



T/CECS G XXXX: 20XX

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路桥梁钢丝绳阻尼装置减震技术规程

Specifications for Seismic Design of Highway Bridges with Wire
Rope Damping Devices

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路桥梁钢丝绳阻尼装置减震技术规程

Specifications for Seismic Design of Highway Bridges with Wire Rope Damping
Devices

T/CECS G: XXX-01-2021

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2021 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于开展 2018 年第二批中国工程建设标准化协会标准(CECS G)制修订项目编制工作的通知》(建标公路[2018]114 号)和《2018 年第二批中国工程建设标准化协会标准(CECS G)制修订项目计划》的要求,由中交第二公路勘察设计研究院承担《公路桥梁钢丝绳阻尼减震装置技术规程》(以下简称“本规程”)的制订工作。

编写组在总结钢丝绳阻尼装置近几年工程经验和相关科研成果的基础上,以完善和提升公路桥梁钢丝绳阻尼减震技术为核心,完成了本标准的编写工作。

本标准分为 6 章、3 篇附录,主要内容包括总则、术语和符号、钢丝绳阻尼装置技术性能、钢丝绳阻尼装置检验规则、桥梁钢丝绳阻尼减震设计、钢丝绳阻尼装置安装和维护,附录 A(资料性附录) 钢丝绳阻尼器剪切性能技术参数,附录 B(资料性附录) 钢丝绳阻尼支座剪切性能技术参数,附录 C(规范性附录) 钢丝绳阻尼器绳圈等效直径计算。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理,由中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释,在执行过程中如有意见或建议,请函告本标准日常管理组,中国工程建设标准化协会公路分会(地址:北京市海淀区西土城路 8 号;邮编:100088;电话:010-62079839;传真:010-62079983;电子邮箱:shc@rioh.cn),或朱玉(地址:湖北省武汉市经济技术开发区创业 18 号;邮编:430056;电话:027-84214282;电子邮箱:736261440@qq.com),以便修订时研用。

主 编 单 位: 中交第二公路勘察设计研究院有限公司

参 编 单 位: 武汉泽瑞环科技开发有限公司

华中科技大学

广州大学

武汉理工大学

中国公路工程咨询集团有限公司

主 编: 朱 玉

主要参编人员: 万信华 熊世树 刘 坚 徐文胜 翁 顺 黄斌 吴先树
胡晓燕 南军强 彭元诚 刘新华 王晓宁 史亮 张少勇

主 审: 郑罡

参与审查人员: 詹建辉 陈长海 聂丽英 赵会东 高宝峰 查晓雄

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	4
3	钢丝绳阻尼装置技术性能	8
3.1	一般规定	8
3.2	钢丝绳阻尼器	12
3.3	钢丝绳阻尼球型钢支座	17
3.4	钢丝绳阻尼叠层橡胶支座	21
4	钢丝绳阻尼装置检验规则	25
4.1	钢丝绳阻尼装置性能试验方法	25
4.2	钢丝绳阻尼装置检验规则	27
5	桥梁钢丝绳阻尼减震设计	29
5.1	一般规定	29
5.2	减震性能目标	33
5.3	钢丝绳阻尼装置选型与布设原则	34
5.4	钢丝绳阻尼减震桥梁地震反应分析	42
5.5	钢丝绳阻尼减震桥梁抗震验算	45
6	钢丝绳阻尼装置安装和维护	52
6.1	一般规定	52
6.2	钢丝绳阻尼装置进场验收	52
6.3	钢丝绳阻尼装置施工安装	53
6.4	钢丝绳阻尼装置施工安全	64
6.5	钢丝绳阻尼装置施工质量验收	67
6.6	钢丝绳阻尼装置维护	68

附 录 A (资料性附录) 钢丝绳阻尼器剪切性能技术参数	71
附 录 B (资料性附录) 钢丝绳阻尼支座剪切性能技术参数	74
附 录 C (规范性附录) 钢丝绳阻尼器绳圈等效直径计算	77
本规程用词说明	78
引用标准名录	79

征求意见稿

1 总 则

1.0.1 为落实预防为主防震减灾工作方针，减轻公路桥梁的地震破坏，保障人民生命财产安全和减少经济损失，依据《中华人民共和国防震减灾法》，遵循《公路工程抗震规范》JTG B02-2013 的规定，制定本规程。

条文说明：

《中华人民共和国防震减灾法》(最新修正版)总则第十一条规定：“国家鼓励、支持防震减灾的科学技术研究，逐步提高防震减灾科学技术研究经费投入，推广先进的科学研究成果，加强国际合作与交流，提高防震减灾工作水平。”

《公路工程抗震规范》JTG B02-2013 总则第 1.0.6 条规定：“公路工程构筑物的抗震设计应积极采用成熟可靠的新技术、新材料、新设备、新工艺。”

1.0.2 本规程适用于采用钢丝绳阻尼装置减震的新建和改建公路桥梁工程。

条文说明：

钢丝绳阻尼器最早由美国于 20 世纪 70 年代末研制成功，是一种典型的非线性阻尼器，具有良好的阻尼性能，消能能力和大变形容量，能在较宽的频带和大振幅范围内减振与消能，在电子、军事与船舶工业领域应用广泛。经多年研究、试验、试制，钢丝绳阻尼装置在公路桥梁上的应用已成熟，江苏省镇江市镇丹高速公路、陕西蔡家坡渭河大桥、陕西宝鸡过境高速公路、黄河中卫大桥等项目应用表明，钢丝绳阻尼装置应用情况良好。

钢丝绳阻尼减震技术不仅适用于新建工程，而且适用于现有结构的改造。钢丝绳阻尼器结构形式多样，安装方便，可有效地保护结构、提高结构体系的抗震性能，还可减少或避免对结构采用“加强”措施等对既有上部结构的影响。

1.0.3 本规程规定了钢丝绳阻尼装置的构造、性能检验、施工验收和维护等要求及采用钢丝绳阻尼装置进行公路桥梁减震设计的相关内容。

条文说明：

钢丝绳阻尼装置用于公路桥梁减震设计是一项新技术，设计人员对其构造、性能及相关检验、验收及减震应用等了解不多，本条给出了相关内容，便于工程应用。

1.0.4 采用钢丝绳阻尼装置减震的桥梁，除应符合本规程外，尚应满足国家现行标准《公路工程抗震规范》JTG B02-2013、《公路桥梁抗震设计规范》JTG / T 2231-01-2020 及国家其他现行标准的有关规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 消能减震桥梁 seismic energy dissipation bridge

在结构体系中设置消能减震装置的桥梁结构。

2.1.2 减震设计 aseismatic design

在桥梁上部结构和下部结构或基础之间设置消能减震系统，以增大原结构体系阻尼，降低结构地震反应和(或)减小输入到上部结构的能量，达到抗震设防目标的设计方法。

2.1.3 钢丝绳阻尼器 wire rope damper

利用钢丝绳的钢丝之间发生干摩擦消能的阻尼元件。

2.1.4 钢丝绳阻尼器节段 wire rope damper segment

组成钢丝绳阻尼器的结构单元，一个钢丝绳阻尼器包含一个或多个钢丝绳阻尼器节段。

2.1.5 钢丝绳阻尼支座 wire rope damping bearing

利用钢丝绳阻尼器节段作为阻尼器件，和支座本体连接在一起，二者共同工作的一类支座的总称。本规程中的钢丝绳阻尼支座包含钢丝绳阻尼球型钢支座和钢丝绳阻尼叠层橡胶支座。

2.1.6 钢丝绳阻尼球型钢支座 steel spherical damping bearing of hoop wire rope

钢丝绳阻尼器布置在钢球型支座的外围，通过上、下支座钢板连接成整体的组合阻尼支座。

2.1.7 钢丝绳阻尼叠层橡胶支座 laminated rubber damping bearing of hoop wire rope

钢丝绳阻尼器布置在叠层橡胶支座的外围，通过上、下支座钢板连接成整体的组合阻尼支座。

2.1.8 钢丝绳阻尼装置 wire rope damping device

本规程中指钢丝绳阻尼器、钢丝绳阻尼球型钢支座和钢丝绳阻尼叠层橡胶支座等利用钢丝绳非线性滞回特性消能的一类装置的总称。

2.1.9 剪切滞回曲线 shearing hysteretic curve

在垂直于剪切方向施加给定的力或位移作为预加力或预加位移，由往复剪切荷载与相应剪切位移形成的闭合曲线族。

2.1.10 剪切初始刚度 initial stiffness of shear

钢丝绳阻尼器发生剪切屈服前的剪切刚度，即钢丝绳内部钢丝不产生滑动时对应的剪切刚度。

2.1.11 剪切屈服刚度 yield shear stiffness

钢丝绳阻尼器发生剪切屈服后，小于 1/2 剪切方向最大工作位移时对应的剪切刚度。

2.1.12 剪切硬化刚度 hardening stiffness of shear

钢丝绳阻尼器发生剪切位移，先屈服后增强时的剪切刚度。

2.1.13 剪切等效刚度 shearing equivalent stiffness

剪切滞回曲线上，正负位移最大两点连线的斜率。

2.1.14 等效阻尼比 equivalent damping ratio

滞回闭合曲线一个循环所吸收的能量与弹性变形能的 2π 倍之比。

2.1.15 最大工作位移 maximum working displacement

钢丝绳阻尼装置在剪切方向所能发生的最大位移。

2.1.16 阻尼力 value of damping force

剪切滞回曲线上，与最大工作位移对应的剪切力。

2.1.17 剪断力设计值 design value of shearing strength

剪力螺栓被剪断、失去限位功能需要的最小剪力。

2.1.18 抗震设防目标 seismic fortification object

衡量抗震设防要求的尺度，由抗震设防烈度和桥梁使用功能的重要性确定。

2.1.19 延性抗震设计 ductility seismic design

允许桥梁结构发生塑性变形，不仅用构件的强度作为衡量结构性能的指标，同时要校核构件的延性能力是否满足要求。

2.1.20 延性构件 ductile member

延性抗震设计时，允许发生塑性变形的构件。

2.1.21 能力保护设计 capacity protection design

对延性抗震设计桥梁的基础、上部结构构件，以及可能出现塑性铰的桥墩非塑性铰区进行的加强设计。目的是保证非塑性铰区的弹性能力高于塑性铰区，避免非塑性铰区发生塑性变形和剪切破坏。

2.1.22 能力保护构件 capacity protected member

采用能力保护设计原则设计的构件。

2.1.23 防落梁装置 unseating prevention equipment

为防止地震作用下发生桥梁上部结构坠落而设置的构造系统，由梁搭接长度、防落梁构造、位移限制构造和高差限制构造组成。

2.1.24 位移限制构造 displacement limit structure

限制梁与桥墩或梁与桥台间相对位移的构造。

2.1.25 完全弹性状态 full elastic state

在地震作用下，桥梁结构承力构件未出现塑性区的状态。

2.1.26 基本弹性状态 basic elastic state

在地震作用下，桥梁结构承力构件部分钢筋进入受拉屈服状态，但截面受力仍小于截面抗力的状态。

条文说明：

本节汇总了本规程所采用的与钢丝绳阻尼减震技术有关的专门术语。本规程中采用的其他术语均遵照《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ132 和《工程结构设计基本术语标准》GB/T50083-2014 的规定。

2.2 符 号

2.2.1 本规程所采用的主要符号如下：

B —钢丝绳阻尼减震桥梁伸缩缝宽度；

d —锚固螺栓杆直径；

d_e —锚固螺栓在螺纹处的有效直径；

D_{eq} —钢丝绳圈等效直径；

F —钢丝绳阻尼装置受到的竖向拉力；

f_{cd}^b —锚固螺栓承压强度设计值；

f_{vd}^b —锚固螺栓抗剪强度设计值；

f_{td}^b —锚固螺栓抗拉强度设计值；

K_b —球型钢支座本体剪切等效刚度；

K_h —叠层橡胶支座的剪切等效刚度；

K_s —钢丝绳阻尼器的剪切等效刚度；

K_{s1} —钢丝绳阻尼器剪切初始刚度；

K_{s2} —钢丝绳阻尼器剪切屈服刚度；

K_{s3} —钢丝绳阻尼器剪切硬化刚度；

K_1 —钢丝绳阻尼支座剪切初始刚度；

K_2 —钢丝绳阻尼支座剪切屈服刚度；

K_3 —钢丝绳阻尼支座剪切硬化刚度；

K_{eq} —钢丝绳阻尼支座剪切等效刚度；

L —一个阻尼器节段钢丝绳自由总长；

M_x —钢丝绳阻尼装置受到的绕顺桥向轴的弯矩；

M_y —钢丝绳阻尼装置受到的绕横桥向轴的弯矩；

N_{ti} —单个锚固螺栓承担的轴向拉力；

N_{tmin} —单个锚固螺栓承担的最小轴向拉力；

N_{tmax} —单个锚固螺栓承担的最大轴向拉力；

N_v —单个锚固螺栓承受的剪力；

Δ —永久作用、温度作用和地震作用组合工况下的总位移 Δ ；

Δ_{dt} —永久作用和温度作用效应的位移之和；

Δ_x —钢丝绳阻尼减震桥梁墩台顶与梁部顺桥向相对位移；

Δ_y —钢丝绳阻尼减震桥梁墩台顶与梁部横桥向相对位移；

$Q_{\max}$ —钢丝绳阻尼器最大承载力；

Q_{ys} —钢丝绳阻尼器在剪力作用下，产生屈服时的剪力；

Q_{hs} —钢丝绳阻尼器在剪力作用下，剪切刚度开始硬化时的剪力；

Q_s —钢丝绳阻尼器阻尼力，即达到最大工作位移 u_s 时的剪力；

Q_y —钢丝绳阻尼支座初始屈服剪力；

Q_h —钢丝绳阻尼支座在剪力作用下，剪切刚度开始硬化时的剪力；

Q_c —钢丝绳阻尼支座阻尼力，即达到最大工作位移 u_c 时的剪力；

S_d —水平方向作用基本组合效应设计值；

u_{ys} —钢丝绳阻尼器开始产生屈服时的剪切位移；

u_s —钢丝绳阻尼器剪切方向的最大工作位移；

u_y —钢丝绳阻尼支座产生屈服时的剪切位移；

u_c —钢丝绳阻尼支座剪切方向最大工作位移；

V —一联桥梁中所有钢丝绳阻尼装置产生的水平抗力之和；

V_i —第 i 个钢丝绳阻尼装置产生水平剪切位移后受到的剪力；

V_x —钢丝绳阻尼装置顺桥向受到的剪力；

V_y —钢丝绳阻尼装置横桥向受到的剪力；

W_s —钢丝绳阻尼器剪切滞回曲线的包络面积；

W_c —钢丝绳阻尼支座剪切滞回曲线的包络面积；

θ —钢丝绳阻尼器转动角度；

μ —摩擦面抗滑移系数；

ξ_b —球型钢支座本体等效阻尼比；

ξ_{eq} —钢丝绳阻尼支座等效阻尼比；

ξ_h —叠层橡胶支座本体等效阻尼比；

ξ_s —钢丝绳阻尼器等效阻尼比。

条文说明：

本节汇总了本规程所采用的主要符号及其含义，按拉丁字母和希腊字母顺序排列。每个符号由主体符号或主体符号带上、下标构成。主体符号一般代表物理量；上、下标代表物理量或物理量以外的术语、说明语，用以进一步说明符号的涵义。本节未列出的其他符号及其含义均在各有关章节的条文中列出。

征求意见稿

3 钢丝绳阻尼装置技术性能

3.1 一般规定

3.1.1 桥梁用钢丝绳阻尼装置是指利用钢丝绳滞回特性对桥梁结构消能减震的一类装置的总称。本规程具体指钢丝绳阻尼器、钢丝绳阻尼球型钢支座和桥梁钢丝绳阻尼叠层橡胶支座三种装置。

3.1.2 钢丝绳阻尼器是消能减震的主体元件，一般由多个钢丝绳阻尼器节段组成。钢丝绳阻尼球型钢支座由钢丝绳阻尼器和球型钢支座组合而成。桥梁钢丝绳阻尼叠层橡胶支座由钢丝绳阻尼器和叠层橡胶支座组合而成。

3.1.3 制作钢丝绳阻尼器节段的钢丝绳应选用钢芯的交互捻制的线接触钢丝绳或面接触钢丝绳，不得选用点接触钢丝绳。

条文说明：

钢丝绳的绳芯一般分为纤维芯和金属芯两种。通常，纤维芯一般是以麻芯居多，它具有较高的挠性和弹性，并能贮存一定的润滑油，当钢丝绳被拉伸时，油挤到钢丝之间起润滑作用。金属芯又以钢芯较多，金属芯钢丝绳破断拉力大，抗挤压和耐高温。钢丝绳阻尼器就是通过钢丝之间的摩擦消能，因此制造阻尼器避免选择纤维芯钢丝绳。

钢丝绳按照股中相邻层钢丝接触状态分为：点接触钢丝绳、线接触钢丝绳、面接触钢丝绳三种基本结构形式。

点接触钢丝绳的股由相同直径的钢丝分层捻制而成，其相邻层钢丝间呈点状接触。点接触钢丝绳工作时，股内钢丝所受的接触应力较大，此外钢丝绳在弯曲时，股内钢丝受到附加弯曲，产生二次弯曲应力，造成钢丝绳疲劳断丝。点接触钢丝绳是最原始、最简单的钢丝绳。

线接触钢丝绳的股中钢丝直径不同，捻距相等，一次捻制完成，股绳中各层钢丝间呈线接触状态。线接触钢丝绳的股在结构上较为紧密，钢丝绳工作时，股绳内钢丝所受的接触应力较小，且弯曲时，各层钢丝间不产生二次弯曲应力，因此钢丝绳的耐疲劳性能有较大的提高，钢丝绳的密度系数较大，在同一直径和强度时，比点接触钢丝绳的破断拉力提高约 10% 左右。综上所述，线接触钢丝绳的使用寿命比点接触钢丝绳高(1~2 倍)。

面接触钢丝绳是线接触基础上发展起来的，其股内钢丝间呈面接触状态。面接触钢丝绳密度系数更大，股结构更紧密，钢丝之间接触应力小，无二次弯曲，钢丝绳接触面积大，接触应力小，所以面接触钢丝绳耐磨性能更强，耐疲劳性能高，抗挤压性能好，钢丝绳不易变形。

钢丝绳按照捻制方向分为交互捻钢丝绳和同向捻钢丝绳。

交互捻钢丝绳：钢丝在外层股中的捻制方向与外层股在钢丝绳中的捻制方向相反的多股钢丝绳。

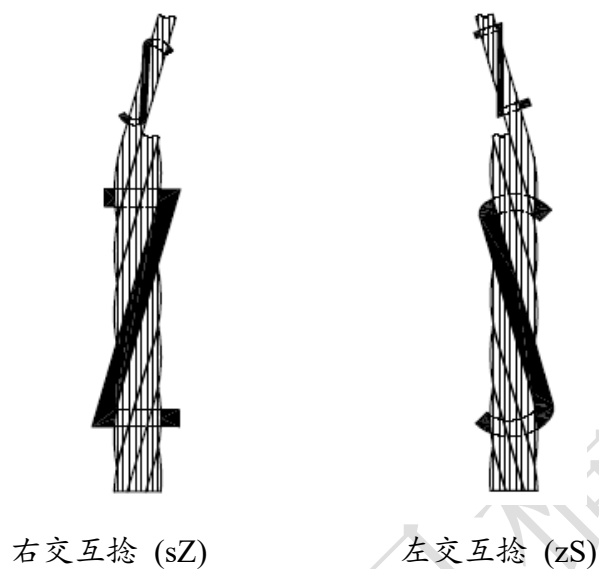


图 3-1 交互捻钢丝绳

同向捻钢丝绳：钢丝在外层股中的捻向与外层股在钢丝绳中的捻向相同的多股钢丝绳。

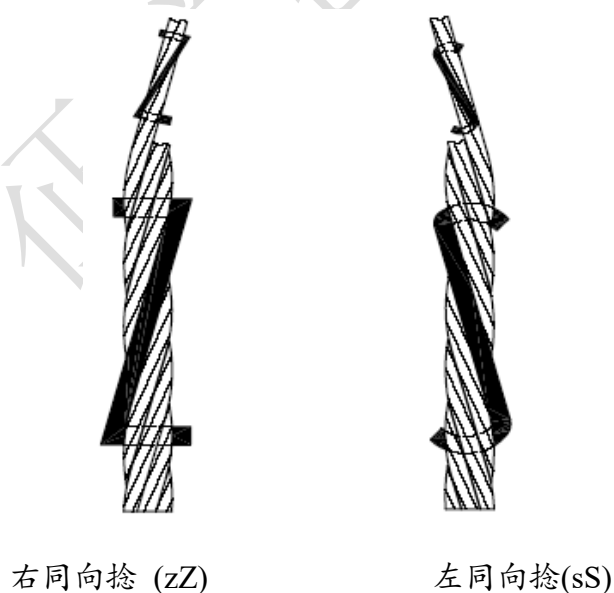


图 3-2 同向捻钢丝绳

制造阻尼器选择交互捻钢丝绳，因交互捻钢丝绳结构紧凑，不易松散，缠绕力大，钢丝之间摩擦力大，消能能力强，相对同向捻制钢丝绳，具有较大弯曲刚度。

3.1.4 钢丝绳阻尼器节段主要零部件的材料应满足表 3.1.4 的要求。

表 3.1.4 钢丝绳阻尼器节段主要材料

零部件名称	材料		
	名称	牌号	标准号
钢丝绳	不锈钢丝绳	06Cr19Ni10	GB/T 9944-2015
绳夹钢板	不锈钢钢板	06Cr19Ni10 06Cr19Ni10N	GB/T 3280-2015 GB/T 4237-2015
连接钢板	钢板 铸钢	Q345 ZG230-450、 ZG270-500	GB/T 700-2006、 GB/T 714-2015 GB/T 11352-2009
绳夹螺栓	不锈钢	A2-70	GB/T 3098.6-2014
连接螺栓	不锈钢 碳钢	A2-70 8.8	GB/T 3098.6-2014 GB/T 3098.1-2010

条文说明：

考虑到钢丝绳阻尼器工作环境、气候条件及桥梁结构维修养护周期和条件，本规程规定：单独使用的钢丝绳阻尼器其使用寿命不低于桥梁结构使用寿命，阻尼支座中钢丝绳阻尼器节段的使用寿命不低于支座本体的使用寿命。因此要求制造钢丝绳阻尼器的各零部件具有较高的强度，较好的抗腐蚀能力以及能适应各种恶劣气候条件的能力。

3.1.5 在满足静、动态性能条件下，钢丝绳阻尼装置应尽量做到结构紧凑，占用尽量小的空间尺寸。

3.1.6 钢丝绳阻尼器节段的绳夹钢板、钢丝绳、绳夹螺栓在工作状态时，不应有松动和滑移现象。

条文说明：

如果有松动和滑移现象，则绳夹钢板没有起到约束钢丝绳的作用，钢丝绳阻尼器的静、动力特性受到影响。

3.1.7 绳夹钢板与钢丝绳的配接，既要做到绳孔与钢丝绳走向一致、钢丝绳被绳夹钢板夹紧，又不致产生偏屈、断丝、夹扁等现象。

条文说明：

防止钢丝绳产生机械损伤，影响钢丝绳使用寿命。

3.1.8 钢丝绳阻尼器节段的钢丝绳应绕制排列均匀，钢丝绳表面无锈斑，不应有折痕、凸起、擦伤、断丝和外露钢丝抽头。

条文说明：

要求钢丝绳绕制排列均匀，是为了保证钢丝绳阻尼器在工作状态下受力均衡。要求钢丝绳表面无锈斑、折痕、凸起、擦伤、断丝和外露钢丝抽头是为了避免钢丝绳的初始缺陷。

3.1.9 钢丝绳阻尼器节段的绳夹钢板、绳夹螺栓等固定件表面应光滑无毛刺、无锈斑、无机械划伤，上、下端绳夹钢板应平行，颜色均匀一致。

3.1.10 环境适应性

1 盐雾

钢丝绳阻尼装置中的钢丝绳阻尼器节段经《军用装备实验室环境试验方法 第 11 部分：盐雾试验》GJB 150.11A-2009 规定的盐雾大气条件试验后应能正常工作，主要金属件表面不应有锈斑和腐蚀物，且不影响阻尼器静态、动态性能参数。

2 高温

钢丝绳阻尼器节段在 75℃ 高温工作条件下应能正常工作。

3 低温

钢丝绳阻尼器节段在 -60℃ 低温工作条件下应能正常工作。

条文说明：

我国是一个地震多发、地震灾害严重的国家。地震多发地有时气候条件、环境条件恶劣，例如我国东北、新疆地区常年 0℃ 以下气温达到 3、4 个月以上，南方的海南、广东、福建等省常年高温天气较多，又属于海洋气候，因此要求阻尼装置有很强的环境适应性及耐候性。

在极端天气情况下，公路桥梁钢丝绳阻尼器工作温度可能达到 75℃ 高温和 -60℃ 低温。实际上，已有试验资料和军工装备资料表明，由不锈钢材料制成的钢丝绳阻尼器很容易做到在 175℃ 高温和 -75℃ 低温环境条件下正常工作，这是钢丝绳阻尼器的优势之一。

3.1.11 耐久性

钢丝绳阻尼装置中的钢丝绳阻尼器节段在正常工作状态下应能承受振动疲劳，其结构完好，钢丝绳无松动和断丝，各紧固件无松动，剪切等效刚度变化范围不超过 20%。

条文说明：

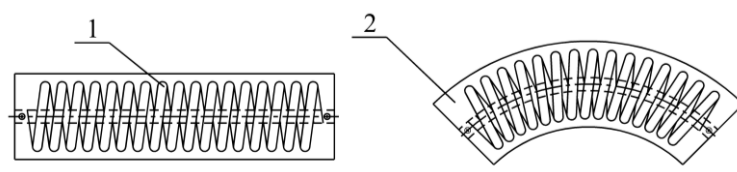
钢丝绳阻尼器的受力状态复杂，首先是温度荷载，从上部结构合龙时刻起，阻尼器就开始承担温度荷载的作用，包括日温差变化和年温差的温度效应；二是活载，包括汽车

荷载和风荷载；三是地震，地震荷载虽然是偶发荷载，但造成钢丝绳应力幅变化最大。因此要求钢丝绳阻尼器有很强的抗疲劳能力，不致因疲劳破坏而失效。

3.1.12 钢丝绳阻尼装置除满足功能和性能要求外，还应便于安装和维护。

3.2 钢丝绳阻尼器

3.2.1 钢丝绳阻尼器由单个或多个节段组成，钢丝绳阻尼器节段可以是条形或弧形，如图 3.2.1 所示。



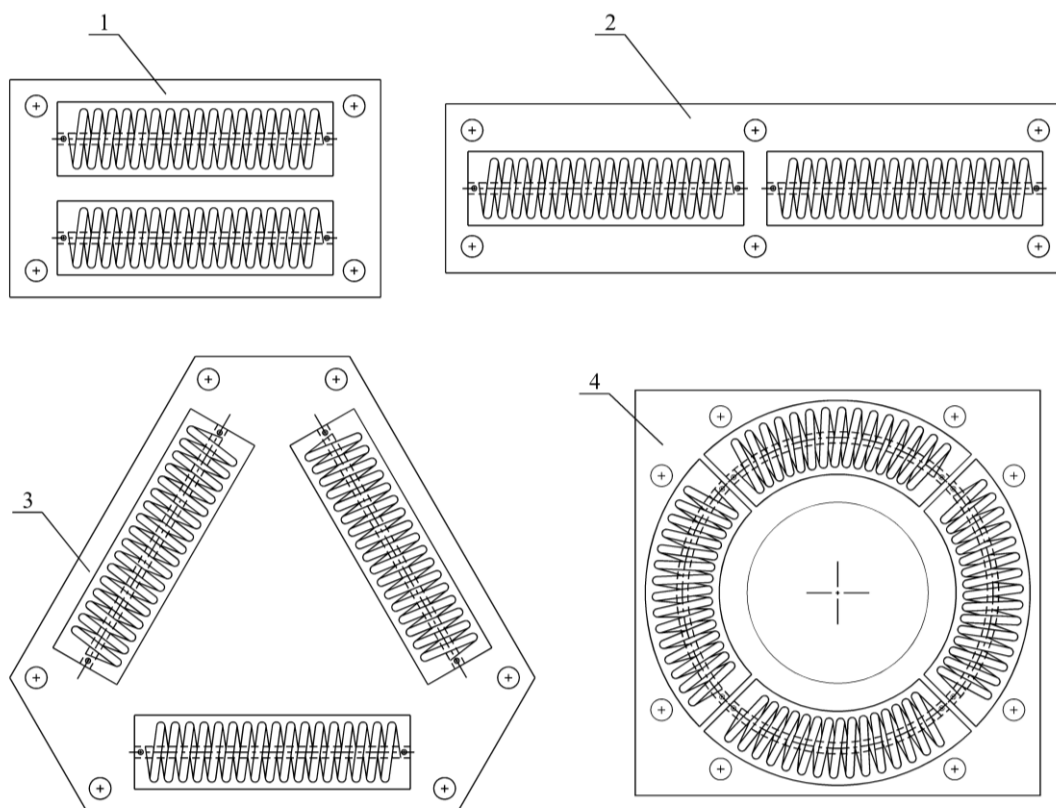
说明：1—条形钢丝绳阻尼器节段；2—弧形钢丝绳阻尼器节段；

图 3.2.1 钢丝绳阻尼器节段

条文说明：

钢丝绳阻尼器按形状分类有很多种，如蝶形、鼓形、拱形等，但用于公路桥梁的钢丝绳阻尼器节段主要是条形和弧形，其中的条形钢丝绳阻尼器是在军事工业、船舶工程领域研究最多，应用最成熟的阻尼器。

3.2.2 钢丝绳阻尼器中节段排列方式分为并列和串列，其中串列可为简单的直列，或是首尾相连的闭合串列，如图 3.2.2 所示。



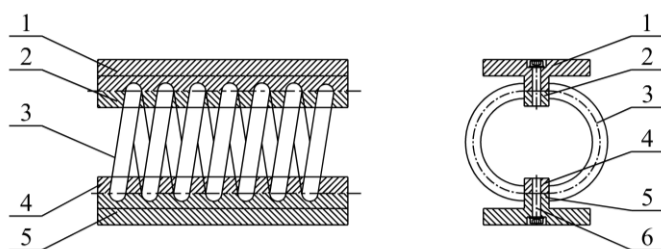
说明：1—并列；2—串列(直列)；3—闭合串列(条形节段)；4—闭合串列(弧形节段)；

图 3.2.2 钢丝绳阻尼器节段排列示意图

条文说明：

钢丝绳阻尼器是空间三维阻尼器，在空间三个方向都具有减震功能。条形钢丝绳阻尼器节段可以结合公路桥梁空间位置灵活布置，实现减震功能。弧形钢丝绳阻尼器节段可以更方便与支座本体组合，形成组合阻尼支座。

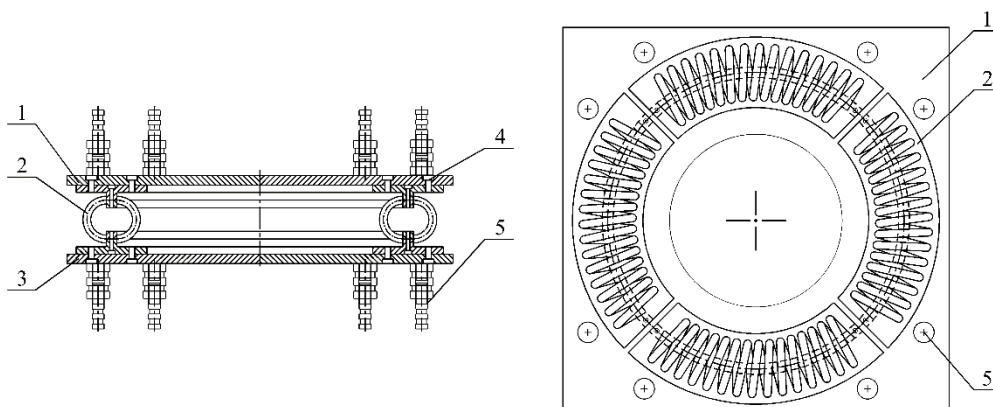
3.2.3 钢丝绳阻尼器节段由上端绳夹上钢板、上端绳夹下钢板、钢丝绳、下端绳夹上钢板、下端绳夹下钢板、绳夹螺栓组成，如图 3.2.3 所示。



说明：1—上端绳夹上钢板；2—上端绳夹下钢板；3—钢丝绳；4—下端绳夹上钢板；
5—下端绳夹下钢板；6—绳夹螺栓；

图 3.2.3 钢丝绳阻尼器节段构造图

3.2.4 钢丝绳阻尼器由上连接钢板、钢丝绳阻尼器节段、下连接钢板、连接螺栓组成，如图 3.2.4 所示。



说明：1—上连接钢板；2—钢丝绳阻尼器节段；3—下连接钢板；4—连接螺栓；5—螺栓套筒；

图 3.2.4 钢丝绳阻尼器结构示意图

3.2.5 钢丝绳阻尼器技术性能

1 最大工作位移

最大工作位移测试值偏差应不大于钢丝绳阻尼器设计值的 $\pm 10\%$ ，且任意两测试值之间相差不超过 $\pm 10\%$ 。

2 转角

钢丝绳阻尼器绕剪切平面内任意轴的转角不小于 $\pm 0.03\text{rad}$ 。

3 阻尼力

阻尼力测试值偏差应不大于钢丝绳阻尼器设计值的 $\pm 20\%$ ，且任意两测试值之间相差不超过 $\pm 15\%$ 。

4 剪切等效刚度

剪切等效刚度测试值偏差应不大于钢丝绳阻尼器设计值的 $\pm 20\%$ ，且任意两测试值之间相差不超过 $\pm 15\%$ 。

5 等效阻尼比

等效阻尼比不小于 0.2，测试值偏差应不大于钢丝绳阻尼器设计值的 $\pm 20\%$ ，且任意两测试值之间相差不超过 $\pm 15\%$ 。

6 剪切滞回曲线

测试剪切滞回曲线应光滑，无异常，在同一测试条件下，任一循环中剪切滞回曲线包络面积测试值偏差应在产品设计值的 $\pm 20\%$ 以内，测试值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内。

条文说明：

1 最大工作位移

图 3-3 中，对应 B' 点的位移 u_s ，也即钢丝绳阻尼器能够发生几何变形的最大位移，该位移由试验确定。

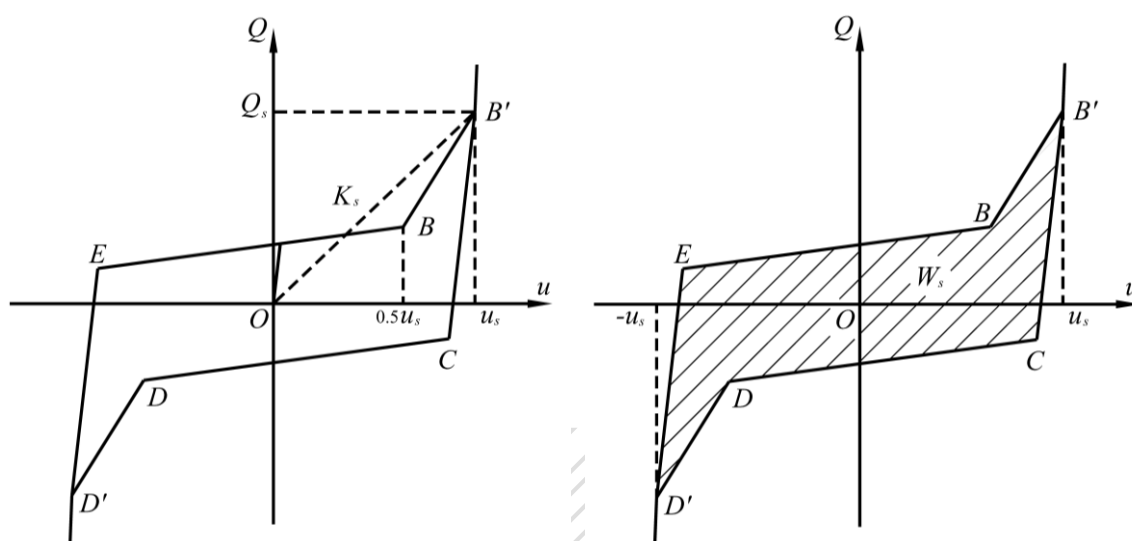


图 3-3 环向钢丝绳阻尼器滞回曲线

2 转角

本规程要求钢丝绳阻尼器有较大的转动能力，即钢丝绳阻尼器安装于结构之后，不能给桥梁结构形成过多附加转动约束，满足桥梁转动变形需要。钢丝绳阻尼装置绕支座本体转动方向的转角不小于 0.03rad 。对于分离使用的钢丝绳阻尼器和支座其转动方向、转动能力与此相同。对单个节段条形钢丝绳阻尼器或直列多节段组成的钢丝绳阻尼器绕轴向的转角应不小于 0.03rad ；对单个节段弧形钢丝绳阻尼器或多节段并列及空间排列的钢丝绳阻尼器绕平面内任意轴的转角应不小于 0.03rad 。

3 阻尼力

图 3-3 中，对应 B' 点的剪切力 Q_s ，该力由试验确定。

4 剪切等效刚度

阻尼力与最大工作位移之比。

5 等效阻尼比

滞回闭合曲线一个循环所消耗的能量与等效变形能的 2 倍之比。等效阻尼比越大，表明钢丝绳阻尼器的消能能力越强，大量试验资料表明，钢丝绳阻尼器的等效阻尼比在 0.2 以上。

6 滞回曲线

在垂直于剪切方向施加给定的力或位移，由往复剪切荷载与相应剪切位移形成的闭合曲线族。滞回曲线包围的面积越大，表明钢丝绳阻尼器消能能力越强。

3.2.6 以最大工作位移 $\pm u_s$ 为分界点，钢丝绳阻尼器工作阶段分为钢丝绳几何变形工作阶段和钢丝绳材料变形工作阶段。

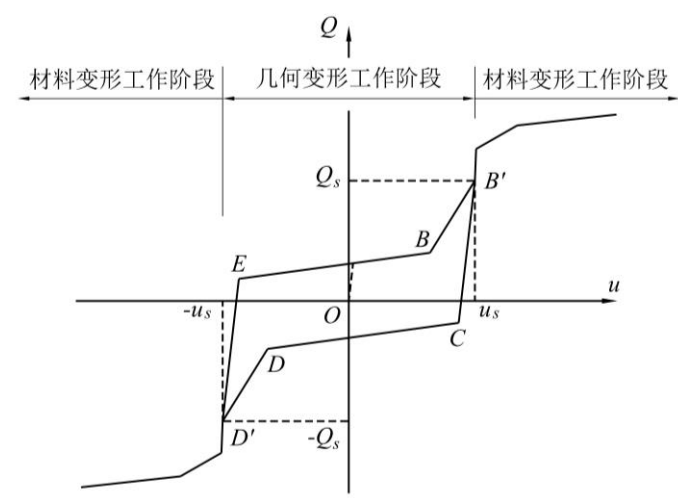


图 3.2.6 钢丝绳阻尼器工作阶段

条文说明：

钢丝绳阻尼器在制造完成定型之后，钢丝绳圈具备一定的构形和初始几何刚度，试验表明，在荷载作用下，钢丝绳圈几何构形发生改变，由空间曲线向空间直线不断进展，曲率愈来愈小，直至几何构形不再改变，这时候位移称作钢丝绳阻尼器最大工作位移 u_s 。如果荷载继续增大，钢丝绳构形不再改变，而发生了钢丝绳圈材料伸长，先是线弹性伸长，如荷载持续增大，则发生屈服，进而非线性改变。

从正的最大工作位移 $+u_s$ 到负的最大工作位移 $-u_s$ 区间，叫钢丝绳几何变形阶段，钢丝绳阻尼器消能减震发生在这一阶段。

当钢丝绳阻尼器突破最大工作位移，则表明钢丝绳进入材料变形工作阶段，在变形线弹性阶段，钢丝绳阻尼器不具备消能能力。

3.2.7 公路桥梁在正常使用及在 E1、E2 地震作用各种不利组合工况下，钢丝绳阻尼器处于几何变形工作阶段。

条文说明：

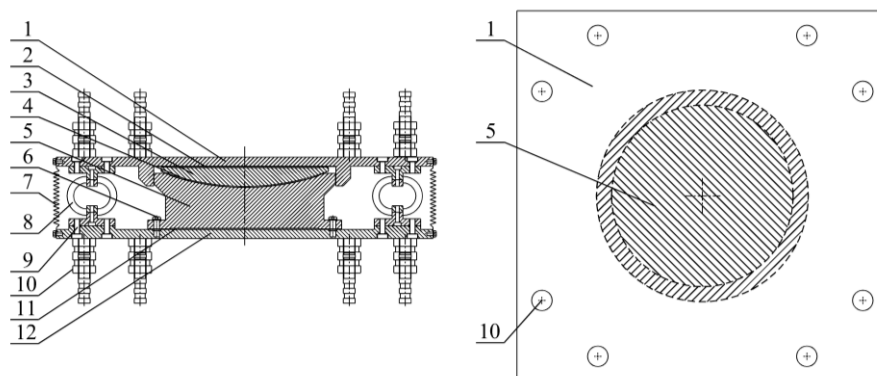
为了保证钢丝绳阻尼器在地震作用下的消能能力，本规程规定在 E1、E2 地震作用各种不利组合工况下，钢丝绳阻尼器始终处于几何变形工作阶段。但是在超设防水准 E2 地震作用 20% 范围内，允许钢丝绳进入材料变形工作阶段，此时钢丝绳阻尼器能够起到防落梁作用。

3.3 钢丝绳阻尼球型钢支座

3.3.1 钢丝绳阻尼球型钢支座是将钢丝绳阻尼器节段布置在球型钢支座的外围，通过上、下支座钢板连接成整体、共同工作的一类支座的总称。

3.3.2 钢丝绳阻尼球型钢支座按使用性能分固定支座(GSQZ-GD)、单向滑动支座(GSQZ-DX)、双向活动支座(GSQZ-SX)。

3.3.3 固定型钢丝绳阻尼球型钢支座(GSQZ-GD)由上支座钢板(含不锈钢板)、平面滑板一、球冠体、曲面滑板、中间支承体、剪力螺栓、平面滑板二、下支座钢板(含不锈钢板)、钢丝绳阻尼器节段等组成，如图 3.3.3 所示。



说明：1—上支座钢板(含不锈钢板)；2—平面滑板一；3—球冠体；4—曲面滑板；
5—中间支承体；6—剪力螺栓；7—防尘罩；8—钢丝绳阻尼器节段；
9—连接螺栓；10—螺栓套筒；11—平面滑板二；12—下支座钢板(含不锈钢板)；

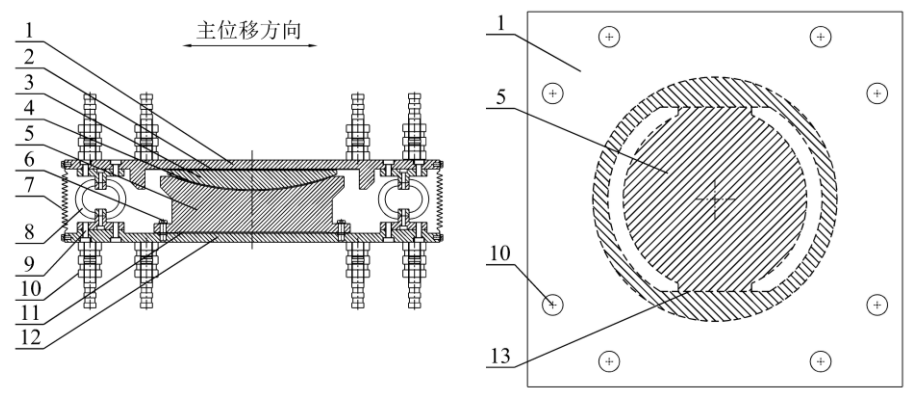
图 3.3.3 固定型钢丝绳阻尼球型钢支座(GSQZ-GD)结构示意图

条文说明：

固定型钢丝绳阻尼球型钢支座(GSQZ-GD)需要满足的功能是：在未发生地震作用时，能作为普通固定支座使用；在地震发生时，能确保剪力螺栓剪断，作为普通滑动支座使用，支座本体滑动过程中，钢丝绳阻尼器随同上支座板的运动产生剪切变形。

该支座共构造了 3 个滑动面，球冠体能在平面滑板一和曲面滑板之间运动，满足固定支座的转动功能，在地震力作用下，剪力螺栓剪断，上支座板带动中间支承体能在平面滑板二上滑动，满足滑动支座的滑动功能。

3.3.4 单向滑动型钢丝绳阻尼球型钢支座(GSQZ-DX)由上支座板(含不锈钢板)、SF-1 板、平面滑板一、球冠体、曲面滑板、中间支承体、剪力螺栓、平面滑板二、下支座钢板(含不锈钢板)、钢丝绳阻尼器等组成，如图 3.3.4 所示。

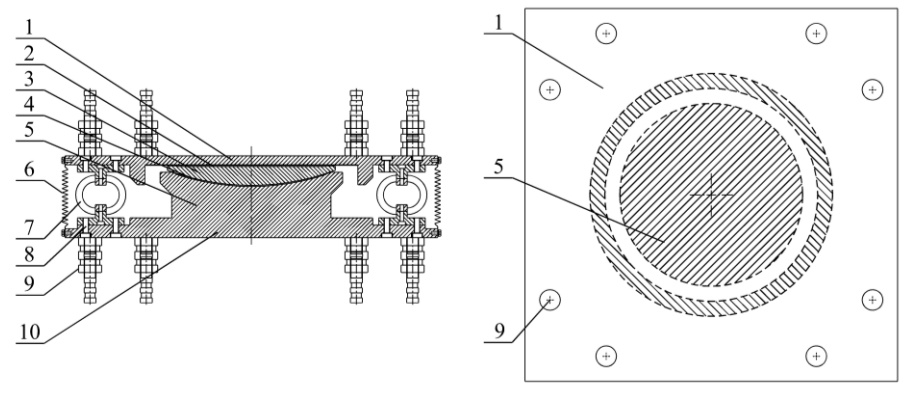


说明：1—上支座钢板(含不锈钢板)；2—平面滑板一；3—球冠体；4—曲面滑板；
5—中间支承体；6—剪力螺栓；7—防尘罩；8—钢丝绳阻尼器；9—连接螺栓；
10—螺栓套筒；11—平面滑板二；12—下支座钢板(含不锈钢板)；13—SF-1 板；
图 3.3.4 单向滑动型钢丝绳阻尼球型钢支座(GSQZ-DX)结构示意图

条文说明：

单向滑动型钢丝绳阻尼球型钢支座(GSQZ-DX)需要满足的功能是：在未发生地震作用时，该支座只能朝一个方向单向滑动，滑动面为平面滑板一，垂直于该方向，滑动受到约束。与普通支座不同的是，支座滑动导致了钢丝绳阻尼器产生变形。在地震力作用下，如果地震力方向与滑动方向一致，剪力螺栓不剪断，钢丝绳阻尼器继续变形，产生消能作用；如果地震力方向垂直于支座滑动方向，则剪力螺栓剪断，此时支座滑动面变成了平面滑板二，钢丝绳阻尼器随同上支座板运动产生剪切变形。

3.3.5 双向滑动型钢丝绳阻尼球型钢支座(GSQZ-SX)由上支座板(含不锈钢板)、平面滑板、球冠体、曲面滑板、下支座钢板(含中间支承体)、钢丝绳阻尼器等组成，如图 3.3.5 所示。



说明：1—上支座钢板(含不锈钢板)；2—平面滑板；3—球冠体；4—曲面滑板；

5—中间支承体；6—防尘罩；7—钢丝绳阻尼器；8—连接螺栓；
9—螺栓套筒；10—下支座钢板；

图 3.3.5 双向滑动型钢丝绳阻尼球型钢支座(GSQZ-SX)结构示意图

条文说明：

双向滑动型钢丝绳阻尼球型钢支座(GSQZ-SX)只有位于上支座钢板与球冠体之间的平面滑动面和球冠体与中间支承体之间的曲面滑动面，中间支承体与下支座钢板合成一体。这二个滑动面保证了上支座钢板的平动和转动，上支座钢板运动带动钢丝绳阻尼器产生变形，从而消能。

在无地震力作用时，钢丝绳阻尼器已有变形存在，例如温度变形。当地震荷载来临时，钢丝绳阻尼器在已有变形的基础上继续变形，产生消能作用。

3.3.6 外观质量

1 钢丝绳阻尼球型钢支座在组合安装之前，钢丝绳阻尼器节段和钢球型支座均需进行外观质量检查。

2 钢丝绳阻尼器节段外观质量要求同于 3.1.6、3.1.7、3.1.8、3.1.9 条。

3 钢球型支座本体外观质量要求应符合 GB/T 17955-2009 的规定。

3.3.7 在荷载作用下，钢丝绳阻尼球型钢支座中的钢丝绳阻尼器节段和球型钢支座本体共同工作，其位移能力由钢丝绳阻尼器节段的最大工作位移控制。

3.3.8 在荷载作用下，球型钢支座本体发生移动，钢丝绳阻尼器随之产生变形，在任何方向二者不能产生碰撞，并留有不少于 5mm 的安全距离。

3.3.9 钢丝绳阻尼球型钢支座剪切等效刚度和等效阻尼比按式(3.3.9)计算：

$$\begin{cases} K_{eq} = K_b + K_s \\ \xi_{eq} = \frac{K_b \xi_b + K_s \xi_s}{K_{eq}} \end{cases} \quad (3.3.9)$$

式中： K_b —球型钢支座本体剪切等效刚度；

K_s —钢丝绳阻尼器节段的剪切等效刚度，可按附录 A 计算确定；

K_{eq} —阻尼支座剪切等效刚度，也可按附录 B 通过试验计算确定；

ξ_b —球型钢支座本体等效阻尼比；

ξ_s —钢丝绳阻尼器节段等效阻尼比，按附录 A 通过试验计算确定；

ξ_{eq} —阻尼支座等效阻尼比，也可按附录 B 通过试验计算确定。

3.3.10 如果球型钢支座本体滑动摩擦面的摩擦系数小于 0.1，则忽略球型钢支座本体的剪切刚度，阻尼支座的剪切等效刚度和等效阻尼比按式(3.3.10)计算：

$$\begin{cases} K_{eq} = K_s \\ \xi_{eq} = \xi_s \end{cases} \quad (3.3.10)$$

3.3.11 钢丝绳阻尼球型钢支座技术性能

- 1 阻尼支座中钢丝绳阻尼器节段性能要求同于 3.2.5 条。
- 2 阻尼支座中球型钢支座本体性能要求应符合 GB/T 17955-2009 的规定。
- 3 对固定支座(GSQZ-GD)和单向滑动支座(GSQZ-DX)，在非地震组合情况下，剪力螺栓剪断力设计值取 1.2 倍支座设计水平荷载，误差不大于 10%。
- 4 剪力螺栓用材应符合 GB/T 3098.1 的规定，其性能不应小于螺栓性能等级 10.9 级。
- 5 钢丝绳阻尼球型钢支座力学性能还应符合表 3.3.11 的规定。

表 3.3.11 钢丝绳阻尼球型钢支座力学性能

序号	单元	试验项目	要求
1	钢丝绳阻 尼球型钢 支座	滞回曲线	正常，与钢丝绳阻尼器和球型钢支座滞回曲线相比，剪切等效刚度和等效阻尼比符合 3.3.9 和 3.3.10 的并联规则，计算值与测试值相差不超过 15%
2		剪切等效刚度	
3		等效阻尼比	
注：剪切等效刚度和等效阻尼比应在最大工作位移 u_c 时测试计算。			

条文说明：

钢丝绳阻尼球型钢支座技术性能取决于钢丝绳阻尼器的性能和球型钢支座本体的性能。

对固定型阻尼球型钢支座(GSQZ-GD)和单向滑动型阻尼球型钢支座(GSQZ-DX)，剪力螺栓的设计剪断力的取值要考虑两个因素：第一，设计剪断力不能过小，如果过小，则剪力螺栓起不到保险销的作用，固定支座不能固定，单向滑动支座变成了多向滑动支座；第二，设计剪断力不能过大，如果过大，则在地震力荷载组合下，都不能剪断，钢丝绳阻尼器不能发挥作用。经综合考虑，本规程规定，剪力螺栓设计剪断力取在无地震荷载参与组合情况下的 1.2 倍支座设计水平荷载。

剪力螺栓抗疲劳性能要求参考《公路桥梁弹塑性钢减震支座》(JTT 843)中保险栓的性能规定。

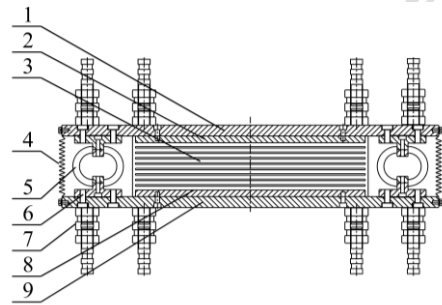
3.3.12 公路桥梁在正常使用及在 E1、E2 地震作用各种不利组合工况下，钢丝绳阻尼球型钢支座中的钢丝绳阻尼器节段处于几何变形工作阶段。

3.4 钢丝绳阻尼叠层橡胶支座

3.4.1 钢丝绳阻尼叠层橡胶支座是将钢丝绳阻尼器节段布置在叠层橡胶支座的外围，通过上、下支座钢板连接成整体、共同工作的一类支座的总称。

3.4.2 钢丝绳阻尼叠层橡胶支座按使用性能分固定支座(GSYZ-GD)、滑动支座(GSYZ-HD)。

3.4.3 固定型钢丝绳阻尼叠层橡胶支座(GSYZ-GD)由上支座钢板、橡胶支座上封板、支座本体、橡胶支座下封板、下支座钢板、钢丝绳阻尼器组成，如图 3.4.3 所示。



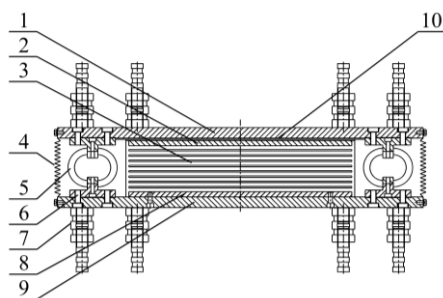
说明：1—上支座钢板；2—上封板；3—橡胶支座本体；4—防尘罩；5—钢丝绳阻尼器；
6—连接螺栓；7—螺栓套筒；8—下封板；9—下支座钢板；

图 3.4.3 固定型钢丝绳阻尼叠层橡胶支座(GSYZ-GD)结构示意图

条文说明：

钢丝绳阻尼叠层橡胶支座构造相对简单，就是在橡胶支座的外围布置钢丝绳阻尼器，通过上、下支座钢板连成整体。对固定型钢丝绳阻尼叠层橡胶支座(GSYZ-GD)，在剪切力作用下，钢丝绳阻尼器和支座本体共同变形，因此，阻尼支座变性能既包含了钢丝绳阻尼器的贡献，也包含了支座本体的贡献。

3.4.4 滑动型钢丝绳阻尼叠层橡胶支座(GSYZ-HD)由上支座钢板(含不锈钢板)、滑板、橡胶支座上封板、支座本体、橡胶支座下封板、下支座钢板、钢丝绳阻尼器组成，如图 3.4.4 所示。



说明：1—上支座钢板；2—上封板；3—橡胶支座本体；4—防尘罩；5—钢丝绳阻尼器；
6—连接螺栓；7—螺栓套筒；8—下封板；9—下支座钢板；10—滑板；

图 3.4.4 滑动型钢丝绳阻尼叠层橡胶支座结构(GSYZ-HD)示意图

条文说明：

与固定型阻尼叠层橡胶支座不同，滑动型阻尼叠层橡胶支座在封板外侧增设了滑动面，这样，在剪切力作用下，只有钢丝绳阻尼器产生剪切变形，阻尼支座变形能只有钢丝绳阻尼器的贡献。

3.4.5 固定型阻尼橡胶支座本体一般采用高阻尼橡胶支座或铅芯橡胶支座，滑动型阻尼橡胶支座本体可采用普通橡胶支座。

条文说明：

从消能的角度出发，固定型阻尼橡胶支座的支座本体宜采用高阻尼叠层橡胶支座或铅芯橡胶支座。因滑动型阻尼橡胶支座的变形能无橡胶支座本体的贡献，因此，支座本体可采用普通橡胶支座。

3.4.6 外观质量

1 钢丝绳阻尼叠层橡胶支座在组合安装之前，钢丝绳阻尼器节段和叠层橡胶支座均需进行外观质量检查。

2 钢丝绳阻尼器节段外观质量要求同于 3.1.6、3.1.7、3.1.8、3.1.9 条。

3 橡胶支座本体外观质量应符合 GB 20688.2-2006 的规定。

3.4.7 在荷载作用下，钢丝绳阻尼叠层橡胶支座中的钢丝绳阻尼器节段和叠层橡胶支座本体共同工作，其位移能力由钢丝绳阻尼器节段的最大工作位移控制。

3.4.8 在荷载作用下，钢丝绳阻尼器节段产生变形，在任何方向上不能与叠层橡胶支座本体产生碰撞，并留有不少于 5mm 的安全距离。

3.4.9 固定型钢丝绳阻尼叠层橡胶支座(GSYZ-GD)中钢丝绳阻尼器节段和叠层橡胶支座本体在剪切方向上的刚度应匹配，一般情况下，可取

$$K_h = 0.5 \sim 1.5 K_s \quad (3.4.9)$$

式中： K_h — 叠层橡胶支座本体的剪切等效刚度；

条文说明：

固定型阻尼叠层橡胶支座在剪切力作用下，变形能既包括了钢丝绳阻尼器的贡献，也包括了橡胶支座本体的贡献。这里要避免两个极端情况，一是钢丝绳阻尼器的贡献为 0，变形能只有橡胶支座本体的贡献，整个阻尼装置的作用仅仅类似于橡胶支座本体的作用，经济成本较高；二是橡胶支座本体的贡献为 0，该装置就是滑动型阻尼叠层橡胶支座。因此，本规程规定，二者的刚度应匹配。

3.4.10 钢丝绳阻尼叠层橡胶支座剪切等效刚度和等效阻尼比可按式(3.4.10)计算：

$$\begin{cases} K_{eq} = K_h + K_s \\ \xi_{eq} = \frac{K_h \xi_h + K_s \xi_s}{K_{eq}} \end{cases} \quad (3.4.10)$$

式中： K_{eq} — 阻尼支座剪切等效刚度，也可按附录 B 通过试验计算确定；

ξ_h — 叠层橡胶支座等效阻尼比；

ξ_{eq} — 阻尼支座等效阻尼比，也可按附录 B 通过试验计算确定。

条文说明：

钢丝绳阻尼器和叠层橡胶支座在力学上是并联关系，所以阻尼支座的刚度是二者刚度的叠加，阻尼比是各自阻尼关于刚度的加权平均。

3.4.11 钢丝绳阻尼叠层橡胶支座技术性能

- 1 支座中钢丝绳阻尼器节段性能要求同于 3.2.5 条。
- 2 固定型支座中橡胶支座本体性能要求应符合 GB 20688.2-2006 的规定。
- 3 滑动型支座中的橡胶支座本体当采用普通橡胶支座时，性能要求应符合 GB 20688.4-2006 的规定。
- 4 钢丝绳阻尼叠层橡胶支座力学性能应符合表 3.4.11 的规定。

表 3.4.11 钢丝绳阻尼叠层橡胶支座力学性能

序号	项 目		性能要求
1	钢丝绳阻尼叠层橡胶支座	滞回曲线	正常，与钢丝绳阻尼器和橡胶支座滞回曲线相比，剪切等效刚度和等效阻尼比符合 3.4.10 的并联规则，计算值与测试值相差不超过 15%
2		剪切等效刚度	
3		等效阻尼比	

注：剪切等效刚度和等效阻尼比应在最大工作位移 u_c 时测试计算。

3.4.12 公路桥梁在正常使用及在 E1、E2 地震作用各种不利组合工况下，钢丝绳阻尼叠层橡胶支座中的钢丝绳阻尼器节段处于几何变形工作阶段。

征求意见稿

4 钢丝绳阻尼装置检验规则

4.1 钢丝绳阻尼装置性能试验方法

4.1.1 钢丝绳阻尼装置外观质量应用目测及常规量具测量评定。

4.1.2 钢丝绳阻尼器剪切方向力学性能试验在伺服加载试验机上进行，试验模拟使用环境、按表 4.1.2 的规定进行。

表 4.1.2 钢丝绳阻尼器力学性能试验方法

项 目	试验方法
最大工作位移	预压—施加竖向压力，使钢丝绳阻尼器产生竖向变形，变形量为阻尼器总高度的 1%和 2mm 中的较大值，并静置 24h。在整个剪切性能试验过程中该压力保持不变； 正式加载—用水平位移加载装置连续匀速施加水平位移，由力传感器记录水平力大小，阻尼器水平位移量达到最大工作位移后，反向施加水平位移直至位移 0 点，再反向施加水平位移直至最大工作位移，再重新回至位移 0 点，这样构成一个循环，试验过程连续进行五次循环； 以测试第五次滞回曲线、按附录 A 的方法计算钢丝绳阻尼器剪切性能技术参数。
阻尼力	
剪切等效刚度	
等效阻尼比	
滞回曲线	

4.1.3 钢丝绳阻尼器转动性能试验在伺服加载试验机上按表 4.1.3 的规定进行。

表 4.1.3 钢丝绳阻尼器转动性能试验方法

项 目	试验方法
转动性能	按《桥梁球型支座》GB/T 17955-2009 规定的试验方法进行。

4.1.4 钢丝绳阻尼器环境适应性能试验应按表 4.1.4 的规定进行。

表 4.1.4 钢丝绳阻尼器环境适应性能试验方法

项 目	试验方法
盐雾	按《军用装备实验室环境试验方法 第 11 部分：盐雾试验》GJB150.11A-2009 规定的试验方法进行。
高温	按《军用装备实验室环境试验方法 第 3 部分：高温试

	验》GJB150.3A-2009 规定的试验方法进行。
低温	按《军用装备实验室环境试验方法 第4部分：低温试验》GJB150.4A-2009 规定的试验方法进行。

4.1.5 钢丝绳阻尼器耐久性试验应按表 4.1.5 的规定进行。

表 4.1.5 钢丝绳阻尼器耐久性试验方法

项 目	试验方法
疲劳性能	采用正弦激励法，输入位移 $u = A \sin(2\pi ft)$ ，当主要用于地震时，加载振幅 A 为 $\pm u_s$ ，连续加载 30 个完整的位移循环；当主要用于风振时，加载振幅 A 为 $\pm 0.1 u_s$ ，每次连续加载不应少于 2000 次，累积加载 10000 个循环。加载频率 f 不大于 1Hz、不小于 0.1Hz。

4.1.6 阻尼支座中的钢丝绳阻尼器节段在组合支座之前，先预拼成钢丝绳阻尼器，按 4.1.2 和 4.1.3 的方法进行力学性能试验。

4.1.7 钢丝绳阻尼支座力学性能试验按表 4.1.7 的规定进行。

表 4.1.7 钢丝绳阻尼支座力学性能试验方法

项 目	支座	试验方法
剪断力	固定型和单向滑动型钢丝绳阻尼球型钢支座	按《公路桥梁摩擦摆式减隔震支座》JTT 852-2013 规定的试验方法进行。
滞回曲线	钢丝绳阻尼支座	将检验后的钢丝绳阻尼器节段与支座本体连接，构成钢丝绳阻尼支座；
剪切等效刚度		正式加载—用水平位移加载装置连续匀速施加水平位移，由力传感器记录水平力大小，阻尼器水平位移量达到最大工作位移后，反向施加水平位移直至位移 0 点，再反向施加水平位移直至最大工作位移，再重新回至位移 0 点，这样构成一个循环，试验过程连续进行五次循环；
等效阻尼比		以测试第五次滞回曲线、按附录 B 的方法计算钢丝绳阻尼支座剪切性能技术参数。

4.2 钢丝绳阻尼装置检验规则

4.2.1 钢丝绳阻尼装置产品检验分为出厂检验和型式检验。

4.2.2 出厂检验

1 钢丝绳阻尼装置出厂检验项目包含表 4.2.2 规定的内容。

表 4.2.2 钢丝绳阻尼装置出厂检验项目

项 目	指标
钢丝绳阻尼器 钢丝绳阻尼器节段	外观、环境适应性、耐久性、最大工作位移、转角、阻尼力、剪切等效刚度、等效阻尼比、滞回曲线。
钢丝绳阻尼支座	外观、剪断力、剪切等效刚度、等效阻尼比、滞回曲线。
注：剪断力指标适用于固定型和单向滑动型阻尼球型钢支座。	

2 钢丝绳阻尼装置外观质量检验应分别根据 3.1.6、3.1.7、3.1.8、3.1.9、3.3.6、3.4.6 的要求，按 4.1.1 的方法进行，要求每件必做；

3 钢丝绳阻尼装置产品的性能应分别根据 3.1.10、3.1.11、3.2.5、3.3.11 和 3.4.11 的要求，并分别按 4.1.2、4.1.3、4.1.4 和 4.1.6 的规定进行检验。

4.2.3 型式检验

1 钢丝绳阻尼装置型式检验项目包含表 4.2.2 规定的所有项目。

2 有下列情况之一时钢丝绳阻尼装置应进行型式检验：

- 新产品的试制定型鉴定；
- 当原料、结构、工艺等有较大改变，有可能对产品质量影响较大时；
- 正常生产时，每五年检验一次；
- 停产一年以上恢复生产时；
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

3 抽样

钢丝绳阻尼装置型式检验试件数目不应少于 3 件。

4.2.3 判定规则

1 出厂检验

a) 钢丝绳阻尼装置抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 20%，当同一类型同一规格的阻尼装置数量较少时，可在同一类型阻尼装置中抽检总数量的 20%，但不应少于 2 个，检测合格率为 100%，该批次产品合格。

b) 产品检测合格率未达到 100%，应同批次抽检产品数量增至 50%；检测合格率为 100%，该批次产品合格；如检测合格率仍未达到 100%，则该批次阻尼装置 100%抽检，每件产品合格才视作该批次产品合格。

2 型式检验

应由具有检测资质的第三方进行检验。对于原材料和产品，检验结果应全部符合本规程要求，否则为不合格。

条文说明：

在地震作用下阻尼装置应充分发挥其消能效果，以确保消能减震结构的安全性，因此，阻尼装置的性能参数应进行严格检验。检验应采用产品质量监督抽查管理办法执行，对检验批次的阻尼装置进行随机抽样方式确定检测试件，如有一件抽样试件的一项性能不合格，则该次抽样检验为不合格。

对所有阻尼装置出厂检验应由第三方完成。第三方检验机构应为具有相应的阻尼装置检测资质和试验设备要求的独立单位，与检验的阻尼装置厂家不应有利益关系，也不应生产或是销售阻尼装置。

第三方检验机构根据阻尼装置的性能要求，依据本规程和设计文件，对阻尼装置的性能进行检验，从而对整批产品质量水平给予相应的评价。

由于钢丝绳阻尼器可重复利用且根据原材料、加工工艺不同产品性能有一定离散性，相比较其他类型的阻尼器，本规程规定抽检数量适当增多，抽检总数量为同批同类型同规格产品的 20%，且抽检总数量不少于 2 个，抽检合格率应为 100%。产品检测合格率未达到 100%，应将抽检数量增大到 50%，如检测合格率仍未达到 100%，则每个阻尼装置都要检测，每件产品合格才视作该批次产品合格。

5 桥梁钢丝绳阻尼减震设计

5.1 一般规定

5.1.1 钢丝绳阻尼装置用于直线桥梁和曲线桥梁的减震设计。

条文说明：

钢丝绳阻尼器有两个显著特征：第一，钢丝绳阻尼器是三维阻尼器，在地震作用效应的任意方向，都能提供减震作用；第二，钢丝绳阻尼器具有初始刚度，甚至在一联桥梁不需要布置固定型支座，就能维持桥梁在温度、风载、制动力、离心力等水平力作用下的平衡。

曲线桥梁受温度变形的影响，往往只设置一个固定墩，其它墩靠设置限位装置配合，以此来克服地震作用，所以曲线桥梁减震设计比较困难和复杂，并带有较大盲目性。钢丝绳阻尼装置的特性刚好满足曲线桥梁的抗震需求，地震发生后，每个墩及墩梁之间布置的钢丝绳阻尼装置都参与作用，无地震作用时，不影响桥梁结构温度变形。

5.1.2 满足下列条件之一的桥梁，可采用钢丝绳阻尼装置减震设计：

1 下部结构刚度较大，采用钢丝绳阻尼装置进行减震时，在 E1、E2 地震作用的各种组合下进行试算分析时，桥梁上、下部结构呈线性反应；

2 桥址区的预期地面运动特性比较明确，地震作用下场地不失效。

条文说明：

对于桥梁减震设计，最重要的因素就是设计合理、可靠的减震装置并使其在结构抗震中充分发挥作用，即桥梁结构的大部分消能、塑性变形应集中于这些装置，允许这些装置在 E2 地震作用下发生大的变形和存在一定的残余位移，而结构其他构件的响应基本为弹性或有限塑性。

但是，消能减震技术的应用并不是在任何情况下均适用。对于基础土层不稳定、易于发生液化的场地，或者场地土对基础约束较差，或者下部结构刚度小，这些情况不宜采用减震技术。

现有研究表明，在场地条件比较稳定的情况下，可使用减震技术。

5.1.3 在综合考虑地形、场地土分类、地基条件、布局条件、结构形式等因素以外，在增强结构或构件强度的同时，应提高其变形能力，抗震设计应注意以下几点：

1 为防止落梁和减小阻尼装置占用空间，宜选择连续梁体系结构桥梁，并选择水平力分散于各墩的阻尼装置布置方式；

2 在 E1、E2 地震作用下，应满足能力保护构件的强度设计；

3 在地基条件和构造条件有明显变化的地方，尤其要注意上部结构构造形式及伸缩装置的选择。

5.1.4 单独使用的钢丝绳阻尼器设计使用年限不宜小于桥梁主体结构设计使用年限；钢丝绳阻尼支座中钢丝绳阻尼器节段不宜小于支座本体的设计使用年限。

条文说明：

钢丝绳阻尼器使用寿命与使用环境、使用条件有关外，最重要的还与制造材料密切相关，使用强度高、抗腐蚀性能好的材料制造阻尼器，其预期寿命可达到 100 年以上，甚至超过了桥梁主体结构的设计使用年限，但这些材料需要付出比较高的经济成本。

本规程考虑了钢丝绳阻尼装置的制造成本，又考虑了维护成本。对阻尼装置中钢丝绳阻尼器使用年限要求适度放宽。

5.1.5 钢丝绳阻尼装置中的钢丝绳阻尼器节段一般不考虑承担支反力作用。

条文说明：

钢丝绳阻尼器在竖向荷载作用下，会产生较大的竖向变形，为了保证行车安全，本规程规定钢丝绳阻尼器不单独承受重力方向的荷载，但可以承担水平方向及竖直向上方向的荷载，重力方向的荷载主要由支座承担。某个桥墩上要么布置分离使用的钢丝绳阻尼器和支座本体，要么布置钢丝绳阻尼支座。

5.1.6 在超设防水准 E2 地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置可作为防落梁装置或防倾覆装置使用。

条文说明：

钢丝绳阻尼器能够承受拉力，在承受拉力过程中产生充分的变形，消耗了部分能量，由此产生的冲击荷载大大削弱，称作“柔性抗拉”，因此将钢丝绳阻尼器作为防落梁和防倾覆装置使用，是很好的选择。

5.1.7 钢丝绳阻尼装置布设应同时满足承载力和布设处结构最小位移需求。

5.1.8 采用钢丝绳阻尼装置减震设计的桥梁，除满足正常使用要求外，还要注意配套功能设计，包括梁端部伸缩缝设计、梁侧限位装置设计等。

5.1.9 本规程地震作用采用设计加速度反应谱、设计地震动时程或其它可靠方法表征。

5.1.10 设计加速度反应谱应按国家现行标准《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01-2008 第 5.2 条、《公路工程抗震规范》JTG B02-2013 第 5.2 条确定。

5.1.11 确定设计地震动时程应按国家现行标准《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01-2008 第 5.3 条、《公路工程抗震规范》JTG B02-2013 第 5.3 条确定。

5.1.12 采用钢丝绳阻尼装置减震设计的公路桥梁应考虑以下作用：

- 1 永久作用，包括结构重力(恒载)、预应力、混凝土收缩徐变、土压力、水压力等。
- 2 温度作用，体系升降温产生的温度效应。

3 地震作用，包括由结构质量而导致的惯性力、地震动土压力、地震动水压力等。由桥上汽车质量引起的惯性力荷载，应分别按有车、无车情况考虑，当桥上有车时，顺桥向不计入活载引起的地震作用，横桥向计入 50%活载引起的地震力，作用于桥面；竖向按汽车静活载的 100%计算。

5.1.13 作用效应组合应包括永久作用效应+温度作用效应+地震作用效应，组合方式应包括各种效应的最不利组合。

5.1.14 采用钢丝绳阻尼装置减震设计的桥梁，基本设计流程如图 5.1.14 所示。

- 1 确定减震桥梁设计加速度反应谱及设计地震动时程；
- 2 初拟钢丝绳阻尼装置的等效刚度、等效阻尼比；
- 3 模拟或修改钢丝绳阻尼装置单元，建立全桥有限元分析模型；
- 4 用加速度反应谱法初步试算 E1、E2 地震作用下桥梁结构地震响应，并对不利组合工况下的桥梁结构进行验算；
- 5 若步骤 4 验算情况不满足设计要求，则重返步骤 2，重新拟定钢丝绳阻尼装置的等效刚度和等效阻尼比，进行步骤 3 和步骤 4，直至结构或构件验算满足设计要求；
- 6 根据满足设计要求的钢丝绳阻尼装置等效刚度和等效阻尼比，进一步拟定钢丝绳阻尼装置屈服剪力、屈服位移、刚度硬化剪力、阻尼力和最大工作位移参数；
- 7 修改钢丝绳阻尼装置单元或单元参数；
- 8 用非线性时程分析法计算 E1、E2 地震作用下桥梁结构地震响应，并对不利组合工况下的桥梁结构进行验算；
- 9 若不满足验算要求，则修改相关构件设计，返回步骤 2 进行循环验算，直至满足设计要求。

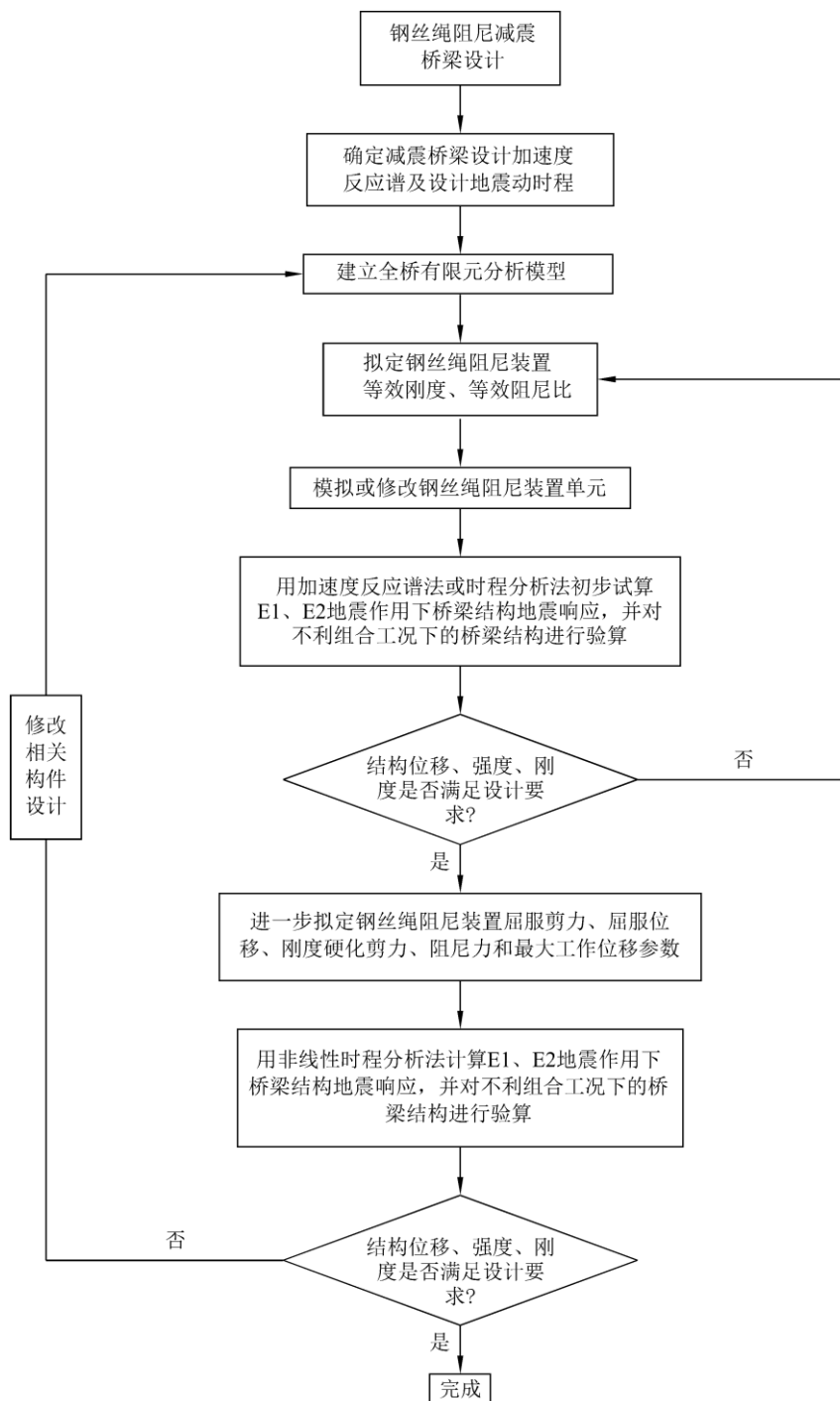


图 5.1.14 钢丝绳阻尼装置减震设计桥梁流程图

5.2 减震性能目标

5.2.1 根据公路桥梁的结构形式、在交通网络中的重要性、修复或抢修的难易程度等，桥梁抗震设防分为 A 类、B 类、C 类和 D 类四个类别，与行业标准《公路工程抗震规范》JTG B02 一致。

5.2.2 采用钢丝绳阻尼装置减震桥梁的抗震设防目标应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 各设防类别桥梁的抗震设防目标

桥梁抗震设防类别	设防目标	
	E1 地震作用	E2 地震作用
A 类、B 类	地震作用下桥梁上部结构无损伤，墩台及基础处于完全弹性状态，钢丝绳阻尼装置仍可继续正常使用。	地震作用下桥梁上部结构无损伤，墩台及基础处于完全弹性状态，钢丝绳阻尼装置仍可继续正常使用。
C 类		地震作用下桥梁上部结构损伤轻微，容易修复并不影响通车；伸缩缝等附属设施的损伤能被快速修复；钢丝绳阻尼器仍可继续重复使用，墩台及基础仍处于弹性工作状态。
D 类		

条文说明：

本条是采用钢丝绳阻尼装置的各类设防类别桥梁采用的抗震设防目标，为了贯彻结构抗震要以“预防为主”的方针及在地震中钢丝绳阻尼器要充分发挥作用、不能丧失功能的理念，本条对桥梁抗震性能标准要求有所提高，只有 C 类桥梁上部结构及附属设施在 E2 地震作用各种不利组合工况下准许发生轻微且能被快速修复的损伤。D 类桥梁不考虑 E2 地震作用的抗震设防。

5.2.3 在超设防水准 E2 地震作用 20% 范围内，钢丝绳阻尼装置应能起到防落梁功能，阻尼装置中钢丝绳进入材料线弹性变形阶段，但震后变形恢复，钢丝绳阻尼装置仍可继续正常使用。

条文说明：

在超设防水准 E2 地震作用下，钢丝绳阻尼装置还能发挥作用，是本技术规程对钢丝绳阻尼装置进一步的“苛刻”要求。

一般情况下，在设防水准范围内做的设计，对防落梁都做了考虑，但是，在超设防烈度地震作用下，“落梁”是普遍的震害现象，例如，2008年汶川地震有大量“落梁”的震害现象发生。

在超设防水准 E2 地震作用 20% 范围内，本技术规程规定，钢丝绳阻尼装置中的钢丝绳只能在线弹性范围内工作，超越了该范围，则钢丝绳产生不可恢复的塑性变形，为了保护下部结构，此时钢丝绳阻尼器的绳夹螺栓、锚固螺栓都将产生塑性变形或者断裂，产生实质性损坏。

5.2.4 在超设防水准 E2 地震作用 20% 范围内，A 类、B 类和 C 类桥梁上部结构损伤轻微，容易修复并不影响通车，伸缩缝等附属设施的损伤能被快速修复。

条文说明：

此条要求和设防水准 E2 地震作用一致，上部结构损伤轻微、交通能够快速恢复是减震设计的基本目标。

5.2.5 在超设防水准 E2 地震作用 20% 范围内，A 类、B 类和 C 类桥梁的墩台允许进入塑性状态，但截面弯矩小于截面等效屈服弯矩，基础处于弹性，不产生过度变形和损伤。

条文说明：

在超设防水准 E2 地震作用 20% 范围内，A 类、B 类和 C 类桥梁的墩台部分钢筋允许进入屈服状态，但能永久性修复，截面的等效屈服弯矩可通过把实际的弯矩-曲率曲线等效为理想弹塑性弯矩-曲率曲线求得，计算可参考《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01)。

5.3 钢丝绳阻尼装置选型与布设原则

5.3.1 采用钢丝绳阻尼装置减震的桥梁，应根据桥梁结构型式、跨径、墩高、地质等情况合理分联。

条文说明：

合理分联的目的主要考虑地震作用下，结构受力均衡。

5.3.2 钢丝绳阻尼装置布置应根据桥梁结构受力、位移、结构型式、跨径、联长及桥梁宽度等综合考虑确定，同时满足桥梁结构正常使用功能和桥梁减震功能。

条文说明：

在桥梁抗震设计中，引入钢丝绳阻尼减震技术的目的就是在满足正常使用功能要求的前提下，达到延长结构周期、消耗地震能量、降低结构响应的目的。因此，对于桥梁的减震设计，最重要的因素就是设计合理、性能可靠的钢丝绳阻尼装置并使其在结构抗震

中充分发挥作用，即桥梁结构的大部分消能集中于这些装置，或地震能量被隔离于这些装置以下部位，允许这些装置在 E2 地震作用下发生大的几何构形改变，而结构其他构件的响应基本为弹性或有限塑性。

5.3.3 一联桥梁中应选择同种类型钢丝绳阻尼装置。

条文说明：

钢丝绳阻尼装置属于位移型阻尼装置，其力学特性与位移有关。在地震作用下，希望每个桥墩都参与结构受力，且水平刚度接近，这样能保证结构受力均衡。钢丝绳阻尼球型钢支座和钢丝绳阻尼叠层橡胶支座在水平刚度上难以匹配，另外，二者使用条件和使用寿命也不一致，给桥梁维护带来不便。

5.3.4 钢丝绳阻尼装置宜布设在水位面以上，不得在浸水环境下工作。

条文说明：

浸水环境严重影响钢丝绳阻尼装置力学特性。

5.3.5 对小跨径多跨主体结构减震，钢丝绳阻尼装置一般设置在墩梁之间或台梁之间，同一联桥梁结构的钢丝绳阻尼装置应布设在大致同一高度处，如图 5.3.5 所示。

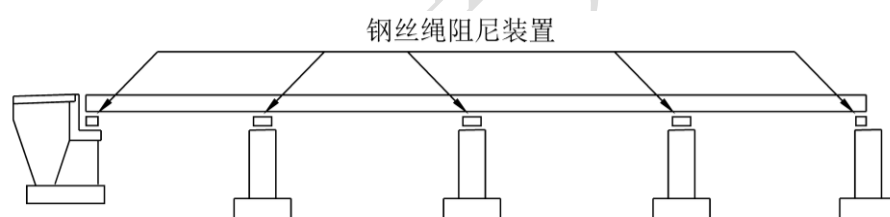


图 5.3.5 钢丝绳阻尼装置布设在同一高度

5.3.6 对上部结构与墩台之间存在水平刚度薄弱层，且在层间能够布置钢丝绳阻尼装置消能减震的特殊结构，钢丝绳阻尼装置可布设在不同高度，如图 5.3.6 所示。

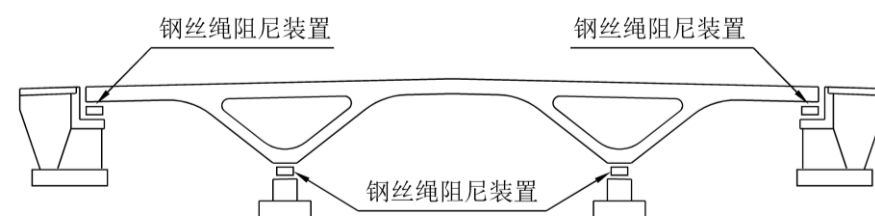


图 5.3.6 钢丝绳阻尼装置布设在不同高度

条文说明：

该水平刚度薄弱层类似基础隔震的隔震层。钢丝绳阻尼器剪切刚度不大，既是阻尼器，又是隔震器。

5.3.7 对相邻联桥梁结构，钢丝绳阻尼装置根据各自联跨特点布设，共用墩上的钢丝绳阻尼装置可布设在不同高度处，如图 5.3.7 所示。

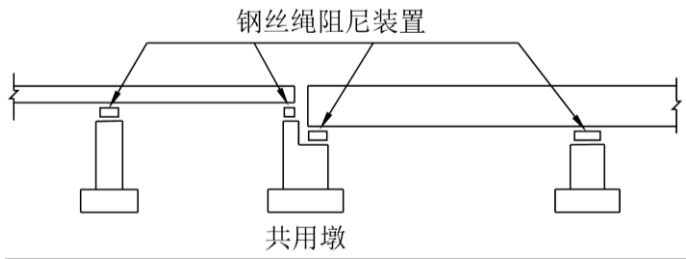
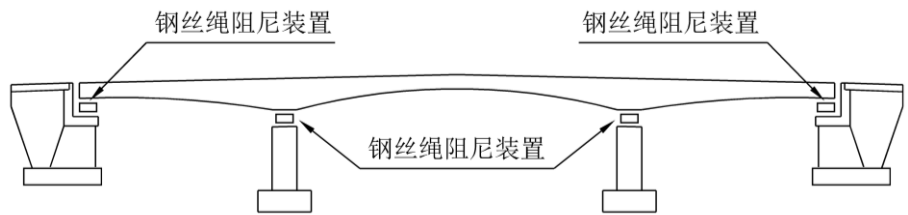
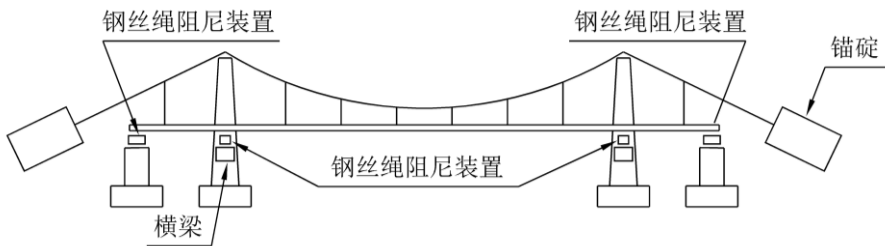


图 5.3.7 不同联钢丝绳阻尼装置布设在不同高度

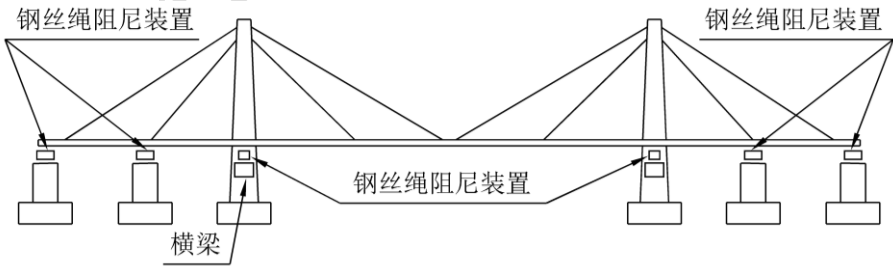
5.3.8 对大跨特殊桥梁结构减震，钢丝绳阻尼装置可按图 5.3.8 示意布设。



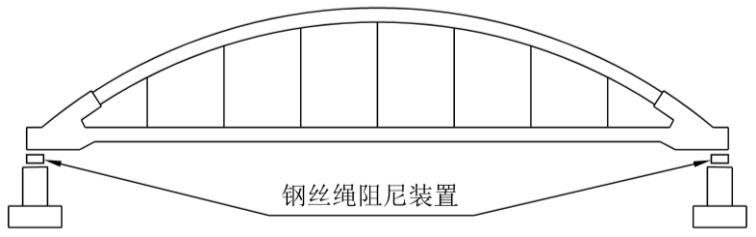
a) 大跨连续梁桥



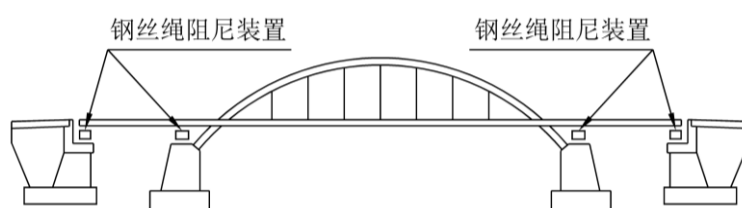
b) 悬索桥



c) 斜拉桥



d) 简支体系拱桥



e) 梁拱分离、中承式柔性吊杆拱桥

图 5.3.8 钢丝绳阻尼装置在大跨特殊桥梁结构中布设示意

5.3.9 对联跨较长桥梁结构，可在部分墩梁或台梁之间布设钢丝绳阻尼装置，另外部分墩梁或台梁之间布设普通支座，如图 5.3.9 所示。

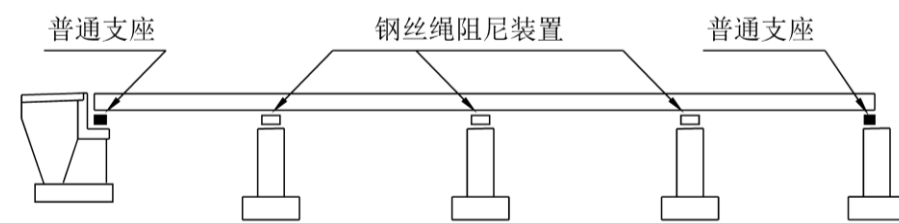


图 5.3.9 部分墩顶布设钢丝绳阻尼装置

条文说明：

钢丝绳阻尼装置是受温度影响的位移型阻尼装置，如果联长较长，距离温度 0 点较远的墩台上布置的钢丝绳阻尼装置需要具备较大的最大工作位移，当满足该条件比较困难，但其它墩台上布置的钢丝绳阻尼装置能够满足结构抗震需要，则这些墩台可以考虑放弃布置钢丝绳阻尼装置，而布置普通支座。

5.3.10 对超大跨桥梁结构，当边墩处位移较大，钢丝绳阻尼器难以满足此处位移需求时，钢丝绳阻尼器可堆叠布置，如图 5.3.10 所示。

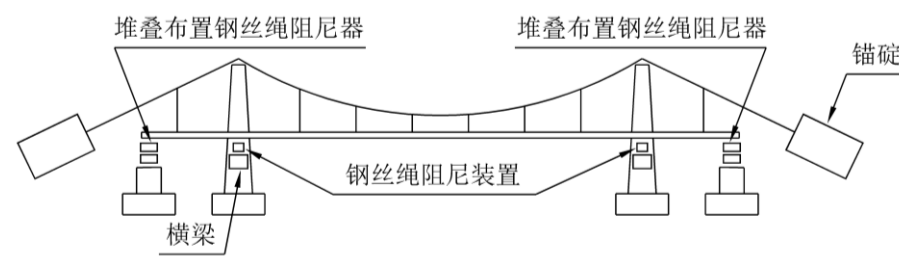


图 5.3.10 钢丝绳阻尼装置堆叠布设示意

条文说明：

对长大跨结构，距离温度 0 点较远的墩台上布置的钢丝绳阻尼装置需要具备较大的最大工作位移，为了满足位移需求，这些墩台上钢丝绳阻尼装置可以考虑堆叠布置。

5.3.11 对大跨桥梁结构，当部分墩梁或塔梁之间布置钢丝绳阻尼装置能够满足结构减震需求时，其它部分墩梁或台梁之间可不布设钢丝绳阻尼装置，如图 5.3.11 所示。

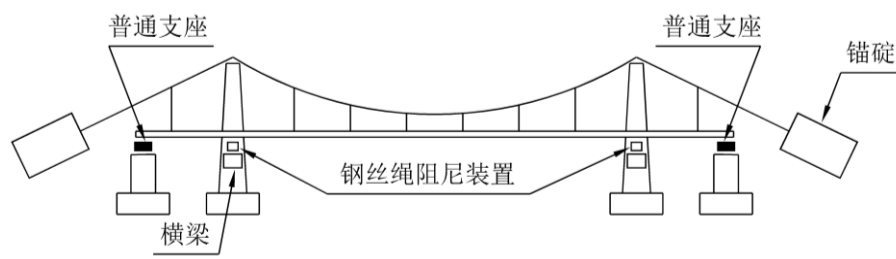


图 5.3.11 部分墩梁或塔梁之间布设钢丝绳阻尼装置

条文说明：

对长大跨结构，距离温度 0 点较远的墩台上布置的钢丝绳阻尼装置需要具备较大的最大工作位移，当满足该条件比较困难，但中间墩(塔)上布置的钢丝绳阻尼装置能够满足结构抗震需要，则这些墩台可以考虑放弃布置钢丝绳阻尼装置，而布置普通支座。

5.3.12 桥梁结构中布设钢丝绳阻尼装置，其最大工作位移不宜大于该处位移需求的 120%。

条文说明：

在地震荷载来临之前，在其它荷载特别是温度荷载作用下，距离温度 0 点不同位置的钢丝绳阻尼装置已经产生了不同的初始位移，在地震作用下，钢丝绳阻尼装置最理想的状态是基本都同时达到各自最大工作位移，同时发挥最大减震作用，如果某桥墩上钢丝绳阻尼装置最大工作位移富余过多，可能导致其他钢丝绳阻尼装置已开始刚度硬化，而该钢丝绳阻尼装置才刚开始屈服，这样会导致地震水平力分配不均，每个桥墩受力不均衡。

5.3.13 在除地震作用以外所有不利组合工况下，一联桥梁中钢丝绳阻尼装置水平抗力之和满足式(5.3.13)时，该联桥梁中可不布置固定支座。

$$\begin{cases} V \geq 1.2S_d \\ V = \sum_{i=1}^m V_i \end{cases} \quad (5.3.13)$$

式中：V—位移不大于 0.5 倍最大工作位移，一联桥梁中所有钢丝绳阻尼装置产生的水平抗力之和；

S_d —水平方向作用基本组合的效应设计值，其中可变荷载包含汽车荷载、风力、离心力、温度力等荷载，可按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2015 第 4.1.5 条的规定计算；

V_i —第 i 个钢丝绳阻尼装置产生水平剪切位移后受到的剪力；

m —一联桥梁中钢丝绳阻尼装置的个数。

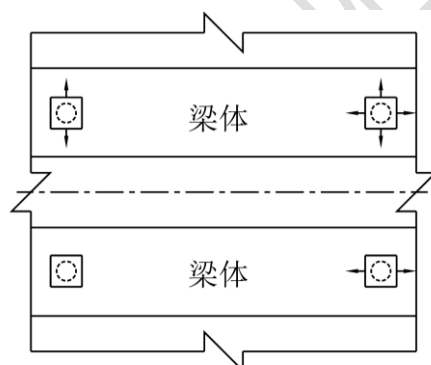
条文说明：

大量试验资料表明，大约 0.5 倍最大工作位移附近是钢丝绳阻尼装置刚度分界点，超过该位移，刚度进入硬化阶段，上部结构能维持平衡。

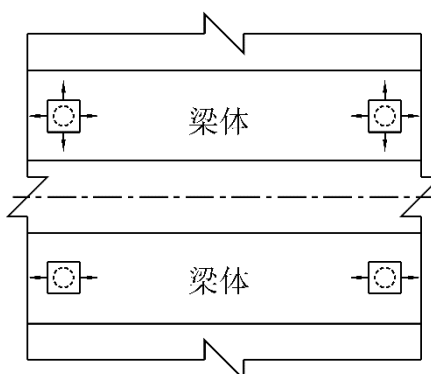
5.3.14 一联桥梁中钢丝绳阻尼装置在顺桥向宜对称布设，在横桥向既要满足结构受力需要，又要满足位移需求，小跨径简支梁和连续梁桥平面布置如图 5.3.14 所示。

图例：□表示固定性阻尼支座(GD)；□表示单向滑动阻尼支座(DX)；

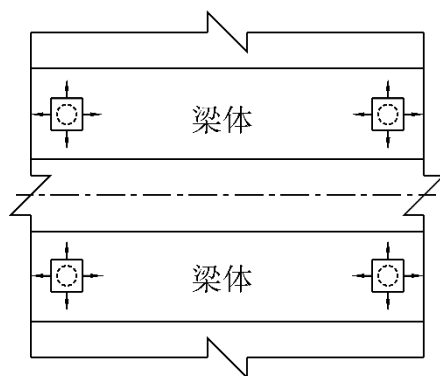
□表示双向或多向滑动阻尼支座(SX 或 HD)；□表示无阻尼多向滑动支座。



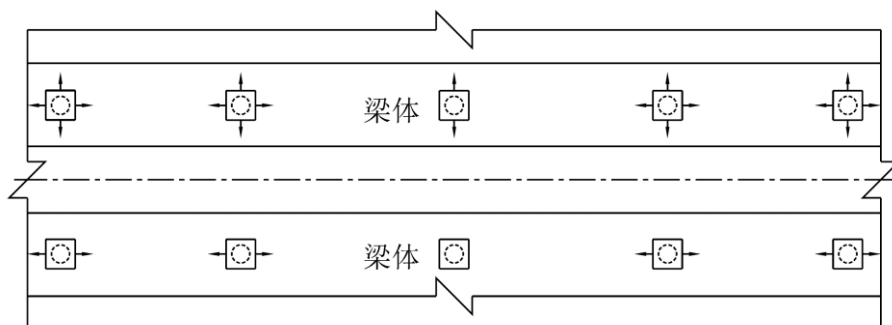
a) 有固定支座，顺桥向、横桥向位移均向一边发展



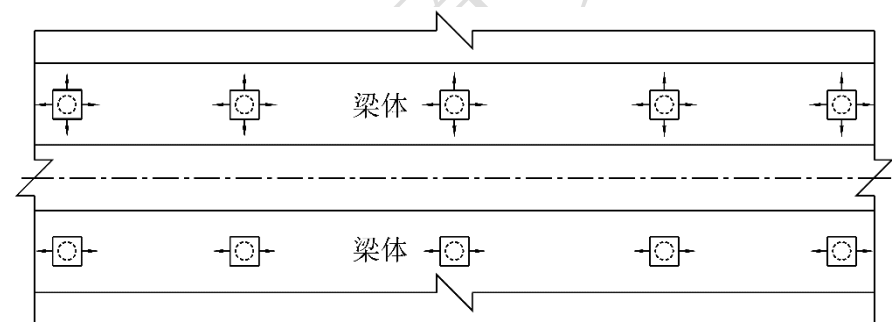
b) 横向限位，顺桥向依靠钢丝绳阻尼装置水平刚度维持平衡



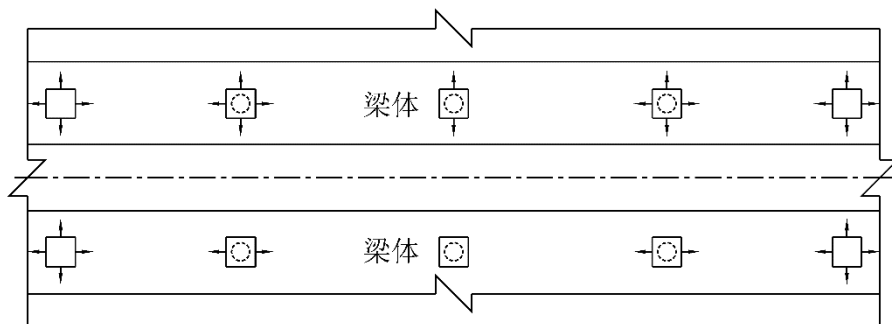
c) 无限位，顺桥向和横桥向都依靠钢丝绳阻尼装置水平刚度维持平衡



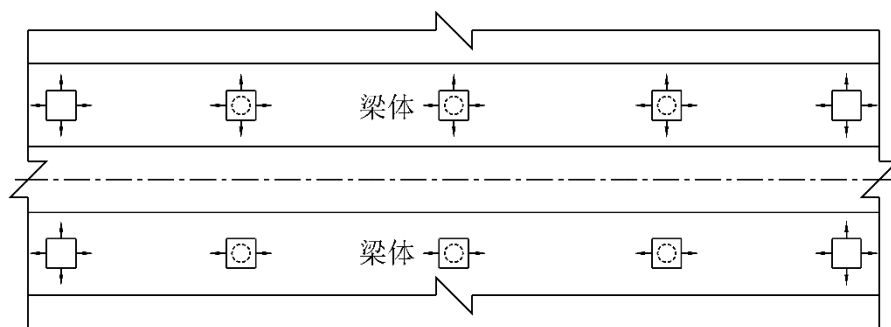
d) 有固定支座，中间墩约束了顺桥向位移，一侧支座的横桥向位移均被约束



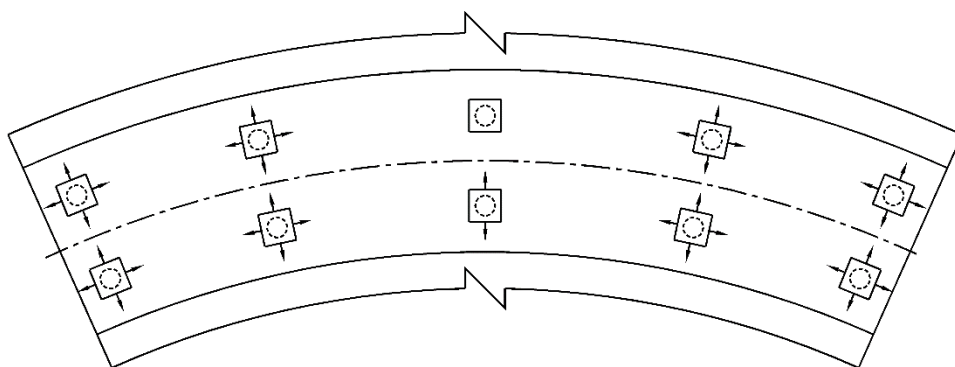
e) 一侧支座的横桥向位移均被约束，顺桥向依靠钢丝绳阻尼装置水平刚度维持平衡



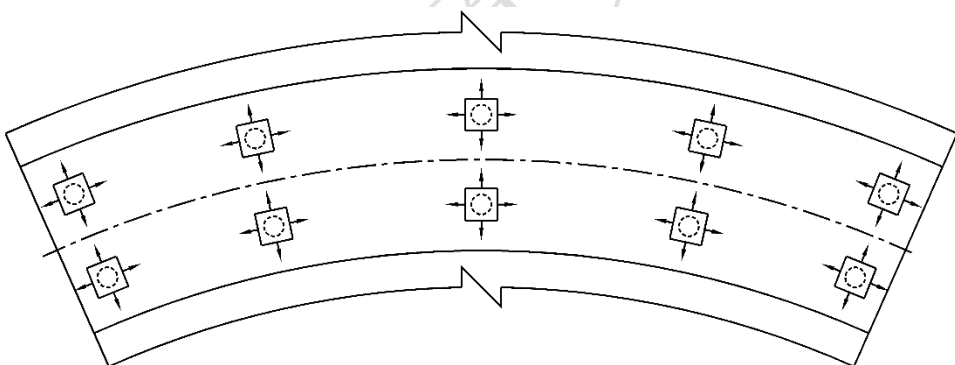
f) 有固定支座，距离温度位移 0 点的远端无钢丝绳阻尼器



g) 横向限位，距离温度位移 0 点的远端无钢丝绳阻尼器



h) 曲线梁，固定墩有约束，水平力依靠固定墩和各墩阻尼装置承担



i) 曲线梁，水平力依靠各墩阻尼装置承担

图 5.3.14 钢丝绳阻尼装置平面布置

条文说明：

无论何种结构形式桥梁，钢丝绳阻尼装置的布置方式要满足两种功能：

- 1 桥梁使用功能。在各种力系作用下，桥梁结构要满足规定的强度和刚度要求；
- 2 结构消能减震功能。在满足使用功能前提下，合理布置钢丝绳阻尼器，尽量减小结构地震响应。

5.4 钢丝绳阻尼减震桥梁地震反应分析

5.4.1 一般情况下,除特别规定外,钢丝绳阻尼减震桥梁地震反应分析涉及的计算方法、模型和参数等要求,应按《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01-2008 的相关规定确定。

5.4.2 对地震响应进行线性简化分析时,钢丝绳阻尼装置的力学特性参数可采用钢丝绳几何变形工作阶段内的等效刚度和等效阻尼比进行线性化处理。

条文说明:

反应谱法和线弹性时程分析法都是线性分析法,只有全部结构构件符合线性物理力学特性才能采用,用几何变形工作阶段内的等效刚度和等效阻尼比模拟钢丝绳阻尼装置的力学特性,虽存在一定误差,但仍是估算或是初设节段结构地震反应分析较重要的方法。

5.4.3 设置钢丝绳阻尼装置的桥梁当满足下列条件时,可采用反应谱法简化分析。

- 1 各墩的高度和水平刚度相近的直线桥梁;
- 2 在 E1、E2 地震作用下,除钢丝绳阻尼装置外,桥墩和梁呈线性反应。

条文说明:

反应谱法是线弹性分析方法,方法简洁,在一定条件下,使用反应谱法进行减隔震桥梁的分析仍可得到较理想的计算结果,尤其在初步设计阶段,可帮助设计人员迅速把握结构的动力特性和响应值,因此,该方法仍是减隔震桥梁分析中十分重要的分析方法。但需要强调的是,反应谱法主要适用于桥型规则的减震桥梁,即采用减震设计后,桥梁响应基本由减震振型控制的桥梁。

5.4.4 本规程推荐采用动力时程分析方法计算结构地震响应,反应谱分析方法只能在方案和初步设计阶段采用。

条文说明:

动力时程分析法可以精细地考虑桩土相互作用、地震动的空间变化的影响、结构的各种非线性因素(包括几何、材料、边界连接条件非线性)以及分块阻尼等问题,相对来说,结构动力响应计算结果较为精确。

5.4.5 采用多振型反应谱法计算钢丝绳阻尼减震桥梁地震响应时,基本振型阻尼比 ξ_1 取 15%~20%,其它振型阻尼比依桥型和结构材料不同取相同值:

- 1 混凝土梁桥、拱桥的阻尼比不宜大于 0.05,钢结构的梁桥和拱桥不宜大于 0.02;
- 2 斜拉桥的阻尼比不宜大于 0.03;

3 悬索桥的阻尼比不宜大于 0.02。

条文说明：

钢丝绳阻尼减震桥梁的反应谱分析同普通桥梁的反应谱分析过程是不同的，具体体现在：

- 1 由于钢丝绳阻尼装置的非线性特性，必须借助于等效线性化模型才能进行分析；
- 2 借助于等效线性化模型进行分析，但因分析之前无法确定钢丝绳阻尼装置在地震作用下的位移值，而其等效线性化模型中的等效刚度、等效阻尼比参数均依赖于该位移值，所以整个分析过程是一个迭代过程；
- 3 普通桥梁的反应谱分析一般根据桥型、结构体系、材料等均假设结构各振型阻尼比为一定值，约 2%~5%，但对于钢丝绳阻尼减震桥梁，由于整个体系耗能能力不再均匀分布，钢丝绳阻尼装置处的消能能力大，而由其它构件消能能力相对比较少，因此，减震桥梁各振型阻尼比是不相同的，基本振型（有时称为基本周期）的阻尼比一般比较大，约 15%~20%，有时甚至更高，这就要求在反应谱分析过程中一方面要考虑不同振型模态采用不同的阻尼比，另一方面需考虑不同阻尼比对反应谱值的修正。正是由于这些特点，使得钢丝绳阻尼减震桥梁结构的反应谱分析方法比普通桥梁的反应谱分析过程复杂。

除基本振型阻尼比外，本规程规定其它振型阻尼比取定值。

5.4.6 采用反应谱法计算钢丝绳阻尼减震桥梁地震响应时，可按下述步骤进行：

- 1 初步拟定钢丝绳阻尼装置的等效刚度 K_{eq} (或 K_s) 和最大工作位移 u_c (或 u_s)，建立全桥线弹性有限元分析模型，对全桥结构作静力计算，得到钢丝绳阻尼装置正常使用情况下永久作用和温度作用的位移；
- 2 判断永久作用和温度作用效应的位移之和 Δ_d 是否为最大工作位移 u_c (或 u_s) 的 40%~60%？若是，进行第 3 步；否则，返回第 1 步，直至满足该位移条件；
- 3 将满足位移条件的钢丝绳阻尼装置等效刚度 K_{eq} (K_s) 和等效阻尼比 ξ_{eq} (或 ξ_s) 作为初始条件，对全桥结构作动力特性分析，得到各阶振型频率和振型阻尼比，所取的振型阶数在计算方向给出有效振型参与质量不应低于该方向结构总质量的 90%；
- 4 根据各阶振型阻尼比修正反应谱值，计算全桥结构地震响应，并得到钢丝绳阻尼装置在地震作用下的位移；
- 5 计算钢丝绳阻尼装置在永久作用、温度作用和地震作用工况下的总位移 Δ ，要求 $\Delta=(0.8\sim1.0)u_c$ (或 u_s)；

6 若第 5 步不满足要求，再次拟定钢丝绳阻尼装置参数，返回第 1 步重新计算，直至等式成立；

7 若第 5 步满足要求，计算结构在永久作用、温度作用和地震作用下的不利组合，对全桥结构进行验算；

8 若第 7 步不满足验算要求，修改相关构件设计，返回第 1 步重新计算，直至满足设计要求。

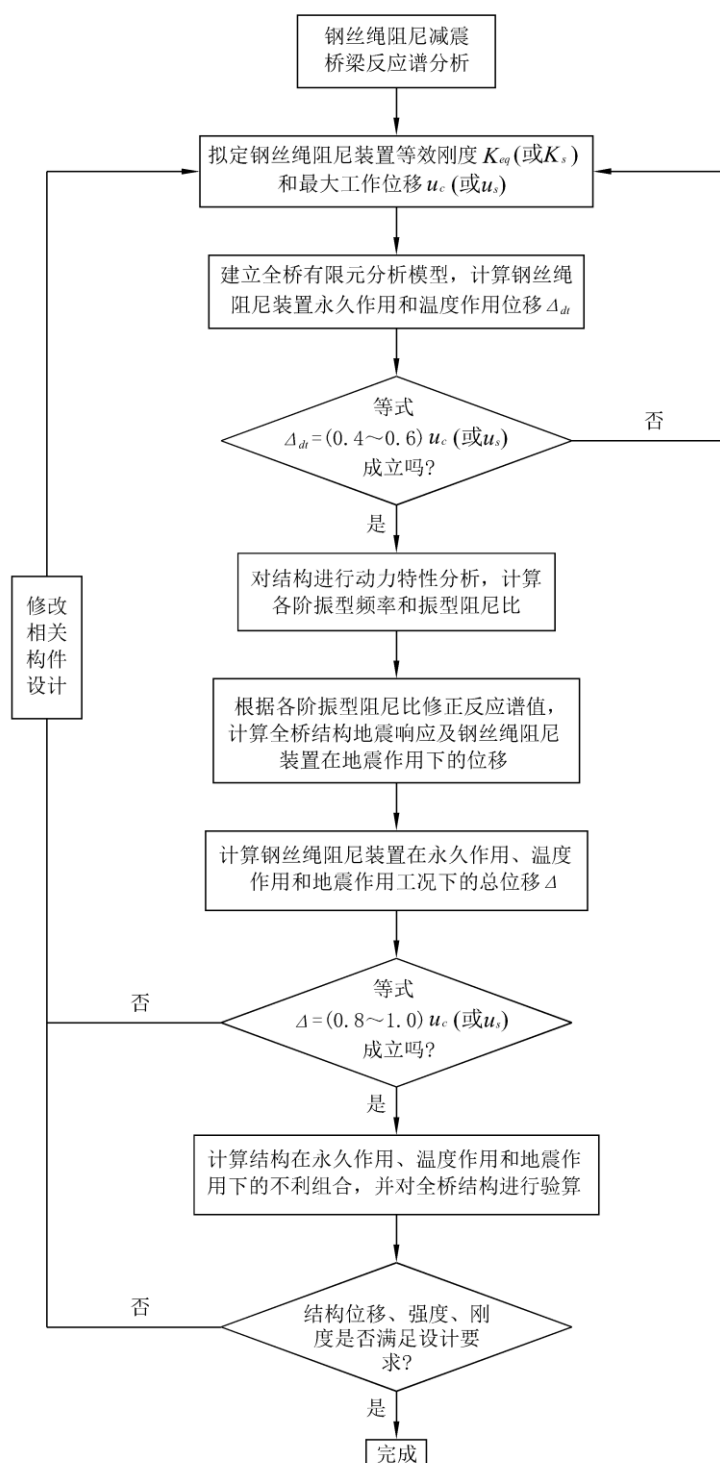


图 5.4.6 钢丝绳阻尼减震桥梁反应谱法分析流程图

5.5 钢丝绳阻尼减震桥梁抗震验算

5.5.1 钢丝绳阻尼减震桥梁抗震验算包括钢丝绳阻尼装置抗震验算和除钢丝绳阻尼装置以外的桥梁其它结构构件验算和地基承载力验算。

5.5.2 A、B 类桥梁结构验算的内力设计值取用永久作用、温度作用及 E2 地震作用不利组合的计算结果。

5.5.3 C 类桥梁结构要分别进行 E1 和 E2 地震作用不利组合下的强度验算，其内力设计值取用永久作用、温度作用及 E1 地震作用或者是 E2 地震作用不利组合的计算结果。

5.5.4 D 类桥梁结构验算的内力设计值取用永久作用、温度作用及 E1 地震作用不利组合的计算结果。

5.5.5 桥墩、桥台、桥塔、基础、主拱及立柱等构件在 E1 或 E2 地震作用不利组合工况下，处于弹性工作状态，按照现行公路桥涵设计规范相关规定验算承载能力。

5.5.6 A、B 类桥梁上部结构在 E2 地震作用及 C、D 类桥梁上部结构在 E1 地震作用不利组合工况下，不出现结构损伤，按照现行公路桥涵设计规范相关规定验算截面强度和刚度。

5.5.7 C 类桥梁上部结构在 E2 地震作用不利组合工况下，主要承重构件不出现结构损伤，按照现行公路桥涵设计规范相关规定验算截面强度和刚度。

5.5.8 A、B、C 类桥梁在 E2 地震作用及 D 类桥梁在 E1 地震作用不利组合工况下，阻尼装置中的钢丝绳处于几何变形工作阶段，即墩顶与梁部相对位移值不超过钢丝绳阻尼装置最大工作位移，满足式(5.5.8-1)的要求；同时钢丝绳阻尼装置受到的剪力不超过阻尼力，满足式(5.5.8-2)的要求。

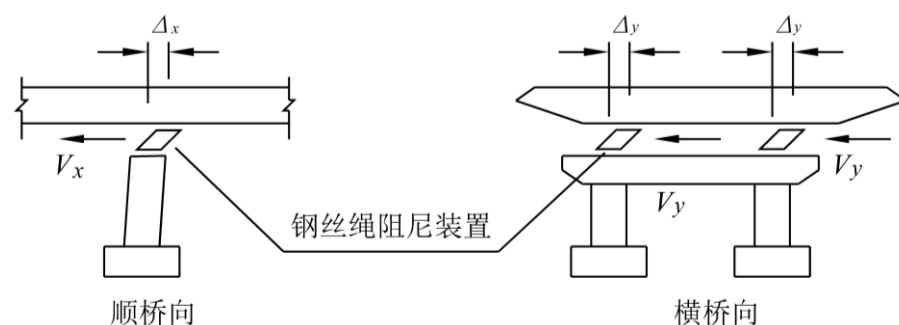


图 5.5.8 钢丝绳阻尼装置位移示意

$$\begin{cases} \Delta_x \leq u_c (\text{或} u_s) \\ \Delta_y \leq u_c (\text{或} u_s) \end{cases} \quad (5.5.8-1)$$

式中： Δ_x —钢丝绳阻尼减震桥梁在设防水准地震作用不利组合工况下，墩台顶与梁部顺桥向相对位移；

Δ_y —钢丝绳阻尼减震桥梁在设防水准地震作用不利组合工况下，墩台顶与梁部横桥向相对位移；

u_c —钢丝绳阻尼支座最大工作位移；

u_s —钢丝绳阻尼器最大工作位移。

$$\begin{cases} V_x \leq Q_c (\text{或} Q_s) \\ V_y \leq Q_c (\text{或} Q_s) \end{cases} \quad (5.5.8-2)$$

式中： V_x —在设防水准地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置顺桥向受到的剪力；

V_y —在设防水准地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置横桥向受到的剪力；

Q_c —钢丝绳阻尼支座阻尼力；

Q_s —钢丝绳阻尼器阻尼力。

条文说明：

钢丝绳阻尼装置正常工作状态：一是荷载作用下位移不能超过最大工作位移；二是在外荷载作用下产生的剪切力不能超过阻尼力。

5.5.9 钢丝绳阻尼减震桥梁在桥台处伸缩缝宽度应满足式(5.5.9)的要求。

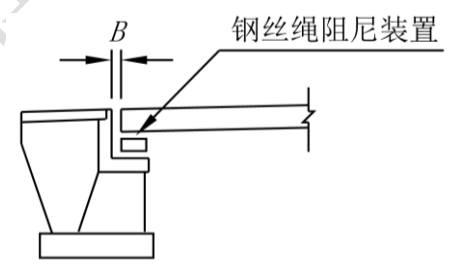


图 5.5.9 桥台处伸缩缝示意

$$B \geq u_c (\text{或} u_s) \quad (5.5.9)$$

式中： B —钢丝绳阻尼减震桥梁桥台处伸缩缝宽度。

条文说明：

本条规定是防止梁部与桥台背墙产生碰撞。

5.5.10 相邻两联钢丝绳阻尼减震桥梁共用墩处伸缩缝宽度应满足式(5.5.10)的要求。

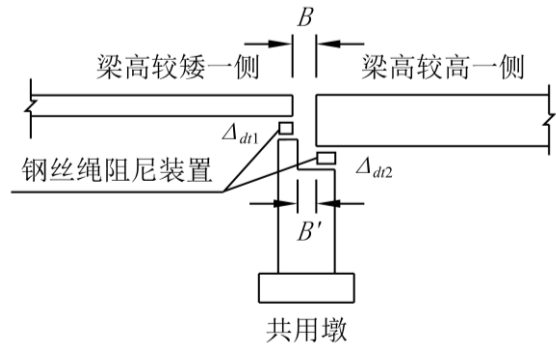


图 5.5.10 共用墩处伸缩缝示意

$$\begin{cases} B \geq \Delta_{dt1} + \Delta_{dt2} + \Delta_e \\ B' \geq u_{c2} (\text{或} u_{s2}) \end{cases} \quad (5.5.10)$$

式中： B —相邻两联钢丝绳阻尼减震桥梁共用墩处伸缩缝宽度；

B' —梁体较高一侧的梁端距离墩顶背墙的宽度；

Δ_{dt1} —在永久作用、温度作用不利组合工况下，梁高较矮一侧钢丝绳阻尼减震桥梁在共用墩处相对墩顶的位移；

Δ_{dt2} —在永久作用、温度作用不利组合工况下，梁高较高一侧钢丝绳阻尼减震桥梁在共用墩处相对墩顶的位移；

Δ_e —在设防水准地震作用下、相邻两联钢丝绳阻尼减震桥梁在共用墩处的梁端相对位移；

u_{c2} —梁高较高一侧的钢丝绳阻尼减震桥梁在共用墩处阻尼支座的最大工作位移；

u_{s2} —梁高较高一侧的钢丝绳阻尼减震桥梁在共用墩处阻尼器的最大工作位移。

条文说明：

本条规定是防止梁部在共用墩处产生碰撞及较高一侧的梁部与桥墩背墙相碰撞。

5.5.11 钢丝绳阻尼装置锚固螺栓应按下列规定分别进行在设防水准和超设防水准地震作用不利组合工况下的承载力验算。

1 受剪承载力按式(5.5.11-1)计算、按式(5.5.11-2)、式(5.5.11-3)进行验算：

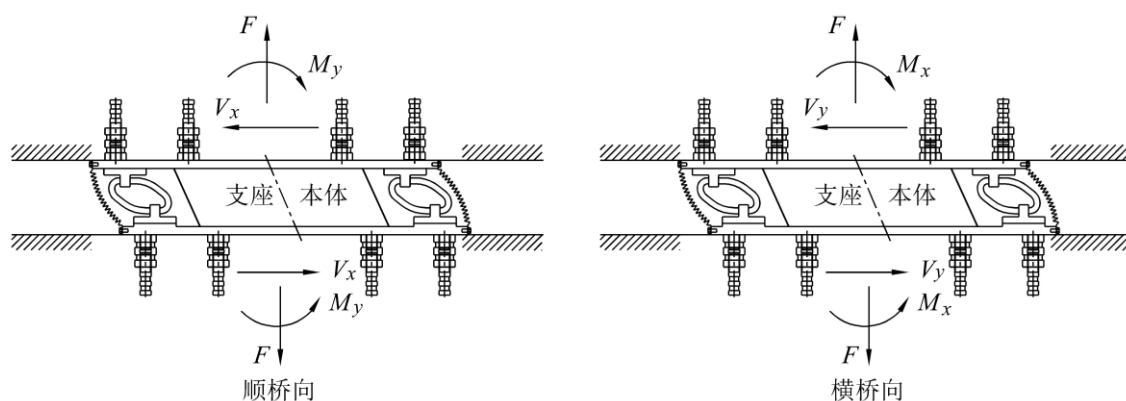


图 5.5.11-1 钢丝绳阻尼装置锚固螺栓受力示意图

$$N_v = \frac{1}{n} \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (5.5.11-1)$$

$$N_v \leq \frac{\pi d^2}{4} f_{vd}^b \quad (5.5.11-2)$$

$$N_v \leq 0.9 \mu P_d \quad (5.5.11-3)$$

式中： N_v —单个锚固螺栓承受的剪力，普通螺栓按式(5.5.11-2)验算，摩擦型连接高强螺栓按式(5.5.11-3)验算；

n —锚固螺栓个数。

V_x —在设防水准即在永久作用、温度作用和地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置顺桥向受到的剪力；在超设防水准即在永久作用、温度作用和 1.2 倍地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置顺桥向受到的剪力；

V_y —在设防水准即在永久作用、温度作用和地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置横桥向受到的剪力；在超设防水准即在永久作用、温度作用和 1.2 倍地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置横桥向受到的剪力；

d —锚固螺栓杆直径；

f_{vd}^b —锚固螺栓抗剪强度设计值；

P_d —一个高强螺栓的预拉力；

μ —摩擦面抗滑移系数，除另有试验值外， μ 值按表 5.5.11 取值。

表 5.5.11 摩擦面的抗滑移系数

在连接处构件接触面的分类	μ
没有浮锈且经喷丸处理或喷铝的表面	0.45

涂抗滑型无机富锌漆的表面	0.45
没有轧钢氧化皮和浮锈的表面	0.45
喷锌的表面	0.40
涂硅酸锌漆的表面	0.35
仅涂防锈底漆的表面	0.25

2 受剪螺栓承压承载力按式(5.5.11-4)验算:

$$N_v \leq d t f_{cd}^b \quad (5.5.11-4)$$

式中: t —支座板在锚固螺栓处的厚度;

f_{cd}^b —锚固螺栓承压强度设计值。

3 受拉承载力按式(5.5.11-5)计算、按式(5.5.11-6)和式(5.5.11-7)验算:

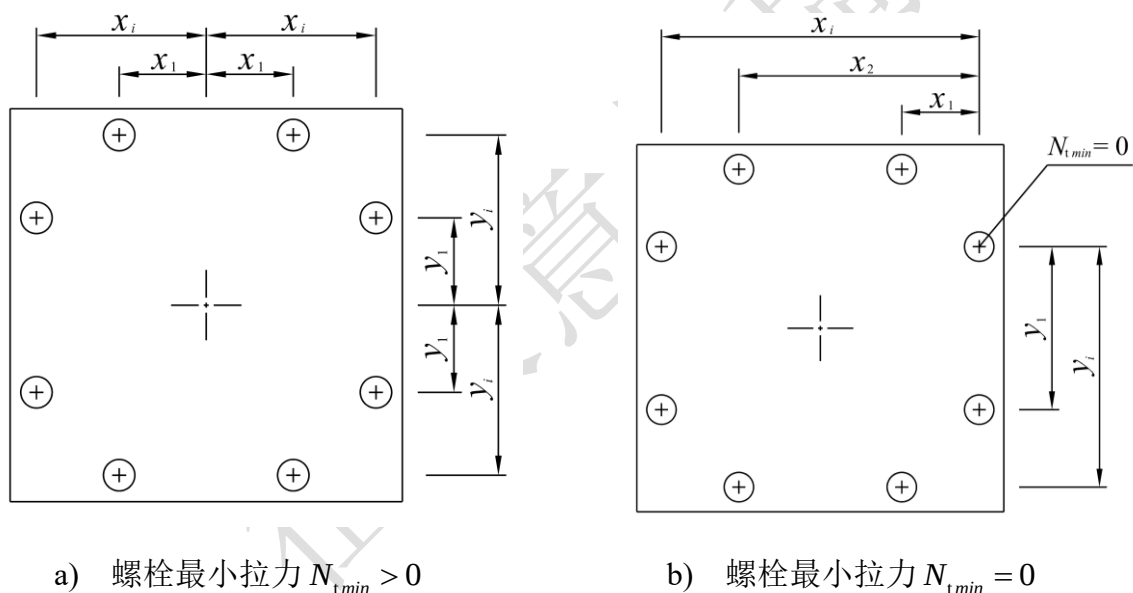


图 5.5.11-2 锚固螺栓平面坐标示意图

$$N_{ti} = \frac{F}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x_i^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y_i^2} \quad (5.5.11-5)$$

$$N_{tmax} \leq \frac{\pi d_e^2}{4} f_{td}^b \quad (5.5.11-6)$$

$$N_{tmax} \leq 0.8 P_d \quad (5.5.11-7)$$

式中: N_{ti} —单个锚固螺栓承担的轴向拉力,通过式(5.5.11-5)计算; N_{tmin} 指拉力中的最小值,值大于 0; N_{tmax} 指拉力中的最大值,普通螺栓按式(5.5.11-6)验算,摩擦型连接高强螺栓按式(5.5.11-7)验算;

F —仅考虑钢丝绳阻尼装置受拉的不利情形，在设防水准即在永久作用、温度作用和地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置受到的竖向拉力；在超设防水准即在永久作用、温度作用和 1.2 倍地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置受到的竖向拉力；

M_x —在设防水准即在永久作用、温度作用和地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置受到的绕顺桥向轴的弯矩；在超设防水准即在永久作用、温度作用和 1.2 倍地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置受到的绕顺桥向轴的弯矩；

M_y —在设防水准即在永久作用、温度作用和地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置受到的绕横桥向轴的弯矩；在超设防水准即在永久作用、温度作用和 1.2 倍地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼装置受到的绕横桥向轴的弯矩；

x_i —在顺桥向，单个锚固螺栓到矩心的距离，先按图 5.5.11-2 中 a)图确定 x_i 的值，当计算的 N_{tmin} 不满足 $N_{tmin} > 0$ 的条件时，则矩心偏移，按图 5.5.11-2 中 b)图确定 x_i 的值；

y_i —在横桥向，单个锚固螺栓到矩心的距离，先按图 5.5.11-2 中 a)图确定 y_i 的值，当计算的 N_{tmin} 不满足 $N_{tmin} > 0$ 的条件时，则矩心偏移，按图 5.5.11-2 中 b)图确定 y_i 的值；

d_e —锚固螺栓在螺纹处的有效直径；

f_{td}^b —锚固螺栓抗拉强度设计值。

4 同时承受剪力和杆轴方向拉力的锚固螺栓，普通螺栓应满足式(5.5.11-8)和式(5.5.11-9)的要求；高强螺栓应满足式(5.5.11-10)的要求。

$$\gamma_0 \sqrt{\left(\frac{4N_v}{\pi d^2 f_{vd}^b} \right)^2 + \left(\frac{4N_{tmax}}{\pi d_e^2 f_{td}^b} \right)^2} \leq 1 \quad (5.5.11-8)$$

$$\gamma_0 N_v \leq d t f_{cd}^b \quad (5.5.11-9)$$

$$\gamma_0 \left(\frac{N_v}{0.9 \mu P_d} + \frac{N_{tmax}}{0.8 P_d} \right) \leq 1 \quad (5.5.11-10)$$

式中： γ_0 —结构重要性系数，按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)确定。

条文说明：

由于钢丝绳阻尼装置在受压情况下，压力直接传递给墩台或梁部，锚固螺栓基本不受压力作用，所以锚固螺栓只可能存在受剪、承压、受拉破坏或者剪力和拉力联合作用

下的破坏。本条规定是在设防水准即在永久作用、温度作用和地震作用不利组合工况下及在超设防水准即在永久作用、温度作用和 1.2 倍地震作用不利组合工况下对钢丝绳阻尼装置锚固螺栓进行强度验算。

5.5.12 在超设防水准即在永久作用、温度作用和 1.2 倍地震作用不利组合工况下，钢丝绳阻尼减震桥梁的桥墩按延性构件设计，按《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01)第 7 章进行强度和变形验算。

5.5.13 设置钢丝绳阻尼装置的桥墩或桥台局部承压构件，按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)第 5.7 节进行验算。

征求意见稿

6 钢丝绳阻尼装置安装和维护

6.1 一般规定

6.1.1 钢丝绳阻尼装置是减震桥梁结构重要部件，应包含进场检验、施工、工程验收和维护等工序。

条文说明：

本规程关于采用钢丝绳阻尼装置减震的桥梁施工、验收和维护的条文规定，是针对国内外消能减震技术工程应用中发展较为成熟的消能部件，结合混凝土结构、钢结构等类型的新建桥梁、加固改造桥梁，总结消能减震结构施工、验收和维护方面工程实践经验的基础上而编制的。

6.1.2 钢丝绳阻尼装置起吊后，应在温差适中时架梁或合拢现浇混凝土梁，以减小温度荷载引起的内力和变形。

条文说明：

钢丝绳阻尼装置是位移型阻尼装置，温度荷载是钢丝绳阻尼装置产生位移的重要荷载之一，所以施工至成桥状态时，尽量避免温差对结构产生初始内力和变形。

6.1.3 本规程中的钢丝绳阻尼装置采用套筒锚杆和锚固螺栓与主梁及墩、台连接。

条文说明：

采用套筒锚杆和锚固螺栓的联结方式，一是方便定位；二是便于钢丝绳阻尼装置更换。

6.1.4 对大吨位、施工条件不利的钢丝绳阻尼装置施工应编制施工组织设计，制定施工技术方案。

条文说明：

大吨位、施工条件不利的钢丝绳阻尼装置施工难度较大，从施工安全、施工质量的角度出发，应编制施工组织设计，充分做好各种预案。

6.2 钢丝绳阻尼装置进场验收

6.2.1 钢丝绳阻尼装置进场验收应提供下列资料：

- 1 钢丝绳阻尼装置供货企业的技术资质证明；

2 钢丝绳阻尼装置出厂合格证书;

3 钢丝绳阻尼装置说明书, 包含产品类别、规格、尺寸、性能参数、使用条件、安装方法、维护注意事项等内容;

4 钢丝绳阻尼装置产品性能出厂检验报告。

条文说明:

钢丝绳阻尼装置进场验收是所有工程质量验收环节中的重要一环, 施工单位应在监理的监督下进行, 并做好验收记录。对缺少资料的阻尼装置应不予验收。

6.2.2 钢丝绳阻尼装置在开箱检查时以及直至安装前均不得随意拆卸其上的固定件。

6.2.3 安装钢丝绳阻尼装置所用的钢材、焊接材料、锚固件、涂装材料及防尘罩等, 应具有质量合格证书。

条文说明:

安装钢丝绳阻尼装置的钢材、焊接材料、锚固件、涂装材料及防尘罩等, 对钢丝绳阻尼装置的安装质量、后期维护、甚至使用耐久性有重要意义。为此, 产品在进场时各类材料应具有质量合格证。这些材料的品种、规格和性能指标应符合有关现行行业标准的规定。

6.2.4 验收合格的钢丝绳阻尼装置应存放在干燥通风的库房内, 并不得直接置于地面, 应垫高堆放整齐, 保持清洁; 钢丝绳阻尼装置不得与酸、碱、油类和有机溶剂等相接触, 且距离热源至少 1m 以上。

6.3 钢丝绳阻尼装置施工安装

6.3.1 钢丝绳阻尼装置在安装之前, 应做好下列准备工作:

- 1 按照钢丝绳阻尼装置制造单位提供的说明书要求, 核查安装方法和步骤;
- 2 检查和核对钢丝绳阻尼装置安装的墩台位置与规格是否相符;
- 3 检查钢丝绳阻尼装置出厂的连接状况是否正常, 不得任意松动连接装置;
- 4 检查钢丝绳阻尼装置的标识和安装方向, 杜绝安装方向错误;

5 使用钢丝绳阻尼装置需要在支承垫石顶和梁底安装预埋钢板(或调平钢板), 预埋钢板(或调平钢板)的尺寸每边应对应钢丝绳阻尼装置连接钢板(或支座钢板)尺寸大 50~100mm, 且不小于连接钢板(或支座钢板)厚度的 2 倍, 预埋钢板(或调平钢板)的厚度与连接钢板(或支座钢板)相同。预埋钢板(或调平钢板)的表面需做喷漆或镀锌处理, 若采用喷漆工艺, 需选用环氧富锌底漆, 漆膜厚度不得小于 50um;

6 钢丝绳阻尼装置所用套筒和锚杆表面需做发黑(蓝)或镀锌处理，螺纹孔安装前涂抹黄油；

7 预留钢丝绳阻尼装置锚固螺栓安装孔。在墩台帽施工即将到设计标高和浇筑支承垫石混凝土之前，应对照钢丝绳阻尼装置安装图，预留锚固螺栓安装孔，孔径和深度应满足图 6.3.1-1 所示要求，上端套筒对应位置处安装孔直径不小于 $\Phi A+70\text{mm}$ ，孔底直径不小于 $\Phi A+100\text{mm}$ (ΦA 为套筒外边缘直径)，锚杆底端距孔底不小于 25mm，孔中心的位置偏差不得超过 10mm；

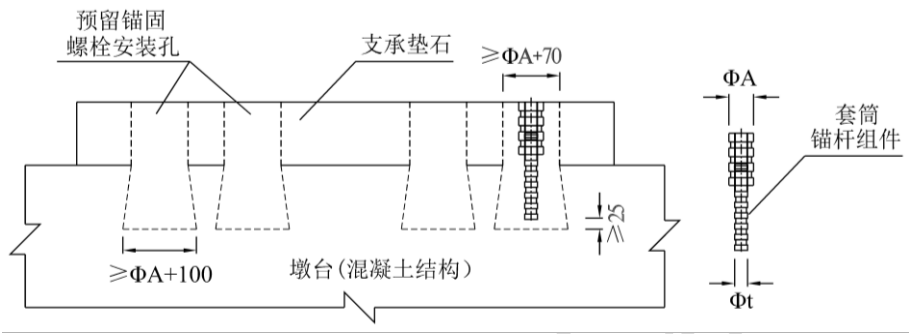
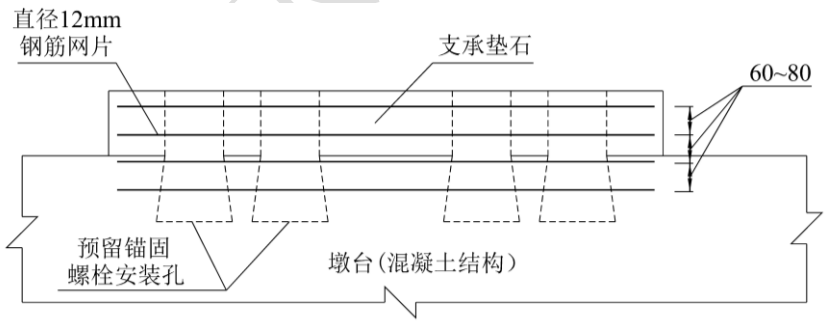
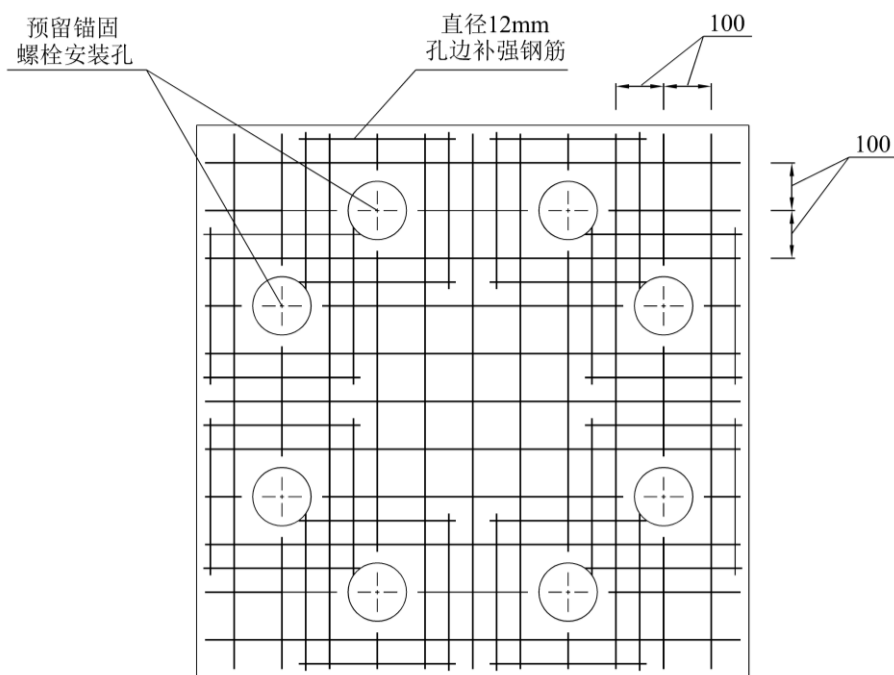


图 6.3.1-1 锚固螺栓安装孔尺寸示意图(单位：mm)

8 钢筋网片布置。在钢丝绳阻尼装置支承垫石及墩台局部承压混凝土中增设至少 4 层网片钢筋，布筋范围须大于支座底钢板平面尺寸，网片钢筋采用 12mm 螺纹钢筋，网孔尺寸为 100mm×100mm，网片间距为 60mm~80mm，预留锚固螺栓安装孔处的网片钢筋断开，在孔边增设相同直径的补强钢筋。



a) 钢筋网片布置立面



b) 钢筋网片布置平面

图 6.3.1-2 钢筋网片布置示意图

9 支承垫石尺寸检查。支承垫石平面尺寸应按局部承压计算确定，垫石长度、宽度每边至少比下预埋钢板大 200mm，支承垫石边缘距离墩台边缘至少 100mm，支承垫石高不宜小于 100mm，也不宜超过 200mm。当难以满足上述尺寸要求时，应采取特殊加固措施，以防止垫石及墩台混凝土产生劈裂破坏；

10 钢丝绳阻尼装置局部承压区域采用最大粒径不大于 20mm 且强度不低于 C50 的小石子混凝土浇筑，并振捣密实；

11 灌浆材料准备。钢丝绳阻尼装置安装时所采用的灌浆材料为无收缩环氧树脂砂浆，其性能应满足表 6.3.1 的要求；

表 6.3.1 灌浆无收缩环氧树脂砂浆性能要求

项目	技术指标		项目	技术指标
抗压强度 (MPa)	8h	≥ 20	流动性	$\geq 220\text{mm}$
	12h	≥ 25	施工温度范围	$+5 \sim +35^{\circ}\text{C}$
	24h	≥ 40	初凝时间	$\geq 30\text{min}$
	28d	≥ 50	终凝时间	$\leq 3\text{h}$
	56d 和 90d	强度不降低	收缩率	$< 2\%$
泌水性	不泌水		膨胀率	$\geq 0.1\%$

6.3.2 根据钢丝绳阻尼装置与墩台连接安装时的灌浆工艺,分为三种方法:重力灌浆法、压力灌浆法和预装钢板法。

1 重力灌浆法

a) 凿毛支承垫石上表面,露出粗骨料,呈坚固不规则表面,清除预留锚固螺栓安装孔中的杂物,吸干孔中的积水,并用水将支承垫石表面浸润。(当采用重力灌浆法安装钢丝绳阻尼装置时,施工支承垫石高度应比原设计高度低 25mm);

b) 吊放钢丝绳阻尼装置于支承垫石上,用调平螺栓、薄形钢板或薄形千斤顶调整钢丝绳阻尼装置高度和平整度;

c) 待安装的钢丝绳阻尼装置封模前,在灌浆管一端安装一个漏斗,另一端深入预留锚固螺栓安装孔内,在重力作用下,通过漏斗和灌浆管将无收缩环氧树脂砂浆灌入锚固螺栓安装孔内,如图 6.3.2-1 所示,依次灌满每个孔后,迅速抽出灌浆管;

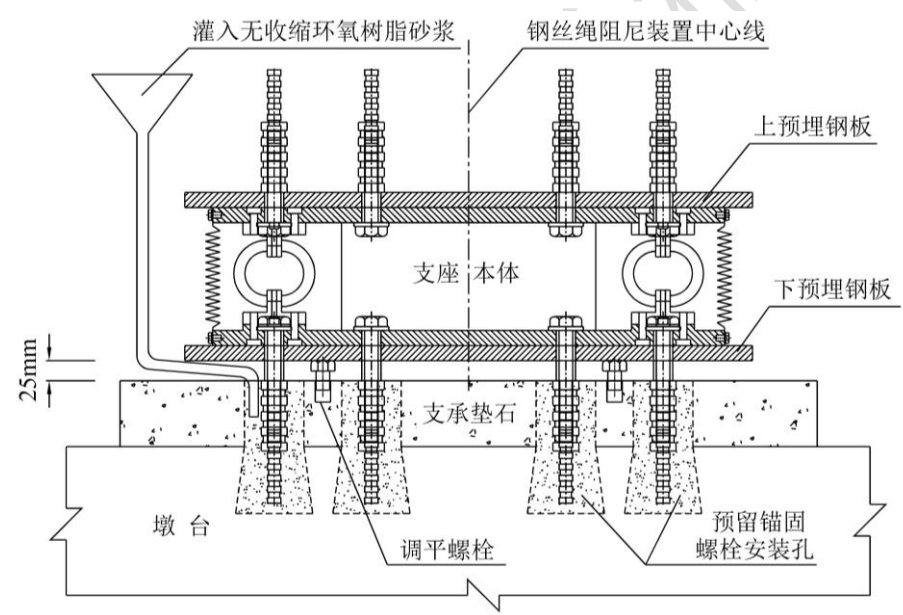


图 6.3.2-1 锚固螺栓安装孔灌浆

d) 封模灌浆:待各预留锚固螺栓安装孔灌浆完成后,立即在钢丝绳阻尼装置四周封好模,将灌浆管伸入至钢丝绳阻尼装置下面中心位置,从中心向四周灌浆。灌浆时用振动棒将砂浆捣实,排除气泡,确保空隙全部被砂浆灌满,如图 6.3.2-2 所示,灌浆至砂浆高出钢丝绳阻尼装置下连接钢板(或下支座钢板)10mm 为宜;

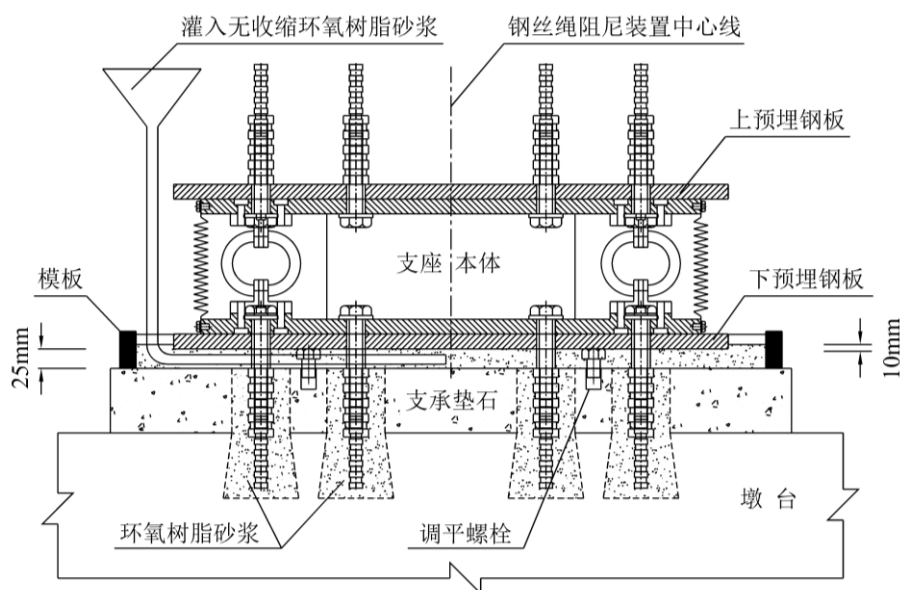


图 6.3.2-2 支承垫石与钢丝绳阻尼装置之间灌浆

e) 灌浆前，应初步计算所需的浆体体积，灌注实用浆体数量不应与计算值产生过大误差，应防止中间缺浆。灌浆材料终凝后，拆除模板及四角钢楔块，检查是否有漏浆处，必要时对漏浆处进行补浆，并用砂浆填堵钢楔块抽出后的空隙；

f) 环氧树脂砂浆强度达到设计要求之前，不可使钢丝绳阻尼装置受到碰撞或在其上方进行任何作业；

g) 拆除临时边模板后应仔细检查无收缩环氧树脂砂浆表面，确保表面无裂纹；

h) 待环氧树脂砂浆达到设计强度后拧紧锚固螺栓，完成钢丝绳阻尼装置下连接钢板(或下支座钢板)的连接安装。

2 压力灌浆法

a) 在支承垫石侧面预先设置通往预留孔内的压浆嘴，如图 6.3.2-3 所示；

b) 检查支承垫石顶面，保证其高程达到设计标高且平整光滑，四角高差不大于 2mm；

c) 清除支承垫石顶面和预留锚固螺栓安装孔内的灰尘和污渍，吸干孔内水分，在支承垫石顶面涂抹一层环氧树脂砂浆；

d) 吊装钢丝绳阻尼装置，仔细检查其位置、标高无误后，再经压浆嘴向预留锚固螺栓安装孔内灌注无收缩环氧树脂砂浆，砂浆应灌满并从顶面漫出以确保压浆密实，待环氧树脂砂浆达到设计强度后拧紧锚固螺栓，完成钢丝绳阻尼装置下连接钢板(或下支座钢板)的连接安装。

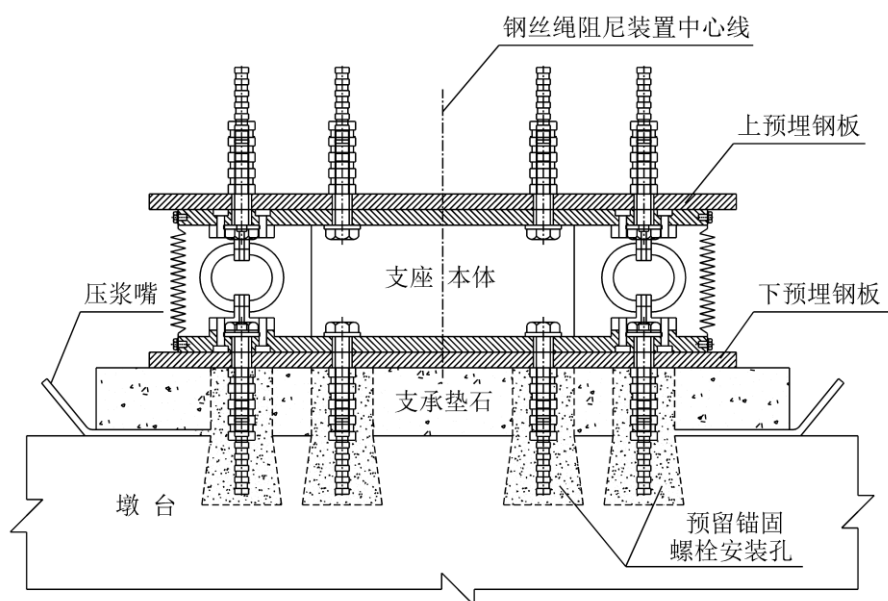


图 6.3.2-3 压力灌浆法示意图

3 预装钢板法(本方法仅限于现浇梁钢丝绳阻尼装置安装)

- 现浇梁若采用预装钢板法安装钢丝绳阻尼装置时，仅在墩台顶面设置预留锚固螺栓安装孔；
- 凿毛墩台顶面，露出粗骨料，呈坚固不规则表面，清除预留孔中的杂物；
- 立支承垫石模板，吊放钢丝绳阻尼装置下预埋钢板于支承垫石钢筋网顶面，调整下预埋钢板位置、方向、标高和平整度，四角高差要求不大于 2mm，核查无误后固定；
- 浇筑支承垫石混凝土，如图 6.3.2-4 所示，并使混凝土能漫过下预埋钢板 10mm；
- 待垫石混凝土达到设计强度后，将钢丝绳阻尼装置剩余组件连接牢固，并安装在下预埋钢板上，如图 6.3.2-5 所示，完成安装。

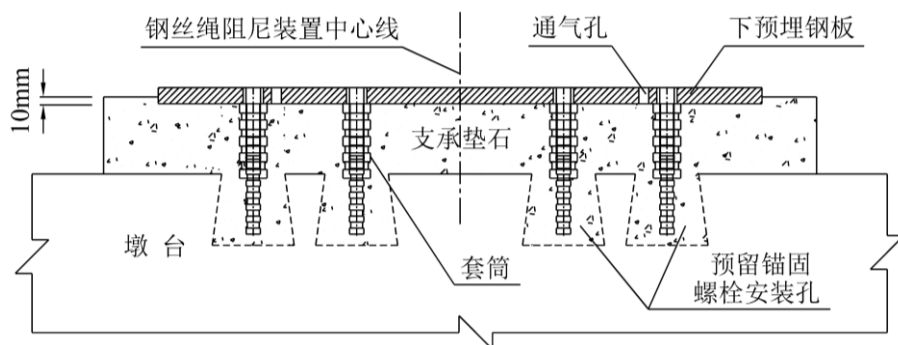


图 6.3.2-4 预装钢板法示意图

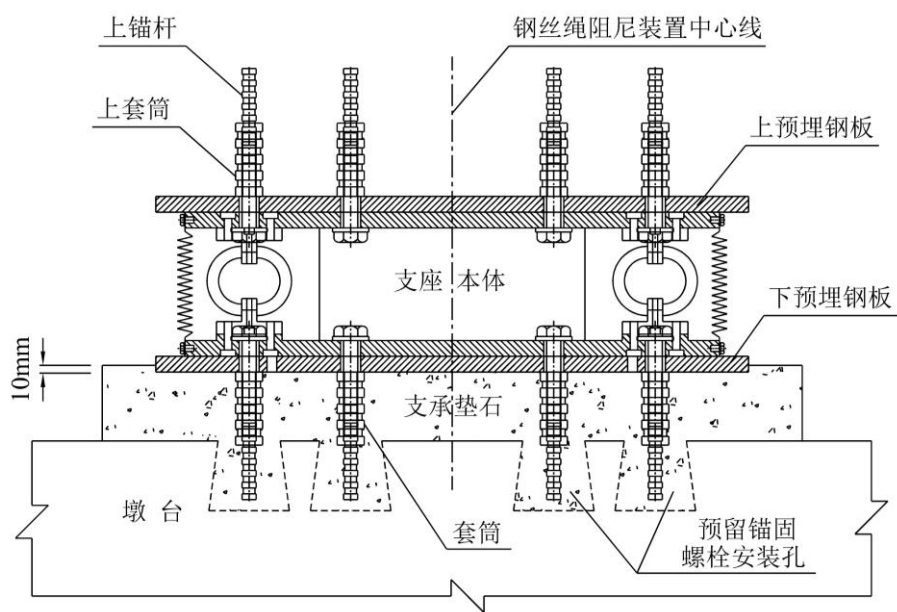


图 6.3.2-5 预装钢板法安装钢丝绳阻尼装置剩余组件示意图

6.3.3 钢丝绳阻尼装置与现浇混凝土梁的连接安装按下列步骤进行：

- 1 检查墩台顶支承垫石及预留锚固螺栓安装孔，保证垫石表面干净、平整，孔内无杂物；
- 2 检查钢丝绳阻尼装置出厂时上下连接钢板(或支座钢板)固定是否牢固，拧紧上下锚固螺栓，将上下预埋钢板连接成整体；
- 3 吊装钢丝绳阻尼装置，将钢丝绳阻尼装置落驾于千斤顶支承的临时支架上，校准钢丝绳阻尼装置中心位置和安装方向，慢慢落顶使下锚固螺栓进入预留锚固螺栓安装孔内，再次调整钢丝绳阻尼装置中心位置和方向，落顶使下预埋钢板缓缓密贴于支承垫石表面；
- 4 清洁上预埋钢板表面，在钢丝绳阻尼装置四周采取临时覆盖保护措施；
- 5 安装主梁模板并在钢丝绳阻尼装置锚固区域布置不少于 4 层钢筋网片，如图 6.3.3 所示，网片钢筋采用 12mm 螺纹钢，网孔尺寸为 100mm×100mm，网片间距为 60~80mm；

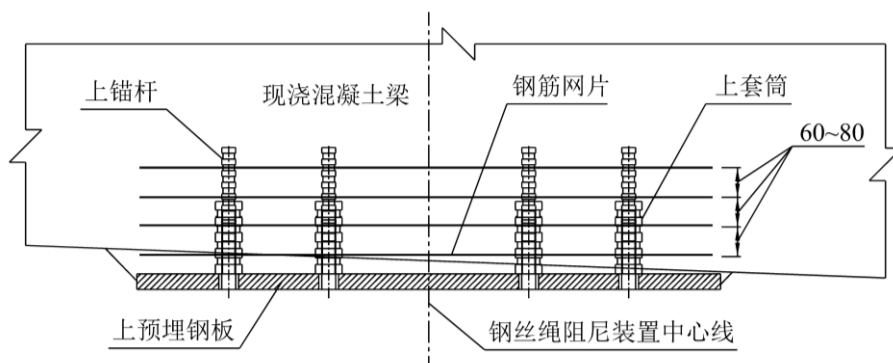


图 6.3.3 现浇混凝土梁钢丝绳阻尼装置锚固区域钢筋网片布置立面

6 进行主梁浇筑作业，在钢丝绳阻尼装置锚固区域用最大粒径不超过 20mm 的小石子混凝土浇筑并振捣密实；

7 一联现浇混凝土梁浇筑完毕，并且强度达设计标准值后，拆除模板支架，采用压力灌浆法向预留锚固螺栓安装孔内注入无收缩环氧树脂砂浆；

8 拆除钢丝绳阻尼装置出厂时临时连接构件，对装置安装情况进行检查，及时涂装预埋钢板及锚栓外露表面，确认达到要求后安装防尘罩。

6.3.4 钢丝绳阻尼装置与预制梁的连接安装可按下列步骤进行：

1 钢丝绳阻尼装置在工厂组装时，仔细调平，对中上、下各部件，并用固定钢板临时连接成整体，不得松脱。用下锚固螺栓将钢丝绳阻尼装置和下预埋组件(包括下套筒、下锚杆)连接成整体(也可单独包装运输，钢丝绳阻尼装置安装时再连接成整体)；上预埋组件(包括上预埋钢板，上锚杆和上套筒)应单独包装运输，上预埋件外露钢板表面防腐处理必须按照支座外露表面防腐处理执行；

2 检查钢丝绳阻尼装置的标识和安装方向，杜绝安装方向错误；

3 预制主梁时应在工厂按照现浇梁的方法，在梁底钢丝绳阻尼装置锚固区域预先埋好上预埋组件(包括上预埋钢板、上套筒和上锚杆)和布置钢筋网片，上预埋钢板表面高差不大于钢板最大尺寸的千分之一，需要设置坡度的通过预埋钢板或者梁底调平块调平，保证预埋钢板底面安装时的水平要求；

4 将连接成整体的钢丝绳阻尼装置安装在垫石顶面后，如图 6.3.4 所示，吊装预制梁于支座顶面 20mm 处，对位钢丝绳阻尼装置后拧入上锚固螺栓就位梁体，采用压力灌浆法向预留锚固螺栓安装孔内注入无收缩环氧树脂砂浆；

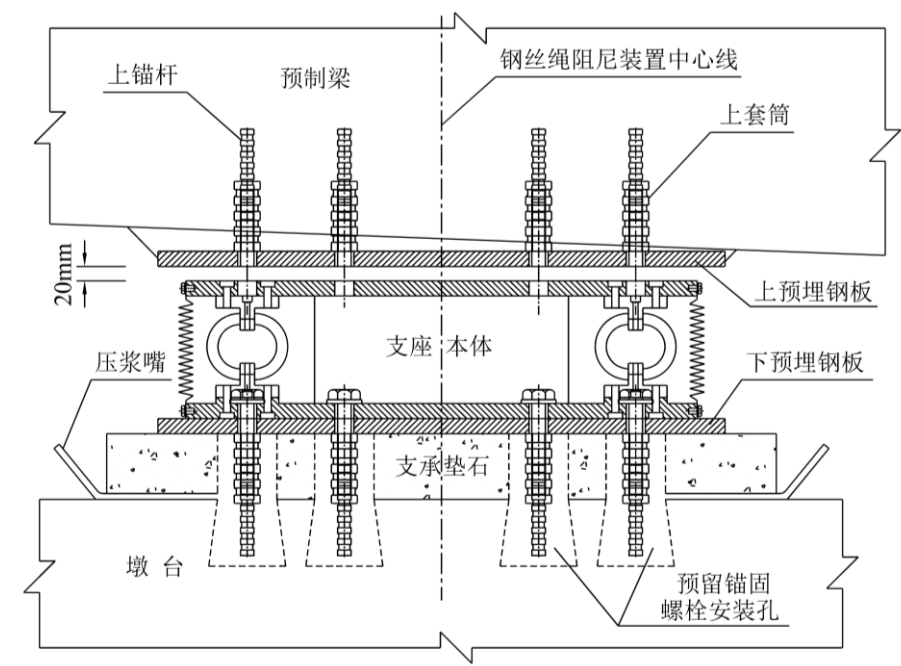


图 6.3.4 预制梁钢丝绳阻尼装置安装

5 预制梁若采用重力灌浆法安装钢丝绳阻尼装置时，先在墩台上安装好顶梁用的千斤顶(若墩台上无安装空间时可搭建临时刚性支撑)，吊装预制梁(先将装配有下套筒及下锚杆的钢丝绳阻尼装置用上锚固螺栓安装在梁底，并检查上预埋钢板与上连接钢板或支座钢板是否密贴)，将预制梁落在临时支撑千斤顶上，通过千斤顶调整梁体位置及标高，之后采用重力灌浆法，向钢丝绳阻尼装置下部及预留锚固螺栓安装孔处灌入无收缩环氧树脂砂浆；

6 待环氧树脂砂浆强度达到设计标准值后，拧紧上下锚固螺栓，拆除支架及其他临时连接构件；

7 对装置安装情况进行检查，及时涂装预埋钢板及锚栓外露表面，确认达到要求后安装防尘罩。

6.3.5 钢丝绳阻尼装置与钢结构梁的连接安装可按下列步骤进行：

1 对照钢丝绳阻尼装置上连接钢板(或上支座钢板)锚固螺栓的位置，在工厂对调平钢板冲孔或钻孔，孔径根据螺杆直径 Φt 扩大2~5mm，符合《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)第 6.3.6 的规定；

2 核对钢丝绳阻尼装置安装位置及钢结构梁底板螺栓孔位置，将调平钢板密贴钢结构梁底板，用高强螺栓螺杆同直径的普通螺栓临时连接，在调平钢板四周对称间断施焊，作为永久性连接，如图 6.3.5-1 所示，角焊缝焊脚尺寸符合《公路钢结构桥梁设计规范》

(JTGD64)第 6.2.9 的规定，角焊缝间断的长度及角焊缝离角点的距离为 100~200mm，角焊缝连续施焊的长度为 200~300mm，焊后应在焊接部位周围做防锈处理；

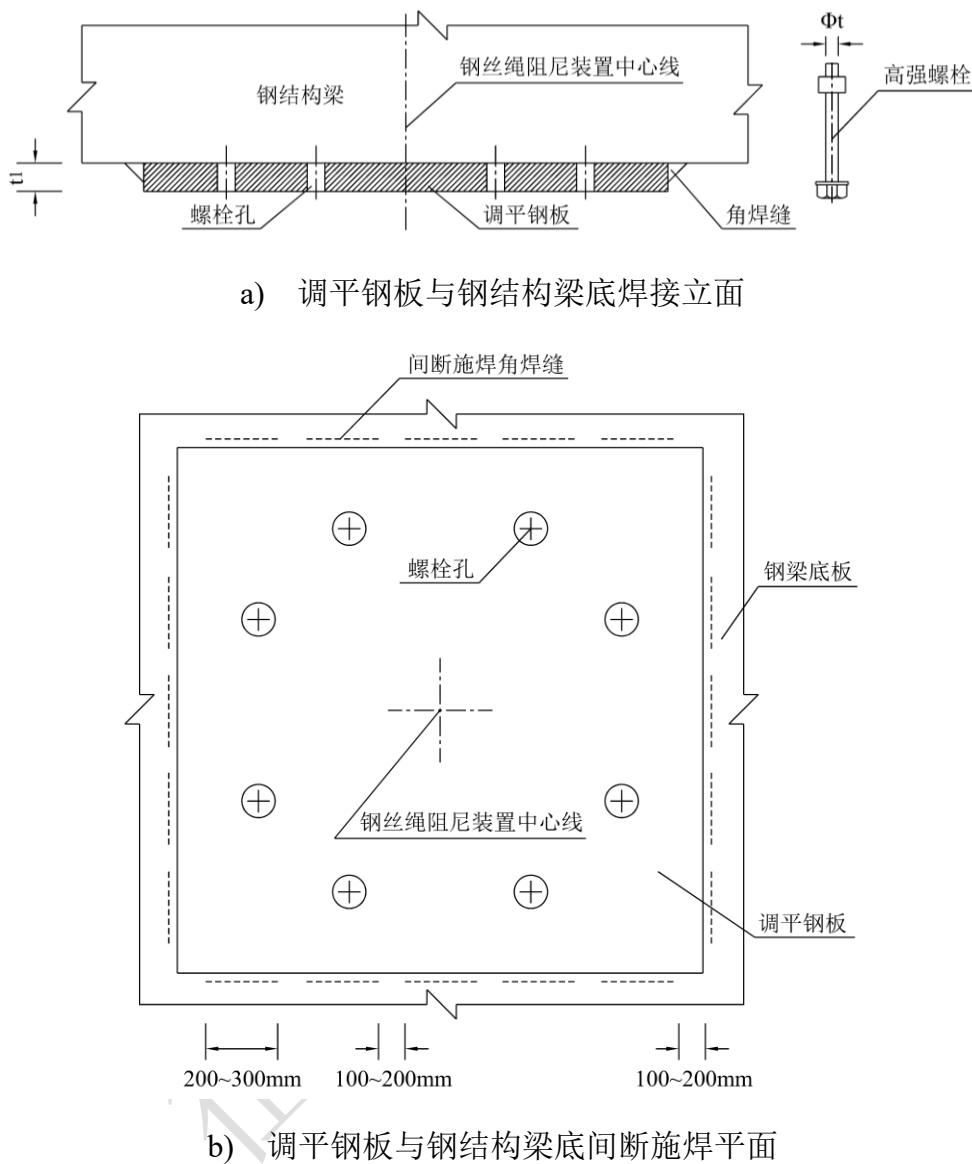
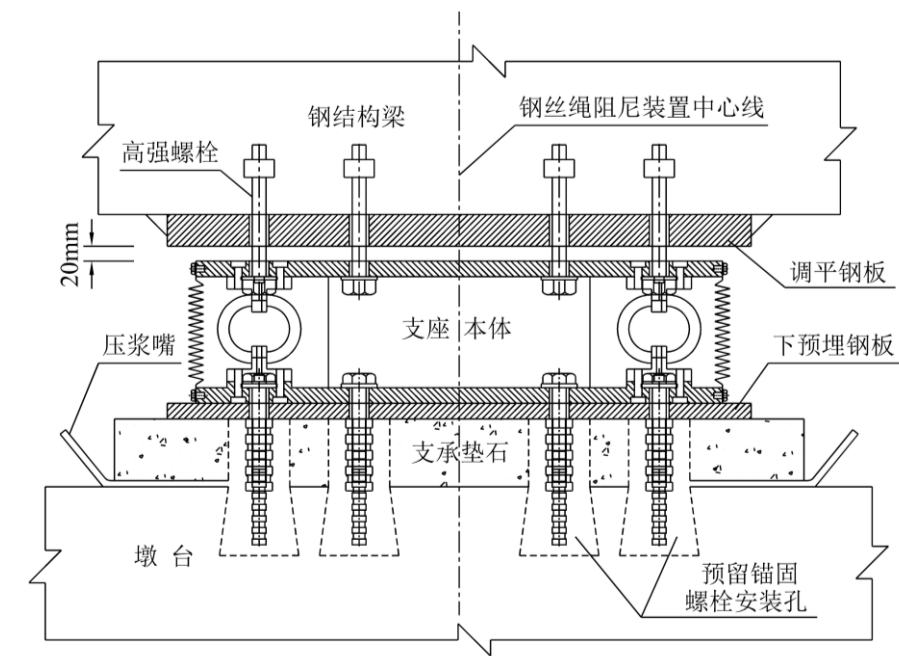


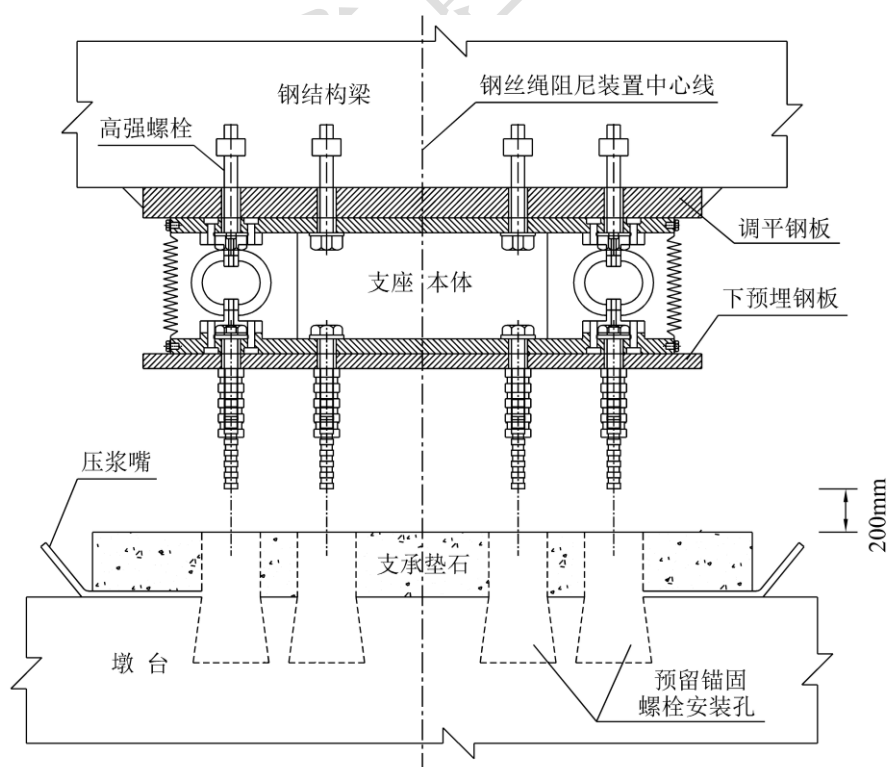
图 6.3.5-1 调平钢板与钢结构梁底焊接示意图

- 3 如果不采用上述第 1、2 步施工工艺，也可对照钢丝绳阻尼装置安装位置和锚固螺栓位置、先将调平钢板与钢结构梁底板焊接连接，然后再钻孔或冲孔；
- 4 钢丝绳阻尼装置在工厂组装时，仔细调平，对中上、下各部件，并用固定钢板临时连接成整体，用下锚固螺栓将钢丝绳阻尼装置和下预埋组件(包括下套筒、下锚杆)连接成整体(也可单独包装运输，钢丝绳阻尼装置安装时再连接成整体)；
- 5 检查钢丝绳阻尼装置的标识和安装方向，杜绝安装方向错误；
- 6 清洁墩台顶钢丝绳阻尼装置支承垫石和预留锚固螺栓安装孔表面，吸干孔内水分；

7 将连接成整体的钢丝绳阻尼装置安装在垫石顶面后,如图 6.3.5-2 所示,吊装钢结构梁段于支座顶面 20mm 处,对位钢丝绳阻尼装置上端锚固螺栓孔后缓缓落梁,直到梁底调平钢板密贴钢丝绳阻尼装置上连接钢板(或支座钢板),拧紧上端高强螺栓就位钢结构梁体;



a) 钢丝绳阻尼装置先就位



b) 先将钢丝绳阻尼装置锚固于钢结构梁段底面

图 6.3.5-2 钢结构梁段钢丝绳阻尼装置安装

8 如果不采用步骤 7 的施工工艺,也可先将整套钢丝绳阻尼装置用高强螺栓与钢结构梁段连成整体,然后起吊钢结构梁段,落驾钢结构梁段于千斤顶支承的临时支架上,使钢丝绳阻尼装置的下锚固螺栓距离支承垫石顶面 200mm,校准钢丝绳阻尼装置的位置和方向,缓缓落顶,让钢丝绳阻尼装置下预埋钢板慢慢接近支承垫石顶面直至密贴,如图 6.3.5-2 所示,用支架临时固定钢结构梁段;

9 施工其余钢结构梁段,严格控制钢结构梁段的预拱度和标高,并选择适宜的温度合拢;

10 采用压力灌浆法向预留锚固螺栓安装孔内注入无收缩环氧树脂砂浆;

11 待环氧树脂砂浆强度达到设计标准值后,拆除支架及其他临时连接构件;

12 对装置安装情况进行检查,及时涂装预埋钢板及锚栓外露表面,确认达到要求后安装防尘罩。

6.3.6 宜做好钢丝绳阻尼装置安装记录。

6.4 钢丝绳阻尼装置施工安全

6.4.1 钢丝绳阻尼装置在施工过程中,应遵守项目所在地安全施工方面的法律法规。

条文说明:

除国家和行业有对安全施工方面的规定外,项目所在地可能也有其相应的地方性法律法规,这些法律法规也都需要在施工过程中得到遵守。

6.4.2 钢丝绳阻尼装置施工前应对各种安全危险源进行辨识和评估,并应在施工过程中有针对性地采取各种有效措施,预防事故发生;对危险性较大的施工应制订专项方案;对存在重大安全事故危险源的工程,应预先建立重大事故应急预案,并组织演练;当施工中发生事故时,应迅速反应,按照应急预案的规定进行救援和处理,最大限度地降低事故损失。

条文说明:

安全事故的预防与控制分安全技术、安全教育和安全管理三个方面,安全技术主要解决物的不安全状态问题;安全教育和安全管理主要解决人的不安全行为问题。由于自然、人为或技术等原因,当事故或灾难不可能完全避免时,建立重大安全事故应急预案,组织及时有效的应急救援行动,是抵御事故或控制灾害蔓延、降低危险后果的关键。

6.4.3 施工难度、危险性较大的作业项目，应组织相关作业人员进行安全教育培训和安全事项交底。

6.4.4 钢丝绳阻尼装置施工前，应检查安全技术措施、安全防护设施、机具设备安全装置、支座的重量、吊点位置等是否符合安全要求，严禁无准备盲目施工。

1 施工所需的临时支座、垫木、千斤顶、临边防护、爬梯、挂蓝、安全带、安全绳等必须齐备。

2 根据吊装、顶推构件的质量、大小，选择适宜的吊装、顶推方法和机具，严禁超负荷施工。

3 吊钩的中心线，必须通过吊体的重心，严禁倾斜吊卸构件；吊装偏心构件时，应使用可调整偏心的吊具进行吊装；安装构件必须平起、缓行、匀速、稳落，就位准确。

4 吊装大型构件及有突出边棱的构件时，应在起吊钢丝绳与构件接触的拐角处设垫衬。起吊时，离开作业地面 0.1m 后，暂停起吊，经检查确认安全可靠后，方可继续起吊。

5 应仔细检查起吊用钢丝绳，先对质量不小于被吊装构件 1.2 倍的废弃构件进行试吊，观察钢丝绳的运行状态，确认钢丝绳运行状态良好后，才能用于构件的吊装。如钢丝绳断丝和磨损现象严重(有效截面减小 5%)，则更换新钢丝绳。

6 需要顶升作业时，应先进行试顶，按设计顶重分阶段进行观测，确认顶升作业正常后，方可进行正式顶升作业。

7 千斤顶严禁超行程、超压、偏载使用，顶升作业人员应做好防护，防止千斤顶油管老化、漏油及油管爆裂造成伤害；危险地段要设安全护栏，工作完毕后，打开回油阀卸压，将活塞回程到底。

8 千斤顶升、下降时，应随时加设或抽出保险垫木，梁部底面与保险垫木间的距离应控制在 5cm 之内。

6.4.5 钢丝绳阻尼装置在场内运输和装卸时，应采取有效措施防止对其产生碰撞或其它机械损伤。

6.4.6 钢丝绳阻尼装置起吊中，墩顶工作人员要暂时离开，禁止工作人员站在墩台、帽顶指挥或平行作业。

6.4.7 吊装预制梁时，当预制梁就位临时位置后，应加设支撑、垫木，以保持梁体稳定。

6.4.8 钢丝绳阻尼装置施工需要焊接作业时，在焊接作业点附近的易燃物必须清除，并对钢丝绳阻尼装置隔离和保护。

6.4.9 钢丝绳阻尼装置安装施工时，严禁发生安装作业人员、测量人员、湿接缝施工人员、检查人员从高处坠落以及施工机具、材料从高处坠落伤人的安全事故。

条文说明：

施工作业前，应逐级对现场施工人员进行安全技术交底，并应在落实安全技术措施后方可正式施工；作业时施工人员必须佩戴安全帽、系安全带。高处作业中使用的机械设备、工具和电气设施等，应在施工前经检查并确认其完好后，方可投入使用。高处施工作业应设置必要的安全防护设施，当施工过程中发现防护设施有缺陷或隐患时，应采取解决措施及时解决；当危及作业人员的人身安全时，应立即停止施工进行处理。需要临时拆除或变动安全防护设施进行作业时，应采取可靠的替代措施保证作业安全，且应在作业后立即恢复。高处作业时设置的走梯、通道等应随时清扫干净；高处作业时所用的物料应堆放平稳，并不得妨碍通行；对高处作业区所有可能坠落的物件，应先行撤除或加以固定，拆下的物件及余料应及时清理，但不得向地面随意抛掷；作业人员使用后的小型工具应随手放入工具袋，传递物件时严禁采用抛掷的方式进行。在高处拆除模板或其他设施时，应设置警戒区，并应设专人指挥控制；拆除工作应自上而下进行，严禁上下同时拆除。

6.4.10 钢丝绳阻尼装置安装施工时，严禁发生作业人员忽视操作规程导致机具设备损坏甚至人员伤亡的安全事故。

条文说明：

作业人员严格遵守操作规程，并持证上岗作业，无证人员严禁操作。

6.4.11 钢丝绳阻尼装置安装施工时，施工现场的用电安全应符合《施工现场临时用电安全技术规范》(JGJ 46)的规定。

条文说明：

施工临时用电严格按照《施工现场临时用电安全技术规范》(JGJ 46)布设，用电线路接线规范，非电工人员严禁操作，配电箱关门上锁管理，明确责任电工信息，老化用电线路

6.4.12 钢丝绳阻尼装置安装施工不宜在夜间进行，严禁施工人员酒后上岗作业及疲劳上岗作业。

6.4.13 在 6 级以上强风、浓雾、暴雨和暴风雪等恶劣气候条件下，不应进行施工作业。台风、暴雨及暴风雪过后，应对安全防护设施进行全面检查，当有变形、损坏、松动和脱落等现象时，应尽快进行修复。

6.5 钢丝绳阻尼装置施工质量验收

6.5.1 钢丝绳阻尼装置产品性能、结构形式、规格尺寸及涂装质量必须符合设计要求和相关产品标准的规定。

检验数量：施工单位、监理单位全部检查。

检验方法：观察和检查产品出厂合格证。

6.5.2 钢丝绳阻尼装置安装位置、安装方向必须符合设计要求。

检验数量：施工单位、监理单位全部检查。

检验方法：观察。

6.5.3 钢丝绳阻尼装置上下连接钢板(或上下支座钢板)必须水平安装,固定型钢丝绳阻尼球型钢支座上下支座钢板应互相对正,其余钢丝绳阻尼装置上下连接钢板(或上下支座钢板)横向应对正,纵向预留错动量应根据安装温度与设计温度之差、梁体收缩徐变及轴向力作用下的变形量计算确定,在成桥状态下钢丝绳阻尼装置中心位移应与设计计算文件相符合。

检验数量：施工单位、监理单位全部检查。

检验方法：观察和钢尺测量。

6.5.4 钢丝绳阻尼装置中钢丝绳应干净整洁、无污染,呈不锈钢钢丝绳出厂时原色。

检验数量：施工单位、监理单位全部检查。

检验方法：观察。

6.5.5 钢丝绳阻尼球型钢支座滑道无划伤,滑道范围内无限制钢丝绳阻尼装置相对运动的障碍物。

检验数量：施工单位、监理单位全部检查。

检验方法：观察。

6.5.6 固定型钢丝绳阻尼球型钢支座剪力螺栓应拧紧,无松动,且数量不缺少。

检验数量：施工单位、监理单位全部检查。

检验方法：观察。

6.5.7 钢丝绳阻尼装置上下连接钢板(或支座钢板)与梁底预埋钢板(或调平钢板)及支承垫石顶预埋钢板之间必须密贴无空隙,支承垫石材料质量、强度、尺寸应符合设计要求,预埋钢板(或调平钢板)的尺寸,涂装应符合设计文件要求。

检验数量：施工单位、监理单位全部检查。

检验方法：观察。

6.5.8 钢丝绳阻尼装置锚固螺栓埋置深度必须符合设计要求，锚固螺栓固结应在钢丝绳阻尼装置位置调整准确后进行施工。

检验数量：施工单位、监理单位全部检查。

检验方法：观察和钢尺测量。

6.5.9 预留锚固螺栓安装孔注浆材料和质量必须符合设计要求。

检验数量：施工单位、监理单位抽样检验。

检验方法：施工单位检查质量证明文件并进行试验；监理单位检查质量证明文件并见证试验。

6.5.10 钢丝绳阻尼装置安装实测项目应符合表 6.5.10 的规定。

表 6.5.10 钢丝绳阻尼装置安装实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	钢丝绳阻尼装置中心横桥向偏位(mm)		≤ 2	尺量：测每套装置
2	钢丝绳阻尼装置中心顺桥向偏位(mm)		≤ 5	尺量：测每套装置
3	钢丝绳阻尼装置高程(mm)		满足设计要求； 设计未要求时 ± 5	水准仪：测每套装置 中心线
4	钢丝绳阻尼装置 四角高差(mm)	承压力 $\leq 5000\text{kN}$	≤ 1	水准仪：测每套装置
		承压力 $> 5000\text{kN}$	≤ 2	水准仪：测每套装置

6.6 钢丝绳阻尼装置维护

6.6.1 应制订和执行对钢丝绳阻尼装置进行定期检查和维护的计划。

6.6.2 在工程建设完工并运营后三个月内，应及时对钢丝绳阻尼装置进行检查，确保钢丝绳阻尼装置处于正常工作状态及良好的密封状态；以后每年应分别在夏季最高温和冬季最低温情况对钢丝绳阻尼装置进行检查，发现问题应及时查明原因并予以纠正。

6.6.3 钢丝绳阻尼装置在遭遇地震、强风、火灾、洪水等灾害后应进行检查和维护。

6.6.4 钢丝绳阻尼装置定期检查和维护时应做好记录，内容包括：

1 支承垫石表面应平整，无积水、裂纹及局部破损现象。支承垫石表面积水应采取必要的排水措施；如果支承垫石表面裂纹在 0.5mm 以内，应增加检查频次，如果表面裂纹超过 2mm，应对裂纹进行处治；如果支承垫石出现了局部破损，则应凿除破损混凝土，用环氧砂浆或环氧砂浆拌制的小石子混凝土修补。

2 预埋钢板或调平钢板油漆或镀锌保护层无脱落、锈蚀、四角无翘曲、底部无脱空现象。预埋钢板或调平钢板如有油漆或镀锌保护层脱落、锈蚀现象，应清除锈迹，打磨光洁，并重新涂刷防锈油漆保护；如有四角翘曲和底部脱空现象，应首先检查锚固螺栓是否松动，如无松动，则用环氧树脂采用压浆法将脱空处填充密实。

3 防尘罩无老化、破损、无掉落、连接螺栓无松动现象。防尘罩无老化、破损，仅是掉落、连接螺栓松动现象，拧紧连接螺栓即可，如防尘罩有老化、破损现象，及时更换防尘罩。

4 钢丝绳阻尼器节段的绳夹钢板、绳夹螺栓、连接螺栓等固定件外露表面无锈斑，钢丝绳表面无锈斑、无折痕、凸起、擦伤、断丝和外露钢丝抽头，如有，直接更换钢丝绳阻尼器节段；绳夹钢板、钢丝绳、绳夹螺栓和连接螺栓不应有任何松动和滑移现象，如有，应及时拆卸钢丝绳阻尼装置，对钢丝绳重新排列归位，拧紧螺栓，如现场无法修复钢丝绳阻尼器节段，则予以更换。

5 叠层橡胶支座本体中的橡胶层应无开裂、变硬、老化等现象，各层加劲钢板之间的橡胶外凸应均匀和正常，无中间钢板外露现象。如有，应及时更换叠层橡胶支座本体。

6 钢球形支座本体中的钢件不得有裂纹或脱焊现象，如有脱焊现象需进行补焊；橡胶密封圈不得龟裂、老化；滑板磨损后的高度不得小于 1mm；支座本体的位移和转角是否能达到设计要求，如不能达到设计要求，则应分析原因并予以纠正；剪力螺栓是否断裂，如有，则应分析原因并及时纠正和更换；滑道内是否有限制或影响支座滑动的障碍物，如有，应及时清除。

7 钢丝绳阻尼装置每次定期检查和维护时应应对锚固螺栓进行维护，以免锚固螺栓锈死或抱死。先拆卸钢丝绳阻尼装置的一个锚固螺栓，涂上黄油，再拧紧该螺栓并做好标记，然后再拆卸下一个锚固螺栓，依次进行。为了避免钢丝绳被污染，钢丝绳阻尼器节段应采取临时覆盖措施。

6.6.5 钢丝绳阻尼装置的更换按下列步骤进行：

1 安装千斤顶，先拧出上锚固螺栓，再将梁体顶离钢丝绳阻尼装置顶面约 3mm，千斤顶应顶在梁底预埋钢板或调平钢板处；同一墩顶上的两跨梁需同时顶升，且顶升高度不能超过梁部设计要求的不均匀沉降量。

2 拧开钢丝绳阻尼装置下锚固螺栓。

-
- 3 移出原有的钢丝绳阻尼装置。
 - 4 安装对应规格的钢丝绳阻尼装置。
 - 5 对准位置，拧入下锚固螺栓，固定好钢丝绳阻尼装置。
 - 6 缓缓落梁，拧入上锚固螺栓，移除千斤顶。
 - 7 依次对称拧紧各锚固螺栓，完成钢丝绳阻尼装置更换。

征求意见稿

附 录 A

(资料性附录)

钢丝绳阻尼器剪切性能技术参数

A.1 剪切滞回曲线

环向钢丝绳阻尼器力学特性按图 A.1 所示三折线滞回曲线模拟。

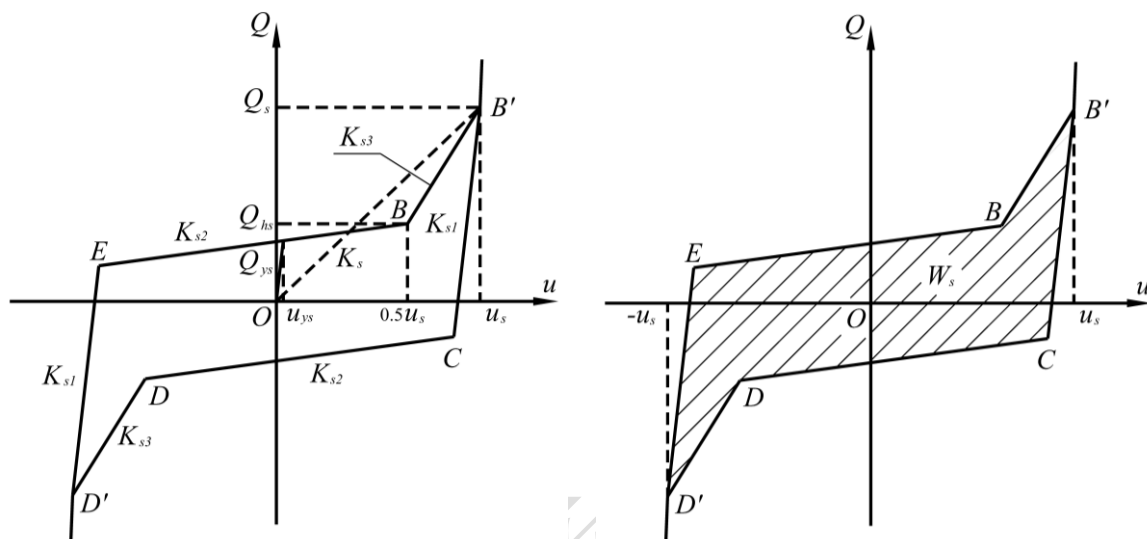


图 A.1 环向钢丝绳阻尼器滞回曲线

A.2 最大工作位移

钢丝绳阻尼器最大工作位移按式(A.1)计算：

$$u_s = 1.1D_{eq} \quad (A.1)$$

式中： u_s —钢丝绳阻尼器最大工作位移；

D_{eq} —钢丝绳圈等效直径，按附录 C 计算。

A.3 剪切初始刚度

钢丝绳阻尼器剪切初始刚度按式(A.2)计算：

$$K_{s1} = \frac{Q_{ys}}{u_{ys}} \quad (A.2)$$

式中： K_{s1} —剪切初始刚度；

Q_{ys} —钢丝绳阻尼器在剪力作用下，产生屈服时的剪力，此力由试验确定；

u_{ys} —钢丝绳阻尼器开始产生屈服时的剪切位移，由试验确定；

A.4 剪切屈服刚度

钢丝绳阻尼器剪切屈服刚度按式(A.3)计算：

$$K_{s2} = \frac{Q_{hs} - Q_{ys}}{0.5u_s - u_{ys}} \quad (A.3)$$

式中： K_{s2} —剪切屈服刚度；

u_s —剪切方向最大工作位移，按式(A.1)计算确定；

Q_{hs} —钢丝绳阻尼器在剪力作用下，剪切刚度开始硬化时的剪力，此力由试验确定。

大量试验资料表明，当剪切位移达到 $0.5u_s$ 左右时，钢丝绳阻尼器剪切刚度开始硬化。

A.5 剪切硬化刚度

钢丝绳阻尼器剪切硬化刚度按式(A.4)计算：

$$K_{s3} = \frac{Q_s - Q_{hs}}{0.5u_s} \quad (A.4)$$

式中： K_{s3} —剪切硬化刚度；

Q_s —钢丝绳阻尼器阻尼力，即达到最大工作位移 u_s 时的剪力，此力由试验确定；

A.6 阻尼力

钢丝绳阻尼器阻尼力由试验确定，也可按式(A.5)计算：

$$Q_s = u_{ys} \cdot K_{s1} + (0.5u_s - u_{ys}) \cdot K_{s2} + 0.5u_s \cdot K_{s3} \quad (A.5)$$

A.7 剪切等效刚度

钢丝绳阻尼器剪切等效刚度按式(A.6)计算：

$$K_s = \frac{Q_s}{u_s} \quad (A.6)$$

式中： K_s —剪切等效刚度。

A.8 等效阻尼比

钢丝绳阻尼器等效阻尼比按式(A.7)计算:

$$\xi_s = \frac{W_s}{2\pi K_s u_s^2} \quad (\text{A.7})$$

式中: W_s —剪切滞回曲线的包络面积, 由试验确定;

ξ_s —等效阻尼比。

征求意见稿

附录 B (资料性附录)

钢丝绳阻尼支座剪切性能技术参数

B.1 剪切滞回曲线

钢丝绳阻尼球型钢支座、钢丝绳阻尼叠层橡胶支座的力学特性按图 B.1 所示三折线滞回曲线模拟。

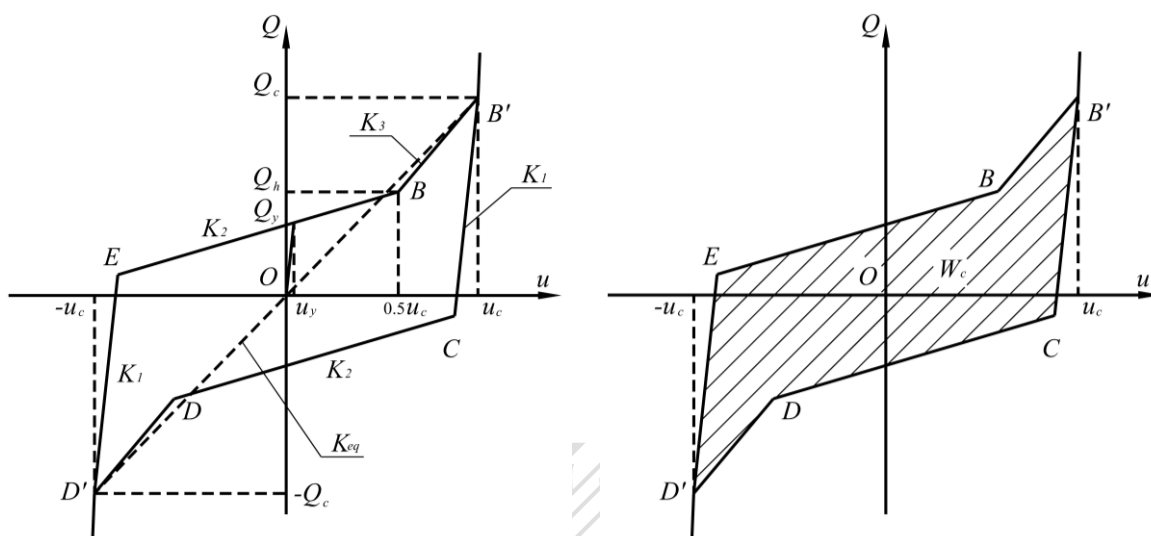


图 B.1 钢丝绳阻尼支座滞回曲线

B.2 最大工作位移

阻尼支座的最大工作位移由钢丝绳阻尼器节段控制，按式(B.1)计算：

$$u_c = 1.1D_{eq} \quad (\text{B.1})$$

式中： u_c — 阻尼支座最大工作位移；

D_{eq} — 钢丝绳圈等效直径，按附录 C 计算。

B.3 剪切初始刚度

阻尼支座剪切初始刚度按式(B.2)计算：

$$K_1 = \frac{Q_y}{u_y} \quad (\text{B.2})$$

式中： K_1 — 组合支座剪切初始刚度；

Q_y — 组合支座初始屈服剪力，由试验确定；

u_y —组合支座产生屈服时的剪切位移，由试验确定。

B.4 剪切屈服刚度

阻尼支座剪切屈服刚度按式(B.3)计算：

$$K_2 = \frac{Q_h - Q_y}{0.5u_c - u_y} \quad (\text{B.3})$$

式中： K_2 —阻尼支座剪切屈服刚度；

u_c —阻尼支座剪切方向最大工作位移，按式(B.1)计算确定；

Q_h —阻尼支座在剪力作用下，剪切刚度开始硬化时的剪力，此力由试验确定。大量试验资料表明，当剪切位移达到 $0.5u_c$ 左右时，阻尼支座剪切刚度开始硬化。

B.5 剪切硬化刚度

阻尼支座剪切硬化刚度按式(B.4)计算：

$$K_3 = \frac{Q_c - Q_h}{0.5u_c} \quad (\text{B.4})$$

式中： K_3 —阻尼支座剪切硬化刚度；

Q_c —阻尼支座阻尼力，即当剪切位移达到最大工作位移 u_c 时，对应施加在阻尼支座上的剪切力，此力由试验确定。

B.6 阻尼力

阻尼力由试验确定，也可按式(B.5)计算：

$$Q_c = u_y \cdot K_1 + (0.5u_c - u_y) \cdot K_2 + 0.5u_c \cdot K_3 \quad (\text{B.5})$$

B.7 剪切等效刚度

阻尼支座剪切等效刚度按式(B.6)计算：

$$K_{eq} = \frac{Q_c}{u_c} \quad (\text{B.6})$$

式中： K_{eq} —组合支座剪切等效刚度。

B.8 等效阻尼比

阻尼支座等效阻尼比按式(B.7)计算：

$$\xi_{eq} = \frac{W_c}{2\pi K_{eq} u_c^2} \quad (B.7)$$

式中： W_u —组合支座剪切滞回曲线的包络面积，由试验确定；

ξ_{eq} —等效阻尼比。

征求意见稿

附录 C
(规范性附录)

钢丝绳阻尼器绳圈等效直径计算

C.1 钢丝绳阻尼装置最大工作位移可按下式计算：

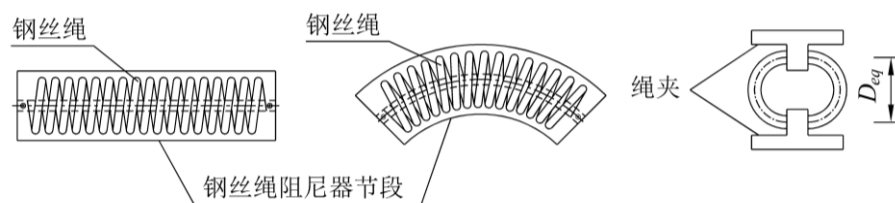


图 C.1 钢丝绳阻尼装置最大工作位移计算示意图

$$D_{eq} = \frac{L}{n\pi} \quad (C.1)$$

式中， D_{eq} —阻尼器一匝绳圈等效直径；

L —一个阻尼器节段扣除绳夹宽度占据尺寸后的钢丝绳总长，也称钢丝绳自由总长；

n —一个阻尼器节段绕制钢丝绳的匝数。

本规程用词说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应该这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可能这样做的，采用“可”。

二、条文中指定应按其他有关标准执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行。”

引用标准名录

- 1 《公路工程抗震规范》(JTG B02)
- 2 《公路桥梁抗震设计规范》(JTG / T 2231-01)
- 3 《叠层橡胶支座隔震技术规程》(CECS126)
- 4 《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》(GB/T 3098.1)
- 5 《建筑消能减震技术规程》(JGJ 297)
- 6 《船用钢丝绳隔振器》(GB/T 29131)
- 7 《军用装备实验室环境试验方法 第3部分：高温试验》(GJB150.3A)
- 8 《军用装备实验室环境试验方法 第4部分：低温试验》(GJB150.4A)
- 9 《军用装备实验室环境试验方法 第11部分：盐雾试验》(GJB150.11A)
- 10 《桥梁球型支座》(GB/T 17955)
- 11 《橡胶支座 第2部分 桥梁隔震橡胶支座》(GB 20688.2)
- 12 《橡胶支座 第4部分 普通橡胶支座》(GB 20688.4)
- 13 《公路桥梁摩擦摆式减隔震支座》(JTT 852)
- 14 《公路桥梁弹塑性钢减震支座》(JTT 843)
- 15 《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)
- 16 《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)
- 17 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)
- 18 《施工现场临时用电安全技术规范》(JGJ 46)
- 19 《公路桥涵施工技术规范》(JGJ/T 3650)