

# 几种矿用低速风洞的结构分析及其性能比较

## Structural Analysis of Several Kinds of Low Speed Wind Tunnel for Mining and Its Performance Comparison

付建涛

(中煤科工集团重庆研究院,重庆 沙坪坝 400037)

**摘要:** 矿井通风是矿井安全生产的基本保障,它对随时掌握井巷风速、风量的变化情况,保证矿井的安全生产具有重要的指导意义。详细介绍了现有闭口直路式、闭口单回流式和开式三种矿用低速风洞的结构、工作原理及使用要求,分析了它们各自的优缺点,以便相关从业人员更好地了解和利用这三种风洞,以进一步提高检测水平。

**关键词:** 矿井通风 安全生产 矿用低速风洞 仪器仪表 采样装置

**中图分类号:** TD0      **文献标志码:** A

**Abstract:** Mine ventilation is the basic guarantee for mine safety production, keep attention to the variation of wind speed and air volume in mining roadway is significant to the safety of production. The structure, working principle and operational requirement of three types of the existing low speed wind tunnels for mining, i. e., the closed circuit straight line wind tunnel, the closed circuit single return flow wind tunnel and the open circuit wind tunnel, are introduced. The advantages and disadvantages of these three types of wind tunnels are analyzed, so that the related practitioners can understand and use these three wind tunnels properly, and the detection level can be improved further.

**Keywords:** Mine ventilation Safety production Low speed wind tunnel for mining Instrumentation Sampling device

### 0 引言

目前,我国煤矿安全生产形势严峻<sup>[1]</sup>、重特重大事故频发,专家在对大量事故进行调查分析中发现绝大多数瓦斯爆炸<sup>[2]</sup>的原因都涉及矿井通风<sup>[3]</sup>问题。矿井通风是煤矿生产中治理瓦斯、火灾、粉尘灾害的常用有效手段,是矿井安全生产的基本保障。通风一方面能向井下各用风点连续输送足够的新鲜空气,保证井下作业人员的人身安全、改善劳动环境;另一方面还能够稀释并排出各种有害气体和浮尘,降低环境温度,创造良好的作业环境,并能够在发生灾变时,配合其他措施,根据撤人救灾的需要调节和控制风向及风量,防止灾害的扩大。国家在2002年提出了“先抽后采、监测监控、以风定产”的瓦斯治理十二字方针<sup>[4]</sup>。其中“以风定产”<sup>[4]</sup>是指在通风能力允许的情况下生产,这是防治瓦斯最重要的管理措施,也是防止井下瓦斯积聚的先决条件。掌握煤矿井下风速、风量的变化情况,对矿井的安全生产具有重要的指导意义。矿用低速风洞<sup>[5]</sup>作为检定和检测矿用风速仪表的标准装置,其准

确性尤为重要。本文通过详细介绍目前我国煤矿行业使用的矿用低速风洞,分析其各自优缺点,以便更好地使用和提供检测检验技术。

### 1 矿用低速风洞的结构

能造成气流流动并能其中进行空气动力学试验的装置叫风洞,它是从航空部门引进的。风洞应用广泛,按气流速度分类,可分为六大类,如表1所示<sup>[6]</sup>。表1中, $M$ 为马赫数,即流体的相对速度与音速之比。在标准大气压下,当温度为15℃时,音速为340.8 m/s。

表1 风洞类型与气流速度

Tab.1 Types of wind tunnels and airflow velocity

风洞类型	工作段气流马赫数
低速风洞	$0.0 < M \leq 0.4$
高速风洞	$0.4 < M < 0.8$
跨音速风洞	$0.8 < M < 1.4$
超音速风洞	$1.5 < M < 5.0$
高超音速风洞	$0.5 < M < 10.0$
特高超音速风洞	$M > 10.0$

通常,用于矿用风速仪表检测等工程流体力学试验的低速风洞称为矿用低速风洞。它是当前世界各国检定风速表、风速传感器和皮托管的主要装置。这里着重介绍当前我国用于风速仪表检测的几种风洞。

修改稿收到日期:2013-05-15。

作者付建涛(1980-),男,2003年毕业于太原理工大学安全工程专业,获学士学位,工程师;主要从事矿用安全仪器仪表的计量、检测检验及研究工作。

### 1.1 闭口直路式风洞

闭口直路或风洞分为单工作段和双工作段两种。为了提高低速风表检定结果的准确度,我国目前普遍采用双工作段风洞,其组成如图1所示。

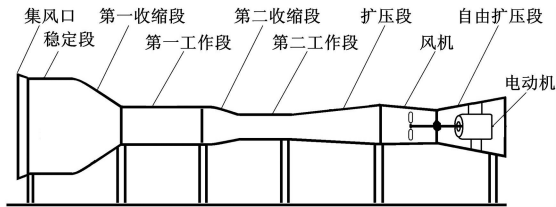


图1 闭口直路式风洞示意图

Fig.1 Schematic diagram of the closed circuit straight line wind tunnel

双工作段风洞各组成部分的作用如下。

① 集风口:气流汇集流入风洞的入风口。

② 稳定段:它通常是一个等截面段,内设有蜂窝器和阻尼网。气流流经蜂窝器,引导直气流的方向,使它的流向与风洞轴线一致。阻尼网是目数较小的铜丝网,气流通过阻尼网,清除流动中产生的旋涡。气流经过稳定段后,沿风洞轴线平直、均匀、稳定地向前流动。

③ 收缩段:其作用是将由稳定段流来的气流加速,使流入工作段的气流达到试验所需要的速度。

④ 工作段:它是检测风速仪表、皮托管和进行其他空气动力学试验的场所。因此,要求工作段的气流以分布均匀、稳定并沿风洞轴向的速度流动。工作段气流的轴向静压梯度、紊(喘)流度等也必须根据风洞的用途加以设计、计算。

⑤ 扩压段:亦称扩散段,断面尺寸以一定扩散锥角扩大,逐渐降低从工作段流出的气流速度,使气流的一部分动压转变为静压,减少风洞的能量损失。风洞的能量损失与气流速度的三次方成正比,所以气流流经工作段后,应尽可能降低其流速。

⑥ 风机:它由圆形管道、叶轮、电机、调速系统和支脚架组成。在风机的作用下,气流在风洞的进出口造成压差促使其流动。在风洞内流动的气流由于摩擦、断面积的扩大或缩小等原因,会造成一定的能量损失,因此为了保证工作段在检测或进行其他试验时达到所要求的气流速度,必须通过动力系统对损失的能量加以调节和补充。

### 1.2 闭口单回流式风洞

闭口单回流式风洞<sup>[7]</sup>同样分单工作段和双工作段两种。用于风速表、皮托管检定的风洞是闭口单回流式双工作段风洞。

闭口单回流式风洞的组成如图2所示。

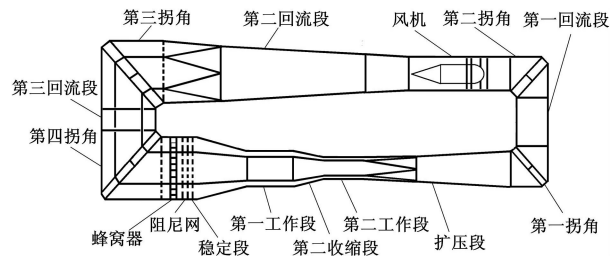


图2 闭口单回流式风洞示意图

Fig.2 Schematic diagram of the closed circuit single return flow wind tunnel

当检定风表、皮托管时,被检仪表、检测仪表的安装位置与闭口直路式双工作段风洞相同。

闭口单回流式双工作段风洞主要组成部分与闭口直路式双工作段风洞基本相同,工作面都是封闭的,不同点在于回流式是环形,气流在风洞内循环;直路式是流入实验室,实验室是一个不很规则的回流道。

### 1.3 开式风洞

开式风洞的组成如图3所示。

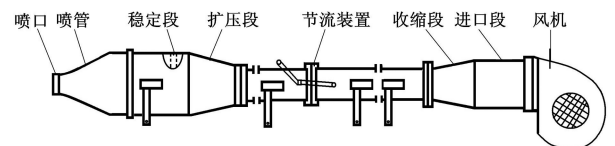


图3 开式风洞示意图

Fig.3 Schematic diagram of the open circuit wind tunnel

开式风洞的风机即动力段(包括风机、电机、调整装置和支脚架)。开式风洞的动力段所用风机为离心式风机,以压风的形式将气流压入风洞内,然后由喷嘴以自由射流的形式喷出。

开式风洞的收缩段、扩压段、稳定段的作用与闭口直路式或闭口单回流式风洞的作用相同,其余组成部分作用介绍如下。

① 喷嘴:作用是使喷出的气流加速,以达到试验所需的风速要求。喷嘴进出口断面比不应小于4,否则难以保证喷出的自由射流能形成均匀、稳定的风速区。

② 节流装置:习惯称为孔板流量计。它是通过补偿微压差计测取孔板前后压差来计算实际风速的计量装置。孔板必须按国家标准加工制造,孔板直径和安装孔板管道直径之比应在0.2~0.8之间。

③ 开式风洞的工作段,亦即喷嘴外的自由射流区:当风速为0.2~5 m/s时,工作区域应在喷嘴出口处的 $\frac{1}{2}$ 倍喷嘴直径处;当风速大于5 m/s时,工作区域应在喷嘴直径处。

## 2 矿用低速风洞的要求

### 2.1 性能要求

#### ① 外观要求

风洞的外观应整洁、美观;内壁应光滑、无凹凸不平;观察窗、孔及各段连接处应封闭严密、不漏气<sup>[8]</sup>。

#### ② 主工作段直径要求

闭口直路式和闭口单回流式风洞的主工作段(双工作段风洞第一工作段)断面直径要求应不小于 250 mm;开式风洞的喷口直径应不小于 150 mm。

#### ③ 工作段风速性能要求

矿用低速风洞的风速范围应大于风表的测量范围,气流均匀性不大于 1.50%,气流稳定性不大于 0.50%。

#### ④ 工作段阻塞比及收缩比要求

闭口直路式或闭口单回流式单、双工作段风洞,风表在工作段内的阻塞比应不大于 5%,其工作段直径应不小于 250 mm。双工作段风洞总收缩比应不小于 10;单工作段风洞收缩比应不小于 4;开式风洞的喷口直径应不小于 150 mm,收缩比应不小于 4,风表直径不大于喷口直径的 60%。

#### ⑤ 工作环境温度要求

矿用低速风洞工作的环境温度应为 5~35℃。

### 2.2 安装要求

矿用风速仪表检定装置应安装在实验室内。闭口单回流式风洞与四周墙壁的距离应不小于 1 m;闭口直路式风洞进出风口与前后墙壁的距离应不小于集风口直径,两侧与墙壁的距离应不小于 1 m;开式风洞喷口、出口与墙壁的距离应不小于 1.5 m,两侧与墙壁的距离应不小于 1 m。在上述距离范围内应无障碍物,进行风表检定或检验时,应关闭好门窗,避免外界气流的干扰。

## 3 优缺点分析

### 3.1 闭口直路式风洞

#### ① 优点

相比闭口单回流式风洞,闭口直路式风洞占地面积较小,工作段风速均匀、稳定,使用皮托管和数字精密微差压计做标准风速采样装置时可通过计算机软件实现自动检验。

#### ② 缺点

由于闭口直路式风洞的动力段采用轴流式风机,以抽风的形式将气流经集风口抽入风洞内,在工作段形成均匀、稳定的气流,然后由扩压段排放在实验室

内。气流在实验室内往复循环,因此易受外界气流干扰,试验时需关闭门窗,试验人员不能来回走动。另外,该结构的风洞采用皮托管和补偿式微差压计做标准风速采样装置时,无法准确测量 0.5 m/s 以下的风速值,基本靠试验人员的经验估读。

### 3.2 闭口单回流式风洞

#### ① 优点

闭口单回流式风洞采用环形结构,风流在风洞内往复循环,不易受外界气流干扰,使用皮托管和数字精密微差压计做标准风速采样装置时可通过计算机软件实现自动检验。

#### ② 缺点

由于闭口单回流式风洞采用环形结构,风流在风洞内循环,长时间工作时,风流受风洞内壁的摩擦,风洞内部温度会不断升高,而规程和标准中要求检定或检验一台风速表前后温差不能超过 1 K。

### 3.3 开式风洞

#### ① 优点

开式风洞在三种风洞中占地面积最小,由于采用标准孔板组和差压计作为标准风速采样装置,该结构风洞测量微风速比前两种结构风洞更准确。

#### ② 缺点

开式风洞的工作段在喷口外的自由射流区,比闭口直路式风洞更易受外界气流干扰,测量一台风速仪表需要多次更换孔板,更易发生老化漏气的现象,也因为该原因,开式风洞不能完全实现自动检测。

## 4 结束语

矿用低速风洞是当前煤矿行业用于风速仪表的标准装置,作为从事风速仪表计量检定或检验的人员应了解日常使用的标准装置的结构及其优缺点,以便更好地使用和提供检测检验技术。

### 参考文献

- [1] 金钊. 我国煤矿事故的特征及微观原因分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(6): 104-106.
- [2] 周心权, 吴兵, 徐景德. 煤矿井下瓦斯爆炸的基本特性[J]. 中国煤炭, 2002, 28(9): 8-11.
- [3] 程卫民, 辛嵩, 刘伟韬. 矿井通风与安全[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009: 11-15.
- [4] 武建国. 解读“十二字方针”[J]. 煤矿安全, 2008, 399(2): 108-109.
- [5] 胡宗雄. KBF-1-19 型矿用风洞[J]. 煤炭工程师, 1988(2): 1-8.
- [6] 武际可. 说说风洞[J]. 物理教学, 2009, 31(6): 2-5.
- [7] 郑建光, 任海洋, 聂年晓. 回流式低速风洞流动特性的研究[J]. 中国计量学院学报, 2006, 17(3): 212-216.
- [8] 煤炭工业部. JJG(煤炭)02-96 矿用风速测量仪表检定装置[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.