

Hình dạng, chế độ và cô lập phòng
Room Shapes, Modes, and Isolation

Hai trong số tính chất quan trọng nhất của phòng là kích thước và hình dạng, ảnh hưởng trực tiếp đến hành vi tần số thấp của nó. Nói chung, phòng lớn có âm thanh tốt hơn phòng nhỏ, vì không chỉ có tường và trần cách xa người nghe và micro, làm giảm cường độ phản dội, mà trong phòng lớn, tần số chế độ gần nhau hơn. Hầu hết chuyên gia âm học đều khuyến nghị âm lượng tối thiểu ít nhất 2.500 feet khối cho phòng, chỗ sẽ sản xuất âm nhạc có chất lượng cao.

Chế độ phòng- viết tắt của chế độ ngân rung (mode of vibration)- là tính âm cho sự cộng hưởng tự nhiên có tần số phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai bề mặt đối diện. Thí dụ, phòng từ trước ra sau dài 14 feet có chế độ Length ở 40Hz, 80Hz, 120Hz và bội số tiếp theo là 40Hz. Sóng âm ở những tần số này khớp chính xác giữa tường phía trước và sau, do đó nó bật lại liên tục, củng cố năng lượng của nó ở mỗi chu kỳ. Việc này không giống như những tần số khác, chỗ phản dội không kết hợp đồng phase ở mỗi chu kỳ. Do đó, chế độ tạo ra peak phản dội bên trong phòng, và nó cũng thúc đẩy cách thức ringing, duy trì tần số đó không tự nhiên bằng cách kéo dài thời gian phân rã của nó.

Theo nhiều mặt, có thể coi phòng như tập hợp nhiều bộ lọc band-pass cộng hưởng hay chính xác hơn là ba bộ lọc như vậy song song, mỗi chiều một bộ. Cũng như bộ lọc điện tử cộng hưởng, chế độ phòng không chỉ kéo dài thời gian phân rã mà còn tạo ra năng lượng trong phòng theo thời gian. Nếu bạn phát sóng sine qua loa ở tần số chế độ rồi tắt nó đi, sóng trong phòng sẽ không bắt đầu và dừng đột ngột. Thay vào đó, nó phồng lên theo thời gian, duy trì cho đến khi âm thanh nguồn dừng lại rồi phân rã theo thời gian. Thời gian phồng lên và phân rã phụ thuộc vào cường độ và Q của chế độ, xác định bởi khối lượng và độ cứng của ranh giới phòng cho kích thước đó. Không giống như bộ lọc band-pass đơn giản chỉ có tần số trung tâm duy nhất, phòng có nhiều chế độ liên quan hài hòa cho từng kích thước, đó là lý do tại sao lại coi nó là tập hợp nhiều bộ lọc.

Có hai loại chế độ phòng: Chế độ trục (Axial) xảy ra giữa hai bề mặt đối diện và chế độ không trục có tuyến đường vòng hơn, di chuyển như trái banh tròn quanh bàn bi da theo mô hình kim cương khi nó bật ra khỏi bề mặt phòng. Hai loại chế độ không trục gọi là tiếp tuyến (tangential), chỗ sóng phản dội chạm vào bốn bề mặt và chéo, chỗ nó chạm vào tất cả sáu bề mặt. Phòng hình chữ nhật có ba chế độ trục, mỗi chế độ cho chiều dài, rộng và cao. Chế độ trục quan trọng hơn chế độ ngoài trục, đơn giản vì nó mạnh hơn và đóng góp vào cách thức peak, null và ringing nhiều hơn. Chế độ tiếp tuyến yếu hơn chế độ trục 3dB và chế độ chéo yếu hơn chế độ tiếp tuyến 3dB. Do đó, chế độ trục là loại quan trọng nhất cần xem xét khi lập kế hoạch kích thước cho phòng mới. Lưu ý, chế độ trục phát triển giữa tất cả bề mặt đối diện, ngay cả khi nó không song song. Tuy nhiên, khó dự đoán tần số chế độ của những ranh giới không song song với nhau.

Huyền thoại: Không thể tái tạo âm bass sâu trong phòng nhỏ vì sóng dài cần khoảng cách đủ để phát triển.

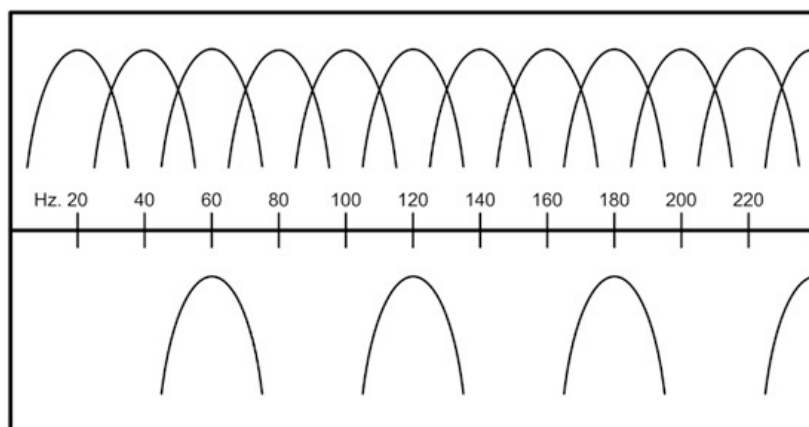
Huyền thoại có liên quan là bạn phải cách loa hay nguồn âm thanh khác một khoảng cách trước khi có thể nghe low end. Nhưng nếu đó là sự thật, headphone sẽ không hoạt động, bạn cũng không thể nghe được âm bass sâu từ giàn stereo trên xe hơi. Như đã đề cập trong Chương 6, nhiều nhạc cụ lớn gửi nhiều tần số khác nhau theo nhiều hướng khác nhau, bao gồm cả về phía sau. Vì vậy, tốt nhất là đặt micro ở xa để thu được những phần âm thanh đó sau khi nó bật ra khỏi ranh giới phòng và phát triển trực tiếp trong phòng. Nhưng chuyện đó không giống như cần phải có khoảng cách vật lý tối thiểu để phù hợp với bước sóng nhất định. Thay đổi áp suất không khí tạo ra âm thanh, xảy ra ngay cả trong khoang headphone kín. Khi loa hay nguồn âm thanh khác tạo ra tần số có bước sóng quá dài để phù hợp với kích cỡ phòng dài nhất, phòng được cho là hoạt động ở chế độ áp suất. Nhưng sóng vẫn tồn tại trong phòng, và vẫn nghe thấy nó ở biên độ bình thường.

Phân phối cách thức - Modal Distribution

Hình 20.1 cho thấy chế độ cho một chiều, chẳng hạn như chiều dài của hai phòng khác nhau. Phòng lớn ở phía trên có chiều dài 28 feet, vì vậy tần số chế độ cơ bản (thấp nhất) của nó là 20Hz. Chế độ tiếp theo xảy ra ở khoảng 20Hz. Mặc dù chuyện này tạo ra nhiều peak cộng hưởng trong đáp ứng, peak gần với nhau, do đó đáp ứng trung bình khá phẳng. Khi một peak đang giảm, peak kế cận sẽ tăng lên, giúp lấp đầy khoảng trống.

Bây giờ hãy xem xét chế độ chiều dài cho phòng nhỏ, hiển thị ở bên dưới Hình 20.1. Ở đây, peak đầu tiên là 60Hz, tương ứng với nửa bước sóng, khoảng 9½ feet. Do đó, chế độ tiếp theo xảy ra ở khoảng 60Hz, làm cho đáp ứng tổng thể kém đồng đều hơn do có khoảng cách rộng giữa những tần số đã tăng. Tuy nhiên, peak cách thức không phải lúc nào cũng tệ. Vài người coi peak ở tần số rất thấp là hữu ích vì nó cung cấp khả năng tăng cường âm bass “tự do-free”, gọi là gain của phòng. Peak cách thức cũng còn gọi là cung cấp hỗ trợ cách thức cũng vì lý do đó.

Chế độ phòng nằm gần, nhưng không chính xác ở đó, đôi khi nốt nhạc tiêu chuẩn có thể khiến âm nhạc phát ra âm thanh lạc điệu vì nốt bass gần đó có thể kích thích chế độ ring ở tần số tự nhiên. Rất có thể xảy ra việc này khi chế độ có Q cao, như xảy ra với tường được làm từ xi măng hay vật liệu cứng khác, phản dội mạnh ở tần số thấp.



Hình 20.1: Trong phòng lớn (trên), chế độ gần nhau gây ra peak cộng hưởng phòng nhỏ (dưới). Khoảng cách gần mang lại đáp ứng tổng thể phẳng hơn.

Hãy nhớ lại, Chương 3 bao gồm thí dụ âm thanh của equalizer có Q cao, tăng tần số gần cao độ tự nhiên của cặp dùi gõ. Trong thí dụ đó, cộng hưởng của EQ đã làm cho âm thanh có vẻ như phát ra âm thanh có cao độ cao hơn.

Khi Q của chế độ cao, cộng hưởng của nó rõ và duy trì lâu hơn. Nốt bass ngắn ở 110Hz có thể kích thích chế độ ở 112Hz để ring trong nửa giây trở lên, làm cho nốt đó có âm thanh sắc ngay cả khi nó không như vậy. Cộng hưởng phòng mạnh cũng có thể thay đổi cường độ cảm nhận ở tần số cao. Mọi người làm việc tại công ty của tôi đều là nhạc sĩ, và một là người giữ bộ trống ở cách xa không gian kho lớn của chúng tôi cho buổi ứng tấu sau giờ làm việc. Tôi nhớ lại lúc tôi gõ chuông (cowbell) của anh ấy và nhận thấy tiếng rung vọng giữa sàn và trần đã duy trì ở mức độ thấp hơn tần số riêng của tiếng chuông một chút!

Tỷ lệ phòng - Room Ratios

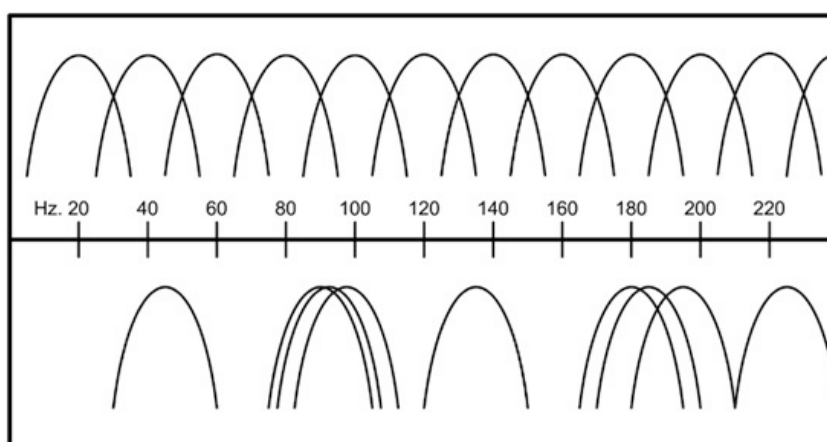
Một yếu tố quan trọng khác là tỷ lệ giữa chiều dài, rộng và cao của phòng. Hình dạng phòng tệ nhất là khối lập phương, cả ba chiều đều giống nhau. Khối lập phương có số peak ít nhất, vì cả ba chiều đều cộng hưởng ở cùng loạt tần số. Chuyện này mang lại một khoảng cách giữa những đỉnh lớn hơn vì không có kích thước nào đóng góp ở giữa những đỉnh này. Tệ hơn, vì tất cả tần số peak trùng nhau, nó kết hợp với nhau mạnh hơn phòng có nhiều peak ở những tần số không liên quan. Tương tự, tốt nhất là tránh kích thước có bội số như 20 feet đến 10 feet vì nhiều tần số chế độ sẽ giống nhau. Ở đó, không có cái gọi là phòng hoàn hảo, nhưng nếu có, mỗi chiều sẽ đóng góp peak ở

Chương 20

tần số khác nhau, cách đều nhau với khoảng cách nhỏ giữa nó, như hiển thị ở trên Hình 20.2.

Bên cạnh việc làm cho phản dội tổng thể ít đồng đều, khoảng cách chế độ không đồng đều có thể làm cho có nốt trên nhạc cụ bass phát ra âm thanh lớn và duy trì lâu hơn là nốt kế cận. Chuyện này tệ hơn đường cong dịu dàng, tạo ra từ nhiều peak ở giữa, ngay cả khi không phẳng, ảnh hưởng đến phạm vi rộng hơn. Như đã giải thích trong Chương 19, tốt hơn cho phòng khi thời gian phân rã của reverb đồng nhất trên toàn âm phổ thay vì cao hơn ở vài tần số chi phối, có thể tạo màu cho âm thanh không tự nhiên. Cũng áp dụng tương tự cho cộng hưởng tần số thấp, cũng phân rã theo thời gian. Vì vậy, với tất cả những lý do này, phòng nên có kích thước khác nhau và không liên quan đến chiều dài, rộng và cao.

Người thiết kế phòng thu chuyên nghiệp đều đồng ý, tỷ lệ nhất định về chiều cao, rộng và dài của phòng là đáng mong đợi nhất. Ba trong số tỷ lệ này, phát triển bởi L. W. Sepmeyer, thể hiện trong Bảng 20.1. Phòng có âm thanh tốt thường có chiều cao, rộng và dài giống như một trong những tỷ lệ Sepmeyer này. Kích thước trong bảng là giữa tường rắn, phản dội. Có những tỷ lệ tốt khác, nhưng có lẽ cái này được tham khảo thường xuyên nhất.



Hình 20.2: Chế độ cho phòng lý tưởng có tỷ lệ lý tưởng (trên) cho phản dội đồng đều hơn phòng có tỷ lệ dở (dưới). Khi tỷ lệ trong phòng dở, sẽ đặt vài cộng hưởng tự nhiên cách xa nhau, trong khi đặt tỷ lệ khác gần nhau.

Bảng 20.1: Tỷ lệ phòng ưa thích

Cao	Rộng	Dài
1.00	1.14	1.39
1.00	1.28	1.54
1.00	1.60	2.33

Lưu ý, khi phòng có trần gạch treo, chiều cao thật sự của chế độ là bề mặt cứng phía trên gạch. Sóng bass đi xuyên qua tấm trần, vì vậy khoảng cách xác định chế độ là đến ranh giới cứng phía trên. Tương tự như vậy, trong tầng hầm tiếp xúc với rầm, chiều cao cách thức là sàn cứng ở trên, ngay cả khi lấp đầy rầm bằng vật liệu sợi thủy tinh cách nhiệt. Khi phòng có hình dạng bất thường hay tường góc cạnh, chế độ vẫn tồn tại, nhưng khó tính toán nó hơn. Tuy nhiên, bạn có thể lấy trung bình kích thước để có ý tưởng sơ bộ về tần số. Thí dụ: nếu tường bên có góc cạnh để phòng rộng 10 feet ở một đầu và rộng 12 feet ở đầu kia, bạn có thể xử dụng 11 làm trung bình cho chiều rộng. Phòng có hình dạng không đều, chẳng hạn như với một hốc lớn, có nhiều hơn ba bộ chế độ và do đó khó tính toán hơn. Đây là lý do tại sao việc đo một phòng hiện tại thường hữu ích hơn là cố gắng dự đoán đáp ứng của nó bằng máy tính chế độ.

Toàn bộ những cái đã nói, tôi tin thường cường điệu hóa tầm quan trọng của tỷ lệ phòng, đòi

khi bỏ qua những quan tâm về công thái học (ergonomic) cũng rất quan trọng. Ngay cả khi phòng có tỷ lệ hoàn hảo, không tồn tại, thì vẫn cần bass để giảm thiểu peak, null và ringing vì không thể tránh khỏi. Bất kể kích cỡ và hình dạng của căn phòng ra sao, vẫn xảy ra sóng đứng, peak và null sâu ở giải tần rộng, không chỉ những tần số liên quan đến kích cỡ phòng. Vì vậy, bạn vẫn cần bass bass xử lý toàn bộ giải âm chứ không chỉ hấp thụ tần số chế độ. Thật vậy, với đủ bass, ngay cả những phòng rất nhỏ cũng có thể phát ra âm thanh tuyệt vời, vì vậy đừng tuyệt vọng nếu xảy ra tình huống đó. Hơn nữa, chỉ cần tính toán chế độ phòng khi thiết kế không gian mới. Khi xử lý phòng hiện có, không liên quan tới việc tỷ lệ có tốt hay không, vì bạn có thể làm bất cứ việc gì để thay đổi chế độ trừ khi bạn sẵn sàng xây dựng tường mới.

Chế độ, nút và sóng đứng –

Modes, Nodes, and Standing Waves

Chung nguồn gây bối rối là khác biệt giữa chế độ, nút và sóng đứng. Chế độ là tần số đã xác định bởi kích thước phòng cộng hưởng khi phát cùng tần số trong phòng qua loa hay nguồn âm thanh khác. Nói cách khác, chế độ là khuynh hướng ngân. Nếu bạn có chế độ ở 100Hz nhưng không bao giờ phát tần số đó trong phòng, sẽ không bao giờ kích thích chế độ, do đó nó sẽ không bao giờ ringing.

Nút là vị trí trong phòng, chỗ hai sóng va chạm lệch phase tạo ra giá trị null. Thí dụ, xảy ra nút ở khoảng cách $\frac{1}{4}$ bước sóng có thể dự đoán, từ tường phía sau người nghe, như đã giải thích trong Chương 19. Chống nút (antinode) cũng vậy, nhưng xảy ra tại vị trí có hai sóng kết hợp với nhau để tạo ra peak trong đáp ứng. Khi hai sóng kết hợp đồng phase, kết quả là gia tăng áp suất, do đó đạt đến peak.

Cũng xảy ra sóng đứng khi hai sóng đối diện kết hợp đồng phase, nhưng nó xác định trạng thái của chuyển động sóng tại vị trí, không phải vị trí của chính nó, hay tần số, hay có thể dẫn tới bất kỳ ringing nào. Hầu hết sóng âm đề coi là sóng di chuyển vì nó truyền qua không khí từ chỗ này sang chỗ khác. Nhưng tại thời điểm va chạm, chỗ có thể nói là húc đầu vào nhau, áp lực gia tăng tại vị trí đó sẽ tạo ra peak. Nhiều người, bao gồm vài nhà âm học, lẫn lộn chế độ và sóng đứng và coi nó giống nhau. Nhưng nó không giống nhau; một là thiên hướng rung ngân, nhưng chỉ khi bị sóng âm kích thích và hai là xảy ra tình trạng bất động khi mặt sóng đối diện va chạm trong không khí. Thật vậy, lẫn lộn này lan tràn đến nỗi trong cuốn sách Recording Studio Design (Focal Press, 2003), chuyên gia âm học Philip Newell đã đề cập đến nó như vậy:

Cần nhấn mạnh, sóng đứng luôn tồn tại khi giống sóng giao thoa, cho dù tình huống cộng hưởng có tồn tại hay không và cách xử dụng thuật ngữ “sóng đứng - standing wave” phổ biến chỉ mô tả điều kiện cộng hưởng đã sai còn lạc lối nữa.

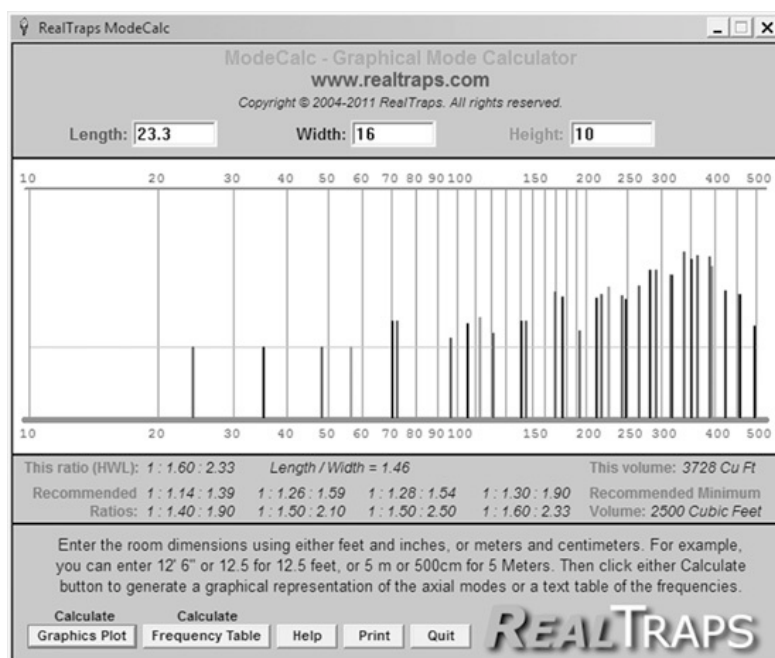
Nếu bạn đã từng xử dụng siêu âm để làm sạch đồ trang sức hay linh kiện điện tử nhỏ, thì bạn có thể thấy hành động của sóng đứng. Khi bạn thả hòn sỏi xuống ao, sẽ tạo ra hàng loạt sóng, kéo dài từ điểm va chạm. Vì ao lớn, sóng tiêu tan trước khi nó có thể đến bờ và phản dội trở lại chỗ xuất phát. Nhưng trong khu vực nhỏ như bồn của máy siêu âm, sóng dội vào vách chung quanh và tạo ra mặt trước áp lực khiến cho nó có nghĩa đen là “đứng yên -stand still” trong dung dịch làm sạch. Cũng xảy ra như vậy trong phòng khi loa của bạn phát sóng sine duy trì như từ bass điện. Sóng đứng làm cho nút và chống nút bất động phát triển ở nhiều chỗ khác trong phòng, tùy thuộc vào vị trí loa, kích thước phòng và tần số của âm.

Chương trình ModeCalc - ModeCalc Program

Có vài phép tính chế độ miễn phí trên Internet, nhưng hầu hết chỉ cung cấp danh sách con số dài, khiến cho khó tưởng tượng ra bức tranh toàn cảnh. Vì tôi cần phép tính chế độ tốt cho công việc tính âm, tôi đã tạo ra chương trình ModeCalc, hiển thị trong Hình 20.3, có sẵn trên trang web của sách này. ModeCalc chạy trên tất cả máy tính Windows và tính toán 16 chế độ trực đầu tiên lên đến 500Hz cho bất kỳ phòng hình chữ nhật nào bằng cách nhập kích thước dưới dạng feet và inch hay mét. Mục đích chính của nó là xác định kích thước tốt cho phòng mới đề xuất hay để ước tính hành

Chương 20

vi tần số thấp của phòng hiện có. Nó sẽ không giúp bạn điều trị phòng hiện có, cũng như không dự đoán đáp ứng tần số tại vị trí nghe. Cho là bạn cần phải đo. Hơn nữa, thực tế có thể khác với dự đoán chế độ đáng kể, tùy thuộc vào việc xây dựng phòng. Dự đoán có thể bị sai lệch khi tần số rất thấp đi qua tường mỏng đến ranh giới cứng hơn bên ngoài, hay bởi hiện diện của bass và vật thể khác trong phòng.



Hình 20.3: ModeCalc chạy trên tất cả máy tính Windows và hiển thị chế độ trực cho bất kỳ phòng hình chữ nhật nào dựa trên kích thước của nó.

Cũng như chương trình Frequency-Distance, không cần cài đặt. Chỉ cần giải nén tất cả file vào bất kỳ thư mục nào, rồi chạy ModeCalc.exe. Tôi không có phiên bản ModeCalc cho máy Mac, nhưng bạn vẫn có thể nhận được vài lợi ích bằng cách làm cho phòng của bạn giống với một trong tám tỷ lệ đã đề xuất hiển thị trên màn hình chương trình.

Lưu ý, ở tần số cao, chế độ tự nhiên trở thành gần nhau. Nhà âm học xem xét tần số thấp và cao trong phòng để phân chia tại điểm giao gọi là tần số Schroeder, lấy tên nhà vật lý người Đức Manfred R. Schroeder (1926 - 2009). Đây là tần số mà trên đó từng chế độ riêng không còn chi phối phản dội nữa và reverb truyền thống sẽ tiếp nhận. Nói cách khác, trên tần số Schroeder, chế độ gần nhau đến mức nó không còn là peak cộng hưởng riêng. Tần số Schroeder cho phòng phụ thuộc vào kích thước của nó và cũng tùy thuộc vào mức độ hấp thụ tần số thấp đã có, vì vậy, tính toán chính xác không đơn giản. Khi tất cả những cái khác bằng nhau, phòng càng lớn, tần số Schroeder của nó sẽ càng thấp. Trong hầu hết phòng có kích thước gia đình, tần số Schroeder nằm trong khoảng từ 100 đến 300Hz. Đây không phải là giao thoa cứng với tần số cố định, mà là quy trình chuyển đổi dần dần.

Nếu bạn sử dụng ModeCalc để kiểm tra phòng hiện có, xin đừng nản lòng khi kết quả dở. Tất cả phòng đều cần nhiều bass, và chắc chắn có thể cải thiện phòng chịu phân phối cách thức dở bằng cách thêm nhiều bass. Hình 20.3 cho thấy kết quả cho phòng có một trong những tỷ lệ đã đề xuất, 23.3 x 16 x 10 feet. Bạn có thể thấy từ hình vẽ này, ngay cả với tỷ lệ đã đề xuất, khoảng cách chế độ vẫn hơi không đồng đều và vẫn xảy ra chế độ ở tần số gần đó. Vì vậy, trừ khi bạn sẵn sàng di chuyển tường đi, chỉ cần chấp nhận những cái bạn có và có thể cài đặt thêm vài bass, nhiều hơn dự định ban đầu.

ModeCalc sử dụng công thức rất đơn giản: Với kích thước đã tính theo feet, xảy ra tần số chế độ đầu tiên ở tốc độ âm thanh chia cho gấp đôi kích thước. (với mét, công thức là 344 mét mỗi giây chia cho gấp đôi kích thước). ModeCalc sử dụng giá trị 1.130 feet mỗi giây cho tốc độ âm thanh

Chương 20

để xác định tần số nào truyền qua phòng và quay lại trong một chu kỳ. Tất cả chế độ tiếp theo là bội số của tần số đó. Xử dụng gấp đôi kích thước vì phòng dài 10 feet có tổng khoảng cách chuyển đi khứ hồi là 20 feet; sóng truyền từ đầu này sang đầu kia và quay lại để hoàn thành một chu kỳ. Vì vậy, với phòng dài 10 feet, xảy ra chế độ đầu tiên ở 56.5Hz:

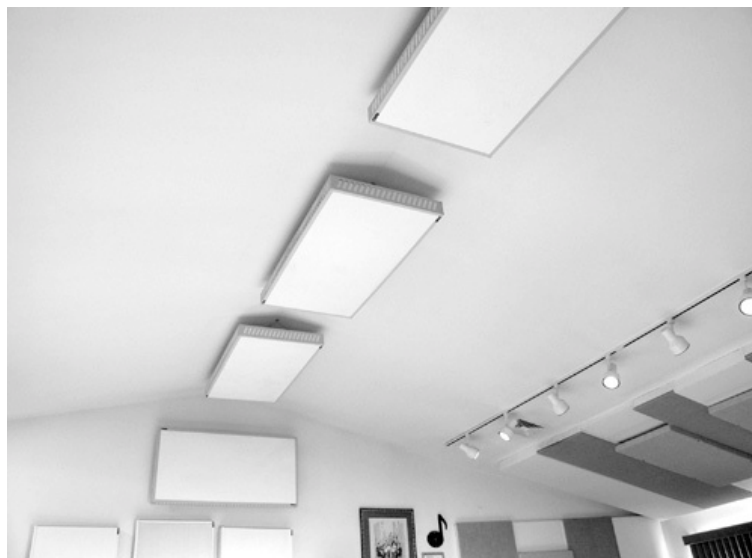
$$\frac{1130}{10 \times 2} = 56.6$$

Chế độ thứ hai cho kích thước đó là gấp đôi 56.5 hay 113Hz, lần thứ ba là gấp ba 56.5 hay 169.5Hz, v.v. Hướng dẫn ở phía dưới màn hình giải thích cách xử dụng chương trình và có hướng dẫn hoàn chỉnh trong chương trình Help.

Phòng dị thường - Room Anomalies

Với hầu hết studio dự án nhỏ, phòng hình chữ nhật là tốt, đặc biệt là nếu đó là tất cả những cái bạn có. Rất vô nghĩa khi xây dựng tường góc cạnh trong phòng nhỏ. Trừ khi bạn có thể xử dụng không gian phía sau tường góc cạnh mới, thí dụ như lưu trữ, bạn chỉ làm cho phòng nhỏ hơn. Cũng xảy ra như vậy với trần có góc cạnh. Nếu bạn có tiền xây dựng phòng mới, và ngân sách để làm cho phòng đó đủ lớn cho kết quả chuyên nghiệp, thì việc thêm góc có thể có ý nghĩa. Trong trường hợp đó, phòng nên sẽ rộng hơn và/hay cao hơn về phía sau thay vì hẹp hay thấp hơn. Nên tránh bề mặt lõm vì nó tập trung âm thanh.

Với trần chóp nhọn sẽ xảy ra cùng kiểu tập trung, ở đó nó có cao ở giữa hơn chứ không phải ở một đầu. Việc này tập trung âm thanh đến khu vực dưới đỉnh, mặc dù sự hấp thụ có thể làm giảm hiệu ứng tập trung. Hình 20.4 cho thấy chóp của trần trong phòng thu tại nhà của tôi, với tám hấp thụ treo trực tiếp dưới chóp.



Hình 20.4: Trần trong studio tại nhà Ethan có chóp, tăng từ cao 8 feet ở tường phía trước và phía sau lên 12 feet ở trung tâm. Treo tám hấp thụ dưới chóp vài inch sẽ giảm hiệu ứng tập trung với bề mặt lõm.

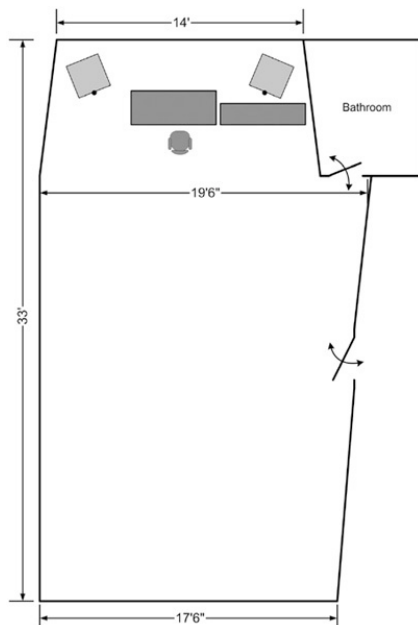
Mặc dù vậy, trần nhà có chóp không tệ, vì nó tránh được tiếng echo và ringing giữa bề mặt phản dội đối diện khi trần song song với sàn. Khi tôi xây nhà vào thập niên 1990, tôi đã nhờ nhà thầu tạo ra trần có góc cao này thay vì trần phẳng truyền thống có gác mái phía trên. Với chiều dài 33 feet, rộng 18 feet, với đỉnh trần cao 12 feet, phòng thu tại nhà một phòng của tôi đủ rộng để có môi trường chung quanh “tốt”, tôi đã xử dụng để tạo lợi thế lớn. Trần 8 feet tiêu chuẩn sẽ quá thấp cho phòng dài và rộng này.

Trần nhà của tôi tăng cao từ trước, rồi đi xuống ở phía sau. Chuyện này tốt hơn là trần tăng từ bên trái và hạ xuống bên phải vì điều đó đặt vị trí nghe trực tiếp dưới chóp. Nếu đặt chóp ở giữa trước và sau như trong phòng của tôi, vị trí nghe sẽ hướng về phía trước của tiêu điểm đỉnh. Nếu chóp của bạn tăng từ mỗi bên thay vì từ trước ra sau, chỉ cần xử lý khu vực rộng dưới đỉnh chóp, đặc

Chương 20

biệt là ngay trên đầu của bạn. Hình 20.5 cho thấy sơ đồ tầng cho studio của tôi ở tầng hai. Chương 6 cho thấy vài hình ảnh của phòng thu tại nhà của tôi trong phần về vị trí micro phổ biến. Video “studio_tour” giải thích cách thiết lập và xử lý studio, và tại sao, và tập hợp nhiều khái niệm và lý thuyết thiết kế phòng từ chương này.

Mặc dù phòng phía sau sẽ trở nên rộng hơn và cao hơn ở, nhưng đó là thực tế trong studio của tôi. Nếu phòng tắm ở phía sau, thậm chí phía sau sẽ hẹp hơn. Nhưng tôi muốn nghiêng nhẹ tường bên dài để tránh tiếng flutter echo mà không cần hấp thụ thêm. Hơn nữa, loại trần cao góc cạnh duy nhất có thể có trong nhà bình thường đặt đỉnh ở giữa. Một lần nữa, phòng này đủ lớn để cả hai: sai lẫn lý tưởng là vấn đề thật sự.



Hình 20.5: Phòng thu một phòng tại nhà của Ethan đủ lớn để thu âm hơn chục nhạc sĩ cùng lúc.

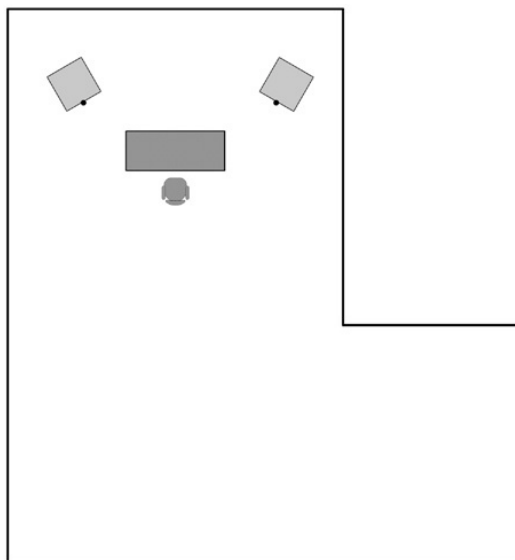
Huyền thoại: Xây tường có góc nghiêng tránh nhu cầu có bẫy bass.

Niềm tin đặt vách thạch cao ở góc, nghiêng về một bên tránh nhiều vấn đề về âm bass là điều đáng ngạc nhiên. Quả đúng là sóng âm bass thường thu thập ở góc phòng, do đó, khi đặt bẫy bass mở rộng ở đó cũng hoạt động tốt nhất, tạo cho bẫy có cái gì đó để hấp thụ. Nhưng việc cắt góc phòng bằng vách thạch cao không tránh được tích tụ âm bass; tất cả những gì nó làm là loại bỏ những chỗ đặt bẫy bass tốt nhất! Cũng giống như những tường góc cạnh không thể loại bỏ chế độ phòng hay sóng đứng, cũng không nên tạo ra góc bằng vật liệu phản dội cứng.

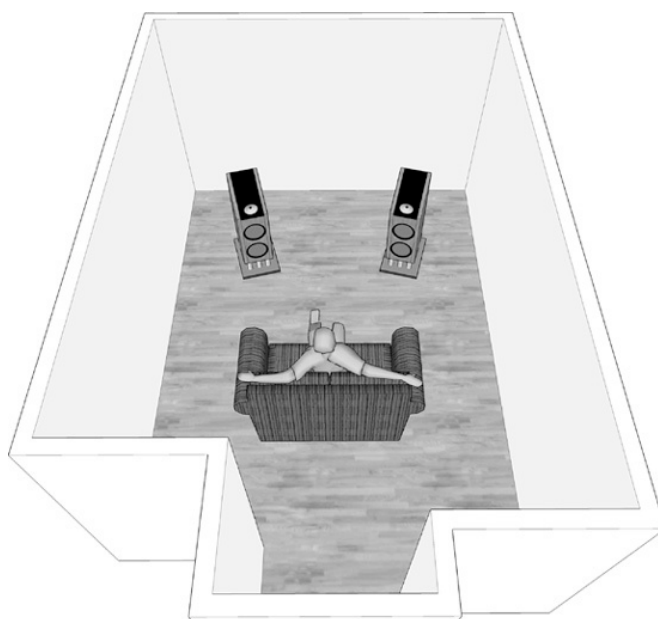
Tương tự, tốt nhất nên tránh vòm cứng quanh chu vi trần nhà vì đó cũng là chỗ bẫy bass hoạt động tốt nhất. Khi bạn xây dựng góc bằng vách thạch cao, sẽ tạo ra hai góc, đòi hỏi nhiều bẫy bass hơn. Nếu bạn thích vẻ ngoài của vòm, hay cần che ống dẫn khí dọc theo tường và muốn có cái nhìn đối xứng, hãy xây dựng chỗ vòm còn lại làm bẫy bass. Cách làm việc này tốt nhất là bằng khung tán bằng gỗ hay thép giả vòm, rồi nhét lớp cách nhiệt đầy khoang bằng sợi thủy tinh mịn. Bạn có thể kéo căng vải quanh mặt và đáy lộ ra hay che những khe hở đó bằng bìa cứng để sơn tường và trần. Ngay cả cái vòm có nghĩa là để che giấu ống dẫn sẽ phản dội âm bass ít hơn nếu làm nó bằng bìa cứng. Nếu ống dẫn làm bằng sợi thủy tinh, hay kim loại mỏng lót bằng sợi thủy tinh, nó sẽ hấp thụ ở vài tần số thấp thay vì phản dội như vách thạch cao.

Bố trí phòng kỳ lạ - Odd Room Layouts

Đôi khi nhiều người băn khoăn không cần thiết về phòng có hình dáng kỳ lạ của họ. Hình dáng phổ biến là chữ L hiển thị trong Hình 20.6. Như đã giải thích trong Chương 19, tốt nhất là để loa phát ra âm thanh dài hơn trong phòng. Vì vậy, nếu phòng này rộng từ trái sang phải hơn từ đầu đến cuối, vị trí nghe tốt sẽ nằm ở phía dưới bên phải bản vẽ với loa hướng về bên trái.



Hình 20.6: Đây là cách thiết lập phòng hình chữ L tốt nhất, chỗ loa phát ra dài nhất, và bên trái và phải đối xứng gần loa và vị trí mix.



Hình 20.7: Tường dạng bước ở phía sau phòng giúp phá vỡ phản dội ở tần số thấp. Tủ quần áo, hay thậm chí phòng ca sĩ, cũng có thể phục vụ mục đích tương tự.

Nếu bạn có cửa sổ ở đầu phòng, thì thường tốt nhất là đối mặt với cửa sổ trong khi mix, trừ khi điều đó làm mặt trời chiếu lên mặt bạn trong phần lớn thời gian trong ngày. Ngay cả sau đó, rèm điều chỉnh cũng hoạt động tốt. Có bề mặt phản dội trước mặt bạn, phía sau loa, thường không là vấn đề vì hầu hết loa đều gửi âm thanh theo cách khác. Nhưng khi có cửa sổ ở sau bạn, khó đặt tấm hấp thụ hay khuếch tán ở đó để xử lý phản dội từ phía sau phòng.

Tường dạng bước phía sau như trong Hình 20.7 giúp phá vỡ phản dội ở tần số âm bass, làm chao đảo thời gian đến của nó giống như bộ khuếch tán QRD. Hầu hết ai cũng không xây tường như vậy, nhưng tủ quần áo hay phòng thu ca sĩ ở phía sau phòng cũng cho lợi thế tương tự.

Như bạn thấy, đối phó với phòng có hình dạng kỳ lạ nặng về óc suy xét, và vẫn áp dụng những điều cơ bản như phóng loa xuống kích thước dài. Nếu phòng có góc kỳ lạ ở một đầu hay bị tủ sách có thể di chuyển chặn một phần góc, hãy đặt loa ở đầu đối diện chỗ bạn có thể cần sự đối

Chương 20

xứng. Hơn nữa, những loại nhỏ như bộ tản nhiệt và gờ nhô ra khỏi tường là vô hình đối với sóng âm bass, đi ngay quanh nó. Cũng áp dụng cho rèm trần như vậy, trừ khi nó thông qua trần thấp rồi phản dội âm thanh từ loa về phía tai của bạn. Điều quan trọng nhất với tính âm là những cái lớn. Có khúc tường nhô vào phòng một feet có thể tạo thành góc, nhưng nó không thu thập nhiều âm bass.

Một phòng & hai phòng

Nếu bạn thu âm chủ yếu cho chính mình hay nhóm bạn nhỏ để giải trí, một studio chỗ bạn thu và mix trong cùng một phòng sẽ thuận tiện hơn là chạy qua lại giữa hai phòng liên tục. Điều này đặc biệt đúng trong phòng nhỏ; tốt hơn khi có một phòng đủ lớn để có đáp ứng tần số thấp, thay vì hai phòng, mỗi phòng nhỏ đến nỗi không có âm thanh tốt. Chia phòng nhỏ luôn là ý tưởng tồi. Ngay cả khi bạn thỉnh thoảng thu những người khác, cũng không nhất thiết phải xử dụng một phòng và tôi luôn làm vậy. Mọi người đều đeo headphone trong khi thu, bao gồm cả tôi; rồi những người biểu diễn nghe cùng phát lại tôi nghe qua loa. Thật vậy, nhiều kỹ sư chuyên nghiệp thu âm giọng hát trong phòng điều khiển vì nó thuận tiện và dễ giao tiếp với nghệ sĩ. Khi thu âm những người khác trong phòng thu một phòng, bạn sẽ đặt họ phía sau bạn, tránh xa điểm phản dội của loa và phía trước phòng chỗ đối xứng. Thậm chí bạn có thể đặt tấm kính nhỏ trên tường trước mặt để bạn có thể nhìn thấy người biểu diễn nhưng không cần quay lại.

Nhiều người tin cần hai phòng để cô lập âm thanh khi thu âm, mặc dù việc này không hữu ích như vẻ ngoài của nó. Hồi xưa, khi hầu hết phòng thu bị giới hạn ở 16 hay 24 track, người ta thường xử dụng micro trống sub-mix trong khi thu âm để lưu track cho overdub tiếp theo. Vì vậy, có thể sẽ thu mười micro trống thành bốn track, với micro kick và snare trên track riêng biệt, và mix tất cả track khác thành hai track trong stereo. Trong trường hợp đó, rất hữu ích khi ở trong phòng riêng để nghe sub-mix chính xác vì bạn có thể thay đổi EQ trống sau khi mix. Nhưng hiện nay, hầu hết mọi người đều xử dụng phần mềm DAW có số lượng track không giới hạn. Khi bạn biết phòng của mình và chỗ đặt micro, bạn có thể thu từng micro vào track riêng và sắp xếp số dư sau. Dĩ nhiên, bạn có thể thực hiện bản thu thử nghiệm ngắn để xác nhận âm thanh nguồn micro như dự định trước khi thu thật.

Hơn nữa, nhiều người có phòng thu tại nhà xử dụng lấy mẫu MIDI thay vì trống thật, do đó còn ít cần việc cô lập hơn. Nhưng ngay cả với phòng riêng, bạn vẫn không cô lập thật sự trong hầu hết nhà. Rất khó cô lập tần số rất thấp hiệu quả, do đó, trống kick và bass điện có khả năng xuyên qua tường và sàn chung. Trong trường hợp đó, bạn có thể thật sự tin tưởng vào cân bằng mà bạn nghĩ mình đang nghe qua loa. Sau tất cả những cái đã nói, tôi thích cách bố trí một phòng cho phòng thu dự án nhỏ, vì có thể một mỗi khi thu lại phiên dài có tay trống live hay guitar chơi ồn ào trong cùng phòng.

Phòng thu ca sĩ - Vocal Booths

Huyền thoại: Để có kết quả tốt nhất, bạn nên thu giọng hát trong phòng kín vì đó là cách chuyên gia thực hiện.

Với những người không quen, phòng thu không là phòng thu “thật”, trừ khi nó có phòng thu ca sĩ. Nhưng theo tôi, không luôn cần phòng thu ca sĩ, hay thậm chí là mong muốn, cho phòng thu dự án điển hình. Với phòng thu lớn, thương mại, phòng thu ca sĩ mới có ý nghĩa; ngay cả phòng thu ca sĩ nhỏ của họ cũng có kích cỡ như phòng ngủ và đã xử lý tính âm tốt. Có phòng thu ca sĩ sẽ cho phép kỹ sư cô lập giọng ca sĩ trong quy trình theo dõi toàn dải để tránh rò rỉ từ phần còn lại của ban nhạc đi vào micro của ca sĩ.

Nhưng phòng thu ca sĩ trong phòng thu gia đình thường có kích cỡ bằng tủ quần áo. Ngay cả khi bạn xử lý tất cả bề mặt của gian hàng bằng hấp thụ, phòng nhỏ sẽ gặp vấn đề nghiêm trọng ở tần số bass và low-mid. Vì vậy, bạn không chỉ cần hấp thụ trên tường và trần để tránh âm thanh hình hộp nhỏ trong phòng, mà còn cả bass rộng để loại bỏ cộng hưởng rõ rệt làm tăng thêm chất lượng không tự nhiên của “cái buồng”. Áp dụng như vậy cho phòng nhỏ, xử dụng cho amply bass hay guitar.

Ngay cả trong studio “thật”, kỹ sư và producer thường theo dõi giọng hát trong phòng điều

Chương 20

hiển. Richard Hilton, bạn của tôi, kỹ sư trưởng của Nile Rodgers, đã thu âm Michael Bolton, Simon Le Bon, Tina Arena và nhiều ca sĩ nổi tiếng khác trong phòng điều khiển của Nile, xử dụng headphone với kết quả tuyệt vời. Với kích thước khoảng 20 x 25 feet, phòng này, hiển thị trong Hình 20.8, là kích thước điển hình cho studio tại nhà. Vì vậy, ngay cả với studio nghiêm chỉnh chuyên nghiệp hoàn toàn, thu âm trong phòng điều khiển là giải pháp tốt. Xử dụng phòng thu ca sĩ chỉ có ý nghĩa nếu nó đủ lớn để cho ra âm thanh tốt và bạn thật sự cần cô lập để thu âm giọng hát hay nhạc cụ nhỏ trong khi ban nhạc chơi trực tiếp cùng lúc hay để tránh làm phiền gia đình bạn.



Hình 20.8: Richard Hilton, kỹ sư trưởng của producer Nile Rodgers, thường thu âm giọng hát trong phòng thu tại nhà của Nile, trình bày ở đây.



Hình 20.9: RealTraps Portable Vocal Booth hấp thụ môi trường thừa trong phòng và nó đủ lớn để chặn tiếng quạt máy tính và tiếng động khác từ phía sau nó rất hiệu quả.

Vấn đề tiềm ẩn khi thu âm một phòng là tạp âm chung quanh, thường do quạt máy tính hay ampli công suất. Nếu bạn gặp vấn đề này, phòng thu ca sĩ di động hiển thị trong Hình 20.9 hay tương đương thương mại hay tự chế khác, đặt giữa nhạc sĩ và nguồn có thể giảm lượng tạp âm lọt vào micro. Đặt ca sĩ phía sau vị trí mix, hướng ra phía trước phòng, đặt máy tính vào null micro cardioid và rào cản ngăn âm thanh phát ra từ phía sau micro.

Chương 20

Nếu bạn phải có phòng thu ca sĩ kín trong phòng nhỏ, hãy đặt nó phía sau vị trí mix, chính giữa trái và phải trong phòng dựa vào tường phía sau. Điều này bắt chước bộ khuếch tán QRD có ba phần giống như tường dạng bước trong Hình 20.7, và nó giúp phá vỡ phản dội tần số thấp từ tường đó. Vẫn xảy ra phản dội, nhưng sóng quay lại vào những thời điểm khác nhau do khoảng cách khác nhau, làm suy yếu peak và null bass trong phòng.

Phản dội bề mặt - Surface Reflectivity

Huyền thoại: Tôi có phòng thu âm nhỏ trong tầng hầm và tôi dự định thêm sàn gỗ vì gỗ nghe đẹp và “ấm” hơn là xi măng.

Huyền thoại thông thường là bề mặt gỗ tạo ra âm thanh ấm cho phòng, so với bê tông, vôi sơn hay vách thạch cao. Nhưng trong bối cảnh bề mặt tường và sàn, điều quan trọng nhất là phản dội bề mặt. Đó là, đã phản dội bao nhiêu âm thanh đập vào bề mặt, và ở tần số nào. Tôi đã thấy mọi người tranh luận bề mặt gỗ làm tăng thêm chất lượng cho phòng giống như gỗ ảnh hưởng đến âm sắc của cây violin tốt. Nhưng đó là so sánh sai vì gỗ mỏng trong đàn violin có nghĩa là thêm rung và cộng hưởng, trong khi gỗ trên sàn hay tường dày hơn nhiều và neo chặt vào mặt sau. Thật vậy, cộng hưởng trong nhạc cụ là mong muốn và thậm chí là nhu cầu, nhưng phòng thu và nghe tốt phải nhằm mục đích tránh cộng hưởng để có âm thanh trung lập.

Tôi cũng thấy mọi người quả quyết âm thanh của gỗ và xi măng khác nhau rõ ràng, đến mức bạn chỉ cần lắng nghe nó. Nhưng điều này cũng sai logic, trừ khi bạn có thể thử giọng (và hy vọng đo lường) hai phòng giống hệt nhau, trong đó khác biệt duy nhất là vật liệu bề mặt. Nhiều phòng thu âm chuyên nghiệp hiện nay đã nhuộm sàn xi măng thay vì gỗ vì nhiều lý do, bao gồm cả chi phí. Vải sơn lót sàn phản dội âm thanh giống như xi măng hay gỗ và cũng phổ biến. Để minh họa điều này, Hình 20.10 cho thấy cường độ phản dội trong dải tần số bát độ tiêu chuẩn cho vài vật liệu sàn và tường phổ biến. Bảng này có trong bảng tính “Surface Reflectivity.xls” trên trang web của sách này.

Mỗi con số phản dội bề mặt trong Hình 20.10 là đối ứng hấp thụ của nó, vì vậy nếu vật liệu hấp thụ 1% âm thanh, thì 99% là phản dội. Việc này giả định bề mặt đã neo vào lớp nền chắc, không lơ lửng trong không khí. Khi vật liệu rung động tự do, vài âm thanh – hầu hết là tần số thấp – đi qua vật liệu thay vì bị phản dội trở lại nguồn phát. Từ đó, để chuyển đổi phần trăm phản dội thành cường độ phản dội tính bằng decibel. Đây là công thức, trong đó AbsCo là hệ số hấp thụ của vật liệu:

Cường độ phản dội tính theo dB = 10 * Log (1 - AbsCo)

	A	B	C	D	E	F	G
1	Frequency	125	250	500	1000	2000	4000
2							
3	Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
4	Reflections dB down	0.04	0.04	0.04	0.04	0.09	0.09
5							
6	Concrete sealed or painted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
7	Reflections dB down	0.04	0.04	0.09	0.09	0.09	0.09
8							
9	Vinyl tile or linoleum on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
10	Reflections dB down	0.09	0.13	0.13	0.13	0.13	0.09
11							
12	Wood parquet on concrete	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
13	Reflections dB down	0.18	0.18	0.32	0.27	0.27	0.32
14							
15	Wood floor on joists	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
16	Reflections dB down	0.71	0.51	0.46	0.32	0.27	0.32
17							
18	Glass small pane	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
19	Reflections dB down	0.86	0.27	0.18	0.13	0.09	0.09
20							
21	Gypsum board on masonry	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
22	Reflections dB down	0.04	0.09	0.09	0.13	0.18	0.22

Hình 20.10: Độ phản dội bề mặt của vài vật liệu xây dựng phổ biến. Hàng trên cho mỗi vật liệu là hệ số hấp thụ của nó và số in đậm bên dưới đã tính toán để hiển thị mức độ âm thanh đã phản dội trong mỗi dải tần số.

Điều này mang đến điểm quan trọng. Khi gắn tấm kính thủy tinh vào tường đá cứng, kính chỉ

Chương 20

phản ảnh tần số cao nhất hơn vách thạch cao một chút. Tương tự như vậy, dán vách thạch cao vào tấm xi măng cứng hay gạch mịn sẽ phản dội tần số cao ít hơn do mặt giấy hấp thụ một chút tần số rất cao. Nhưng thường gắn kính và vách thạch cao theo cách cho phép uốn cong. Khi tấm kính cửa sổ lớn có thể uốn cong tự do trong khung hay gắn vách thạch cao được vào gỗ hay kim loại, rung ngân đồng cảm có thể làm tăng độ hấp thụ của nó ở vài tần số thấp. Thể hiện rõ việc này ở hàng từ 15 đến 19 trong Hình 20.10, cho thấy ở 125Hz, kính và sàn gỗ trên rầm hấp thụ nhiều hơn và phản dội ít hơn.

Bạn có thể thấy tất cả bề mặt này phản dội giống nhau trong phạm vi dưới 1dB và trong hầu hết trường hợp dưới nửa dB. Theo tôi, bề mặt phản dội giống nhau trong phạm vi 1dB trở xuống sẽ nghe khá giống nhau. Vài người tin rằng gỗ và xi măng và vữa sơn đều có âm thanh khác nhau, nhưng bất kỳ sự khác biệt nào nghe được rất có thể là do yếu tố khác như kích thước và hình dạng, bề mặt và vật thể khác của phòng, hay thậm chí là kỳ vọng và hiệu ứng trấn an.

Thất bại của dữ liệu trong Hình 20.10 là nó không cao hơn 4KHz. Tôi nghi bất kỳ sự khác biệt nào giữa vật liệu sẽ lớn ở tần số cao nhất, vì vậy tôi đã đo thời gian reverb bên trong hộp nhỏ có kích cỡ khoảng 38 x 23 x 15 inch làm bằng gỗ MDF. Sau đó, tôi lót toàn bộ hộp bằng kính cửa sổ và đo lại. Ở mức 5KHz trở xuống, thời gian phân rã RT60 rất giống nhau. Nhưng ở 8KHz trở lên, thời gian phân rã với mặt kính hiện tại dài hơn khoảng một phần ba. Vì vậy, việc này xác nhận kính và bề mặt tương tự như gạch gốm có độ phản dội cao hơn gỗ một chút, ở giải treble phía trên. Nhưng ngay cả ở những tần số cao đó, bê tông bịt kín có khả năng tương tự như sàn gỗ đã đánh bóng hay nhiều lớp.

Khi tôi bắt đầu viết về huyền thoại phản dội bề mặt vào năm 2007, nó đã gây ra nhiều trận chiến ảo trong vài diễn đàn âm thanh. Hàng chục người tranh cãi về nó trong nhiều tuần, nhiều người khẳng định khác biệt giữa sàn gỗ và xi măng rất lớn. Nhưng so sánh táo – táo hợp pháp là gần như không thể vì nó đòi hỏi hai phòng giống hệt nhau chỉ có bề mặt sàn thay đổi. Do đó có bảng tính này. Tôi đã rất vui khi báo cáo, trong nhiều năm, kể từ những bài đăng đó, tất cả diễn đàn âm thanh tôi truy cập đều chấp nhận phép đo của tôi. Không ai tranh cãi nữa, tất cả bề mặt này nghe có vẻ giống nhau, và mọi người nhận ra đây là thí dụ về sự thiên vị và nhận thức thiếu sót khác, bị dữ liệu đúng bác bỏ.

Tính toán phản dội - Calculating Reflections

Hình 19.18 từ Chương 19 cho thấy, khi bề mặt phản dội 100% âm thanh ở tần số nào đó, sẽ tạo ra null vô hạn 1/4 bước sóng từ bề mặt đó. Nhưng nếu bạn giảm cường độ phản dội xuống 1dB, thì null chỉ sâu 19dB. Giảm nó xuống một dB nữa và null chỉ sâu 14dB. Nếu bạn giảm cường độ phản dội xuống -6dB, thì bây giờ null chỉ sâu 6dB. Bạn có thể tra cứu công thức đã sử dụng trong bảng tính để xem cách tính phạm vi của peak và null dựa trên lượng hấp thụ. Nhưng có thể tính trực tiếp bằng bảng tính Decibels.xls đã đề cập đầu tiên trong Chương 1.

Đã giải thích tính toán dB điện áp, nhưng bảng tính này cũng tính toán quan hệ decibel âm thanh. Khi bạn nhập hệ số hấp thụ vật liệu, bảng tính sẽ tính cường độ phản dội, cũng như độ sâu null và mức tăng peak ở khoảng cách ranh giới 1/4 và 1/2 bước sóng tương ứng. Phần cuối cùng chấp nhận mức giảm phản dội do bạn đo được bằng phần mềm kiểm tra phòng có và không có bộ hấp thụ tại chỗ, cho bạn biết hệ số hấp thụ của vật liệu đó và kích cỡ peak và null. Nó cũng tính toán lượng peak và null từ chênh lệch dB giữa hai tín hiệu giống hệt nhau có cùng hay ngược cực.

Tuy nhiên, việc tính toán độ hấp thụ và phản dội của vật liệu không đơn giản như vẻ ngoài của nó, ngay cả với bảng tính để làm toán. Thử nghiệm trong phòng có thể làm lệch kết quả đo bằng micro hay đồng hồ SPL do phản dội từ bề mặt phòng khác. Khoảng cách giữa loa, bề mặt hấp thụ và micro đo cũng ảnh hưởng đến kết quả. Không chỉ nhiều phản dội sẽ làm lệch kết quả, mà hấp thụ cũng thay đổi theo góc tới, tùy thuộc vào hướng phát ra âm thanh. Vì vậy, nếu bạn có ý định sử dụng bảng tính này để kiểm tra bộ hấp thụ tự chế, micro phải ở gần ranh giới phản dội và cách xa nguồn âm thanh để thu được số lượng peak và null, đại diện cho những cái hấp thụ thật sự. Hơn nữa, tính toán hấp thụ giả định có ranh giới phản dội 100%, thường không phải là trường hợp ở tất cả tần số.

Kiểm soát cô lập và tạp âm - Isolation and Noise Control

Như đã giải thích trong Chương 19, cô lập âm thanh để giảm rò rỉ giữa nhiều phòng rất khác với xử lý âm thanh đã xử dụng để cải thiện chất lượng âm thanh trong phòng. Cô lập âm thanh đòi hỏi phải xây dựng chuyên dụng dưới dạng tường dày, cứng, tách rời khỏi tòa nhà bằng nhiều kỹ thuật và vật liệu khác nhau. Hãy hiểu, cô lập âm thanh là con đường hai chiều. Bạn không muốn có chồng ampli Marshall làm phiền hàng xóm, bạn cũng không muốn thu tiếng người hàng xóm đang cất cồ hay chó sủa bằng micro thu phần guitar acoustic tinh tế của bạn.

Huyền thoại: Bọt (foam) là vật liệu cách âm tốt. Nếu bạn phủ toàn bộ tường của căn hộ, hàng xóm của bạn sẽ không phàn nàn về việc nghe stereo của bạn.

Thành phần cô lập âm thanh hiệu quả chính là khối lượng, độ cứng và không gian chứa đầy vật liệu cách nhiệt. Xử lý tính âm bằng bọt và sợi thủy tinh cứng giúp cải thiện chất lượng âm thanh trong phòng nhưng hầu như không cái gì có thể ngăn âm thanh truyền qua tường hay trần nhà. Bạn có thể giảm lượng rò rỉ âm thanh ở tần số mid và high xuống lượng nhỏ, nhưng chỉ vì hấp thụ trong phòng làm giảm reverb tự nhiên của phòng, loại bỏ năng lượng trong phòng. Xảy ra rò rỉ âm thanh khó chịu nhất ở tần số bass, và cách âm thật sự đòi hỏi tường vì nó quá cứng để bị cong khi sóng âm đập vào nó.

Tường cứng và lớn sẽ cong ít hơn tường mỏng, nhẹ. Tránh cong là bí quyết vì tường cong ở một bên cũng cong ở phía bên kia, tạo ra nguồn âm thanh mới ở phía bên kia. Thật vậy, âm thanh không đi qua vật thể thật sự, nhưng đúng hơn, nó được tái tạo khi tường rung động tạo ra nguồn mới. Tuy nhiên, tường mà không cong cũng phản dội tần số thấp nhiều hơn. Khi tường đủ lung lay để cho phép cong, một phần năng lượng bass truyền qua, làm giảm phạm vi của peak và null trong phòng. Do đó, phương pháp xây dựng cải thiện cô lập âm thanh thường làm cho âm thanh trong phòng trở nên tệ hơn và ngược lại. Vì vậy, khi không cần cô lập trong phòng thu dự án hay phòng hát tại nhà, tốt nhất nên tránh bức tường dày, cứng ngắt.

Quy cách kỹ thuật xác định cô lập âm thanh gọi là lớp truyền âm thanh (sound transmission class) hay viết tắt là STC. Đây là con số độc nhất xác định mức độ âm thanh bị chặn trong dải từ 125Hz đến 4KHz. Thí dụ: xếp hạng STC là 30 có nghĩa là âm thanh ở phía bên kia của bức tường phân chia nhỏ hơn phía nguồn 30dB cho những tần số trong dải đó. Tuy nhiên, giá trị STC có thể chỉ định nhiều tần số, cần cho ứng dụng chuyên nghiệp. Như bạn biết, tần số thấp truyền qua tường dễ hơn tần số mid và high. Vì vậy, bạn có thể không nghe thấy người hàng xóm bên cạnh la hét ầm ĩ trong nhà anh ta, nhưng bạn chắc chắn sẽ nhận thấy giàn stereo của anh ta phát ra lớn, vì bass thấp dễ đi qua tường của cả nhà bạn. Do đó, thông số STC độc nhất gần như không hữu ích như danh sách liệt kê mức độ cô lập trong band bát độ hay, thậm chí tốt hơn, band tần số ba bát độ.

Khi tường chia hai phòng là nguồn truyền âm thanh duy nhất, nhân đôi khối lượng của tường đó làm tăng STC thêm 6dB. Nhưng trên thực tế, âm thanh di chuyển không chỉ xuyên qua tường qua độ cong của nó mà còn qua những cái gọi là qua đường sườn (flanking paths). Đây là thuật ngữ để chỉ khớp nối cơ học giữa hai vật thể chạm vào nhau. Nhạc sĩ biết bạn có thể khuếch đại âm thanh âm thoa bằng cách chạm đế của nó vào mặt bàn. Điều này kết hợp rung động âm thoa đến bề mặt bức xạ lớn hơn nhiều, làm tăng âm lượng của nó lên đáng kể. Violin hoạt động theo cách tương tự. Day đàn ngân rung thay thế rất ít không khí, nhưng khi ghép cơ học qua cái cầu và bảng âm thanh cho đàn violin trên miếng gỗ trên và dưới lớn, toàn bộ miếng này sẽ rung. Âm thanh truyền qua nhiều tòa nhà theo cách tương tự, qua khớp nối giữa tường và sàn, cũng như qua ống dẫn khí, ống nước và ống dẫn điện đi qua và chạm vào tường hay trần ngăn cách hai phòng.

Giống như nhiều nhà sưởi ấm bằng không khí nóng, lò sưởi của tôi cũng chia thành nhiều khu riêng biệt bằng cách xử dụng ba ống kim loại rời khỏi lò. Hình 20.11 cho thấy một trong những bộ tách cao su gắn vào ống dẫn khí từ lò tầng hầm của tôi đi khắp nhà. Nó làm bằng cao su dẻo và thay thế đoạn ống chính ngắn. Nếu không có bộ cô lập này, rung động của lò sẽ chuyển sang ống dẫn và làm rung sàn nhà phía trên, từ đó sẽ tạo ra tiếng ầm ĩ trong phòng trên lầu.

Chương 20

Khi tôi xây dựng phòng thu âm chuyên nghiệp lớn vào thập niên 1970, chuyên gia tư vấn âm thanh của chúng tôi đã cho nhà thầu thấy khe hở dọc từ sàn đến trần trong tường hành lang chung nối với phòng điều khiển và phòng khách để ngăn âm thanh truyền dọc theo những bức tường đó. Cũng thường thấy khe hở trên sàn xi măng hay với tòa nhà mới thường sàn bê tông đổ riêng từng phòng, để lại khe hở nhỏ giữa nó. Vào năm 1992, khi bắt đầu chơi cello, tôi sống trong nhà có tầng hầm hoàn thiện với sàn xi măng và thảm. Như bạn có thể biết, cellos có một đầu nhọn nhọn đâm xuống sàn để ổn định trong khi chơi. Tôi nhớ chơi cello của tôi cho một người bạn, và anh ta có thể cảm nhận được những rung động từ cello của tôi khi họ đi qua sàn xi măng đến nơi anh ta đứng cách đó vài feet. Bạn có thể nghĩ rằng sàn xi măng cứng quá lớn để có thể nhạc cụ làm rung động, nhưng rõ ràng điều đó không có thật.

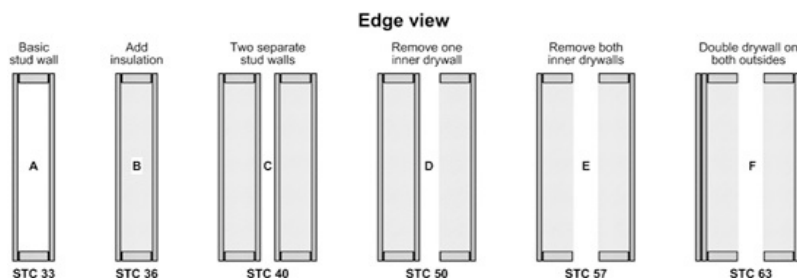
Tách rời cơ học là một phần quan trọng của cô lập âm thanh, nhưng cần có khoảng hở không khí giữa những ranh giới phân chia. Lấp đầy khoảng trống bằng vật liệu cách nhiệt làm tăng sự cô lập hơn nữa và giúp làm ẩm tường để nó sẽ không vang dội khi âm thanh tần số thấp trong phòng kích thích nó. Ngay cả khi bạn xây hai bức tường không chạm vào nhau, chúng vẫn nối với nhau ở phần dưới và trần ở trên, trừ khi bạn tách rời mỗi nối đó bằng cách đặt cả hai tường lên miếng cao su hay tương tự.



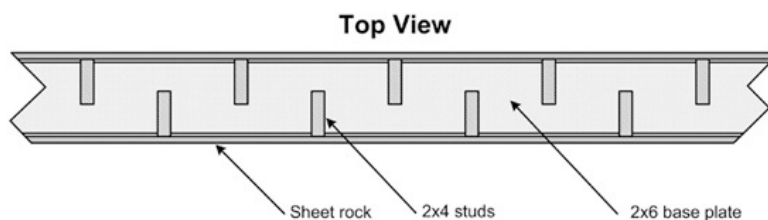
Hình 20.11: Bộ tách cao su gắn trực tiếp vào ống dẫn khí kim loại để ngăn rung động của lò truyền đi khắp nhà.

Rất quan trọng để tránh những cái gọi là xây dựng ba lá (triple-leaf), trong đó xử dụng ba phần tường thay vì chỉ hai. Nhiều người lẫn lộn cho là xây dựng tường có nhiều phần phân chia bên trong làm tăng cô lập. Hình 20.12 cho thấy sáu loại lắp ráp tường khác nhau và liệt kê xếp hạng STC cho từng loại. Bản vẽ và chú thích tự nói lên, và bạn có thể thấy khác biệt giữa tường C và F là 23dB, mặc dù xử dụng vật liệu chính xác được và chiếm cùng không gian.

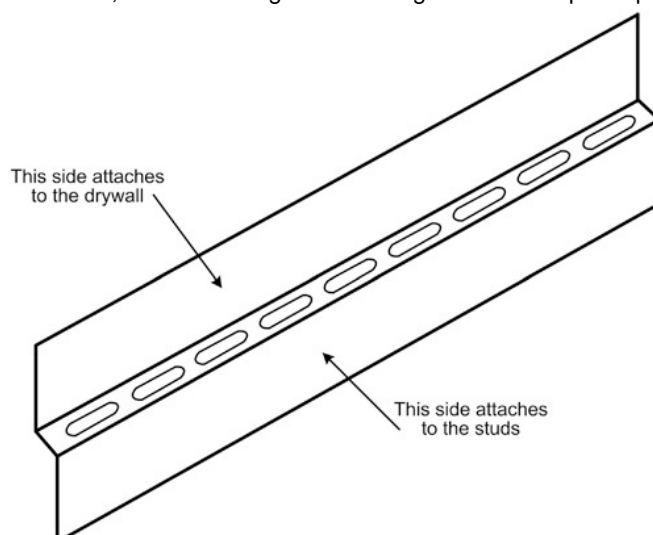
Cách tăng độ cô lập khác là tách hai bên tường để âm thanh không chuyển sang phía bên kia qua chốt chung của nó. Hình 20.13 cho thấy phương pháp xây dựng gọi là chốt so le, trong đó xử dụng chốt riêng cho mỗi bên tường. Tuy nhiên, vẫn xảy ra khớp nối khi nối chốt ở tấm sàn và trần.



Hình 20.12: Trái ngược với niềm tin chung, cô lập từ hai bức tường riêng biệt (C) không chỗ nào tốt bằng khi chỉ có hai rào cản (E và F).



Hình 20.13: Với chốt so le, mỗi bên tường có chốt riêng để tránh khớp nối qua các chốt.



Hình 20.14: Máng đàn hồi phục vụ như lò xo để tách rời vách thạch cao khỏi chốt nó gắn vào.

Phương pháp cô lập tường khác sử dụng máng đàn hồi, thể hiện trong Hình 20.14. Đây là những dải thép tấm cùng loại sử dụng cho chốt kim loại, bố trí để tác vụ như lò xo.

Gắn máng theo chiều ngang, phần dưới bên phải vặn vào chốt và gắn vách thạch cao vào phần trên bên trái. Vít vách thạch cao tiêu chuẩn gắn máng vào chốt và vách thạch cao với máng. Khe là phần thiết kế quan trọng, làm tăng độ đàn hồi cho vật liệu để tách vách thạch cao và chốt tốt hơn. Lưu ý, rằng ngay cả đóng đinh nối hai phần tường bị cô lập khác cũng có thể ảnh hưởng đến cô lập. Acoustician gọi loại nối cơ học này là đoạn mạch, là cách xử dụng thuật ngữ điện thích hợp.

Sản phẩm tách khác là Green Glue, loại keo bịt kín đặc biệt, liên kết tốt nhưng không bao giờ cứng. Thay vì treo thạch cao trên máng đàn hồi lò xo, Green Keo xử dụng hai lớp thạch cao để có khối lượng lớn hơn, với lớp đối diện với phòng dán vào lớp gắn liền với chốt. Green Glue giảm rung động và cộng hưởng tường hiệu quả cao nhờ đặc tính chống rung của nó. Trang web của Công ty Green Glue cung cấp dữ liệu chi tiết về sản phẩm và phần Library trên trang web của họ cung cấp lời khuyên sâu rộng về cô lập âm thanh, bao gồm so sánh nhiều phương pháp xây dựng và vật liệu khác nhau cho thấy xếp hạng STC của họ ở nhiều tần số khác nhau. Hãng sản xuất sản phẩm cô lập âm thanh khác là Zero International cho bịt cửa hiệu suất cao và Soundproof Windows cho hệ thống cửa và cửa sổ hoàn chỉnh.

Rò khí - Air Leaks

Nguyên nhân cô lập âm thanh tệ phổ biến khác của là rò rỉ không khí qua tường hay cửa. Nếu bạn làm tính, bạn sẽ thấy có vết nứt 1/8 inch dưới cánh cửa rộng ba feet có cùng diện tích bề mặt với lỗ trên cánh cửa 4.5 inch vuông. Ngay cả những lỗ rất nhỏ trên tường hay trần nhà để gắn đèn chiếu sáng và ổ cắm cũng có thể ảnh hưởng đến cô lập. Điều tương tự cũng đúng đối với dây micro và headphone đi qua tường phân chia phòng điều khiển và phòng khách. Không bao giờ đi dây thẳng qua tường, ngay cả khi bạn có kế hoạch xỏ chung quanh lỗ. Thay vào đó, hãy sắp xếp khe hở để dây dẫn đi ra phía bên kia cách đó vài feet, đi ngang qua những cái lỗ trên chốt để đi từ tường này sang tường khác.

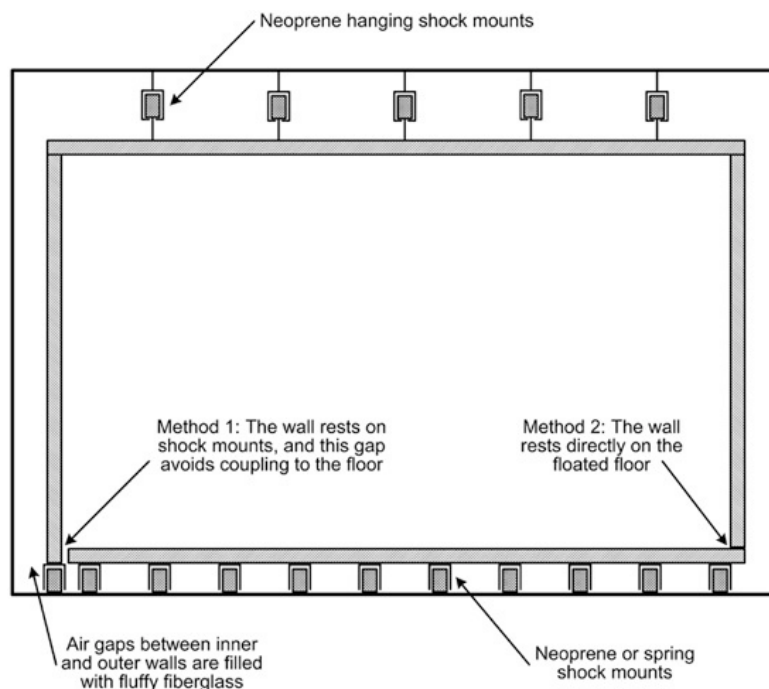
Hai quan tâm về “không khí- air” khác là âm thanh và rung động từ động cơ máy lạnh đi qua ống dẫn, cũng như tạp âm của không khí. Có thể giảm độ rung từ động cơ quạt bằng cách xử dụng bộ tách bằng ống mềm dẻo như trong Hình 20.11, và có thể gắn động cơ quạt và quạt của nó vào sàn hay treo trên trần bằng cách xử dụng giá treo cao su hay lò xo để giảm thiểu rung động cho cấu trúc tòa nhà. Nhưng rung động từ quạt gió cũng có thể đi qua ống dẫn như sóng âm thanh. Việc lót ống dẫn bằng lớp cách nhiệt cũng giúp, cũng như việc mở rộng ống đi qua đường dài hơn, nhiều mạch hơn, thay vì trực tiếp từ động cơ quạt đến cửa ra vào phòng. Cũng cần việc này để ngăn âm thanh trong phòng này truyền sang phòng khác qua ống dẫn. Nếu cửa thoát khí trên trần phòng nối với cửa thoát trần trong phòng khác chỉ cách đó vài feet, thì bất kỳ sự cô lập nào do tường làm ra sẽ bị mất hoàn toàn vì âm thanh sẽ đi lên và đi qua ống dẫn. Tương tự như vậy, ống dẫn đi qua tường đôi không được chạm vào tường, hay nó sẽ làm đoạn mạch tường như mô tả. Trong studio chuyên nghiệp, thường chạy từng ống dẫn riêng biệt cho mỗi phòng trở lại quạt thổi chính hoàn toàn.

Mặc dù không hoàn toàn là vấn đề cô lập âm thanh, tạp âm của gió ở cửa nạp và cửa xả có thể lọt vào micro và đáng chú ý khi thu âm nguồn nhỏ. Giải quyết việc này bằng cách xử dụng ống dẫn ngoại cỡ vượt qua lượng không khí cần thiết có vận tốc thấp hơn. Nói cách khác, cùng luồng không khí, xác định bằng feet khối mỗi phút, có thể gửi qua ống dẫn nhỏ ở tốc độ cao hay qua ống dẫn lớn với vận tốc thấp hơn. Air cũng có khuynh hướng “thổi còi” khi đi qua nắp lò. Trong studio tại nhà, hãy xem xét việc thay thế lưới thoát bằng vật liệu mở như dây màn nửa inch.

Khi tôi xây dựng phòng thu chuyên nghiệp đã đề cập trước đây, chúng tôi đã xử dụng tất cả kỹ thuật sau: ống dẫn khí ngoại cỡ lót bằng lớp cách nhiệt vòng quanh, với nhiều đường chạy riêng đến quạt thổi thay vì đi trực tiếp từ phòng này sang phòng khác. Chúng tôi cũng có quạt thổi khí tua chậm, tốc độ thấp treo trên trần bằng móc treo chống rung nghiêm trọng. Tuy nhiên, sau tất cả những chuyện đó, tin hay không, mức độ rung và tạp âm không khí trong phòng thu tại nhà của tôi lại thấp hơn! Mặc dù ống dẫn của tôi không ngoại cỡ, nhưng nó là loại mới làm bằng sợi thủy tinh cách nhiệt, bọc trong nhựa dẻo. Vì vậy, những ống dẫn không cho rung động đi qua như cách ống dẫn kim loại làm. Ngoài ra, cửa thoát khí cao trên trần, cách xa micro xoay ra hướng khác. Hơn nữa, studio của tôi ở trên tầng hai, có động cơ quạt gió ở tầng hầm, hai tầng bên dưới ở phía đối diện nhà.

Phòng trong phòng - Room within a Room

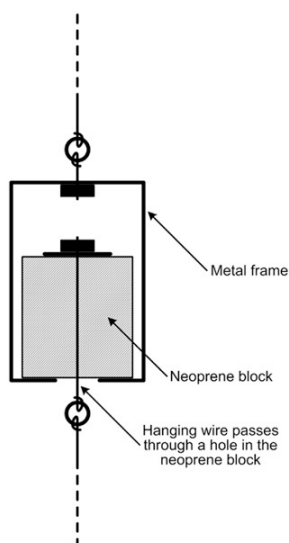
Với phòng cô lập hoàn toàn nằm trong phòng khác, như trong Hình 20.15, không có bề mặt nào trong phòng bên trong chạm vào phòng bên ngoài. Hãy nghĩ về hộp các tông bên trong một hộp các tông khác, với đệm cao su hỗ trợ mọi góc để cô lập hộp bên trong khỏi bị sốc như bạn thấy với bao bì cho mặt hàng dễ vỡ. Thật vậy, đây là cùng nguyên tắc, vì trong cả hai trường hợp, mục tiêu là ngăn chặn sốc và rung động từ bên ngoài vào bên trong. Cũng xảy ra tương tự trong cái xe hơi: Cabin xe chỗ bạn ngồi cô lập với khung thấp và bánh xe bằng cách nằm trên lò xo và phuộc nhún. Không khí trong vỏ bánh xe sẽ hấp thụ vài tác động từ việc đâm vào ổ gà, nhưng lò xo và phuộc nhún làm hết sức để tránh va chạm truyền vào bên trong xe.



Hình 20.15: Để đạt độ cô lập tối đa đòi hỏi phải xây dựng phòng trong phòng khác, với cấu trúc bên trong cô lập với tường, sàn và trần bên ngoài hoàn toàn.

Thường xây dựng phòng như vậy bằng cách xử dụng hai hay có thể ba lớp tường thạch cao cao 5/8- inch cho tường và trần, và sàn thường bằng xi măng. Treo trần từ móc treo lò xo bằng cao su hay kim loại gắn vào trần phía trên, có lỗ xuyên qua cao su hay lò xo cho dây hỗ trợ trần bên dưới. Hình 20.16 cho thấy cách xây dựng móc treo trần như vậy. Neoprene có ưu điểm là phục hồi nhún tích hợp hơn là lò xo có khuynh hướng nảy tiếp tục. Giá đỡ dưới sàn lát xi măng cũng giống vậy.

Sàn nổi trên giá treo cao su tổng hợp hoạt động như bộ lọc low-pass có tần số quay vòng phụ thuộc vào trọng lượng của sàn và độ đàn hồi của giá treo. Tần số tại hay bên dưới tần số cộng hưởng của hệ thống truyền qua giá đỡ, nhưng rung động cộng hưởng trên bị chặn xuống sàn thật bên dưới và ngược lại. Hãy tưởng tượng bạn nằm trên nệm trong thang máy đi lên xuống từ từ. Dĩ nhiên, nệm và bạn cũng sẽ lên xuống từ từ. Nhưng nếu có người khác nhảy sàn thang máy, phần lớn rung động đó sẽ không truyền qua nệm tới bạn.



Hình 20.16: Nhiều giá treo trần làm từ neoprene, mặc dù vài xử dụng lò xo kim loại. Dù bằng cách nào, rung động cũng bị chặn khi đi qua dây treo lên trần ở phía trên và ngược lại.

Chương 20

Việc này cũng giống như treo vật nặng từ cái lò xo bạn cầm trên tay. Nếu bạn nâng và hạ tay từ từ, trọng lượng cũng sẽ tăng và giảm. Nhưng nếu bạn di chuyển bàn tay của bạn một cách nhanh chóng, quán tính sẽ giữ trọng lượng tại chỗ khi lò xo dãn và co lại. Phương pháp điều chỉnh sàn trên giá treo tiêu chuẩn là đặt tần số quay vòng dưới tần số thấp nhất bạn muốn chặn một bát độ. Vì vậy, nếu bạn cần chặn âm thanh phát ra từ sàn ở tần số 20Hz trở lên, bạn sẽ chỉ định độ căng của bộ giảm chấn điều chỉnh hệ thống thành 10Hz dựa trên trọng lượng của sàn, đồ đạc, số lượng và loại giảm chấn đã sử dụng. Lưu ý, độ nén tối ưu cho khối cao su Neoprene và giá treo là 15-20%. Nếu neoprene nén ít, thì nó quá dày cho trọng lượng và nó hoạt động giống như khối gỗ hay kim loại rắn không cô lập. Nhưng nếu nó nén quá nhiều, nó sẽ chạm đáy và lại hoạt động như khối cứng.

Khi tôi xây dựng phòng thu chuyên nghiệp cho mình, chuyên gia tư vấn âm thanh của chúng tôi đã cho chúng tôi xây dựng sàn nổi bằng cách xử dụng hai lớp ván ép 3/4 inch trên lớp sợi thủy tinh cứng 705 dày hai inch. Hai lớp ván ép bắt vít với nhau và cũng dán trong trường hợp ốc vít sẽ lỏng ra theo thời gian, có thể khiến sàn nhà bị rít lên. Được dán lại với nhau, hai tấm ván ép hoạt động như một tấm dày gấp đôi. Tấm xi măng nằm trên khối cao su trong Hình 20.15 là tốt hơn, mặc dù chi phí cao hơn sợi thủy tinh và ván ép cứng nhiều. Cũng dễ xây dựng sàn ván ép hơn, vì bạn không phải tính toán tần số cộng hưởng dựa trên trọng lượng của sàn và nội dung của phòng.

Tóm lược

Chương này giải thích những khái niệm cơ bản về kích thước và tỷ lệ phòng, bao gồm cả chế độ đồng trục và không đồng trục, và tầm quan trọng của chế độ giãn cách đều khi thiết kế phòng mới. Khi phòng lớn có nhiều chế độ gần nhau, phòng nhỏ có ít chế độ cách nhau xa hơn, do đó, đáp ứng tự nhiên của phòng khác nhau nhiều hơn. Điều quan trọng không kém là tỷ lệ giữa chiều dài, rộng và cao của phòng cũng ảnh hưởng đến khoảng cách chế độ. Chương trình ModeCalc cho phép bạn dễ thử nghiệm kích thước khi thiết kế phòng mới.

Chương này cũng làm rõ sự khác biệt giữa những chế độ, nút và sóng đứng. Mặc dù vài người coi chế độ và sóng đứng đều giống nhau, nhưng không phải vậy. Chế độ là khuynh hướng cộng hưởng, trong khi đó sóng đứng là điều kiện tĩnh, xảy ra khi hai mặt sóng đối diện kết hợp trong không khí.

Khi bạn hưởng thụ phòng đã xây dựng có mục đích với những tường và trần có góc cạnh, thì tốt hơn ở phía sau nên rộng và cao hơn. Tốt nhất nên tránh bề mặt lõm vì nó tập trung âm thanh, cũng như trần có cúp, mặc dù bộ hấp thụ dưới chóp làm giảm tập trung. Hơn nữa, tường và trần có góc không hữu ích trong phòng nhỏ hiện có, vì điều đó làm cho phòng còn nhỏ đi.

Chương này cũng nói về vài huyền thoại tính âm, chẳng hạn như đặt vách thạch cao trên góc phòng để giảm nhu cầu bass. Vòm trang trí, nếu bạn thích vẻ ngoài đó, sẽ tốt hơn nếu chế tạo nó như những cái bass. Cũng gỡ rối huyền thoại cho là sóng bass cần không gian để phát triển bên trong phòng, cũng như niềm tin bề mặt gỗ phát ra âm thanh ấm hơn vách thạch cao và xi măng. Điều thật sự ảnh hưởng đến âm thanh của vật liệu là độ phản dội bề mặt của nó.

Tôi giải thích sở thích của tôi cho phòng thu một phòng, đặc biệt là nếu bạn không có không gian cho hai phòng, mỗi phòng đủ lớn để có phản dội âm bass tốt. Một phòng đơn cũng thuận tiện hơn, vì nó tránh được việc phải qua lại giữa những phòng để di chuyển micro hay nhấn Record. Phần mềm DAW hiện đại cho phép bạn thu lại nhiều track khi cần, do đó bạn có thể đặt từng micro vào từng track riêng và sắp xếp số dư sau này. Hơn nữa, trong hầu hết thiết lập tại nhà, việc có hai phòng sẽ không cung cấp đủ cô lập để đưa ra quyết định cân bằng hợp lệ. Phòng thu ca sĩ cũng không hữu dụng như nhiều người nghĩ, chủ yếu là vì phòng thu tại nhà thường quá nhỏ để nghe tốt.

Cuối cùng, mô tả nguyên tắc cơ bản về cô lập âm thanh. Xác định cô lập âm thanh bằng xếp hạng STC của nó, là loại xếp hạng độc nhất xác định mức độ âm thanh bị chặn trong dải 125Hz đến 4KHz. Nhưng thông số kỹ thuật STC có thể và nên bao gồm giảm dB ở nhiều tần số khác nhau. Không giống như điều trị tính âm, đạt cô lập bằng cách xây dựng chuyên dụng, bao gồm tách rời tường cứng khỏi phần còn lại của nhà. Cô lập hiệu quả đòi hỏi phải xác định và cô lập đường sườn và xử dụng phương pháp và sản phẩm như bộ giải mã ống dẫn khí, chốt so le, máng đàn hồi, giá

Chương 20

treo sàn và trần, cắt cửa và Green Glue. Cấu trúc cách âm cuối cùng là xây dựng phòng trong phòng khác, nhưng việc này rất tốn kém và do đó không thực tế với nhiều studio tại nhà.

(Trang trắng)