特征、成矿机制及其评价标志”的研究任务。这一项目由矿床地质研究所铜组承担<sup>①</sup>。自1976年以来,该专题研究组与江西、西藏和黑龙江等省(区)地质局(队)合作,先后重点解剖了玉龙、德兴和多宝山三大斑岩铜(钼)矿床,并赴全国主要斑岩铜(钼)矿带进行地质调查;同时进行了岩石化学、微量元素、成因矿物、包裹体和稳定同位素等实验研究。本文反映了专题组1976年以来的研究成果及解放以来我国评价这类矿床的地质工作经验,因此,这本书是从事该类型铜矿地质普查勘探和科研工作同志共同劳动的结晶。

本书包括二十一章,除绪论一章介绍斑岩铜(钼)矿一般概念外,其余可归为四部分:第一部分包括第二章到第十二章,从斑岩铜(钼)矿的时空分布、与构造-岩浆的关系、斑岩地质体特征、岩石化学、微量元素、云母系列、钾长石有序—无序、热液蚀变、矿石、流体包裹体和稳定同位素等方面,论述了中国斑岩铜(钼)矿的特征;第二部分包括第十三章到第十六章,综述了玉龙矿带、德兴矿田、多宝山矿田和长江中下游矿带的地质特征;第三部分包括第十七章和第十八章,讨论了中国斑岩铜(钼)矿分类、成矿机制和建立玉龙成矿模式;第四部分包括第十九章到第二十一章,评述了含矿斑岩与非含矿斑岩的鉴别、斑岩铜矿体系的顶与底以及矿带(区)和矿床评价诸方面的标志。

本书重点论述了斑岩铜(钼)矿的地质背景、斑岩、热流体、热液蚀变和矿石堆积等关键问题,力求理论联系实际,并企图通过理论研究的不断完善以更加透彻地回答评价实践中提出的问题。它的精髓在于:从分析中国特定的大地构造特点出发,指出中国大陆各时期增生边缘,亦即过渡性构造环境是形成与铜(钼)矿化有关的花岗质岩浆的有利空

<sup>①</sup> 参加野外地质工作的成员除本书作者外,还有黎诺和陈文明等。

间。并指出由于中国大陆具有复杂的增生历史，因此铜（钼）矿化具有多期（吕梁期、华力西期、印支期、燕山期和喜马拉雅期）和多带〔共有二十一个矿带（区）〕的特征。以大量野外观察和实验资料为依据，对铜（钼）斑岩岩浆起源、矿质来源、成矿物理化学条件、矿质迁移聚集等重要基本理论问题进行了初步探讨，并建立了玉龙成矿模式。初步建立了与幔源和壳源两类花岗质岩浆相对应的两类成矿热流体的物理化学标志。借助流体包裹体的溶液化学研究，解决了斑岩铜（钼）矿蚀变带钾长石与水白云母的实际平衡条件，从而有效地解释了钾硅酸盐蚀变岩与绢英岩的稳定关系以及其他蚀变岩的稳定关系。阐明了岩浆二次沸腾、热流体复苏沸腾及斑岩体顶部爆破对于成矿的意义。建立了评价含矿斑岩与非含矿斑岩的八条标志。建立了利用流体包裹体鉴别含矿斑岩的八条标志，根据流体包裹体的一系列特征，有可能估计蚀变和矿化程度及矿化持续的时间，推测工业矿化地段。建立了斑岩铜（钼）矿床体系的顶与底的标志，有可能准确地估计矿床的剥蚀深度。把岩石化学、微量元素、云母系列、钾长石有序—无序、副矿物、流体包裹体和稳定同位素等实验研究成果初步用于找矿实践，并力求建立更为准确可靠的矿带（区）和矿床评价标志。

书中还有很多问题有待深入研究，更待生产实践进一步检验。

专题研究组除受中国地质科学院矿床地质研究所直接领导外，在西藏工作期间，还接受中国地质科学院高原地质研究所领导，并由该所提供部分经费。

本书编写过程中得到中国地质科学院地质研究所和矿床地质研究所郭文魁、宋叔和名誉所长的关注和指导；张炳熹教授在百忙中给予热情指导；裴荣富、郑直、邵克忠、杜琦、唐静轩、闻广、张斌、袁忠信、艾惠珍、袁润广、唐甲酉、周耀华、皇甫泽民、丁厚盛、和唐仁鲤等审阅了手稿，提出许多宝贵意见；黄家山、吴静淑、程莱仙、金生今、李荫清、周兴汉、郑立暄、周剑雄、朱小玲和郭立鹤等配合本专题进行了实验研究；谢锡林为本专题作了电算处理；谭惠静审校手稿；周国容和王晓虹绘图，在此一并致谢。

书中不足之处，敬请读者批评指正。

著 者

1983年12月30日

统一书号：15038·新1064

定 价：5.55元

科 目：79—216

# 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 前 言                              |    |
| 第一章 绪论                           | 1  |
| 一、斑岩铜（钼）矿概念的沿革                   | 1  |
| 二、我国斑岩铜（钼）矿开发简史                  | 3  |
| 三、斑岩铜（钼）矿的前景展望                   | 4  |
| 第二章 我国斑岩铜（钼）矿的空间分布——二十一个成矿带（区）概述 | 5  |
| 一、北部成矿域                          | 5  |
| 二、东部成矿域                          | 9  |
| 三、西南部成矿域                         | 11 |
| 四、其它成矿域                          | 12 |
| 第三章 斑岩铜（钼）矿产出的区域地质背景             | 13 |
| 一、斑岩铜（钼）矿产出的大地构造单元               | 13 |
| 二、深断裂对斑岩铜（钼）矿的控制                 | 14 |
| 三、构造复合对斑岩铜（钼）矿的控制                | 14 |
| 四、区域火山活动与斑岩铜（钼）矿的关系              | 16 |
| 五、区域侵入活动与斑岩铜（钼）矿的关系              | 17 |
| 第四章 四十个铜（钼）斑岩体的地质特征              | 18 |
| 一、主岩体                            | 18 |
| 二、侵位顺序                           | 18 |
| 三、形成时代                           | 19 |
| 四、岩体产状                           | 20 |
| 五、岩体规模                           | 21 |
| 六、侵位方式                           | 22 |
| 七、侵位前的围岩                         | 22 |
| 八、构造控制                           | 22 |
| 九、矿化岩石类型                         | 23 |
| 十、主要矿物成分                         | 23 |
| 十一、副矿物成分                         | 23 |
| 十二、矿化类型                          | 24 |
| 第五章 铜（钼）斑岩的岩石化学                  | 37 |
| 一、岩石类型划分                         | 37 |
| 二、构造环境分析                         | 39 |
| 三、与 I 型-S 型和磁铁矿系列-钛铁矿系列花岗岩类对比    | 47 |
| 四、岩浆演化                           | 52 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 五、成岩温度和压力                          | 62  |
| 六、风化程度                             | 64  |
| 七、岩石化学成分与矿化类型的关系                   | 64  |
| 八、小结                               | 64  |
| <b>第六章 铜（钼）斑岩的微量元素</b>             | 67  |
| 一、微量元素分类                           | 67  |
| 二、稳定微量元素对构造-岩浆环境的指示意义              | 67  |
| 三、成矿微量元素带状分布                       | 72  |
| 四、铂族微量元素的地球化学意义                    | 75  |
| 五、矿化剂微量元素与矿化的关系                    | 76  |
| 六、小结                               | 77  |
| <b>第七章 铜（钼）斑岩环境中的云母系列及其与矿化的关系</b>  | 78  |
| 一、镁铁云母                             | 78  |
| 二、二八面体云母类                          | 92  |
| 三、云母类矿物对矿化类型的指示意义                  | 99  |
| 四、小结                               | 99  |
| <b>第八章 铜（钼）斑岩环境中钾长石有序—无序及其地质意义</b> | 102 |
| 一、样品的地质背景                          | 102 |
| 二、钾长石有序度测定                         | 103 |
| 三、钾长石的多形                           | 107 |
| 四、钾长石的构造参数                         | 112 |
| 五、钾长石的化学成分                         | 114 |
| 六、几个铜（钼）斑岩的钾长石有序度对比                | 117 |
| 七、影响钾长石有序度的因素                      | 117 |
| 八、钾长石有序度的地质意义                      | 118 |
| <b>第九章 斑岩铜（钼）矿的热液蚀变</b>            | 119 |
| 一、蚀变作用分期                           | 119 |
| 二、主要蚀变岩类型                          | 122 |
| 三、五类矿床的蚀变对比                        | 128 |
| 四、蚀变分带类型及分带机制                      | 132 |
| 五、蚀变带的岩石化学                         | 136 |
| 六、蚀变模式                             | 149 |
| <b>第十章 斑岩铜（钼）矿石</b>                | 151 |
| 一、矿化的空间分布特征                        | 151 |
| 二、矿石形成分期                           | 152 |
| 三、矿石的主要特点                          | 154 |
| 四、金属矿物                             | 154 |
| 五、黄铁矿及其微量元素                        | 156 |
| 六、黄铜矿及其微量元素                        | 158 |

|                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 七、辉钼矿及其中的铼·····                                                                                     | 159        |
| 八、矿石的主要结构构造·····                                                                                    | 161        |
| 九、金属硫化物的固溶体吸收实验·····                                                                                | 163        |
| 十、金属硫化物生成条件实验·····                                                                                  | 164        |
| 十一、影响金属硫化物溶解与沉淀的物理化学条件讨论·····                                                                       | 164        |
| 十二、小结·····                                                                                          | 169        |
| <b>第十一章 斑岩铜（钼）矿的流体包裹体和成矿流体特征·····</b>                                                               | <b>171</b> |
| 一、流体包裹体类型·····                                                                                      | 171        |
| 二、子矿物·····                                                                                          | 171        |
| 三、均一温度和爆裂温度·····                                                                                    | 174        |
| 四、气液比与流体沸腾·····                                                                                     | 179        |
| 五、含盐度和流体成分·····                                                                                     | 181        |
| 六、压力和成矿深度的估计·····                                                                                   | 185        |
| 七、对主要蚀变和矿化过程的pH值的估计·····                                                                            | 189        |
| 八、对 $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 体系和 $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 体系的 $a_{K^+}$ 和<br>$a_{Na^+}$ 的估计····· | 191        |
| 九、几类斑岩铜（钼）矿的流体包裹体对比·····                                                                            | 197        |
| 十、成矿流体的性质·····                                                                                      | 198        |
| 十一、实际意义·····                                                                                        | 199        |
| <b>第十二章 斑岩铜（钼）矿的稳定同位素·····</b>                                                                      | <b>201</b> |
| 一、硫同位素·····                                                                                         | 201        |
| 二、氢、氧和碳同位素·····                                                                                     | 214        |
| 三、锶同位素·····                                                                                         | 220        |
| 四、小结·····                                                                                           | 221        |
| <b>第十三章 玉龙斑岩铜（钼）矿矿带地质·····</b>                                                                      | <b>223</b> |
| 一、发现和研究史·····                                                                                       | 223        |
| 二、构造轮廓·····                                                                                         | 224        |
| 三、地层·····                                                                                           | 224        |
| 四、岩浆活动·····                                                                                         | 226        |
| 五、矿床·····                                                                                           | 237        |
| 六、成矿控制因素·····                                                                                       | 239        |
| <b>第十四章 德兴斑岩铜（钼）矿矿田地质·····</b>                                                                      | <b>242</b> |
| 一、区域构造背景·····                                                                                       | 242        |
| 二、地层背景·····                                                                                         | 243        |
| 三、岩浆活动背景·····                                                                                       | 244        |
| 四、浅成含矿斑岩·····                                                                                       | 244        |
| 五、蚀变和矿化对称分带·····                                                                                    | 247        |
| 六、矿石·····                                                                                           | 251        |
| 七、控矿地质因素·····                                                                                       | 252        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第十五章 多宝山斑岩铜（钼）矿矿田地质</b>      | 254 |
| 一、区域地质构造背景                      | 254 |
| 二、地层背景                          | 255 |
| 三、岩浆岩背景                         | 256 |
| 四、热液蚀变及其与矿化的关系                  | 258 |
| 五、矿带、矿体和矿石                      | 259 |
| 六、成矿控制条件                        | 260 |
| <b>第十六章 长江中下游斑岩铜矿矿带地质</b>       | 262 |
| 一、地质构造背景                        | 262 |
| 二、拗陷带内部的相对隆坳背景                  | 262 |
| 三、沉积地层背景                        | 263 |
| 四、岩浆岩背景                         | 264 |
| 五、区域成矿特征                        | 266 |
| 六、矿床                            | 267 |
| 七、小结                            | 271 |
| <b>第十七章 斑岩铜（钼）矿矿床分类</b>         | 273 |
| 一、前人的分类                         | 273 |
| 二、本书的分类                         | 277 |
| <b>第十八章 斑岩铜（钼）矿的成矿机制和成矿模式</b>   | 279 |
| 一、铜（钼）斑岩岩浆起源                    | 279 |
| 二、矿质来源                          | 281 |
| 三、热流体的产生和它们的对流循环机制              | 283 |
| 四、热液蚀变和矿石堆积的物理化学过程              | 285 |
| 五、一个适用于玉龙矿带的斑岩铜（钼）矿成矿模式         | 289 |
| <b>第十九章 斑岩铜（钼）矿的成矿系列和斑岩铜矿体系</b> | 293 |
| 一、斑岩铜（钼）矿与其他有关铜矿类型的内在联系         | 293 |
| 二、成矿系列                          | 295 |
| 三、斑岩铜矿体系                        | 297 |
| 四、矿化深度的估计                       | 299 |
| 五、确定顶与底的若干标志                    | 300 |
| <b>第二十章 含矿斑岩与非含矿斑岩的鉴别标志</b>     | 303 |
| 一、爆破与破裂                         | 303 |
| 二、流体包裹体                         | 306 |
| 三、玻璃包裹体                         | 309 |
| 四、蚀变分带                          | 309 |
| 五、造岩矿物                          | 310 |
| 六、副矿物                           | 312 |
| 七、岩石化学                          | 313 |
| 八、岩体产形、岩浆侵位和热流体对流循环             | 315 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第二十一章 斑岩铜（钼）矿的评价标志..... | 316 |
| 一、矿带（区）的评价标志.....       | 316 |
| 二、矿床评价标志.....           | 318 |
| 主要参考文献.....             | 323 |
| 图版及说明.....              | 333 |

# **PORPHYRY COPPER (MOLYBDENUM) DEPOSITS OF CHINA**

**Rui Zongyao, Huang Chongke, Qi Guoming, Xu  
Jue, Zhang Hongtao, Institute of Mineral Deposits,  
Chinese Academy of Geological Sciences,**

## **CONTENTS**

### **Preface**

### **Chapter 1 Introduction ..... 1**

- (1) Evolution of the conceptions of porphyry copper (molybdenum) deposits ..... 1
- (2) Brief mining history of porphyry copper (molybdenum) deposits in China ..... 3
- (3) Prospects of porphyry copper (molybdenum) deposits ..... 4

### **Chapter 2 Spatial distribution of China's major porphyry copper (molybdenum) deposits —A summary of the 21 major metallogenic belts..... 5**

- (1) The North China metallogenic domain ..... 5
- (2) The East China metallogenic domain ..... 9
- (3) The Southwest China metallogenic domain ..... 11
- (4) Other metallogenic domain ..... 12

### **Chapter 3 Regional geologic setting of porphyry copper (molybdenum) deposits ..... 13**

- (1) Geotectonic setting of porphyry copper (molybdenum) deposits ..... 13
- (2) Deep-seated fractures in control of porphyry copper (molybdenum) deposits ..... 14
- (3) Structure compounding in control of porphyry (molybdenum) deposits ..... 14
- (4) Regional volcanism in relation to porphyry copper (molybdenum) deposits ..... 16
- (5) Regional plutonism in relation to porphyry copper (molybdenum) deposits ..... 17

### **Chapter 4 Geology of the 40 copper (molybdenum) porphyry intrusions ..... 18**

|                                                                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| (1) Main intrusive bodies .....                                                                                                 | 18        |
| (2) Sequence of emplacement.....                                                                                                | 18        |
| (3) Time of emplacement .....                                                                                                   | 19        |
| (4) Occurrence.....                                                                                                             | 20        |
| (5) Size .....                                                                                                                  | 21        |
| (6) Emplacement pattern .....                                                                                                   | 22        |
| (7) Adjoining rocks prior to emplacement.....                                                                                   | 22        |
| (8) Tectonic controls.....                                                                                                      | 22        |
| (9) Types of mineralized rocks .....                                                                                            | 23        |
| (10) Main mineral assemblages .....                                                                                             | 23        |
| (11) Accessory minerals .....                                                                                                   | 23        |
| (12) Mineralization types.....                                                                                                  | 24        |
| <b>Chapter 5 Petrochemistry of copper (molybdenum) porphyries .....</b>                                                         | <b>37</b> |
| (1) Division of petrographic types .....                                                                                        | 37        |
| (2) Analysis of tectonic settings .....                                                                                         | 39        |
| (3) Correlation between these porphyries and granitoids of I-type<br>— S-type and magnetites-series—ilmenite-series .....       | 47        |
| (4) Magmatic evolution.....                                                                                                     | 52        |
| (5) Rock-forming temperature and pressure.....                                                                                  | 62        |
| (6) Degree of weathering of porphyries.....                                                                                     | 64        |
| (7) Petrochemistry in relation to mineralization types .....                                                                    | 64        |
| (8) Brief summary.....                                                                                                          | 64        |
| <b>Chapter 6 Trace elements in copper (molybdenum) porphyries .....</b>                                                         | <b>67</b> |
| (1) Classification of trace elements.....                                                                                       | 67        |
| (2) Significance of the stable trace elements as indicator of<br>tectonicmagmatic environment .....                             | 67        |
| (3) Zonal distribution of the ore-forming trace elements .....                                                                  | 72        |
| (4) Geochemical significance of the platinum group elements .....                                                               | 75        |
| (5) Relationship between the mineralizer trace elements and<br>mineralization .....                                             | 76        |
| (6) Brief summary.....                                                                                                          | 77        |
| <b>Chapter 7 Mica group in copper (molybdenum) porphyry en-<br/>        vironment and it's relation to mineralization.....</b>  | <b>78</b> |
| (1) Mafic micas .....                                                                                                           | 78        |
| (2) Dioctahedral micas.....                                                                                                     | 92        |
| (3) Significance of mica group as indicator of mineralization type.....                                                         | 99        |
| (4) Brief summary.....                                                                                                          | 99        |
| <b>Chapter 8 Ordering and disordering of potash feldspars in<br/>        copper (molybdenum) porphyry environment and their</b> |           |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>geological significance</b> .....                                                                                            | 102 |
| (1) Geological setting of samples.....                                                                                          | 102 |
| (2) Determination of ordering degrees in potash feldspars.....                                                                  | 103 |
| (3) Polymorphism in potash feldspars .....                                                                                      | 107 |
| (4) Structural parameter of potash feldspars .....                                                                              | 112 |
| (5) Chemical composition of potash feldspars .....                                                                              | 114 |
| (6) Comparison of ordering degrees in potash feldspars of some<br>copper (molybdenum) porphyries.....                           | 117 |
| (7) Factors affecting ordering degrees of potash feldspars .....                                                                | 117 |
| (8) Geological significance of ordering degrees in potash feld-<br>spars .....                                                  | 118 |
| <b>Chapter 9 Hydrothermal alteration of porphyry copper (molyb-<br/>denum) deposits</b> .....                                   | 119 |
| (1) Phases of alteration .....                                                                                                  | 119 |
| (2) Types of altered rocks .....                                                                                                | 122 |
| (3) Alteration of the 5 types of deposits.....                                                                                  | 128 |
| (4) Alteration zoning and its mechanism .....                                                                                   | 132 |
| (5) Petrochemistry of the alteration zone .....                                                                                 | 136 |
| (6) Alteration model.....                                                                                                       | 149 |
| <b>Chapter 10 Porphyry copper (molybdenum)</b> .....                                                                            | 151 |
| (1) Characteristics of spatial distribution of mineralization .....                                                             | 151 |
| (2) Ore-forming phases .....                                                                                                    | 152 |
| (3) Major characteristics of ore.....                                                                                           | 154 |
| (4) Ore minerals.....                                                                                                           | 154 |
| (5) Pyrite and its trace elements.....                                                                                          | 156 |
| (6) Chalcopyrite and its trace elements.....                                                                                    | 158 |
| (7) Molybdenite and its rhenium .....                                                                                           | 159 |
| (8) Main texture and structure of ore.....                                                                                      | 161 |
| (9) Experiment for solid solution absorption of sulfides .....                                                                  | 163 |
| (10) Experiment for forming conditions of sulfides .....                                                                        | 164 |
| (11) Discussion of the physicochemical conditions of dissolution<br>and precipitation of ore sulfides .....                     | 164 |
| (12) Brief summary .....                                                                                                        | 169 |
| <b>Chapter 11 Characteristics of fluid inclusions and ore-forming fluids<br/>of porphyry copper (molybdenum) deposits</b> ..... | 171 |
| (1) Types of fluid inclusions .....                                                                                             | 171 |
| (2) Daughter minerals .....                                                                                                     | 171 |
| (3) Homogenization temperature and decrepitation temperature .....                                                              | 174 |
| (4) Gas/liquid ratio and fluid boiling.....                                                                                     | 179 |

|                                                                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| (5) Salinity and composition of fluid inclusions.....                                                                      | 181        |
| (6) Estimation of pressure and depth of mineralization .....                                                               | 185        |
| (7) Estimation of pH in main stages of alteration and mineralization .....                                                 | 189        |
| (8) Estimation of $a_{K^+}$ and $a_{Na^+}$ in $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ system and $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ system ..... | 191        |
| (9) Comparison of fluid inclusions from several types of porphyry copper(molybdenum) deposits.....                         | 197        |
| (10) Nature of ore-forming fluids.....                                                                                     | 198        |
| (11) Practical significance .....                                                                                          | 199        |
| <b>Chapter 12 Stable isotopes of porphyry copper (molybdenum) deposits .....</b>                                           | <b>201</b> |
| (1) Sulfur isotope .....                                                                                                   | 201        |
| (2) Hydrogen, oxygen and carbon isotopes .....                                                                             | 214        |
| (3) Strontium isotope .....                                                                                                | 220        |
| (4) Brief summary .....                                                                                                    | 221        |
| <b>Chapter 13 Geology of the Yulong porphyry copper(molybdenum) belt .....</b>                                             | <b>223</b> |
| (1) Discovery and investigation.....                                                                                       | 223        |
| (2) Tectonic framework .....                                                                                               | 224        |
| (3) Stratigraphy.....                                                                                                      | 224        |
| (4) Magmatism .....                                                                                                        | 226        |
| (5) Ore deposits .....                                                                                                     | 237        |
| (6) Factors controlling ore formation.....                                                                                 | 239        |
| <b>Chapter 14 Geology of the Dexing porphyry copper (molybdenum) field .....</b>                                           | <b>242</b> |
| (1) Regional tectonic setting.....                                                                                         | 242        |
| (2) Stratigraphy.....                                                                                                      | 243        |
| (3) Magmatism .....                                                                                                        | 244        |
| (4) Mineralized porphyries at shallow depths .....                                                                         | 244        |
| (5) Symmetrical zoning of alteration and mineralization.....                                                               | 247        |
| (6) Ore .....                                                                                                              | 251        |
| (7) Ore controlling geologic factors.....                                                                                  | 252        |
| <b>Chapter 15 Geology of the Duobaoshan porphyry copper (molybdenum) field .....</b>                                       | <b>254</b> |
| (1) Tectonic setting .....                                                                                                 | 254        |
| (2) Stratigraphy.....                                                                                                      | 255        |
| (3) Magmatism .....                                                                                                        | 256        |
| (4) Hydrothermal alteration and related mineralization .....                                                               | 258        |

|                                                                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| (5) Mineral zoning, ore bodies and ores.....                                                                                | 259        |
| (6) Factors controlling ore formation.....                                                                                  | 260        |
| <b>Chapter 16 Geology of the middle-lower Yangtze porphyry copper belt .....</b>                                            | <b>262</b> |
| (1) Tectonic setting .....                                                                                                  | 262        |
| (2) Relative uplifting and subsidence in regional depression zone.....                                                      | 262        |
| (3) Stratigraphy .....                                                                                                      | 263        |
| (4) Magmatism .....                                                                                                         | 264        |
| (5) Regional metallogenic characteristics .....                                                                             | 266        |
| (6) Ore deposits .....                                                                                                      | 267        |
| (7) Brief summary .....                                                                                                     | 261        |
| <b>Chapter 17 Classification of the porphyry copper (molybdenum) deposits .....</b>                                         | <b>273</b> |
| (1) Predecessors' classification .....                                                                                      | 273        |
| (2) Classification in the present study .....                                                                               | 277        |
| <b>Chapter 18 Ore-forming mechanism and model of porphyry copper (molybdenum) deposits .....</b>                            | <b>279</b> |
| (1) Origin of magmas of copper (molybdenum) porphyries .....                                                                | 279        |
| (2) Source of ore-forming materials.....                                                                                    | 281        |
| (3) Origination of hydrothermal fluids and their convection and circulation mechanism .....                                 | 283        |
| (4) Physicochemical processes of the hydrothermal alteration and ore accumulation.....                                      | 285        |
| (5) An ore-forming model for porphyry copper (molybdenum) deposits of the Yulong metallogenic belt .....                    | 289        |
| <b>Chapter 19 Metallogenic series of porphyry copper (molybdenum) deposits and porphyry copper (molybdenum) system.....</b> | <b>293</b> |
| (1) Interrelation of porphyry copper(molybdenum)deposits with other copper (molybdenum) deposits .....                      | 293        |
| (2) Metallogenic series .....                                                                                               | 295        |
| (3) Porphyry copper system .....                                                                                            | 297        |
| (4) Estimation of ore-forming depth .....                                                                                   | 299        |
| (5) Some criteria for discriminating the top and bottom (the way-up criteria) .....                                         | 300        |
| <b>Chapter 20 Some criteria for distinguishing between ore-bearing porphyries and barren ones .....</b>                     | <b>303</b> |
| (1) Explosions and fractures .....                                                                                          | 303        |
| (2) Fluid inclusions .....                                                                                                  | 306        |
| (3) Glass inclusions .....                                                                                                  | 309        |

|                                                                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| (4) Alteration zoning .....                                                                                         | 309        |
| (5) Rock-forming minerals.....                                                                                      | 310        |
| (6) Accessory minerals.....                                                                                         | 312        |
| (7) Petrochemistry .....                                                                                            | 313        |
| (8) Occurrence of porphyries, magmatic emplacement and convec-<br>tion and circulation of hydrothermal fluids ..... | 315        |
| <b>Chapter 21 Assessment criteria of porphyry copper (molybdenum)<br/>deposits .....</b>                            | <b>316</b> |
| (1) Assessment criteria of metallogenic belts (districts) .....                                                     | 316        |
| (2) Assessment criteria of ore deposits .....                                                                       | 318        |
| <b>References .....</b>                                                                                             | <b>323</b> |
| <b>Plates .....</b>                                                                                                 | <b>333</b> |