

文章编号: 0451-0712(2006)06-0109-03

中图分类号: U443.361

文献标识码: B

球冠和坡形板式橡胶支座的使用性能探讨

郑学珍¹, 鲍卫刚², 李秉秋³

(1. 中交公路规划设计院 北京市 100010; 2. 路桥集团桥梁技术有限公司 北京市 100102; 3. 上海市市政工程研究院 上海市 200001)

摘 要: 针对球冠和坡形板式橡胶支座在有纵坡情况下的使用状态进行分析, 供设计者参考。

关键词: 板式橡胶支座; 使用性能

1 问题的提出

桥梁板式橡胶支座, 在桥梁结构中起着承上启下的作用, 它既要作用于桥梁上部结构的全部荷载传递到墩台上, 又要保证作用于桥跨结构的水平力按设计要求合理地分配到墩台上, 使桥梁结构的实际受力情况与设计计算时的图式相符。板式橡胶支座设计时若采用的设计参数不合理、选用的支座型式及结构不合理, 会给使用中的桥梁结构带来很大的附加应力和变形, 不能满足结构受力、变形的需要, 还会直接影响桥梁结构的安全及使用寿命。

任何一种新型支座的出现, 都必须经过大量试验取得确切数据后确定有关的设计参数, 以指导设计人员正确地选用支座。

随着高速公路和一级公路的修建, 出现了大量的弯桥、坡桥、斜桥和宽桥, 为适应形势需要, 出现了一些非标支座, 其中突出的为球冠支座和坡形支座。在交通部新颁布的标准《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60-2004) 和《公路桥梁板式橡胶支座》(JT/T4-2004) 中明确规定: 公路桥梁不宜使用带球冠的橡胶支座或坡形橡胶支座。本文对球冠和坡形板式橡胶支座的使用性能作一探讨, 供设计者参考。

2 球冠和坡形板式橡胶支座使用性能探讨

2.1 设计要求

在我国历来的公路桥涵设计规范及行业标准中, 对板式橡胶支座的设计、施工及验收中均要求必须使支座与梁底、支座与墩台上下密贴接触, 以使支座受力均匀, 不得出现脱空现象, 保证支座处于最佳受力状态。当桥梁纵向坡度不大于 1% 时, 板式橡胶

支座可直接设置于墩台上, 但应考虑纵坡影响所需要的厚度。当坡度大于 1% 时, 应采用预埋钢板、混凝土垫块或其他措施将梁底调平, 保证支座平置。

在国外, 美国、英国、德国和欧洲标准中也要求板式支座必须进行不脱空验算, 同时要求当纵坡大于 1% 时, 必须使用楔形板, 使大梁的转角为零, 以确保支座水平受力。《美国公路桥梁设计规范—荷载与抗力系数设计法》(AASHTO-LRFD) 同时规定: 不应使用楔形(坡形)的合成橡胶层, 所有内部合成橡胶层的厚度应相同。上、下面层的厚度应不大于内层厚度的 70%。

2.2 球冠板式橡胶支座

目前, 在一些公路桥梁的设计中, 为解决桥梁纵坡问题, 过分强调减少施工过程中的麻烦, 即使桥梁纵坡达到 5%~8% 时, 梁底也可不做任何处理, 而采用一些带冠的圆形板式橡胶支座或坡形支座, 甚至带球冠的圆坡支座。这样, 实际上是使橡胶支座一安装就处于最不利的脱空状态或偏压状态, 这不是规范和行业标准所允许的受力状态。按规范和标准的要求, 板式橡胶支座设计时, 承载力是按整个承压面均匀受力计算的, 支座带冠之后, 支座受力时首先是冠与梁底接触, 形成了局部承压, 局部应力增大。橡胶的特性是体积几乎为不可压缩的, 板式橡胶支座周边无任何约束, 容易造成支座周边橡胶老化而出现裂纹。同时, 板式橡胶支座竖向压缩变形是很有限的, 其变形量必须小于橡胶层总厚度的 7% (原规范为 5%), 100 mm 的橡胶层总厚度仅允许有 7 mm 压缩变形, 而一些支座的冠本身就有 4、6、8、10 mm 的高度, 所以支座始终处于脱空状态, 受力模式与规范

和标准所期望的有很大差异。带冠的橡胶支座从根本上不能解决桥梁的纵坡问题。

为了进一步探讨球冠支座的使用性能、验证带冠支座的受力状态,我们抽取了8个厂家的相关产品进行试验。有的在工厂试验室进行,有的集中在同一试验室并使用同一台试验机,在标准温度为 $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 条件下进行试验,共进行了40组120块不同规格、不同厂家生产的球冠支座的试验。从试验结果看,抗压弹性模量有80%的支座不合格,抗剪弹性模量有65%的支座不合格(按双剪试验),同时满足规范和标准对抗压、抗剪要求的支座更少。同时,还进行了想把球冠整个压平,使梁底与支座平面密贴接触,均匀受力的试验,结果当垂直应力加到65~70 MPa时,仍未能将整个球冠压平,支座始终处于脱空状态。

(1)试验时,支座的平均压应力为12.5 MPa,当支座在平坡时,支座处于中心受压而周边脱空,见图1所示。以4组不同规格的球冠支座试验结果为例,脱空范围见表1。

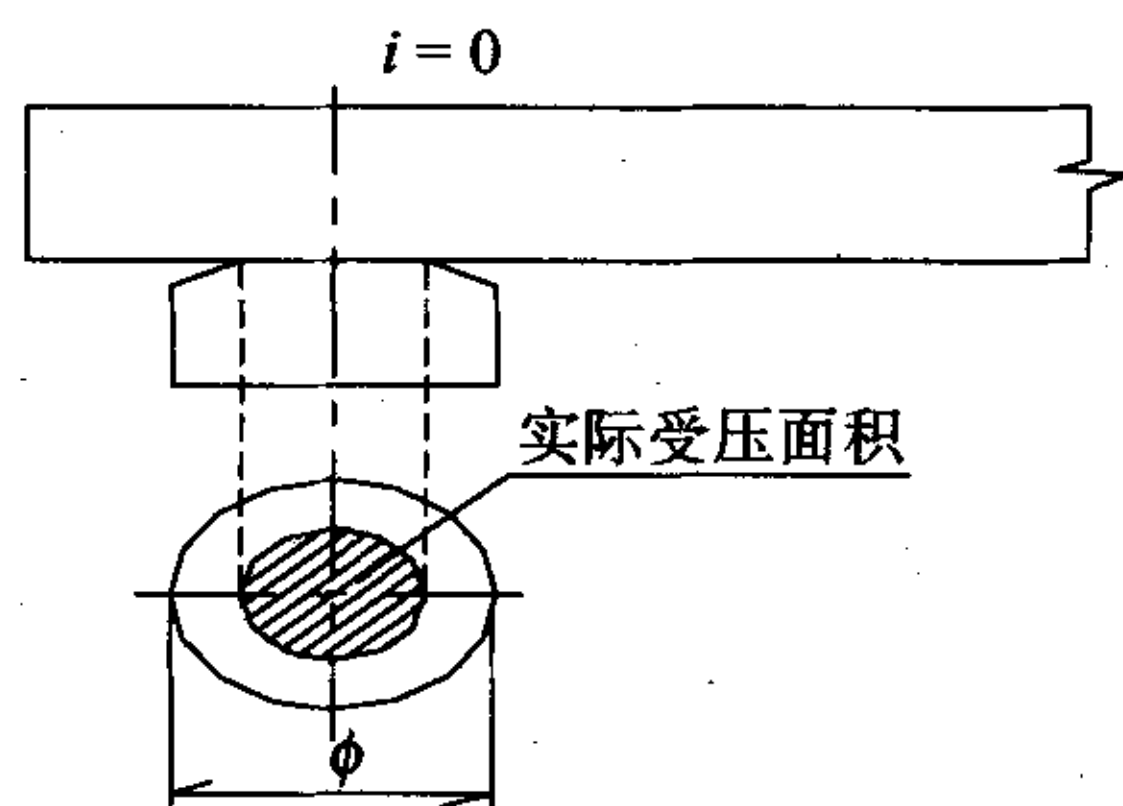


图1 周边脱空状态示意

表1 球冠支座脱空试验

序号	规格/mm	冠高/mm	3块支座脱空范围		
			第1块	第2块	第3块
1	$\phi 300 \times 49$	6	43.2%	46.4%	37.1%
2	$\phi 200 \times 28$	6	42.2%	38.8%	43.4%
3	$\phi 200 \times 42$	6	34.6%	35.7%	38.2%
4	$\phi 300 \times 53$	6	15.5%	15.5%	15.3%

若以表1中的 $\phi 200 \times 28$ 的支座脱空面积43.4%计算,支座局部平均压应力为 $\sigma_{\text{平}} = 22.1 \text{ MPa} > 12.5 \text{ MPa}$,而支座集中压应力已远远大于规范规定的允许压应力。

(2)橡胶支座是靠橡胶的剪切变形分配水平力的,在实际试验中,水平力不能按设计意图分配,很多支座的剪切应力与应变不成线性关系,与要求的支座受力状态不符,应当引起设计人员的注意。

(3)对球冠支座共进行了3种规格的纵坡试验。每种规格的支座为3块,共计9块,结果显示支座均

处于脱空状态。在有纵坡的情况下,支座处于偏压脱空状态,见图2所示,而对3组不同规格、不同纵坡时的脱空范围的试验结果如表2。

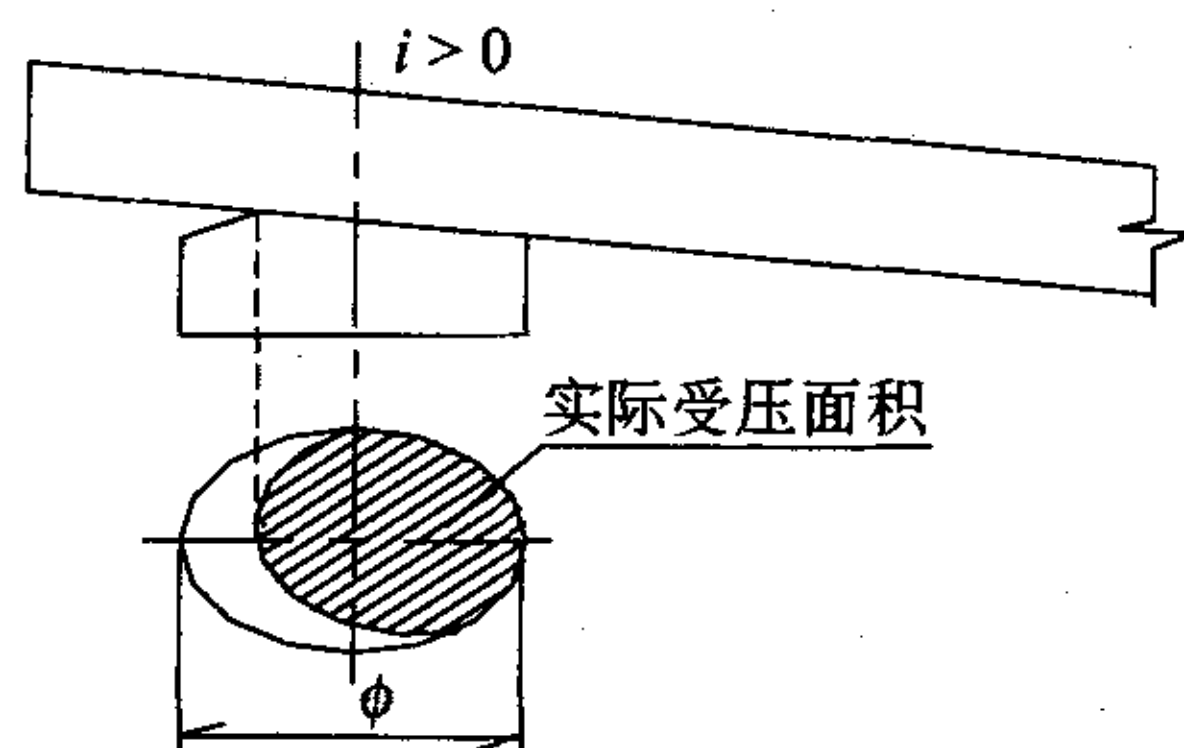


图2 偏压脱空状态示意

表2 球冠支座脱空试验

序号	支座规格 mm	冠高/mm	不同纵坡 <i>i</i> 偏压脱空范围		
			2.5%	2%	1%
1	$\phi 300 \times 53$	6	44%	40%	27%
2	$\phi 200 \times 42$	6	38%	36%	28%
3	$\phi 150 \times 42$	6	33%	31%	25%

若以表2中 $\phi 300 \times 53$ 的支座为例,当纵坡为2.5%时,脱空面积为44%计算,其支座平均偏压应力 $\sigma_{\text{平}} = 22.3 \text{ MPa} > 12.5 \text{ MPa}$,偏压应力远远大于规范规定的允许压应力。

试验说明,带球冠的板式橡胶支座的压应力随球冠的大小和高度而变,是个不定数,且始终处于脱空状态,但每块支座脱空范围不一样。同时,带球冠的板式支座的实际受力状态难以控制或鉴别,这对我们判别桥梁结构的实际受力状态往往会带来误导。当有纵坡时,球冠支座剪切变形试验应采用单剪方法进行。因受试验设备的限制没能再模拟更大坡度的纵坡进行试验。如将四氟滑板橡胶支座也做成球冠板式橡胶支座,那就很危险了。同时,球冠板式橡胶支座由于在桥梁纵坡较大时,支座的摩阻力已无法抵抗桥梁上部结构产生的斜向分力,甚至使桥梁上部结构产生纵桥向滑移而损伤或顶死伸缩装置。总之,带球冠的板式橡胶支座,不能套用普通板式橡胶支座的设计参数,桥梁支座设计中不宜采用。

2.3 坡形板式橡胶支座

坡形板式橡胶支座包括矩形坡型、圆形坡型和球冠坡型等类型,花样繁多。对于坡型橡胶支座的应用,在20世纪60、70年代,国外就有过报道,国内80年代也有过报道和应用。在编写《公路桥梁板式橡胶支座》(JT/T4—93)时,对坡型橡胶支座的试验方法

进行了一些探讨,也进行了少量的试验,但终因坡型支座的试验存在相当的困难,支座设计参数也难以确定,以及计算复杂等因素而未纳入标准。

对坡型支座试验,首先要确立正确的试验方法,必须模拟坡型支座的实际受力状态,尤其是抗剪弹性模量试验,不能按照双剪方法来做,只能以单剪受力状态进行试验,才能反映出坡型支座顺坡受剪和反坡受剪时的不同水平力。坡形支座按JT/T4—93标准试验方法试验,结果有97%的支座抗压弹性模量不合格,有80%的支座抗剪弹性模量不合格。

板式橡胶支座是靠橡胶的剪切变形来吸收水平力的,当支座与梁底平面接触时,没有垂直力产生的水平分力,支座两边剪切变形相等。当采用坡形支座,梁底与支座倾斜接触,此时支座上除了承受上部结构垂直力(支座承载力)外,还要承受垂直力给支座的一个水平分力,该水平分力要与桥梁因温度变化、混凝土收缩徐变、制动力产生的水平力相叠加,坡度越大,垂直力产生水平分力越大,支座承受水平力也越大。由于垂直力产生水平分力的存在,支座将长期处于一个方向受剪的状态,顺坡方向剪切变形大,反坡方向剪切变形困难,支座两边剪切变形不均匀,当坡度较大时,支座将无法分配吸收水平力。

本次对坡型支座也进行了一定数量的试验,其规格见表3,试验示意图3所示。试验时,要求进行顺坡和反坡剪切试验,并记录剪切变形时力的大小,以及在正压力作用下,为克服用垂直力的水平分力而引起的剪切变形力的大小。试验结果明显看出:要使2%的坡型支座向反坡方向剪切变形,仅克服垂直力产生的向下坡方向变形就要增加约20%的剪切力;要克服3%的坡度产生的向下坡剪切变形就要增加约36%的剪切力。经过实际计算,按照规范规定的板式橡胶支座允许剪切角为 0.5° 时,支座本身允许承受水平力 $H_{\text{支}}=G\tan\alpha$,而垂直力在纵坡影响下作用于支座上的水平分力为 $H_R=R\sin\varphi$,当纵坡为5%时,则 $H_R=H_{\text{支}}$,当纵坡为8%时, $H_R=1.6H_{\text{支}}$,可想而知,支座完全是在失控状态下工作。单剪试验证明坡型支座对水平力分配存在一定的问题。同时,坡型支座除了使桥梁结构受力明显不利外,也易造成桥端伸缩装置在顺坡方向全部压紧,而反坡方向则完全拉开,出现了不能均匀伸缩的现象。实际上坡形支座本身常年处于超负荷状态,随时有破坏的可能。

表 3 坡形板式橡胶支座试验

型式	数量	坡度(<i>i</i>)					
		2%	3%	3.3%	4%	5%	6%
圆坡支座(代号 YP)	7 组共 21 块	6 块	6 块	3 块	3 块	3 块	/
矩坡支座(代号 JP)	2 组共 6 块	/	/	/	/	3 块	3 块
圆坡球支座(代号 YPQ)	5 组共 15 块	3 块	/	/	3 块	3 块	6 块
圆坡带四氟板支座 (代号 YPF ₄)	1 组共 3 块	/	/	/	/	3 块	/

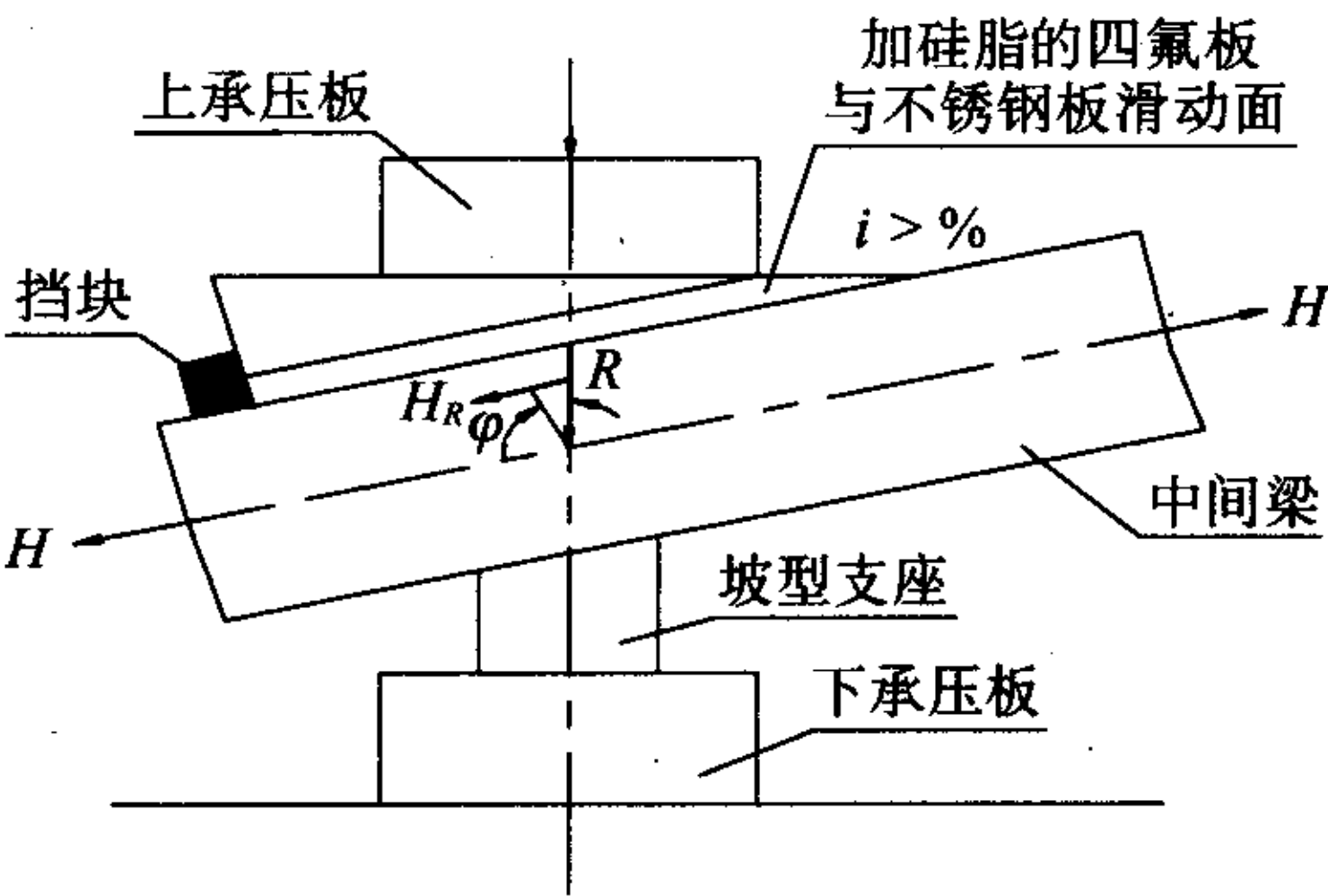


图 3 支座单剪试验示意

对于圆板坡型橡胶支座和球冠坡型橡胶支座,当圆形支座做成坡面后实际上坡面成为椭圆形,这样在顺坡方向为长轴,横坡方向变为短轴,使支座的受力就有了方向性,满足不了圆形支座具有的各向变形均匀的优点。同时,圆形坡形支座对纵坡适应性较差,球冠坡形支座再加上由于冠引起的脱空,使受力状态非常复杂。不论哪种坡形支座对梁端转角适应性均很差,难以满足梁端转角的需要,目前提供这些产品的企业也没有能提供设计采用的计算方法和合理的设计参数。

3 结论

球冠和坡形板式橡胶支座的设计不能简单套用标准、规范中相关的设计参数,必须根据实际情况,建立相应的计算模式和设计参数。任何一种新型支座的出现,都不能认为仅是一种形状的改变。《公路桥梁板式橡胶支座》(JT/T4—2004)明确规定,新产品投产前,必须进行投产鉴定,投产鉴定时,至少提供5种不同规格的支座,其中的3种规格支座,要求有全项力学性能试验报告,才能达到鉴定的基本要求,这些与欧州标准的规定是一致的。