

GONGLU QIAOLIANG ZHIZUO

公路桥梁支座

实用手册

SHIYONG SHOUC

李杨海◎编著



人民交通出版社
China Communications Press

Gonglu Qiaoliang Zhizuo Shiyong Shouce

公路桥梁支座实用手册

李杨海 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本手册按照最新的桥梁和支座相关规范编写,为桥梁主要构件的支座设计、制作、施工和维修养护提供全面、翔实的参考资料,是从事公路桥梁设计、施工和维修管理的技术工作者工作时必备的使用工具书。本手册共由 9 章和 2 个附录及主要参考文献组成。第 1 章为概论,第 2 章为公路桥梁橡胶支座;第 3 章为公路桥梁钢支座;第 4 章为公路桥梁其他形式的支座;第 5 章为公路桥梁支座的施工;第 6 章为公路桥梁支座的检修;第 7 章为我国公路桥梁减(隔)震支座的开发研究;第 8 章为减(隔)震橡胶支座国际标准;第 9 章为国外桥梁支座相关试验。

本书可供桥梁设计、施工和维护管理相关人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

公路桥梁支座实用手册/李杨海编著. —北京:人民交通出版社,2009. 7

ISBN 978-7-114-07905-4

I. 公… II. 李… III. 公路桥—桥梁支座—技术手册
IV. U448. 143. 36-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 124635 号

书 名: 公路桥梁支座实用手册

著 作 者: 李杨海

责任编辑: 曲 乐

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 31.75

插 页: 1

字 数: 561 千

版 次: 2009 年 8 月 第 1 版

印 次: 2009 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 114 - 07905 - 4

印 数: 0001—3000 册

定 价: 56.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

《公路桥梁支座实用手册》是从事公路桥梁设计、施工和维护管理的技术工作者工作时必备的实用工具书。

手册编写是为了满足大规模桥梁建设需要;是为了贯彻最新公路桥梁设计规范;为桥梁主要构件的支座设计、施工提供全面、详实的参考资料。

本手册遵循当今设计产品,不仅是根据产品的功能和结构,而是根据产品的规划、设计、生产、经销、运行、使用、维修保养及回收利用处置的全寿命周期过程的原则进行编写,也就是各个章节的安排顺序都紧密将产品的功能、结构、设计、生产、使用和维护保养等方面作为主要内容反映在本手册中,给读者一个较为完整的全寿命过程认识和理解。

本手册共由 9 章、2 个附录和参考文献组成。第 1 章为概论,主要论述公路桥梁支座的功能、构造和分类;其后从第 2 章至第 4 章均按支座类型分章集中进行介绍;第 5 章集中介绍公路桥梁支座的施工;第 6 章介绍公路桥梁支座的检修,从桥梁支座的检查、支座的损坏原因与功能判断、修补、养护、更换及支座的增强与修补材料等进行较为详尽介绍;第 7 章对我国公路桥梁减(隔)震支座的开发研究作了专门介绍;第 8 章和第 9 章作为参考资料对国际和国外的支座相关规定,特别对减(隔)震方面的有关规定进行整合性介绍。

在本手册中所提及的支座类型和品种都是目前国内外常见分类或正在开发的产品品种,为了给桥梁工程技术工作者有一个较全面的了解和今后努力方向的一种启示,尽可能地加以收集最新资料并反映到手册中,但所提及的产品结构形式不是推荐产品,这也是编者的初衷之一。因为提及的产品或类型中一些是一种思路和发展中出现的品种,如带坡度等支座形式对桥梁纵坡或横坡适应性及可能出现的永久性、不可自行恢复后果,都应从结构的受力等角度加以分析和判断等,这是编者的要求和希望。

同时,在后记中,就我国桥梁技术界在桥梁支座更换机具、手段、修补材料、橡胶支座含胶量的快速测定技术、减(隔)震支座和桥梁支座更换专业施工的联合体等方面存在的问题,编者提出了自己的设想和建议,目的是引起桥梁技术工作者的注意,并能通过各自的努力解决这些问题,为我国公路桥梁事业发展作出贡献。当然,桥梁支座远不止所提出的这些问题,而有很多问题需要桥梁技术工作者去发现、去研究、去解决。

本书在编写过程中参考了部分文献资料,编著者对文献作者的工作业绩和学术成就表示钦佩,在此向他们表示衷心地感谢!

由于本书首次编著,时间较紧,加上作者水平所限,书中不当之处在所难免,在此恳请读者批评指正。

编著者

2008 年 12 月于北京

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 我国公路桥梁支座的现状与发展	1
1.2 桥梁支座的作用和功能要求	2
1.3 桥梁支座的分类和种类	11
1.4 桥梁支座的布置	18
1.5 桥梁支座的设计条件	23
1.6 桥梁支座的质量管理与检查	27
1.7 新型支座的采用	32
1.8 主要相关名词术语	34
第 2 章 公路桥梁橡胶支座	38
2.1 公路桥梁板式橡胶支座	38
2.2 铅销橡胶支座	100
2.3 带状橡胶支座	103
第 3 章 公路桥梁钢支座	107
3.1 盆式支座	108
3.2 球形支座	146
3.3 球面支座	162
3.4 圆柱面形支座	163
3.5 钢平板式支座	165
3.6 辊轴钢支座(滚筒支座)	165
3.7 弧形钢支座(线支座)	166
3.8 特种钢支座	167
3.9 铸钢支座的质量要求	170
3.10 钢支座的设计与计算	170
第 4 章 公路桥梁其他形式的支座	182
4.1 混凝土铰支座	182

4.2	拉压支座	188
4.3	盘式支座	192
4.4	其他新型支座	193
第5章	公路桥梁支座的施工	214
5.1	一般要求	214
5.2	橡胶支座的安装施工	217
5.3	钢支座的安装施工	226
第6章	公路桥梁支座的检修	234
6.1	桥梁支座的检查	234
6.2	桥梁支座的损坏原因与功能判断	239
6.3	桥梁支座的修补与养护	253
6.4	公路桥梁支座的更换	267
6.5	公路桥梁支座工程加强与修补材料	281
第7章	我国公路桥梁减(隔)震支座的开发研究	309
7.1	公路桥梁减(隔)震支座的来由	309
7.2	公路桥梁减(隔)震支座的研究与发展	322
7.3	公路桥梁减(隔)震支座的分类及其工作原理	330
7.4	铅销橡胶支座研究与标准化	333
7.5	桥梁减(隔)震措施的细部构造	340
第8章	减(隔)震橡胶支座国际标准	355
8.1	适用范围与支座分类	355
8.2	桥梁减(隔)震橡胶支座的性能要求	357
8.3	橡胶材料性能要求	363
8.4	减(隔)震橡胶支座的设计规则	366
8.5	橡胶材料物理性能试验	376
8.6	减(隔)震橡胶支座(成品)力学性能试验	380
8.7	其他相关资料	393
第9章	国外桥梁支座相关试验	399
9.1	减(隔)震橡胶支座的性能特征值	399
9.2	高阻尼橡胶支座的设计	403

9.3 橡胶支座的压缩及转动性能试验 407

9.4 橡胶支座加劲钢板的应力状态 415

9.5 欧洲标准对桥梁支座相关试验要求 419

附录一 中华人民共和国交通行业标准 公路桥梁板式橡胶支座
(JT/T 4—2004) 438

附录二 中华人民共和国交通行业标准 公路桥梁板式橡胶支座规格系列
(JT/T 663—2006) 467

参考文献 494

后记 496

第 1 章 概 论

1.1 我国公路桥梁支座的现状与发展

随着我国公路桥梁技术的发展,桥梁支座的类型也在不断更新与增加,在 20 世纪 60 年代之前,可以说公路中较大型桥梁的支座几乎都是采用钢支座和钢筋混凝土支座,对小跨径桥梁几乎只用简单的方法进行处理(如油毛毡等)。随着化学工业的发展,出现了橡胶支座和使用四氟滑板的平面滑动支座,到了 20 世纪 60 年代初开始,板式橡胶支座和盆式支座逐渐进入开发和应用。特别是到了 20 世纪 80~90 年代,相继制定完成了公路桥涵设计标准图(1980)、交通行业标准《公路桥梁板式橡胶支座规格系列》(JT 3132.1—88)、《公路桥梁板式橡胶支座技术条件》(JT 3132.2—88)、《公路桥梁板式橡胶支座成品力学性能检验规则》(JT 3132.3—90)以及《公路桥梁盆式支座》(JT 3141—90)发布并实施,使盆式支座很快成为我国公路桥梁最主要的支座形式。国外 20 世纪 70 年代开始研制球形支座,并很快在弯桥上应用。德国对近几十年修建的预应力混凝土桥梁使用支座的状况进行了调查,结果表明在 1964 年以前,100%的桥梁采用钢支座,从 1958 年开始采用盆式支座,1970 年以后开始大量采用盆式支座,而且盆式支座占全部支座用量的比例越来越大。

我国目前新建公路桥梁,除了个别有特殊要求的桥梁外,几乎都采用板式橡胶支座和盆式支座。同时,伴随着我国桥梁支座的制造和加工水平的不断提高,在解决具有特种用途的支座的研究和开发步伐不断加快,如可调式盆式支座、拉压式支座和专用于地震区桥梁上使用的盆式抗震橡胶支座、球形抗震支座以及铅销橡胶支座等,这些几乎都是专利产品,可以预计不久将会在桥梁工程上得到有效使用。同时,对桥梁支座质量的监控工作也在不断加强,对桥梁支座的动力性能的试验研究也正在兴起,以使桥梁支座更好地适应我国公路桥梁建设的需要。

1.2 桥梁支座的作用和功能要求

1.2.1 桥梁支座的作用和功能要求

当设计支座时,必须充分了解支座在整个桥梁中所起到的作用。桥梁支座是桥梁上部结构和下部结构的重要连接部件,所以桥梁支座必须具有如下主要作用和功能要求。

(1)必须能支承从上部结构传递的恒载、活荷载等垂直荷载和地震和风等横向荷载,并安全可靠地传递给下部结构(墩、台)。

(2)必须适应由活荷载和温度变化产生的上部结构水平位移和由挠度产生的支点转角变位。

(3)为了提高在地震时整个桥梁的抗震性能,支座应具有减震和隔震性能,即在地震和风力(如台风)作用下,具有适应瞬时大变位的作用。

(4)具有安装、维护和更换的方便性。

(5)在车辆行驶作用下具有缓冲作用。

为了使支座达到这些功能,就要确实掌握桥梁的静力特性和动力特性,而适当选择支座形式就显得非常重要。根据桥梁的规模和形式,对水平力的支承方法和荷载的安全度,应充分考虑梁由于温度变化产生的伸缩量大小及方向,以及活荷载产生的挠度及扭转产生的转动。同时,对于有负反力出现的支座应着重选择具有抗负反力性能的支座形式。

支座除具备主要功能外,必须对其施工方便性和耐久性、维护管理难易程度、与环境的协调和经济性等加以充分考虑。

支座的施工最容易受到操作空间的制约和上下部构造施工误差的影响,因此,在设计及施工计划时,对于支座安装位置、操作空间的确保,施工顺序和施工误差的处理方法等尽可能加以慎重研究。

若要长久地维持支座的性能,如何保证支座的耐久性是其重要的。例如,对钢支座,由于钢材受到腐蚀带来性能的降低和摩擦力的增加会产生二次约束力的问题;而对于橡胶支座,因橡胶材料逐年老化,预定的变形性能也会有降低的可能性。这样,支座性能降低会造成桥梁结构体系的变化,有时也会产生整个桥梁机能损坏的危险。为此,选择耐候性好的材料并考虑到防腐蚀和疲劳耐久性好的支座结构设计就显得非常重要。

要保持支座性能的长期稳定,必须在确保耐久性上加以恰当的维护管理。一

般要对支座进行检查不是容易的事,要摸清并确认变形的位置和损伤的发展程度也不容易做到,即使修补施工时,在狭窄的空间处,在短时间内要求既要快速又要保证质量的施工操作更为困难。因此,在设计时,应对防腐蚀和保证操作空间的布置方案以及可更换的构造方案等可行性进行必要的研究。

所谓支座与环境的协调,是由于支座原因产生的对周边环境的影响。例如,由于支座产生交通振动的影响、支座的外观给景观带来的影响等都应考虑。支座的经济性不能单从初期投资费最小考虑,而应从包括检查管理、修补及更换等的维护管理费用最低进行考虑。

要真正实现上述功能和作用,应选择设计合理、加工制造精确的高质量的支座,同时,正确施工安装以及做到经常性养护等各个环节才是可靠的保证。

1.2.2 桥梁支座的功能分类

桥梁支座主要功能可分为基本功能、抗震的附加功能(包含振动控制功能),而振动控制功能根据需要可分为单独功能和复合功能。将支座的主要功能加以归纳,如图 1-1 所示。

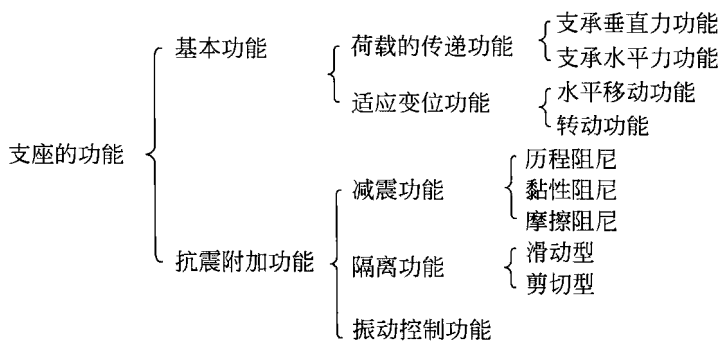


图 1-1 支座的功能分类

1.2.3 荷载种类与支座功能适应要求

支座功能将对桥梁的使用带来较大的影响,因此,恰当处理支座构造以适应由各种荷载产生的桥梁动态性能就显得极其重要。

在桥梁设计时,因考虑了各种各样的荷载,对于不同荷载作用要求、支座具有不同功能的情况下,通常首先考虑对整个结构更有利的功能方案。如对某种荷载作用在结构上可考虑最适合的支座功能,而对其他荷载状态下的支座功能就不一定是最适合的。这时,必须根据支座功能对各种荷载产生的影响进行包括支座在内的整个桥梁结构体系的设计。如果将支座功能分离为对应荷载的各种功能,原则上每个功能在各个结构体之间不应出现相互干扰,一旦出现干扰时,也应进行

整个桥梁结构体系的设计。

如上所述,当仅着重针对某种荷载状态功能设计支座,对其他荷载状态并不合适时,将会对整个结构体系产生不均衡的大问题,因此,必须考虑各种荷载状态并在取得均衡方面进行研究。

1. 常时要求的功能

这里所谓常时,是指把主荷载、相当于主荷载的特殊荷载和温度变化影响组合考虑的荷载状态。

常时作用在上部结构的荷载作为主要荷载,有垂直方向的恒载、活荷载(包含冲击力)和温度变化、混凝土收缩及徐变的影响、预应力等。

作为支座功能,一般要求支座有支承上部结构的恒载及活荷载等垂直力的功能,有能够适应温度变化、混凝土收缩影响等产生转动变位的水平变位功能,有适应由活荷载引起梁的挠曲及扭转而产生转动变位功能。在考虑地震而支座又没有附加的适应变形功能时,由于支座约束上部结构的变形,在整个结构体系设计时必须考虑这种影响。

再者,如果在软弱地基上采用刚度比较低的钢桥面板等上部结构形式,当大型车辆通过时,在地基周围会产生振动,如桥梁位于住宅等附近,则有必要采用刚度大的支承和附加控制振动功能等防止交通振动的措施。

2. 地震时要求的功能

所谓地震时,是把不考虑冲击的活荷载作为主荷载和地震影响组合的荷载状态。

地震时,在恒载等垂直力方向上,增加由地震影响引起的水平方向及垂直方向的地震力的作用。作为支座功能,要求有支承垂直力、支承水平力或水平位移功能,同时,支座必须具有吸收地震产生的震动能量、降低作用在结构体系上的地震力影响的减震功能。

地震时产生的水平力、垂直力等动力影响,结构体系的摇晃程度与振动的性质有很大关系,它们根据支座的功能而变化。因此,作为支座必须确保在地震时必要的功能。

考虑地震时的地震动力,在桥梁使用期间,应遵照“小震不坏、中震可修、大震不倒”的原则来考虑。因此,支座对于桥梁结构体系,重要的是针对各地的地震动力的抗震性能得到保证的支座结构构造。

3. 抗风时要求的功能

风荷载时,在常时状态支座要求功能基础上,加上对风影响的功能是必要的。对如桥梁这种水平方向细长的结构物,主要是横桥方向作用的风力问题,对于上

部结构把它作为横桥向作用的水平风荷载来考虑。对于支座而言,必须具有确保作用在上部结构的风荷载产生的水平力能可靠地传递到下部结构上的支承传递功能。

4. 其他荷载状态下的功能

1)地基变动与支点位移的影响

结构物建造完成后,如果地基由于压密下沉等出现地基变动,引起下部结构的沉降、水平位移和转动等。对于上部结构而言,将出现支点位移和转动影响,应根据现行抗震规范的规定,假定这样的状态对上部结构进行验算。对于支座而言,必须考虑设置能够吸收这样影响功能的支座构造。

2)施工荷载

作用在支座上的施工中荷载,与作用在桥梁建造完成后的荷载有很大的差别,在研究支座功能时,必须考虑作用在施工时的外力影响。

1. 2. 4 桥梁支座的基本结构

根据国外的有关资料,作为具有现代化功能要求的支座,具有如图 1-2 所示的各种结构。所谓结构是组成支座本身各构件间力的相互传递和吸收相对变形的构造。

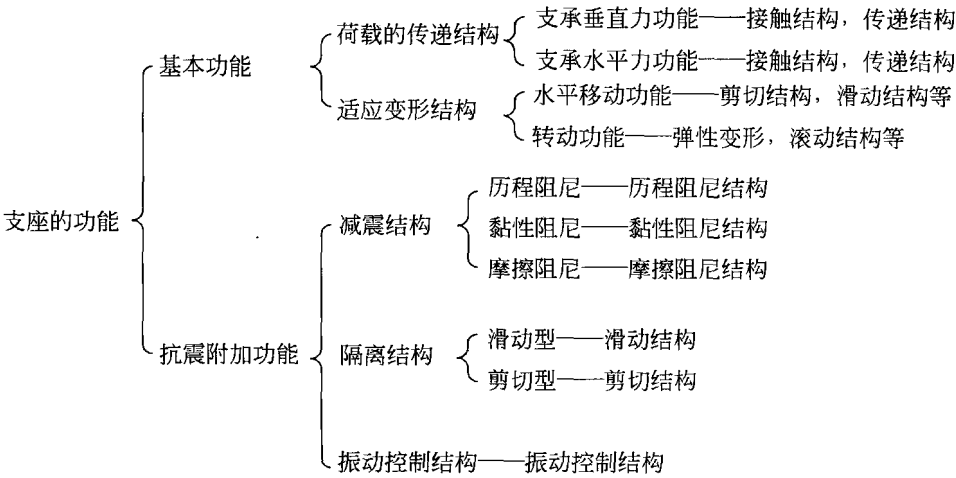


图 1-2 支座的功能与结构

结构分为有多个功能的和由多个功能组合而成的构造,这时必须充分考虑到不能出现功能的相互干扰,形成构造上的薄弱环节。

1. 荷载传递结构

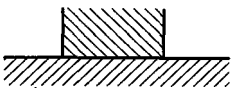
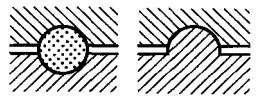
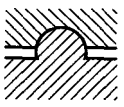
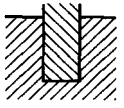
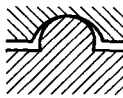
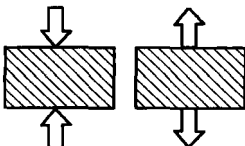
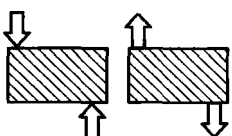
作用在上部结构的外力,可以由支座的荷载传递结构传至下部结构。此外力可以以各种各样的传递过程进行传递,要准确地掌握它,必须对支座的性能进行

验证。

1)垂直力支承结构

垂直力支承结构是将上部结构的垂直力传递到下部结构的结构，如表 1-1 所列。

垂直力支承结构 表 1-1

支承结构			主要材料	设计截面力	形 式 示 例	备 注
接触结构	面接触	平面	钢 混凝土 橡胶	压力		承受压应力小时， 最安全可靠
		圆柱面	钢	压力		一个方向自由转动 (滑动)
		球面	钢	压力		各个方向可自由转动(滑动)
		其他	钢 混凝土	黏结力		承受由负反力和偏心产生的拉力
	线接触		钢	压力 (Hertz 理论)		一个方向可自由转动或移动(滚动、滑动)
	点接触		钢	压力 (Hertz 理论)		各个方向可自由转动(滑动)
传递机构	受压、受拉		钢混凝土 橡胶	压力拉力		与接触机构组合
	受剪		钢	弯矩剪力		与接触机构组合

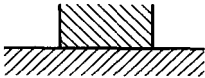
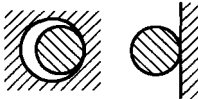
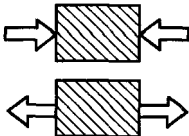
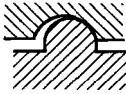
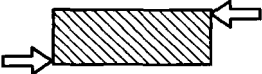
作为用于承受上下部结构和支座垂直力的结构，平面接触力学性能最安全可靠。采用橡胶弹性材料时，应注意由垂直力引起变形及压应力的分布是不同的(中间高、四周低)等。此外，采用曲面接触时，接触面的滑动可以兼作转动机构，线接触结构既可滚动也可兼作转动和水平移动机构等。对支座而言，在有限空间

内可采用先进的、多种功能的结构,此时,必须注意到由于变形产生荷载中心移动等结构上的变化以及因长期特性变化出现功能降低的问题等。采用线接触和点接触时,由于出现非常大的局部承压力,产生局部的塑性变形,一般可以采用赫兹(Hertz)理论计算接触应力。

2)水平力支承结构

支承作用在支座上的水平力,作为传递结构,如表 1-2 所列。

水平力的支承结构 表 1-2

支承结构		主要材料	设计截面力	形式示例	备 注
接触结构	面接触	钢 混凝土 橡胶	压力		承受压应力小时,最安全可靠,如果脱离面接触时就形成线、点接触
			摩擦力		
	线接触	钢 混凝土	压力 (Hertz 理论)		容易适应力的方向变化
	点接触	钢	压力 (Hertz 理论)		容易适应力的方向变化
传递结构	受压、受拉	钢 混凝土 橡胶	压力 拉力		与接触机构组合
	受剪	钢 混凝土	弯矩 剪力		与接触机构组合
		钢 混凝土 橡胶	剪力		与接触机构组合

作用在支座的水平力,一般在上部结构与下部结构之间的作用线的滑动面上。因此,水平力的支承结构,往往由多个结构组合而成。如图 1-3 所示的模式,从上部结构的上侧构件接触面传递的荷载,是经过中间构件传递到下侧构件,最

终按线接触传递到下部结构的构造等。这时,应充分注意到力的作用方向,并体现在设计中是非常重要的。

采用橡胶的剪切结构是弹性弹簧,在水平力的作用下产生剪切变形。

在接触面上,由于与水平方向接触面的摩擦也是传递荷载的机构,可以把支承垂直力的结构合并考虑,这时,要注意摩擦力会因种种原因出现变化的问题。

2. 适应变形的结构

1) 水平移动机构

为适应在支座处产生的水平力,作为吸收上部结构与下部结构相对变形的结构,如表 1-3 所列。

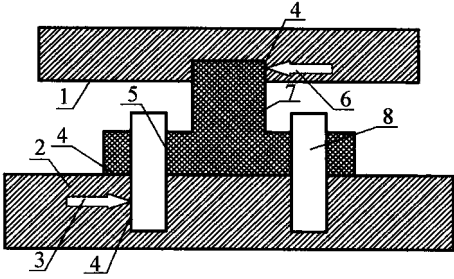
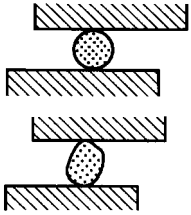
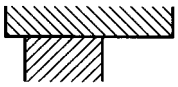
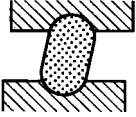
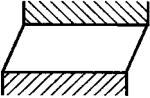


图 1-3 水平力传递示意图

1-上部构造;2-下部构造;3-水平反力;4-面接触;5-线接触;6-水平力;7-承受弯矩和剪力;8-承受剪力和拉力

水平移动机构

表 1-3

移动机构	方 向 性	主要材料	设计截面力	形状示例	备 注
滚动	一个方向(圆柱) 全方向(球形)	钢 混凝土	摩擦力		需要与移动量对应的滚动面积; 水平力最小; 方向性强(圆柱); 对摆动支座伴随上下移动
滑动 (平面)	全方向	钢 PTFE ^[注] 其他	摩擦力		需要与移动量对应的滚动面积; 水平力≤摩擦力; 摩擦面的形状影响大
滑动 (曲面)	一个方向(圆柱) 全方向(球形)	钢	摩擦力		移动伴随上下移动; 方向性强
剪切变形	全方向	橡胶	剪力(剪切变形)		出现对应变形的水平力; 需要对应变形量的承压面积

注:PTFE 为聚四氟乙烯树脂。

“圆柱的滚动”和“滑动”,前者抵抗力小,但任何方向的变位的适应性优越。根据位移量必须保证构件的尺寸,同时应注意接触面逐年变化的影响和由于杂物的存在其性能容易产生变动。因为“滚动”方向性极强,所以设计、施工时实际的

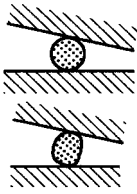
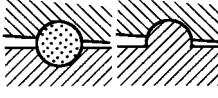
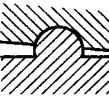
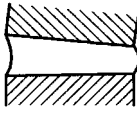
移动方向应与结构所约束的方向一致。

“剪切变形”因构件本身的变形,虽然结构不需要上述移动量的附加尺寸,但必须考虑到压缩变形时有效面积的减少,同时也要注意对应变形量的水平力和弹性材料老化产生水平抵抗力的变化(主要是增加)以及变形性能的降低。

2)转动机构

为适应在支座处产生的转动,作为吸收上下部结构相对变位的机构,如表 1-4 所列。

转 动 机 构 表 1-4

移动机构	方向性	主要材料	设计截面力	形状示例	备 注
滚动	一个方向 (圆柱) 全方向 (球形)	钢铁	摩擦力		阻力最小; 方向性强(圆柱)
滑动 (圆柱面)	一个方向	钢铁 PTFE 其他	摩擦力		摩擦面形状的影响较大; 方向性较大
滑动(球形)	全方向	钢铁 PTFE 其他	摩擦力		摩擦面形状的影响较大; 没有方向性
弹性转动 变形	全方向	橡胶	橡胶内部压力 局部剪切变形		变形产生弯矩

“圆柱的滚动”及“滑动”与水平移动一样,要重视摩擦面的状态及构件的方向与转动轴的一致性。它们不完善时将会变成转动机构的障碍,在上部结构发生达不到设计预想的应力状态。同时,“圆柱的滚动”构造必须确保滚动构件不致滑脱。

“弹性转动变形”由于转动在内部产生拉应力和压应力,对应拉力耐久性不明确时,希望设计成在内部不产生拉应力,同时要注意在安装构件时由于变形产生的弯矩。

3. 减震结构

作为在地震时具有减震功能的支座结构有历程衰减结构、摩擦衰减结构、黏性衰减结构等,这些结构都会吸收地震时产生的振动能量。因为仅仅采用衰减结构而存在较大的残余变形,所以,通常可以与橡胶的水平弹簧等多个结构合并