

# 双巷网络并行电法探测工作面内薄煤区范围

吴荣新<sup>1</sup>, 张平松<sup>1</sup>, 刘盛东<sup>2</sup>

(1. 安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽 淮南 232001; 2. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 提出采用双巷网络并行电法探测工作面内薄煤区范围, 为煤矿工作面内地质异常区探测提供新的物探手段, 特别是对传统的无线电波透视难以穿透的大面宽工作面, 更是有益的补充。网络并行电法采集数据方式简单, 实现了整条电法测线电位数据的同步采集, 显著提高了电法采集数据的效率和信噪比, 可进行多种电极装置的电阻率反演。在工作面双巷中分别布置电法测线, 所有电极均布置在巷帮煤壁中部腰线位置, 利用网络并行电法仪采集电法数据, 将双巷测站采集电法数据进行拼接, 联合进行二维电阻率层析成像, 可以得到工作面双巷间电阻率变化情况。根据薄煤区与正常煤体间的电性差异情况, 分析薄煤区可能的电阻率表现形式, 再结合已有地质资料, 分析出工作面内的薄煤区及分布范围。淮南矿业集团张集矿综采工作面的探测及验证实例表明, 该方法较好地查明了工作面内薄煤区的展布范围, 有力地指导了工作面安全生产, 并取得了显著的应用效果。

**关键词:** 采矿工程; 网络并行电法; 电阻率; 煤层工作面; 地质异常; 薄煤区

**中图分类号:** TD 17

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 6915(2009)09 - 1834 - 05

## EXPLORATION OF TWO-GATEWAY NETWORK PARALLEL ELECTRICAL TECHNOLOGY FOR EXPLORING THIN-COAL AREA WITHIN COAL FACE

WU Rongxin<sup>1</sup>, ZHANG Pingsong<sup>1</sup>, LIU Shengdong<sup>2</sup>

(1. School of Earth Science and Environmental Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China; 2. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

**Abstract:** The two-gateway network parallel electrical technology is first prevented to explore the thin-coal area within coal face, which is a new geophysical surveying means for the geological anomaly bodies especially within the large width of coal faces that are difficult to be detected by the conventional radio-wave penetration method. With more simple data-collecting modes, the network parallel electrical method realizes the synchronous potential measurement of whole electrode array; so the data-collecting efficiency is greatly improved and the signal-to-noise ratio is also well enhanced. The collected data can be used for resistivity inversion of different electrode devices. The two-gateway two-dimensional resistivity tomography makes full use of the data collected by the network parallel electrical instrument from the several survey lines of both gateways with the electrodes set in the coal wall along the central lines; then, the resistivity variations between the two gateways are acquired. Based on the electrical property differences between thin-coal area and normal coal seam, the capable resistivity images of thin-coal area are analyzed. In addition to the known geologic data, property and distribution ranges of thin-coal

**收稿日期:** 2009 - 01 - 13; **修回日期:** 2009 - 03 - 31

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2006CB202209); 安徽高校省级自然科学基金项目(KJ2007B131)

**作者简介:** 吴荣新(1972 - ), 男, 1994年毕业于淮南矿业学院地质系水文地质与工程地质专业, 现任副教授, 主要从事煤田地质工程、地球探测信息技术方面的教学与研究工作。E-mail: rxwu@aust.edu.cn

area can be analyzed. The exploration case for thin-coal area from the mechanized coal face in Zhangji coal mine of Huainan Coal Mining Group Corporation shows that, the method can explore the areal extent of thin-coal area within coal face, which gives a good guidance to coal production.

**Key words:** mining engineering; network parallel electrical method; resistivity; coal face; geologic anomaly; thin-coal area

## 1 引言

长期以来, 双巷无线电波透视法(坑透法)对于煤矿工作面内地质异常探测效果较为明显, 为煤矿企业广泛采用的地球物理方法<sup>[1, 2]</sup>。近年来, 大面宽(>200 m)工作面普遍被各大型煤矿采用, 采煤效率大大提高, 但是对于大面宽工作面或地质条件复杂区工作面, 无线电波透视法不能有效地穿透, 造成很大的坑透低品质区, 无法准确反映工作面内地质异常分布, 严重影响工作面的安全合理开采, 是否能采用其他探测手段探查工作面内大范围异常是引人关注的问题。

刘天放和李志聃<sup>[3]</sup>采用直流电法层测深装置来探测煤层内的地质异常区赋存情况。刘志新等<sup>[4]</sup>通过正演得出矿井直流电透视法能突出探测目的层内(煤层内或顶底板岩层)的异常特征, 为采煤工作面内的具体地质问题选用相应的电透视装置形式提供了理论依据。程久龙等<sup>[5]</sup>采用“平行双极-偶极”法来模拟研究探测工作面内含水区, 也取得了一定的效果。但由于以上这些电法探测现场施工难度大, 工作效率低, 并且易受到井下游散电流等干扰因素影响, 未能在生产中广泛应用。

网络并行电法<sup>[6]</sup>自提出以来, 进行了大量的模型和现场试验研究, 在煤层内部构造探测上也进行了尝试, 取得了明显的效果<sup>[7, 8]</sup>。网络并行电法采集技术, 同步采集各极点电位变化情况, 削弱了游散电流等干扰因素对直流电法的影响, 提高了直流电法采集数据的信噪比, 探测可靠性明显增强。本文提出采用双巷网络并行电法技术探测工作面内薄煤区, 取得了较好的效果, 为煤矿工作面高产高效生产提供了新的探测手段。

## 2 网络并行电法基本原理

网络并行电法系统<sup>[6]</sup>由安徽理工大学、中国矿

业大学和江苏东华测试技术有限公司进行研制。该系统由 PC 机、测量主机、电极阵列和电缆系统组成。目前所研制的仪器为集中式 64 道电极。传统的多道电成像采集系统在每个采样位置只有 4 个电极点在工作, 2 个电极供电(电极 A, B), 2 个电极测量(电极 M, N), 其余电极闲置。网络并行电法系统每一电极都能自动采样。各电极通过网络协议与主机保持实时联系, 在接受供电状态命令时电极采样部分断开, 让电极处于供电状态(即供电电极 A 或 B), 否则一直处于在电压采样状态(即测量电极 M), 并通过通讯线实时地将测量数据送回主机。通过供电与测量的时序关系对自然场、一次场、二次场电压数据及电流数据自动采样, 采样过程没有空闲电极出现。所采集的数据可进行自然电位、视电阻率和激发极化参数等数据处理。在实际应用中, 该系统所需供电电源为 12 V 直流电, 供电电流最大限制在 90 mA 以下, 符合矿井电法系统本安要求。通常电极采用铜电极或不锈钢电极, 电极直径 80~100 mm<sup>2</sup>, 电极长度 30~40 cm, 电位测量精度 $\pm 0.3$  mV, 电流测量精度 $\pm 1.5$   $\mu$ A, 探测最大深度范围 AB/2。

根据电极观测装置的不同, 网络并行电法数据采集方式分为 2 种: AM 法和 ABM 法。AM 法观测系统所测量的电位场为单点电源场(见图 1(a)), 该装置与常规二极法类似, 布置时采用 2 根无穷远极( $\infty$ ), 1 根作为供电电极 B, 1 根作为公共电极 N, 提供参照标准电位, 当测线任一电极(电极 A)供电时, 其余电极同时在采集电位(电极 M)。对 AM 法采集数据, 可以进行二、三极装置的高密度电法反演和高分辨地电阻率法反演。ABM 法采集数据所反映的是双异性点电源电场情况, 为一对电流电极 AB 供电, 1 根无穷远线作为公共 N 极, 提供参照标准电位, 整条测线的其他电极均采集电位值(电极 M), 没有空闲电极存在, 如图 1(b)所示 64 个电极测线电位测量情况。对 ABM 法采集的电位、电流值, 可以进行对称四极、偶极装置和微分装置的高

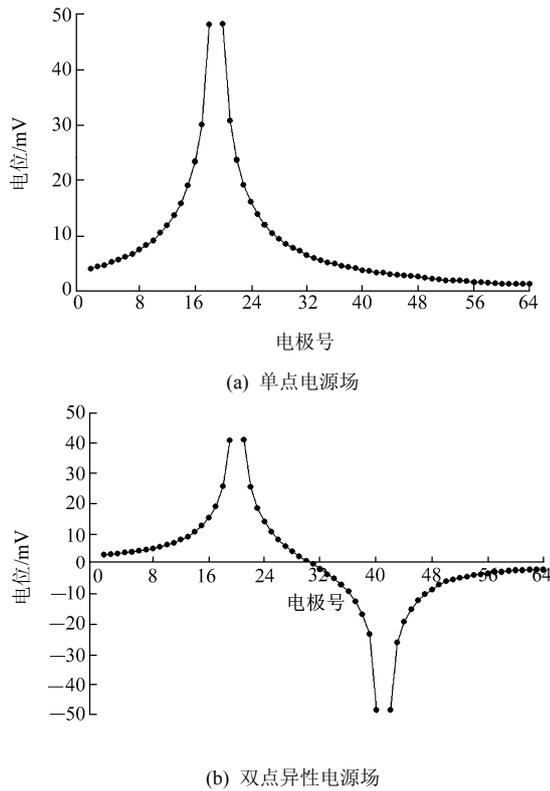


图1 网络并行电法系统采集电位变化图  
Fig.1 Potential variation collected by network parallel electrical instrument

密度电法反演。

### 3 双巷网络并行电法探测方法

根据前人研究以及大量的现场实验，对于缓倾斜煤层内部构造变化探测，通常将电极布置于巷帮中部腰线位置，则所探测出的电场变化主要受侧帮煤层内的地质变化所影响。由于网络并行电法属于直流电法，探测有效最大侧向范围为  $AB/2$ ，因此，采用的最大间距  $AB$  应大于工作面宽度，以确保电场能够覆盖整个工作面宽度。采用网络并行电法更是很好地压制了井下巷道中金属物品、积水、游散电流的诸多不利影响因素，在煤层面内薄煤区的探测已取得了显著的效果<sup>[7, 8]</sup>。

网络并行电法仪采集的数据为全电场空间电位值，保持电位测量的同步性，避免了不同时间电位测量数据的干扰问题。在1巷道和2中沿侧帮腰线煤壁位置分别布置电法测线(见图2)，利用网络并行电法仪采集各巷道内电法测线的电位变化情况，探测范围大时，每巷可布置多站测线采集数据。数据

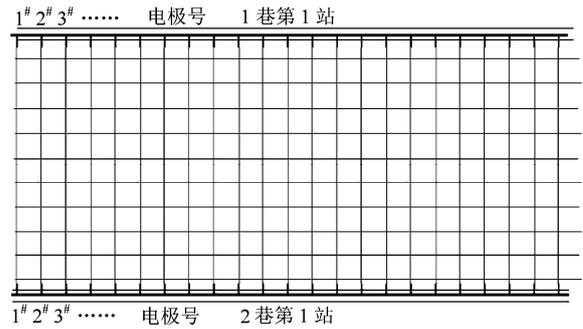


图2 双巷网络并行电法现场布置及网格剖分示意图  
Fig.2 Sketch map of spot disposition and mesh grid for two-gateways network parallel electrical method

反演时，统一编辑各站测线电极坐标，将双巷电法采集各站电位及电流数据进行拼接，联合进行双巷间二维电阻率层析成像反演。双巷电法层析成像原理及数据反演理论参见孔间电法成像技术<sup>[9~16]</sup>。通过网络并行电法处理系统，将双巷间平面范围剖分二维网格，通常网格划分宽度等于电极间距或  $1/2$  电极间距，再求解 **Jacobi** 矩阵，求取各网格电阻率值，从而得出工作面双巷间二维电阻率分布情况。根据不同地质异常体与正常煤体间的电性差异情况，结合已知巷道揭露地质资料、钻孔地质柱状以及该采面已有的地球物理勘探资料进行综合分析，从而给出工作面煤层内地质异常区的性质及分布范围。

### 4 探测实例分析

淮南矿业集团张集矿 17268 综采工作面，面宽 240 m，正常煤厚 2.5~3.5 m。2008 年 2 月初回采到 C23 测点以后，工作面揭露大范围薄煤区(见图3中方格网部分)，沿工作面宽度达 200 m 左右，薄煤段煤厚 0.2~1.5 m。由于煤层顶底板岩层坚硬，综采机推进缓慢，严重影响了工作面正常生产与安全管理。该工作面已进行过地面三维地震勘探和无线电波透视探测。坑透资料未探测出该薄煤区，只给出 2 个坑透异常区(见图 3)，三维地震资料也未显示出有明显异常。显然对于该大面宽工作面内薄煤区探测，无线电波透视得不到有效信号，无法准确圈定面内地质异常情况。怎样查明大面宽工作面内大范围地质异常区，对于实现矿井高产高效具有重要

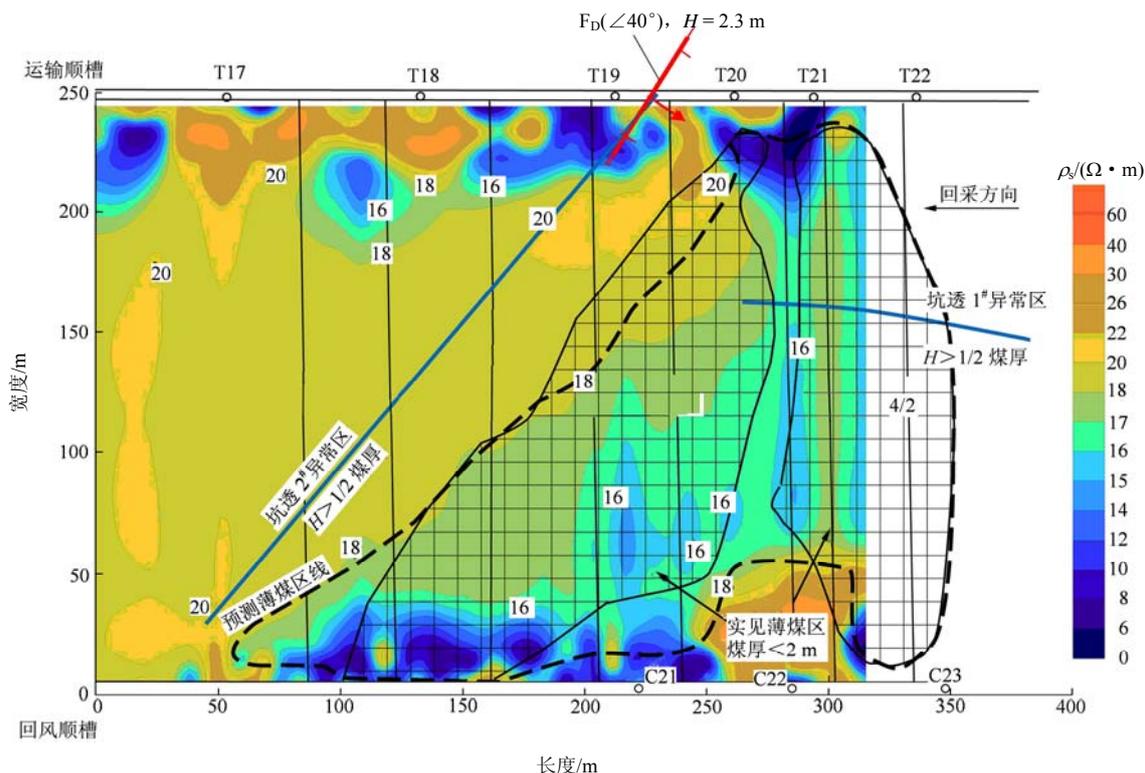


图 3 张集矿 17268 工作面双巷网络并行电法探测结果及回采验证结果

Fig.3 Plot of two-gateways network parallel electrical surveying and its confirmation results for coal face 17268 in Zhangji coal mine

的现实意义。

由于煤层变薄区主要岩性为砂质泥岩和砂岩，实测电阻率值明显小于煤层电阻率值，因此，试采用双巷网络并行电法技术探测薄煤区的展布范围。2008 年 2 月 13 日在现场进行数据采集，电法测线布置在运输顺槽和回风顺槽中，各施工测线长 315 m，控制电流场可覆盖整个工作面宽度。在煤壁中施工电极孔，约 0.5 m 深，用黄泥填满并捣实，电极间距 5 m，电极数 64 个。以 1# 电极位置为测线起点，以 2 月 13 日工作面位置为测线终点。电法数据采集采用 AM 法，各电极电流强度均在 5 mA 以上，反映电极耦合良好。每站现场工作时间 1.0~1.5 h，主要用于测线电极、电缆布置、电极有效性检查等准备工作，仪器实际数据采集时间仅占 10 min 左右。

将采集数据利用网络并行电法处理系统反演，结果采用 surfer 软件进行成像处理，结果如图 3 所示，黑色虚线为探测薄煤区范围，回采验证薄煤区范围见图 3 方格网范围。双巷网络并行电法反演结果较好地揭示了工作面内电性变化情况，以煤厚小

于 2 m 为界划定薄煤区，薄煤区均表现为明显的相对低电阻率特征 ( $< 18 \Omega \cdot \text{m}$ )，沿回采方向影响达 200 m 以上，沿工作面推进方向薄煤区长度逐渐减小；正常煤厚段表现为相对高电阻率特征 ( $> 18 \Omega \cdot \text{m}$ )。该探测薄煤区范围与实际揭露薄煤区范围基本一致，证实采用双巷网络并行电法探测面内薄煤区是可行的。该方法现场布置较为简洁，施工效率较高，具有较好的应用前景，目前作为工作面内地质异常区探测的新技术，正在淮南矿业集团进一步研究与推广。

### 5 结 论

(1) 提出利用双巷网络并行电法探测工作面内薄煤区，原理清楚，工作方法较为简单可行，为工作面内地质异常体探查提供新的地球物理勘探手段。

(2) 对于大面宽或地质构造复杂工作面，无线电波透视常不能有效进行探测，可采用双巷网络并行电法进行探测。

(3) 由于薄煤区与正常煤层间常具有较为显著的电性差异, 利用双巷网络并行电法探测技术, 可较为清楚地反映工作面煤层内薄煤区的范围, 实际回采资料证实该方法是可行的。

### 参考文献(References):

- [1] 高一峰. 无线电波透视在煤矿中的应用[J]. 物探与化探, 2007, 31(增): 105 - 108.(GAO Yifeng. The application of radio-wave transmission in coal mine[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 31(Supp.): 105 - 108.(in Chinese))
- [2] 李文峰. 无线电波透视法地质效果影响因素分析[J]. 河北煤炭, 2008, (3): 34 - 35.(LI Wenfeng. Analysis of the influence factor to the geologic effect of the radio-wave perspective technology[J]. Hebei Coal, 2008, (3): 34 - 35.(in Chinese))
- [3] 刘天放, 李志聃. 矿井地球物理勘探[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.(LIU Tianfang, LI Zhidan. Geophysical exploration in coal mine[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1993.(in Chinese))
- [4] 刘志新, 岳建华, 刘树才. 矿井直流电透视方法技术研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2003, 23(3): 5 - 13.(LIU Zhixin, YUE Jianhua, LIU Shucai. Research on the technology of mining DC electrical penetration[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology(Natural Science), 2003, 23(3): 5 - 13.(in Chinese))
- [5] 程久龙, 李文, 王玉和. 工作面内隐伏含水水体电法探测的实验研究[J]. 煤炭学报, 2008, 33(1): 59 - 62.(CHENG Jiulong, LI Wen, WANG Yuhe. Simulation experiment on detecting the hidden water-bearing bodies in working face[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(1): 59 - 62.(in Chinese))
- [6] 刘盛东, 张平松. 分布式并行智能电极电位差信号采集方法[P]. 中国发明专利: z1200410014020.0, 2004.6.18.(LIU Shengdong, ZHANG Pingsong. The signal acquisition method of electrode potential difference in the distributed paralleling intellectual way[P]. China Patent of Invention: z1200410014020.0, 2004.6.18.(in Chinese))
- [7] 吴荣新, 刘盛东, 周官群. 高分辨地电阻率法探测煤矿地质异常体[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(7): 33 - 38.(WU Rongxin, LIU Shengdong, ZHOU Guanqun. High-resolution ground electric resistance method to probe unusual mass in mine geology[J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(7): 33 - 38.(in Chinese))
- [8] 吴荣新, 方良成. 采用网络并行电法仪探测采煤工作面无煤区[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2007, 27(2): 6 - 9.(WU Rongxin, FANG Liangcheng. The application of the network parallel galvanic exploration system on the surveying of whole-rock area in coal mines[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science), 2007, 27(2): 6 - 9.(in Chinese))
- [9] 董清华, 曹俊兴. 井间电阻率层析成像的几处问题研究[J]. 地球物理学进展, 1998, 13(4): 84 - 88.(DONG Qinghua, CAO Junxing. Study on some problems for cross hole resistivity tomography[J]. Progress in Geophysics, 1998, 13(4): 84 - 88.(in Chinese))
- [10] 吴小平, 汪彤彤. 利用共轭梯度算法的电阻率三维有限元正演[J]. 地球物理学报, 2003, 46(3): 428 - 432.(WU Xiaoping, WANG Tongtong. Progress of study on 3D resistivity inversion methods[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2003, 46(3): 428 - 432.(in Chinese))
- [11] MAURIELLO P, PATELLA D. Resistivity anomaly imaging by probability tomography[J]. Geophysical Prospecting, 1999, 47(3): 411 - 429.
- [12] ZHOU B, GREENHALGH S A. A synthetic study on cross hole resistivity imaging using different electrode arrays[J]. Exploration Geophysics, 1997, 28(2): 1 - 5.
- [13] DAILY W, OWEN E. Cross-borehole resistivity tomography[J]. Geophysics, 1991, 56(8): 1 228 - 1 235.
- [14] LOKE M H, DAHLIN T. A comparison of the Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion[J]. Journal of Applied Geophysics, 2002, 49(3): 149 - 162.
- [15] OLAYINKA A I, YARAMANCI U. Use of block inversion in the 2D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion[J]. Journal of Applied Geophysics, 2000, 45(2): 63 - 81.
- [16] CHRISTIANSEN A V, AUKEN E. Optimizing a layered and laterally constrained 2D inversion of resistivity data using Broyden's update and 1D derivation[J]. Journal of Applied Geophysics, 2004, 56(4): 247 - 261.