

UDC

SH

中华人民共和国行业标准

P

SH3071-1995

石油化工企业电气设备 抗震鉴定标准

Standard of aseismic qualification for electrical
equipments in petrochemical enterprises

1995-07-07 发布

1995-11-01 实施

中国石油化工总公司 发布

中华人民共和国行业标准

石油化工企业电气设备 抗震鉴定标准

Standard of aseismic
qualification for electrical equipments
in petrochemical enterprises

SH 3071-1995

主编部门：中国石化北京设计院
批准部门：中国石油化工总公司

中国石油化工总公司文件

中石化 [1995] 建字 294 号

关于发布行业标准《石油化工企业 电气设备抗震鉴定标准》的通知

各有关单位：

由中国石化北京设计院主编的《石油化工企业电气设备抗震鉴定标准》已经审查定稿。现批准《石油化工企业电气设备抗震鉴定标准》SH 3071-1995 为石油化工行业标准，自 1995 年 11 月 1 日起实施。

本标准的具体解释工作由中国石化北京设计院负责。

中国石油化工总公司
一九九五年七月七日

目 次

1	总则	(1)
2	符号代号	(2)
3	抗震鉴定一般规定	(6)
3.1	电力变压器、消弧线圈	(6)
3.2	三相垂直布置水泥电抗器	(7)
3.3	少油断路器、避雷器	(9)
3.4	电力电容器	(10)
3.5	隔离开关、棒式绝缘子、电流(压)互感器类电 瓷设备	(10)
3.6	蓄电池	(10)
3.7	高压开关柜、低压配电屏、控制(保护)屏、直 流屏及配电箱类	(11)
4	抗震验算	(12)
4.1	地震作用计算	(12)
4.2	电力变压器	(20)
4.3	三相垂直布置水泥电抗器	(25)
4.4	少油断路器、避雷器	(28)
附录 A	三相垂直布置水泥电抗器抗震加固	(32)
附录 B	少油断路器及避雷器减震装置设计方案	(45)
附录 C	用词说明	(62)
附加说明		(63)
附: 条文说明		(65)

1 总 则

1.0.1 本标准适用于抗震设防烈度为 6~9 度区石油化工企业中正在使用的电气设备的抗震鉴定与抗震措施。

1.0.2 抗震设防烈度应采用现行的《中国地震烈度区划图》规定的地震基本烈度;对做过抗震防灾规划的地区或企业,可按经批准的设防烈度或抗震设计地震动参数进行抗震鉴定。

1.0.3 按本标准进行抗震鉴定和实施抗震措施的电气设备当遭受本地区抗震设防烈度的地震影响时,不致产生严重破坏并可继续供电。

1.0.4 电气设备所处的环境、厂房、地基和基础应满足本地区抗震设防烈度的要求。

1.0.5 执行本标准时,尚应符合现行有关标准规范的要求。

2 符号代号

2.0.1 地震作用和作用效应应采用下列符号代号：

F ——无绝缘拉杆的避雷器及少油断路器所受地震作用；

F_c ——变压器油枕的水平地震作用；

F_i ——散热器的水平地震作用；

F_{Hsi} ——第 i 层楼层上的设备的水平地震作用；

F_i ——第 i 质点的水平地震作用；

G_0 ——变压器油枕的重量；

m_e ——设备操作质量；

m'_e ——设备在操作状态下的等效总质量；

m_{eq} ——设备的总质量；

m_i ——集中在质点 i 的操作质量；

m_s ——楼层的质量；

M ——计算断面的弯矩；

T ——设备的基本自振周期；

T_g ——特征周期；

T_s ——建（构）筑物的自振周期；

V_0 ——设备的底部剪力；

σ ——环氧玻璃钢柱底部拉应力；

σ_0 ——计算断面上产生的拉应力；

σ_1 ——散热器与变压器本体连接钢管在水平地震作用下的弯曲应力；

- σ'_1 ——变压器油枕在水平地震作用下的弯曲应力；
- σ_2 ——散热器与变压器本体连接钢管在竖向地震作用下的弯曲应力；
- σ'_2 ——变压器油枕的压应力；
- τ_0 ——在地脚螺栓上产生的剪应力；
- τ_1 ——散热器与变压器本体连接钢管在水平地震作用下的剪应力；
- τ_2 ——散热器与变压器本体连接钢管在竖向地震作用下的剪应力；
- τ'_2 ——变压器油枕在水平地震作用下的剪应力。

2.0.2 材料性能应采用下列符号代号：

- E 、 E_1 ——材料弹性模量；
- σ_b ——环氧玻璃钢拉伸强度试验数据平均值；
- $[\sigma]$ ——许用应力。

2.0.3 设备或结构的几何参数应采用下列符号代号：

- A ——截面面积；
- A_b ——每个地脚螺栓的有效截面积；
- d ——圆形截面的内径；
- D ——圆形截面的外径；
- D_1 ——地脚螺栓中心圆直径；
- h ——油枕二分之一处至变压器与油枕支腿连接处的距离；
- H ——设备的总高度；
- H_1 、 H_2 ——少油断路器支座高度、设备高度；
- H_i ——质点 i 的计算高度；
- H_s ——建(构)筑物的高度；

H ——变压器本体高度二分之一处至基础面的距离；

I ——计算截面惯性矩；

K ——体系的水平刚度；

l ——散热器中心至变压器本体边缘的间距；

l_b ——地脚螺栓的最小间距；

W ——环氧玻璃钢柱的断面模量；

W' ——钢管计算截面抗弯模量；

X_i ——第一振型时质点 i 处的相对水平位移；

Z_1 ——一根油枕支腿沿油枕纵向的截面矩。

2.0.4 各种计算系数应采用下列符号代号：

a ——为类共振区的左边界；

b ——为类共振区的右边界；

C_s ——综合影响系数；

C_{sx} ——楼层上设备的综合影响系数；

C_{sx} ——建(构)筑物的综合影响系数；

C_{sx} ——楼层上设备地震作用的修正系数；

g ——重力加速度；

$[K]$ ——不均衡系数；

α ——水平地震影响系数；

α_{max} ——水平地震影响系数最大值；

α_{ξ} ——阻尼比为 ξ 的设备的地震影响系数；

β ——楼层动力放大系数；

n_b ——环氧玻璃钢拉伸强度安全系数；

q ——与设备自振周期有关的指数；

$\bar{\alpha}_{si}$ ——第 i 层楼层的等效加速度系数；

α_{si} ——第 i 层楼层上的设备的地震影响系数；

β_1 ——考虑节点等因素的刚度折减系数；

$\tilde{\beta}_{\max}$ ——修正前的楼层动力放大系数最大值；

$\beta_{\max}$ ——修正后的楼层动力放大系数最大值；

γ ——振型参与系数；

μ 、 ν ——与 ζ 、 T 有关的变数；

ξ ——设备的阻尼比；

ζ ——阻尼修正系数；

λ_m ——等效质量系数；

ψ ——反馈影响系数。

3 抗震鉴定一般规定

3.0.1 电气设备在抗震鉴定时, 应进行下列外观检查:

- (1) 设备本身有无机械损坏、电瓷部件有无裂纹;
- (2) 电气连接是否可靠, 固定螺栓是否完整有无松动, 地脚螺栓与基础或结构的连接是否牢固;
- (3) 焊缝是否饱满及金属部件有无严重锈蚀;
- (4) 设备的支承构架和附件有无变形及损坏。

3.0.2 符合下列规定的电气设备可不进行抗震验算:

3.0.2.1 抗震设防烈度为 6 度区的各种电气设备;

3.0.2.2 电力电容器、蓄电池、高压开关柜、低压配电屏、控制保护屏、直流屏及配电箱;

3.0.2.3 抗震设防烈度为 7 度, 电压 110kV 及以下, 且为放置在地面上的多油断路器、少油断路器(国产)、隔离开关、电流(电压)互感器, 棒式绝缘子和穿墙瓷套管。

3.0.3 第3.0.2.3款中的电气设备, 如放置在楼层或高支架上时, 应考虑建(构)筑物的动力放大作用, 并进行抗震验算。

3.1 电力变压器、消弧线圈

3.1.1 安装变压器、消弧线圈时, 应拆除滚轮, 用螺栓或焊接方法直接固定在基础或与基础牢固固定的钢轨或预埋钢板

上。对暂时不能拆除滚轮的变压器也必须固定，不应仅采用限位措施。

3.1.2 变压器套管当用软导线连接时，应适当放松；当绝缘间距不够时，可采用弹簧线夹。当用硬母线连接且截面大于 $50\text{mm} \times 5\text{mm}$ 时，应加软连接。抗震设防烈度为 6 度区的变压器和 7 度区的 10kV 及以下变压器可不加软连接。

软连接宜采用各向柔软度相同的铜编织带制成。硬母线断口长度宜为 200mm 左右。软连接安装位置应尽量靠近套管，在变压器与外部第一个支持点之间。

3.1.3 大型变压器的悬臂式散热器经验算不符合抗震要求时，应采取加固措施。一般可采用固定在变压器本体上的角钢支架支撑或用扁钢沿散热器环形连接，以提高散热器整体的抗震能力。

3.1.4 单独设置的油冷却器与变压器本体之间的连接管，在靠近变压器处应装切断阀和柔性接头。散热器、潜油泵及连接管与基础间距离，应不小于 200mm 。

3.1.5 杆上变压器的下部，应用螺栓与下横梁固定；上部与电杆之间应用五圈以上直径为 4mm 的铁丝绞紧。

3.1.6 事故排油和事故贮油设施应完善，排油管道应畅通。

3.2 三相垂直布置水泥电抗器

3.2.1 三相垂直布置水泥电抗器（以下简称电抗器），应采用环氧玻璃钢柱、环氧玻璃钢隔板、环向紧固钢带、垫块和埋地组合钢管等构件进行抗震加固（图 3.2.1）。

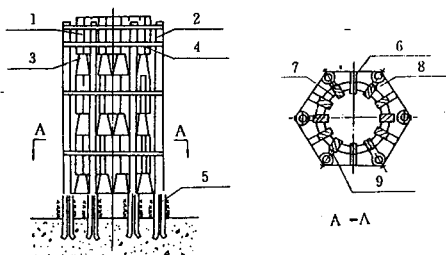


图 3.2.1 三相垂直布置水泥电抗器加固示意

1. 水泥电抗器； 2. 环氧玻璃钢柱； 3. 支承瓷瓶；
4. 环向紧固钢带； 5. 埋地组合钢管； 6. 环氧玻璃钢隔板；
7. 线圈； 8. 电抗器水泥柱； 9. 环氧玻璃钢垫板
注：环氧玻璃钢垫板和环氧玻璃钢柱与水泥电抗器必须连接紧密形成一体

3.2.2 环氧玻璃钢柱长度，应按下式确定：

$$L = 3H + h - 0.1 \quad (3.2.2)$$

式中 L ——环氧玻璃钢柱长度 (m)；

H ——电抗器单相高度 (m)；

h ——电抗器基础高度 (m)。

3.2.3 环氧玻璃钢材料必须具备机械性能试验报告，试验内容和方法应按现行有关标准执行。

3.2.4 环氧玻璃钢作为电抗器加固材料(B级绝缘)，应按现行有关标准进行交流耐压试验，试验电压和试验时间，应符合表 3.2.4 的规定。

绝缘试验电压及时间规定

表 3.2.4

电压等级	试验电压	试验时间
6kV	32kV	工频交流 1 min
10kV	42kV	工频交流 1 min

注：其内电阻系数大于 10^9 (Ω/mm)。平行层击穿电压（在 $90 \pm 2^\circ\text{C}$ 和电极中心距为 15mm）大于 15kV（以上由制造厂家试验并出具证明）。

3.2.5 环氧玻璃钢柱到达现场后，每批应做抽样工频交流耐压试验，每组抽样不应少于 1 根。具体试验项目如下：

（1）环氧玻璃钢柱做交流耐压试验（试验标准同表 3.2.4）；

（2）电抗器加固竣工刷漆后，对电抗器整体作常规交流耐压试验；

（3）加固后投运的电抗器，应测紧固钢带对地电压，其值应小于 2V。

3.3 少油断路器、避雷器

3.3.1 少油断路器及避雷器的瓷瓶，不应有严重损坏及裂纹。

3.3.2 瓷瓶与法兰连接应牢固。

3.3.3 少油断路器及避雷器的底座与中间法兰不应锈蚀，螺栓不应有松动。

3.3.4 少油断路器及避雷器的外接导线不应太紧；当采用硬母线或管形母线连接时，应加设软连接或伸缩接头。

3.3.5 有绝缘拉杆的避雷器，各方向拉杆的拉力应均匀。

3.4 电力电容器

3.4.1 电力电容器，应固定在支架上，不应浮放。6kV 或 10kV 电力电容器可用两侧支耳和提环固定。

3.4.2 电力电容器引线，宜采用软导线。8、9 度区当采用硬母线时，应装设软连接装置。

3.5 隔离开关、棒式绝缘子、 电流(压)互感器类电瓷设备

3.5.1 高型、半高型或上下重叠布置的 110kV 及以上高压电瓷设备有条件时，宜改为低式及单层布置。

3.5.2 电流(压)互感器，应用螺栓固定，不应浮放。对带有滚轮的电压互感器等应将滚轮去掉，然后固定。

3.5.3 高压电瓷设备硬母线引线，宜改为软导线。

3.6 蓄 电 池

3.6.1 蓄电池应有防止位移和倾倒措施，可采取支架固定方式。8 度及 8 度以上地区，还应有防止玻璃缸式蓄电池间相互碰撞的隔条或垫块。

3.6.2 蓄电池间宜采用软导线或电缆连接。端电池宜采用电缆作为引出线。

3.6.3 蓄电池加固支架应与地面、墙或基础固定。

3.6.4 蓄电池加固支架可用钢、木、玻璃钢、硬聚氯乙烯及不锈钢材料制成。酸性蓄电池的钢、木支架应刷耐酸涂料。

3.6.5 玻璃缸式蓄电池加固支架的高度应在蓄电池重心以上，但不应妨碍蓄电池的维护和检查。

3.6.6 直流屏、不停电电源屏柜内安装的蓄电池盒（抽屉或小车），应有防止滑出脱落的措施。

3.7 高压开关柜、低压配电屏、 控制（保护）屏、直流屏和配电箱类

3.7.1 高压开关柜、低压配电屏、控制（保护）屏、直流屏和配电箱类，应用地脚螺栓固定在基础上。螺栓数不应少于4M10（每角一个）。

3.7.2 高压开关柜内油断路器或真空开关手车，应有定位闭锁机构。低压抽屉柜处在工作位置时，应有锁住机构。高压开关柜隔离刀闸应有锁住机构。

3.7.3 高压开关柜和低压抽屉柜的二次电缆插头，应有防松措施。

3.7.4 高压开关柜和控制（保护）屏等上的继电器和表计都应固定。表计应采用螺栓或安装夹具固定。

3.7.5 变压器重瓦斯跳闸二次回路中，应有接至信号位置的切换片。

3.7.6 固定式高压开关柜中的油浸式电压互感器，应采用螺栓与底盘固定。

3.7.7 控制（保护）屏及励磁柜中的印刷电路插件与插板，应有防止松动的锁住设施。

3.7.8 成列的高压开关柜、低压配电屏和控制（保护）屏的盘间，应用螺栓在设备重心以上连结成为整体。在通过建筑物沉降缝或伸缩缝处，柜（屏）间连接的硬母线应加软连接。

4 抗震验算

4.1 地震作用计算

4.1.1 直接建在地面上的设备；或虽由楼层或构架等建（构）筑物支承的设备，当 m_s/m_e 小于 2 时，可视建（构）筑物与设备为一联合体。当设备阻尼比为 0.05 时，地震影响系数应根据场地土类别、近震、远震和设备自振周期按下列规定确定。

注：① m_s 为设备所在楼层的质量（kg），当楼层支承多台设备时， m_s 包括该楼层质量和所考虑的设备以外的其他设备的质量。当楼层自身的质量无法取得精确值时，对钢结构可按 $100 \sim 150 \text{ kg/m}^2$ 计算；对钢筋混凝土结构可按 $450 \sim 600 \text{ kg/m}^2$ 计算；

② m_e 为设备操作质量（kg）。

4.1.1.1 设备的水平地震影响系数，应按图 4.1.1 采用；

4.1.1.2 水平地震影响系数最大值，应根据设备抗震设防烈度按表 4.1.1-1 采用；

水平地震影响系数最大值 表 4.1.1-1

设防烈度	6	7	8	9
α_{max}	0.11	0.23	0.45	0.90

4.1.1.3 特征周期，应根据设备建设场地类别和近震、远震按表 4.1.1-2 采用。场地类别和近震、远震应按现行的《建筑抗震设计规范》的有关规定划分；

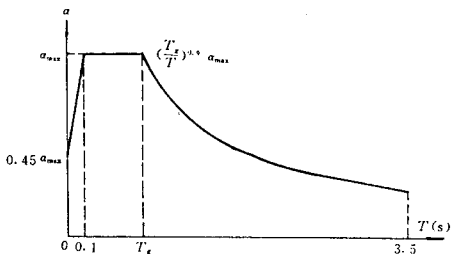


图 4.1.1 水平地震影响系数曲线

注: α ——水平地震影响系数;

$\alpha_{\max}$ ——水平地震影响系数最大值, 根据第 4.1.1.2 款确定;

T_g ——特征周期 (s), 根据第 4.1.1.3 款确定;

T ——设备的自振周期 (s)。

特征周期值 (s)

表 4.1.1-2

场 地 类 别	近 震	远 震
I	0.20	0.25
II	0.30	0.40
III	0.40	0.55
IV	0.65	0.85

4.1.1.4 设备的地震影响系数, 应按下列公式进行修正:

$$\alpha_t = \zeta \alpha \quad (4.1.1-1)$$

$$\zeta = \mu + \nu T \quad (4.1.1-2)$$

式中 α_t ——阻尼比为 ξ 的设备的地震影响系数；

ξ ——阻尼修正系数；

μ 、 ν ——与 ξ 、 T 有关的变数，按表 4.1.1-3 采用；

ξ ——设备阻尼比。

μ 和 ν 值

表 4.1.1-3

ξ	T	μ	ν
0.01	$T \leq 0.11$	1.00	6.737
	$0.11 < T \leq 3.5$	1.757	-0.071
0.02	$T \leq 0.13$	1.00	2.330
	$0.13 < T \leq 3.5$	1.306	-0.027
0.03	$T \leq 0.13$	1.00	1.553
	$0.13 < T \leq 3.5$	1.204	-0.018
0.04	$T \leq 0.13$	1.00	0.777
	$0.13 < T \leq 3.5$	1.102	-0.009
0.05	$T \leq 3.5$	1.00	0.000
0.07	$T \leq 0.13$	1.00	-0.666
	$0.13 < T \leq 3.5$	0.913	0.003
0.10	$T \leq 0.13$	1.00	-1.665
	$0.13 < T \leq 3.5$	0.782	0.008

4.1.1.5 设备的阻尼比，可根据实测数据取值；无实测数据时，设备体系阻尼比可取 0.05。

4.1.2 凡符合本标准第 4.1.1 条的设备，其水平地震作用（图 4.1.2），应按下列公式计算。

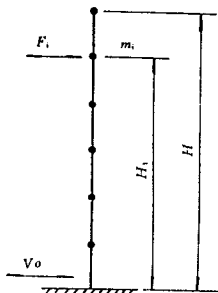


图 4.1.2 水平地震作用计算简图

4.1.2.1 设备的底部剪力

$$V_0 = C_s \alpha_s m'_e g \quad (4.1.2-1)$$

$$m'_e = \lambda_m \sum_{i=1}^n m_i \quad (4.1.2-2)$$

式中 V_0 ——设备的底部剪力 (N);

C_s ——综合影响系数, 按表 4.1.2-1 采用;

m'_e ——设备在操作状态下的等效总质量 (kg);

λ_m ——等效质量系数, 单质点体系取 1, 多质点体系取 0.85;

m_i ——集中在质点 i 的操作质量 (kg);

g ——重力加速度 (m/s^2), 取 9.81。

4.1.2.2 作用于质点 i 的水平地震作用:

$$F_i = \frac{m_i H_i^q}{\sum_{i=1}^n m_i H_i^q} V_0 \quad (4.1.2-3)$$

式中 F_i ——于质点 i 的水平地震作用 (N);

H_i ——质点 i 的计算高度 (m);

q ——与设备自振周期有关的指数, 按表 4.1.2-2 采用。

综合影响系数

表 4.1.2-1

设备及支承结构	C_i
电力变压器本体	0.7
变压器的悬臂式散热器	0.9
变压器的油枕	0.9
避雷器及少油断路器	0.75
三相垂直布置水泥电抗器	1.0
钢筋混凝土构架	0.35
钢构架	0.3

指数 q

表 4.1.2-2

设备基本自振周期 T_e (s)	<0.5	$0.5 \sim 2.5$	>2.5
q	1.0	$0.75 + 0.5 T_e$	2

4.1.3 设置在楼层 (包括构筑物) 上的设备, 其质量比 m_s/m_e 大于等于 2 时, 设备所在楼层的动力放大系数应按下列款项确定。

4.1.3.1 设备所在楼层的动力放大系数, 按图 4.1.3 采用;

4.1.3.2 修正后的楼层动力放大系数最大值, 应按下列式计算:

$$\beta_{\max} = \psi \tilde{\beta}_{\max} \quad (4.1.3-1)$$

式中 $\tilde{\beta}_{\max}$ ——修正前的楼层动力放大系数最大值，按表 4.1.3-1 采用；

ψ ——反馈影响系数，按表 4.1.3-2 采用。

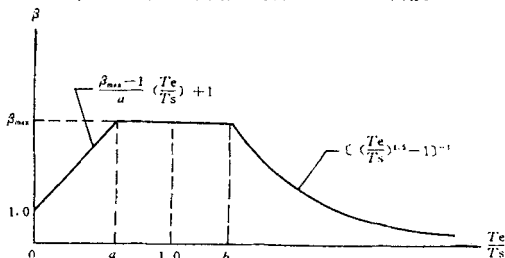


图 4.1.3 楼层动力放大系数曲线

注：β——楼层动力大系数；

$\beta_{\max}$ ——修正后的楼层动力放大系数最大值，根据第 4.1.3.2 款确定；

T_e ——设备的自振周期 (s)，确定其值时，将支承设备建 (构) 筑物视为设备的刚性基础；

T_s ——建 (构) 筑物的自振周期 (s)，确定其值时，所用质量包括楼层上设备等附属物的质量，无条件取得精确值时，可按第 4.1.3.4 款计算；

a 、 b ——分别为类共振区的左右边界，其值根据第 4.1.3.3 款确定。

$\tilde{\beta}_{\max}$ 值

(4.1.3-1)

阻尼比 ξ	0.1	0.07	0.05	0.02	0.01	0.005
$\tilde{\beta}_{\max}$	3.5	4.6	5.5	8.5	10.5	12.5

注：中间值用线性内插法求取。

反馈影响系数 ψ

表 4.1.3-2

$\frac{m_s}{m_c}$	ξ				
	0.1	0.07	0.05	0.02	0.01
2	0.5	0.42	0.37	0.29	0.28
10	0.68	0.58	0.51	0.38	0.35
50	0.87	0.81	0.76	0.67	0.62
100	0.93	0.91	0.90	0.8	0.8
≥ 500	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

注：中间值可用线性内插法求取。

4.1.3.3 类共振区的左、右边界，应按下列公式确定：

$$a = \left(1 - \frac{1}{\beta_{\max} - 0.3} \right)^{1/1.5} \quad (4.1.3-2)$$

$$b = \left(1 + \frac{1}{\beta_{\max}} \right)^{1/1.5} \quad (4.1.3-3)$$

4.1.3.4 建（构）筑物的基本自振周期，无条件取得精确值时，可按下列规定计算：

(1) 钢构架的基本自振周期：

$$T_s = 0.03H, \quad (4.1.3-4)$$

式中 H_s ——建（构）筑物的高度（m）。

(2) 钢筋混凝土构架的基本自振周期：

$$T_s = 0.02H, \quad (4.1.3-5)$$

4.1.4 楼层上设备的水平地震作用，应按下列规定计算：

4.1.4.1 支承设备的多层建(构)筑物的计算模型可简化为图 4.1.2, 其中 m_i 为第 i 层的质量(包括该楼层上的设备质量), H_i 为第 i 层楼层至地面的高度;

4.1.4.2 第 i 层楼层的水平地震作用, 应按第 4.1.2 条计算;

4.1.4.3 第 i 层楼层的等效加速度系数:

$$\tilde{\alpha}_{si} = \frac{F_i}{m_i g} \quad (4.1.4-1)$$

式中 $\tilde{\alpha}_{si}$ ——第 i 层楼层的等效加速度系数;

F_i ——第 i 层楼层的水平地震作用 (N)。

4.1.4.4 第 i 层楼层上的设备的地震影响系数:

$$\alpha_{si} = \beta \tilde{\alpha}_{si} \quad (4.1.4-2)$$

式中 α_{si} ——第 i 层楼层上的设备的地震影响系数。

4.1.4.5 楼层上的设备地震作用的修正系数:

$$C_{si} = \frac{2 C_{se}}{C_{se} + C_{se}} \quad (4.1.4-3)$$

式中 C_{si} ——楼层上设备地震作用的修正系数;

C_{se} ——建(构)筑物的综合影响系数, 按表 4.1.2-1 的 C_e 采用;

C_{se} ——楼层上设备的综合影响系数, 按表 4.1.2-1 的 C_e 采用。

4.1.4.6 第 i 层楼层上的设备的水平地震作用:

$$F_{Hsi} = C_{si} \alpha_{si} m_i g \quad (4.1.4-4)$$

式中 F_{Hsi} ——第 i 层楼层上的设备的水平地震作用 (N), 其值不得小于该设备按建在地面上时所计算得的数值。

4.2 电力变压器

4.2.1 电力变压器的地脚螺栓抗震验算，应符合下列规定：

4.2.1.1 安装在地面上的电力变压器本体的水平地震作用，应按 4.1.2 条确定，其中地震影响系数按表 4.1.1-1 取最大值，质量取变压器的总质量（包括：本体、油、油枕、散热器和绝缘套管）；

4.2.1.2 设置在楼层上的电力变压器本体的水平地震作用，应按 4.1.3 条确定，其中变压器自振周期取 0.1s；

4.2.1.3 地脚螺栓上产生的应力，应按下列公式计算：

① 拉应力

当设防烈度为 7 度时：

$$\sigma_0 = \frac{2F_H H_v - m_{eq} l_b}{n A_b l_b} \quad (4.2.1-1)$$

当设防烈度大于 7 度时：

$$\sigma_0 = \frac{0.5F_H}{n A_b} + \frac{2F_H H_v - m_{eq} l_b}{n A_b l_b} \quad (4.2.1-2)$$

式中 σ_0 ——在地脚螺栓上产生的拉应力 (Pa)；

F_H ——变压器本体的水平地震作用 (N)；

n ——地脚螺栓个数；

A_b ——每个地脚螺栓的有效截面积 (m²)；

l_b ——地脚螺栓的最小间距 (m)；

H_v ——变压器本体高度二分之一处至基础面的距离 (m)；

m_{eq} ——设备的总质量（包括变压器的本体、油枕、散

热器、绝缘套管等) (kg)。

② 剪应力

当设防烈度为 7 度时:

$$\tau_0 = \frac{F_H - 0.3m_{eq}}{n A_b} \quad (4.2.1-3)$$

当设防烈度大于 7 度时:

$$\tau_0 = \frac{F_H - 0.3(m_{eq} - 0.5F_H)}{n A_b} \quad (4.2.1-4)$$

式中 τ_0 ——在地脚螺栓上产生的剪应力 (Pa)。

4.2.1.3 电力变压器的地脚螺栓抗震验算,应满足下列公式要求:

$$\sigma_0 \leq [\sigma]_d \quad (4.2.1-5)$$

$$\tau_0 \leq [\tau]_d \quad (4.2.1-6)$$

式中 $[\sigma]_d$ ——地脚螺栓拉伸许用应力 (Pa),对低碳钢取 180×10^6 ;

$[\tau]_d$ ——地脚螺栓许用剪应力 (Pa),对低碳钢取 150×10^6 。

4.2.2 变压器悬臂式散热器抗震验算,应按下列公式计算:

4.2.2.1 散热器的水平地震作用:

$$F_t = C_x \alpha_{\max} m_t g \quad (4.2.2-1)$$

式中 F_t ——散热器的水平地震作用 (N);

C_x ——综合影响系数,取 0.9;

m_t ——散热器的质量 (kg)。

4.2.2.2 散热器与变压器本体连接钢管当设防烈度不小于 7 度时,在水平地震作用下的弯曲应力:

$$\sigma_1 = \frac{F_t l D}{2nI} \quad (4.2.2-2)$$

式中 σ_1 ——散热器与变压器本体连接钢管在水平地震作用下的弯曲应力, (Pa);

l ——散热器中心至变压器本体边缘的间距 (m), 如图 4.2.1 所示;

D ——散热器与变压器连接管的外径 (m);

n ——散热器与变压器本体连接管的根数;

I ——一根连接钢管的截面惯性矩 (m^4)。

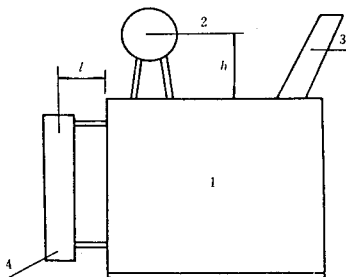


图 4.2.1 变压器简图

1. 变压器本体; 2. 油枕; 3. 绝缘套管; 4. 散热器

4.2.2.3 散热器与变压器本体连接钢管当设防烈度不小于 7 度时, 在水平地震作用下的剪应力:

$$\tau_1 = \frac{F_1}{nA} \quad (4.2.2-3)$$

式中 τ_1 ——散热器与变压器本体连接钢管在水平地震作用下的剪应力 (Pa);

A ——一根连接钢管的截面积 (m^2)。

4.2.2.4 散热器与变压器本体连接钢管在设防烈度大于 7 度时，在竖向地震作用下的弯曲应力：

$$\sigma_2 = \frac{(0.5F_1 + m_1g)lD}{2nI} \quad (4.2.2-4)$$

式中 σ_2 ——散热器与变压器本体连接钢管在竖向地震作用下的弯曲应力 (Pa)。

4.2.2.5 散热器与变压器本体连接钢管当设防烈度大于 7 度时，在竖向地震作用下的剪应力：

$$\tau_2 = \frac{0.5F_1 + m_1g}{nA} \quad (4.2.2-5)$$

式中 τ_2 ——散热器与变压器本体连接钢管在竖向地震作用下的剪应力 (Pa)；

4.2.2.6 散热器与变压器连接钢管的组合应力：

$$\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + 3\tau_0^2} \quad (4.2.2-6)$$

式中 σ ——连接钢管的组合应力 (Pa)；

σ_0 ——取 σ_1 与 σ_2 的较大值 (Pa)；

τ ——取 τ_1 与 τ_2 的较大值 (Pa)。

4.2.2.7 散热器与变压器本体连接钢管的抗震验算，应满足下式要求：

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (4.2.2-7)$$

式中 $[\sigma]$ ——散热器与变压器本体连接钢管的许用应力 (Pa)；对于 10 号钢取 171×10^6 ；20 号钢取 202×10^6 。

4.2.3 变压器油枕抗震验算，应按下列公式计算：

4.2.3.1 变压器油枕的水平地震作用：

$$F_e = C_e \alpha_{\max} m_0 g \quad (4.2.3-1)$$

式中 F_e ——变压器油枕的水平地震作用 (N)；

m_o ——变压器油枕的质量 (kg);

g ——重力加速度 (m/s^2), 取 9.81;

C_s ——综合影响系数, 取 0.9。

4.2.3.2 变压器油枕在水平地震作用下的弯曲应力:

$$\sigma_1 = \frac{F_o h}{2Z_1} \quad (4.2.3-2)$$

式中 σ_1 ——变压器油枕在水平地震作用下的弯曲应力 (Pa);

h ——油枕二分之一处至变压器与油枕支腿连接处的距离 (m), 如图 4.2.1 所示;

Z_1 ——油枕一个支腿沿油枕纵向的截面矩 (m^3)。

4.2.3.3 变压器油枕在水平地震作用下的剪应力:

$$\tau_1 = \frac{F_o}{2A} \quad (4.2.3-3)$$

式中 τ_1 ——变压器油枕在水平地震作用下的剪应力 (Pa);

A ——油枕一个支腿的截面积 (m^2)。

4.2.3.4 变压器油枕的压应力:

当设防烈度为 7 度时:

$$\sigma_2 = \frac{m_o g}{2A} \quad (4.2.3-4)$$

当设防烈度大于 7 度时:

$$\sigma_2 = \frac{0.5F_o + m_o g}{2A} \quad (4.2.3-5)$$

式中 σ_2 ——变压器油枕的压应力 (Pa)。

4.2.3.5 变压器油枕支腿的组合应力, 按公式 (4.2.2-6) 计算, 式中 σ_o 取 σ_1 与 σ_2 之和;

4.2.3.6 变压器油枕支腿的抗震验算, 应满足下式要求:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (4.2.3-6)$$

式中 $[\sigma]$ ——变压器油枕支腿的许用应力 (Pa); 对于低碳钢取 135×10^6 。

4.3 三相垂直布置水泥电抗器

4.3.1 三相垂直布置水泥电抗器 (以下简称电抗器) 抗震加固后, 可简化为图 4.3.1 所示的计算模型, 各质点质量分别取各相电抗器质量与 1/3 环氧玻璃钢质量的和。

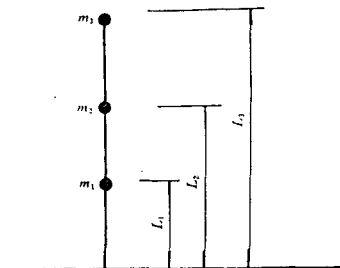


图 4.3.1 电抗器简化计算模型

4.3.2 电抗器的基本周期, 应按下列公式计算:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m'}{K}} \quad (4.3.2-1)$$

$$m' = \left(\frac{l_1}{l_3}\right)^2 m_1 + \left(\frac{l_2}{l_3}\right)^2 m_2 + m_3 \quad (4.3.2-2)$$

$$K = \frac{3EI_n}{l_3^3} \quad (4.3.2-3)$$

式中 m' ——电抗器顶部等效质量 (kg);
 K ——环氧玻璃钢构架的水平刚度 (N/m);
 E ——环氧玻璃钢柱材料的弹性模量 (Pa);
 I ——单根环氧玻璃钢柱的截面惯性矩 (m⁴);
 n ——环氧玻璃钢柱的数目;
 l_1 、 l_2 、 l_3 ——分别为各相电抗器质心距地面高度 (m);
 m_1 、 m_2 、 m_3 ——分别为各质点的质量 (kg)。

4.3.3 电抗器各质点水平地震作用, 应按下列式计算:

$$F_i = C_s \alpha \gamma X_i m_i g \quad (4.3.3-1)$$

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^3 X_i m_i}{\sum_{i=1}^3 X_i^2 m_i} \quad (4.3.3-2)$$

$$X_i = \frac{l_i}{l_3} \quad (4.3.3-3)$$

式中 F_i ——第 i 质点水平地震作用 (N);
 C_s ——综合影响系数, 取 1.0;
 α ——对应于电抗器基本自振周期的地震影响系数, 按本标准 4.1 节选取;
 m_i ——第 i 质点的质量 (kg);
 γ ——振型参与系数;
 X_i ——第一振型时质点 i 处的相对水平位移。

4.3.4 环氧玻璃钢柱底部弯矩, 应按下列式计算:

$$M = \sum_{i=1}^3 F_i l_i \quad (4.3.4)$$

式中 M ——环氧玻璃钢柱底部弯矩 (N·m)。

4.3.5 环氧玻璃钢柱底部强度验算, 应满足下列公式要求:

$$\sigma = \frac{M}{nW} \quad (4.3.5-1)$$

$$[\sigma] = \frac{1.25\sigma_h}{n_b} \quad (4.3.5-2)$$

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (4.3.5-3)$$

式中 σ ——环氧玻璃钢柱底部拉应力 (Pa);

W ——环玻璃钢柱的断面模量 (m^3);

$[\sigma]$ ——环氧玻璃钢许用拉应力 (Pa);

σ_h ——环氧玻璃钢许用拉应力 (Pa);

n_b ——环氧玻璃钢拉伸强度安全系数, 一般取 4。

4.3.6 埋地组合钢管强度验算, 应满足下列公式要求:

$$\sigma_0 = \frac{M}{nW'} \quad (4.3.6-1)$$

$$\sigma_0 \leq [\sigma] \quad (4.3.6-2)$$

式中 σ_0 ——钢管底部应力 (Pa);

W' ——钢管计算截面抗弯模量 (m^3);

$[\sigma]$ ——钢管许用应力 (Pa), 可取常温下许用应力的 1.25 倍, 对于 20[#] 钢管取 133×10^6 。

4.3.7 组合钢管的连接螺栓强度, 应满足下列公式要求:

$$\sigma_1 = \frac{4M_1}{n_1 D_1 A_1} \quad (4.3.7-1)$$

$$\tau = \frac{F_L}{n_1 A_1} \quad (4.3.7-2)$$

$$F_L = \sum \frac{F_i}{n} \quad (4.3.7-3)$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2} \quad (4.3.7-4)$$

$$\sigma_s \leq [\sigma'] \quad (4.3.7-5)$$

式中 σ_1 ——每根螺栓所受的最大拉应力 (Pa);

M_1 ——一根钢管所受的地震弯矩 ($N \cdot m$);

n_1 ——一根钢管的螺栓数目。

D_1 ——螺栓中心圆直径 (m);

A_1 ——单根螺栓的有效截面积 (m^2);

τ ——每根螺栓所受的最大剪应力 (Pa);

F_L ——单根钢管底部所受的水平地震作用 (N);

σ_s ——连接螺栓的组合应力 (Pa);

$[\sigma']$ ——连接螺栓的许用应力 (Pa), 对低碳钢取 180×10^6 。

4.4 少油断路器、避雷器

4.4.1 少油断路器和避雷器, 应对下列部位进行抗震验算:

(1) 少油断路器或避雷器的根部瓷件;

(2) 有绝缘拉杆的避雷器在绝缘拉杆上面一节瓷件的根部。

4.4.2 安装在地面上的少油断路器及避雷器的自振周期, 应按下列公式计算:

4.4.2.1 少油断路器及无绝缘拉杆的避雷器的基本周期:

$$T = 1.787 \sqrt{\frac{mH^3}{EI\beta}} \quad (4.4.2-1)$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad (4.4.2-2)$$

式中 T ——设备的基本周期 (s);

m ——设备的总质量, 包括所有装置及油的质量 (kg);

H ——设备的总高 (m);

E ——瓷件材料的弹性模量 (Pa), 一般可取 75×10^9 ;

β ——考虑节点等因素的刚度折减系数, 对少油断路器取 0.2; 对避雷器, 取 0.22;

I ——瓷件根部的惯性矩 (m^4);

D 、 d ——分别为瓷瓶的外径与内径 (m);

4.4.2.2 有绝缘拉杆避雷器的基本周期:

$$T = 1.835 \sqrt{\frac{mH^3}{EI}} \quad (4.4.2-3)$$

4.4.3 安装在地面上的少油断路器及避雷器的地震作用和地震弯矩, 应按下列公式计算。

4.4.3.1 无绝缘拉杆的避雷器及少油断路器的地震作用及计算截面的弯矩:

$$F = C_a m g \quad (4.4.3-1)$$

$$M = F \left(\frac{2}{3} H - h \right) \quad (4.4.3-2)$$

式中 F ——无绝缘拉杆的避雷器及少油断路器所受地震作用 (N);

M ——计算断面的弯矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$);

C_a ——综合影响系数, 按表 4.1.2-1 选取;

α ——地震影响系数, 按第 4.1.1 条确定;

g ——重力加速度 (m/s^2), 取 9.81;

h ——计算断面距离设备根部的高度 (m)。

4.4.3.2 有绝缘拉杆避雷器的地震作用和计算截面的弯矩:

(1) 有绝缘拉杆避雷器的地震作用:

$$F = C_a \alpha m g \quad (4.4.3-3)$$

(2) 拉杆与避雷器连接部位的弯矩:

$$M = F(0.88H - h) \quad (4.4.3-4)$$

$$\left(h \geq \frac{5}{8}H \right)$$

(3) 拉杆与避雷器连接部位以下的弯矩:

$$M = F(0.612h - 0.1275H) \quad (4.4.3-5)$$

$$\left(\frac{5}{8}H > h \geq 0 \right)$$

4.4.4 安装在支座上的少油断路器、避雷器的基本周期, 应按下列公式计算

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m'}{K}} \quad (4.4.4-1)$$

$$K = \frac{\beta_1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3}} \quad (5.4.4-2)$$

$$K_1 = \frac{3E_1 I_1}{H_1^3} \quad (5.4.4-3)$$

$$K_2 = \frac{24E_1 I_2}{H_2^3} \quad (5.4.4-4)$$

$$K_3 = \frac{4E_1 I_1}{H_1 H_2 (2H_1 + H_2)} \quad (5.4.4-5)$$

式中 m' ——体系的等效质量 (kg), 取设备的总质量 (包括所有装置和油的质量) 和支座质量的 1/3;

K ——体系的水平刚度 (N/m);

β_1 ——考虑节点等因素的刚度折减系数, 对于少油断路器, 取 0.19; 避雷器, 取 0.22;

E_1 ——支座材料弹性模量 (Pa);

I_1 、 I_2 ——支座截面、瓷件截面的惯性矩 (m^4);

H_1 、 H_2 ——支座高度 (算到杯口)、设备高度 (m)。

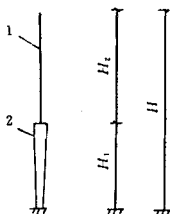


图 4.4.4 安装在支座上的设备计算示意

1. 设备; 2. 支座

4.4.5 安装在支座上的少油断路器及避雷器计算截面上的弯矩, 应按下式计算:

$$M = C_x \alpha m' g \left(H_1 + \frac{H_2}{2} - h \right) \quad (4.4.5)$$

4.4.6 少油断路器及避雷器的抗震验算, 应满足下式要求:

$$\sigma = \frac{[K]M}{W} \leq [\sigma] \quad (4.4.6-1)$$

$$W = \frac{\pi}{32D}(D^4 - d^4)$$

式中 σ ——设备计算断面的应力 (Pa);

W ——计算断面的截面模量 (m^3);

D 、 d ——分别为瓷瓶的外径与内径 (m);

$[\sigma]$ ——验算部位材料的许用应力 (Pa), 对瓷件材料取 11.2×10^6 , 对 250[#]混凝土支座, 取 18×10^6 ;

$[K]$ ——不均衡系数, 一般取 1.5。

附录 A 三相垂直布置水泥 电抗器抗震加固

A.1 构造要求

A.1.1 选用的钢管其内径应与环氧玻璃钢管外径相近，套在环氧玻璃钢管的下部，其环氧玻璃钢管的下端应与地平线在一个平面上。用 3~4 个 M16 螺栓连接，螺栓间距取 3~10 倍螺栓孔径，埋地深度应大于 0.3m，加固安装后，加固柱下部钢管埋入基础部分浇灌混凝土（图 A.1.1）。所有的钢管应有良好的接地。

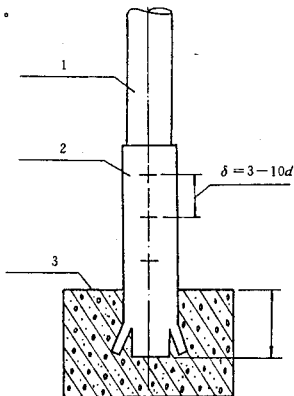


图 A.1.1 埋地钢管示意

1. 环氧玻璃钢管；2. 埋地组合钢管；3. 混凝土基础

A.1.2 环氧玻璃钢管、环向紧固钢带与垫板之间,应用 M16 (或 M12) 螺栓将三者连接一体 (图 A.1.2)。垫板应采用酚醛树脂层压板, 或用硬木浸变压器油并刷防潮涂料。

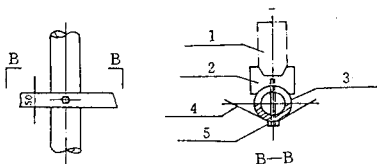


图 A.1.2 环氧玻璃钢管、环向紧固钢带与垫板连接示意
1. 电抗器水泥柱; 2. 酚醛树脂层压板; 3. 环氧玻璃钢管;
4. 环向紧固钢带; 5. 固定螺栓

A.1.3 电抗器座落在混凝土楼板上时, 组合钢管应焊接在底板上; 底板与楼板应用 4 个 M20 的螺栓牢固连接, 并采用双螺母或弹簧垫圈 (图 A.1.3)。

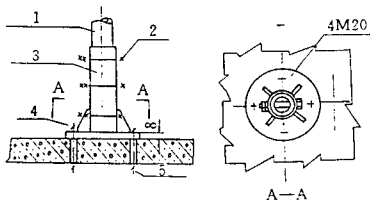


图 A.1.3 组合钢管与楼板连接示意
1. 加固环氧玻璃钢管; 2. 螺栓; 3. 加固组合钢管;
4. 筋板; 5. 连接螺栓

A. 1. 4 环向紧固钢带连接如图 A. 1. 4 所示。环向紧固钢带宜选 50mm×5mm 低碳钢带或奥氏体不锈钢带。钢带可分为两段或三段用 M16 螺栓连接环形，钢带必须接直，并把紧，使水泥电抗器与加固构架形成一个整体。钢带要布置在各相电抗器的质心处，顶部一相应在质心附近对称布置两圈环向紧固钢带。

A. 1. 5 每根环向紧固钢带必须断开足够距离 (4~10mm)，并采用环氧玻璃钢隔板连接 (图 A. 1. 5)。

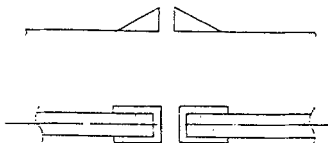


图 A. 1. 4 环向紧固钢带连接示意

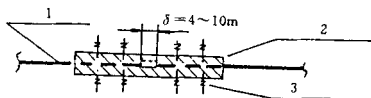


图 A. 1. 5 环向紧固钢带连接

1. 环向紧固钢带；2. 环氧玻璃钢隔板；3. 连接螺栓

A. 2 施工细则

A. 2. 1 在确定加固方案时，应根据电抗器的型号和基础选择环氧玻璃钢管的长度、根数。

A. 2. 1. 1 环氧玻璃钢管长度，应按本标准第 3. 2. 2 条确定。

A. 2. 1. 2 环氧玻璃钢管截面，宜选外径为 0. 11m，内径为 0. 09m (0. 08m)；

A. 2. 1. 3 环氧玻璃钢管根数，应为水泥电抗器水泥柱根数的 1/2；

A. 2. 1. 4 垫板（垫块）厚度一般为 50mm，宽度为 170mm，垫板数量取 4 倍的环氧玻璃钢管根数，长度可根据现场实际情况确定，材料应选用酚醛树脂层压板刷绝缘漆；或硬木浸变压器油，并刷防潮涂料。

A. 2. 1. 5 环氧玻璃钢隔板尺寸应根据现场实际情况配制，数量取垫板数。

A. 2. 2 电抗器加固安装工艺应按下列原则确定：

A. 2. 2. 1 加固材料到厂后，复核尺寸、数量和制造厂的质量保证书，并要求每台抽不少于一根环氧玻璃钢管作耐压试验，合格后方能使用；

A. 2. 2. 2 安装环氧玻璃钢管时，应注意避开连接母线；

A. 2. 2. 3 安装前的准备工作：

① 制作环向紧固钢带：钢带截面尺寸，一般采用 50mm×5mm 的扁钢。连接螺栓折角处应用 45°角斜撑，以免拉直。环向紧固钢带应有绝缘措施，即断开 4~10mm 间隙，以防止产生环流；

② 制作埋地组合钢管，且组装在环氧玻璃钢管上；

③ 将组装的环氧玻璃钢管放在基础坑内，试装钢带、垫板（垫块）。钢带上、下挡块，当电抗器三相水泥柱可能不

在一条垂线上时，应调整垫板（垫块），可沿管的外圆转动任意角度，直至合适为止；

④ 按试装划线的位置，用环氧树脂作粘合剂，将垫板（垫块）、钢带上、下挡块，粘到环氧玻璃钢管上，组合钢管螺母应在外侧，便于拆装，自然干燥 24 小时后，表面应刷绝缘漆；

A. 2. 2. 4 按预装确定的位置，正式在电抗器上组装加固件，紧固钢带刷防锈漆；

A. 2. 2. 5 对电抗器整体应进行一次常规工频交流耐压试验，试验标准同加固前电抗器试验标准。

A. 2. 3 耐压试验合格后，电抗器投入运行，并测量和监视各部位温度，做好记录。

A. 3 现场安装 NKL 型铝电缆水泥 电抗器技术数据

A. 3. 1 现场安装 NKL 型铝电缆水泥电抗器技术数据应符合表 A. 3. 1。

A. 4 三相垂直布置 NKL 型铝电缆水泥电抗 器抗震加固环氧玻璃钢空心圆柱系列表

A. 4. 1 三相垂直布置 NKL 型铝电缆水泥电抗器抗震加固环氧玻璃钢空心圆柱（外径 110mm，内径 90mm）系列见表 A. 4. 1。

现场安装 NKL 型铝电缆水泥电抗器技术数据

表 A. 3. 1

型 号	额定电流 (A)	额定电压 (kV)	通过 容量 (KVA)	无功 容量 (KVAR)	额定电 抗 (%)	一相中 75℃ 时损耗 (W)	稳 定 性			每相 重量 (kg)	外 型 尺 寸 (mm)				单相 瓷座 数量 (件)
							动稳定	1 秒 热稳定	A		外径	单 相 高 度	瓷座 中心 直径	当三相为 水平排列 时的相间最 小中心距	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	10	11	12	13	14	15
NKL-6-150-4	150	6	3×520	20.8	4	1360	9560	9340		460	1085	815	720	1400	8
NKL-6-150-5	150	6	3×520	26.0	5	1550	7650	9540		465	1105	905	810	1400	8
NKL-6-150-6	150	6	3×520	31.2	6	1800	6400	9330		525	1105	995	810	1400	8
NKL-6-150-8	150	6	3×520	41.6	8	2230	4785	9280		650	1085	1085	720	1400	8
NKL-6-150-10	150	6	3×520	52.0	10	2500	3825	9250		665	1175	1085	810	1400	8
NKL-6-200-3	200	6	3×694	20.8	3	1510	13000	11450		355	1105	725	810	1600	8
NKL-6-200-4	200	6	3×694	27.8	4	1740	12750	9900		400	1085	725	720	1400	8
NKL-6-200-5	200	6	3×694	34.7	5	2050	10200	9900		415	1105	815	810	1400	8
NKL-6-200-6	200	6	3×694	41.6	6	2350	8500	9880		527	1085	905	720	1400	8
NKL-6-200-8	200	6	3×694	55.5	8	2880	6500	9850		530	1105	995	810	1250	8
NKL-6-200-10	200	6	3×694	69.4	10	3340	5100	9800		585	1105	1085	810	1250	8
NKL-6-300-3	300	6	3×1040	31.2	3	1500	19500	17600		380	945	725	720	1600	10
NKL-6-300-4	300	6	3×1040	41.6	4	2340	19100	12800		435	945	815	720	1550	10
NKL-6-300-5	300	6	3×1040	52.0	5	2580	15300	12650		405	1085	725	720	1550	8
NKL-6-300-6	300	6	3×1040	62.5	6	2910	12800	12700		410	1085	725	720	1550	8
NKL-6-300-8	300	6	3×1040	83.2	8	3620	9560	12700		480	1085	815	720	1550	8
NKL-6-300-10	300	6	3×1040	104.0	10	4140	7650	12700		490	1105	905	810	1550	8
NKL-6-400-3	400	6	3×1385	41.6	3	2170	26000	21250		570	1059	995	810	1900	10
NKL-6-400-4	400	6	3×1385	55.4	4	2900	25500	19500		640	1105	995	810	1800	10
NKL-6-400-5	400	6	3×1385	59.2	5	3080	20400	19500		659	1085	1085	720	1800	8
NKL-6-400-6	400	6	3×1385	82.9	6	3330	17000	15700		377	1105	725	810	1600	8
NKL-6-400-8	400	6	3×1385	111.0	8	4050	12750	15500		426	1085	725	720	1500	8
NKL-6-400-10	400	6	3×1385	138.7	10	4760	10200	15500		480	1105	815	810	1500	8
NKL-6-500-3	500	6	3×1730	52.0	3	2480	32500	27100		570	1015	905	720	1750	10
NKL-6-500-4	500	6	3×1730	69.2	4	2860	31900	27000		588	1105	905	810	1750	10

表 A.3.1 续 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NKL-6-500-5	500	6	3×1730	86.5	5	3290	25500	26600	645	1105	935	810	1750	10
NKL-6-500-6	500	6	3×1730	104.0	6	3890	21250	22500	719	1085	1259	720	1650	8
NKL-6-500-8	500	6	3×1730	138.5	8	5700	15900	20800	740	1085	1175	720	1600	8
NKL-6-500-10	500	6	3×1750	178.5	10	6270	12750	20800	980	1281	1085	810	1550	10
NKL-6-600-4	600	6	3×2080	83.0	4	2810	38800	35300	670	1167	905	810	1700	10
NKL-6-600-5	600	6	3×2080	104.0	5	4240	30600	28900	630	1015	995	720	1600	10
NKL-6-600-6	600	6	3×2080	124.2	6	4850	25500	25000	542	1105	995	810	1600	8
NKL-6-600-8	600	6	3×2080	166.0	8	5775	19100	24800	625	1175	995	810	1600	8
NKL-6-600-10	600	6	3×2080	208.0	10	6800	15300	24900	715	1175	1035	810	1500	8
NKL-6-750-5	750	6	3×2500	150.0	5	4210	38200	30000	550	1105	905	810	1650	12
NKL-6-750-6	750	6	3×2500	156.0	6	5150	31900	31500	500	1040	905	675	1500	8
NKL-6-750-8	750	6	3×2600	208.5	8	6030	23900	31500	620	1160	905	795	1600	10
NKL-6-750-10	750	6	3×2500	260.0	10	6770	19100	31600	735	1265	905	900	1600	12
NKL-6-1000-5	1000	6	3×3460	173.3	5	5210	51000	38400	740	1260	855	900	2000	12
NKL-6-1000-6	1000	6	3×3460	208.0	6	5400	42500	41000	640	1280	855	880	1800	10
NKL-6-1000-8	1000	6	3×3460	278.0	8	6450	31500	41500	930	1460	925	1060	1800	12
NKL-6-1000-10	1000	6	3×3460	346.0	10	7420	25500	41000	380	1370	860	970	1600	12
NKL-6-1500-6	1500	6	3×5200	312.0	6	8100	63700	57800	1130	1500	1045	1100	2300	12
NKL-6-1500-8	1500	6	3×5200	415.0	8	9780	48700	63700	980	1475	1035	1110	2000	12
NKL-6-1500-10	1500	6	3×5200	520.0	10	11400	38200	62300	1080	1485	1125	1120	1900	12
NKL-6-2000-6	2000	6	3×6940	415.0	6	8840	85000	79800	1100	1560	1045	1120	2300	12
NKL-6-2000-8	2000	6	3×6940	555.0	8	10860	63750	78200	1180	1560	1045	1180	2300	12
NKL-6-2000-10	2000	6	3×6940	634.0	10	12520	51000	76000	1150	1540	1035	1100	2000	12
NKL-6-3000-10	3000	6	3×10400	1040.0	10				1185	1680	1830		2500	
NKL-10-150-3	150	10	3×866	26.0	3	1550	9750	9200	475	1175	845	810	1450	8
NKL-10-150-4	150	10	3×866	34.5	4	1860	9560	9300	540	1175	935	810	1450	8
NKL-10-150-5	150	10	3×866	43.3	5	2240	7650	9250	660	1085	1115	720	1450	8
NKL-10-150-6	150	10	3×866	52.0	6	2500	6375	9280	670	1175	1115	810	1620	8
NKL-10-150-8	150	10	3×866	69.2	8	2980	4780	9220	810	1281	1115	810	1690	8
NKL-10-200-3	200	10	3×1156	34.7	3	2900	13000	9800	482	1085	845	720	1500	8
NKL-10-200-4	200	10	3×1156	46.3	4	2435	12750	9870	580	1175	845	810	1500	10
NKL-10-200-5	200	10	3×1156	57.8	5	2910	10200	9859	535	1105	1025	810	1500	8
NKL-10-200-6	200	10	3×1156	69.4	6	3340	8500	9800	590	1105	1115	810	1550	8
NKL-10-200-8	200	10	3×1156	92.4	8	3990	6375	9800	680	1175	1115	810	1550	8

表 A. 3. 1 续 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NKL-10-200-10	200	10	3×1156	115.5	3	4900	5100	9550	940	1191	1295	720	1600	8
NKL-10-300-3	300	10	3×1734	52.0	10	2015	19500	17450	505	1095	755	810	1500	10
NKL-10-300-4	300	10	3×1734	69.2	4	2540	19100	17150	580	1015	935	720	1500	10
NKL-10-300-5	300	10	3×1734	86.5	5	3680	15300	12600	580	1085	845	720	1500	10
NKL-10-300-6	300	10	3×1734	103.8	6	4070	12750	12650	495	1175	845	810	1500	8
NKL-10-300-8	300	10	3×1734	138.4	8	5000	9550	12600	565	1175	935	810	1550	8
NKL-10-300-10	300	10	3×1734	173.5	10	6000	7650	12200	685	1085	1115	720	1550	8
NKL-10-400-3	400	10	3×2310	69.4	3	3060	26000	22260	800	1085	1115	720	1500	10
NKL-10-400-4	400	10	3×2310	92.4	4	3625	25500	22200	818	1175	1115	810	1700	10
NKL-10-400-5	400	10	3×2310	115.4	5	4180	20400	22000	988	1281	1115	810	1700	10
NKL-10-400-6	400	10	3×2310	138.7	6	4780	17000	15500	445	1105	815	810	1550	8
NKL-10-400-8	400	10	3×2310	185.0	8	5780	12750	15500	513	1105	935	810	1550	8
NKL-10-400-10	400	10	3×2310	231.0	10	6800	10200	15300	574	1105	1025	810	1500	8
NKL-10-500-3	500	10	3×2890	86.5	3	3290	23500	27000	655	1105	1025	810	1700	10
NKL-10-500-4	500	10	3×2890	115.6	4	4000	31900	27000	750	1175	1025	810	1700	10
NKL-10-500-5	500	10	3×2890	144.5	5	5640	4000	21000	815	1175	1115	810	1700	10
NKL-10-500-6	500	10	3×2890	173.0	6	6290	5640	20600	930	1281	1115	810	1700	10
NKL-10-500-8	500	10	3×2890	231.0	8	7580	15900	20500	1085	1281	1205	810	1700	10
NKL-10-600-4	600	10	3×2470	138.5	4	4130	38250	34000	745	1085	1205	720	1700	10
NKL-10-600-5	600	10	3×2470	173.5	5	5870	30600	23600	755	1175	1025	810	1860	10
NKL-10-600-6	600	10	3×2470	208.0	6	6800	22500	24700	850	1175	1115	810	1600	10
NKL-10-600-8	600	10	3×2470	277.0	8	8160	19100	24800	860	1281	1115	810	1700	8
NKL-10-600-10	600	10	3×2470	346.0	10	9770	15300	24400	920	1281	1205	810	1700	8
NKL-10-750-5	750	10	3×4340	216.5	5	6180	38200	32100	730	1255	1025	960	1850	14
NKL-10-750-6	750	10	3×4340	250.0	6	6770	31900	31600	740	1265	935	900	1800	12
NKL-10-750-8	750	10	3×4340	347.0	8	8100	23900	31600	860	1465	935	1085	1900	14
NKL-10-750-10	750	10	3×4340	432.0	10	9870	19150	30300	955	1325	1115	915	1900	12
NKL-10-1000-6	1000	10	3×5780	346.0	6	7540	42500	41000	880	1420	1045	1100	1900	12
NKL-10-1000-8	1000	10	3×5780	462.0	8	9960	31900	37100	1090	1400	1035	1000	1800	12
NKL-10-1000-10	1000	10	3×5780	578.0	10	11250	25500	38500	1130	1530	1035	1130	1850	12
NKL-10-1500-6	1500	10	3×8660	520.0	6	11400	63750	62300	1270	1485	1325	1120	2300	12
NKL-10-1500-8	1500	10	3×8660	693.0	8	14200	47800	59800	1480	1500	1305	1100	2100	12
NKL-10-1500-10	1500	10	3×8660	866.0	10	16100	38200	56400	1900	1650	1305	1250	2100	16
NKL-10-2000-8	2000	10	3×11550	923.0	8	15450	63750	56800	1340	1600	1130	1150	2300	12
NKL-10-2000-10	2000	10	3×11560	1156.0	10	17850	51000	71200	1490	1620	1215	1180	2300	12

三相垂直布置 NKL 型铝电缆水泥电抗器抗震加固
环氧玻璃钢空心圆柱（外径 110mm，内径 90mm）系列

表 A. 4. 1

型 号	额定 电流 (A)	额定 电压 (kV)	额定 电抗 %	外径 (mm)	单相 高度 (mm)	水泥 柱数 (个)	环氧玻 璃钢柱 长度 (mm)	每台用 环氧玻 璃钢柱 数(个)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
NKL-6-150-4	150	6	4	1085	815	8	2545	4
NKL-6-150-5	150	6	5	1105	905	8	2815	4
NKL-6-150-6	150	6	6	1105	995	8	3085	4
NKL-6-150-8	150	6	8	1085	1085	8	3355	4
NKL-6-150-10	150	6	10	1115	1085	8	3355	4
NKL-6-200-3	200	6	3	1105	725	8	2275	4
NKL-6-200-4	200	6	4	1085	725	8	2275	4
NKL-6-200-5	200	6	5	1105	815	8	2545	4
NKL-6-200-6	200	6	6	1085	905	8	2815	4
NKL-6-200-8	200	6	8	1105	995	8	3085	4
NKL-6-200-10	200	6	10	1105	1085	8	3355	4
NKL-6-300-3	300	6	3	945	725	10	2275	5
NKL-6-300-4	300	6	4	945	815	10	2545	5
NKL-6-300-5	300	6	5	1085	725	8	2275	4
NKL-6-300-6	300	6	6	1085	725	8	2275	4
NKL-6-300-8	300	6	8	1085	815	8	2545	4
NKL-6-300-10	300	6	10	1105	905	8	2815	4

表 A. 4. 1 续 1

型 号	额定 电流 (A)	额定 电压 (kV)	额定 电抗 %	外径 (mm)	单相 高度 (mm)	水泥 柱数 (个)	环氧玻 璃钢柱 长度 (mm)	每台用 环氧玻 璃钢柱 数(个)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
NKL-6-400-3	400	6	3	1059	995	10	3085	5
NKL-6-400-4	400	6	4	1105	995	10	3085	5
NKL-6-400-5	400	6	5	1085	1085	8	3355	4
NKL-6-400-6	400	6	6	1105	725	8	2275	4
NKL-6-400-8	400	6	8	1085	725	8	2275	4
NKL-6-400-10	400	6	10	1105	815	8	2545	4
NKL-6-500-3	500	6	3	1015	905	10	2815	5
NKL-6-500-4	500	6	4	1105	905	10	2815	5
NKL-6-500-5	500	6	5	1105	995	10	3085	5
NKL-6-500-6	500	6	6	1085	1085	8	3355	4
NKL-6-500-8	500	6	8	1085	1175	8	3625	4
NKL-6-500-10	500	6	10	1281	1085	10	3355	5
NKL-6-600-4	600	6	4	1167	905	10	2815	5
NKL-6-600-5	600	6	5	1015	995	10	3085	5
NKL-6-600-6	600	6	6	1105	995	8	3085	4
NKL-6-600-8	600	6	8	1175	995	8	3085	4
NKL-6-600-10	600	6	10	1175	1085	8	3355	4
NKL-6-750-5	750	6	5	1105	905	12	3085	6
NKL-6-750-6	750	6	6	1040	905	8	3085	4
NKL-6-750-8	750	6	8	1160	905	10	3085	5
NKL-6-750-10	750	6	10	1265	905	12	3085	6

表 A. 4. 1 续 2

型 号	额定 电流 (A)	额定 电压 (kV)	额定 电抗 %	外径 (mm)	单相 高度 (mm)	水泥 柱数 (个)	环氧玻 璃钢柱 长度 (mm)	每台用 环氧玻 璃钢柱 数(个)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
NKL-6-1000-5	1000	6	5	1260	855	12	2665	6
NKL-6-1000-6	1000	6	6	1280	855	10	2665	5
NKL-6-1000-8	1000	6	8	1460	925	12	2875	6
NKL-6-1000-10	1000	6	10	1370	860	12	2680	6
NKL-6-1500-6	1500	6	6	1500	1045	12	3235	6
NKL-6-1500-8	1500	6	8	1475	1035	12	3205	6
NKL-6-1500-10	1500	6	10	1485	1125	12	3475	6
NKL-6-2000-6	2000	6	6	1560	1045	12	3235	6
NKL-6-2000-8	2000	6	8	1560	1045	12	3235	6
NKL-6-2000-10	2000	6	10	1540	1035	12	3205	6
NKL-6-3000-10	3000	6	10	1680	1830	12	5590	6
NKL-10-150-3	150	10	3	1175	845	8	2635	4
NKL-10-150-4	150	10	4	1175	935	8	2905	4
NKL-10-150-5	150	10	5	1085	1115	8	3445	4
NKL-10-150-6	150	10	6	1175	1115	8	3445	4
NKL-10-150-8	150	10	8	1281	1115	8	3445	4
NKL-10-200-3	200	10	3	1085	845	8	2635	4
NKL-10-200-4	200	10	4	1175	845	10	2635	5
NKL-10-200-5	200	10	5	1105	1025	8	3175	4
NKL-10-200-6	200	10	6	1105	1115	8	3445	4
NKL-10-200-8	200	10	8	1175	1115	8	3445	4

表 A. 4. 1 续 3

型 号	额定 电流 (A)	额定 电压 (kV)	额定 电抗 %	外径 (mm)	单相 高度 (mm)	水泥 柱数 (个)	环氧玻 璃钢柱 长度 (mm)	每台用 环氧玻 璃钢柱 数(个)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
NKL-10-200-10	200	10	10	1191	1295	8	3985	4
NKL-10-300-3	300	10	3	1085	755	10	2365	5
NKL-10-300-4	300	10	4	1015	935	10	2905	5
NKL-10-300-5	300	10	5	1085	845	10	2635	5
NKL-10-300-6	300	10	6	1175	845	8	2635	4
NKL-10-300-8	300	10	8	1175	935	8	2905	4
NKL-10-300-10	300	10	10	1085	1115	8	3445	4
NKL-10-400-3	400	10	3	1085	1115	10	3445	5
NKL-10-400-4	400	10	4	1175	1115	10	3445	5
NKL-10-400-5	400	10	5	1281	1115	10	3445	5
NKL-10-400-6	400	10	6	1105	815	8	2545	4
NKL-10-400-8	400	10	8	1105	935	8	2905	4
NKL-10-400-10	400	10	10	1105	1025	8	3175	4
NKL-10-500-3	500	10	3	1105	1025	10	3175	5
NKL-10-500-4	500	10	4	1175	1025	10	3175	5
NKL-10-500-5	500	10	5	1175	1115	10	3445	5
NKL-10-500-6	500	10	6	1281	1115	10	3445	5
NKL-10-500-8	500	10	8	1281	1205	10	3715	5
NKL-10-600-4	600	10	4	1085	1205	10	3715	5
NKL-10-600-5	600	10	5	1175	1025	10	3175	5
NKL-10-600-6	600	10	6	1175	1115	10	3445	5

表 A. 4. 1 续 4

型 号	额定 电流 (A)	额定 电压 (kV)	额定 电抗 %	外径 (mm)	单相 高度 (mm)	水泥 柱数 (个)	环氧玻 璃钢管 长度 (mm)	每台用 环氧玻 璃钢管 数(个)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
NKL-10-600-8	600	10	8	1281	1115	8	3445	4
NKL-10-600-10	600	10	10	1281	1205	8	3715	4
NKL-10-750-5	750	10	5	1255	1025	14	3175	7
NKL-10-750-6	750	10	6	1205	935	12	2905	6
NKL-10-750-8	750	10	8	1465	935	14	2905	7
NKL-10-750-10	750	10	10	1325	1115	12	3445	6
NKL-10-1000-6	1000	10	6	1420	1045	12	3235	6
NKL-10-1000-8	1000	10	8	1400	1035	12	3205	6
NKL-10-1000-10	1000	10	10	1530	1035	12	3205	6
NKL-10-1500-6	1500	10	6	1485	1325	12	4075	6
NKL-10-1500-8	1500	10	8	1500	1305	12	4015	6
NKL-10-1500-10	1500	10	10	1650	1305	16	4015	8
NKL-10-2000-8	2000	10	8	1600	1130	12	3490	6
NKL-10-2000-10	2000	10	10	1625	1215	12	3745	6

注：系列表中，环氧玻璃钢管长度是按电抗器的基础高度 200mm 计算的。

附录 B 少油断路器及避雷器 减震装置设计方案

本附录推荐的减震方案,适用于 7~8 度地区经抗震鉴定不满足抗震要求的少油断路器和避雷器。

减震装置安装后应定期检查,至少在每次设备除尘检修时进行一次全面检查。

B.1 少油断路器减震方案

B.1.1 少油断路器减震措施宜采用承球圆盘装置,安装减震装置后的抗震验算可将原设备的最大组合应力乘以一个应力折减系数,见表 B.1.1。

应力折减系数

表 B.1.1

地震设防烈度	场 地 土 类 别			
	I 类	II 类	III 类	IV 类
7 度	0.4	0.4	0.5	0.7
8 度	0.6	0.6	0.6	0.7

B.1.2 减震装置应按图 B.1.2 所示的方法安装。

B.1.3 减震装置承球圆盘的內径 r_1 应大于或等于 150mm,铰接处阻尼橡胶垫的厚度应大于 35mm (图 B.1.3)。

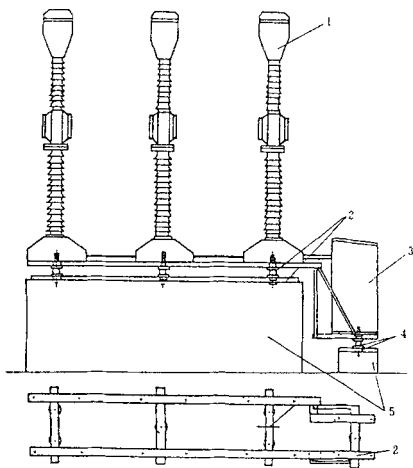


图 B.1.2 少油断路器减震装置安装示意

1. 少油断路器；2. 减震装置；3. 少油断路器机构箱；

4. 承球圆盘；5. 混凝土基础

B.1.4 减震系统的设计除参考图纸（图 B.1.3）及说明外，主要设计参数为耗能螺栓刚度，耗能螺栓采用一端铰接，其耗能螺栓设计刚度应满足下列公式要求：

$$K_s = r \cdot K_d \quad (\text{B. 1. 4 - 1})$$

$$K_d = 3E_b I_b / l^3 \quad (\text{B. 1. 4 - 2})$$

$$K_s \leq 5.0 \times 10^4 \text{N/m} \quad (\text{B. 1. 4 - 3})$$

式中 K_s ——每个少油断路器支柱减震器装置的双头螺栓的总刚度 (N/m);

r ——每个少油断路器支柱所占有减震装置的双头螺栓之数量;

K_d ——单根双头螺栓的刚度 (N/m);

E_b ——螺栓材料弹性模量 (Pa), 取 200×10^9 ;

I_b ——单根螺栓的惯性矩 (m^4);

l ——为螺栓在减震器上下槽钢表面之间的距离 (m)。

B. 1. 5 双头螺栓的抗震验算, 应满足下式要求:

$$[\sigma]_d \geq \frac{2\eta M}{l_2 r A} \quad (\text{B. 1. 5})$$

式中 η ——折减系数, 按表 B. 1. 1 选用;

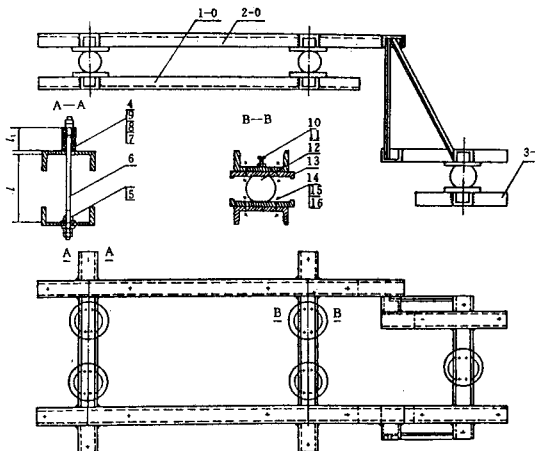
M ——抗震验算时瓷件根部的弯矩, 按本标准第 4. 4 节确定;

l_2 ——减震装置双头螺栓到少油断路器底座中心水平距离 (m);

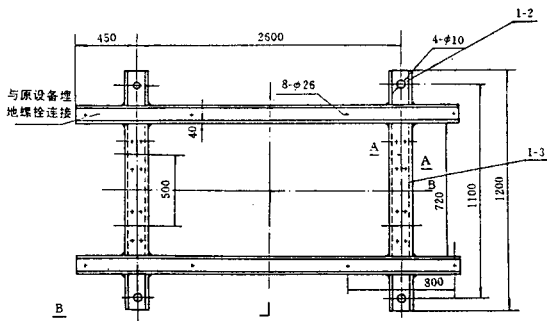
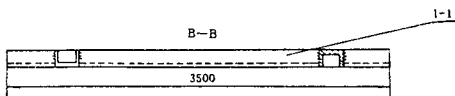
A ——双头螺栓净截面积 (m^2);

$[\sigma]_d$ ——双头螺栓材料的抗拉许用应力 (Pa) 可取 190×10^6 。

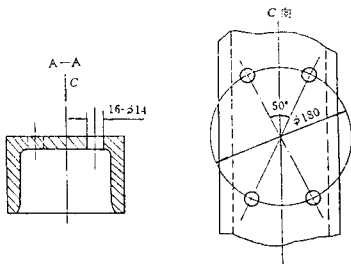
- 技术要求：**
1. 减震装置所有焊接处，焊缝腰高均为较薄焊接件之厚度，且为连续焊。
 2. 承球圆盘内的轴承弹子组装时应涂防锈油，并采取防水防尘措施。
 3. 双头螺栓安装后应涂防锈油，并定期检查，发现严重锈蚀应及时更换。
 4. 铰接处丁基阻尼橡胶垫的厚度之和 t_1 应大于 35mm
(丁基阻尼橡胶垫需五年更换一次，并符合标准牌号 2641 的技术指标)。
 5. 螺栓材料均采用低碳钢。
 6. 安装检验完毕后，外涂红丹漆查度，灰漆查度。



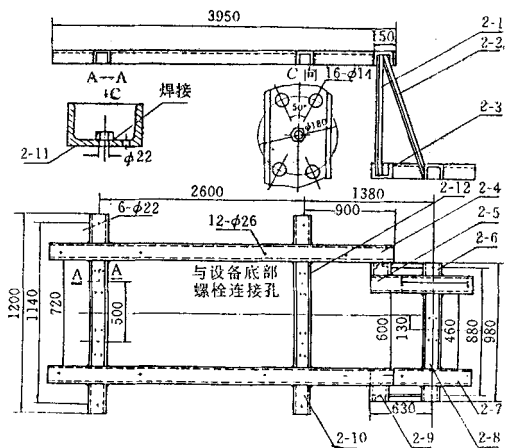
16	螺栓	40	M12			GB5783 - 86
15	钢垫片	40	12			GB95 - 85
14	螺母	40	M12			GB6170 - 86
13	圆盘	10	210/150 35 号			图号 8
12	轴承弹子	5	3" (763mm)			
11	螺母	5	M20			GB6170 - 86
10	螺栓	5	M20×30			GB5783 - 86
9	橡胶垫	12	30/8 丁基橡胶			图号 7
8	钢垫片	18	30×9×12			
7	橡胶塞	6	30/8 丁基橡胶			图号 6
6	双头螺栓	6	M8×360			图号 5
5	钢垫片	12	25×9×12			Gb6170 - 86
4	螺母	30	M8			GB6170 - 86
3-0	机构箱座	1	组合件			图号 4
2-0	上底座	1	组合件			图号 3
1-0	底座	1	组合件			图号 2
件号	名称	数量	材料规格	单重 kg	总重 kg	备注
						共重 kg
材 料 表						
图 B. 1. 3						
SW4 - 220 少油断路器减震装置装配图					参考图共 8 张	
					图号	1



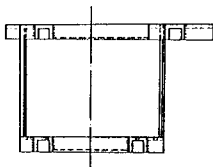
技术要求：减震装置所有焊接处，焊缝腰高均为较薄焊接件之厚度，且为连续焊。



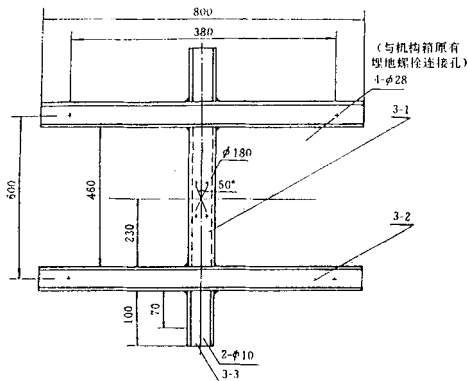
1-3	槽钢	2	[14b			
1-2	槽钢	4	[14b			
1-1	槽钢	2	[14b			
件号	名称	数量	材料规格	单重 kg	总重 kg	备 注
						共重 kg
材 料 表						
图 B. 1.3						
SW4-220 少油断路器减震装置 1—0 部件图					参考图共 8 张	
					图号	2



技术要求：减震装置所有焊接处，焊缝腰高均为较薄焊接件之厚度，且为连续焊。

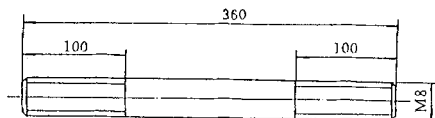


2-12	槽钢	2	[14b			
2-11	螺母	5	M20			
2-10	槽钢	2	[14b			
2-9	槽钢	2	[14b			
2-8	槽钢	1	[14b			
2-7	槽钢	1	[14b			
2-6	槽钢	2	[14b			
2-5	槽钢	1	[14b			
2-4	槽钢	2	[14b			
2-3	槽钢	2	[14b			
2-2	角钢	2	∠56×5			
2-1	角钢	2	∠56×5			
件号	名称	数量	材料规格	单重 kg	总重 kg	备 注
						共重 kg
材 料 表						
图 B. 1. 3						
SW4-220 少油断路器减震装置 2-0 部件图					参考图共 8 张	
					图号	3

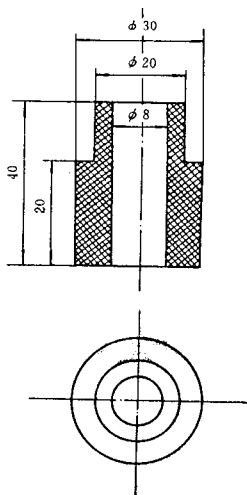


技术要求：减震装置所有焊接处，焊缝腰高均为较薄焊接件之厚度，且为连续焊。

3-3	槽钢	2	[14b			
3-2	槽钢	2	[14b			
3-1	槽钢	1	[14b			
件号	名称	数量	材料规格	单重 kg	总重 kg	备 注
						共重 kg
材 料 表						
图 B. 1. 3						
SW4-220 少油断路器减震装置 3-0 部件图					参考图共 8 张	
					图号	4

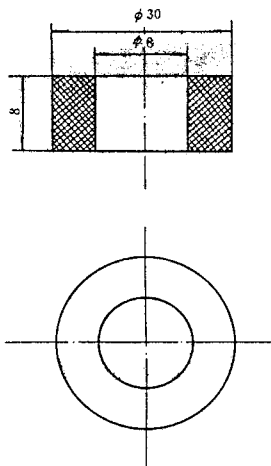


	双头螺栓	6	M8×360			图 B. 1. 3
件号	名称	数量	材料规格	单重 kg	总重 kg	备 注
SW4 - 220 少油断路器减震装置零件图					参考图件共 8 张	
					图号	5



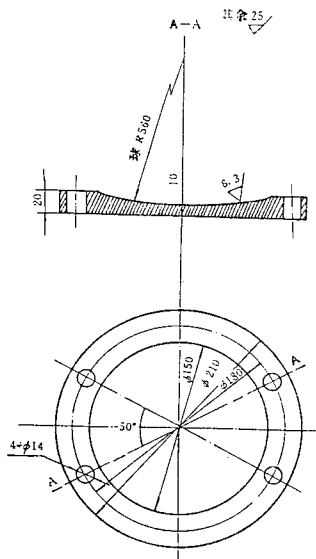
技术要求:丁基阻尼橡胶垫应具有良好的阻尼特性和耐候性、耐热性和抗老化性并符合标准牌号 2641 的技术指标。

	橡胶塞	6	Ø8 丁基橡胶			图 B. 1. 3
件号	名称	数量	材料规格	单重 kg	总重 kg	备 注
SW4 - 220 少油断路器减震装置零件图					参考图件共 8 张	
					图号	6



技术要求:丁基阻尼橡胶垫应具有良好的阻尼特性和耐候性、耐热性和抗老化性并符合标准牌号 2641 的技术指标。

	橡胶 阻尼垫	12	$\phi 30/\phi 8$ 丁基橡胶			图 B. 1. 3
件号	名称	数量	材料规格	单重 kg	总重 kg	备 注
SW4 - 220 少油断路器减震装置零件图					参考图件共 8 张	
					图号	7



	圆盘	10	Ø210/Ø150 35号			图 B. 1. 3
件号	名称	数量	材料规格	单重 kg	总重 kg	备 注
SW4 - 220 少油断路器减震装置零件图					参考图件共 8 张	
					图号	8

B. 1. 6 减震器双头螺栓安装完毕后应涂防锈油，双头螺栓应定期检查，发现锈蚀严重的应及时予以更换。

B. 1. 7 承球圆盘内的轴承弹子应定时涂防锈油，并采取防水、防尘措施。

B. 1. 8 少油断路器与其它设备的连接线应为柔性连接，并保证少油断路器顶部可以有一定的位移。在 7 度、8 度区安装减震器后，顶部位移值应不小于 10mm 和 15mm。

B.2 避雷器减震方案

B.2.1 避雷器采用减震装置后,可将安装减震装置前的最大应力乘以 40%后进行抗震验算。

B.2.2 减震装置应按图 B.2.2 所示方法安装。

B.2.3 对于无绝缘拉杆的避雷器,在 7 度区可在其根部瓷瓶法兰的连接螺栓上加双层橡胶阻尼垫。在 8 度区应在每个瓷瓶法兰的连接螺栓上加双层橡胶阻尼垫。

B.2.4 对于有绝缘拉杆的避雷器,应在每个瓷瓶法兰的连接螺栓处加双层橡胶阻尼垫。

B.2.5 橡胶阻尼垫的规格应为 $D \times d \times h$ (外径 $\times$ 内径 $\times$ 厚度) = 25mm $\times$ 13mm $\times$ 8mm。

B.2.6 安装橡胶阻尼垫后,避雷器上部的导线应允许避雷器顶部有不小于 15mm 的位移量。

B.2.7 避雷器安装减震装置时,应符合下列技术要求:

① 安装时应旋动螺栓压缩橡胶阻尼垫,应使每组橡胶阻尼垫的总压缩量为 4mm;

② 橡胶阻尼垫材料为丁基橡胶,应具有良好的阻尼特性和耐热性及抗老化性,符合标准牌号 2641 的物理机械性能要求,并应五年更换一次。

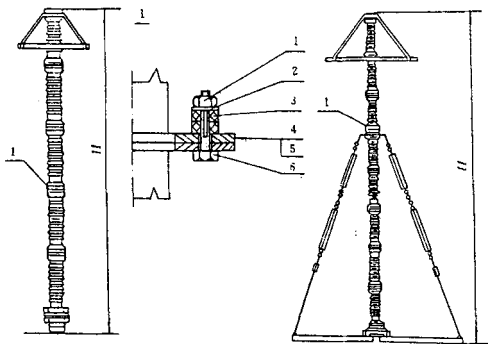


图 B. 2. 2 避雷器减震装置示意

6	螺 栓		原有设备零件			
5	瓷瓶法兰		原有设备零件			
4	瓷瓶法兰	1	原有设备零件			
3	橡 胶 阻 尼 垫	2	$\varnothing 25/\varnothing 13 \times 8$ 丁基橡胶			标准牌号 2641
2	垫 圈	1	M12			GB95 - 85
1	螺 母		原设备的零件			
件 号	名 称	数 量	材 料 规 格	单 重 kg	总 重 kg	备 注
材 料 表						

附录 C 用词说明

本标准条文中要求严格程度的用词，在执行时按下述说明区别对待。

C. 0. 1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

C. 0. 2 表示严格，正常下应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

C. 0. 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

附加说明

本标准主编单位、参编单位和主要 起草人名单

主 编 单 位：中国石化北京设计院

参 编 单 位：中国石化乌鲁木齐石油化工总厂

主要起草人：刘光同 倪正理 焦 波 孙恒智

中华人民共和国行业标准

石油化工企业电气设备 抗震鉴定标准

SH 3071-1995

条 文 说 明

1995 北京

制 定 说 明

本标准是根据中国石油化工总公司(1992)建标字179号文的通知由我院主编的。

在编制过程中,总结了多年来石油化工企业电气设备抗震鉴定及加固经验,进行了比较广泛的调查研究,并征求了有关设计、生产、施工和科研等方面的意见,对其中的主要问题,进行了多次讨论,最后经审查定稿。

在本标准施行过程中,如发现需要修改或补充之处,请将意见和有关资料提供我院,以便今后修订时参考。

中国石化北京设计院
一九九五年七月

目 次

1. 总则	(69)
3. 抗震鉴定一般规定	(69)
3.1 电力变压器、消弧线圈	(69)
3.2 三相垂直布置水泥电抗器	(70)
3.3 少油断路器、避雷器	(72)
3.6 蓄电池	(73)
3.7 高压开关柜、低压配电屏、控制（保护）屏、直 流屏及配电箱类	(73)
4. 抗震验算	(74)
4.1 地震作用	(74)
4.2 电力变压器、消弧线圈	(75)
4.3 三相垂直布置水泥电抗器	(76)
4.4 少油断路器、避雷器	(76)

1 总 则

1.0.1 设防烈度是采用国家现行规定的该地区基本烈度,即国家地震局出版的《中国地震烈度区划图》的规定。重要工程需提高设防等级时,须经国家主管部门的同意。

3 抗震鉴定一般规定

3.0.2 经国内有关单位的震害调查及计算分析,6度区的电气设备及7度区电压为110kV及以下的多油断路器、隔离开关、电流互感器、棒式绝缘子及穿墙套管,地震时一般不会遭受破坏,只需将浮放设备固定即可。电力电容器、蓄电池及高低压开关柜屏箱类设备,本身大多为钢制框架结构,强度较高,本身重心也较低,据国内外震害调查,只要是用地脚螺栓固定的,地震时一般不会遭受破坏。

3.1 电力变压器、消弧线圈

3.1.1 变压器因浮放受地震而损坏的情况,在许多震害调查报告中已有说明。关于固定方式有两种意见,一种认为应用螺栓或焊接的方式;一种认为应采用打拉线或其它弹性固定。在经过振动台试验后,证明铁芯加速度比变压器外壳小,应力也不大。在企业以往的加固工作中,变压器只是用角钢等进行限位,

在地震时仍有可能发生位移，抗震效果不明显，因此本标准中规定，应采取螺栓或焊接方式固定。

3.1.2 变压器硬母线加软连接对保护变压器瓷套管有很大作用。有部分企业的变压器已加软线连接，但做法各异。地震时影响因素很多，对软连接详细计算较困难，本条规定只是根据各企业的经验，综合总结得出的。

3.1.3 大型变压器的油枕和散热器与本体连接较薄弱，而且地震时会产生二次放大作用。在振动台进行的试验证明，油枕和散热器的加速度值为输入值的2倍以上，所以要进行验算并且对其加固要给予重视。

3.1.6 本条是为防止地震时油管折断，油大量泄漏使变压器无法运行。

3.2 三相垂直布置水泥电抗器

3.2.1 推荐采用环氧玻璃钢作为加固材料，是出于以下几个主要原因：

(1) 由于电抗器是空心电感线圈，因此加固材料必须选用非磁性材料，不致减小磁路的磁导。否则磁导减小，在一定电流作用下，电抗器电感会增加，导致母线电压过低；

(2) 加固材料应具有相当高的抗弯曲强度和抗冲击强度，不易老化，抗腐能力强，耐热，耐烧；

(3) 加固材料必须有良好的介电性能，在高压电场作用下，能安全运行。

综上所述，由于对加固材料有电气、机械性能两个方面的要求，因此推荐采用以环氧树脂为胶粘剂，以无碱玻璃布增强

的环氧玻璃钢作为加固材料。

3.2.3 环氧玻璃钢是一种复合材料,其机械性能与成分配比及成型工艺有相当密切关系,性能离散系数大。因此,本条要求对用于电抗器抗震加固的环氧玻璃钢制品按有关标准进行机械性能试验。考虑到环氧玻璃钢材料在加固结构中承受不同形式的荷载,因此要求试验的项目一般为:抗拉强度、抗弯强度、抗压强度、抗剪强度、密度和弹性模量等。

3.2.4 本条主要是对电抗器加固元件电气性能的要求。电抗器是在电路上作限流、稳流、无功补偿和移相等用途的一种电感元件(空心线圈),抗震加固之所以采用环氧玻璃钢,除满足抗震加固机械强度外,因为环氧玻璃钢是非磁性绝缘材料,不致于影响磁路的磁导,在大电流作用下,不会改变电抗百分数和引起加固材料的局部发热,可以保证电抗器的使用性能不受影响。环氧玻璃钢作为电抗器加固材料,其绝缘性能是很重要的,主要加固件(环氧玻璃钢管)应当进行交流耐压试验。按国家有关规定,环氧玻璃钢为B级绝缘材料,其主要电极性能应达到:内电阻系数 $>10^9\Omega/\text{mm}$;平行层击穿电压(在 $90^\circ\text{C}\pm 2^\circ\text{C}$ 和电极中心距离为15mm时) $>15\text{kV}$,这些均由绝缘材料厂家负责保证。

3.2.5 主要加固件环氧玻璃钢管到达现场后,每批量作抽样工频交流耐压试验,其试验标准按有关标准执行,具体试验项目和标准如下:

1. 环氧玻璃钢管单件交流耐压试验

试验方法:在同一环氧玻璃钢柱的相邻二块垫板距离间加压,不加压的两端用金属皮包扎接地,如果一根管有四处垫板,就要重复作三次耐压试验。

试验中，若电压无法加上或金属包皮处有烧灼现象应停止试验，说明是否受潮或环氧玻璃钢材料不符合要求。

2. 电抗器加固竣工刷漆后，对电抗器整体作常规交流耐压试验，试验标准同加固前交流耐压试验，合格后方可投入运行。

3. 加固后投运的电抗器，应测钢带对地的悬浮电位值不大于 2V，除上述电气试验外，加固竣工投运后，开始带负荷时，应注意监视各部加固件的温度变化，待发热稳定后，按《电抗器加固件温度测量》规定逐项测量，连续运行四周后，有条件时，在额定电压、最大负荷电流（接近或等于电抗器额定电流）时作加固发热试验，可按表 3.2 逐项测量。

电抗器加固件温度测量表 表 3.2

投运送电时间	测试时间
部位和项目	测 试 数 值
电抗器电流 (A)	
电抗器电压 (V)	
紧固钢带电流 (A)	
紧固钢带开口电压 (V)	
环境温度 (°C)	
管头温度 (°C)	
紧固钢带温度 (°C)	

3.3 少油断路器、避雷器

3.3.4 本标准中要求各种引线的连接应减少对设备的影响。根

据国外的研究表明，当采用软连接引线时，引线对设备的影响较小，具有一定的柔性；而硬连接的引线，对设备有较大的影响。

3.6 蓄电池

3.6.5 过去有的企业蓄电池加固后，由于支架影响观察蓄电池的液面，因此被拆掉，起不到抗震作用。

3.7 高压开关柜、低压配电屏、控制（保护）屏、直流屏及配电箱类

3.7.3 企业中有部分高压手车柜和低压抽屉柜的二次电缆采用刷式插头，这种插头在地震时极易松动，使得失去操作电源。有的厂已改为有防松措施插头，效果较好。

4 抗震验算

4.1 地震作用

4.1.1 本条是根据中国石化北京设计院,与中国建筑科学研究院合作的研究课题《石油化工设备抗震设计(鉴定)反应谱研究》(以下简称“设备反应谱研究”)编写而成的。根据该研究成果,当楼层质量与设备质量之比 m_s/m_e 小于 2 时,设备对楼面的反馈作用比较大,两者的耦连效应很明显,此时也就不能将设备从楼层中脱离出来,故该条作出 m_s/m_e 小于 2 的规定。为了与石化设备的其他标准、规范相一致,本条采用的水平地震影响系数最大值仍取原数值与建设部建标(1992)419 号文《关于统一抗震设计规范地面运动加速度设计取值的通知》中规定相一致。

4.1.2 表 4.1.2-1 中的 C_e 值主要是以有关标准、规范所采用的数值为基础,经过比较、归纳和筛选而确定的。本条公式(4.1.2-3)引自《美国建筑物抗震设备暂行条例》。

4.1.3 该条主要是根据“设备反应谱研究”编制的。从图 4.1.3 可看出,楼层动力放大系数 β 不仅是设备自振周期,而且也是支承设备的建(构)筑物自振周期的函数。这较好地体现了地面运动、建(构)筑物和设备三者动力特性之间的相互关系,所以是比较合理的。

为了便于比较,曾对工程实际中一些安放在构筑物上的设

备进行了验算。构筑物的地震作用是按整个结构进行计算的,而不是取单跨。考虑在同一设防烈度下,设备安放在楼层上同一场地的地面上的地震作用比值。对于相同的设备和构筑物,随着场地土类别的变化,该比值可能发生产倍的变化;随着楼层的变化,该比值也能发生产倍的变化;设备安装的层数越高,该比值越大;当然,随着安放设备的结构物的不同,该比值也发生变化。

本标准规定楼层上设备的地震作用“不得小于该设备按建在地面上时所计算得的数值”,所以,上述设备地震作用的比值小于1时,都应取值为1,这是为了安全起见。比值较大的设备一般是安放在较矮结构物的顶层上(这时设备的自振周期与结构物的基本自振周期相差不大),场地土类别较高,且设备质量与楼层质量(包括该楼层上所计算设备以外其他设备的质量)的比值较小的情况下。总的来看,该结果较好地反映了楼层上设备的地震作用,其方法是可用的。

4.1.4 由于多数设备的综合影响系数与建(构)筑物的综合影响系数不同,不同设备的综合影响系数也常不相同,在计算建(构)筑物上的设备地震作用时,应考虑对设备和建(构)筑物两者的综合影响系数的双重影响进行修正。据此提出了楼层上的设备地震作用修正系数的计算公式(4.1.4-3)。

4.2 电力变压器、消弧线圈

本节是根据中国石油化工总公司颁布的石油化工设备抗震鉴定与加固规定中的《石油化工电气设备抗震鉴定与加固规定及条文说明》(石化抗15-90)编写的。

4.3 三相垂直布置水泥电抗器

本节是根据中国石油化工总公司颁布的石油化工设备抗震鉴定与加固规定中《三相垂直布置水泥电抗器抗震加固及条文说明》(石化抗 9-89) 编写的。

4.4 少油断路器、避雷器

4.4.1 少油断路器及避雷器都为悬臂结构,根据震害调查和实型试验分析,危险断面都发生在根部,所以需对瓷件根部截面进行验算。

有些避雷器有绝缘拉杆(如 220kV 避雷器),根据震害分析和内力计算发现,在绝缘拉杆上面一节瓷瓶根部的内力较大,所以需对该截面(见图 4.4.1 中 1-1 截面)进行抗震验算。

根据以前对 500kV 避雷器的振动台试验、分析结果,当瓷件最大应力达到 $14 \times 10^6 \text{Pa}$ 时,底部瓷瓶的法兰连接螺栓的最大应力只达到 $56 \times 10^5 \text{Pa}$,远小于螺栓的许用应力,地震时一般不会在此产生破坏,所以此条只要求对瓷件的应力进行抗震验算。

4.4.2 少油断路器及无绝缘拉杆的避雷器的计算模型取为质量均匀分布的连续杆。图(4.4.2-1)。这是因为少油断路器及避雷器基本上为一连续介质且无明显突加质量的悬臂结构。

由于少油断路器、避雷器为多节瓷瓶由螺栓连接而成,节点间为弱性连接,使实测刚度比计算刚度小。根据设备在振动台的试验结果,选用了刚度折减系数 β 来反映这一因素。根据

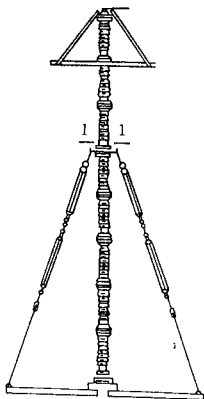


图 4.4.1 220 千伏避雷器示意

试验结果、分析结果，对少油断路器选用 $\beta=0.2$ ；对避雷器选用 $\beta=0.22$ 。有绝缘拉杆的避雷器可取为如图 5.4.2-2 所示的计算简图，由于其精确求解困难，可利用 Ragleigh-Ritz 法求其上限解（频率偏高、周期偏低，故安全）。

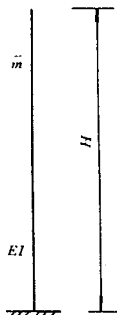


图 4.4.2-1 少油断路器及无绝缘拉杆避雷器计算示意

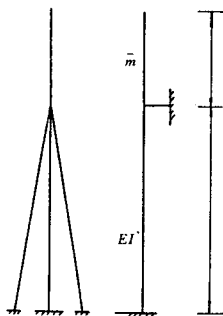


图 4.4.2-2 计算示意