

秦岭柞水凤凰镇地区镍矿床地质特征及找矿前景浅析

李树雷^{*1},裴春霞¹,杨振²,刘存³,邓书榕⁴,任志永⁴

(1.咸阳西北有色七一二总队有限公司,陕西西安712000;

2.陕西铁道工程勘察有限公司,陕西西安710000;

3.西北有色工程有限责任公司,陕西西安710000;

4.昆明市东川金水矿业有限责任公司,云南昆明654100)

摘要:柞水凤凰镇镍矿床位于秦岭褶皱系南秦岭印支褶皱带中,为比较少见的中低温热液型镍矿。矿床主要以浸染状、网脉状、脉状或者块状产于蚀变的超基性岩石中。赋矿岩石为一套受北西西向、总体向北北东高角度倾斜、相互基本平行的层间断裂形成的破碎角砾岩层,地层中泥盆统牛耳川组b段中部和c段为区内的容矿层位,镍矿床的成因类型为中低温热液型硫化镍矿床。矿床的形成与北西西向、北东向或近北向层间断裂有密切关系,位于秦岭柞水—山阳多金属成矿带中,该镍矿对柞水—山阳地区寻找热液型硫化镍矿具有重要的指导意义。

关键词:中低温热液型镍矿;地质特征;控制因素;找矿标志

中图分类号:P57 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5716(2022)03-0119-06

陕西秦岭柞水—山阳地区既是秦岭造山带内重要矿集区之一,也是秦岭地区物化探异常分布密集区之一。区内地质构造演化史长,具有利的成矿地质条件,成矿作用强烈,各类矿产资源丰富,其中凤镇—山阳大断裂贯穿整个工作区,近几年在断裂两侧相继发现铜、金、铅锌、银、铁等多金属矿点,在柞水—山阳多金属成矿带中发现凤凰镇镍矿,为今后在柞水—山阳地区寻找镍矿提供了依据,总结其矿床地质特征和矿床成因对指导本区寻找镍矿具有重要意义。

1 区域地质背景

工作区位于秦岭褶皱系南秦岭印支褶皱带。属秦岭区礼县—柞水分区唐藏—山阳小区,并跨凤镇断裂北部的唐藏—山阳小区南部及凤镇断裂南部的凤县—镇安小区北部。地层主要出露有中泥盆统青石垭组、牛耳川组,上泥盆统沙湾组、下东沟组及二台子组。为一套浅海相碎屑岩、泥质岩夹碳酸盐岩的地槽型沉积。

区内构造发育,主要有凤镇区域性大断裂,呈北西向展布。区内岩浆岩不发育,局部出露少量的花岗岩脉及基性岩脉,主要分布于北西向断裂构造带附近。区域矿产较多,主要有铜矿、镍矿、铁矿及金矿等。

工作区以凤镇—山阳大断裂为界划分为南、北两

区,工作区位于凤镇北侧铜、金、镍、钴成矿带中,镍矿主要分布在北区(见图1)。

2 矿区地质

2.1 矿床地质特征

2.1.1 地层

工作区北区主要出露地层为中泥盆统牛耳川组(D_2n),其又分为五层:

D_2n^a :深灰色薄层粉砂岩、含钙粉砂岩、板岩,局部夹细杂砂岩,厚度约185m。

D_2n^b :灰色中—厚层细杂砂岩、粉砂岩、板岩、含砂细晶灰岩,厚度约88m。

D_2n^c :灰—深灰色薄层粉砂岩、含钙粉砂岩、细砂岩、粉砂质板岩夹含砂细晶灰岩。万丈沟西沟和蔡家湾镍矿位于此层中的断裂内,厚度约789m。

D_2n^d :灰—紫灰色中—薄层石英杂砂岩夹粉砂岩、粉砂质板岩。该层为矿区主要含矿层位,厚约587m。

D_2n^e :浅灰色厚层细砂岩、钙质细砂岩、粉砂岩,厚度408m。

地层总体向北东倾斜,倾角 $35^\circ\sim 75^\circ$,局部地段向南西倾斜,倾角 $65^\circ\sim 78^\circ$ 。南区仅出露上泥盆统地层,上部为火星沟组(D_3h),岩性为细砂岩、粉砂岩夹板岩,

* 收稿日期:2021-07-27

第一作者简介:李树雷(1986-),男(汉族),河北石家庄人,工程师,现从事固体矿产勘查工作。

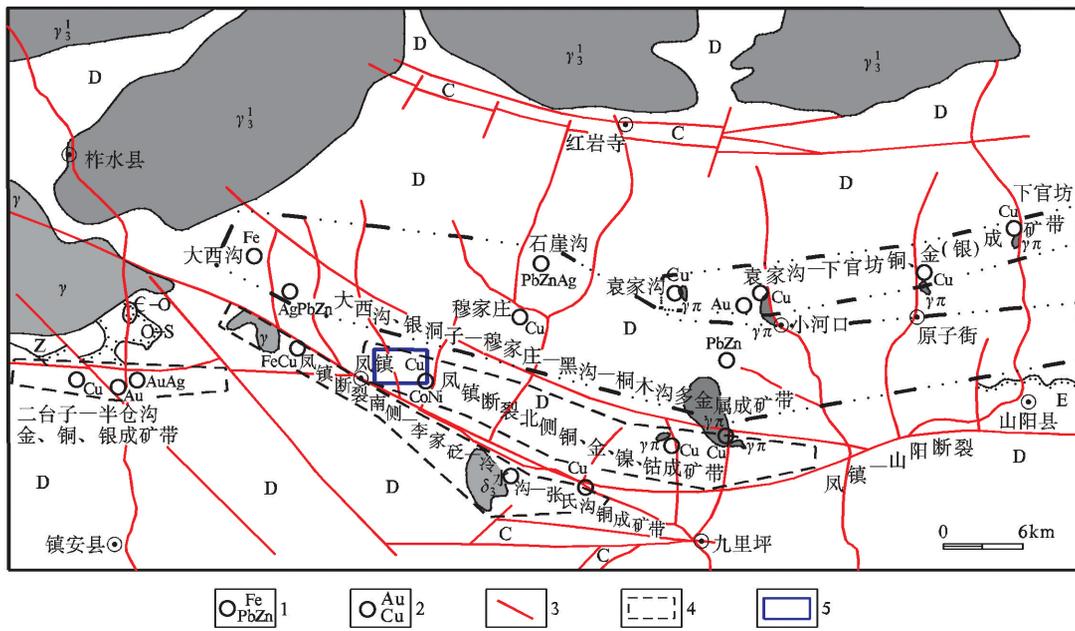


图1 柞山地区铜银镍钴成矿带分布图

E.第三系砂砾岩; C.石炭系炭质板岩、灰岩夹煤层; D.泥盆系碎屑岩夹碳酸盐岩; O-S.奥陶志留系白云岩夹燧石团块; C-O.寒武奥陶系泥质粉晶白云岩; γ_3^1 .印支期二长花岗岩、二长岩; δ_3 .加里东期辉绿岩; $\gamma\pi$.花岗斑岩(体脉)
 1.矿床位置; 2.矿点、矿化点位置; 3.断层; 4.成矿带位置; 5.工作区

下部为二台子(D₃R)灰色板岩。

2.1.2 构造

工作区内凤凰镇—山阳大断裂以北属区域西芦山—蔡玉窑复向斜南翼,呈现一系列以北北东倾斜为主的复式次级褶皱,西部紧闭,向东渐趋开阔。蛇形地以北褶皱非常宽缓,岩层倾角仅10°左右。

区内主要断裂为凤凰镇断裂,其呈近东西向—北西向展布于凤凰镇—下梁子—吉家岔沟一线,呈断裂束产出。长度大于50km,断层面上不同性质断裂形迹交织复杂,断面总体比较平滑,呈舒缓波状,倾向北,倾角变化较大,一般23°~55°之间。断裂破碎带疏松,宽几十至几百米,沿走向断裂带发育成连续的负地貌及断层三角面,碎裂岩宽阔地带,断裂构成现代地貌单元的天然边界。断裂带内糜棱岩、初糜棱岩、构造角砾岩、断层泥、超碎裂岩、构造透镜体相互截切包绕,是一个由韧性—脆韧性—脆性交织的断裂破碎带。

在凤凰镇断裂带以北,顺层发育一组北西西向、相互基本平行、倾向北北东的高角度脆—韧性断裂。断裂带糜棱岩、角砾岩发育。该组断裂多数规模较小,为区内镍、钴、铜矿控矿构造。主要有:

F₁断裂,分布于矿区北部,长350m,宽0.1~5m,带内岩石破碎,多形成角砾岩、断层泥等,并充填有细小石英脉。断层向北东倾斜,倾角45°~65°。

F₂断裂构造,分布于矿区东部,长约460m,宽0.1~4m,带内多为断层泥,蚀变不发育,倾向北东,属正断层,倾角35°~70°。

F₃断裂构造,分布于F₂断裂构造南部,并与其平行。构造带长大于15km,向东延伸出矿区。带宽0.2~10m,内充填有断层角砾岩、斜辉杆栏岩脉等,并有不同程度的糜棱岩化。带内蚀变强烈,有黄铁矿化、黄铜矿化、毒砂化等。构造倾向南西,属正断层,倾角55°~80°,该构造控制K₂、K₃矿体的空间分布。

F₅断裂构造,分布于矿区西北部,长大于5km,宽0.1~1.0m。多为断层泥和断层片理,角砾岩较少,基本无蚀变,倾向北东,倾角40°~65°。

F₆断裂构造,分布于F₅断裂构造南部,其东部被北东向断裂错断,长230m,宽0.2~2.3m,带内角砾岩发育,黄铁矿化、黄铜矿化等蚀变比较发育,上、下断层面较清楚。构造带倾向北东,倾角55°~75°。该构造带控制IV号矿带的产出部位,内圈出K₄矿体。

F₉断裂构造带,分布于矿区东部,万丈沟地段,F₃断裂构造南部。带长300m左右,宽0.1~0.5m,基本为“干”构造,带内岩石较为破碎,未风充填物及蚀变矿物等,构造走向北西向,倾向北东,倾角35°~55°。

F₁₀断裂构造带,分布于干沟—万丈沟地段,断续长14km,宽0.1~20m,带内糜棱岩及构造角砾岩发育,局

部充填有斜辉杆栏岩脉,黄铁矿化、毒砂化及黄铜矿化蚀变在干沟东沟口南及西沟地段较发育,局部形成黄铁矿团块。该断裂构造上、下断层面较清楚,倾向并东,倾角32°~78°,其控制V、VI矿化带及K5、K6矿体空间展布,为区内主要控矿断裂带。

F₁₄断裂构造,分布于矿区东南部,长200余米,宽0.1~2.5m,为一脆性断裂,角砾岩较发育,有黄铁矿化蚀变,倾向南西,倾角60°~75°,其控制了K7矿体的产出部位。

其它北西向断裂构造多为脆性断裂,带内岩石破碎,基本无充填物及蚀变等,长300~3000m,宽0.1~5m,倾向北东,倾角35°~60°。

北北东向断裂也较发育,其为后期断层,对北西西向断裂构造具破坏作用。

凤凰镇—山阳大断裂以南属西华狱一回龙复向斜南翼翘起端,次级褶皱相当发育,往往以相似褶皱为主,

伴以极发育的轴面破劈理。

2.1.3 岩浆岩

工作区内岩浆岩不发育。仅在万丈沟西沟和纸房沟口见有斜辉杆栏岩,呈角砾产于断裂带中。

此外发育有石英脉、石英铁碳酸盐脉、碳酸岩脉、石英重晶石脉和煌斑岩脉等,与镍矿化关系密切。

2.1.4 围岩蚀变

含矿断裂带中构造岩发育有硅化、铁碳酸盐化、蛇纹石化、方柱石化等蚀变。

2.2 矿体地质特征

工作区圈出镍矿化带(体)8条(见图2),即I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII号矿化带,I—VII号矿化带内各圈出镍矿体一个,即K1—K7矿体。VIII号矿化带内矿化不连续,矿化由单工程控制。矿化带严格受断裂构造控制,赋存于北西西向及近东西向断裂构造中。矿体呈似脉状、透镜状产出。

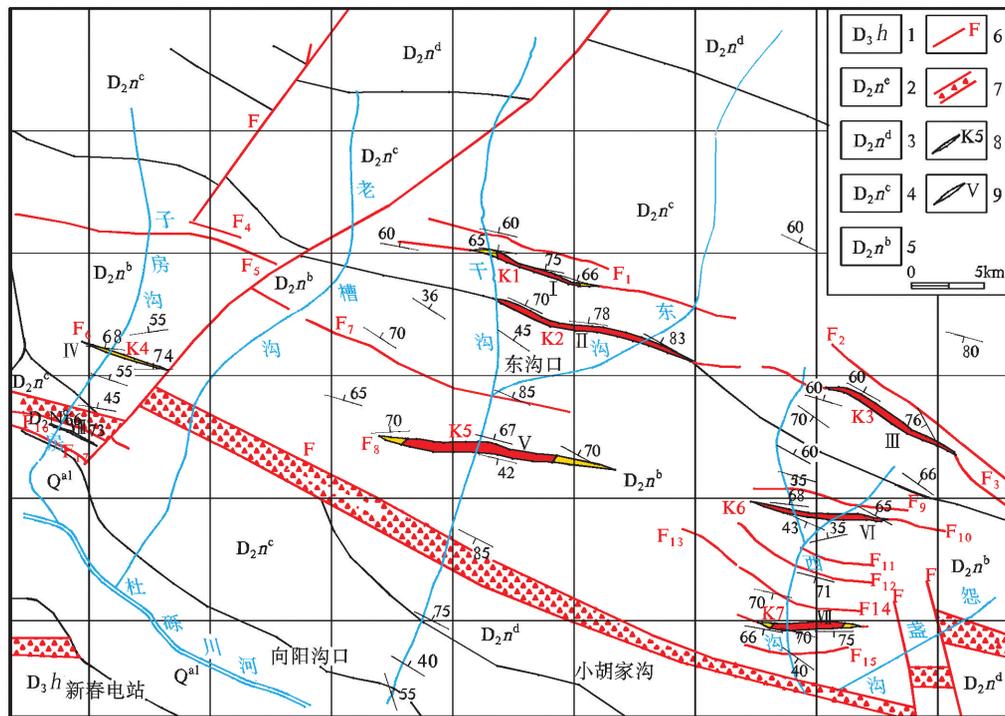


图2 工作区内镍矿(化)体分布图

- 1.火星沟组: 细砂岩、粉砂岩夹板岩; 2.粉砂岩、板岩; 3.杂砂岩、板岩; 4.粉砂岩、板岩夹细晶灰岩;
- 5.石英砂岩夹板岩; 6.断层(编号为含矿断层); 7.断层角砾岩; 8.镍矿体位置及编号; 9.矿化体位置及编号

凤凰镇镍矿区镍主矿体K2、K5矿体规模622~636m,控制斜深150~230m,矿体厚度变化系数39.05%~55.19%,矿体较稳定,矿体形态主要为似层状、脉状产出,矿体内无夹石,矿体形态复杂程度较低,断层对矿体基本无破坏作用,构造影响程度较小,Ni品

位变化系数72.82%~88.34%,矿体品位较均匀型。

2.2.1 矿体特征

工作区内共圈出7个矿体(其它5条非主矿体矿体特征见表1),其中主矿体K2和K5矿体特征如下:

K2号矿体为工作区主矿体之一,位于干沟与东沟

3~10号勘探之间,K1号矿体南侧,与K1矿体基本平行产出。地表由ⅡTC5-ⅡTC11等七个探槽及浅部PD4平硐二个穿脉控制,地表出露最大标高900m,最低标高740m,控制斜深40~135m,矿体长636m,厚度0.79~2.85m,平均厚度2.39m,厚度变化系数36.23%,厚度较稳定。Ni品位1.76%~2.97%,平均品位1.58%,品位变化系数82.43%,品位变化较均匀。矿体产状 $22^{\circ}\sim 35^{\circ}/75^{\circ}\sim 83^{\circ}$ 。矿体呈似层状赋存于Ⅱ号矿化带内,受 F_3 断裂构造控制。

K5号矿体为工作区主矿体之一,位于Ⅱ号矿化带

南部,干沟两侧至学堂沟一带,分布于11-2号勘探线之间,与K1、K2矿体大致平行产出,是矿区(工作区)主矿体之一。矿体地表由VTC1-VTC8八个探槽控制,浅部由PD5、PD8二个平硐控制。矿体地表出露最大标高915m,最低出露标高704m,矿体长度622m,厚度0.92~4.73m,平均厚度2.57m,厚度变化系数42.47%。Ni品位1.86%~3.39%,平均品位2.23%,品位变化系数73.91%。矿体赋存于V号矿化带内,呈似层状、透镜状产出,严格受 F_8 断裂构造控制。产状 $8^{\circ}\sim 17^{\circ}/65^{\circ}\sim 73^{\circ}$ 。

表1 工作区内5条非主矿体矿体特征一览表

矿体号	矿体形态	分布位置	矿体规模	矿体产状 (倾向/倾角)	Ni平均品位(%)
K1	脉状	矿体位于Ⅰ号矿化带内,干沟与东沟11-3勘探线之间,受 F_1 断裂构造控制	矿体长271m,斜深40m,厚度0.94~1.90m,平均厚度1.43m	$22^{\circ}\sim 34^{\circ}/66^{\circ}\sim 77^{\circ}$	1.58
K3	脉状	位于Ⅱ号矿化带东部,西沟两侧,受 F_3 断裂构造控制	矿体长度496m,斜深27~230m。矿体厚度0.92~1.89m,平均厚度1.63m	$210^{\circ}\sim 220^{\circ}/75^{\circ}\sim 82^{\circ}$	1.97
K4	脉状	位于工作区西侧,子房沟与老槽沟之间,受 F_6 断裂构造控制	矿体长370m,斜深35~40m。矿体厚度0.65~0.99m,平均厚度0.83m,	$13^{\circ}\sim 20^{\circ}/73^{\circ}\sim 78^{\circ}$	1.65
K6	透镜状	位于西沟西侧,Ⅲ号矿化带南部,受 F_{10} 断裂构造控制	矿体长306m,厚度0.74~2.81m,平均1.35m	$13^{\circ}\sim 20^{\circ}/65^{\circ}\sim 73^{\circ}$	2.16
K7	透镜状	位于Ⅵ号矿化带南部,分布于西沟东侧,怨盖沟西侧,受 F_{14} 断裂构造控制	矿体长度120m,厚度0.80~1.97m,平均厚度1.60m	$353^{\circ}\sim 10^{\circ}/66^{\circ}\sim 75^{\circ}$	2.10

2.2.2 矿石矿物成分

(1)矿石矿物。主要金属矿物为磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、镍黄铜矿以及毒砂等,次为黄铁矿、辉砷镍矿、针镍矿、紫硫镍矿、硫镍钴矿、辉砷钴矿、金银矿等。主要含镍矿石矿物有镍黄铁矿、镍黄铜矿、辉砷镍矿、针镍矿、紫硫镍矿、硫镍钴矿、辉砷钴矿。

脉石矿物主要有石英、钠长石、方解石及碳酸盐矿物绢云母以及铁质矿物,还有少量的岩屑。

(2)化学成分。经15件矿石样化学分析,可见矿石化学成分比较简单,矿石中主要成分是 SiO_2 , Na_2O 含量大于 K_2O ,暗色矿物质含量较低(见表2)。

2.2.3 矿石结构、构造

2.2.3.1 矿石结构

矿石具碎裂结构、变晶结构、他形粒状结构,以碎裂结构为主。

表2 矿石化学分析表

氧化物	含量(%)	氧化物	含量(%)
SiO_2	58.60	CaO	16.86
FeO	3.19	MnO	0.23
Fe_2O_3	1.25	Al_2O_3	1.47
K_2O	3.23	Na_2O	4.69
MgO	3.59		

碎裂结构:磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿被压碎呈不规则状。

他形晶粒状结构:矿石中黄铁矿、黄铜矿等金属矿物呈他形晶颗粒体,互相镶嵌,界线不清,晶体形态不完整,未见完整晶形。

2.2.3.2 矿石构造

浸染状、网脉状、块状构造。

浸染状构造:矿石中镍黄铁矿等金属硫化物呈稠密浸染状散布于石英脉中,金属硫化物呈稠密状、不规则团块状和网脉状、他形粒状,颗粒较细。

网脉状构造:后期黄铁矿等金属硫化物呈网脉状,沿石英脉内的解理裂隙充填而成。

块状构造:矿石的镍黄铁矿、黄铜矿、镍黄铜矿以及毒砂金属矿物呈粒状集合体紧密镶嵌而成,他形晶、颗粒较细,无规律分布。

2.2.4 矿石自然类型

矿石自然类型按镍矿物存在形式划分为浸染状和网脉状镍矿石,局部见脉状和块状镍矿石。按其氧化程度可分原生矿石及氧化矿石,氧化矿石较少,分布于地表以下0~3m范围,地表矿石属氧化矿石,而地下坑道矿石则为原生硫化镍矿石。

矿石工业类型:单镍矿石。矿区镍矿石平均品位2.14%,属中等品位矿石。

3 控矿因素与成矿规律

3.1 控矿因素

3.1.1 构造控矿

镍矿化蚀变带严格受北西西向、总体向北北东高角度倾斜,相互基本平行的层间断裂破碎带控制。

3.1.2 层位控矿

中泥盆系牛耳川组含铜、镍、钴岩层为容矿层位,该组粉砂(板)岩—碎裂砂岩夹板岩为成矿有力层位。在该层位中Ag、Ba、As、Zn、Hg、Sb、Ni等明显高于地壳克拉克值,分别为这些元素的矿源层。

3.2 成矿规律

矿源:柞水—山阳热水沉积盆地在中泥盆世形成过程中,出现了较大范围的海底热水喷流沉积作用,给柞水—山阳多金属成矿带内铜、镍矿床的形成提供了充足的成矿物质来源。

热源:大地构造运动与岩浆活动带来的构造岩浆热液作用明显,对前期已经形成的矿床具有改造作用,因而使得本区成矿普遍具有多期、多阶段的成矿特点。

容矿部位:该矿床其空间分布普遍受控于区域构造,且矿体多数赋存于有利构造断裂部位。

4 找矿标志

4.1 构造标志

中泥盆统牛耳川组b段中部和c段为区内的容矿层位,有方解石、石英、钠长石和岩屑出现断裂角砾岩层,该层热液发育的部位为找矿的首要标志。

4.2 地层岩性标志

以近顺层或微切层产出的北西西向、北东向或近南北向层间断裂破碎带为主要控矿构造,镍矿化蚀变带受其构造作用显著。断裂破碎带可作为区内找矿的重要标志。

4.3 矿化蚀变标志

铁碳酸盐化、硅化、黄铁矿化、黄铜矿化、镍黄铁矿、辉砷镍矿等中低温热液蚀变,构成凤凰镇地区寻找镍矿的重要识别矿物组合标志。

4.4 化探异常标志

铜、镍、钴矿化蚀变带与铜、镍、钴化探次生晕异常两者分布范围总体套合,因此元素异常可作为找矿的间接标志。

5 结论

综上所述,工作区内镍矿主要受北西西向、总体向北北东高角度倾斜、相互基本平行的层间断裂破碎带控制,含矿岩石主要是带内破碎的角砾岩,含矿断裂带中常见铁碳酸盐化、硅化等中低温热液蚀变,故认为该矿床成因类型属中低温热液型硫化镍矿床。

6 找矿前景分析

本工作区以往地质工作程度较低,以往工作区仅通过地形测量、地质填图、探槽、坑道等地质工程基本查明矿区内矿体形态、规模及出露情况有了大致了解,矿体在走向和倾向都有大找矿空间,该地区矿体向深部仍有延伸,应加大深部探矿力度,资源储量仍可增加,镍矿找矿前景比较大。

(1)工作区内主矿体Ⅱ、Ⅴ号,仅用稀疏探槽和坑道控制,且坑道仅控制一个中段,对镍矿体没有系统深部控制,深部找矿潜力较大。

(2)工作区其它5条镍矿体工作程度相对较低,其中Ⅰ、Ⅳ、Ⅶ号矿体仅地表稀疏探槽进行控制,深部无工程控制,深部找矿潜力较大。

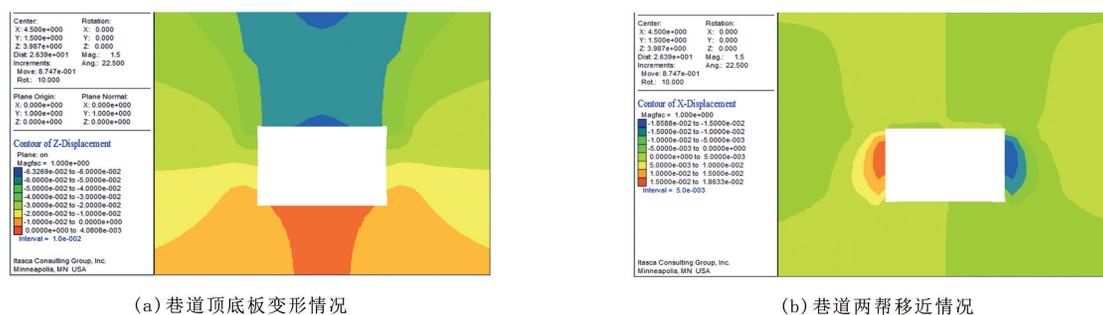
(3)工作区内矿体呈条带状展布,矿体之间工作程度较低,沿矿体走向进行追索控制,进而扩大矿体规模,增加资源量。

(4)区域上断层角砾岩带出露12~15km,角砾岩带贯穿整个工作区内,目前7条镍矿体均分布在角砾岩带北侧,仅在角砾岩带南侧发现Ⅷ镍矿化带,在工作区东西两侧及断层角砾岩带南侧寻找同类型镍矿,找矿潜力较大。

参考文献:

- [1] 包崇高,黄长青,高元龙,徐宗南.柞山地区铜银金镍钴成矿条件与找矿前景[J].有色金属矿产与勘查,1997(3):23-27.

(下转第126页)



(a) 巷道顶底板变形情况

(b) 巷道两帮移近情况

图4 2#煤层胶带大巷掘进期间变形情况

4 巷道支护设计参数

根据对2#煤层胶带大巷应力的数值模拟分析,将在锚杆支护方案的制定进行更加合理的制定。

4.1 锚杆设计方面

由于巷道顶板受应力影响较大,且下沉量较大,将采用直径20mm,长度2300mm的左旋无纵筋螺纹钢锚杆在顶板排距以800mm×800mm打设。帮部选用同种型号锚杆,排距为900mm×800mm,最上一根距顶板260mm。所有锚杆的扭矩范围在200N·m以上。锚杆角度方面,顶板两侧靠近帮部的锚杆与竖直夹角15°倾斜打设;两帮帮顶锚杆与水平夹角15°打设,帮底锚杆与水平夹角30°打设;其余锚杆均与巷道围岩表面垂直打设,在实际施工过程中,误差控制在5°以内。

4.2 锚索设计方面

针对变形区域,需锚索施加预应力进行主动受力,在2#煤层胶带大巷的顶板支护中采用布“2短-1长-2短”的样式布置。在两排锚杆架间巷中两侧1000mm各布置一根,间距2000mm、1600mm。所有锚索均选用直径17.8mm,1×7股高强度低松弛预应力钢绞线,其中长锚索长度9500mm,短锚索长度6500mm,均垂直于巷道围岩表面打设。两者预应力均在200~250kN之间,钻孔直径28mm,均采用两支MSZ2360、一支MSK2335树脂锚固剂。

4.3 补充支护

根据地质资料显示,2#煤层胶带大巷的部分巷道左帮存在空巷,在完成对2#煤层胶带大巷的支护后还

需持续对矿压进行观测,特别是该空巷区域。当后期出现异常或矿压不稳定情况时,应立即进行补强,左帮砌三七墙,架设工字钢棚,同时将钢棚左帮在巷道走向进行联结。

5 结束语

(1)对于应力场为中等应力区的巷道,普遍存在局部破碎现象的现象。巷道采掘后,围岩初始静态力学平衡被打破,导致应力重新分布,巷道围岩变形。因此需要对巷道围岩的应力场、位移场及塑性区分布规律进行模拟分析。

(2)基于FLAC 3D岩土力学软件对巷道进行了模拟计算,打破对规范和经验的依赖,根据模拟结果对巷道的锚杆及锚索间排距等参数进行了优化,在保证巷道采掘期间的围岩稳定的前提下减少了支护材料的浪费。

(3)井下勘探资料结合数值模拟分析,可以为支护参数的优化提供参考,是目前巷道科学支护发展的有利方向。

参考文献

- [1] 康红普,王金华,林健.煤矿巷道支护技术的研究与应用[J].煤炭学报,2010,35(11):1809-1814.
- [2] 陈建宏,郑海力,刘振肖.基于优势关系的粗糙集的巷道支护方案评价体系[J].中南大学学报,2011,42(6):1698-1703.
- [3] 彭文斌.FLAC 3D实用教程[M].北京:机械工业出版社,2007:3-12.
- [4] 刘继国,曾亚武.FLAC 3D在深基坑开挖与支护数值模拟中的应用[J].岩土力学,2006,27(3):505-508.

(上接第123页)

- [2] 孙涛,王登红,钱壮志,付勇,陈郑辉,姜德波.中国镍矿成矿规律初探[J].地质学报,2014(12).
- [3] 王恒,吕颖,王鹏.新疆北山地区红石山镍矿地质地球物理特征及找矿潜力预测[J].新疆有色金属,2021,44(2):77-79.
- [4] 王玉往,陈伟民,李德东,石煜,王福,黄行凯,石明.内蒙古嘎仙

钴镍硫化物矿床的地质特征及成因探讨[J].矿产勘查,2016,7(1):72-81.

- [5] 王瑞廷,毛景文,任小华,汪军谊,王小红.煎茶岭硫化镍矿床矿石组分特征及其赋存状态[J].地球科学与环境学报,2005(1):34-38.
- [6] 姜修道,魏钢锋,聂江涛.煎茶岭镍矿——是岩浆还是热液成因[J].矿床地质,2010,29(6):1112-1124.