建筑结构消能减震（振）设计

批准部门	中华人民共和国住房和城乡建设部	批准文号	建质[2009] 8 号
主编单位	中国电子工程设计院 东南大学	统一编号	GJBT-1092
实行日期	2009 年 3 月 1 日	图 集 号	09SG610-2

主编单位负责人 [illegible]

主编单位技术负责人 李宁 [illegible]

技 术 审 定 人 李宁

设 计 负 责 人 吴耀坤 张志强

目 录

目录 …… 1
总说明 …… 3
消能器的产品类型及其主要支撑形式
黏滞消能器的产品类型及其主要支撑形式 …… 7
黏弹性消能器的产品类型及其主要支撑形式 …… 11
金属屈服型消能器的产品类型及其主要支撑形式 …… 15
摩擦消能器的产品类型及其主要支撑形式 …… 19
消能部件的索引图
黏滞消能器单斜杆型消能部件 …… 22
黏滞消能器双斜杆型消能部件 …… 23
黏滞消能器人字型消能部件 …… 24
黏滞消能器门架型消能部件 …… 25
黏弹性消能器单斜杆型消能部件 …… 26
黏弹性消能器双斜杆型消能部件 …… 27
黏弹性消能器门架型消能部件 …… 28
黏弹性消能器隅撑型消能部件 …… 29
钢消能器单斜杆型消能部件 …… 30
软钢消能器双斜杆型消能部件 …… 31
软钢消能器门架型消能部件 …… 32
软钢消能器双门架型消能部件 …… 33
摩擦消能器交叉型消能部件 …… 34
摩擦消能器单斜杆型消能部件 …… 35
摩擦消能器双斜杆型消能部件 …… 36
消能部件的连接构造大样
黏滞消能器与新建混凝土结构斜向球铰连接 …… 37
黏滞消能器与既有混凝土结构斜向球铰连接 …… 38
黏滞消能器与钢结构斜向球铰连接 …… 39
黏滞消能器与新建混凝土结构水平球铰连接 …… 40

黏滞消能器与既有混凝土结构水平球铰连接 …… 41
黏滞消能器与钢结构水平球铰连接 …… 42
黏滞消能器人字型节点 …… 43
黏滞消能器门架型节点 …… 44
黏弹性消能器与新建混凝土结构及支撑连接 …… 45
黏弹性消能器与既有混凝土结构及支撑连接 …… 46
黏弹性消能器与钢结构及支撑连接 …… 47
防屈曲消能支撑与新建混凝土结构连接 …… 48
防屈曲消能支撑与既有混凝土结构连接 …… 49
防屈曲消能支撑与钢结构连接 …… 50
剪切钢板(加劲)消能器与新建混凝土结构连接 …… 51
剪切钢板(加劲)消能器与既有混凝土结构连接 …… 52
剪切钢板(加劲)消能器与钢结构连接 …… 53
剪切钢板(加劲)消能器与钢支撑连接 …… 54
支撑与新建混凝土结构铰接连接1 …… 55
支撑与既有混凝土结构铰接连接1 …… 56
支撑与钢结构铰接连接1 …… 57
支撑与新建混凝土结构铰接连接2 …… 58
支撑与既有混凝土结构铰接连接2 …… 59
支撑与钢结构铰接连接2 …… 60
支撑与新建混凝土结构刚性连接 …… 61
支撑与既有混凝土结构刚性连接 …… 62
支撑与钢结构刚性连接 …… 63
既有混凝土结构外包钢节点大样 …… 64
内嵌钢框架黏滞消能部件及其连接构造
内嵌钢框架黏滞消能部件 …… 65
内嵌钢框架黏滞消能部件连接构造 …… 66
速度相关型消能器的位移增效机构
速度相关型消能器的位移增效机构 …… 67
算例
算例1 单斜杆型黏滞消能部件 …… 69
算例2 人字单侧型黏滞消能部件 …… 73
相关技术资料

目 录										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 磊		设计	韩玉栋			页	2

土木工程网
www.1358.cc

总　说　明

1　编制依据

1.1 本图集根据建设部建质函[2006]71号“关于印发《2006年国家建筑标准设计编制工作计划》的通知”进行编制。

1.2 设计依据

《建筑结构荷载规范》（2006年版）	GB 50009-2001
《建筑抗震设计规范》（2008年版）	GB 50011-2001
《抗震设防分类标准》	GB 50233-2008
《钢结构设计规范》	GB 50017-2003
《高层建筑混凝土结构技术规程》	JGJ 3-2002
《高层民用建筑钢结构技术规程》	JGJ 99-98
《建筑工程抗震性态设计通则(试用)》	CECS 160:2004
《建筑抗震加固技术规程》	JGJ 116-98
《混凝土结构加固设计规范》	GB 50367-2006
《钢结构加固规范》	CECS 77:96
《混凝土结构后锚固技术规程》	JGJ 145-2004
《建筑钢结构焊接技术规程》	JGJ 81-2002
《钢结构高强度螺栓连接的设计、施工及验收规范》	JGJ 82-91
《建筑消能阻尼器》	JG/T 209-2007

2　适用范围

本图集中的消能器（又称阻尼器）是指通过材料黏滞特性（速度相关型）或塑性滞回特性（位移相关型）来消耗能量的元件。消能部件是指消能器及其连接支撑以及与主体结构之间的连接节点总称。

本图集中，速度相关型消能器仅包括黏滞消能器和黏弹性消能器；位移相关型消能器仅包括金属屈服型消能器和摩擦消能器。

本图集中，消能减震（振）是指通过安装消能器以减小建筑结构的地震或风振响应。其适用范围如下：

（1）对抗震安全性有较高要求的新建建筑(包括钢结构、混凝土结构及混合结构的多、高层建筑和大跨建筑等）。

（2）在风荷载作用下不满足位移或舒适度要求的新建建筑及既有建筑。

（3）需要抗震加固的既有建筑。

（4）使用功能有特殊要求的建筑。

3　编制目的

结构消能减震（振）技术是一种新型的抗震或抗风结构控制技术，不仅改变了结构抗震（风）设计的传统概念、方法和手段，而且使结构的抗震（风）能力、风荷载下的舒适度、抗震（风）可靠性和灾害防御水平大幅度提高。近年来建筑结构消能减震（振）技术在国内新建建筑及既有建筑物的加固改造中已逐渐推广应用。为了促进该项技术发展和进步，本图集汇集了目前国内比较常用的消能器类型和产品，给出了各种消能器相配套使用的典型支撑形式及消能部件的设计构造详图，供设计人员参考选用。

4　材料选用

4.1 混凝土：对新建建筑的主体结构，其混凝土的强度等级应不低于相关规范的规定。对既有建筑的主体结构，其混凝土强度等级宜不低于C25。

4.2 钢筋：应优先选用HRB400级和HRB335级钢筋，也可采用

HPB235级钢筋.

4.3 型钢和钢板

4.3.1 型钢和钢板宜采用Q235B、Q345B、Q390B和Q420B，其质量应分别符合《碳素结构钢》GB/T 700和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591的规定.

4.4 螺栓和锚栓

4.4.1 普通螺栓应符合《六角头螺栓C级》GB/T 5780和《六角头螺栓》GB/T 5782的规定.

4.4.2 高强度螺栓应符合《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228 、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231或《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632、《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副 技术条件》GB/T 3633 的规定. 高强度螺栓的设计预拉力值、摩擦面抗滑移数值按现行国家标准《钢结构设计规范》 GB 50017-2003的规定采用.

4.4.3 锚栓的性能等级及质量要求应符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591的规定.

4.5 焊条和焊剂

4.5.1 手工焊接用焊条应符合《碳钢焊条》GB/T 5117或《低合金钢焊条》GB/T5118的规定. 选用的焊条型号应与主体金属力学性能相适应. 对直接承受动力荷载或振动荷载且需要验算疲劳的结构，宜采用低氢型焊条.

4.5.2 自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和相应的焊剂，应与主体金属力学性能相适应，焊丝应符合现行标准《焊接用钢丝》GB/T 1300的规定.

5 建筑结构消能减震（振）设计的原理

建筑结构消能减震（振）设计是把结构的某些抗侧力构件（支撑、连接件等）设计成消能构件，或在结构的某些部位（层间、节点、连接缝等）设置消能部件，使该建筑在地震或风荷载作用下，随着结构响应的增大，通过消能构件或消能器相对变形或相对速度提供附加阻尼，大量消耗输入主体结构的地震或风振能量，达到预期防震（振）要求.

6 消能减震(振)装置的选择及布置原则

6.1 建筑结构的消能减震（振）设计，应根据建筑抗震设防类别、抗震设防烈度、抗风要求、场地条件、建筑结构方案和建筑使用要求，与采用抗震设计的设计方案进行技术、经济可行性的对比分析后，确定其设计方案.

6.2 消能部件的选用应综合考虑结构类型、周围环境、设防目标、消能部件的力学性能及消能机理、消能部件的价格、施工安装及维修费用等因素.

6.3 对于消能减震（振）结构，消能部件宜根据需要沿主体结构的两个主轴方向分别设置. 消能部件宜设置在层间变形或构件相对变形较大位置. 其数量和分布应通过综合分析确定，并有利于提高整个结构的消能减震（振）能力和抗扭能力，形成均匀合理的受力体系. 消能减震（振）结构不应由于消能部件的设置而产生附加扭转.

7 消能减震（振）主体结构的基本要求

7.1 消能减震（振）主体结构应具备必要的抗震和抗风承载力，良好的变形能力和耗能能力.

7.2 与消能部件相连接的主体结构构件与节点应满足消能器

土木工程网
www.1358.cc

最大输出阻尼力作用下仍处于不屈服状态。

7.3 对于抗震设防的新建建筑，在设置消能部件后，主体结构尚应根据其结构类型分别符合《建筑抗震设计规范》GB 50011-2001（2008年版）的设计要求。

7.4 对于抗震设防的新建建筑和既有建筑，当设置消能部件后其抗震性能明显提高时，主体结构的抗震构造要求可适当降低。

7.5 消能减震（振）结构的层间弹塑性位移角限值宜满足现行有关规范规定的限值。

7.6 与消能部件相连的主体结构构件，应计入消能部件传递的附加内力，并将其传递到基础。

8 消能部件的基本要求

8.1 强度要求：与消能器相连的支撑应保证在消能器最大输出阻尼力作用下处于弹性状态，同时与主体相连的预埋件、节点板等也应处于弹性状态，不得发生滑移、拔出等破坏。

8.2 稳定性要求：消能部件应保证在消能器最大阻尼力作用下不发生平面内、外整体失稳，同时连接支撑和连接节点不得发生局部失稳。

8.3 刚度要求：与消能器相连的支撑应具有足够刚度，以保证减震（振）装置中的变形绝大部分发生在消能器上，消能器支撑的刚度应根据计算确定。

8.4 消能器与连接支撑、主体结构之间的连接节点，应符合钢构件连接、或钢与混凝土构件连接、或钢与钢－混凝土组合构件连接的构造要求，并能承担消能器施加给连接节点的最大作用力。

8.5 消能器的性能及检测标准应满足相应的产品标准及《建筑抗震设计规范》GB 50011-2001（2008年版）的相关规定。

8.6 消能器的极限位移应不小于罕遇地震或设计风荷载下消能器最大位移的1.2倍；对于速度相关型消能器，消能器的极限速度应不小于罕遇地震或设计风荷载作用下消能器最大速度的1.2倍，且消能器应满足在此极限速度下的强度要求。消能器的极限位移同时还应考虑消能器制造及施工安装偏差。

8.7 消能部件的设计应便于消能器的安装、维护和更换。

8.8 消能部件应具有良好的耐久性能和环境适应性。

8.9 为了保证消能器的可靠性能，消能部件中铰接连接的销栓和销栓孔的精度应满足本图集的规定。

8.10 消能部件应采取必要的防火措施。

9. 消能减震（振）设计计算方法

9.1 当安装消能器的主体结构基本处于弹性阶段工作时，可采用线性分析方法作简化估算，并根据结构的变形特征和高度等，可分别采用底部剪力法、振型分解反应谱法和时程分析法。

9.2 消能减震（振）结构总刚度应为结构刚度和消能部件有效刚度的总和，消能减震（振）结构的自振周期应根据消能减震（振）结构的总刚度确定。

9.3 消能减震（振）结构的总阻尼比应为结构阻尼比和消能部件附加给结构的有效阻尼比的总和，对于消能减震（振）结构，消能部件附加给结构的有效阻尼比应根据小震和罕遇地震下结构预期位移分别计算。

9.4 对主体结构进入弹塑性阶段的情况，应根据主体结构体系特征采用静力非线性分析方法或非线性时程分析方法，在

非线性分析中，消能减震（振）结构的恢复力模型应包括结构恢复力模型和消能部件的恢复力模型。

9.5 消能部件附加给结构的有效阻尼比和有效刚度，可按《建筑抗震设计规范》第12.3.4条的规定计算。

9.6 建筑结构的消能减震（振）设计尚应符合相关专门标准的规定。

10 消能减震（振）结构的计算流程

计算流程如图10。

11 其它

11.1 本图集中仅示出与消能部件相连的主体结构构件，其余结构构件未示出。

11.2 本图集中连接构件的焊缝尺寸应根据实际工程的具体情况经计算确定。

12 参编单位

南京丹普科技工程有限公司。

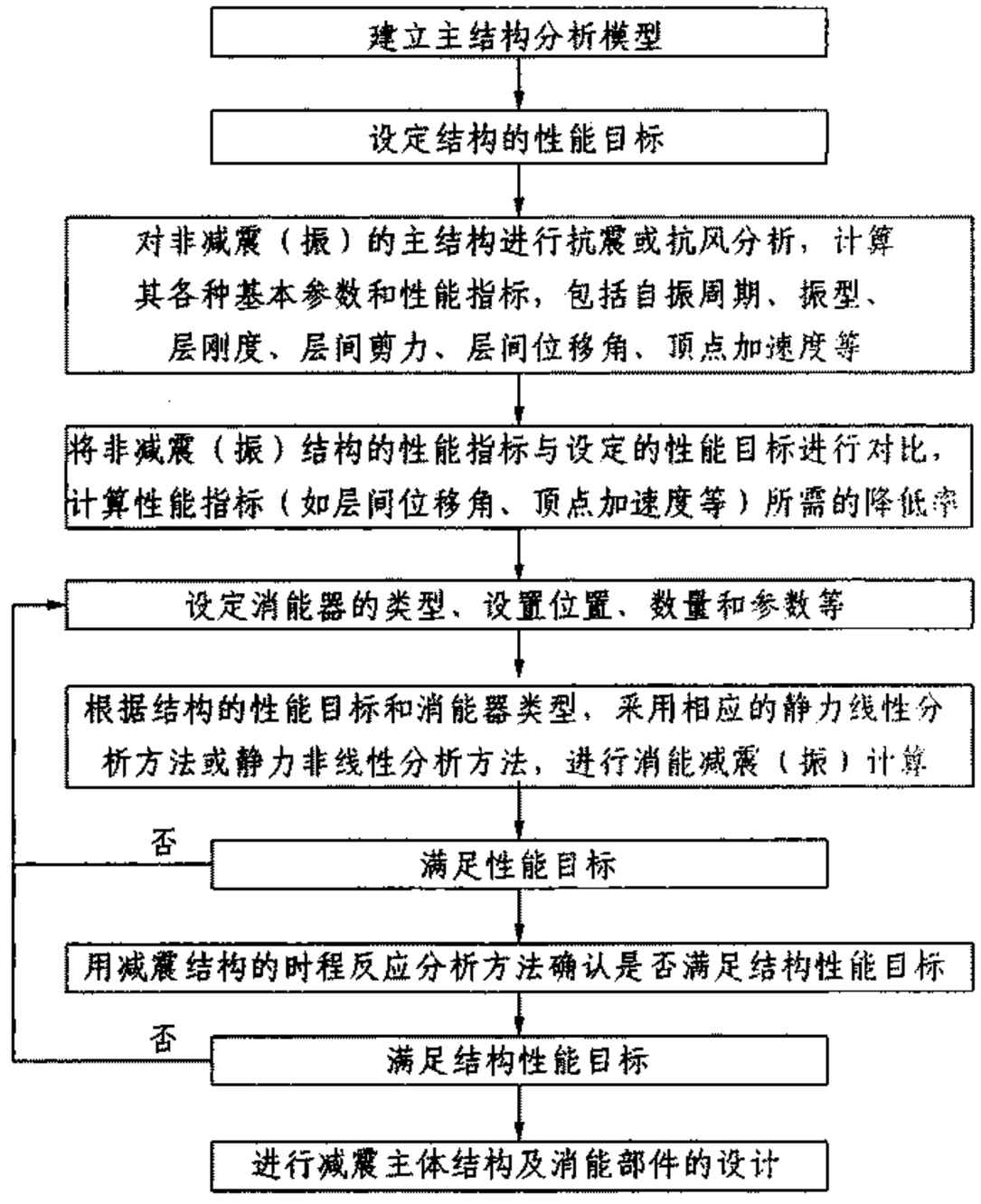


图10 消能减震（振）结构的计算流程

土木工程网
www.1358.cc

黏滞消能器的产品类型及其主要支撑形式

1 黏滞消能器的产品类型

黏滞消能器是以黏滞材料为阻尼介质的速度相关型消能器，可分为杆式黏滞消能器、圆筒式黏滞消能器和黏滞阻尼墙。杆式黏滞消能器是利用活塞运动使黏滞材料流过阻尼孔而产生的阻尼力来耗能；圆筒式黏滞消能器和黏滞阻尼墙是利用圆筒或钢板的错动使得内部黏滞材料发生剪切变形而产生的阻尼力来耗能。

目前国内常用的类型是杆式黏滞消能器，且已颁布该产品的产品标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209-2007，本图集主要介绍杆式黏滞消能器。

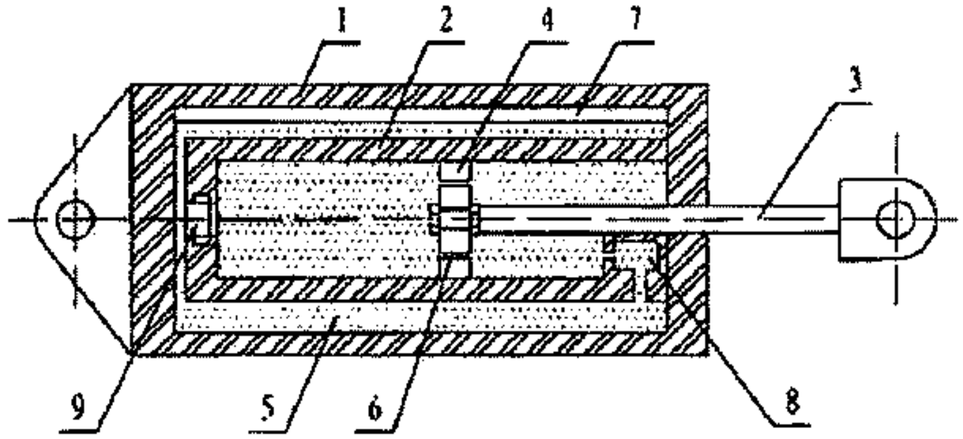
2 杆式黏滞消能器的构造示意及表示方法

2.1 杆式黏滞消能器的构造示意

图2.1是单出杆和双出杆黏滞消能器的构造示意。单出杆型与双出杆型的阻尼特性相同，但由于单出杆型的活塞杆在活塞内运动时阻尼材料（通常为硅油）的容积发生变化故需要储油箱；而双出杆型的活塞杆在活塞内运动时容积不发生变化故不需要储油箱。单出杆型的构造特点是油缸复杂，截面较大，总长度较小；双出杆型的构造特点是油缸简单，截面较小，但总长度较大。目前国内应用较多的是双出杆型黏滞消能器。

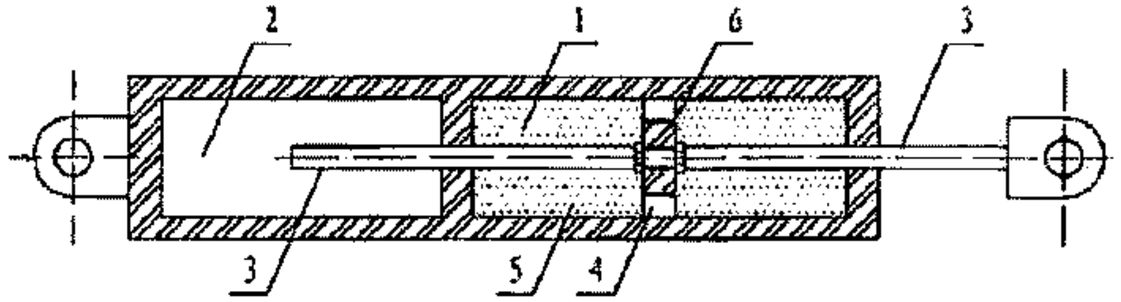
2.2 黏滞消能器的表示方法

黏滞消能器常用截面形状为圆形，消能器符号由名称代号、主参数代号组成。主参数代号：消能器缸径（外径）×消能器长度×最大输出阻尼力×极限位移。消能器缸径（外径）长度、消能器长度、设计容许位移均以mm计，最大输出阻尼力以kN计。



1－外缸 2－内缸 3－导杆 4－活塞 5－阻尼材料
6－阻尼孔 7－储油箱 8－拉伸压缩调压阀 9－底部检验阀

(a) 单出杆型



1－主缸 2－副缸 3－导杆 4－活塞 5－阻尼材料 6－阻尼孔

(b) 双出杆型

图1 杆式黏滞消能器示意图

黏滞消能器的表示方法如下：

VFD-[L或NL]×□×□×□×□

- 极限位移
- 最大输出阻尼力
- 消能器长度
- 消能器缸径（外径）
- 型式，L为线性黏滞消能器，NL为非线性黏滞消能器
- 黏滞消能器

黏滞消能器的产品类型及其主要支撑形式									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	吕坚	吕坚	设计	韩玉栋	韩玉栋	页	7

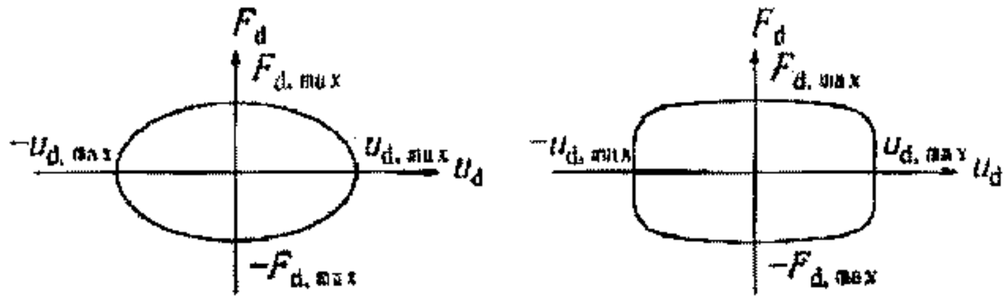
3 杆式黏滞消能器的动力特性

杆式黏滞消能器的力学模型如式(1)所示:

$$F_d = C_d \dot{u}_d^{\alpha} \tag{1}$$

式中：F_d为阻尼力(N)，C_d为阻尼系数（N(s/mm)$^{-\alpha}$），u_d为消能器两端的相对位移(mm)，$\dot{u}_d$为消能器两端的相对速度(mm/s)，α为速度指数（$0.1 \leqslant \alpha \leqslant 1$），当$\alpha=1$时，称之为线性黏滞消能器；当$\alpha<1$时，称之为非线性黏滞消能器。

典型的杆式黏滞消能器的滞回曲线如图2所示:



（a）α=1.0时的滞回曲线　　（b）α=0.4时的滞回曲线

图2 杆式黏滞消能器的滞回曲线

4 杆式黏滞消能器的适用范围及性能

4.1 由于黏滞消能器为速度相关型，在很小的位移条件下即可耗能，故既适用于结构抗风也适用于结构抗震。

4.2 当用于结构抗风时，可选用线性黏滞消能器或速度指数较大的非线性黏滞消能器；当用于结构抗震时，为了避免在大震作用下消能器的阻尼力过大，可采用速度指数较小（如$\alpha<0.4$）的非线性黏滞消能器。

4.3 速度相关性：当消能器两端的相对速度较大时，由于阻尼材料本身的压缩会表现出一定的刚度，具有一定的速度相关性，必要时应考虑此刚度的影响。

4.4 温度相关性：杆式黏滞消能器的温度相关性很小，其工作环境温度范围可达到-40~70℃，可用于室内外各种环境。

4.5 时间相关性（徐变）：由于杆式黏滞消能器不承受长期荷载，且可自由适应轴向变形，故不考虑徐变等时间相关性。

4.6 耐久性：由于杆式黏滞消能器内的阻尼材料不易老化，在循环力作用下特性不发生变化，故其具有很好的耐久性，在使用期间可不考虑老化、疲劳和耐候性的问题。

4.7 耐火性：试验表明，在火灾条件下，杆式黏滞消能器不存在着火或爆炸的危险，由于防火涂料不利于消能器在耗能状态下散热，故宜采用在消能部件外侧设置防火板等措施进行防火处理，火灾后必须进行检查维护，必要时进行更换。

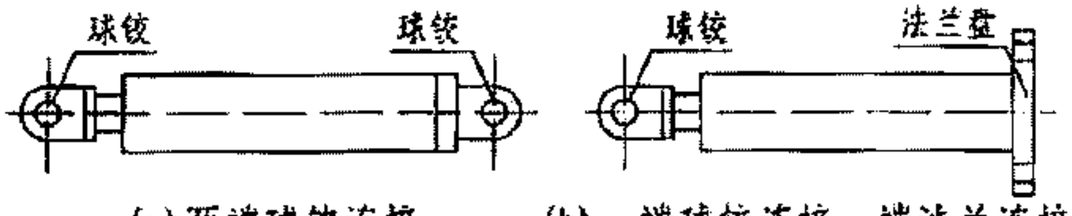
5 杆式黏滞消能器的性能检测

为达到预期的减震（振）效果，杆式黏滞消能器在安装前应严格按照产品行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209-2007和相应的国家规范进行检测。

6 杆式黏滞消能器的主要产品形式及连接方式

根据两端的连接条件，黏滞消能器在出厂时可以做成两端球铰连接或一端球铰连接一端法兰连接两种形式，如图3所示。

杆式黏滞消能器对密封性要求较高，将消能器端部做成球铰连接可以适应连接误差和平面外变形，保证消能器主要承受轴力，避免过大的剪力和弯矩对密封性的不利影响，对



(a) 两端球铰连接　　(b) 一端球铰连接一端法兰连接

图3 杆式黏滞消能器连接方式

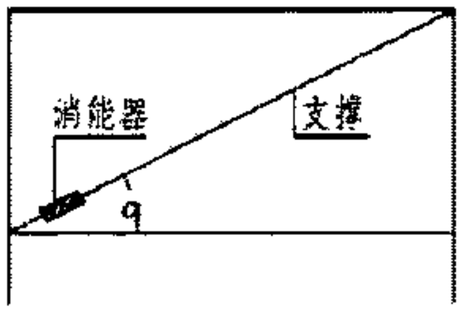
于一端球铰连接一端法兰连接的消能器，与法兰连接的支撑的另一端也应做成球铰连接。

7 杆式黏滞消能器的常用支撑形式及特点

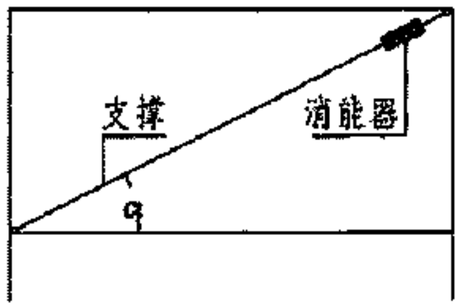
对于杆式黏滞消能器，常用的支撑形式主要有斜杆型支撑、人字型支撑和门架型支撑三种类型。

7.1 斜杆型支撑

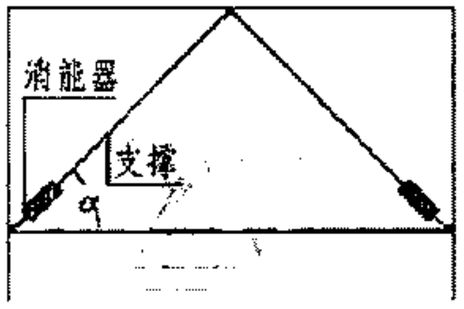
根据斜撑的数量和消能器的位置，斜杆型支撑可分为单斜杆上侧型、单斜杆下侧型、双斜杆上侧型和双斜杆下侧型，如图4所示。



(a) 单斜杆下侧型



(b) 单斜杆上侧型



(c) 双斜杆下侧型



(d) 双斜杆上侧型

图4 斜杆型支撑

（适用于一端铰接一端法兰连接的消能器）

7.1.1 斜杆型支撑的特点：

（1）构造简单，施工方便。

（2）当结构的层间位移为Δ时，消能器两端的相对位移为Δcosα，故其耗能效率较低。

7.1.2 注意事项：

（1）由于消能器的耗能效率随α角度增大而降低，故其倾角不宜过大，一般为25°－45°。

（2）由于消能器和斜撑通过法兰连接，消能器会承受其本身及斜撑的自重引起的剪力和弯矩，为减小此剪力和弯矩对消能器长期性能的不利影响，斜撑的长度不宜过大。

（3）斜撑的计算长度取值应遵循如下原则：计算斜撑的轴向刚度时，计算长度应取其净长。计算平面内、外稳定时，计算长度应取斜撑与消能器的长度总和。

7.2 人字型支撑

两斜向支撑与水平支撑的轴线交于一点时，称之为人字型支撑。根据消能器的安装位置和数量，人字型支撑可分为正人字单侧型、正人字双侧型、倒人字单侧型和倒人字双侧型四种类型，如图5所示。图中仅给出消能器与梁连接的示意，根据具体情况消能器也可与柱或梁柱节点连接。

7.2.1 人字型支撑的特点：

（1）支撑杆件较多，连接构造较斜杆型支撑复杂。

（2）支撑杆件基本为轴向受力，支撑的侧向刚度较大。

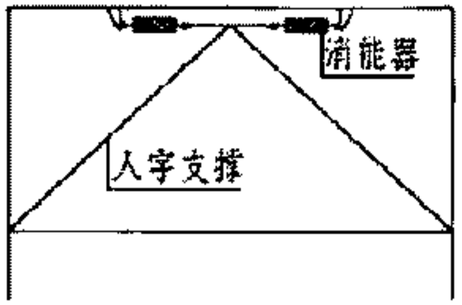
（3）消能器两端的相对位移基本为结构的层间位移，与斜杆型支撑相比其耗能效率较高。

（4）消能器两端与支撑和主体结构采用球铰连接，消能器仅承受本身自重引起的剪力和弯矩，此剪力和弯矩相对较小，因此消能器基本为轴向受力构件。

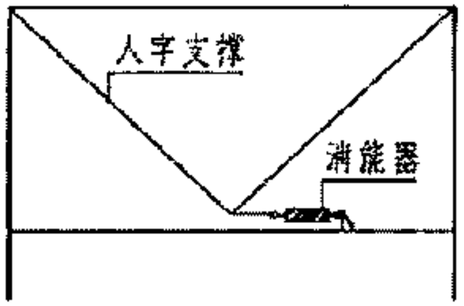
7.2.2 注意事项：



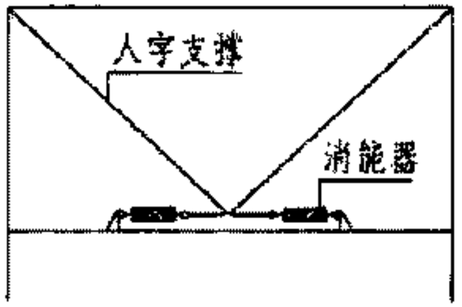
(a) 正人字单侧型



(b) 正人字双侧型



(c) 倒人字单侧型



(d) 倒人字双侧型

图5 人字型支撑

（适用于两端球铰连接的消能器）

（1）应在支撑顶部设置侧向限位装置以防止其平面外失稳。

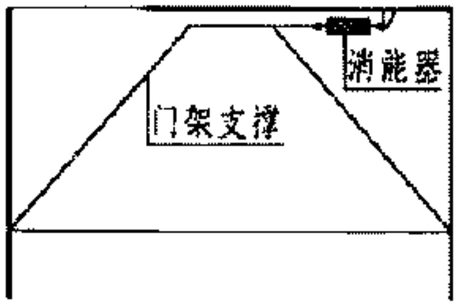
（2）支撑的水平悬臂段长度不宜过大。

（3）与单侧型相比，在相同的耗能能力条件下，双侧型中单个消能器的阻尼系数、最大输出力及连接节点的受力皆可大幅减小。当采用单侧型支撑时，若消能器的最大输出力及连接节点的受力过大，可考虑改用双侧型支撑。

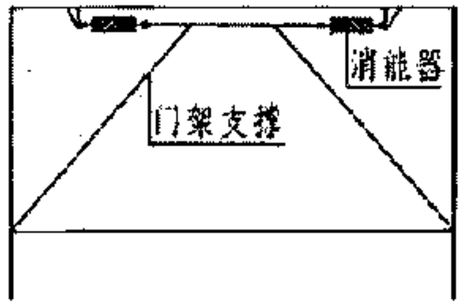
7.3 门架型支撑

两斜向支撑与水平支撑的轴线不交于一点时，称之为门架型支撑。根据消能器的安装位置和数量，门架型支撑可分为正门架单侧型、正门架双侧型、倒门架单侧型和倒门架双侧型四种类型，如图6所示。图中仅给出消能器与梁连接的示意，根据具体情况消能器也可与柱或梁柱节点连接。

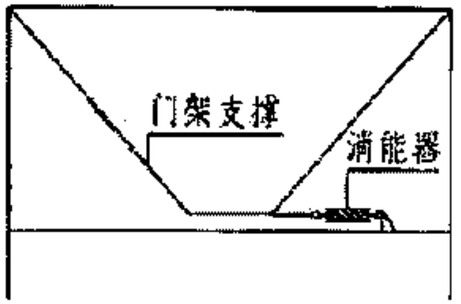
7.3.1 门架型支撑的特点：



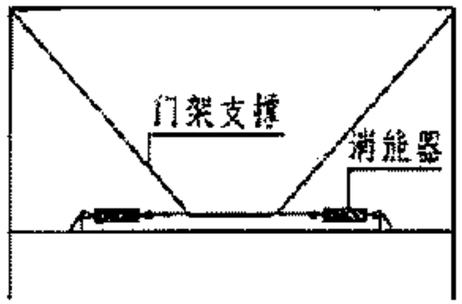
(a) 正门架单侧型



(b) 正门架双侧型



(c) 倒门架单侧型



(d) 倒门架双侧型

图6 门架型支撑

（适用于两端球铰连接的消能器）

（1）布置较灵活，可用于跨度较大或建筑有特殊要求（如开门洞）的情况。

（2）支撑杆件较多，连接构造较斜杆型支撑复杂。

（3）与人字型支撑相比，由于支撑杆件不汇交于一点，在消能器水平力作用下，支撑中的弯矩会增大其水平变形，相应减小了消能器两端的相对位移，在一定程度上降低了消能器的耗能效率。

（4）消能器两端与支撑和主体结构采用球铰连接，消能器仅承受本身自重引起的剪力和弯矩，此剪力和弯矩相对较小，因此消能器基本为轴向受力构件。

7.3.2 注意事项：同人字型支撑。

黏弹性消能器的产品类型及其主要支撑形式

1　黏弹性消能器的产品类型

黏弹性消能器是由黏弹性材料和约束钢板或内外约束钢圆筒组成的速度相关型消能器，其利用钢板或圆筒的错动使得黏弹性材料发生剪切滞回变形而产生的阻尼力来耗能。

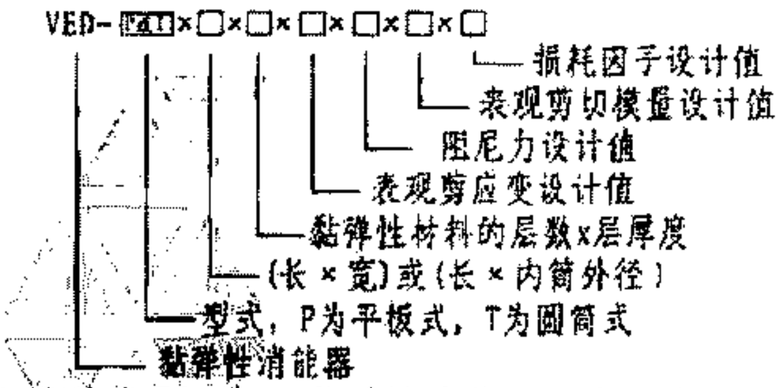
目前国内的黏弹性消能器产品有平板式和圆筒式两种类型，且已颁布产品标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209-2007。平板式消能器中黏弹性材料的层数为多层，圆筒式消能器中黏弹性材料只有一层。平板式黏弹性消能器由于黏弹性材料层数多、剪切面积大、耗能能力强，可适用于各种情况下的建筑消能减震（振）；而圆筒式消能器由于黏弹性材料层数少、耗能能力相对较弱，一般用于大跨网架等对消能器外形有特殊要求的结构。本图集主要介绍平板式黏弹性消能器。

2　黏弹性消能器的构造示意及表示方法

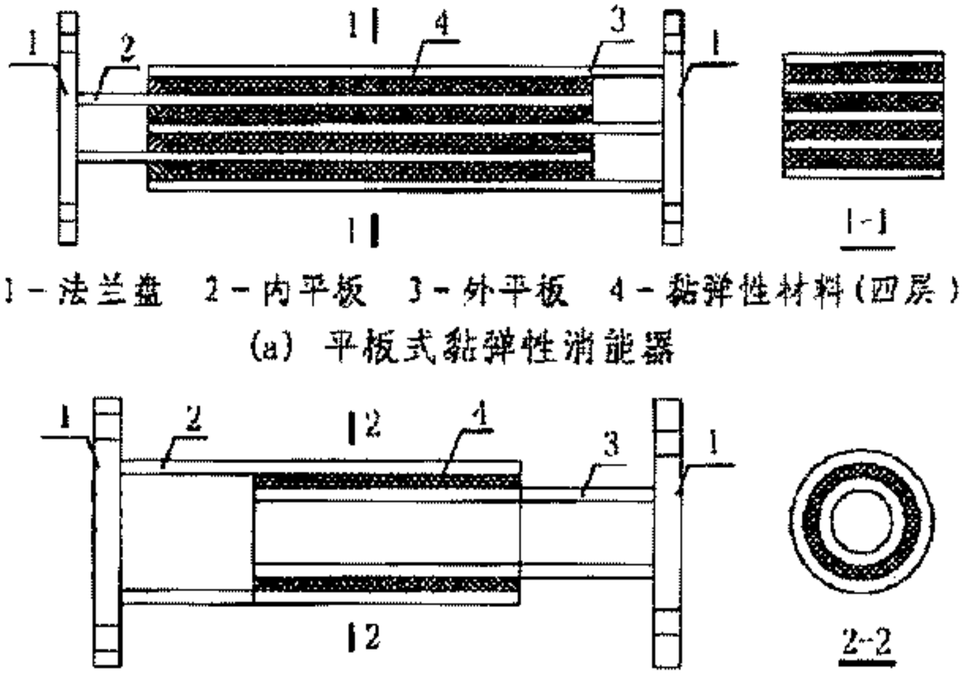
2.1 黏弹性消能器的构造示意：

图1为平板式和圆筒式黏弹性消能器的构造示意。

2.2 黏弹性消能器的表示方法：



在建筑减震（振）黏弹性消能器的命名中，平板式消能器的长度和宽度是指每层黏弹性材料与任一侧约束钢板的黏合尺寸，通常宽度就是约束钢板的宽度；圆筒式消能器的长度是指黏弹性材料与内外约束钢圆筒的黏合长度。



1－法兰盘　2－内平板　3－外平板　4－黏弹性材料(四层)

(a) 平板式黏弹性消能器

1－法兰盘　2－内筒　3－外筒　4－黏弹性材料(一层)

(b) 圆筒式黏弹性消能器

图1 黏弹性消能器示意图

3　黏弹性消能器的动力特性

黏弹性消能器的力学模型如式(1)所示。

$$F_d=K_d(\omega)\dot{u}_d+C_d(\omega)u_d \qquad (1)$$

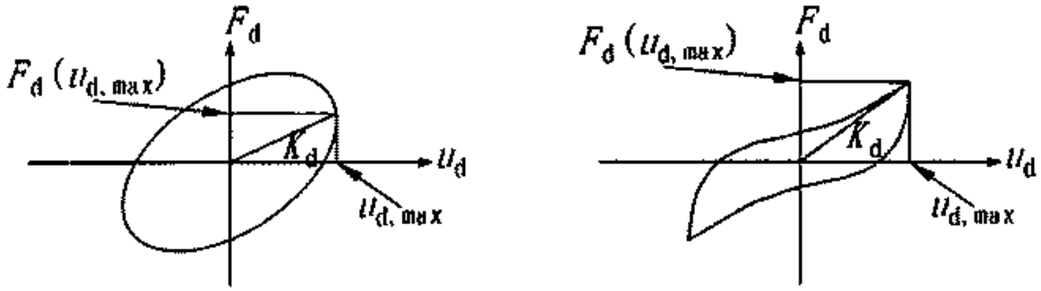
式中：F_d 为阻尼力（N），$K_d(\omega)$ 为与频率相关的等效刚度（N/mm），$C_d(\omega)$ 为与频率相关的等效阻尼系数[N(s/mm)]，u_d和$\dot{u}_d$分别为消能器两端的相对位移（mm）和相对速度mm/s)。

典型的黏弹性消能器的滞回曲线如图2所示。

4　黏弹性消能器的适用范围及性能

4.1 由于黏弹性消能器为速度相关型，其在很小的位移条件下即可耗能，故其既适用于结构的抗风也适用于结构抗震。

土木工程网
www.1358.cc



（a）线性材料　　（b）非线性材料

图3 黏弹性消能器的滞回曲线

（2）频率相关性：黏弹性消能器具有较强的频率相关性，频率相关性随黏弹性材料的种类而异，消能器的动力特性一般表现为频率越高刚度越大，在模型分析时应考虑频率相关性。

（3）位移相关性：黏弹性消能器的滞回环形状有不随位移变化的线性类型和随位移变化的非线性类型。

（4）温度相关性：黏弹性消能器的具有较高温度相关性，具体表现为：刚度随温度的下降而增大；耗能能力在一定温度时（一般15°C左右）达到最大，高温和低温条件下耗能能力都会降低。黏弹性消能器一般用于室内环境，温度范围一般为10～30°C，当用于温度特别高或特别低的室内外环境时，必须通过高温或低温下的动力特性试验验证其性能。

（5）时间相关性（徐变）：黏弹性消能器在长期荷载作用下将发生徐变，故黏弹性消能器的连接方法必须保证使其不承受长期荷载。

（6）耐久性：黏弹性消能器的钢材部分若经过充分的防锈处理可不必考虑老化问题。对于黏弹性材料，由于消能器的构造决定了黏弹性材料暴露的部分较少，其老化导致的特性变化不大。同时试验表明，合格的黏弹性消能器具有良好的耐疲劳性。

（7）耐火性：耐火性试验表明，在火灾条件下，黏弹性材料会产生软化或分解、冒烟的现象。因此在发生火灾后，应及时对消能器进行检查，若黏弹性材料特性发生变化，必须根据实际情况确定是否需要更换。

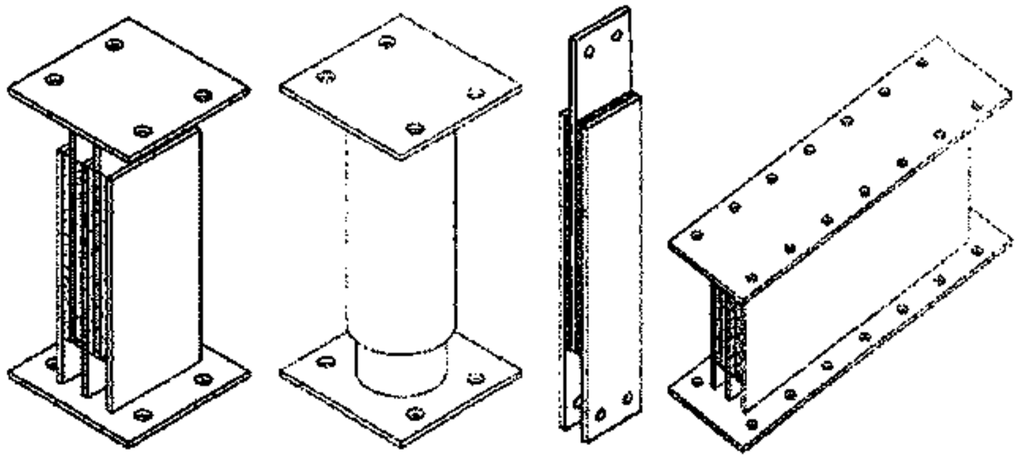
5　黏弹性消能器的性能检测

为达到预期的减震（振）效果，黏弹性消能器在安装前应严格按照产品行业标准《建筑消能阻尼器》和相应的国家规范进行检测。

6　平板式黏弹性消能器的主要产品形式及连接方式

黏弹性消能器在形式上可做成拉压型（图6.（a）、（b）、（c））和剪切型（图6.（d））。

拉压型消能器与支撑、主体结构一般采用法兰或螺栓连接；剪切型消能器一般用于人字型支撑和门架型支撑，其与支撑、主体结构通常采用螺栓连接。



（a）拉压型（一）（b）拉压型（二）（c）拉压型（三）（d）剪切型（一）

图6 黏弹性消能器产品示意图

黏弹性消能器的产品类型及其主要支撑形式									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	韩玉栋		页	12

7　平板式黏弹性消能器的常用支撑形式及特点

对于平板式黏弹性消能器，常用的支撑形式主要有斜杆型支撑、人字型支撑、门架型支撑和隅撑型四种类型。

7.1 斜杆型支撑

在斜杆型支撑中，常采用两端法兰连接的拉压型消能器[图3（a）、（b）]，消能器放置在斜撑中间。根据斜撑的数量，斜杆型支撑可分为单斜杆支撑和双斜杆支撑两种形式，如图4所示。

7.1.1 斜杆型支撑的特点：

（1）构造简单，施工方便。

（2）当结构的层间位移为Δ时，消能器两端的相对位移为Δcosα，其耗能效率较低。

7.1.2 注意事项：

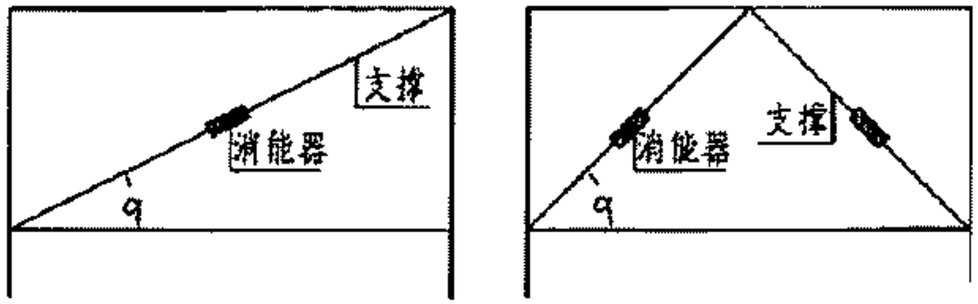
（1）由于消能器的耗能效率随α角度增大而降低，故其倾角不宜过大，一般为25°－45°。

（2）由于黏弹性消能器在长期荷载作用下会发生徐变，支撑与主体结构的连接应具有一定的抗弯刚度（可采用刚接或通过腹板焊接的铰接连接），并足以承受消能器及斜撑的自重作用，保证黏弹性消能器本身不承受长期荷载。

（3）在进行斜杆型消能部件的平面内、外的整体稳定计算时，应考虑黏弹性消能器平面内、外的等效抗弯刚度，宜采用消能器与支撑串联的计算模型进行分析。

7.2 人字型和门架型支撑

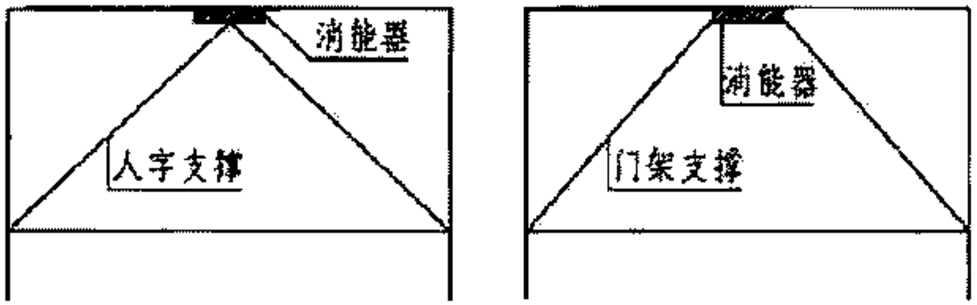
根据消能器的安装位置，人字型和门架型支撑可分为正人字型、倒人字型、正门架型和倒门架型四种类型，如图5所示。



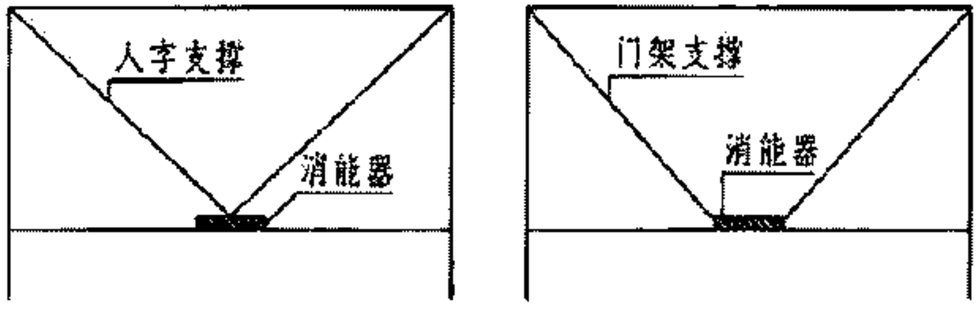
(a) 单斜杆型　　(b) 双斜杆型

图4 斜杆型支撑

（适用于拉压型消能器）



(a) 正人字型　　(b) 正门架型



(c) 倒人字型　　(d) 倒门架型

图5 人字型和门架型支撑

（适用于剪切型消能器）

黏弹性消能器的产品类型及其主要支撑形式										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	李海元	李海元	设计	韩玉体	韩玉体		页	13

7.2.1 人字型和门架型支撑的特点：

（1）支撑杆件较多，连接构造较斜杆型支撑复杂。

（2）消能器的剪切变形基本为结构层间变形，其耗能效率较斜杆型支撑高。

（3）与人字型支撑相比，门架型支撑内存在较大弯矩，抗侧刚度相对较弱，且受力复杂。

（4）由于剪切型黏弹性消能器具有一定的平面外刚度，故在支撑顶部无需额外设置侧向限位装置。

7.2.2 注意事项：

对于人字型和门架型支撑，在黏弹性消能器安装后，梁的后期挠度将在消能器中引起垂直于行程方向的变形，消能器的构造应能适应这种变形，同时应考虑其对消能器有效行程及长期性能的不利影响。为了减小这种不利影响，消能器宜在梁的全部恒载施加完成后安装。

7.3 隅撑型支撑

隅撑型支撑设置在框架梁柱节点处，黏弹性消能器直接与节点附近的梁柱连接（图6）。在隅撑型支撑中，一般采用图3（c）所示的拉压型黏弹性消能器。

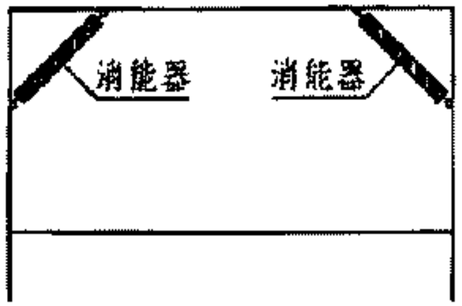


图6 隅撑型支撑

（适用于拉压型消能器）

7.3.1 隅撑型支撑的特点：

（1）构造简单，布置灵活，对建筑空间影响较小，可在当建筑有特殊要求（如开门洞等）时采用。

（2）属于节点型消能装置，消能器变形小，耗能效率低，耗能能力难以充分发挥。

7.3.2 注意事项

由于消能器与主体结构的连接部位可能处于梁柱的塑性铰区附近，应考虑其对相连梁柱受力的影响。

金属屈服型消能器的产品类型及其主要支撑形式

1　金属屈服型消能器的产品类型

金属屈服型消能器是利用低屈服点金属材料的塑性滞回变形来耗散能量的位移相关型消能器。

金属屈服型消能器根据金属材料的不同可分为软钢消能器、铅消能器等。

软钢消能器根据钢材的屈服形式可分为：轴向屈服型，如防屈曲消能支撑；剪切屈服型，如剪切钢板消能器；弯曲屈服型，如梁式消能器、钢棒消能器、加劲消能器等；扭转屈服型等。

为了保证消能器具有稳定的力学性能和较强的耗能能力，软钢消能器的耗能部分用钢的材质应满足以下要求：钢材的屈服点应较低，其范围一般在100－235N/mm^{2}之间一；钢材屈服强度的偏差幅度应较小，一般不超过20N/mm^2；钢材应具有较强的塑性变形能力。

铅消能器类型主要有铅挤压消能器、铅剪切消能器、铅节点消能器、圆柱型和异型铅消能器等。目前铅消能器在国外工程有应用，国内工程应用较少。

虽然金属屈服型消能器种类较多，但目前比较成熟且国内应用较多的是软钢消能器中的防屈曲消能支撑、剪切钢板消能器和加劲消能器，因而本图集仅针对以上类型，并可作为其他类型的参考。

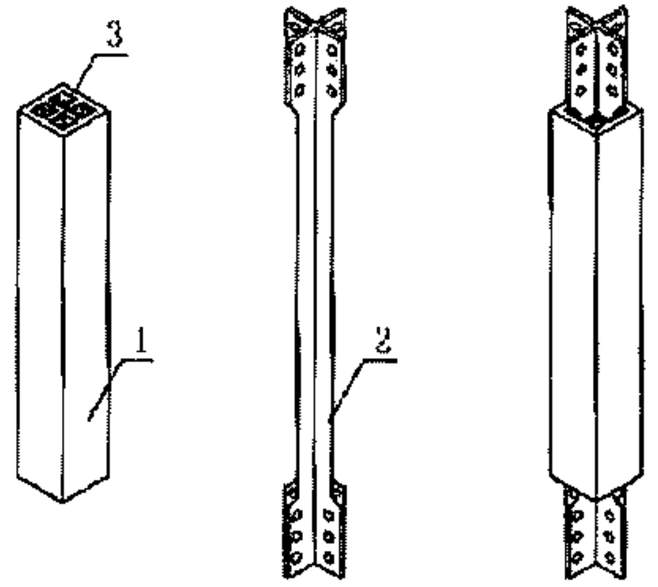
2　典型的软钢消能器的构造示意

2.1 防屈曲消能支撑

防屈曲消能支撑又称为无黏结支撑、屈曲约束支撑，是利用低屈服点芯材在轴向拉压力下的塑性滞回变形来耗能。防屈曲消能支撑一般由核心单元、约束单元及滑动机制单元组成（图1）。核心单元为主受力单元，由低屈服点的钢材制成。约束单元提供约束机制，以防止核心单元受轴压时发生整体失稳或局部屈曲，其可采用钢管混凝土、钢筋混凝土外套、圆形或多边形钢管等。滑动机制单元在核心单元与约束单元之间提供滑动界面，使消能支撑在受拉与受压时尽可能有相近的力学性能，避免核心单元因受压膨胀后与约束单元之间产生摩擦而造成轴力的增加。

2.2 剪切钢板消能器

剪切钢板消能器是利用低屈服点钢板平面内剪切应力作用下产生的塑性滞回变形来耗能（图2）。在剪切钢板消能器中，为了防止钢板发生平面外的屈曲或抑制屈曲量，一般



1－约束单元　2－核心单元　3－滑动机制单元

图1 防屈曲消能支撑构造示意

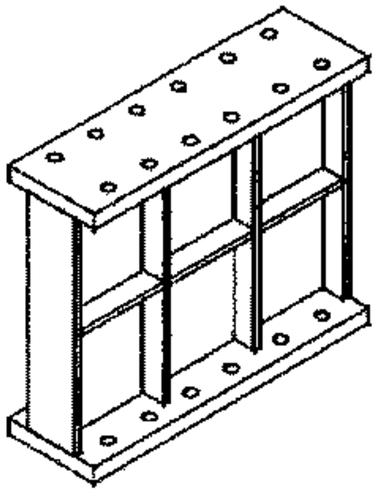


图2.2剪切钢板消能器构造示意

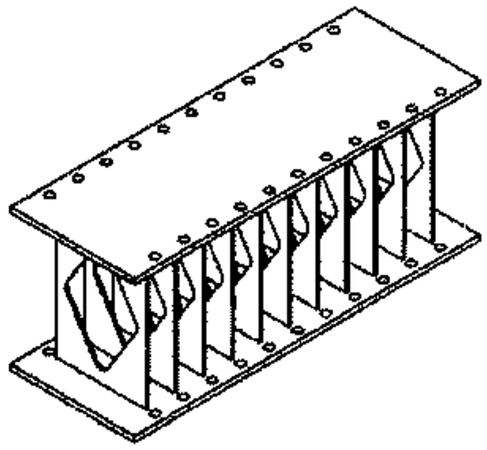


图2.3加劲消能器构造示意

般需对剪切钢板设置适当间隔的加劲肋。

2.3 加劲消能器

加劲消能器是利用低屈服点钢板在平面外弯矩作用下产生的塑性滞回变形来耗能。图2.3为一典型的加劲消能器构造示意，其由数块相互平行的钢板和定位件组装而成。

3 软钢消能器的动力特性

在进行动力分析时，软钢消能器可近似采用双线性滞回模型，如式3所示。当

$$\text{当 } u_d \leqslant u_{dy} \text{时} \quad F_d = K_d \cdot u_d \tag{3-1}$$

$$\text{当 } u_d > u_{dy} \text{时} \quad F_d = F_{dy} + pK_d \cdot (u_d - u_{dy}) \tag{3-2}$$

式中：F 为消能器阻尼力（N），K、pK_d分别为消能器的弹性刚度和屈服后刚度（N/mm），u_d和u_{dy}分别为消能器位移和屈服位移(mm)。

典型的软钢消能器的双线性滞回曲线如图3所示。

4 软钢消能器的适用范围及性能

（1）由于软钢消能器在小位移条件下仅提供刚度，只有在屈服后才具有耗能能力，故其一般仅用于结构抗震。

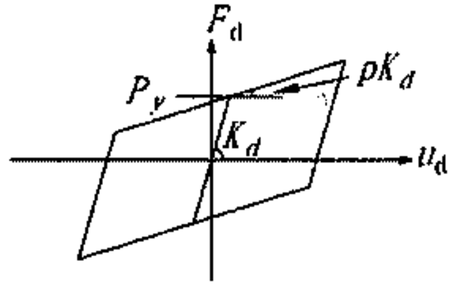


图3 软钢消能器的双线性滞回曲线

（2）速度相关性：对于低屈服点钢材，尤其是屈服点为100 N/mm²的钢材，其屈服承载力及抗拉强度随应变速度的上升而提高，故软钢消能器表现出一定的速度相关性。若消能器钢板的应变速度较大，在建立消能器的滞回模型和设计周围构件时应予以注意。

（3）位移振幅相关性：由于低屈服点钢材具有明显的应变硬化特性，故软钢消能器具有较高的位移相关性，在进行结构动力分析时，应注意其滞回模型与大震时的位移相适应。

（4）温度相关性：由于钢材存在低温环境下的韧性降低，软钢消能器宜在0℃～40℃的常温环境下使用，若在更低温度下使用时则必须采用可用于低温的特殊钢材，或需对钢材必须具备的低温性能予以特别的规定。

（5）时间相关性：消能器用钢在常温环境下不会发生徐变，因此软钢消能器设计中一般不必考虑时间相关性。

（6）耐久性：消能器用钢在常温环境下不会发生老化，只要实施了涂层等充分的防锈处理后可不考虑与耐久性相关的特性变化。但钢材出现塑性变形后，防锈处理可能因不适应塑性变形而剥落，此时应对涂层进行修补。

4.7 耐火性：钢材经历高温环境，其材质和机械性能将发生变化，因而火灾后必须对消能器进行外观检查并根据实际情况确定是否需要采取更换等措施。

5 金属屈服型消能器的性能检测

由于目前国内还未颁布金属屈服型消能器的产品行业标准，在安装前应按照《建筑抗震设计规范》GB 50011-2001（2008年版）相关要求进行性能检测。待产品行业标准颁布后，应同时满足相应的产品标准。

6 软钢消能器的连接方式

防屈曲消能支撑一般直接与主体结构连接；剪切钢板消能器和加劲消能器一般设置在支撑与主体结构或支撑与支撑之间。软钢消能器与主体结构和支撑的连接方式可采用高强螺栓连接或焊接连接。为便于消能器的更换，宜采用高强螺栓连接。

7 软钢消能器的常用支撑形式及特点

对于软钢消能器，常用的支撑形式主要有斜杆型、人字型、门架型、双人字型、双门架型五种类型。

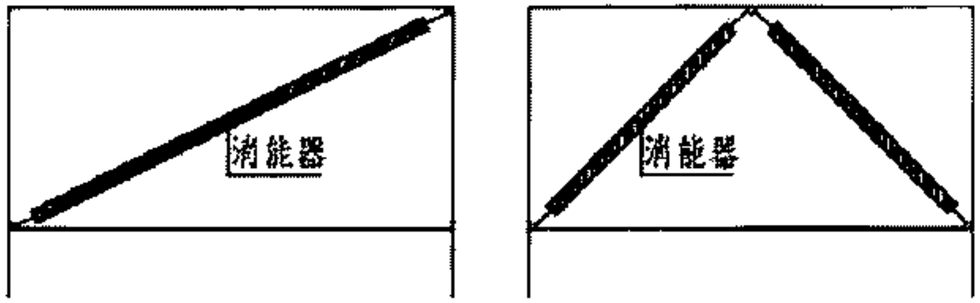
7.1 斜杆型支撑

斜杆型支撑主要用于防屈曲消能支撑，在斜杆型支撑中，防屈曲消能支撑一般作为支撑构件直接与主体结构连接。根据斜撑的数量，斜杆型支撑可分为单斜杆支撑和双斜杆支撑两种形式(图5)。

7.1.1 斜杆型支撑的特点：

（1）构造简单，施工方便，易于更换。

（2）防屈曲消能支撑长度较大，可根据实际工程定制，兼具普通支撑（抗风和小震条件下提供刚度）和消能构件（中震和大震条件下提供阻尼）的双重作用。



(a) 单斜杆型　　(b) 双斜杆型

图5 斜杆型支撑

（适用于防屈曲消能支撑）

7.1.2 注意事项：

（1）在结构分析时，斜杆型防屈曲消能支撑的连接部分一般简化为铰接模型，但对连接部分进行细部设计时，应考虑由于高强螺栓或焊接连接实际存在弯曲刚度引起的附加弯矩的不利影响。

（2）对于双斜杆型支撑，防屈曲消能支撑安装后的结构竖向荷载会在其内部产生附加拉力或压力，在结构抗震分析时，应将此附加内力与地震作用内力进行叠加，按照叠加后的内力对防屈曲消能支撑进行设计。

7.2 人字型和门架型支撑

人字型和门架型支撑适用于剪切钢板消能器和加劲消能器。根据消能器的安装位置，人字型和门架型支撑可分为正人字型、倒人字型、正门架型和倒门架型四种类型，如图6所示。

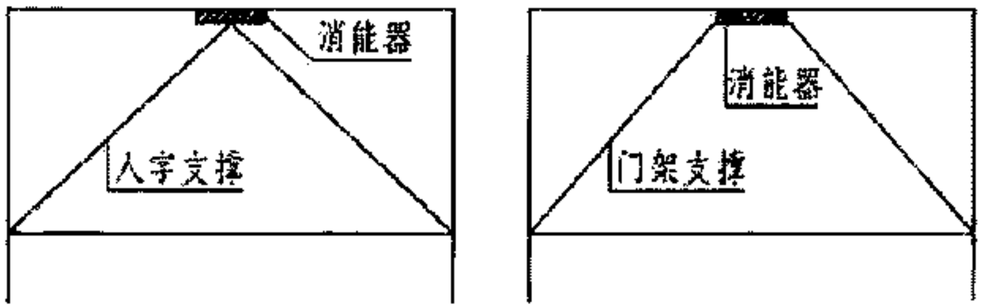
7.2.1 人字型和门架型支撑的特点同黏弹性消能器。

7.2.2 注意事项：

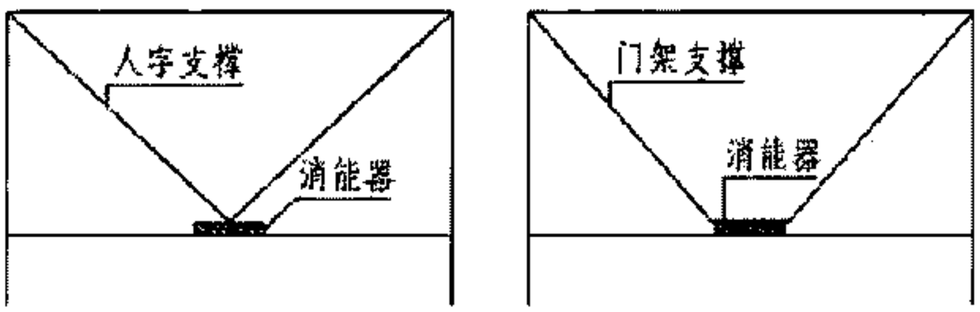
对于人字型和门架型支撑，软钢消能器安装后的结构竖向荷载会在消能部件内产生附加内力，在结构抗震分析时，应将此附加内力与地震作用内力进行叠加，按照叠加后的内力对消能部件进行设计。为了减小附加内力的影响，消能器宜在结构的全部竖向恒载施加完成后安装。

7.3 双人字型和双门架型

当剪切钢板消能器或加劲消能器位于层间位置，上下分别与一个正人字（门架）和一个倒人字（门架）支撑相连就构成了双人字型和双门架型支撑（如图7所示）。



(a) 正人字型　　(b) 正门架型



(c) 倒人字型　　(d) 倒门架型

图6 人字型和门架型支撑

（适用于剪切钢板消能器和加劲消能器）

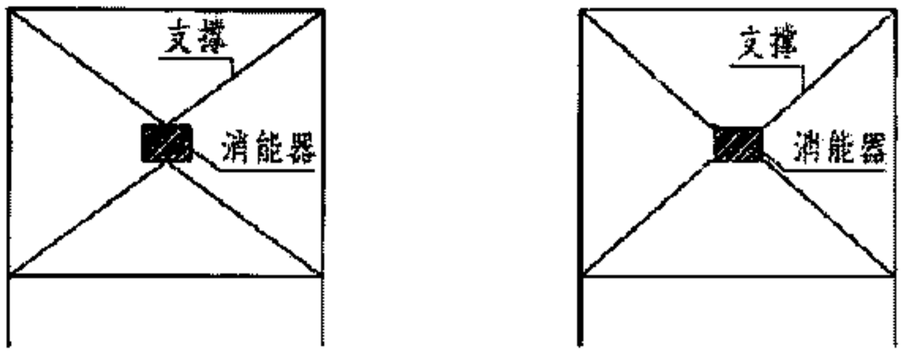
7.3.1 双人字型和双门架型支撑的特点：

（1）适用于楼层较高的情况，此时若采用人字型或门架型支撑，其杆件可能过长，不够合理，则可改用此类型支撑。

（2）支撑杆件较多，构造较人字型和门架型支撑更复杂。

7.3.2 注意事项：

在进行消能部件的稳定计算时，应将上下支撑及消能器作为整体考虑。当上下人字（门架）支撑对称时，可将其分别作为独立的悬臂构件进行计算。



(a) 双人字型　　(b) 双门架型

图7 双人字型和双门架型支撑

（适用于加劲消能器）

7.4 软钢消能器设计的其他注意事项：

（1）由于软钢消能器抗疲劳能力较差，应防止其在风振作用下进入塑性状态，避免疲劳损伤的积累导致疲劳寿命降低。

（2）软钢消能器的最大承载力受钢材应变硬化的影响较大，在设计连接构件时，必须充分考虑钢材应变硬化引起的消能器承载力的提高，应按提高后的承载力对连接节点及支撑杆件进行强度和稳定验算。

摩擦消能器的产品类型及其主要支撑形式

1　摩擦消能器产品类型

摩擦消能器是由金属组合材料和摩擦片通过施加预紧力而组成的位移相关型消能器，其利用滑动摩擦做功来耗能。

根据摩擦消能器的构造和消能机制，主要可以分为：节点型摩擦消能器、板式摩擦消能器、筒式摩擦消能器和复合型摩擦消能器。

摩擦消能器种类繁多，本图集仅介绍较常用的Pall摩擦消能器和长孔螺栓摩擦消能器，其均属于板式摩擦消能器。

2　典型的摩擦消能器的构造示意

Pall摩擦消能器由交叉处的摩擦滑动节点和周围四根链杆组成（图1）。摩擦滑动节点是由钢板通过高强螺栓连接而成，消能器的起滑力由节点板间的摩擦力控制，可在钢板之间夹设摩擦材料或对接触面进行处理以提高摩擦系数，并通过松紧节点螺栓来调节钢板间正压力以调节消能器的摩擦力。

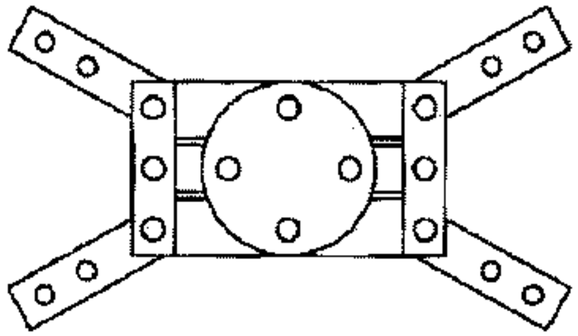
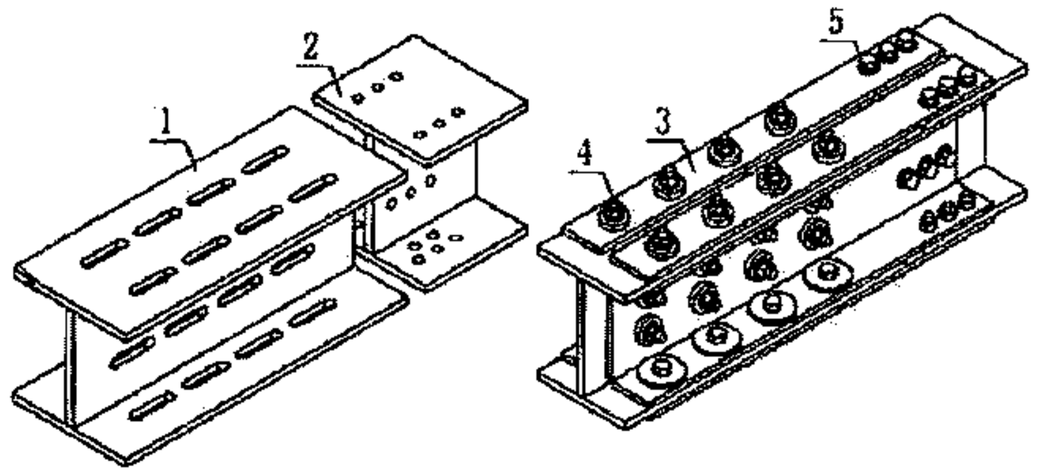


图1 Pall摩擦消能器

长孔螺栓摩擦消能器由开有长孔的主板和开有螺栓孔的副板及紧固螺栓所组成（图2）。长孔与受力方向平行，螺栓穿过长孔，螺帽下加设弹簧和垫圈，以保持恒定的螺栓预紧力。在主板和副板间可嵌入摩擦片以增强摩擦，保持滑动摩擦力均匀稳定。



（a）主板与连接板的螺栓孔示意　　（b）消能器全貌

1－主板 2－连接板 3－副板 4－紧固螺栓 5－高强螺栓

图2 长孔螺栓摩擦消能器

3　摩擦消能器的动力特性

摩擦消能器的荷载－变形关系为典型的理想弹塑性，其力学模型如式(1)或(2)所示。

当 $u_d \leqslant u_{dy}$ 时　　$F_d = K_d \cdot u_d$　　(1)

当 $u_d > u_{dy}$ 时　　$F_d = F_{dy}$　　(2)

式中：F_d、F_{dy}分别为摩擦消能器起滑前的静摩擦力和起滑后摩擦荷载（N）；K_d为摩擦消能器起滑前刚度（N/mm），$K_d = \infty$，对其数值一般不作规定；u_d和u_{dy}分别为消能器变形和起滑变形（mm）。

典型的摩擦消能器的滞回曲线如图3所示。

4　摩擦消能器的适用范围及性能

4.1 由于摩擦消能器在多次循环滑移的情况下，会因摩擦材料

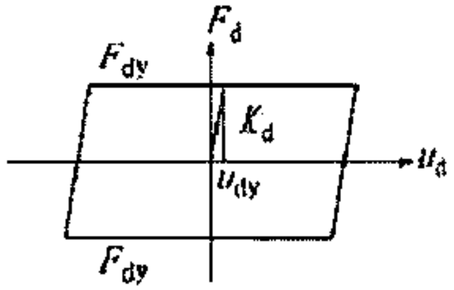


图3 摩擦消能器的滞回曲线

的磨耗导致摩擦力降低，如用于结构抗风，其耗能能力会因频繁的磨损而逐渐下降，故其一般用于结构抗震、并保证在风振作用下处于非滑移状态。

4.2 速度、频率、振幅相关性：摩擦消能器的特性符合库仑摩擦法则，一般认为摩擦荷载与激振速度、频率、振幅无关。

4.3 环境条件（温度、湿度）相关性：在室内正常环境条件下摩擦消能器不需要考虑温度、湿度相关性；在温度变化剧烈且湿度很大的环境下，需考虑其对消能器特性的影响，并采取相应措施。

4.4 时间（徐变）相关性：由于摩擦消能器采用了不发生徐变的表面压力产生装置及摩擦材料，或即使采用的摩擦材料可发生极小的徐变但是表面压力产生装置具有充分吸收徐变的功能，因此可不考虑徐变的影响。

4.5 耐久性：摩擦消能器的耐久性包括耐老化性和耐磨耗性。现有较成熟的产品耐老化性均较好，基本上不需要维护；在设定的大震循环次数作用下，摩擦性能基本不变，具有较好的耐磨耗性。

4.6 耐火性：金属组合材料和摩擦片在经历了高温环境后，摩擦性能将发生变化，火灾后必须对消能器进行检查并根据需要采取更换等措施。

5 摩擦消能器的性能检测

由于目前国内还未颁布摩擦消能器的产品行业标准，其在安装前应按《建筑抗震设计规范》GB 50011-2001（2008年版）的相关要求进行检测。待产品行业标准颁布后，应同时满足相应的产品标准。

6 摩擦消能器的连接方式

摩擦消能器种类繁多，与主体结构的连接方式因产品而异。

Pall摩擦消能器的连接方式：消能器四角通过支撑与主体结构相连；支撑与消能器通过高强螺栓连接；支撑与主体结构通过销栓形成铰接连接。

长孔螺栓摩擦消能器一般为现场组装，其连接方式为：斜撑一端与主体结构焊接或高强螺栓连接，另一端开长孔并做特殊处理后作为消能器主板；副板一端与主板间嵌入摩擦材料并通过紧固螺栓连接形成摩擦消能段，其另一端与主体结构高强螺栓连接。

7 摩擦消能器的常用支撑形式及特点

对于本图集中的Pall摩擦消能器产品，一般采用交叉型支撑（图3）；对于长孔螺栓摩擦消能器，一般采用斜杆型支撑，根据斜撑的数量，斜杆型支撑可分为单斜杆支撑和双斜杆支撑两种形式（图4）。

7.1 交叉型支撑的特点：

（1）构造简单，施工方便，易于更换。

（2）由于Pall摩擦消能器消能节点周围的四根链杆起到协调支撑拉压变形的作用，避免了拉压支撑产生屈曲，消能

土木工程网
www.1358.cc

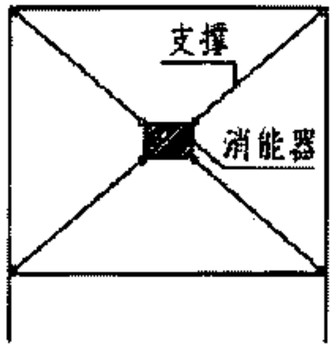
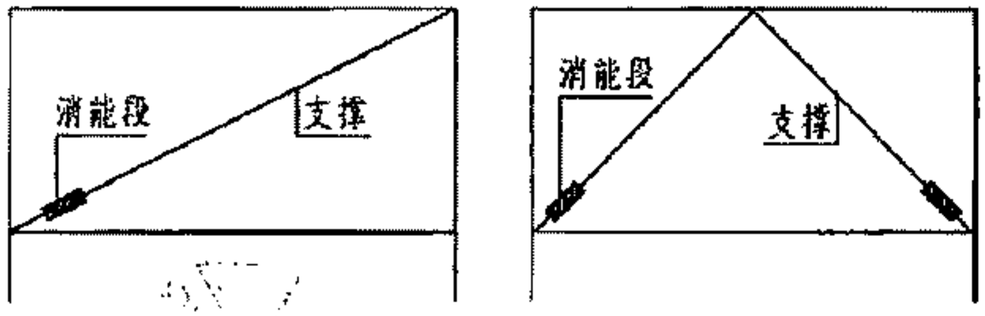


图3 交叉型支撑
（适用于Pall摩擦消能器）



(a)单斜杆型　　(b)双斜杆型

图4 斜杆型支撑
（适用于长孔螺栓摩擦消能器）

器四周的支撑可按拉杆进行设计。

7.2 斜杆型支撑的特点：

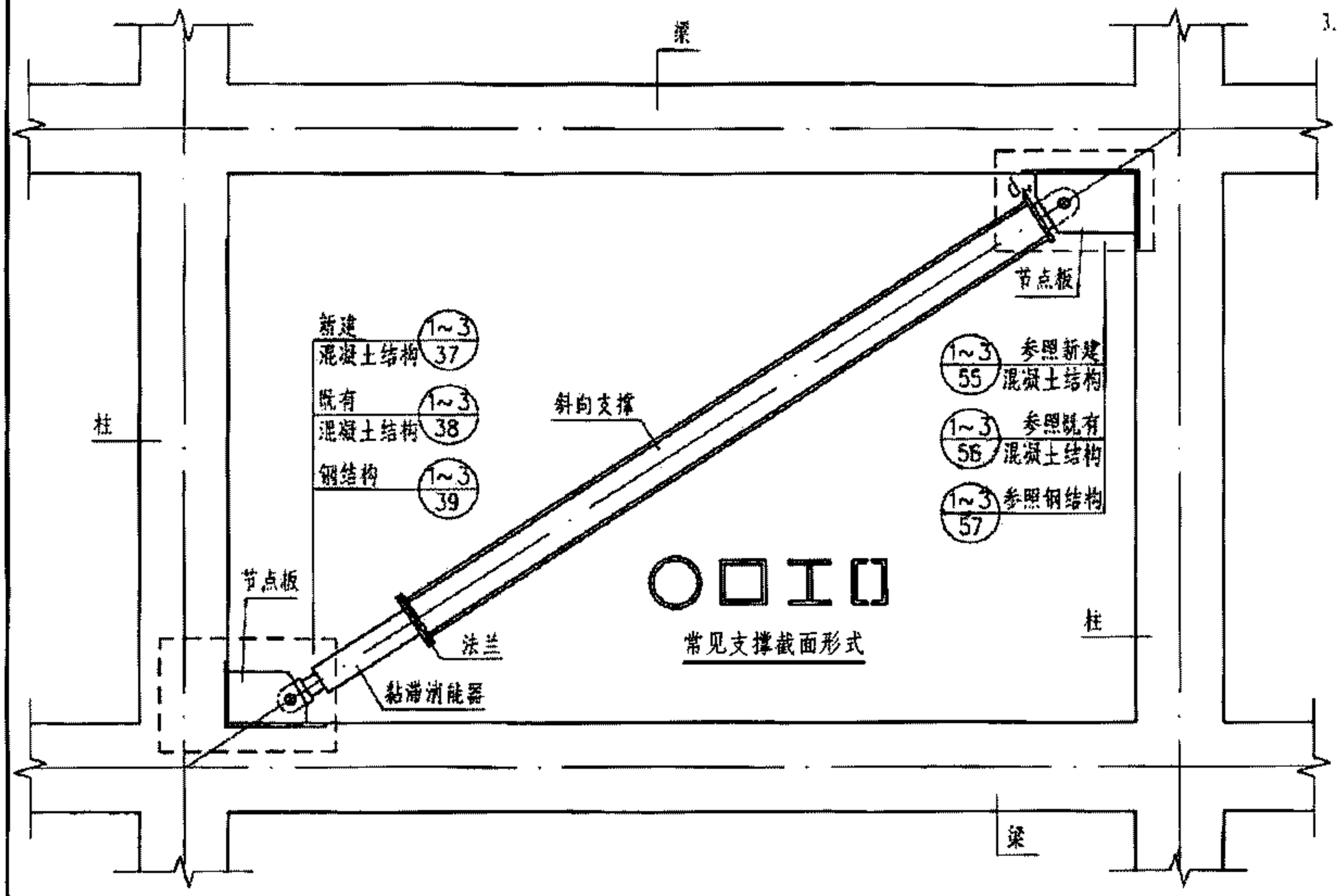
（1）构造简单，施工方便。

（2）斜向支撑既是消能器与主体结构之间的连接构件，也是摩擦消能器的一部分。

（3）在抗风和小震条件下，摩擦消能器不产生滑动，斜向支撑可作为普通支撑仅提供刚度；在中震和大震条件下，斜向支撑的消能段滑动，通过摩擦耗能提供附加阻尼。

7.3 摩擦消能器设计的注意事项：

部分摩擦消能器产品起滑时及荷载转向时的瞬间静摩擦力大于动摩擦力，在设计连接构件时，应按此静摩擦力对连接节点和支撑进行计算。



常见支撑截面形式

黏滞消能器单斜杆型消能部件

注：1. 本图仅表示黏滞消能器单斜杆下侧型消能部件。上侧型做法可参照本图。

2. 连接形式：消能器与斜向支撑采用法兰连接；消能器、斜向支撑与主体结构采用球铰连接。

3. 注意事项

(1) 对主体结构与支撑、消能器相连的部位及连接节点应采取加强措施，避免其在消能器最大输出力作用下发生破坏。

(2) 黏滞消能器安装完毕后应保证活塞处于平衡位置。

(3) 为保证消能器能适应平面内、外变形，消能部件与主体结构采用球铰连接。

(4) 为保证斜向支撑在平面内具有足够的转动能力，避免其在结构最大侧向位移条件下与节点板发生碰撞，斜向支撑端板与节点板的间隙：d宜取10～15mm。

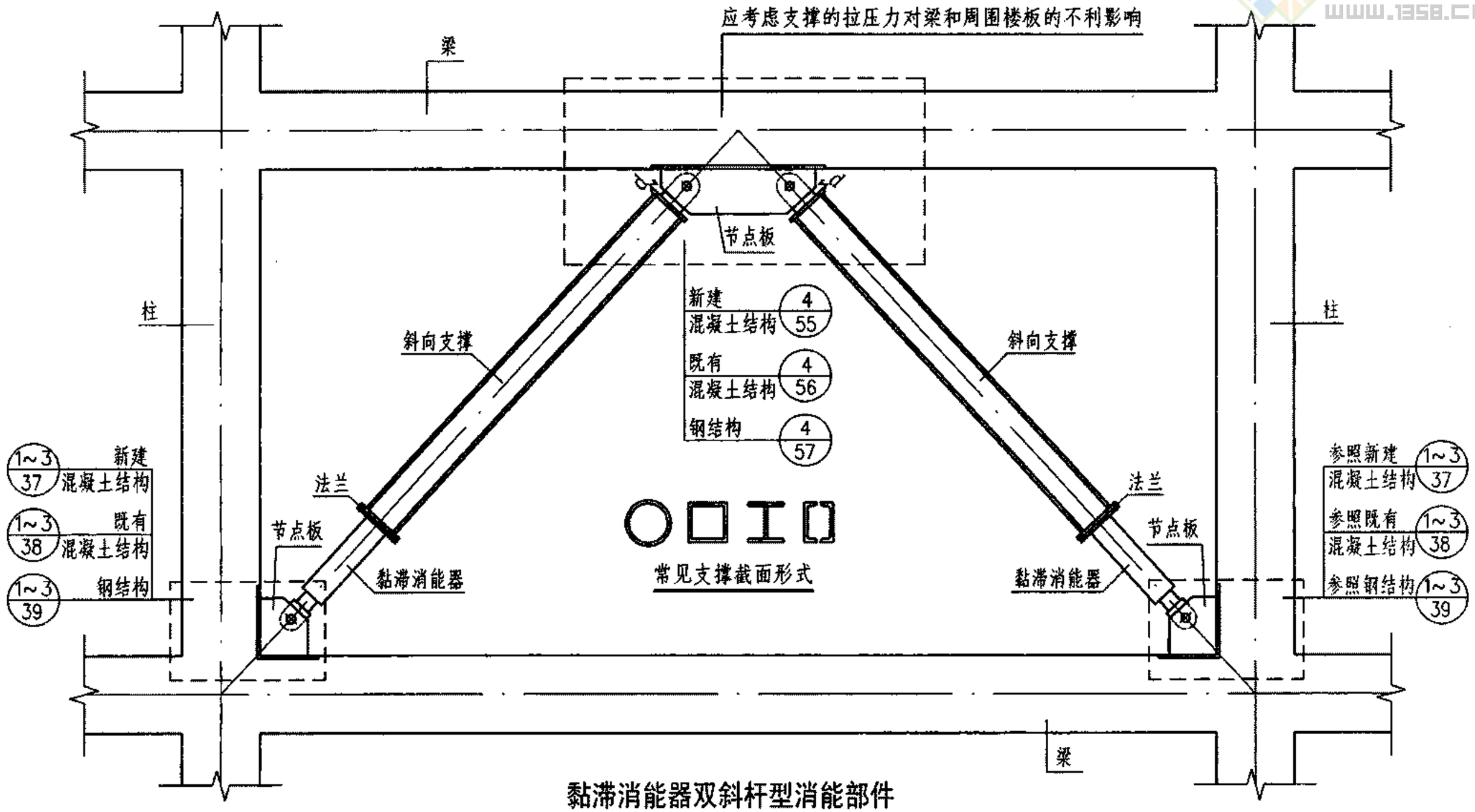
(5) 为保证消能器性能的充分发挥，销栓与球铰的间隙宜≤0.1mm。

(6) 为保证球铰连接能适应消能部件的平面外变形，同时销栓处于纯剪状态，建议耳板与两侧节点板之间的间隙为2~3mm。

(7) 单斜杆型消能部件跨度不宜过大，以防止消能器在消能部件自重作用下产生过大的弯矩和剪力。

黏滞消能器单斜杆型消能部件									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 磊		设计	李海元		页	22

土木工程网
www.1358.cc



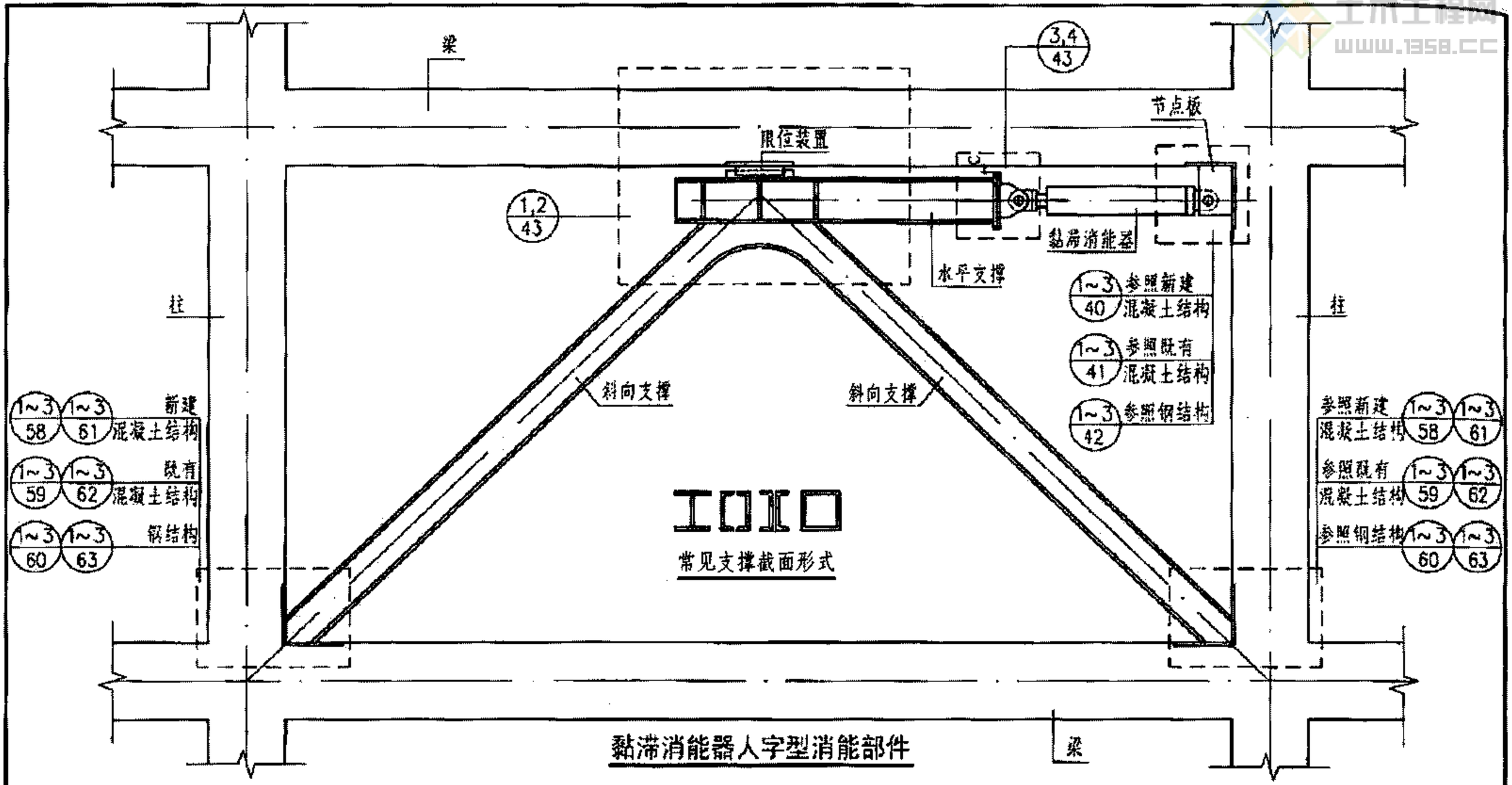
常见支撑截面形式

黏滞消能器双斜杆型消能部件

注：1. 本图仅表示黏滞消能器双斜杆下侧型消能部件．上侧型做法可参照本图。
2. 连接形式和注意事项同本图集第22页注2~3。

黏滞消能器双斜杆型消能部件										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 磊		设计	李海元			页	23

土木工程网
www.1358.cc



注：1. 本图仅表示黏滞消能器正人字单侧型消能部件，正人字双侧型及倒人字单、双侧型做法可参照本图。

2. 连接形式：

(1) 支撑与主体结构可采用刚接或铰接，当消能器输出力较大时，宜采用刚接。

(2) 消能器与水平支撑和主体结构采用球铰连接。

(3) 消能器与主体结构的连接部位有以下三种：梁柱节点、梁、柱，具体见连接详图。

3. 注意事项

(1)、(2) 同本图集第22页注意事项 (1)、(2)。

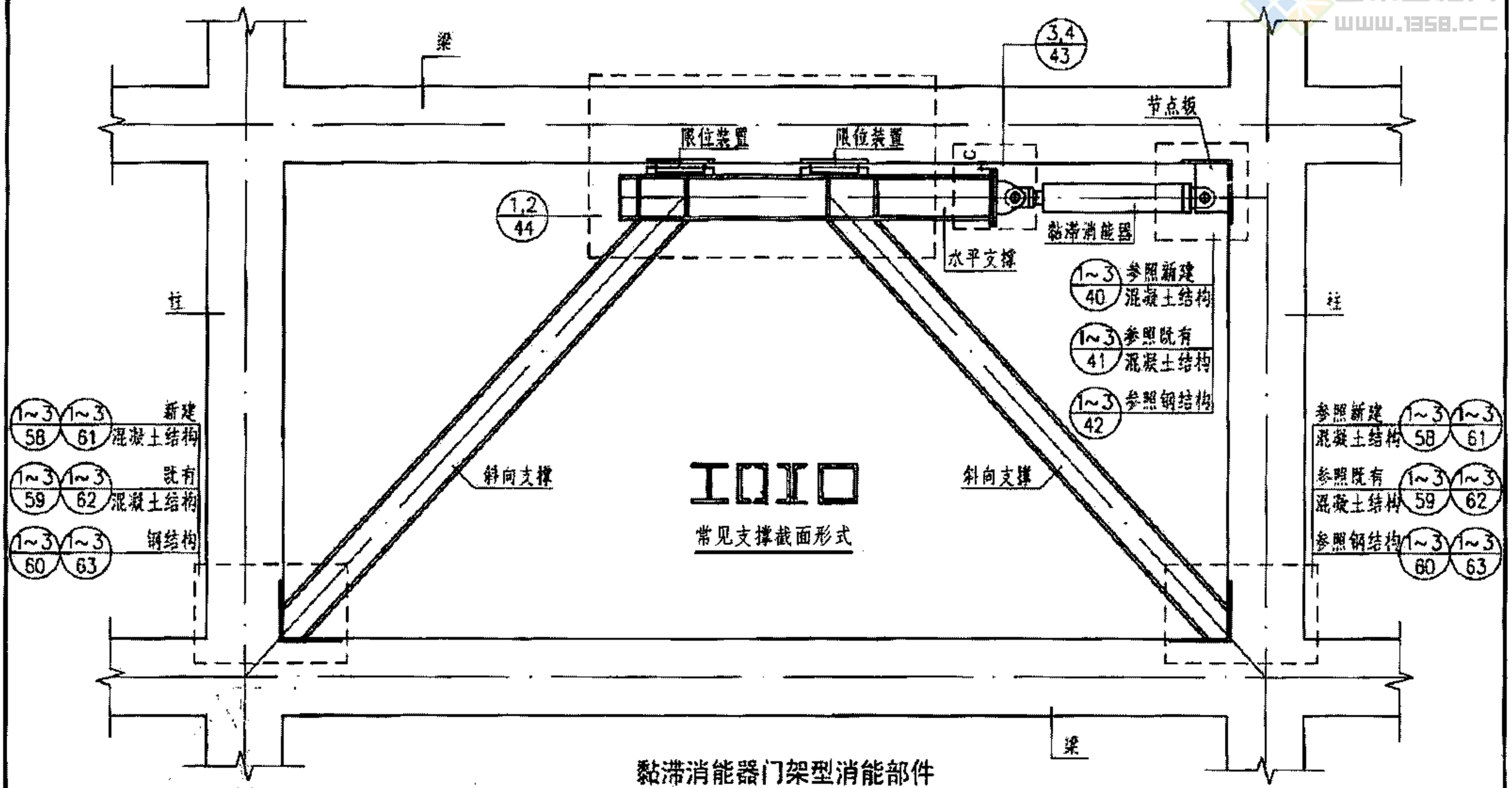
(3) 为保证消能器的球铰在平面外具有一定的转动能力，同时销栓处于纯剪状态，建议消能器的耳板与两侧节点板之间的间隙为2~3mm。

(4) 水平支撑不宜过长，以保证其稳定性。

(5) 考虑框架梁在竖向荷载下的挠曲变形以及安装空间，建议 $c \geq 50mm$。

(6) 为保证消能器性能的充分发挥，销栓与球铰的间隙宜 $< 0.1mm$。

黏滞消能器人字型消能部件									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 磊		设计	李海元		页	24



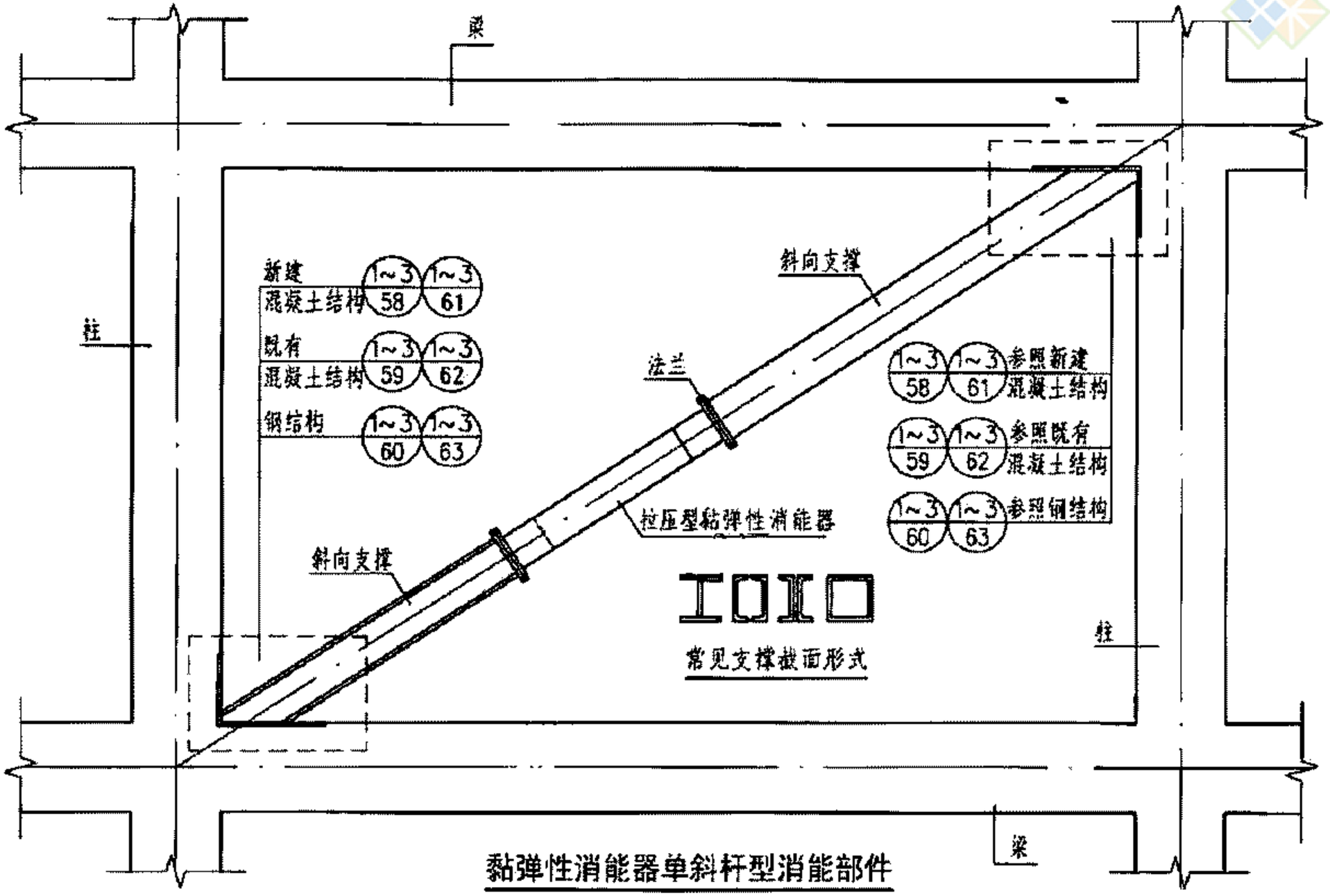
常见支撑截面形式

黏滞消能器门架型消能部件

注：1. 本图仅表示黏滞消能器正门架单侧型消能部件，正门架双侧型及倒门架单、双侧型做法可参照本图。

2. 连接形式和注意事项同本图集第24页注2、3。

黏滞消能器门架型消能部件										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏磊		设计	李海元			页	25



常见支撑截面形式

黏弹性消能器单斜杆型消能部件

注：1. 本图支撑形式适用于拉压型黏弹性消能器。

2. 连接形式：

(1) 黏弹性消能器与支撑或主体结构可根据不同产品采用法兰或高强螺栓连接，本图集仅给出国内最常用的两端法兰连接形式。

(2) 支撑与主体结构可采用刚接或铰接，为保证消能部件的整体稳定性，宜采用刚接。

(3) 支撑与主体结构不应采用销栓连接的铰接形式，以防止黏弹性消能器在消能部件自重作用下发生徐变。

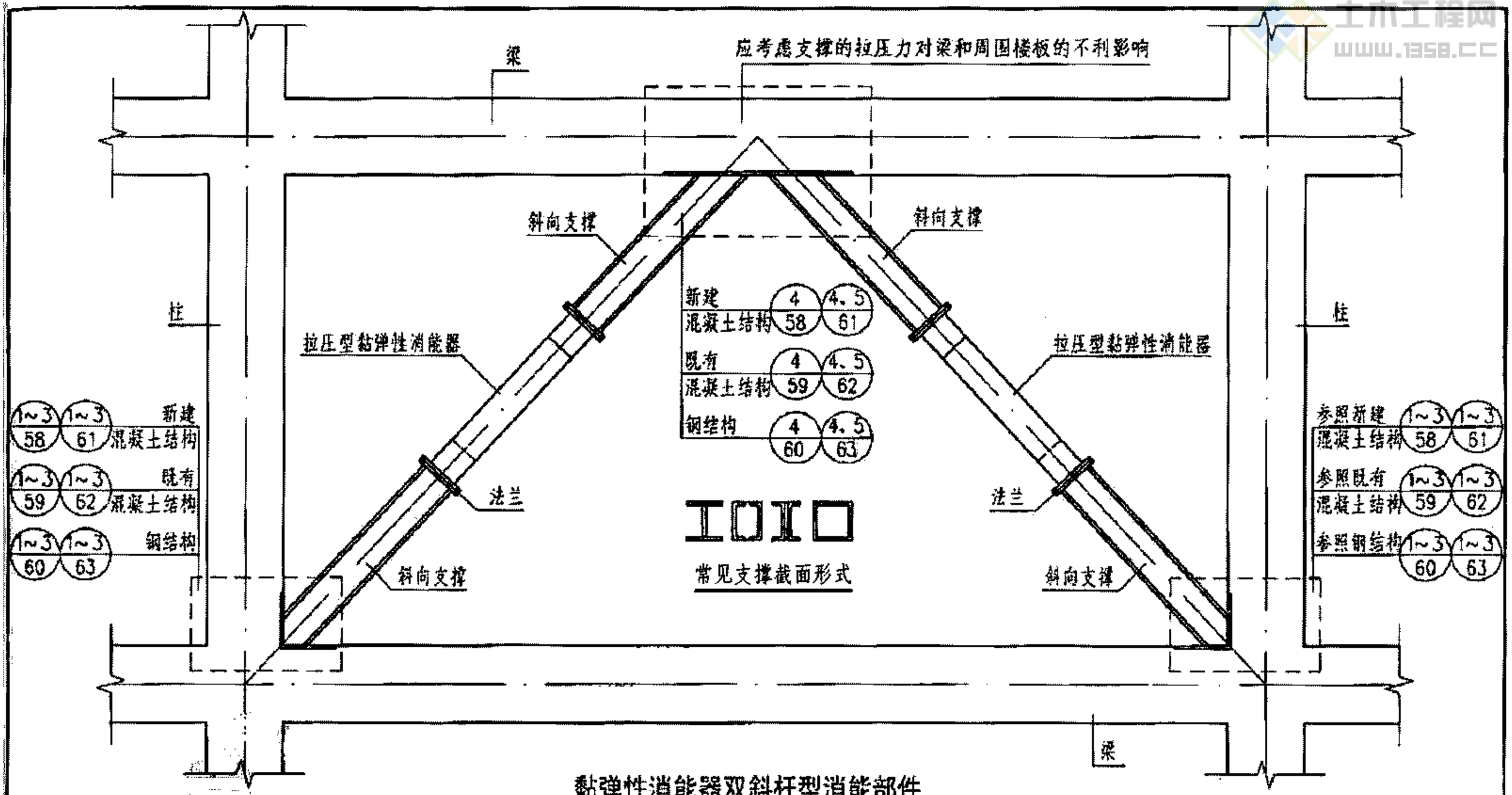
3. 注意事项：

(1) 对主体结构与支撑、消能器相连的部位及连接节点应采取加强措施，避免其在消能器最大输出力作用下发生破坏。

(2) 消能部件安装时，应采取措施保证支撑与消能器轴线重合，防止轴心错位引起的平面内、外弯曲。

黏弹性消能器单斜杆型消能部件									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 磊		设计	李海元		页	26

土木工程网
www.1358.cc



常见支撑截面形式

黏弹性消能器双斜杆型消能部件

注：1. 本图支撑形式适用于拉压型黏弹性消能器。

2. 连接形式同本图集第26页注2。

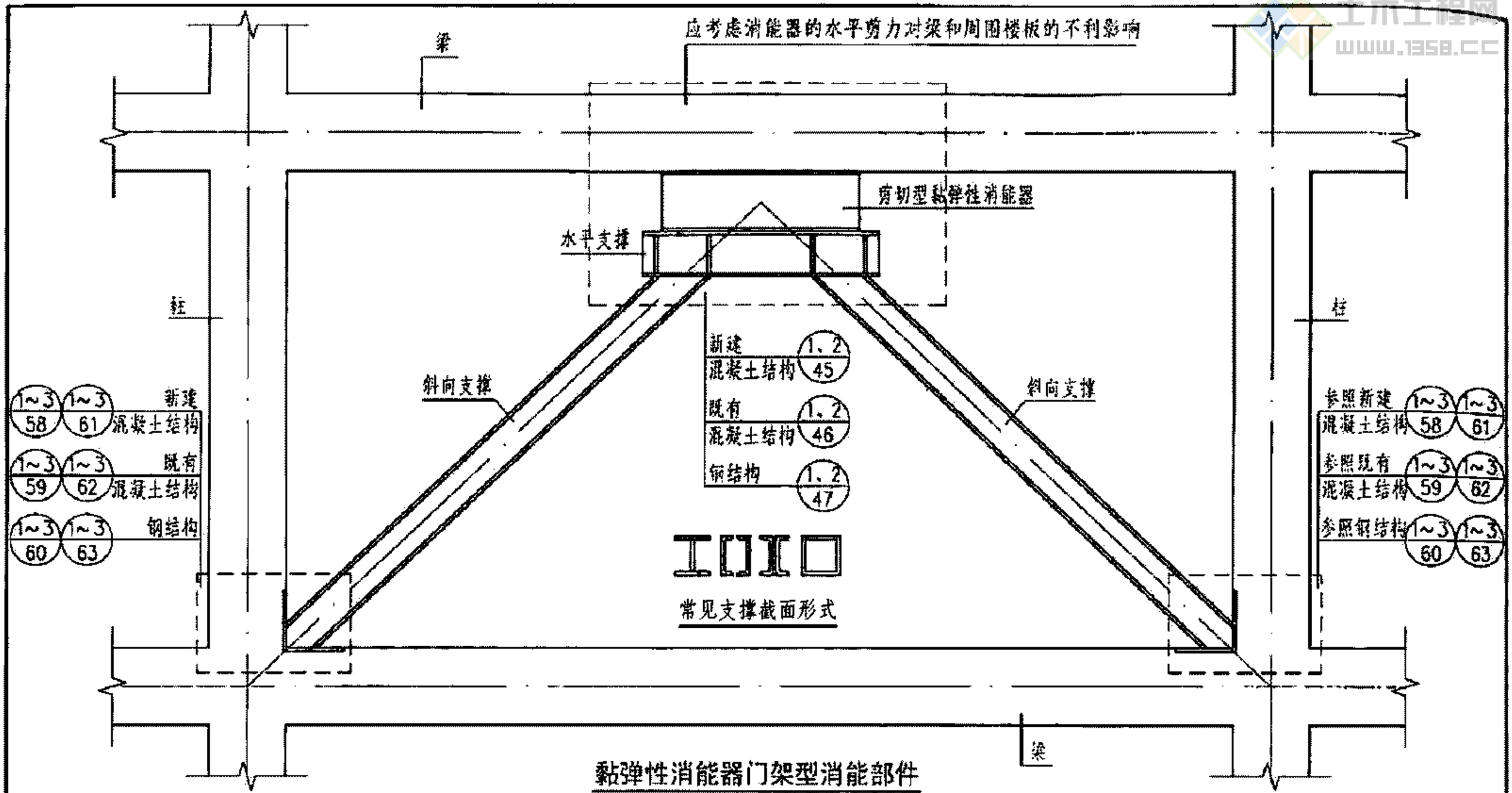
3. 注意事项：

(1)、(2)同本图集第26页注意事项(1)、(2)。

(3)由于黏弹性消能器的有效行程较小（一般为20~50mm），应考虑消能器安装后，梁的后期挠度对消能器有效行程及长期性能的不利影响，为减小这种不利影响，消能器宜在梁的全部竖向恒载施加完成后安装。

黏弹性消能器双斜杆型消能部件										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 磊		设计	李海元			页	27

土木工程网
www.1358.cc



常见支撑截面形式

黏弹性消能器门架型消能部件

注：1. 本图仅表示剪切型黏弹性消能器正门架型消能部件，倒门架型和人字型做法可参照本图。

2. 连接形式：

(1) 支撑与主体结构可采用刚接或铰接，当消能器输出力较大时，宜采用刚接。

(2) 消能器与水平支撑、主体结构采用高强螺栓连接。

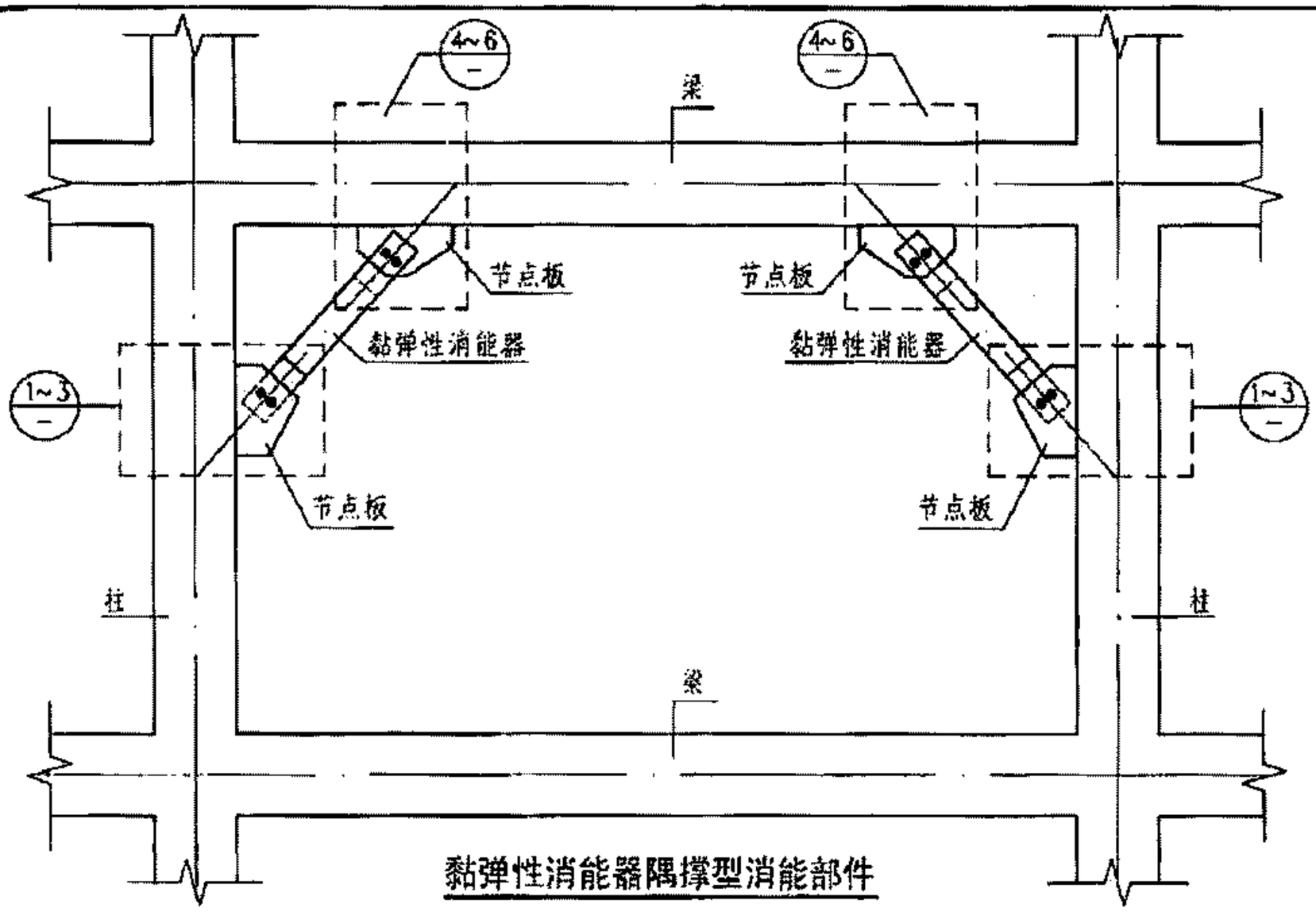
3. 注意事项：

(1) 对主体结构与支撑、消能器相连的部位及连接节点应采取加强措施，避免其在消能器最大输出力作用下发生破坏。

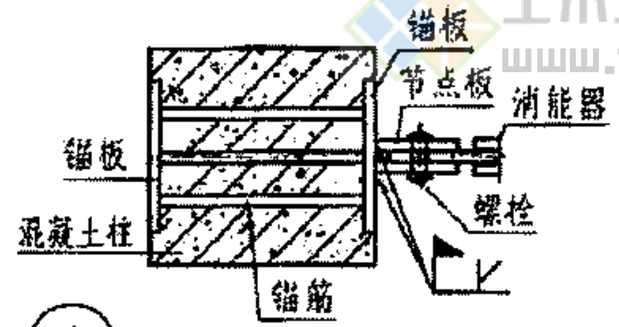
(2) 剪切型黏弹性消能器安装后，梁的后期挠度将引起消能器垂直于行程方向的变形，消能器的构造应能适应这种变形，同时应考虑其对消能器有效行程及长期性能的不利影响。为减小这种不利影响，消能器宜在梁的全部竖向恒载施加完成后安装。

黏弹性消能器门架型消能部件									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 鑫		设计	李海方		页	28

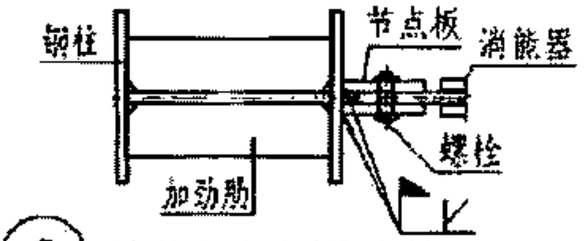
土木工程网
www.1358.cc



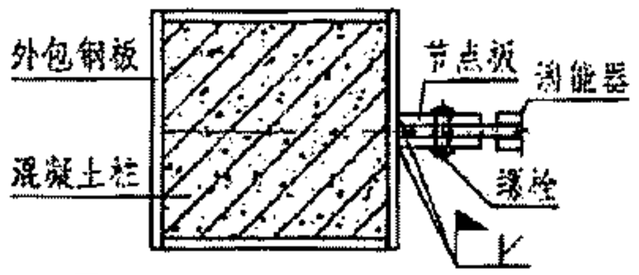
黏弹性消能器隅撑型消能部件



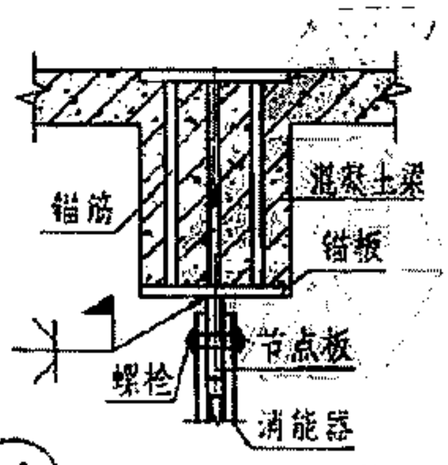
① 消能器与混凝土柱连接



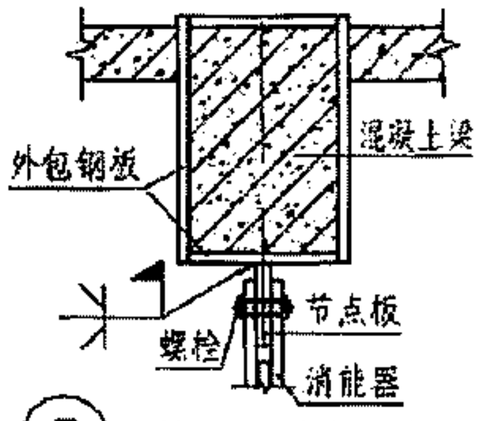
② 消能器与钢柱连接



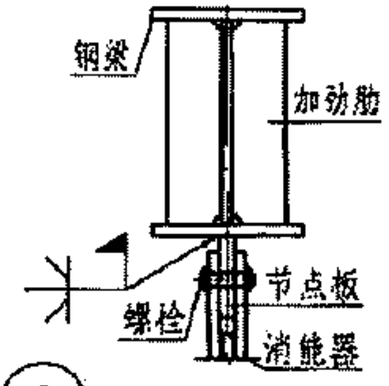
③ 消能器与外包钢板混凝土柱连接



④ 消能器与混凝土梁连接



⑤ 消能器与外包钢板混凝土梁连接



⑥ 消能器与钢梁连接

注：1. 连接形式：消能器两端与节点板采用螺栓连接。

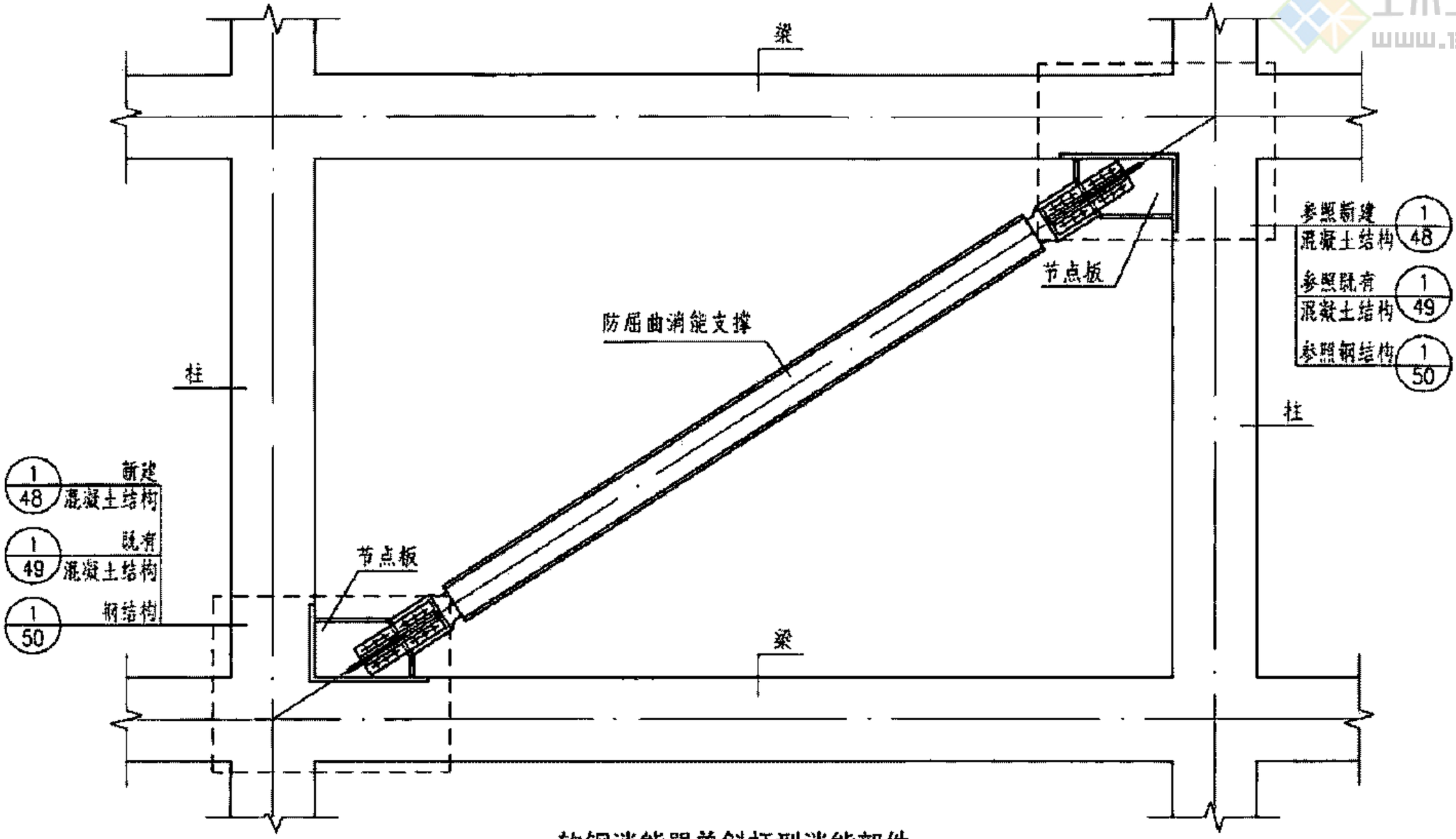
2. 注意事项：

(1) 由于消能器与主体结构的连接部位可能处于梁柱的塑性铰区附近，对主体结构与消能器相连的部位应采取加强措施，避免其在消能器输出力作用下发生破坏。

(2) 为保证节点板具有足够的刚度和稳定性，可采取增加节点板厚度、设置加劲肋等加强措施。

(3) 外包钢板做法详见本图集第64页。

黏弹性消能器隅撑型消能部件										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏磊		设计	李海元			页	29



软钢消能器单斜杆型消能部件

注：1. 本图支撑形式适用于防屈曲消能支撑。

2. 连接形式：防屈曲消能支撑与主体结构上的节点板可采用高强螺栓或焊接连接，为便于消能支撑的更换，宜采用高强螺栓连接。

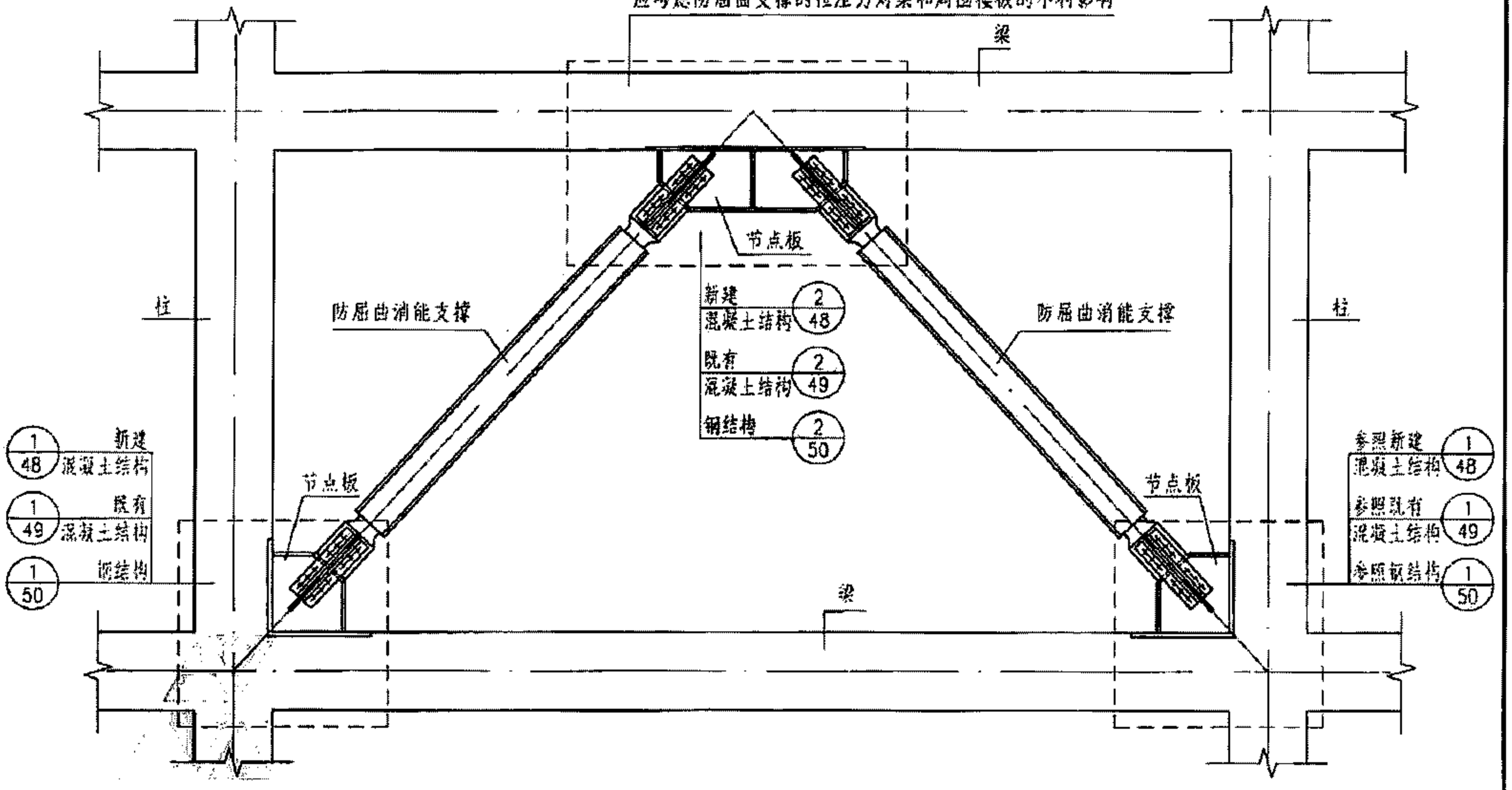
3. 注意事项：

(1) 对主体结构与防屈曲支撑相连的部位及连接节点应采取加强措施，避免其在消能器最大输出力作用下发生破坏。

(2) 在结构分析时，防屈曲支撑的连接部分一般简化为铰接模型，但对连接部分进行细部设计时，应考虑由于高强螺栓或焊接连接实际存在弯曲刚度引起的附加弯矩的不利影响。

软钢消能器单斜杆型消能部件									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	苏 磊		页	30

土木工程网
www.1358.cc

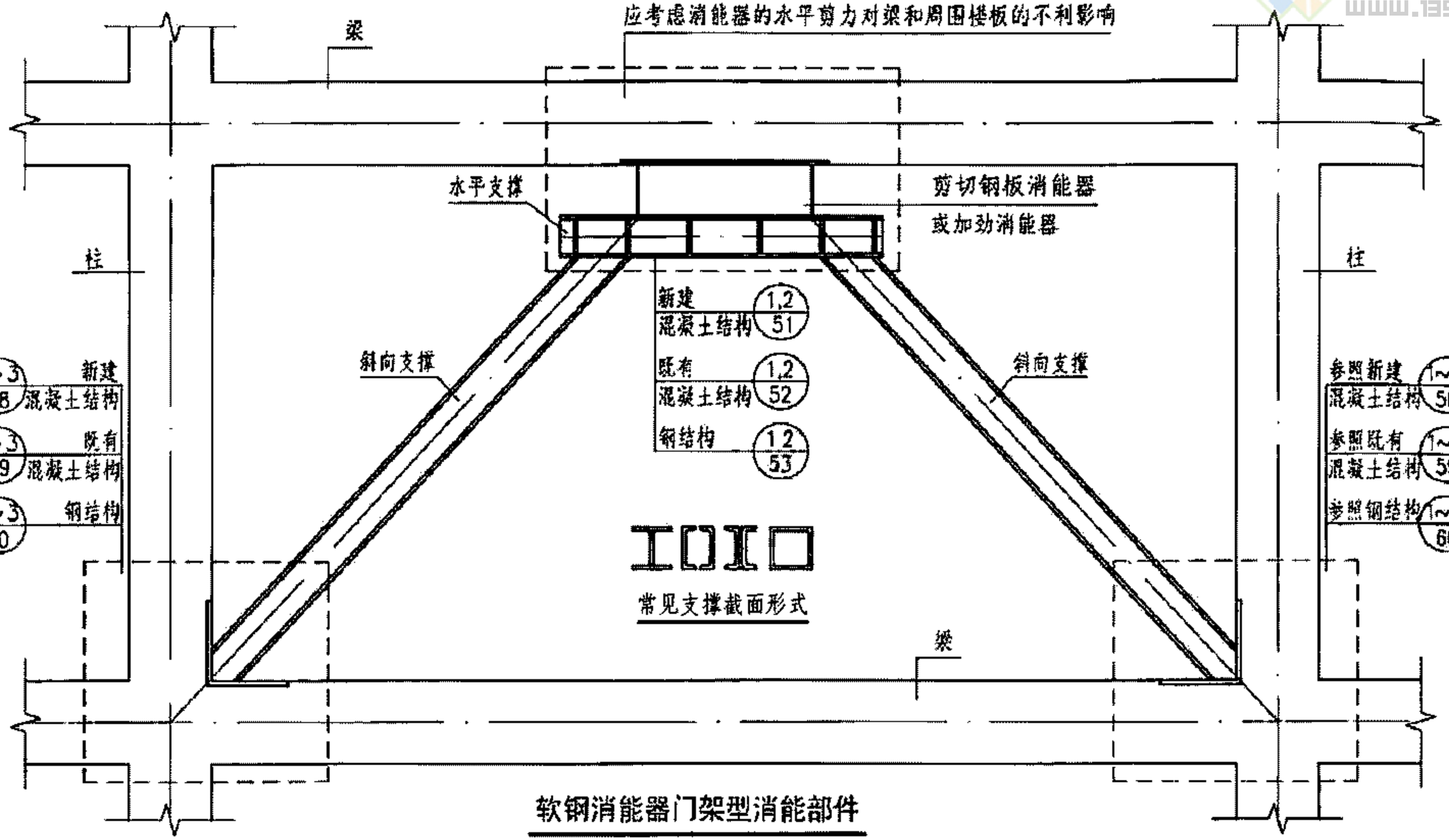


软钢消能器双斜杆型消能部件

注：同本图集第30页注1~3。

软钢消能器双斜杆型消能部件										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	苏 磊			页	31

土木工程网
www.1358.cc



常见支撑截面形式

软钢消能器门架型消能部件

注：1. 本图支撑形式适用于剪切钢板消能器和加劲消能器。

2. 本图仅表示软钢消能器正门架型消能部件，倒门架型和人字型做法可参照本图。

3. 连接形式：

(1) 支撑与主体结构可采用刚接或铰接，当消能器输出力较大时，宜采用刚接。

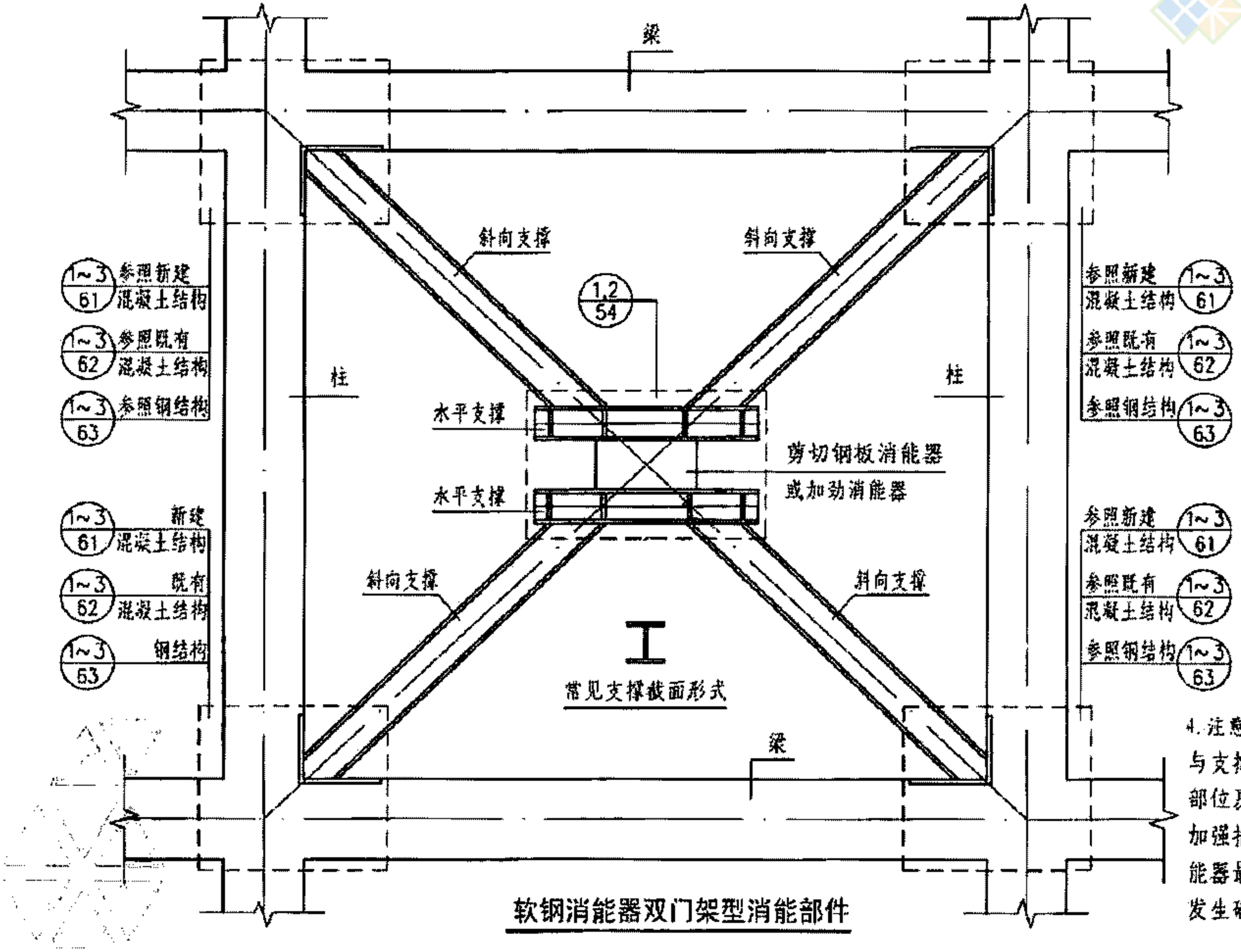
(2) 消能器与水平支撑、主体结构采用高强螺栓连接。

4. 注意事项：

(1) 对主体结构与支撑、消能器相连的部位及连接节点应采取加强措施，避免其在消能器最大输出力作用下发生破坏。

(2) 对于人字型和门架型支撑，在软钢消能器安装后，结构的后期竖向荷载会在消能部件内产生附加内力，为了减小此附加内力的影响，消能器宜在结构的全部恒载施加完成后安装。

软钢消能器门架型消能部件									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	李海元	李海元	设计	苏磊	苏磊	页	32



软钢消能器双门架型消能部件

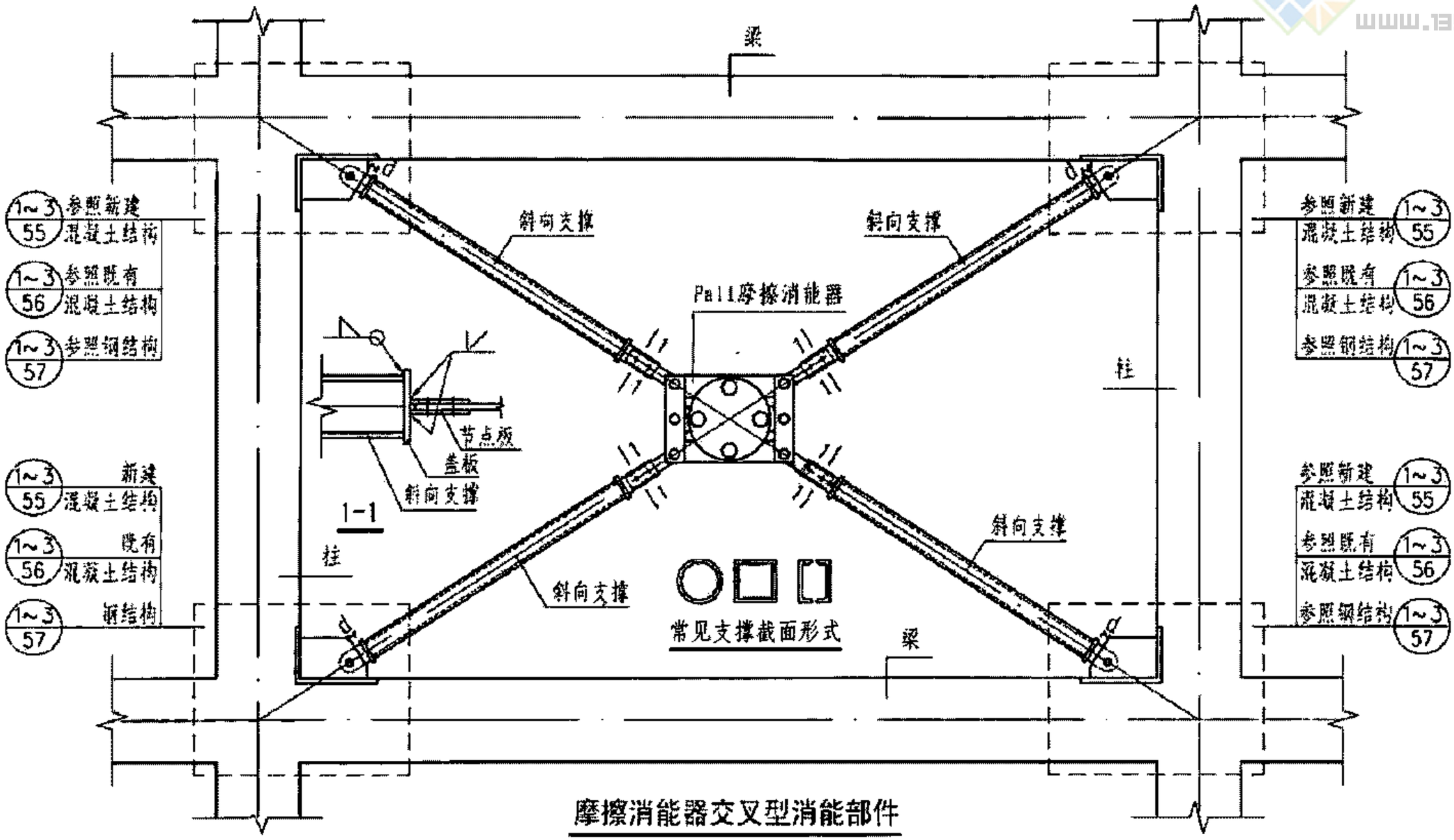
4. 注意事项：对主体结构与支撑、消能器相连的部位及连接节点应采取加强措施，避免其在消能器最大输出力作用下发生破坏。

注：1. 本图支撑形式适用于剪切钢板消能器和加劲消能器。

2. 本图仅表示软钢消能器双门架型消能部件，双人字型做法可参照本图。

3. 连接形式：支撑与主体结构采用刚接，消能器与水平支撑采用高强螺栓连接。

软钢消能器双门架型消能部件									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	苏磊		页	33



摩擦消能器交叉型消能部件

注：1. 本图支撑形式适用于Pall摩擦消能器。

2. 连接形式：Pall摩擦消能器四角通过支撑与主体结构相连，支撑与消能器采用高强螺栓连接，支撑与主体结构通过销栓铰接连接。

3. 注意事项：

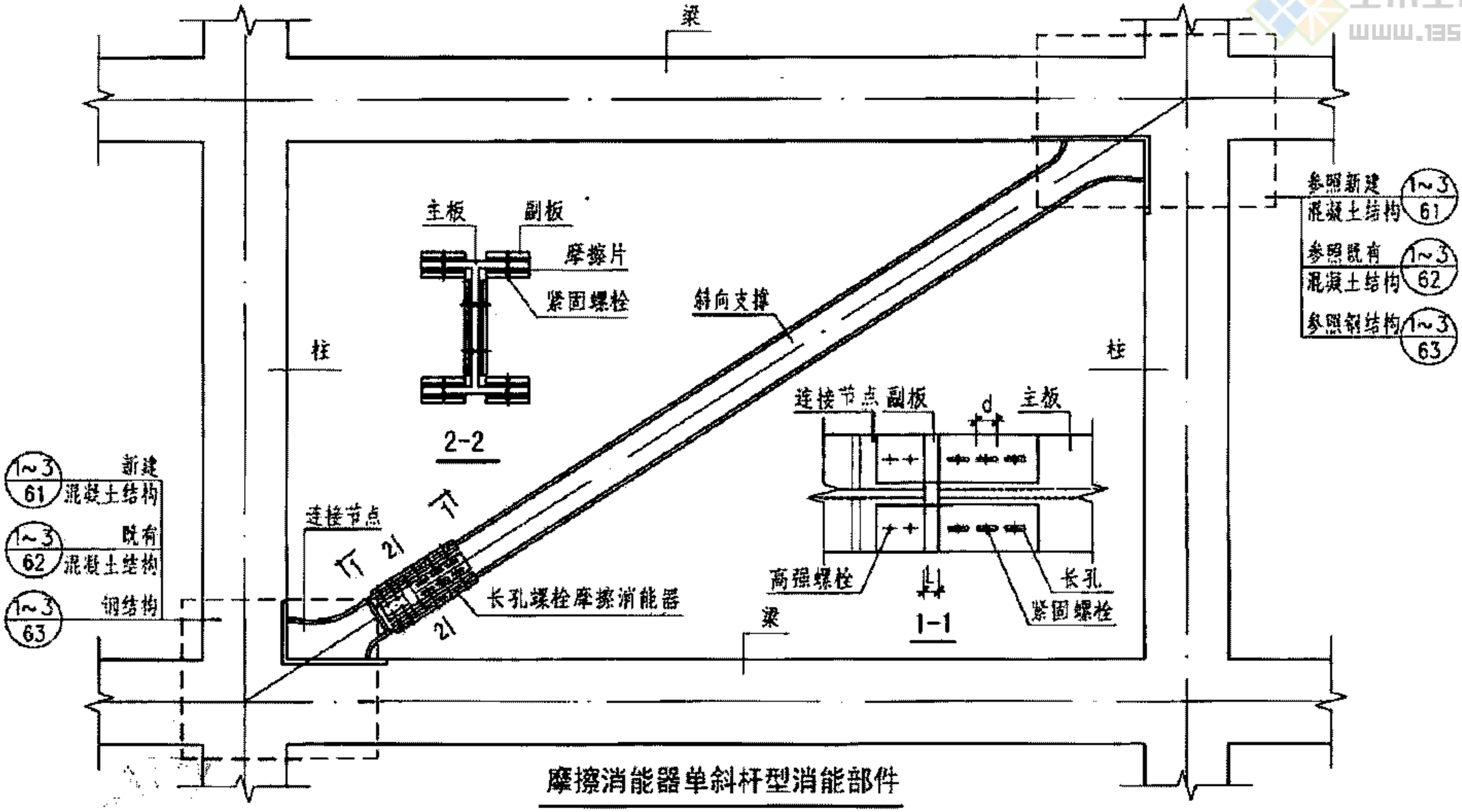
(1) 对主体结构与支撑、消能器相连的部位及连接节点应采取加强措施，避免其在消能器最大输出力作用下发生破坏。

(2) 由于Pall摩擦消能器能协调四周斜向支撑的拉压变形，避免其受压时产生屈曲，故斜向支撑可按拉杆进行设计。

(3) 为保证斜向支撑在平面内具有足够的转动能力，避免其在结构最大侧向位移条件下与节点板发生碰撞，支撑端板与节点板的间隙d宜取10～15mm。

(4) 为保证消能器性能的充分发挥，销栓与销栓孔的间隙宜≤0.1mm。

摩擦消能器交叉型消能部件								图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	李海元	李海元	设计	苏磊	苏磊	页	34



摩擦消能器单斜杆型消能部件

注：1. 本图支撑形式适用于长孔螺栓摩擦消能器。

2. 连接形式：长孔螺栓摩擦消能器一般为现场组装，其连接方式为：斜向支撑一端与主体结构焊接或高强螺栓连接，另一端开长孔并做特殊处理作为消能器主板；副板一端与主板间嵌入摩擦材料并通过紧固螺栓连接形成摩擦消能段，另一端与主体结构的连接节点通过高强螺栓连接。

3. 注意事项：

(1) 对主体结构与支撑、消能器相连的部位及连接节点应采取加强措施，避免其在消能器最大输出力作用下发生破坏。

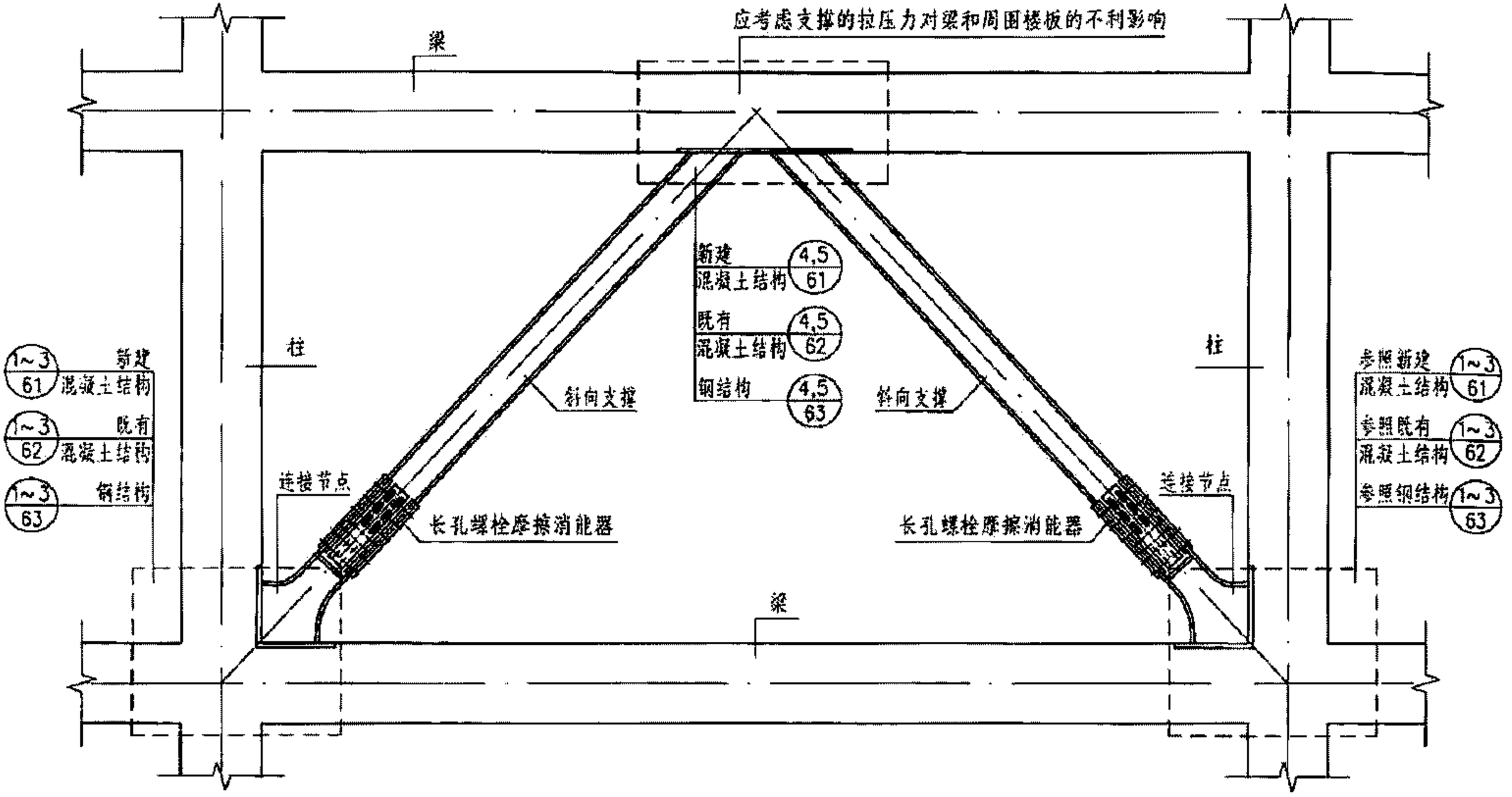
(2) 摩擦消能器现场组装时，应采取措施保证施工安装精度，防止主板和连接节点的错位引起副板翘曲而导致摩擦面压力不均匀，以保证消能器的耗能效果。

(3) 在确定消能器的长孔长度d及主板和连接节点的间隙L时，应考虑消能器在外力作用下的最大变形和施工安装偏差。

(4) 摩擦消能器现场组装完毕后，应保证紧固螺栓处于主板长孔的中间位置。

摩擦消能器单斜杆型消能部件									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	苏磊		页	35

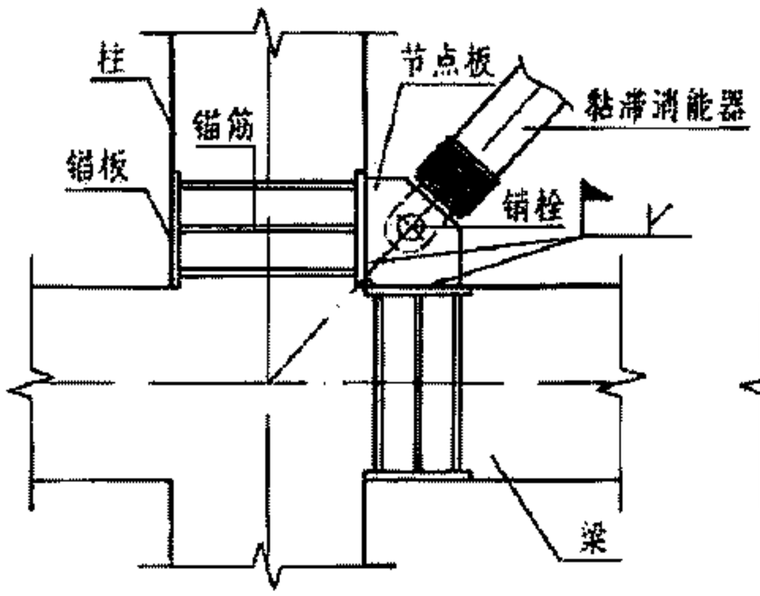
土木工程网
www.1358.cc



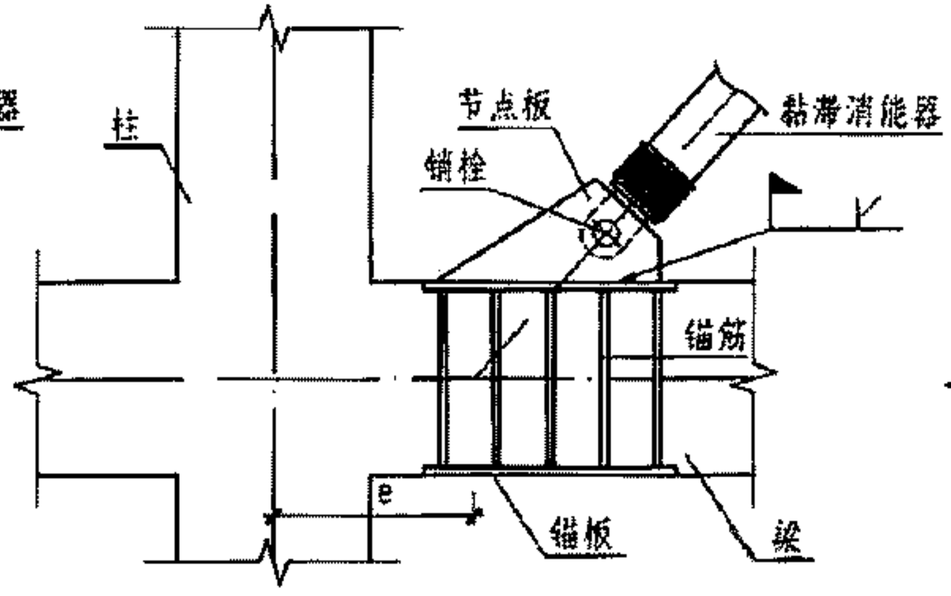
摩擦消能器双斜杆型消能部件

注：同本图集第35页注1~3。

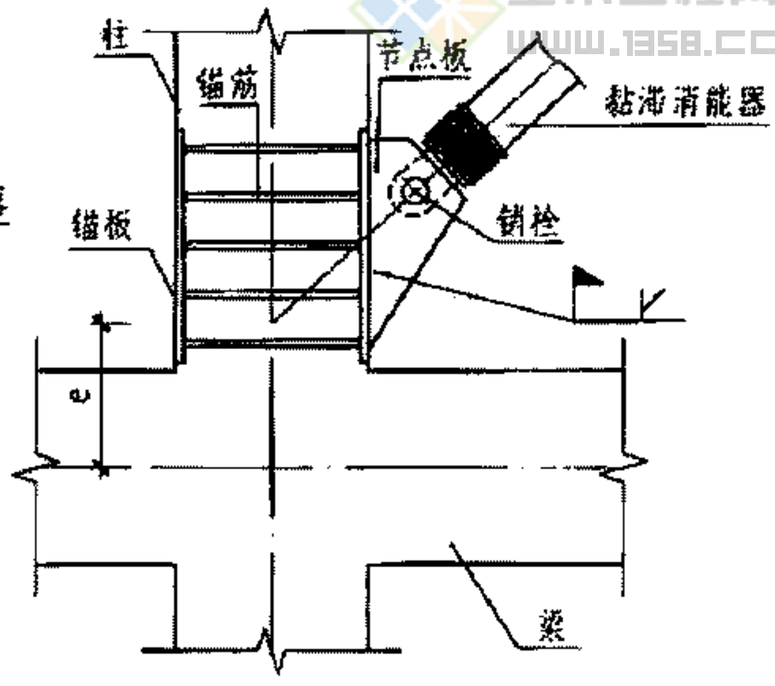
摩擦消能器双斜杆型消能部件										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	苏磊			页	36



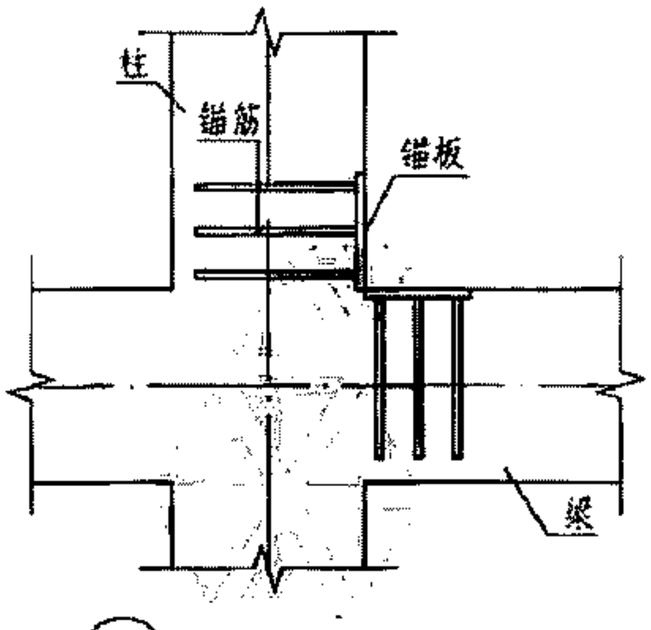
① 黏滞消能器与混凝土梁柱节点斜向球铰连接



② 黏滞消能器与混凝土梁斜向球铰连接



③ 黏滞消能器与混凝土柱斜向球铰连接

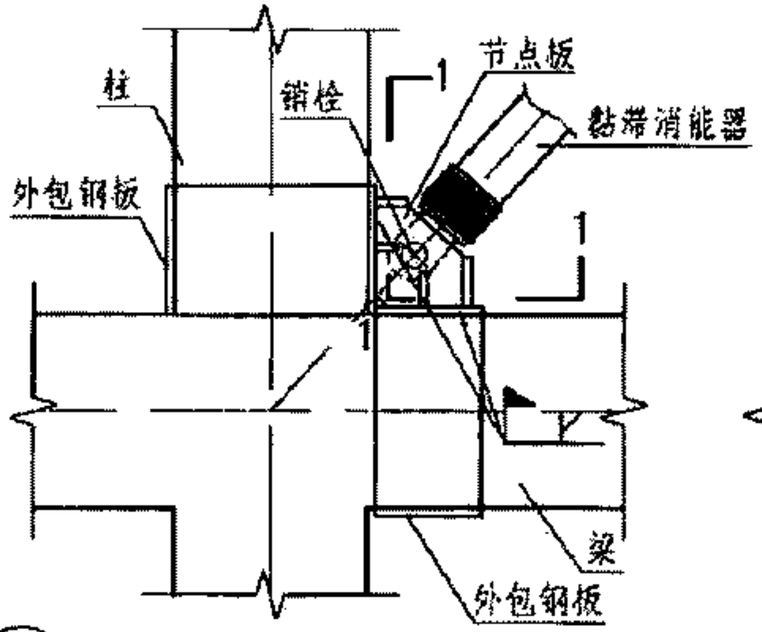


④ 锚筋锚固示意图

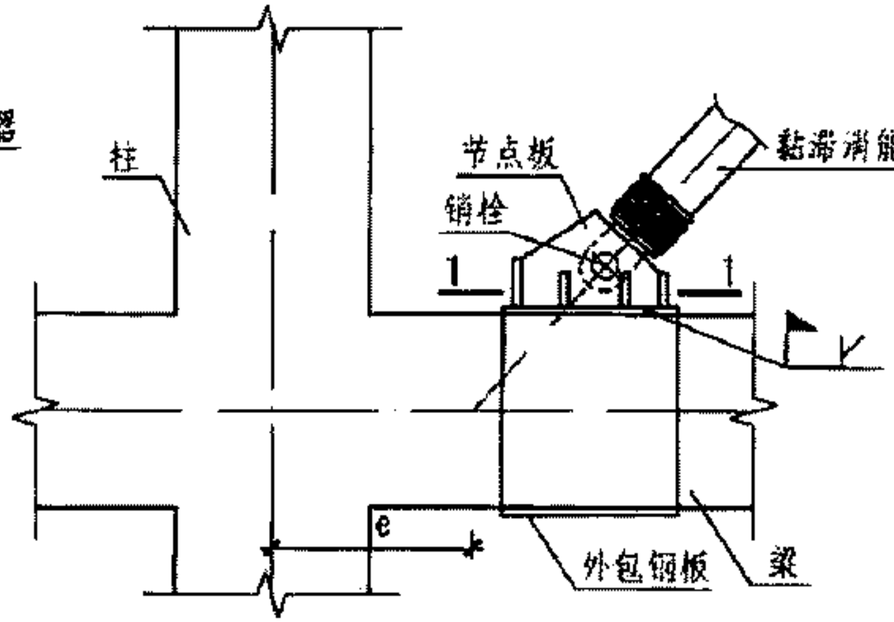
注：1. 与消能部件相连的预埋件在新建混凝土结构中的锚固方式有：
（1）对拉锚固（图①~③）；（2）锚筋锚固（图④）。
抗震设计时，由于预埋件一般位于构件的塑性铰区，为了防止混凝土开裂后锚筋拔出，宜采用对拉锚固；抗风设计时可采用锚筋锚固。预埋件的构造应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010相关要求。

2. 节点板在黏滞消能器的输出力作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

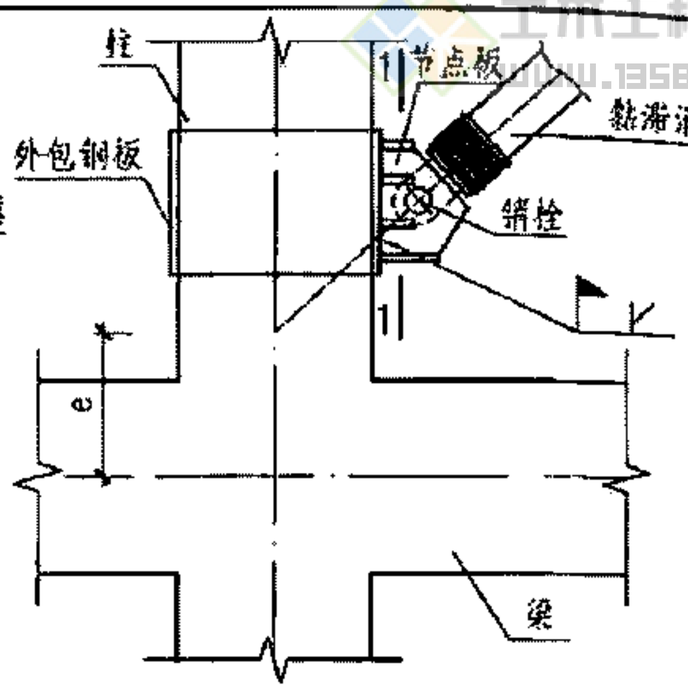
3. 消能部件与新建混凝土主体结构的连接部位有以下三种：与梁柱节点连接①、与梁连接②、与柱连接③。连接①中消能部件同时与梁柱连接，且相对于梁柱节点偏心较小，受力最为可靠；连接②、③中消能部件相对于梁柱节点偏心较大，应考虑偏心受力对梁、柱的不利影响以及梁柱变形对消能部件效能的削弱。在三种连接中，连接③施工最为方便，而对于连接①、②，框架梁在对拉锚板处钢筋绑扎和混凝土浇捣较为困难，在设计时可采取增加梁宽、减小钢筋密度等措施。



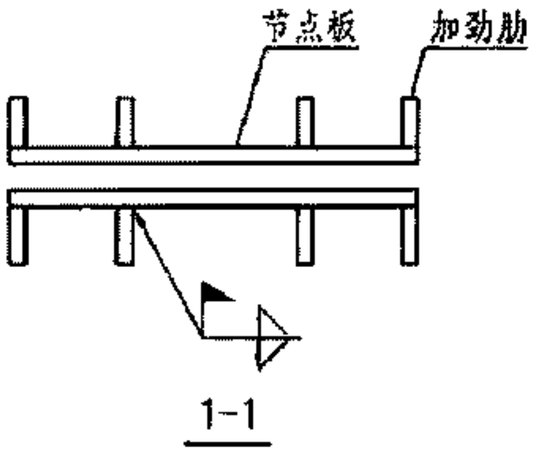
① 黏滞消能器与混凝土梁柱节点斜向球铰连接



② 黏滞消能器与混凝土梁斜向球铰连接



③ 黏滞消能器与混凝土柱斜向球铰连接



注：1. 本图用于既有混凝土结构加固，外包钢板做法见本图集第64页。

2. 消能减震（振）技术用于既有混凝土结构加固时，消能部件与原主体结构的连接除可采用本图所示局部外包钢法外，尚可采用内嵌钢框架法、对拉螺栓（或化学锚栓）的局部后锚固法。内嵌钢框架法详见本图集第65页。

3. 局部外包钢法与局部后锚固法相比，外包钢法连接可靠，同时外包钢板对主体结构节点具有加强作用，因而宜采用局部外包钢法。

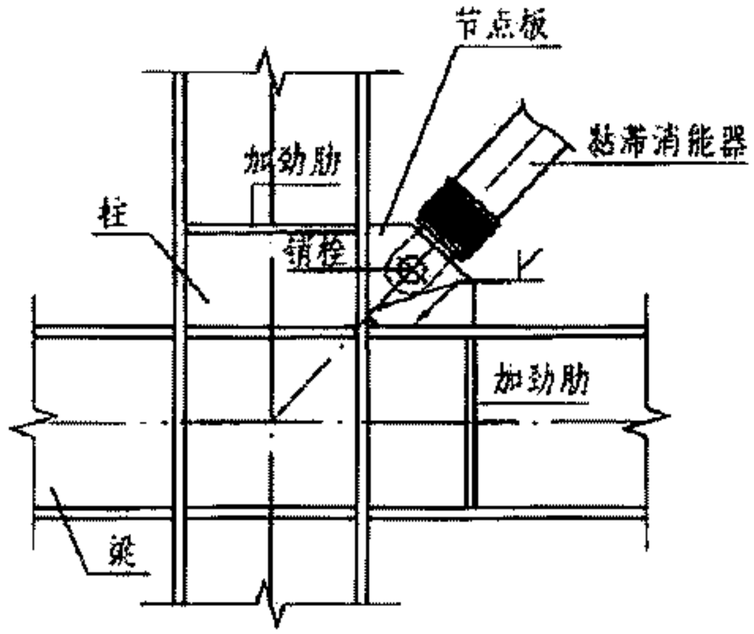
4. 外包钢板应有充分的承载力和刚度，为了防止与消能部件相连的外包钢板发生翘曲变形，可采取如下措施：（1）增加外包钢板厚度；（2）设置加劲肋；（3）当梁柱截面较大，采用措施(1)、(2)难以防止外包钢板发生翘曲时，可采用附加对拉锚栓的方法。

5. 节点板在黏滞消能器的输出力作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

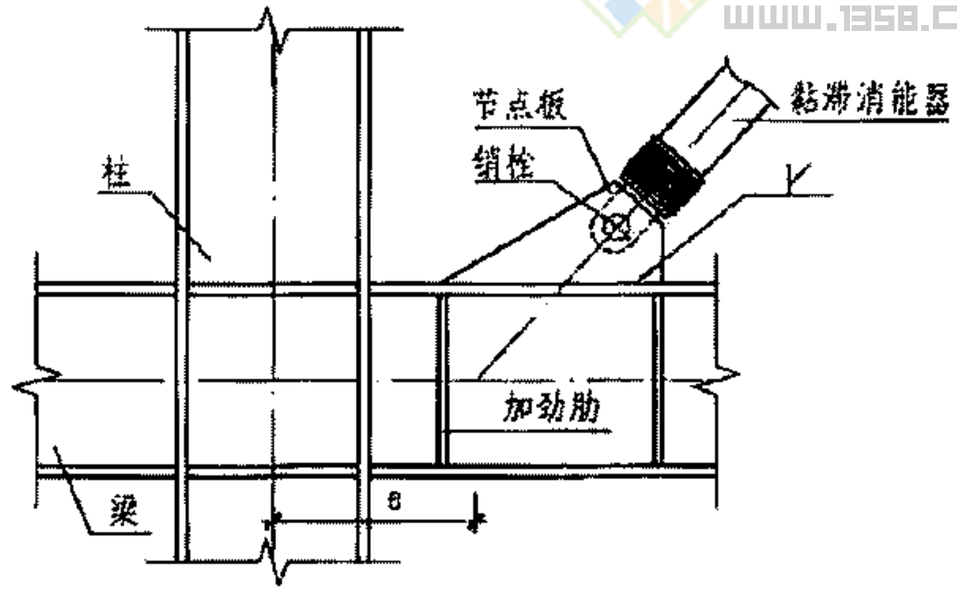
6. 连接构造中①~③，宜优先选用连接构造①，当采用①有困难时可选用②或③，此时应考虑偏心受力对梁、柱的不利影响以及梁柱变形对消能部件效能的削弱。若原结构的梁柱承载力不满足要求，还需对其进行加固。

7. 对于连接构造②、③，可通过设置锚栓或对拉锚栓来防止外包钢板沿梁或柱轴向产生滑移，具体做法详本图集第64页。

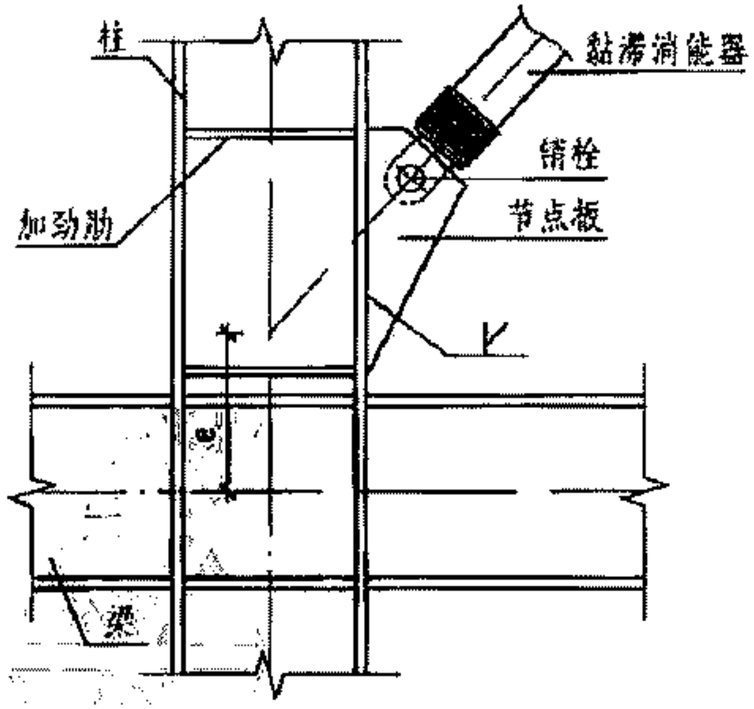
黏滞消能器与既有混凝土结构斜向球铰连接									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	韩玉林		设计	吕 坚		页	38



① 黏滞消能器与钢梁柱节点斜向球铰连接



② 黏滞消能器与钢梁斜向球铰连接



③ 黏滞消能器与钢柱斜向球铰连接

注：1. 钢结构连接构造基本要求：

（1）图中焊缝尺寸应根据计算确定，并满足现行规范、规程的要求；

（2）图中坡口（单面或双面）仅为示意，应根据板厚和焊接工艺选择合适的坡口方式；

（3）图中仅给出梁柱截面为H型钢的连接做法，当与其他截面形式的梁、柱连接时，应根据具体截面形式采取相应的连接构造做法。

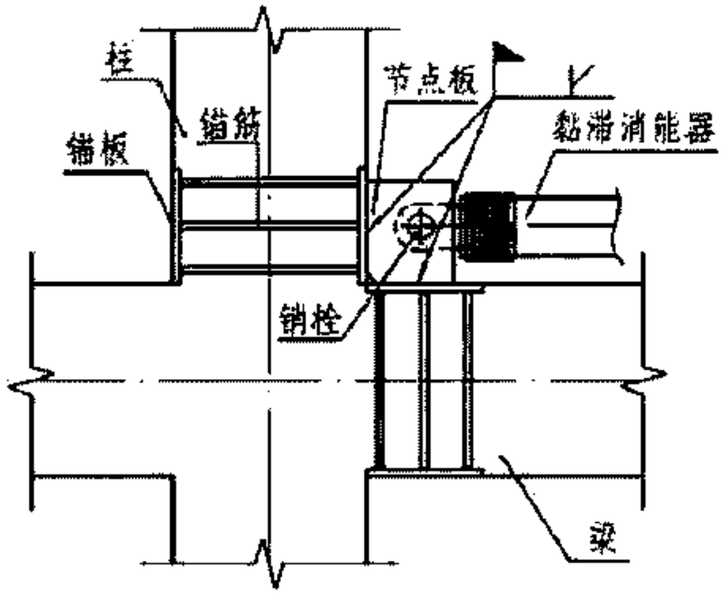
2. 图中节点适用消能器与新建钢结构和既有钢结构的连接，当用于既有钢结构时，应复核与节点板连接的原结构构件的强度及稳定性；焊接施工时应对原结构采取可靠的支撑措施，避免在承载状态下因受热而对其产生不利影响。

3. 对于型钢混凝土组合结构，节点板应与梁、柱内的型钢连接，连接做法可参照本图钢结构节点，并满足现行相应规范、规程的要求。

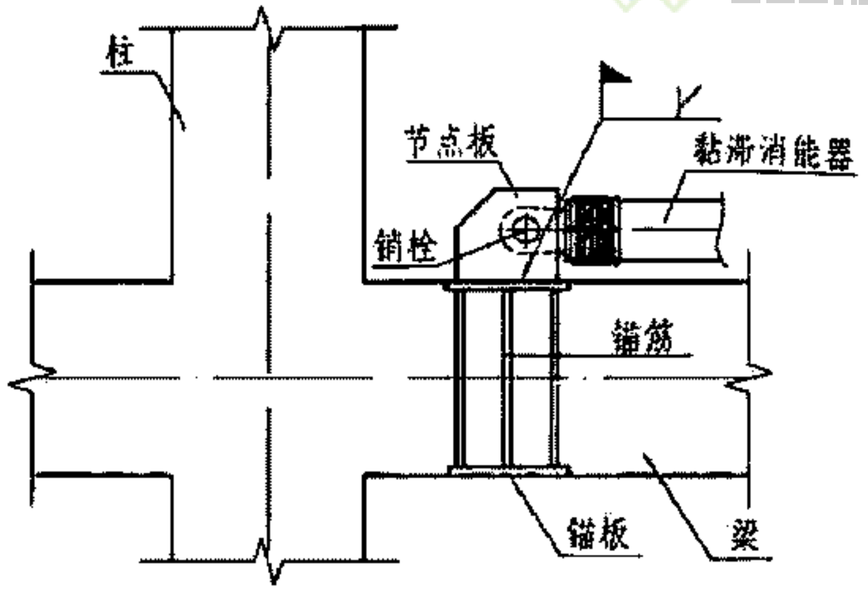
4. 斜向安装的黏滞消能器与钢结构的连接部位有以下三种：与梁柱节点连接①，与梁连接②，与柱连接③，宜优先选用连接构造①，当采用①有困难时可选用②或③，此时应考虑偏心受力对梁、柱的不利影响以及梁柱变形对消能部件效能的削弱。

5. 节点板在黏滞消能器的输出力作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

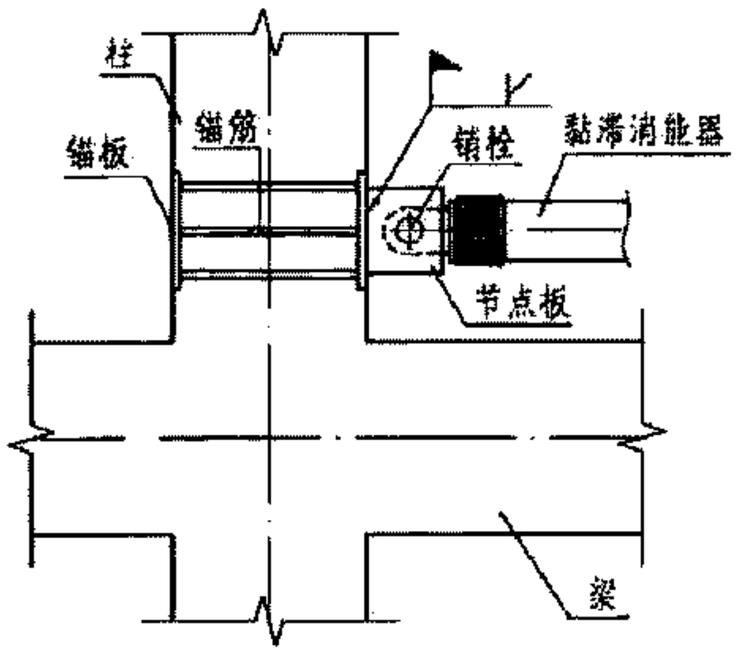
黏滞消能器与钢结构斜向球铰连接										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	韩玉侠	韩玉侠	设计	苏 磊	苏磊		页	39



① 黏滞消能器与混凝土梁柱节点水平球铰连接



② 黏滞消能器与混凝土梁水平球铰连接

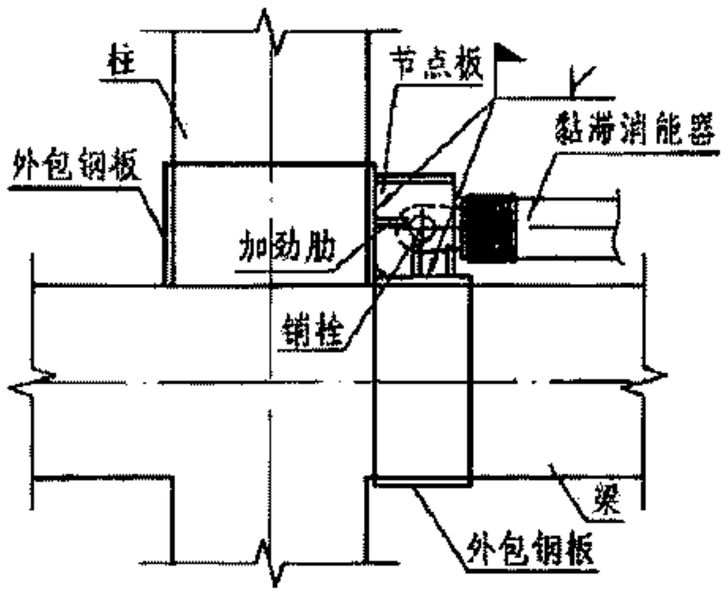


③ 黏滞消能器与混凝土柱水平球铰连接

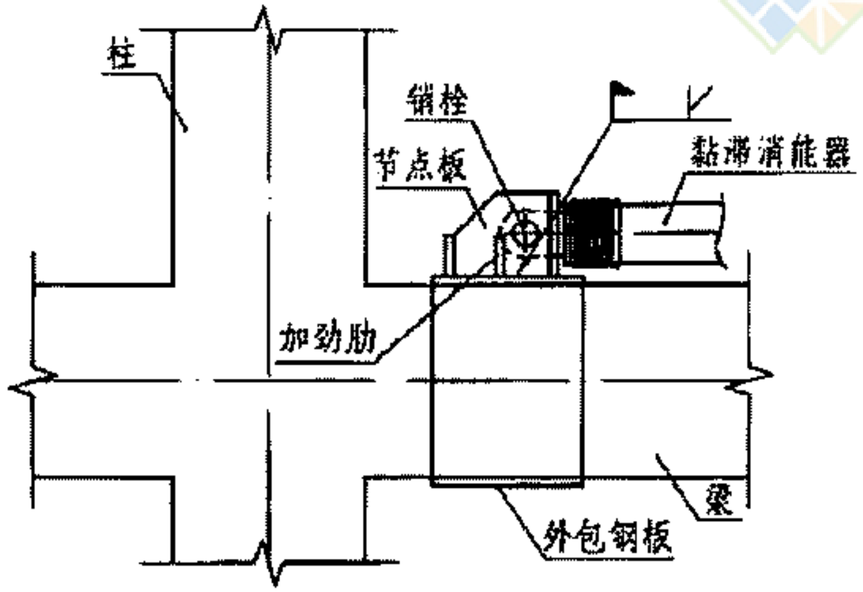
注：1. 水平安装的黏滞消能器用于人字型和门架型消能部件，其与新建混凝土主体结构的连接部位有以下三种：与梁柱节点连接①、与梁连接②、与柱连接③。当人字(或门架)型节点与梁柱节点距离较大时，为减小水平支撑悬臂段长度，宜选用连接构造②；当人字(或门架)型节点与梁柱节点距离不大时，宜选用连接构造①、③，其中③用于水平支撑与梁的垂直距离较大的情况；采用②、③应考虑偏心受力对梁柱的不利影响。

2. 其余说明详见本图集第37页注1、2。

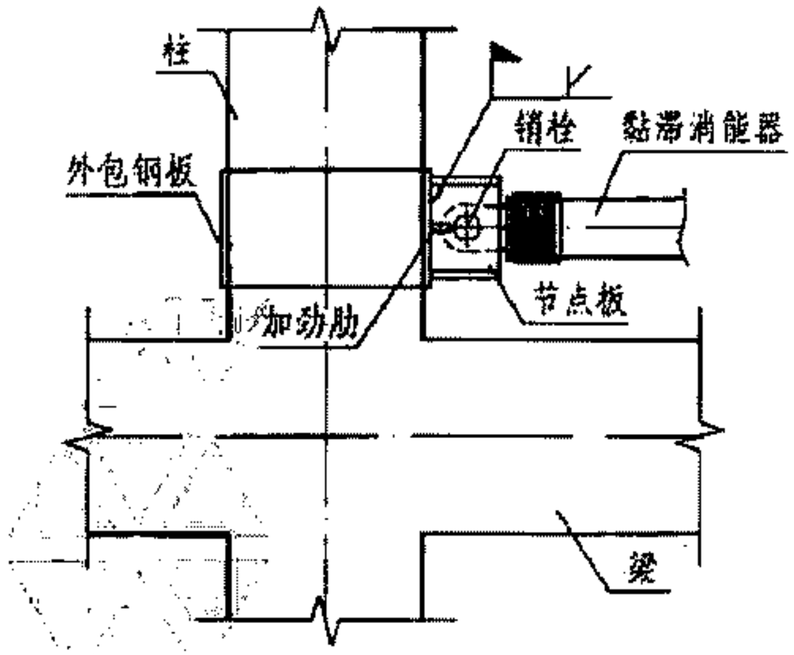
黏滞消能器与新建混凝土结构水平球铰连接									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	韩玉林		设计	吕 坚		页	40



① 黏滞消能器与混凝土梁柱节点水平球铰连接



② 黏滞消能器与混凝土梁水平球铰连接



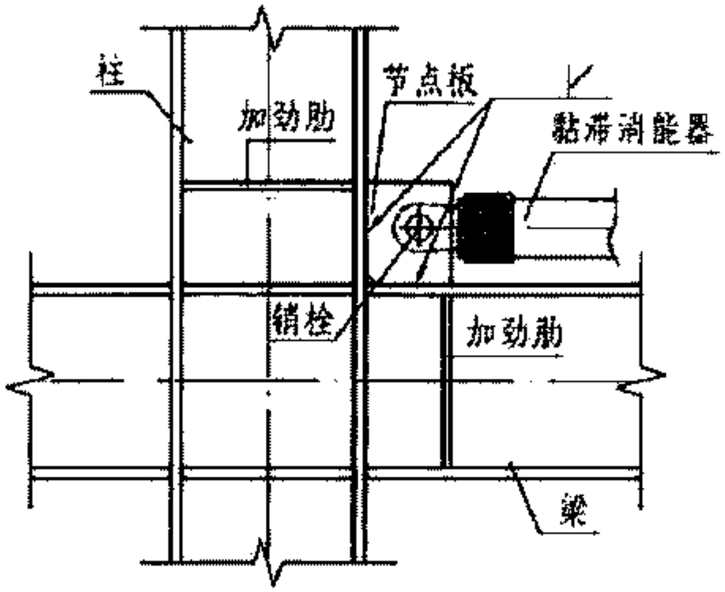
③ 黏滞消能器与混凝土柱水平球铰连接

注：1. 水平安装的黏滞消能器用于人字型和门架型消能部件，其与既有混凝土主体结构的连接部位有以下三种：与梁柱节点连接①、与梁连接②、与柱连接③。当人字(或门架)型节点与梁柱节点距离较大时，为减小水平支撑悬臂段长度，宜选用连接构造②；当人字(或门架)型节点与梁柱节点距离不大时，宜选用连接构造①、③，其中③用于水平支撑与梁的垂直距离较大的情况；采用②、③应考虑偏心受力对梁柱的不利影响，若原结构的梁柱承载力不满足要求，还需对其进行加固。

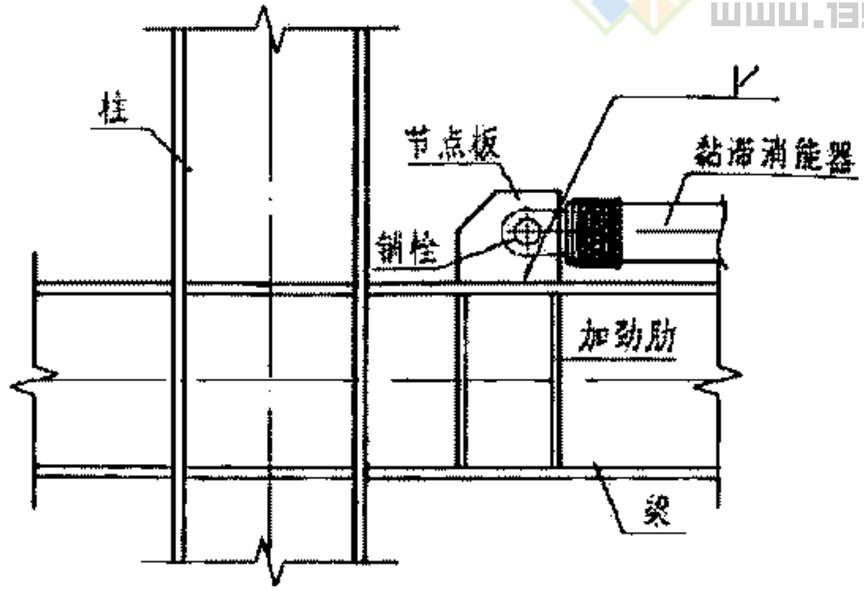
2. 对于连接构造②、③，可通过设置锚栓或对拉锚栓防止外包钢板沿梁或柱轴向产生滑移，具体做法详见本图集第64页。

3. 其余说明详见本图集第38页注1~5。

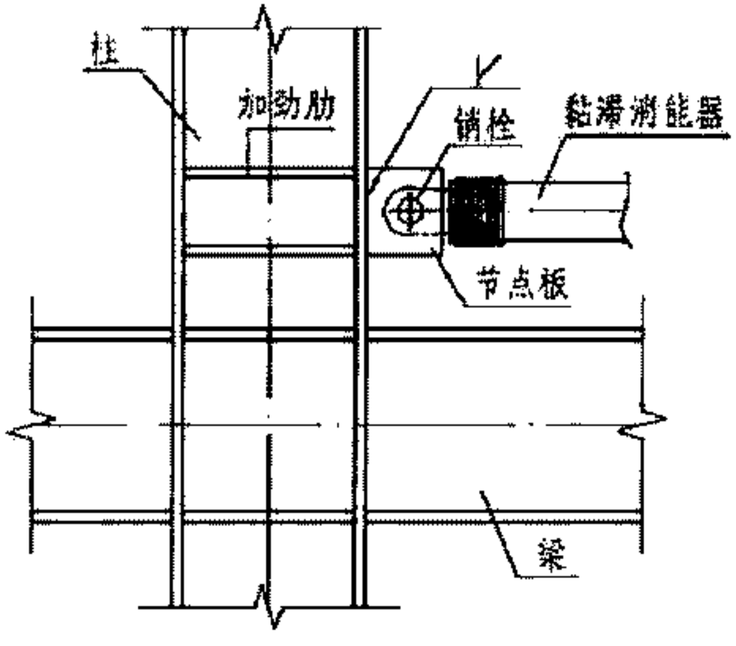
黏滞消能器与既有混凝土结构水平球铰连接										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	韩玉林		设计	吕坚			页	41



① 黏滞消能器与钢梁柱节点水平球铰连接



② 黏滞消能器与钢梁水平球铰连接



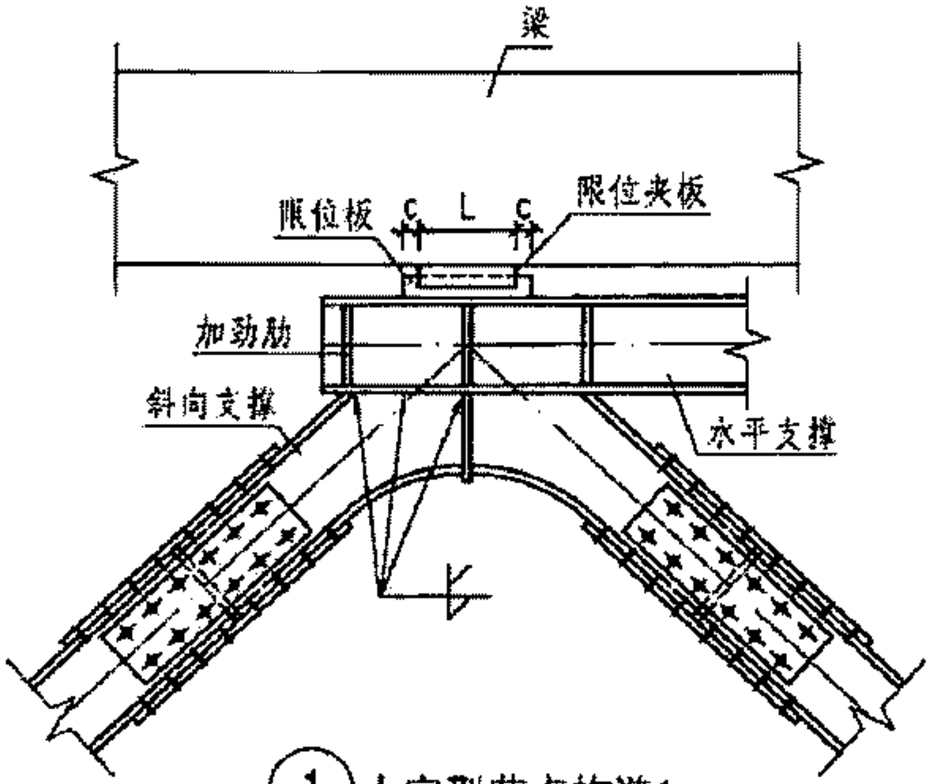
③ 黏滞消能器与钢柱水平球铰连接

注：1. 水平安装的黏滞消能器用于人字型和门架型消能部件，其与钢结构的连接部位有以下三种：与梁柱节点连接①，与梁连接②，与柱连接③。当人字(或门架)型节点与梁柱节点距离较大时，为减小水平支撑悬臂段长度，宜选用连接构造②；当人字(或门架)型节点与梁柱节点距离不大时，宜选用连接构造①、③，其中③用于水平支撑与梁的垂直距离较大的情况；采用②、③应考虑偏心受力对梁柱的不利影响。

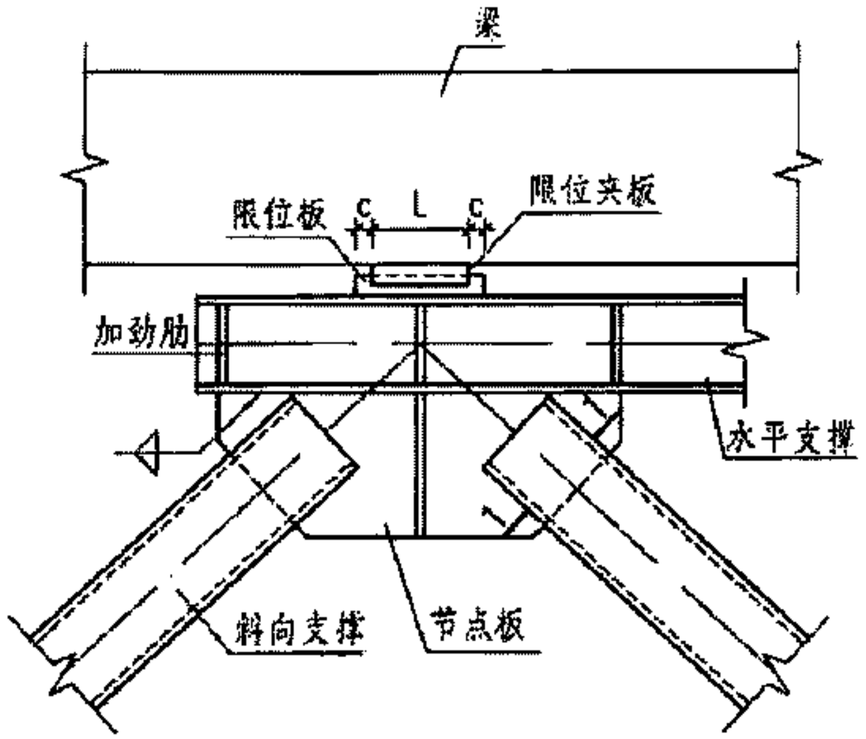
2. 节点板在黏滞消能器的输出力作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

3. 其余说明见本图集第39页注1~3。

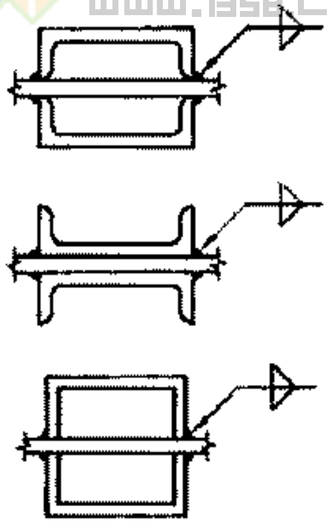
黏滞消能器与钢结构水平球铰连接										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	韩玉林		设计	苏 磊			页	42

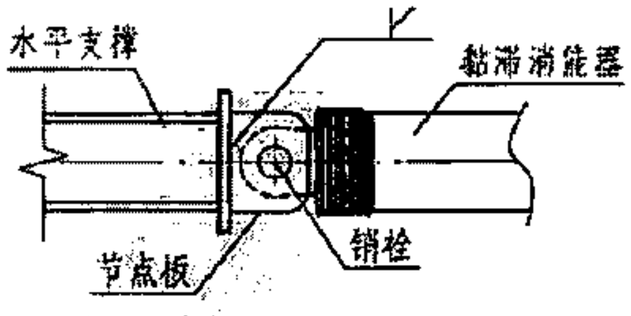


① 人字型节点构造1

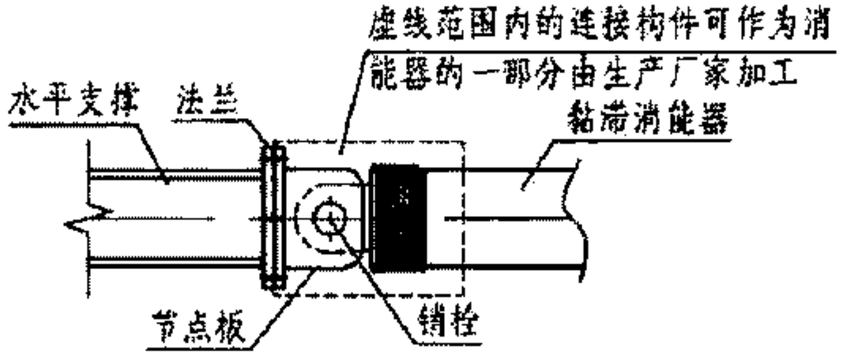


② 人字型节点构造2





③ 黏滞消能器与水平支撑连接1



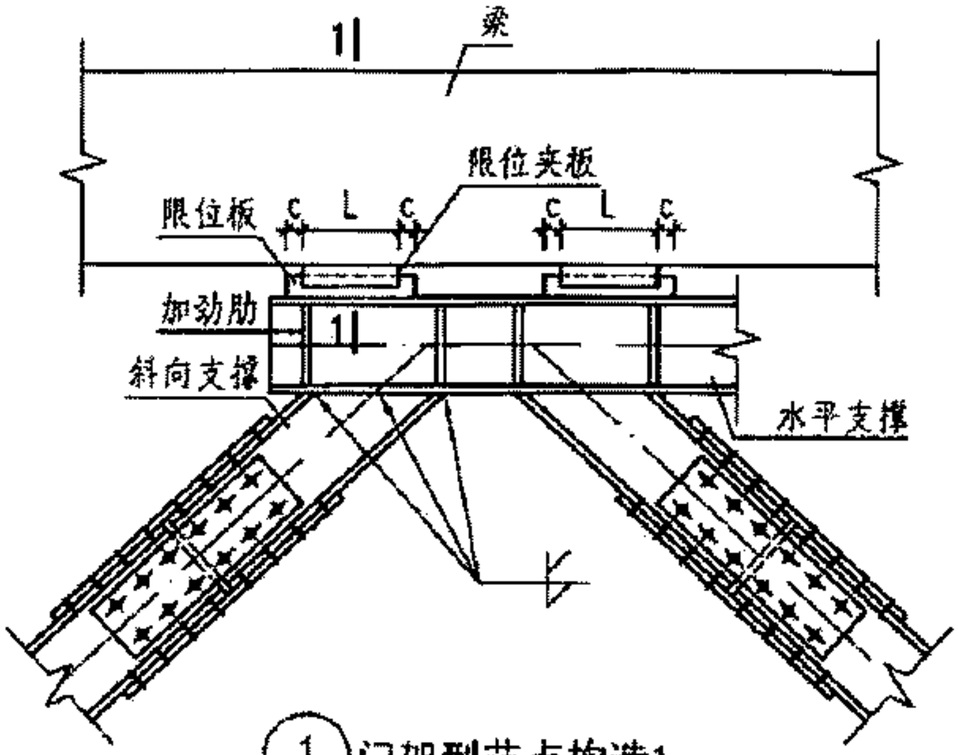
④ 黏滞消能器与水平支撑连接2

注：1. 限位夹板长度L宜≥200mm；限位板每侧宽出限位夹板长度c宜大于消能器的极限位移。

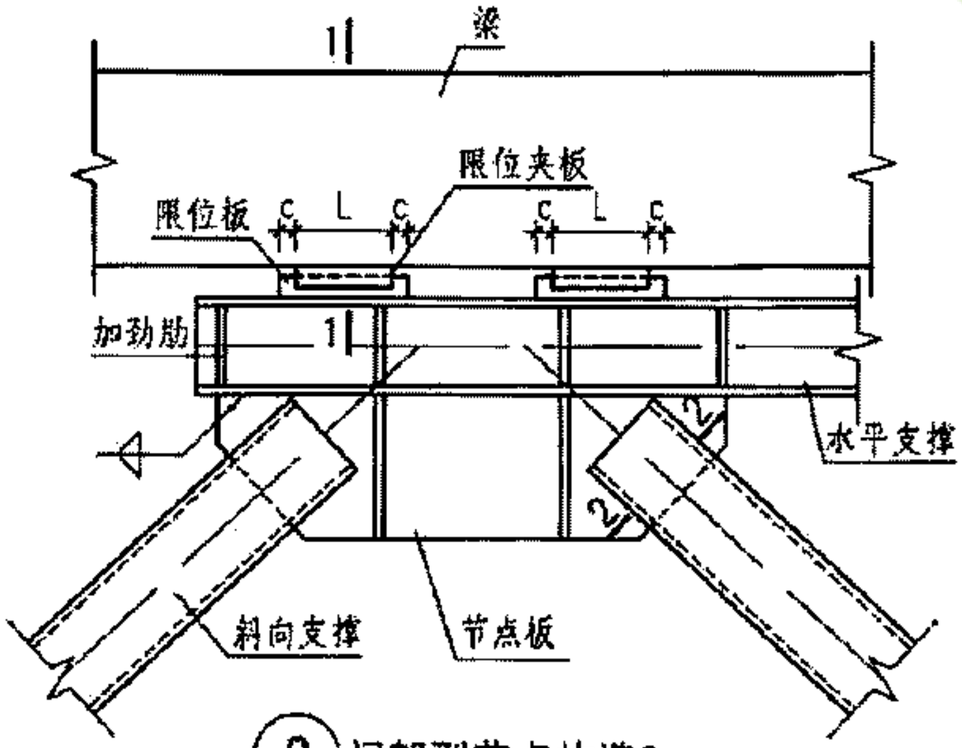
2. 黏滞消能器与水平支撑的连接可采用③或④。在④中，虚线范围内的连接构件可作为消能器的一部分由生产厂家加工，这样就容易保证球铰的连接精度，也便于现场安装。

3. 侧向限位装置构造做法及注意事项详见本图集第44页。

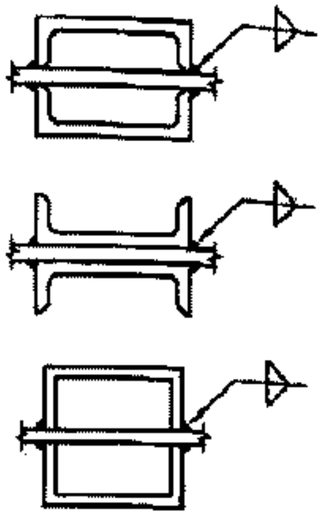
黏滞消能器人字型节点									图集号	09SG610-7
审核	吴耀辉		校对	韩玉林		设计	吕 堃		页	43



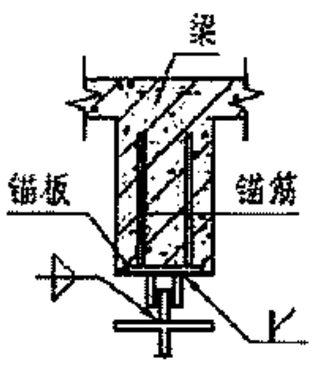
① 门架型节点构造1



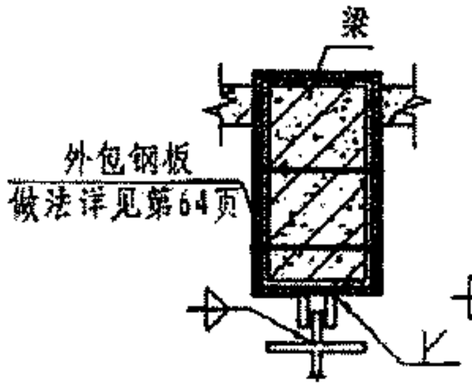
② 门架型节点构造2



2-2

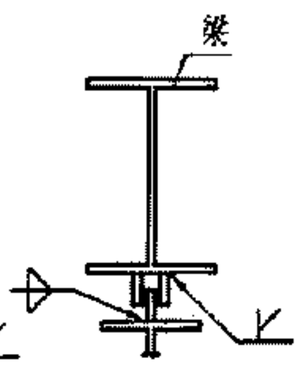


(a) 新建混凝土结构

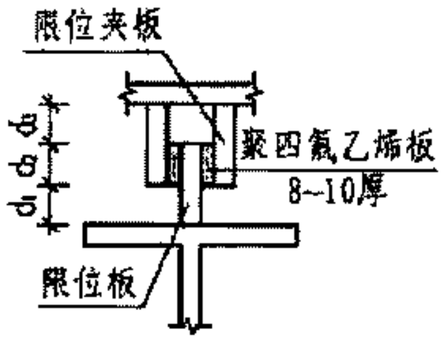


(b) 既有混凝土结构

1-1



(c) 钢结构



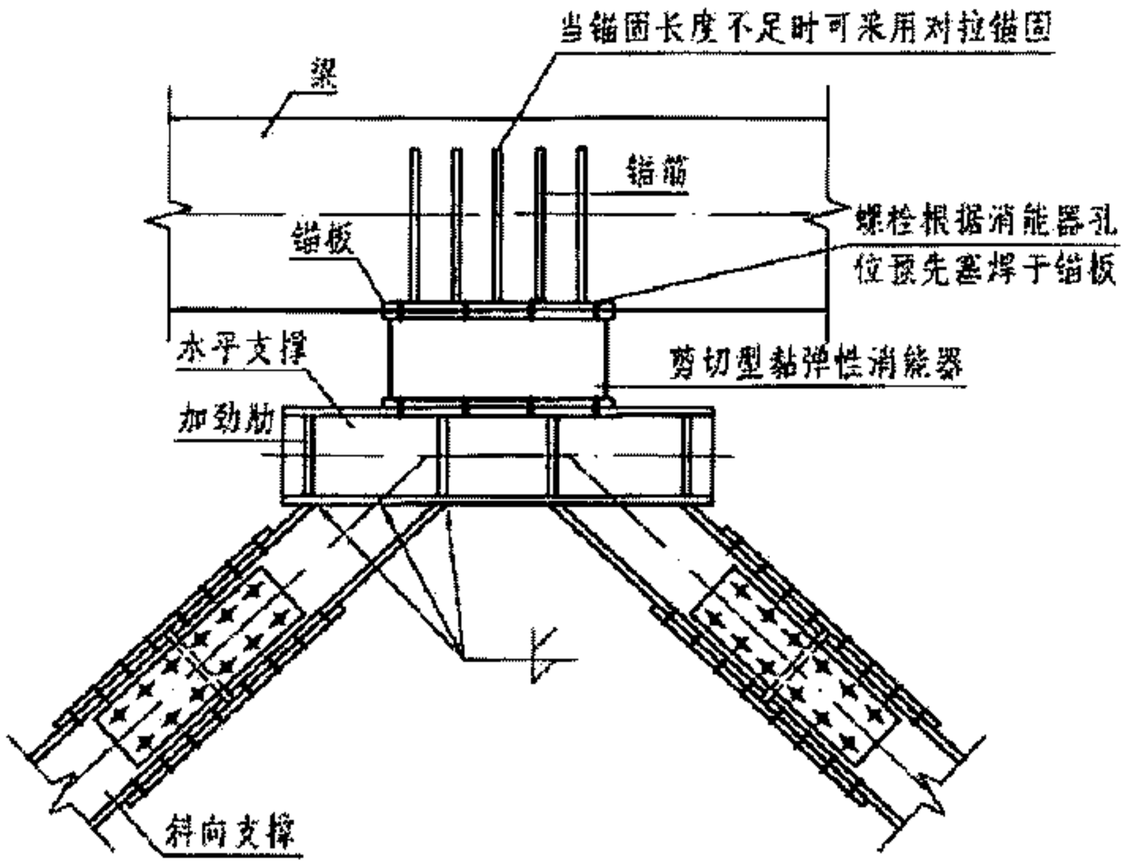
Ⓐ 侧向限位装置详图

注：1. 考虑到梁的竖向变形和安装空间，d_1、d_2、d_3均宜≥50mm。

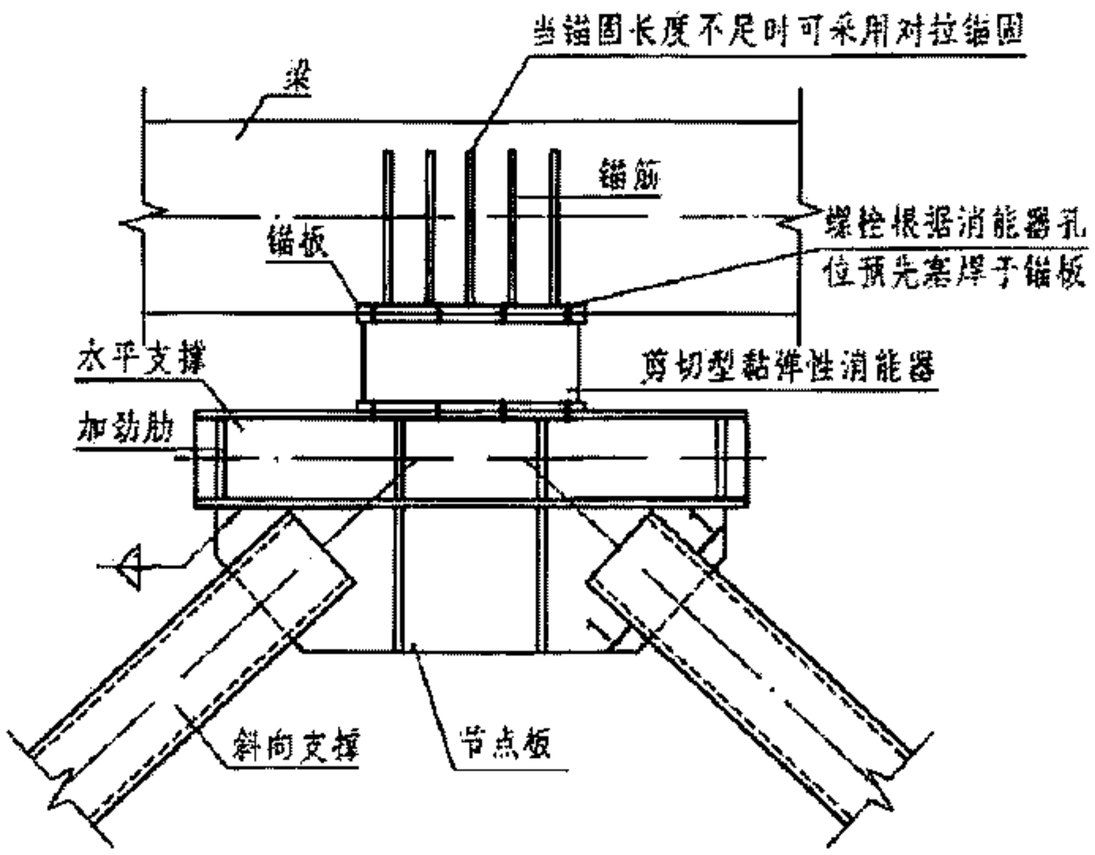
2. 为了保证侧向限位装置能有效限制消能部件的平面外变形，限位板与聚四氟乙烯板的间隙不宜大于1mm，同时限位板和限位夹板应具有足够的厚度，对于限位夹板还可通过设置加劲肋进行加强。

3. 限位夹板长度L宜≥200mm；限位板每侧宽出限位夹板长度c宜大于消能器的极限位移。

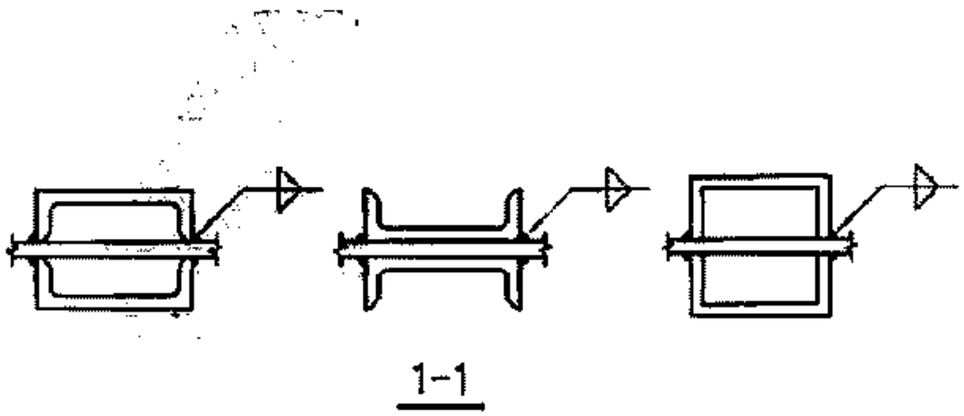
黏滞消能器门架型节点									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	韩玉栋	韩玉栋	设计	吕坚	吕坚	页	44



(1) 剪切型黏弹性消能器与混凝土结构连接1



(2) 剪切型黏弹性消能器与混凝土结构连接2



1-1

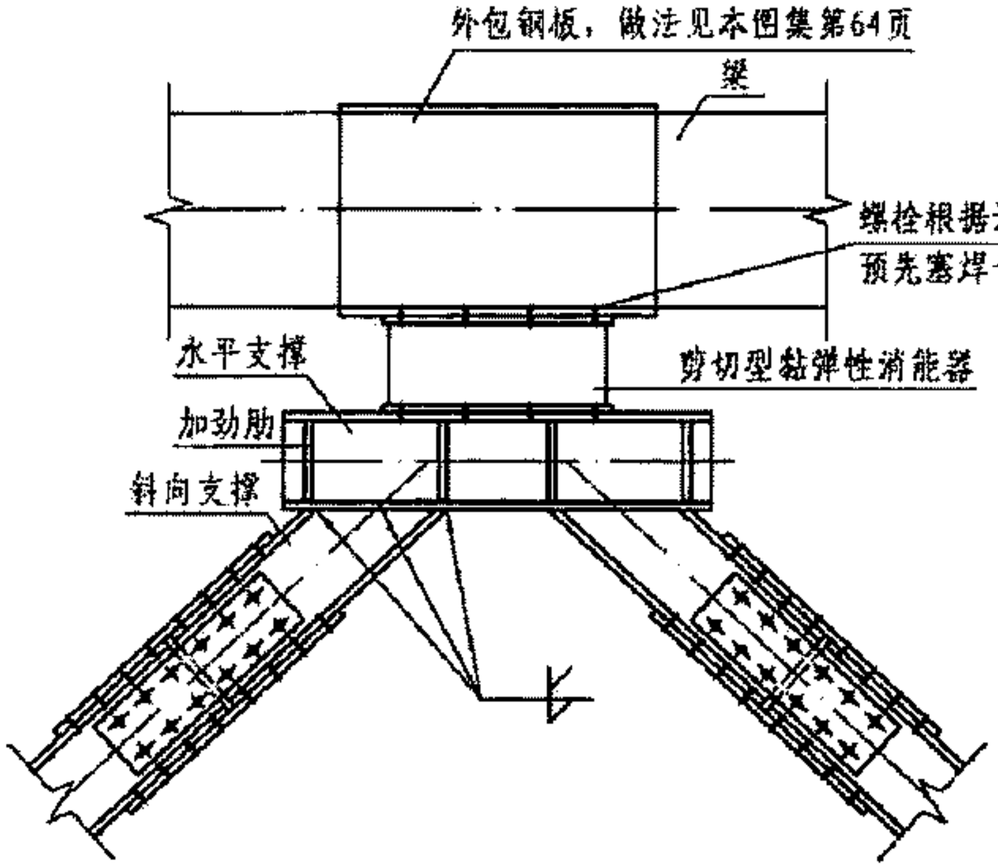
注：1. 本图②中斜向支撑与节点板通过角焊缝连接，由于此种连接方式在支撑平面内存在着弯曲刚度，在结构的水平变形条件下，连接部分会产生一定的附加弯矩，对连接部分进行细部设计时，应考虑此附加弯矩的不利影响。连接②适用于支撑力较小的情况，当支撑力较大时宜采用刚性连接①。

2. 节点板在支撑力（考虑附加弯矩）作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

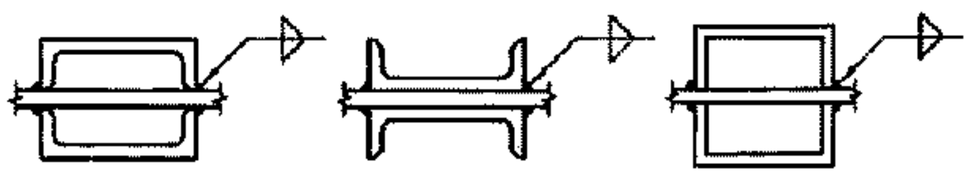
3. 预埋件的构造应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010相关要求。

黏弹性消能器与新建混凝土结构及支撑连接									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 磊		设计	吕 坚		页	45

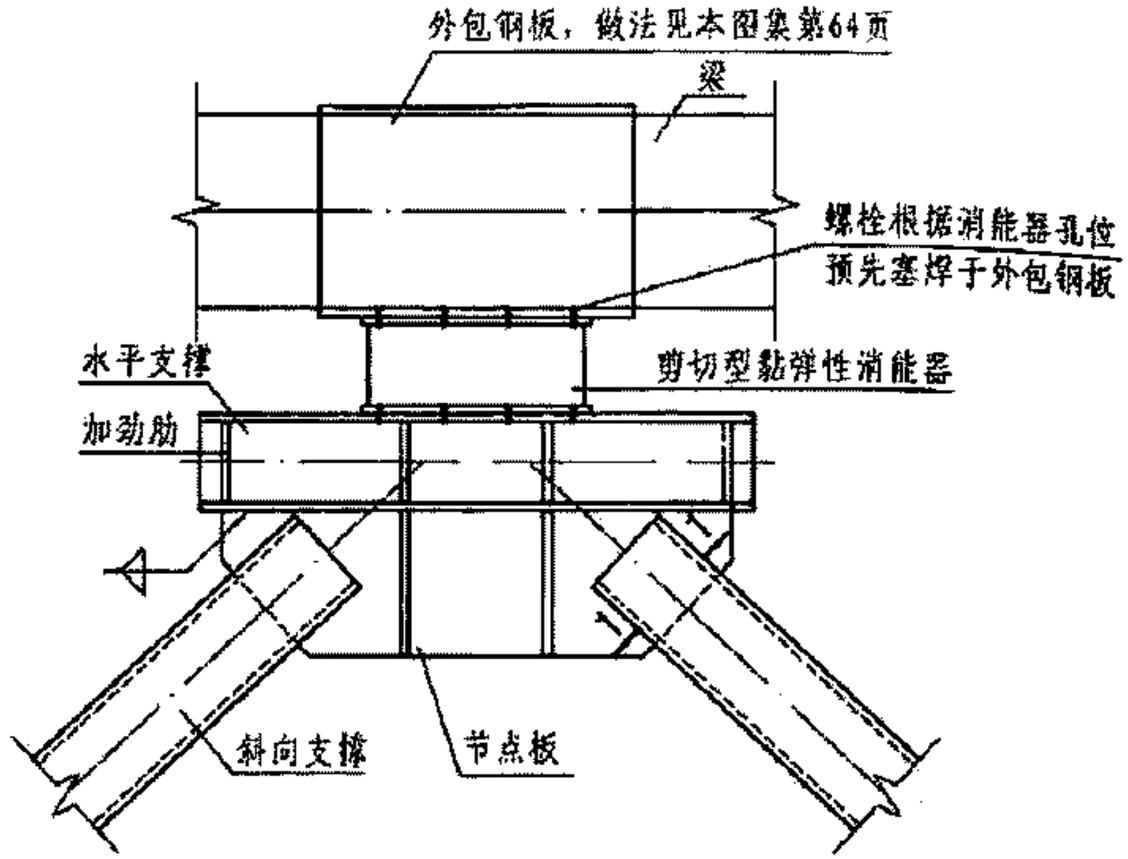
土木工程网
www.1358.cc



① 剪切型黏弹性消能器与混凝土结构连接1



1-1



② 剪切型黏弹性消能器与混凝土结构连接2

注：1. 本图②中斜向支撑与节点板通过角焊缝连接，由于此种连接方式在支撑平面内存在着弯曲刚度，在结构的水平变形条件下，连接部分会产生一定的附加弯矩，对连接部分进行细部设计时，应考虑此附加弯矩的不利影响。连接②适用于支撑力较小的情况，当支撑力较大时宜采用刚性连接①。

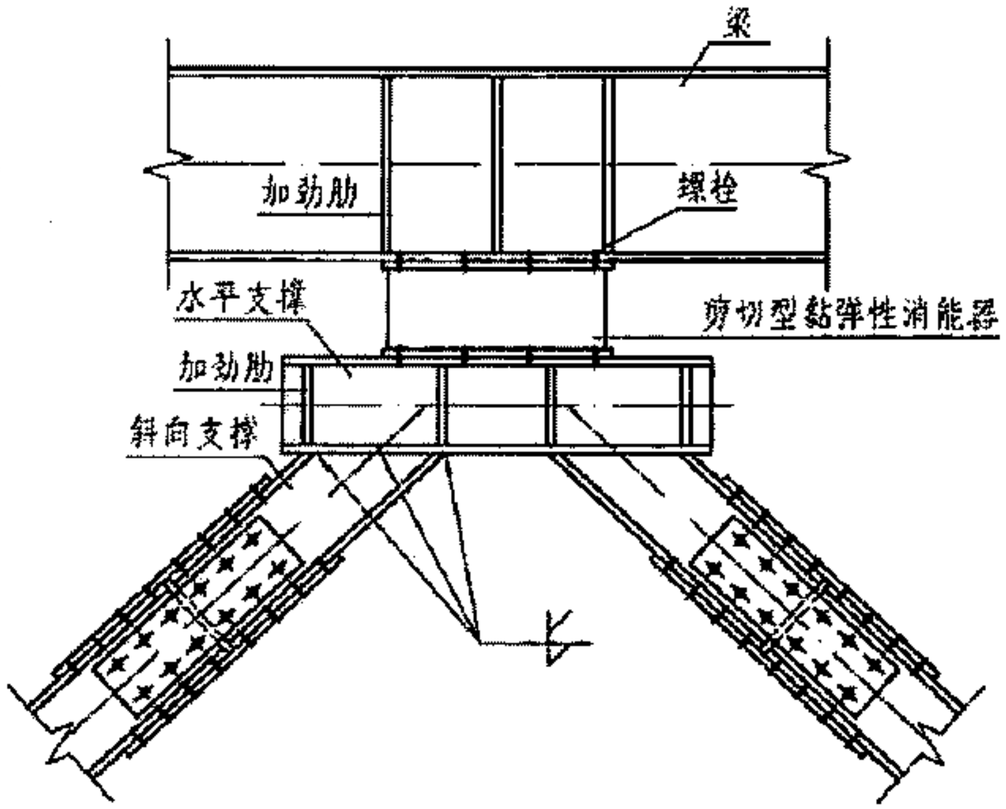
2. 对于连接构造①、②，可通过设置锚栓或对拉锚栓防止外包钢板沿梁轴向产生滑移，具体做法详见本图集第64页。

3. 节点板在支撑力（考虑附加弯矩）作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

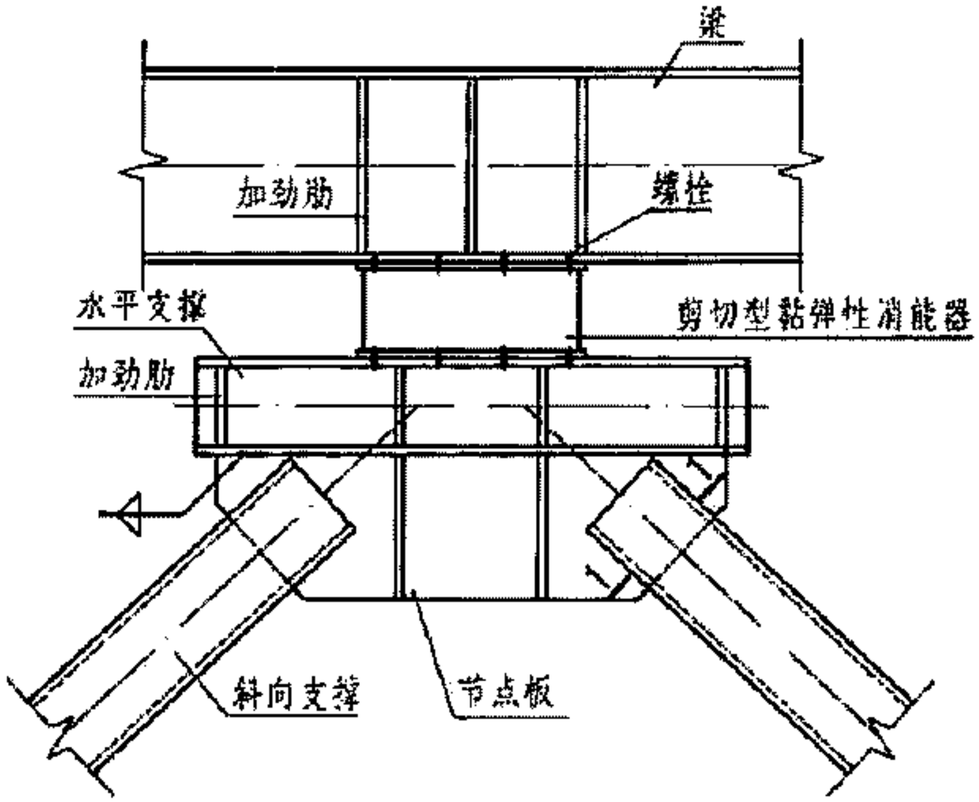
4. 其余说明详见本图集第38页注1~4。

黏弹性消能器与既有混凝土结构及支撑连接									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏磊		设计	吕坚		页	46

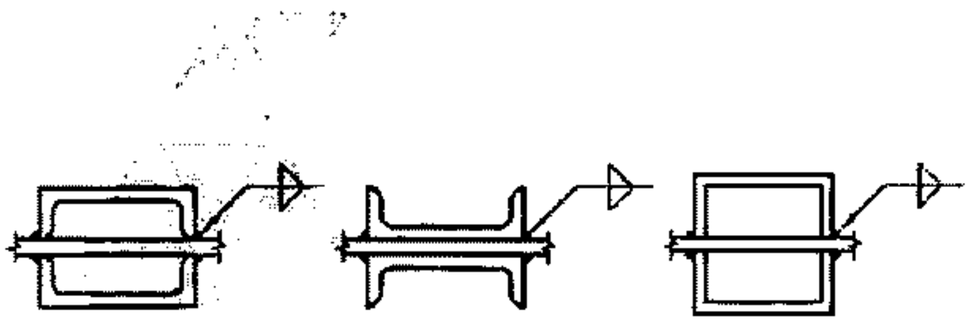
土木工程网
www.1358.cc



① 剪切型黏弹性消能器与钢结构连接1



② 剪切型黏弹性消能器与钢结构连接2



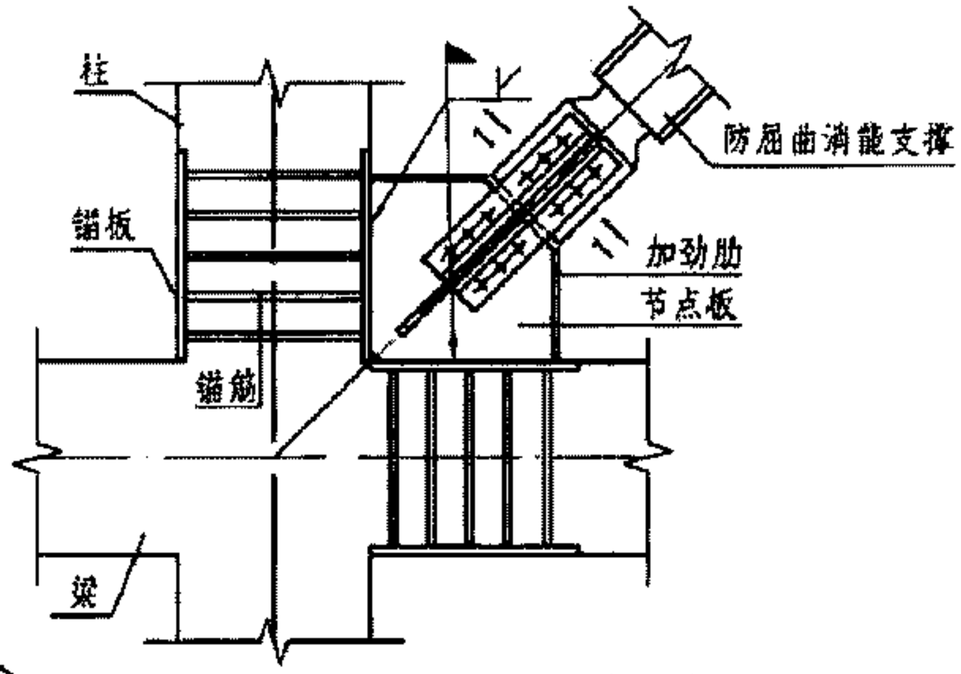
1-1

注：1. 本图②中斜向支撑与节点板通过角焊缝连接，由于此种连接方式在支撑平面内存在着弯曲刚度，在结构的水平变形条件下，连接部分会产生一定的附加弯矩，对连接部分进行细部设计时，应考虑此附加弯矩的不利影响。连接②适用于支撑力较小的情况，当支撑力较大时宜采用刚性连接①。

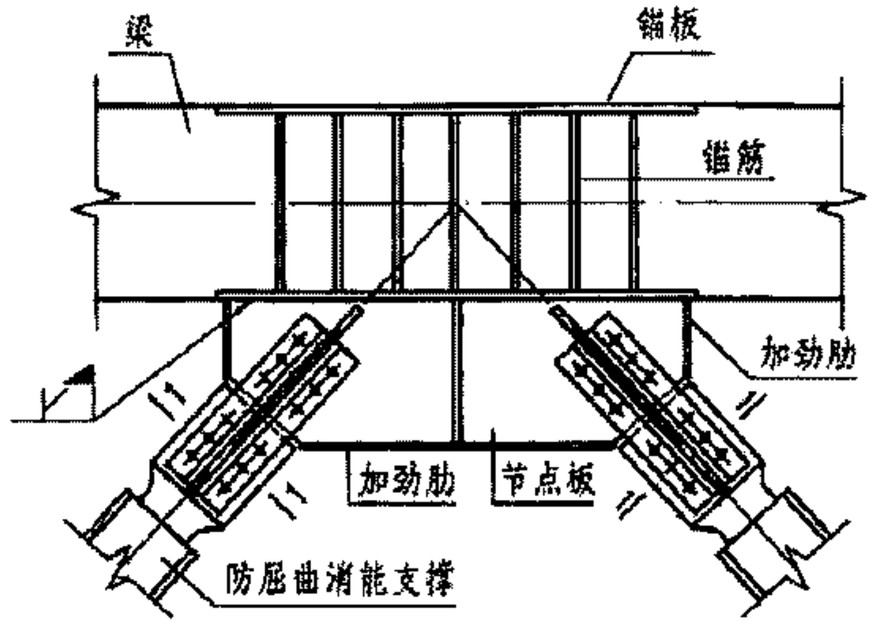
2. 节点板在支撑力（考虑附加弯矩）作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加动肋等措施。

3. 其余说明详本图集第39页注1~3。

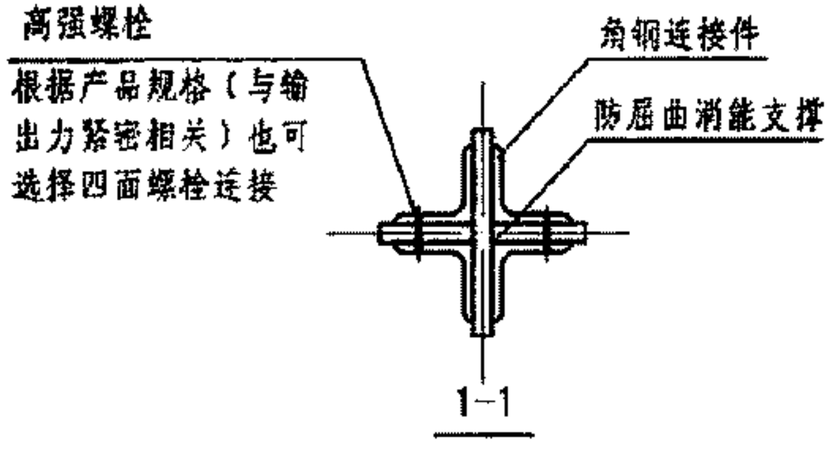
黏弹性消能器与钢结构及支撑连接										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 磊		设计	吕 坚			页	47



① 防屈曲消能支撑与混凝土梁柱节点连接

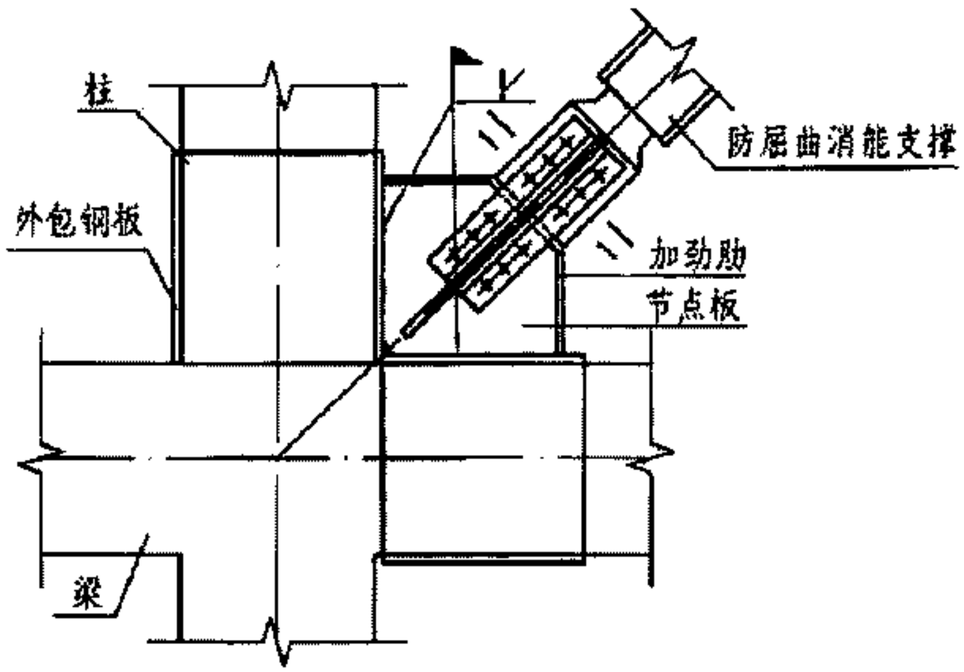


② 防屈曲消能支撑与混凝土梁连接

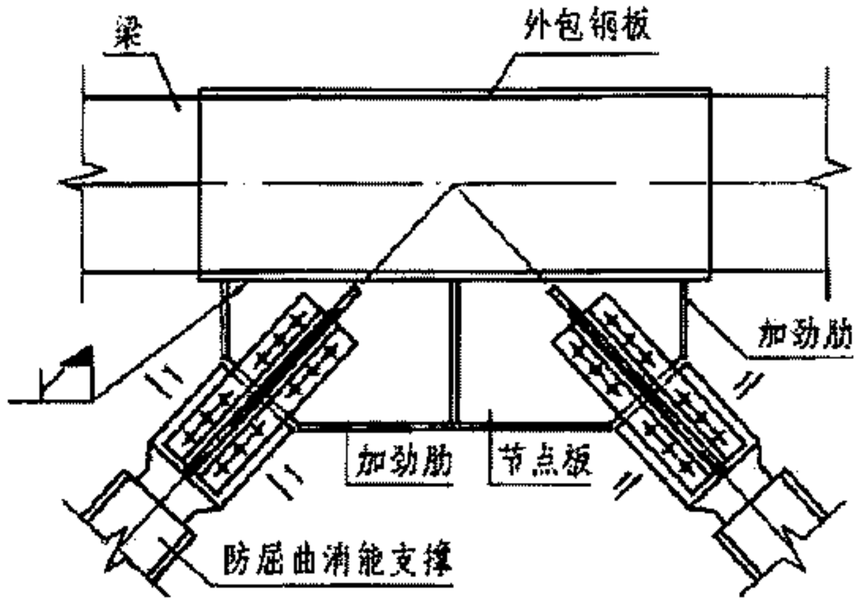


注：1. 与消能部件相连的预埋件在新建混凝土结构中的锚固方式有：
（1）对拉锚固；（2）锚筋锚固，
抗震设计时，由于预埋件一般位于构件的塑性铰区，为了防止混凝土开裂后锚筋拔出，推荐采用对拉锚固；预埋件的构造应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010相关要求。
2. 节点板在支撑力作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

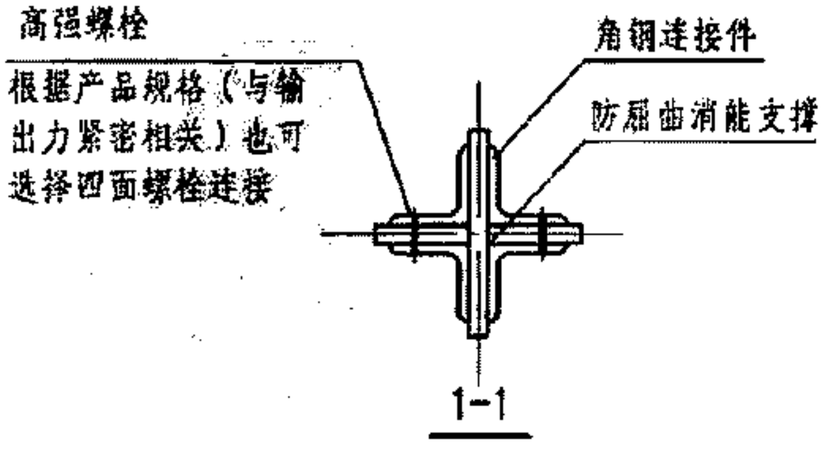
防屈曲消能支撑与新建混凝土结构连接										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	苏 磊			页	48



① 防屈曲消能支撑与混凝土梁柱节点连接

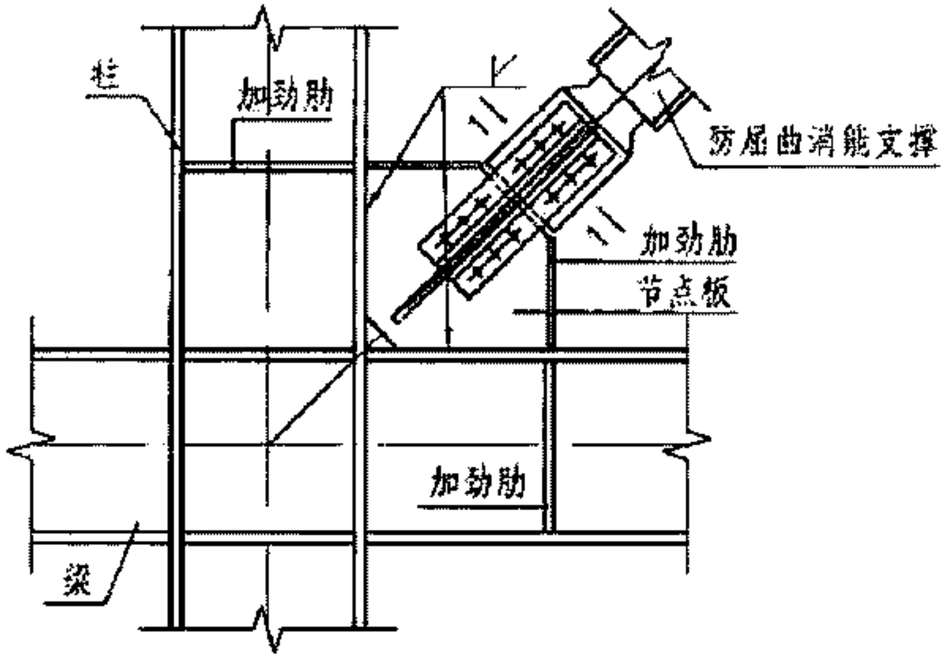


② 防屈曲消能支撑与混凝土梁连接

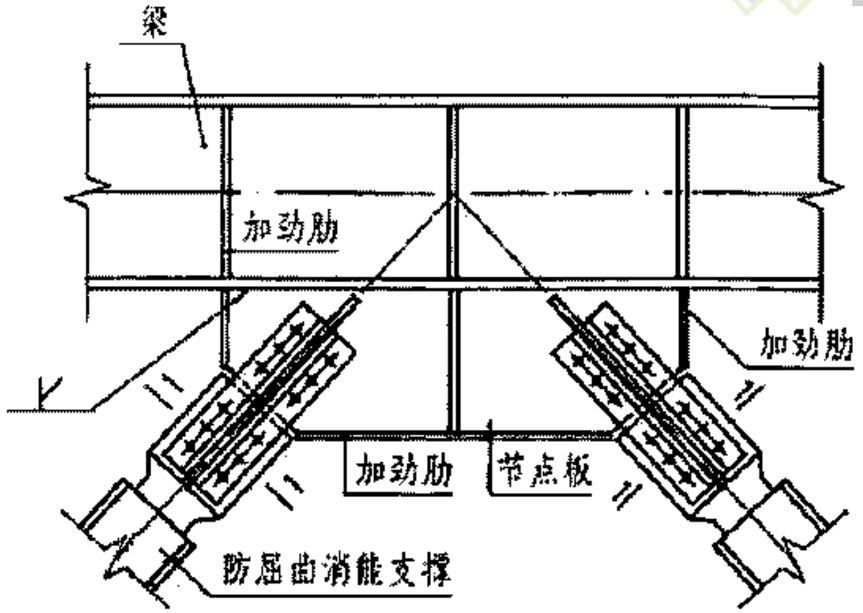


注：1. 节点板在支撑力作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。
2. 对于连接构造②，可通过设置锚栓或对拉锚栓防止外包钢板沿梁轴向产生滑移，具体做法见本图集64页。
3. 其余说明见本图集第38页注1~4。

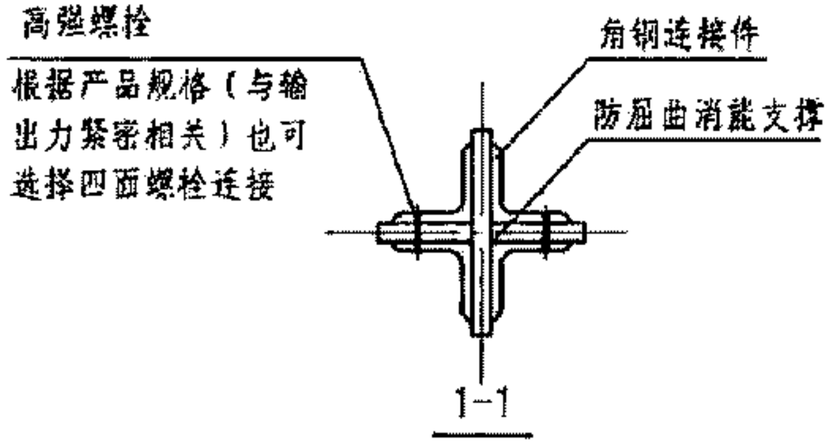
防屈曲消能支撑与既有混凝土结构连接										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	苏 磊			页	49



① 防屈曲消能支撑与钢梁柱节点连接

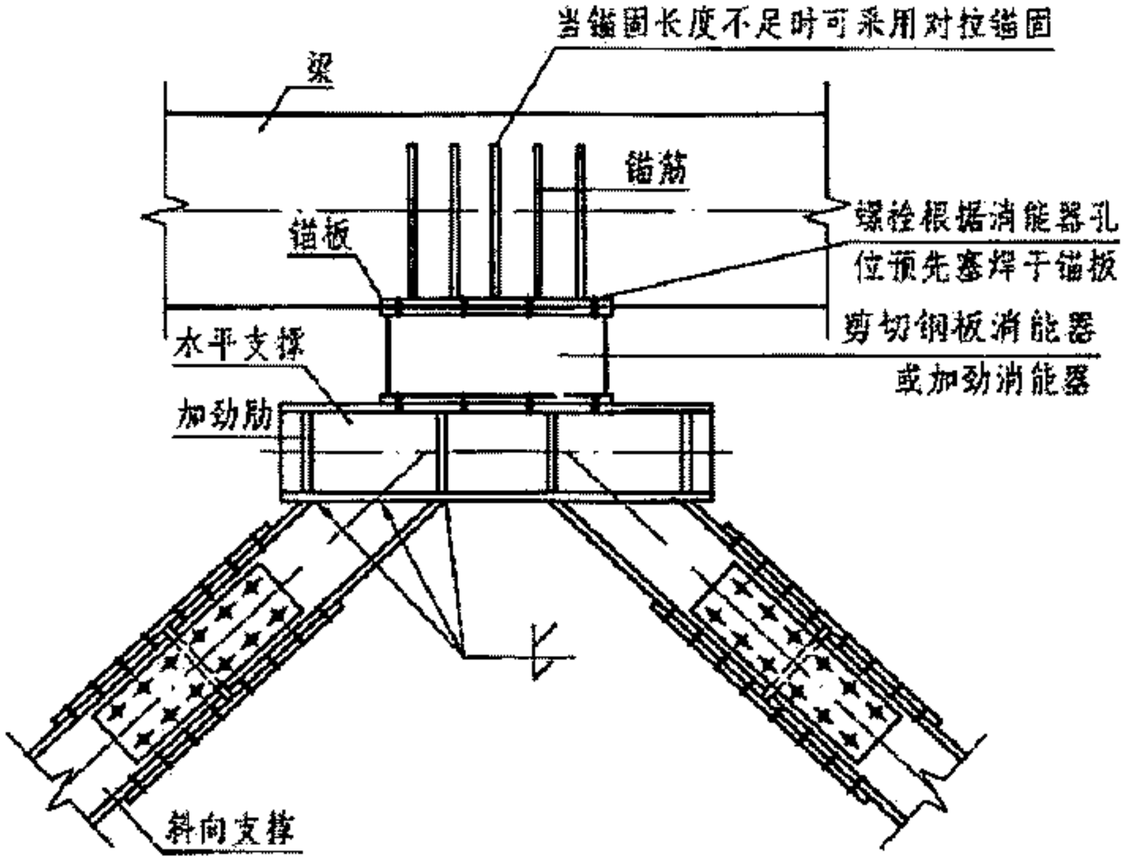


② 防屈曲消能支撑与钢梁节点连接

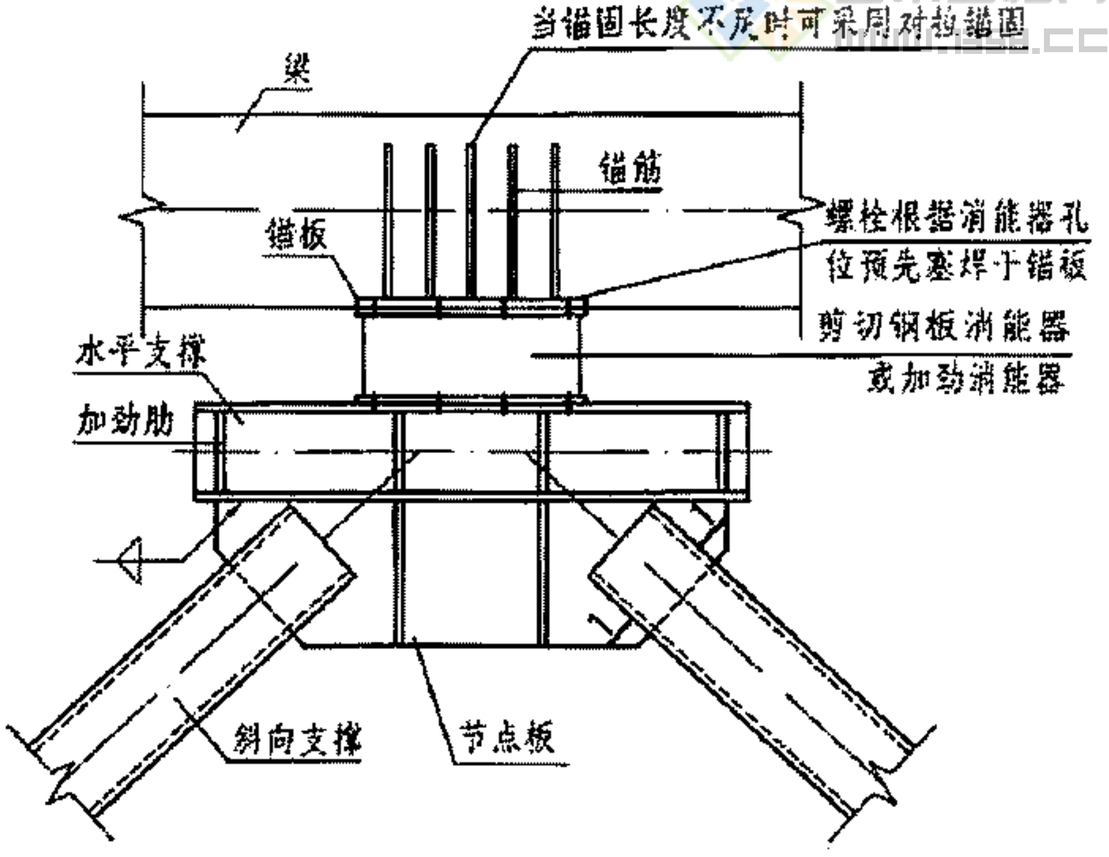


注：1. 节点板在支撑力作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。
2. 其余说明见本图集第39页注1~3.

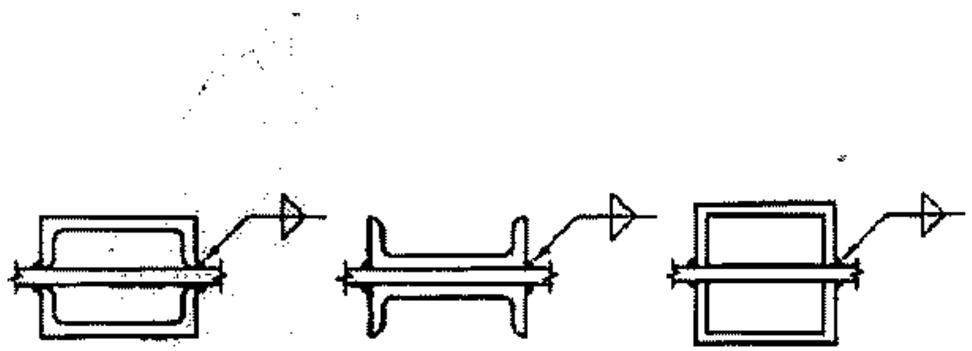
防屈曲消能支撑与钢结构连接										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	苏磊			页	50



(1) 剪切钢板(加劲)消能器与混凝土结构连接1



(2) 剪切钢板(加劲)消能器与混凝土结构连接2



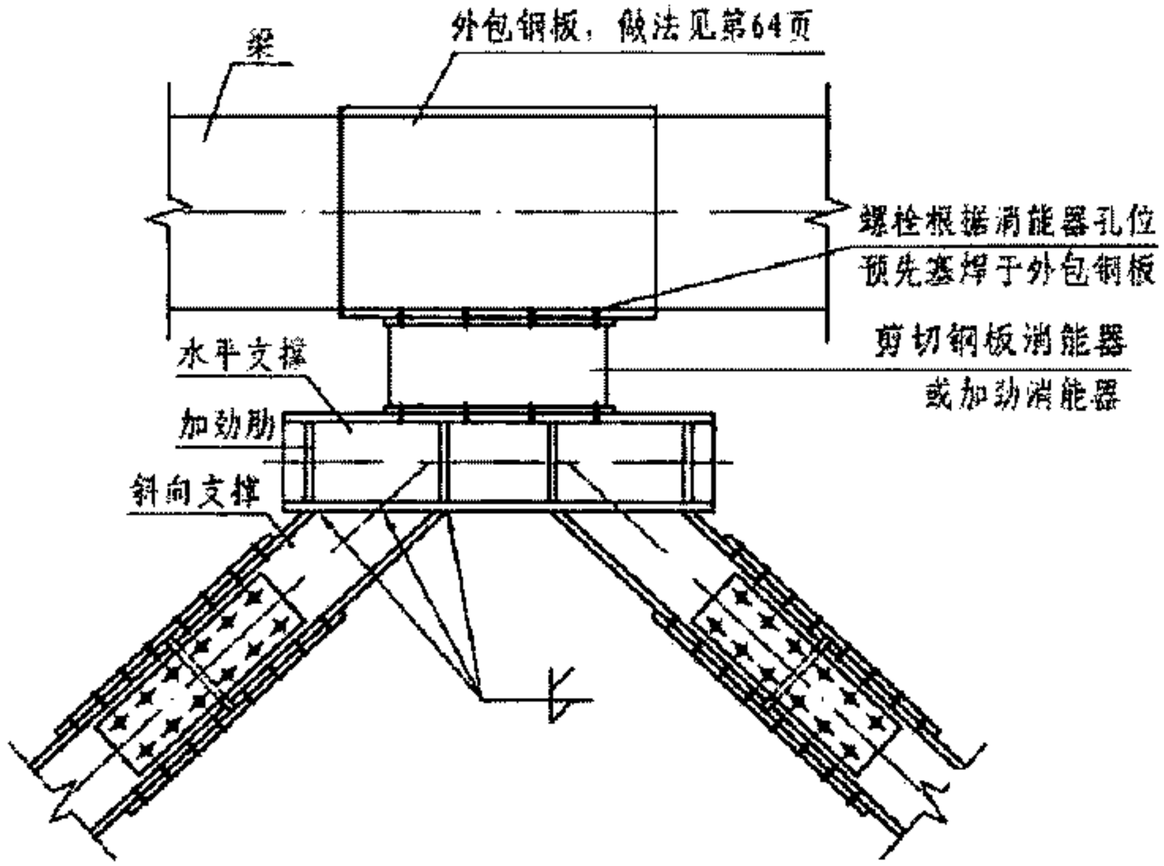
注：1. 本图②中斜向支撑与节点板通过角焊缝连接，由于此种连接方式在支撑平面内存在着弯曲刚度，在结构的水平变形条件下，连接部分会产生一定的附加弯矩，对连接部分进行细部设计时，应考虑此附加弯矩的不利影响。连接②适用于支撑力较小的情况，当支撑力较大时宜采用刚性连接①。

2. 节点板在支撑力（考虑附加弯矩）作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

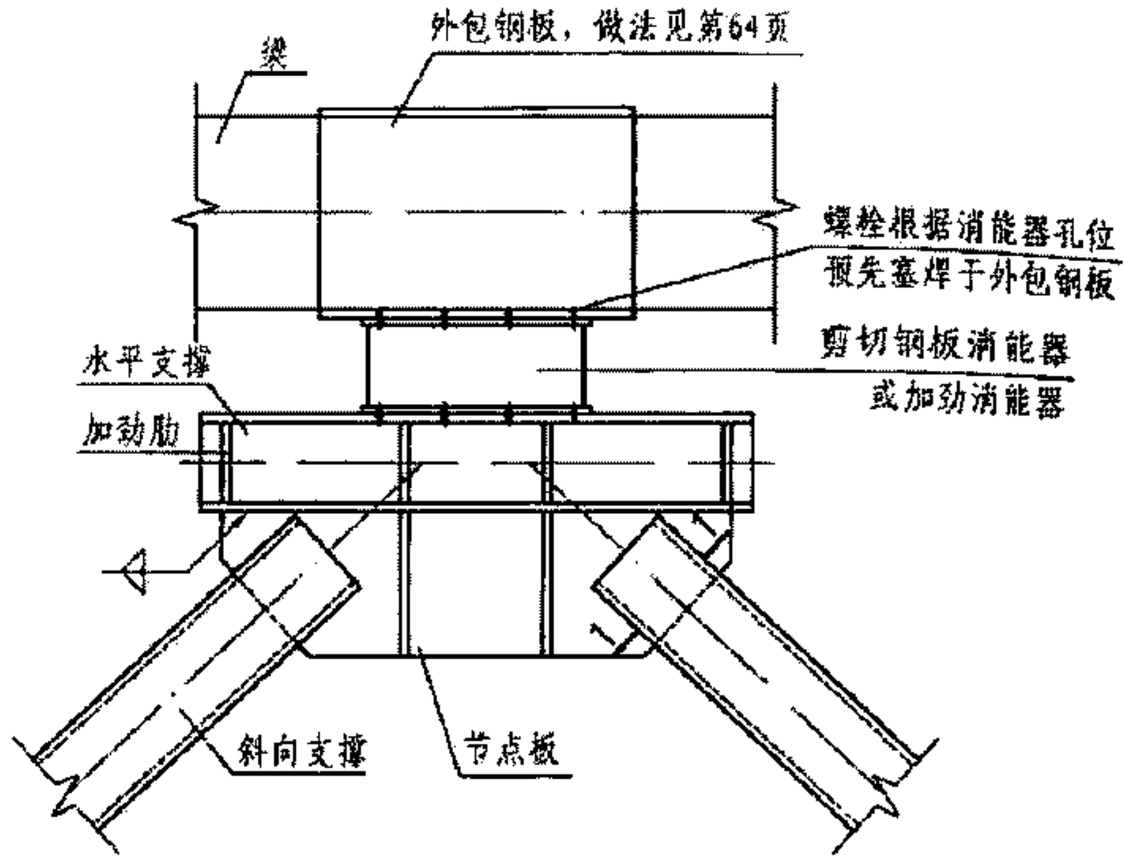
3. 预埋件的构造应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010相关要求。

剪切钢板(加劲)消能器与新建混凝土结构连接									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	李海元	李海元	设计	苏磊	苏磊	页	51

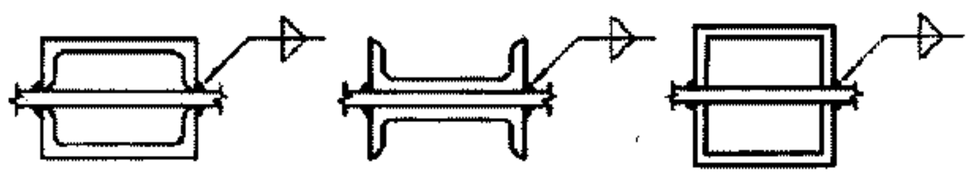
土木工程网
www.1358.cc



① 剪切钢板(加劲)消能器与混凝土结构连接1



② 剪切钢板(加劲)消能器与混凝土结构连接2



1-1

注：1. 本图②中斜向支撑与节点板通过角焊缝连接，由于此种连接方式在支撑平面内存在着弯曲刚度，在结构的水平变形条件下，连接部分会产生一定的附加弯矩，对连接部分进行细部设计时，应考虑此附加弯矩的不利影响。连接②适用于支撑力较小的情况，当支撑力较大时宜采用刚性连接①。

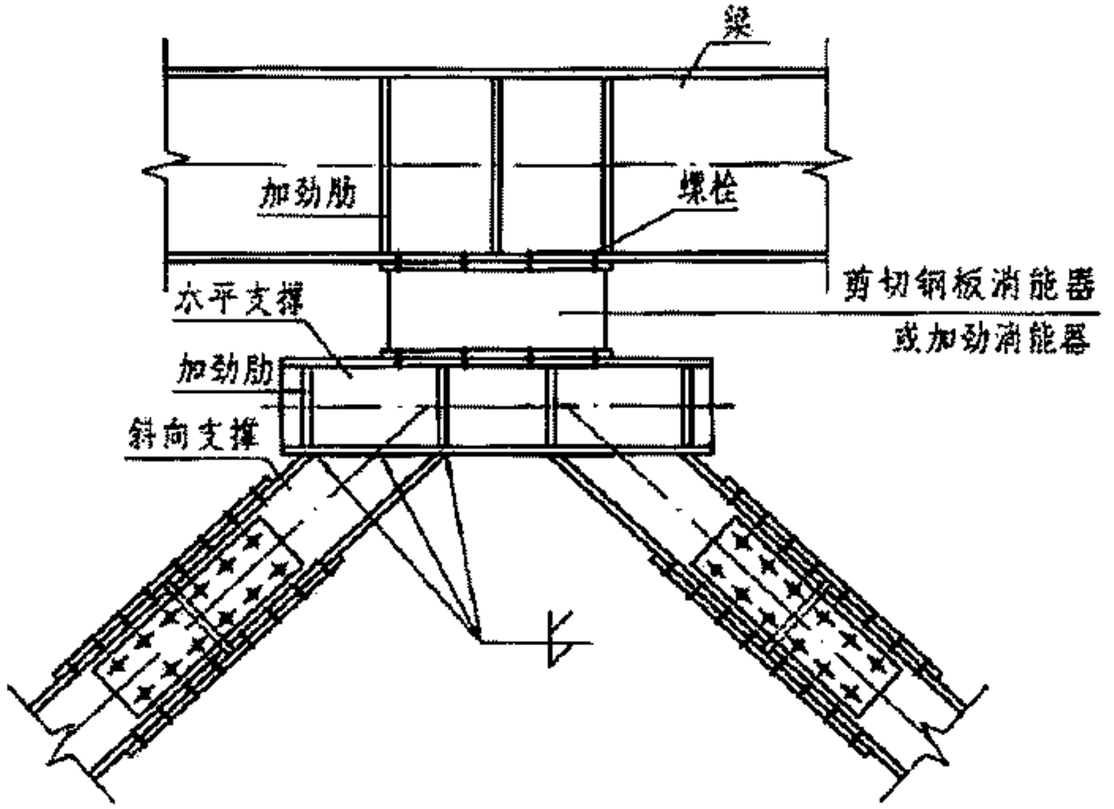
2. 对于连接构造①、②，可通过设置锚栓或对拉锚栓防止外包钢板沿梁轴向产生滑移，具体做法详见本图集第64页。

3. 节点板在支撑力（考虑附加弯矩）作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

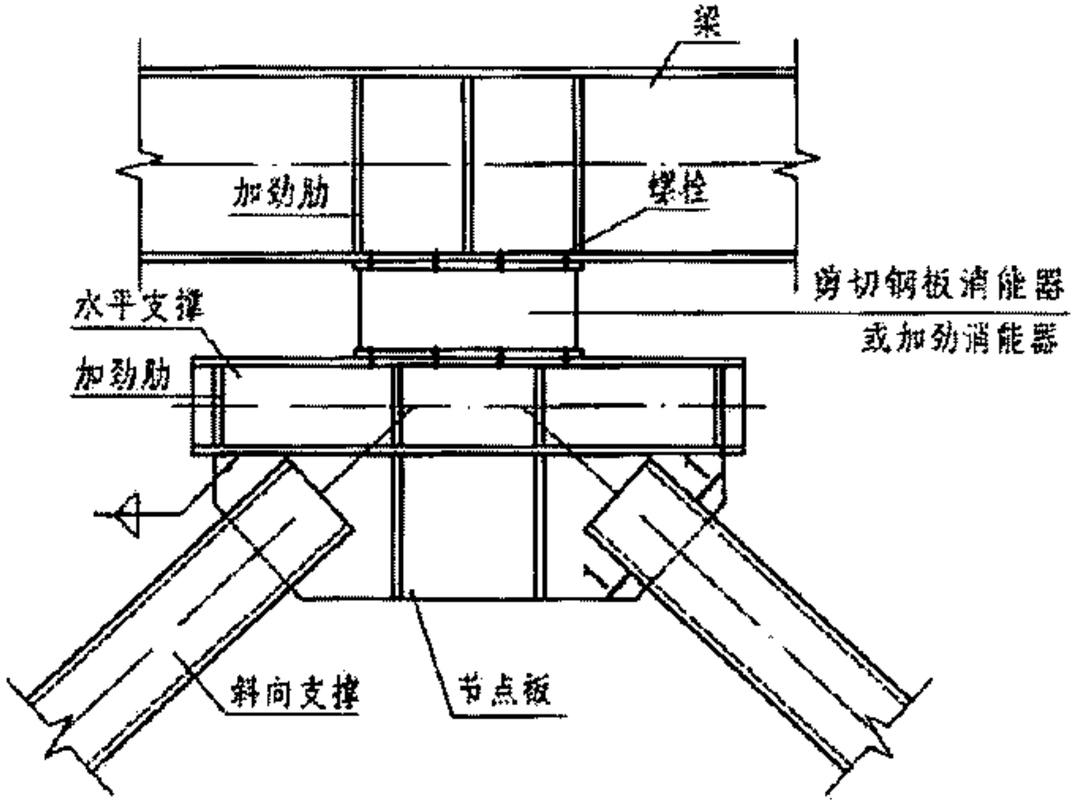
4. 其余说明详见本图集第38页注1~4。

剪切钢板(加劲)消能器与既有混凝土结构连接									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	苏磊		页	52

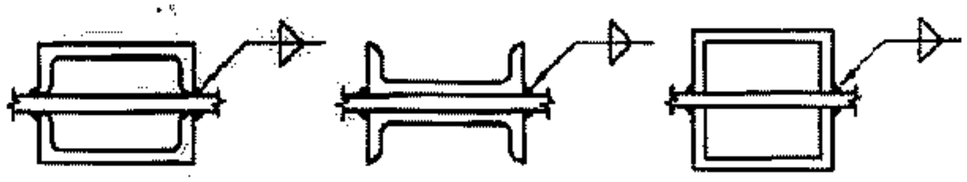
土木工程网
www.1358.cc



① 剪切钢板(加劲)消能器与钢结构连接1



② 剪切钢板(加劲)消能器与钢结构连接2



1-1

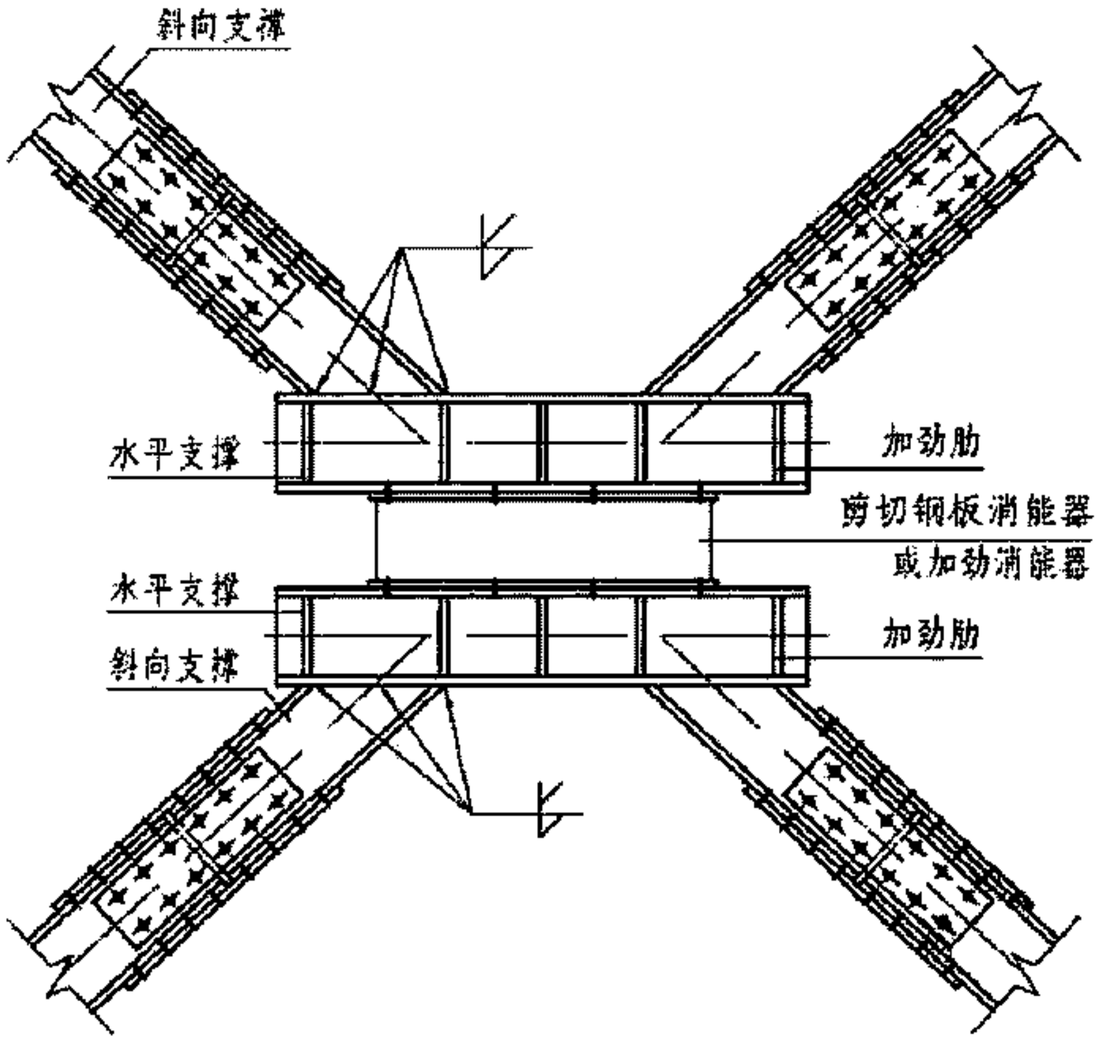
注：1. 本图②中斜向支撑与节点板通过角焊缝连接，由于此种连接方式在支撑平面内存在着弯曲刚度，在结构的水平变形条件下，连接部分会产生一定的附加弯矩，对连接部分进行细部设计时，应考虑此附加弯矩的不利影响。连接②适用于支撑力较小的情况，当支撑力较大时宜采用刚性连接①。

2. 节点板在支撑力（考虑附加弯矩）作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

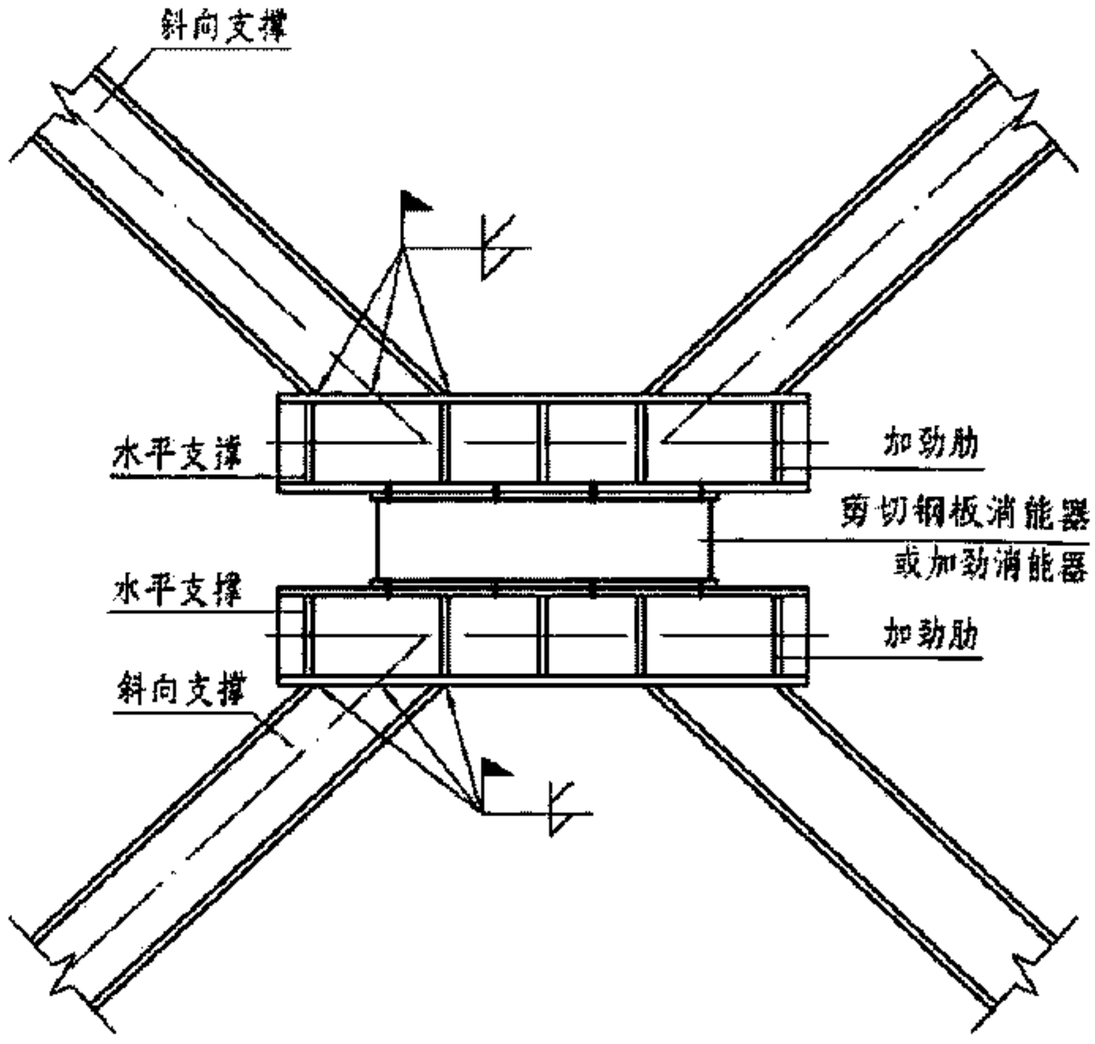
3. 其余说明详本图集第39页注1~3。

剪切钢板(加劲)消能器与钢结构连接									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	李海元	李海元	设计	苏磊	苏磊	页	53

土木工程网
www.1358.cc



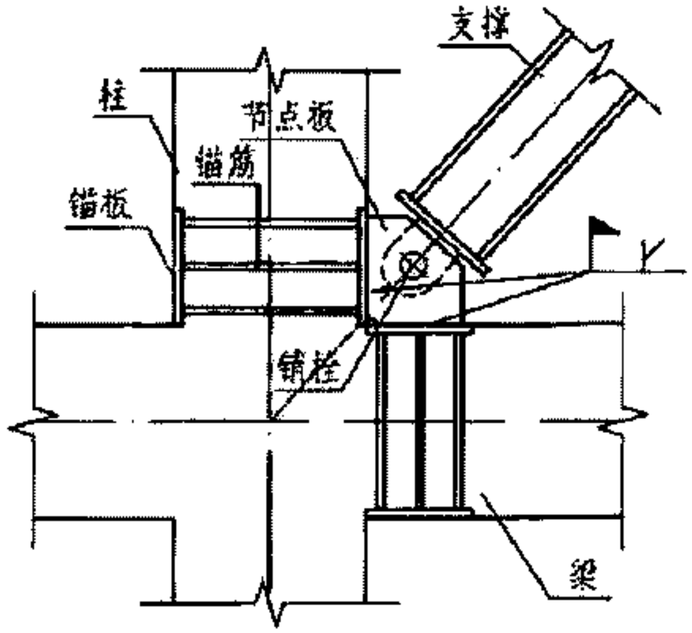
① 剪切钢板(加劲)消能器与钢支撑连接1



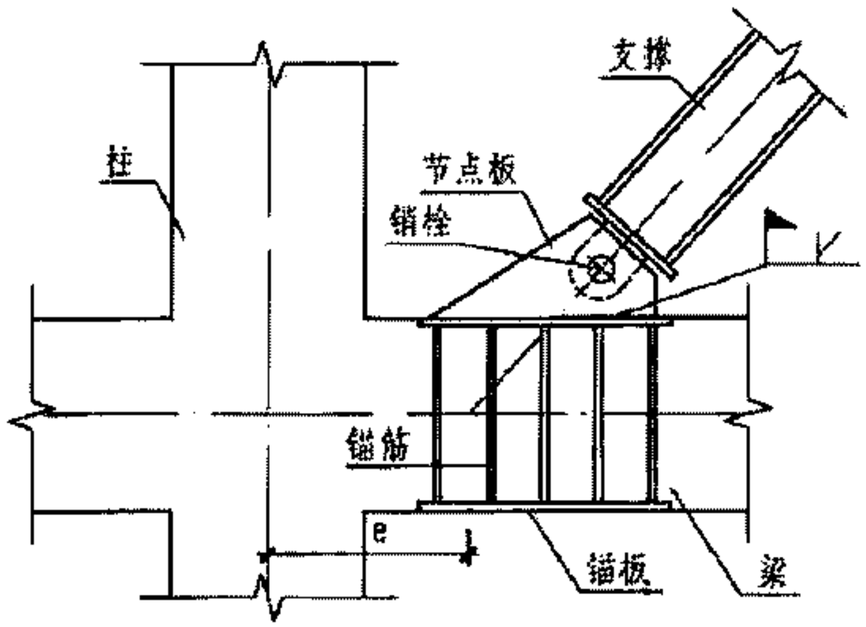
② 剪切钢板(加劲)消能器与钢支撑连接2

注:1. 图中焊缝尺寸应根据计算确定，并满足现行规范、规程的要求。
2. 图中坡口（单面或双面）仅为示意，应根据板厚和焊接工艺选择合适的坡口方式。

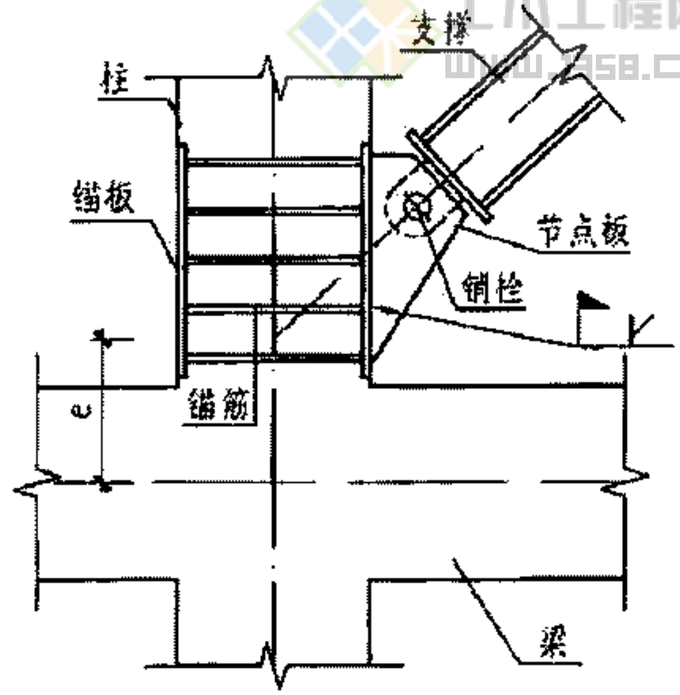
剪切钢板(加劲)消能器与钢支撑连接								图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李海元		设计	苏 晶		页	54



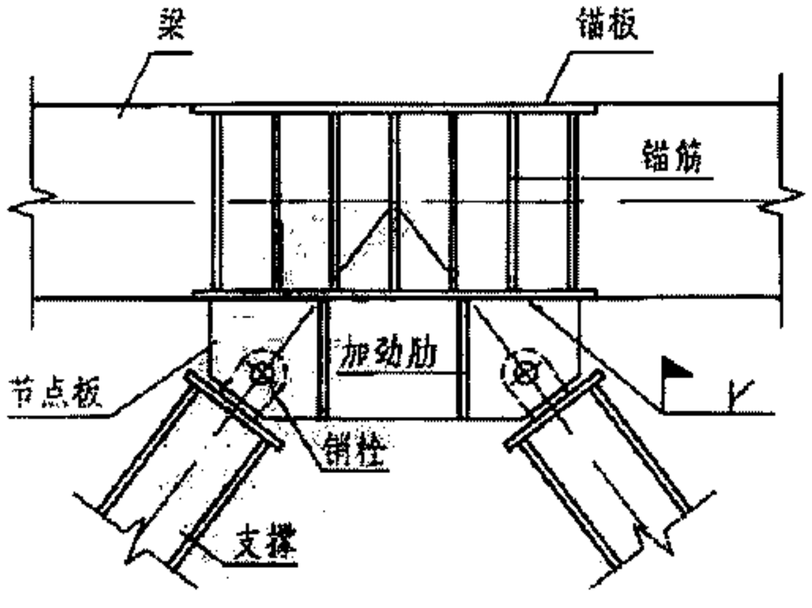
① 支撑与混凝土梁柱节点铰接连接



② 支撑与混凝土梁铰接连接



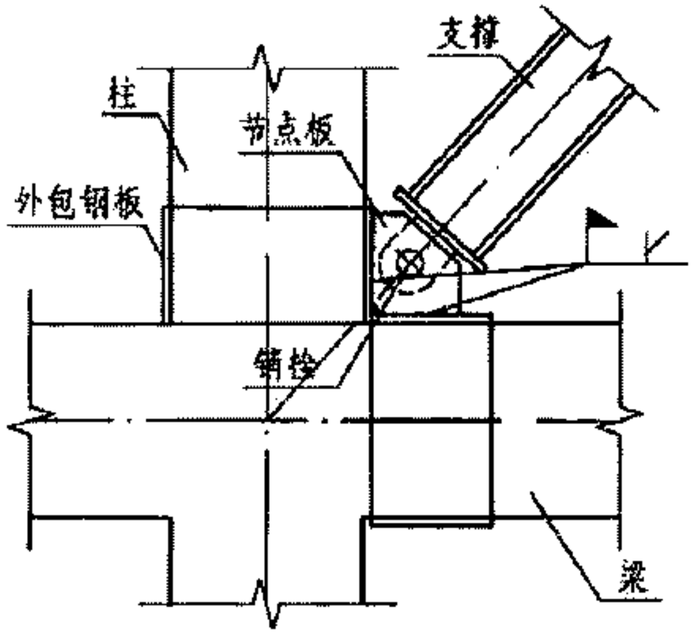
③ 支撑与混凝土柱铰接连接



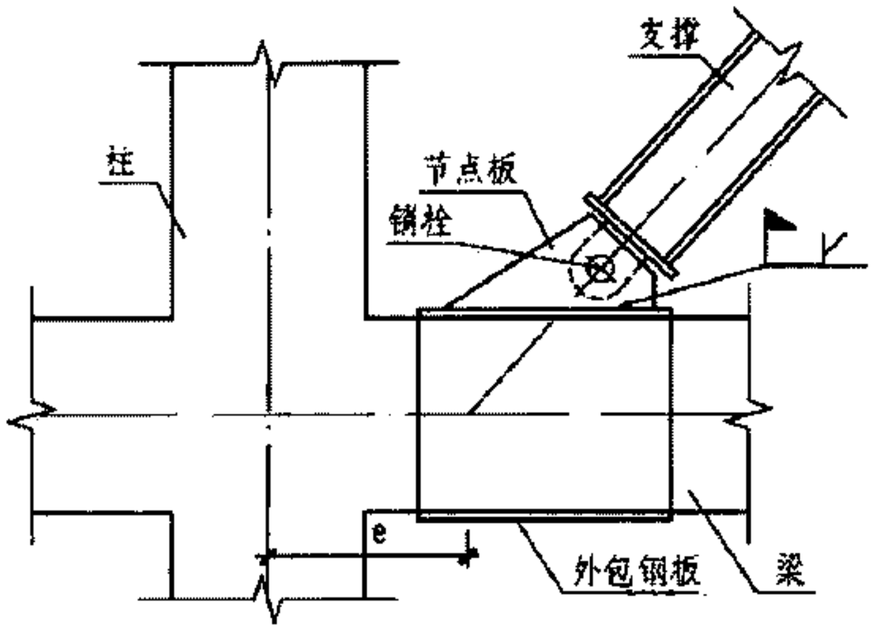
④ 双斜撑与混凝土梁铰接连接

注：1. 与支撑相连的预埋件在新建混凝土结构中的锚固方式有：
（1）对拉锚固；（2）锚筋锚固。
抗震设计时，由于预埋件一般位于构件的塑性铰区，为了防止混凝土开裂后锚筋拔出，宜采用对拉锚固；抗风设计时可采用锚筋锚固。预埋件的构造应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010相关要求。
2. 节点板在支撑力作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏。一般可采用增加节点板厚或设置加劲肋等措施。
3. ①~③连接构造的优缺点及注意事项详见本图集第37页注3。

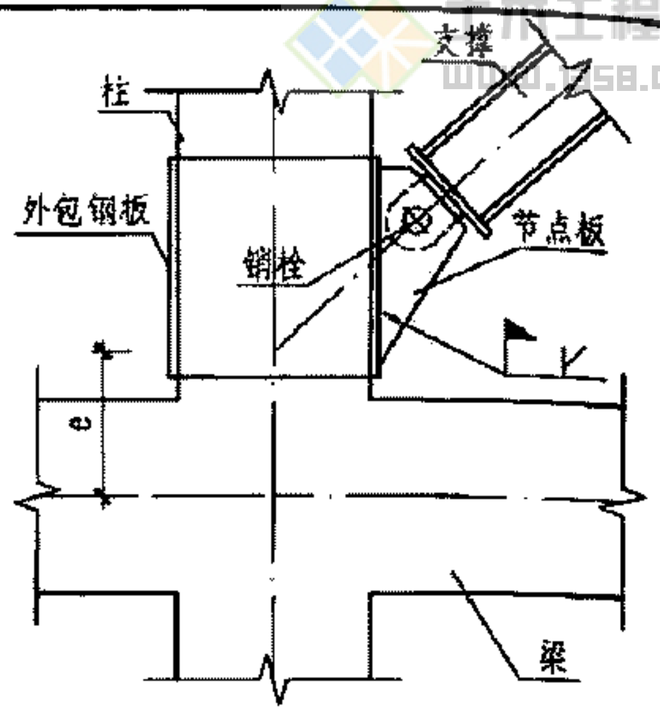
支撑与新建混凝土结构铰接连接1										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李 朋		设计	吕 坚			页	55



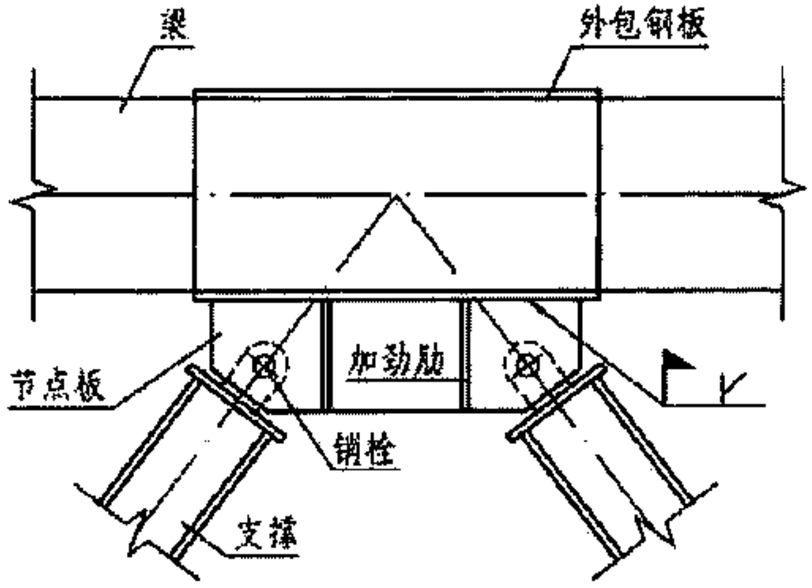
① 支撑与混凝土梁柱节点铰接连接



② 支撑与混凝土梁铰接连接



③ 支撑与混凝土柱铰接连接



④ 双斜撑与混凝土梁铰接连接

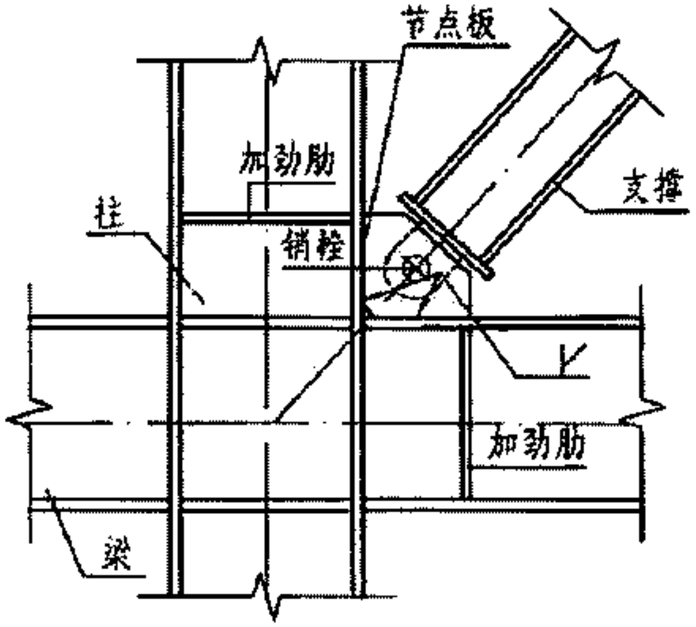
注：1. ①~③连接构造中，应优先选用连接构造①，当采用①有困难时可选用②或③，此时应考虑偏心受力对梁、柱的不利影响以及梁柱变形对消能部件效能的削弱。若原结构的梁柱承载力不满足要求，还需对其进行加固。

2. 对于连接构造②~④，可通过设置锚栓或对拉锚栓防止外包钢板沿梁或柱轴向产生滑移，具体做法详见本图集第64页。

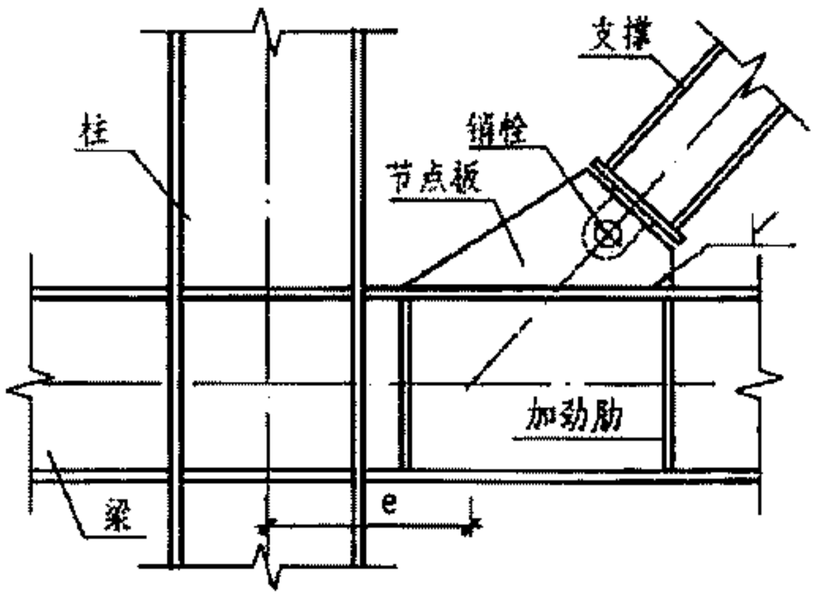
3. 节点板在支撑力作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚或设置加劲肋等措施。

4. 其余说明详见本图集第38页注1~4。

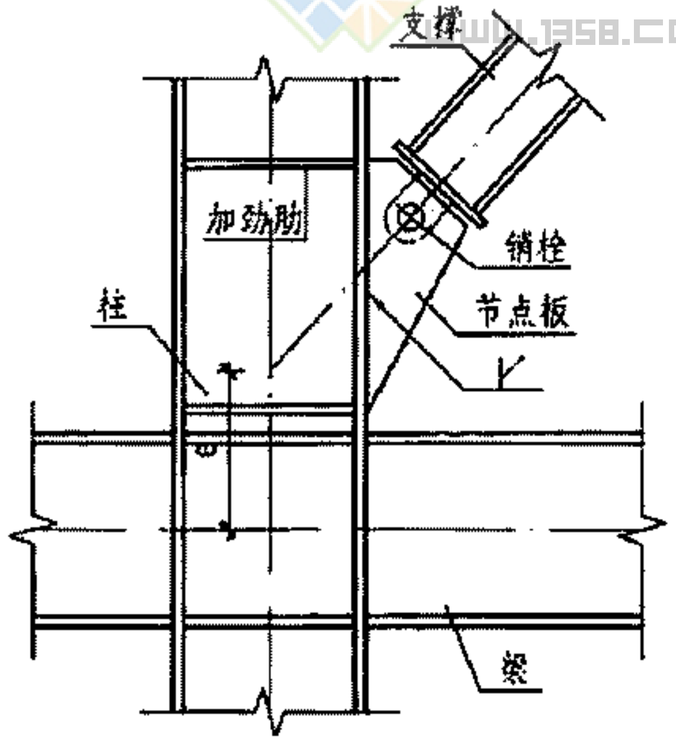
支撑与既有混凝土结构铰接连接1										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李朋		设计	吕坚			页	56



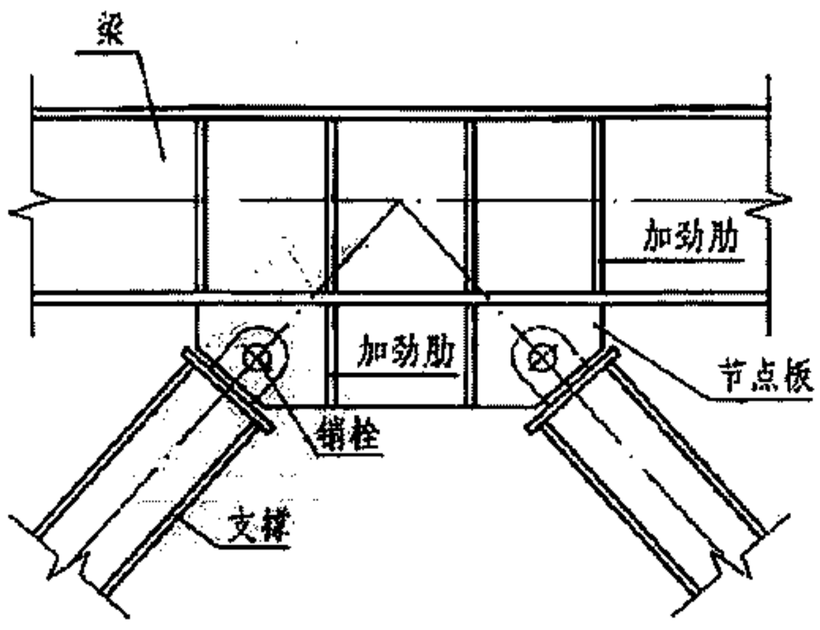
① 支撑与钢梁柱节点铰接连接



② 支撑与钢梁铰接连接



③ 支撑与钢柱铰接连接



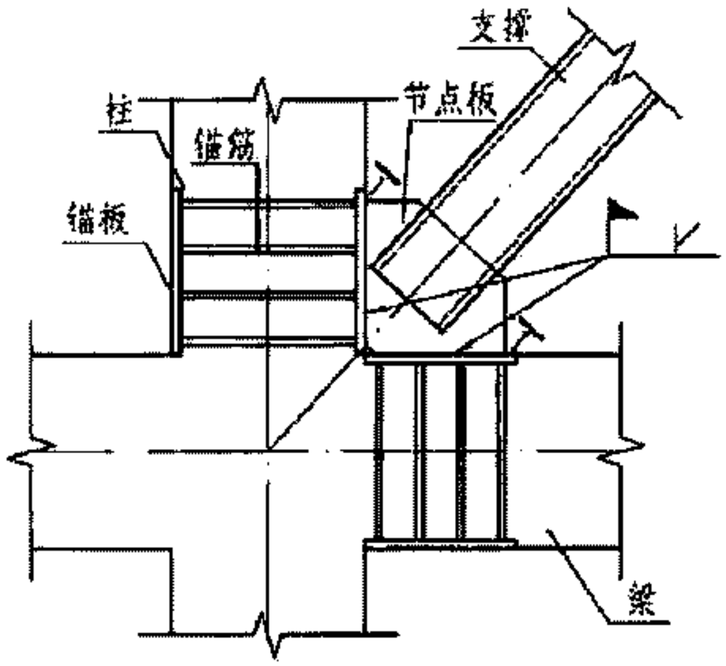
④ 双斜撑与钢梁铰接连接

注：1.①－③连接构造中，应优先选用连接构造①，当采用①有困难时可选用②或③，此时应考虑偏心受力对梁、柱的不利影响以及梁柱变形对消能部件效能的削弱。

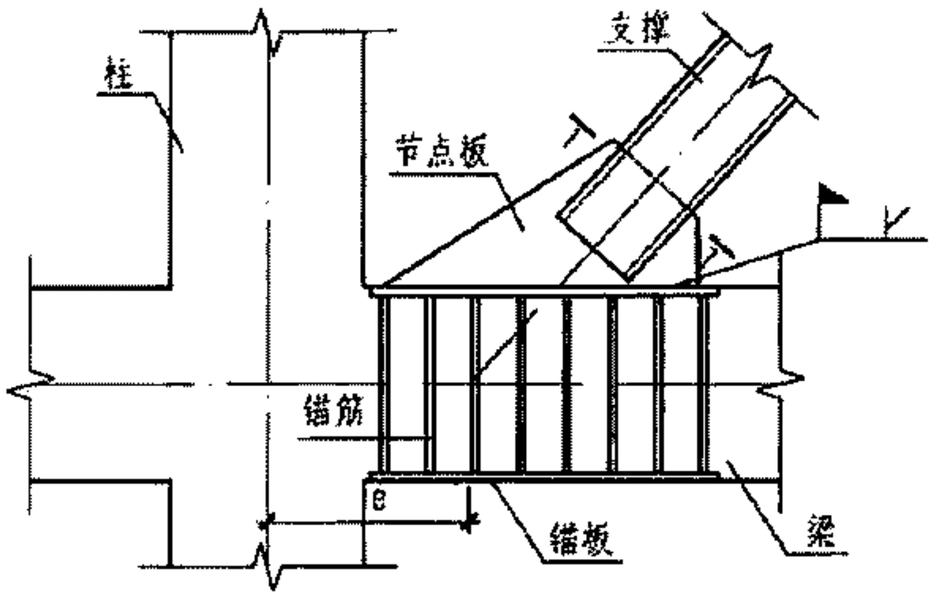
2. 节点板在支撑力作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

3. 其余说明见本图集39页注1~3。

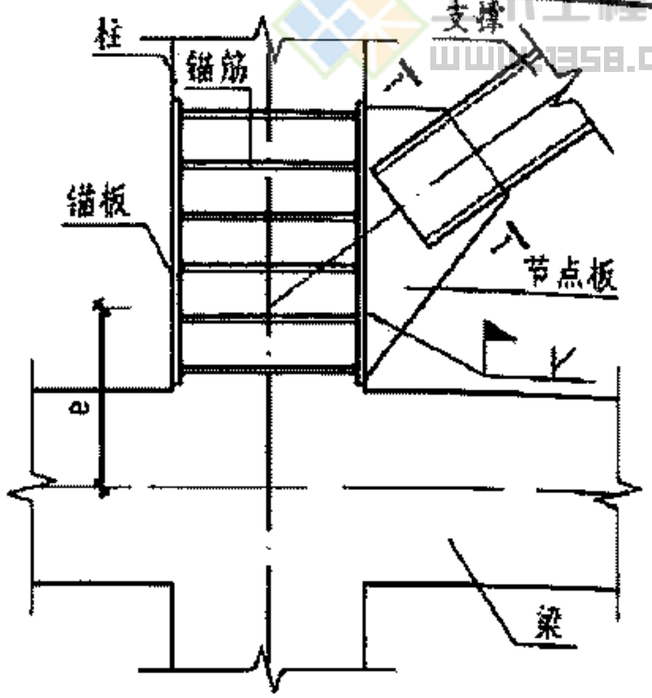
支撑与钢结构铰接连接1										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李 朋		设计	苏 磊			页	57



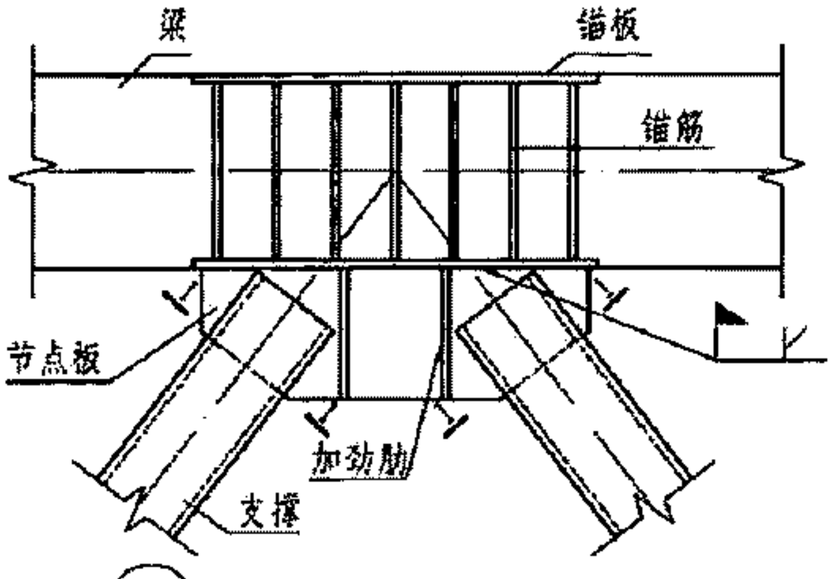
① 支撑与混凝土梁柱节点铰接连接



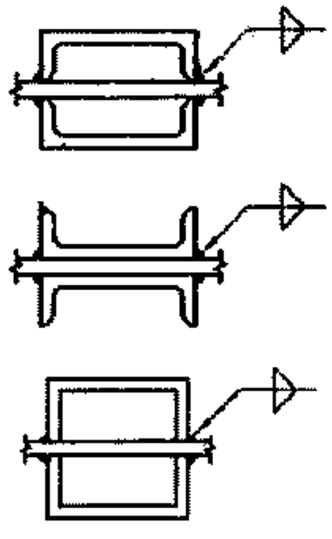
② 支撑与混凝土梁铰接连接



③ 支撑与混凝土柱铰接连接



④ 双斜撑与混凝土梁铰接连接



1-1

注：1. 本图中支撑与节点板通过角焊缝连接，支撑设计按铰接考虑，但由于此种连接方式在支撑平面内存在着弯曲刚度，在结构的水平变形条件下，连接部分会产生一定的附加弯矩，因此对连接部分进行细部设计时，应考虑此附加弯矩的不利影响。此种连接适用于支撑受力较小的情况，当支撑力较大时宜采用本图集第61页的刚性连接。

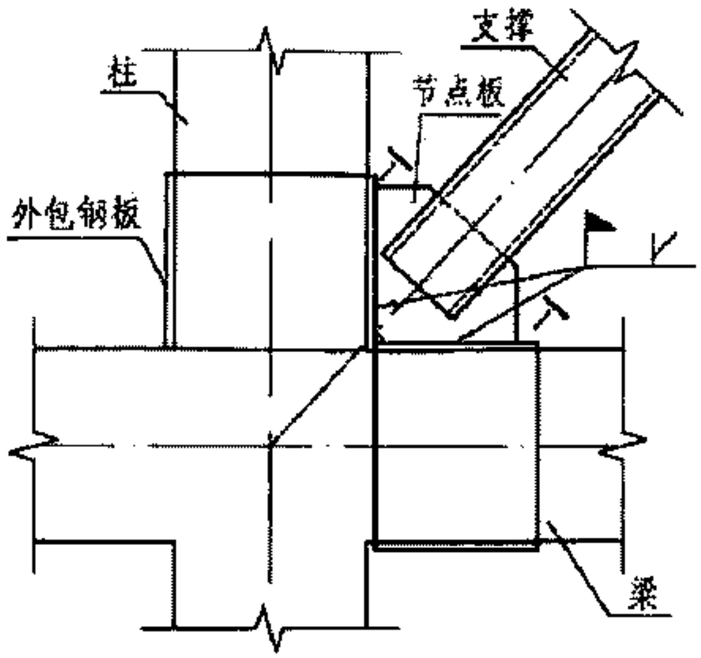
2. 本图中的铰接连接用于人字型支撑、门架型支撑及黏弹性消能器的斜杆型支撑。

3. 节点板在支撑传来的轴力及附加弯矩作用下，除应具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

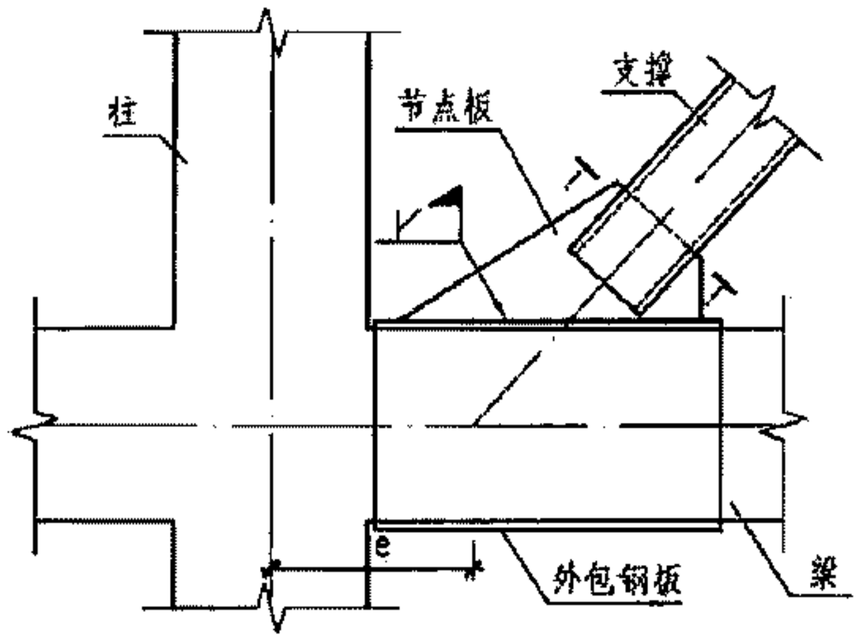
4. ①~③连接构造的优缺点及注意事项详见本图集第37页注3。

5. 其余说明详见本图集第55页注1。

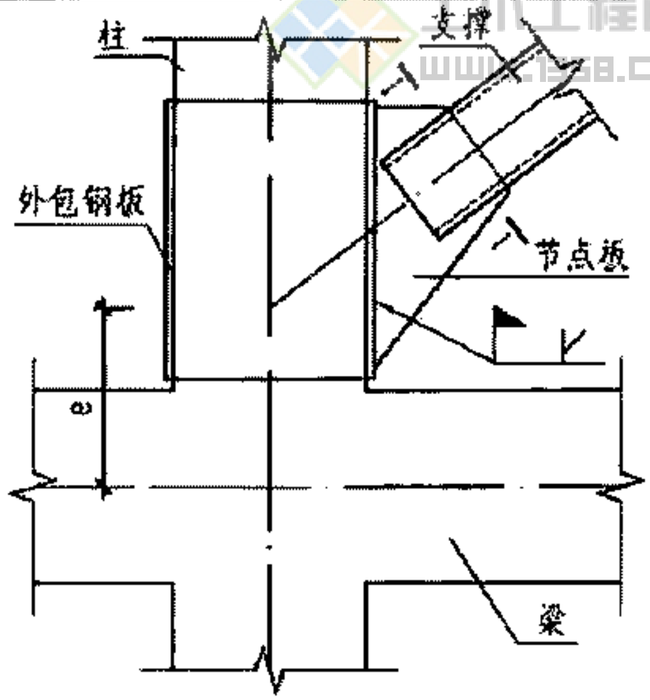
支撑与新建混凝土结构铰接连接2										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	李 鹏	李鹏	设计	吕 坚	吕坚		页	58



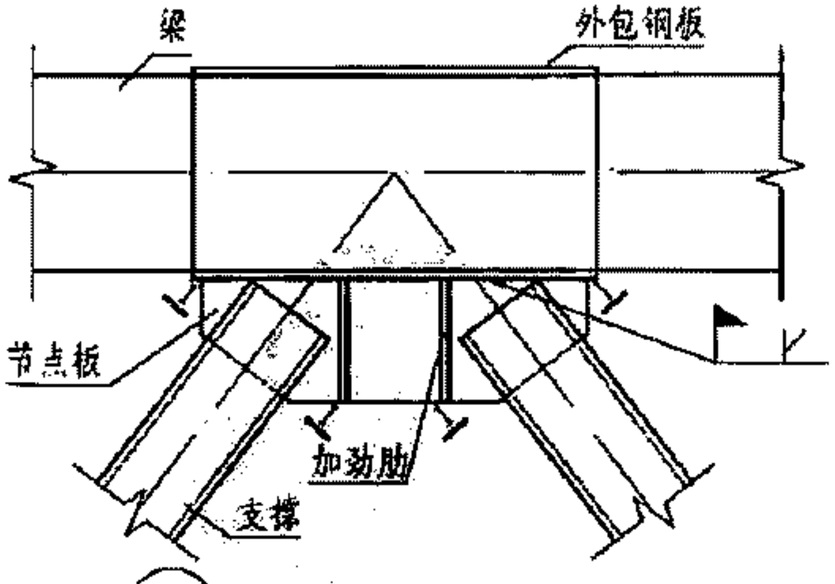
① 支撑与混凝土梁柱节点铰接连接



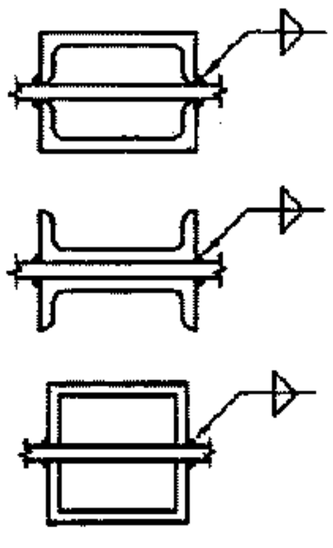
② 支撑与混凝土梁铰接连接



③ 支撑与混凝土柱铰接连接



④ 双斜撑与混凝土梁铰接连接



1-1

注:1. 本图中支撑与节点板通过角焊缝连接，支撑设计按铰接考虑，但由于此种连接方式在支撑平面内存在着弯曲刚度、在结构的水平变形条件下，连接部分会产生一定的附加弯矩，因此对连接部分进行细部设计时，应考虑此附加弯矩的不利影响。此种连接适用于支撑受力较小的情况，当支撑力较大时宜采用本图集第62页的刚性连接。

2. 本图中的铰接连接用于人字型支撑、门架型支撑及黏弹性消能器的斜杆型支撑。

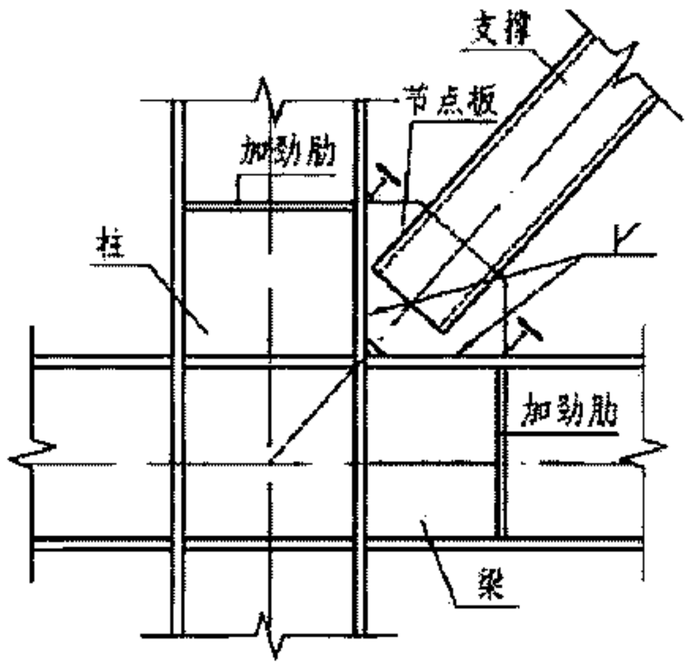
3. ①~③连接构造中，应优先选用连接构造①，当采用①有困难时可选用②或③，此时应考虑支撑偏心受力对梁、柱的不利影响以及梁柱变形对消能部件效能的削弱。

4. 对于连接构造②、③，可通过设置锚栓或对拉锚栓防止外包钢板滑梁或柱轴向产生滑移，具体做法详见本图集第64页。

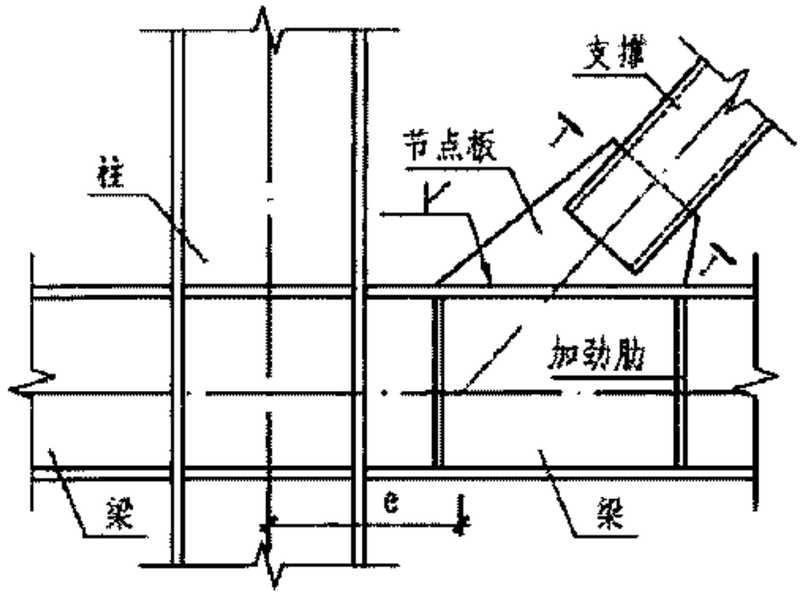
5. 节点板在支撑传来的轴力及附加弯矩作用下，除应具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

6. 其余说明详见本图集第38页注1~4。

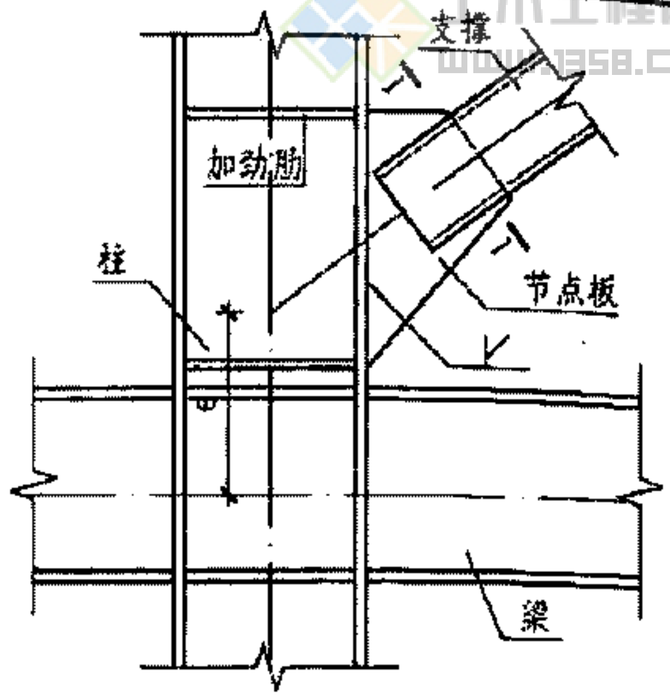
支撑与既有混凝土结构铰接连接2										图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李 明		设计	吕 堃			页	59



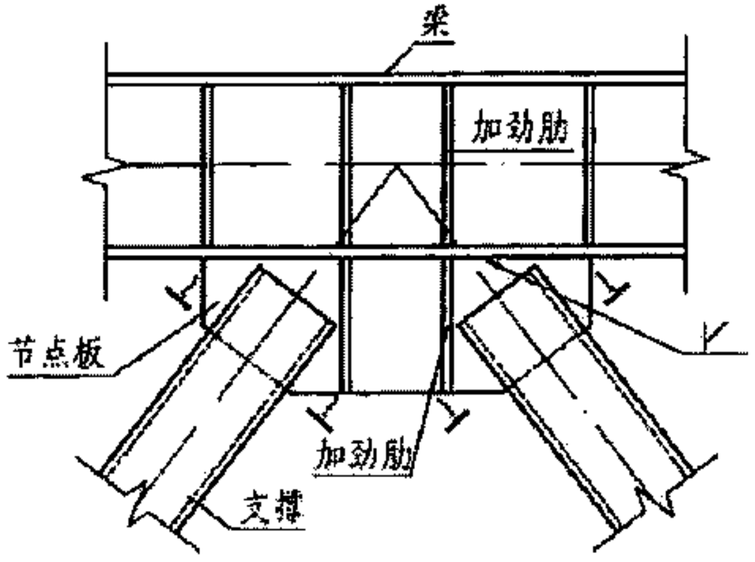
① 支撑与钢结构梁柱节点铰接连接



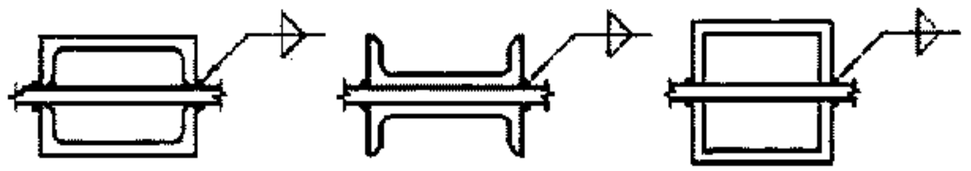
② 支撑与钢结构梁铰接连接



③ 支撑与钢结构柱铰接连接



④ 双斜撑与钢结构梁铰接连接



1-1

注：1. 本图中支撑与节点板通过角焊缝连接，支撑设计按铰接考虑，但由于此种连接方式在支撑平面内存在着弯曲刚度，在结构的水平变形条件下，连接部分会产生一定的附加弯矩，因此对连接部分进行细部设计时，应考虑此附加弯矩的不利影响。此种连接适用于支撑受力较小的情况，当支撑力较大时宜采用本图集第63页的刚性连接。

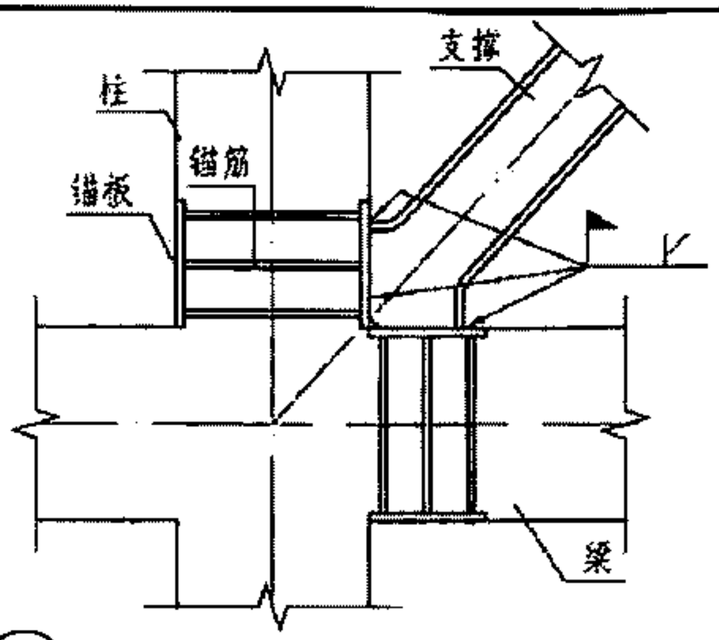
2. 本图中的铰接连接用于人字型支撑、门架型支撑及黏弹性消能器的斜杆型支撑。

3. ①～③连接构造中，应优先选用连接构造①，当采用①有困难时可选用②或③，此时应考虑偏心受力对梁、柱的不利影响以及梁柱变形对消能部件效能的削弱。

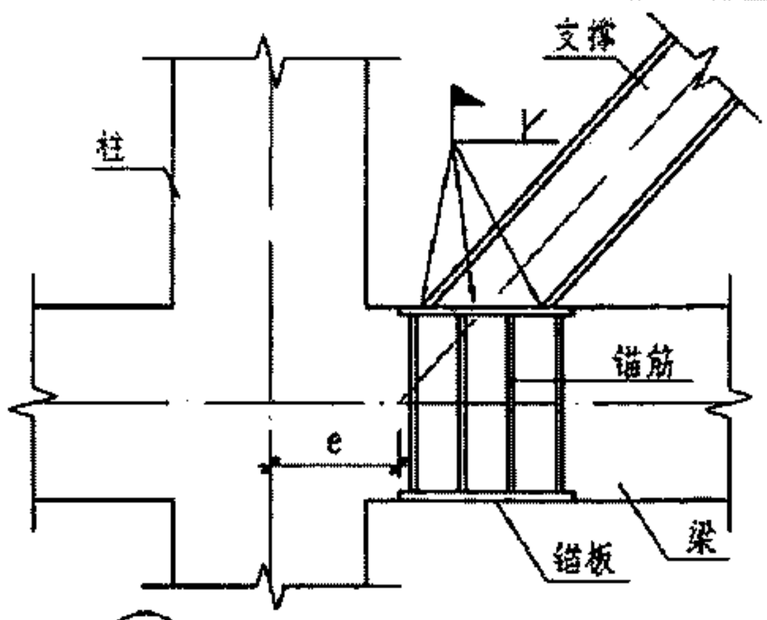
4. 节点板在支撑传来的轴力及附加弯矩作用下，除应具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋等措施。

5. 其余说明见本图集第39页注1~3。

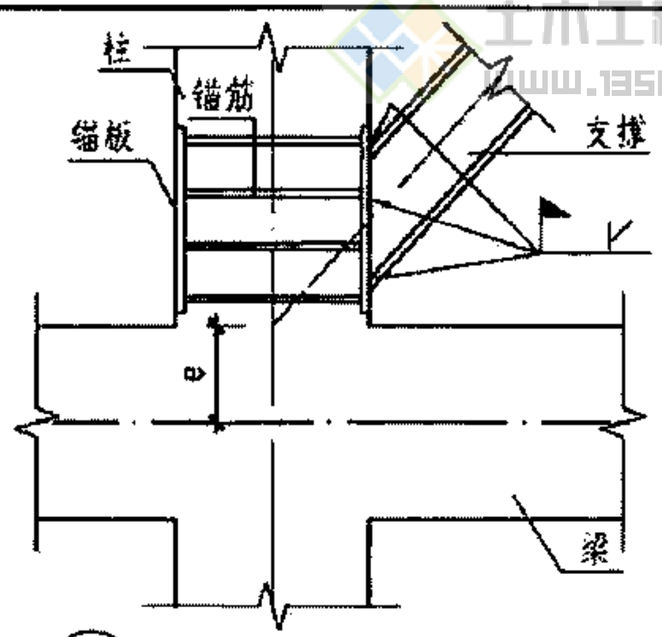
支撑与钢结构铰接连接2									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	李 朋	李朋	设计	苏 磊	苏磊	页	60



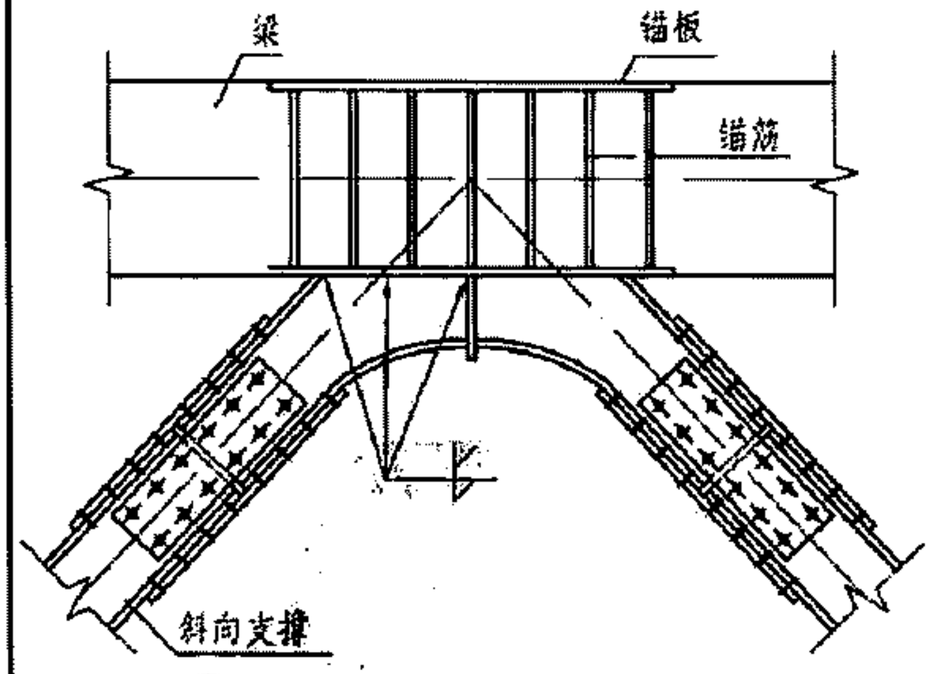
① 支撑与混凝土梁柱节点刚性连接



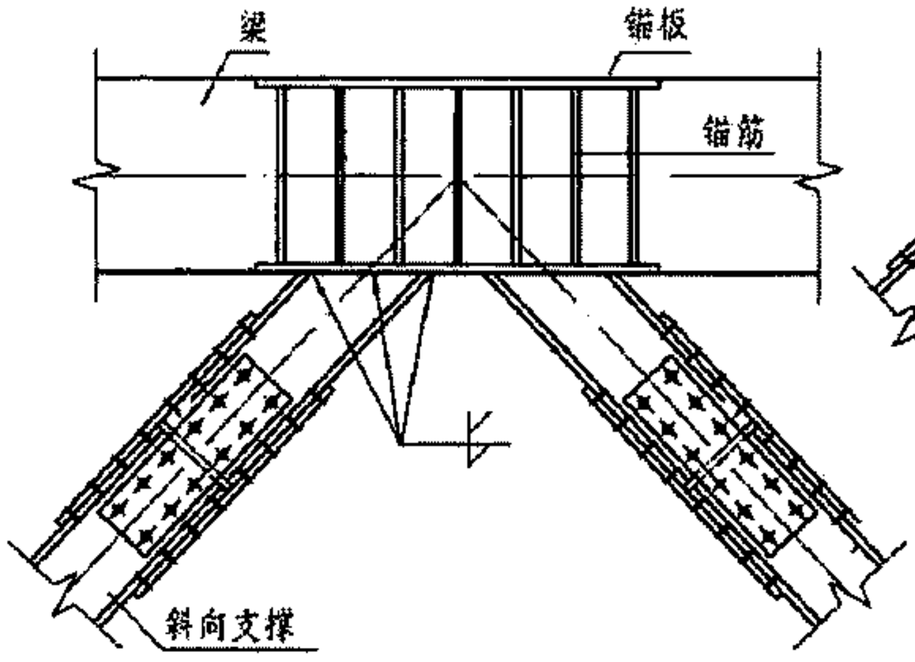
② 支撑与混凝土梁刚性连接



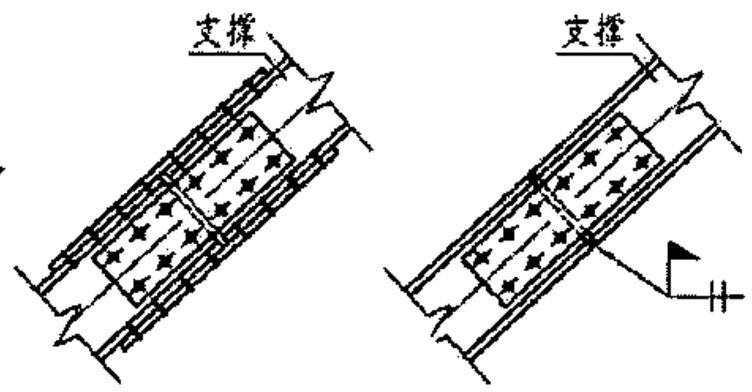
③ 支撑与混凝土柱刚性连接



④ 双斜撑与混凝土梁刚性连接1



⑤ 双斜撑与混凝土梁刚性连接2



(a) 螺栓连接　　(b) 栓焊连接

⑥ 支撑分段安装构造

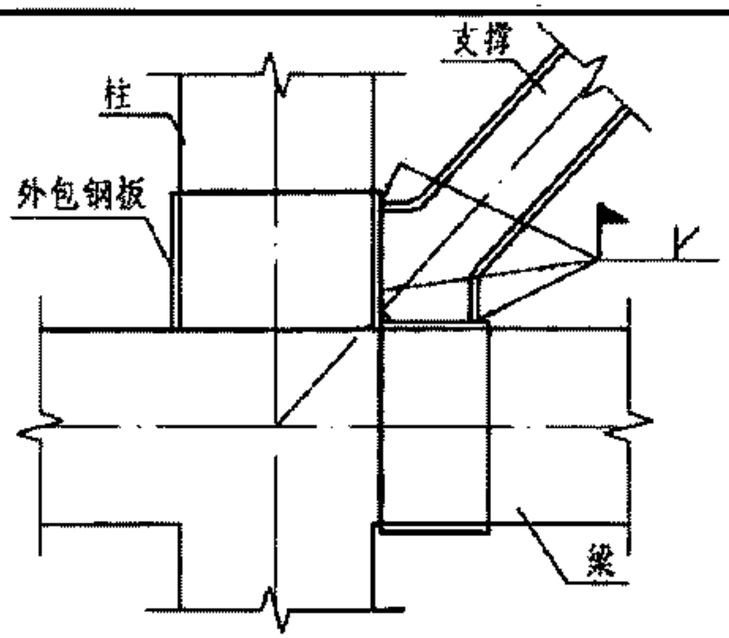
注：1. 本图中的刚性连接用于人字型支撑、门架型支撑及黏弹性消能器的斜杆型支撑，其常用的支撑截面形式为H型钢或工字钢。

2. 为方便施工，支撑可分段安装，支撑的分段安装可采用高强螺栓连接或栓焊连接，如图⑥。

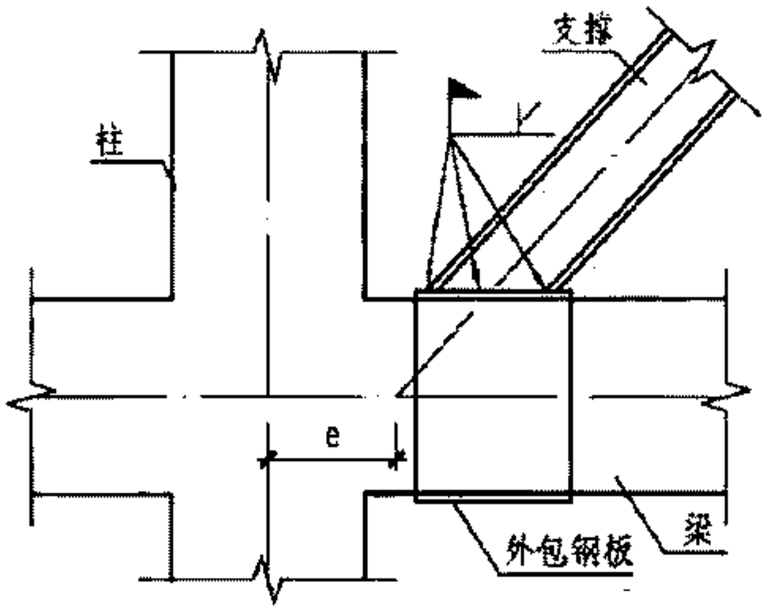
3. ①-③连接构造的优缺点及注意事项详见本图集第37页注3。

4. 其余说明详见本图集第55页注1。

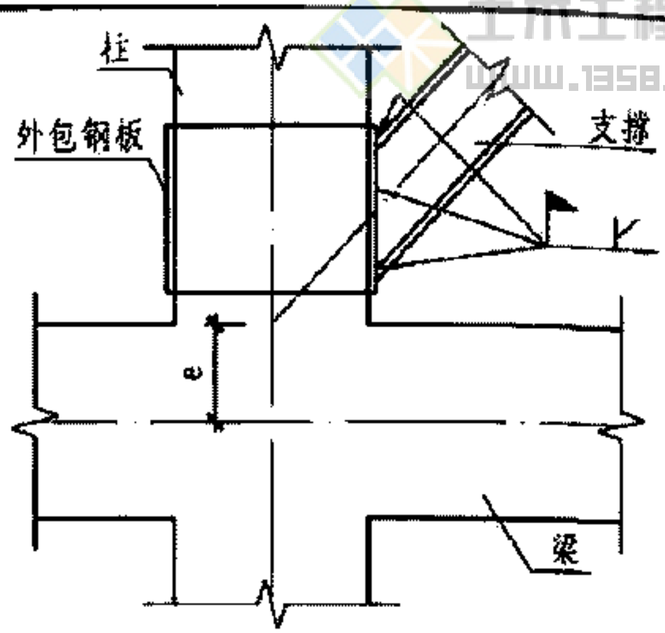
支撑与新建混凝土结构刚性连接									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李 朋		设计	吕 坚		页	61



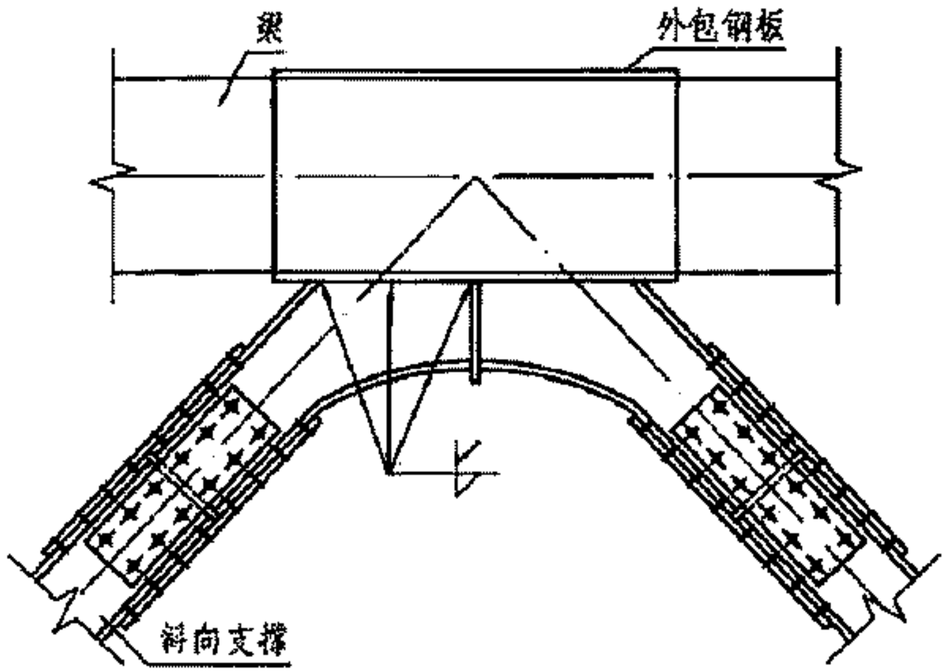
① 支撑与混凝土梁柱节点刚性连接



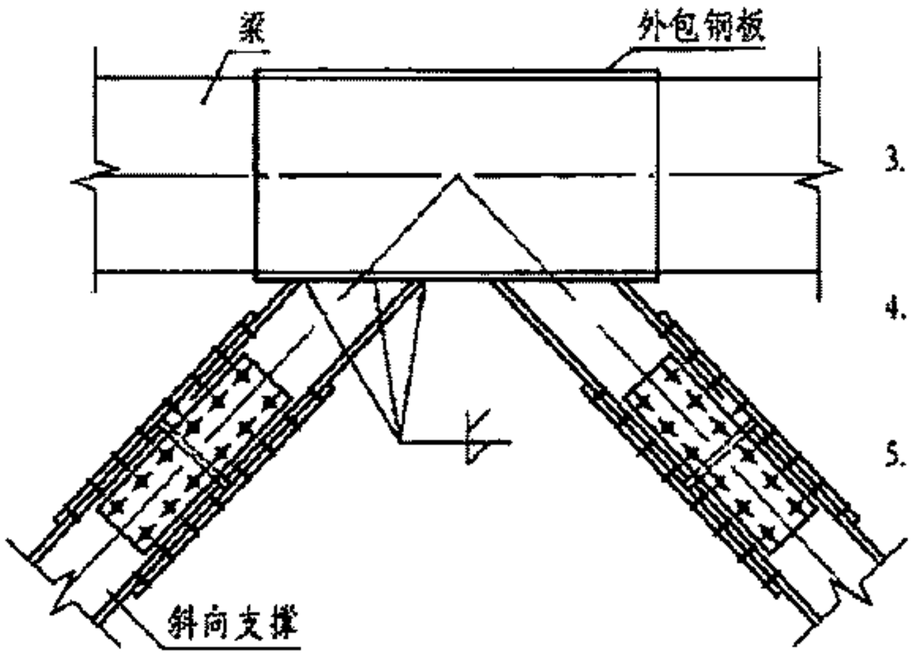
② 支撑与混凝土梁刚性连接



③ 支撑与混凝土柱刚性连接



④ 双斜撑与混凝土梁刚性连接1



⑤ 双斜撑与混凝土梁刚性连接2

注：1. 本图中的刚性连接用于人字型支撑、门架型支撑及黏弹性消能器的斜杆型支撑，其常用的支撑截面形式为H型钢或工字钢。

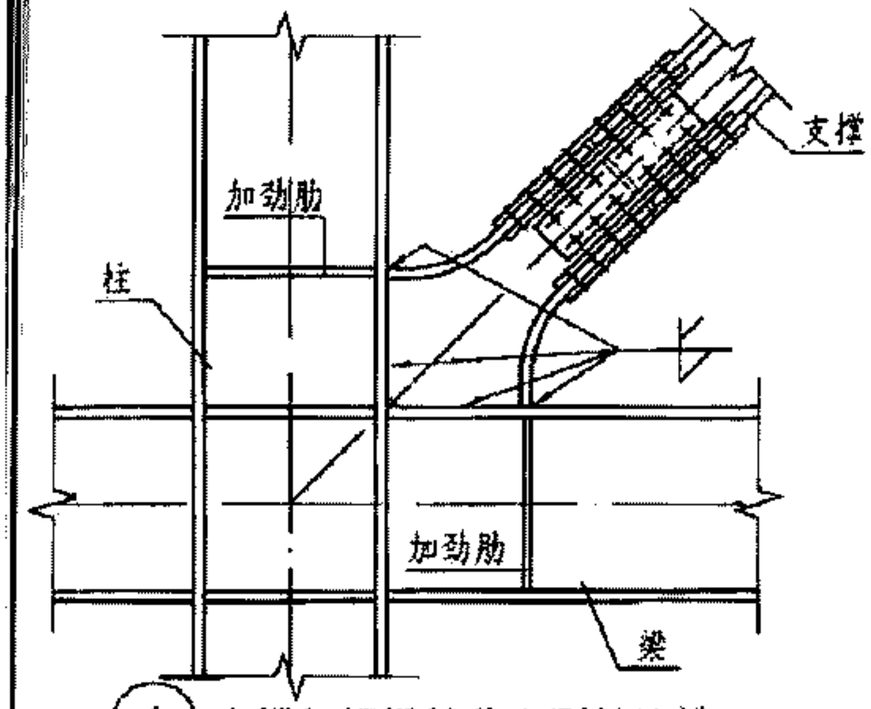
2. ①~③连接构造中，应优先选用连接构造①，当采用①有困难时可选用②或③，此时应考虑支撑传来的偏心力对梁、柱的不利影响以及梁柱变形对消能部件效能的削弱。

3. 对于连接构造②~③，可通过设置锚栓或对拉锚栓防止外包钢板沿梁或柱轴向产生滑移，具体做法详见本图集第64页。

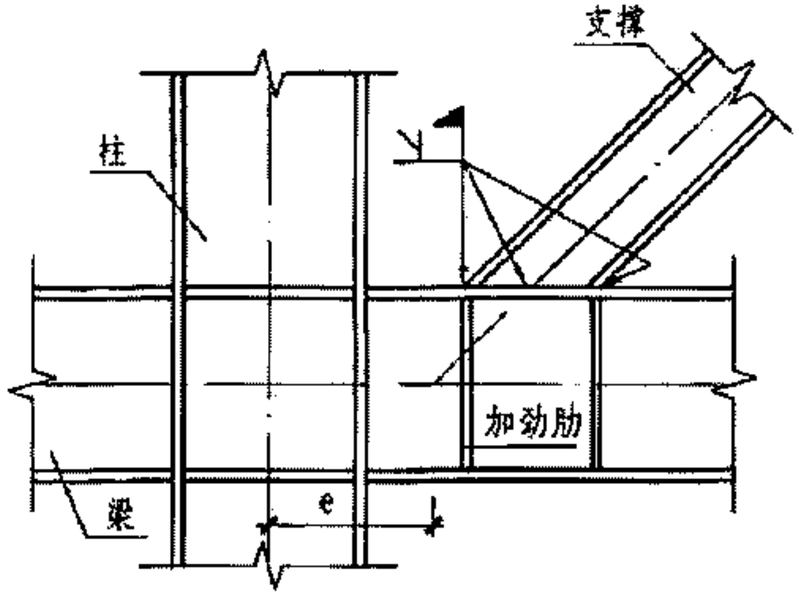
4. 为方便施工，支撑可分段安装，支撑的分段安装可采用高强螺栓连接或栓焊连接，如本图集第61页图⑥。

5. 其余说明详见本图集第38页注1~4。

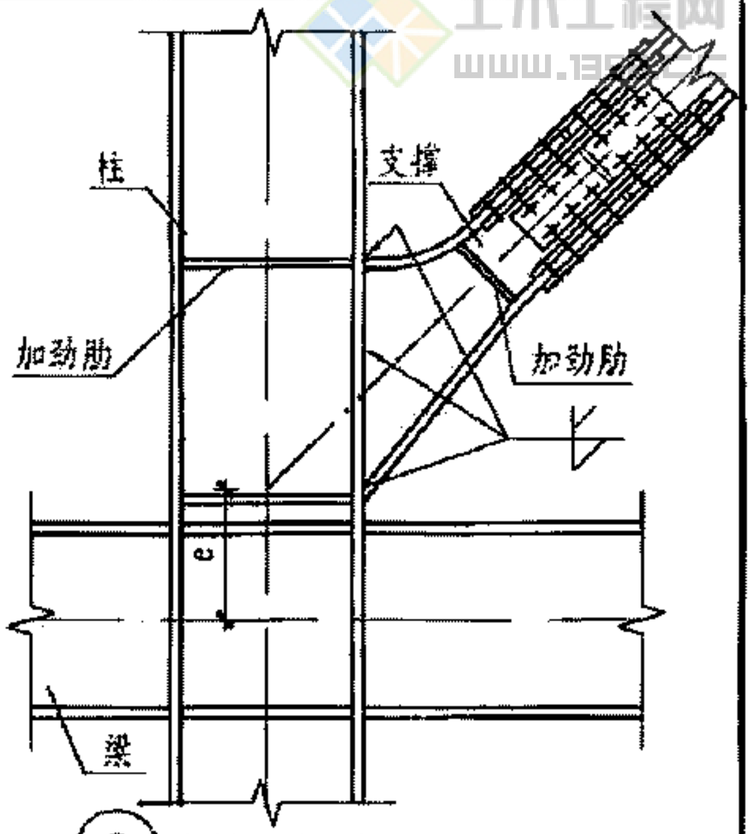
支撑与既有混凝土结构刚性连接									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李 朋		设计	吕 坚		页	62



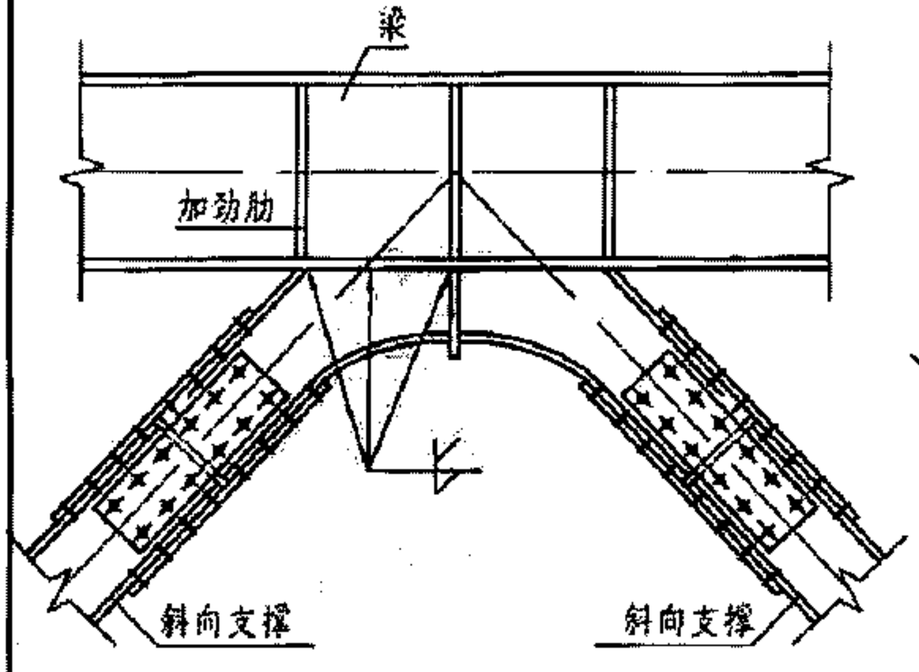
① 支撑与钢梁柱节点刚性连接



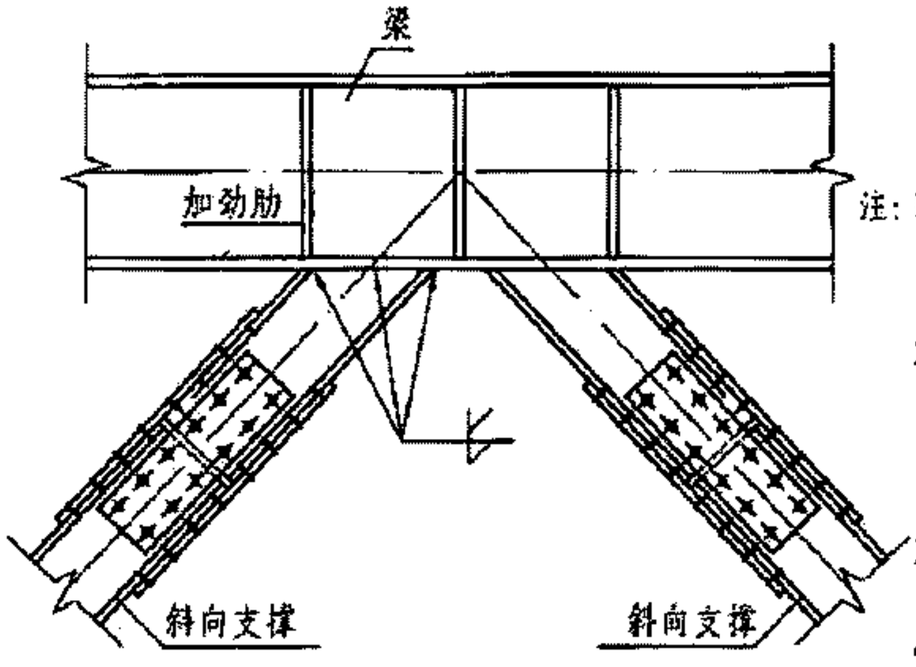
② 支撑与钢梁刚性连接



③ 支撑与钢柱刚性连接



④ 双斜撑与钢梁刚性连接1



⑤ 双斜撑与钢梁刚性连接2

注：1. 本图中的刚性连接用于人字型支撑、门架型支撑及黏弹性消能器的斜杆型支撑，其常用的支撑截面形式为H型钢或工字钢。

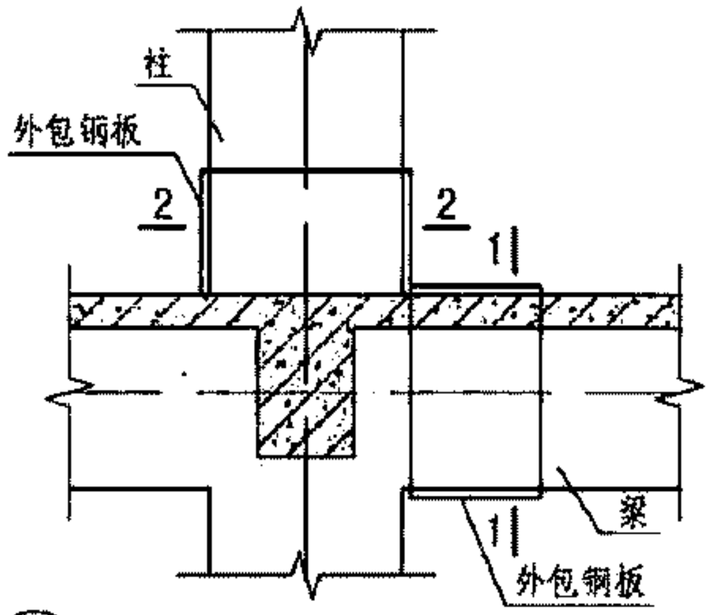
2. ①－③连接构造中，应优先选用连接构造①，当采用①有困难时可选用②或③，此时应考虑支撑传来偏心力对梁、柱的不利影响以及梁柱变形对消能部件效能的削弱。

3. 为方便施工，支撑可分段安装，其做法见本图集61页图⑥。

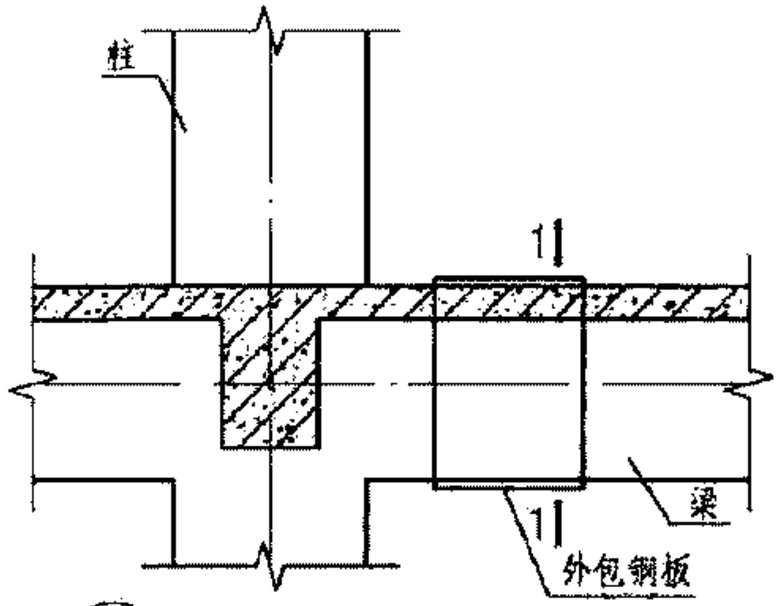
4. 支撑杆件与节点除采用高强螺栓连接外，还可采用焊接或栓焊连接。

5. 其余说明见本图集第39页注1~3。

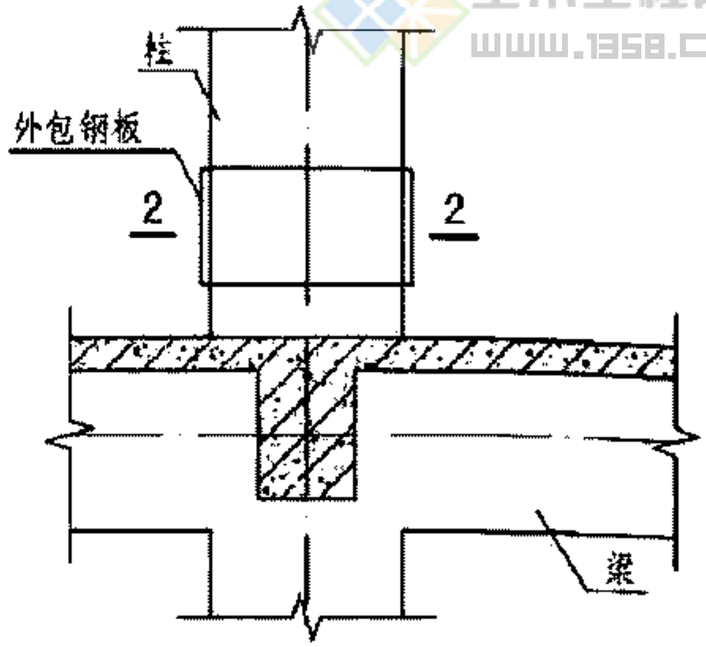
支撑与钢结构刚性连接									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	李 朋		设计	苏 磊		页	63



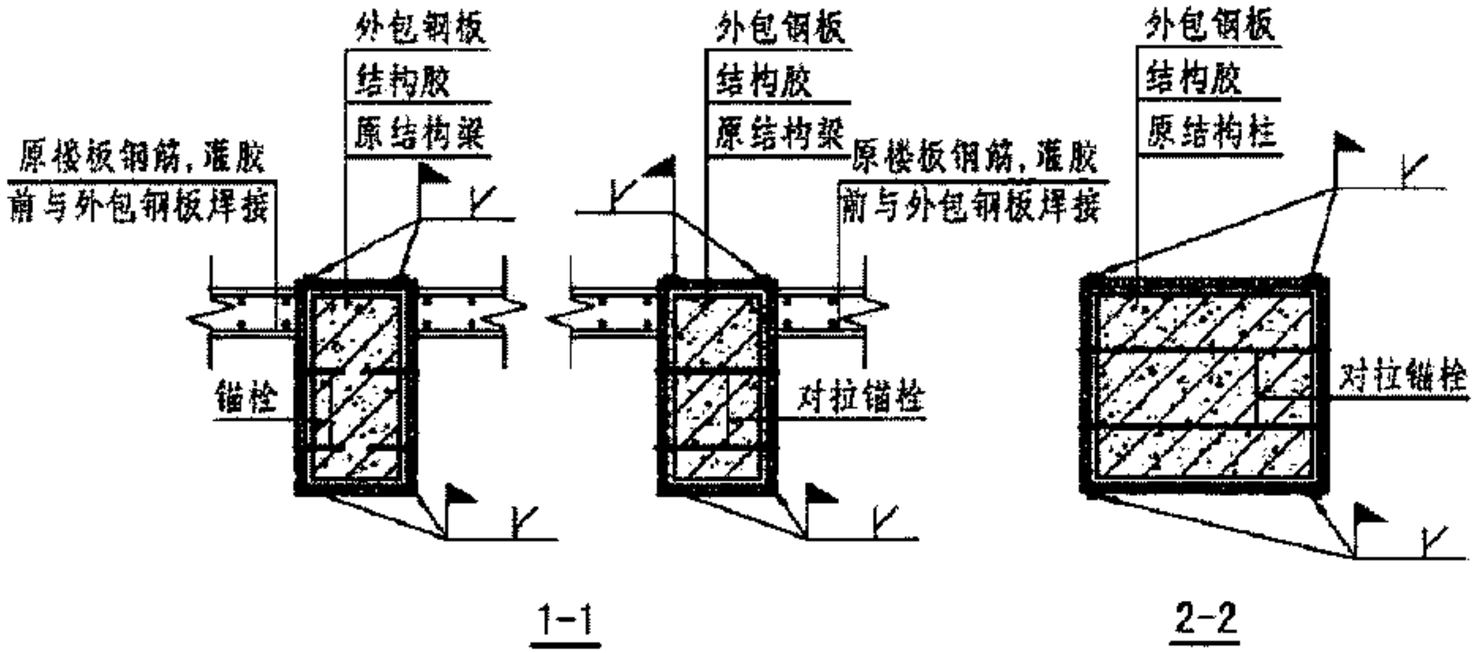
① 既有混凝土结构梁柱节点外包钢板做法



② 既有混凝土结构梁外包钢板做法



③ 既有混凝土结构柱外包钢板做法



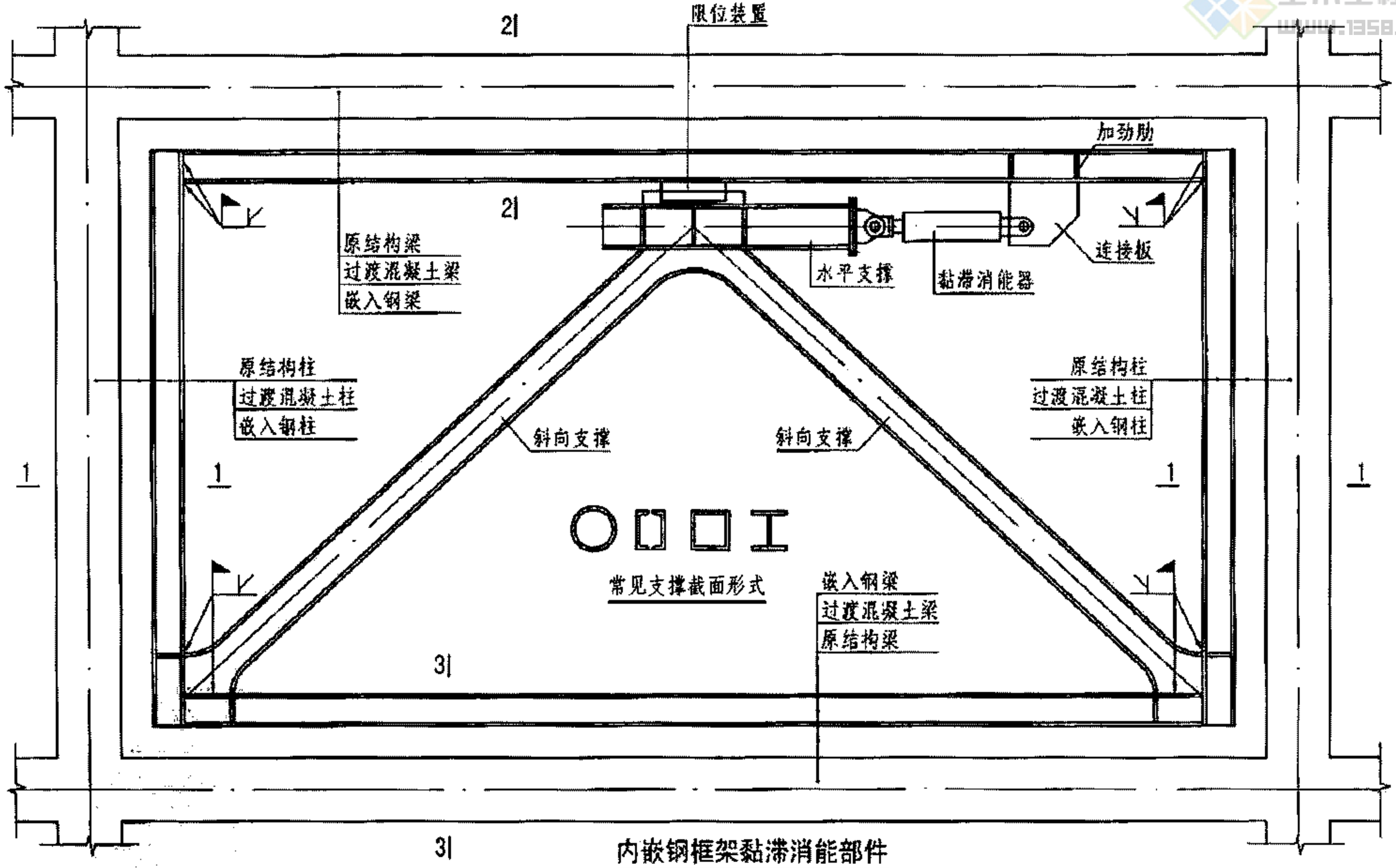
注：1. 对于梁上的局部外包钢板，由于梁的截面宽度一般较小，可采取加大钢板厚度或设置加劲肋的方法来防止与消能部件相连的外包钢板发生翘曲，锚栓和对拉锚栓主要起到防止外包钢板沿梁轴向滑移的作用。

2. 对于柱上的局部外包钢板，由于柱的截面宽度一般较大，采取加大钢板厚度或设置加劲肋难以防止与消能部件相连的外包钢板发生翘曲，此时可在节点板附近设置对拉锚栓，同时对拉锚栓还起到防止外包钢板沿柱轴向滑移的作用。

3. 由于外包钢板一般较厚，其与主体结构宜采用灌钢方法连接，为了防止钢板焊接对结构胶的影响，具体施工工序为：（1）将节点周围的外包钢板（包括与消能器或支撑连接的节点板及加劲肋）全部焊接完毕并固定；（2）将外包钢板与主体结构的边界用结构胶封堵并预留灌胶孔；（3）采用压力灌胶方法将外包钢板与主体结构牢固连接。

4. 外包钢和后锚固技术应满足现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367的相关要求。

既有混凝土结构外包钢节点大样									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 磊		设计	吕 坚		页	64



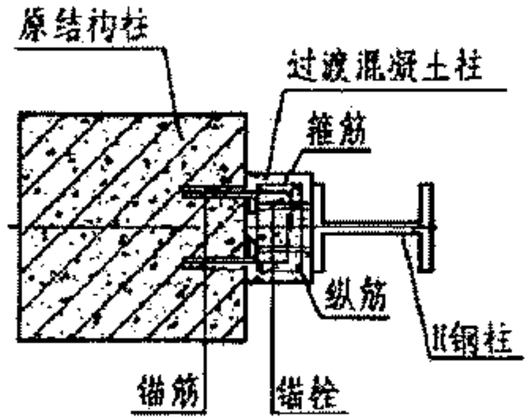
常见支撑截面形式

内嵌钢框架黏滞消能部件

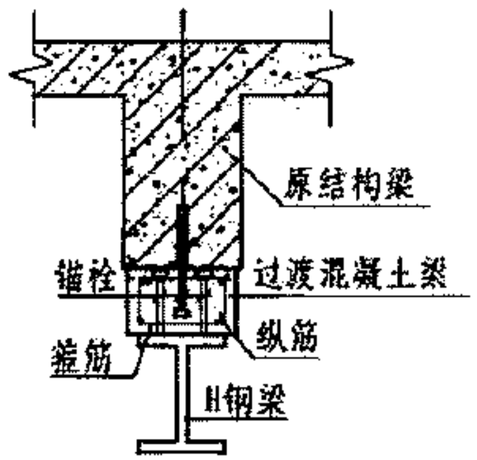
注：1. 本图主要表示内嵌钢框架与主体结构的连接。
2. 消能部件不限于本图中的人字型消能部件，也可采用钢结构中其他形式黏滞消能部件。
3. 消能部件与内嵌钢框架的连接做法可参照钢结构中相应消能部件做法。
4. 1－1剖面，2－2剖面，3-3剖面详见本图集第66页。

内嵌钢框架黏滞消能部件									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	苏 磊		设计	李海元		页	65

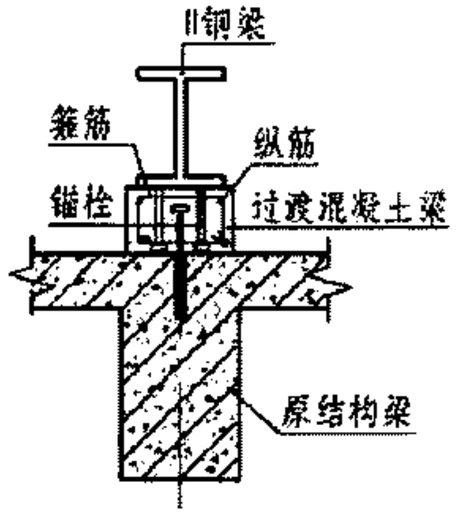
土木工程网
www.1358.cc



1-1



2-2



3-3

注：1. 采用消能减震(振)技术对既有混凝土结构进行加固改造时，消能部件与原主体结构的连接除了外包钢板连接外，还可采用内嵌钢框架连接方式。

2. 内嵌钢框架消能部件做法：消能部件不直接与被加固的主体结构相连，而是与嵌固于主体结构内的独立钢框架相连，钢框架与主体结构通过过渡混凝土结构相连。

3. 在内嵌钢框架消能部件中，应保证在消能器最大输出力或位移条件下，钢框架与主体结构能可靠连接和共同变形。

4. 为了保证内嵌钢框架与主体结构的可靠连接，应注意如下事项：

(1) 钢框架与消能支撑及消能器相连的节点是受力最大的位置，对这些位置过渡混凝土内的锚筋及锚栓要进行加密，保证在消能器最大输出力情况下，此处锚筋不被拔出。

(2) 内嵌钢框架本身要保证具有一定的刚度，截面尺寸不能过小。

(3) 锚筋和锚栓间距及直径由计算确定，并满足现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367相关要求。

(4) 除了验算内嵌钢框架的受力外，还需要验算原主体结构与内嵌钢框架相连节点及构件受力是否满足要求。

(5) 为防止消能过程中，相连主体结构节点受力过大，对结构产生过大的不利影响，内嵌钢框架消能部件中选用的消能器最大输出力不宜过大。

(6) 过渡混凝土梁、柱采用的混凝土强度等级宜比原主体结构混凝土强度等级提高一级以上。

内嵌钢框架黏滞消能部件连接构造									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉	吴耀辉	校对	苏 磊	苏磊	设计	李海元	李海元	页	66

速度相关型消能器的位移增效机构

在速度相关型消能器的结构减震（振）设计中，当结构侧向刚度较大时，在地震或风荷载（尤其是风荷载）作用下，结构层间位移可能较小，此时如采用普通消能部件，为了达到较好的减震（振）效果，则需要选择阻尼系数较大的消能器或增加消能器的数量，这将带来如下不利后果：（1）若选择阻尼系数较大的消能器，则消能器的外形尺寸较大，价格昂贵，同时传给主体结构和支撑的附加内力较大，给主体结构连接构造及支撑的设计带来较大困难；（2）若选择增加消能器的数量，则会较多增加减震（振）系统的费用，但同时由于消能器的位移很小，其效能又未被充分利用，造成资源浪费。

为了解决上述问题，可采用位移增效机构。位移增效机构是指通过设置某种机构，将结构层间位移在消能器处进行放大。通过这种位移放大处理，采用较小阻尼系数的消能器就能获得相同或更好的减震（振）效果。

位移增效机构中，在阻尼系数不变的情况下，线性速度相关型消能器的耗能能力与位移放大倍数的平方成正比。例如，当增效机构的位移放大倍数为3时，消能器的耗能能力将是原来的9倍。反之，在保持耗能能力不变的条件下，当增效机构的位移放大倍数为3时，消能器的阻尼系数可减小到原来的1/9，这样可以大大减小消能器的尺寸、最大输出力以及传给主体结构的附加力。

普通消能部件和位移增效机构之间的选择，实质是大阻尼系数小位移耗能和小阻尼系数大位移耗能之间的选择。小阻尼系数大位移的耗能效率更高，对安装精度要求更低，对主体结构的相连节点和构件影响更小。现在位移增效机构由于构造复杂在国内外应用还较少，随着增效机构产品的开发研制，将会逐渐得到推广。

常见的位移增效机构主要有：杠杆式支撑、上肘杆支撑、下肘杆支撑、剪刀式支撑，如本图集第68页所示。

下表给出了各种支撑形式的位移放大倍数。

各种支撑形式的位移放大倍数

支撑形式	位移放大倍数
对角支撑	$\cos\theta$
人字支撑	1
杠杆式支撑	b/a
上肘杆支撑	γ_1
下肘杆支撑	γ_2
剪刀式支撑	γ_3

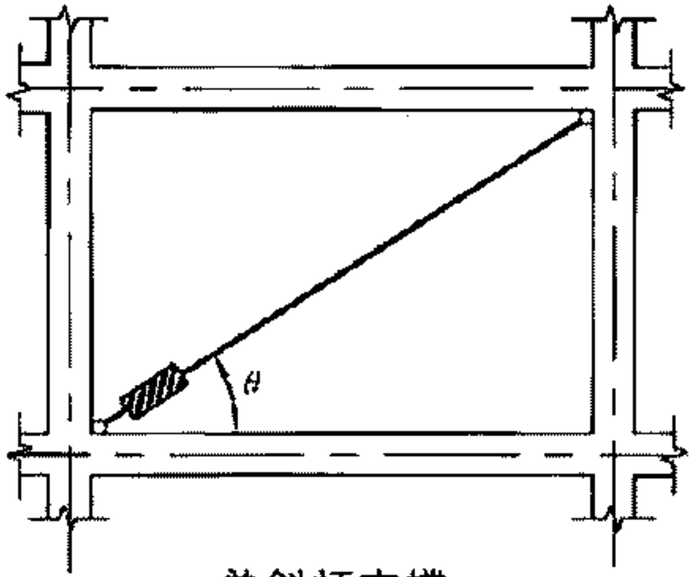
注：1. 单斜杆支撑中消能器两端的相对位移为层间位移的$\cos\theta$倍，小于1；
2. 设计中应确定合适的θ_1及θ_2，以保证位移增效机构有较好的位移增效效果。

上表中：$\gamma_1=\dfrac{\sin\theta_2}{\cos(\theta_1+\theta_2)}+\sin\theta_1$

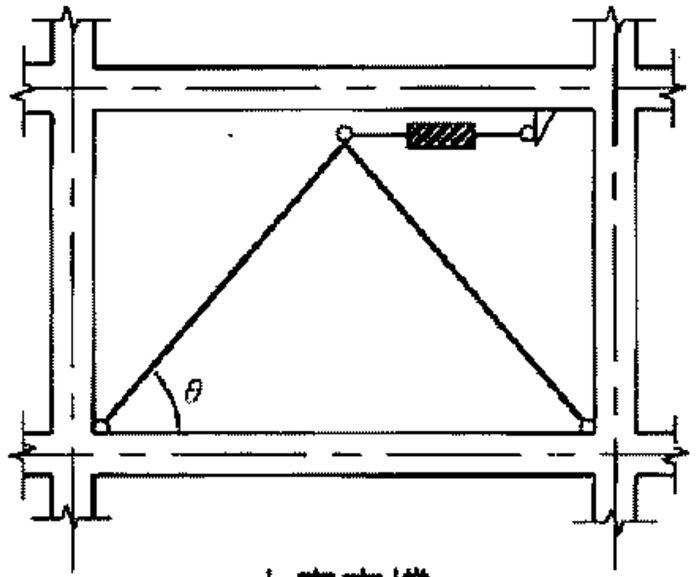
$\gamma_1=\dfrac{\sin\theta_2}{\cos(\theta_1+\theta_2)}$

$\gamma_3=\dfrac{\cos\theta_1}{\tan\theta_2}$

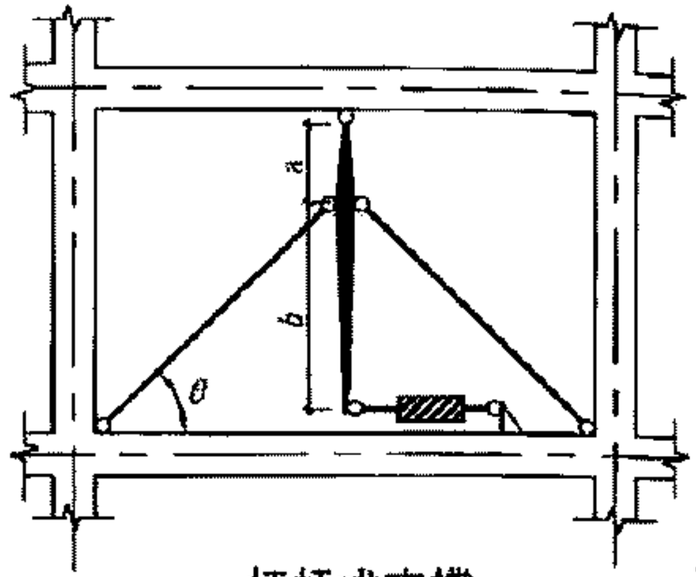
γ_1、γ_2、γ_3的值应大于1。



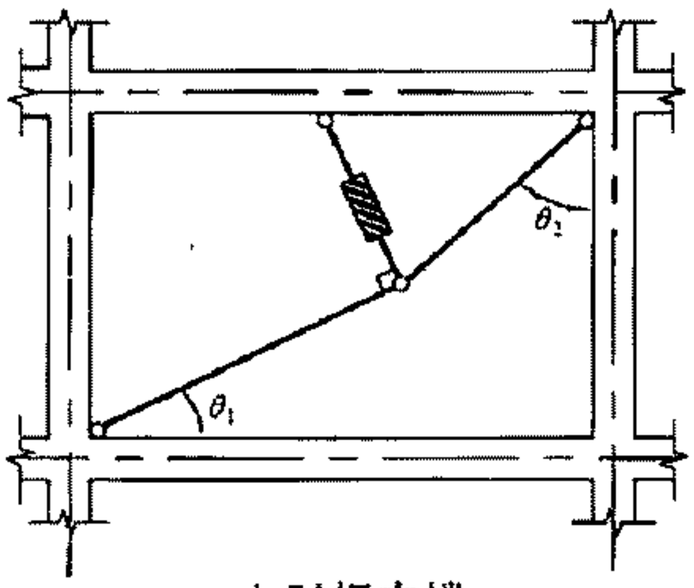
单斜杆支撑



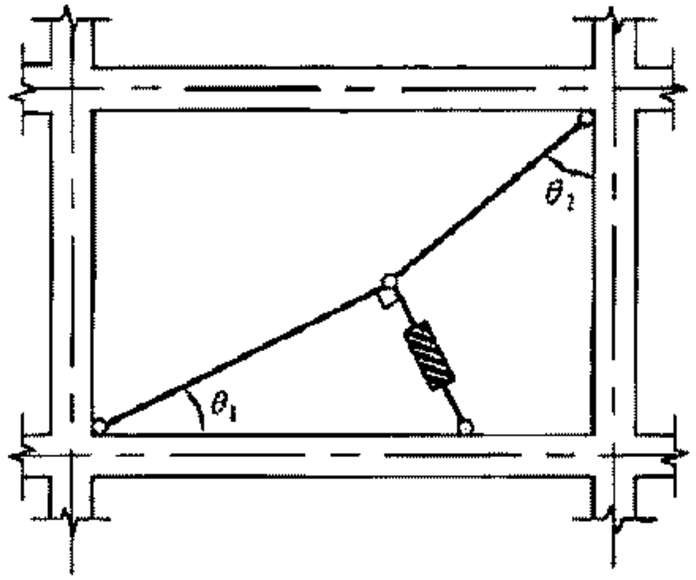
人字支撑



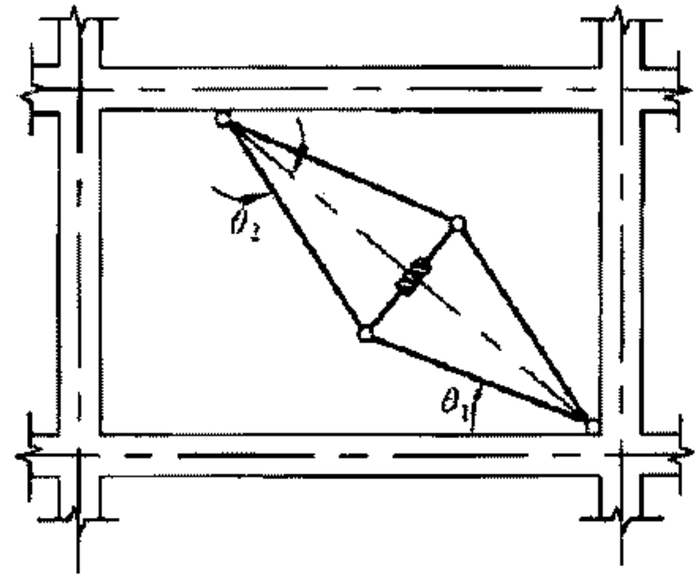
杠杆式支撑



上肘杆支撑



下肘杆支撑



剪刀式支撑

注：图中 表示速度相关型能器。

速度相关型消能器的位移增效机构									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	吕 坚		设计	李 朋		页	68

算例1 单斜杆型黏滞消能部件

一采用黏滞消能器进行消能减震的某新建钢筋混凝土框架结构，经优化后其中某榀框架的单斜杆型消能部件参数如下：

1 计算参数

斜杆支撑加消能器长度l=6.58m、消能器阻尼系数5600kN·s/m，消能器工作时的最大输出阻尼力$F_{d,m}$=600kN，行程±50mm，斜杆支撑采用Q235B钢材，强度设计值f=215N/mm²、弹性模量$E=2.1\times10^5$ N/mm²，结构基本自振周期T_1=1.5s、构件具体尺寸如图1所示。

在消能部件中，为了保证消能器在最大输出力作用下还能正常工作，消能器的支撑、连接件及预埋件应具有一定的安全系数，在本算例中此安全系数取1.2。在实际工程中设计人员应根据建筑抗震设防类别、设防烈度等确定适合的安全系数。

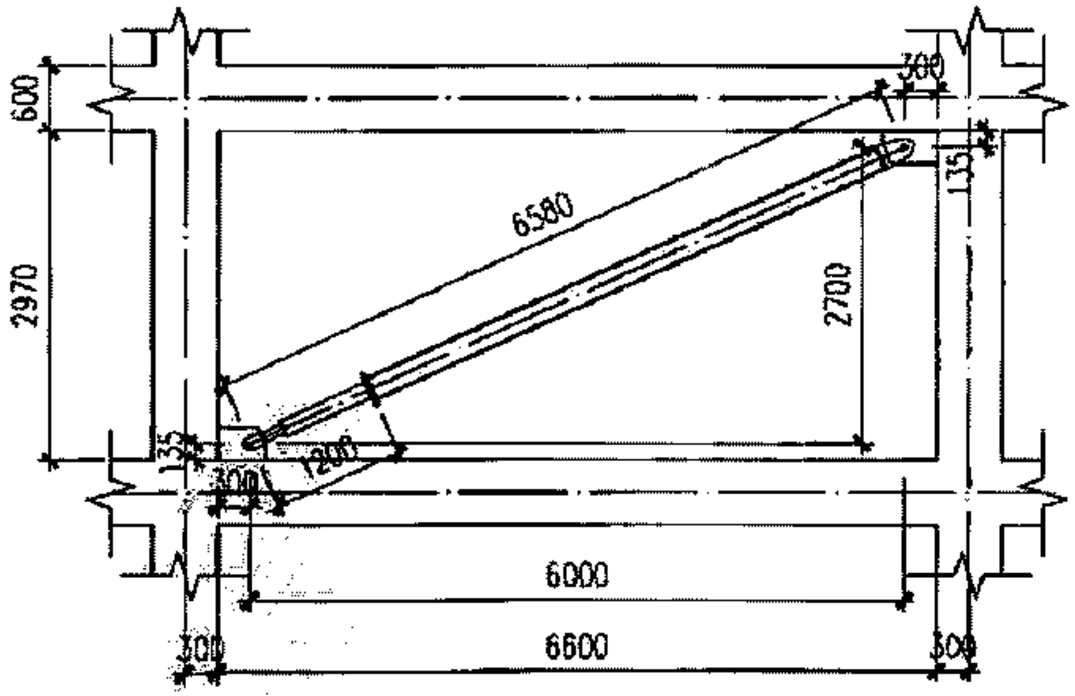


图1 单斜杆型支撑

2 计算内容

（1）斜杆支撑截面选用（H型钢或电焊钢管）；（2）法兰连接螺栓；（3）销栓直径；（4）耳板尺寸；（5）节点板尺寸；（6）预埋件。

3 斜杆支撑截面选用计算

3.1 支撑强度验算及截面选用

斜杆支撑所需承载力应满足下式：

$$N\geqslant 1.2F_{d,m} \tag{1}$$

式中：N为斜杆支撑的承载力；$F_{d,m}$为消能器最大输出阻尼力。

根据承载力要求，斜杆支撑所需面积应为：

$$A\geqslant N/f \tag{2}$$

由式（1）、式（2），算例中斜杆支撑所需面积为：

$$A\geqslant 1.2\times600\times1000/215=33.5\text{cm}^2$$

根据计算面积选择焊接H型钢H250×250×6×10，截面面积A=63.80cm²>33.5cm²，强轴、弱轴的截面回转半径分别为i_x=11.06cm、i_y=6.38cm；或根据计算面积选择电焊钢管Φ219×10，截面面积A=65.66cm²>33.5cm²，截面回转半径为i=7.40cm。

3.2 支撑杆件稳定性验算

斜杆支撑的整体稳定性应满足下式要求：

$$\frac{1.2F_{d,m}}{\varphi A}\leqslant f \tag{3}$$

式中：φ为轴心受压构件的稳定系数（取截面两主轴稳定系数中的较小者），应根据构件的长细比λ、钢材屈服强度和截面分类确定。支撑的容许长细比取为150。

构件的长细比λ应按下式确定：

$$\lambda_x=l_{ox}/i_x \tag{4}$$

$$\lambda_y=l_{oy}/i_y \tag{5}$$

式中：l_{ox}和l_{oy}分别为构件对两主轴的计算长度；i_x和i_y分别为构件截面对两主轴的回转半径。

斜杆支撑在平面内和平面外的杆端均按铰接计算，计算长度系数μ=1.0，焊接H型钢和电焊钢管截面分类均取为b类。本算例中支撑截面若选用焊接H型钢，其长细比λ_x=1.0×6.58×100/11.06=59.50，λ_y=1.0×6.58×100/6.38=103.10，两主轴稳定系数中的较小者为φ=0.535，整体稳定性验算为：

$$\frac{1.2\times600\times1000}{0.535\times65.66\times100}=204.96<215.00\text{N/mm}^2$$

满足要求。

本算例中支撑截面若选用电焊钢管，其长细比λ=1.0×6.58×100/7.4=88.92，稳定系数为φ=0.629，整体稳定性验算为：

$$\frac{1.2\times600\times1000}{0.629\times65.66\times100}=174.33<215.00\text{N/mm}^2$$

满足要求。

焊接H型钢斜杆支撑的局部稳定性应满足下式要求：

$$\text{翼缘：}\quad \frac{b}{t}\leqslant(10+0.1\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{6}$$

$$\text{腹板：}\quad \frac{h_0}{t_w}\leqslant(25+0.5\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{7}$$

式中：b和t分别为翼缘板外伸宽度和厚度；h_0和t_w分别为腹板计算高度和厚度；λ为构件两方向的长细比较大值，当λ<30，取λ=30，当λ>100，取λ=100；f_y为钢材屈服强度。

电焊钢管斜杆支撑的局部稳定性应满足按下式要求：

$$\frac{D}{t}\leqslant100(235/f_y) \tag{8}$$

将本算例中所选用的焊接H型钢截面尺寸代入式（6）、式（7），局部稳定性验算为：

$$\text{翼缘：}\quad \frac{(250-6)/2}{10}=12.20<(10+0.1\times100.00)\sqrt{\frac{235}{235}}=20.00$$

$$\text{腹板：}\quad \frac{250-2\times10}{6}=38.33<(25+0.5\times100.00)\sqrt{\frac{235}{235}}=75.00$$

满足要求。

将本算例中所选用的电焊钢管截面尺寸代入公式（8），局部稳定性验算为：

$$\frac{219}{10}=21.90<100\text{x}235/235=100.00$$

满足要求。

3.3 支撑刚度验算

由《建筑抗震设计规范》 GB 50011-2001（2008年版）第12.3.6条，斜杆支撑在消能器往复变形方向的刚度K_b宜符合下式要求：

$$K_b\geqslant(6\pi/T_1)C_v \tag{9}$$

式中：K_b为斜杆支撑的轴向刚度；C_v为阻尼系数；T_1为结构基本自振周期。

$$K_b=EA/l_b \tag{10}$$

将焊接H型钢截面面积代入式（9）、式（10）得：

K_b=2.1×10^5×63.80×10^2/5380=249033.45kN/m

>（6π/T_1）C_v=（6π/1.5）×5600=70336.00kN/m

故该焊接H型钢刚度满足要求。

将电焊钢管截面面积代入式（9）、式（10）得：

K_b=2.1×10^5×65.66×10^2/5380=256293.68kN/m

>（6π/T_1）C_v=（6π/1.5）×5600=70336.00kN/m

故该电焊钢管刚度满足要求。

4 法兰连接螺栓确定

螺栓采用6个8.8级承压型高强螺栓，其抗拉强度设计值为400N/mm^2，法兰拉力设计值取1.2$F_{d,max}$，单个螺栓抗拉承载力设计值为：

$$N_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b \tag{11}$$

式中：N_t^b为单个螺栓抗拉承载力设计值；d_e为螺栓在螺纹处的有效直径；f_t^b为螺栓抗拉强度设计值。

代入数据求得单个螺栓所需有效直径为：

$$d_e = \sqrt{\frac{4 \times 1.2 \times 600 \times 1000}{400 \times 6\pi}} = 19.55\text{mm}$$

取螺栓直径为22mm，其有效直径为19.65mm，满足要求。

5 销栓直径确定

支撑与节点板采用销栓连接，销栓的抗剪强度设计值f_v^b=140 N/mm²；承压强度设计值f_c^b=305N/mm²。

单个销栓受剪承载力设计值为：

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \tag{12}$$

式中：N_v^b为单个销栓受剪承载力设计值；n_v为受剪面数目；d为销栓杆直径。

N_v^b=1.2×600=720kN；n_v=2。代入数据求得所需销栓直径为

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 720 \times 1000}{2 \times 140\pi}} = 57.23\text{mm}$$

选取销栓规格为M60。

销栓承压承载力设计值为：

$$N_c^b = d\Sigma t \cdot f_c^b \tag{13}$$

式中：N_c^b为单个销栓承压承载力设计值；Σt为在不同受力方向中一个受力方向承压构件总厚度的较小值；f_c^b为销栓承压强度设计值。

代入数据求得所需承压构件总厚度为：

$$\Sigma t = \frac{1.2 \times 600 \times 1000}{60 \times 305} = 39.34\text{mm}$$

取耳板厚42mm，节点板厚22mm。

6 耳板及节点板平面尺寸确定

图2中1-1截面抗拉强度验算有：

$$\frac{N_t}{A_n} \leqslant f \tag{14}$$

式中：N_t为轴向拉力设计值；A_n为截面净面积；f为钢材强度设计值。N_t=1.2×600=720kN，$A_n=(2R-d)t=(2R-60)\times 42$，$f$=205N/mm²，代入式（14）得：

$$\frac{720 \times 1000}{(2R-60) \times 42} \leqslant 205$$

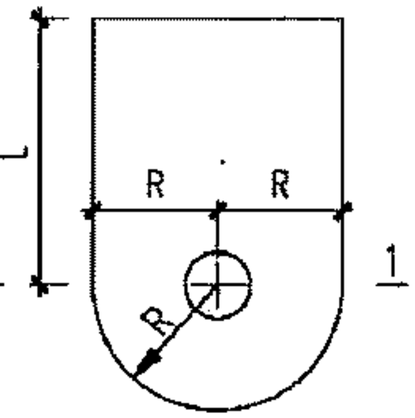


图2 耳板平面示意图

求得：$R \geqslant 71.81$mm。

根据销栓构造要求$R \geqslant 2d$=2×60=120.00mm，取R=130.00mm。

根据销栓构造要求$E \geqslant 2d$=2×60=120.00mm，取E=170.00mm。

根据安装要求，取$L=E+10$=180.00mm。

L/t=180.00/42=4.28≤$10\sqrt{235/f_y}$

由《钢结构设计规范》GB 50017-2003第7.5.3条第2款，耳环板的稳定承载力可取$0.8b_e tf$=0.8×260×42×205=1790.88kN>720.00 kN，故该尺寸耳环板满足要求。

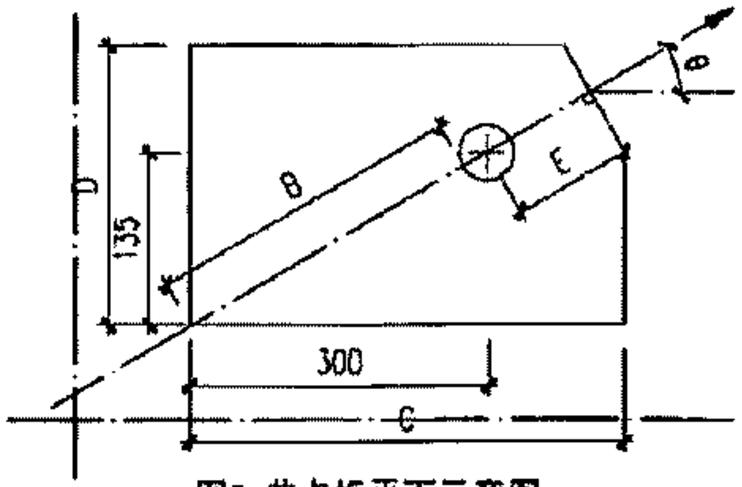


图3 节点板平面示意图

算例1 单斜杆型黏滞消能部件									图集号	09SG610-2
审核	吴耀辉		校对	吕 坚		设计	李 朋		页	71

$B=\sqrt{135^2+300^2}-60/2=298.98$mm。

$B/t=298.98/22=13.59\leqslant 15\sqrt{235/f_y}$

由《钢结构设计规范》 GB 50017-2003第7.5.3条第1款，可不计算该节点板的稳定。以上各式中节点板几何参数意义见图3。

7 预埋件设计

取节点板尺寸$C=500$mm，$D=300$mm。

支撑拉力设计值$F=1.2\times600=720.00$kN，把节点板看作刚体，将支撑拉力分解到柱上预埋件及梁上预埋件的中心，两预埋件的合力与支撑拉力F相等，且方向相同，如图4所示。设预埋件受力的大小分别为F_1和F_2，根据力的平衡可求得：$F_1=308.57$kN，$F_2=411.43$kN。

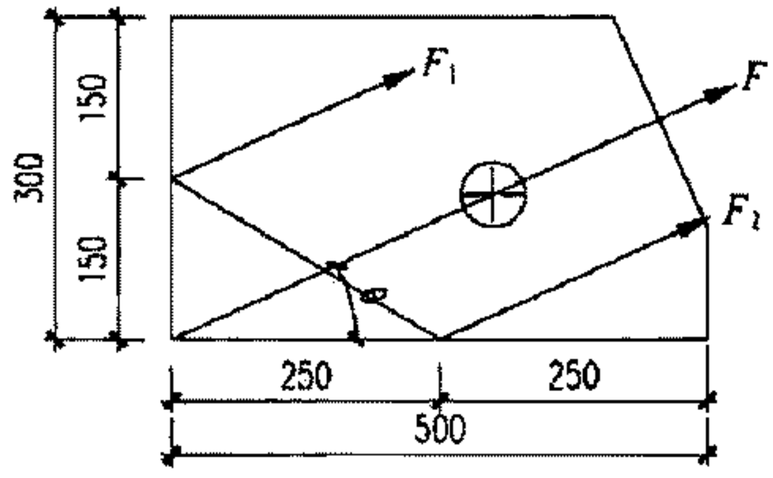


图4 支撑拉力F分解示意图

根据《混凝土结构设计规范》GB 50010-2002第10.9.1条，预埋件在拉力与剪力共同作用下，所需锚筋面积应满足：

$$A_s\geqslant\frac{V}{\alpha_r\alpha_v f_y}+\frac{N}{0.8\alpha_b f_y} \tag{15}$$

式中：V为剪力设计值；α_r为锚筋层数的影响系数（当锚筋按等间距布置时，两层取1.0，三层取0.9，四层取0.85）；α_v为锚筋的受剪承载力系数；f为锚筋抗拉强度设计值，但不大于300N/mm^2；N为法向拉力设计值；α_b为锚板弯曲变形折减系数，其中：

$$\alpha_v=(4.0-0.08d)\sqrt{\frac{f_c}{f_y}} \tag{16}$$

式中：d为锚筋直径，f_c为混凝土抗压强度设计值，当$\alpha_v>0.7$时，取$\alpha_v=0.7$。

$$\alpha_b=0.6+0.25\frac{t}{d} \tag{17}$$

式中：t为锚板厚度；当采取防止锚板弯曲变形的措施时，可取$\alpha_b=1.0$。

7.1 柱上预埋件设计

由图1所示构件尺寸可得：

$$\sin\theta=\frac{2700}{6580}=0.41$$

$$\cos\theta=\frac{6000}{6580}=0.91$$

将F_1分解为法向拉力N_1和剪力V_1为：

$N_1=F_1\cos\theta=308.57\times0.91=280.80$kN

$V_1=F_1\sin\theta=308.57\times0.41=126.51$kN

取钢筋层数为三层，则$\alpha_r=0.9$；钢筋种类HRB335，直径为18mm；混凝土强度等级为C40，锚板厚度为16mm，则有：

$$\alpha_v=(4.0-0.08d)\sqrt{\frac{f_c}{f_y}}=(4.0-0.08\times18)\sqrt{\frac{19.1}{300}}=0.65<0.70$$

$$\alpha_b=0.6+0.25\frac{t}{d}=0.6+0.25\frac{16}{18}=0.82$$

$$A_s\geqslant\frac{V}{\alpha_r\alpha_v f_y}+\frac{N}{0.8\alpha_b f_y}$$

$$=\frac{126510}{0.9\times0.65\times300}+\frac{280800}{0.8\times0.82\times300}=2147.68\text{mm}^2$$

取9Φ18，面积为2289mm^2。

根据《混凝土结构设计规范》 GB 50010-2002第10.9.6条，锚板

厚度满足要求，锚筋布置满足构造要求后布置方式见图5.

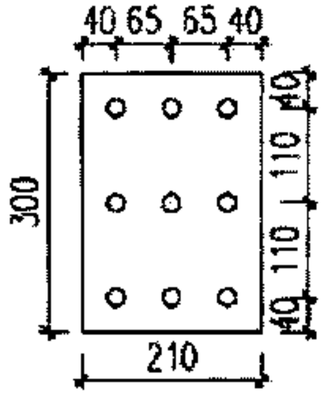


图5 柱上锚筋布置图

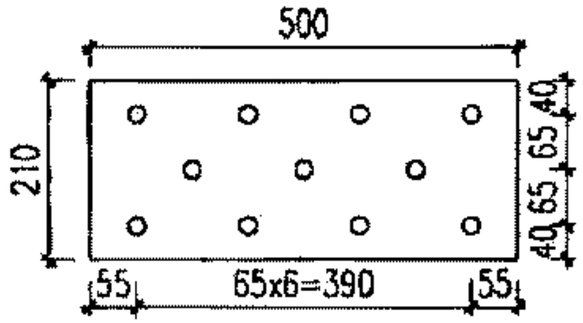


图6 梁上锚筋布置图

7.2 梁上预埋件设计

将F_2分解为法向拉力N_2和剪力V_2，则：

$N_2=F_2\sin\theta=411.43\times0.41=168.69\text{kN}$

$V_2=F_2\cos\theta=411.43\times0.91=374.40\text{kN}$

取钢筋层数为三层，则$\alpha_r=0.9$；钢筋种类HRB335，直径为20mm；混凝土强度等级为C40，锚板厚度为16mm，则有：

$$\alpha_v=(4.0-0.08d)\sqrt{\frac{f_c}{f_y}}=(4.0-0.08\times20)\sqrt{\frac{19.1}{300}}=0.61$$

$$\alpha_b=0.6+0.25\frac{t}{d}=0.6+0.25\frac{16}{20}=0.80$$

$$A_s\geq\frac{V}{\alpha_r\alpha_v f_y}+\frac{N}{0.8\alpha_b f_y}$$

$$=\frac{374400}{0.9\times0.61\times300}+\frac{168690}{0.8\times0.80\times300}=3151.82\text{mm}^2$$

取11ϕ20，面积为3454mm^2。

根据《混凝土结构设计规范》 GB 50010-2002第10.9.6条，锚板厚度满足要求，锚筋布置满足构造要求后布置方式见图6.

算例2 人字单侧型黏滞消能部件

一采用黏滞消能器进行消能减震的某新建钢筋混凝土框架结构，经优化后其中某榀框架的人字单侧型消能部件参数如下：

1 计算参数

人字单侧斜向支撑长度l=4.1m，水平支撑长度l_2=1.91m，采用黏滞消能器，消能器阻尼系数5600kN·s/m，消能器工作时的最大输出阻尼力$F_{d,max}$=600kN，行程±50mm，斜向支撑及水平支撑采用Q235B钢材，强度设计值f=215N/mm²，弹性模量E=2.1×10⁵N/mm²，结构基本自振周期T_1=1.5s，$\cos\theta$=3115/4100=0.76，各构件尺寸如图1所示。

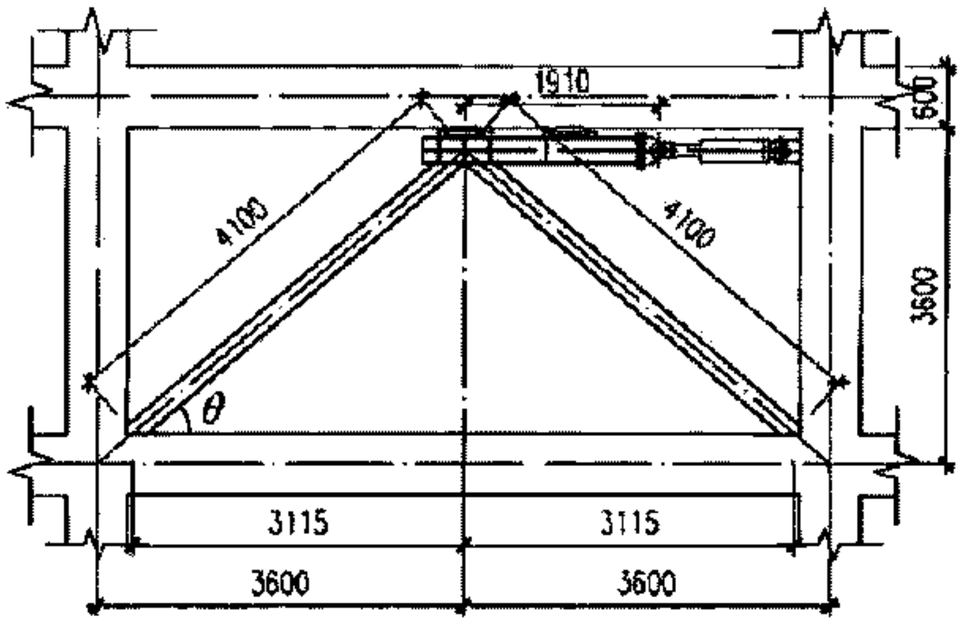


图1 人字单侧型支撑

2 计算内容

（1）斜向支撑截面选用（H型钢或电焊钢管）；（2）水平支撑截面选用（H型钢或电焊钢管）。

3 支撑截面选用计算

3.1 斜向支撑强度验算及截面选用

单侧斜向支撑所需承载力应满足下式：

$$N \geqslant 1.2F_{d,max}/2\cos\theta \tag{1}$$

式中：N为单侧斜向支撑的承载力；$F_{d,max}$为消能器工作时的最大输出阻尼力。

根据承载力要求，斜杆支撑所需面积应为：

$$A=N/f \tag{2}$$

由式（1）、式（2），算例中斜杆支撑所需面积为：

$$A \geqslant 1.2\times600\times1000/(2\times0.76)/215=22.00\text{cm}^2$$

根据计算面积选择焊接H型钢H200×200×4×8，截面面积A=39.36cm²>22.00cm²，强轴、弱轴的截面回转半径分i_x=8.95cm、i_y=5.20cm；或根据计算面积选择电焊钢管φ159×7.0，截面面积A=33.43cm²>22.00cm²，截面回转半径为i=5.38cm。

3.2 斜向支撑稳定性验算

斜向支撑的整体稳定性应满足按下式要求：

$$\frac{1.2F_{d,max}}{2\cos\theta\cdot\varphi A}\leqslant f \tag{3}$$

斜向支撑在平面内和平面外的杆端均按铰接计算，计算长度系数μ=1.0，焊接H型钢和电焊钢管截面分类均取为b类。本算例中支撑截面若选用焊接H型钢，其长细比为λ_x=1.0×4.1×100/8.95=45.81，λ_y=1.0×4.1×100/5.2=78.85，两主轴稳定系数中的较小者为φ=0.695，整体稳定性验算为：

$$\frac{1.2\times600\times1000}{2\times0.76\times0.695\times39.36\times100}=173.16<215.00\text{N/mm}^2$$

满足要求。

本算例中支撑截面若选用电焊钢管，其长细比为λ=1.0×4.1×100/5.38=76.21，稳定系数为φ=0.713，整体稳定性验算为：

$$\frac{1.2\times600\times1000}{2\times0.76\times0.713\times33.43\times100}=198.73<215.00\text{N/mm}^2$$

满足要求。

焊接H型钢斜杆支撑的局部稳定性应满足下式要求：

$$\text{翼缘：}\quad \frac{b}{t}\leqslant(10+0.1\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{4}$$

$$\text{腹板：}\quad \frac{h_0}{t_w}\leqslant(25+0.5\lambda)\sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{5}$$

电焊钢管斜杆支撑的局部稳定性应满足下式要求：

$$\frac{D}{t}\leqslant100(235/f_y) \tag{6}$$

以上各式中各参数意义见算例1中式（6）、式（7）、式（8）。

将本算例中所选用的焊接H型钢截面尺寸代入式（4）、式（5），局部稳定性验算为：

$$\text{翼缘：}\quad \frac{(200-4)/2}{8}=12.25<(10+0.1\times78.9)\sqrt{\frac{235}{235}}=17.89$$

$$\text{腹板：}\quad \frac{200-2\times8}{4}=46.00<(25+0.5\times78.9)\sqrt{\frac{235}{235}}=64.45$$

满足要求。

将本算例中所选用的电焊钢管截面尺寸代入式（6），局部稳定性验算为：

$$\frac{159}{7}=22.71<100\times235/235=100.00$$

满足要求。

3.3 水平支撑强度验算及截面选用

水平支撑所需承载力应满足下式：

$$N\geqslant1.2F_{a,m} \tag{7}$$

式中各参数意义见算例1中式（3）。

由式（7）、式（4），算例中水平支撑所需面积为：

$$A\geqslant1.2\times600\times1000/215=33.5\text{cm}^2$$

根据计算面积选择焊接H型钢H200×200×6×10，截面面积A=50.80cm²>33.5cm²，强、弱轴的截面回转半径分别i_x=8.76cm，i_y=5.12cm；或根据计算面积选择电焊钢管φ194×8，截面面积A=46.75cm²>33.5cm²，截面回转半径为i=6.58cm。

3.4 水平支撑稳定性验算

水平支撑的整体稳定性应满足下式要求：

$$\frac{1.2F_{a,m}}{\varphi A}<f \tag{8}$$

式中各参数意义见算例1中式（3）。

水平支撑在平面内和平面外的杆端连接方式为一端刚接一端自由，计算长度系数μ=2.0，焊接H型钢和电焊钢管截面分类均取为b类，本算例中所选用焊接H型钢的长细比为$\lambda_x=2.0\times1.91\times100/8.76=43.61$，$\lambda_y=2.0\times1.91\times100/5.12=74.61$，两主轴稳定系数中的较小者为$\varphi$=0.723，由式（8）整体稳定性验算为：

$$\frac{1.2\times600\times1000}{0.723\times50.8\times100}=196.03<215.00\text{N/mm}^2$$

满足要求。

将本算例中所选用的焊接H型钢截面尺寸代入式（4）、式（5）中，局部稳定性验算为：

$$\text{翼缘：}\quad \frac{(200-6)/2}{10}=9.70<(10+0.1\times74.6)\sqrt{\frac{235}{235}}=17.46$$

$$\text{腹板：}\quad \frac{200-2\times10}{6}=30.00<(25+0.5\times74.6)\sqrt{\frac{235}{235}}=62.30$$

满足要求。

本算例中所选用电焊钢管的长细比为$\lambda=2.0\times1.91\times100/6.58=58.1$，稳定系数为$\varphi$=0.817，由式（8）整体稳定性验算为：

$$\frac{1.2\times600\times1000}{0.817\times46.747\times100}=188.52<215.00\text{N/mm}^2$$

本算例中所选用电焊钢管的长细比为$\lambda=2.0\times1.91\times100/6.58=58.1$，稳定系数为$\varphi=0.817$，由公式（3.2-6）整体稳定性验算为：

$$\frac{1.2\times600\times1000}{0.817\times46.747\times100}=188.52<215.00\text{N/mm}^2$$

满足要求。

将本算例中所选用的电焊钢管截面尺寸代入公式（3.2-4），局部稳定性验算为：

$$\frac{194}{8}=24.25<100x235/235=100.00$$

满足要求。

3.5 支撑刚度验算

人字单侧支撑在消能器往复变形方向的刚度K_b宜符合下式要求：

$$K_b\geqslant(6\pi/T_1)C_v \qquad (3.5\text{-}1)$$

式中各参数意义见算例1中公式（3.3-1）。

其中人字双斜杆支撑在消能器往复变形方向的刚度K_{b1}根据下式确定：

$$K_{b1}=2\cos^2\theta\cdot K \qquad (3.5\text{-}2)$$

式中，K为人字单侧支撑的轴向刚度，θ为人字单侧支撑与水平方向夹角。

焊接H型钢人字双斜杆支撑的刚度为：

$K_{b1}=2\times0.76^2\times2.1\times10^5\times39.36\times10^2/4100=232888.32\text{kN/m}$

水平杆在消能器往复变形方向的刚度K_{b2}为：

$K_{b2}=2.1\times10^5\times50.80\times10^2/1910=558534.03\text{kN/m}$

斜杆与水平杆的串联刚度K_b为：

$K_b=K_{b1}\cdot K_{b2}/(K_{b1}+K_{b2})=232888.32\times558534.03/(232888.32+558534.03)=164357.31\text{kN/m}$

将数据代入公式（3.5-1）得：

$K_b=164357.31\text{kN/m}\geqslant(6\pi/T_1)C_v=(6\pi/1.5)\times5600=70336.00\text{kN/m}$

故所选型号H型钢支撑刚度满足要求。

电焊钢管人字双斜杆支撑的刚度为：

$K_{b1}=2\times0.76^2\times2.1\times10^5\times33.43\times10^2/4100=197801.23\text{kN/m}$

水平杆在消能器往复变形方向的刚度K_{b2}为：

$K_{b2}=2.1\times10^5\times46.75\times10^2/1910=514005.24\text{kN/m}$

斜杆与水平杆的串联刚度K_b为：

$K_b=K_{b1}\cdot K_{b2}/(K_{b1}+K_{b2})=197801.23\times514005.24/(197801.23+514005.24)=142834.99\text{kN/m}$

将数据代入公式（3.5-1）得：

$K_b=142834.99\text{kN/m}\geqslant(6\pi/T_1)C_v=(6\pi/1.5)\times5600=70336.00\text{kN/m}$

故所选型号电焊钢管支撑满足要求。

法兰连接中螺栓、销栓、耳板、节点板及预埋件的设计可参照单斜杆型黏滞消能减震装置算例。

土木工程网
www.1358.cc

一、 *dp* 黏滞流体消能器

dp 黏滞消能器由缸筒、活塞、消能通道、消能介质（黏滞流体）和导杆等部分组成。当工程结构因振动而发生变形时，安装在结构中的黏滞流体消能器的活塞与缸筒之间发生相对运动，由于活塞前后的压力差使黏滞流体从消能通道中通过，从而产生消能力、耗散外界输入结构的振动能量，达到减轻结构振动响应的目的。

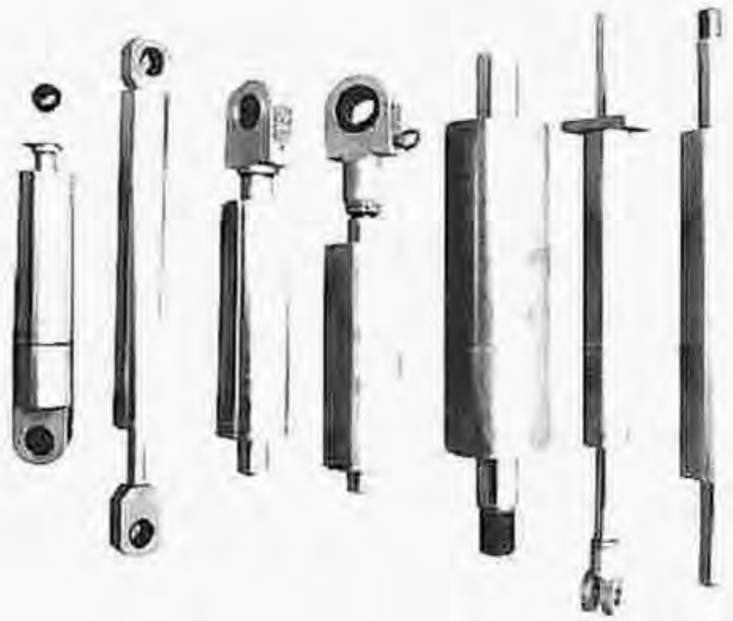


图 1 *dp* 黏滞流体消能器

1. 常用 *dp* 黏滞流体消能器主要技术参数

表 1 技术参数举例表

规格型号	缸外径 (mm)	缸内径 (mm)	最大输出消能力 (kN)	极限位移 (mm)
VFD-85×859×30×200	85	63	30	±200
VFD-108×1480×80×200	108	80	80	±200
VFD-132×2955×150×450	132	100	150	±450
VFD-192×3225×400×450	192	160	400	±450
VFD-222×5240×600×800	222	180	600	±800
VFD-245×5350×800×800	245	200	800	±800
VFD-296×6600×1250×1000	296	240	1250	±1000
VFD-350×6820×2000×1000	350	300	2000	±1000

注：上表中的极限位移为对应型号的极限位移最大值，该值可根据设计要求进行调整后确定。

2. *dp* 黏滞流体消能器的输出消能力、消能系数、速度和消能指数的常用关系式为

$$F = C \cdot V^{\alpha}$$

式中：F – 输出消能力（kN）；

C – 消能系数（kN/(mm/s)$^{\alpha}$）；

V – 相对运动速度（mm/s）；

α – 消能指数（线性 α=1.0，非线性 α=0.15 – 0.55）。

注：本页根据南京升普科技工程有限公司提供的相关技术资料编制。

土木工程网 www.1358.cc

3. 双耳环（铰接）*dp* 黏滞流体消能器外形图

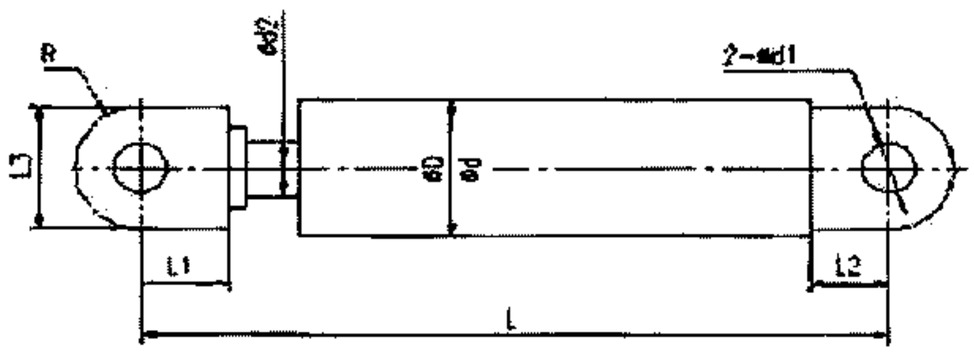


图 2　双耳环（球铰接）*dp* 黏滞流体消能器外形示意图

表 2　　双耳环（球铰接）*dp* 黏滞流体消能器外形尺寸参照表

消能力范围（kN）	缸外径 φD	缸内径 φd	耳环孔 2-φd1	出轴直径 φd2	耳环 2-R	左耳环中心高 L1	右耳环中心高 L2	耳环宽×厚 L3
≤30	85	63	25	30	30	70	50	80×30
≤80	108	80	30	40	40	80	60	100×50
≤100	132	100	40	50~60	60	100	80	120×60
≤400	192	160	60	80	90	150	120	180×70
≤600	222	180	80	90	100	160	140	200×90
≤800	245	200	100	100	120	200	150	240×110
≤1000	296	240	110	120	126	220	160	252×120
≤2000	350	300	150	150	160	240	180	320×150

注：消能器总长 L 是指活塞处于平衡位置时两耳环的中心距。
总长在订货时可根据具体情况另行设计。
通常，总长 L= L1+L2+3×φd+5×1.2×位移。

4. 单耳环（铰接）*dp* 黏滞流体消能器外形图

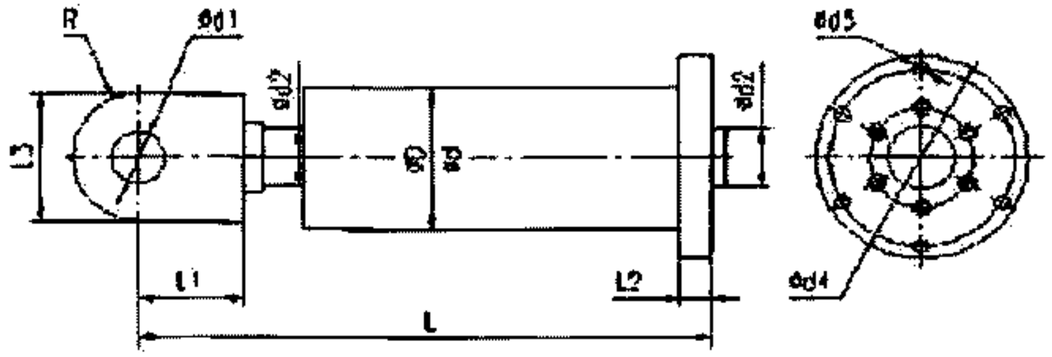


图 3　单耳环（球铰接）*dp* 黏滞流体消能器外形示意图

表 3　单耳环（球铰接）*dp* 黏滞流体消能器外形尺寸参照表

消能力范围（kN）	缸外径 φD	缸内径 φd	耳环孔 φd1	出轴直径 φd2	耳环 2-R	左耳环中心高 L1	法兰厚度 L2	耳环宽×厚 L3	法兰直径 φd3	连接孔分布圆 φd4	连接孔 φd5
≤30	85	63	25	30	30	70	15	80×36	140	112	6-φ13
≤80	108	80	30	40	40	80	20	100×50	180	115	6-φ13
≤100	132	100	40	50	60	100	25	120×60	220	180	6-φ17
≤400	192	160	60	80	90	150	30	180×70	300	252	6-φ17
≤600	222	180	80	90	100	160	40	200×90	320	280	6-φ22
≤800	245	200	100	100	120	200	50	240×110	330	280	6-φ22
≤1000	296	240	110	120	126	220	60	252×120	410	353	8-φ26
≤2000	350	300	150	150	160	240	70	320×150	460	400	12-φ26

注：消能器总长 L 是指活塞处于平衡位置时耳环中心与法兰底面的距离。
总长在订货时可根据具体情况另行设计。
通常，总长 L= L1+L2+3×φd+3×1.2×位移。

注：本页根据南京丹普科技工程有限公司提供的相关技术资料编制。

土木工程网
www.1358.cc

5. *dp* 黏滞流体消能器使用要求

(1) *dp* 黏滞流体消能器在保管、运输、贮存过程中，对所有的零部件和产品本身应采用有效的防护包装，防止发生锈蚀、污染、磕碰及划伤等不良现象；

(2) *dp* 黏滞流体消能器外表面为镀硬铬保护层，相关动配合处均采用多种多层高分子材料加固密封。因此，如需在其周围进行焊接等作业应采取严格的遮挡保护措施，不允许明火烘烤及重力敲砸等不良现象的发生；

(3) *dp* 黏滞流体消能器是精度和技术含量较高的产品，对装配和测试的操作技能、环境条件、使用工具等都有很高的要求，施工现场不准拆卸和修理；

(4) *dp* 黏滞流体消能器在安装完成后，根据工艺要求对各连接点销轴处及镀铬外表面涂抹适量的黄油，以保证减振装置正常工作和防止锈蚀等不良现象的发生；

(5) *dp* 黏滞流体消能器允许使用温度范围为 +80～−40℃，应尽量避免安装在日晒雨淋和浸泡在水中的环境中，如工况条件无法满足要求，应安排专业人员定期(一年)进行跟踪检查和维护保养，并做好检查记录；

(6) 如遭遇火灾、水灾、地震等自然灾害后，应立即请专业工程技术人员对其进行全面的检查、评估、维护和保养；

(7) *dp* 黏滞流体消能器（减振装置）理论设计时效为 50 年，为满足这一要求，建议每隔 3～5 年进行一次全面检查、维护和保养。

6. *dp* 黏滞流体消能器安装施工的步骤和要求

表 4　*dp* 黏滞流体消能器安装施工的步骤和要求

序号	安装步骤	施工要点
1	安装设计	根据黏滞流体消能器的立(平)面布置图，设计绘制消能器安装图，并拟定安装步骤及安装要求。
2	制定安装方案（施工组织设计）	根据消能器安装图要求，编制施工方案，内容有：编制依据、工程概况、施工布署、施工准备、工艺流程及方法、检测、质量和安全措施、验收要求等，并申报工程监理批准。
3	清理预埋件	清理表面残留混凝土、锈蚀和灰尘，检查预埋件是否符合安装要求。
4	划线定位	在图示的梁柱等安装位置上，划出中心线及相关安装位置，作为安装基准。
5	焊接接点板	保证接点板销轴孔同心对中，两侧接点板间隙对称，焊接的焊缝达到Ⅱ级要求。
6	安装紧件（螺栓等）	由于某些工程的特殊性，不宜采用焊接工艺而使用高强度螺栓等连接，必须做到准确到位，彻底拧紧，并有一定的防松保护措施
7	配装支撑杆件	先行预装，调整到位，确定尺寸后，按要求安装
8	安装销轴	固定各销轴两端，各构件铆紧拉实
9	清理并油漆构件	清理工作现场，对构件涂防锈油漆
10	注油润滑	各球铰（向心关节轴承）等处注油润滑。
11	验收	收集、整理安装过程中所有有效质量记录，施工安装图，施工方案，产品检测报告，产品合格证等，提交工程监理及相关质量监督部门，提出工程验收申请，验收合格后，资料会签归档。

注：本页根据南京丹普科技工程有限公司提供的相关技术资料编制。

土木工程网
www.1358.cc

二、*dp* 屈曲约束耗能支撑



图 4　*dp* 屈曲约束耗能支撑

dp 屈曲约束耗能支撑是一种在受拉与受压时均能达到屈服而不发生屈曲失稳的轴向受力构件，与传统中心支撑相比具有更稳定的力学性能。经适当设计，含有屈曲约束耗能支撑的框架不但可以增加整体刚度，提高结构延性，而且由于其受压时不会屈曲的特性可以充分发挥钢材的滞回消能能力，因此，这种构件同时具备了中心支撑和位移型消能器的功能，在工程抗震领域具有重要的应用价值。

表 5　屈曲约束耗能支撑材料特性表

符号	屈服承载力或屈服点下限（N/ mm²）	抗拉强度（N/ mm²）	屈服比（%）	伸长率（%）
BLY160	160 ± 20	220~320	≤80	≥45
BLY225	225 ± 20	300~400	≤80	≥40

基本力学性能试验

BRB 力学性能试验包括标准加载试验和疲劳加载试验，考虑我国《建筑抗震设计规范》GB 50011-2001（2008 年版）关于消能减震设备的试验要求，同时，参照 FEMA450 的相关规定，采用如下所示加载制度：

1. 标准加载制度

（1）循环 4 周，幅值：$D=0.5D_y$

（2）循环 4 周，幅值：$D=D_y$

（3）循环 4 周，幅值：$D=0.5D_u$

（4）循环 4 周，幅值：$D=D_u$

（5）循环 2 周，幅值：$D=1.5D_u$

其中：D_y 为 BRB 的屈服位移；

D_u 为 BRB 的设计屈服位移。

2. 疲劳加载制度

在位移幅值 Dm 下，按结构基本周期循环 30 圈后，耗能支撑性能衰减量不应超过 10%且无明显低周疲劳现象。

表 6　核芯单元采用名义屈服强度为 225MPa 的常用基本技术参数

支撑屈服承载力（kN）	屈服段芯材截面积（mm²）	核心件尺寸 宽×厚（mm）	外套筒尺寸 宽×高（mm）
1000	5040	180×28	280×260
1500	7500	250×30	350×330
2000	10200	300×34	400×380
2500	12540	330×38	430×410
3000	15120	360×42	460×440

注：本页根据南京丹普科技工程有限公司提供的相关技术资料编制。

土木工程网
www.1358.cc

三、*dp* 调频质量消能器

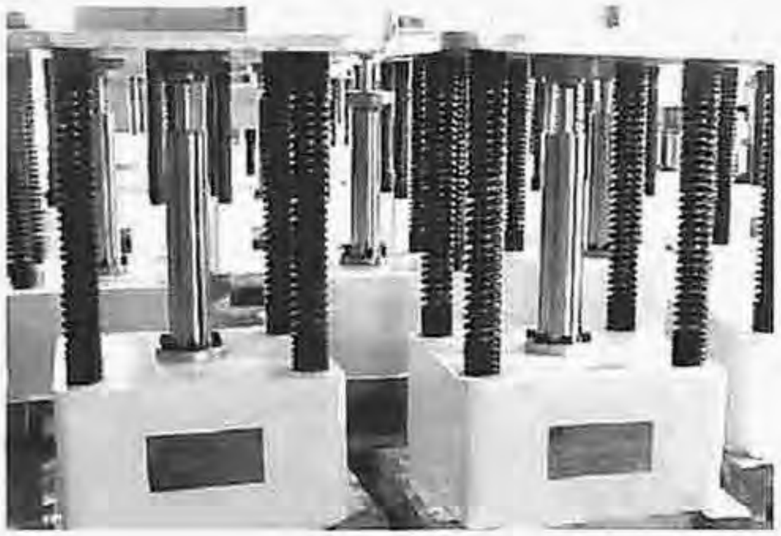


图5　悬挂式调频质量消能器（TMD）

dp 调频质量消能器（Tuned Mass Damper，TMD）系统是附加在主结构上的子结构（减振装置）。子结构包括质量、弹簧减振器和消能器等，它具有质量、刚度、消能的综合特性，通过改变质量或刚度来调整子结构的自振频率，使其接近主结构的基本频率或激励频率，当主结构受激励而振动时，子结构就会产生一个与结构振动方向相反的惯性力作用在主结构上，使主结构的振动反应衰减并控制在设计允许值范围内。

dp 调频质量消能器有以下特点：

（1）设有双向定位装置，可以有效防止受到侧向力时出现的左右摇摆，甚至发生失控或倾覆等现象。

（2）减振系统采用对称等效结构，使受拉和受压均能保持平衡，及每个工作循环的连续性和完整性。

（3）调频质量消能器调谐刚度可以根据需要适当调节，调节范围在±15%。根据现场动力特性实测结果来适当改变其调谐频率，[illegible]除由于计算或施工等方面的原因所造成的工程实际频率与计算频率不一致的影响，提高系统的实际控制效果。

（4）调频质量消能器中的黏滞流体消能器为可控式，以消除因消能器内摩擦力造成系统振动灵敏度降低而出现滞后现象。

（5）调频质量消能器中的黏滞流体消能器工作介质性能指标稳定，不受时间、温度等环境的影响。

（6）调频质量消能器中的黏滞流体消能器采用无轴向间隙结构，具有对振动敏感、响应速度快、滞回曲线饱满和耗能效果明显等特点。

（7）整套系统结构紧凑合理，占用体积比较小，最大高度可控制在600mm内，空间利用率高。

注：本页根据南京丹普科技工程有限公司提供的相关技术资料编制。

土木工程网
www.1358.cc

四、*dp* 超长变力黏滞流体消能器



图 6　*dp* 超长变力黏滞流体消能器

超长变力消能器是在原 *dp* 黏滞流体消能器（它的“消能”是相对不变的）结构基础上衍生出来的新品种，主要是为了满足某些有特殊工况要求的工程，即在超大位移前提下的某一位置上改变“消能”，实现力的增大或减小，使之符合减震（振）装置的特定要求。

该结构形式的黏滞流体消能器是由其本身内置的控制系统在工作过程中自行完成的。

五、*dp* 黏弹性消能器

dp 黏弹性消能器通常由黏弹性材料和约束钢板组成，主要依靠黏弹性材料的滞回耗能特性来耗散振动能量，增加结构的消能，减小结构的动力响应。

表 7　产品规格

型号		拉、压力设计值（kN）
板式	ZN-A	70
	ZN-B1	300
	ZN-B2	400
	ZN-B3	1000
筒式	ZN-B1-1	300
	ZN-B2-1	500
	ZN-B3-1	1000

表 8　黏弹性材料质量指标

项　　目		指　　标
拉伸强度（MPa）		≥15
扯断伸长率（%）		≥380
扯断永久变形（%）		≤22
热空气老化 70℃ 72h	拉伸强度变化率（%）	≤(-20～+20)
	拉扯伸长变化率（%）	≤(-20～+20)
13℃ 3.5Hz 材料最大损耗因子 βmax		≥1.4
(0～40)℃ 3.5Hz 材料损耗因子 β		≥0.7
钢板与消能材料之间的扯离强度(/MPa)		≥4.3



图 7　*dp* 黏弹性消能器

注：本页根据南京丹普科技工程有限公司提供的相关技术资料编。

土木工程网
www.1358.cc

六、*dp* 消能器主要应用工程

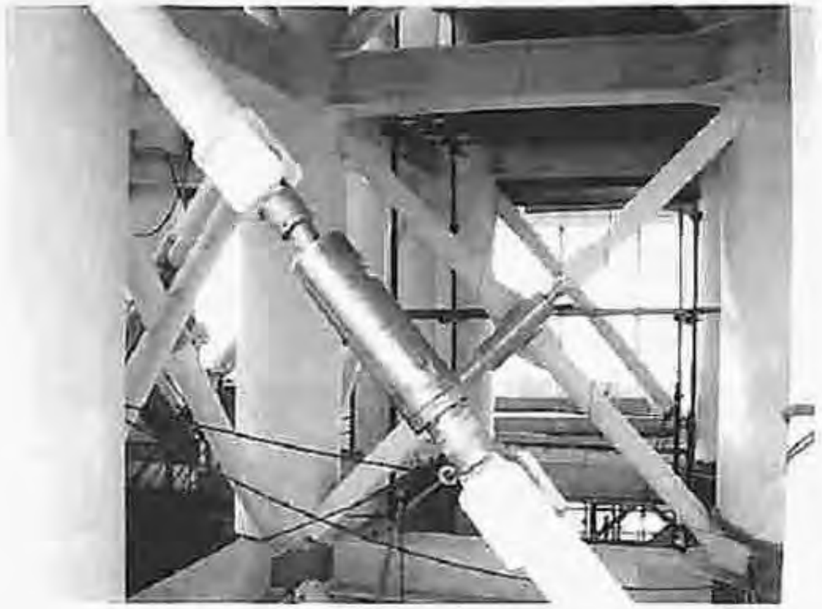


图 1　南京奥林匹克中心观光塔
（单斜杆型支撑，粘滞消能器）

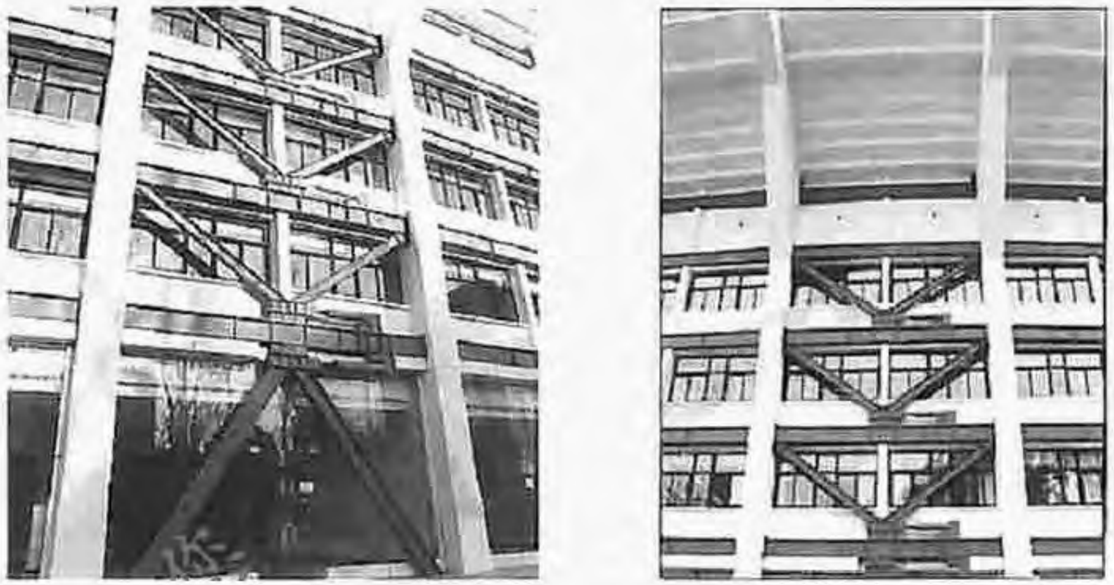


图 2　北京工人体育场加固改造后的局部图
（人字型支撑，粘滞消能器）

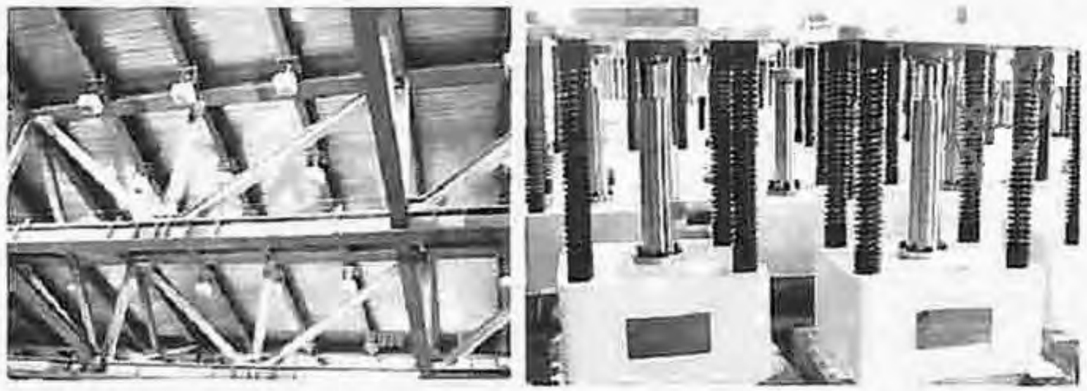


图 3　北京奥林匹克公园国家会议中心
（TMD 调频质量消能器）

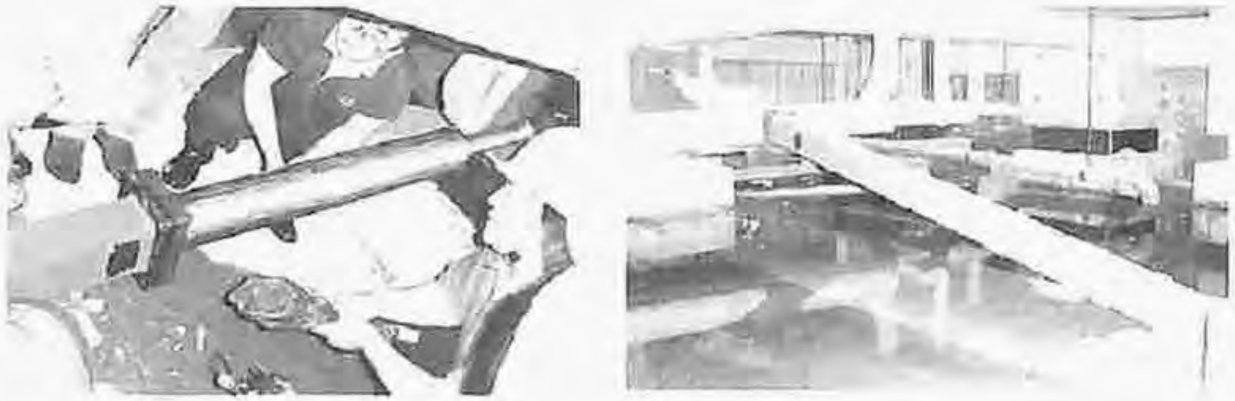


图 4　北京地铁通惠家园住宅小区
（应用于隔震中的消能支撑，粘滞消能器）

注：本页根据南京丹普科技工程有限公司提供的相关技术资料编制。

土木工程网
www.1358.cc







图 5　宿迁市属于高烈度区，近年来建造了一批建筑，选用和安装了减消能器来满足结构抗震设防的设计要求

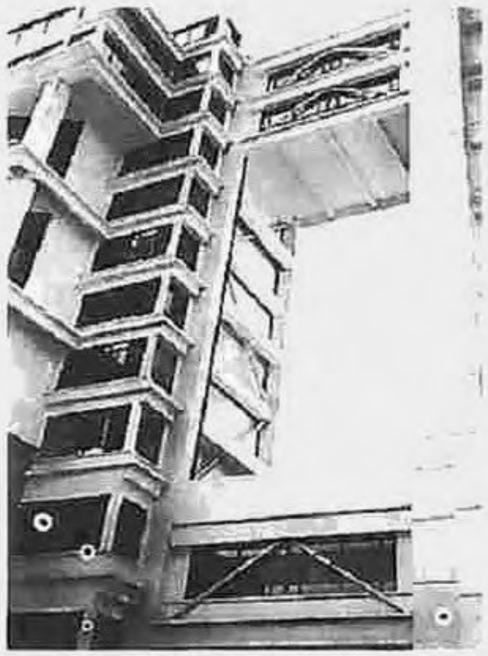


图 6　淮安议政园



图 7　消能器力学性能试验 1

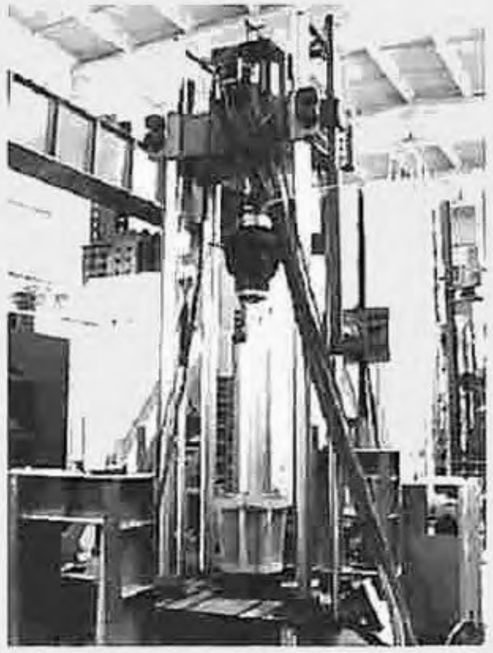


图 8　消能器力学性能试验 2

注：本页根据南京丹普科技工程有限公司提供的相关技术资料编制。