

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/APD

中国水利电力物资流通协会团体标准

T/APD XXXX—2023

公路大件运输加固计算准则

Criterion for calculation of highway heavy transport reinforcement

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国水利电力物资流通协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 符号、参数名称及单位	4
5 大件运输惯性力	6
6 道路条件修正系数	8
7 车型修正系数	8
8 运输距离修正系数	8
9 限速措施修正系数	9
10 风力	9
11 摩擦力	10
12 所需加固力的计算	10
13 常用加固方法强度计算	12
14 加固验算内容及判断准则	18
参考文献	21

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国水利电力物资流通协会提出并归口。

本文件起草单位：中国第二重型机械集团德阳万路运业有限公司、四川东方物流集团有限公司、中国外运大件物流有限公司、中石化重型起重运输工程有限责任公司

本文件主要起草人：

首次制定。

声明：本文件的知识产权归属于中国水利电力物资流通协会，未经中国水利电力物资流通协会同意，不得印刷、销售。任何组织、个人使用本文件开展认证、检测等活动应经中国水利电力物资流通协会批准授权。

公路大件运输加固计算准则

1 范围

本文件规定了公路大件运输加固的分级、验算、计算流程及其判断的基本准则。

本文件适用于国家、行业和地方标准化文件的起草，其他标准化文件的起草参照使用。大件运输的公路运输方式。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JT/T882—2014 道路甩挂运输货物装载与栓固技术要求

QC/T—2021 大件运输专用车辆

QC/T 913—2013 液压悬挂挂车通用技术条件

DL/T 1017 电力大件运输规范

T/APD 0003—2021 大件物流行业常用术语规范

3 术语和定义

JT/T882—2014、QC/T 1149—2021界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

大型物件（大件）

单件物品的长度、宽度、高度及质量超过一定范围，且具有不可拆卸特性，或被拆解为两个或多个部分将会导致被破坏风险或过高费用的机电设备或物件。

3.2

大件运输

按照相关运输方式对超限货物的管理和许可规定，运用适载的运载设备，采取相应的安全措施，从起运地至交付地，对具有不可拆解特性的大型物件进行水平及垂直位移的过程。

[来源：T/APD 0003—2021, 4, 1]

3.3

道路大件运输

按照相关运输方式对大型物件的管理和许可规定，利用运输车辆及设备，在公路、城市道路或其它道路中进行运输的大件运输方式。

3.4

捆绑加固

大型物件在运输过程中，为使物件能够抵抗运输过程中产生的各种力的作用，使其在车板面上不发生移动、窜动、晃动、滚动、倾覆、倒塌或坠落等情况，合理使用绑扎固定用具，如钢丝绳、链条、手拉葫芦、紧固器、卸扣、止动挡铁、橡胶皮、棉垫、草垫、木板、木方、瓦片等对物件进行绑扎、固定和防护。

3.5

惯性

物体保持静止状态或匀速直线运动状态的性质。惯性是物体的一种固有属性，表现为物体对其运动状态变化的一种阻抗程度，质量是对物体惯性大小的量度。

3.6

惯性力

当物体有加速度时，物体具有的惯性会使物体有保持原有运动状态的倾向，惯性力的大小与物体的质量大小和加速度大小相关。

3.7

摩擦力

两个相互接触并挤压的物体，发生相对运动或具有相对运动趋势时，就会在接触面上产生阻碍相对运动或相对运动趋势的力。摩擦力的方向与物体相对运动或相对运动趋势的方向相反。

3.8

风力

风的强弱、风的速度的大小，风在建筑物或其它物体上作用的力，常用压强或总压力表示。

3.9

加固力

抵抗货物在车板上移动或倾覆的力，一般由一种加固装置或多种加固装置提供。

3.10

货物限位装置

与货物直接接触，防止货物运输过程中发生位移的条状或块状装置。如楔块、挡木等。

[来源：JT/T882—2014, 3.6]

3.11

栓紧装置

连接承载装置的系固点或装载物的连接点，将装载物固定在承载装置上的柔性装置。栓紧装置一般由拉了元件和连接元件构成，如合成纤维栓紧带总成、链条捆绑总成、钢丝绳捆绑总成等。

[来源：JT/T882—2014, 3.3]

3.12

组合加固

货物栓固时采取多种栓固方式进行货物固定的方法。

[来源：JT/T882—2014, 3.17]

3.13

液压悬挂挂车

具有3个或更多个支点的液压悬挂系统，能够实现货台升降、液压牵引全轮转向和手控全轮转向功能，用于大件运输的挂车。

[来源：QC/T 1149—2021, 3.3.1.1]

3.14

栓紧能力LC

栓紧装置设计可以承受的最大允许拉力。

4 符号、参数名称及单位

本文件使用的符号、参数名称和单位见表1。

表1 符号、参数名称和单位

符号	参数名称	单位
a_b	车组最大制动加速度	m/s^2
a_x	纵向惯性加速度	m/s^2
a_y	横向惯性加速度	m/s^2
a_z	垂向加速度	m/s^2
B	耳板厚度	mm
b	货物重心至横向倾覆点水平距离	m
b_s	索具在货物上的系固点至横向倾覆点水平距离	m
D	圆柱形货物直径	m
g	重力加速度	m/s^2
F_b	车组最大制动力	KN
F_w	倾向风力	KN
F_x	纵向惯性力	KN
F_y	货物横向惯性力	KN
F_z	垂向惯性力	KN
F_{px}	货物纵坡下滑力	KN
F_{fx}	纵向摩擦力	KN
F_{fy}	横向摩擦力	KN
F_{dx}	防纵移加固力	KN
F_{dy}	防横移加固力	KN
LC	单根索具栓紧能力	KN
S	每根拉牵索具应承受的拉力	KN
S_x	每根拉牵索具防纵移应承受的拉力	KN
S_y	每根拉牵索具防横移应承受的拉力	KN
S_{qx}	每根拉牵索具防纵倾应承受的拉力	KN
S_{qy}	每根拉牵索具防横倾应承受的拉力	KN
Q	绑扎索具的计算强度	KN

表1 符号、参数名称和单位（续）

符号	参数名称	单位
q	风压	KN/m^2
q_p	侧向计算风压	KN/m^2
M_{dx}	防纵倾加固力矩	$\text{KN}\cdot\text{m}$
M_{dy}	防横倾加固力矩	$\text{KN}\cdot\text{m}$
h	货物重心至倾覆点的高度	m
t	耳板最小边宽	mm
h_s	索具在货物上的系固点至倾覆点的高度	m
H_h	焊缝高度	mm
H_x	防纵向滚动掩挡高度或鞍座深度	m
H_y	防横向滚动掩挡高度或鞍座深度	m
L	货物长度	m
l	货物重心至纵向倾覆支点水平距离	m
l_s	索具总货物上的系固点至纵向倾覆点之间的距离	m
G	货物重量	t
L_h	焊缝长度	m
H	货物高度	m
α	在纵向垂直平面上索具与车板的夹角	$^\circ$ （度）
β	在横向垂直平面上索具与车板的夹角	$^\circ$ （度）
$[\tau]$	许用剪切应力	Mpa
θ	道路最大纵坡角度	度
v	计算风速	m/s
n	同方向起作用的拉牵索具数量	-
i	计算索具在同方向起作用的所有绑扎索具中的位数	-
K_t	防倾覆安全系数	-
φ	路面附着系数	-
μ	摩擦系数	-

表1 符号、参数名称和单位（续）

符号	参数名称	单位
$\gamma 1$	道路等级修正系数	-
$\gamma 2$	车型修正系数	-
$\gamma 3$	运输距离修正系数	-
$\gamma 4$	限速措施修正系数	-
$\gamma 5$	迎风面形状系数	-

5 大件运输惯性力

5.1 纵向惯性力

在运输过程中由于急刹车、过减速带等产生的与行驶方向一致的惯性力，纵向惯性力有使大型物件产生纵向滑动的趋势。纵向惯性力与纵向惯性加速度直接相关，纵向惯性加速度有两种办法取得：精确计算法和经验估算法。车辆在下坡路段急刹车产生的纵向惯性力为纵向滑动失效最不利条件。

纵向惯性力按公式（1）计算。

$$F_x = a_x \times G \dots\dots\dots (1)$$

5.1.1 精确计算法计算纵向惯性加速度

5.1.1.1 通过查取车辆最大制动力换算制动加速度，计算方法按公式（2）计算。

$$a_b = \min\left(\frac{F_b}{G}, \varphi \times g\right) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

φ ——取值0.8；

g ——取值9.8 m/s²。

5.1.1.2 通过计算最大坡度下滑力换算纵向下滑加速度按公式（3）计算。

$$F_{px} = \sin \theta \times G \times g \dots\dots\dots (3)$$

5.1.1.3 纵向惯性加速度按公式（4）计算。

$$a_x = a_b + \frac{F_{px}}{G} \dots\dots\dots (4)$$

5.1.2 通过经验估算法计算纵向惯性加速度可按公式（5）计算。 $\gamma 1$ 、 $\gamma 3$ 、 $\gamma 4$ 的修正系数见表2、表4和表5。

$$a_x = 9 \times \gamma 1 \times \gamma 3 \times \gamma 4 \dots\dots\dots (5)$$

5.2 横向惯性力

在运输过程中由于道路横坡、车辆转向等产生的与行驶方向垂直的水平惯性力。横向惯性力有使大型物件产生横向滑动的趋势。

5.2.1 横向惯性力可取得

横向惯性加速度的计算方法可按公式（6）计算。 γ_3 、 γ_4 的修正系数见表4和表5。

$$a_y = \gamma_3 \times \gamma_4 \times 4.9 \dots \dots \dots (6)$$

5.2.2 计算横向惯性力

横向惯性力的计算方法可按公式（7）计算。

$$F_y = a_y \times G \dots \dots \dots (7)$$

5.3 垂向惯性力

在运输过程中由于通过纵曲线道路、车辆颠簸等产生的与车板平面垂直的惯性力。车辆垂直加速度受到多种因素的影响，例如车辆的重量、速度、路面条件等。纵曲线道路、颠簸路面行驶时，按对称垂向载荷计算，即车辆同一轴线上左右车轮同时碰到障碍产生的垂向力。

垂向惯性加速度的计算方法可按公式（8）计算。 γ_2 、 γ_4 的修正系数见表3和表5。

$$a_z = 2.94 \times \gamma_2 \times \gamma_4 \dots \dots \dots (8)$$

垂向惯性力计算方法可按公式（9）计算。

$$F_z = a_z \times G \dots \dots \dots (9)$$

6 道路条件修正系数

道路等级影响大件运输过程中的惯性力的强弱，按现有道路等级分别按表2中规定的系数计算。

表2 道路条件修正系数表

道路等级	修正系数
高速道路、一级道路	0.8
二级道路、三级道路	1.0
四级道路、等外道路	1.2

7 车型修正系数

大件运输使用车型对货物惯性力产生影响，其修正系数按表3中规定的计算。

表3 车型修正系数表

车型	修正系数
液压挂车	0.8
空气悬架挂车	0.9
其他车型	1.0

8 运输距离修正系数

由于运输过程中惯性力的反复作用、加固材料的磨损等因素，运输距离的增加会降低加固装置的可靠性，按表4中规定的系数加以修正。

表4 运输距离修正系数表

运输距离	修正系数
运输距离10公里以内	0.7
运输距离50公里以内	0.8

运输距离	修正系数
运输距离200公里以内	0.9
运输距离500公里以内	1.0
运输距离1000公里以内	1.1
运输距离2000公里以内	1.2
运输距离2000公里以上	1.3

9 限速措施修正系数

大件运输过程中的限速措施，会降低紧急情况的发生概率，同时减少惯性力对运输安全的影响，故对采取限速措施的大件运输惯性力按表5的规定加以修正。

表5 限速措施修正系数表

限速措施	修正系数
限速5公里/小时以内	0.8
限速10公里/小时以内	0.9
限速30公里/小时以内	1.0
限速30公里/小时以上	1.1

10 风力

风力在大件运输过程中是造成货物侧向移动和侧向倾覆的影响因素之一，故在计算侧向加固时与横向惯性力共同作用，风力的大小按侧面面积与风压的乘积确定。风压有两种取值方法。

10.1 经验风压，在无确切风速资料或风速小于10级风（约28m/s）时采用经验风压按公式（10）计算。

$$q = q_e \dots\dots\dots (10)$$

式中：

q_e ——取值0.49，KN/m²。

10.2 计算风压，在确切风速大于10级风（约28m/s）时采用，按公式（11）计算。

$$q_p = 0.625v^2 \dots\dots\dots (11)$$

10.3 风力计算按公式（12）计算。 γ_5 的迎风面形状系数见表6。

$$F_w = q \times L \times H \times \gamma_5 \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$q = \max(q_e, q_p)$ 。

表6 迎风面形状系数表

货物主体迎风面特征	迎风面形状系数 γ_5
平面	1
圆柱面	0.5
圆锥面	0.4
球面	0.35
其他情况	0.3~1之间估值

11 摩擦力

摩擦力是货物与车板、货物与支垫材料、支垫材料与车板之间产生的阻止货物位移的力。在多层支垫或多种材料支垫的情况下，以最小摩擦系数的摩擦副来计算摩擦力。各种材料之间的摩擦系数 μ 如表7。

表7 常见摩擦副摩擦系数

摩擦副	摩擦系数
木与木	0.45
木与钢板	0.40
木与铸、锻钢（非加工面）	0.60
钢板与钢板	0.20
履带走行机械与车辆钢地板	0.15
橡胶轮胎与车辆钢地板	0.50
橡胶垫与木	0.60
橡胶垫与钢板	0.50
稻草绳把与钢板	0.50
稻草绳把与铸、锻钢（非加工面）	0.55
稻草垫与钢板	0.44
草支垫与钢板	0.42
塑料与钢板	0.15
木板/胶合板与型钢	0.45
塑料膜与木板	0.3
粗糙混凝土（毛石）与木	0.7
预制混凝土（切割石板）与木	0.55
木与木	0.45
木与钢板	0.40
木与铸、锻钢（非加工面）	0.60
钢板与钢板	0.20
履带走行机械与车辆钢地板	0.15
橡胶轮胎与车辆钢地板	0.50
橡胶垫与木	0.60
橡胶垫与钢板	0.50
稻草绳把与钢板	0.50
稻草绳把与铸、锻钢（非加工面）	0.55
稻草垫与钢板	0.44
草支垫与钢板	0.42

纵向摩擦力按公式（13）计算。 μ 的摩擦系数按表7取值。

$$F_{fx} = 9.8\mu G \dots\dots\dots (13)$$

横向摩擦力按公式（14）计算。

$$F_{fx} = \mu(9.8G - Fz) \dots\dots\dots (14)$$

12 所需加固力的计算

12.1 防纵移加固力

防纵移加固力按公式（15）计算。

$$F_{dx} = F_x - F_{fx} \dots\dots\dots (15)$$

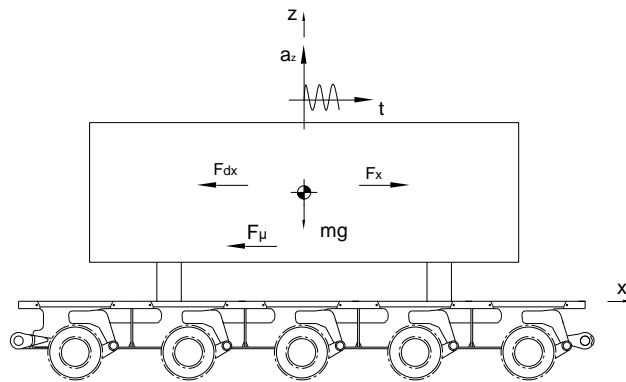


图1 纵向移动作用力

12.2 防纵倾加固力矩

防纵倾覆加固力矩按公式（16）计算。

$$M_x = K_t(F_x \times h) - Gg \times l \dots\dots\dots (16)$$

式中：

K_t ——取值2.0。

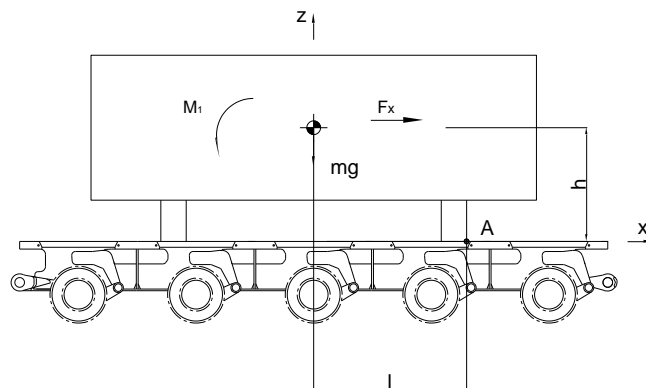


图2 纵向倾覆作用力

12.3 防横移加固力

防横移加固力计算按公式（17）计算。

$$F_{dy} = F_y + F_w - F_{fx} \dots\dots\dots (17)$$

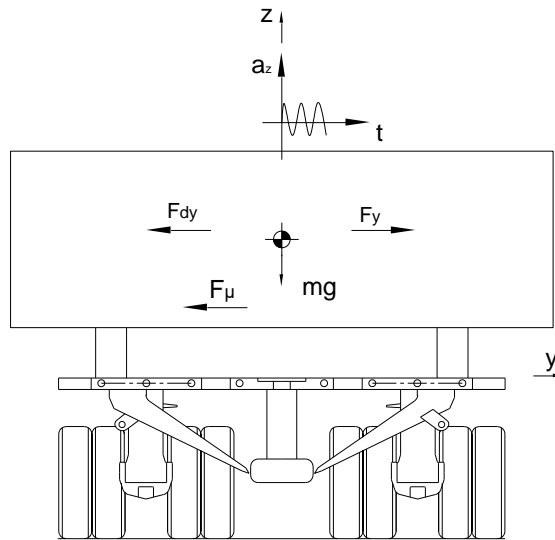


图3 横向移动作用力

12.4 防横倾加固力矩

防横倾加固力矩按公式（18）计算。

$$M_{dy} = K_t(F_y \times h) - mg \times b \dots\dots\dots (18)$$

式中：

K_t ——取值2.0。

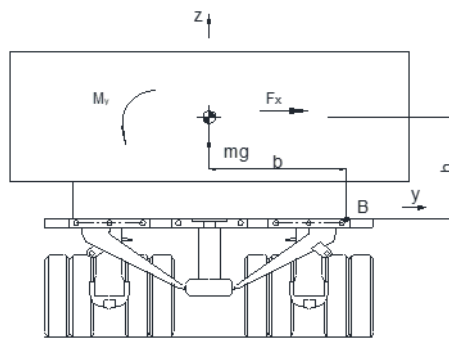


图4 横向倾覆作用力

13 常用加固方法强度计算

13.1 采用斜向拉牵加固时的强度计算

13.1.1 单一拉牵加固时，每根拉牵绳应承受的力

拉牵位置见图5。

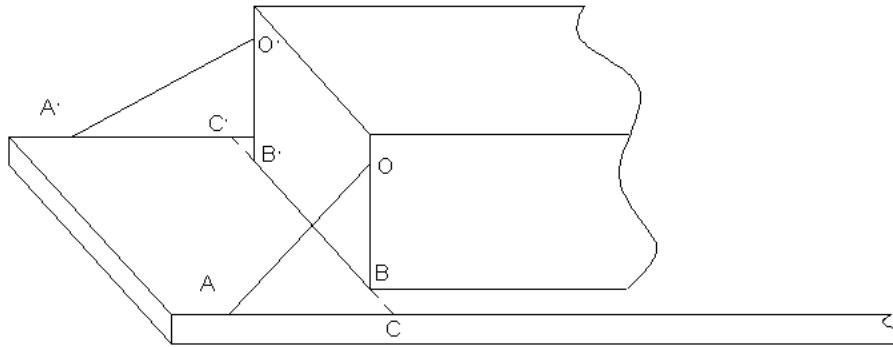


图5 斜向拉牵加固（局部）

标引序号说明：

- O ——拉牵绳在货物上的拴结点；
- B ——O点在车地板上的投影；
- BC ——O点所在纵向垂直平面与车辆边线的距离；
- A ——拉牵绳在车辆上的拴结点。

13.1.2 当同一方向有 n 根拉牵绳时，每根应承受的拉力计算应按公式（19）~（23）计算。

防止纵向移动时应按公式（19）计算。

$$S_x = \frac{F_{dx}}{n(AC + \mu BO)} \sqrt{AC^2 + BO^2 + BC^2} \dots\dots\dots (19)$$

防止横向移动时应按公式（20）计算。

$$S_y = \frac{F_{dy}}{nBC} \sqrt{AC^2 + BO^2 + BC^2} \dots\dots\dots (20)$$

防止纵向倾覆时应按公式（21）计算。

$$S_{qx} = \frac{M_{dx}}{n(L_s + AC)BO} \sqrt{AC^2 + BO^2 + BC^2} \dots\dots\dots (21)$$

防止横向倾覆时应按公式（22）计算。

$$S_{qy} = \frac{M_{dx}}{n(b_s + BC)BO} \sqrt{AC^2 + BO^2 + BC^2} \dots\dots\dots (22)$$

取最大值按公式（23）计算。

$$S = \max(S_x, S_y, S_{qx}, S_{qy}) \dots\dots\dots (23)$$

式中：

- AC ——加固示意图中A点至C点的距离，m；
- BC ——加固示意图中B点至C点的距离，m；
- BO ——加固示意图中B点至O点的距离，m。

13.1.3 多种方式加固时，拉牵加固产生的作用力由公式（24）~（27）给出。

拉牵产生的防纵移作用力按公式（24）计算。

$$F_{dx} = nLC \frac{AC + \mu BO}{\sqrt{AC^2 + BO^2 + BC^2}} \dots\dots\dots (24)$$

拉牵产生的防横移作用力按公式 (25) 计算。

$$F_{dx} = nLC \frac{BC}{\sqrt{AC^2 + BO^2 + BC^2}} \dots\dots\dots (25)$$

拉牵产生的防纵倾作用力矩按公式 (26) 计算。

$$M_{dx} = nLC \frac{(AC + l_s)BO}{\sqrt{AC^2 + BO^2 + BC^2}} \dots\dots\dots (26)$$

拉牵产生的防横倾作用力矩按公式 (27) 计算。

$$M_{dy} = nLC \frac{(BC + b_s)BO}{\sqrt{AC^2 + BO^2 + BC^2}} \dots\dots\dots (27)$$

式中：

AC ——加固示意图中 A 点至 C 点的距离，m；

BC ——加固示意图中 B 点至 C 点的距离，m；

BO ——加固示意图中 B 点至 O 点的距离，m。

13.2 腰箍加固时强度计算

13.2.1 单一使用腰箍加固拉牵索具强度由公式 (28) ~ (31) 给出。

防纵移每根索具需要的强度按公式 (28) 计算。

$$S_x = \frac{F_{dx}}{2n\mu \cos \alpha} \dots\dots\dots (28)$$

防横移每根索具需要的强度按公式 (29) 计算。

$$S_y = \frac{F_{dy}}{2n\mu \cos \alpha} \dots\dots\dots (29)$$

防纵倾每根索具需要的强度按公式 (30) 计算。

$$S_y = \frac{M_{dy}}{2 \cos \alpha (l_{s1} + l_{s2} + \dots + l_{sn})} \dots\dots\dots (30)$$

防横倾每根索具需要的强度按公式 (31) 计算。

$$S_y = \frac{M_{dy}}{nb_s \cos \alpha} \dots\dots\dots (31)$$

13.2.2 当采用多种方式加固时，腰箍产生的加固力计算的防纵移作用力，按公式 (32) 计算

$$F_{dx} = 2nLC\mu \cos \alpha \dots\dots\dots (32)$$

腰箍产生的防横移作用力，按公式 (33) 计算。

$$F_{dy} = 2nLC\mu \cos \alpha \dots\dots\dots (33)$$

腰箍产生的防纵倾力矩，按公式（34）计算。

$$M_{dx} = 2LC\mu \cos \alpha (l_{s1} + l_{s2} + \dots + l_{sn}) \dots \dots \dots (34)$$

腰箍产生的防横倾力矩，按公式（35）计算。

$$M_{dy} = nLCb_s \cos \alpha \dots \dots \dots (35)$$

13.3 防滚动掩挡高度（鞍座高度）计算

对于圆柱形或球型货物需要使用掩挡措施或采用鞍座支垫，根据惯性力方向确定掩挡高度。防纵向滚动时，按公式（36）计算。

$$H_x = 0.15D \dots \dots \dots (36)$$

防横向滚动时，按公式（37）计算。

$$H_y = 0.08D \dots \dots \dots (37)$$

注：掩挡应可靠固定，且掩挡或鞍座的强度需根据货物惯性力的大小加以验算。

13.4 焊接焊缝强度计算

使用焊接方式加固时，防止纵向移动，所需焊缝长度按公式（38）计算。

$$L_h = \frac{F_{dx}}{0.7H_h[\tau]} \dots \dots \dots (38)$$

使用焊接方式加固时，防止横向移动，所需焊缝长度按公式（39）计算。

$$L_h = \frac{F_{dy}}{0.7H_h[\tau]} \dots \dots \dots (39)$$

13.5 常用加固材料极限工作负荷的确定

13.5.1 合成纤维拴紧带

合成纤维拴紧带是固定货物的一种工具，由拉紧装置或拉力保持装置和带或不带端配件的扁平织带组成。合成纤维的材料为：涤纶（聚酯PES）、丙纶（聚丙烯PP）、尼龙（聚酰胺PA）等，应用合成纤维拴紧带作为绑扎工具时，合成纤维扁平织带破断拉力应不小于3倍拴紧能力，其金属附件和拉紧装置的破断拉力应不小于2倍拴紧能力。常用合成纤维拴紧带规格及拴紧能力详见表8。

表8 常用合成纤维拴紧带规格及拴紧能力值

织带宽度 (mm)	织带厚度 (mm)	破断拉力 (KN)	拴紧能力 LC (KN)
25	1	8	2.5
25	2	16	5
25	3	25	8
35	1	12	4
35	2	24	8
35	3	33	11
35	4	46	15
50	1	16	5
50	2	32	10
50	3	48	15

表8 常用合成纤维栓紧带规格及栓紧能力值（续）

织带宽度 (mm)	织带厚度 (mm)	破断拉力 (KN)	栓紧能力 LC (KN)
50	4	64	20
75	2	50	15
75	3	75	25
75	4	100	30
75	5	125	40
75	6	150	50
100	6	200	65
150	6	300	100
200	6	400	130

13.5.2 绑扎链条

单个链条绑扎系统由拉紧装置和链条组成。一份完整绑扎链条的样品，包括所有承重部件，应达到表中定的最小破断拉力，最小破断拉力应不小于栓紧能力的2倍，表9中界定了绑扎链条规格及栓紧能力值。

表9 绑扎链条规格及栓紧能力值

完整的绑扎链条的标准尺寸 (mm)	破断拉力 (kN)	栓紧能力 (kN)
6	45.2	22
7	61.6	30
8	80.4	40
9	102	50
10	126	63
11	154	75
13	212	100
16	322	160
18	407	200
20	503	250
22	608	300

13.5.3 绑扎钢丝绳

钢丝绳绑扎系统，由带或不带连接部件和拉紧装置的钢丝绳组成。表10中界定了绑扎钢丝绳的破断拉力和栓紧能力值。

表10 常用绑扎钢丝绳及栓紧能力表

钢丝绳公称直径 (mm)	破断拉力 (kN) min	栓紧能力 (kN)
8	33.4	15
10	52.1	25
12	75.1	35
14	102	50
16	133	65
18	169	80
20	208	100
22	252	125
24	300	150
26	352	175
28	409	200
32	534	250
36	676	320

注：钢丝绳结构6×7和6×9纤维芯，公称抗拉取1570Mpa，见GB/T 8918—2016中7.4规定的要求进行计算。

13.5.4 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱，连接螺栓保证载荷应不小于栓紧能力，常用粗牙螺纹螺栓的规格和保证载荷应按表 11 规定性能等级取值。

表11 螺栓连接强度表

螺纹规格	螺纹公称 应力截面 积	栓紧能力 LC (保证载荷) KN								
		性能等级								
(d)	mm ²	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
M3	5.03	1.13	1.56	1.41	1.91	2.21	2.92	3.27	4.18	4.88
M3.5	6.78	1.53	2.1	1.9	2.58	2.98	3.93	4.41	5.63	6.58
M4	8.78	1.98	2.72	2.46	3.34	3.86	5.09	5.71	7.29	8.52
M5	14.2	3.2	4.4	3.98	5.4	6.25	8.24	9.23	11.8	13.8
M6	20.1	4.52	6.23	5.63	7.64	8.84	11.7	13.1	16.7	19.5
M7	28.9	6.5	8.96	8.09	11	12.7	16.8	18.8	24	28
M8	36.6	8.24	11.3	10.2	13.9	16.1	21.2	23.8	30.4	35.5
M10	58	13.1	18	16.2	22	25.5	33.6	37.7	48.1	56.3
M12	84.3	19	26.1	23.6	32	37.1	48.9	54.8	70	81.8
M14	115	25.9	35.7	32.2	43.7	50.6	66.7	74.8	95.5	112
M16	157	35.3	48.7	44	59.7	69.1	94.2	102	130	152
M18	192	43.2	59.5	53.8	73	84.5	115	---	159	186
M20	245	55.1	76	68.6	93.1	108	147	---	203	238
M22	303	68.2	93.9	84.8	115	133	182	---	251	294
M24	353	79.4	109	98.8	134	155	212	---	292	342
M27	459	103	142	128	174	202	275	---	380	445
M30	561	126	174	157	213	247	337	---	465	544
M33	694	156	215	194	264	305	416	---	575	673
M36	817	184	253	229	310	359	490	---	676	792
M39	976	220	303	273	371	429	586	---	808	947

13.5.5 耳板

耳板栓紧能力按耳板最薄弱处的抗剪切强度计算，普通钢材屈服强度应不小于许用剪切应力的2.5倍；栓紧能力按公式（40）计算。

$$LC = 2B \times t \times \frac{[\tau]}{1000} \dots\dots\dots (40)$$

注：普通A3钢（Q235）许用剪切应力取90MPa。

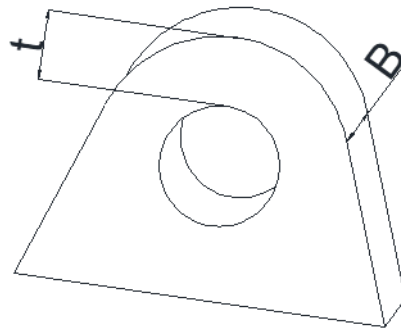


图6 耳板示意图

13.5.6 支挡材料通常使用木材或钢材，木材又分为顺纹使用和横纹使用。

13.5.6.1 木材

木材的种类较多，为方便计算和参考，本准则以较常见的长白山落叶松为基准，在其极限强度的基础上取2.5~3的安全系数，确定最大允许强度如表12，可满足绝大多数木材的安全使用要求。

表12 支挡用木材许用强度表

典型木材强度指标	最大允许顺纹抗压强度Mpa	最大允许顺纹抗剪强度Mpa	最大允许横纹抗压强度Mpa
强度值	17	2.3	1.7
注：顺纹抗压和抗剪的安全系数约为3，横纹抗压的安全系数约为2.5；			

13.5.6.2 钢材

钢材作为支挡材料有抗压和抗剪两种受力方式，以钢材的屈服强度为基础，抗压受力的安全系数取1.5，抗剪受力的安全系数取2.5。

14 加固验算内容及判断准则

14.1 货物纵向滑移的绑扎计算及校核

绑扎系统中各索具受拉后可提供的水平抗力一方面为它的x向分力，一方面为它的z向分力所增加的摩擦力。则绑扎系统可提供的水平抗力按公式（41）计算。

$$[F_{dx}] = \sum_{i=1}^n LC_i (\cos \alpha_i + \sin \alpha_i \times \mu) \dots\dots\dots (41)$$

注：固定式加固点可前后方向共同使用，如吊耳、耳板等；可旋转加固点只能同向加固共同使用，如链环、D型环、卸扣等。

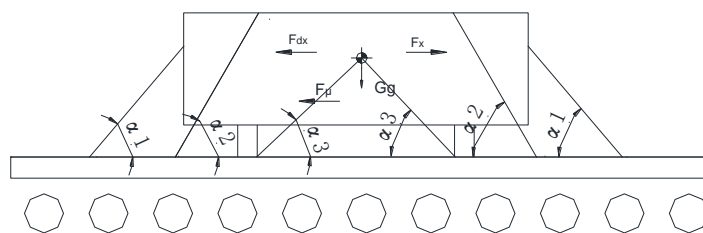


图7 纵向移动加固平衡示意图

由此，可得防止货物纵向滑动的安全校核按公式（42）计算。

$$\sum_{i=1}^n LC_i(\cos \alpha_i + \sin \alpha_i \times \mu) \geq ma_x - mg\mu \dots\dots\dots (42)$$

14.2 货物纵向倾倒的绑扎计算及校核

货物在纵向作用力作用下，将产生绕最前支点的倾倒地矩，货物重力产生阻力矩，当时，货物将要绕点发生倾倒地失稳，这时绑扎索具开始受力。但由于时，货物处于纵向失稳临界位置，这已经是危险状态，因此，为了安全起见，绑扎系统的安全评估通常认为绑扎力和重力所产生的的阻力矩应不小于倾倒地力矩的130%。考虑以上因素，在建立受力平衡方程时应为倾倒地力矩增加1.3倍以上的防倾倒地安全系数，则绑扎系统应提供的纵向倾倒地抗力矩按公式（43）计算。

$$M_1 = k_t ma_x h - mgl \dots\dots\dots (43)$$

式中：

k_t ——取值 2.0。

绑扎系统可提供的抗力矩按（44）计算。

$$[M_{dx}] = \sum_{i=1}^n LC_i[\cos \alpha_i \times h_{si} + \sin \alpha_i \times l_{si}] \dots\dots\dots (44)$$

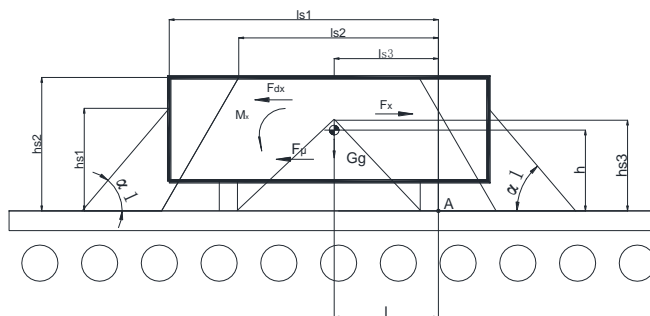


图8 纵向倾覆平衡示意图

由此，可得防止货物纵向倾倒的安全校核按公式（45）计算。

$$[M_x] \geq k_t ma_x h - mgl \dots\dots\dots (45)$$

14.3 货物横向滑移的绑扎计算及校核

为防止货物在车体上横向滑动。为货物所受到的横向作用力，为摩擦力，这里可不必考虑车体倾斜后重力所产生的的摩擦力减小的影响，为道路不平所引起的垂向振动加速度，为绑扎系统在面内应提供的水平抗力。

在 $ma_y > mg\mu$ 的情况下绑扎系统应提供的横向水平抗力按公式（46）计算。

$$F_{dy} = ma_y - mg\mu \dots\dots\dots (46)$$

绑扎系统可提供的横向水平抗力按公式（47）计算。

$$[F_{dy}] = \sum_{i=1}^n LC_i(\cos \beta_i + \sin \beta_i \times \mu) \dots\dots\dots (47)$$

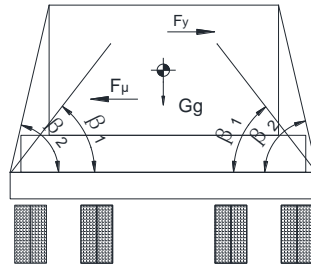


图9 横向移动平衡示意图

防止货物横向滑动的安全校核按公式（48）计算。

$$[F_{ay}] \geq ma_y - mg\mu \dots\dots\dots (48)$$

14.4 货物横向倾倒的绑扎计算及校核

从货物横向倾倒计算中对横向失稳临界位置，系统的总阻力矩应不小于倾倒地矩的130%，绑扎索具应提供的横向倾倒地矩应按公式（49）计算。

$$M_y = k_t ma_y h - mgs \dots\dots\dots (49)$$

式中：

k_t ——取值 2.0。

绑扎系统可提供的抗力矩按公式（50）计算，见图 10。

$$[M_y] = \sum_{i=1}^n Q_i (\cos \beta_i \times h_{si} + \sin \beta_i \times b_{si}) \dots\dots\dots (50)$$

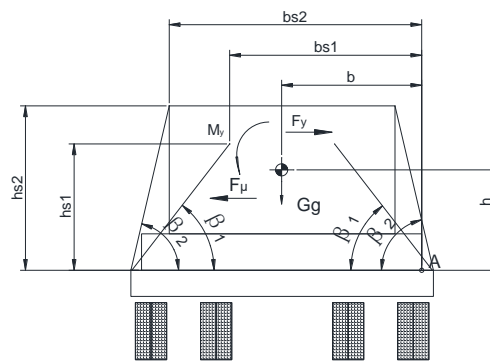


图10 横向倾覆平衡示意图

由此，可得防止货物横向倾倒的安全校核按公式（51）计算。

$$[M_y] \geq k_t ma_y h - mgb \dots\dots\dots (51)$$

参 考 文 献

- [1] GB/T 3098.1—2010 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
 - [2] GB/T 3811—2008 起重机设计规范
 - [3] GB/T 8918—2006 重要用途钢丝绳
 - [4] TB/T 3181—2014 铁路运输过程中货物惯性力值计算
 - [5] T/APD 0004—2021 海上风电设备运输要求
 - [6] 中华人民共和国铁道部 铁路货物装载加固规则铁运[2006]（61号） 中国铁道出版社 2006 北京
 - [7] 江苏忠义工索具有限公司 合成纤维扁平吊带 Q/ZYG001-2016，企业标准
 - [8] 中国船级社 货物系固手册编制指南2015
 - [9] 闻邦椿 《机械设计手册》机械工业出版社 2010 北京
-