内部培训资料 仅供参考

ICS 73.020
D 10/19

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0338.4—2020

固体矿产资源量估算规程
第4部分:SD法

**Regulations of mineral resources estimation—
Part 4:The SD methods**

2020-04-30 发布　　2020-04-30 实施

中华人民共和国自然资源部　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　基本原理 …… 3
5　适用条件 …… 3
6　基本要求 …… 4
7　估算参数选择 …… 4
7.1　计算单元 …… 4
7.2　断面线参数设置 …… 4
7.3　计算点参数设置 …… 6
7.4　SD法计算方案类型参数确定 …… 7
7.5　矿体产状方式参数选择 …… 9
7.6　体积质量求取方式参数确定 …… 9
7.7　地质可靠程度区间参数确定 …… 10
7.8　待定区间归属专家系统参数确定 …… 10
8　资源量估算操作流程 …… 11
8.1　应用步骤综述 …… 11
8.2　原始资料收集 …… 12
8.3　分析与组织数据 …… 12
8.4　矿体(带)解析 …… 12
8.5　形成SD计算单元数据 …… 12
8.6　确定基本估算参数 …… 13
8.7　获取过程参数 …… 13
9　资源量分类 …… 13
9.1　地质可靠程度确定 …… 13
9.2　资源量类型划分 …… 13
10　SD法提交结果 …… 14
10.1　结果 …… 14
10.2　采空区或压覆范围 …… 14
11　估算结果自检 …… 14
12　SD精度的应用 …… 14
12.1　SD精度对勘查程度的判别 …… 14
12.2　SD精度对地质可靠程度的判别 …… 14
12.3　SD精度对工程数的预测 …… 14

12.4 SD精度对风险靶区的控制 …… 15
13 资源量估算结果汇总 …… 15
附录A（资料性附录） SD法原理 …… 16
附录B（资料性附录） SD法资源量估算附图及附表 …… 24

前　言

本规程根据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则　第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

DZ/T 0338《固体矿产资源量估算规程》分为四个部分：

——第 1 部分：通则；

——第 2 部分：几何法；

——第 3 部分：地质统计学法；

——第 4 部分：SD 法。

本部分为 DZ/T 0338 的第 4 部分。

本部分由中华人民共和国自然资源部提出。

本部分由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本标准起草单位：自然资源部矿产资源储量评审中心、北京恩地储量科技发展有限责任公司、北京东澳达科技有限公司。

本标准起草人：唐长钟、蓝运蓉、唐义、马爱玲、崔伟、宋复梅、徐发、张瑞科、龚羽飞、胡建明、易建洲、刘贵忠、赵婷钰。

固体矿产资源量估算规程
第4部分:SD法

1 范围

DZ/T 0338的本部分规定了SD储量计算法(简称SD法)资源量估算的基本原理、适用条件、基本要求、估算参数选择、估算操作流程、资源量分类、SD法计算结果、自检、SD精度的应用等基本内容和要求。

本部分适用于运用SD法对固体矿产地质勘查和开发利用中的资源量估算。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 12719 矿区水文地质工程地质勘探规范

GB/T 13908 固体矿产地质勘查规范总则

GB/T 17766 固体矿产资源储量分类

GB/T 18341 地质矿产勘查测量规范

GB/T 25283 矿产资源综合勘查评价规范

GB/T 33444 固体矿产勘查工作规范

DZ/T 0078 固体矿产勘查原始地质编录规程

DZ/T 0079 固体矿产勘查地质资料综合整理综合研究技术要求

DZ/T 0130(所有部分) 地质矿产实验室测试质量管理规范

DZ/T 0131 固体矿产勘查报告格式规定

DZ/T 0227 地质岩心钻探规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

SD动态分数维 SD dynamic fractional dimension

用分数维定量描述矿体形态复杂程度的一个量。它随着勘查程度的工程数变化在[0,1]区间内动态改变,用D表示。

3.2

矿体复杂度 ore body complexity

指在SD分数维的基础上,用以最终定量描述矿体地质变量复杂程度的一个特征量,分为品位复杂度、厚度复杂度和综合复杂度。

3.3

SD 样条函数　SD spline function

用于矿产资源量计算的一种样条函数，是 SD 法用矿体复杂度 T 对分段连续的三次样条函数经过系数修正的一个函数。

3.4

SD 权尺　SD weighting

根据地质变量在不同位置空间的作用大小来分配地质变量“权”的大小尺度。用于衡量相邻变量对主地质变量的影响程度并对地质变量进行修匀处理，获得稳健的结构地质变量。

3.5

结构地质变量　geological variable of structure

指采用风暴值处理、权尺稳健、SD 样条函数拟合等一系列数学方法排除随机因素的干扰，反映某种地质特征的空间结构及其规律性变化的地质变量。结构地质变量具有相对性和可变性，在一定空间范围内相互影响，既与其所在的空间位置有关，也与周围的地质变量大小和距离有关。

3.6

框块　blocks

指 SD 法计算矿产资源量时，按一定尺度对矿体进行划分，形成的基本块体。

3.7

风暴品位　storm grade

指 SD 法规定的在某一矿体中，在 SD 样条曲线上出现峰值，且明显高于周边样品品位的孤峰值。

3.8

风暴厚度　storm thickness

指 SD 法中规定的在某一矿体中，单工程矿体厚度明显高于周围工程的矿体厚度，其厚度在 SD 样条曲线上出现突出孤峰的矿体厚度。

3.9

框棱　edge

SD 法特有的对工程控制程度进行量化的指标。用于衡量工程平均控制间距，其数值为平均线距和平均点距乘积开方值。

3.10

SD 基距　SD basal scope edge

是当工程控制程度可以求取真量时的最小控制间距，也是确认矿体接近矿体真态时的最小框棱，用 H_a 表示。

3.11

SD 精度　SD accuracy

是综合反映工程控制程度和资源量精确程度的一个定量尺度，用 η 表示。它是预测工程数、确定工

程间距(框棱)、定量描述资源量可靠程度、量化探采风险及定量划分勘查程度的依据。

3.12

SD 靶区 SD range

指在当前工程控制程度下估算的资源量相对于资源量真量的上下限范围,亦即推知资源量风险的范围。

3.13

SD 计算单元 SD calculation domain

是依据矿带(矿层)、矿体、矿石类型、勘查阶段、开采方式、矿体产状、构造破坏情况等对矿床的地质认识而具体划分的,用于矿产资源量计算的某一次计算的范围,可以是单个矿体范围,也可以是多个矿体范围,还可以是整个矿区范围。

3.14

SD 断面线 SD section line

指在计算单元内用于 SD 法资源量计算以及精度计算的断面投影线。主要是勘查线及少量根据实际情况设置的必要的辅助断面线(控制线)。

3.15

SD 计算点 SD calculation point

指采用 SD 法计算时所划分计算单元内,参与计算的实际工程点(有矿工程、矿化工程及无矿工程)和辅助计算点(控制点和外推点)的总称。

4 基本原理

4.1 以构建结构地质变量为基础,运用 SD 动态分维拓扑学技术和 SD 样条函数工具,采用包括"降维(拓扑)形变""权尺稳健""搜索(积分)求解"和"递进逼近"四大原理和 SD 稳健公式、结构地质变量公式、SD 边值公式、SD 复杂度公式、SD 风暴品位下限值公式、SD 样条函数公式、SD 体积公式、SD 精度公式八组公式,预测资源量精度,确定靶区,求取矿产资源量。SD 法的基本原理属于动态分维拓扑学范畴。

4.2 SD 法通过一系列数学方法、技术、系统软件,求得准确可靠的资源量及 SD 精度:

a) 通过建立 SD 动态分维理论对矿体(品位、厚度等)复杂程度进行定量、精细的描述。
b) 通过权尺稳健、风暴品位及厚度处理、齐底拓扑形变后建立 SD 样条函数等技术手段构建结构地质变量,将原始地质变量数据构建为具有规律性、代表性的稳健化数据。
c) 通过搜索积分求解计算出各框块的资源量结果(体积、矿石量、金属量、品位等)。
d) 通过递进逼近方法求得资源量的 SD 精度,用 SD 精度来定量确定各矿块(框块)的资源量地质可靠程度,同时确定出资源量的风险靶区,预测达到某一勘查程度所需的工程数和框棱。
e) SD 法的详细原理参见附录 A。

5 适用条件

适用于具有两个及以上工程(槽探、浅井、坑探、钻探等)的数据,两条以上的剖面范围即可进行资源量和 SD 精度的估算,获得资源量的数量及精确程度成果。SD 法适用于固体矿产勘查、开采等各阶段、

各种矿种、各种规模、不同成因类型条件下的各种矿床的资源量估算。SD 法的应用与勘查阶段和类型无关。

6 基本要求

6.1 采用相应的软件系统估算资源量。
6.2 根据矿床实际情况按矿种划分计算单元及计算方案类型。
6.3 各 SD 计算单元的断面线和计算点应根据具体控矿情况和计算要求确定。
6.4 正确认识和使用 SD 法的资源量靶区。
6.5 资源量估算过程中如有需要特殊说明的问题应予以阐述。

7 估算参数选择

7.1 计算单元

7.1.1 划分方式

计算单位划分方式分为手工划分和自动划分两种。手工划分计算单元的前提条件是要有较明确的矿体(带)划分认识,然后采用 SD 软件系统自动绘制的剖面底图解析矿体,或利用已有的矿体(带)认识模型手工进行计算单元的划分;自动划分是 SD 软件系统根据对已有数据进行处理分析后给出划分方案,通过人机交互实现矿体及计算单元的划分。在计算时应根据矿床情况,分别以平行断面资源量估算或不平行断面资源量估算,选择合适的划分方式。

7.1.2 划分要求

一般根据矿带(体)、矿石类型、工程类型分布、开采方式、矿体产状、构造控制特点并结合估算的目的和需求划分计算单元,一般一个矿区可以划分成一个计算单元,也可以划分为多个计算单元。划分的具体要求如下:

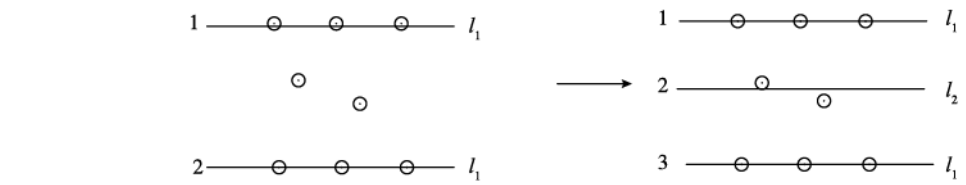
a) 一般需按矿体划分,不同的矿体划分为不同的计算单元。
b) 若同一矿体产状变化大时,一般应分段计算,划分为不同的计算单元。
c) 不同开采方式且工业指标不同时,应划分为不同的计算单元分别计算。
d) 不同矿石类型分采分选且工业指标不同时,应划分为不同的计算单元分别计算。
e) 对于不同选冶要求的矿石,开发时可以分采分选时,应划分为不同的计算单元分别计算。
f) 当矿区内矿体对应连接较困难,多解性大,且品位变化较小时,允许按照矿带(即不划分具体的矿体)划分计算单元。
g) 每一个计算单元都需命名,该名称称为计算单元名。同一矿区内的计算单元名不允许相同。
h) 构成计算单元的要素是断面线和计算点。具体需按本规程 7.2、7.3 的规定合理设置断面线和计算点。

7.2 断面线参数设置

7.2.1 对计算单元内控制矿体的实际工程分布情况,确定勘查线的类型(平行或不平行或扇形等)是选定平行断面线还是不平行断面线方式估算资源量。

7.2.2 当出现实际工程附近未设置实际勘查线的情况时[见图 1a)],应在这些工程的集中部位设置辅

助勘查线，见图 1b)。辅助勘查线名称可按一定命名原则命名。



l_1——实际勘查线；
l_2——辅助勘查线。

a)　　b)

图 1　工程分布示意图

7.2.3　当计算单元内的计算对象为单孔或多孔单线控矿且矿体在走向两端均未圈边时，应在走向两端设置控制线(KZX)，见图 2。

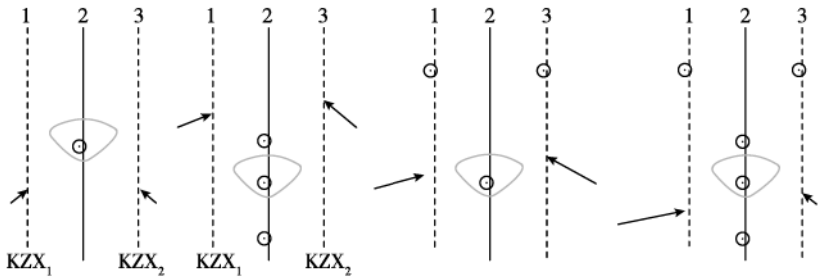


图 2　控制线分布示意图

7.2.4　当矿体走向变化较大，变化较大部位又无实际工程控制者，应根据具体情况设置恰当的控制线，见图 3。如图 3 所示，根据 2 线和 3 线的工程揭露以及地表情况，在 2 线与 3 线间仍然属于一条矿体，2 线与 3 线间矿体走向相对总体平均走向发生了急剧变化，为更加准确反映矿体各部位的展布形态，SD 法估算时，需在变化较大部位(如在 2 线与 3 线之间)设置 1 条或多条控制线以准确控制矿体的实际形态，

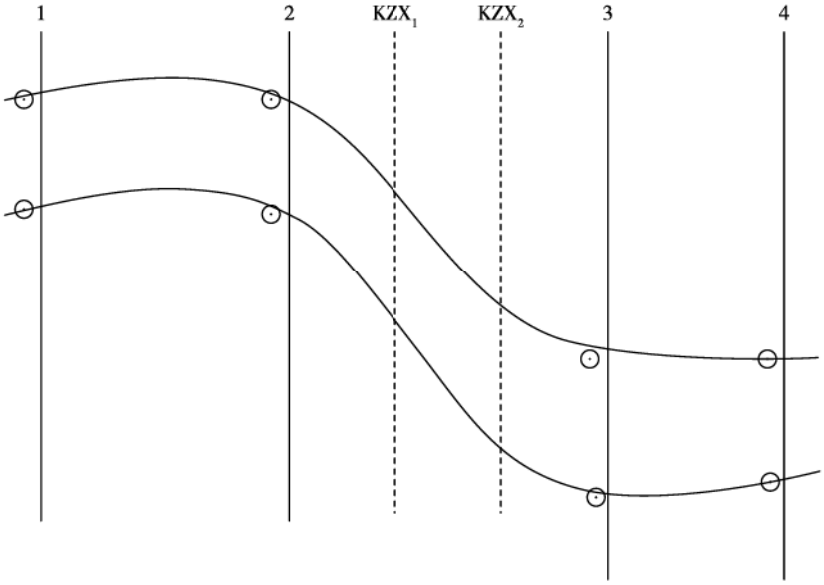
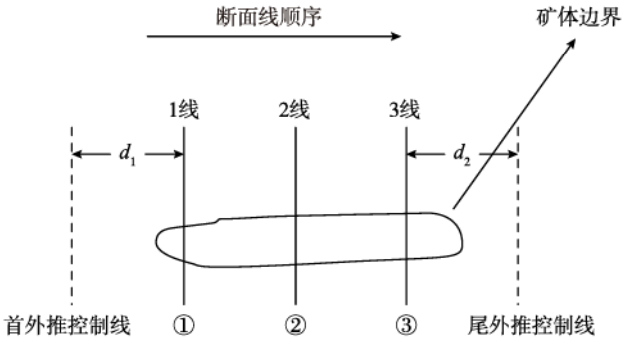


图 3　水平投影示意图

确保资源量估算的准确性。

7.2.5 当沿矿体走向方向存在岩体、断层等其他需要特殊控制的地质边界时，应在适当位置布置恰当的控制线。

7.2.6 当在两条以上已知断面线(勘查线或控制线)控矿基础上，沿着走向方向需做无限外推时，可在走向两端设置辅助线来控制计算的边界，见图4。



1线、2线、3线 ——已知断面线的名称；

①②③ ——参与SD法估算的断面线序号；

d_1、d_2 ——首外推距离、尾外推距离。

图4 辅助线示意图

7.2.7 一个计算单元最多有两条外推控制线，分别是首外推控制线和尾外推控制线。外推控制线上没有实际工程，估算时不参与编号，但要提供其相关的信息，主要包括：外推控制线的性质、外推控制线数量及外推距离。外推控制线与相邻断面线的距离，有首外推距离和尾外推距离之分，如图4所示，d_1 为首外推距离，d_2 为尾外推距离。

7.2.8 控制线名称一般以“KZX_1”“KZX_2”等依次命名的。控制线上无实际工程，但是其上要据实际地质认知设置控制点。

7.2.9 同一计算单元的各断面线首尾端方向需一致。

7.3 计算点参数设置

7.3.1 应首先选取计算单元内控制矿体的有效实际工程点作为计算点，如钻孔、探槽、坑道、浅井等，包括见矿点、矿化点、无矿点。

7.3.2 对于单孔控制的断面线需根据具体情况设置控制点(KZD)，见图5。

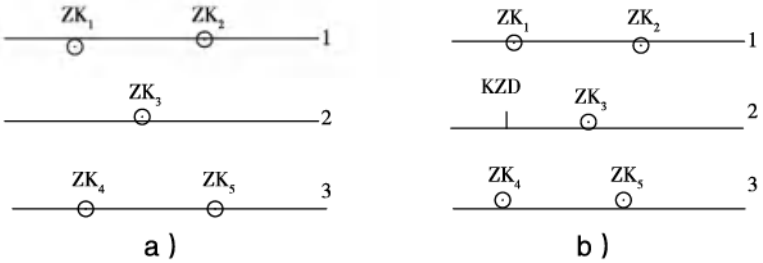


图5 控制点示意图

7.3.3 在无实际工程点的控制线上需根据具体情况恰当地设置两个控制点。

7.3.4 当断面线上有两个以上实际工程且矿体在端点两侧或一侧仍有延伸，且矿体的品位、厚度变化主

要以断面线方向为主时，可在端点两侧或一侧设置外推点。

7.3.5 控制点用“KZD”或“KZDJM(无矿控制点)”表示。

7.3.6 外推点用“WTD”表示。外推点分“首外推点”和“尾外推点”。外推点只需给定外推距离(指沿矿体延深方向的斜距)，其品位、厚度是SD软件系统根据给定的位置采用SD边值公式自动求得。

7.3.7 外推点与控制点同样作为计算边界点使用：

a) 外推点一定是设置在非单孔勘查线实际见矿工程端点之外，控制计算矿体的边界点。

b) 控制点既可在控制线上设置也可在实际勘查线上设置，可根据实际地质情况设置控制点距离。

c) 外推点受外推距离的限制，一般可参照DZ/T 0338.2中工程间距确定或参考SD基距的倍数确定，外推适当距离。控制点则基本不受距离的影响。

d) 断面线边缘无矿工程之内，控制边界只能设置控制点。

e) 断面线上仅一个工程时，不能设置外推点，只能设置控制点。

7.3.8 同一计算单元内计算点排序方向需一致。纵投影计算资源量时，断面线上计算点(工程点、辅助点)应按从高到低的方式排序。

7.3.9 断面线上的计算点应以见矿中点位置进行就近归属。

7.4 SD法计算方案类型参数确定

7.4.1 每一计算单元应分别确定各自的SD法计算方案参数。

7.4.2 每一计算单元应分别对组成SD法计算方案的“计算类型”“数据类型”“定位系统”“形质方案”四个基本参数进行单独确定；一般根据计算需求和原始数据提供情况确定。

7.4.3 计算类型分为“标准型”和“综合型”。当计算单元内工程有完备的原始样品数据和工程测斜数据，且采用原始样品分析数据作为基础数据进行计算时，均采用“标准型”。当计算单元内工程仅有单工程平均品位、厚度，且直接采用单工程的综合数据作为基础数据进行计算时，采用“综合型”。若需采用同样的单工程数据进行复核对比时，在验证其单工程合理的情况下，一般也采用“综合型”。

7.4.4 SD法应根据矿体的规模、产状、形态、勘查工程类型、工程对矿体的揭露情况不同，采用不同的计算类型。计算的数据类型分为A型、B型、C型、D型共四种。

a) A型数据适用于可划分多个台阶(中段)以及厚大(一般厚层至极厚层)，且分台阶(中段)估算的矿体。对于同源成因的矿带中品位厚度变化不大，但形态不规则，认知有多解性的矿体，也适用分层(段)估算选A型数据。选择A型的计算单元所利用的探矿工程可以是完全揭穿矿体的，也可以是未揭穿矿体顶底板的。若选择了A型，则必须对每一探矿工程揭穿矿体的属性进行标识。若数据类型选择了A型，则其计算类型必须选择标准型。用于计算的单工程计算厚度应是铅直厚度，积分计算的投影面是水平投影面或矿层(体)斜面。

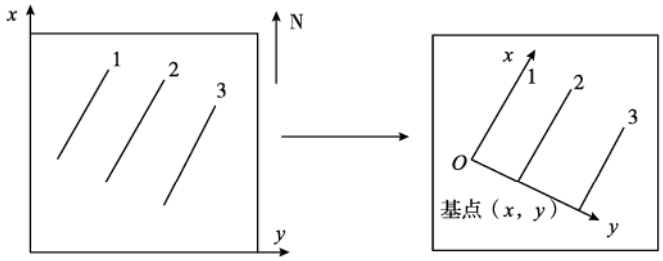
b) B型数据适用于产状陡倾(一般倾角大于45°)的薄层矿体。选择B型数据的计算单元所利用的探矿工程一般要求揭穿矿体(矿带)的顶底板。若数据类型是B型，用于计算的单工程计算厚度应是水平厚度和真厚度，积分计算的投影面是垂直纵投影面。

c) C型数据适用于产状缓倾斜产出(一般倾角小于45°)的薄层矿体。选择C型的计算单元所利用的探矿工程一般要求揭穿矿体(矿带)的顶底板。若数据类型是C型，计算类型是综合型时，用于计算的单工程计算厚度应是铅直厚度和真厚度，积分计算的投影面是水平投影面或矿层(体)斜面。

d) D型数据适用于坑探、钻探结合施工，工程方向不一致时，不满足A、B、C型数据估算条件的情况。

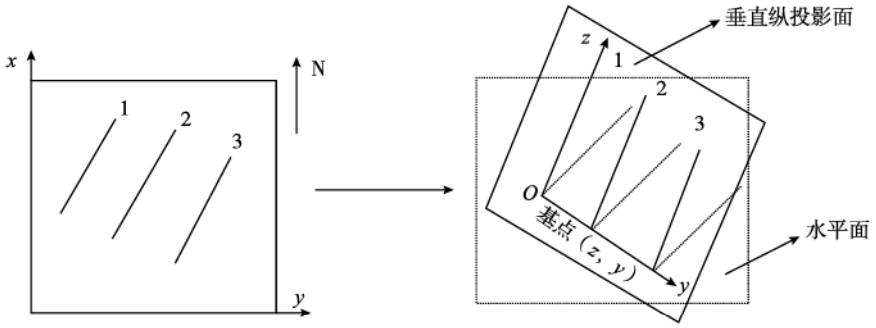
7.4.5 定位系统包括地理坐标和相对坐标两种。地理坐标指经过测量仪器准确测量的x、y、z三维直

角坐标。相对坐标是指在估算范围内，按照 SD 法规定建立的相对直角坐标系，如图 6、图 7 所示。



a） 地理位置　　b） 相对坐标

图 6　A 型、C 型相对坐标建立示意图



a） 地理位置（水平面）　　b） 相对坐标

图 7　B 型相对坐标系建立示意图

如图 6 所示，A 型、C 型数据相对坐标系是建立在水平投影面上，将平行于断面线的方向作为 x 轴方向，垂直断面线的方向作为 y 轴方向，并且确定一个估算的基点坐标。

如图 7 所示，B 型数据相对坐标系是建立在垂直纵投影面上，将平行于断面线的方向作为 z 轴，垂直于断面线的方向作为 y 轴方向，同样确定出一个计算的基点坐标。

7.4.6　形质方案包括框块、分块、A 台阶、A 框块、A 分块。框块是在投影面上划分的若干个矩形条块。每个框块由沿断面线方向的条距和垂直断面线方向的块距构成。分块是在投影面上根据实际需求划分的任意计算范围。A 框块、A 分块都是在台阶的基础上进一步划分，B 型、C 型一般选择框块计算，A 型一般 A 框块计算。框块的大小一般采取 SD 系统根据矿床具体情况自动确定的大小。特殊情况下，可根据用户的特殊需要进行适当调整。

7.4.7　由计算类型、数据类型、形质方案、坐标系统四个基本应用参数联合构成的 SD 法计算，常用的八个方案（关联关系见图 8 所示），包括：

a） 标准型系列计算方案，主要有：

1） 标准型 A 型地理坐标台阶、框块、分块。

2） 标准型 B 型地理坐标框块、分块。

3） 标准型 C 型地理坐标框块、分块。

b） 综合型系列计算方案，主要有：

1） 综合型 B 型地理坐标框块、分块。

2） 综合型 B 型相对坐标框块、分块。

3） 综合型 C 型地理坐标框块、分块。

4） 综合型C型相对坐标框块、分块。

5） 综合型D型地理、相对坐标框块、分块。

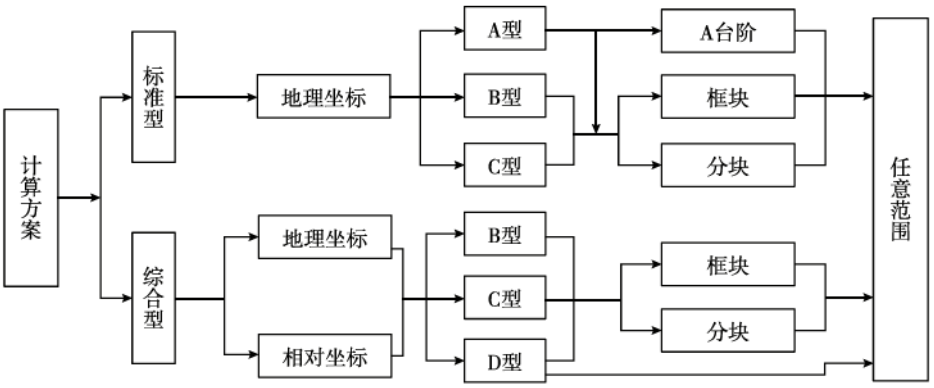


图8 SD法计算类型、数据类型、坐标系统、形质方案关联示意图

7.4.8 矿体规模参数确定要求如下：

a） 矿体规模分为特大型、大型、中型、小型、微型。大型、中型、小型一般参照各矿种的勘查规范确定，特大型一般为大型的2倍以上，微型(特小型)一般为小型的1/2以下。

b） 矿体规模应按计算单元单独确定。

c） 确定矿体规模时，特殊情况下应考虑对初步估算的资源量结果进行适当调整。

7.4.9 矿床成因类型参数确定要求如下：

a） 矿床成因类型按内生、外生和次生分为九大类，分别为沉积型矿床、沉积(变质)型矿床、层控型矿床、斑岩型矿床、热液型矿床、岩浆岩型矿床、矽卡岩型矿床、残坡积矿床、砂矿床。具体根据矿床情况确定。

b） 矿床成因类型按计算单元单独确定。

c） 矿床有多种成因类型时，应按主要的成因类型确定。

7.4.10 根据SD样条曲线按照矿体品位、厚度的变化规律搜索有限外推边界；对于无限外推边界，一般依据SD法通过精度法自动计算的基距以及相应地质可靠程度所对应的框棱来确定。

7.5 矿体产状方式参数选择

7.5.1 一般可由SD软件系统自动根据圈矿后的单工程数据求取各工程的矿体产状。

7.5.2 当计算单元中所利用的工程出现不能完全揭露矿体顶底板或其他特殊情况，自动求取的单工程数据不能作为矿体产状计算的基础数据。不能完全合理地反映矿体产状时，应根据矿床实际情况直接给定合理的矿体产状。当整个计算单元的矿体产状变化不大时，可直接给定统一的产状；当矿体在不同部位产状变化较大时，应根据具体情况按照不同断面或不同工程给定矿体产状。

7.6 体积质量求取方式参数确定

7.6.1 体积质量即矿石体重，计算时首先应考虑湿度校正，一般湿度大于3%时应进行湿度校正。SD法主要有四种体积质量求取方式，分别是平均体积质量式、品位回归方程式、样品自然岩性式、品位等级区间式。估算时应根据矿床具体情况合理选择。

7.6.2 矿石体积质量应针对每个计算单元单独确定。

7.6.3 平均体积质量式是将矿区所有小体积质量样采用算术平均法计算出平均体积质量值后，利用此

平均体积质量进行估算，是最常见的一种体积质量求取方式。体积质量变化一般比品位变化小得多，故体积质量样品的采取数量也较少。如果所计算的矿床的控制程度较低，一般用算术平均法计算的平均体积质量即可保证资源量计算精度的要求。因此，平均体积质量适用于矿床不同部位体积质量变化不大或勘查程度精度要求不高时的情况。

7.6.4 品位回归方程式是每个见矿样的体积质量与一个或多个矿种的组合品位建立的一种回归模型，以此求出每个样的体积质量，进而求出每个工程乃至每个框块的体积质量。品位回归方程式适用于矿种组分较多、品位或品位的组合对体积质量的相关性较大的矿床。常用于铅锌矿床等。

7.6.5 样品自然岩性式适用于样品的体积质量受岩性影响较大的情况。当同一矿床不同岩性或不同矿石自然类型的体积质量相差较大时，应采用样品自然岩性式单独求取体积质量。

7.6.6 品位等级区间式主要是针对单一矿种的品位区间段与体积质量关系密切的情况。常用于铁矿等黑色金属矿产。

7.7 地质可靠程度区间参数确定

7.7.1 地质可靠程度等级参数由 SD 软件提供的 SD 精度来具体确定。详见附录 A.10.5。

7.7.2 待定区间不属于地质可靠程度等级区间，它应结合地质研究程度，给予相应的等级确定。在 SD 精度对地质可靠程度的定量划分标准中，对于处于待定区间的地质可靠程度，通过 SD 法地质可靠程度待定区间归属由专家系统进一步定量确定。

7.8 待定区间归属专家系统参数确定

7.8.1 该专家系统充分考虑了工程控制程度、矿体变化规律，以及水文地质、工程地质、环境地质、构造等综合因素。具体归属参数包括：勘查阶段、矿体形态、构造、水文地质、工程地质、环境地质、类比条件及矿体复杂度。

7.8.2 确定地质可靠程度待定区间归属参考标准：

a) 矿体形态：
   1) 简单：厚层状，层状，大脉状。
   2) 较简单：似层状，薄层状，单脉状。
   3) 一般：分叉式似层状，透镜状，层式脉状。
   4) 较复杂：不规则状。
   5) 极复杂：极不规则状，囊状，鸡窝状。

b) 矿体构造及内部结构：
   1) 简单：产状变化小，无大的断层破坏，节理裂隙不发育，无或极少夹石层；矿体边界清晰，内部组分均匀。
   2) 较简单：产状变化较小，有断层，但破坏性小，有明显节理，有较少夹石层；或矿体边界不清晰，内部组分不均匀。
   3) 一般：产状有波状起伏，有部分矿体被断层破坏，节理发育，裂隙明显，有夹石层。
   4) 较复杂：产状变化较大，或矿体被多组断层错开，或有厚薄不等的多层夹石层；矿体小，变化大；内部组分不均匀。
   5) 极复杂：产状变化大(矿体倾向、走向、陡缓变化很大)，或多组断层严重破坏矿体的完整性，或多层不连续夹石层；矿体小而多，不连续；内部组分极不均匀。

c) 水文地质：
   1) 简单：矿体位于当地侵蚀基准面以上，地形有利于自然排水，地表水不易形成水体。
   2) 较简单：矿体大部分位于侵蚀基准面以下，但近岩层无含水层或近岩层有含水层，但有隔水

层隔开，地表水不形成水体。

3） 一般：矿体位于侵蚀基准面以下，含水层对矿山生产不造成大的危害。

4） 较复杂：矿体位于侵蚀基准面以下，临近岩体有富水层，或地表水形成水体，矿山开采时易形成较大漏水量。

5） 极复杂：矿体位于侵蚀基准面以下，临近岩体有富水层，或裂隙水或岩溶发育，地表水亦形成水体，易使矿山形成大的漏水量。

d） 工程地质：

1） 简单：矿体围岩单一，矿体力学强度高，节理、裂隙不发育，稳定性好。

2） 较简单：矿体围岩较单一，矿体力学性能较强，矿体节理、裂隙较多。

3） 一般：矿体力学性能一般，可能有较强风化性，节理、裂隙较发育。

4） 较复杂：矿体风化强，或者节理、裂隙很发育。

5） 极复杂：矿体遭强烈风化，或者遭构造破坏，形成破碎矿带。

e） 环境地质：

1） 简单：无原生环境地质问题，矿石及废弃物不易分解出有害组分，采矿活动不形成对附近环境和水体的污染。

2） 较简单：一般情况下，采矿活动不易对环境形成污染，不会出现有害组分。

3） 一般：环境地质情况不明，矿石及废弃物不易分解出有害组分，采矿活动是否对附近环境和水体污染的情况不明。

4） 较复杂：存在原生环境地质问题，或矿石及废弃物可能分解出有害组分，或采矿活动可能对附近环境和水体污染。

5） 极复杂：严重存在原生环境地质污染，或采矿活动中不可避免地存在对环境的严重污染。

f） 类比条件：

1） 简单：本地区有可类比的已确知的矿体，其形态、构造、矿化、水文及工程地质为“简单”者。

2） 较简单：本地区有可类比的已确知的矿体，其形态、构造、矿化程度“简单”，水文及工程地质为“较简单”者。

3） 一般：本地区有可类比的已确知的矿体，为“较简单”者；或无类比的，已知此矿形态、构造、水文地质或工程地质“简单”者。

4） 较复杂：本地区有可类比的已确知的矿体，为“一般”者；或无类比的，已知此矿形态、构造、水文地质或工程地质“一般”者。

5） 极复杂：本地区有可类比的已确知的矿体，为“较复杂”者；或无类比的，已知此矿形态、构造、水文地质或工程地质“较复杂”者。

8 资源量估算操作流程

8.1 应用步骤综述

8.1.1 SD法估算过程一般分为三个阶段八个步骤（见图9）。第一个阶段为收集分析原始资料，包括原始资料收集和原始资料分析两个工作步骤；第二个阶段为正式计算，包括组织SD法矿区勘查原始数据、矿体（带）解析、形成SD计算单元数据、确定估算参数、运用SD软件进行估算；第三阶段为成果提取，包括生成并分析提取所需的成果文字、附图、附表。

8.1.2 计算时，若矿区矿体比较简单或已经有成型的对矿体认知的资料，可略去第三、第四步的工作，直接从第五步手工组织形成SD计算单元数据开始。

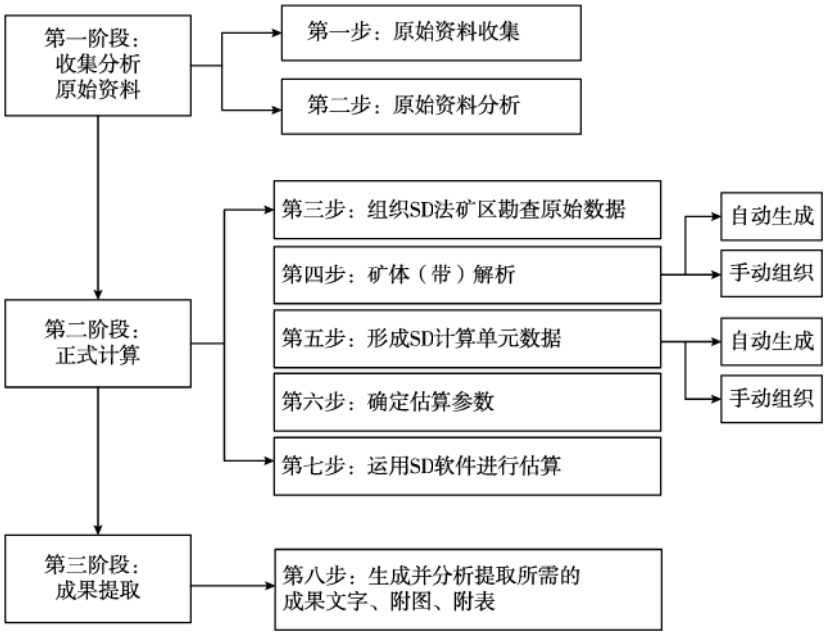


图 9　SD 法应用步骤示意图

8.2　原始资料收集

原始资料的收集按照现行相关规定执行。对于已经形成的历史资料，应尽量核查其真实性。

8.3　分析与组织数据

各类原始数据的分析与组织均与现行相关规范一致。仅在资源量计算时，将原始数据按照 SD 法及软件系统规定的数据格式填写即可。

8.4　矿体(带)解析

8.4.1　矿体(带)解析的方式有软件自动矿体(带)解析和人工矿体(带)解析两种，根据矿床实际情况合理选择。对于厚大矿体(带)，矿化均匀而且较富的矿体(带)，则一般由软件自动矿体解析结合人机对话完成。在解析的过程中，对矿体(带)的圈定既可采用单指标方案也可采用多指标方案，而对于薄层且复杂矿体(带)宜采用多指标方案圈定。若矿体(带)简单，不需严格地圈出矿体的形状即可判定矿体(带)的对应关系，则只需要给出矿体(带)赋存的区域即可；也可初步确定工程间矿体(带)对应关系，直接由人工参照现行规范进行解析，交互调整并最终圈定矿体(带)。

8.4.2　SD 法根据已认知的地质规律，采用多指标圈矿，是采用常用指标体系中的边界品位及边界品位与矿化品位之间的品位值，圈出的一个比较完整的矿化区域。根据矿体复杂度和基距等指标，采用常用指标体系中的边界品位和最小可采厚度搜索出框块内的矿域和非矿域；然后再用常用指标体系中的工业品位和最小可采厚度判别出工业矿框块和低品位矿框块，根据 SD 精度定量确定框块资源量类型；最后分别统计相应的资源量。

8.5　形成 SD 计算单元数据

8.5.1　按本规程前述原则，合理划分计算单元并确定各计算单元的计算方案类型。按照各计算方案的

要求组织相应的计算单元数据。

8.5.2 计算单元数据有自动生成和手工组织两种方式。自动生成方式是通过自动解析矿体的过程来自动完成；手工组织是根据矿体解析成果按照SD法及其软件系统SD计算单元数据要求组织。

8.5.3 若已组织了SD矿区数据，则此时仅需在SD矿区数据表的基础上进行完善，主要完善的数据是样品数据中的矿体号(若按矿体划分计算)、各计算单元基本情况、基岩界线数据和投影地形点数据(矿体露头或接近地表时)等。投影基岩界线数据一般包括投影基岩界线点序号、线序号、距离、标高、矿体号等；投影地形点数据一般包括投影地形点序号、线序号、距离、标高、矿体号等。

8.5.4 采用综合型计算，则工程数据需要按照工程的矿中点坐标、单工程品位及厚度值组织。

8.5.5 若采用A型数据计算，则应补充台阶数据的内容，一般包括台阶划分方式、台阶数、台阶序号、台阶间距等。

8.6 确定基本估算参数

按照本规程9.1和9.2的原则和要求确定各估算参数。

8.7 获取过程参数

8.7.1 计算时，采用SD软件系统进行资源量估算，按照SD法软件操作要求进行操作。主要步骤是接收和转换SD计算单元原始数据、设置计算参数、检验数据、计算、审定。

8.7.2 矿体复杂度由软件系统根据SD动态分维法自动求得，是矿体复杂程度的最终衡量参数，包括矿体品位复杂度T_c和矿体厚度复杂度T_h以及矿体综合复杂度T_z。矿体复杂度值在[0,1]之间，按照五级定量划分标准判别其复杂程度。具体求取公式及划分标准，参见附录A。

8.7.3 风暴品位的识别和处理是由SD软件系统在计算过程中根据倍数限与矿体复杂度的相关关系采用定量公式自动处理，定量计算求得。最终用风暴品位下限值替代风暴品位参与计算。具体求取过程参见附录A。

8.7.4 风暴厚度是由SD软件系统在计算过程中自动识别和处理。

8.7.5 单工程品位、单工程厚度由SD软件系统自动求取。

8.7.6 矿体断面面积、框块体积、框块平均品位、矿石量、金属量等均由SD软件系统依据工业指标搜索，通过SD样条函数积分自动计算求得。具体求取过程参见附录A。

8.7.7 外推范围内品位厚度搜索，是外推范围内的矿体厚度和品位按照SD样条函数搜索确定，一般遵循矿体变化规律，进行曲线外推，是非等值外推，即：外推范围内各处的品位和厚度不同。有限外推范围内品位、厚度一般小于见矿工程；无限外推范围内品位、厚度可能大于相邻见矿工程，也可能小于相邻见矿工程。

9 资源量分类

9.1 地质可靠程度确定

地质可靠程度由SD精度自动定量确定为“探明”“控制”“推断”。具体确定参数详见本规程7.7和7.8。

9.2 资源量类型划分

运用SD系统进行资源量估算，系统自动确定地质可靠程度等级。按照地质可靠程度由低到高，资

源量分为推断资源量、控制资源量和探明资源量。

10 SD 法提交结果

10.1 结果

10.1.1 报告

SD 法计算的结果，除最佳估值外，还提出资源量靶区。它由估值的高值和低值组成了资源量的区间，通过 SD 精度自动求取。具体求取过程参见附录 A。报告结果主要包括原始数据表、结果数据表(估算参数一览表、地质可靠程度及工程控制程度预测一览表、矿体资源量估算表、SD 法资源量靶区表等)，详见附录 B。

10.1.2 图件

SD 系统根据矿区数据，自动生成和编制相应图件。主要包括地形地质图、勘查线剖面图、资源量分类图、品位品级分划图、钻孔柱状图等图件。

10.2 采空区或压覆范围

当有采空区或有压覆时，一般先估算累计查明资源量，然后以此为基础，扣除保有资源量求得消耗资源量；或者扣除消耗资源量求得保有资源量。这些结果的统计均由软件协助完成。

11 估算结果自检

SD 法目前常采用 SD 标准型框块搜索法估算。其估算结果的可靠性可用 SD 整体搜索法或综合型法结果进行互检。当二者靶区范围重合率达 80%以上时，认为框块法结果安全性、可靠性较高；若达不到此重合率要求，则需进一步分析、调整框块的大小，直至满足要求。

12 SD 精度的应用

12.1 SD 精度对勘查程度的判别

SD 精度对勘查程度的判别中，SD 法提供矿体的总精度和各框块的资源量精度两个数值。前者可用于定量判别达到的勘查程度级别；后者表示矿体各个部位的控制程度高低。

12.2 SD 精度对地质可靠程度的判别

SD 精度对地质可靠程度的定量判别中，可直接定量确定各框块的地质可靠程度，为地质人员提供量化的标准和工具，避免完全靠经验性的定性判断而引发的诸多争议。

12.3 SD 精度对工程数的预测

SD 精度不仅对资源量估算结果精确程度进行确定，而且还对其勘查程度、地质可靠程度定量判断，并对勘查区进行勘查风险控制和对勘查工程数进行预测。工程数和框棱的预测是通过 SD 精度实现的，它是在当前工程控制程度下对未来达到任何勘查程度所需的工程数和框棱做出的预测判断。这种预测，是用于勘查设计、动态指导勘查进程，提高勘查过程中的可控性、计划性，避免盲目性和勘查风险的一个

重要指标。

12.4 SD 精度对风险靶区的控制

SD 精度对风险靶区的控制，是用 SD 法提供的资源量靶区结果，以最佳估计值分别乘以和除以 SD 精度得到资源量靶区的下限值和上限值，用于指示当前工程控制程度下资源量的变化区间，即资源量风险范围，从而用此靶区对风险进行有效的控制。此方法适用于较低勘查程度及存在较大资源量风险的矿床和各种用途下资源量风险的判别和控制。

13 资源量估算结果汇总

采用 SD 法软件系统估算的结果及生成的附图、附表，参见附录 B。

附 录 A
（资料性附录）
SD 法原理

A.1 动态分维拓扑学资源储量估算 SD 法

SD 法是以现代数学地质为基础的动态分维拓扑学理论的中国自主资源储量估算方法体系，有别于苏联体系的传统简单几何学原理和欧美体系的概率统计数学原理。20 世纪末由我国地质科技工作者唐义和蓝运蓉在地质找矿、矿产资源勘查实践中运用数学与计算机工具创立而成。SD 法具有理论、原理、方法等方面的含义，分别代表样条“Spline”函数和“动”态分维；代表“搜”索、“递”进；代表“审定”（即：对资源量精确程度的定量确定）。SD 法体系主要分为 SD 储量计算法和储量审定法（SD 精度），还包括四条原理（“降维形变原理”“权尺稳健原理”“搜索求解原理”和“递进逼近原理”）、八组公式（SD 稳健公式、结构地质变量公式、SD 边值公式、SD 复杂度公式、SD 风暴品位下限值公式、SD 样条函数公式、SD 体积公式、SD 精度公式）及系列软件（单机版本、企业网络版本和现代移动互联网版本）。

A.2 定量确定矿体复杂度

为了能比较准确地描述矿体的复杂程度，SD 法引入了动态分维理论，并提出了品位复杂度和厚度复杂度的概念，这两个概念是适合矿体特性和要求，从动态分维角度来精细地刻画和描述矿体复杂程度的。它充分考虑了地质变量的空间结构性特点，包括工程品位、厚度的大小，工程所处的位置及工程间的距离等。

矿体复杂度分矿体品位复杂度 T_c 和矿体厚度复杂度 T_h 以及矿体综合复杂度 T_z，用以定量描述矿体的复杂程度。复杂度在[0,1]之间，是矿体复杂程度的最终衡量参数，具体表达通式如下：

$$T=\sqrt{M\cdot D} \qquad \cdots\cdots (A.1)$$

式中：

T ——矿体复杂度；

M ——变化度；

D ——分数维。

$$T_c=\sqrt{M_c\cdot D} \qquad \cdots\cdots (A.2)$$

$$T_h=\sqrt{M_h\cdot D} \qquad \cdots\cdots (A.3)$$

$$M_c=\frac{1}{m-1}\sum_{j=1}^{m}\frac{1}{n_j-1}\sum_{i=1}^{n_j-1}\frac{|Y_i-Y_{i+1}|}{Y_i+Y_{i+1}}\left(1-\frac{d_{ij}}{d_j}\right) \qquad \cdots\cdots (A.4)$$

$$T_z=\frac{1}{2}\cdot(T_c+T_h) \qquad \cdots\cdots (A.5)$$

式（A.2）至式（A.5）中：

T_c——矿体品位复杂度；

T_h——矿体厚度复杂度；

T_z——矿体综合复杂度；

M_c——品位变化度；

M_h——厚度变化度；

m ——线数；

j ——线的序号，$j=1,2,\cdots m$；

n_j ——j 线上点数；

i ——观测点序号，$i=1,2,\cdots n_j$；

Y_i ——观测点的观测值(单工程的平均品位或厚度值)；

d_{ij}——小区间距离，$d_{ij}=|X_{ij}-X_{i+1j}|$，X_{ij} 为划归 j 线的第 i 个工程见矿中点在 j 线上的投影位置，其位置在 j 线上按序号朝同一方向排列；

d_j——j 线(n_j-1)个区间总距离，$d_j=|X_{1j}-X_{nj}|$。

SD法对矿体复杂度(厚度复杂度、品位复杂度、综合复杂度)按照复杂程度进行了五级定量划分标准，具体应用中均以此为标准：

a) 简单：0～0.062 5。

b) 较简单：0.062 5～0.250 0。

c) 一般：0.250 0～0.390 0。

d) 较复杂：0.390 0～0.560 0。

e) 极复杂：0.560 0～1.000 0。

A.3 风暴品位处理

风暴品位的存在是客观的，它的出现会影响平均品位的可靠性。SD法不去寻求原始数据的统计规律，而用稳健处理数据的方法，将原始数据处理成相对平滑的空间结构的数据，即结构地质变量，但是，SD法仍然要求结构数据的合理性即合理均值。为排除特异值对结果正确性干扰，SD法对它进行了稳健性处理。

SD法采用修匀数据的办法来消减风暴品位在参与计算时过大的影响力，从而达到计算结果稳健可靠的目的。SD法处理风暴品位值的办法是，将风暴品位值适度削减，用削减值替代风暴值，置于原始数据中参与计算。风暴品位处理具体公式如下：

$$C=\sigma\overline{C} \qquad \cdots\cdots (A.6)$$

式中：

C ——风暴品位下限值；

σ ——风暴品位倍数限；

$\overline{C}$ ——采用搜索法计算的矿体平均品位[1)]。

风暴品位倍数限 σ 计算公式：

$$\sigma=\delta_1+\delta_2\cdot T \qquad \cdots\cdots (A.7)$$

式中：

δ_1——截距常数 2.933；

δ_2——斜率常数 17.067。

可见，σ 是矿体复杂度 T 的函数。σ 又可写成另一形式：

$$\sigma=2.933+17.067\cdot T \qquad \cdots\cdots (A.8)$$

用风暴品位作为替代值符合矿体变化规律，在适度削减其过大影响权力的同时，仍然能保持其风暴值的优势，避免了目前特高品位处理过程中过多削减特高值而违背地质规律的不合理现象。

A.4 风暴厚度处理

风暴厚度是指计算中单工程厚度呈现出的风暴值。

1) 品位单位按矿种类型确定。

风暴厚度的判别依据：首先将全区单工程厚度从小到大排序后，位于序尾、比例一般不超过3%～5%的区域，作为风暴厚度可疑区；在可疑区内，当SD样条曲线出现强烈震荡，以致出现负值现象或未出现震荡且单工程厚度大于矿区平均厚度的3倍时，确定为风暴厚度。

风暴厚度和风暴品位不同。风暴品位是以点带面，风暴厚度是以线带面，SD三次样条上表现为成规模性，若直接改变单工程的厚度值则不符合SD样条曲线对客观情况的体现，因此，不应改变风暴厚度值，只有当控制程度较低且出现风暴厚度时，适当考虑缩小其影响范围。

A.5 确定SD外推边值

A.5.1 这里的外推范围主要指边缘见矿工程以外的无限外推；外推距离的确定建议按照SD法原则并结合矿床具体情况设置。

A.5.2 外推距离的合理设置一般为：SD基距或“探明的”框棱。SD基距相当于SD精度接近100%时（矿体完全查明，接近真态）的工程控制间距（框棱）。“探明的”框棱有两个含义，一个是通常相当于SD精度大于或等于80%时的工程控制间距，称之为“确定探明的”框棱；另一个是在实际应用中，由待定区间归属后的“归属探明的”框棱（SD精度为65%～80%）。

A.5.3 外推距离设置的基本原则是：若工程控制范围内的地质认识较清楚，则允许适当多推；否则，应少推。一般地，高勘查程度（详查以上）可以取上限值的高值（即“归属探明的”框棱），低勘查程度允许取上限值的低值（即“确定探明的”框棱）；对于单孔控矿的情况，建议取下限值（SD基距）。

A.5.4 对于外推值的合理推断是影响资源量结果不可忽视的一个主要问题，一个合理的外推模型要与矿床变化规律紧密结合，SD法就是根据矿床成因类型紧扣变化规律进行外推范围的推测，而且非等值外推，可能比边缘见矿工程值还大，也可能小。具体外推公式如下：

$$y_0=y_1+\frac{h_2}{\beta(h_1+h_2)}(y_1-y_2) \qquad \cdots\cdots (A.9)$$

式中：

y_0——外推点的品位或厚度值，单位为米（m）；

y_1——邻近外推点的实际工程的品位或厚度值，单位为米（m）；

y_2——邻近y_1的实际工程的品位或厚度值，单位为米（m）；

h_1——y_0与y_1之间的距离（外推距离），单位为米（m）；

h_2——两实际工程之间的距离，单位为米（m）；

β——调节系数，一般地，$\beta=4$；当y_1远远大于y_2时，$\beta=16$。

A.6 控制点品位、厚度求取

对于辅助计算点（控制点）的品位、厚度的求取，是通过周边邻近工程的品位、厚度，采取距离平方反比法求取。

A.7 降维形变处理

矿体形态千差万别，它们都处于分维状态，矿体真实的形态不可知，若用简单几何图形和数据统计的计算，不符合对地学数据的结构地质变量的认识，要按实际形态去计算，又是不可能的。地质体是由结构地质变量构成的，地质体的空间构形可用断面表示，地质变量的空间结构也可用断面来表示。为了计算的简便化，SD法采取断面构形技术，进行降维处理，将高维变为低维，用剖面的二维反映体三维。同时，为了计算的规则化，将断面形态进行齐底拓扑形变，保证齐底拓扑形变后的矿体面积保持不变，这样可保证计算结果的唯一性，不存在压缩的计算。而且用数学公式去描述对地质情况认识的变化，采用SD样条函数（分段连续多项式样条函数）去拟合结构地质变量，使SD法成为一种断面曲线法，使断面积分成

为可能，为断面积分计算奠定了基础。同时使得 SD 法实现了不依据矿体形态进行计算，同时很好地解决了实际中由于分支复合现象导致的矿体图形多解性的争议。因此，通过降维形变技术方法，使得断面积分成为可能。

A.8 矿体搜索计算

A.8.1 SD 样条函数的建立，解决了结构地质变量曲线的最佳拟合问题。结构地质变量曲线拟合的效果，直接影响到断面积分结果的准确性和可靠性。因此，为了寻求最佳拟合曲线，SD 法创始人做了大量的研究和实践，结果表明：不同矿体的结构地质变量变化千差万别，复杂程度相差甚远，很难用其他数学曲线去拟合。为此，创始人经过反复研究，选择了分段连续的三次样条函数，并对其进行了必要的改造，使其既能保持三次样条函数运用的灵活性，又能让它适合各种地质变量挠度状态曲线，并丰富了三次样条曲线的应用。改造的关键点是将三次样条函数与矿体复杂度 T 直接关联，矿体复杂度 T 是一个随矿体结构地质变量复杂性变化的动态量，因而三次样条曲线既适应小挠度曲线，也适应较大挠度的曲线，故而 SD 样条函数拟合效果较理想。因此，SD 样条函数适应各种类型有序数列的数据拟合。不仅在矿产领域 SD 样条函数能用数学公式客观地反映矿体各种复杂状态，而且在其他领域也起到了独特的作用。

A.8.2 利用风暴品位处理后的样品，经矿体圈定后得出单工程的平均品位和厚度，经过齐底拓扑形变后，这些地质变量在断面线上构成有序的点列数据，用 SD 样条曲线去拟合，建立品位和厚度的 SD 样条曲线。SD 样条曲线拟合后，再以一定的步长插值得到各插值点的品位和厚度，并按边界品位、可采厚度、米·百分值（米·克吨值）去搜索，判断出断面上矿域和非矿域的范围，当品位达边界品位（或最低工业品位），而厚度未达到可采厚度的，划为可疑域；可疑域由动态百分值去判定它属矿域或非矿域，从而得到断面上矿体的面积（见图 A.1）。这种自动按双指标在 SD 样条曲线上进行动态搜索确定矿域计算的资源量结果稳定、可靠、唯一，避免了由其他方法因块段划分不同而引起的资源量结果差异大、可靠性差等现象。

A.8.3 将断面上矿体面积，作为面结构变量，将其在垂直投影面方向上的点和数据用 SD 样条曲线拟合，再以一定的步长插值，用边界品位搜索得到矿体的体积。

A.8.4 SD 样条函数公式为

$$S_{D(x)}=M_{i-1}\frac{(x_i-x)^3}{\alpha h_i}+M_i\frac{(x_i-x_{i-1})^3}{\alpha h_i}+\left(y_{i-1}-\frac{M_{i-1}}{\alpha}h_i^2\right)\frac{x_i-x}{h_i}+\left(y_i-\frac{M_i}{\alpha}h_i^2\right)\frac{(x-x_{i-1})}{h_i} \quad \cdots\cdots (A.10)$$

式中：

$S_{D(x)}$ ——节点 x_i 上对应型值点 y_i 值；

x ——节点位置，$x_{i-1}\leqslant x\leqslant x_i (i=2,3,\cdots,n)$；

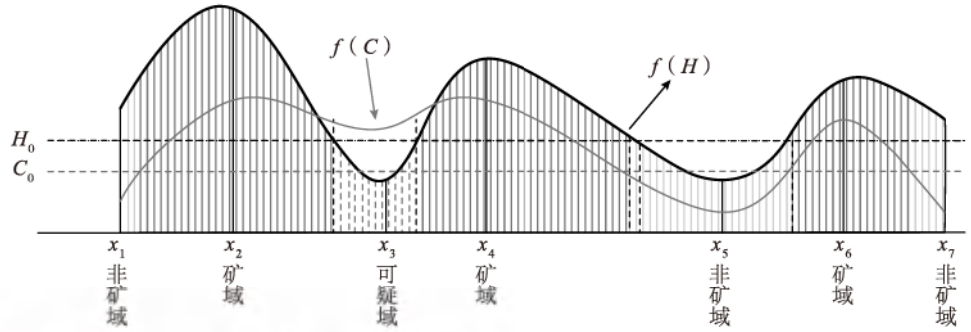
h_i ——节点间距；

M_i ——型值点 y_i 的二阶导数；

α ——修正值，$\alpha=6/T$；

T ——矿体复杂度。

A.8.5 SD 法计算过程同时也是动态搜索确定矿体的过程，这与几何法有所不同。SD 搜索求解的实现，不仅解决了样条函数、反函数求解难的问题，同时解决了合理而灵活选用工业指标的问题以及储量计算中任意划分矿块矿段灵活计算的问题，使得 SD 法可以适应各种需求的资源量估算。更重要的是，SD 法不依据先确定矿体形态进行计算，也很好地解决了实际中由于分支复合现象导致的矿体图形多解性的争议。



H_0——厚度指标限；　　厚度曲线

C_0——品位指标限。　　品位曲线

搜索过程：

第一步：作矿体厚度曲线和品位曲线；

第二步：用SD样条函数拟合；

第三步：以厚度指标限和品位指标限分别对相应的SD样条函数曲线按一定步长进行根的搜索；

第四步：对于满足双指标限的曲线部分进行SD样条积分，即为矿域面（体）积。

图 A.1　SD 齐底拓扑－搜索求解图

A.8.6　单工程平均品位与单工程计算厚度求取(以下表达式中的参数单位按其具体矿种确定)。

a)　单工程平均品位 ：为各样品的品位与其计算厚度加权。

$$\overline{C}_{工程}=\sum_{i=1}^{n}(C_i\times L_i)/\sum_{i=1}^{n}L_i \qquad \cdots\cdots (A.11)$$

式中：

$\overline{C}_{工程}$——单工程的平均品位；

C_i　——各够矿或矿化样品的品位；

L_i　——各够矿或矿化样品的计算厚度(铅直厚度或水平厚度或真厚度)；

n　——样品个数；

b)　单工程计算厚度：为各样品计算厚度之和。

$$H_{工程}=\sum_{i=1}^{n}H_i \qquad \cdots\cdots (A.12)$$

式中：

$H_{工程}$——单工程计算厚度；

H_i　——各够矿或矿化样品的计算厚度；

n　——样品个数。

A.8.7　资源量计算过程中的积分表达式。

如图 A.2 所示，将矿体置于直角坐标系中分析，设垂直矿体厚度的投影面(LOl)上的矿体面积为 S，此投影面上有 m 条断面线，每条线上有 n 个工程。L 为长度，L 方向为矿体长度方向；l 为宽度，l 方向为矿体宽度方向；宽度函数为 $f(L)$；矿体厚度函数为 $f(L,l)$；矿体品位和厚度乘积的函数为 $F(L,l)$；D 为矿石体积质量。矿体几何空间、金属量、品位等参数可按下列积分式表达求取(以下各表达式中的参数单位按其具体矿种确定)。

a)　矿体断面面积 $S(L)$：

$$S(L)=\int_{l_1}^{l_n} f(L,l)\mathrm{d}l \qquad \cdots\cdots (A.13)$$

b)　矿体体积 V：

$$V=\int_{L_1}^{L_m} S(L)\mathrm{d}L \qquad \cdots\cdots (A.14)$$

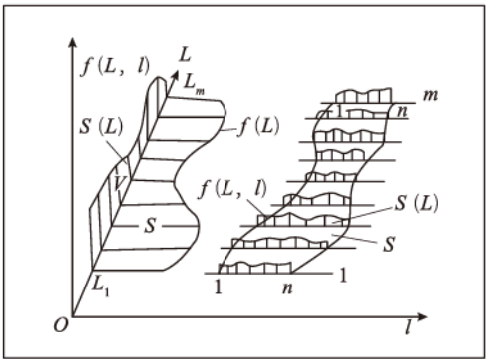


图 A.2　资源量积分计算关系图

c)　矿体断面平均厚度 H_s：

$$H_s=\frac{S(L)}{l_n-l_1} \qquad \cdots\cdots (A.15)$$

d)　体平均厚度 H_v：

$$H_v=\frac{V}{S} \qquad \cdots\cdots (A.16)$$

e)　矿石量 Q：

$$Q=DV \qquad \cdots\cdots (A.17)$$

f)　面金属量 P_s：

$$\left.\begin{aligned} P(L)&=\int_{l_1}^{l_n}F(L,l)\,\mathrm{d}l \\ P_s&=DP(L) \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots (A.18)$$

g)　体金属量 P：

$$P=D\int_{L_1}^{L_m}P(L)\,\mathrm{d}L \qquad \cdots\cdots (A.19)$$

h)　面平均品位 C_s：

$$C_s=\frac{P(L)}{S(L)} \qquad \cdots\cdots (A.20)$$

i)　体平均品位 C：

$$C=\frac{P}{Q} \qquad \cdots\cdots (A.21)$$

A.9　伴生组分的 SD 法估算

在估算过程中，伴生组分无论是基本分析还是组合分析，均可与主矿种一起，采取共同搜索的方式与主矿种同时计算其量，伴生组分个数不限。伴生组分的估算及资源量分类按有关规范执行。

A.10　SD 精度

A.10.1　SD 精度既是矿产资源量精确程度的度量，又是工程控制程度的体现。递进及逼近思想，是 SD 精度能顺利解决资源量可靠性的核心技术。因此，它可以作为资源量可靠程度的度量，也可以作为勘查程度划分的依据。利用 SD 精度，可以确定工程间距，预测工程数，有效指导勘查工作进程，减少盲目性，增强计划性。SD 精度对探矿中资源量精度不可知的风险，以及对采矿中资源量可靠程度不确定的风险，提出了量化标准。用 SD 精度可指导勘查施工达到要求的勘查程度，控制工作程度，让探采部门自己有

效控制风险，在获得最佳效益的同时，合理利用资源。

A.10.2 SD精度 η 的计算公式如下：

$$\eta=\rho\cdot\eta_0 \qquad \cdots\cdots (A.22)$$

式中：

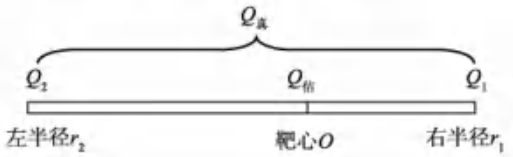
η ——SD精度；

ρ ——框架指数；

η_0——原始精度。

A.10.3 基距 H_a 是框块的基本框棱，它是工程控制程度达到一定程度，被认为可以确认矿体的真态的最小框格的框棱。只要确定出基距 H_a，就可得到SD预测精度。SD基距值考虑了矿床成因、矿体规模、矿种类别、工程类别、工程控制程度、矿体的复杂程度等影响资源量估算的诸多综合因素。

A.10.4 SD法通过SD精度可确定在当前工程控制下资源量相对于真量的变化范围。用当前最佳估计值分别乘以、除以精度求得真量预测靶区的端点预测值，形成用于定量控制资源量风险的变化区间。如图A.3所示，$Q_{估}$ 是当前最佳估计值，$Q_{真}$ 是真量区间，当前最佳估计值 $Q_{估}$ 是靶区靶心 O 的值，取资源量预测误差 r_1 和 r_2 为靶区半径，r_1r_2 是以靶心 O 为中心的不对称靶区直径。靶区直径两端点的 Q_1、Q_2 形成的预测靶区的真量区间$[Q_1,Q_2]$，Q_1 为下限值，Q_2 为上限值。



图A.3 SD真量靶区示意图

A.10.5 SD精度与地质可靠程度关系的应用。

据SD精度与地质可靠程度关系应用图的划分(见图A.4)。

a) 用SD精度基本区间和SD精度调节区间的共同部分确定的具体地质可靠程度等级区间分别为：

$80\%\leqslant\eta\leqslant100\%$，表示地质可靠程度是探明的；

$45\%\leqslant\eta<65\%$，表示地质可靠程度是控制的；

$15\%\leqslant\eta<30\%$，表示地质可靠程度是推断的。

b) 除以上三个等级区间外，其余区间为相应的待定区间：

$65\%\leqslant\eta<80\%$，表示地质可靠程度是探明—控制待定；

$30\%\leqslant\eta<45\%$，表示地质可靠程度是控制—推断待定；

$10\%\leqslant\eta<15\%$，表示地质可靠程度是推断待定；

$2\%\leqslant\eta<10\%$，表示地质可靠程度是潜在的；

$0\%\leqslant\eta<2\%$，表示地质可靠程度是无意义的。

c) 待定区间不属于地质可靠程度等级区间，它应结合地质研究程度，给予相应的等级确定。例如：SD精度计算值 η 为72%，其值落在“探明控制待定”区间，SD法不能直接确认是探明的还是控制的，这要根据对地质特征、矿床特征等认识来确认，它是属于探明的等级还是控制的等级。如果简单，则归为探明的，如果复杂且不能明确确认的则归为控制的。

A.11 SD法优势

A.11.1 适用性广

SD方法及系统主要适用于地质勘查过程中的所有勘查阶段。

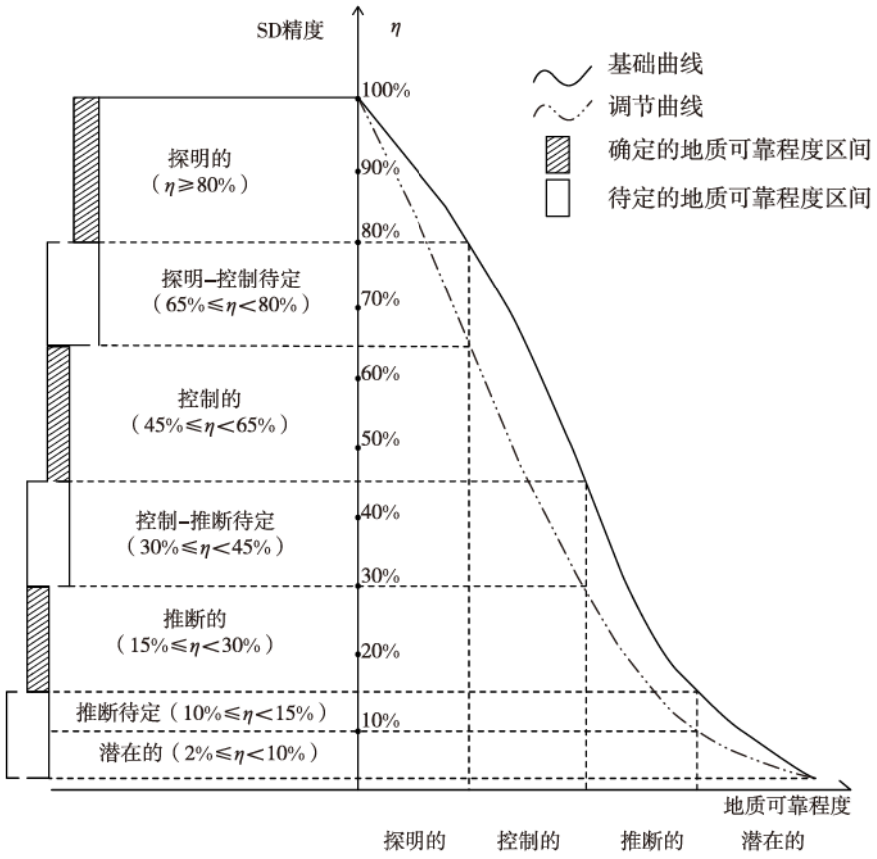


图 A.4　SD 精度与地质可靠程度划分图

A.11.2　适用性强

采用通用地质勘查数据就可进行资源量估算，经预可行性研究、可行性研究后，可估算储量。

A.11.3　使用简便

软件系统使用成本低，效率高，操作简单。只需将估算矿区的范围划定，输入原始数据，资源量、储量便可自动计算结果，随之自动绘制所需图件，最终自动生成报告所需文、图、表。

A.11.4　估算结果可信

SD 软件系统资源量估算结果精准、图件可视三维，估算结果可靠程度高，风险低，争议小。独特的资源量区间（靶区）可作为验证其他估算方法估算结果的工具。

A.11.5　预测勘查投入

在现有工程控制程度下，迅速划分当前资源量类别，同时预测未来勘查工程数。预测其他方法工程间距，减少盲目施工，预测投资风险，预测项目投资额度。

A.11.6　确定投资技术风险

根据对资源量可靠性的量化值（SD 精度），确定投资矿区项目资源量的投资技术风险。

附 录 B
（资料性附录）
SD法资源量估算附图及附表

B.1 SD法资源量估算常见附图

根据SD储量估算方法的软件系统自动或经过人工辅助产生的附图主要包括：

——地形地质图；
——勘查线剖面图；
——资源量分类图；
——品位品级分划图；
——钻孔柱状图。

B.2 SD法资源量估算常见附表

B.2.1 原始数据表

——基本情况表；
——断面线数据表；
——计算点数据表；
——工程测斜数据表；
——工程样品数据表；
——工业指标表；
——投影基岩界线数据表；
——投影地形界线数据表；
——矿体露头数据表；
——地形数据表；
——台阶数据表；
——采空区范围数据表。

B.2.2 结果数据表

——单工程品位、厚度统计表；
——风暴品位处理表；
——估算参数一览表；
——地质可靠程度及工程控制程度预测一览表；
——地质可靠程度及工程控制程度判别标准一览表；
——框块明细表；
——矿体资源量估算表；
——矿体消耗资源量估算表；
——矿体保有资源量估算表；
——SD法资源量靶区表。