

苏联电站部中央电工科学研究所

架空輸电綫路導綫防震保护導則

(技 术 通 报 7)

黑龙江省电业局譯

水利电力出版社

內 容 提 要

本导則共分兩章。在第一章里叙述导綫震动的基本概念，闡明了确定震动基本参数的原理和防震保护的基本理論，并提出了在导綫上測定导綫震动的方法。在第二章里叙述确定导綫及架空避雷綫的防震保护必要性，防震器的选择以及确定防震器在导綫上的安裝位置和它的保护效能等实用方法。

本导則可供在輸电綫路方面工作的工程师和技术員参考。

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ
ЛАБОРАТОРИЯ МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СССР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ № 7
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ВИБРАЦИИ
ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1955

架空輸电綫路导綫防震保护导則

(技 术 通 报 7)

根据苏联国立动力出版社1955年莫斯科版翻譯

黑龙江省电业局譯

*

1458D412

水利电力出版社出版(北京西郊科舉路二里溝)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 1印張 * 1千字

1958年9月北京第1版

1958年9月北京第1次印刷(0001—5,100册)

統一書号: 15143·1158 定价(第10类)0.14元

前 言

架空輸電綫路導綫震動的普遍及導綫破壞的日益進展，對綫路的安全運行引起了很大的威脅，並且由於要求定期地觀察導綫情況的緣故而使綫路的運行複雜化起來。

對於按現行標準計算的綫路，在許多情況下，決定導綫運行可靠性的一些主要因素不是額定的安全係數，而是由震動所引起的導綫破壞的危險性。由震動所帶來的導綫破壞是由於材料的疲勞所引起的，並且是在負載遠小於按最大覆冰式最低氣溫可得的計算負載，即導綫中的拉力小於其額定強度的50%的情況下產生的。

直到如今，這一情況一般地尚未加以考慮過。1933年的綫路的機械計算標準，在綫路防震保護那一部分，並沒有任何敘述。在“架空電力綫的設計與安裝統一標準”里，現行“安裝規程”和“技術運行規程”里（1939年出版）有一些極簡單的而不够具體的關於綫路防震問題的介紹。

在本導則的第一章中，敘述導綫震動的基本概念，而這已早在中央電工科學研究所（ЧНИЭЛ）的“架空輸電綫路的震動及其保護”（國家動力出版社1952年版）的通報中闡述過。

此外，闡明了確定震動危險性的原理和制定了防震保護必要性的標準，並提出了在綫路上測定導綫震動的基本導則。在第二章里敘述確定導綫及架空避雷綫的防震保護必要性，防震器的選擇以及確定防震器在導綫上的安裝位置和它的保護效能等實用導則。

目 录

前言

第一章 导綫震动的一般知識

1. 基本概念与定义	3
2. 震动基本参数的确定	4
3. 路徑特点、导綫悬挂高度、档距長度等各种 不同条件对震动发展的影响	7
4. 震动危險性的确定	11
5. 由震动所引起的导綫破坏位置 and 破坏特点	13
6. 綫路防震保护方法	15
7. 震动的測量	18

第二章 架空輸电綫路防震保护的基本規定

8. 应进行防震的綫路和綫段的确定	20
9. 防震器型式及其安装地点的选择	23
10. 大跨越导綫的防震裝置	26
11. 防震效果的校驗	27
附录 I	28
附录 II	29

第一章 导線震动的一般知識

1. 基本概念与定义

在档距中，拉紧导線由风引起的周期震蕩，称之为导線的震动。这一震动，在垂直方向，每秒有几个到几十个周率，并在整个档距中形成一些幅值較小的一般不超过几个公分的静止波。

导線的振動是由于綫路橫向受到了速度不大的风的空气动力作用，以及在导線上形成周期性空气渦流的結果所造成的。这一渦流的形成与消失，將伴随着微弱的空气动力震蕩，該震蕩將使导綫交变地时上时下。导線的震动是由于空气动力的冲击周率与档距中拉紧导線的彈性系統中的某一固有周率共震的結果所造成的。

在整个档距上的震动过程中，將形成一系列的静止波（图1）。当导綫上一个点稍微离开中心平衡位置

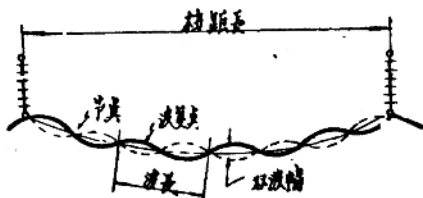


图1 档距中导綫震动时的形状

时，便形成了波腹，当另外的一个点停留在原有位置时，便形成所谓的节点。在导綫的波节点上只进行角度位移。

說明导綫震动特性的基本数据是：周率，半波長与幅值。

导綫震动时每秒震蕩的往复次数，就叫做震动周率。

兩相鄰波节点間的距离叫做震动的半波長，由两个相鄰的波組成震动的全波。

在波腹点导线离开中心平衡位置的最大位移值，叫做波幅；波腹点导线的全幅等于幅值的两倍。

输电线路导线震动的危险是这样构成的，当导线遭受周期性的折曲时，导线中便产生符号交变的附加机械应力，该应力与拉紧导线在档距中的基本静应力相重迭，久而久之便导致金属的疲劳现象，并且使导线在应力远小于其极限拉断强度（瞬时强度）时损坏。

由于震动所引起的导线破坏，一般是发生在导线的悬挂点处，当震动时该处导线的工作条件是最不利的，并且连续地出现导线各线股的折断，随着断股数的增加，在剩余未断的线股上，承受的应力便增大，一直到导线终于全部折断之前这种破坏是具有加剧的特性。

所有在苏联线路上所使用的导线（和避雷线）与它的材料，构造和截面无关，都发生了这种震动现象和受到了由其所产生的破坏危险。

导线的震动，同样能引起金具、绝缘子甚至杆塔部分的破坏。

2. 震动基本参数的确定

在导线后边所发生的由空气动力冲击震动所引起的空气漩涡的周率与风速和导线的直径有关。它可由下式求出，此式对于实际工作是具有足够的准确性。

$$V_s = 200 \frac{V}{d} \text{ 週/秒}, \quad (1)$$

式中 V ——风速，公尺/秒；

d ——导线直径，公厘。

为了产生震动过程，这一周率必然地应当和档距中拉紧导

綫所發生的震動的某一固有諧振周率相重迭。該諧震周率由下式確定：

$$V_c = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{9.81T}{q}} \text{ 周/秒,} \quad (2)$$

式中 V_c ——档距內導綫震蕩的固有周率(赫芝)；

n ——档距內的半波數(整數)；

L ——档距內導綫的長度(公尺)；

T ——導綫的拉力(公斤)；

q ——導綫單位長度的自重(公斤/公尺)。

如果導綫震動周率為已知，那麼震動半波長就可按下式求出：

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{L}{n} = \frac{1}{2V_c} \sqrt{\frac{9.81T}{q}}, \quad (3)$$

式中 λ ——震動的全波長，公尺。

在震動過程中，導綫離開原始的平衡位置的位移無論在档距的長度上和時間上都是按正弦規律出現(圖2)；同時任何一點的位移可由下式確定：



圖2 震動波

$$A = A_0 \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \sin 2\pi \tau t, \quad (4)$$

式中 A ——導綫上所給定一點離開原始的平衡位置的位移，公厘；

A_0 ——导綫震动波幅点的重大幅值；

x ——自震动节点到导綫上被观察的那一点的距离（公尺）；

λ ——震动波長（公尺）；

ν ——震动周率（赫芝）；

t ——時間（秒）。

如果(1)式的漩渦破坏周率与导綫某一固有周率相重率，那么当风速与导綫拉力不变时，震动的幅值便达到最大值，并且在震动进行过程当中震幅保持不变。当风速变化和两种周率不完全重迭时，震动的幅值便减小，并且震动可能产生在另外一个共振周率上，但是如果沿着档距長度方向风速不定和分布不一时，导綫震动便具有跳动的特性，同时导綫的震幅周期地由自己的最大值变到零值。

震动时导綫的振幅决定于导綫以空气动力冲击形式而承受的空气流的动能量，同分布在导綫里边的由分子摩擦和各股間的摩擦而产生的能量之間的平衡。能量平衡的分析計算是很困难的。波腹点振幅的绝对值与波長有关，并且在相当于低周率震动的最大波長时达最大值。实际上，最大波長的腹点波幅一般不超过該导綫直徑的 2 ~ 3 倍。

从由震动所引起的导綫破坏危險性的观点来看，有意义的与其說是波腹点的震动幅值，还不如說是导綫在悬挂点的折曲的大小。

导綫波节点对于中心位置的位移角度，可按下式算出：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\pi A}{\lambda}, \quad (5)$$

式中 α ——导綫离开中心位置的角度（震动角）。

震动时，决定导綫在綫夾出口处的折曲程度的导綫最大位

移角度，实际在 $30'$ 与 $50'$ 之間，既或在震动特别强烈时，一般也不超过一度。

3. 路徑特点、导綫悬掛高度、档距長度等各种

不同条件对震动发展的影响

档距中拉紧导綫产生稳定性震动的可能性，完全决定于导綫上的风的作用大小和风的性質。产生震动的必要条件乃是气流的均匀性和其方向的恆定性。仅在这一条件下，就能足够稳定的形成由空气动力冲击震动所引起的經常性的周期的連續性变化。

风速乃是决定导綫产生震动的最大可能性和决定能以說明震动特性的一些数值如震动的周率以及与其有关的半波長等的基本因素（見2）。

风速由 $0.5 \sim 0.8$ 公尺/秒开始时，导綫便产生震动，在这样风速的条件下导綫后背就有可能形成有規律的气漩，并且空气动力冲击的能量足以使导綫作震蕩运动。

当风速增大时，在接近地面的大气层里，由于同地面摩擦的結果，便出現气漩，这一气漩随着风速的增加而包圍所有更高的气层，并破坏了上层汽流的均匀性，本質上破坏导綫悬挂区的气流均匀性，使震动停止的风速，在很大程度上与大地表面上的地势，自然（植物）的遮蔽和建筑物有关。以此确定产生震动的风速上限（約在 $3 \sim 8$ 公尺/秒），从而确定与导綫悬挂高度以及路徑通过地区的地形条件的有关的可能有的震动周率的范围。

当风向与导綫軸綫的夾角在 90° 到 45° 时，便可观察到稳定性的震动；在 $45 \sim 30^\circ$ 时，震动便具有較小的稳定特性，而小于 20° 时，一般不出現震动。

当风向与导綫軸綫的夾角小于 90° 时，震动系由垂直于导綫軸綫的风速分量所引起的。

$$v = v \sin \gamma, \quad (6)$$

式中 γ ——风向与綫路軸綫的夾角。

当风向对綫路的夾角减小时，引起震动的风速范围也随之减小。

綫路遭受震动的程度决定于一年中震动小时数或相对的震动延續時間：

$$\tau = \frac{\text{年震动小时数}}{876} \times 100\%. \quad (7)$$

綫路遭受震动的程度取决于： a) 綫路对应于主要风向的位置以及其經過地区的地形条件； b) 綫路的結構特点——导綫悬挂高度和档距長度。

具有所謂蔷薇风特点的风向很占优势的地区上的綫路或綫段的位置只有在有規律的，方向已知的风（例如山谷和河套处的风，海洋和靠近海洋沿岸的陆上微风等）显然占有优势的情况下才有其重大意义。在这种情况下其位置对主要风向成 90° 或者其夾角小于 45° 的綫段遭受震动最多，綫段方向与主要风向一致的綫段其遭受的震动相当少。在某种情况下例如当綫路沿着沒有横向风的山谷通过时將不发生导綫震动。

在苏联欧洲和亞洲部分的大多数平原区，子午綫方向的綫路所遭受震动的程度稍大，这是由于那里在早晚常常发生的风是速度不大的西风。

綫路經過地区的地形条件如地势，自然遮蔽物（植物）和所有各种靠近綫路的建筑物都对靠近地面的风的特性，如风向、风速和风的均匀性有很重大的影响，因而也影响到綫路遭受震动的情况。

平坦、開闊地帶有助于气流的均匀流动，并形成促进导綫强烈震动的条件。綫路沿斜坡通过和跨越不深的山谷和盆地，对风的均匀性沒有重大影响，因而不妨碍震动的产生。

在地形极其交錯的地区（山区），在綫路下或綫路附近有深谷，堤坝和各种建筑物，特別是有树木时，这就在不同程度上破坏着气流的均匀性，并且在这些綫段上形成对于出現震动較不利的条件。此外在这样的地方就降低了保持着足以引起振动的充分的均匀性的风速上限，因此就縮小了可能有的振动周率的范围。在沿着稀疏或矮小叢林，花园和公园建筑区而通过的綫段上，当綫路附近有林区和單独的树木时震动的稳定性就較小，并且震动的相对延續時間也就短了，例如經過6~8公尺高的稀疏叢林的綫路在震幅減小到1.5~2倍的同时其相对的延續時間比通过開闊地帶的綫段的相对延續時間減少到2倍。

当綫路經過树高超过导綫悬挂高度的林区时，經過林道的綫路便防止了由于橫向风所引起的震动，在这些綫段上的相对延續時間，以及震动幅值都是不大的，因此实际上就有可能消除由它所引起导綫破坏危險。

路徑的地形条件对于导綫悬挂高度为12~15公尺的綫路的震动時間及其震幅的影响，可以用表1中的数据作为例子来说明。

表 1

路 徑 特 性	震动的相对延續時間(%)	最大震动幅值
開闊、平坦地帶	15—25	1.0
稀疏树林，矮小叢林，建筑区， 档距中有單独的树	8—15	0.5—0.8
高有10~14公尺的林区(綫路沿 林道通过)	2—3	0.1—0.3

注：以開闊、平坦地帶档距内距导綫悬挂点0.5公尺处的最大幅值作为基准。

因之，在某些情況下，路徑條件能完全消除震動的可能性，或使之降低到無危險的程度。在其它情況下，降低震動的相對時間及震幅，僅能增加破壞開始前的導線壽命。

增加導線的懸掛高度，將減弱地面的不均勻性和自然遮蔽對於風的特性的影響，並且當風速較大時，風將繼續保持着足以產生震動的均勻性，因此隨着導線懸掛點的增高將擴大產生震動的風速的範圍以及可能有的震動周率的範圍，從而增加了震動的相對延續時間。

檔距的增大同樣也能促使線路遭受震動，檔距中可能出現的一系列的整數半波長的數目和其相應的震動周率數目同檔距長度或正比的增加。同時，震動可能有的周率之間的間隔和引起震動的風速之間的間隔便減小，因此便形成對導線產生穩定震動的有利條件，並增加了其相對延續時間。

實際在小于 100 公尺的檔距上，很少看到導線震動，而檔距長度超過 120 公尺時，才具有實際的危險性。在為了跨越河流、水庫和山谷等地而架設的具有高懸掛點的大檔距（大于 500 公尺）上，能看到特別強烈的導線震動。在這樣的地方震動不但對導線有破壞的威脅，同樣能引起金具甚至塔身的破壞。

對於架設在開闊，平坦地帶的不同檔距和導線懸掛高度的線路，其引起震動的風速範圍和震動的可能有的相對延續時間列在表 2 中。

表 2

檔距（公尺）	導線懸掛高度（公尺）	引起震動的風速範圍 公尺/秒	震動的相對延續時間 %
150—250	12	0.5—0.4	15—25
300—450	25	0.5—5.0	25—30
500—700	40	0.5—6.0	25—35
700—1000	70	0.5—8.0	30—40

4. 震动危险性的确定

由导线拉力所形成的静负载和由导线震动所产生的动应力这两者所起的作用乃是导线由震动引起破坏的原因，该动应力在导线材料内部将产生交变的并且随着震动周率而进行着周期性变化的机械应力。

这一综合应力便决定着震动的危险性。该综合应力的长期作用，将使导线发生材料疲劳现象和破坏现象。

在该动静负载配合的条件下，材料能不发生破坏而能承受得住的无限次周期的交变负载，即综合交变应力的极限值称为疲劳极限。

如果震动时导线中所产生的综合交变应力超过该综合负载的“疲劳极限”时，则导线的寿命，只决定于使导线破坏而必需遭受的震动次数所经历的时间，综合应力超过疲劳极限愈大，则破坏发生越快。

当综合应力没有达到疲劳极限时，导线就可无限期地无损坏地运行。

确定导线疲劳极限和破坏危险的主要因素有：

a) 由导线拉力所决定的主要静应力的大小；

b) 当导线震动时，悬挂点处由导线折曲所引起的附加动应力的

大小。

导线在悬挂点上所承受的由横向压力，杆塔反作用力和导线在线夹中的折曲所引起的附加静应力，与线夹的构造有关，并且使导线中的综合应力有一些增加。

但是对于线路上一般所用的固定线夹的构造来说，实际上这一附加静应力不是确定导线由于震动所引起的破坏危险的因素。

至于震动时在导线中所产生的附加纵向(伸長)动应力, 由于它比导线的拉力小的緣故可把它的作用忽略不計。

导线的最大計算拉力, 仅适合于在最严重的計算条件即在最大外部負載(冰、风), 或者在最低气温的条件下的导线的工作条件。

导线震动时的工作条件是用无外部負載时的拉力來說明, 这是因为震动是发生在无复冰和微风的条件下的, 在这种情况下特别重要的是: 平均运行拉力, 即外部气温实际变化范围内的平均应力是一变数, 并且随着所取的計算气象条件, 导线牌号和档距长度是可能不同的。

当档距大于临界档距时, 运行应力便随着档距的加大导线截面的减小和計算冰負載的增大而减小。这就是线路由于震动而遭受不同破坏情况的主要原因。特别是按較严重复冰条件計算的, 平均运行拉力一般不大的线路, 遭受震动的破坏也較小。同样, 档距长度相同时, 小截面导线比大截面导线遭受的震动破坏小; 并且当其他条件相同时, 在小档距的线路上, 往往要比在与其相同的运行应力不大的大档距线路上过早地发现震动破坏。在线路实际产生的震幅的情况下, 由不同材料制成的导线的疲劳极限, 是符合于如下运行应力的, 超过該值时震动即能引起导线的破坏。

鋼导线和架空避雷线	20~25公斤/平方公厘
銅导线	10~12公斤/平方公厘
鋼心鋁线(假想应力)	4~5 公斤/平方公厘
鋁 线	3.5~4 公斤/平方公厘

当运行拉力相当于导线材料的最小机械应力时, 或当震动在波节点所形成的折曲角度小于 $5' \sim 10'$ 时(这相当于在距线夾0.5公尺处的振幅, 近似地为 $2A_{0.5} = 1.5 \sim 2.5$ 公厘), 导线震

动便不致引起它的破坏。

5. 由震动所引起的導綫破坏位置和破坏特点

如上所述，導綫和架空避雷綫有可能受到震动破坏，并且震动破坏是与材料，結構和截面无关的，其中也包括組合導綫和空心導綫在內。

導綫的破坏最早在震动时導綫材料中所产生的綜合机械应力达到最大值，并且很快地出現疲劳現象的地方。

導綫在綫夾中最早和最快出現破坏，在綫夾中導綫与档距中的波的分佈情况无关地承受了最大的靜应力和震动时产生的交变动应力的集中作用。

实际上在苏联綫路上使用的所有各种型式的固定綫夾里边均有产生由震动而引起的導綫破坏的可能，其中包括滑动綫夾和滑輪式(滑車式)悬挂裝置，在这些悬挂裝置上導綫自由地放置在綫夾槽里或者滑輪溝里，同样也放置在有时誤称为防震的摆动綫夾里边。在用放置在上面的压板压紧導綫的綫夾中，綫股的破坏一般集中在導綫在压板的出口处，和集中在導綫从綫夾托支持面起向下傾斜的地方，在有側压板的綫夾中，綫股的破坏同样产生在压板下面。当導綫自由悬挂时，例如在滑动綫夾或滑輪中，破坏一般产生在最大折曲处和導綫从綫夾或滑輪支持面起向下傾斜处，此处導綫在震动时遭受撞击。

耐張綫夾中的導綫損坏較固定綫夾少的很，这是因为具有灵活动性的耐張綫夾在震动时在綫夾出口所形成的折曲較固定綫夾为少。对震动时形成为結点的鉸鏈軸具有大慣性力矩的重耐張綫夾和在垂直平面里沒有活动性的綫夾，以及震动时自由运动受導綫弯曲部分阻碍的綫夾等則为例外。属于不具有充分活动性这类的綫夾有：將導綫固定在弯曲部分的多螺栓綫夾

(例如阿尔明尼亚电力网的P-19及P-372型綫夾)，在該綫夾中由震动引起的破坏可能和固定綫夾中的破坏同时出現。

耐張綫夾中导綫的破坏一般发生在綫夾的出口处，在螺栓拉式綫夾中同样也产生在第一个(档距側)压紧螺絲板下的导綫出口处，而在导綫固定在綫夾弯曲部分的綫夾破坏則产生在綫夾出口处的导綫折曲段內。

导綫在綫夾出口处所发生的弯曲半徑不大的折曲，將促成一些老式結構的固定綫夾和拉式綫夾中导綫的破坏，这是由于折曲在綫股中引起了附加应力的緣故。綫夾槽和压板的支持面的粗糙和突起(鑄造和鍍鋅上的缺欠)同样能促使导綫产生破坏。当导綫在震动条件下受压和与綫夾出口撞击时这些粗糙和突起將在这些地方形成集中的附加应力，在固定綫夾和螺栓拉式綫夾中將导綫用帶纏繞起来，或者加入用导綫材料制成的厚度为0.6~1.0公厘的襯垫(对鋁綫、鋼心綫及鎢导綫用鋁的对銅导綫使用退了火的銅)都显示了良好的效果，但是采用帶或襯垫并不能消除綫夾中导綫破坏的可能性。

由震动引起档距內导綫的破坏比較罕見，也許有可能产生在过長的或者过重的联結器的出口处。

屬於此类的联結器有：例如，捻接或压接鋼心鋁綫用的管型联結器，由于联結器很長，在震动时，將促使联結器出口处的导綫产生剧烈的折曲。

在此导綫重量大的并且在档距中間構成震动静止节点的联結器附近在裝有一些沉重的螺栓綫夾的条件下，在联結器处发现过导綫和避雷綫的破坏綫股的破坏发生在綫夾的压板下，于該处导綫遭受强烈的横向压力。

导綫同样的破坏也可能发生在档距中安裝比較重和長的併接于有缺陷的联接器的硬分流綫处。

除此之外，当档距内有强烈震动时，曾在厂家所进行的質量不好構造脆弱的綫股焊接处发生过导綫的破坏（在青銅鋼綫和鋼架空避雷綫上）。

由震动引起来的导綫和架空避雷綫的损坏即各个綫股的折断，經常是具有能够輕易地同由其他原因所引起的破坏区别开的特殊形狀。綫股的折断发生在垂直面里，或者发生在稍微傾向于导綫軸的傾斜面里。折断面一般是光滑的或者帶有微粒，同时在折断处沒有一般靜折断所具有的特点即拉細的痕迹。

由于震动所引起的导綫綫股折断大半发生在外层，但是，特別在鋼心鋁綫上，鋁綫股的最初折断，有产生在导綫內层的情况。

强烈震动除破坏导綫之外尚能引起綫路金具零件的破坏，特別当存有生产上的隱蔽缺陷时（鑄造缺陷，裂紋），能引起悬式絕緣子的破坏（杆头脫落，瓷質內部损坏），以及破坏金具的联结。在特別大的震动下，发生过 220 千伏固定絕緣子鏈保护金屬的破坏和金屬杆塔焊縫的破坏。

6. 綫路防震保护方法

用以下两种方法可能获得消除导綫破坏的危險：

a)使震动时导綫材料所遭受的綜合机械应力，使其减少到小于該材料疲劳极限的无危險的数值。不能消除震动現象本身的这种防止震动破坏作用的方法叫做消极的防震方法。

b)利用特制的防震器（消震器），在所有的档距中使震动消除或减少到无危險的程度。这种防止震动的防震方法叫做积极的防震方法。

消極防震法

以减少由于震动所引起的导綫破坏危險为目的，而减少导