

地质雷达在钾盐开采中的应用

高新^{1*}, 沈平², 邹多利¹, 吕中友¹, 童阳春¹, 张晓庆¹, 赵全伟³

(1.中蓝长化工程科技有限公司,湖南长沙 410116;2.湖南省地震局,湖南长沙 410004;
3.中煤第三建设集团有限责任公司,安徽合肥 230071)

摘要:在钾盐开采中,由于其易溶于水,所以在生产探矿过程中尽量避免施工破坏性的钻孔.利用地质雷达探测已知巷道顶板和侧帮,然后根据介质反射的不同波长的地震波,对其进行分析之后得出不同岩层之间的分界线,从而能够为拟建巷道和矿房设计提供依据.将无损探测方式的地质雷达应用于钾盐开采,是对常规探矿手段的一种补充.通过在老挝某钾盐矿的实际使用,不仅探测岩层准确率高,还节省了探矿成本.

关键词:钾盐;地质雷达;顶板

中图分类号:TD871 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2018)02-0023-06

Application of Geological Radar in Potash Mining

Gao Xin¹, Shen Ping², Zou Duoli¹, Lyu Zhongyou¹, Tong Yangchun¹, Zhang Xiaoqing¹, Zhao Quanwei³

(1. Chonfar Engineering and Technology Corporation LTD, China Bluestar, Changsha 410116, China;
2. Hunan Provincial Administrative Bureau of Earthquake, Changsha 410004, China;
3. China Coal No.3 Construction Group Corporation Ltd., Hefei 230071, China)

Abstract: In the potash mining, due to its easiness to dissolve in water, destructive drilling is forbidden in the production of prospecting process. The geologic radar is used to detect the roof and side of the known roadway. As the different medium can reflect different seismic waves, this paper analyzes the seismic wave, and the boundary line between different rock strata is obtained, which can provide the basis for the design of roadway and mine room. Application of non-destructive detection of geological radar in potash mining is a supplementary prospecting methods. The actual use of a potash mine in Laos, and it shows that not only the high accuracy of rock formation is detected, but also the prospecting cost is saved.

Keywords: potash; geological radar; roof

地质雷达是采用无线电波探测地下介质分布和对地下界面进行扫描,以确定其内部结构形态或位置的电磁技术.地质雷达应用于不良地质探测始于 20 世纪 90 年代.1991 年,美国联邦公路局研究了 GPR 在路面工程中的应用;1996 年,J.Hugenschmidt 在瑞士一高速公路上用地质雷达进行地质检测.1999 年,吕绍林用地质雷达在湖南益常高速公路进行了大量的现场检测试验,分析研究电磁波的传播特征^[1-3].

国外在地质雷达技术和应用方面取得丰富的成果.如 Jeffrey J.Daniels 等人采用地质雷达探测液体污染物,SylvieTillard 等人研究了如何测定雷达波在介质中的传播速度,Robert S.Freeland 等人利用地质雷达探测地表浅部土壤的特点,反映土壤与农作物生产之间的关系;David A.Noon,Richard GPlumb,Stanley J.Radzevicius, S.Valle 等人还分别对地质雷达频率与传播深度之间的关系、雷达软件处理和可视化等问题进行了深入的研究.目前全世界已有多多个关于地质雷达的国际学术会议,如地质雷达年会,每 2 年召开 1

次;国际光学工程学会(SPIE)有分会和期刊专门研究探地雷达问题^[4,5]。

同时近年来,地质雷达也应用于矿山、隧道等工程,并且取得了良好的效果。地质雷达工作原理:地质雷达是一种使用高频电磁波探测地下介质分布的非破坏性探测仪器。高频电磁波以宽频带短脉冲形式,通过发射天线被定向送入地下,经存在电性差异的地下地层或目标体反射后返回地面,由接收天线所接收。高频电磁波在介质中传播时,其传播路径、电磁场强度与波形将随通过介质的电性特征与几何形态而变化。因此,通过对时域波形的采集、处理和分析,可确定地下分界面或地质体的空间位置及结构^[6-8]。

老挝某钾盐矿山主要开采钾石盐矿层,矿层直接顶板为泥岩,由于泥岩层局部含裂隙水,一旦暴露出顶板,很容易造成局部冒落,甚至有大面积的垮塌,因此在钾石盐的开采过程中严格禁止顶板出露,所以对于矿层顶板的探测一般应使用没有破坏性的无损探测。将地质雷达应用于钾盐开采的探测不仅对开采的安全有保证,还能节省探矿的成本。雷达探测的效果主要取决于不同介质的电性差异,即介电常数,若介质之间的介电常数差异大,则探测效果就好。老挝钾盐矿的顶板探测目的是识别钾盐和泥岩的分界线。

钾盐实质上是一种盐岩,相对介电常数一般为5~6,泥岩一般为5~25,由于岩石和土壤的介电常数与其含水量几乎呈线性关系增长,而老挝钾盐矿已探测的泥岩层中一般均含水,因此泥岩的相对介电常数较高^[9],与钾盐有着明显的区别。

1 工程概况

老挝某钾盐矿位于沙空那空盆地,前期开采钾石盐。矿层直接顶板主要为泥岩,设计考虑留一部分矿层作为护顶层,直接底板为石盐层。矿层为层矿矿体,矿体较平缓,局部有背斜发育。

矿山采用机械式条带房柱法开采,如遇到矿体发生变化的,很容易导致破顶出露泥岩。在金属和非金属矿山中,一般在地质钻孔中间加密垂向探矿钻孔和探矿巷道来进一步控制矿体产状。由于钾盐矿的特殊性,应尽量避免施工垂向的探矿钻孔而增加导水通道,造成安全隐患。因此利用地质雷达探测已知巷道的顶板,可得出巷道顶板上层的岩层厚度,结合相邻钻孔中的岩层厚度,能更加准确的分析和推断矿体的产状。在实际采矿过程中,先掘进中间的盘区运输巷道,然后沿着盘区运输巷道向两侧采矿,由于矿房端部一般有钻孔控制岩层的厚度,先通过地质雷达在盘区运输巷道探测顶板岩层厚度,然后布置矿房的参数。采矿方法平面布置图见图1。

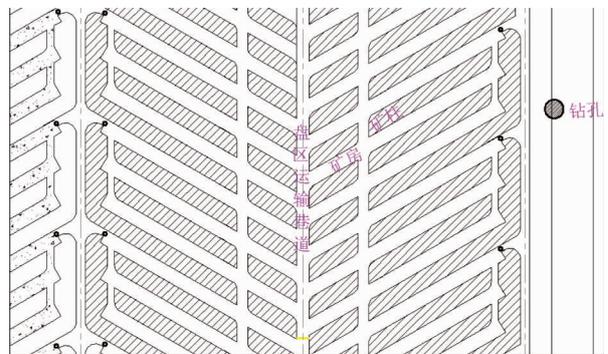


图1 采矿方法平面布置图

2 地质雷达应用实例分析

2.1 主要设备及实例简介

探测工作使用仪器为东欧生产的 Zond-12 型地质雷达和电脑,雷达所用天线为 100 MHz 屏蔽天线。针对矿山已有的钻孔和对应的盘区运输巷道,利用地质雷达对其进行探测,然后通过专业软件 Prism2.59 进行分析,得出巷道顶板的岩层界线,然后根据界线的不同布置巷道和矿房。

本次探测应用分4次试验进行,前2次测试是针对已有钻孔的区域,利用地质雷达探测岩层验证地质雷达的探测泥岩和矿层及盐层分界线的准确性。后2次分别对已知的巷道顶板进行探测,根据结果布置相邻巷道的坡度和对应的矿房的参数。由于井下工作条件的复杂性,为了确保探测钾盐层和泥岩层之间界线的准确性,在实际试验过程中采取了以下措施^[10,11]:

1) 试验的矿房和巷道均为机采施工区域,确保巷道顶板的平整性,保证天线在移动过程中能匀速移动并能贴紧顶板。否则,容易造成采集信号的异常;

2)测试地点均为无轨运输巷道区域,其巷道内没有其他电器设备和电线等,测试时间为井下检修班,避免邻近区域的设备运行对主机接收信号的干扰;

3)天线移动过程中尽量打码,并且标记位置准确;

4)通过增益调节,对信号进行处理^[12-15].

2.2 探测实例

主要针对4条不同巷道进行了探测:

1)3号探矿巷钻孔3-3S和3-4S之间,见图2.

目的:对比已知钻孔岩层厚度,验证地质雷达的准确性.

此探测路线从3号探矿巷钻孔3-3S处开始,在3号探矿巷钻孔3-4S处结束,总长36 m.根据钻孔资料得知顶板以上岩层厚度为13.03 m(矿层厚度11.03 m,石盐2 m).根据探测结果(图2)分析可知在两钻孔之间处泥岩层与石盐层分界线在12.5 m左右,与实际结果误差为0.5 m,误差率为4%.探测图像分析如图3.

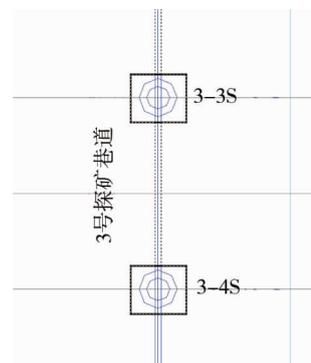


图2 3号探测区域平面布置图

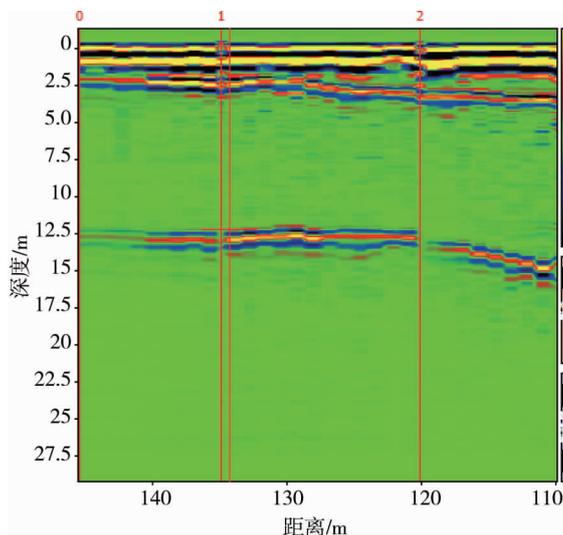


图3 3号探矿巷雷达探测线扫描

2)3号胶带巷260~240 m.

第2次试验目的:对比已知钻孔岩层厚度,验证地质雷达的准确性.

此探测路线从3号胶带巷260 m处开始,在3号胶带巷240 m处结束,总长20 m(图4).在3号胶带巷242.5 m处有钻孔TK1-3Y,根据钻孔资料得知顶板以上岩层厚度为12.90 m(钾石盐11.99 m,石盐0.91 m).根据探测结果(图5)分析可知在242.5 m处泥岩层与盐层分界线在13.5 m左右,与实际结果误差为0.6 m,误差率为4.4%.

通过2次试验对比实际钻孔的数据,将地质雷达应用于钾盐开采中的巷道顶板探测是可行的,准确率均高达90%以上.

3)2号胶带巷7号联络道处至3号胶带巷(东).

第3次测试目的:探测顶板以上岩层厚度.

此探测路线从2号无轨巷与2号胶带巷的7号联络道处开始,经过2号胶带巷,在3号胶带巷(东)结束,总长50 m(图6).根据探测结果(图7)分析可大致得一条泥岩层与盐层的分界线(图8).根据图7

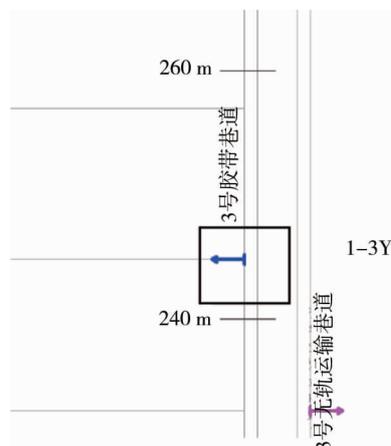


图4 3号巷道平面布置图

可推断2号胶带巷顶板以上盐层已经不到2 m.根据推测的结果可调整未施工的2号无轨巷道的坡度.

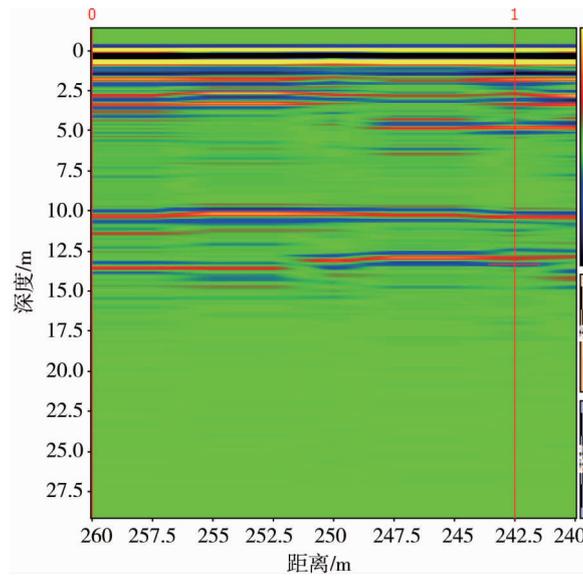


图5 3号胶带巷260~240 m 雷达探测线扫描

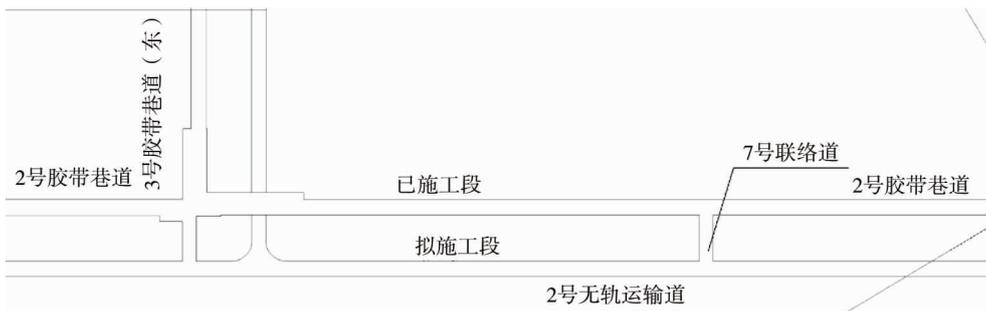


图6 2号胶带巷雷达探测平面布置图

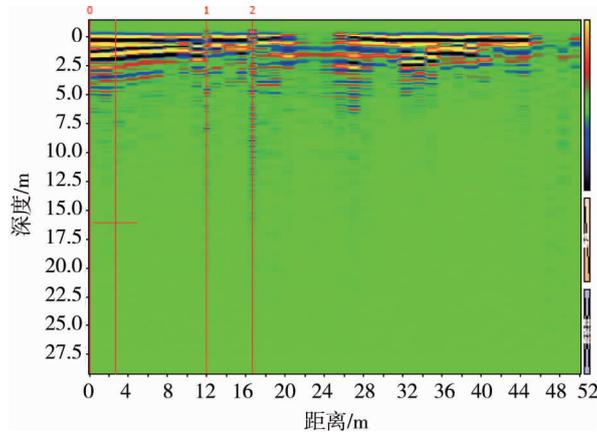


图7 2号胶带巷雷达探测线分析

根据探测的结果,2号无轨巷道顶板护顶层只有2 m,因此在后续设计中,该巷道应设计为下坡,以增加2号无轨巷道顶板的护顶层厚度.实际施工后,2号无轨运输巷道顶板护顶层满足设计要求,无安全隐患.

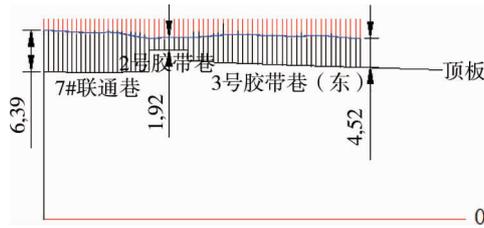


图 8 2号胶带巷泥岩层与盐层分界线

4) 2号胶带巷 505~475 m.

第 4 次试验目的:探测顶板以上岩层厚度.

此探测路线从采场中的盘区运输巷道的 505 m 开始,在其 475 m 结束,总长 30 m(图 9).根据探测结果(图 10)分析可大致得一条泥岩层与盐层的分界线(图 11).根据图 10 可推断盘区运输巷道巷顶板以上盐层已经不到 2 m,同时已施工钻孔 3-4S 的盐层厚度为 4 m,因此西边的拟布矿房设计为下坡,以保证顶板盐层厚度大于 3 m.

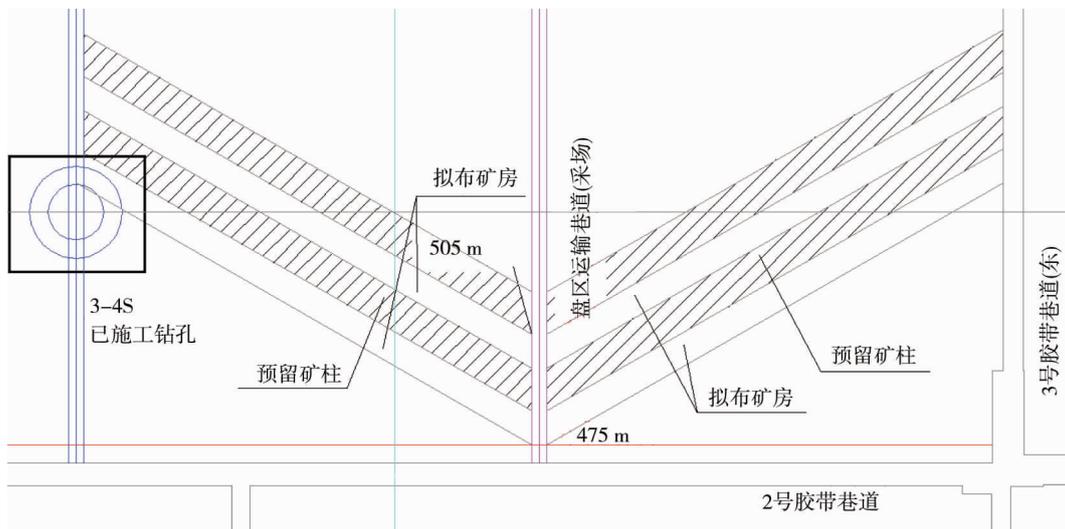


图 9 1号探测区域平面布置图

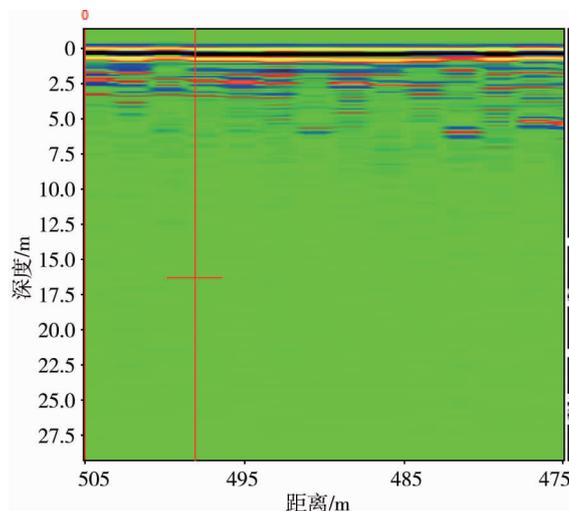


图 10 3号盘区胶带巷道 505~475 m 雷达探测线分析

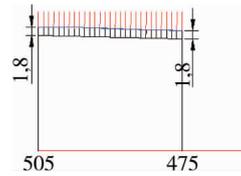


图 11 盘区胶带巷 505~475 m 泥岩层与盐层分界线

依据本次探测结果布置矿房参数后,在矿山实际施工该矿房后,该矿房顶板厚度满足设计要求,采矿过程中无破顶事故。

3 结论

- 1) 利用地质雷达探测钾盐顶板岩层,是一种安全、高效、无损的检测方式,在钾盐矿山应有很有前景。
- 2) 地质雷达探测试验先进行对比试验,对探测泥岩和盐岩的界线准确度有 90% 以上,满足矿山探测和探测不同岩层分界线的要求。
- 3) 通过地质雷达向巷道顶板发射超高频电磁波,由于泥岩层和钾盐层的相对电介参数的差异,配套电脑接收反射回来的不同的波,从而确定泥岩层和钾盐层的界线,利于矿山更安全的施工。

参考文献:

- [1] 李尧,李术才,刘斌,等. 钻孔雷达探测地下不良地质体的正演模拟及其复信号分析[J]. 岩土力学,2017,38(1):1-10.
- [2] 王先桃,包太. 地质雷达在某公路路面检测中的应用[J]. 贵州大学学报(自然科学版),2010,27(3):114-117.
- [3] 宋晓明. PDA 在路基施工检测数据处理中的应用[D]. 重庆:重庆交通大学,2009.
- [4] Cremer F, De Jong W. Klammer schutte fusion of polarimetric infrared features and GPR features for landmine[C]// The 2nd International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR). Delft, Netherlands: [s.n.], 2003.
- [5] Saarenketo T, Scullion T. Road evaluation with ground penetrating radar[J]. Journal Of Applied Geophysics, 2000, 43(2): 119-138.
- [6] Zhao Y, Feng J, Zhang B C. Current progress in sparse signal processing applied to radar imaging[J]. Science China (Technological Sciences), 2013, 56(12): 3049-3054.
- [7] Liu J, Xu S, Gao X, et al. Novel imaging methods of stepped frequency radar based on compressed sensing[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2012, 23(1): 47-56.
- [8] 刘传孝,蒋金泉,杨永杰. 断层特征参数地质雷达探测与识别的应用研究[J]. 岩土力学,2004,25(5):832-838.
- [9] 王先军. 受采动影响大断面巷道支护技术[J]. 矿业工程研究,2016,31(2):11-14.
- [10] 王小利. 地质雷达工作原理及其在隧洞检测中的应用[J]. 山西水利科技,2016(4):120-122.
- [11] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [12] 郭小凤. 地质雷达应用技术及雷达图像处理方法研究[D]. 太原:中北大学,2012.
- [13] 李尧,李术才,徐磊. 隧道衬砌病害地质雷达探测正演模拟与应用[J]. 岩土力学,2016,37(12):3627-3634.
- [14] 宋劲. 矿井防爆地质雷达关键技术研究[D]. 长沙:中南大学,2013.
- [15] 薛勇. 地质雷达(ZTR12)探测地下空区的应用试验研究[D]. 包头:内蒙古科技大学,2015.
- [16] 刘成禹,余世为. 基于探地雷达单道信号处理的岩溶分析方法[J]. 岩土力学,2016,37(12):3618-3626.
- [17] 王海涛,沈斌. 深部开采围岩应力对煤巷瓦斯运移的影响[J]. 矿业工程研究,2016,31(4):14-18.