双频激电在西藏山南地区某铜矿区的应用效果

苏富彬 喻亨祥 彭程 杜成亮 **桂林理工大学资源与环境工程系 541004**

摘 要

本铜矿区是西藏冈底斯东段铜多金属成矿带内典型的矽卡岩型热液矿床，矿体和围岩存在电性差异，通过对矿区进行双频激电中梯扫面和激电测深工作，快速地圈定了工区3个激电异常，取得良好的地质效果，为矿区进一步找矿和圈定靶区提供了重要依据。

关键词

双频激电法；视幅频率；视电阻率；铜矿勘查

双频激电法是由中国工程院院士、中南工业大学何继善等研究提出的频率域双频激电的新方法。他成功研制的双频道激电仪,是我国首创的一种频率域激发极化仪器,是用于金、银贵金属和铜、铅、锌等有色金属矿产资源勘查的一种新型仪器。本文就在工作区投入使用双频激电仪进行激电中梯扫面和激电测深工作所取得的地质效果进行探讨。

1、成矿地质背景

工作区位于西藏冈底斯东段铜多金属成矿带内，大地构造位于冈底斯——念青唐古拉板片次级构造单元内。冈底斯带为燕山期印度板块向北俯冲形成的一个岛弧岩浆岩带。区内广泛分布上侏罗统 - 下白垩统桑日群比马组的火山 - 沉积岩系。区内岩浆活动频繁，主要为燕山期 - 喜山期的中酸性岩浆岩。矿区内出露的主要地层有：白垩系下统比马组（K1b）、白垩系下统旦师庭组（K1d）、晚白垩世（K2 δ O）及古新世（E1rB）等。

受区域构造影响，区内主体构造线方向呈近东西向展布，并多次被后期北东向、北西向和近南北向断裂切穿错动。区内出露的火山 - 沉积岩系主要由安山岩、英安岩、安山质火山沉积岩、火山角砾岩和层纹状灰岩、灰质角砾岩及少量砂质板岩构成。侵入岩主要为燕山晚期 - 喜马拉雅早期中粗粒少斑黑云角闪石英二长花岗岩、中粗粒巨斑状黑云母角闪二长花岗岩、角闪石花岗闪长岩等。桑日群的砂质岩经过热变质作用，出现角岩化重结晶化等蚀变现象，接触交代作用主要是灰岩变成矽卡岩或矽卡岩化大理岩，矽卡岩基本属于钙质矽卡岩类型。岩层常见硅化、绢云母化、高岭石化、青磐岩化等，岩石蚀变强烈，空间上呈面型蚀变分带特征，其中石英绢云母化带分布于斑岩体内，带内矿化明显，矿石以细脉浸染状为主。铜矿化产于围岩与岩体接触之矽卡岩、矽卡岩化大理岩和变质砂岩中。该矿床属于典型的矽卡岩型热液矿床。

2、地球物理特征

通过对矿区内部分岩矿标本在室内用强迫电流法进行电性参数测定，具体内容如表1，从表中可以看出，岩矿间电阻率差异并不明显，且由于矿物成分含量的不均匀，致使同一岩矿类型的电阻率变化很大，因此很难通过对岩矿间电阻率差异的分析来区分岩矿间的异常变化。但岩矿间幅频率的变化特征比较明显，特别是铜矿体(含铜矽卡岩)的幅频率与周围岩石的差异非常明显，其幅频率强度较大，通过对岩矿间幅频率异常的分析，可以达到寻找隐伏铜多金属矿体，圈定矿体范围的目的。

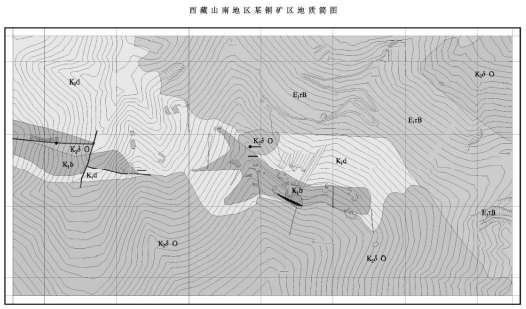


图1 西藏山南地区某铜矿区地质简图

表1 工区岩(矿) 石电性参数特征值统计

岩(矿）石名称	样品数		电阻率ρs（Ω ·m）		幅频率Fs（ %）	
	块数	采集位置	变化范围	平均值	变化范围	平均值
含铜矽卡岩	25	平洞	185～1700	756	4.05～6.58	4.8
含铜矽卡岩化大理岩	17	平洞	115～664	389	3.1～4.5	3.8
孔雀石	15	露头	340～728	534	2.0～3.2	2.4
褐铁矿化变质砂岩	10	露头	190～450	320	2.8～4.0	3.2
花岗岩	16	露头、平洞	1054～4590	2820	0.8～1.9	1.4

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

因此，在本区采用激发极化法是具有地球物理前提的。

上述岩矿石的ρs、Fs电性参数值及物性特征，不仅为激电法对该铜矿的勘查提供了物理基础，而且也为分析判断测区内激电异常性质提供了依据。

3、异常特征及解释推断

正是基于本区有着开展双频激电法的地球物理前提，我们选择在铜矿区投入使用SQ-3C双频激电仪一套，采用激电中梯进行网度为100m×20m的扫面测量，以发现和圈定铜矿(化)体的激电异常；在发现激电异常的主体部位布置综合测深剖面，综合测深剖面上采用激电测深法，以获取激电异常性质和其空间特征等信息。

图2为本矿区双频激电视幅频率Fs和视电阻率ρs平面等值线图，从图中可以看出：在整个测区共发现三个大的异常区。异常III是未知的异常，而且向西有延伸的趋势，其异常范围比较宽，很有可能是异常Ⅰ、Ⅱ在西面的延伸处，汇合成一个更大的异常区，很值得作进一步的研究；异常Ⅰ、Ⅱ是在一个正在开采的矽卡岩铜矿区附近，对照本矿区的地质图，可以发现以上异常与本区的地质情况大致上是相符的，在一定程度上也证明了本方法在该区开展应用是切实可行的。

从图2我们可以发现，测区矿床较理想的异常组合为低视电阻率ρs高视幅频率Fs异常组合，是在异常带内的一个非常清晰的异常组合带，值得在后续的找矿工作中可以重视。

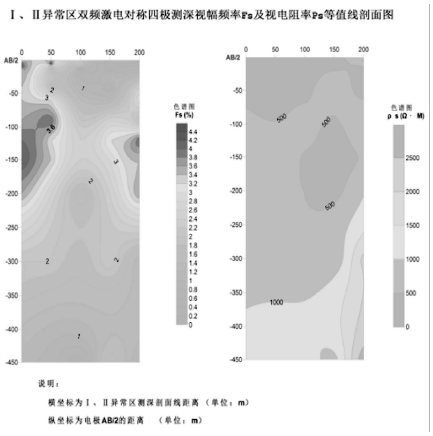


图3 Ⅰ、Ⅱ异常区对称四极测深拟断面图

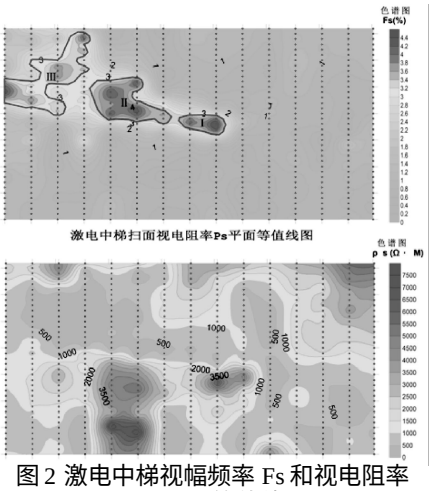


图2 激电中梯视幅频率Fs和视电阻率ρs平面等值线图

Ⅰ号异常带，位于测区的中部，异常大体东西走向，异常规模较小，异常强度较高，异常往西延伸，周围异常呈封闭状态，异常组合为低电阻率高幅频率。Ⅱ号异常带，该异常大体呈等轴状分布，异常组合仍为低电阻率高幅频率，是矿区最理想的矿化异常区域。从图3的拟断面可看出视幅频率Fs整体异常深度不深，大致都在100m范围内，引起异常的强度不连续，但具有一定的规模，视电阻率ρs表现为浅部低阻异常，深部高阻异常，使整个异常区呈现出Ⅰ号异常带和Ⅱ号异常带的不连续性。

4、讨论

结合以往地质工作成果及目前的开采区域分析，可推测Ⅰ、Ⅱ异常带应是以含铜为主的多金属硫化物引起的异常，且异常在平面上呈均匀和富集性，推测可能是矿（化）体受复式花岗岩两期岩性间的断裂构造控制所影响。野外地质工作观察发现，在该区矽卡岩及矽卡岩化大理岩中时常可见到星点状、浸染状的孔雀石化和黄铜矿化，但未发现有钼矿化，可能是辉钼矿的成矿温度较高还处于隐伏状态，因此可以推测Ⅰ、Ⅱ异常带应是由含铜、钼、金等多金属硫化物引成的激电异常区。

III号异常带，该异常带位于测区西北部，异常规模范围较大，该区为砂岩和基岩的接触带，可见较大面积的砂岩角闪岩褐铁矿化露头，该异常的表现形式为盖层状异常体，其局部地区可能受断裂构造（构造可能为容矿构造）影响而出现视幅频率Fs高值，这可能是盖层矿化蚀变体或矿体引起，这种视幅频率Fs高值，视电阻率ρs低值组合异常，往深部高阻区岩性则转变为正常的角闪二长花岗岩，结合该区地质情况分析（地表可见星点状的黄铁矿化）推测该III号异常可能是多金属硫化物引起的异常。

通过综合分析，III号异常带的矿体可能是在花岗岩冷凝过程中分异而形成，因花岗岩在冷凝过程中亲硫元素（M0、Cu、Pb、Zn、Au等）不能加入硅酸岩的晶格中，会随着含硫高的岩浆期后热液往岩浆顶部相对低压区运移（如岩浆岩的相对隆起、构造薄弱部位），随着温度的不断降低，这种含硫高的岩浆期后热液硫与上述亲硫元素结合积淀富集为硫化物矿床；当这种富含亲硫元素的含硫热液富集定位在断裂中时则最终表现为脉状矿体，当这种含矿热液遇到岩浆顶部的阻拦层时就会在阻拦层的附近最终形成盖层状矿体，其成矿的矿石结构一般表现为星点状及浸染状。同时化探异常在该区域同样表现有钼、铜、铋、金化探组合异常，这些都属于高温元素组合异常，可以产出于盖层的下部，从现目前的黄铜矿产出特征来看，由于岩浆顶部的阻拦层阻拦而最终形成盖层状矿体，显示出在III号物探异常区内具有较好的找矿前景，也是未来值得研究的区域和找矿靶区。

5、结 论

1)本次探测工作圈定了矿区Ⅰ、Ⅱ、III三个幅频率异常区，并对其场源性质和极化体特征进行了推断。其中Ⅰ、Ⅱ异常规模较小，高极化体呈不连续分布，结合工区施工可确定为含铜矿化带导致异常。极化体宽30～50m，埋深约100～150m。

III异常规模最大，异常强度较高，为本铜矿区的未知异常。异常处于成矿有利地段，推断其为多金属硫化矿床引起的异常，具有较大的找矿意义。结合地质成果及地形初步推断，异常为一埋深数十米向西南陡倾的极化板状体引起，III异常向南西方向均未封闭，有扩大异常规模潜力和进一步勘查工作的价值。

2) 利用幅频率和电阻率等值线图以及对称四极测深拟断面图,可以有效快速地圈定高极化体的分布范围,初步查明极化体的产状、埋深和大致规模,其找矿效果良好 。

3) 物探工作在本区内获取了三个视幅频率异常区，区内的岩矿电性参数和岩矿间幅频率的变化特征与矿区出现的岩石都

下转第30页 ▶▶

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

掘进巷道的气象环境预测和射流送风研究

孟凡英 车广路 辽宁工程技术大学热能与动力工程系 123000

The meteorological forecasting of tunneling laneway and the studies of fluidic blast

Meng fanying Che guanglu LiaoNing Technical University Liaoning Fuxin 123000

摘 要

关于矿井降温的研究是近年来大家密切关注的，因为矿井巷道内温度过高，严重影响了矿工的身心健康，影响了矿工的工作效率。矿井空调技术是目前主要采用的矿井降温技术。矿井空调制冷的设计基础是对井下巷道的气象环境的准确数据。只有得到准确的井下巷道的气象环境的数据，矿井空调才能达到理想的降温效果。本文就是通过对掘进巷道气象环境的研究，为掘进巷道空调制冷设计提供可靠的数值依据，并对送风方式进行了理论研究。

关键词

掘进巷道；气象环境；射流；贴附射流

Abstract

We pay close attention to the study of the mine cooling in recent years. For the temperature is too high inside the mine tunnel, the physical and mental health of miners are seriously affected, and the miners ' working efficiency are digressive. Mine air-conditioning technology is the main technologies used currently in the mine cooling. Mine air conditioning design based on the pinpoint accuracy meteorological data of the underground tunnel. Only using the pinpoint accuracy meteorological data, mine air-conditioning would achieve desired cooling effect. This text is the study of the meteorological forecasting of tunneling laneway to provide the pinpoint accuracy meteorological data for the mine air conditioning design, and do some theoretical research of the air supply mode.

Key words

tunneling laneway; meteorological environmental; fluidic blast; wall attachment jet

引言

掘进巷道的气象参数的准确是实现对掘进巷道环境有效控制的前提。空调设计的基础是建立在所获得的气象数据的准确性上，如果获得的初始数据不准确，无论用的方法多么先进，都不可能达到预期的设计目的。掘进巷道空调制冷绝大多数采用有压送风的方式，这就限定了风流形式为射流，而出风口基本布置在巷道的顶部，这就限定了射流方式为贴附射流。

1.掘进巷道的气象参数预测

为了更加准确的对掘进巷道的气象环境进行预测，首先把掘进巷道分为以下几个部分：局部通风机入口至局部通风机出口、局部通风机出口至风筒末端、风筒末端至掘进迎头、掘进迎头至出风口、混合风流参数[1]。

1）局部通风机入口至局部通风机出口

$$t_{j1}=t_1+\frac{AP_FK_{jd}}{9.81C_p\gamma\eta_1\eta_2}$$

$$P_F=\frac{R_FL_FQ_{md}}{100-N_FL_F}+0.973\frac{Q_{md}^2}{D_F}$$

式中，t_{j1}是局部通风机出风口的风流温度，$^\circ C$；P_F是局部通风机的工作压力，P_a；K_{jd}是局部通风机电机容量安全系数，一般K_{jd}=1.15；η_1是局部通风机效率，一般η_1=0.5～0.8；η_2是局部通风机电机效率，一般η_2=0.8～0.9；R_F是风筒百米风阻，$N\cdot s^2/m^8$；L_F是风筒的总长度，m；Q_{md}是风筒出风口的风量，m^3/s；N_F是风筒的百米漏风率，$1/100m$；D_F是风筒的直径，m。

2）局部通风机出口至风筒末端

$$t_{j2}=t_{jh}-\left(t_{jh}-t_{j1}\right)e^{-A_jL_j}$$

$$A_j=0.86\frac{\pi D_F}{G_{j1}C_p}\cdot K$$

$$K_j=\frac{1\times10^{-3}}{\frac{1}{\alpha_1}+\Sigma\frac{d_{hj}}{\lambda_j}+\frac{1}{\alpha_2}}$$

$$\alpha_1=2.236\frac{W_F^{0.8}\gamma^{0.8}U_F^{0.2}}{F_F^{0.2}}$$

$$\alpha_2=1.319\sqrt{\frac{\Delta t_2}{d_{hj}}}+5.35\frac{T_{F1}^4-T_{F2}^4}{T_{F1}-T_{F2}}\times10^{-6}$$

$$\Delta t_2=\frac{\Delta t_1}{\alpha_2\left(\frac{1}{\alpha_1}+\Sigma\frac{d_{hj}}{\lambda_j}+\frac{1}{\alpha_2}\right)}$$

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式中，t_{j2}是风筒内任意处（含风筒出口）的风流温度，℃；t_{jh}是计算段风筒外巷道风流的平均温度，℃；L_j是计算风筒的长度，m；π是圆周率，π=3.14159；G_{j1}是风筒内风流的平均质量风量，kg/s；K_j是风筒的总传热系数，$kW/m^2\cdot℃$；α_1是风筒内壁面对风筒内风流的放热系数，$W/m^2\cdot℃$；λ_j是风筒壁及隔热层的导热系数，$J/m\cdot s\cdot℃$；d_{hj}是风筒壁及隔热层的厚度，m；α_2是风筒外壁对巷道风流的放热系数，$W/m^2\cdot℃$；W_F是风筒内的平均风速，m/s；U_F是风筒内壁周长，m；F_F是风筒内截面积，m^2；Δt_2是巷道风流平均温度与风筒外壁面平均温度之差，℃；T_{F1}、T_{F2}是风筒内、外壁面的平均绝对温度，K；Δt_1是风筒内风流与巷道风流间的平均温度差，℃。

3）风筒末端至掘进迎头

$$t_{j3}=t_{j2}+\frac{\Sigma Q_{ji}}{G_{j2}C_p}-\frac{\gamma h}{C_p}\left(d_{j3}-d_{j2}\right)$$

式中，t_{j3}是掘进面风流温度，℃；ΣQ_{ji}是掘进面热源放热，kW；G_{j2}是掘进面风流的质量分量，kg/s；d_{j3}是掘进面风流的含湿量，kg/kg，干空气；d_{j2}是风筒末端风流的含湿量，kg/kg，干空气；一般可视与局部通风机入风口风流含湿量相等。

4）掘进迎头至出风口

$$t_{j41}=t_{j3}+\frac{\Sigma Q_j}{G_{j2}C_p}-\frac{\gamma h}{C_p}\left(d_{j4}-d_{j3}\right)$$

$$t_{j4}=\frac{t_{j41}G_{j2}+\left(\frac{t_{j1}+t_{j2}}{2}\right)\left(G_{j0}-G_{j2}\right)}{G_{j0}}$$

式中，t_{j41}，t_{j3}是不考虑，考虑风筒漏风时的回风流末端温度，℃；d_{j4}是回风流的含湿量，kg/kg，干空气；G_{j0}是风机出口处的风流质量风量，kg/s。

5）混合风流参数的计算

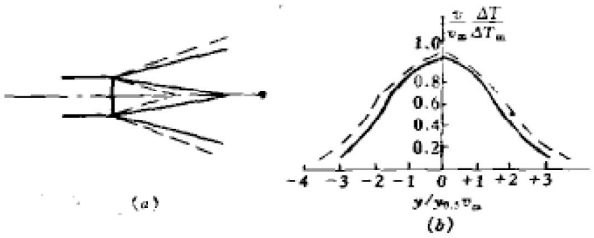
$$t=\frac{\Sigma\left(t_iG_i\right)}{\Sigma G_i}$$

$$\varphi=\frac{\Sigma\left(\varphi_2G_i\right)}{\Sigma G_i}$$

式中，t是混合风流的温度，℃；t_i是汇入该点的第i分支巷道的风流温度，℃；G_i是汇入该点的第i分支巷道的风流质量风量，kg/s；φ是混合风流的相对湿度，%；φ_2是汇入该点的第i分支巷道的风流的相对湿度，%。

2.送风方式

空气调节中，射流出口温度与周围空气温度是不相同的，这样的射流称为“非等温射流”或“温差射流”[2]。送风温度低于室内空气温度者为冷射流，高于室内空气温度者为热射流；相应的，当水蒸气含量或有害气体等含量与周围空气的不相同时的射流，称为“浓差射流”。在射程中，射流与室内空气的混掺不仅引起动量的交换(决定了流速的分布及其变化)，还带来热量的交换(决定了温度的分布及其变化）和质量的交换(决定了浓度的分布及其变化)。而热量的交换较之动量快，即射流温度的扩散角大于速度扩散角，因此，温度边界层比速度边界层发展要快些、厚些，如图 (a)所示。实线为速度边界层，虚线为温度边界层的内外界线：因而温度的衰减较速度快。



浓度扩散与温度相似。然而，在实际应用中，为了简化起见，可以认为，温度、浓度内外的边界与速度内外的边界相同。于是，像射流截面半径、流量、轴心速度等参数都可使用动量交换时推导得出的公式。而截面上温度分布、浓度分布与速度分布的关系，由实验得出为：

$$\frac{\Delta T_x}{\Delta T_m}=\frac{\Delta c_x}{\Delta c_m}=\left(\frac{v_x}{v_m}\right)^{0.5}=1-\left(\frac{y}{R}\right)^{1.5}$$

式中，ΔT_x是主体段内，射流某横断面上轴心点与周围空气之温度差，K；ΔT_m是射流轴心与周围空气之温度差，K；Δc_x是主体段内，射流某横断面上轴心点与周围空气之浓度差（轴心浓差），kg/m³；Δc_m是射流轴心与周围空气之浓度差，kg/m³；y：射流任一截面处某点距轴心的距离，m；R：同一截面上射流半径，m。

在送风温差不大时(空调基本属于此种情况)，等温射流的速度变化规律仍可沿用，而轴心温度衰减式则为：

$$\frac{\Delta T_x}{\Delta T_0}=\frac{T_x-T_n}{T_0-T_n}=\frac{0.35}{\frac{ax}{d_0}+0.147}$$

对于浓差射流，其规律与温差射流相同。所以温差射流公式完全适用于浓差射流。如轴心浓度衰减式为：

$$\frac{\Delta c_x}{\Delta c_0}=\frac{c_x-c_n}{c_0-c_n}=\frac{0.35}{\frac{ax}{d_0}+0.147}$$

式中，c_x是射流某横断面上的轴心浓度，kg/m³；c_n是射流周围空气浓度，kg/m³。

非等温射流在其射程中，由于与周围空气密度不同，所受浮力与重力不相平衡而发生弯曲(图 1)，冷射流向下弯，热射流向上弯；但仍可视作以中心线为轴的对称射流；因此研究轴心轨迹即可知射流的弯曲程度。根据流体力学，轴心轨迹理论计算式经实验修正后为：

$$\frac{y}{d_0}=\frac{x}{d_0}tg\alpha+Ar\left(\frac{x}{d_0\cos\alpha}\right)^2\left(0.51\frac{ax}{d_0\cos\alpha}+0.35\right)$$

式中，Ar 为阿基米得数，表征浮力和惯性力的无因次比值，计算式为：

$$Ar=\frac{gd_0(t_0-t_n)}{v_0^2T_n}$$

式中，g 为重力加速度，单位为 m/s²。说明，阿基米得数随着送风温差的提高而加大，随着出口流速的增加而减小。

在空气调节中，还常遇到送风气流流动受到壁面限制的情况：如送风口贴近顶棚时。射流在顶棚处不能卷吸空气，因

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

而流速大、静压小，而射流下部流速小、静压大，使得气流贴附于板面流动，这样的射流称为“贴附射流”。掘进巷道，大多都采用这种送风方式。

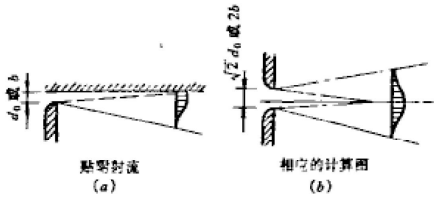


图1

图1(a)说明贴附射流可近似地视为完整射流的一半，其规律不变，因此可按风口断面加倍、出口流速不变的完整射流进行计算。也就是说，计算中只需将自由射流公式的送风口直径 d_0 代以 $\sqrt{2}d_0$；对于扁射流，可将风口宽度 b 代以 2b。

由于贴附射流仅一面卷吸室内空气，故其速度衰减较慢，同室内空气的热量交换和质量交换也需较长的时间才能充分进行，射程较同样喷口的自由射流长。此外，当射流为冷射流时，气流下弯，贴附长度将受影响。贴附长度与阿基米得数 Ar 有关，Ar 愈小则贴附长度愈长。通常，空调房间对于送风射流大多不是无限空间，气流扩散不仅受着顶棚的限制，而且受着四周壁面的限制，出现与自由射流完全不同的特点，这种射流称为“受限射流”或“有限空间射流”(一般认为：送风射流的断面积与房间横断面之比大于1∶5者为“受限射流”)。受限射流分为贴附和非贴附两种情况，当送风口位于房间高度中部时(h=0.5H)，射流为非贴附情况，射流区呈橄榄形，在其上下形成与射流流动方向相反的回流区。当送风口位于房间高度上部时(h ≥ 0.7H)，射流贴附于顶棚，房间上部为射流区，下部为回流区，受限射流的气流分布比较复杂，且随模型尺寸而变化。图2中的模型实验结果表明，当送风口高度 h ≥ 0．7H、模型宽度 B ≤ 3．5H 时，如图(a)所示，射流贴附于上部，回流在下部；当送风口高度不变面B>4H时，射流占据模型中间部分的整个高度，迫使回流靠近两旁。在图(b)中，当送风口高度h=0.5H，B ≤ 3H 时，射流在上部，回流在下部(实验为热射流)；当B>4H时，射流在中间，回流在两旁；在实际工程中，当射流占据房间中部的整个高度时，工作区流速就不应按转折面处的回流速度值来考虑，而应以射流平均速度考虑。

3.结语

只有对掘进巷道的气象环境进行准确的预测，才能合理的进行掘进巷道空调制冷的设计，使掘进巷道的气象环境达到工作要求。只有对送风方式进行的具体研究才能对风流场进行准确的模拟，为空调设计提供准确的数值依据，更好的进行矿井降温的研究。

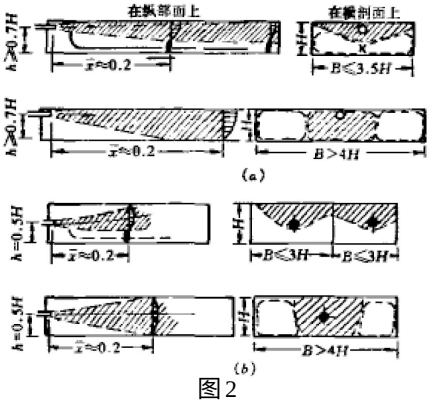


图2

上接第27页

呈现良好的对应关系，因此说明此次投入的物探方法在解决区内的地质问题是有效的。物探工作成果可作为指导找矿和开展下步勘查工作的决策依据。

参考文献
[1] 何继善. 双频道激电法研究[M] . 湖南:湖南科学技术出版社.1989.
[2] 何继善. 双频激电法[M] . 北京:高等教育出版社.2005.
[3] 博良魁 电法勘探教程[M]. 北京：地质出版社.1983.
[4] 柳建新 双频激电法及其在示范区的应用[J].中国地质.2001(3).
[5] 李光明,潘桂棠,王高明等.西藏冈底斯成矿带矿产资源远景评价与展望[J].成都理工大学学报(自然科学版).2004,31(1):22~27.
[6] 李光明,杨家瑞,丁俊.西藏雅鲁藏布江成矿区矿产资源评价新进展[J] .地质通报.2003,22(9):699~703.
[7] 郑有业,王保生,樊子珲,张华平.西藏冈底斯东段构造演化与铜多金属成矿潜力分析[J].地质科技情报.2002,21(2):55~60.
[8] 黄志英,李光明.西藏雅鲁藏布江成矿区斑岩型铜矿基本特征与找矿潜力[J].地质与勘探. 2004,40(1):1~6.
[9]王全海,王保生,李金高等.西藏冈底斯岛弧及其铜多金属矿带的基本特征与远景评估[J].地质通报, 2002,21(1):35~40.

作者简介
孟凡英，辽宁工程技术大学机械工程学院，教授；
车广路，辽宁工程技术大学，热能工程专业，硕士研究生。

作者简介
苏富彬（1982-），男，硕士研究生，研究方向：区域构造与成矿；
喻亨祥（1969-），男，博士后，教授，主要从事岩浆建造成矿学研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net