

# 声学基础

## 建筑声学



# 上节回顾

---

- 电声学



# 内 容 提 要

---

## ● 建筑声学

# 前言

---

- 建筑声学是研究建筑中声学环境问题的科学。它主要研究室内音质和建筑环境的噪声控制。

# 前言

---

- 有关建筑声学的记载最早见于公元前一世纪，罗马建筑师维特鲁威所写的《建筑十书》。书中记述了古希腊剧场中的音响调节方法，如利用共鸣缸和反射面以增加演出的音量等。

# 前言

---

- 建筑声学的基本任务是研究室内声波传输的物理条件和声学处理方法，以保证室内具有良好听闻条件；研究控制建筑物内部和外部一定空间内的噪声干扰和危害。

# 室内声学研究方法有几何声学方法、统计声学方法和波动声学方法

几何声学方法适用于研究早期反射声分布以加强直达声，提高声场的均匀性，避免音质缺陷。

统计声学方法是从能量的角度，研究在连续声源激发下声能密度的增长、稳定和衰减过程(即混响过程)，并给混响时间以确切的定义。

当室内几何尺寸与声波波长可比时，易出现共振现象，可用波动声学方法研究室内声的简正振动方式和产生条件，以提高小空间内声场的均匀性和频谱特性。

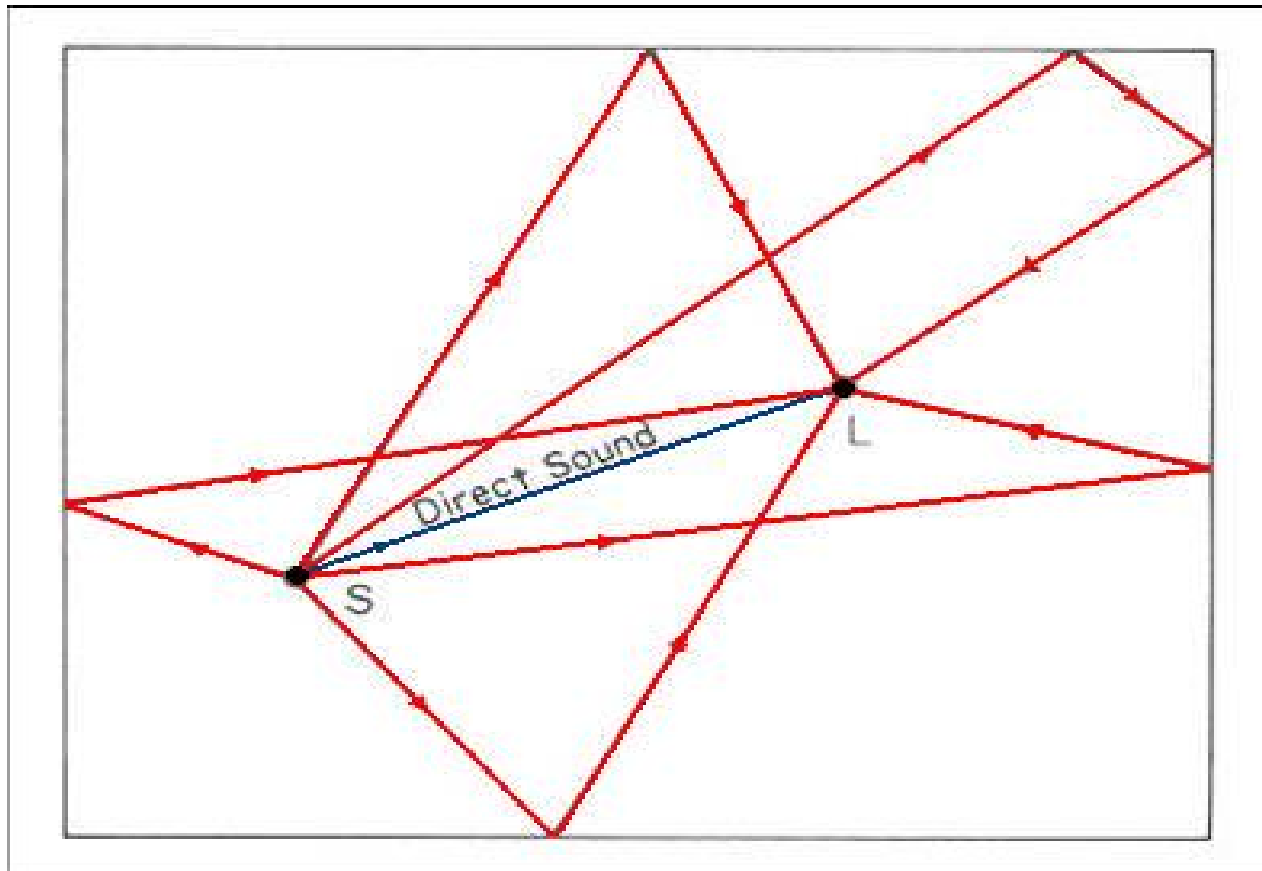
室内声学的研究方法有几何声学方法、统计声学方法和波动声学方法。

---

这里，我们将结合混响时间这个概念对统计声学进行介绍，以期大家对建筑声学的概貌以及研究应用方向有所了解。



# 室内的声场中存在直达声 (Direct Sound) 和混响声 (Reverberant Sound)



## 根据声能量的公式

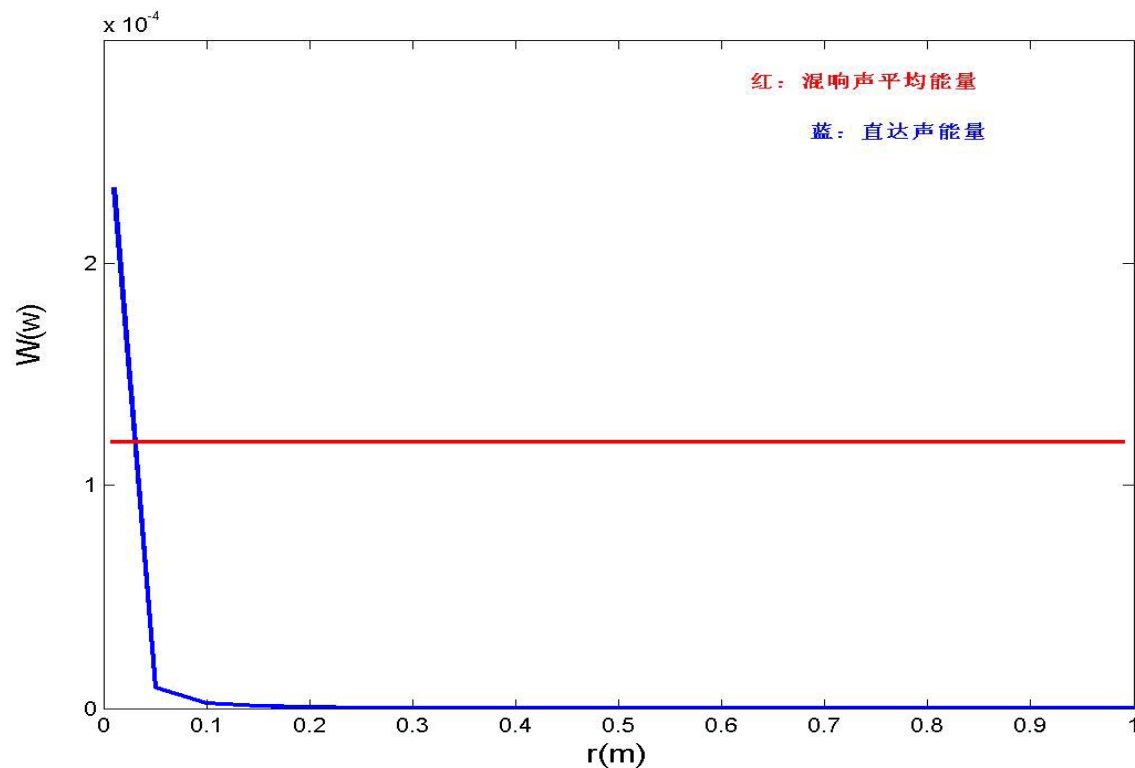
---

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_D + \mathcal{E}_R = \frac{\overline{\omega}}{c_0} \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

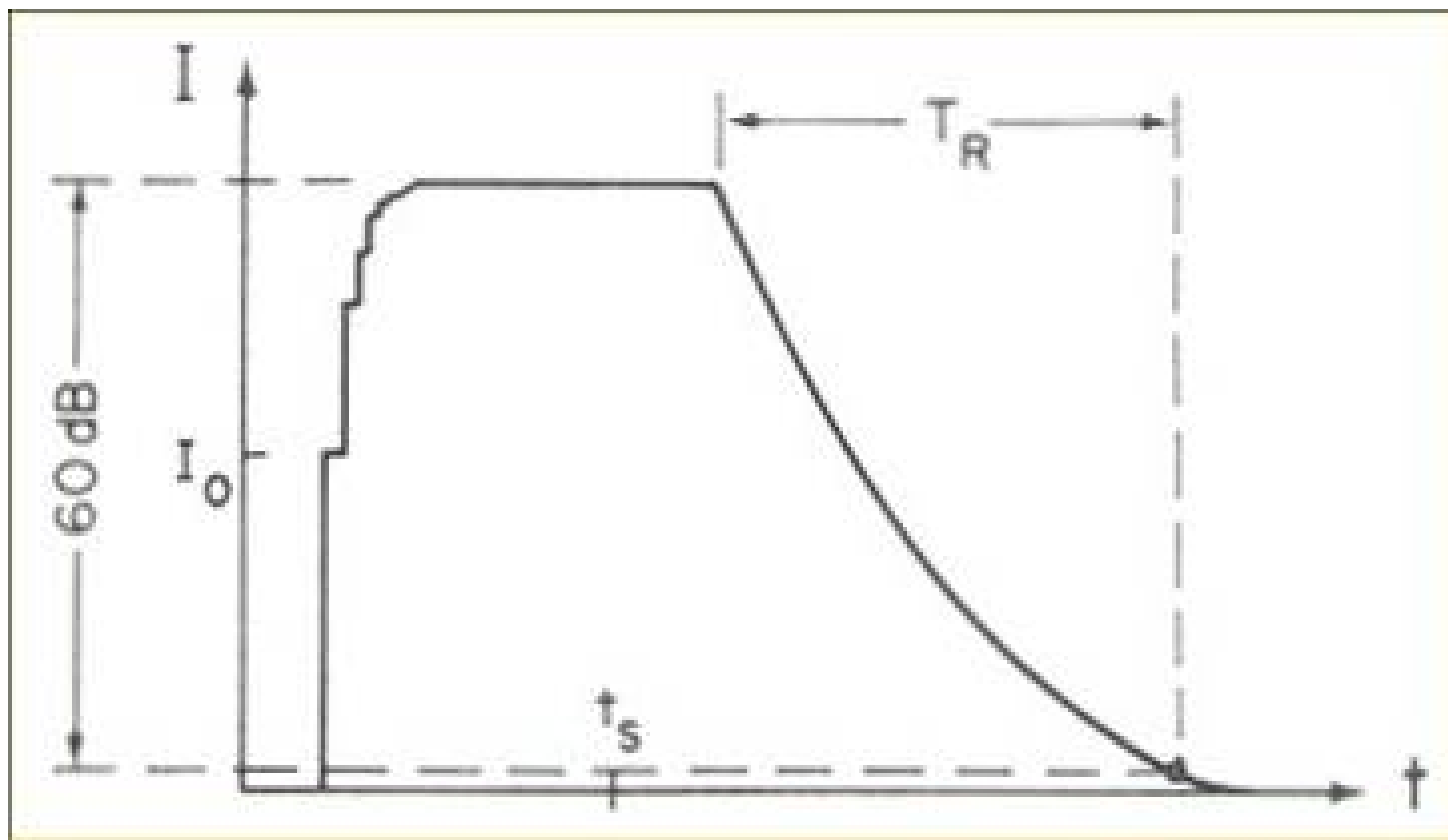
$$R = \frac{S\overline{\alpha}^*}{1 - \overline{\alpha}^*}$$

$$(c_0=340\text{m/s}; \overline{\omega}=1.0*10^{-4}; \overline{\alpha}^*=0.05)$$

# 根据公式绘制出直达声和混响声声能和声源距离的关系



## 混响时间T60的定义

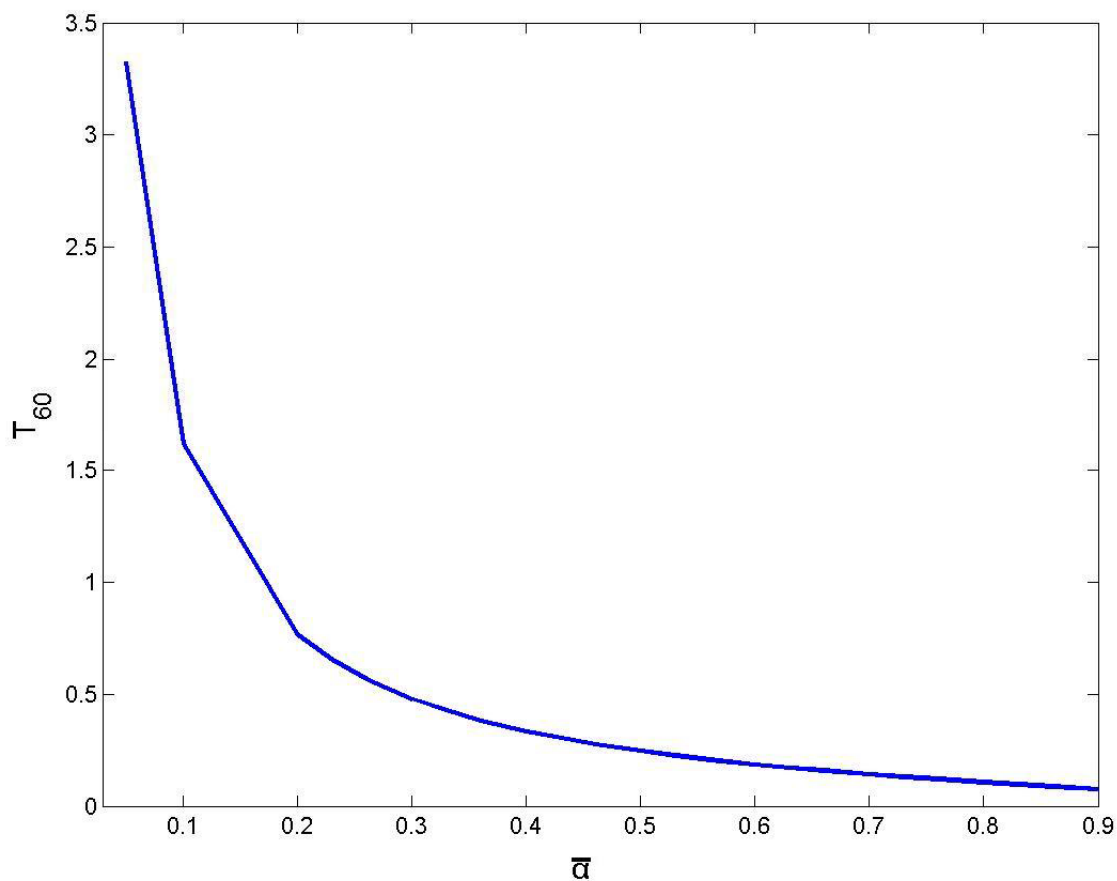


## 混响时间的定义公式

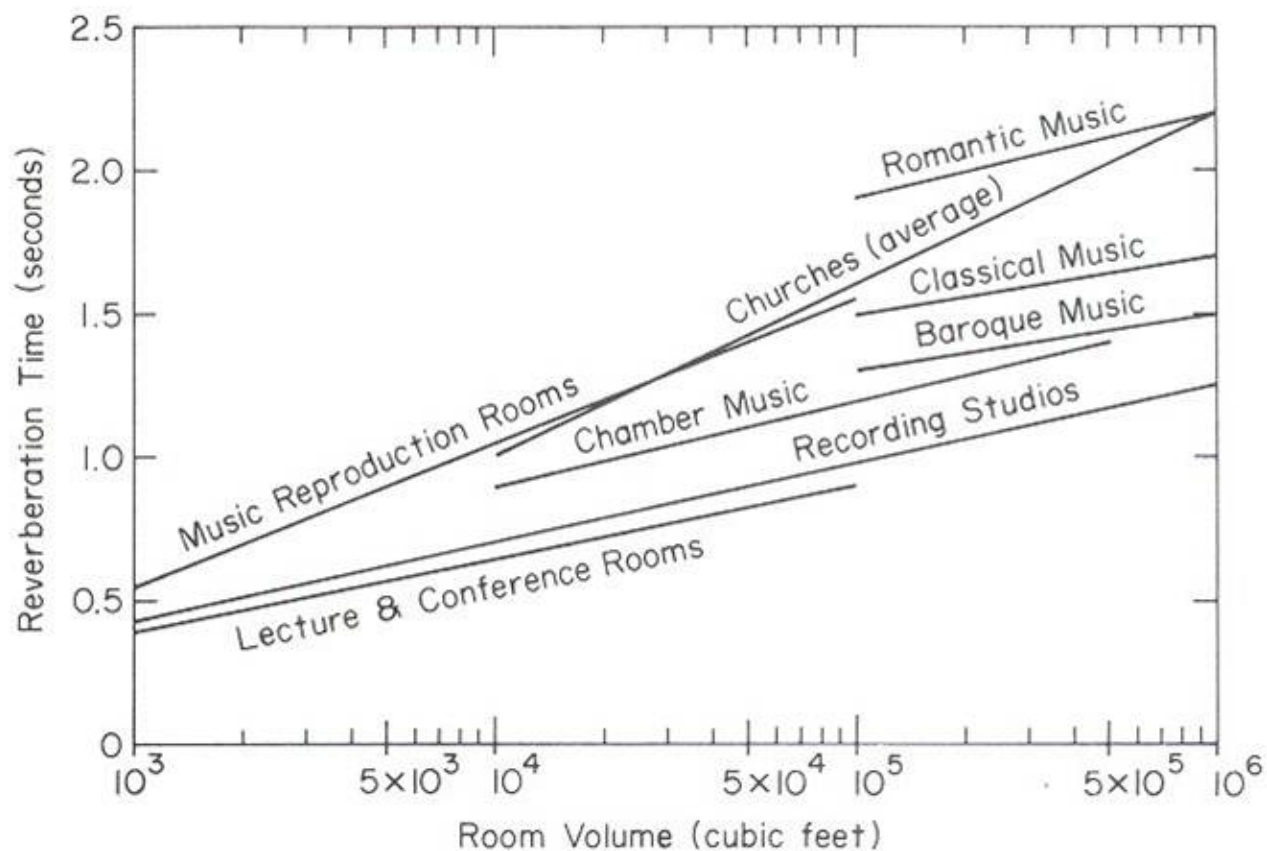
---

$$T_{60} = 0.161 \frac{V}{-S \log_e (1 - \bar{\alpha})}$$

# 室内混响时间和房间墙面材料吸声系数的关系图



# 各类房间混响时间示意图



---

混响时间对人的听音效果有重要影响，它仍然是迄今为止描述室内音质的一个最为重要的参量。

混响时间取决于厅堂的建筑结构，顶棚构造，壁面材料及装饰，座椅布局及材料等众多因素。



# 建筑声学的典型应用

---

## 著名音乐厅的厅堂设计

---

Boston, Symphony Hall

美国波士顿音乐厅

# Boston, Symphony Hall

---

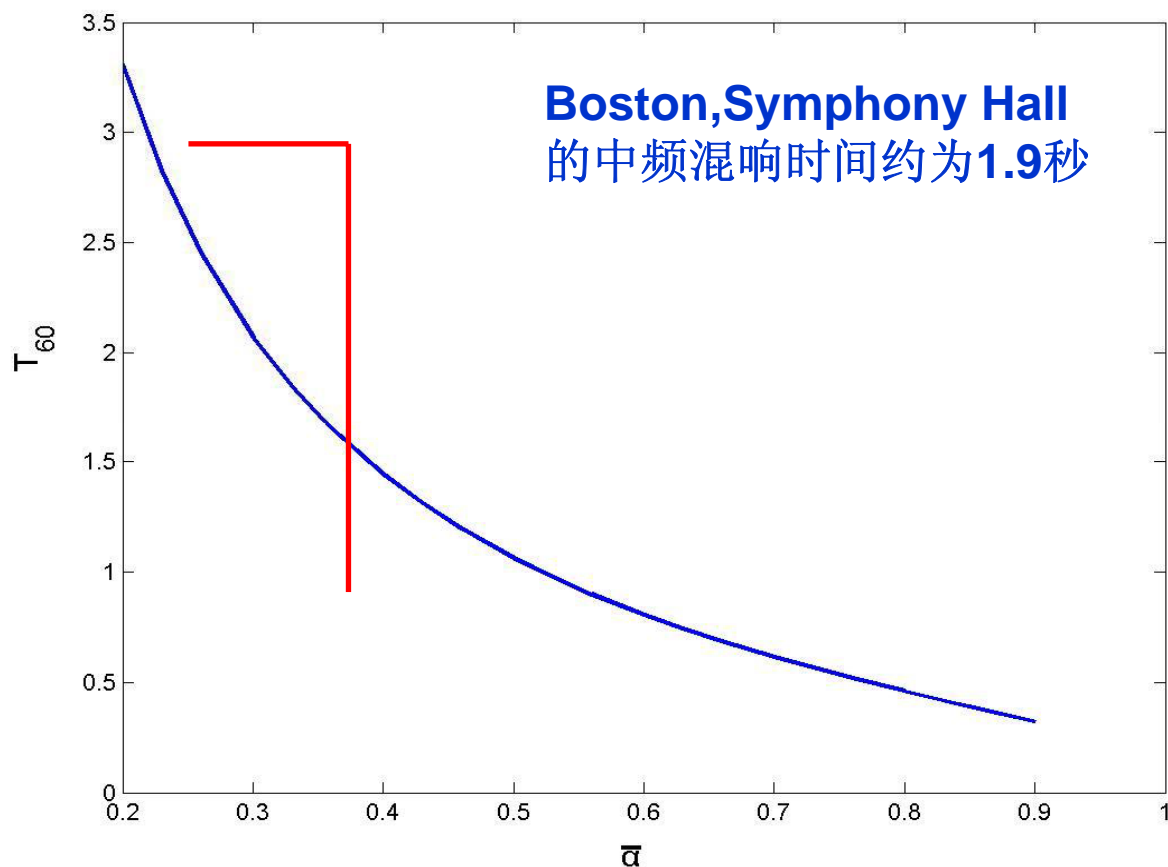


## Boston, Symphony Hall

---

- $V=18750\text{m}^3$   $N=2625$
- $S_a=1056\text{m}^2$   $S_A=1370\text{m}^2$   $S_0=152\text{m}^2$   
 $S_T=1522\text{m}^2$
- $H=18.6\text{m}$   $W=22.9\text{m}$   $L=39\text{m}$   $D=40.5\text{m}$
- $t_1=15\text{ms}$
- $T60=1.9\text{s}$

# 根据美国波士顿音乐厅房间设计参数粗略绘制的混响时间和吸声材料关系简图

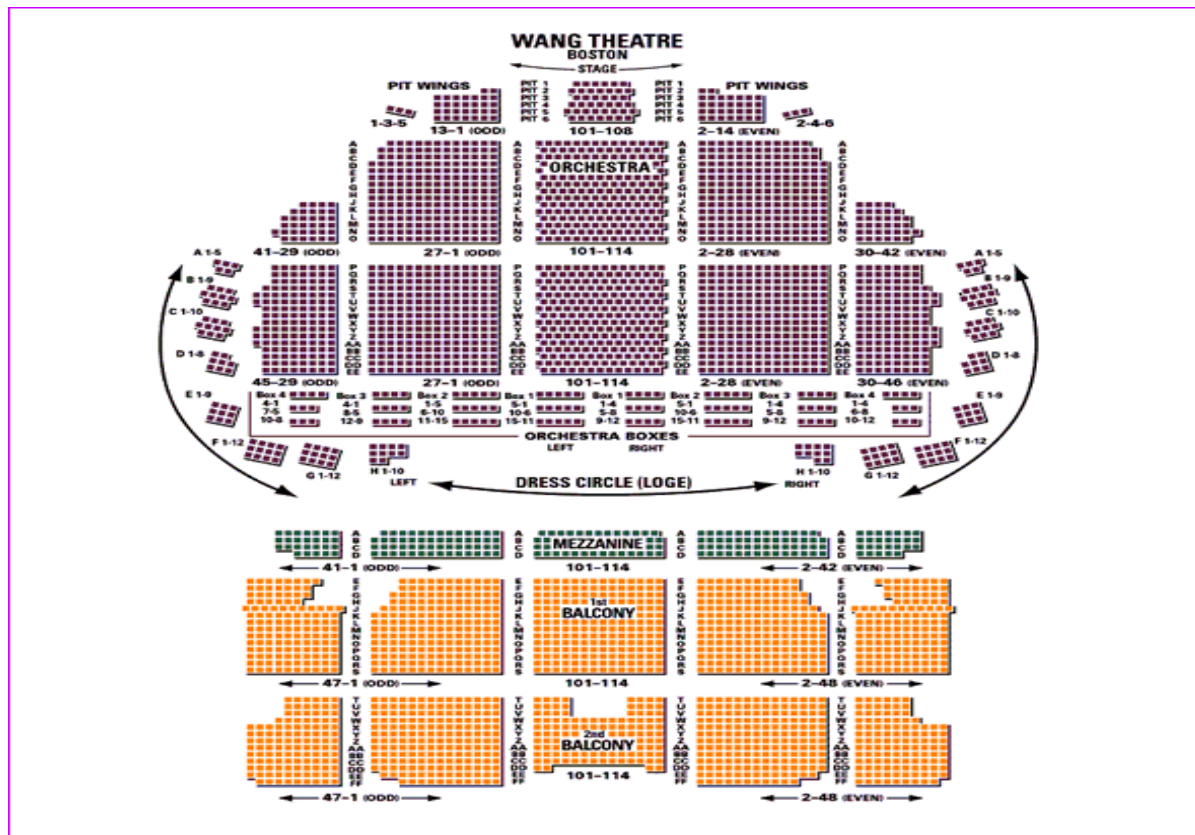


# Boston, Symphony Hall

---



# Boston, Symphony Hall



---

# Vienna, Grosser Musikvereinssaal

奥地利维也纳格鲁司音乐厅（金色大厅）



# Vienna, Grosser Musikvereinssaal

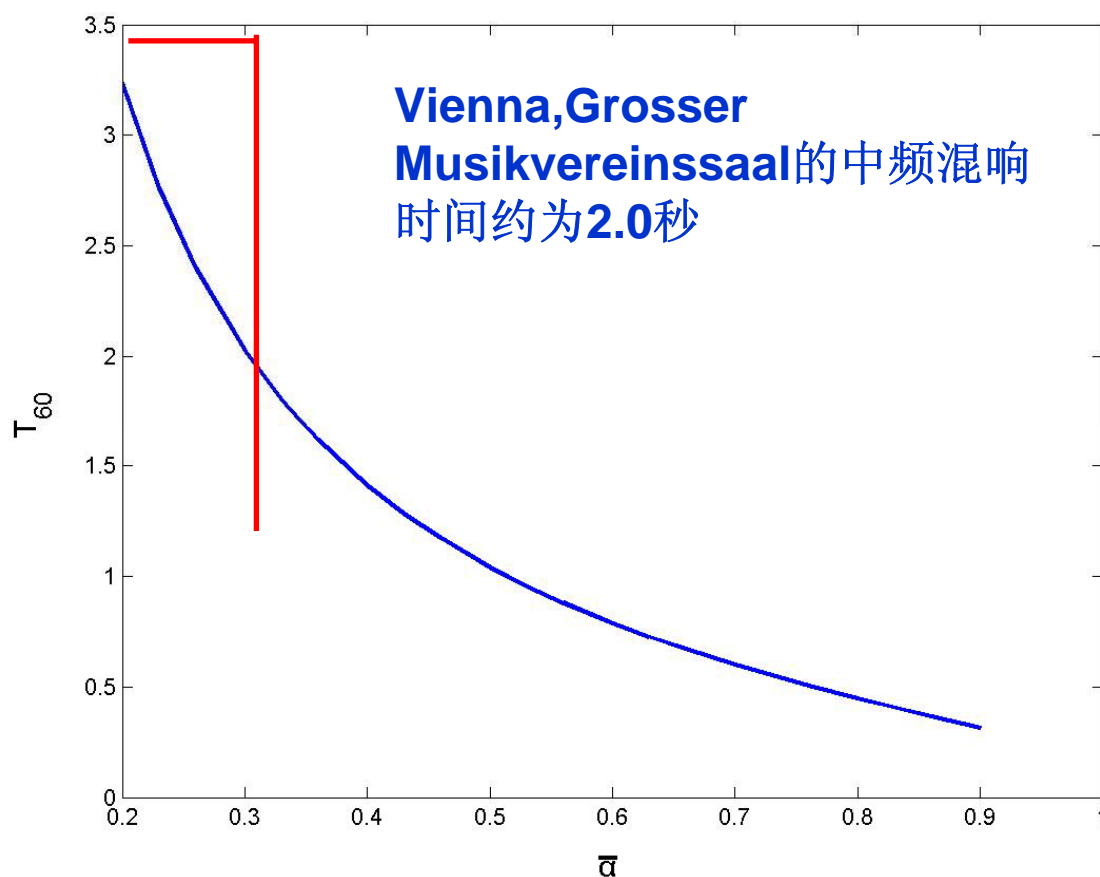


# Vienna, Grosser Musikvereinssaal

---

- $V=15000\text{m}^3$   $N=1680$
- $S_a=690\text{m}^2$   $S_A=955\text{m}^2$   $S_0=163\text{m}^2$   
 $S_T=118\text{m}^2$
- $H=17.4\text{m}$   $W=19.8\text{m}$   $L=35.7\text{m}$   $D=40.2\text{m}$
- $t_l=12\text{ms}$
- $T60=2.0\text{s}$

# 根据奥地利维也纳爱乐之友金色大厅的房间设计参数粗略绘制的混响时间和吸声材料关系简图



# Vienna, Grosser Musikvereinssaal

---



---

# Amsterdam, Concertgebouw

## 荷兰阿姆斯特丹音乐厅



# Amsterdam, Concertgebouw

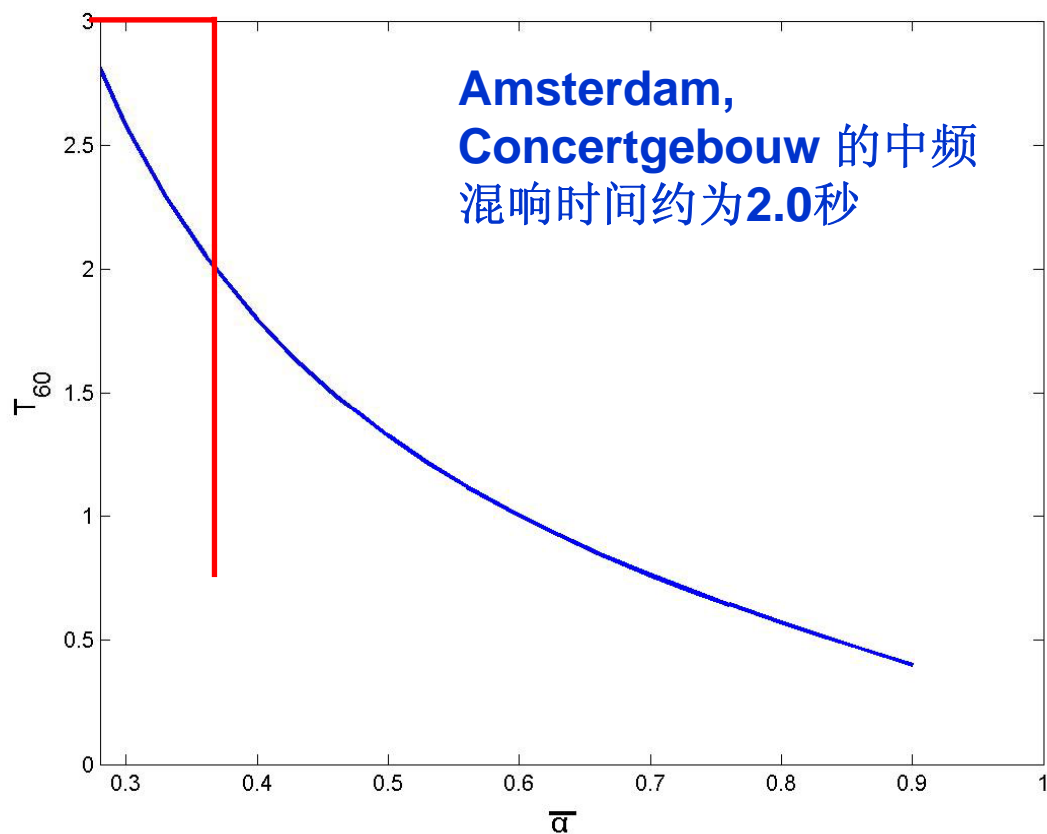


## Amsterdam, Concertgebouw

---

- $V=18780\text{m}^3$   $N=2037$
- $S_a=843\text{m}^2$   $S_A=1125\text{m}^2$   $S_0=160\text{m}^2$   
 $S_T=1285\text{m}^2$
- $H=17.1\text{m}$   $W=27.7\text{m}$   $L=26.2\text{m}$   $D=25.6\text{m}$
- $t_1=21\text{ms}$
- $T60=2.0\text{s}$

# 根据荷兰阿姆斯特丹的房间设计参数粗略绘制的混响时间和吸声材料关系简图





# Amsterdam, Concertgebouw

---

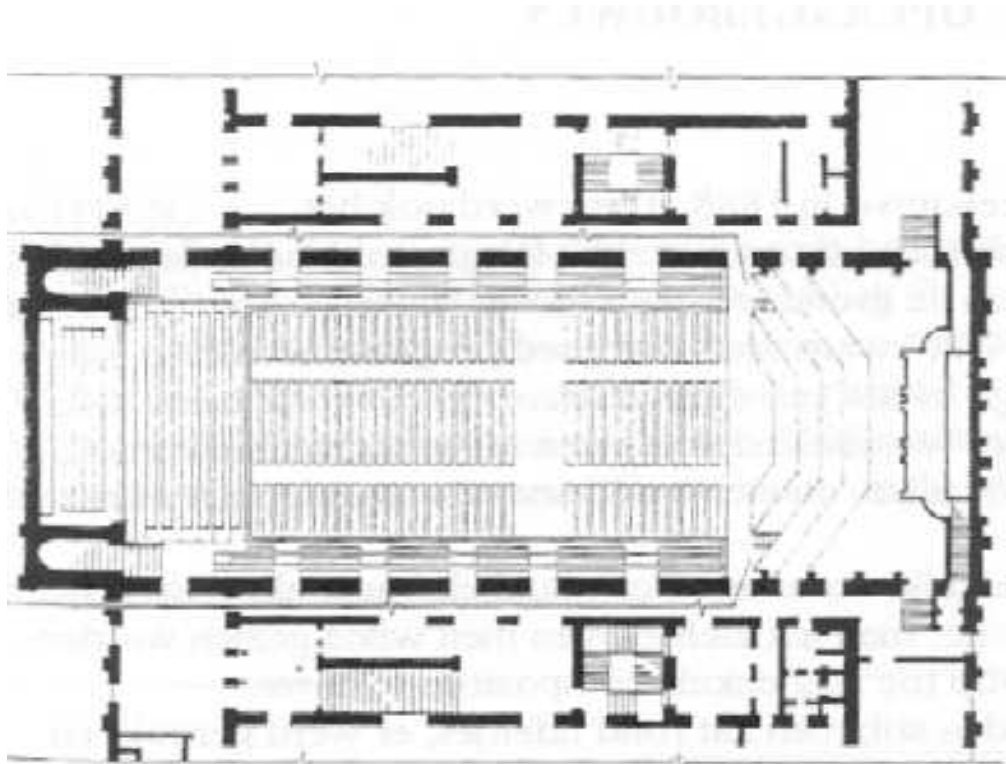


# Amsterdam, Concertgebouw



# Amsterdam, Concertgebouw

---



---

# Berlin, Berlin Philharmonie

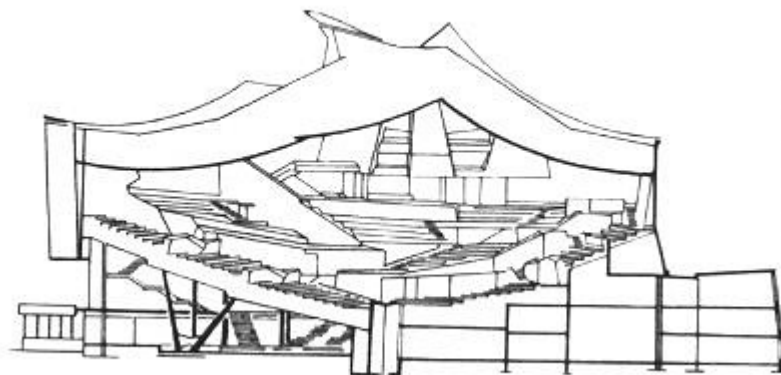
## 柏林爱乐音乐厅



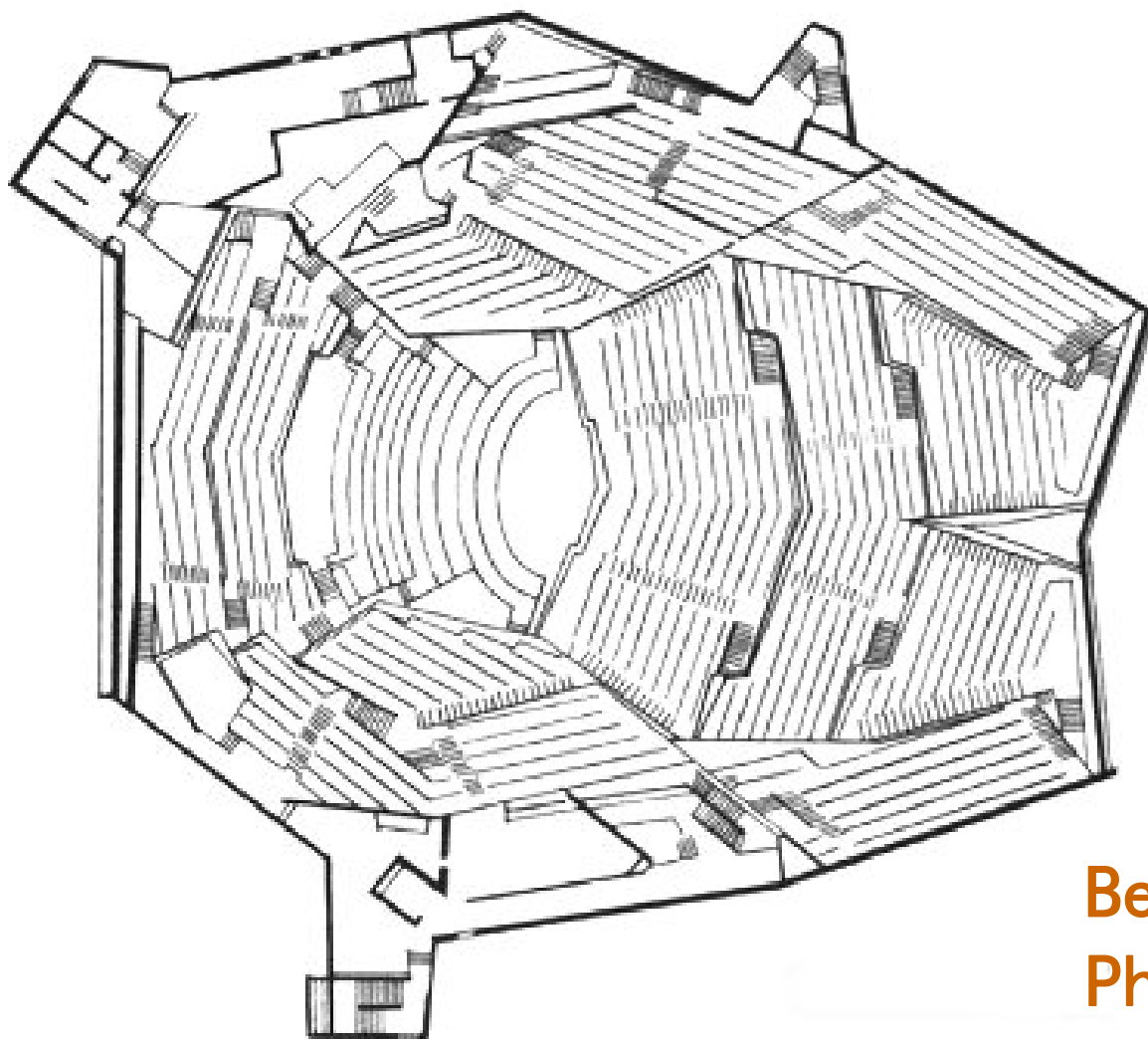
# Berlin, Berlin Philharmonie



# Berlin, Berlin Philharmonie



136个锥型结合声扩散  
和低频亥氏共振列的  
吸声单元放在平顶上



## Berlin, Berlin Philharmonie



# 下节预告

---

## ● 水声学

