

矿产资源储量计算方法汇编

国土资源部储量司 编著

地质出版社

矿产资源储量计算方法汇编

国土资源部矿产资源储量司编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

十余年来,随着我国矿业发展的需要和国外先进的矿产资源储量计算方法的引进,我国从事地质勘探和矿业开发工作的单位及专家,根据我国矿床地质特点,相继研究和开发出许多适宜各类矿产资源储量计算的方法和软件。为了全面系统地总结和反映国内的这些成果,使其为生产服务,国土资源部储量司在积极推进政府职能转变的过程中,本着服务生产的宗旨,组织编写了本书。书中介绍了自1992年以来,由原国家矿产储量管理局、全国矿产储量委员会办公室、地质矿产部资源局先后公告或发文确认的矿产储量计算方法及其软件系统。同时,本书还择优收入了几篇经专家推荐的由部级或省级通过的介绍矿产资源储量计算方法及其软件系统。

本书系统地科学地总结了我国建国以来在矿产资源储量计算方面取得的成果,有较高的科学水准和较强的实用价值。

本书内容丰富,选材广泛,方法齐全。书中涉及的矿种,包括固体矿产、石油、天然气和地下水资源;涉及的计算方法,既有国外先进的地质统计学(克立格法)储量计算方法,又有国人自行创立的“SD”储量计算方法,还有传统储量计算方法。本书在选编上,将方法与软件系统地结合起来,大大增强了可操作性。

全书内容深入浅出,通俗易懂,图文并茂,可作为生产的指导工具书和科研、大专院校参考书。

图书在版编目(CIP)数据

矿产资源储量计算方法汇编/国土资源部矿产资源储量司编.-北京:地质出版社,2000.4
ISBN 7-116-03040-9

I. 矿… I. 国… III. 矿产-计算方法-汇编 IV. P624.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第12267号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑:杨友爱 白 铁

责任校对:田建茹

北京朝阳区小红门印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:25 字数:600000

2000年4月北京第一版·2000年4月北京第一次印刷

印数:1—2000册 定价:88.00元

ISBN 7-116-03040-9

P·2103

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

《矿产资源储量计算方法汇编》编辑委员会

主 任：叶天竺

副 主 任：邓善德 尹镇南

委 员：周圣华 田绍东 宋全祥 陈 红

ABE96/06

序

长期以来我国采用的矿产资源储量计算方法，以断面法和地质块段法为主。在矿业生产过程中，以这两种方法为基础又演变出许多变种，但在理论基础和方法原理方面并没有本质的变化。70 年代末，我国引进了地质统计学的方法理论，储量计算方法开始发生了质的变化。当时，由于计算机应用尚未普及到生产第一线，因此，直到 90 年代才开始应用于生产实践，但一直没有形成行业性的技术进步。

随着计算机技术的发展和普及，矿产资源储量计算方法面临着一场全面的技术革命。本书的出版，目的在于推进储量计算方法的科技进步，同时也为正在修订的矿产资源储量规范中的有关新技术新方法的应用提供技术基础。

本书介绍的矿产资源储量计算方法，主要有属于地质统计学范畴的 KPX 地质统计学储量计算、三维普通克立格法程序系统、三维协同克立格法程序系统、CGES 地勘系统软件、矿化模型 CAD 管理系统等。这几种方法，都是自地质统计学方法引进我国以来，在国内较有影响的开发成果。此外，还有我国专家研制的 VES 可视化固体矿产勘查微机评价系统、SD 储量算法、东方矿体经济评价系统等方法。它们以不同于地质统计学的思路，应用计算机技术改造了过去传统的计算方法，取得了很好的效果。

考虑到不同矿种的情况，本书有选择地介绍了石油天然气储量计算方法及地下水资源数值法计算方法。此外，考虑到当前在某些矿产勘查开发领域，还必须应用传统计算方法，因此，全面总结并介绍了煤炭和金属非金属储量的两种传统的计算方法。

各种储量计算方法都有其特定的适应范围和应用条件。由于矿床的规模、形态、品位等产出特征千变万化，矿床勘查工作程度也不相同，不可能有适应一切条件的计算方法。例如，地质统计学方法显然比传统的方法先进，但是必须具备相当数量的工程样品资料才能应用；SD 法也是如此。因此，我们在推广新方法的时候，一定要认真研究其应用条件，充分考虑到各种因素。

当前，由于在原始图件的制作及原始数据的处理等方面，尚未制订出相应的技术标准，因此，也为地质统计学等新方法的推广应用带来了一定的困难。须指出的是，一些方法还存在繁琐、成本偏高、软件尚有缺陷等不足之处，希望广大矿业科技工作者结合自身的实践，进一步完善和改进已有的方法，并且研制出更加准确、合理的新的计算方法。

叶天竺

前 言

近十多年来,随着我国矿业发展的需要和国外先进的矿产资源储量计算方法的引进,我国从事地质勘探工作和矿业开发和计算机应用的单位及专家,根据我国矿床地质特点,为生产所需,相继研究和开发出许多适宜各类矿产资源储量计算需要的计算方法和软件。为了全面系统地总结和反映国内的这些成果,准确科学地把握这些成果,使其更好地为地质勘查工作服务,国土资源部矿产资源储量司本着服务生产的宗旨,组织编写了《矿产资源储量计算方法汇编》(以下简称《汇编》)一书。这亦是该司为推进政府机制改革的一项内容。该《汇编》经组织业内 10 余名专家评审,认为它具有如下特色:

一、《汇编》系统科学地总结和反映了我国十多年来,在矿产资源储量计算方面所取得的最新成果,涉及范围广泛,代表性强,是一部精选的矿产资源储量计算方法和软件的汇编。

二、《汇编》中汇集的国内各种矿产资源储量计算方法和软件,均经过原全国矿产资源委员会组织的专家评审、鉴定,并用于生产实践,有较高的科学水准和较强的实用价值。

三、《汇编》内容丰富,选材广泛,方法齐全。在矿种上,包括固体矿产到石油天然气和地下水资源;在计算方法上,既有传统矿产资源储量计算方法,亦有国外先进的地质统计学资源储量计算方法,还包括国人自行创立的 SD 储量计算方法,比较好的代表了我国在矿产资源储量计算方法上的水平。

四、《汇编》在内容的选编上,将方法与软件系统地实现结合起来,使《汇编》成为了可为生产所利用的指导性工具书,大大增强了可操作性。

这本书是一本高水平的矿产资源储量方法和软件汇编,在国内处于领先水平。相信在矿业开发中会发挥积极的作用。

李裕伟 叶天竺

目 录

我国的矿产资源储量计算方法	尹镇南
一、我国矿产资源储量计算方法的发展状况	1
二、我国矿产资源储量计算方法的现状	4
三、问题与讨论	9
KPX2.1 地质统计学储量计算	李裕伟 杨庄弟 杨丽萍 任效颖
一、系统基本流程与功能概述	10
二、地质统计学储量计算	14
三、应用实例	26
三维普通克立格法程序系统	侯景儒 张树泉 黄竞先
一、方法简介	31
二、使用该程序时的几点重要说明	32
三、程序系统对硬件环境的要求	33
四、系统框图及系统组成	33
五、系统使用说明	36
三维协同克立格法程序系统	胡平昭 侯景儒
一、方法简介	50
二、使用该程序时的几点重要说明	51
三、程序系统对硬件环境的要求	52
四、系统框图及系统组成	53
五、系统使用说明	54
中文地勘系统软件 (CGES)	李维明 向永生
一、中文地勘系统软件结构、功能及应用	79
二、地质代码子系统	80
三、地质数据库子系统	88
四、地质图形子系统	114
五、储量计算子系统	145
矿化模型 CAD 管理系统——地质统计学在长沙有色院矿山设计中的应用	唐伟光
一、引言	180
二、软件功能	181
三、实例	211
四、后记	215
VES 可视化固体矿产勘查微机评价系统	李超岭 邱丽华
一、引言	216
二、面向可视化的系统结构分析与设计	216

三、VES 原始数据管理子系统设计	221
四、面向可视化的系统模块设计	225
五、矿体连接剖面面积计算模块	230
六、储量计算模块	235
七、储量汇总计算模块	237
八、制表模块设计	237
九、绘图模块设计	239
十、结语	242
石油天然气储量计算方法	胡允栋
一、油气储量分级分类和定义	243
二、油气储量起算的单井产量下限	244
三、容积法油气储量计算公式	244
四、含油面积确定方法	245
五、有效厚度确定方法	250
六、有效孔隙度确定方法	262
七、含油饱和度确定方法	264
八、物质平衡法储量计算	267
九、弹性二相法计算储量	269
十、概率统计法储量计算简介	271
十一、从产量递减规律推算最终可采储量	272
十二、勘探阶段和开发初期采收率和可采储量的确定原则	276
油气储层的随机建模和油气储量的预测	王家华 张团峰
一、引言	281
二、油气储层随机建模的原理和地质应用	282
三、储层地质统计分析系统 GASOR	287
四、储层含油气体积预测的随机建模	288
五、结论	294
金属、非金属矿产储量计算方法	邓善德
一、储量计算方法的选择	297
二、工业指标	299
三、矿体的圈定	302
四、储量计算参数的计算方法	309
五、面积、体积测定及储量计算	314
六、伴生元素的储量计算	316
七、储量计算图件的编制及计算表格制定	317
煤炭储量计算方法	田绍东
一、关于储量计算的一般概念	322
二、储量计算的基本参数	323
三、矿体的圈定	327

四、储量计算方法.....	330
地下水资源数值法计算方法	韩再生
一、数值法计算基础理论.....	338
二、数值法适应范围和资料要求.....	344
三、水文地质条件的概化.....	345
四、数值模型的建立及数值模拟.....	346
五、地下水预报及地下水均衡计算.....	346
六、数值法计算应提交的成果.....	347
七、典型计算程序介绍——MODFLOW 标准有限差分程序	348
东方矿体经济评价系统	周义明 吕树新 王 涛
一、方法及原理.....	351
二、经济评价过程.....	351
三、评价结果可信性检验.....	359
四、评价信息输出.....	363
五、系统特点及应用范围.....	363
SD 法及软件系统.....	唐 义 蓝运蓉 唐长钟 唐长虹
一、SD 法基础	364
二、SD 法软件系统及其应用	372

我国的矿产资源储量计算方法

尹 镇 南

(原国家矿产储量管理局)

一、我国矿产资源储量计算方法的发展状况

1. 概述

新中国成立以来,我国矿业发展迅速,至今已建成国有矿山1万多座,集体矿山15万多座,私营矿山10万多座。在矿业发展的过程中,我国从事地质、矿山设计、生产及计算机应用的单位和科学工作者,为提交可靠的矿产资源储量,在选择和研究正确合理的矿产资源储量计算方法上做了大量的工作,积累了相当丰富的经验,极大地丰富了矿产资源储量计算方法的内容,使其有了很大的发展。回顾50年来的发展历程,我国矿产资源储量的计算方法经历了学习、应用、发展、创新的过程。

我国矿产资源储量计算方法的发展与应用与矿产勘查规范的实施联系得十分紧密。新中国成立初期,因缺少经验,我国在矿产资源储量的质量技术管理工作中所施实的矿产勘查规范,参照的是原苏联的矿产勘查规范。所谓参照,基本上是照搬采用。“计算方法”作为“规范”中的一项重要内容,随之被介绍过来。这就是在地质和矿山领域人们所熟悉的断面法和地质块段法,通常称其为传统矿产储量计算方法。这些方法中的许多具体方法和公式,均是以苏联专家的名字命名的,如普罗科菲耶夫计算法和佐洛塔列夫计算法。以后的30年,从50年代至70年代末期,在全国提交的地质勘查报告成果和矿山开采设计中,采用的矿产储量计算方法,基本上都是单一的传统储量计算方法。当然,在计算储量的过程中,结合不同矿床的特征和各种不同的矿石工业指标要求,采用的储量计算方法,在许多技术细节的运用上,有许多创新与改造,如综合法、等高线法等。但是,其实质仍属于传统储量计算方法的范畴,并没有内涵本质的区别。

80年代初期,我国的经济建设进入了一个新的历史时期。随着国家实施改革开放政策的不断深入,我国矿业开发发展得更为迅速,特别是从80年代后期开始,矿业的发展超过了以往任何一个时期。生产的发展带动着科学技术的发展。我国从事地质勘探和矿山开发的科学工作者,从矿产储量管理和矿山开采中,深感传统储量计算方法的局限性已不能满足现代化的矿业发展的需要,并为生产所需,相继改造和研究出许多适宜各类矿产资源储量计算需要的计算方法,应用在地质勘探报告和矿山设计及矿山生产上。这期间,在地质领域出现了与矿产储量计算方法发展密切相关的两件大事:一是1977年由美国福祿尔采矿金属有限公司(Flour Mining & Metal Incorporation) H. M. Parker 博士随美中贸易全国委员会矿业代表团来华访问,向中国的同行全面介绍了一种不同于传统储量计算方法的国际

先进的地质统计学储量计算方法（克立格法）；二是计算机在地质矿产领域的广泛应用。这两个事件对我国矿产资源储量计算方法的发展产生了很大影响。地质统计学的引进，拓宽了人们研究“计算方法”的思路。地质统计学建立的区域化变量的概念及与时空变化关系联系起来进行定量研究的方法，大大推进了我国矿产资源储量计算方法研究的深度。地质工作管理部门、矿山设计部门、矿山企业、大专院校，以及有关的学术专业团体都表现得十分活跃，地矿领域里的许多单位和专家开始着力研究地质统计学在矿产储量计算中的应用。1990年以后，原国家矿产储量管理局和全国矿产储量委员会办公室，在有关工业部门的支持下，将其作为一项业务管理内容进行推进。1995年10月20日，全国矿产储量委员会办公室以储办发（1995）197号文颁发了“关于运用地质统计学方法提交地质勘探报告的编写提纲和审查提纲的试行意见”，确立了地质统计学的技术性法规地位，有力地促进了地质统计学的深入发展。与此同时，传统储量计算方法呈现出多样化的局面。由于有了丰富的实践经验，在技术技巧方面发展得十分丰富。许多地勘单位结合本地域的矿床特点，创造性地改进了原有的剖面法或地质块段法，而采用本单位自行改进创新的储量计算方法，出现了空前繁荣的局面。而计算机的应用，给各种储量计算方法的实现与发展，提供了可靠的技术手段保证，改变了地质的传统工作方式，并以它全新的科学技术特征对矿产资源储量计算方法的应用与发展产生了深远的影响。纵观矿产资源储量计算方法的发展历程，大致经历了以下三个发展阶段。

第一阶段（1949～1977年）：单一的传统储量计算方法应用阶段。该阶段历经的时间较长，达28年之久。在理论研究的深度上和方法本身的创新上发展缓慢。但是，传统储量计算方法日趋成熟，在矿产资源储量计算的应用方面日臻完善。矿床的勘探程度和研究程度，选择基本参数的合理性，矿体的圈定与连接及储量计算方法本身这四项内容，构成了传统储量计算方法整体的有机组成部分，大大丰富了传统储量计算方法的内容。这期间，在地质勘查和矿山开采提交的储量成果计算中，均采用了传统的储量计算方法；在计算的手段上，以手工为主，先进的辅助工具有手摇计算机，随后有PC机。计算机的应用在该阶段尚未出现。该阶段明显的特点是：①传统储量计算方法是计算矿产资源储量唯一的方法。采用单一的传统储量计算方法是该阶段最显著的特征。传统储量计算方法在内容和技术细节上已经日趋丰富。据初步统计，已有近20种传统储量计算方法出现。②传统储量计算方法的应用与发展与矿产勘查规范的实施联系得十分紧密。随着矿业的发展，我国在矿产资源储量的质量技术管理中，从50年代照搬原苏联的矿产勘查规范到60年代和70年代根据我国矿床特点自行修改和制定规范，随着矿产勘查规范内容的不断修定与补充，传统储量计算方法亦得到了不断的完善。③计算方法手段落后，以人工手算为主，耗时费力。储量计算方法的发展受到落后手段的制约。

第二阶段（1978～1995年10月）：出现新的矿产资源储量计算方法阶段。由于地质统计学储量计算方法在我国的传播与发展，传统储量计算方法受到挑战。在这一背景下，一方面，传统储量计算方法的应用与发展进一步深化，广泛运用计算机手段代替人工计算，计算方法呈现出多样性；另一方面，地质统计学储量计算方法开始从开发研究与学术交流活动转向生产实践，与地质勘探和矿山生产相结合，逐渐发展成作为地质勘查单位和矿山单位进行矿产资源储量计算的计算方法。譬如，1993年4月，在陕西省西安市，在全国矿产储量委员会的支持下，由陕西省矿产储量管理局组织审查，并通过了由国家武警黄金指挥

部黄金第十四支队提交的陕西洛南县驾鹿金矿地质勘探储量报告。该报告是全国第一份采用地质统计学储量计算方法及软件系统提交的储量报告，是第一份将地质统计学储量计算方法直接用于地质勘探生产的开创性成果。1995年4月，全国矿产储量委员会办公室又组织审查并通过了全国第二份采用地质统计学储量计算方法提交的山西省灵邱县刁泉银铜矿床勘探地质报告，同时推出北京科技大学地质系提供的“三维普通克立格法程序系统”。

地质统计学储量计算方法在上述两份矿床勘探地质报告中的成功应用，大大促进了地质统计学储量计算方法的发展。该计算方法已为广大的地质勘探和矿山企业所了解和接受，并成为矿产储量管理部门和有关工业主管部门的一项工作内容。该阶段的特点是：①矿产资源储量计算方法由单一的传统储量计算方法发展为以传统储量计算方法为主流，与地质统计学储量计算方法及其他方法同时并存的局面；②计算机技术在矿产资源储量计算方法中得到了普遍的应用，成为主要计算手段，在工作方式、工作效率等诸方面对计算方法的应用与发展产生了很大的影响。

第三阶段（1995年10月至今）：多种矿产资源储量计算方法并存与共同发展阶段。首先，该阶段的一个显著特点是，地质统计学储量计算方法确立了自己的技术性法规地位，进入有计划的发展应用、深入发展的阶段。1995年10月20日，全国矿产储量委员会办公室颁发了关于“运用地质统计学方法提交地质勘探报告的编写提纲和审查提纲的试行意见”。这标志着地质统计学储量计算方法进入了一个新阶段。其次，为适应生产的需要，无论是传统储量计算方法，还是地质统计学储量计算方法，均相继开发研制并推出了一批适于国内生产需要的软件系统。储量计算方法与相应的软件系统的一体化，是该阶段的第二个特点。这里需特别提到的是，全国最大的铜矿山——江西铜业公司德兴铜矿，长期坚持在矿山开发和生产中应用先进的地质统计学方法，引进并开发相应地软件系统，至今已成功地用于整个生产过程中，取得了巨大的经济效益，在全国矿山中，成为应用这一先进技术方法的典范。最后，以SD储量计算方法为代表的，由我国科技人员自行创新和改进的矿产资源储量计算方法及其软件层出不穷，在数量上大大超过以往任何一个阶段，呈现繁荣的局面。

2. 我国矿产资源储量计算方法应用与发展的几个主要特点

（1）我国矿产资源储量计算方法的发展与负有矿产资源储量管理职能的业务主管部门的政府行为有直接密切的关系。早在50年代，即1953年，根据中共中央和国家计委的指示，地质部会同有关工业部门组建了全国矿产储量委员会，负责各类矿产储量入库前按照国家或部委制定的储量质量标准进行审批验收，以保证国家中长期建设规划和近期建设项目有可靠的储量基础。矿产地质勘查规范是储量质量标准的主要内容，其中确定的储量计算方法具有技术规范性质。近50年来，在进行矿产储量计算时，选用的储量计算方法一般需要获得矿产储量业务主管部门的认定；新的储量计算方法的建立与采用，亦需经过审定与认可。传统储量计算方法是这样，地质统计学储量计算方法和SD储量计算方法及其他计算方法的采用亦是这样。地质勘查部门和矿山生产部门在提交矿产储量时不会选取未经储量管理部门认定的计算方法。1995年10月和1997年10月，原全国矿产储量委员会办公室和原全国矿产资源委员会办公室颁发了关于推广应用地质统计学储量计算方法和SD矿产储量计算方法。此后，这两种新的储量计算方法才得到进一步的发展和利用。

（2）矿产资源储量计算方法的应用和发展与技术手段的发展密不可分。技术手段的先

进与落后，推进和制约着储量计算方法的应用与发展。这一点在我国计算方法的发展上表现得尤为明显。以地质统计学储量计算方法在我国的发展为例。该方法于 1977 年传入我国后，在很长一个时期内，一直处于学习研讨、发表论文和理论方法的研究阶段。经过了漫长的 15 年后，直到 1993 年 4 月才直接用于地质勘探储量报告中，为生产所利用。其原因固然是多方面的，但缺少先进的计算机技术手段，是一个不能回避的重要原因。起步于 70 年代末的 SD 储量计算方法（简称 SD 法），在近 20 年的研究历程中，在很长一段时间内都未能使 SD 法步入一个更高的科学水平，亦有类似的原因。

（3）我国矿产资源丰富，矿床类型繁多，矿体形态复杂。为适应我国矿产资源特点和不同地质特征的矿床需要，储量计算方法日趋丰富多样。储量计算方法的多样化，不仅表现在不同类型的矿产储量计算方法上，也表现在同一类型的计算方法，在不同矿产、不同矿床的计算上，也有不同的演变方法。这一点在本书中已经明显的展示出来。

3. 《汇编》的产生是我国矿产资源储量计算方法发展的一个重要标志

（1）《汇编》的出版是我国矿产储量计算方法发展的必然结果。首先，从 1953 年我国开始制订“矿床地质勘探规范”算起，矿产储量计算方法随着“规范”内容的不断变更与发展，已有近 50 年的发展历史，已从单一的传统的储量计算方法发展为包含地质统计学储量计算方法在内的多种类储量计算方法；从人工计算发展为计算机自动化计算；从方法的非标准设定发展为方法的系统软件。其间，积累了丰富的经验，产生了一大批研究成果。无论是有关单位，还是科技人员，都迫切希望能够对这些成果进行全面系统的科学总结，使其成为社会共享的财富，少走弯路，健康发展。其次，在社会主义市场经济体制下，地勘和矿山部门为生产所需，企盼有《汇编》这样一个指导性的工具书问世，以指导生产。从许多单位和个人来函来电关心《汇编》的出版一事就说明了这种需求的迫切性。

（2）《汇编》反映了我国在矿产资源储量计算方法领域取得的成果。编选的程序十分严谨，汇集了自 1992 年以来，由原国家矿产储量管理局、全国矿产储量委员会办公室、地矿部资源局先后公告或发文确认的矿产储量计算方法及其软件系统，同时还择优审定收编了几篇经专家推荐的由部级或省级通过的矿产储量计算方法及其软件系统。这是一部有较高的科学水准，并在生产应用中具有较强实用价值的工具书。

（3）《汇编》内容丰富，选材广泛，方法齐全。矿种包括固体矿产、石油、天然气和地下水资源；计算方法既有国外先进的地质统计学（克立格法）储量计算方法，也有国人自行创立的 SD 储量计算方法，以及传统的储量计算方法。其科学性、全面性、系统性使该书具有一定的权威性。

从上述三个方面可以看出，《汇编》称得上是我国矿产资源储量计算方法发展史上的一个里程碑，必将对我国矿产资源储量计算方法的发展产生较大的影响。

二、我国矿产资源储量计算方法的现状

1. 方法与分类

（1）传统储量计算方法：断面法与地质块段法为其两大基本方法。以两大基本方法为基础，演变出许多变种方法。

①断面法（又称剖面法）：

A. 平行断面法

※梯形公式法:

$$V = \frac{1}{2}(S_1 + S_2)L$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, Q 为储量(下同); V 为体积(下同); S_1 、 S_2 为断面上矿体的面积(下同); L 为两断面之间的距离(下同); D 为矿石体重(下同)。

※截锥公式法:

$$V = \frac{1}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2})L$$

$$Q = V \cdot D$$

※楔形公式法:

$$V = \frac{1}{2}SL$$

$$Q = V \cdot D$$

※锥体公式法:

$$V = \frac{1}{3}SL$$

$$Q = V \cdot D$$

※似柱体公式法之一:

$$V = \frac{1}{6}(2a_1b_1 + b_1a_2)L$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, a_1 、 b_1 为一剖面上的矿体边长、宽; a_2 为另一剖面上的矿体边长。

※似柱体公式法之二:

$$V = \frac{1}{6}(S_1 + S_2 + 4S_i)L$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, S_i 为 S_1 和 S_2 两平行断面之间的断面积, 用内插法求得。

※单断面法:

$$V = L \cdot S$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, S 为断面的矿体面积; L 为断面的影响距离。

※线储量计算法:

当相邻两剖面的线储量差 $< 40\%$ 时,

$$Q = \frac{1}{2}(Q_1 + Q_2)L_{1-1}$$

当相邻两剖面线储量差 $> 40\%$ 时,

$$Q = \frac{1}{3}(Q_1 + Q_2 + \sqrt{Q_1 Q_2})L_{1-1}$$

当只有一个剖面见矿时,

$$Q = \frac{1}{2} Q_1 L_1 \text{ 或 } Q = \frac{1}{3} Q_1 L_1$$

式中, Q 为断面 Q_1 和 Q_2 之间的储量; Q_1 为断面 I 的线储量; Q_2 为断面 II 的线储量; L_{1-1} 为断面 I—II 的距离; L_1 为断面 I 的影响距离。

B. 不平行断面法

※普适科菲耶夫算法:

$$V = \frac{1}{L_1} S_1 S_1' + \frac{1}{L_2} S_2 S_2'$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, S_1' 、 S_2' 分别为 I、II 剖面间块段的水平投影面积; L_1 、 L_2 分别为矿体在剖面 I、II 上的投影长度。

※佐洛塔列夫算法:

$$V = \frac{1}{6} \varphi [S_1 P_1 + S_2 P_2 + (S_1 + S_2)(P_1 + P_2)]$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, P_1 、 P_2 为 S_1 、 S_2 的形心到旋转轴的距离; φ 为 I、II 剖面间夹角。

②地质块段法:

※算术平均法或地质块段法:

$$V = S \cdot \bar{m}$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, S 为块段面积(下同); $\bar{m}$ 为块段平均厚度(下同)。

※最近地区法(多角形法):

$$V = S \cdot m$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, V 为多角柱体积; S 为多角柱体的底面积; m 为每个工程中的见矿厚度。

※等高线法:

$$V = S \cdot m$$

$$= L \cdot a \cdot m$$

$$= L \cdot m \sqrt{b^2 + h^2}$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, V 为块段体积; S 为块段矿体面积; m 为块段矿体平均真厚度; a 为块段宽度; b 为两等高线的水平平均间距; h 为两等高线的高差。

※等值线法:

$$V = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) h$$

$$Q = V \cdot D$$

※开采块段法:

$$V = L \cdot a \cdot \bar{m} = L \cdot h \cdot \bar{m}'$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, L 为块段长度; h 为块段垂直方向宽度; a 为块段倾斜面的宽度; $\bar{m}'$ 为块段矿体真厚度;

$\overline{m}$ 为块段平均水平厚度。

※三角形法：

$$V = S \cdot \overline{L}$$

$$Q = V \cdot D$$

式中, S 为三角形面积; $\overline{L}$ 为块段平均厚度。

(2) 地质统计学储量计算方法

目前, 地质统计学已形成一套较完整的理论体系, 研究出若干重要的方法和技巧, 并相应编制出有实用价值的程序系统。这里列出的只是在我国应用的地质统计学储量计算方法。

※二维及三维普通克立格法及计算程序系统;

※二维对数正态泛克立格法及计算程序系统;

※二维指示克立格法计算程序系统;

※二维及三维协同克立格法及计算程序系统;

※三维泛克立格法及计算程序。

(3) 最佳结构曲线断面积分储量计算方法 (简称 SD 储量计算方法)。

2. 三种矿产资源储量计算方法在我国应用的基本情况评价

(1) 传统储量计算方法: 仍是我国矿产资源储量计算的主要计算方法。但在外资、合资矿产资源合作项目中, 地质统计学储量计算方法已成为主要计算方法, 传统储量计算方法居次要地位。传统储量计算方法在技术上已基本上实现了计算机自动化, 软件系统比较成熟。

(2) 地质统计学储量计算方法: 在国内矿产资源储量计算或评价中仍居次要地位, 但在外资、合资矿产资源合作项目中, 已成为主要计算方法。其中比较成熟的方法为普通克立格法。在专业软件系统方面尚不够成熟。

(3) 最佳结构曲线断面积分储量计算方法 (亦称 SD 储量计算方法)。虽然其理论与方法已经成熟, 但在应用领域, 尚处在起步阶段, 已编制出一套适用于生产的软件系统。

3. 对《汇编》成果的简要评述

(1) “VES 可视化固体矿产勘查微机评价系统”是福建省地勘局数据信息中心在提交紫金山铜矿床地勘成果中研制的, 并得到了成功的应用, 在技术方法上业已成熟。该成果利用计算机图形学的方法和技术, 将固体矿产勘查评价中产生的数据与过程, 以形象具体的图形表示, 实现了固体矿产勘查评价中的数字可视化。它有两个十分明显的特点: 其一, 实现了储量计算以勘探图作为支撑, 使储量计算过程中的矿体圈定、矿体连接、块段划分、储量计算参数等因素人工智能化。这种用户交互数据的可视性大大提高了储量计算的可靠性和准确性。其二, 在储量计算过程中, 实现了矿床地质勘探规范与计算机自动化技术的紧密结合。如对复杂的单工程矿体圈定, 完全是依照“规范”中关于矿体圈定的方法进行的。该成果根据矿床特点, 在依靠计算机自动化技术实现传统储量计算方法的全过程方面, 处于国内先进水平, 是传统储量计算方法中的佼佼者。东方矿体经济评价系统亦是传统储量计算方法中很有特色的一项成果。在矿床储量勘探过程中, 钻孔偏离勘探线的现象是经常出现的, 采用断面法很难正确利用这些钻孔信息。作者在传统储量计算方法的基础上, 以解析几何为工具, 创造性地研制出矿产储量计算空间坐标法, 并应用于金矿生产矿山上, 效

果显著。该成果反映了目前在传统储量计算方法基础上,依据不同的矿床特点,计算方法趋于多样化的这一特征。

《汇编》中反映地质统计学储量计算方法成果的三维普通克立格法程序系统和协同克立格程序系统、KPX2.1地质统计学储量计算、地勘系统软件、矿化模型CAD管理系统(DMS3.0 V4.0),是近十年来在国内地勘系统很有影响的成果。三维普通克立格法程序系统和协同克立格程序系统是山西刁泉银矿地勘储量报告采用的方法。该方法在矿体边界的圈定、特高品位的处理等方面颇有建树,并且提供了一套计算地质可信度程序,这在国内尚属首次。“KPX2.1地质统计学储量计算”是一项完全追踪我国矿产勘查及储量分类规范流程,使其计算机化的成果,已在全国二十多个省(市)的地矿部门推广,从方法到技术都显得比较成熟,是国内领先的科研成果与生产成果。“中文地勘系统软件(CGES)”是从加拿大引进后经汉化开发而形成的一套适合我国地质勘探过程中数据管理、储量计算、工程图形与表格输出的软件系统,目前已经在武警黄金地质系统得到推广使用。这项成果是引进外国地勘软件系统在国内得到成功开发利用的首例成果。“矿化模型CAD管理系统(地质统计学在长沙有色院矿山设计中的应用)”是一个应用于地质勘探、矿山资源管理的一套综合性大型技术管理软件,经长沙有色冶金设计研究院多年探索,利用矿体网格化模拟技术解决了矿山矿岩界线突变关系这一重大生产课题,并能进行可采矿块经济开采边界圈定,向采矿工程设计作了延伸,使地质统计学原理与计算机技术融为一体。它也是目前国内在利用地质统计学储量计算成果应用于采矿工程辅助设计最完善的矿业软件系统,居国内同行业中领先地位。有色金属工业总公司于1995年11月组织鉴定并通过,认为达到了同类微机软件90年代初的国际水平。在固体矿产储量计算方法中,《汇编》中有一项不同于传统储量计算方法和地质统计学储量计算方法的SD储量计算方法。该方法以断面构形为核心,以最佳结构地质变量为基础,利用Spline函数和分维几何学为工具实现矿产储量计算。其中,最具特色的内容是SD精度法所确定的SD审定法基础,从定量的角度探索了矿产勘查预测和评价工程的控制程度和储量精度。原全国矿产资源委员会办公室已于1997年10月向有关单位发了关于推广应用SD矿产储量计算方法的通知,从而使这项由国人自行创立的矿产储量计算方法得到业务主管部门的认可,同时亦是我国矿产储量计算方法走向成熟的一个标志。

关于油气储量计算方法,《汇编》中全面介绍了成熟与常用的石油天然气储量计算方法,意在使对油气储量计算方法有个全面的了解。此外,还特别收入了一篇“油气储层的随机建模和油气储量的预测”优秀成果。该方法以地质统计学的油气储层随机建模原理为基础,以Berteig等人的方法为主,提出了以储层随机建模方法来预测储层内部的含油气体积总量。该法将地震资料和测井资料结合起来,预测油气体积总量的统计方差随着井的数目的增加而减少,其统计方差计算不受井的数目限制,科学地刻画了油气储量估计的不确定性,反映了我国油气储量计算领域与世界同步的研究和应用水平。

在《汇编》中,还全面系统地介绍了“地下水资源数值法计算方法”。该方法已经十分成熟,且广泛应用于地下水资源计算中。这篇文章给了我们一个全方位的科学介绍。

从上述简述中,可看出《汇编》中的论文,代表了国内储量计算的先进成果,总体上体现了我国矿产资源储量计算现状的科技水平。