

贵州罗甸玉勘查评价方法探讨—以官固矿床为例

黄勇^{1,2}, 郝家棚², 白龙², 陈能松¹, 韩颖平², 邓小杰²

(1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074; 2. 贵州省地质调查院, 贵州贵阳 550081)

[摘要] 贵州罗甸玉属于高档软玉, 具有稀缺性和极高的经济价值, 但其勘查评价方法受到矿体特殊产状和厚度薄的综合因素制约, 不适用于固体矿产勘查工作规范。通过前期勘查实践和方法研究, 新提出在勘查工作中以含矿体作为基本填图单元应用于图面表达具有显著的合理性和可操作性, 在资源评价工作中采用系数调整法校正资源储量, 可以解决软玉矿勘查评价难的问题, 进而完善软玉矿的勘查评价体系。

[关键词] 含矿体 含矿率 资源评价 罗甸玉 官固矿床 贵州省

[中图分类号] P619.28+1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2019)01-09

Huang Yong, Hao Jiaxu, Bai Long, Chen Nengsong, Han Yingping, Deng Xiaojie. Exploration and evaluation methods of the Luodian nephrite in Guizhou Province: A case study of the Guangu deposit [J]. *Geology and Exploration*, 2019, 55(1): 0194-0202.

0 引言

世界上软玉矿主要产自中国、韩国、俄罗斯、新西兰、加拿大、澳大利亚等国家(Yui et al., 2002; 文苾蓂等, 2014; Burtseva et al., 2015)。中国的软玉矿床点主要沿和田—叶城—且末—若羌—格尔木一线的昆仑山脉分布, 其余散见于新疆玛纳斯、江苏小梅岭、辽宁岫岩(张良钜, 2002; 黄宣镇, 2005; 李大中等, 2013)、河南栾川(屈红军等, 2002)、台湾花莲(林嵩山, 1999)、四川龙溪(卢保奇等, 2004, 2005; 丁一, 2011)等地。以新疆和田玉最为名贵, 开发利用历史最为悠久。

迄今, 软玉标准主要有《珠宝玉石名称》(GB/T 16552-2010)、《珠宝玉石鉴定》(GB/T 16553-2010)、《和田玉》(DB65/T 035-2010)、《玛纳斯碧玉》(DB65/T 3420-2012)、《珠宝玉石饰品的标识》(DB65/046-2002)、《和田玉器工艺质量》(DB65/T 2131-2004)、《地理标志产品昆仑玉》(DB63/T 947-2010)、《金银珠宝玉石饰品标识规定》(DB52/T 428-2013)等, 尚无软玉矿的勘查工作规范。

贵州罗甸玉矿发现于2011年(杨林等, 2011; 支颖雪等, 2011; 范二川等, 2012; 黄勇等, 2012), 这是时

值新疆和田玉矿濒临枯竭、青海软玉矿资源逐渐减少(陈更新, 2013)之际我国软玉矿的重大找矿突破。

研究区位于扬子陆块区(一级单元)之滇黔桂陆块(二级单元)南西角的百色拗陷区(三级单元)(熊盛青等, 2018), 属于环太平洋成矿域之扬子成矿省, 处于扬子陆块东南缘锡钨铝锰铁锑金铅锌成矿带(刘书生等, 2018)。罗甸玉矿集区的资源潜力大、矿石质量好, 可望成为我国软玉矿资源的重要接替靶区。矿体多为层状脉, 与其它产地软玉矿的共性特征是单条矿脉薄, 延伸不长, 经济价值极高, 勘查评价难度大, 没有规范可循。参照《固体矿产勘查规范总则》(GB/T 13908-2002)、《固体矿产勘查工作规范》(GB/T 33444-2016)、《固体矿产资源/储量分类》(GB/T 17766-1999)等标准, 通过前期勘查实践结合罗甸玉矿勘查评价方法研究, 用矿床实例阐述了罗甸玉矿的图面表达方法和矿石资源储量的系数调整策略, 对其它地区的软玉矿产勘查评价工作具有借鉴意义。

1 矿区地质

1.1 地层

矿区位于右江造山带北缘的峨劳背斜西翼, 出

[收稿日期] 2018-01-23; [改回日期] 2018-05-31; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 贵州省科学技术厅项目(黔科合重大专项字[2014]6003)资助。

[第一作者] 黄勇(1962年—), 男, 研究员, 在读博士, 从事区域地质矿产调查与研究。E-mail: huangyongdxy@163.com。

露地层有石炭—二叠系南丹组第二段、中下二叠统四大寨组第一至二段、中上二叠统领蓐组第一至三段、中下三叠统乐康组第一段,辉绿岩体侵入于四大寨组第一至二段之交(图1a)。据PM002剖面资料,各单元岩性为:

南丹组第一段:中厚至厚层块状泥晶灰岩、含生物屑砂屑灰岩、燧石条带及燧石团块灰岩,中部夹薄至中厚层硅质岩、粉砂岩、粉砂质粘土岩及薄层燧石条带灰岩。厚165.36m。

南丹组第二段:中厚至厚层块状泥晶灰岩、含生物屑灰岩,局部夹砂屑灰岩、砾屑灰岩、燧石条带及燧石团块灰岩,下部含白云岩化团块。厚359.10m。

四大寨组第一段:薄层硅质岩、粉砂岩、粉砂质粘土岩、钙质粘土岩不等厚互层,顶部具硅化蚀变现象。厚68.90m。

四大寨组第二段:是软玉容矿地层,自下而上可分6套岩性:①薄至中厚层大理岩、石英大理岩、大理岩化灰岩,夹透闪石岩,为含矿体赋存部位,厚2.16m;②薄层硅质岩、粘土岩、粉砂质粘土岩、粉砂岩互层,厚2.59m;③薄至中厚层泥晶灰岩、含生物屑灰岩夹燧石条带及燧石团块灰岩,厚31.08m;④薄至中厚层方解石大理岩、石英大理岩、石英岩、透闪石岩,是含矿体的重要赋存部位,厚98.30m;⑤薄至中厚层硅质岩、硅化灰岩、石英砂岩、长石岩屑砂岩、粉砂岩、粉砂质粘土岩夹中至厚层泥晶灰岩、砂屑灰岩、燧石条带及燧石团块灰岩,厚57.77m;⑥厚层块状砾屑灰岩、泥晶灰岩、含生物屑灰岩,夹薄层粉砂岩、粉砂质粘土岩,厚46.55m。

领蓐组:薄至中厚层含钙质粉砂岩、粉砂质粘土岩,薄层硅质岩,局部夹薄至中厚层泥灰岩、泥晶灰岩、凝灰岩。厚665.99m。

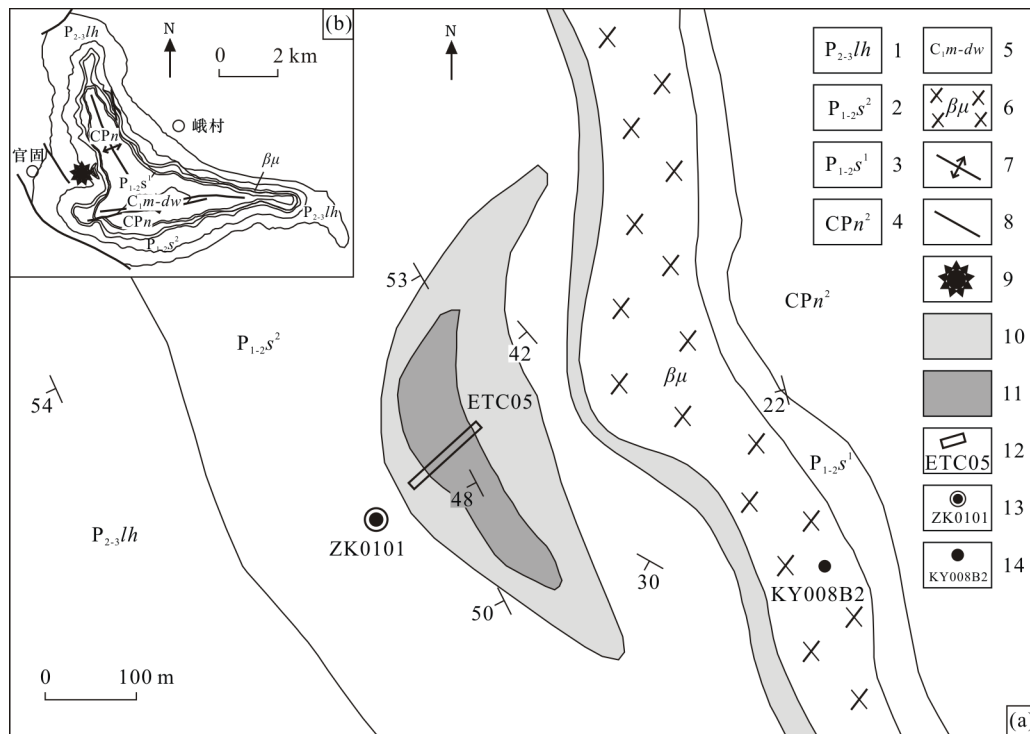


图1 官固软玉矿区地质图(a)及控矿构造图(b)

Fig.1 Geological map (a) and ore - controlling structure (b) of the Guangu nephrite deposit

1 - 二叠系领蓐组;2 - 二叠系四大寨组第二段;3 - 二叠系四大寨组第一段;4 - 石炭—二叠系南丹组;5 - 石炭系睦化组—打屋坝组;6 - 辉绿岩;7 - 背斜轴;8 - 断层;9 - 软玉矿床;10 - 大理岩化带;11 - 含矿体;12 - 探槽及编号;13 - 钻孔及编号;14 - 采样点及编号

1 - Permian Linghao Formation;2 - second member of Permian Sidazhai Formation;3 - first member of Permian Sidazhai Formation;4 - Carboniferous - Permian Nandan Formation;5 - Carboniferous Muhua - Dawuba Formation;6 - diabase;7 - anticline axis;8 - fault;9 - nephrite deposit;10 - marbleization belt;11 - ore - bearing body;12 - prospecting trench and serial number;13 - drillhole and serial number;14 - sampling site and serial number

1.2 构造

软玉矿床受峨劳背斜控制。该背斜呈三角形,由北北西向褶皱与近东西向褶皱叠加而成,核部地层为

睦化组、打屋坝组及南丹组,翼部由四大寨组和领蓐组构成(图1b)。地层产状核部较缓(倾角 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$)、翼部较陡(倾角 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$),属于短轴背斜。断

裂构造不发育,有北西向、北东向、近东西向和近南北向 4 组,规模小,均为后期断层,对矿体影响不大。

1.3 岩浆岩

发育海西期辉绿岩床,侵入于四大寨组第二段下部或底部,厚 23 ~ 148m,区域上最厚可达 300m,厚度变化大,岩浆分异程度较低。

岩石类型主要有辉绿岩和辉长岩,分别具辉绿结构和辉长结构,局部发育含长嵌晶结构、块状构造。矿物成分有斜长石(50% ~ 54%)、辉石(40% ~ 45%)、副矿物(4% ~ 6%)、石英(1%),结晶粒度 2.00 ~ 0.20mm。斜长石呈半自形 - 自形长条板柱状,有的具绿帘石化和钠长石化;辉石呈半自形 - 自形短柱状,有的具弱绿泥石化。岩床顶部发育气孔状构造、杏仁状构造,杏仁体成分为绿泥石、方解石和石英。据全岩化学分析(KY008B2),岩石含 SiO₂ 45.10%、TiO₂ 2.92%、Al₂O₃ 13.15%、TFeO 14.26%、MnO 0.24%、MgO 4.48%、CaO 14.4%、Na₂O 2.08%、K₂O 0.66%,全碱(Na₂O + K₂O)2.74%。里特曼指数(δ)为 2.94,属钙碱性系列。镁值(Mg[#])38.36,低于原始岩浆的参考值(68 ~ 75)(Wilson, 1989),表明岩浆经历了明显的结晶分异作用。

在邻区罗邕,辉绿岩的锆石 U - Pb 同位素年龄为 255 ± 0.62Ma(韩伟等,2009),属于晚二叠世吴家坪期,是海西期峨眉山玄武岩岩浆活动的产物。

1.4 变质岩

为接触变质岩,分布于辉绿岩床与四大寨组灰岩的接触带上。外接触带由方解石大理岩、石英岩、

透闪石岩、透辉石岩、硅灰石岩、滑石岩等构成,特征变质矿物有透闪石、透辉石、硅灰石、滑石等,由于矽卡岩是由硅灰石、石榴子石、透辉石、钙铁辉石等矽卡岩矿物构成(戴成龙等,2017),目前在外接触带均未见典型的矽卡岩类岩石;内接触带的变质作用不明显,具绿泥石化、硅化、绢云母化、碳酸盐化等蚀变。岩床上接触带的变质作用较强,变质带较宽(2m ~ 20m,局部达 98m),是软玉矿的重要赋存部位;岩床下接触带的变质作用较弱,变质带较窄(0.2m ~ 3m,局部达 7m),矿化微弱,未发现软玉工业矿体。

2 矿体特征

矿床位于峨劳背斜西翼,仅 1 个矿段,软玉矿体赋存于辉绿岩床与四大寨组第二段的接触带内,玉石量大、质优、品种齐全。矿体主要呈层状、似层状,极少数呈透镜状。由于单层矿体薄,地质填图勾绘困难,故引入含矿体概念,共分上、下两个含矿体。

上含矿体:出露于地表,有探槽、钻孔、勘探线剖面 and 地层剖面控制。距离岩床顶界之上约 36m,呈北北西向展布,延伸长 352m,露头宽 ~ 66m,延深大于 168m,倾角 40° ~ 50°。ETC05 探槽揭露含矿体厚 32.15m,夹 15 层软玉矿体(图 2),单矿体厚 13cm ~ 75cm,矿体累计厚 4.88m,玉石种类有白玉、青白玉、青玉、花斑玉;ZK0101 钻孔揭露上含矿体厚 50.28m,夹 5 层矿体,单矿体厚 6cm ~ 51cm,矿体累计厚 1.24m。

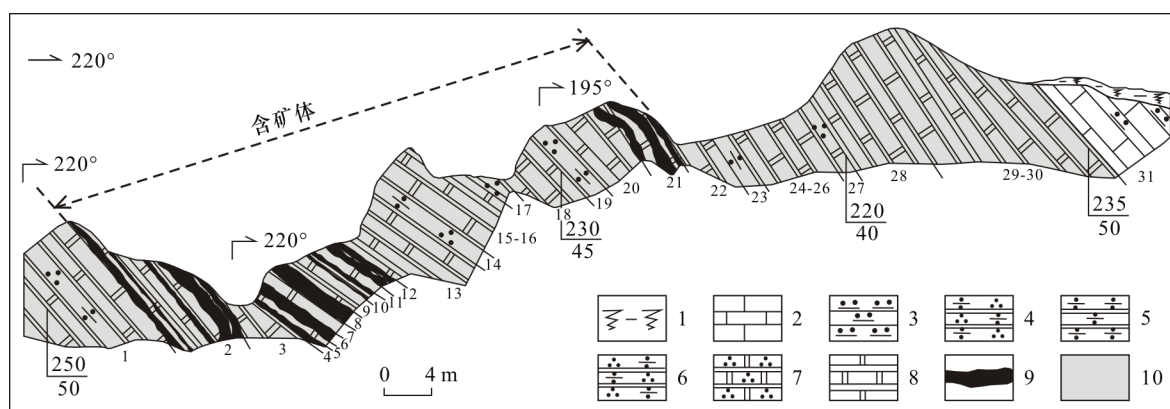


图 2 官固矿床 ETC05 探槽素描图

Fig.2 Trenching sketch(ETC05) of the Guangu deposit

1 - 第四系浮土;2 - 灰岩;3 - 硅质岩;4 - 石英岩;5 - 透闪石岩;6 - 透闪石英岩;7 - 石英大理岩;8 - 方解石大理岩;9 - 软玉矿体;10 - 大理岩化带
1 - Quaternary topsoil;2 - limestone;3 - siliceous rock;4 - quartzite;5 - tremolite rock;6 - tremolite quartzite;7 - quartz marble;8 - calcite marble;9 - nephrite orebody;10 - marbleization belt

下含矿体:位于辉绿岩床顶界处,地表偶见软玉矿化,未见工业矿体。ZK0101 钻孔揭露下含矿体厚 67.54m,夹 10 层矿体,单矿体厚 3cm ~ 30cm,累计厚 1.65m。

3 勘查评价关键技术

3.1 勾图单元的选定

罗甸玉矿体薄、延伸不远,钻探控制效果差,按勘探网度勘查成本过高,不宜开展详查与勘探工作,建议将勘查阶段划分为预查、普查、探采结合三个阶段,各阶段均涉及不同比例尺的地质填图工作,但地质图上并不能勾绘如此薄的矿体,因此,1:5 万地质填图应重点勾绘矿化蚀变带,1:1 万大比例尺地质草测则将接触变质带和含矿体作为基本单元表达于图上,此方法能满足精度要求,具有可操作性和合理性(见图 1)。

3.2 含矿体圈定

软玉矿体薄,图上只能圈定含矿体(或含矿带),其边界的确定与其它固体矿产的矿体边界要求不同,软玉表观特征明显,玉与石易分辨,圈定矿体或含矿体均无需利用品位指标。

矿区现有 1 个深部工程、两个浅表工程、2 条勘探线剖面 and 1 条实测地层剖面,对相邻见矿工程(或剖面)中的含矿体进行自然连接,见矿工程(或剖面)与矿化工程(或剖面)之间外推其工程间距的二分之一,见矿工程(或剖面)与不见矿工程(或剖面)之间外推其工程间距的四分之一,无限外推四分之一。

3.3 资源量类别划分

我国矿产资源储量的分类依据是地质可靠程度、可行性评价和经济意义三个方面,现行标准是《固体矿产资源/储量分类》(GB/T 17766 - 1999),它是我国固体矿产第一个真正统一的分类标准,但仍有其局限性,分类繁杂(王德利,2017),许多学者提出了修订建议(杨兵,2004;胡魁,2016)。软玉矿呈脉群产出,延伸距离短、勘查难度大,不大可能求算控制和探明的资源/储量;因其经济价值极高,资源/储量分类中评价其经济上的合理性没有意义。因而,建议对罗甸玉矿圈定和估算其内蕴经济资源量中的低级类别即可。

(1) 推断的内蕴经济资源量(333)

在达到普查阶段的地段,依据有限的计算,地质可靠程度为推断。矿体在地表或浅部沿走向有

稀疏的工程控制,沿倾向有深部工程验证,并结合地质背景、矿床成因特征和有效的物探成果推断、不受工程间距的限制,可行性评价仅为概略研究,尚无法确定其经济意义的那部分资源量。

(2) 预测的资源量(334)?

依据区域地质成果资料或极少量工程资料,通过已知矿床类比估算的资源量,确定有矿化潜力的地区,属潜在矿产资源,有无经济意义不确定。包括 333 类别块段的外推部分。

本次研究基于普查程度,将深部见矿工程控制的内圈块段资源量划为 333 类别,深部见矿单工程控制、浅表见矿工程外推资源量划为(334)? 类别,不建议依据大理岩化带预测(334)? 资源量。

3.4 块段划分

块段划分原则:①同一地质块体中相邻见矿工程(或剖面),当其含矿体的产出部位、产出特征大致相同时划为同一块段;②同一含矿体中相同的资源量类别(相连的)划为同一块段,不同资源量类别划为不同的块段;③同一含矿体中的工程内圈块段,其外推部分资源量降低一个类别;④不同的资源量估算投影图上分别划分不同的块段;⑤同一块段中只能有 1 个矿化工程。按照含矿体的圈定和块段划分原则,官固矿床可划分为 3 个块段(图 3)。

3.5 资源量估算

采用含矿体投影法估算资源量并用含矿率(含矿系数)进行校正。本区矿体倾角为 40° ~ 50°,选择并编制水平投影图(图 4),利用 Mapgis 软件从图上精确量测各块段的投影面积,依据矿体倾角换算成块段斜面积,乘以对应块段含矿体的平均真厚度、矿石平均密度及含矿率,即为该块段的矿石量。

计算公式: $P = S \div \cos \alpha \times M \times D \times K$

式中: P —矿石量(t); S —块段面积(m^2); M —平均厚度(m); D —矿石体重(t/m^3); α —矿体平均倾角(度); K —含矿率。用含矿体投影计算的矿石量含有大量围岩和夹石量,需要引用含矿率进行校正。其中,长度比含矿率($\gamma = \sum l/L$)、面积比含矿率($\gamma = \sum s/S$)和体积比含矿率($\gamma = \sum v/V$)为大家所熟知。本文新提出厚度比含矿率($\gamma = \sum h/H$)概念,以各层矿体厚度累加后除以含矿体总厚度,其值与面积比含矿率值相同。经计算,Ⅰ块段和Ⅱ块段的平均含矿率为 0.088,Ⅲ块段的含矿率为 0.024。4 件玉石小体重样品的检测密度为 2.79 ~ 2.87 g/cm^3 ,平均 2.85 g/cm^3 。将有关参数代入公式:

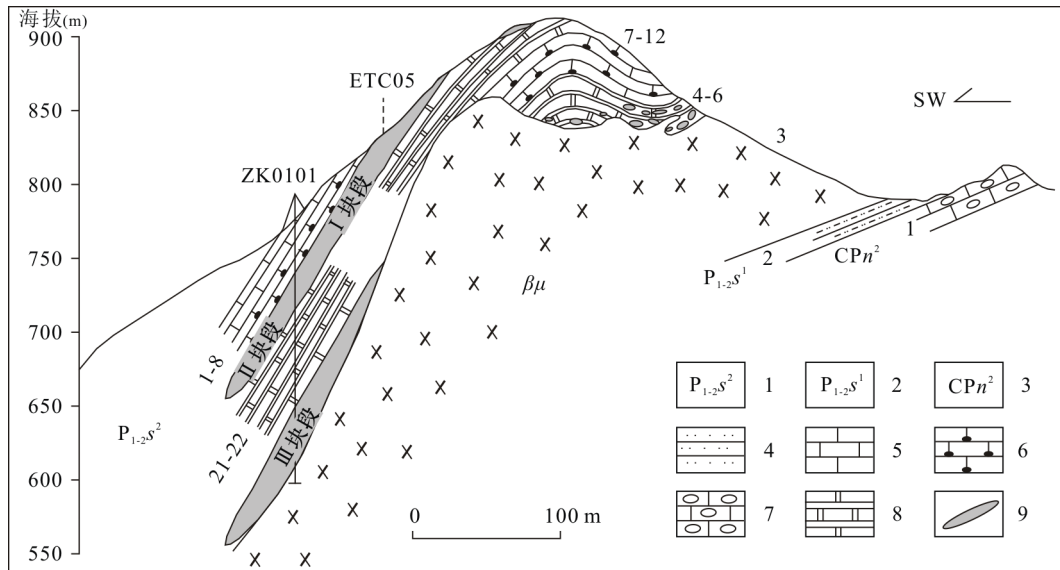


图3 官固矿区勘探线剖面图

Fig.3 Prospecting line profile map in the Guangu mining area

1 - 四大寨组第二段; 2 - 四大寨组第一段; 3 - 南丹组第二段; 4 - 粉砂岩; 5 - 泥晶灰岩; 6 - 燧石灰岩; 7 - 砾屑灰岩; 8 - 大理岩; 9 - 含矿体
 1 - second member of Sidazhai Formation; 2 - first member of Sidazhai Formation; 3 - second member of Nandan Formation; 4 - siltstone; 5 - micrite; 6 - flint limestone; 7 - calciurudite; 8 - marble; 9 - ore-bearing body

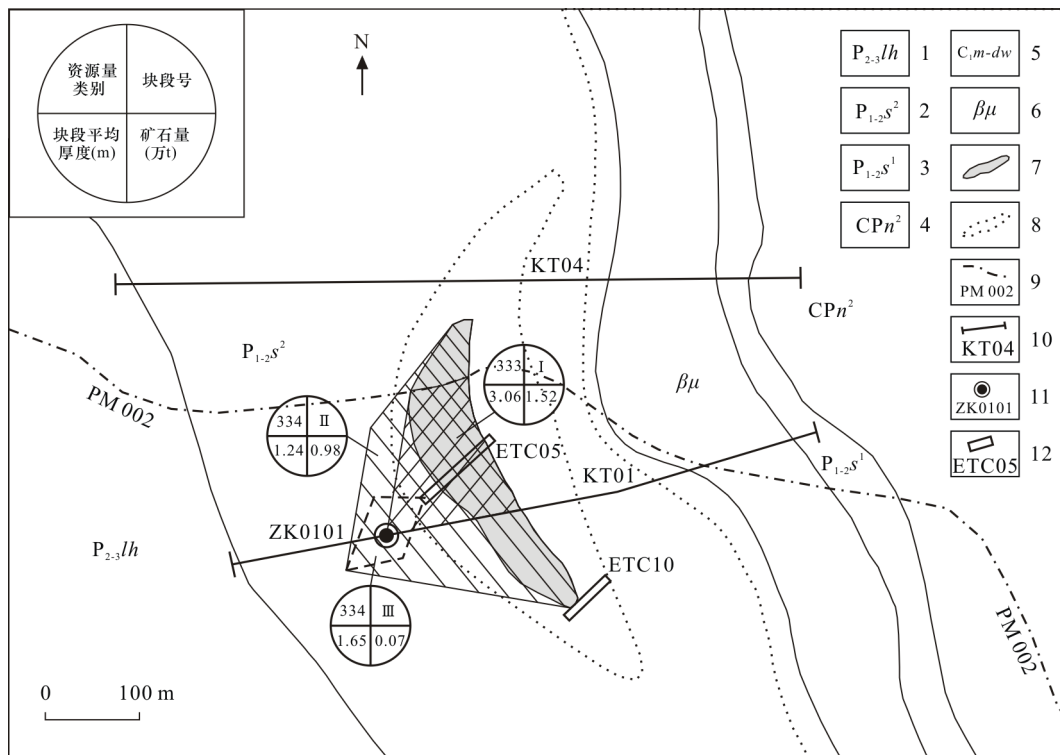


图4 官固矿床软玉资源量估算水平投影图

Fig.4 Horizontal projection map of the nephrite resources calculation of the Guangu deposit

1 - 二叠系领鹩组; 2 - 二叠系四大寨组第二段; 3 - 二叠系四大寨组第一段; 4 - 石炭 - 二叠系南丹组; 5 - 石炭系睦化组 - 打屋坝组; 6 - 辉绿岩; 7 - 含矿体; 8 - 大理岩化带; 9 - 地层剖面及编号; 10 - 勘探线剖面及编号; 11 - 钻孔及编号; 12 - 探槽及编号
 1 - Permian Linghao Formation; 2 - second member of Permian Sidazhai Formation; 3 - first member of Permian Sidazhai Formation; 4 - Carboniferous - Permian Nandan Formation; 5 - Carboniferous Muhua - Dawuba Formation; 6 - diabase; 7 - ore-bearing body; 8 - marbleization belt; 9 - stratigraphic section and serial number; 10 - prospecting line profile and serial number; 11 - drilling and serial number; 12 - prospecting trench and serial number

$$\begin{aligned} \text{I 块段: } P &= S \div \cos\alpha \times M \times D \times K \\ &= 13943.71 \div \cos 45^\circ \times (4.88 + 1.24) \div \\ &\quad 2 \times 2.85 \times 0.088 \\ &= 1.52 \text{ 万 t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{II 块段: } P &= S \div \cos\alpha \times M \times D \times K \\ &= 22242.76 \div \cos 45^\circ \times 1.24 \times 2.85 \times \\ &\quad 0.088 \end{aligned}$$

$$= 0.98 \text{ 万 t}$$

$$\begin{aligned} \text{III 块段: } P &= S \div \cos\alpha \times M \times D \times K \\ &= 4178.24 \div \cos 45^\circ \times 1.65 \times 2.85 \times 0.024 \\ &= 0.07 \text{ 万 t} \end{aligned}$$

官固矿床的软玉矿石资源总量为 2.57 万 t, 其中: 333 资源量 1.52 万 t、334 资源量 1.05 万 t (表 1), 达到小型或中型矿床规模(目前无标准)。

表 1 官固矿床软玉矿资源量估算结果表
Table 1 Nephrite resource estimation results of the Guangu deposit

块段号	资源量类别	面积(m ²)	垂直厚(m)	体积(m ³)	体重(t/m ³)	含矿率	矿石量(万 t)
I	333	13943.71	3.06	60341.31	2.85	0.088	1.52
II	334	22242.76	1.24	39005.46	2.85	0.088	0.98
III	334	4178.24	1.65	9749.724	2.85	0.024	0.07

4 讨论

4.1 勘查方法选择问题

综合应用地质和物化探方法以及与勘查阶段相匹配的预测方法组合来指导找矿是未来勘查工作的发展趋势(程红军等, 2017), 但目前应用于罗甸玉矿的有效勘查方法及手段仍然是地质填图、实测剖面 and 必要的探矿工程采样, 由于矿体薄, 即使采用 1:5000 大比例尺填图也没法勾绘矿体, 需要选择厚度较大的填图单元予以表达, 实践证明, 以含矿体作为基本填图单元是有效的。通过填图路线可勾绘含矿体的顶底界线, 以矿体首现和结束为标志, 利用勘探线剖面、地层剖面、槽探工程和钻探工程可查明矿体数量及厚度, 并计算含矿率, 这是十分重要的资源量调整系数。

通过地表追索和深部工程揭露, 矿体走向长 > 300m, 延深 > 100m, 矿体延展规模中等; 矿体主要呈层状、似层状, 少量为透镜状, 矿体边界和矿石品种分布较规则, 矿体形态复杂程度中等; 与成矿关系密切的岩体呈岩床状侵入, 构造和岩脉发育程度简单; 矿石中的透闪石含量 ≥ 95%, 有用组分较均匀。参考萤石矿的勘查类型划分标准, 官固矿床的勘查类型属于第 II 类型(中等型), 其深部探矿手段选用钻探是正确的。经 ZK0101 钻孔揭露, 地表呈现的两套大理岩化带往深部合为一个带, 并出现了两个含矿体, 上含矿体与地表第二套大理岩化带中的含矿体相连, 下含矿体则未延伸至地表。上含矿体中的矿体累加厚度在地表和深部的变化明显, 厚度变化系数为 75%, 矿体厚度稳定程度中等。

在邻区的罗暮矿点, 矿体以透镜状为主, 矿体延

展规模为小型, 矿体形态复杂程度中等至复杂, 矿床勘查类型属于第 III 类型(复杂型), 其深部探矿手段宜选择钻探配合坑探。

4.2 资源量估算问题

罗甸玉资源量估算方法的难点是单矿体薄, 无法呈现在 1:5000 甚至 1:2000 比例尺的资源量估算投影图上, 本文提出了两种解决方法。

4.2.1 系数调整法

含矿体中包含了若干层矿体以及大量夹石和围岩, 用含矿体计算的资源量不是净矿石量, 需要引用含矿率(含矿系数)予以校正, 从而得到客观、真实的矿石量。含矿系数与含矿率计算公式相同, 但地质意义不同, 前者侧重表征矿体的延伸方向上的矿化连续程度, 常采用长度比含矿率公式进行计算; 后者主要反映矿体的矿化连续程度及矿化强度, 是矿体中工业可采部分占整个矿体之比, 可用长度比含矿率公式($\gamma = \sum l/L$)、面积比含矿率公式($\gamma = \sum s/S$)和体积比含矿率公式($\gamma = \sum v/V$)进行计算。研究发现, 当含矿体中既有层状、似层状矿体, 又有透镜状矿体时, 在计算含矿率前, 应先计算透镜状矿体的含矿系数, 乘以透镜状矿体的延伸长度, 可得到校正成虚拟的层状或似层状矿体的长度, 然后计算和累加各层矿体的面积(包括虚拟的层状或似层状矿体的面积)除以含矿体总面积即为面积比含矿率, 同样方法也可计算体积比含矿率, 两种含矿率结果值相等, 因此使用面积比含矿率较多。但是, 本文新提出的厚度比含矿率($\gamma = \sum h/H$)计算方法更加简捷, 野外取值方便, 只需在剖面上量取各层矿体厚度经累加再除以含矿体总厚度即可。如果含矿体中夹有透镜状矿体, 仍需先计算其含矿系数乘以透镜

体厚度,从而校正为一层虚拟矿体的厚度,加上其它层状、似层状矿体厚度,便得到较真实的矿体累加厚

度,这样算出的厚度比含矿率与上述方法计算的面积比含矿率是相等的,可建立模型(图5)加以验证。

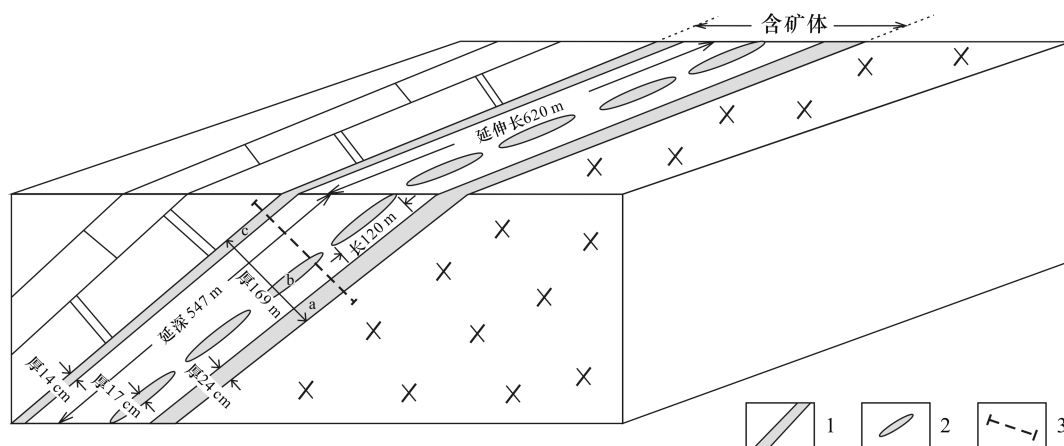


图5 含矿率计算模型图

Fig.5 Model diagram showing the ore-bearing rate calculation

1 - 层状矿体;2 - 透镜状矿体;3 - 剖面线

1 - stratiform orebody;2 - lenticular orebody;3 - section line

假如某一含矿体(带)有3层矿体(a、b、c),在图上量取相应的长度和厚度值,如图5所示。a、c为层状矿体,b为等距分布的透镜状矿体,以横断面上的相关数据进行计算,证明用该断面上垂直于含矿体(带)的剖面线上统计的矿体厚度除以含矿体(带)厚度所得到的含矿率与该横断面上的矿体面积除以含矿体(带)面积所得到的含矿率相同。

①计算b层的含矿系数:

$$\gamma_1 = \frac{\sum l}{L} = \frac{120 \times 4}{547} = 0.88$$

②新提出的厚度比含矿率,即在垂直于含矿体(带)的剖面线上用3层矿体总厚度与含矿体(带)厚度之比所得到的厚度比含矿率:

$$\gamma_2 = \frac{\sum h}{H} = \frac{h_a + h_b + h_c}{H} = \frac{0.24 + 0.17 \times 0.88 + 0.14}{169} = 0.00313$$

③计算横断面上3层矿体总面积与含矿带面积之比所得到的面积比含矿率:

$$\gamma_3 = \frac{\sum s}{S} = \frac{s_a + s_b + s_c}{S} = \frac{547 \times 0.24 + 480 \times 0.17 + 547 \times 0.14}{547 \times 169} = 0.00313$$

由上可见, $\gamma_2 = \gamma_3$,说明本文提出的厚度比含矿率公式所得结果正确,在剖面上丈量矿体真厚度和含矿体真厚度是非常简便的,具有重要的应用推广

价值。对于透镜状矿体应量测单个透镜体长度、厚度及其间隔宽度,以便计算其含矿系数,获得压缩(校正)后的虚拟矿体厚度,提供含矿率计算所需的厚度参数。

需要指出的是,罗甸玉含矿体中夹有7~40倍于矿体累加厚度的大量夹石和围岩,因而不宜采用含矿体块段体积除以大理岩化带(蚀变带)块段体积所得值代表体积比含矿率,否则得到的含矿率可能被放大1个数量级;而以含矿体块段的投影面积除以大理岩化带(蚀变带)块段投影面积所得含矿率同样会被严重歪曲,因为含矿体经过外推,大理岩化带(蚀变带)也进行了外推,实际是用推测数据作分子和分母进行计算,具有极大的不确定性。

4.2.2 虚拟矿体法

对于层状、似层状矿体,直接用其累加厚度代表一个虚拟矿体的厚度,按工程控制情况和矿体圈定原则划分块段,直接计算不同类别的资源量。如果夹有透镜状矿体,依然需要引用含矿系数摊薄其矿体厚度,并压缩出一层虚拟矿体的长度,将摊薄厚度与其它层状、似层状矿体的厚度相加得到一个虚拟矿体的厚度,并用加权平均法求得虚拟矿体的长度,然后按照一般固体矿产的资源储量计算原理及公式进行计算,便可获得接近真实的软玉资源量。

5 结论

(1)建议将罗甸玉矿的勘查阶段划分为预查、普查、探采结合三个阶段,重点探求内蕴经济资源量

的低级类别。

(2)罗甸玉单层矿体薄,在地质图上无法表达和圈定,勘查工作中可用含矿体(带)作为基本单元进行填图勾绘。

(3)以层状、似层状矿体为主的矿区,深部探矿手段应选择钻探;以透镜状矿体为主的矿区,深部探矿手段则宜采用钻探配合坑探。

(4)用含矿体(带)计算的资源量需要引用含矿率(含矿系数)进行校正,从而获得接近客观、真实的资源量。

(5)新提出的厚度比含矿率公式计算结果正确、参数采集简捷、实用性强,具有推广意义。

致谢:本次研究还得到贵州省科学技术厅项目(黔科合平台人才[2018]5626,黔科合[2016]平台人才5401)的支持。感谢海宇清工程师完成槽探和钻探工程编录。

[References]

- Burtseva M V, Ripp G S, Posokhov V F, Murzintseva A E. 2015. Nephrites of East Siberia: Geochemical features and problems of genesis [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 56: 402–410.
- Chen Gengxin. 2013. Hetian nephrite resources are exhausted and its price takes on a rising trend [J]. *Chinese Jade Soul*, (4): 152–157 (in Chinese).
- Cheng Hongjun, Chen Chuan, Zhan Xinzong, Chang Jinyu, Ding Yalong, Kuwanixibieke · Maimaitizhuma, Yang Ruijia, Jia Naer, Fu Hanze. 2017. New progress in the prediction theory and prospecting method for concealed deposits [J]. *Geology and Exploration*, 53(3): 456–463 (in Chinese with English abstract).
- Dai Chenglong, Leng Qiufeng, Zheng Wenbao, Tang Pan. 2017. Geochemical characteristics and origin of skarns in the Nachatangbei Pb–Zn deposit in Tibet [J]. *Geology and Exploration*, 53(5): 0991–1000 (in Chinese with English abstract).
- Ding Yi. 2011. Brief discussion on comparison and market prospect of Longxi nephrite and nephrite cat's eye in Sichuan Province [J]. *Journal of the Graduates Sun Yat – Sen University (Natural Sciences, Medicine)*, 32(2): 79–84 (in Chinese with English abstract).
- Fan Erchuan, Lan Yongwen, Dai Zhaohui, Wang Hongyu, Li Lang. 2012. Geological features of Luodian tremolite deposit, Guizhou Province, China and its prospecting prediction [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, (2): 304–309 (in Chinese with English abstract).
- Han Wei, Luo Jinghai, Fan Junlei. Cao Yuanzhi, Zhang Jingyi. 2009. Late Permian diabase in Luodian, Southeastern Guizhou, and its tectonic significances [J]. *Geological Review*, 55(6): 795–803 (in Chinese with English abstract).
- Hu Kui. 2016. A new conception of classification of solid mineral resources [J]. *China's Economy of Land and Resources*, (12): 4–8 (in Chinese with English abstract).
- Huang Xuanzhen. 2005. China's serpentine jade deposit [J]. *China Non – Metal Mining Industry Guide*, (3): 55–57 (in Chinese).
- Huang Yong, Hao Jiaxu, Bai Long, Zhang Guoxiang. 2012. The discovery of the Rongli nephrite deposit in Guizhou Province and its significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(4): 612–620 (in Chinese with English abstract).
- Li Dazhong, Yu Shiyang, Wang Zhe. 2013. Discussion on the jade – forming regularity of Xiuyan jade in Xiuyan area, Liaoning Province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 28(2): 249–255 (in Chinese with English abstract).
- Lin Songshan. 1999. Varieties and characteristics of nephrite (amphibole jade) from Taiwan Province [J]. *Journal of Gems and Gemmology*, 1(3): 18–20 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shusheng, Yang Yongfei, Guo Linnan, Nie Fei, Peng Zhiming, Pan Guitang. 2018. Tectonic characteristics and metallogeny in Southeast Asia [J]. *Geology in China*, 45(5): 863–889 (in Chinese with English abstract).
- Lu Baoqi, Qi Lijian, Xia Yiben, Zhou Kaican. 2004. Mineralogy of nephrite (tremolite) cat's eye from Sichuan Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 23(3): 268–272 (in Chinese with English abstract).
- Lu Baoqi, Xia Yiben, Qi Lijian. 2005. Infrared absorption spectra of serpentine cat's eye and the mechanism of its thermotransformation [J]. *Journal of Inorganic Materials*, 20(2): 285–290 (in Chinese with English abstract).
- Qu Hongjun, Liu Yangjie. 2002. Varieties, distributions and characteristics of gem – jade resources in China [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 32(3): 286–288 + 309 (in Chinese with English abstract).
- Wang Deli. 2017. Research on the revision of China's minerals resources/reserves classification standard based – internationalization [J]. *China Mining Magazine*, 26(10): 42–47 (in Chinese with English abstract).
- Wen Zishen, Maituohuti · Abuduwayiti, Lu Feng. 2014. Composition and genesis of green nephrites from the Karakax River in Hetian, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(Supp.): 19–27 (in Chinese with English abstract).
- Wilson M. 1989. *Igneous petrogenesis* [M]. London: Unwin Hyman: 1–466.
- Xiong Shengqing, Yang Hai, Ding Yanyun, Li Zhankui. 2018. Subdivision of tectonic units in China based on aeromagnetic data [J]. *Geology in China*, 45(4): 658–680 (in Chinese with English abstract).
- Yang Bing. 2004. Opinions on new national mineral resource/reserve classification standards and their compatibility with international standards [J]. *Geology and Prospecting*, 40(1): 73–76 (in Chinese with English abstract).
- Yang Lin, Wang Bing, Wang Lei, Tan Jing, Wang Liang. 2011. Primary study of characters of Luodian jade in Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 28(4): 241–246 (in Chinese with English abstract).
- Yui T F, Kwon S T. 2002. Origin of a dolomite – related jade deposit at Chuncheon, Korea [J]. *Econ. Geol.*, 97: 593–601.
- Zhang Liangu. 2002. Characteristics and quality of Xiuyan jade in Lia-

- oning Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21 (Supp.): 134-142 (in Chinese with English abstract).
- Zhi Yingxue, Liao Guanlin, Chen Qiong, Li Yingzhe, Zhou Zhengyu. 2011. Gemmological and mineralogical characteristics of nephrite from Luodian, Guizhou Province[J]. *Journal of Gems and Gemmology*, 13(4): 7-13 (in Chinese with English abstract).
- [附中文参考文献]
- 陈更新. 2013. 资源濒临枯竭, 和田玉价格呈上涨趋势[J]. *中国宝玉石*, (4): 152-157.
- 程红军, 陈川, 展新忠, 常金雨, 丁亚龙, 库瓦尼西别克·买买提朱马, 杨蕤嘉, 加娜尔, 付翰泽. 2017. 隐伏矿床成矿预测理论与方法新进展[J]. *地质与勘探*, 53(3): 456-463.
- 戴成龙, 冷秋锋, 郑文宝, 唐攀. 2017. 西藏那茶淌北铅锌矿床矽卡岩地球化学特征及其成因[J]. *地质与勘探*, 53(5): 991-1000.
- 丁一. 2011. 浅谈四川龙溪玉和软玉猫眼的对比及市场前景[J]. *中山大学研究生学刊(自然科学与医学版)*, 32(2): 79-84.
- 范二川, 兰永文, 戴朝辉, 王洪雨, 李浪. 2012. 贵州省罗甸透闪石矿床地质特征及找矿预测[J]. *矿物学报*, (2): 304-309.
- 韩伟, 罗金海, 樊俊雷, 曹远志, 张静艺. 2009. 贵州罗甸晚二叠世辉绿岩及其区域构造意义[J]. *地质论评*, 55(6): 795-803.
- 胡魁. 2016. 固体矿产资源储量分类新构想[J]. *中国国土资源经济*, (12): 4-8.
- 黄宣镇. 2005. 中国蛇纹石玉矿床[J]. *中国非金属矿工业导刊*, (3): 55-57.
- 黄勇, 郝家棚, 白龙, 张国祥. 2012. 贵州省冗里软玉矿的发现及意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 31(4): 612-620.
- 李大中, 于士祥, 王泽. 2013. 辽宁岫岩地区岫玉成矿规律探讨[J]. *地质找矿论丛*, 28(2): 249-255.
- 林嵩山. 1999. 台湾软玉(闪玉)的种属及特征[J]. *宝石和宝石学杂志*, 1(3): 18-20.
- 刘书生, 杨永飞, 郭林楠, 聂飞, 彭智敏, 潘桂堂. 2018. 东南亚大地构造特征与成矿作用[J]. *中国地质*, 45(5): 863-889.
- 卢保奇, 元利剑, 夏义本, 周开灿. 2004. 四川软玉(透闪石玉)猫眼的矿物学研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 23(3): 268-272.
- 卢保奇, 夏义本, 元利剑. 2005. 蛇纹石猫眼的红外光谱及热相变机制研究[J]. *无机材料学报*, 20(2): 285-290.
- 屈红军, 刘养杰. 2002. 中国宝玉石资源的种类、分布及特点[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 32(3): 286-288, 309.
- 王德利. 2017. 面向国际化的固体矿产资源/储量分类标准修订研究[J]. *中国矿业*, 26(10): 42-47.
- 文蕊桑, 买托乎提·阿不都瓦衣提, 鲁锋. 2014. 新疆和田喀拉喀什河青玉的组成及成因[J]. *岩石矿物学杂志*, 33(Supp.): 19-27.
- 熊盛青, 杨海, 丁燕云, 李占奎. 2018. 中国航磁大地构造单元划分[J]. *中国地质*, 45(4): 658-680.
- 杨兵. 2004. 对我国新的矿产资源/储量分类标准及其与国际接轨的几点看法[J]. *地质与勘探*, 40(1): 73-76.
- 杨林, 王兵, 王雷, 谭靖, 王亮. 2011. 贵州罗甸玉特征初步研究[J]. *贵州地质*, 28(4): 241-246.
- 张良钜. 2002. 辽宁岫岩玉的特征及其质量研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 21(Supp.): 134-142.
- 支颖雪, 廖冠琳, 陈琼, 李英哲, 周征宇. 2011. 贵州罗甸软玉的宝石矿物学特征[J]. *宝石和宝石学杂志*, 13(4): 7-13.

Exploration and Evaluation Methods of the Luodian Nephrite in Guizhou Province: A Case Study of the Guangu Deposit

HUANG Yong^{1,2}, HAO Jiaxu², BAI Long², CHEN Nengsong¹, HAN Yingping², DENG Xiaojie²

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074; 2. Geological Surveying Academy of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550081)

Abstract: The Luodian nephrite in Guizhou Province belongs to high-grade nephrite. It has rare and high economic value. However, its exploration evaluation method does not suitable for the solid mineral exploration standard, due to be restricted by comprehensive factors as special occurrence and thin thickness of orebody. Based on early systematic exploration practice and method investigation, we propose that applying ore-bearing bodies as basic mapping units to geological map expression can be of significant rationality and maneuverability for working in field exploration, and that using coefficient adjustment method to correct resource reserves estimation in resource evaluation can resolve the difficulty in nephrite mineral exploration and evaluation and improve exploration evaluation system of the nephrite mineral resources.

Key words: ore-bearing body, ore-bearing rate, resource assessment, Luodian nephrite, Guangu deposit, Guizhou Province