

工程物探技术在井下突水破碎带治理中的应用

朱学胜  
(铜陵中都矿山建设公司)

摘 要: 介绍工程物探技术在井下含水破碎带治理中的应用实例, 将注浆前预报结果与注浆后预报结果进行对比, 并与实际情况进行了对照, 显示其实用性和推广价值。

关键词: 含水破碎带; 物探; 地震单点反射法; 地质雷达反射法

中图分类号: TD 745      文献标识码: B      文章编号: 1009-5683 (2004) 11-0051-03

1 工程概况

冬瓜山出风井是冬瓜山铜矿专用出风井, 井深 935m。在井筒施工结束转入- 850m 中段回风道开拓时, 遇到了一个大的含水破碎带, 突水量最大达到 500m<sup>3</sup>/h (钻孔孔径 42mm)。由于突水量大、压力高 (静水压力达到 8MPa), 来得突然, 尽管采取了一系列的抢险措施, 但终因灾情严重而发生了淹井事故。

含水破碎带所处地层为二迭系栖霞组灰岩、大理岩化灰岩。

治理方案采用的是帷幕注浆法。其具体实施步骤是: 先从回风道的进风侧施工至距出水点 80m 处, 停止掘进; 在工作面布置钻机进行帷幕注浆钻孔的施工; 然后实施帷幕注浆; 再施工放水钻孔, 泄出出风井井筒内的储水。

2 采用物探技术的目的

由于本次遇到的含水破碎带具有埋藏深 (940m)、压力大且治理条件差等特点, 从安全角度讲, 治理方案必须做到万无一失。为此施工单位在此次水害治理工作中引进了在铁道部门隧道施工中普遍采用的地质超前预报物探技术, 目的是在帷幕注浆前探测注浆段的导水构造的总体产状 (走向、倾向、倾角)、位置及厚度等要素, 从而给帷幕注浆提供技术上的支持; 并且在注浆结束后对注浆效果再一次进行物探, 作为评价注浆效果的重要依据。

3 帷幕注浆前的物探工作

3.1 工作方法 with 测线布置

因井下巷道狭窄、干扰源多, 物探采用地震单点反射法和地质雷达反射法 (即电磁波法) 两种方法综合探测, 以对比分析、相互印证, 期望达到较为理想的探测效果。

(1) 地震单点反射波法。在工作面布置 8 个接收点 (如图 1), 在其上放置 28Hz 高灵敏检波器, 在其周围以不同距离 (偏移距) 采用锤击激发地震波, 单点接收来自破碎带的反射波。多方向激发接收的目的在于: 由于地下巷道施工点多, 对接收机随机干扰较大, 有些记录的有效信号会被干扰掉, 故采用多个方向激发接收以保证能记录到有效信号, 并且不同方向激发接收因反射点位置不同, 对分析破碎带产状也有一定帮助。

在巷道两侧各布置一条测线, 用来求取完整基岩的地震波速度, 在确定反射时间后用来计算工作面至破碎带距离。

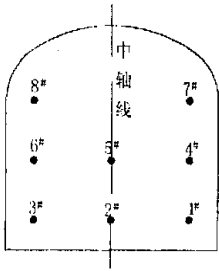


图 1 地震法测点布置图

社, 1999

[2] 管伯伦 爆破工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003

[3] 陶颂霖 爆破工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1979

[4] 钮 强 岩石爆破机理[M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1989

(收稿日期 2004-10-14)

朱学胜, 男, 工程师, 项目部经理, 244000 安徽省铜陵市铜陵中都矿山建设公司施工技术部

(2) 地质雷达探测法。在工作面布置纵、横各 2 条测线(如图 2), 另在相应地震波反射法 1<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 点上 1m, 7<sup>#</sup> 偏左和 8<sup>#</sup> 偏右位置布置 A、B、C 和 D 共 4 个点做定点采集。地质雷达测点布置较密, 每个测线是由较密的单反射组成, 目的是多收集资料便于分析。

### 3.2 资料采集与质量评定

(1) 现场数据采集。根据检测目标及其现场工作条件, 地震反射法选用 28Hz 检波器, 采样间隔为 0.005ms, 采样记录长度 40ms。地质雷达采用 50MHz 天线, 采样间隔为 800Ps, 采样记录长度为 1000ns。有效探测深度达到探测目的。

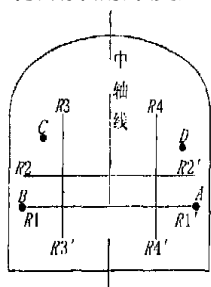


图 2 地质雷达法测点布置图

(2) 资料质量评定。本次所测地震反射法和地质雷达记录均进行实时监视, 确保资料原始采集的正确与准确性。并随机抽取测点进行复测, 复测记录 13 个, 占总测量数 9%, 重复测量记录与原测记录波形相似, 初至时间吻合。

### 3.3 资料处理与分析

将接收的地震波信号进行谱分析及滤波处理后, 分别得到各接收点破碎带两侧的反射波信号并读取反射时间。根据同一接收点破碎带两侧的反射时间来确定工作面距第一反射面的距离及破碎带的厚度, 两接收点之间的水平距离及时差确定破碎带走向, 两接收点的高差及时确定破碎带的倾向及倾角, 据此结果绘制平剖面图及纵剖面图。

地质雷达解释方法与地震反射法较为相似, 同样的需要滤波、识别反射信号及读取时间, 不同的是它以纳秒计, 速度与地震波速度不一样, 因为它是电磁波在岩体中的行走速度。

下面以地震反射波 1<sup>#</sup> 点、地质雷达 A 点为重点, 分别识别和计算破碎带反射波旅行时间并求取破碎带位置和厚度。

(1) 地震反射法 1<sup>#</sup> 接收点。地震反射法 1<sup>#</sup> 接收点破碎带两侧反射波的旅行时间分别为 12ms

和 15.5ms, 两者的差值为 3.5ms, 为破碎带反射波的旅行时间, 这里要说明的是前沿破碎带速度无法直接测到, 只能根据多年积累的经验估计, 考虑埋深较大, 应高于一般地面测到的速度, 结合本工程实际情况, 取 3.0m/ms。由此可得: 1<sup>#</sup> 点至破碎带的距离  $L_1$  为 33m; 破碎带厚度  $\sigma_1$  为 5.2m。

(2) 地质雷达 A 接收点。A 点接收反射时间为 540ns, A 点至破碎带的距离  $L_1'$  为 32.4m。

用同样的方法求得分别与 3<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>、8<sup>#</sup> 和 B、C、D 各点对应的破碎带距离及破碎带厚度。

地震反射法与地质雷达的分别计算结果基本是吻合的, 不同位置考虑走向与倾角引起的正常差, 其最大的差值小于 0.5m。

破碎带厚度根据地震反射法和地质雷达结果综合求取。根据计算结果绘制物探平剖面图和物探纵剖面图(纵剖面以坑道测量中线为准)。

### 3.4 注浆前物探检测结论

(1) 主破碎带平均厚度为 5.2m, 走向与坑道方位夹角约为 80°; 倾角约为 65°。

(2) 根据地质雷达资料分析, 在未开挖的一段坑道内还存在 6 条小裂隙, 这些裂隙大致平行于掌子面, 因裂隙太小致使波形迭加无法找出第 2 个面的初至时间, 故不能给出具体的宽度。但根据经验, 这些裂隙的宽度不会超过 100mm。

## 4 帷幕注浆后的物探工作

### 4.1 地质条件及物探判断条件分析

注浆前物探探测结果得出: 距工作面分别为 11m、15m、20m、23m、25m、30m 的 6 条宽度小于 100mm 的裂隙和 33~38m 的主破碎带。从物探的角度分析: 注浆后, 这些小裂隙和主破碎带应被水泥浆充填, 与岩体胶结, 使原有的反射面消失。检测时, 如检测不到上述位置的反射信号, 则说明注浆效果好, 反之则差。根据钻探结果分析, 原断层破碎带重新胶结(硅质胶结)速度很高, 注浆后如果靠近工作面的主破碎带界面反射波信号消失, 而硅质胶结面与主破碎带界面的反射信号能量减弱, 则说明注浆效果好, 反之则差。另外若工作面至硅质胶结面这一段距离内岩体整体速度比注浆前岩体整体速度提高较大, 说明这一范围内裂隙有效充填, 便可判断出注浆效果好, 反之则差。

### 4.2 工作方法与测点布置

检测方法与探测破碎带的方法是一样的, 只是取得资料的判断与分析方法不一样, 仍然采用

地震点反射法和地质雷达检测。测点布置与第一次基本一致。

由于工作面上埋设了许多钢管、钢筋,对雷达信号干扰很大,地质雷达只能勉强在水平方向上布置一条测线,雷达记录干扰较大,故这次检测工作主要是地震反射波法。

### 4.3 物探资料采集

地震反射波法采用的美国 GEOMETRICS 公司生产的 Strata Visor NZ24 型高分辨率、高精度、高保真地震仪, 采用 28Hz 检波器, 采样间隔为 0.003ms, 采样记录长度 100ms。地质雷达采用加拿大生产的 pulseEKKO 100 型地质雷达主机, 选用 50MHz 天线, 采样间隔为 800ps, 采样记录长度为 1000ns。

#### 4.4 资料处理、分析与结果

将接收到的地震信号进行谱分析及反复的滤波处理后, 分别得到各反射点信息。从各反射点的记录, 注浆后对应 11m、15m、20m、23m、25m、30m 处裂隙没有反射信号。另外尽管雷达记录干扰较大, 但这些裂隙也没有反射信号, 主破碎带靠近工作面一侧的反射信号也已消失。检测记录有两反射信号存在, 一个出现在 5m s 左右, 另一个出现在 12.5m s。

5m s 处反射信号对应于第一次探测时 15m 处裂隙,反射信号能量相对较强,且每个反射点反射时间都差不多,应当不是含水裂隙,而是地层中的夹层,从注浆钻探在 15m 处未见涌水可以证明这一点。

12.5 m s 处的反射信号对应于主破碎带的硅质胶结面,其反射信号能量较弱,是因为硅质胶结面的速度很高,它仍然能构成一个反射面,是因为破碎带注浆后提高了速度,使得其与硅质胶结面的速度差异变小,所以反射信号的能量比注浆前相对变小。

由钻孔资料得知,破碎带硅质胶结面至工作面的距离为38m,注浆后其反射时间为12.5ms,速度 $v$ 为6km/s。注浆前工作面至硅质胶结面的速度是5500m/s,注浆后工作面至硅质胶结面的速度为6000m/s,也就是说,注浆后工作面至硅质胶结面的整体速度提高了500m/s。

#### 4.5 注浆后物探检测结论

(1) 原探测到的 11m、20m、23m、25m、30m 处裂隙没有反射信号,说明导水裂隙已被充填,注浆效果良好。

(2) 15m 处裂隙仍存在反射信号, 结合钻孔资料分析此处应为地层夹层而不是导水裂隙。

(3) 主破碎带靠近掌子面一侧的反射信号消失, 另一侧的硅质胶结面反射信号也很弱, 注浆后掌子面至主破碎带的硅质胶结面岩体整体速度提高了每秒 500m (提高了近 10%), 充分体现了主破碎带已被有效充填。

## 5 实际结果验证

(1) 钻孔资料验证。由于本次物探工作是该技术第一次在深井平巷中应用,其适用性与准确性有必要通过实践进行检验。为此我们在注浆前物探结束后,在施工帷幕注浆钻孔时,对其中一个钻孔岩芯(靠近工作面中下部)进行了取样记录,结果表明:钻孔在9.8m处遇到了含水裂隙,涌水量 $500\text{ m}^3/\text{h}$ (钻孔孔径60mm),实施了注浆封堵,岩芯取样表明在10.85~12m段是一含水裂隙。然后继续钻进,又分别在32.8~37.5m段遇见了非含水破碎带,在38.8m处遇到主含水裂隙,涌水量 $1\,000\text{ m}^3/\text{h}$ (钻孔孔径60mm),静水压力达8MPa,随后对其进行了围帷幕注浆,达到设计注浆结束标准后停止注浆。

(2) 巷道开挖结果验证。注浆施工结束后, 对该段巷道又一次进行了物探验证工作, 结果表明注浆效果良好(上述章节已经记述), 在此基础上, 对该段巷道进行开挖施工, 开挖结果表明, 物探结果与实际揭露的岩层情况基本吻合, 尤其是 10.85~12m、32.8~37.5m 段和 38.8~43m (主破碎带实际揭露宽度不均, 1.5~5.2m 宽不等) 三处的物探结果与实际结果非常接近, 充分显示了此次物探结果的科学价值。

## 6 结论

(1) 通过此次物探技术在深井平巷含水破碎带突水治理中的应用, 可以探索出一条物探超前地质预报技术在矿井建设中的应用途径。

(2) 本次物探结果表明该项技术在探测较口矿沮矿沮矿沮矿沮矿沮矿沮矿鞠狭小裂隙时存在一定的误差,这主要是受检测器材本身的灵敏度限制。

(3) 下一步应更深入地研究井下环境条件分别对地震反射波探测及地质雷达探测两种物探手段的影响程度, 并找出减小其影响的办法, 从而研制出更适合于井下环境的物探设备器材。

(收稿日期 2004-10-15)