



中国矿业大学  
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY

# 瓦斯抽采强度对采空区煤自然发火 规律影响研究

答辩人：邹佳坤

指导教师：戚绪尧 教授

2019.6



中国矿业大学  
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY

# CONTENTS



1

研究背景及意义

2

研究内容

3

研究方法

4

模拟结果分析

5

展望与不足

## 1 研究背景及意义

近些年，我国煤矿井下瓦斯抽采量逐年升高，百万吨死亡率持续走低。(2005-2014)

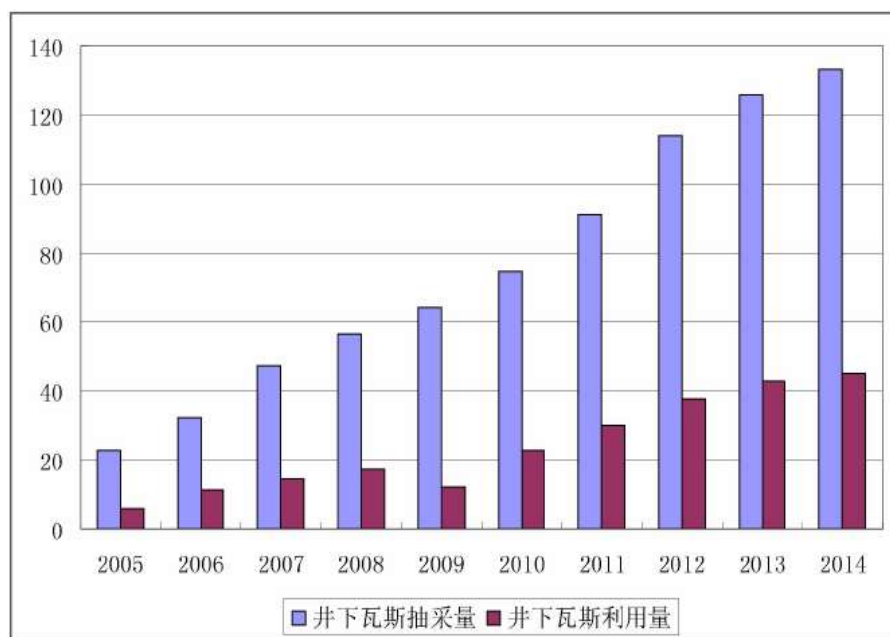


图1 井下瓦斯抽采量及利用量变化

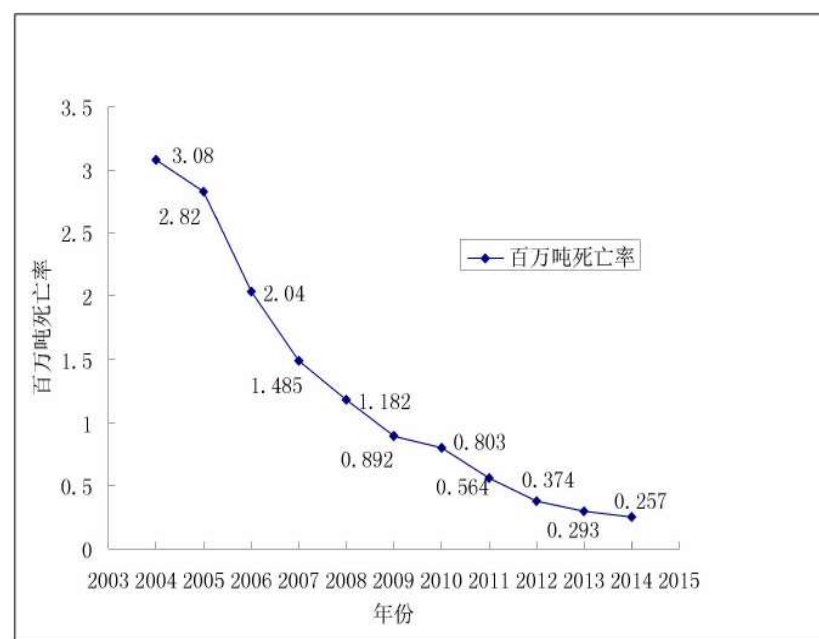
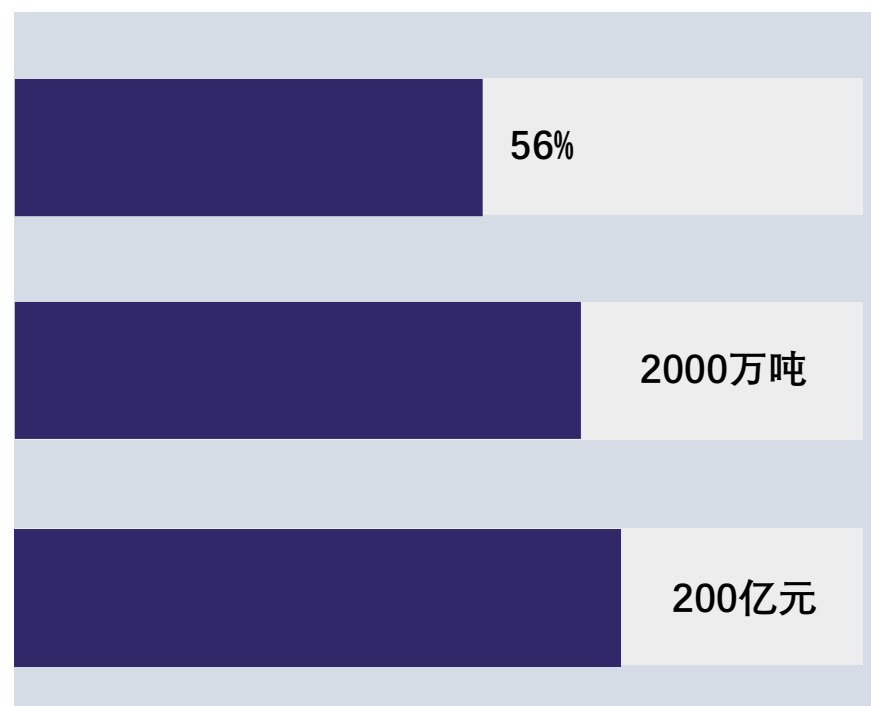


图2 2004-2014年我国煤矿百万吨死亡率



## 1 研究背景及意义

- 我国是**矿井火灾**最严重的国家之一
- **煤自燃**会烧毁大量的煤炭资源
- 煤自燃会产生有毒有害气体
- **瓦斯抽采**会增大**煤自然发火**可能性

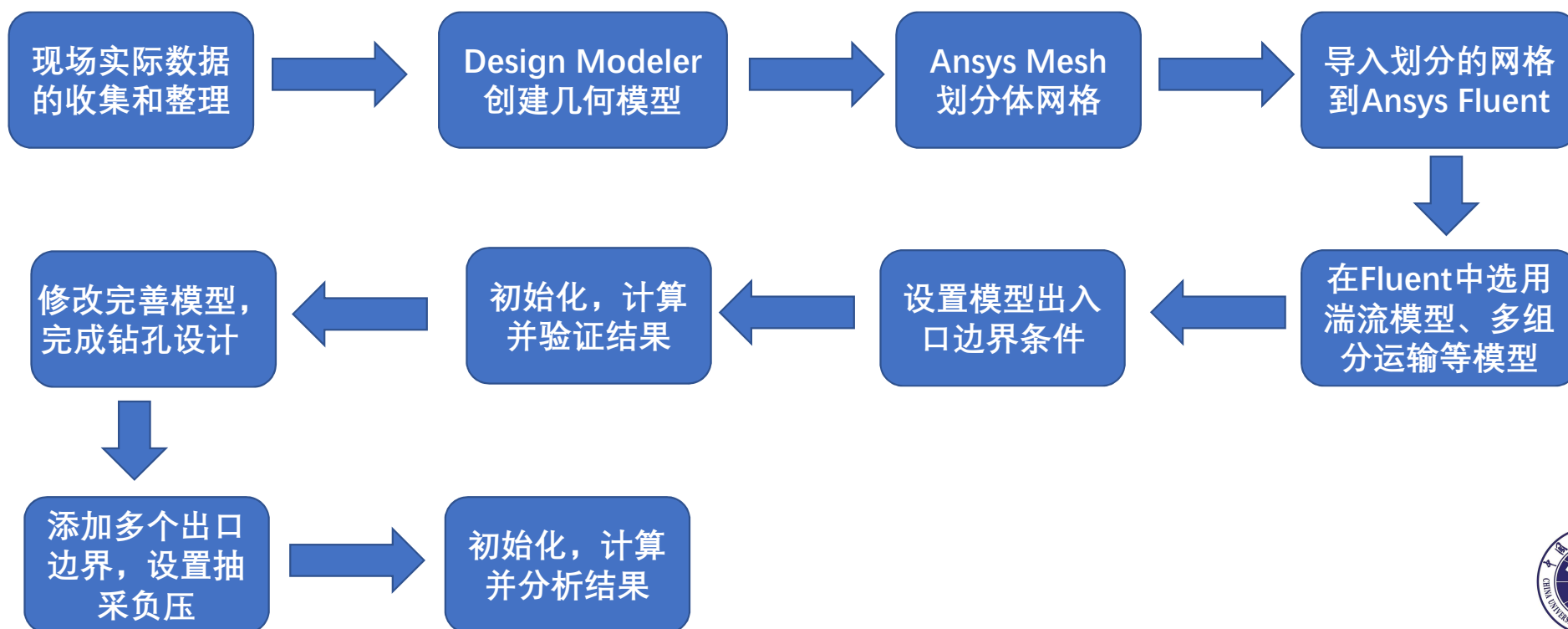


- 分析无抽采条件下采空区瓦斯的运移及“氧化三带”的分布规律；
- 分析不同抽采方式以及抽采流量等因素对采空区自燃危险区域分布的影响。

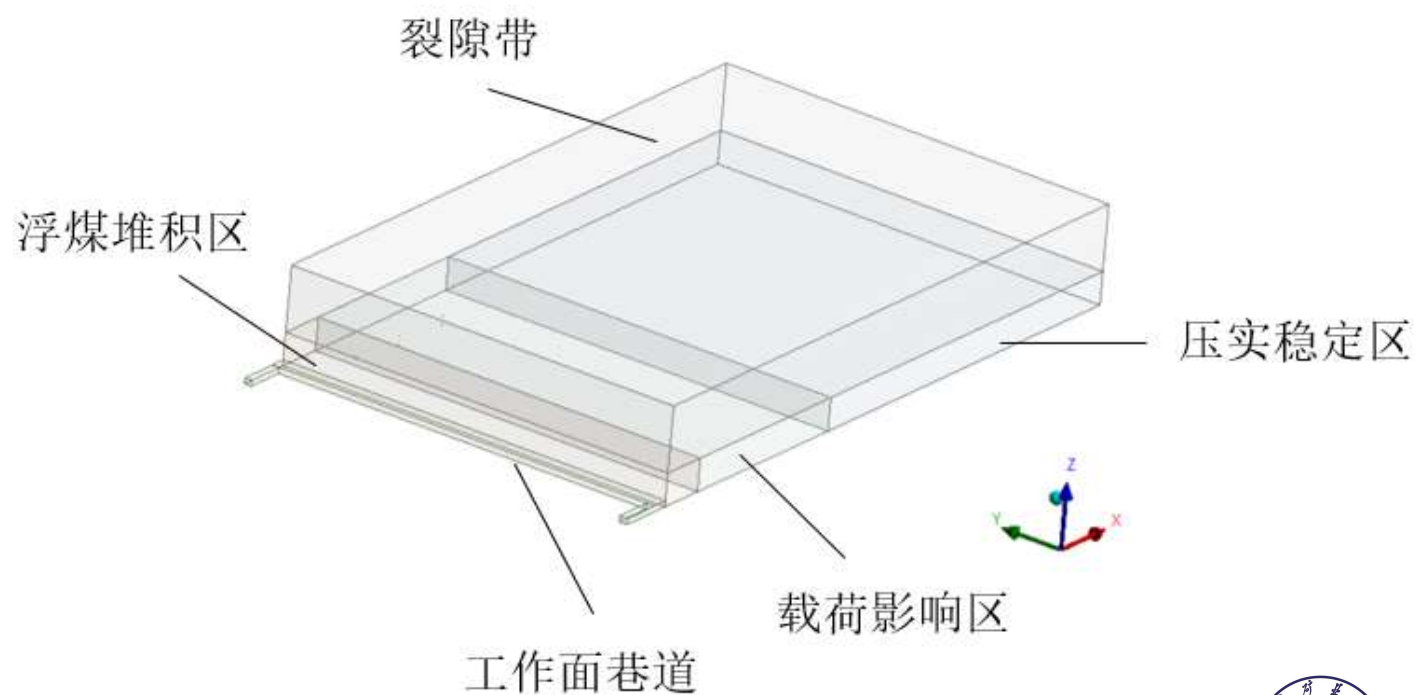
抽采方案	抽采流量设置					
单孔抽采 /(m <sup>3</sup> /min)	0	6	15	27	35	43
多孔抽采 /(m <sup>3</sup> /min)	18		27		36	



## 简易技术路线

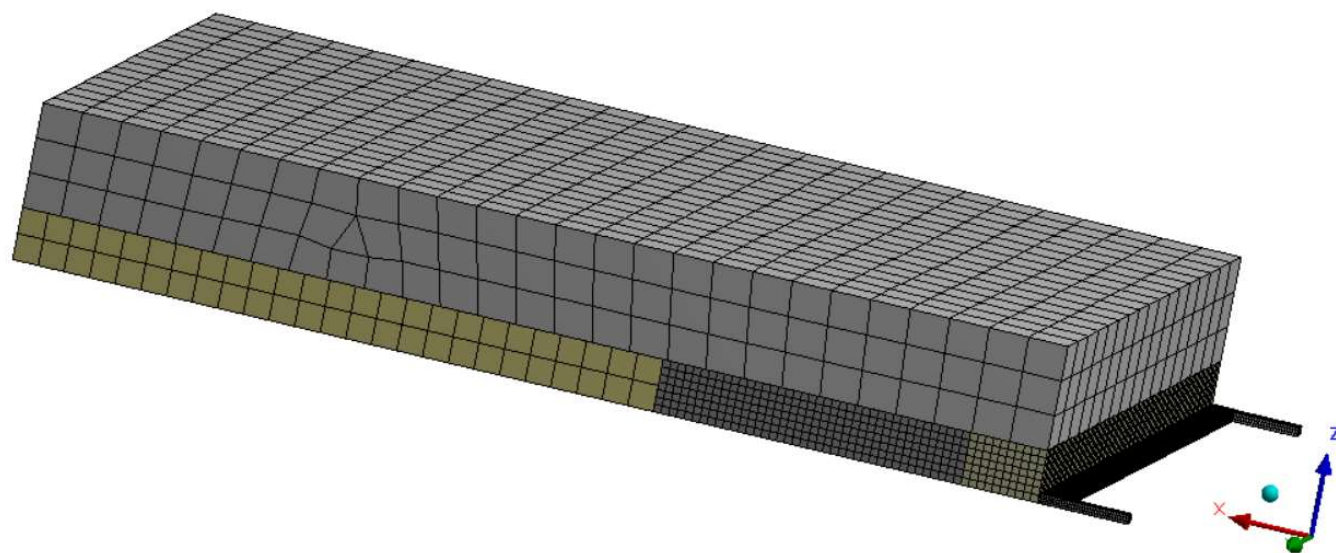


区域	几何参数/m
工作面巷道	$10 \times 260 \times 3.6$
冒落带	$400 \times 260 \times 20$
裂隙带	$400 \times 260 \times 40$
冒落带走向分区	30、150



### 3 研究方法

区域	网格尺寸/m
工作面巷道	1 m
载荷影响区/浮煤堆积区	3 m
压实稳定区	10 m
裂隙带	12 m
网格合计59056个	



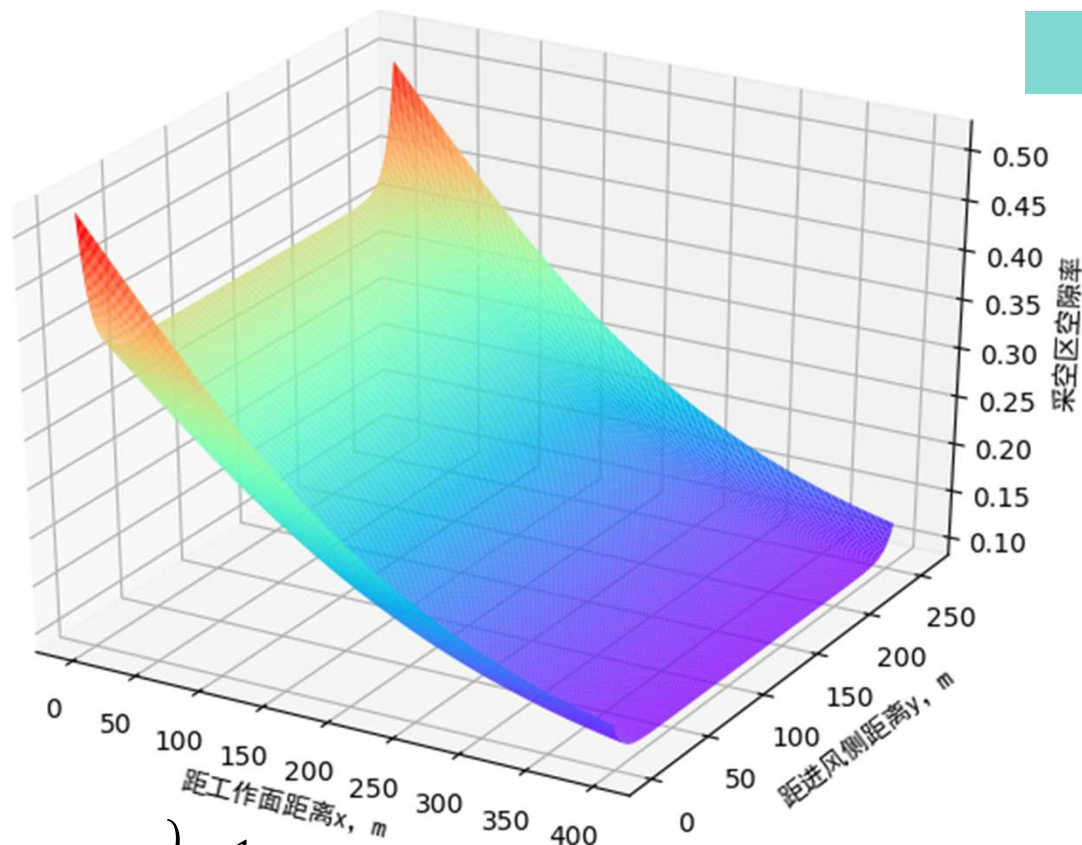


## 空隙率计算

- 采空区空隙率呈“铲状”分布
- 浅部及两侧空隙率大
- 中部及内部空隙率小

$$\begin{aligned} \varphi(x, y) &= 1 \\ &+ \frac{\left[1 + e^{-0.15\left(\frac{l_y}{2} - |y|\right)}\right] \left\{1 - \frac{h_d}{h_d + H - [H - h_d(K_{pb} - 1)](1 - e^{-\frac{x}{2l}})}\right\} - 1}{1 + \sigma_0^{-1} \beta_1 \gamma \left(\frac{l_y}{2} - y\right) \sin \alpha} \end{aligned}$$

注：参考王少锋-采空区及上覆岩层空隙率三维分布规律



多孔介质中湍流流动下计算渗透性系数：

$$\alpha = \frac{D_p^2 \varepsilon^3}{150(1 - \varepsilon)^2}$$

多孔介质中粘性阻力系数为 $1/\alpha$ ，即渗透性系数的倒数。

惯性阻力系数定义如下：

$$C_2 = \frac{3.5(1 - \varepsilon)}{D_p \varepsilon^3}$$



### 3 研究方法

多孔介质中氧气消耗速率计算方程：

$$v = -1.429\lambda(c_\tau - c_b)$$

上述中空隙率、粘性阻力系数、惯性阻力系数以及氧气消耗定义均在UDF中完成。

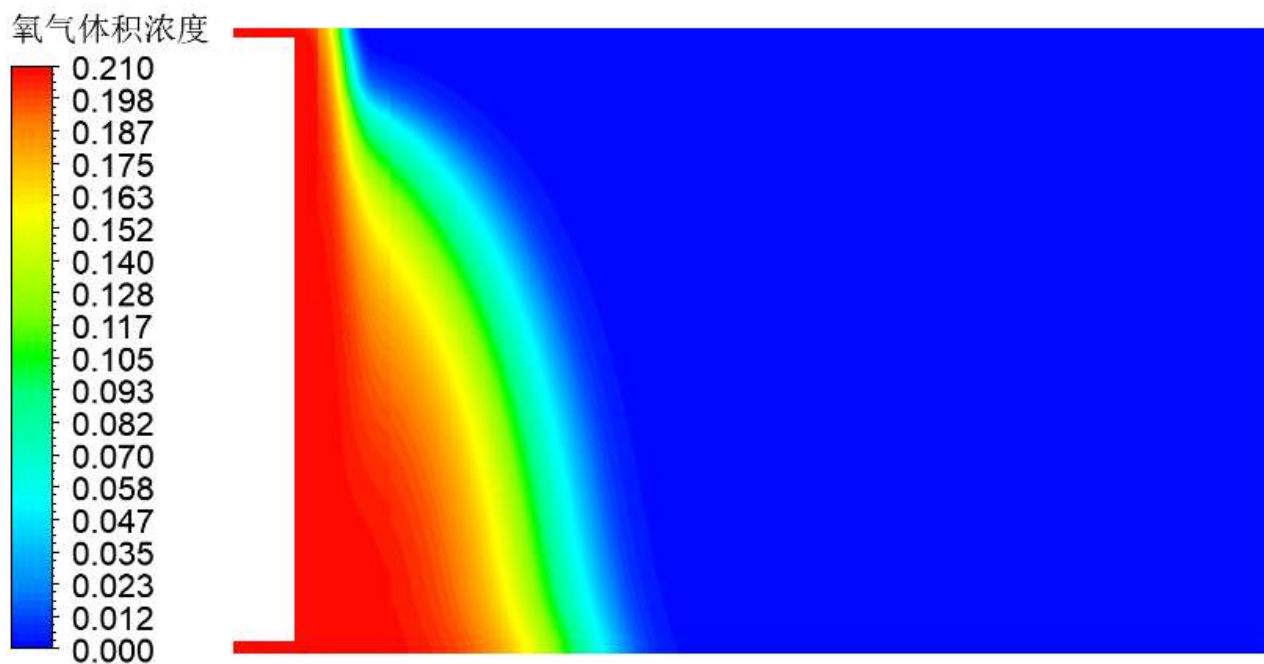
```
15 // 单点的孔隙率函数
16 double porous(double x, double y, double z) {
17     double value = ((1 + exp(-0.15 * (Y_L / 2 - my_abs(y - Y_L / 2)))) * (1 - 6 / (9.6 - 3.528 * (1 - exp(-x / (L * 2))))));
18     value = sqrt(value);
19     if (z >= 60)
20         value = value * (60 - z) / 60;
21     return sqrt(value) * 0.6;
22 }
23
24 // 空隙率
25 DEFINE_PROFILE(porous_profile, thread, position)
26 {
```

程序代码托管见Github: <https://github.com/bbkgl/Graduation-thesis/blob/master/05121307.c>



## 无瓦斯抽采条件

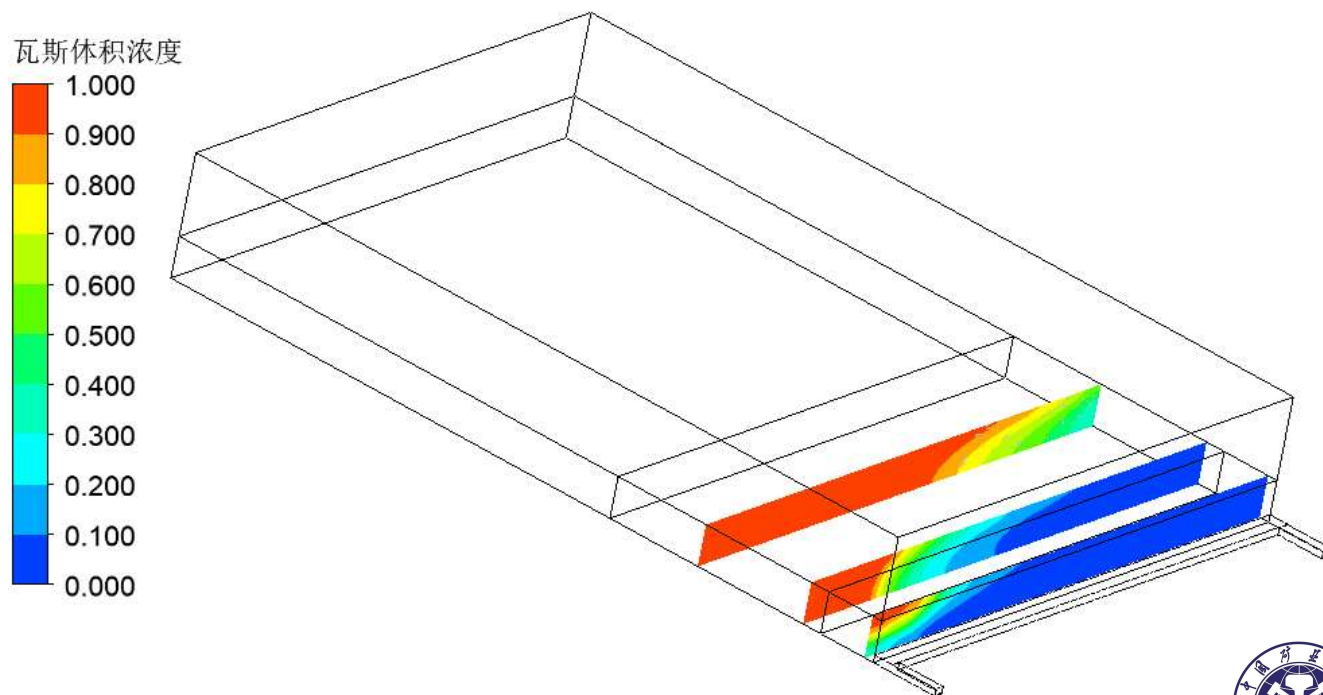
- 受风压影响，进风侧氧气浓度**高于**回风侧；
- 沿走向氧气浓度逐渐降低，深部氧气浓度接近0；
- 氧气在巷道和工作面中的浓度最大。



## 4 模拟结果分析

### 无瓦斯抽采条件

- 瓦斯浓度在沿走向上不断升高；
- 采空区深部区域瓦斯积聚，氧气含量极低；
- 回风侧瓦斯浓度高于进风侧，有上隅角瓦斯超限的危险。

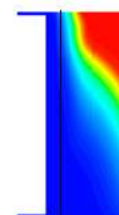
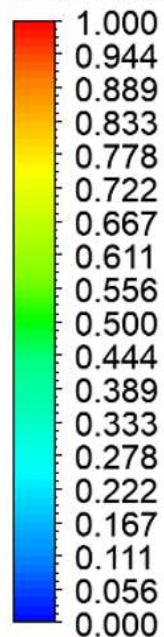


## 4 模拟结果分析

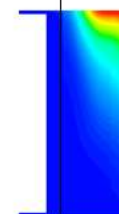
### 单孔瓦斯抽采条件

- 抽采量的增加使得上隅角的瓦斯浓度明显减小，有较好的治理效果；
- 采空区瓦斯浓度场整体往采空区回退，逐渐远离工作面。

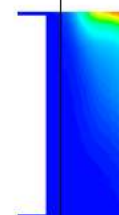
瓦斯体积浓度



抽采流量为  
 $0\text{m}^3/\text{min}$



抽采流量为  
 $15\text{m}^3/\text{min}$



抽采流量为  
 $43\text{m}^3/\text{min}$

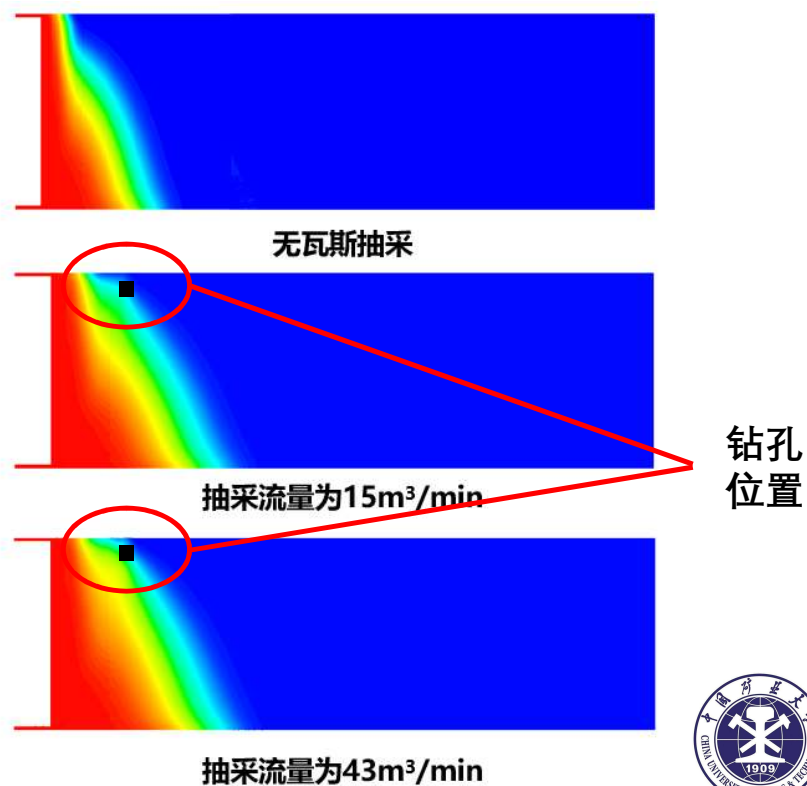
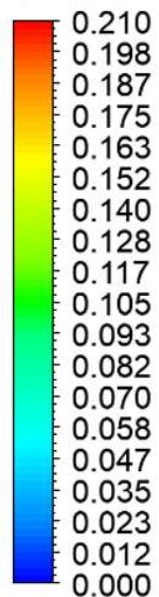


## 4 模拟结果分析

### 单孔瓦斯抽采条件

- 瓦斯抽采对于深部位置的氧气和瓦斯分布几乎没有影响；
- 在浅部和中部区域，瓦斯抽采的影响较为明显；
- 随着抽采流量的增加，回风侧的氧化自燃带明显变宽。

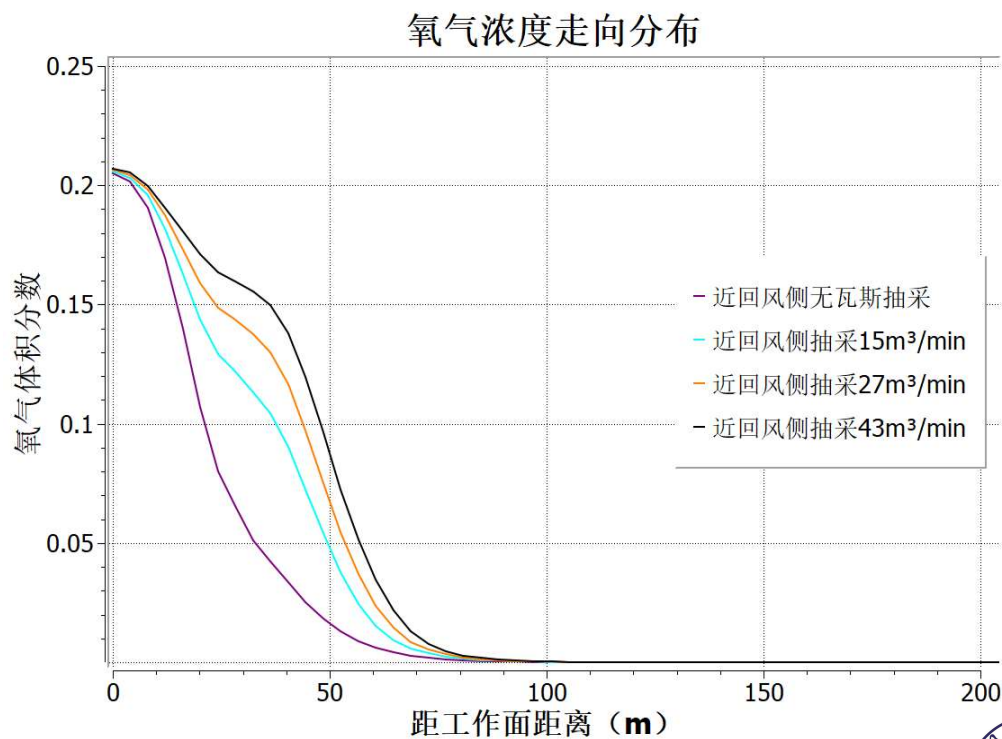
氧气体积浓度



## 4 模拟结果分析

### 单孔瓦斯抽采条件

- 瓦斯抽采使得回风侧的瓦斯场整体后移，氧气侵入采空区的范围变大了；
- 40 m处抽采管附近，相对无瓦斯抽采时，有明显可见的氧气浓度增大；
- 随着抽采流量的增加，进入氧化自燃带的距离变大，即自燃带后退。

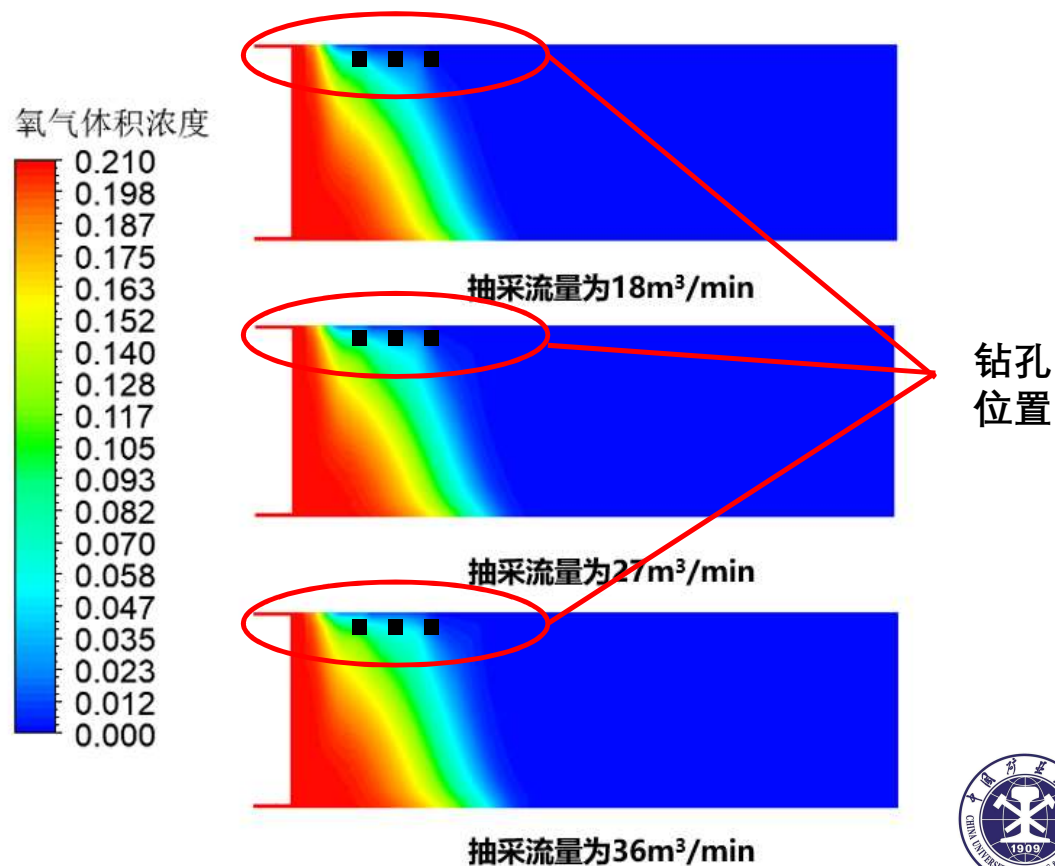




## 4 模拟结果分析

### 多孔瓦斯抽采条件

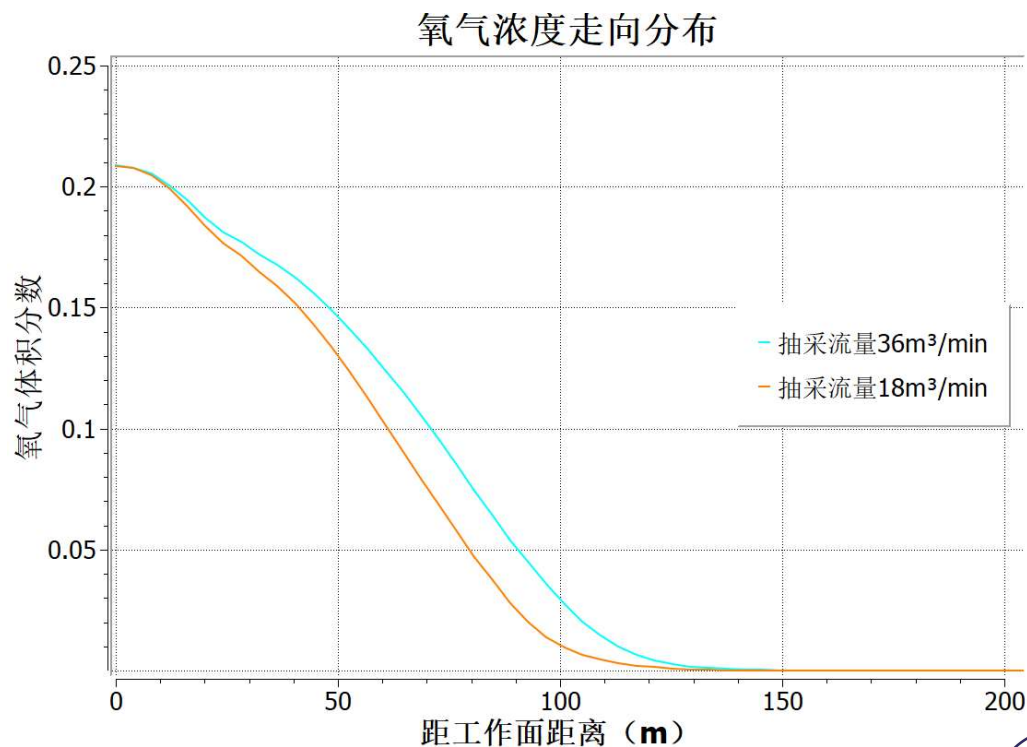
- 解决了回风侧上隅角瓦斯超限的问题;
- 抽采后, 引起的氧气的侵入较为均匀, 并没有聚集在某个区域;
- 处于采空区较深部的钻孔可以抽采到高浓度的瓦斯。



## 4 模拟结果分析

### 多孔瓦斯抽采条件

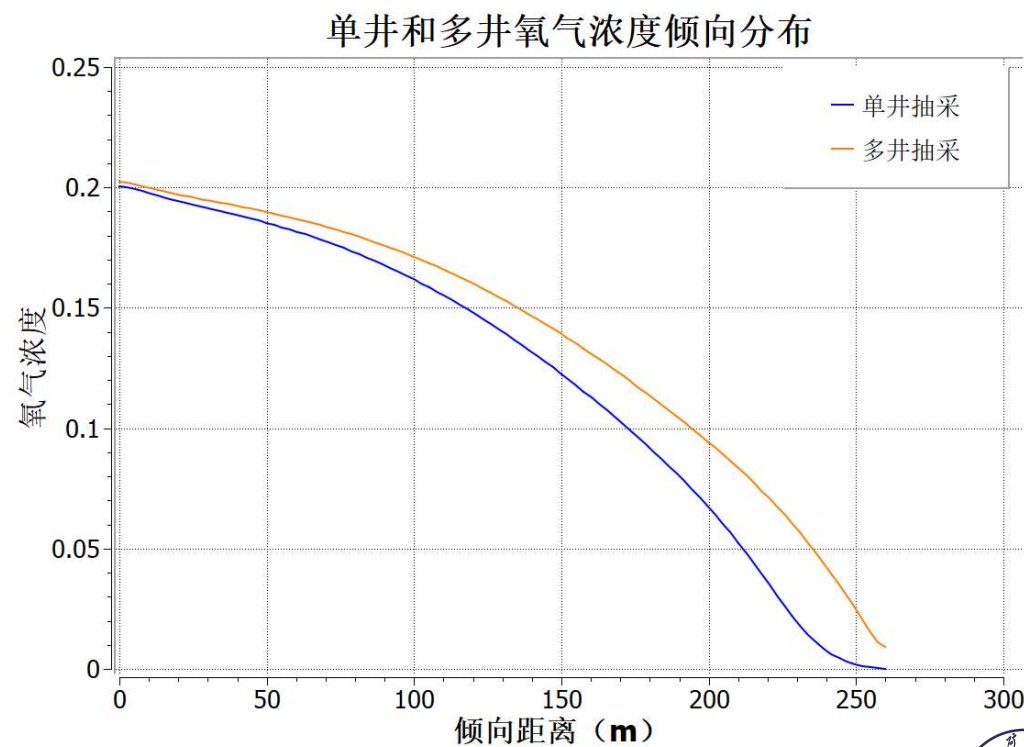
- 抽采量为 $36\text{m}^3/\text{min}$ 时，采空区氧气浓度整体高于抽采量为 $18\text{m}^3/\text{min}$ 时的采空区氧气浓度；
- 随着抽采流量的增加，采空区的富氧范围也跟着增大。



## 4 模拟结果分析

### 单孔和多孔瓦斯抽采倾向对比

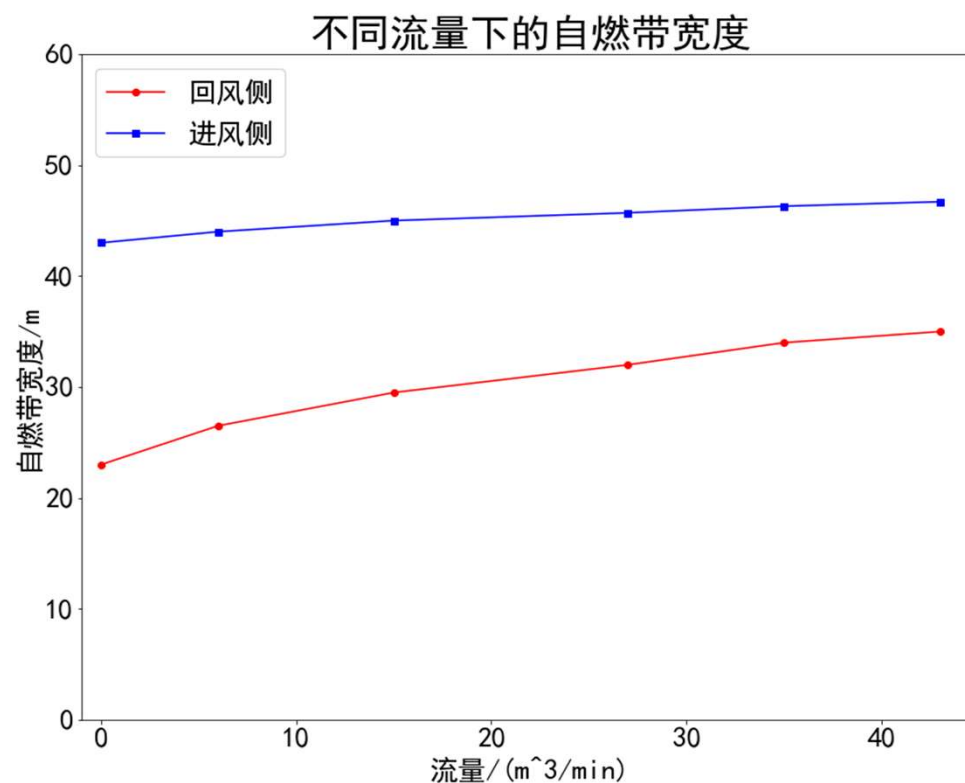
- 同样流量的抽采条件下，多孔抽采使得采空区氧气分布在倾向上浓度更大；
- 多孔抽采后，氧气分布在倾向上的变化较单孔同样流量抽采后的变化要小一些。



## 4 模拟结果分析

### 瓦斯抽采对采空区自燃带宽度影响

- 随着瓦斯抽采流量的增加，自燃带的宽度逐渐变大；
- 采空区进风侧自燃带宽度大于回风侧自燃带宽度；
- 抽采对回风侧自燃带宽度的影响大于对进风侧自燃带宽度的影响。



## 结论总结

- 采空区中的瓦斯浓度沿走向往深部**逐渐升高**，回风侧的瓦斯浓度大于进风侧；
- **瓦斯抽采强度**与采空区中**自燃氧化带**的宽度存在**正相关**的关系；
- 多孔联合抽采相对单孔抽采，氧气的侵入更加**均匀**。



## 模型改进

- 可以适当增加气体组分，比如 $\text{CO}_2$ ，CO以及 $\text{H}_2\text{O}$ 气体，这样可以更好地模拟采空区内流场的真实情况；
- 可以根据氧气消耗来计算增加的CO的浓度；
- 通过Fluent中的动网格来模拟工作面推进状态下的采空区流场变化。





中国矿业大学  
CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY

谢谢，请各位老师批评指正！

答辩人：邹佳坤

二〇一九年六月