

Technical Research on the Method of CSIRO Cells to Measure Ground Stress

Danghui Wang¹, Yingfu Li², Qinjie Liu²

¹Pingan Coal Mining Engineering Technology Research Institute Co. Ltd., Huainan Anhui

²Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Email: 292530421@qq.com

Received: Mar. 7th, 2019; accepted: Mar. 28th, 2019; published: Apr. 4th, 2019

Abstract

In order to evaluate the geological mechanics of the roadway, the *in-situ* stress test was carried out, and the testing principle of hollow inclusion method was described. The measuring steps, arrangement of measuring points, measuring equipment and matters needing attention in the measuring process were explained in detail, and the magnitude and orientation of ground stress of key measuring points in mining area were obtained, which provides a basis for the support design and construction of anchor net cable roadway, and further improves the scientific, reasonable and reliable design.

Keywords

Ground Stress, The Method of CSIRO Cells, Test Procedures, Test Equipment

空心包体法测量地应力技术

王党辉¹, 李迎富², 刘钦节²

¹平安煤矿瓦斯治理国家工程研究中心有限责任公司, 安徽 淮南

²安徽理工大学, 安徽 淮南

Email: 292530421@qq.com

收稿日期: 2019年3月7日; 录用日期: 2019年3月28日; 发布日期: 2019年4月4日

摘 要

为了对煤矿巷道进行地质力学评估, 开展矿井地应力测试, 阐述了空心包体法测试原理, 并详细说明了测量步骤、测点布置、测量设备以及测量过程中的注意事项, 获取矿区关键测点的地应力大小和方位,

文章引用: 王党辉, 李迎富, 刘钦节. 空心包体法测量地应力技术[J]. 矿山工程, 2019, 7(2): 144-150.

DOI: 10.12677/me.2019.72020

为锚网索巷道的支护设计与施工提供依据, 进而提高设计的科学性、合理性和可靠性。

关键词

地应力, 空心包体法, 测试步骤, 测试设备

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地应力又称原岩应力, 是影响地下工程安全与稳定的关键因素, 是使工程结构发生变形与破坏的根本原动力。随着采矿工程、大型地下岩体工程的快速发展及地应力测量技术的进步, 目前地应力已经越来越多地应用于矿山井巷设计与施工、地下工程结构的设计与稳定性分析。依据中华人民共和国煤炭行业标准(GB/T 35056-2018)《煤矿巷道锚杆支护技术规范》要求, 提出地质力学评估是煤巷锚杆支护设计的主要依据之一, 锚杆支护设计前应进行地质力学评估, 而地应力测量是地质力学评估的一个重要内容。

三维地应力的测量方法目前已发展到许多种[1] [2] [3] [4] [5], 如应力解除法, 水压致裂法, 声发射测试法等。但任何一种实测方法都需要通过扰动(通用的做法是打钻孔)打破原有状态。在从一种平衡状态到新的平衡状态的过程中, 通过对应力效应(通常是应变和位移)的间接测量来实现应力测试分析。测试过程中, 通过应变或位移传感器将应变和位移的变化传递给二次仪表(例如数据采集装置), 取得测量数据。由观测到的应变或位移, 根据应力-应变关系、力学模型等力学基本原理, 即可计算出地应力的六个分量或者三个主应力的大小和方向。因此, 地应力测试过程实际测得的是应变或位移, 首先需要具备精巧、完备和先进的测量仪器和测试技术, 来保障应变或位移的精确获得; 其次, 由于地应力结果的计算分析最终是由应变转换为应力的, 故其测试效果不仅要靠实测数据(应变)的测试准确性, 还强烈依赖于力学模型及由此推演的地应力分量解算公式是否正确及是否与客观实际相符。

《煤矿巷道锚杆支护技术规范》(GB/T 35056-2018)指出原岩应力测量宜优先采用应力解除法或水压致裂法。空心包体应力测量法即是应力解除法中的一种, 该方法可以通过单一钻孔内预置测量探头来确定原岩三维应力的大小和方向, 相对其它测量方法施工简单, 工程量较小且测量精度高。因此, 研究过程中采用空心包体应力计法进行矿井地应力原位测量[6] [7] [8] [9]。

2. 测试方法及原理

空心包体应力计它是由嵌入环氧树脂筒中的 12 个电阻应变片组成。该应力计将三组应变花(每组应变花有 4 个应变片)沿环氧树脂筒圆周相隔 120°粘贴(图 1), 然后用一个环氧树脂浇注成厚度约为 0.5 mm 的外层使电阻应变片嵌在筒壁内(图 2, 图 3)。应力计的外径为 35.5 mm, 工作长度为 150 mm, 可安装在直径为 36~38 mm 的小钻孔中。应力计绝缘度高, 防水性能好。环氧树脂圆筒有一个足够大的内腔, 用来装粘结剂。另有 1 个柱塞, 一端插入圆形胶筒内, 用于安装应力计时将胶体挤出并涂抹在应力计与岩体之间; 另一端有一导向定位棒, 便于引导应力计顺利进入安装小孔内。

使用时, 首先将圆筒内腔装满粘结剂, 然后将柱塞插入内腔约 40 mm 深处, 用铝丝将其固定。将应力计送入钻孔中预定位置后, 用力推动安装杆, 可使铝丝切断, 继续推进可使粘结剂经柱塞小孔流出, 进入应力计和钻孔孔壁之间的间隙里。经过一定的时间(通常 1 昼夜), 粘结剂完全固化后, 即可进行套芯解除。

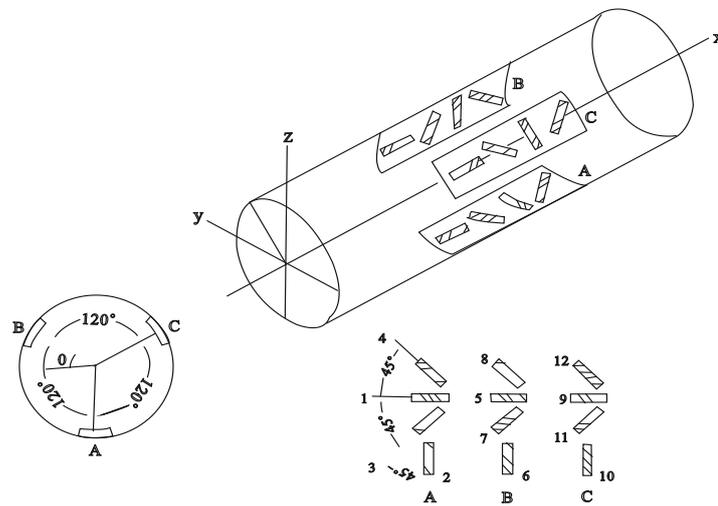


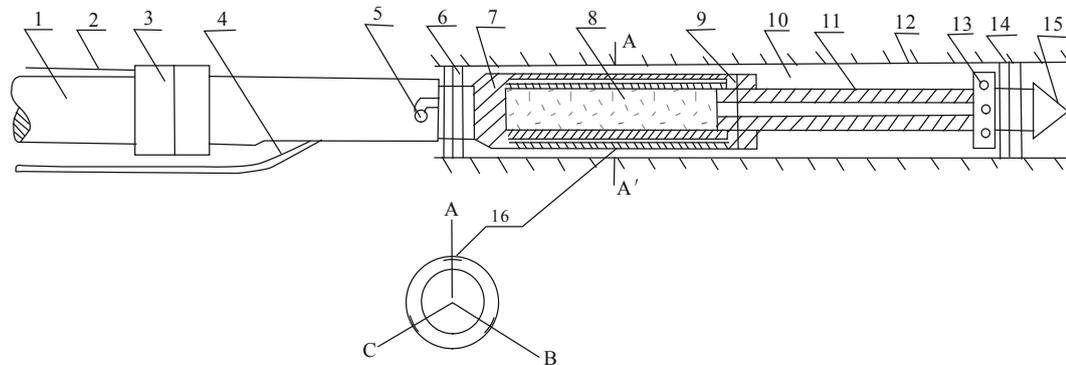
Figure 1. Schematic flower position distribution map (A, B, C are three sets of strain gauges)

图 1. 应变花位置分布图(A、B、C 为三组应变片)



Figure 2. Hollow inclusion stress meter

图 2. 空心包体应力计



1—安装杆；2—定向器导线；3—定向器；4—读数电缆；5—定向销；6—密封圈；7—环氧树脂筒；8—空腔；内装粘胶剂；9—固定销；10—应力计与孔壁之间的空隙；11—柱塞；12—岩石钻孔；13—出胶孔；14—密封圈；15—导向头；16—应变花

Figure 3. Schematic diagram of the hollow inclusion triaxial stress meter

图 3. 空心包体三轴应力计结构示意图

3. 空心包体法测量地应力的方法与步骤

空心包体法测量地应力的钻孔结构主要包括 1 个直径为 142 mm 的大孔、1 个锥形孔和一个直径为 36 mm 的测试小孔(见图 4)。

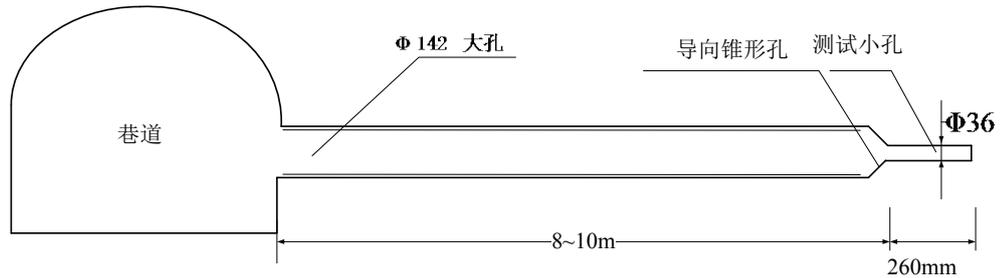


Figure 4. Schematic diagram of ground stress measurement drilling structure

图 4. 地应力测量钻孔结构示意图

整个过程可分为如下几个步骤(见图 5)。

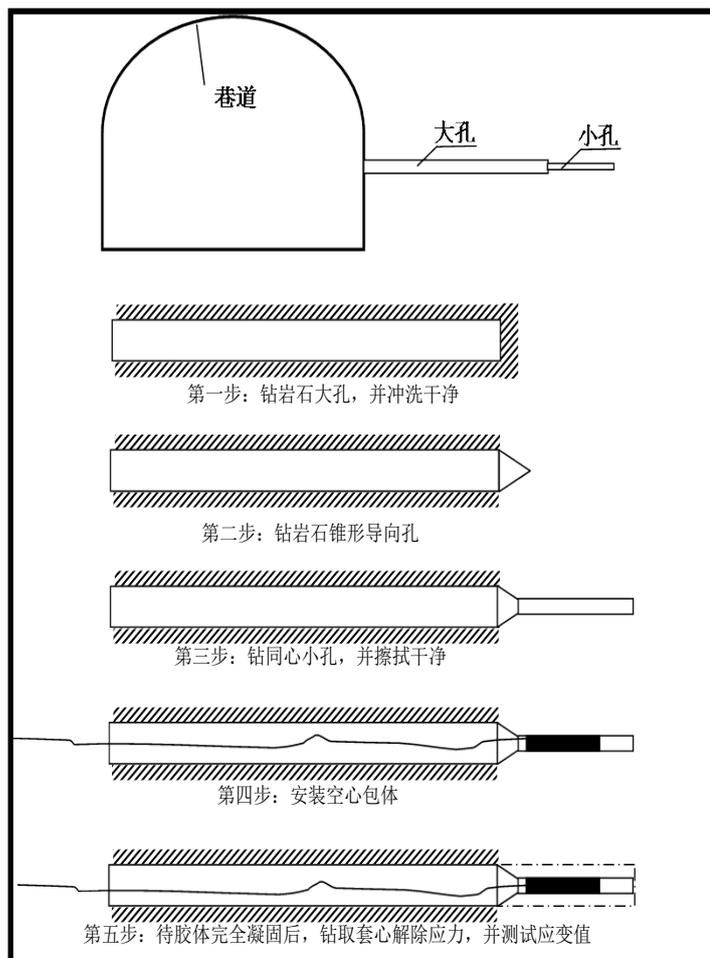


Figure 5. Schematic diagram of stress relief process of hollow inclusion strain method

图 5. 空心包体应变法应力解除过程示意图

1) 钻孔

① 打大孔： $\phi 142$ mm 钻头在事先布置测点的巷道壁上打直径约为 $\phi 145$ mm 大致为水平的钻孔，深度大致为 8~10 m，以保证应变计安装位置避开巷道掘进影响区域；钻孔上倾 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，以便使水流出并易于清洗钻孔，记录孔深；

② 磨平大钻孔孔底，并冲洗干净；

③ 打锥形导向孔及小孔：换上特制的带有喇叭口的小钻头，在大孔孔底钻成锥形底，以保证后面的小孔与大孔同轴心，并易于将空心包体顺利地装入小孔；将小钻头顶到孔底，在钻杆的孔口处标记，然后向内打 260 mm 深；

④ 冲洗擦拭小孔：小孔打好后，用细铁丝将干毛巾绑在特制的擦孔器上，用毛巾反复擦洗小孔油污，这样能够保证粘结剂将包体与小孔壁粘牢。

2) 空心包体安装

① 用砂纸将空心包体外侧圆柱面打毛，将柱塞前端稍大的橡胶密封圈打磨到比包体略大 1~2 mm；

② 按比例配制好粘结剂并搅拌均匀后，在空心包体应力计的空腔内倒入适量的粘结剂，固定好销钉（细铅丝或牙签），将包体安装在定向器上；

③ 慢慢地将其送入大孔中，不断地接长推杆，并记下长度，在预计空心包体应力计已靠近大孔孔底时要特别注意慢推，以保证包体能够完好地进到小孔中；

④ 前端进入小孔 180 mm 左右，柱塞前端大致进入到测试小孔孔底；再慢慢向前推进时应注意固定销的剪断，固定销剪断后继续向前推进 80 mm（空心包体活塞工作长度），此时空心包体应力计便准确地安装于小孔中。

3) 套芯解除与应变测试

① 读取应变计初始数据：一般在安装包体 20 小时左右，环氧树脂基本上完全固化。将推杆和定向器小心地从钻孔中拔出，记下定向器所显示的应力计的偏角，并用罗盘测量出钻孔的方位和倾角；

② 用 10[#]铁丝将包体的电缆线从 $\Phi 130$ mm 的钻头和岩芯套筒、钻杆穿出，将钻头、岩芯套筒和钻杆送入孔中，并记录推进的深度，以便检验钻头是否到达孔底；

③ 接通应变仪，每隔 3 分钟读数一次，连续三次读数相差不超过 $5\ \mu\epsilon$ 时，即认为稳定，并将此读数作为初始值；

④ 按预定分级深度钻进，进行套芯解除，每级深度约为 20 mm。套芯解除至一定深度后，应变计读数趋于稳定，最后以连续三次读数之差不得超过 5 为准，认为读数稳定，不再解除；

⑤ 继续向前钻进约 100 mm，然后将包含包体的岩芯折断并取出，封装严实后运回实验室，便于对包含空心包体应力计的岩芯进行弹性力学参数率定实验。

5) 岩心室内率定试验及地应力计算分析

① 将从测试现场带回的包含空心包体应力计的岩芯在实验室内进行均匀围压率定实验测试，获取各应变片附近的弹性力学参数；

② 将现场实测的应变值和率定实验测得的弹性力学参数带入理论公式或专用计算分析程序，即可计算出实际测点的三维应力矢量及主应力大小和方位。

4. 测点数量及其布置

根据岩石力学实验测试规程，每个矿井的测点数量不应少于 3 个，且必须进行极差分析，即统计计算各测点的测试结果平均值，当满足其极差不超过平均值的 30% 时，可认为测试结果比较可靠；否则，当极差超过平均值的 30% 时，宜适当增加测点数量并分析离差过大的原因，最后结合工程具体情况确定

地应力测试结果。

原岩应力测量一般应在矿井开拓阶段进行，因为此阶段的岩体还没有受到采动影响，是进行地应力测量的最佳时机，即使不能在此阶段进行，也应尽量选择完整坚硬的岩石且有效避开采掘工程影响的有利测试位置。地应力测量包含多个技术环节：一是需要精确可靠的传感器及数据采集系统；二是要科学合理地选择地应力测量地点；三是对钻孔平直度、孔径偏差、大小孔同心度和钻机操作等有很高的要求。具体而言，地应力测点必须满足以下四个方面的要求：

- 1) 测试地点的地应力状态应能反映该区域的一般情况，所选地点应具有代表性；
- 2) 根据地应力测试方法的要求，应尽可能地在较完整、均质、层厚合适的煤层顶底板稳定岩层中进行；
- 3) 应避免地应力观测期间与巷道施工或其他生产工序的相互影响；
- 4) 为保证测点位于未受工程开挖扰动影响的原岩应力区，测孔深度应为巷道或者已开挖峒室跨度的3倍以上。因此，峒室跨度越大所需的测孔深度就越大，故测量应尽可能在跨度较小的巷道内进行。

在煤矿现场进行实际操作时，需要在综合考虑上述各因素的基础上，结合工程地质及施工技术条件合理确定。为了取得较为理想的实验测试结果并尽量减少测试失败几率，需要将空心包体应力计安装到岩石内部，具体测试参数待实际测试过程中填入相应位置。地应力测试位置参数包括：孔号、地点、钻孔位置、岩性、孔深、钻孔坐标、钻孔方位角、倾角等，如遇有测试不成功的情况，需要在原孔附近选择合适位置重新打孔测试，要求两孔间距不小于 2000 mm。

5. 测试设备及工具

- 1) 测试仪器与工具
 - ① 矿用防爆带存储功能的高精度数字采集仪：1 台；
 - ② 安装杆件：每根 1500 mm，共约 14,000 mm；
 - ③ 定向仪：1 个；
 - ④ 喇叭孔及安装孔钻头 $\Phi 127$ mm：3 个；
 - ⑤ 空芯包体应力计：5 个；
 - ⑥ 均匀围压试验滤定仪及其辅助工具：1 台。
- 2) 需要矿上协助准备的设备及工具
 - ① 地质钻机：1 台；
 - ② $\Phi 63.5$ mm 或 $\Phi 50$ mm 钻杆：长约 16,000 mm；
 - ③ $\Phi 142$ (或 $\Phi 150$) 的钻头：1 个；
 - ④ 1000 mm 长的 $\Phi 127$ 岩芯管：1 根；
 - ⑤ $\Phi 127$ 取芯钻头及变径短接：1 套
 - ⑥ 上下钻杆的管钳及扳手等：若干。

6. 测试结果分析

用取芯钻头套取岩芯实施应力解除过程大致可以划分为 3 个阶段：1) 开始解除至解除距离大约 100~150 mm 距离阶段，应变曲线平缓，应变随解除距离的变化幅度很小，说明钻头尚未推进至应变片的位置，称为无应力影响区；2) 当应力解除至 150~200 mm 范围，此时各应变片的应变值随解除距离的增加迅速增大，称为应力弹性释放区；3) 随着解除距离超过 200 mm 后，应变值又趋于平缓，且在很小范围内上下波动，标志着应力解除过程的结束，此时称为应变稳定区。明显经历过这 3 个阶段的应力解除曲线可认定为正常的，可以此作为地应力计算的依据，见图 6。

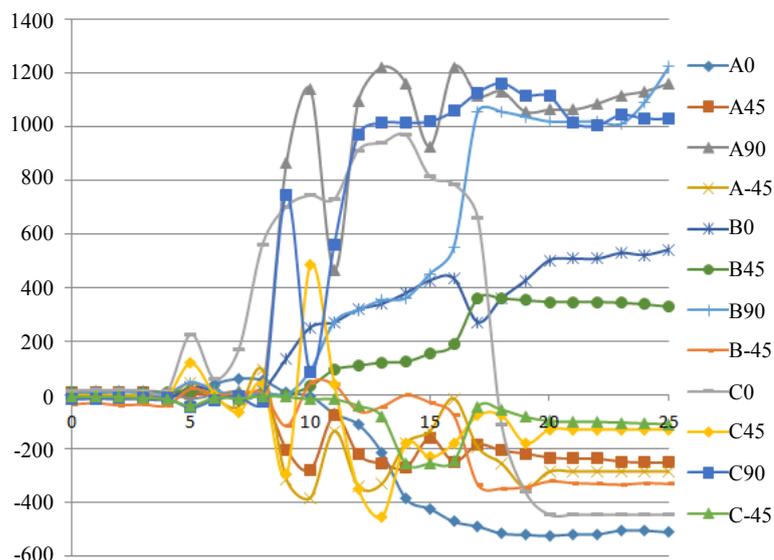


Figure 6. Stress relief process curve

图 6. 应力解除过程曲线

7. 结语

1) 空心包体应力计测试地应力的主要原理是依据套取 $\Phi 127$ mm 岩心过程中岩石卸压回弹变形来推演地应力的方向和大小，故由于煤体富含节理裂隙，在套取岩心过程中极易破碎成小块儿或煤饼，无法监测到应力解除过程中的回弹变形情况。所以，为了有效测取实验数据减少实验失败次数，空心包体应力计的安装位置必须为相对较为完整的岩石。

2) 由于地应力测试过程是一个非常细致的工作，如果钻孔质量不好，如大小孔不能同心，大小孔的实际尺寸测量或计算不准确等，都将导致空心包体不能准确安装到位，从而导致测试过程的失败。因此，根据试验技术要求，需要地质、打钻等工程技术人员和熟练的钻机操作工。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(51574005)。

参考文献

- [1] 蔡美峰. 地应力测量原理和技术[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [2] 蔡美峰, 郭奇峰, 李远, 等. 平煤十矿地应力测量及其应用[J]. 北京科技大学学报, 2013, 35(11): 1399-1406.
- [3] 蔡美峰. 地应力测量原理和方法的评述[J]. 岩石力学与工程学报, 1993, 12(3): 275-283.
- [4] 王连捷, 王薇. 多种方法得到的地应力测量资料的综合处理[J]. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 1989(12): 159-170.
- [5] 康红普, 等. 煤岩体地质力学原位测试及在围岩控制中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [6] 白世伟, 丁瑞. 空心包体应力测量的几个问题[J]. 岩土力学, 1992, 13(1): 81-84.
- [7] 白金朋, 彭华, 马秀敏, 等. 深孔空心包体法地应力测量仪及其应用实例[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(5): 902-908.
- [8] 刘允芳, 刘元坤. 围压试验在空心包体式应变计地应力测量中的作用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(23): 3932-3937.
- [9] 高会春, 杨胜利, 刘新杰, 等. 空心包体地应力测试方法与工程应用[J]. 煤炭工程, 2015, 47(4): 83-85, 89.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-7301，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：me@hanspub.org