中煤新集公司矿井物探体系的构建与思考

赵　磊，黎　鹏
（中煤新集能源股份有限公司 地测水文部，安徽 淮南　232001）

摘　要：矿井物探技术作为井下勘探工作的重要组成部分，在超前探测煤层赋存、水文地质和地质构造发育情况等方面，发挥着越来越重要的作用，可对异常地质构造（如陷落柱、断层）和矿井水（如老窑水、裂隙水、岩溶水）进行超前探测。对新集公司矿井物探现有探测方法、现状进行分类和分析研究，总结分析各类物探技术在煤矿生产中的应用效果，提出了新集矿区物探体系构建设想及在实施过程中的注意事项和需要开展的工作，对物探技术在新集矿区的应用和发展提出了新的思路，以促进矿井物探技术在新集矿区得到更充分和更好的应用。

关键词：新集矿区；矿井物探；物探体系；应用效果

中图分类号：TD166　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1002-6029(2019)06-0044-05

Establishment and Consideration on Mine Geophysical Exploration System of China Coal Xinji Energy Company

ZHAO Lei，LI Peng
(*Department of Geological Survey and Hydrogeology，China Coal Xinji Energy Company Limited，Huainan　232001，China*)

Abstract：The mine geophysical exploration technology as an important component part of the underground mine survey work would play more and more important role in the advance exploration of the seam occurrence，hydrogeology，geological structure development condition and other aspects and could be applied to the advance survey on the abnormal geological structures (such as the sinkhole and fault) and the mine water (such as the old mine water，fracture water and karst water). A classification and analysis study was conducted on the available exploration method and status of the mine geophysical exploration applied in Xinji Company. The paper summarized and analyzed the application effects of different geophysical exploration technology. The paper provided an assumption on the establishment of the geophysical exploration system in Xinji Mining Area. The notices and necessary works conducted during the practice processing of the exploration system also were provided. New ideas were provided on the application and development of the geophysical exploration technology in Xinji Mining Area in order to have a full and better application of the mine geophysical exploration technology in Xinji Mining Area.

Key words：Xinji Mining Area；mine geophysical exploration；geophysical exploration system；application effect

新集公司现有生产矿井 4 座（新集一矿、新集二矿、刘庄矿和口孜东矿），核定生产能力 20.50 Mt/a；基建矿井 1 座，即板集煤矿，设计生产能力 3.0 Mt/a。新集一矿、新集二矿为巨厚推覆构造下采煤，刘庄、口孜东、板集煤矿为巨厚松散层下采煤。矿区靠近淮南煤田中偏西部煤层露头附近，受上伏推覆构造影响，井田范围煤层埋藏深，地质、水文地质和瓦斯地质条件极其复杂。5 对矿井中，有 4 对为水文地质类型复杂矿井，4 对为地质类型极复杂矿井，复杂的地质条件制约着矿

收稿日期：2019-10-12　　**DOI：**10.19458/j.cnki.cn11-2456/td.2019.06.011
作者简介：赵　磊（1985—），男，安徽滁州人，工程师。Tel：0554-8668051，E-mail：zhaolei285019448@163.com
引用格式：赵　磊，黎　鹏. 中煤新集公司矿井物探体系的构建与思考[J]. 建井技术，2019，40(6)：44-48.

井安全高效开采。运用先进的矿井物探技术，超前探明采掘工作面内（前方）的断层、含水带、陷落柱等异常地质条件，为地质灾害的预测预报及防治提供依据，可有效避免矿井生产和建设中地质灾害事故的发生。

1　矿区地质概况

淮南煤田受印支期近南北向挤压作用的影响，形成轴向近东西—北西西的复向斜；其南缘由1组近东西向逆冲断层组成的推覆构造，部分外来老地层由南向北，推覆于原地系统之上。矿区主要断裂构造分2组：一组是走向近东西—北西西的阜凤逆冲断层（南部）和杨村集 F102、F101断层（北部）等；另一组是走向北北东、倾向西的口孜集断层（西部）、江口集断层（中部）和陈桥断层（东部）等。2组断层将原地系统切割成若干断夹段，矿井和采区大多以大断层、向（背）斜轴为自然边界。采区内，中小断层发育。

新集矿区以 F5 断层（陈桥断层）为界，分为东、西两部分。东部新集一矿、新集二矿为大型推覆构造下采煤，西部刘庄矿、口孜东矿、板集矿为巨厚松散层下深井开采和建设。矿区含水层自上而下，分别为新生界松散层含水层、推覆体岩溶裂隙含水层、二叠系砂岩裂隙含水层、石炭系太原组灰岩岩溶裂隙含水层和奥陶系灰岩岩溶裂隙含水层。

2　矿井物探技术发展概述

地质探测技术初期水平较低且单一，以钻探为主要手段。从20世纪60年代开始，物探技术有了很大发展；通过引进、试验和应用，矿井地震法、矿井直流电法、矿井电磁法等技术得到广泛应用。国内多家科研单位和高校通过多年努力，尤其是进入21世纪以来，将大型计算机技术应用于物探技术，物探方法和仪器装备得到持续研发和改进，解释软件也逐渐完善与提升，实现了物探数字化。实践证明，矿井物探是地面勘探技术的重要补充，是矿井地质工作的重要手段。煤矿井下物探的应用与发展，极大地推动了煤矿安全开采技术的进步。矿井物探技术应用方便，操作简单，效率高，探测效果好，而且经济实惠。相比地面物探和井下钻探，矿井物探技术具有距探测目标近、物探异常明显、探采对比实证性强、探测范围大、运用灵活等优点，已成为煤矿井下地质勘探工作中非常重要的部分和必不可少的地质勘探手段。将先进的矿井物探技术应用于煤矿安全生产，已成为煤矿井下探测的发展方向[1-2]。

3　物探现状

根据《煤矿防治水细则》和《安徽省煤矿防治水和水资源化利用管理办法》规定，矿井受底板灰岩水害威胁的采掘工作面、存在陷落柱（疑似陷落柱）突水威胁的区域、含（导）水性不明的断层影响区域、积水情况不清的老空区以及受底板灰岩水害威胁的新水平、新采区，必须同时采用物探、钻探等方法，超前循环查清采掘工作面及周边老空水、含水层富水性以及地质构造等情况。在公司物探队组建之前，各矿为满足安全生产要求，大部分物探工程都由外委单位施工；尤其是向深部水平延深，涉及1煤和三维物探反射异常区的工程，全部委外施工。照此发展，矿区物探水平将难以提高，探测及时性也会受到制约。为此，新集公司于2012年12月，专门组建了矿井物探队伍，采用瞬变电磁、并行电法、无线电波透视和地震（MSP）等矿井物探方法，对掘进工作面前方及回采工作面顶底板岩层水害情况和工作面内隐伏构造等进行超前探查，及时和准确地为地质及水文地质预测预报和水害防治方案的制定提供可靠依据，确保煤矿安全生产，提升经济效益，为矿井可持续发展保驾护航。但近年来，由于物探队人员不足、仪器少、工程量大，而矿上又侧重于生产，忽视物探工作的重要性，经常出现因现场条件准备不充分而影响工作效率和探测结果准确性的问题。因此，有必要构建矿区物探超前探测体系，建立健全管理办法，加强物探工作管理，以充分发挥矿井物探技术的作用，确保矿区物探技术水平不断提高。

4　新集矿区地球物理特征

4.1　并行电法、瞬变电磁超前探测地球物理特征

并行电法和瞬变电磁法均属于电磁法超前探测，其原理均是利用地层中水体相对岩石而言，通常表现为低电阻率的特征；煤层电阻率值相对较高，砂岩次之，黏土岩类最低。新集各矿井煤系地层的沉积序列比较清晰，煤岩层顶、底板岩性为泥岩、砂质泥岩和砂岩等，相对水体而言，表现为高电阻率。在原生地层状态下，瞬变电磁探测有较好的探测基础，各地层导电性在纵向上有一定的变化规律，在横向上有相对均一的特征[3]。当断层、裂隙和陷落柱[4]等地质构造发育时，无论其含

水与否，都将打破地层电性在纵向和横向上的变化规律。这种变化规律的存在，表现为岩石导电性的变化。当存在构造破碎带时，如果构造不含水，则其导电性较差，局部电阻率增高；如果构造含水，由于其导电性好，相当于存在局部低电阻率地质体，解释为相对富水。同样如果有采空区，若采空区不积水，则其导电性较差，局部电阻率增高；如果采空区含水，由于其导电性好，相当于存在局部低电阻率地质体。

4.2 地震(MSP)地球物理特征

矿井震波超前探测是运用地震波在传播过程中，遇到不均匀地质体(存在波阻抗差异)时，会发生反射的原理，结合巷道特点，沿巷道后方布置震源和传感器，来探测巷道前方地质条件和水文地质条件。在特定位置，人工制造一系列有规则排列的轻微震源，形成地震断面。这些震源发出的地震波在遇到地层层面、节理面，特别是断裂破碎界面和溶洞、暗河、岩溶陷落柱、淤泥带等不良界面时，会产生反射波。新集各矿井煤系地层的沉积序列比较清晰，岩(煤)层成层分布，巷道一般设计沿特定岩(煤)层顺层掘进，这些条件都比较适合地震(MSP)超前探测的开展。利用地震(MSP)进行超前探测，前方无构造，传播介质一般相同；当巷道前方存在断层、节理、破碎带等构造时，将会产生反射波。

4.3 无线电波透视地球物理特征

无线电波在地下岩层中传播时，由于各种岩、矿石电性不同，它们对无线电波能量的吸收也不同，低阻岩层对无线电波具有较强的吸收作用。当无线电波前进方向遇到断裂构造界面时，它将在界面上产生反射和折射作用，也会造成能量损耗。因此在矿井中，无线电波穿过煤层途中，遇到断层、陷落柱或其他构造时，其能量会被吸收或完全被屏蔽，则在接收巷道，只能收到微弱信号或收不到透射信号，从而形成所谓的透视异常。新集各矿井工作面围面成功后，开展无线电波透视探测，发射场强值稳定，工作面煤层顶、底板岩性稳定，有利于无线电波的传播。在正常情况下，接收场强值相对稳定；当有构造或煤层变薄时，无线电波将在界面上产生反射和折射作用，造成能量损耗，从而使接收场强值相对偏低。

5 应用效果分析

新集公司物探队现有物探仪器 5 套。其中探水仪器 3 套(瞬变电磁仪、网络并行电法仪、音频电穿透仪各 1 套)，探构造仪器 2 套(矿井地质探测仪、无线电波坑透仪各 1 套)。根据探测目的和条件，采用合适的单一或者综合物探方法探测。各种物探技术在公司各矿得到了广泛应用，实际应用效果见表 1。

表 1 新集公司主要探测方法应用效果(2013—2018 年 8 月)

探测方法	探测工程数量/次	验证探测准确次数	探测准确率/%	探测异常个数	异常验证准确个数	异常验证准确率/%
瞬变电磁(超前)	514	486	94.6	54	25	46.3
瞬变电磁(围面)	46	—	—	153	58	37.9
并行电法	87	85	97.7	13	11	84.6
地震(MSP)	100	81	81.0	53	37	69.8
无线电波透视	27	—	—	97	92	94.9

2013—2018 年 8 月，在新集各矿，累计开展井下物探工程 774 次。其中瞬变电磁超前探测 514 次，瞬变电磁围面探测 46 次，并行电法 87 次，地震(MSP)100 次，无线电波透视 27 次。具体如下：

(1)瞬变电磁超前探测共 514 次，经验证，探测准确 486 次，探测准确率约 94.6%。探测出低阻区 54 个，经验证，有 25 个低阻区出现钻孔出水或巷道淋、滴水情况，29 个探测低阻区无异常，低阻区验证准确率约 46.3%。

(2)瞬变电磁围面探测 46 次，探测出低阻区 153 个，经验证，有 58 个低阻区出现钻孔出水或工作面淋、滴水情况，低阻区验证准确率约 37.9%。

(3)并行电法超前探测 87 次，经验证，探测准确 85 次，探测准确率约 97.7%。探测出低阻区 13 个，经验证，有 11 个低阻区出现钻孔出水或巷道淋、滴水情况，2 个探测低阻区无异常，低阻区验证准确率约 84.6%。

(4)地震(MSP)超前探测 100 次，经验证，探测准确 81 次，探测准确率 81.0%。探测出反射波异常区 53 个，经验证，有 37 个反射波异常区出现

岩性变化、裂隙发育或揭露断层等情况，16 个探测反射波异常区实际揭露正常，反射波异常区验证准确率约 69.8%。

(5)无线电波透视探测 27 次，探测出无线电波透视异常区 97 个，经验证，有 92 个无线电波透视异常区出现煤厚变化或揭露构造，5 个无线电波透视异常区实际揭露正常，探测准确率约 94.9%。

从表 1 中可以看出，无线电波透视的异常验证准确率达到 94.9%，并行电法为 84.6%，地震(MSP)为 69.8%，瞬变电磁(超前)为 46.3%，瞬变电磁(围面)为 37.9%。从数据上看，无线电波透视、并行电法和地震(MSP)探测的准确率相对瞬变电磁，还是比较高的。物探技术在生产中，也解决了一些防治水和地质问题。物探技术是地质科学的前沿新兴学科，现场探测条件、仪器性能、仪器数据采集人员、原始数据质量、解释人员经验以及处理软件，都对探测结果的准确性有着显著影响。只有通过多应用，不断验证、总结和改进，才能提高物探技术水平。

6　物探体系的构建与实施

通过对新集公司物探管理现状及应用情况的分析，发现物探工作存在工程量大、仪器设备不足、仪器使用频繁、人员紧张、专业技术水平有待提高及物探成果准确率不高等问题。上述问题可通过矿井物探体系的构建与实施来加以解决。物探队要充分利用现有设备和技术力量，为新集公司生产矿井服务，改变目前矿区物探工作及时性不足的局面，提高公司物探水平；要及时掌握需要施工物探工作面的采掘进度，统一安排，合理调配，利用人力、仪器设备、技术上的优势，及时服务需要物探的矿井，充分发挥物探技术的先进性和超前性作用，提高地质预测预报质量，为实现矿井生产安全高效提供地质技术保障。

(1)组建物探队伍，制定相关制度

2012 年 12 月，公司组建了物探队，制定并完善了工作责任制度和矿井物探工程管理办法，对矿井物探工程管理加以规范，明确物探工程中各部门的职责范围，确保矿井物探数据的有效采集、分析和解释，及时对探测范围内的岩层富水性及构造发育等情况进行评价，为各矿地质、水文地质预测预报提供有效依据。

(2)做好物探工程探测计划，并严格落实考核

各矿结合各自的生产接替计划，做好物探工程的年度、季度、月度和周计划。物探队依据各矿所报的物探计划和采掘工程进度，按照先急后缓的原则，安排物探工程实施；同时按照《煤矿防治水细则》要求，规范技术管理，加大物探工程考核力度，确保物探计划执行的准确性和考核的严肃性。

(3)规范矿井物探工程管理

通过建立并落实“一工程一设计一报告一对比”制度，将物探成果与采掘揭露和钻探成果资料做对比验证、总结，提高物探处理解释水平。探索掌握矿区地层地球物理特征，并对现场干扰引起的响应特征进行初步研究，建立健全新集矿区物性特征数据库，为新集矿区不同矿井、不同地层、不同物探方法异常区划分解释标准的逐步形成做好准备，打好基础。同时，做好物探成果资料的审查和使用工作。物探设计经物探单位技术负责人审核，矿总工程师审批后实施；物探成果由矿总工程师组织审查，分级验收。各矿和物探单位要加强对比验证，建立物探对比分析验证制度和成果验证台账；如发现成果与实际验证不符，要及时分析和重新解释。

(4)为隐蔽致灾地质因素探查与防治提供技术保障

新集公司已在三维地震精细处理解释低品质区和未解释区、矿井受底板灰岩水害威胁区域、存在陷落柱突水威胁区域以及水文地质类型为复杂及以上的矿井新水平、新采区掘进前，采用瞬变电磁和电法，超前循环探测采掘工作面及周围水文地质条件；并对物探解释为富水异常的区域，施工不少于 2 个钻孔，进行探查、验证。对以上几个区域之外的地质条件复杂区域，采用瞬变电磁和地震(MSP)，超前探查含水层富水性以及巷道前方地质构造等情况。

(5)现有仪器设备使用与新设备购置

根据各矿生产进度及探测的任务和目的，由物探队组织，各矿地测科及生产队协助，利用现有物探仪器设备，抽调各矿参加过物探培训的技术人员，共同完成现场探测任务，充分发挥已有物探设备的作用。目前，物探队已掌握各种探测方法，但仅有 1 套仪器。1 套仪器连续长期使用，而得不到维护，仪器性能将会下降。不同矿井大量的采掘工程同时施工，势必造成同一探测方法在不同的矿井需同时实施探测的局面，仪器数量将难以满足探测需求。因此应购置先进的物探仪器设备，一用一备，避免因仪器设备维修而造成无仪器

可用的情况发生，同时也可满足单种探测方法同时施工的需求。新区矿井有的工作面宽度已超过 350 m，现有的无线电波透视仪难以透视。为丰富探测手段，提升探测成果的准确性，可考虑购置防爆槽波地震仪，用于回采工作面内的构造探查[5]。

(6)加强物探技术培训

外出培训或邀请专家学者，进行矿井物探新技术、新装备专题讲座，对相关技术人员进行理论和现场应用培训，提升实测数据处理及地质解释能力，提高探测技术水平。公司从物探队成立前期到目前，共组织了 5 次约 70 人次的矿井物探培训。应鼓励矿上参加过培训的人员积极参与到矿井物探工作中，以解决物探人员紧张的问题。

7 物探技术发展展望

在井下特殊的全空间环境下，工频干扰和金属干扰较为严重，现有的单一地球物理场勘探方法存在的局限性、多解性难以克服，物探数据解释和对异常识别大多凭软件或探测经验，无法对物探异常识别技术进行系统研究，造成探测结果的准确率和人员的解释水平都难以提高。因此，急需在新集矿区开展物性参数测定和分析工作，总结不同地层、不同岩性组合的物性特征；针对各种干扰因素在不同探测方法下的响应特征，开展物理模拟和数值模拟研究，进而对典型异常体模型进行分析研究；系统梳理现有矿井物探异常特征，分析研究适合新集矿区的矿井物探新技术和新方法，建立不同矿井、不同地层(组合)、不同物探方法物性特征及物探异常区划分技术标准，实现物探数据解析模型与异常快速判别，形成“快、准、灵”的矿井物探超前探测-解释技术新模式，以确保安全和高效生产。

8 结 语

矿井物探是矿井勘探技术的重要组成部分，是矿井地质、防治水工作的重要手段。多年实施证明，新集矿区在矿井生产中，应用物探技术，取得了较好的效果，为安全高效生产提供了技术保障，进一步提升了地测及防治水管理水平和工作效率，为公司节省了大量外委物探工程费用。下一步要实现与现有地理信息系统技术和三维物探动态解释系统有机结合，建立多元集成信息系统，为煤矿高产、高效和安全开采提供坚实的地质保障和新技术支持。

参考文献：

[1] 刘盛东，刘 静，岳建华．中国矿井物探技术发展现状和关键问题[J]．煤炭学报，2014，39(1)：19-25.

[2] 程建远，石显新．中国煤炭物探技术的现状与发展[J]．地球物理学进展，2013，28(4)：2024-2032.

[3] 蔺国华，胡雄武．巷道掘进瞬变电磁超前探测干扰信号剔除[J]．建井技术，2019，40(2)：26-33.

[4] 周 鹏，郭 瑞，兰天龙．带压开采掘进巷道隐伏陷落柱探查与治理[J]．建井技术，2019，40(1)：14-18.

[5] 程建远，聂爱兰，张 鹏．煤炭物探技术的主要进展及发展趋势[J]．煤田地质与勘探，2016，44(6)：136-141.

(上接 60 页)

均未超过规范要求的限值。可见，采用上述施工工艺，很好地控制了隧道结构及地表变形，保证了隧道结构及地层稳定。

4 结 论

(1)采用 Midas/GTS 数值模拟软件进行模拟分析，比较 2 种不同施工顺序的施工工艺下，并线段隧道地表沉降、隧道结构变形情况。结果表明，先开挖出入场线，后开挖正线，出入场线领先正线 50 m，该方案更有利于控制地表沉降及隧道变形，保证隧道结构及地层稳定。

(2)地表及隧道结构变形主要受到爆破震动的影响。当距离超过 15 m 后，爆破对地表及隧道结构的影响基本可以忽略不计。

(3)现场监测表明，先开挖出入场线，后开挖正线的方案，地表沉降及隧道结构变形均未超限，符合规程要求。

参考文献：

[1] 贾照远，尚剑飞，王明立，等．新建高层建筑群跨越老煤矿采空区工程实践[J]．建井技术，2019，40(2)：1-5.

[2] 蔺云宏，李冀伟，刘砚鹏，等．地铁隧道下穿既有建筑物的矿山法研究[J]．工业安全与环保，2013，5(11)：68-69.

[3] 黄 彬，何 薪，张 磊，等．超浅埋近距离地铁隧道施工合理纵向间距分析[J]．建筑科学，2012，28(S1)：44-48.

[4] 张 新．矿山法小净距隧道的设计与施工[J]．科学技术与工程，2010，10(29)：7348-7351.

[5] 王军琪，丁振明，石祥锋．地铁矿山法隧道近距离施工数值模拟分析[J]．地下空间与工程学报，2013，9(S1)：1634-1638.

[6] 张印涛，陶连金，张飞劲．矿山法开挖近距离下穿越既有线隧道的三维数值模拟[J]．北京工业大学学报，2007，33(12)：1273-1277.