

铁路科技图书出版基金资助出版

# 桥 梁 支 座

(第二版)

庄军生 编著

中国铁道出版社

2000年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

桥梁支座是桥梁的一个重要组成部件,它的主要作用是传递桥梁结构上的荷载,同时要满足桥梁结构位移和转动的需要。本书系统地介绍了钢支座、板式橡胶支座、盆式橡胶支座及球型支座等各种型式的桥梁支座的研究成果和应用技术,并扼要地介绍了国内外桥梁支座的发展动态。本书可供从事桥梁结构设计、施工及研究的工程技术人员、大专院校有关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁支座/庄军生编著. —北京:中国铁道出版社,  
2000. 11  
ISBN 7-113-03849-2

. 桥... . 庄... . 桥梁支座 . U 443. 36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 46312 号

书 名:桥梁支座(第二版)  
作 者:庄军生  
出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)  
责任编辑:许士杰  
封面设计:陈东山  
印 刷:北京彩桥印刷厂  
开 本:850 mm× 1 168 mm 1/32 印张:8 字数:209 千  
版 本:1994 年 10 月第 1 版 2000 年 11 月第 2 版第 2 次印刷  
印 数:2001 ~ 3000 册  
书 号:ISBN 7-113-03849-2/TU · 634  
定 价:22.60 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

## 再 版 前 言

《桥梁支座》一书自 1994 年 10 月出版发行以来,受到了设计、施工单位及生产厂家广泛的好评。6 年来,国内外桥梁支座技术又有了长足的进步,先后颁布及修订了各类相关的国际和国内标准。结合国内外最新标准我国研制和改进了各类支座的设计;研制了南京长江第二大桥用 6 500 t 特大吨位盆式橡胶支座;研制并使用了柱面支座、拉压支座等新型桥梁支座;并在橡胶支座的老化及其性能劣化评定等方面开展了众多的研究工作。本书此次再版,将对此作详细介绍。

本书修订版中主要增补以下内容:第三章增加了《桥梁橡胶支座用橡胶材料》(ISO 6446)中有关橡胶材料性能要求的内容;介绍了欧洲《结构物支座》(PrEN 1337)标准中关于板式橡胶支座性能要求;并介绍了国内使用 20 年的板式橡胶支座老化性能测试的情况。第四章介绍了南京第二长江大桥 6 500 t 大吨位盆式橡胶支座的研究、设计与制造情况;重点介绍了盆式橡胶支座紧箍圈的磨耗性能试验;增加了国内外标准中有关盆式橡胶支座设计方法及性能要求的规定。第五章补充了国标“球型支座技术条件”和柱面支座的内容。第七章增加了铅芯橡胶支座的减震动力性能分析及支座性能试验方法的内容;并介绍了目前在北美使用的盘式支座有关性能要求及设计参数。增补了第八章关于桥梁支座性能劣化评定标准。

修订再版后的《桥梁支座》一书,更全面地介绍了国内外桥梁支座的发展现状,对我国桥梁支座技术的发展和推广应用将起到积极的促进作用。

庄军生

2000 年 6 月于北京

# 前 言

桥梁支座是桥梁结构的一个重要组成部分。但由于它在桥梁工程造价中所占比例很小,因而往往未引起工程技术人员的重视。20世纪70年代之前,我国的公路、铁路桥梁上常不设支座或仅设置传统的钢支座。随着桥梁建设事业的发展,各种桥式大跨度桥梁不断涌现。因而,对桥梁支座的承载能力、对支座适应位移和转角能力的要求不断提高,需要开发和研究与之相适应的各种新型桥梁支座。

从20世纪60年代起,国际上桥梁支座技术有了很大的发展,先后在桥梁上推广应用了板式橡胶支座、盆式橡胶支座和球型支座等新型桥梁支座,并取得了良好的技术经济效益。

自20世纪70年代中期以来,铁道部科学研究院为适应我国桥梁建设事业的发展,开展了新型桥梁支座的系统研究工作。十多年来作者先后主持并参与了盆式橡胶支座、板式橡胶支座、球型支座及各种特殊用途的桥梁支座的研究和推广应用工作。1982年至1983年作者曾赴原联邦德国进修,对德国的桥梁支座技术的发展有了较全面的了解。近十年中我们在大力推广盆式橡胶支座和板式橡胶支座的同时,积极开展球型支座的研制工作。同时结合工程需要研制了高度可调式板式橡胶支座、高度可调式水平盆式橡胶支座、抗震型盆式橡胶固定支座和盆式橡胶测力支座等特种支座。并且为上海南浦大桥、杨浦大桥、北京西厢市政立交桥及北京机场高速公路立交桥等全国重点工程提供了特殊要求的支座。从而,使我国桥梁支座的技术水平逐渐赶上并接近国际先进水平。

本书总结了铁道部科学研究院十多年来在桥梁支座方面的研究成果,并综合国内外有关经验和编写而成,可供从事桥梁结构设计、施工及研究的工程技术人员参考。

铁道部科学研究院夏子敬研究员、张国田、张士臣和黎国清工程

师都先后参加过桥梁支座的研究工作。本书介绍的大量试验研究工作,都是我们共同努力的成果。在此谨向他们致以衷心的感谢!

庄军生

# 目 录

第一章 概 述.....	1
第一节 桥梁支座的作用.....	1
第二节 桥梁支座的分类.....	2
第三节 桥梁支座的反力、位移和转角 .....	4
第四节 桥梁支座的布置原则.....	7
第五节 桥梁支座的安装与养护.....	9
第六节 桥梁支座的发展 .....	11
第二章 钢 支 座 .....	13
第一节 铸钢支座 .....	13
第二节 特种钢支座 .....	17
第三节 钢支座的设计 .....	20
第三章 板式橡胶支座 .....	23
第一节 板式橡胶支座的工作原理及构造特点 .....	24
第二节 板式橡胶支座用橡胶的特性、配方及 性能要求 .....	26
第三节 板式橡胶支座的力学性能试验研究 .....	40
第四节 板式橡胶支座的设计 .....	63
第五节 板式橡胶支座的安装及养护 .....	75
第六节 板式橡胶支座的发展 .....	91
第四章 盆式橡胶支座.....	105
第一节 盆式橡胶支座的构造特点.....	106
第二节 盆式橡胶支座性能研究.....	110
第三节 盆式橡胶支座的设计和规格系列.....	155
第四节 盆式橡胶支座的质量检验及安装.....	168
第五节 盆式橡胶支座的发展.....	172

第五章 球型支座.....	184
第一节 球型支座的构造原理.....	184
第二节 球型支座力学性能的试验研究.....	187
第三节 球型支座有限元应力分析.....	194
第四节 球型支座的设计.....	197
第五节 球型支座的应用.....	198
第六节 柱面支座.....	201
第六章 四氟板式橡胶支座.....	204
第一节 四氟板式橡胶支座的构造.....	204
第二节 四氟板式橡胶支座的力学性能.....	206
第三节 四氟板式橡胶支座的应用.....	210
第七章 其他型式的桥梁支座.....	211
第一节 混凝土铰支座.....	211
第二节 铅芯橡胶支座.....	220
第三节 拉压支座.....	230
第四节 盘式支座.....	232
第八章 桥梁支座性能劣化的评定.....	235
第一节 桥梁支座性能劣化的类型.....	235
第二节 桥梁支座性能劣化等级及其评定.....	238
参考资料.....	244

# 第一章 概 述

## 第一节 桥梁支座的作用

桥梁支座是连接桥梁上部结构和下部结构的重要结构部件。它能够将桥梁上部结构的反力和变形(位移和转角)可靠地传递给桥梁下部结构,从而使结构的实际受力情况与计算的理论图式相符合。

桥梁支座必须满足以下功能要求。首先桥梁支座必须具有足够的承载能力,以保证安全可靠地传递支座反力。其次支座对桥梁变形(位移和转角)的约束应尽可能地小,以适应梁体自由伸缩及转动的需要。此外支座应便于安装、养护和维修,并在必要时进行更换。

作用于支座的反力、位移和转角在直角坐标系中可分别用 6 个力( $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、 $M_x$ 、 $M_y$  和  $M_z$ )和 6 个变位( $V_x$ 、 $V_y$ 、 $V_z$ 、 $\alpha_x$ 、 $\alpha_y$  和  $\alpha_z$ )来表示,表示方法见图 1- 1。选用支座的型式必须根据支座所

图 1- 1 作用于桥梁支座的反力、位移和转角

承受力和变形的自由度来确定。而且由于支座的位移和转角,将对支座产生附加反力,使支座反力的大小和作用方向发生相应的改变。为此就需要设计不同类型的桥梁支座,例如:辊轴支座、滑动支座、摇轴支座及板式橡胶支座等等,以尽量减小由于支座位移和转动所产生的附加力。

## 第二节 桥梁支座的分类

支座可分别按变形的可能性、按所用材料或按结构型式三种方法分类。

按支座变形可能性分类:

固定支座:反力含  $H_x$ 、 $H_y$  和  $N$ ,

变形自由度为  $x$  和  $y$ ;

单向活动支座:反力为  $H_x$  和  $N$  或  $H_y$  和  $N$ ,

变形自由度为  $V_x$  或  $V_y$ 、 $x$  和  $y$ ;

多向活动支座:反力为  $N$ ,

变形自由度为  $V_x$ 、 $V_y$ 、 $x$  和  $y$ 。

按支座用材料分类:

钢支座(平板支座、弧形支座、摇轴支座和辊轴支座):该支座的传力通过钢的接触面。支座的变位主要通过钢和钢的滚动及滑动来实现。

聚四氟乙烯支座(滑动支座):该支座以聚四氟乙烯板和不锈钢板作为支座的相对滑动面,其滑动摩擦系数远小于钢对钢的滑动摩擦。

橡胶支座(板式橡胶支座、盆式橡胶支座、四氟板式橡胶支座):该支座的传力通过橡胶板来实现。支座位移通过聚四氟乙烯板的滑动或橡胶的剪切来实现,支座转角则通过橡胶的压缩变形来实现。

混凝土支座(混凝土铰支座)。

铅支座:传力部分由硬铅构成。

按支座的结构型式通常可分为弧形支座、摇轴支座、辊轴支座、板式橡胶支座、四氟板式橡胶支座、盆式橡胶支座、球型支座等, 这些支座将在以下各章节分别予以介绍。

支座是一种承受高应力的结构部件。上部结构的荷载通过支座集中作用在一个很小的面积上, 由于支座构造型式的不同, 支座反力的力流分布如图 1- 2 所示。辊轴支座的反力通过辊轴与滚动平面的线接触部分传力, 力流产生明显的应力集中现象, 因此要求接触面能承受较高的接触应力。而板式橡胶支座、盆式橡胶支座和球型支座等支座反力的传递, 通过平面传递到平面, 传力通顺, 不发生力流的颈缩现象, 因而是一种比较合理的传力方式。

图 1- 2 支座反力的力流分布图

### 第三节 桥梁支座的反力、位移和转角

为了正确地选择与设计桥梁支座, 必须对支座所承受的反力、位移和转角进行全面的分析。支座承受的垂直反力和水平反力可列表表示, 见表 1- 1 ~ 表 1- 3。

表 1- 1 桥梁支座所承受的垂直反力

支座垂直反力 $N$	$N_{\max}$	$N_{\min}$
恒载: 结构自重 二次恒载 活载: 无冲击系数 有冲击系数 施加预应力产生的竖向反力 离心力(桥梁竖向为曲线形) 地基沉陷产生的支座附加反力		

表 1- 2 作用于桥轴方向的支座水平力  $H_x$

$H_x$	$H_{x\max}$	$H_{x\min}$
制动力和牵引力 支座位移阻力 桥梁梁体与铁路道碴的摩擦力(线路纵向阻力) 撞击力		

表 1- 3 垂直于桥轴方向的支座水平力  $H_y$

$H_y$	$H_{y\max}$	$H_{y\min}$
离心力 风力: 桥上有车 桥上无车 列车横向摇摆力 地震力: 桥上有车 桥上无车 侧向撞击力		

桥梁支座应适应的位移和转角也可列表表示, 见表 1- 4 ~ 表 1- 7。

表 1- 4 桥轴方向的支座位移  $V_x$

$V_x$	+ $V_x$	- $V_x$
施加梁体预应力产生的支座位移		
混凝土收缩和徐变变位		
梁体温度伸缩变位		
梁体活载作用下下翼缘的伸长		
下部结构的位移		
位移总计		

表 1- 5 垂直桥轴方向的支座位移  $V_y$

$V_y$	+ $V_y$	- $V_y$
梁体横向预应力产生的支座位移		
混凝土收缩徐变变位		
梁体温度伸缩变位		
日照产生梁体横向弯曲变位		
下部结构的横向变位		
横向位移总计		

表 1- 6 支座沿桥轴方向的转角  $\gamma$

$\gamma$	+ $\gamma$	- $\gamma$
自重产生的梁端转角		
二次恒载转角		
活载转角		
梁体上、下翼缘温差产生的转角		
梁体施加预应力产生的转角		
混凝土梁的收缩和徐变产生的转角		
下部结构的转角		
转角总计 $\gamma$		

表 1- 7 支座横桥方向的转角  $\alpha$

$\alpha$	+ $\alpha$	- $\alpha$
恒载		
活载(偏载)		
横向预施应力		
梁体混凝土横向收缩、徐变		
下部结构横桥向转角		
横向转角总计 $\alpha$		

通过以上各项列表计算,就可以对支座的反力、位移和转角有了全面的了解,然后可分别根据主力、主力加附加力和特种荷载几种情况,对支座的反力、位移和转角进行组合,以提供可靠的支座设计参数。支座反力、位移和转角的组合见表 1- 8、表 1- 9。

表 1- 8 支座反力的组合表

荷载项目		主力	主力加附加力	特种荷载
$N_{max}$	N			
	$H_x$			
$N_{min}$	$H_y$			
	N			
$H_{xmax}$ 或 $H_{ymax}$	$H_x$			
	$H_y$			
	N			

表 1- 9 支座位移与转角的组合表

荷载项目		主力	主力加附加力	特种荷载
$N_{max}$	N			
	$V_x, V_y$			
$N_{min}$	$x, y$			
	N			
$V_{xmax}$	$V_x, V_y$			
	$x, y$			
$y_{max}$	N			
	$V_y, V_y$			
	$y, y$			

表中  $V_{xmax}$ —— 支座沿桥轴方向的最大位移;

$y_{max}$ —— 支座沿桥轴方向的最大转角。

## 第四节 桥梁支座的布置原则

桥梁支座的布置主要和桥梁的结构形式有关。通常在布置支座时要考虑以下的基本原则:

上部结构是空间结构时, 支座应能同时适应桥梁顺桥向(X 方向)和横桥向(Y 方向)的变形;

支座必须能可靠地传递垂直和水平反力;

支座应使由于梁体变形所产生的纵向位移、横向位移和纵、横向转角应尽可能不受约束;

铁路桥梁通常必须在每联梁体上设置一个固定支座;

当桥梁位于坡道上, 固定支座一般应设在下坡方向的桥台上;

当桥梁位于平坡上, 固定支座宜设在主要行车方向的前端桥台上;

较长的连续梁桥固定支座设在桥长中间部位的桥墩上较为合理, 因为此处支座的垂直反力较大, 且两侧的自由伸缩长度比较均衡;

固定支座宜设置在具有较大支座反力的地方;

墩顶横梁的横向刚度较小时, 应设置横向易转动的桥梁支座;

在同一桥墩上的几个支座应具有相近的转动刚度;

在预应力梁上的支座不应该对梁体的横向预应力产生约束, 同时也不得将施加梁体横向预应力的荷载传给墩台;

对于斜桥及横向易发生变形的桥梁不宜采用辊轴和摇轴等线支座;

连续梁可能发生支座沉陷时, 应考虑支座高度调整的可能性。

总之桥梁支座的布置原则是既要便于传递支座反力, 又要使支座能充分适应梁体的自由变形。

为便于表达, 以下列符号表示支座的的功能:

表示固定支座;

表示单向活动支座;

表示多向活动支座。

利用以上符号,对常见的桥式的支座支承状况表示于图 1- 3 ~ 图 1- 7。

图 1- 3 铁路简支梁桥支座布置

图 1- 4 公路简支梁桥支座布置

图 1- 5 简支箱型梁桥支座布置

图 1- 6 连续梁桥支座布置

简支梁桥一端设固定支座,另一端设活动支座。铁路桥梁由于桥宽较小,支座横向变位很小,一般只须设置单向活动支座(纵向活动支座),如图 1- 3 所示。公路 T 形梁桥由于桥面宽,因而要考虑支座横桥向位移的可能性,支座布置如图 1- 4。即在固定墩上设置一个固定支座,相邻的支座设置为横向可动、纵向固定的单向活动支座,而在活动墩上设置一个纵向活动支座(与固定支座相对应),其余均

设置多向活动支座。

箱形截面的简支梁桥在固定墩上设置一个固定支座和一个横向活动支座,在活动墩上设置一个纵向活动支座和一个多向活动支座,以适应箱梁的纵、横向变形。如图 1- 5 所示。

连续梁桥的支座布置如图 1- 6 所示。一般宜将固定支座设置在全桥的中间部位,以减小两端支座的位移量。

图 1- 7 弯梁支座布置

弯连续梁的支座布置会直接影响曲梁的内力分布,同时应使支座能充分适应曲梁的纵、横向自由转动的可能性,通常宜采用球型支座。由于曲梁的温度伸缩变形沿梁的割线方向,而曲梁由于混凝土收缩、徐变产生的梁体变形则沿梁的切线方向;因此曲梁上通常布置多向活动支座。此外曲梁上箱梁常设单支点支座,仅在一联梁的端部(或桥台上)设置双支座,以承受扭矩。有意识地使曲梁支点向曲线外侧偏离,可调整曲梁截面上的扭矩。图 1- 7 为曲梁支座布置示意图,可供设计者参考。

## 第五节 桥梁支座的安装与养护

正确地安装与定期的养护是保证桥梁支座正常工作的重要措施。

支座在出厂时,一般应有明显的标记,注明支座型号、反力和位

移,以免在安装时发生混淆。

支座通常在工厂组装好后整件运输到工地,为保证运输过程中支座的整体性,应用临时定位装置将支座各部件连接起来。这些临时定位装置在支座正式工作之前,应予以拆除,具体拆除的时间,应由工地工程技术人员根据支座的型式及结构受力状态决定。例如活动支座的上、下连接板应在张拉梁体预应力前拆除,以使支座能适应梁体预施应力的变形。

在支座安装之前应先对支座的安装位置进行测量检验,支座安装平面应和支座的滑动平面或滚动平面平行,其平行度的偏差不宜超过 2‰。

支座安装前应对活动支座顶、底板的相对位置进行检查。辊轴支座和滑动支座的预制位移量必须符合设计要求。当受支座安装温度的限制,活动支座的预置位移量必须进行调整时,应在专业工程师的指导下进行支座位移的预调工作。

支座安装后,滚动和滑动平面应水平,其与理论平面的倾斜度不大于 2‰。支座上、下板中心应对中,其偏差不大于 2‰。

为保证支座安装平整,一般应在支座底面与支承垫石顶面之间,捣筑 20~50 mm 厚的干硬性无收缩砂浆垫层。该砂浆垫层的强度必须和结构混凝土等强。当支承平面较大时,也可以先铺设塑性的砂浆垫层,砂浆层的中间呈凸球形,支座座下时使砂浆压平。如果在支座安装时,采用螺丝或钢楔块等措施进行支座调平,在灌注砂浆垫层凝固后,必须拆除调平螺丝及钢楔块,以便保证使砂浆垫层均匀传力。在安装预制梁体时,一般应先用辅助结构支承梁体自重,待支承砂浆凝固并达到要求的强度后,才能承受梁体重量。

设计者在设计支承垫石时,应考虑使梁底与桥墩顶面之间有 30 cm 的净空,以便对支座的使用状态进行检查和养护,并在必要时可安放千斤顶,进行支座的更换。

支座在使用年限中应定期进行养护,这些工作包括:钢件的表面油漆、辊轴及摇轴转动部分定期擦洗并涂润滑油,滑动支座不锈钢表面的擦洗及检查支座锚栓等等。只有定期养护才能保证支座的正常