

桥梁橡胶支座

廖顺庠
吴在辉 编著
金吉寅

人民交通出版社

本书难免有一些欠妥之处，欢迎各制作、研究与应用单位的同志多提宝贵意见，以便再版时补充与修改。

上海市市政工程研究所所长

左 其 超

1985.9.20

内 容 简 介

桥梁橡胶支座对各向变形和位移的适应性好，能吸收部分振动、减小交通噪声，可改善桥墩台受力状态，并且施工安装方便。所以它适用于公路、铁路和城市桥梁，也适用于一些特殊的桥梁如宽桥、曲线桥和斜交桥梁等。

本书较系统地介绍了板式橡胶支座、四氟板式橡胶支座及盆式橡胶支座等技术，并扼要地介绍了国内外发展动向。本书是根据上海市市政工程研究所多年研究成果及推广应用的技术数据，以及国内有关单位的经验与技术编写的。

桥梁橡胶支座

廖顺庠

吴在辉 编著

金吉寅

责任编辑：王应荣

封面设计：袁毅

插图设计：高静芳

技术设计：周圆

责任校对：戴瑞平

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：5.375 字数：106千

1988年2月 第1版

1988年2月 第1版 第1次印刷

印数：0001—7,400册 定价：1.30元

序

橡胶支座是随着现代桥梁工程发展起来的一项新技术。它具有许多优点：能定型生产、施工安装方便、对各向变形和位移的适应性好，能吸收部分振动、减小交通噪声，可改善墩台受力状态。所以橡胶支座既适合一般公路、铁路和城市桥梁，又可用于一些特殊的桥梁工程如宽桥、曲线桥和斜交桥等。此外，对高墩、高架桥和桥面连续体系等，使用贴有聚四氟乙烯板的橡胶支座，其效果更好。

《桥梁橡胶支座》一书，是根据我所多年研究成果和推广应用的技术数据，以及国内各有关兄弟单位在这方面的成功经验与资料编写而成。这些单位是：上海市橡胶工业制品研究所、上海市政工程设计院、铁道部铁道科学研究院、交通部公路规划设计院、江苏省常熟市橡胶制品厂、上海市工程橡胶厂和新津筑路机械厂等。

《桥梁橡胶支座》一书是国内第一本比较系统的专业书。它扼要地介绍国内外发展动向，并分章节介绍板式橡胶支座、四氟板式橡胶支座及盆式橡胶支座等技术。

此书系由我所几位负责研制和推广应用的工程师执笔，其中第一、二、四章分别由廖顺庠、吴在辉、金吉寅编写，第三章是在参考文献[3.1]及[3.2]的资料基础上改写的（原文献的执笔者张金龙）。

目 录

第一章 桥梁橡胶支座的发展概况.....	1
第一节 桥梁支座的分类.....	1
第二节 桥梁橡胶支座.....	4
第三节 氯丁橡胶的特性.....	5
第四节 聚四氟乙烯的特性.....	9
第五节 国外橡胶支座的使用情况.....	10
第六节 我国橡胶支座的使用情况.....	16
参考文献.....	18
第二章 板式橡胶支座.....	19
第一节 适用范围及产品规格.....	19
第二节 支座的构造原理.....	25
第三节 橡胶材料及配方举例.....	31
第四节 支座的制造.....	35
第五节 支座的物理力学性能.....	38
第六节 支座的设计计算.....	62
第七节 支座的安装及养护.....	77
第八节 支座应用的若干问题.....	82
参考文献.....	90
第三章 聚四氟乙烯板式支座.....	92
第一节 四氟板式橡胶支座的原理及构造.....	93
第二节 四氟板与橡胶粘结的研究.....	96
第三节 四氟板式橡胶支座的物理力学性能.....	101

第四节	SZ—249型油脂蒸发试验	126
参考文献		127
第四章	盆式橡胶支座	128
第一节	盆式橡胶支座的作用与分类	128
第二节	盆式橡胶支座的构造	129
第三节	盆式橡胶支座的试验与计算	134
第四节	盆式橡胶支座的其他计算	155
第五节	系列盆式橡胶支座设计介绍	161
第六节	盆式橡胶支座的安装	165
参考文献		166

第一章 桥梁橡胶支座的发展概况

第一节 桥梁支座的分类

桥梁支座的主要作用，是将桥梁结构上的恒载与活载反力传递到桥梁的墩台上去，同时保证支座所要求的位移与转动，以便使结构的实际受力情况与计算的理论图式相符合。

简支梁桥的支座是由一个固定支座和一个活动支座组成，多孔连续梁桥是由一个固定支座和几个活动支座组成。固定支座用来固定桥跨结构相对于墩台的位置，可以转动但不能移动。活动支座保证桥跨结构在温度变化、混凝土胀缩和竖向荷载作用下可以自由地活动。对于城市中常见的宽桥的支座，还应该保证桥跨结构能以横向移动。

表1-1

		可能移动的方向		可能转动所绕的轴	
		x	y	x	y
a	点摇轴支座	-	-	+	+
b	线摇轴支座	-	-	+	-
c	活动滚筒支座	+	-	+	-
d	多向活动的双滚筒支座	+	+	+	+
e	混凝土铰支座	-	-	+	-
f	盆式橡胶支座	-	-	+	+
g	板式橡胶支座	+	+	+	+

注：+ 有位移或转动

- 无位移或转动

进行桥梁设计时，应根据支点反力大小、桥跨长短以及支座建筑高度等来选用适宜的支座。活动支座最好设置在支点反力较小的支承处。对支点反力不大的小桥，支座构造很简单；但对支点反力大的桥梁，应采用大吨位支座。

下面介绍几种常用的支座。如图 1-1 所示。它们的功能在表 1-1 中列出。

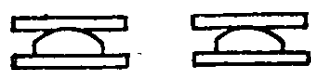
图 1-2a 为一般板桥的支座，其纵向的收缩量，由支座予以保证，但是在滚筒支座处的横向收缩量会产生挤压力，导致滚筒由于不均匀受压而弹跳甚至压扁，或者使混凝土产生裂缝。

图 1-2b 为 T 型梁桥的端横隔梁。为了防止挤压力 Z 使端横隔梁产生裂缝，设置预应力钢丝束以便施加预应力避免出现裂缝。拉力系按照这个断面的刚度比例分布在横梁及桥台上，而因为桥台厚度比横隔梁大，总的张力几乎都传递到桥台上。

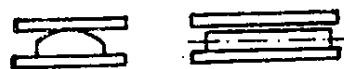
图 1-2c 为板桥，采用混凝土铰与桥台相连接，混凝土铰支座可使桥梁在横方向不致弹跳。新混凝土板的收缩与徐变远比老混凝土桥台大。因横断面比较薄的板必须适应于桥台圯工断面的变形，而往往导致整个板的截面裂缝，但是很少采用横向预应力，是因为预应力会传递至桥台而损失。

图 1-2d 为斜交板桥，图示的支座保证 x 方向的位移及绕 y 轴转动，但是要求斜板桥能沿 x 向位移并绕与 x 轴呈 α 角的支承线转动。或者是将滚筒垂直于 x 轴并保证 x 向位移，但不绕支承线转动；或者是将滚筒支座与 x 轴呈 α 角，保证绕支承线转动，但 x 向不能自由位移。而斜板桥则要求两种支承条件都能满足。

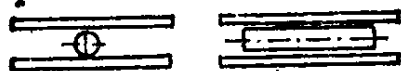
由图 1-2a 至 d 所述，要同时满足上述两种支承条件是



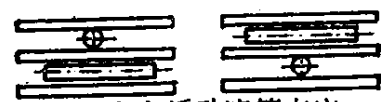
(a) 点支座



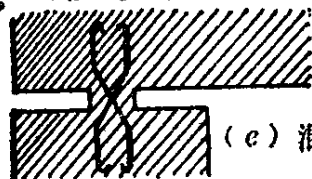
(b) 线支座



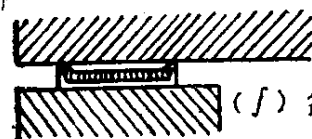
(c) 活动滚筒支座



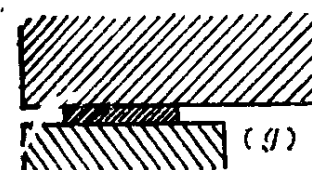
(d) 多向活动滚筒支座



(e) 混凝土铰支座

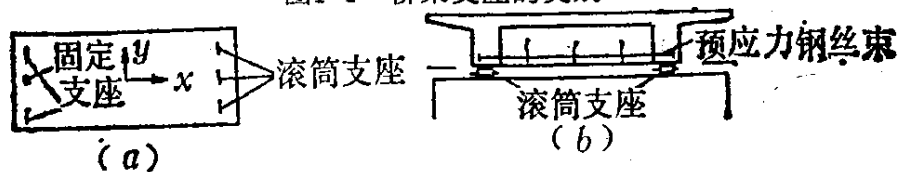


(f) 盆式橡胶支座



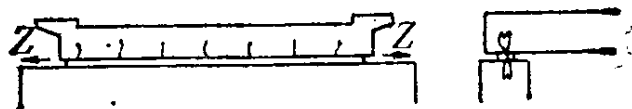
(g) 板式橡胶支座

图1-1 桥梁支座的类别

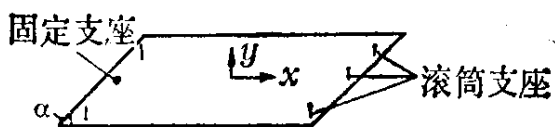


(a)

(b)



(c) 混凝土铰支座



(d) 斜交板桥支座

图1-2 固定支座

有困难的。但是橡胶支座不但能在两个方向位移，且能绕着两个轴转动。能同时满足两种支承条件下面将详细叙述。

第二节 桥梁橡胶支座

目前，国内外常用的桥梁橡胶支座有下列几种：

一、板式橡胶支座

这种支座是由几层橡胶片与薄钢板组合而成。它能适应预制钢筋混凝土梁在制作中所产生的较大间隙偏差。能适应任何方向的少量移动，包括梁在水平方向的扭转，特别适应于斜桥的设计要求。对合理设计的制动荷载能分布到桥的两端，且受压弹性模量大，剪切模量小，有良好的支承能力。所以在中、小型公路、城市和铁路桥梁中应用非常广泛。

二、盆式橡胶支座

具有无侧限的圆盘橡胶，在荷载下可以有垂直和水平的变形，如容纳在盆内的橡胶没有凸起或水平变形，它的性能则与粘滞流体类似，而承受荷载的能力很大。这种支座如不超出它所产生的垂直应变的10%，就能适应其转动。

盆体多用钢材制成。支座的转动与移动有下列三种情况：

1. 允许在所有的方向转动，但应固定，任何方向也不允许移动。

2. 允许在所有方向转动及在顺桥方向移动，但应设导向装置，予以固定。

3. 允许任何方向转动或移动，如图 1-3 所示。通常用聚四氟乙烯 (Poly-Tetra fluoro ethylene) 和不锈钢制成滑

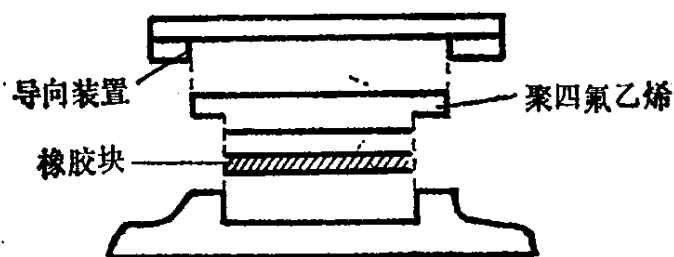


图1-3 盆式橡胶支座

动面。

三、四氟板式橡胶支座

这种支座的构造形式与板式橡胶支座相似，但最上面一层为聚四氟乙烯板。因为聚四氟乙烯的滑动摩擦系数 μ 约为0.06，最大不过0.1，并且随着时间的加长还有所改善，这就对要求适应各个方向移动的桥梁滑动支座，提供了广阔的前途。

第三节 氯丁橡胶的特性

用天然橡胶块作为抗冲击振动的机械基础的支垫，已经应用很久，但是这样的减震器的承载能力是有限的，而且天然橡胶的抗腐蚀和抗老化的能力也不大，首先是氧化时天然橡胶的腐蚀，特别强烈的是氧化过程中由于光效应使橡胶很快软化，产生粘性并逐渐如树脂一样而破坏。

从三十年代起美国杜-波恩特工厂应用合成氯丁橡胶以来，这种人工材料不但具有天然橡胶的特性，而且增强了抗腐蚀与抗老化的能力。这些特性很快就被利用在化学工业、机械工程及建设工程中，从而在汽车工业中的密封带及连接衬

垫、化学工业中的耐酸管道及炉底装置、蓄水池的氯丁橡胶涂料以及其它由氯丁橡胶制造的产品得到推广。表 1-2 中列举了氯丁橡胶抵抗化学作用的能力。表中符号意义：A——作用很小或无作用；B——作用较大；C——作用很大。

表1-2

污水	A	碳酸 H_2CO_3	A
明矾	A	硫酸 H_2SO_4 (至50%)	A
甲酸 $HCOOH$	A	硫化氢 H_2S	A
氨气	A	焦油	A
天然气	A	水	A
醋	A	水蒸汽	A
燃料油	A	沥青	B
高炉煤气	A	丙酮 CH_3COCH_3	B
氯化钙 $CaCl_2$	A	汽油	B
一氧化碳	A	石油	B
硝酸 HNO_3 (至10%)	A	润滑油	B
盐酸 HCl (至30%)	A	润滑脂	B
浓缩盐酸	A	苯 C_6H_6	C
氧 O	A	硫酸废气	C
硫氧化物	A		

可见氯丁橡胶能抵抗无机酸、碱液、氧和空气；有机材料、尤其是油馏产品、汽油及油类产品。

氯丁橡胶的硬度可用邵氏硬度仪测定，针端压入软质材料的深度为硬度 0~90，邵氏硬度 0 表明是非常软的材料，针端压入毫无阻力。硬度与氯丁橡胶的温度有关，而测量本身的精确度不大，一般邵氏硬度值有 ± 5 的允许误差。图1-5 表示邵氏硬度的增加与温度的关系。天然橡胶对于低温不敏感，在气候寒冷的地区用天然橡胶代替氯丁橡胶，是值得推荐的。

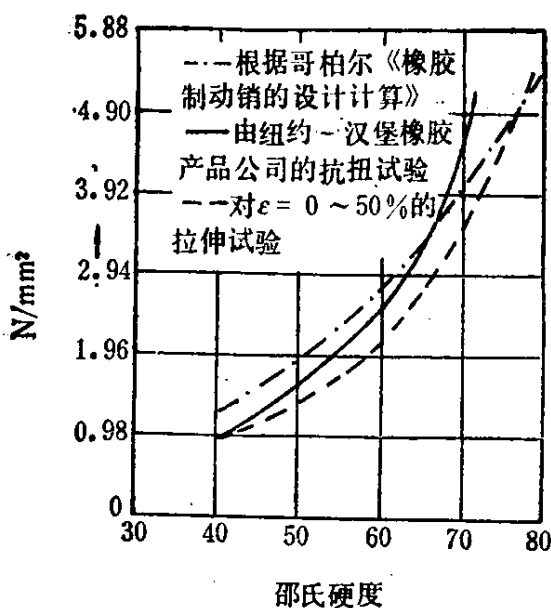


图 1-4

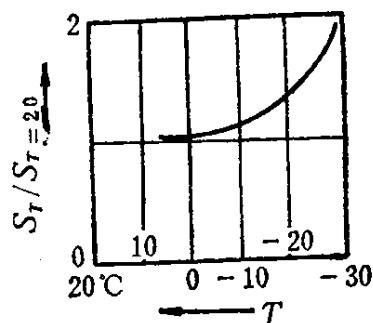


图1-5 氯丁橡胶硬度和温度的关系

在邵氏硬度与弹性模量之间有一个数学关系，可以借助曲线从邵氏硬度取得弹性模量，可从抗扭圆柱体试件或橡胶带的抗拉、尤其是从量测取得的弹性模量的引长量，得出弹性模量与邵氏硬度的关系的不同的曲线，见图1-6。

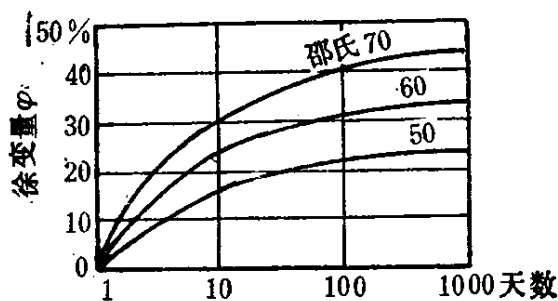


图1-6 不同硬度的氯丁橡胶的徐变曲线

氯丁橡胶几乎同天然橡胶一样是体积固定的，它的横收缩系数可用 $\mu = 0.5$ ，由此可以计算出滑动模数

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \frac{E}{3}$$

氯丁橡胶与混凝土一样是有徐变的，其徐变系数 φ 为随时间而增加的引长量与加荷载时的引长量的比例数。

$$\varphi = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_0}$$

因为混凝土随时间而增加的徐变特性不再发生变化，所以在重复荷载时许多年内不会有附加的塑性变形。氯丁橡胶具有在重复荷载时，随年代增加的徐变变形。图 1-6 表明了不同的邵氏硬度的徐变值（用%表示）。氯丁橡胶徐变过程比混凝土快。徐变的主要部分大约在 10d 内完成。由于徐变能力引起挤压力部分地下降，此挤压力系由桥梁长度缩短 Δl 时氯丁橡胶支座所引起，桥梁长度的缩短使支座呈 γ 角倾斜，一个瞬时水平推力 $t=0$ 时出现的 γ 角（发生在缩短的瞬间），见图 1-7a 及 1-7b。

$$H_0 = F \tan \gamma G_0$$

式中 F 为支座的平面面积， G_0 为氯丁橡胶支座的滑动模量。由于氯丁橡胶会使水平推力 H_0 部分地下降，使长时期的缩短 Δl 保持不变。以徐变的微分方程式与混凝土方程式作为已知，给出水平推力如下（约半年的徐变结果）：

$$H_t = H_0 e^{-\varphi} = F \tan \gamma G_0 e^{-\varphi},$$

已知邵氏硬度、徐变系数，即可得出挤压力 $G_t = G_0 e^{-\varphi}$ 。

邵氏硬度 50 $\varphi = 45\%$ $G_t = 0.64 G_0$

60 $\varphi = 35\%$ $G_t = 0.70 G_0$

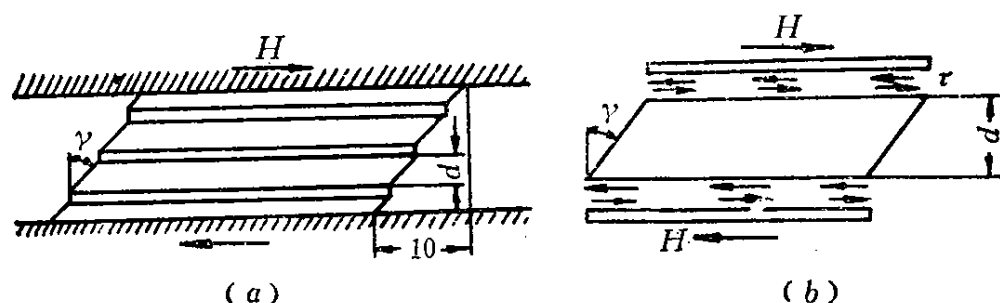


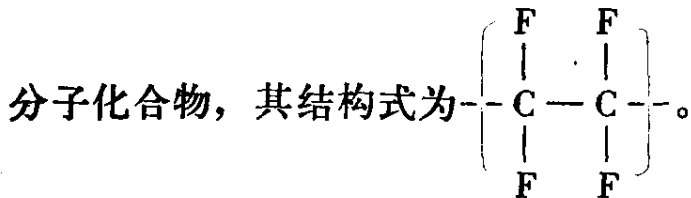
图 1-7

$$70 \quad \varphi = 25\% \quad G_t = 0.78G_0$$

滑动模数 G_0 适合于短暂荷载情况，如风载力和制动力、日夜温度变化等。当长期荷载，如预应力、混凝土收缩和徐变、夏天与冬天的温度变化等，则采用微小的滑动系数 G_t [1-7]。

第四节 聚四氟乙烯的特性

聚四氟乙烯，俗称塑料王，由四氟乙烯经聚合而成的高



聚四氟乙烯有粒状、粉状和分散液三种。固体相对密度 2.1~2.3。成型品具有色泽洁白，半透明外观，蜡状感觉的特点，耐热性好，最高工作温度 250℃，最低工作温度 -269℃，加热至 415℃ 时，即缓缓分解。除融熔金属钠和液氟外，能耐其它一切化学药品，在王水中煮沸也不起变化。电性能和机械性能也很优良。用特种方法加工，可制成棒、管、带、一般应用于性能要求较高的耐腐蚀的管道、容器、泵、阀以及制雷达、高频通讯器材、无线电器材等，也可用于抽丝。分散液可用作多种材料的绝缘浸渍液和金属、玻璃、陶器表面的防腐蚀涂层等，聚四氟乙烯板用于桥梁后，发展很快，引起桥梁工作者的高度重视，主要应用于聚四氟乙烯板式滑动支座，顶推法桥梁施工用的滑板方面。

第五节 国外橡胶支座的使用情况

桥梁橡胶支座，目前几乎推广到世界各地，多年来的实践经验表明，从炎热的非洲的尼日利亚到严寒的苏联、加拿大，尽管地域不同，气候迥异，但只要设计适当，选用适应的材料，都可取得良好的效果。橡胶支座比其它类型的支座价格便宜，制作简单，运输及安装较方便，而且有明显的经济效果。

早在三十年代，法国已经将桥梁合成橡胶支座用于短跨度桥梁，四十年代起，特别是在第二次世界大战后如英国、德意志联邦共和国、美国、日本等许多国家纷纷采用，但是应用经验的积累，则迟至1958年才开始。

法国 S.T.U.P 公司和联邦德国 GMBH 预应力技术公司较早地对橡胶支座作了详细的研究。简单的橡胶垫片虽然早已作为支座体，经常在一切机械基础上作为减震器应用，但这样的减震器的承载能力必然是有限的，在较大的荷载下，橡胶材料必然会压碎。因而在战后，法国的技术工作者将钢板放入橡胶板内应用在一些桥梁上。放入钢板后可防止单一的软质橡胶层被压碎（图 1-8）。这个基本构思现在已经很容易理解。

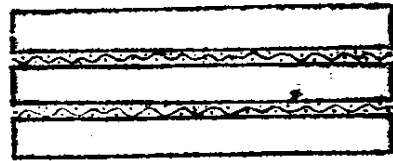


图1-8 带钢筋网格的多层橡胶板支座

由于防止了横向收缩，当软质橡胶达到高承载能力时，水平荷载引起的轻微变形并不妨碍使用，这个技术的发展和弗涅辛涅的名字分不开。最初，这种形式的支座是放入钢筋的，但在较大的荷载作用下，橡胶层中会引起裂缝。后来人

们用钢板代替钢筋格栅，并于1957年第一次在联邦德国采用。氯丁橡胶和钢有显著的粘合能力，这种用钢板加强的橡胶支座至今仍在普遍应用。有两种形式如下图所示。

第一种形式为较大的板式支座，在5~10mm厚的橡胶层上面和下面设置硫化钢板。钢板切成支座要求的尺寸，和氯丁橡胶层粘贴在一起，钢板用氯丁橡胶涂料保护以免锈蚀。这种形式主要在法国普遍应用（图1-9）。

另一种形式是钢板与橡胶交替布置并且封闭硫化，在四周边缘有几mm氯丁橡胶保护层包住钢板。因而氯丁橡胶使钢板不接触空气（图1-10）。

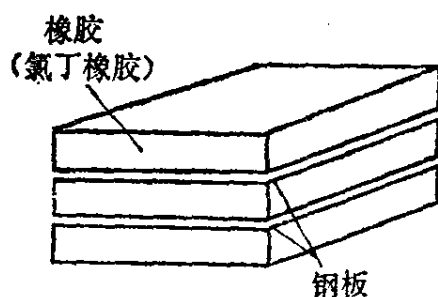


图1-9 法国应用的板式橡胶支座

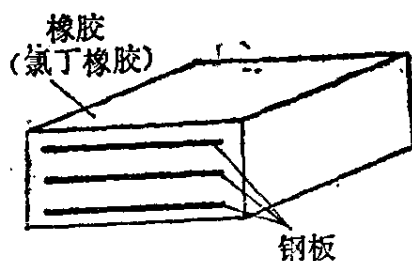


图1-10 联邦德国应用的板式橡胶支座剖面

这些橡胶支座的标准尺寸如下：

100×150mm（面积） 200×300mm（面积）

150×200mm（面积） 300×400mm（面积）

上列尺寸较小的两种支座主要用于民用建筑，尺寸较大的两种支座主要用于桥梁工程。这种形式的支座主要在联邦德国采用。

在法国牟罗兹的一座桥跨为21.9+29.35m钢结构的梁式桥上，采用了250×200mm的支座，该支座由两个8mm的橡胶片组成，每一橡胶片安装在两块厚10和1mm的钢板之