

声波检测在煤矿采空区灌浆质量效果中的应用

侯朝军,张殿江,姬道新,宋红伟

(河南省地球物理工程勘察院,河南 新乡 453000)

摘要:煤矿采空区常常破坏其上覆岩土层的稳定性,使其产生变形,直至崩塌、塌陷、地裂等,对上方建筑物造成危害。为加固岩土层的稳定,常采用钻孔灌浆法,封堵采空区及岩土层裂隙。笔者介绍了超声波检测钻孔灌浆质量的方法原理并做了测试效果分析。

关键词:声波;超声波检测;采空区;灌浆

中图分类号:P631.4 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2005)01-0093-03

河南省郑州市与少林寺之间拟建一条高速公路,公路通过新密市煤矿采空区。采空区上方覆盖的岩层会由于失去支撑,使原来的平衡被破坏,致使上方的岩土层产生沉降、位移和变形,直至崩塌、塌陷、地裂,对公路建设及建成后的运行造成危害。

煤矿采空区治理是一项隐蔽性很强的工程,所涉及的技术问题很多,治理过程受煤层地质条件、水文工程地质条件、煤层顶板管理方式、空洞形态、裂隙发育程度等种种因素制约。对采空区进行灌浆,可提高岩土体的完整性、稳定性和抗压强度。而地下灌浆工程最大的特点是不能追踪与再现,因此,科学、经济、合理地选择质量检验方法显得尤为重要。超声波检测技术的应用非常广泛,它有激发容易、检测简单、操作方便及价格便宜等优点,因此,在煤矿采空区灌浆质量效果检测中能发挥重要作用。

1 超声波检测的基本原理

超声波检测灌浆体技术的本质从物理学的角度上说是测量并记录下钻孔井壁岩层周围的声学性质,即声波在岩层这样的弹性介质中的纵、横波传播速度,声波振幅,介质对声波的吸收,井下自然声场的变化等,用这些参数来分析与判断岩土体的完整性(如破碎、裂隙、淘空、软弱夹层等),了解岩土体的工程地质特性。超声波波速法是超声波检测灌浆体质量的最基本方法。所谓波速法是指波在灌浆体材料中行进的速度来检测其力学性能的一种方法。波的行进速度与该种材料的软硬度,即强度有着密切关系,而强度又与它的密实度、弹性模量以及泊松

比有关。如下式所示

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-2\mu)(1+\mu)}}$$

式中 E 为弹性模量, ρ 为介质材料密度, μ 为泊松比。由公式看出,超声波在固体材料中传播,实质上是一种高频机械波在固体中的传播,是固体材料中的每一个微小区域都产生拉伸、压缩或剪切等应力应变过程,因此,超声波在这种固体材料中的传播速度,实际上就表征了该种固体材料的应力应变状态,亦即直接反映了固体材料弹性模量与密度特性。

1.1 超声波纵波波速 v_p

所谓超声波纵波指质点振动方向和波传播方向一致。实践证明,波速 v_p 与抗压强度有图 1^①所示的参数关系。超声波经过井内流体(耦合介质)传播到井壁介质中,井壁岩石中的传播速度是弹性波在媒介中的传播过程。用声波测试仪器以数字化形式把每个测试点的声波全波波形的记录下来。从广义声学信号的角度看,波形中携带了大量井壁介质的地质或力学性质信息,如裂缝、破碎、软弱夹层以

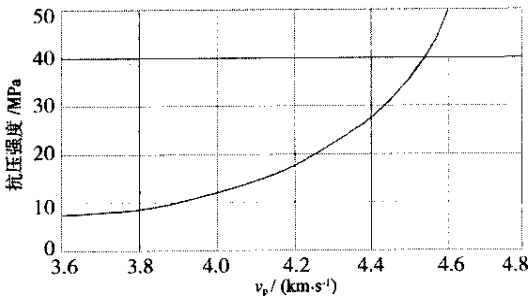


图 1 抗压强度与纵波波速的关系

① 北京大学地球物理系. 岩体超声波探测技术及应用. 1981.

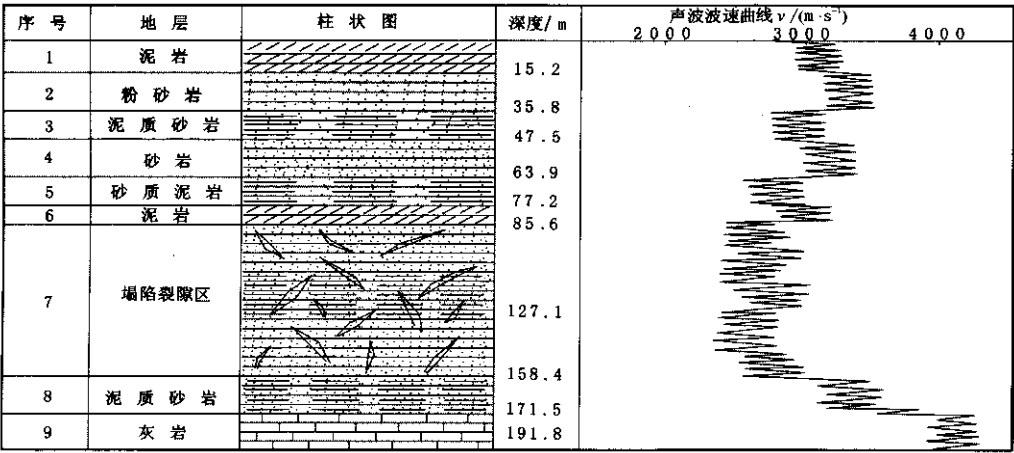


图 2 砦脖 ZJ-Z5 号钻孔子地质柱状图与声波波速曲线

及因采空造成的冒落带、裂隙带的声波波速就比上、下层的围岩波速明显要低,波速相差 1 000 m/s 以上(图 2)。

1.2 声波波形的动力学特征

声波波速反映的是弹性波的运动学特征,声波振幅反映的是弹性波的能量关系,即动力学特征。一般来说,在相同物理条件下(保持声学探头的性质不变,发射功率不变,仪器的衰减增益不变),振幅高,表明井壁岩石完整,强度好;振幅低,表明井壁岩石风化强烈,或破碎,或架空、淘空(图 3~5)。

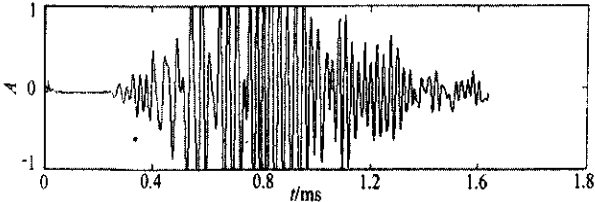


图 3 砦脖 43 号孔某处孔壁完整声波振幅

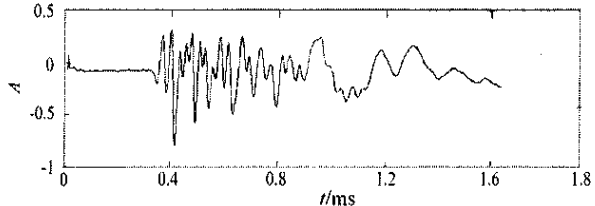


图 4 砦脖 54 号孔某处裂隙带段灌浆前声波振幅波形

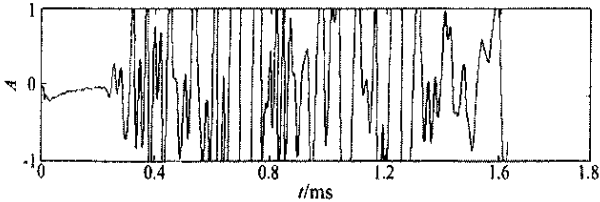


图 5 李马沟 ZJ-L₃ 号孔某处灌浆后声波振幅波形

2 实例分析

根据技术要求,本次声波测试灌浆效果应对灌浆前与灌浆后的波速提高率、灌浆体对灌浆区充填

率作出评价。

2.1 波速提高率

此次测试工作分别对 10 个钻孔进行灌浆前后全孔段声波测试,测试孔区段分为灌浆区与非灌浆区。灌浆区为需要治理的采空区、上覆岩土层塌落产生的断裂和裂隙区;非灌浆部位为稳定围岩与基岩部分。波速提高率为各区段声波波速平均值在灌浆后波速平均值提高的百分率:

$$\text{波速提高率} = \frac{v_{p2} - v_{p1}}{v_{p1}} \times 100\%$$

式中, v_{p1} 为灌浆前声波波速, v_{p2} 灌浆后声波波速。计算得到灌浆后各测试孔灌浆区波速提高率及非灌浆区波速提高率(表 1、2)。

从表 1 中看出,通过注浆灌浆区的波速有明显提高,提高最多的达 23.6%(均指灌浆区段波速平均值),最低的也达到了 15.3%。测试结果表明,钻孔灌浆的效果是明显的,起到了提高岩性强度,增强基础的作用。非灌浆部位按岩性(如泥岩、砂岩、泥质砂岩等)分类分段进行了波速对比(表 2),数据对比表明,实施灌浆作业前后波速变化不大。

2.2 注浆充填率

综合声波测井信号的振幅、频率等声学参数的变化,用注浆后钻探岩芯揭露的灌浆体长度除以以及声波波速曲线反映的灌浆区长度,得到了充填率数值(表 3)。从表中看出,灌浆充填率达到了 95% 以上,灌浆效果十分明显,满足质量要求。

3 结语

在煤矿采空区上搞工程建设一定要做好地基加固处理,检测其质量效果非常重要。通过对注浆前后声波波速数值比较,表明灌浆区波速有明显提高,提高最多的达 23.6%(均指灌浆区段波速平均值),

表 1 灌浆前后检测孔灌浆区声波波速提高率

工区	检测孔号	灌浆前平均速度 m · s ⁻¹	灌浆后平均速度 m · s ⁻¹	单孔灌浆区间 m	波速提高量/(m · s ⁻¹) [设计要求 > 160/(m · s ⁻¹)]	波速提高率/% (试验指标 > 75%)
李马沟	L ₁	2655	3189	110 ~ 120	534	20.1
	L ₂	2687	3283	110 ~ 145	596	22.2
	L ₃	2697	3122	120 ~ 135	425	15.8
	L ₄	2701	3141	85 ~ 140	440	16.3
	L ₅	2705	3248	85 ~ 133	543	20.1
砦脖村	Z ₁	2703	3092	65 ~ 111	389	15.5
	Z ₂	2648	3273	46.5 ~ 63.8	625	23.6
	Z ₃	2655	3142	40 ~ 51	487	18.3
	Z ₄	2684	3249	60 ~ 81	565	21.1
	Z ₅	2671	3080	90 ~ 151	409	15.3

表 2 实施灌浆作业前后检测孔各岩性段(围岩及基岩)声波波速对比

工区	岩性	灌浆前声波波速/(m · s ⁻¹)	灌浆后声波波速/(m · s ⁻¹)	灌浆前与灌浆后比率	波速提高率/%
李马沟	泥岩	3082	3407	1: 1.105	10.5
	砂岩	3584	3803	1: 1.062	6.2
	砂质泥岩	3450	3701	1: 1.073	7.3
砦脖村	泥岩	3282	3043	1: 0.927	-7.3
	砂岩	3040	3306	1: 1.088	8.8
	砂质泥岩	2998	3283	1: 1.095	9.5
	泥质砂岩	2877	2907	1: 1.011	1.1

表 3 郑少高速公路煤矿采空区治理灌浆充填率

工区	钻孔号	注浆区位置/m	钻探检测注浆体长度/m	声波检测注浆区孔段长度/m	充填率
李马沟	ZJ-L ₂	123.20 ~ 123.45	0.25	0.259	96.5
	ZJ-L ₅	175.15 ~ 176.50	1.35	1.392	97.0
砦脖村	ZJ-Z ₂	63.20 ~ 63.45	0.25	0.262	95.4
	ZJ-Z ₅	150.50 ~ 151.05	0.55	0.572	96.2

注:本表中只列出长度大于 20 cm 的注浆孔段。

最低的也达到了 15.3%。

通过钻孔取样检测,郑少高速公路煤矿采空区注浆治理质量效果均满足设计要求。同时也说明声波检测煤矿采空区灌浆质量效果是可行的,既科学有效又经济合理。

参考文献:

[1] 赵泽涵. 声波测井原理[M]. 北京:石油工业出版社,1984.
[2] 盛安连. 路基路面检测技术[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
[3] 侯宝隆,蒋之峰. 混凝土的非破损检测[M]. 北京:地震出版社,1992.

THE APPLICATION OF ULTRASONIC TECHNIQUE TO INSPECTING GROUTING QUALITY IN THE WORKED-OUT AREA OF A COAL MINE

HOU Chao-jun ZHANG Dian-jiang JI Dao-xin SONG Hong-wei
(Henan Institute of Geophysical Engineering Exploration ,Xinxiang 453000 ,China)

Abstract : The stability of the strata of a coal mine is seriously affected by the underlying worked-out area , which frequently causes deformation or even collapse , depression and geofracturing and hence gravely threatens the buildings above it. For the purpose of consolidating the rock and soil bed , drill-hole grouting has often be used to plug the worked-out area and fractures of the rock and soil bed. In this paper , the principle of applying ultrasonic wave method to detecting drill-hole grouting quality is described and the test result is analyzed.

Key words : ultrasonic wave ; worked-out area ; grouting

作者简介:侯朝军(1961 -) ,男,河南灵宝人,工程师,1983年毕业于河北地质学院物探系,现就职于河南省地球物理工程勘察院,从事地质勘探、变形监测研究工作,公开发表学术论文数篇。