

# 正交设计厂房自然排出氨气影响因素数值分析

庄心乐

华东师范大学第二附属中学 上海 200000

DOI:10.12238/etd.v3i4.5285

**摘要：**在工厂厂房中，可能会出现储存氨气的容器出现破损而导致氨气泄漏的情况。而厂房内的空气流通状况对氨气是否能够快速排出厂房起到了较大的作用。本文主要探究特定厂房的进风口和出风口对于氨气排出效率的影响，运用 CFD 软件建立了厂房自然排出氨气的模型，并对该工厂内的流场风速和氨气密度进行了数值计算，而后使用正交试验，比较了进风口和出风口位置对于厂房内排出氨气的影响，从而对厂房内的自然通风进行优化。

**关键词：**厂房；自然通风；CFD；正交设计；流场

**中图分类号：**TQ12 **文献标识码：**A

## Numerical Analysis of Influencing Factors of Natural Discharge of Ammonia in Orthogonal Design Plant

Xinyue Zhuang

No.2 High School of East China Normal University Shanghai 200000

**Abstract:** In factories, ammonia leakage may occur due to breakage of the storage container. The air circulation in factories plays a great role in whether ammonia can be discharged quickly. In this paper, we explore the specific plant air inlets and outlets for ammonia discharge efficiency. CFD software was used to analyze the influence of the design of the factory, the model of natural ammonia discharge, and the numerical calculation of the flow field of wind speed and ammonia density. Then, we compared the inlets and outlets position within the ammonia plant, in order to optimize the natural ventilation in the workshop.

**Keywords:** Workshop; Natural ventilation; CFD; Orthogonal design; Flow field

### 前言

现如今，氨气在不同的产业中发挥作用，也就催生了各式各样的厂房的建立。近年来在氨气的各种用法被发现之后，对氨气的需求上涨，也就对氨气的存储条件提出了新的要求。在发生意外情况的时候，比如氨气在厂房内发生泄漏，厂房的通风条件将发挥巨大作用。如果厂房内的有毒气体氨气不能被及时排出，则将极有可能对工作人员的人身安全造成威胁。

目前研究流场的主要方式是通过计算机模拟，CFD (Computational Fluid Dynamics) 计算流体力学是被广泛使用的一种方法，本文也采用该方法进行通风结构的优化。它可以从计算方法出发，利用计算机快速的计算能力得到流体控制方程的近似解。其中，马隽湫，廖晓玲，李海航，王强，金建波，赵哲明，陈卫平等人运用 CFD 技术对某封闭氨气厂房内氨气泄漏扩散规律进行了模拟计算，这对于本文有一定的参考价值。

本文主要探究的是特定厂房内进风口和出风口的位置设置对于氨气自然排放的影响。运用 CFD 软件建立了厂房内氨气流动的数学模型，而后采用正交试验，比较分析了进风口和出风口在不同位置对于厂房内空气和氨气的混合气体的流场的影响，从而对厂房内的自然排风进行优化。

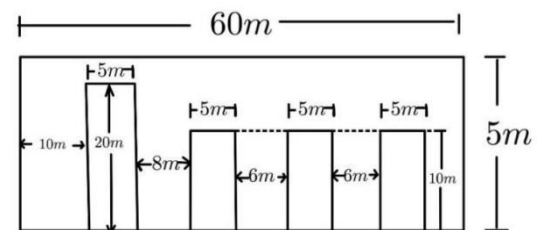
### 1 数值模拟方法

#### 1.1 基本假设

- (1) 氨气泄漏后流量固定，不考虑流量不稳定的情况；
- (2) 氨气泄漏过程中不考虑温度的影响；
- (3) 不考虑空气的压缩与膨胀现象。

#### 1.2 物理模型

本文选取的研究对象为一氨气厂房，厂房及氨气罐尺寸如下图所示：（单位：m）设计了三种进出口方案，具体见后续介绍。



本文选用 Ansys15.0 软件求解。在自然通风的情况下，经过对于厂房内部以及进出风口的雷诺数的计算，厂房内的气流应为湍流，因此采用 k-ε 湍流模型进行计算。

#### 1.3 数值模型

连续性方程：

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

动量方程：

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu_{eff} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{\partial P}{\partial x_j} \quad (2)$$

描述湍流运动的  $k - \varepsilon$  双方程模型：

$$k \text{ 方程: } \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G - \rho \varepsilon \quad (3)$$

$\varepsilon$  方程：

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \left[ \frac{C_{\varepsilon 1} G \varepsilon}{k} - \frac{C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon^2}{k} \right] \quad (4)$$

其中， $G = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ ；有效粘度

$$\mu_{eff} = \mu_l + \mu_t = \mu_l + \rho C_\mu k^2 / \varepsilon ; \quad (5)$$

模型中的常数采用 Spalding 所推荐的如下数据：

$$C_{\varepsilon 1} = 1.43, C_{\varepsilon 2} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_K = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

#### 1.4 网格划分和边界条件设置

厂房的几何模型和边界条件设置如下图 1 所示，但这仅仅只是初始模型。在各出入口处均有至少三层边长小于等于 0.1 米的网格在设置边界条件时，地面、墙壁、屋顶以及氨气罐设置为“墙壁”边界条件；进风口设置为速度边界条件，其中进风速度为 1m/s；出风口设置为压力出口“边界条件 1”。

本文主要研究的要素为进风口和出风口，因此厂房的几何模型也会做出相应的更改。对几何模型进行网格化划分，使进风口和出风口至少包含三层网格，并且在划分完成后对结果进行检查和修正，尽量使各网格呈现四面体，网格数量大约为 130000 个，网格分配如图 2 所示。

## 2 实验方案和结果分析

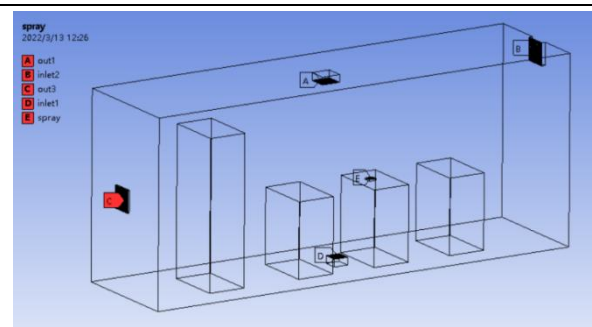


图 1 厂房内几何结构及条件设置

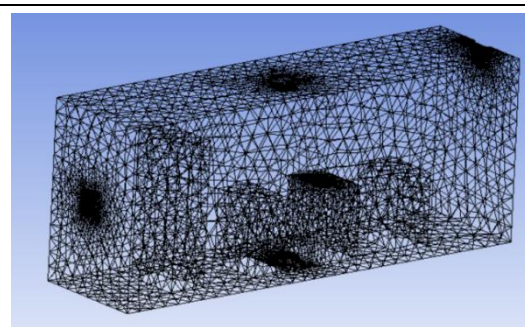


图 2 厂房内几何结构的网格划分

### 2.1 三种实验方案介绍

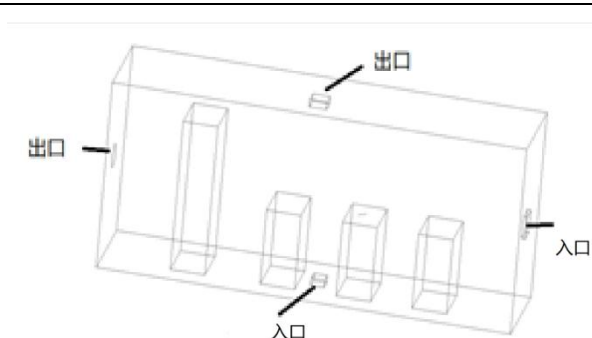


图 3 方案一通风结构示意图

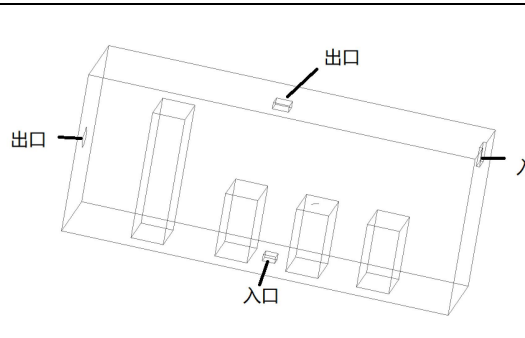


图 4 方案二通风结构示意图

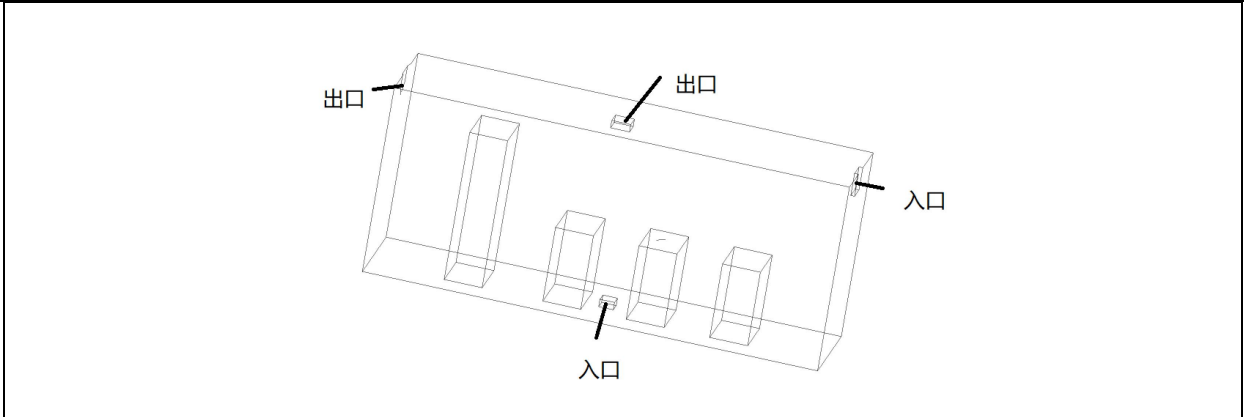


图 5 方案三通风结构示意图

三个方案中各有两个进风口和两个出风口，一个出风口固定在厂房顶部的正中央，一个入风口固定在厂房底部正中央。方案 1 中另外的一个进风口和出风口都在厂房两侧的中央；方案 2 中的进风口位于厂房右侧的顶点，出风口位于厂

房左侧的中点；方案 3 中的进风口和出风口皆位于厂房的顶部。

2.2 三种方案的流场结果

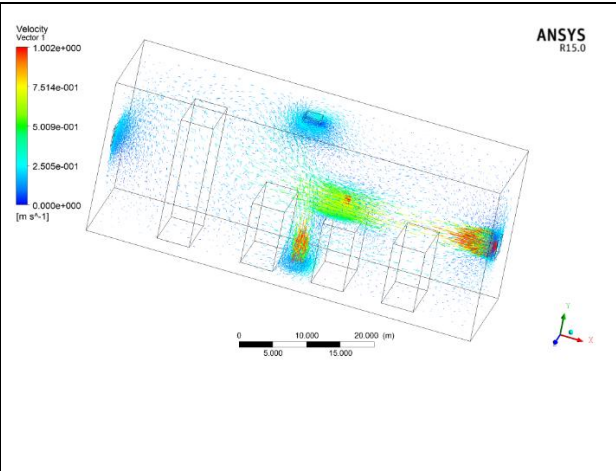


图 6 方案一流场结果

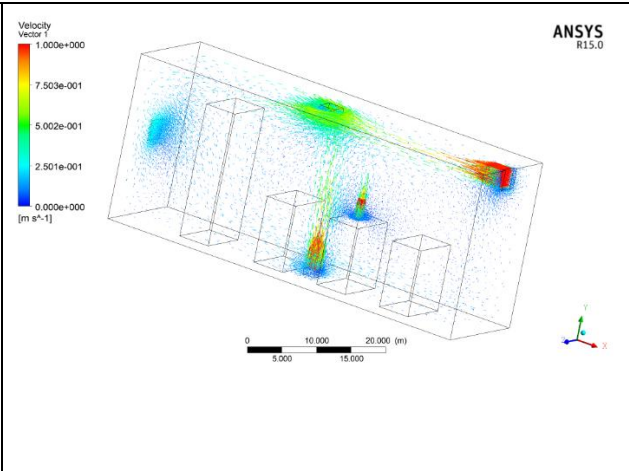


图 7 方案二流场结果

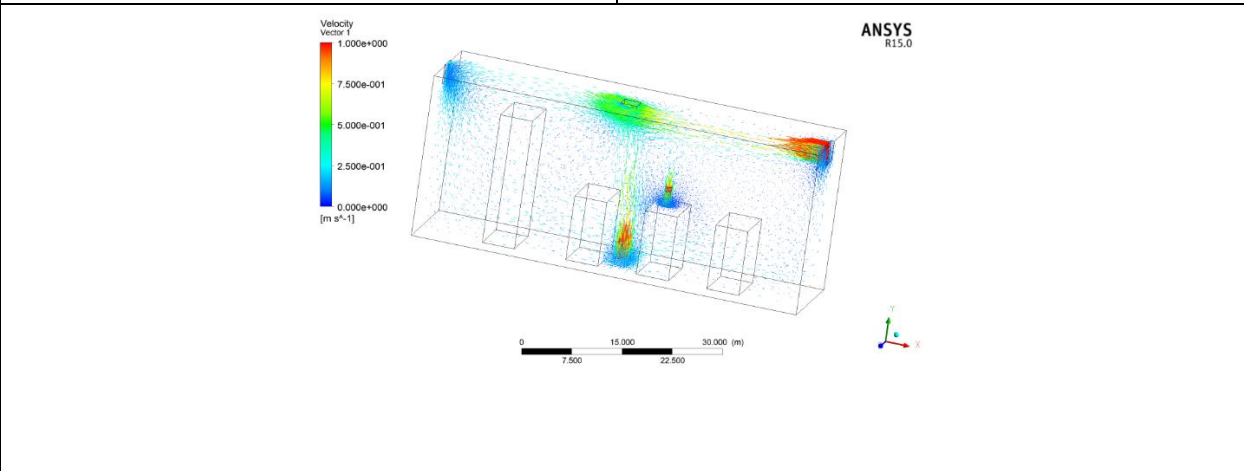


图 8 方案三流场结果

根据上图的矢量图，可以得出氨气在 100 秒的时间内便能够扩散至整个厂房空间。两处入口处进入的空气在厂房半

空中相汇，向上方的出口或向左侧的出口移动。即使在方案二和方案三中的气体相较于在方案一中的流速更快，但因为

其气体流向方向并非向出口离开，所以氨气的排除效率并不算高。

### 2.3 三种方案的气体扩散图分析

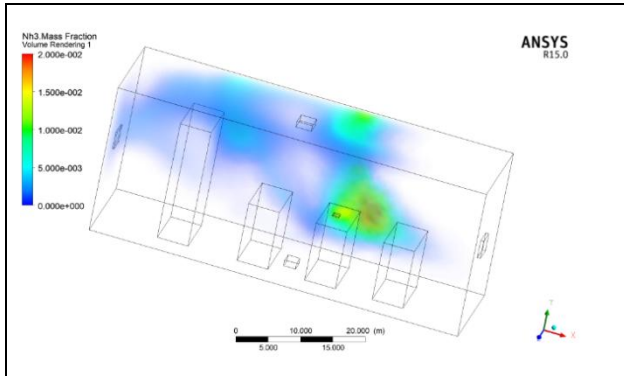


图9 方案一氨气扩散及残留位置（视角一）

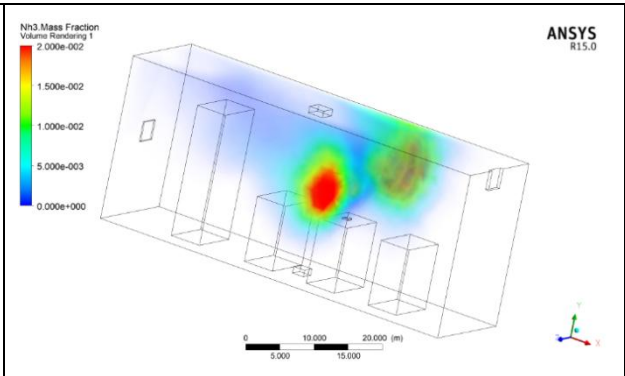


图10 方案二氨气扩散及残留位置（视角一）

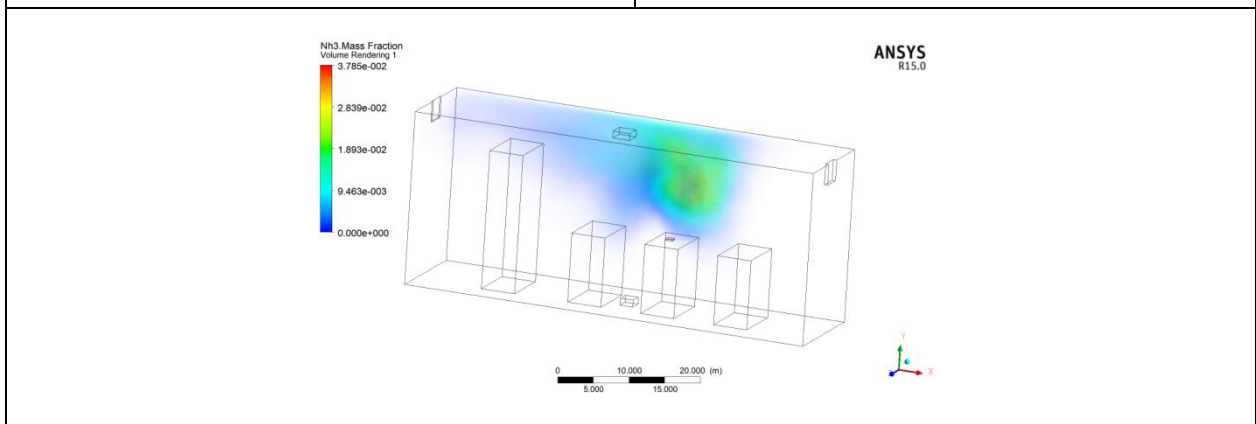


图11 方案三氨气扩散及残留位置（视角一）

侧视图：

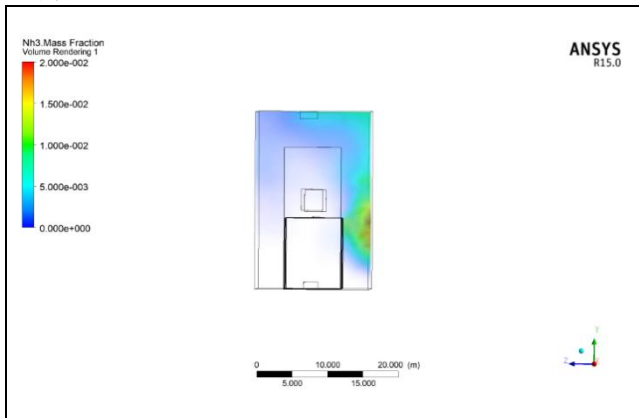


图12 方案一氨气扩散及残留位置（视角二）

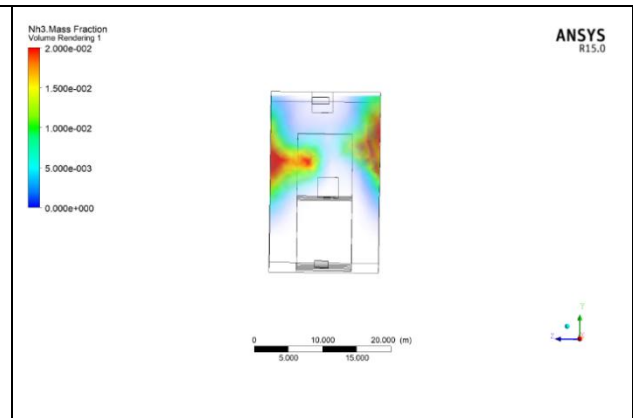


图13 方案二氨气扩散及残留位置（视角二）

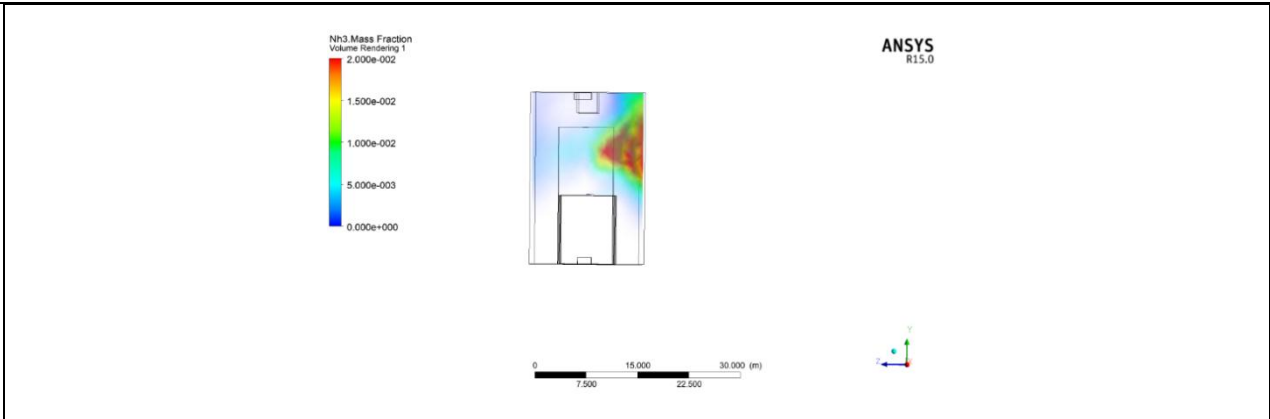


图 14 方案三氨气扩散及残留位置（视角二）

本文计算了氨气产生后在后续的 100s 时间内在厂房内的扩散和残留情况，分别从两个视角进行展示，视角一侧方向视角；视角二为厂房的高度和宽度方向视角。

通过以上的六张图示，三种方案都将会导致氨气在厂房的中上部聚集。方案一相对于另外两种方案，从整体上来看，氨气在空气中的质量占比更加的少且相对靠下。方案二中的气体集中在厂房的前后两侧，同时也位于厂房的上部，相较方案一浓度更高。方案三最终的气体分布相较于另外两个方案，所占空间相对较少、更加集中。方案三中的气体集中于厂房的后上部。

2.4 三种方案的平均浓度和最大浓度位置比较

| 方案号 | 平均浓度          | 最大浓度        |
|-----|---------------|-------------|
| 1   | 0.0006080306  | 0.02582837  |
| 2   | 0.00080711482 | 0.039754622 |
| 3   | 0.0007637147  | 0.04330275  |

根据上述的模拟数据，可以得出方案一通风结构最佳，其氨气残留的平均浓度为 0.0006080306，最大浓度为 0.02582837，相比其他方案更好，更具有优势。

3 结论

（1）针对氨气在厂房内泄漏的问题，建立了流场和浓

度场模型，能够分析不同出入口设置后的流场和氨气扩散情况；

（2）设计了三种氨气厂房的出入口位置模型，两个进风口和两个出风口，分别比较了进风口位于厂房中部和上部的时候的氨气流动情况；

（3）通过仿真模型比较，发现方案一是最好的，氨气的质量浓度为 0.0006080306；

（4）针对方案一对于氨气泄漏后 100s 后，最大浓度出现的位置预测在出现泄漏问题的氨气罐的周围，建议在要进行检修工作的时候做好相关防护措施，再待氨气浓度减小到一定程度后进行检修，建议进行检修的过程中不要进入该区域。

参考文献：

[1] 马隽湫,廖晓玲,李海航,等.封闭厂房氨气泄漏扩散规律数值模拟研究[J].中国计量大学学报,2019,30(1):6.  
[2] 赵桂利,赵祥迪,姜春雨,等.有毒气体重大突发泄漏情景设计及仿真分析[J].安全.健康和环境,2020,20(9):6.  
[3] 张花玲,高华北,马金辉.某氮肥厂一起氨气中毒事故的调查[J].职业与健康,2011,27(7):1.