

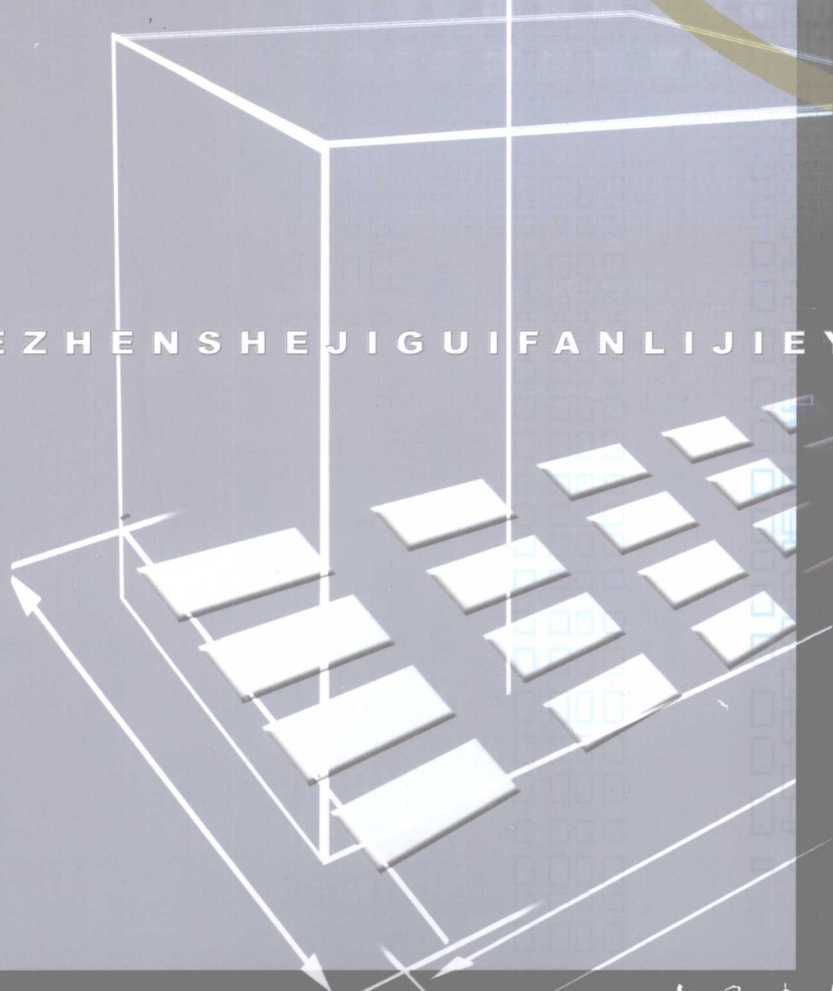
建筑结构新规范系列培训读本

# 隔振设计规范

## 理解与应用

徐建 主编

GEZHENSHEJIGUIFANLIJIEYUYINGYONG



中国建筑工业出版社

建筑结构新规范系列培训读本

# 隔振设计规范理解与应用

徐 建 主编

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

隔振设计规范理解与应用/徐建主编. —北京:中国  
建筑工业出版社, 2009

(建筑结构新规范系列培训读本)

ISBN 978-7-112-10837-4

I. 隔… II. 徐… III. 隔振-建筑结构-结构  
设计-设计规范-中国 IV. TU352.1-65

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第038887号

国家标准《隔振设计规范》(GB 50463—2008)已经正式颁布实施。为了使工程技术人员尽快准确地应用该规范,由规范主要起草人员编写了《隔振设计规范理解与应用》。本书重点介绍了规范的制订原则、基本概念、设计方法、制订依据和适用范围,给出了大量的设计实例,并对规范应用中应注意的问题进行了阐述。本书不仅是规范应用的指导教材,也是从事工程隔振技术人员的重要参考书。

本书可供从事工程隔振的设计、施工、产品制造人员使用。

责任编辑:王 梅

责任设计:董建平

责任校对:孟 楠 王金珠

建筑结构新规范系列培训读本

隔振设计规范理解与应用

徐 建 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

\*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:17½ 字数:426千字

2009年6月第一版 2009年6月第一次印刷

定价:38.00元

ISBN 978-7-112-10837-4

(18080)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 《隔振设计规范理解与应用》编写委员会

主编：徐 建

编委：刘纯康、杨先健、俞渭雄、翟荣民、黎益仁、杨国泰  
尹学军、易干明、孙家麒、柳炳康、杨宜谦、高象波

## 《隔振设计规范理解与应用》编写分工

第一章：徐 建 尹学军

第二章：杨先健

第三章：刘纯康 杨先健

第四章：易干明 柳炳康

第五章：刘纯康

第六章：刘纯康 徐 建 翟荣民 邵晓燕 黎益仁 杨国泰  
杨雪春 高象波 杨宜谦

第七章：刘纯康 俞渭雄 尹学军

第八章：徐 建 尹学军 黎益仁 杨国泰 杨雪春 孙家麒  
俞渭雄 杨先健 虞仁兴 陈述法 钱晓农

## 前 言

国家标准《隔振设计规范》(GB 50463—2008)已经颁布实施,本规范是新编制的国家标准,有许多内容工程技术人员还不熟悉。为了使工程技术人员更好地掌握和应用新规范,由规范编写组主要人员根据规范编制的背景资料、规范条文、规范试设计等编写本书。

本书强调了实用性,按照规范的编写次序,着重介绍了规范的编制依据、设计思路、基本概念、设计方法。为了加深理解和应用,本书列举了大量的设计实例,并对规范应用中应注意的问题进行了阐述。

本书主要内容包括:我国隔振设计的发展状况,规范编制的原则,弹性波的传播与衰减,隔振设计的基本要求,容许振动标准,隔振参数与固有频率,旋转式机器、曲柄连杆式机器、冲击式机器、随机振动机器、城市轨道交通隔振等主动隔振,精密仪器及设备、精密机床隔振等被动隔振,隔振器及阻尼器。其中:城市区域环境及建筑物容许振动值、生产操作区的容许振动值、建筑物可能损伤的容许振动值、随机振动机器隔振、城市轨道交通隔振、钢丝绳隔振器部分曾纳入规范的征求意见稿,后因故没有纳入规范,为了便于工程应用,本书仍然包括了上述内容。

本书在编写过程中,得到了中国建筑工业出版社的大力支持,并参考了一些作者的著作和论文,在此一并致谢。

本书不妥之处,请批评指正。

徐 建  
2009年1月

# 目 录

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第一章 概述                | 1   |
| 第一节 我国隔振设计发展现状        | 1   |
| 第二节 规范编制的原则与过程        | 11  |
| 第三节 规范编制的主要内容         | 12  |
| 第二章 弹性波的传播与衰减         | 19  |
| 第一节 弹性波的概念            | 19  |
| 第二节 弹性波的传播            | 23  |
| 第三节 地面弹性波的衰减          | 28  |
| 第四节 地面振动的若干特殊情况       | 39  |
| 第三章 隔振设计的基本要求         | 49  |
| 第一节 隔振设计应具备的条件        | 49  |
| 第二节 隔振设计原则            | 49  |
| 第三节 常用隔振方式            | 50  |
| 第四节 地面屏障式隔振           | 51  |
| 第四章 容许振动标准            | 60  |
| 第一节 精密仪器及设备的容许振动标准    | 60  |
| 第二节 动力机器基础的容许振动标准     | 72  |
| 第三节 城市区域环境及建筑物内振动容许标准 | 73  |
| 第四节 生产操作区的振动容许标准      | 77  |
| 第五节 建筑物可能损伤的振动容许标准    | 80  |
| 第五章 隔振参数及固有频率         | 82  |
| 第一节 隔振参数的确定           | 82  |
| 第二节 隔振体系固有频率的计算       | 84  |
| 第六章 主动隔振              | 89  |
| 第一节 主动隔振设计方法          | 89  |
| 第二节 旋转式机器的隔振设计        | 93  |
| 第三节 曲柄连杆式机器           | 110 |
| 第四节 冲击式机器             | 136 |
| 第五节 随机扰力机器            | 152 |
| 第六节 城市轨道交通隔振          | 157 |
| 第七章 被动隔振              | 181 |
| 第一节 被动隔振设计方法          | 181 |
| 第二节 精密仪器及设备           | 183 |

第三节 精密机床 ..... 200
 第八章 隔振器及阻尼器..... 209
 第一节 隔振器及阻尼器造型要求 ..... 209
 第二节 圆柱螺旋弹簧隔振器 ..... 210
 第三节 碟形弹簧与迭板弹簧隔振器 ..... 224
 第四节 橡胶隔振器 ..... 229
 第五节 空气弹簧隔振器 ..... 233
 第六节 黏流体阻尼器 ..... 244
 第七节 组合隔振器 ..... 259
 第八节 钢丝绳隔振器 ..... 264
 参考文献..... 270

# 第一章 概 述

## 第一节 我国隔振设计发展现状

### 一、隔振技术在工业设备中的应用和发展

随着我国经济技术的不断发展,以及全社会对环境和人身健康的关注,近几年我国在工业设备应用中采用隔振措施和技术的状况有了明显的变化。下面从几个代表性的行业进行分析和说明。

#### 1. 精密加工和精密测量设备的隔振

随着精密加工和精密测量技术的不断发展,这类设备的应用日益广泛,其精度不断提高,对工作环境条件也有了更高的防振要求,由过去传统的沙垫层、隔振沟、调高垫铁、橡胶垫板简单隔振方式,向安装高性能隔振装置的方向发展。目前在国内,中小型精密磨床和三坐标测量机一般采用直接支承,大型精密机床和大型三坐标测量机一般采用带有基础块的弹性隔振基础,并逐渐成为标准配置(图 1-1-1)。同时,越来越多的精密加工中心,精密磨床和精密铣床等,均采用弹性隔振基础。隔振器以可预紧、可调平的钢弹簧隔振器为主,集成有或另外配以黏滞阻尼器。对于水平度要求较高的机床,则采用带有自动调平功能的空气弹簧隔振器。

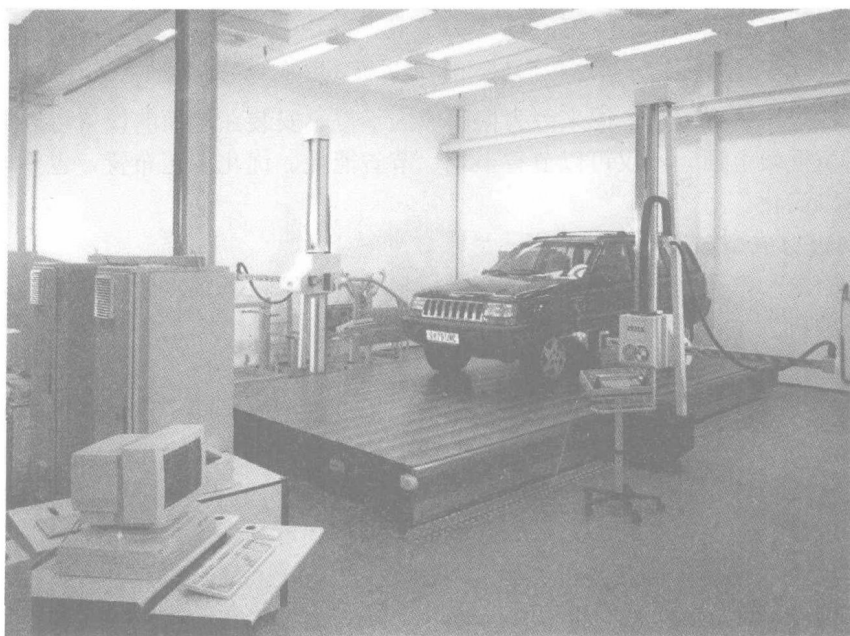


图 1-1-1 采用弹性隔振基础的三坐标测量机

目前,国内采用弹性隔振基础的最大的精密机床基础块尺寸达 22m,设备重量达 390t,基础块重量达 1220t。最大的三坐标测量机基础块台面达 25.2m。

## 2. 一般通用设备的隔振

近几年，国内在电力、钢铁、化工等各行业建设了大批新项目，这些项目中包括了大量通用设备。目前，大部分通用设备（如：鼓风机、空气压缩机、空调机组、大型水泵、热交换机组、离心机和粉碎机等）都根据需要采用了弹性隔振装置，起到了很好的保护设备、降低故障率和减小振动影响的作用（图 1-1-2）。中小型设备一般采用直接支承，以橡胶隔振器和钢弹簧隔振为主，大中型设备则采用钢框架或混凝土基础块，然后进行弹性支承，基本全部采用可预紧、可调平的钢弹簧隔振器和黏滞阻尼器。



图 1-1-2 放置于高架结构的风机采用弹性隔振基础

采用弹性隔振装置以后，原来因为振动原因不得不安装在地面的设备可以放置在高层楼板上或高位框架上面，不仅可以节省土地、节省能耗、优化工艺布置，也使设备的安装调试过程得以简化。

## 3. 金属板材成型加工设备的隔振

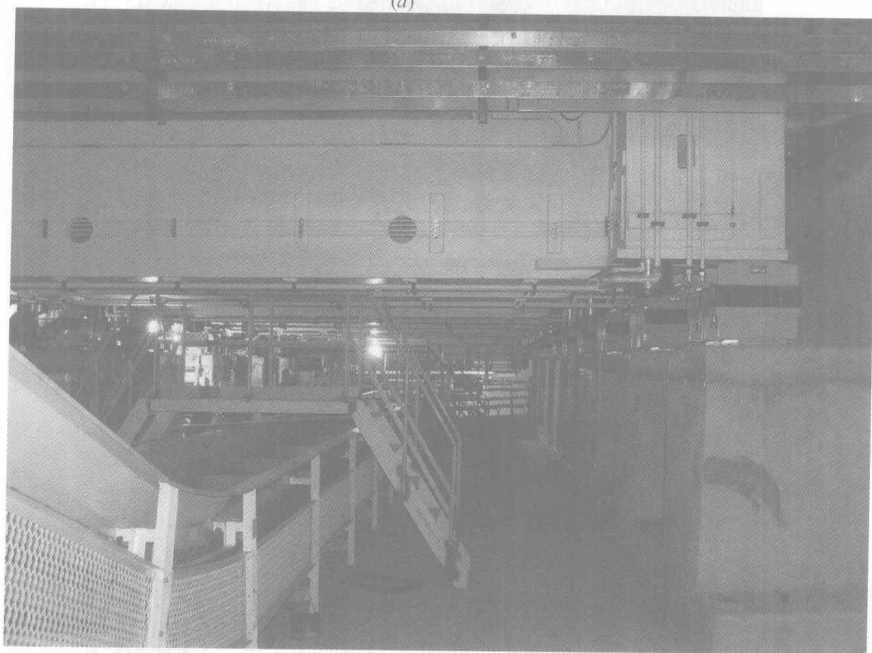
电子、家电和汽车制造领域是使用金属板材成型加工设备最多的行业。这类设备主要以冲床和压力机为主，其单机公称压力从几十吨到几千吨，驱动方式和结构形式多种多样，其工作时产生振动的大小程度也有很大的差别。目前国内，用于生产轿车车身的压力机生产线绝大部分安装了弹簧阻尼隔振装置；用于生产电机转子和定子矽钢片的高速冲床（冲次通常为 200spm 以上）也基本上都安装了弹簧阻尼隔振装置；对于其他中小型普通冲压设备，弹簧隔振装置正在逐步取代橡胶垫铁。弹簧隔振装置不仅能够减少设备故障、减小对周围设备的振动影响，还能够降低对基础强度和精度的要求，防范地基不均匀沉降对冲压精度的直接影响，设备不再需要螺栓固定，大大简化了设备的安装和调平（图 1-1-3）。

## 4. 金属加工成型设备的隔振

我国是世界上使用金属成型加工设备品种最多、数量最多、分布地区最广的国家。金属成型加工设备主要是各种锻锤和金属成型压力机，它们工作时产生的强烈振动，会严重影响周围的精密加工设备、厂房、居民住宅、办公环境，及居民的学习、生活和休息，是



(a)



(b)

图 1-1-3 我国多数汽车冲压线采用弹性隔振基础

影响该行业工厂选址和制约该行业发展的因素之一。目前，我国在金属成型加工中采用隔振技术的设备所占比例很少，主要分布在经济发达地区和高技术产业，如航空和汽车制造业等。采用隔振基础的模锻锤已从 2 吨、5 吨发展到 10 吨和 16 吨，自由锻锤最大吨位已达 5 吨，采用隔振基础的螺旋压力机已有 0.5 万吨、0.8 万吨和 1.12 万吨，世界上吨位最大 4 万吨的液压成型机均采用或将采用钢弹簧阻尼隔振装置（图 1-1-4、图 1-1-5）。



图 1-1-4 某 1250 吨高能螺旋压力机采用弹性隔振基础

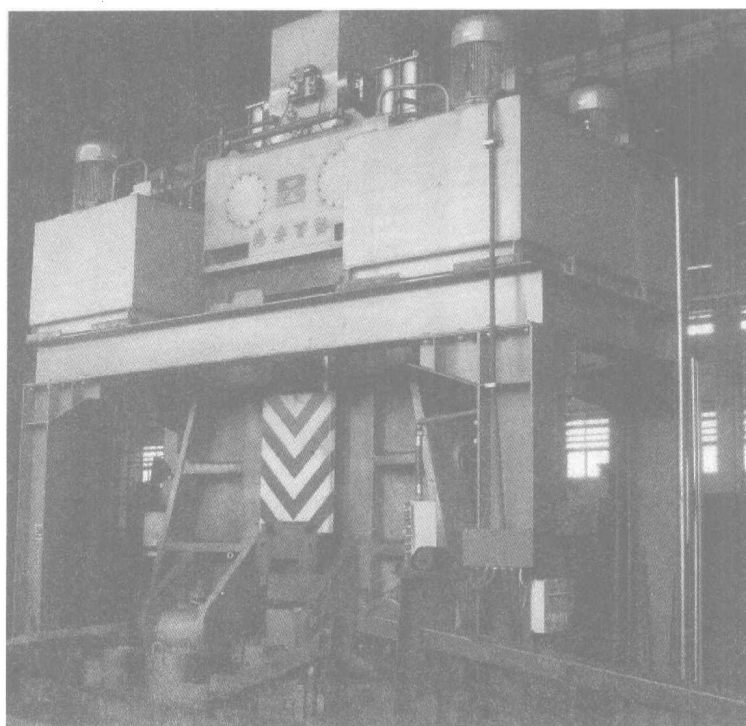


图 1-1-5 国产 5 吨模锻锤采用弹性隔振基础

目前我国已能够设计、制造任何吨位的大型工业设备所需的隔振器，单个隔振器承载能力已达 200 吨，弹簧隔振器试验检测能力也已达 200 吨。

随着国家对环境保护要求的日益提高，新上工业项目都需要通过政府相关部门的环境影响评价，其中振动和噪声是项目环评的重要内容。对于已建设投产的项目，如果发生居民投诉，且经环保部门检测证明厂界处振动和噪声超标的，环保部门就会勒令其限期整改。一些锻造企业因为当年没有重视振动问题或因为资金原因，节省了隔振方面的投入，随着人们环保意识的增强和我国环保法规的完善，因振动引起的纠纷案例迅速增多，现在不得不进行加装隔振装置的改造，虽然最终解决了问题，但却多花费了资金，影响了生产。所以，我国在金属加工成型行业迫切需要尽快推广隔振技术。

## 二、隔振技术在电力行业的应用和发展

### 1. 隔振产品的应用

电厂中产生振动的设备种类很多且密集，主机和电控部分对振动又敏感，因此对隔振的需求更高，是我国最早大量应用隔振技术的行业之一。从国外设备引进到国内自主设计制造，从辅机隔振基础到电厂主机——汽轮发电机隔振基础，从火电到核电，单机容量从 6MW 到 1000MW，目前处于推广应用的阶段。

在电厂中目前运用隔振基础的主要有：碎煤机（环锤式）、磨煤机（中速磨、钢球磨、风扇磨等）、风机（一次风机、二次风机等）、给水泵（电动式、汽动式）、汽轮发电机（机座顶板、中间平台）以及其他设备（图 1-1-6）。

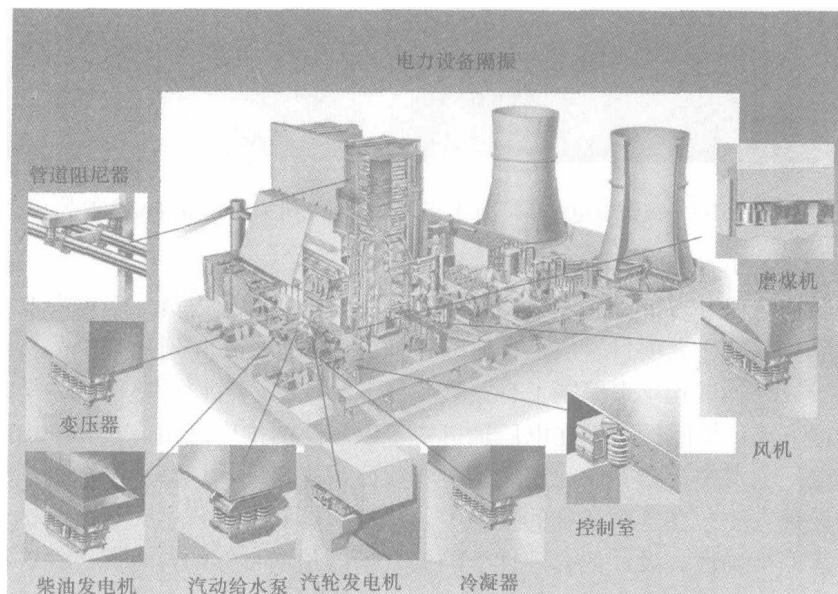


图 1-1-6 隔振基础在电力行业中的运用

另外，在变电站中的变压器为了抗震也使用了弹簧隔振器装置，从而达到了保护绝缘体在地震作用下不致被破坏。

电厂中辅机的隔振基础运用已经非常普及，尤其是碎煤机与给水泵，由于这类基础是框架结构，与厂房结构联为整体，如果不采用隔振，其振动势必传递到厂房结构上，所以基本上均采用隔振基础。另外对于磨煤机，由于其振动和噪声均比较严重，特别是目前厂

区规划对厂房占地面积的控制较严格，所以有些磨煤机的基础就落在了厂房基础上，在这种情况下，磨煤机也必须做隔振基础。

电厂中的最重要设备——汽轮发电机隔振基础，近年来的发展比过去有了很大进步，如通过技术引进采用隔振基础的电厂有：350MW 的鸭河口电厂、350MW 的合肥第二发电厂、200MW 的北京第一热电厂、1000MW 的田湾核电站等（图 1-1-7）；新近建成投运的有 600MW 的大别山电厂；目前正建或正在设计阶段的还有 600MW 的平凉电厂、1000MW 的岭澳核电站、1000MW 的红沿河核电站、1000MW 的阳江核电站、1000MW 的方家山核电站、1000MW 的福清核电站等。

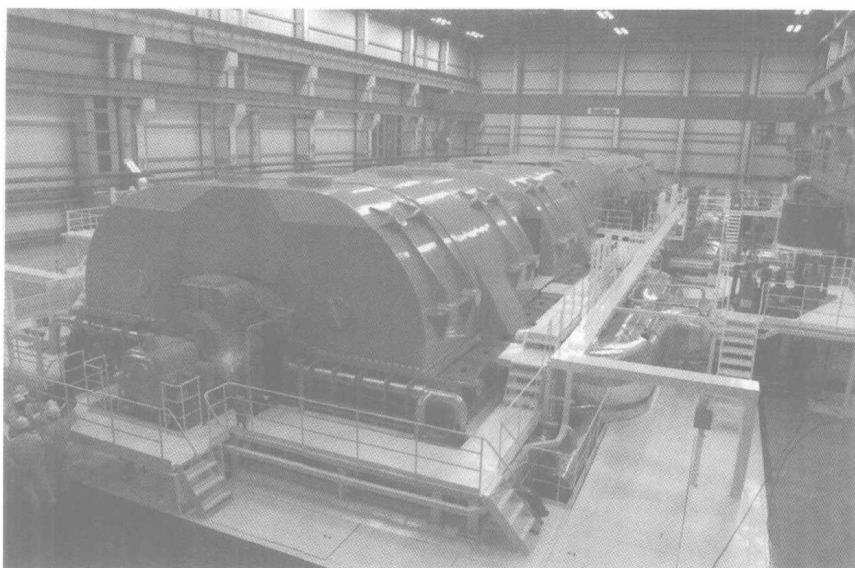


图 1-1-7 田湾核电站 100 万千瓦汽轮机组主机采用弹簧隔振基础

## 2. 隔振技术设计、计算与研究

随着隔振基础在电力事业的发展，广大的科技人员、设计人员、隔振专业公司联手进行了众多的隔振基础研究项目，从工程实践中掌握了设计方法，通过理论分析和试验，取得了许多科研成果。近几年来编制了有关隔振技术的规程，各设计单位已完全掌握辅机隔振基础的设计方法，使隔振基础在电厂辅机中得以广泛的推广应用。在大别山电厂、岭澳核电和平凉电厂项目中，相关设计院通过与专业公司联合设计，基本掌握了汽轮发电机组隔振基础的设计方法。在这些基础的运用中，技术人员们又进行了大量的测试，用以验证隔振动力计算的准确性、设计的合理性、隔振效果的预期目标的符合性。在各种年会和技术研讨会上，技术人员们发表了大量的技术论文，使隔振基础这项技术更加成熟。

目前我国相关设计院与隔振专业公司联合进行了“汽轮发电机组弹簧隔振技术应用研究”课题，该课题完成了国内外技术的调研工作、数模的建立与计算等几项重要工作。预计该课题完成后我国主要电力设计院将基本掌握汽轮发电机隔振基础的设计和计算方法，必将有力促进隔振技术在我国电厂的推广应用。

目前在大部分电力设计院中，对于电厂中的辅机设备，设计院能够联合隔振器专业公司进行自主设计，包括结构形式、台板配筋、隔振器布置、动力计算、隔振器选型等。在

计算方法上各个设计院没有统一的方法，对于辅机因基础形式的不同有采用大块式基础单自由体计算的，有采用有限元杆、板计算的，对于汽轮发电机基础则均采用有限元进行动力计算。

### 3. 隔振元件与基础形式

电力行业中由于厂房使用周期较长（至少 50 年），因而橡胶隔振不太适宜在电厂中使用，电厂的运行环境不同于民用建筑，有气体、液体等腐蚀，隔振元件主要以弹簧隔振器和黏滞阻尼器或其组合为主，隔振器为预紧式，以便可以随时进行调平。

隔振基础的方法随设备不同而不同，主要有框架支承式、大块支承式，电厂中的管道隔振主要是支吊式。

### 4. 隔振基础在电力行业发展中尚存在的问题

由于隔振技术在我国电力行业应用起步较晚，与国外相比还存在着一定的差距。虽然大家对辅机隔振的认识已经比较统一，但是有些单位对主机隔振带来的优点和在国外的应用情况认识还不够，甚至把在国外早已成熟应用 40 年的技术还当成“吃螃蟹”来看待，过度追求最低价，妨碍了该技术的推广应用，使一些本来特别适合采用弹性基础的项目采用了刚性基础，对今后的运行中诸如抗震和沉降方面带来了隐患。

## 三、隔振技术在轨道交通中的应用和发展

### 1. 隔振产品的应用

有许多隔振技术和产品可用于轨道交通，目前已经成熟应用的隔振技术有：科隆蛋、弹性套靴、橡胶浮置板和钢弹簧浮置板（图 1-1-8）等。钢弹簧浮置板道床隔振技术的隔振效果是最好的。

在上述这些的轨道隔振技术中，科隆蛋和弹性套靴与普通道床相比较，有一定的减振效果，可以满足 5~8dB 的低档减振要求，但科隆蛋的横向刚度较低，不适于曲线段；如橡胶工艺或材质不好还会造成橡胶圈脱落，影响行车安全；弹性套靴容易进水和灰尘，不易检修更换。

橡胶浮置板的隔振效果虽然明显低于钢弹簧浮置板技术，但好于科隆蛋和弹性套靴，可以满足 10~15dB 的中档减振要求。可是橡胶作为隔振元件存在如下缺点：各向刚度相互制约，横向刚度低，不能满足道床的横向稳定性要求，因此除竖向支承的橡胶支承块外，还需横向支承的橡胶支承块，且结构复杂；橡胶支承块隐藏于浮置板下面，很难调平、检修和更换，尤其是无法从浮置道床侧面或顶面检修；橡胶本身阻尼太小，不能有效吸收浮置板的振动能量，对于软土地基及人们较敏感的振源低频部分隔振效果并不理想；此外橡胶对材料和工艺要求高，易老化，寿命有限，更换橡胶支承块对列车运营和市民的出行影响较大。对于更高的减振要求，橡胶浮置板在技术上难以实现。

我国的广州地铁一号线在有特殊减振降噪要求的某地段铺设了橡胶浮置板，取得了一定的隔振效果，但该地段隧道内的噪声有所加大，另外今后橡胶垫的更换将是难题。

钢弹簧浮置板道床是将轨道车辆运行的道床用高弹性隔振器支撑起来，使道床与隧道仰拱和隧道壁之间留有一定间隙，两者之间仅通过隔振器相接，使隔振器上部结构所受的车辆扰动通过隔振器传递到结构底部。在此过程中由隔振器进行调谐、滤波、吸收能量，达到隔振减振的目的。

钢弹簧浮置板克服了上述几种轨道减振技术的缺点，其主要技术特点有：系统固有频

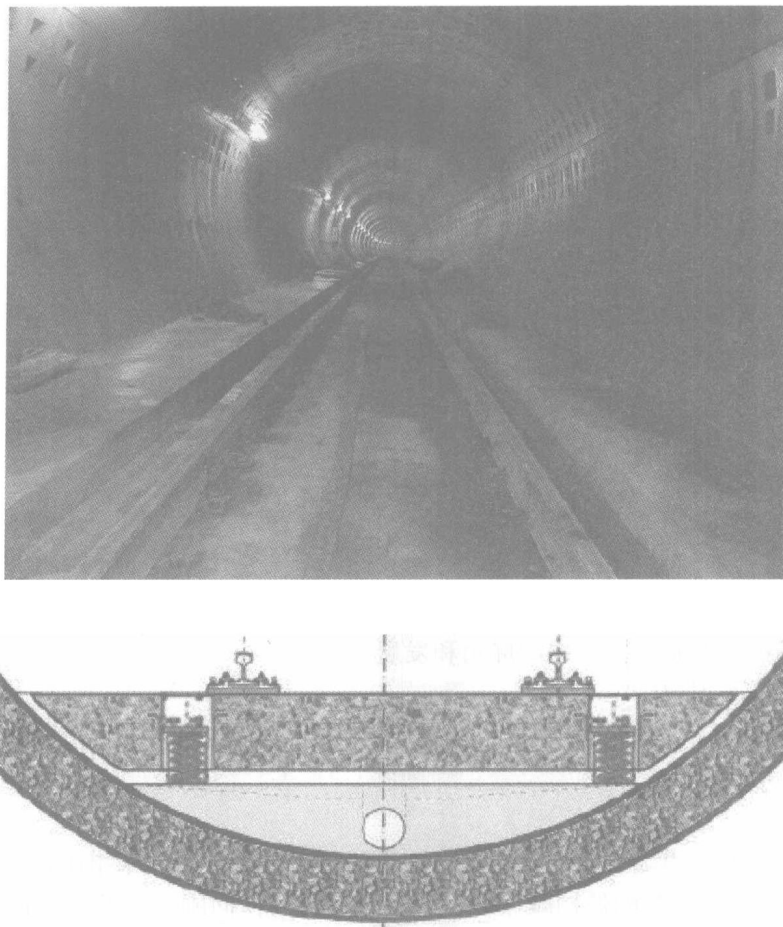


图 1-1-8 盾构中的钢弹簧浮置板道床

率低（4~8 Hz），隔振效果好，隔振效率达 25~40dB 以上；弹簧隔振器寿命长，设计寿命 50 年；同时具有三维弹性，水平方向位移小，无需附加限位装置；施工简单，可现场浇注；检查或更换弹簧十分方便，不用拆卸钢轨，不影响地铁运行；基础沉降造成的高度变化可以方便快速地进行调整。基于以上这些特点，钢弹簧浮置板技术在世界范围内得到广泛应用。

大量研究表明，目前浮置板道床结构减振降噪效果最为显著，是轨道交通振动控制领域的核心技术，是敏感地段减振的首选方案，可以广泛应用于地铁、城铁、高架、桥梁等不同类型的轨道结构之中。

我国北京、上海、广州、深圳、南京等城市已有十几条地铁线路上的几十处敏感地段采用了钢弹簧浮置板技术，如北京 13 号线西直门车站和指挥中心隔振、上海 4 号线过四川北路高架桥降噪（图 1-1-9）、上海 6 号线高架穿越高档住宅区降噪、广州 3 号线珠江电影制片厂下隔振、广州 4 号线华抵古庙下隔振、深圳地铁 1 号线市民中心下隔振、南京地铁 1 号线鼓楼医院下隔振等，均很好地解决了振动与噪声问题，达到预期效果，取得了良好的社会效益。

## 2. 存在的问题与今后研究发展方向



图 1-1-9 上海地铁四川路高架桥上采用钢弹簧浮置板技术取得卓越减振降噪效果

钢弹簧浮置板技术在国外应用已经有了很长时间，在中国也已经有 7 年的实际应用经验，正在形成一套完整的设计、施工、运营维护的理论和经验。

钢弹簧浮置板的计算与分析目前主要还是以引进消化为主，在消化实践的基础上，今后将逐步实现自主设计。目前相关规范标准和有关振动传播预测研究不够完善，不能很好地为设计提供依据。今后的主要研究方向是加快施工速度，对运营线路的实测研究、实时监测以及振动的预测精准化研究。

#### 四、隔振技术在建筑领域内的应用与发展

建筑隔振方法主要有浮置地板、房中房和建筑物的整体隔振三种方式。

##### 1. 浮置地板

在房间结构地面上再做一层可浮置的混凝土板，用隔振元件予以支承浮置，构成浮置地板。浮置混凝土板的厚度一般在 130~200mm 之间，与房间结构地面的间隙一般为 30~50mm，隔振元件一般采用钢弹簧隔振器或者橡胶垫，墙壁采用吸隔声处理。这种隔振方式具有比较好的撞击声隔声性能，可以有效隔离来自地面的固体传声。主要应用于剧院和音乐厅中对撞击声隔声要求较高、跨度较大的空间，如排练厅。该隔振方式施工简单，性价比较高。目前国内已有不少工程实例，如东方艺术中心、苏州科技文化中心和武汉大剧院等就采用了该技术，隔振元件采用的是可调平的钢弹簧隔振器。上海音乐厅则采用了浮置楼板，直接将观众席楼板通过钢弹簧隔振器支承于牛腿上（图 1-1-10）。

浮置地板的设计一般遵循下列设计路线：

- (1) 依据隔声要求和建筑许可的条件选择浮置地板的厚度；
- (2) 依据隔声要求选择隔振元件，隔声要求高或不易检修维护时，宜采用寿命较长的钢弹簧隔振器；

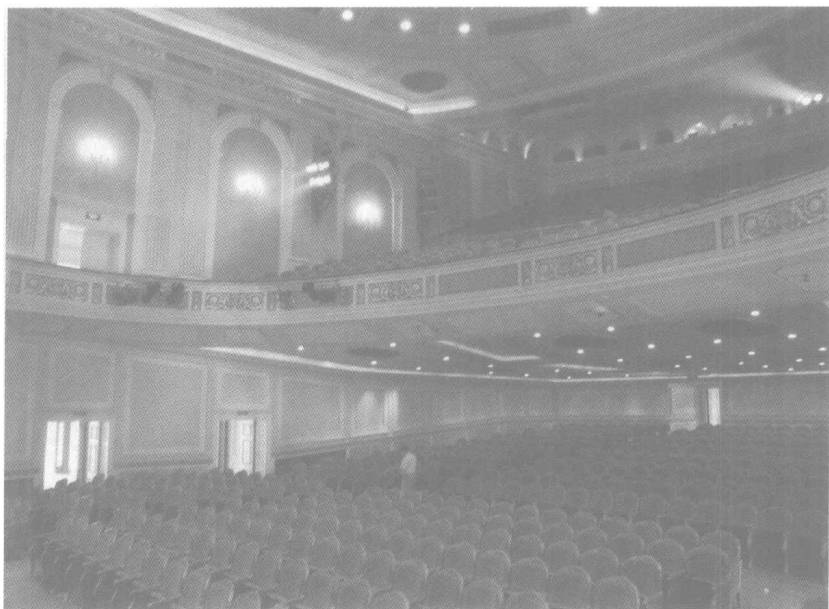


图 1-1-10 上海音乐厅观众席采用了整体浮置隔振技术

- (3) 根据浮置地板的自重、活荷载，布置隔振器分布；
- (4) 核算浮置地板和地面的承载力，出配筋图。

## 2. 房中房隔振

当使用空间要求具有更高的隔声性能时，可在使用空间中再建一个具有独立墙壁、底板和顶板的内层房间，将内层房间支承在隔振元件上，隔振元件一般为可预紧、可调平的钢弹簧隔振器，四周墙壁及顶棚与外部墙壁和顶板之间没有任何刚性连接或接触，留有一层空气层，其厚度以人可通过为宜。

房中房技术可以有效隔离来自各个方向的振动和固体传声，可以保证局部空间的声学性能。国家大剧院中 5 个高档录音室就采用了房中房隔振降噪技术（图 1-1-11）。

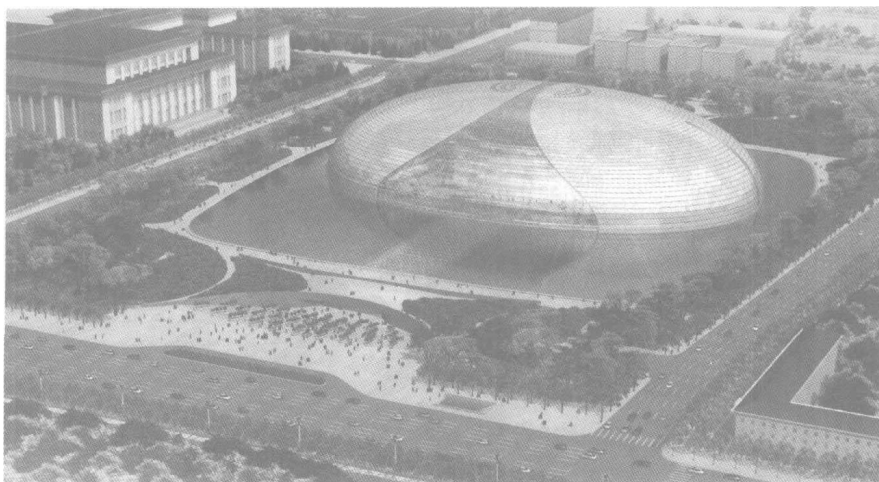


图 1-1-11 国家大剧院采用了房中房隔振降噪技术