支座的计算

支座受力特点与结构变形要求分析

一.支座受力特点

在进行桥梁支座的计算时，应首先确定每个支座上所承受的竖向力和水平力，根据这些外力来选定支座的尺寸并进行强度和稳定的验算。

1.竖向力

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		

当支座可能会出现上拔力时，应分别计算支座的最大竖向力和最大上拔力；

桥梁上部结构可能被风力掀离的支座，应计算支座锚栓的反力。

2.水平力

作用于桥轴方向的支座水平力 H_x

H_x	H_{max}	H_{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		

垂直于桥轴方向的支座水平力 H_y

H_y	H_{max}	H_{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		

正交直线桥梁的支座，一般仅需计算纵向水平力；斜桥和弯桥，还需要计算由于汽车荷载的离心力或其他原因如风力等产生的横向水平力。

二.结构变形要求

支座的作用不仅在于作为桥梁上部结构的支承点、集中传力点，而且它也应在结构图式许可的条件下，具有适应结构运营过程中必要变形的功能。例如，对于简支梁与连续梁，由于温度变形而集中产生在支座处的水平位移，以及在车辆荷载作用下支点处的转动变形等，都是结构图式所许可的变形。

板式橡胶支座的设计计算

（1）确定平面尺寸 a、b

（2）确定厚度 h

（3）计算支转角，验算支座不脱空条件

（4）验算支座的抗滑性能

板式橡胶支座的设计计算，包括确定支座的平面尺寸 a×b 及厚度 h，验算当梁端发生转动后支座不致于与梁底脱空形成局部受压情况和验算支座的抗滑性能。

1. 确定支座的平面尺寸

支座的平面尺寸 a×b 一般由橡胶支座控制设计：

$$\sigma = \frac{N_{max}}{A} = \frac{N_{max}}{a \times b} \leqslant [\sigma]$$

式中：N_{max}—运营阶段由桥上全部恒载与活载（包括冲击力）所产生的最大支点反力；

A—橡胶支座平面尺寸，矩形支座为 a*b，圆形支座为 $\pi d^2/4$；

橡胶支座的平均容许压应力，当支座形状系数 S>8 时，$[\sigma]=10N/mm^2$，当 5≤S≤8 时，$[\sigma]=7\sim9\ N/mm^2$，S 的计算见本篇第一章。

2. 确定支座厚度 h

确定支座厚度 h 必须先求橡胶片的总厚度Σt，它是由梁产生纵向位移时，支座的受剪状态决定的，即由剪切变形来换取线位移。

梁式桥的主梁由于温度变化等原因引起上部结构产生的纵向水平位移Δ，依靠全部橡胶片的剪切位移来实现，则Δt 与Δ之间有下列关系，见图

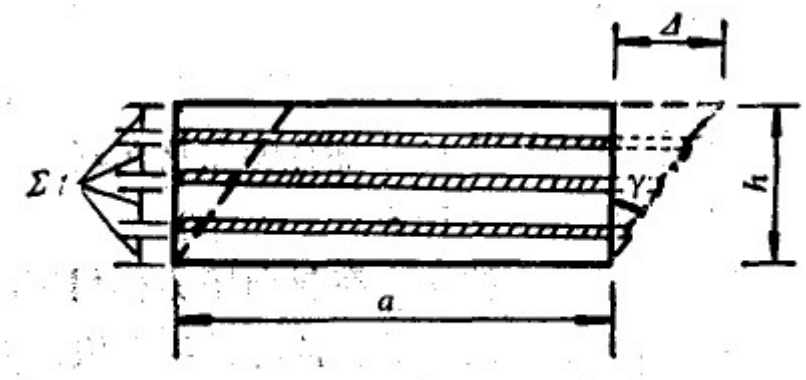

图2-7-3 橡胶支座的剪切变形

$$\tan\gamma = \frac{\Delta}{\sum t} \leq [\tan\gamma]$$

$$\sum t \geq \frac{\Delta}{[\tan\gamma]}$$

式中：$[\tan\gamma]$—橡胶片容许剪切角的正切，可取用 0.5~0.7，不计活载制动力时，取用 0.5；计及活载制动力时取用 0.7。则上式可写成：

$$\sum t \geq 2\Delta_D$$
$$\sum t \geq 1.43(\Delta_D + \Delta_L)$$

式中：Δ_D —由于上部结构温度变化、桥面纵坡等因素引起支座顶面相对于底面的水平位移。当简支梁桥两端均采用等厚度的橡胶支座时，由温度变化每个支座的 Δ 取用桥梁水平位移总量的一半，即

$$\Delta_D = 0.5 * \alpha * \Delta t * l$$

Δ_L —由制动力引起支座顶面相对于底面的水平位移，可按下式计算：

$$\Delta_L = \frac{H_T \sum t}{2GA}$$

式中：H_T——活载制动力在一个支座上的水平力；
G——橡胶的剪切模量，在无试验资料时，G 值可采用1.1N/mm²；
A——橡胶支座的面积 $a \times b$。

橡胶片的总厚度 Σt 确定后，再加上加劲薄钢板的总厚，即是所需的橡胶支座的厚度 h。

3. 验算支座偏转情况

主梁受荷挠曲，梁端将出现转动，但不允许与支座产生脱空现象。挠曲时梁端转角为 θ，这时支座表面也将产生不均匀的压缩变形，一端为 Δs_1，一端为 Δs_2，其平均压缩变形 $\Delta s = \frac{1}{2}(\Delta s_1 + \Delta s_2)$，可根据下式计算：

$$\Delta s = \frac{N_{\max} \sum t}{EA}$$

式中：E—橡胶支座的弹性模量。当无实验数据时，可查阅规范（JTG D62-2004）

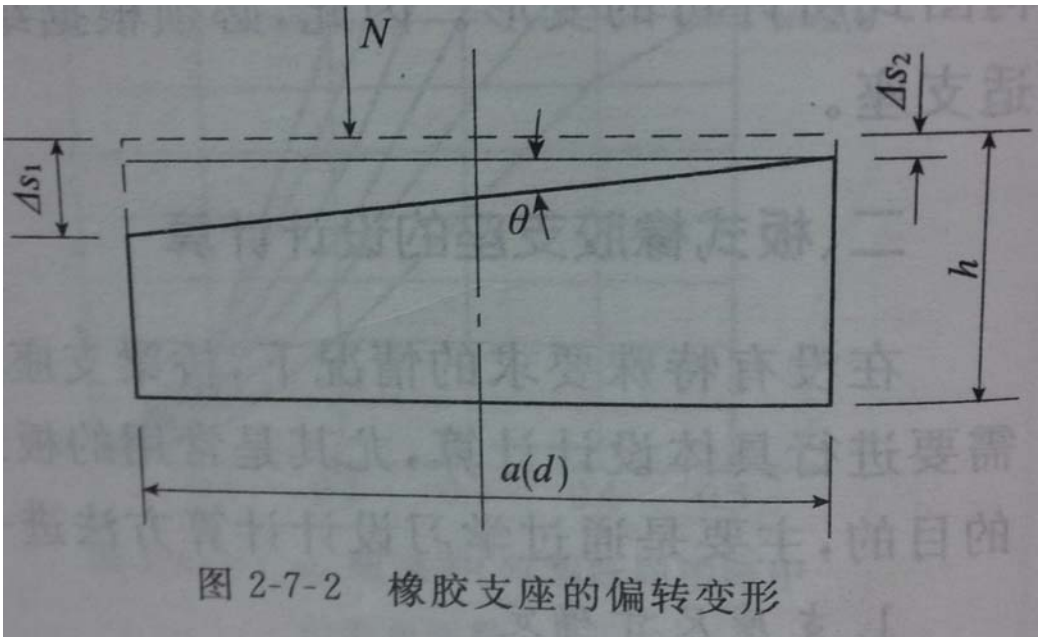

图 2-7-2　橡胶支座的偏转变形

$$\theta a = \Delta s_1 - \Delta s_2$$

$$\Delta s = \frac{1}{2}\left(\Delta s_1 + \Delta s_2\right)$$

$$\Delta s_2 = \Delta s - \frac{1}{2}\theta a$$

当$\Delta s_2 < 0$时，则表示支座与梁底有部分脱空，支座是局部承压，不能容许，因此，设计时必须保证$\Delta s_2 \geq 0$。

(JTG D62-2004)还规定橡胶支座的竖向平均压缩Δs不应大于支座橡胶总厚$\sum t$的 0.07 倍。

4.　验算支座的抗滑性能

橡胶支座一般是直接搁置在墩台与梁底之间，在它受到梁体传来的水平力 H 后，应保证支座不致滑动，也就是说支座与混凝土之间要有足够大的摩阻力来抵抗水平力，故应满足下式：

在无活载作用时　　$\mu N_D \geqslant 1.4GA\frac{\Delta_D}{\sum t}$　　(2-7-20a)

活载作用在桥上时　　$\mu(N_D + N_{pmin}) \geqslant 1.4GA\frac{\Delta_D}{\sum t} + H_T$　　(2-7-20b)

式中：N_D——在结构重力作用下的支座反力；

N_{pmin}——与计算制动力相应的汽车活载产生的最小支座反力；

μ——橡胶支座与混凝土表面的摩阻系数采用0.3；与钢板的摩阻系数采用0.2；

H_T——活载制动力在一个支座上的水平力；

$GA\frac{\Delta_D}{\sum t}$——由温度变化等因素在一个支座上的水平力。

盆式橡胶支座的设计计算（选讲，自学为主）

盆式橡胶支座的设计计算内容和其构造形式有关。通常需要进行以下设计计算：确定聚四氟乙烯板和氯丁橡胶板的尺寸、圆盆和盆塞的设计计算、上下支座垫石的验算、钢盆顶板偏转、紧箍圈、防水圈的设计，以及螺栓连接和焊接缝的计算等。

1. 基本尺寸确定方法

1）聚四氟乙烯板尺寸

$$D_1=\sqrt{\frac{4N}{\pi[\sigma_1]}}$$

式中：N——由恒载与活载产生的最大支点反力；

$[\sigma_1]$——聚四氟乙烯板的容许承压应力。

聚四氟乙烯板的厚度，一般可取 $h_1=\left(\frac{1}{80}\sim\frac{1}{40}\right)D_1$ 。直径越大取值越小，大直径板选取的比值还可再小些，通常 h_1=4~8mm，外露量 3~4mm。

2）氯丁橡胶板尺寸

$$D_2=\sqrt{\frac{4N}{\pi[\sigma_2]}}$$

氯丁橡胶板的厚度可取 $h_2=\left(\frac{1}{18}\sim\frac{1}{10}\right)D_2$

3）底盘式构造的钢盆和盆塞尺寸

这种盆式橡胶支座的底部为圆钢盆，上为盆塞，它们之间嵌入橡胶板。

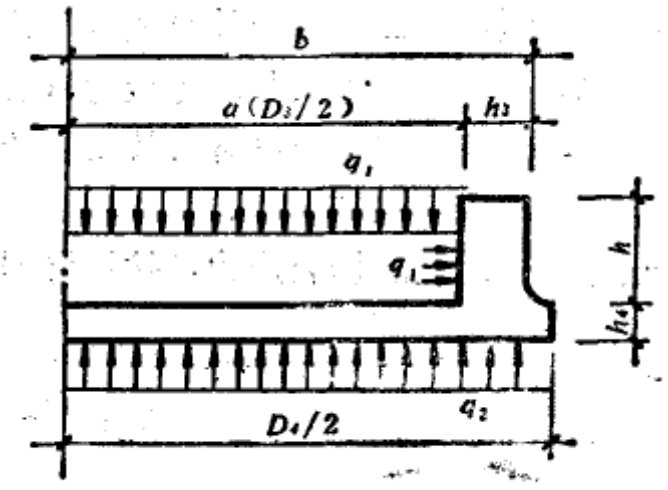

图2-7-5 圆钢盆的计算图式

（1）钢盆内径

钢盆内径 D_3 由橡胶板直径决定，为使橡胶板置入盆内紧贴密合，钢盆内径一般取 $D_3=D_2$，或减小 0.5~1.0mm

（2）盆壁厚度

在最大支点反力 N 作用下，盆壁将受到环向拉力 P 作用，则在忽略盆底约束情况下，对于材料容许应力$[\sigma_3]$ 估算最小盆壁厚度。

钢盆受力压强：

$$q_1 = N / \left(\pi D_1^2 / 4 \right)$$

钢盆所受的环向拉力：

$$P = q_1 \overline{D} h_2 / 2$$

式中：$\overline{D}$ —钢盆内外直径的平均值；

h_2 —橡胶板厚度。

盆壁厚度 h_3

$$h_3 = \frac{P}{h[\sigma_3]}$$

式中：h —盆壁高度，初估为 h=1.5 h_2

在初估盆壁厚度时，同时按厚壁圆筒公式验算钢壁顶面的切向应力：

$$\sigma_\tau = \frac{q_1}{\frac{b^2}{a^2} - 1} \left(1 + \frac{b^2}{a^2} \right) \frac{h_2}{h} \le [\sigma_3]$$

式中：a—钢盆内半径，即 $D_3 / 2$；

b—钢盆外半径；

r—计算应力点到钢盆圆心的距离；

其余符号意义同前。

（3）盆底厚度

在忽略橡胶板对盆壁内侧压力及盆壁环向拉力作用的条件下，近似以盆底受弯强度要求作为估算依据，即

盆底中央截面的弯矩：

$$M = \frac{N}{2} \cdot \frac{2}{3\pi} (D_4 - D_3)$$

式中：D_4——圆钢盆底面积的直径。

通过计算底部应力确定厚度，也可先假定厚度，在进行应力验算，则：

$$\sigma = \frac{6M}{D_4 h_4^2} \le [\sigma_3]$$

式中：h_4—待定盆底厚。

（4）盆塞厚度

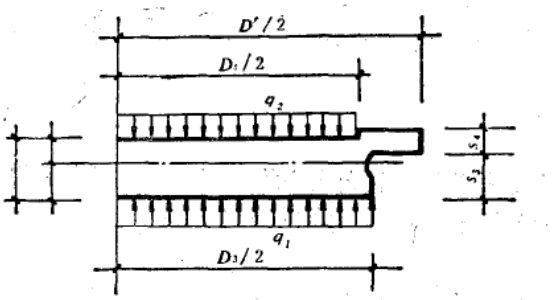

图2-7-6　作用在盆塞上的力

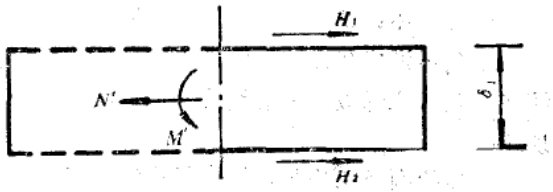

图2-7-8　盆塞的计算图式

盆塞可以近似按其悬臂板受力的强度要求确定所需要的厚度δ_1，见上图。但是，由于构造要求，设计选用的钢盆厚度较大，盆塞材料的强度不足，故仅作为一项验算内容。

4）下盆塞上盆环式构造的盆塞与盆环尺寸

这种盆式橡胶支座的盆塞是一块圆形钢板，其与下支座板焊接或用平头螺栓及嵌槽方式连接，见下图。

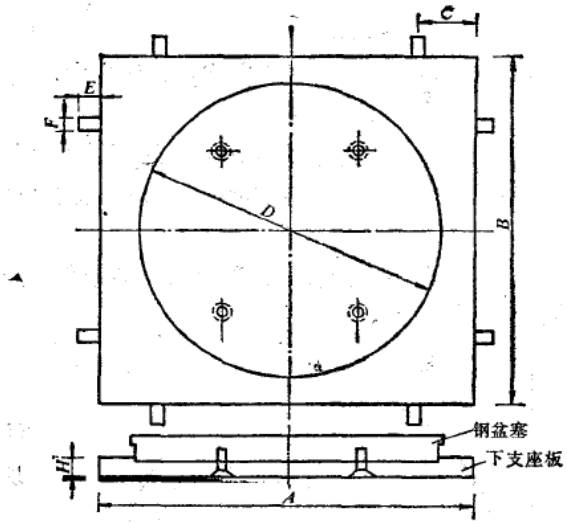

图2-7-7　盆塞与下支座板的连接

对比底盆式构造的盆式橡胶支座学习，详见课本。

2.　支座偏转验算

盆式橡胶支座中，要求在梁偏转时顶板与橡胶板的接触面不能出现脱空现象，即不允许出现局部承压的状态，则：

$$\sigma = \frac{N}{A} - \frac{M}{W} \geqslant 0$$

与板式橡胶支座的偏转验算一样，要求$\Delta s_2 \geqslant 0$；

$$\Delta s_2 = \frac{N h_2}{A E_2} - \frac{D\theta}{2}$$

式中：A——与钢盆环或中间钢板接触的橡胶板面积；

h_2——橡胶板厚度；

E_2——有侧向约束的橡胶板弹性模量，其值可取用530N/mm²；

D——与钢盆环或中间钢板接触的橡胶板直径。

3. 支承混凝土局部承压验算

盆式橡胶支座反力大，支承垫石要设钢筋，应按配置间接钢筋的钢筋混凝土构件进行局部承压强度验算：

$$N_c \le 0.9\left(\eta_s \beta f_{cd} + k\rho_v \beta_{cor} f_{sd}\right) A_{ln}$$

式中：N_c—局部承压时的纵向力，取各种组合下计算支座反力的最大值；

η_s—混凝土局部承压修正系数，混凝土强度等级为C50及以下，取η_s=1.0；混凝土强度等级为C50~C80，取η_s=1.0~0.76；中间按直线插入取值；

f_{cd}—垫石混凝土的轴心抗压设计强度；

β—混凝土局部承压强度提高系数，按下式计算，

$$\beta = \sqrt{\frac{A_b}{A_l}}$$

k—间接钢筋影响系数，按（JTG D62—2004）中第5.3.2条取用；

A_b—局部承压时的计算底面积，按（JTG D62—2004）中图5.7.1确定；

A_l、A_{ln}—局部承压面积，取用盆环或盆塞的接触面积按45°角分布在梁底或支座垫石面上的面积；

ρ_v—间接钢筋的体积含筋率，当采用方格钢筋网时（JTG D62—2004）中式（5.7.2-3）计算；当采用螺旋式配筋时，按式（5.7.2-4）计算；

β_{cor}—配置间接钢筋时局部抗压承载力提高系数，按下式计算：

$$\beta_{cor} = \sqrt{\frac{A_{cor}}{A_l}}$$

A_{cor}—在钢筋网或螺旋形配筋表面范围内的混凝土核心面积，$A_{cor} > A_b$时，应取A_{cor}=A_b；

f_{sd} —间接钢筋抗拉设计强度。

4. 成品盆式橡胶支座的选配
   1） 成品盆式橡胶支座的选配
   2） 成品盆式橡胶支座的地区适用性
   3） 各种类型成品盆式橡胶支座的合理选配
   4） 成品盆式橡胶支座承载能力的合理选择

球形支座的设计计算

球形支座是盆式橡胶支座的基础上发展起来的一种新型桥梁支座。

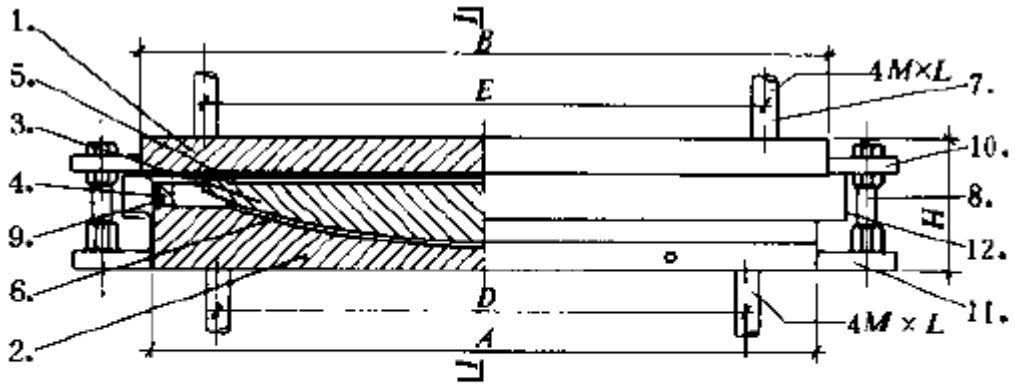

图 5—1 球型支座构造示意图

1—上支座板；2 下支座板；3 钢衬板；4 钢挡圈；
5—平面聚四氟乙烯板；6—球面聚四氟乙烯板；7—锚固螺栓；8—连接螺栓；
9—橡胶防尘条；10—上支座连接板；11—下支座连接板；12—防尘围板。

上图为球形支座的构造示意图。平面四氟板和球面四氟板是支座的主要滑动部件，平面四氟板与上支座板的不锈钢板之间的滑动能满足支座的位移需求，其工作原理与盆式橡胶支座完全一致。支座转角是通过球冠衬板与球面四氟板之间的滑动来实现。下支座凹版主要起固定球面四氟板的作用，支座反力分散传递到桥墩、桥台上。

球形支座和盆式橡胶支座均为轴对称体，一般可通过轴对称有限元应力分析来了解支座钢体及支承混凝土的应力分布。

深入学习详见《桥梁支座》，庄军生编。