

Discussão sobre as razões da flutuação de pressão e as medidas de controle para laboratórios de biossegurança

Niu Wei-le*

Resumo

O artigo analisa o significado físico da pressão negativa e resume as características de controle de pressão em laboratórios de biossegurança. O artigo também analisa os fatores que afetam a pressão dos laboratórios de biossegurança, ao mesmo tempo em que pontua como manter a pressão desse laboratório numa condição “bem-balanceada”.

Palavras-chave: laboratório de biossegurança, flutuação de pressão, pressão negativa, volume de ar constante e volume de ar variável.

1. Prefácio

A contaminação humana por microorganismos ocorre desde muito antes da descoberta dos microorganismos pela humanidade. Várias pessoas morreram por isso, inclusive famosos bacteriologistas. O perigo biológico é causado por diversos fatores associados à biologia. O laboratório de segurança biológica foi desenvolvido para se sobrepôr ao perigo biológico.

A construção de laboratórios de biossegurança tem

sofrido grande desenvolvimento na China depois da eclosão da epidemia SARS no país. Desde e então, os laboratórios de biossegurança vêm sendo fundados um após o outro e sendo destinados a muitos campos de aplicação, tais como: estudo microbiológico de vírus, técnicas de exploração biológica, engenharia de herança genética, armas biológicas antiterrorismo, dentre outros.

A operação em laboratórios de biossegurança (especialmente nos níveis B3 e B4 de biossegurança) é muito perigosa. São adotados muitos meios para controlar os riscos, como a barreira primária (cabine de biossegurança) e a barreira secundária (como ventilação e ar condicionado, suprimento de água e controle de drenagem automático). É muito importante que a segunda barreira consiga obter e manter constante a pressão negativa do laboratório.

2. O significado do controle de laboratórios de biossegurança

2.1 O significado físico da diferença de pressão estática

Quando existe uma porta, janela ou qualquer tipo de orifício, que estejam em condição “fechada”, entre um ambiente e o ambiente contíguo, uma diferença de pressão estática deve ser criada entre os dois ambientes. A diferença de pressão estática é produzida pela resistência à passagem do ar através das frestas da porta, da janela ou do orifício fechados. Assim a diferença de pressão estática reflete as características de resistência do ar da abertura.

Suponha que a pressão de ambos os lados da abertura sejam respectivamente, P1 e P2. Então a diferença de pressão de acordo com os princípios da mecânica dos fluidos é:



$$\Delta P = P_1 - P_2 = (\xi_1 + \xi_2) + h_w \text{ (Pa)} \quad \text{(Fórmula 1)}$$

h_w = Perda de carga devida à fricção entre o ar e as laterais da fresta. Devido ao comprimento do trecho ser extremamente curto e a velocidade de passagem relativamente baixa (geralmente inferior a 4 m/s), o termo h_w pode ser desconhecido.

ξ_1 = perda de carga devida à contração abrupta.
 ξ_2 = perda de carga devida à expansão abrupta.
 V_c = velocidade média.

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\xi_1 + \xi_2}} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = \varphi \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad \text{(Fórmula 2)}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\xi_1 + \xi_2}} \text{ (coeficiente de velocidade)}$$

A relação entre a descarga através do orifício e a resistência é:

$$Q = \varepsilon F \varphi \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = \mu F \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad \text{(Fórmula 3)}$$

$$\mu = \varepsilon \varphi$$

Onde:

ε = coeficiente de contração de área.

μ = coeficiente de descarga.

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{\mu F} \right)^2 \quad \text{(Fórmula 4)}$$

Nota do tradutor:

Segundo o capítulo 52 do “2007 Applications Handbook” publicado pelo ASHRAE, admite-se que o escoamento Q , ocorrido através das frestas de uma porta, devido ao diferencial de pressão entre as faces da mesma, equivale a:

$$Q = C A (2 \Delta p / \rho)^{0,5}$$

Nessa situação, o valor do adimensional C varia entre 0,6 e 0,7, sendo que, para $P = 1,2 \text{ kg/m}^3$ (ar padrão), $C = 0,65$. Deste modo, podemos simplificar a equação para:

$$Q = 0,839 A \Delta p^{0,5}$$

Sendo:

Q = escoamento pela fresta em m^3/s

A = Área da fresta em m^2

Δp = Diferencial de pressão em Pa

2.2 O efeito da pressão negativa

Existem duas funções da pressão negativa de laboratórios de segurança biológica:

(1) Quando as aberturas e frestas se encontram fechadas, o contaminante externo à área limpa (mantida em pressão positiva em relação à atmosfera) é impedido de penetrar e a direção do fluxo de ar é formada da área limpa para a área semi-contaminada (com pressão negativa) e desta para a área contaminada (de menor pressão). Como os resultados dos experimentos realizados em laboratório de segurança biológica possuem grande risco de mortalidade, especialmente nos experimentos realizados nos níveis B3 e B4 de biossegurança, e podem infectar as pessoas gravemente com microrganismos terminais e suas toxinas, um dos objetivos do controle é manter, não apenas a condição da pressão negativa efetiva do laboratório, mas também a estabilidade do gradiente de pressão (a pressão se reduz de fora para dentro) entre cada sala do laboratório, a fim de manter a correta direção do escoamento do ar.

(2) Quando a porta estiver na condição “aberta”, garante que ocorra escoamento de ar suficiente para dentro do laboratório, e da melhor forma possível, corta instantaneamente o escoamento de ar para fora, o que é provocado pela abertura e fechamento da porta e entrada de pessoas. Além de assegurar que o sentido do escoamento de ar ocorra de fora para dentro na condição de porta “aberta”, a entrada de contaminante pode ser reduzida para níveis baixos.

2.3 Características do controle de pressão de laboratórios de segurança biológica

Diferentemente de instalações de laboratórios químicos e utilidades SPF veterinárias, para garantir a segurança, o laboratório de segurança biológica deve ser concebido com vários gradientes de pressão para assegurar que o sentido de escoamento do ar ocorra da “área limpa” para “área contaminada”.

Obviamente, isto implica no controle de ar “seguro” e de ar “contaminado” para este tipo de laboratório. Os gradientes de pressão devem ser rigorosamente assegurados por meio de ensaios. Através de um grande número de práticas de engenharia, descobriu-se que existem várias características como segue:

(1) Manter a pressão negativa do laboratório em relação à pressão atmosférica externa;

(2) O gradiente de pressão deve ser controlado e estritamente ajustado em diversos níveis, não podendo haver conversões;

(3) O controle de pressão de cada sala deve ser independente, não interferindo uma na outra;

- (4) Sensores com exatidões semelhantes são necessários para controlar os gradientes de pressão;
- (5) Altas estabilidade e repetibilidade são necessárias quando se controla os gradientes de pressão;
- (6) Assegurar a velocidade de resposta no controle de pressão;
- (7) O controle de pressão deve ser estabelecido com características dinâmicas, o que significa “com a sala em uso”.

3. Flutuação de pressão e medidas de controle para laboratórios de segurança biológica

3.1 A formação da pressão negativa

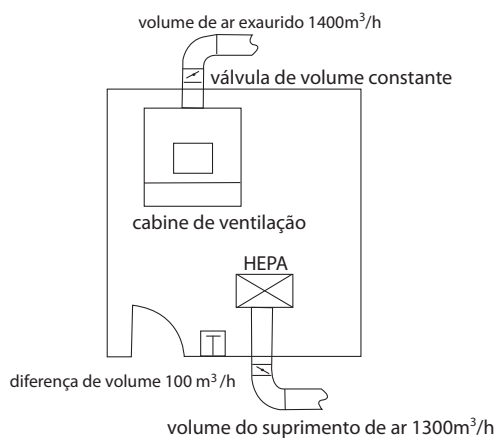


Figura 1

A pressão negativa da sala é formada quando o volume de ar exaurido excede o volume de ar insuflado. Para um dado sistema, quanto maior esta diferença, maior a pressão negativa da sala em relação ao meio que a cerca. E o valor da diferença entre o volume de ar exaurido e o volume de ar insuflado, nós comumente chamamos de “volume excedente de ar”. Mas como podemos nos certificar da formação da pressão negativa na sala e a estabilidade da pressão negativa? Esse é um importante trabalho para o pessoal de engenharia na fase de projeto, que introduz um certo volume de ar excedente e o mantém fixo, de acordo com o figura 1.

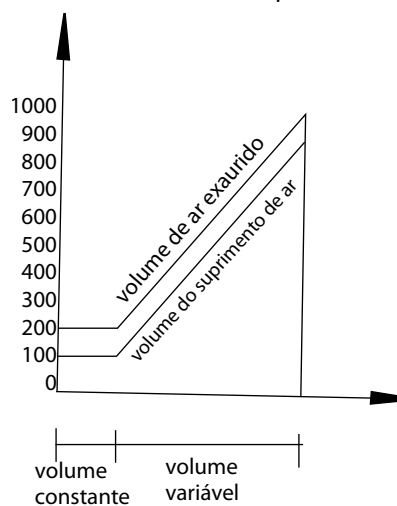
3.2 Os fatores que influenciam a estabilidade da pressão do laboratório

A estabilidade do controle de pressão significa manter uma mínima flutuação de pressão; também é necessário minimizar o impacto sobre o sistema durante o processo dinâmico, de forma que o sistema possa ser rapidamente

ajustado ao próximo ponto de trabalho constante.

Para atender estas demandas, devem ser considerados alguns aspectos, como se segue:

- (1) Devido à característica de alto risco biológico do ar contido no laboratório de segurança ter requisitos estritos, a alta exatidão e a repetibilidade do sistema de controle também são necessárias. E a unidade de controle de vazão de ar deve possuir a mesma exatidão, do contrário, a diferença entre as exatidões nas faixa de ajuste dos instrumentos, juntamente com a flutuação, inevitavelmente causarão flutuações no sistema de controle.
- (2) O controle do sistema deve ser constante, o que requer estabilidade das unidades de controle de vazão volumétrica de ar. Do contrário, a atuação excessiva da unidade de controle poderia provocar enorme flutuação e aumento repentino no curso do atuador.



(3) Como há um grande número de equipamentos de exaustão de alto risco em laboratórios de segurança biológica, e seu acionamento é incerto, a variação do volume de ar escoado provavelmente será grande o suficiente para causar enorme impacto na pressão da sala, bem como na pressão total do laboratório. De acordo com o acionamento destes equipamentos, a atuação do sistema de controle deve ser rapidamente alterada, com alta exatidão e repetibilidade. Ou então, ocorrerá uma violenta

e repentina variação nos gradientes de pressão, e até as áreas de pressão positiva podem resultar em sérias questões de segurança.

- (4) A mudança no ajuste da sala iria eventualmente ser muito grande, por causa da mudança na vazão de ar requerida. Por exemplo, o número de trocas não é mais doze a quinze por hora, sob a ótica da ventilação da sala e do número de trocas de ar padrão. Mas as especificidades e especialidades dos laboratórios de segurança biológica requerem o uso de ambientes pequenos. Desta forma, o número de trocas de ar da sala, determinado pelas atividades do laboratório de segurança biológica, seria provavelmente, relativamente grande. Certamente, também existem números de trocas de ar que adotam um duplo estado estacionário (ou mais de um estado estacionário) de forma a poupar energia do sistema. Deste modo, a faixa de ajuste da unidade de controle de vazão de ar necessita ser grande, precisa, estável, e segura para atender as necessidades de controle do sistema.

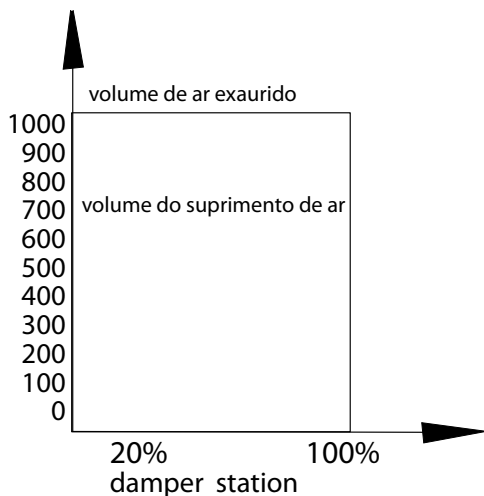


Figura 2

3.3 A importância do controle de pressão nos laboratórios de biossegurança

De forma a garantir a pressão negativa efetiva, devemos ajustar a diferença entre a vazão de ar exaurida e a vazão de ar insuflada na sala. Isso significa fazer a somatória indicada no figura 2, entre o volume de ar insuflado e o volume de ar excedente correspondente ao volume de ar exaurido. Além disso, os gradientes de pressão das salas são assegurados pelo ajuste da vazão de ar excedente.

Atualmente se adotam dois tipos de métodos, ou sejam: métodos de controle de pressão e métodos de vazão de ar excedente, com base na análise de esquemas de controle de pressão de cada instalação.

- (1) Método de controle de pressão, através do sistema de controle automático do laboratório, em tempo real, para ajustar não somente a unidade de controle de vazão de ar exaurido (e, às vezes, do ar insuflado) no sistema, mas também a diferença de vazão de ar insuflado e exaurido da sala. Dessa forma a pressão ou os gradientes de pressão da sala podem ser controlados em determinados intervalos.
- (2) Método de volume de ar remanescente, que é controlado através da unidade de controle da vazão de ar, instalada no sistema de controle automático da ventilação do laboratório, introduzindo uma diferença entre a vazão de ar insuflado e exaurido em suposto intervalo, assim os gradientes de pressão da sala estão também no suposto intervalo.

Em laboratórios com controles mais restritos, são adotadas ambas as metodologias .

O ponto comum entre os dois métodos consiste na adoção de uma unidade de controle que seja independente da pressão. Do contrário, o número de trocas comumente requisitado não pode ser atendido no laboratório.

Não é suficiente adotar apenas um método de controle para laboratórios de segurança biológica. O método de controle de pressão por exemplo, não é capaz de estabilizar

com a rapidez necessária, a variação dos gradientes de pressão no decorrer das mudanças de vazão de ar do sistema.

Especialmente em laboratórios grandes, devido à longa duração do processo de variação da vazão de ar, que traz grande contaminação à circulação de todo laboratório através de seu sistema de ventilação . E quando se adota o método de vazão de ar negativo, uma vez que a unidade de controle não pode alcançar uma solução exata, e também devido à saturação de algumas singularidades de resistência variável (como os filtros) dentro do sistema, ou do controle de número de trocas (ou de vazão de ar) de outras salas em função do laboratório, a pressão estática interna dos dutos do sistema fica susceptível a variações freqüentes. Fazendo, na realidade, com que a vazão de ar negativa em sistemas dinâmicos sofram variações freqüentes nos gradientes de pressão entre salas além das faixas aceitáveis pelo sistema.

Então, estes dois métodos são frequentemente combinados para obter o controle de pressão em laboratórios de segurança biológica. O método do volume de ar excedente é adotado para realizar a transição quando o volume de ar do sistema é alterado. Enquanto o sistema está na condição estabilizada, os gradientes de pressão são assegurados por micro-ajustes de pressão ou pelo método de diferença de pressão. Então a estabilização do controle de pressão se torna o conteúdo mais importante do sistema de controle de pressão após confirmar a pressão na unidade de controle e no esquema total de automação.

A estabilidade do controle de pressão significa assegurar a menor flutuação de pressão durante a condição de sistema estabilizado. O menor impacto é necessário ao sistema durante a condição de sistema dinâmico. Então o sistema pode ser rapidamente ajustado, para o próximo ponto de trabalho estabilizado. De forma a atingir os requisitos, deveríamos considerar as questões a seguir:

- (1) Devido à característica de emissão de contaminantes em laboratórios de segurança biológica, são requeridas uma alta exatidão e estabilidade do sistema de controle e características semelhantes na unidade de controle de vazão de ar. Entretanto é inevitável que ocorra superposição de tolerâncias e oscilações juntas, acarretando flutuações durante o ajuste do sistema.
- (2) O controle de sistema em condição "estabilizada", requer estabilidade, o que significa exatidões semelhantes na unidade de controle de vazão de ar. Ou também, a superposição de tolerâncias e oscilações da unidade de controle pode acarretar flutuações no sistema.
- (3) Devido à grande quantidade de equipamentos de exaustão de segurança biológica existente nos laboratórios de biossegurança e à imprevisibilidade de seu acionamento, aumentando ainda mais a possibilidade de variação do número de trocas de ar, é muito provável que ocorram enormes variações na pressão da



sala, bem como na pressão total do laboratório.

(5) A faixa de variação da sala iria eventualmente ser muito grande, por causa da mudança na vazão de ar requerida. Por exemplo, o número de trocas não será mais de doze a quinze por hora, sob a ótica da ventilação da sala e trocas de ar padrão. Mas as especificidades e especialidades dos laboratórios de segurança biológica requerem o uso de ambientes pequenos. Desta forma, o número de trocas de ar da sala, determinado pelas atividades do laboratório de segurança biológica, seria provavelmente, relativamente grande. Certamente, também existem números de trocas de ar que adotam um duplo estado estacionário (ou mais de um estado estacionário) de forma a poupar energia do sistema. Deste modo, a faixa de ajuste da unidade de controle de vazão de ar necessita ser grande, precisa, estável, e segura para atender as necessidades de controle do sistema.

4. Outros fatores considerados quando selecionamos um sistema de controle de pressão de sala

Apesar da estabilidade, também devemos considerar outros problemas relacionados ao alto risco em laboratórios de segurança biológica e suas próprias exigências:

(1) Problema de espaço de instalação

Apesar de muitas unidades de controle de vazão de ar atenderem a condição exigida até certo ponto, a sua exatidão e estabilidade dependem de haver trechos de dutos com comprimento suficiente para realização das mensurações. No entanto, devido à grande vazão de ar e quantidade de equipamentos, tipos e aplicações de dutos e instalações auxiliares lotam completamente a casa de máquinas. Outrossim, ainda precisamos considerar o espaço para eventuais reformas, manutenção e áreas de circulação. Tornando quase impossível obter trechos de dutos com comprimentos apropriados, os quais são de cinco a dez vezes o diâmetro do duto de ar de cada um dos numerosos equipamentos de tratamento de ar. Portanto, devemos primeiramente escolher equipamentos de controle de vazão de ar que não necessitem de longos trechos de dutos.

(2) Problemas de proteção das conexões

Independentemente da alta confiabilidade, devemos considerar qualquer problema de proteção das conexões com as unidades de controle de vazão, por exemplo, uma falha da fonte de energia da unidade de controle de vazão. Neste caso, o equipamento de controle de vazão deve saltar automaticamente para uma condição segura, que garanta a condição de pressão negativa no laboratório.

Equipamentos de controle de vazão de ar elegíveis, usualmente adotam como proteção para problemas na conexão, que a insuflação de ar é menor enquanto a exaustão de ar é maior.

(3) Problemas de assepsia

Devem ser considerados problemas de desinfecção das rede de dutos dos equipamentos de segurança biológica de exaustão e insuflação de ar, assim, sistemas de exaustão de laboratório de biossegurança de alta periculosidade geralmente adotam projetos de padrão asséptico. Quando as válvulas não possibilitam assepsias, o controle de seus efeitos e correção dos problemas deve ser altamente severo.

(4) Problemas de ruído

Escolher unidades de controle de vazão de ar com ruídos aceitáveis pelas normas, deve satisfazer estes requisitos.

5. Conclusão

É claro que ainda existem muitos fatores que influenciam o gradiente de pressão do laboratório. Por exemplo, a estabilidade não somente dos equipamentos de tratamento de ar de segurança biológica, a densidade do ar da sala, o ajuste da sala, a administração da porta da sala, os quais afetarão a estabilização do controle de pressão da sala. Além disso, também precisamos selecionar um dispositivo de controle automático de excelente performance, para garantir a eficiência do sistema de ventilação. Concluindo, é um sistema de engenharia complicado. Devemos adequar o projeto às características de cada laboratório e, então, adequá-lo aos equipamentos disponíveis no mercado, aplicando os mais modernos conceitos internacionais. De qualquer maneira, a correta seleção dos equipamentos e um projeto adequado do sistema de controle de pressão da sala, representam o grau de proficiência do projeto do sistema.

Referências

[1] Xu zhonglin, air lustration technical principle, Tong Ji University publishing company, 1998

[2] Xu zhonglin, medical factory lustration room design and function together with authentication, Tongii University publishing company, 2002

Revisão da Tradução

J. Fernando B. Britto

Engº Mecânico – Projetista de sistema de trat. ar

Sócio-Gerente da Adrifenco Design Ltda.

e-mail: adrifenco@gmail.com