

# 快速响应氢氧化钙质效测定方法

苟 忠<sup>1</sup> 陈益能<sup>1</sup> 王斌斌<sup>2</sup>

(1. 国家矿山应急救援芙蓉队; 2. 北京赛克德利科技有限公司)

**摘 要** 氢氧化钙在矿井开采、救援等行业中发挥重要作用, 常被用于呼吸器或者自救器, 因此其吸收二氧化碳的质效测定直接关系到生产安全。常规的测试仪器占地面积大, 操作复杂, 使用时间长, 使得很多救援队不能很便捷快速地测试出二氧化碳的质效。本团队开发的 JC-I 型氢氧化钙质效测试设备, 采取电化学方法测试目标氢氧化钙在特定体积溶液中的氢氧根离子浓度, 通过公式计算并结合自主开发程序来推算所测试氢氧化钙样品的二氧化碳吸收率。经过多次采样进行实验证实, 本测试方法数据可靠, 且响应速度快, 从测试到读数小于 3 s, 操作步骤少, 一次测试需要样品少, 仪器占地面积小, 很适合被推广应用。

**关键词** 氢氧化钙 质效测定 pH 值 二氧化碳吸收率

## 1 概述

在矿山救援过程中, 受灾区环境中有毒有害气体的制约, 救援人员经常需要佩戴隔绝式氧气呼吸器进行作业, 当氧气呼吸器中清净罐内二氧化碳吸收剂存在质量问题时, 会造成氧气呼吸器内二氧化碳浓度偏高, 从而影响救援人员健康甚至危及生命。通常大气中的二氧化碳正常含量是 0.04%, 当二氧化碳的浓度达 1% 时会使人感到气闷、头昏、心悸, 达到 4% ~ 5% 时人会感到气喘、头痛、眩晕, 而达到 10% 的时候, 会使人体机能严重混乱, 使人丧失知觉、神志不清、呼吸停止而死亡。通常二氧化碳中毒后迅速采取通风、吸氧等方法可以对病者进行有效的救护, 对患者造成的损伤较小, 然而长时间的二氧化碳中毒会造成不可逆的损伤甚至死亡。按照行业标准规定, 隔绝式正压氧气呼吸器呼吸量为 30 L/min 时, 吸气中的二氧化碳浓度应不大于 1.0%。<sup>[1]</sup>目前国内外隔绝式氧气呼吸器使用的二氧化碳吸收剂主要为氢氧化钙吸附剂。

氢氧化钙吸附剂是一种特制的专门用于氧气呼吸器的二氧化碳吸收剂, 因为它所含的主要成分是氢氧化钙, 所以人们习惯上就叫它“氢氧化钙”, 实际上氢氧化钙吸附剂是一种混合物, 主要成分为氢氧化钙, 有极少量氢氧化钠, 微量的碳酸钙、碳酸钠等杂质, 其余为水分。氢氧化钠可提高低浓度二氧化碳的吸收效能, 有较强的潮解能力, 能使吸收剂保持必要的湿度。水分含量影响二氧化碳的吸收反应速率, 含水量比标准值过高或过低都会降低吸收剂效能。氢氧化钠含量越多, 吸收二氧化碳的速度越快, 吸收水分也越容易, 反应产生的热量也越多, 同时也易发生潮解和粘连现象。在存放过程中, 久置的氢氧化钙因为吸收了空气中的二氧化碳而部分变质, 因此在矿山行业中按照二氧化碳的吸收率  $X$

来衡量所使用氢氧化钙是否满足使用需求。根据中华人民共和国煤炭行业标准规定，对于应用于呼吸器的氢氧化钙，其二氧化碳的吸收率  $X$  应不小于 33%，应用于自救器的二氧化碳的吸收率  $X$  应不小于 35%。因此对氢氧化钙的二氧化碳吸收率测定非常重要<sup>[2]</sup>。然而目前救护大队使用的测试方法复杂，仪器占地面积大，这些条件均限制了氢氧化钙的及时测试与使用。更多大队受条件限制，甚至没有测试设备。在这种情况下，开发一款占地面积小、操作简单、响应迅速的二氧化碳吸收率测试设备，对矿山救援与安全生产来说非常有必要。

从原理上来分析，氢氧化钙吸收二氧化碳的有效成分可以归功于样品中的氢氧根，通过测试所含氢氧根的量可计算出二氧化碳的吸收能力，因此本团队开发 JC-I 氢氧化钙质效测试设备，通过电化学方法，快速有效地测量氢氧根离子浓度，并使用自主开发的软件进行计算，让用户可以快速直接读出其所使用样品的二氧化碳吸收率。大大提高了所使用产品的被检查概率。

## 2 仪器组成与操作方法

### 2.1 仪器组成

JC-I 氢氧化钙质效测试设备主要设备为电子酸碱度分析测定仪一台，分析软件或对照表一套。采用 pH 酸碱分析法快速、准确判断氢氧化钙的质效，比对出二氧化碳吸收率等主要技术指标（图 1）。



图 1 二氧化碳吸收率计算界面

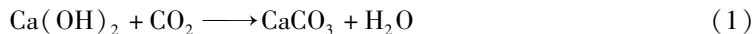
### 2.2 操作方法

- (1) 打开电子酸碱度分析测定仪，按照说明对设备进行校准，一次校准后可多次使用。
- (2) 称取一定量待测样品，按照一定比例放入纯净水中，搅拌后，取上层液体测试。
- (3) 将所测得数据输入到所配备软件中，直接读取二氧化碳吸收率。

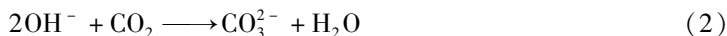
### 3 结果与分析

#### 3.1 原理介绍

对于单位质量的氢氧化钙或者其他碱性颗粒，其吸收二氧化碳的原理可以简单表示为以下方程式：



简化为



对于样品中的非氢氧根类碱性氧化物，如氧化钙（CaO），其与二氧化碳反应方程式亦可简化为方程式（2）。

由上可知通过测试溶液中的  $\text{OH}^-$  离子浓度就可推算出其吸收二氧化碳的能力，也就是二氧化碳吸收率，如下公式所示：

$$X = \frac{22V \times 10^{(\text{pH}-14)}}{m}$$

式中  $X$ ——二氧化碳吸收率；

$\text{pH}$ ——溶液所测得  $\text{pH}$  值；

$m$ ——待测样品总质量，g；

$V$ ——待测样品所配溶液总体积，L。

在此处，由于氢氧化钙在水中溶解度限制，因此测试时需要注意注意  $V:m$  须大于 2，如，0.1 g 待测样品所需水溶液不低于 0.2 L。

所测得样品可按照表 1 进行对比。

表 1 二氧化碳吸收率对照表

pH 值	二氧化碳吸收率/%	对应氢氧化钙浓度	pH 值	二氧化碳吸收率/%	对应氢氧化钙浓度
12.130768	59.46	100（基本不可能）	11.7	22	
11.901	35.031	自救器所需最低值	11.2	6.97	基本无效
11.875	32.995	呼吸器所需最低值	11.1	5.5	基本无效
11.85	31.15		11	4.4	基本无效
11.8	27.76				

#### 3.2 电子酸碱度分析测定仪自检方法

使用 JC-I 氢氧化钙质效测试设备准确测定二氧化碳吸收率的关键操作步骤在于准确地校正电子酸碱度分析测定仪。影响电子酸碱度分析测定仪校准的原因主要有两方面：

(1) 标校缓冲液失效。

(2) 酸碱度分析测定仪电极故障。标校缓冲溶液真实  $\text{pH}$  值会受温度影响而发生变化，在使用过程中，应注意适用的环境温度。在多次使用时同一标准缓冲溶液时，插入的电极应冲洗干净且擦拭干净，防止将杂质和水带入标校缓冲溶液中改变标校缓冲溶液  $\text{pH}$  值。酸碱度分析测定仪电极故障后，将产生系统测量误差，导致测得的待测溶液  $\text{pH}$  值偏离待测溶液的真实  $\text{pH}$  值。

间断使用电子酸碱度分析测定仪时，每次使用前应对仪器进行校准标定。用指定的两种或三种不同 pH 值的标校缓冲液对电子酸碱度分析测定仪进行校准操作。线性校准完成后，抽取其中一瓶碱性标校缓冲溶液进行复查，测得的 pH 值接近标校缓冲液的标称值，满足误差要求，则电子酸碱度分析测定仪完好，可进行氢氧化钙吸收率测定操作（表 2）。

表 2 电子酸碱度分析测定仪校准结果

名称	标校溶液 1		标校溶液 2		标校溶液 3		复查标校溶液	
	溶液温度/℃	pH 值	溶液温度/℃	pH 值	溶液温度/℃	pH 值	溶液温度/℃	pH 值
标校溶液标称值	17.3	6.86	17.8	4	17.8	9.18	17.8	9.18
校准操作显示值	17.7	6.94	18	3.89	17.4	9.23	17.5	9.20

实验数据表明：复查测得的 pH 值接近标校缓冲液的标称值，电子酸碱度分析测定仪校准后，线性相关度高，测得数据准确可靠。

### 3.3 结果分析

将电子酸碱度分析测定仪校准完成后，选择不同厂家、不同批号的氢氧化钙进行测试。分别取 0.2 g 氢氧化钙药剂，加入不同编号的 400 mL 蒸馏水烧杯中，充分搅拌、溶解后，分别测得各烧杯中氢氧化钙溶液 pH 值，具体结果见表 3。

表 3 氢氧化钙溶液 pH 测量值及吸收率

编号	装药前质量/g	装药后质量/g	药量/g	pH 值	温度/℃	实际吸收率/%
编号 1	26.6668	26.8664	0.1996	11.886	16.9	33.841
编号 2	26.6661	26.8644	0.1983	11.871	16.8	32.690

通过实验测得不同氢氧化钙溶液的 pH 值数据准确、可靠，平行实验结果的偏差度小，计算得出的二氧化碳吸收率符合实际情况。

## 4 评价

使用 JC-I 氢氧化钙质效测试设备测定二氧化碳吸收率，具有以下特点：

(1) 操作程序简单、速度快，避免了传统分析方法在夏季高湿度环境中使用无水氯化钙时因潮解吸水而带入的测量误差。

(2) 平行实验重复性好，测量结果相差度小，避免了传统分析方法二氧化碳气源减压阀不稳定而导致流量、压力变化情况。

(3) 单个样品测定时间短，适用于批量抽查工作。传统分析方法测定一组氢氧化钙试样吸收率需要至少 1 h 才能完成，使用 JC-I 氢氧化钙质效测试设备，单个氢氧化钙试样测定只需 5 min 左右，有效地提高了工作效率。

(4) 相对于传统分析方法，JC-I 氢氧化钙质效测试设备的消耗药品中无浓硫酸和二氧化碳等有毒有害化学药品，降低了药品管理难度，减少了操作过程可能出现的意外伤害事故。

## 5 结论

本团队开发的 JC-I 型氢氧化钙质效测试设备, 采取电化学方法通过测试目标氢氧化钙在特定体积溶液中的氢氧根离子浓度, 通过公式计算并结合自主开发程序来推算所测试氢氧化钙样品的二氧化碳吸收率。经过多次采样进行实验证实, 本测试方法数据可靠, 且响应速度快, 从测试到读数小于 3 s, 操作步骤少, 一次测试需要样品少, 仪器占地面积小, 很适合被推广应用。

### 参 考 文 献

- [1] 煤炭工业煤矿安全标准化技术委员会. MT 867—2000 隔绝式正压氧气呼吸器[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [2] 煤炭工业煤矿安全标准化技术委员会. MT 454—2008 隔绝式氧气呼吸器和自救器用氢氧化钙技术条件 [S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.