

T/APD

中国水利电力物资流通协会团体标准

T/APD 0010—2024

公路大件运输加固计算方法

Calculation methods for reinforcement of abnormal indivisible loads transportation
by road

2024 - 05 - 15 发布

2024 - 05 - 15 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号、参数名称及单位	2
5 原理和方法	3
6 惯性力	7
7 修正系数	8
8 风力	9
9 摩擦力	10
10 所需加固力的计算	11
11 常用加固方法强度计算	13
12 加固验算内容及判断方法	19
参考文献	22

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、东方电气集团大件物流有限公司。

本文件主要起草人：王涛、王茜、王应龙、申世杰、郑声桂、李兴举、田承泰、罗忠华、宋恩磊、黄楠。

本文件首次制定。



公路大件运输加固计算方法

1 范围

本文件描述了公路大件运输加固的原理和方法、惯性力、修正系数、风力、摩擦力、所需加固力的计算、常用加固方法强度计算、加固验算内容及判断方法。

本文件适用于大件运输的公路运输方式加固计算。

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。

GB/T 3811 起重机设计规范

GB/T 8918—2006 重要用途钢丝绳

GB/T 33195 道路交通事故车辆速度鉴定

JT/T 882 道路甩挂运输货物装载与栓固技术要求

EN 12195—1 道路车辆上的装载物固定装置 安全 第1部分:捆绑力的计算 (Load restraining on road vehicles – Safety – Part 1: Calculation of securing forces)

3 术语和定义

JT/T 882 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

大件 abnormal indivisible loads

具有不可拆解特性，或被拆解为两个或多个部分将导致被破坏风险或过高费用的大型物体。

3.2

大件运输 abnormal indivisible loads transportation

按照不同运输方式对大件的管理规定，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，对大件进行水平及垂直位移的过程。

3.3

公路大件运输 abnormal indivisible loads transportation by road

按照公路运输对大件的管理规定，利用运输车辆及设备，在公路中进行运输的大件运输方式。

3.4

捆绑加固 reinforcement

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、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、木板、木方等对物件进行绑扎、固定和防护。

3.5

惯性 inertia

物体保持静止状态或匀速直线运动状态的性质。

注：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，

惯性力是惯性的体现。

3.6

加固力 reinforcement force

由一种加固装置或多种加固装置提供的抵抗货物在车辆货台上移动或倾覆的力。

3.7

货物限位装置 cargo restraint devices

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]

3.8

栓紧装置 lashing equipment

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。栓紧装置一般由拉力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]

3.9

组合加固 combination reinforcement

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, 3.18]

3.10

栓紧能力 lashing capacity (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
F_b	车组最大制动力	kN
F_w	侧向风力	kN
F_x	纵向惯性力	kN
F_y	横向惯性力	kN

表1 符号、参数名称和单位（续）

符号	参数名称	单位
F_z	垂向惯性力	kN
F_{px}	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
$[F_{dx}]$	加固措施产生的防纵移加固力	kN
$[F_{dy}]$	加固措施产生的防横移加固力	kN
g	重力加速度，通常取9.8	m/s ²
H	货物高度	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
h	货物重心的高度	m
h_s	索具在货物上的系固点至倾覆点的高度	m
i	计算索具在同方向起作用的所有绑扎索具中的位数（1、2...n）	-
K_t	防倾覆安全系数	-
LC	栓紧能力	kN
L	货物长度	m
L_h	焊缝长度	m
L_y	运输距离	km
l	货物重心至纵向倾覆支点水平距离	m
l_s	索具在货物上的系固点至纵向倾覆点之间的距离	m
M_{dx}	防纵倾加固力矩	kN.m
M_{dy}	防横倾加固力矩	kN.m
$[M_{dx}]$	加固措施产生的防纵倾加固力矩	kN.m

表1 符号、参数名称和单位（续）

符号	参数名称	单位
$[M_{dy}]$	加固措施产生的防横倾加固力矩	kN.m
m	货物重量	t
n	同方向起作用的拉牵索具数量	-
q	侧向风压	kN/m ²
q_e	侧向经验风压	kN/m ²
q_p	侧向计算风压	kN/m ²
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
t	耳板最小边宽	mm
v	计算风速	m/s
v_x	限制运行速度	km/h
α	加固索具与车板的夹角	°（度）
β	加固索具在车板上的投影与横向的夹角	°（度）
$[\tau]$	许用剪切应力	MPa
θ	道路最大纵坡角度	°（度）
φ	路面附着系数	-
μ	摩擦系数	-
γ_1	公路等级修正系数	-
γ_2	运输距离修正系数	-
γ_3	限速措施修正系数	-
γ_4	车型修正系数	-
γ_5	迎风面形状系数	-

5 原理和方法

5.1 总体原理

5.1.1 概述

大件运输过程中产生纵向、横向、垂向惯性力，使得大件货物有发生滑移和倾覆的趋势，摩擦力和加固措施产生的加固力对滑移和倾覆趋势加以抑制，为达到安全运输的目的，对惯性力、摩擦力、加固力、风力等加以计算和比较，以便确认加固措施的可靠性。大件货物的尺寸和重量分布范围大，为适用各类大件货物惯性力计算，计算体系宜参考《货物系固手册编制指南》，采用基础惯性加速度乘以多种修正系数的方式进行计算，为避免经验系数计算体系的局限性，本文件同时采纳了精确计算法加以补充和完善：

- a) 在纵向惯性力计算中，补充了以下坡紧急制动为极限条件的精确计算法；
- b) 在侧向风力计算中，补充了以确切风速计算风压的精确计算法。

5.1.2 基础惯性加速度的取值为：

- 纵向 9m/s^2 （约 $0.9g$ ）；
- 横向 4.9m/s^2 （ $0.5g$ ）；
- 垂向 2.94m/s^2 （ $0.3g$ ）。

注：道路条件、运输距离、限速措施与纵向加速度相关，运输距离、限速措施与横向加速度相关，车型、限速措施与垂向加速度有关。

5.1.3 纵向惯性力原理

在运输过程中，纵向惯性力是车辆紧急制动、通过减速带等情况下产生的，与行驶方向一致的惯性力。纵向惯性力具有使大件货物产生纵向滑动和纵向倾覆的趋势。

5.1.4 横向惯性力原理

横向惯性力是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。横向惯性力有使大件货物产生横向滑动和横向倾覆的趋势。

5.1.5 垂向惯性力原理

垂向惯性力是在运输过程中，由通过纵曲线道路、车辆颠簸等原因所产生的，且与车板平面呈垂直状态的惯性力。

5.1.6 道路条件修正系数原理

公路等级能够对大件运输行驶的顺畅程度产生影响，而且与紧急情况的发生概率存在关联，故道路条件影响纵向惯性力的大小。

5.1.7 运输距离修正系数原理

由于在运输过程中，惯性力存在反复作用，且加固材料会产生磨损等因素，运输距离的变长将会降低加固装置的可靠性，故运输距离会影响纵、横向惯性力的大小。

5.1.8 限速措施修正系数原理

在大件运输的过程中，通常存在严格的自主限速措施，且会通过押运、护送、卫星定位监控等方式来加以落实。限速措施能够降低紧急情况的发生概率，故限速措施也会影响各方向惯性力的大小。

5.1.9 车型修正系数原理

车辆的悬架类型会对垂向惯性力的大小产生影响。悬架类型的具体车型见表5。

5.1.10 风力原理

风力在大件运输过程中是导致货物侧向移动和侧向倾覆的影响因素之一。在有准确风速资料的路段，按照 GB/T 3811 中基本风压的公式进行计算。在无确切风速的路段，则按照经验公式计算，经验风压参照《铁路货物装载加固规则》取值。

5.1.11 摩擦力原理

摩擦力是由大件货物与车板、大件货物与支垫材料、支垫材料与车板之间接触产生的，阻止货物移位的力。在多层支垫或多种材料支垫的情况下，通过最小摩擦系数的摩擦副来计算摩擦力。例如钢卷用木质托架支垫在钢质车板上，且在木质托架与钢卷间加垫橡胶板，摩擦系数应取 0.4（木质托架与车板），而非 0.5（橡胶垫与钢卷）或 0.6（木质托架与橡胶板）。依据《铁路货物装载加固规则》来区分纵向摩擦力和横向摩擦力的计算，其中纵向摩擦力不考虑垂向惯性力的影响，横向摩擦力则考虑垂向惯性力的影响，摩擦系数也依照《铁路货物装载加固规则》《机械设计手册》以及 EN 12195-1 所给出的取值。

5.1.12 加固力原理

加固力的计算需考虑纵向移动、横向移动、纵向倾覆和横向倾覆这四个方面，若为单独防止某一方面，加固措施宜单独计算。例如仅防止横向移动的挡焊措施，只需计算横向加固强度，而防止多个方面的加固措施，应按最大的需求确定加固强度，例如斜向牵拉既能防止纵向移动、横向移动，又能防止纵向倾覆和横向倾覆，需对多方面强度需求进行计算并取最大值。

5.2 方法

5.2.1 纵向惯性加速度的计算方法

按照纵向惯性加速度的计算方法可分为：

- 精确算法：纵向惯性加速度的默认条件是车辆在运输路段坡度最大的下坡路段采取紧急制动时，货物所产生的纵向惯性加速度；
- 经验估算法：纵向惯性加速度的计算流程是以基础惯性加速度为基础，对道路条件、车型、运输距离、限速措施等因素进行考虑并加以修正。

5.2.2 横向、垂向惯性加速度的计算方法

横向、垂向惯性加速度仅有经验估算法，是在基础惯性加速度的基础上，对车型、运输距离、限速措施等因素进行考虑并做出修正。

5.2.3 风力的计算方法

风力等于风压乘以受风面积（即货物侧面积），然后再乘以迎风面形状系数，迎风面形状系数的取值可参考 GB/T 3811 中迎风面系数的取值。

5.2.4 摩擦力的计算方法

摩擦力分为纵向摩擦力和横向摩擦力：

- 纵向摩擦力由重力乘以摩擦系数获得；
- 横向摩擦力由重力减去垂向惯性力再乘以摩擦系数获得。

5.2.5 修正系数的选取方法

公路大件运输不涵盖厂内（场内）、港内、站内等生产、经营单位自有区域的道路运输，道路条件和运输距离都不考虑非公路段的运输。在道路条件修正系数的选择时，如果运输路线中存在多种道路条件，且在限速措施一致的情况下，应以最差的道路条件作为基准。倘若限速措施依据道路条件有所不同，应分别计算，以加速度大的作为基准。比如：运输路线中包含高速公路和二级公路，当限速措施统一为 30 km/h 时，以二级公路来选择道路修正系数；若高速公路限速 50 km/h，二级公路限速 30 km/h 时，则分别按照以上两个条件选取道路条件系数和限速措施系数，以惯性力计算结果高的为准。

5.2.6 加固力（矩）的计算方法

加固力（矩）的计算方法分为以下几种：

- 防纵移加固力，由纵向惯性力减去摩擦力获得；
- 防横移加固力，由横向惯性力加上风力，减去摩擦力获得；

- c) 防纵倾加固力矩,由纵向惯性力产生的倾覆力矩乘以安全系数,再减去重力产生的纵向稳定力矩获得,安全系数根据失效危害程度在1.3~2.0之间选取;
- d) 防横倾加固力矩,由横向惯性力与风力之和乘以安全系数,再减去重力产生的横向稳定力矩获得,安全系数根据失效危害程度在1.3~2.0之间选取。

5.2.7 斜向拉牵加固强度的计算方法

拉牵索具计算公式,参考《货物系固手册编制指南》中的“非标准货与半标准货的堆装与系固”章节的相关公式,腰箍加固方式为拉牵方向与横向夹角(β)为 0° 的特例。

5.2.8 防滚动掩挡高度(鞍座高度)计算方法

防滚动掩挡高度(鞍座高度)计算方法见《铁路货物装载加固规则》中的相关计算公式。

5.2.9 焊接焊缝强度计算方法

焊接焊缝强度计算方法见《铁路货物装载加固规则》中的相关计算公式。

5.3 前提条件

前提条件包括:

- 依据本文件采取的加固措施不排除大件运输安全对驾驶员、车队长操作经验的依赖;
- 采用多种加固材料时,尽量选择长度和弹性接近的加固材料,避免因弹性不一致造成多根加固索具之间出现明显受力不均;
- 对主要防止纵向移动的加固索具,原则上拉牵索具在车板的投影与行驶方向夹角不大于 30° 度。

6 惯性力

6.1 纵向惯性力

6.1.1 纵向惯性力按公式(1)计算。

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

6.1.2 纵向惯性加速度精确算法(最不利条件下)

6.1.2.1 通过最大下坡时制动产生的纵向惯性加速度按公式(2)计算。

$$a_x = a_b + \frac{F_{px}}{m} \dots\dots\dots (2)$$

6.1.2.2 通过查取车辆最大制动力换算制动加速度,按公式(3)计算。

$$a_b = \min\left(\frac{F_b}{m}, \varphi \times g\right) \dots\dots\dots (3)$$

注:通常 φ 取0.8时,其为在满足多种道路条件下偏安全的取值,若道路条件单一,可参考GB/T 33195中道路附着系数的取值。

6.1.2.3 通过最大下坡下滑力按公式(4)计算。

$$F_{px} = \sin \theta \times m \times g \dots\dots\dots (4)$$

6.1.3 纵向惯性加速度经验估算法

纵向惯性加速度可按公式(5)计算, γ_1 、 γ_2 、 γ_3 的修正系数见表2、表3和表4。

$$a_x = 9 \times \gamma_1 \times \gamma_2 \times \gamma_3 \dots\dots\dots (5)$$

6.2 横向惯性力

6.2.1 横向惯性力计算

横向惯性力可按公式（6）计算。

$$F_y = a_y \times m \dots\dots\dots (6)$$

6.2.2 横向惯性加速度计算

横向惯性加速度可按公式（7）计算， γ_2 、 γ_3 的修正系数见表3和表4。

$$a_y = 4.9 \times \gamma_2 \times \gamma_3 \dots\dots\dots (7)$$

6.3 垂向惯性力

6.3.1 垂向惯性力计算

垂向惯性力可按公式（8）计算。

$$F_z = a_z \times m \dots\dots\dots (8)$$

6.3.2 垂向惯性加速度计算

垂向惯性加速度可按公式（9）计算。 γ_3 、 γ_4 的修正系数见表4和表5。

$$a_z = 2.94 \times \gamma_3 \times \gamma_4 \dots\dots\dots (9)$$

7 修正系数

7.1 道路条件修正系数

道路条件影响大件运输过程中的惯性力的强弱，其修正系数宜按表2取值。

表2 道路条件修正系数表

道路条件	修正系数 γ_1
高速公路、一级公路	0.8
二级公路、三级公路	1.0
四级公路、等外道路	1.2

7.2 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，其修正系数宜按表3取值。

表3 运输距离修正系数表

运输距离 L_y km	修正系数 γ_2
$L_y \leq 10$	0.7
$10 < L_y \leq 50$	0.8

表3 运输距离修正系数表（续）

运输距离 L_y km	修正系数 γ_2
$50 < L_y \leq 200$	0.9
$200 < L_y \leq 500$	1.0
$500 < L_y \leq 1000$	1.1
$1000 < L_y \leq 2000$	1.2
$L_y > 2000$	1.3

7.3 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，其修正系数宜按表4取值。

表4 限速措施修正系数表

限速措施 V_x km/h	修正系数 γ_3
$V_x \leq 5$	0.8
$5 < V_x \leq 10$	0.9
$10 < V_x \leq 30$	1.0
$V_x > 30$	1.1

7.4 车型修正系数

大件运输使用车型对货物惯性力产生影响，其修正系数宜按表5取值。

表5 车型修正系数表

车型	修正系数 γ_4
液压悬挂挂车	0.8
空气悬架挂车	0.9
其他车型	1.0

8 风力

8.1 概述

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。风压可按两种方法进行取值。

8.2 风力计算按公式（10）计算， γ_5 的迎风面形状系数见表6。

$$F_w = q \times L \times H \times \gamma_5 \dots \dots \dots (10)$$

式中：

q ——取 q_e, q_p 的最大值。

表6 迎风面形状系数表

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

8.3 在确切风速大于 10 级风（约 28m/s）时，计算风压按公式（11）计算。

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

8.4 在无确切风速资料或风速小于 10 级风（约 28m/s）时，经验风压 q_e 取 0.49 kN/m^2 。

9 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。常用材料间的摩擦系数见表7。

表7 常用材料间的摩擦系数

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
钢与钢	0.15
履带走行机械与车辆钢板	0.15
橡胶轮胎与车辆钢板	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

表7 常用材料间的摩擦系数（续）

摩擦副	摩擦系数
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

纵向摩擦力按公式（12）计算。

$$F_{fx} = \mu mg \dots\dots\dots (12)$$

横向摩擦力按公式（13）计算。

$$F_{fy} = \mu(mg - F_z) \dots\dots\dots (13)$$

10 所需加固力的计算

10.1 防纵移加固力

防纵移加固力按公式（14）计算，纵向移动作用力示意图见图1。

$$F_{dx} = F_x - F_{fx} \dots\dots\dots (14)$$

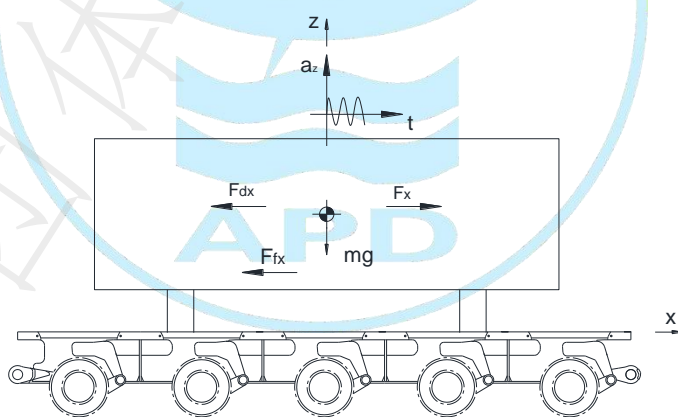


图1 纵向移动作用力

10.2 防纵倾加固力矩

防纵倾加固力矩按公式（15）计算，纵向倾覆作用力示意图见图2。

$$M_{dx} = K_t \times F_x \times h - mg \times l \dots\dots\dots (15)$$

式中：

K_t ——取值1.3~2.0。

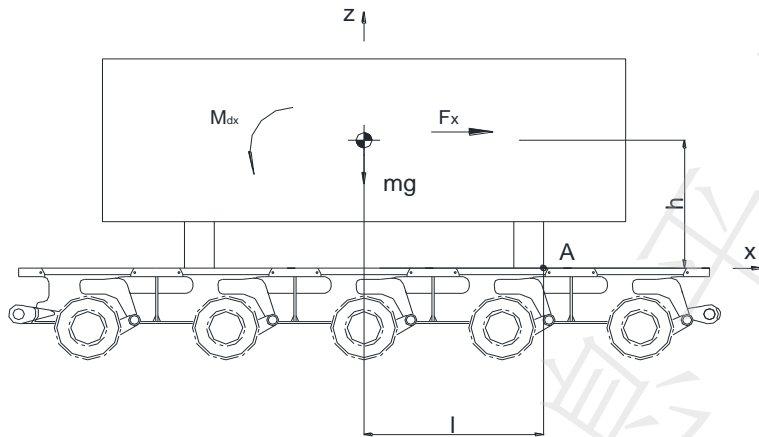


图2 纵向倾覆作用力

10.3 防横移加固力

防横移加固力计算按公式（16）计算，横向移动作用力示意图见图3。

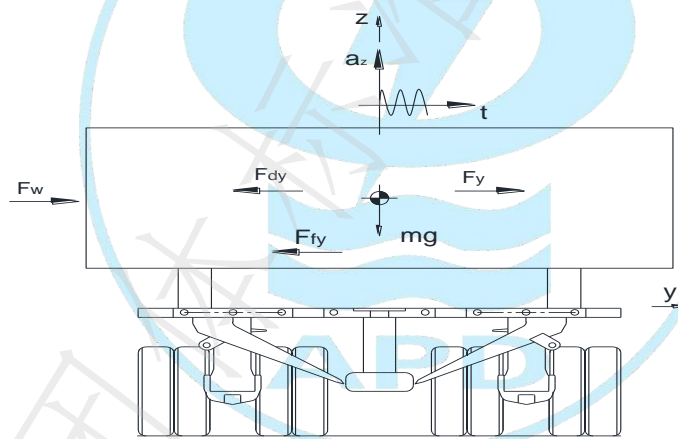


图3 横向移动作用力

$$F_{dy} = F_y + F_w - F_{fy} \dots\dots\dots (16)$$

10.4 防横倾加固力矩

防横倾加固力矩按公式（17）计算，横向倾覆作用力示意图见图4。

$$M_{dy} = K_t \times h \times (F_y + F_w) - mg \times b \dots\dots\dots (17)$$

式中：

K_t ——取值1.3~2.0。

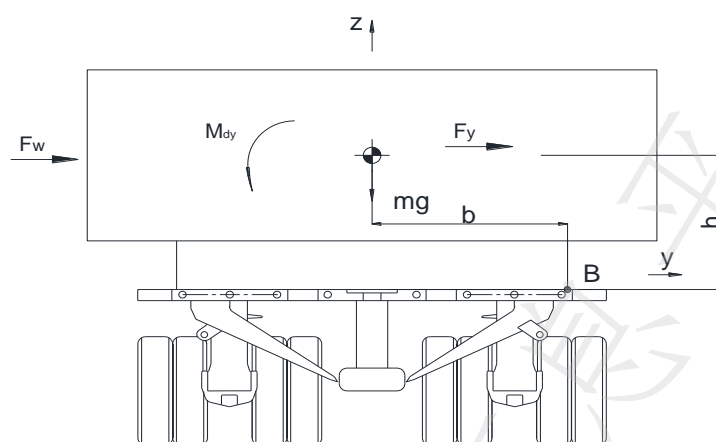


图4 横向倾覆作用力

11 常用加固方法强度计算

11.1 采用斜向拉牵加固时的强度计算

11.1.1 单一拉牵加固时，每根拉牵绳应承受的力，当车辆宽度大于货物宽度时，拉牵加固示意图见图5。当货物宽度大于车辆宽度时，拉牵加固示意图见图6。

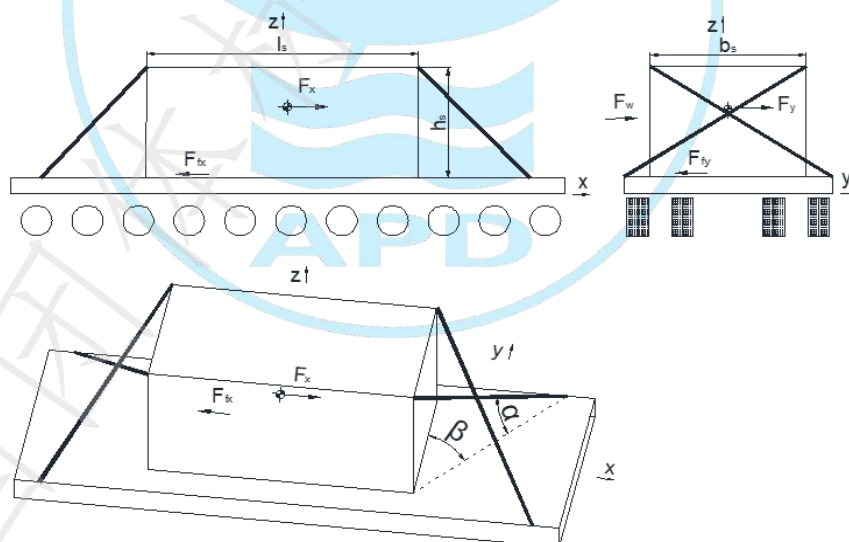


图5 车比货宽斜向拉牵加固示意图

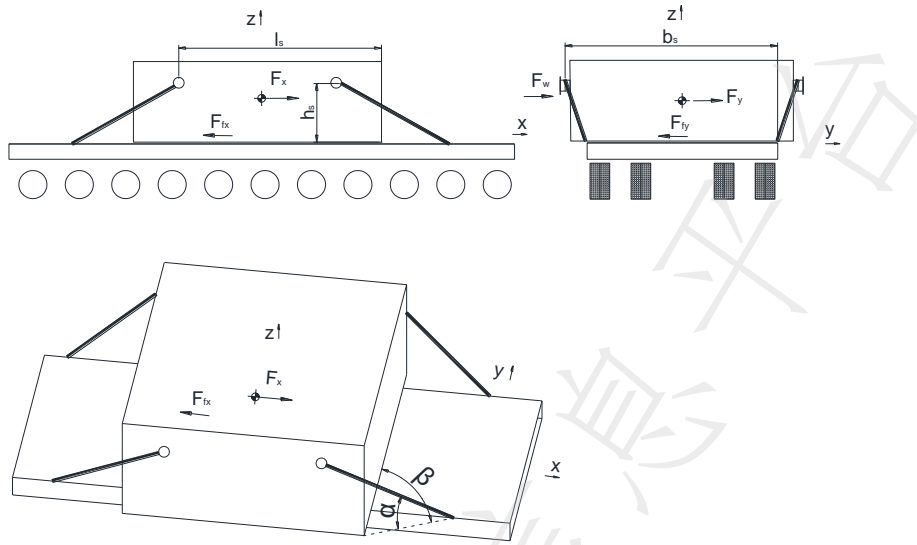


图6 货比车宽斜向拉牵加固示意图

11.1.2 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 (18) ~ (22) 计算。
防止纵向移动时应按公式 (18) 计算。

$$S_x = \frac{F_{dx}}{n(\cos\alpha\sin\beta + \mu\sin\alpha)} \dots\dots\dots (18)$$

防止横向移动时应按公式 (19) 计算。

$$S_y = \frac{F_{dy}}{n(\cos\alpha\cos\beta + \mu\sin\alpha)} \dots\dots\dots (19)$$

防止纵向倾覆时应按公式 (20) 计算。

$$S_{qx} = \frac{M_{dx}}{n(l_s\sin\alpha + h_s\cos\alpha\sin\beta)} \dots\dots\dots (20)$$

防止横向倾覆时应按公式 (21) 计算。

$$S_{qy} = \frac{M_{dy}}{n(b_s\sin\alpha + h_s\cos\alpha\cos\beta)} \dots\dots\dots (21)$$

取最大值按公式 (22) 计算。

$$S = \max(S_x, S_y, S_{qx}, S_{qy}) \dots\dots\dots (22)$$

11.1.3 多种方式组合加固时，拉牵加固产生的作用力由公式 (23) ~ (26) 给出。
拉牵产生的防纵移作用力按公式 (23) 计算。

$$[F_{dx}] = nLC(\cos\alpha\sin\beta + \mu\sin\alpha) \dots\dots\dots (23)$$

拉牵产生的防横移作用力按公式 (24) 计算。

$$[F_{dy}] = nLC (\cos\alpha\cos\beta + \mu\sin\alpha) \dots\dots\dots (24)$$

拉牵产生的防纵倾作用力矩按公式 (25) 计算。

$$[M_{dx}] = nLC (h_s\cos\alpha\sin\beta + l_s\sin\alpha) \dots\dots\dots (25)$$

拉牵产生的防横倾作用力矩按公式 (26) 计算。

$$[M_{dy}] = nLC (h_s\cos\alpha\cos\beta + b_s\sin\alpha) \dots\dots\dots (26)$$

11.2 腰箍加固时强度计算

11.2.1 单一使用腰箍加固拉牵索具强度由公式 (27) ~ (30) 给出，腰箍加固示意图见图 7。

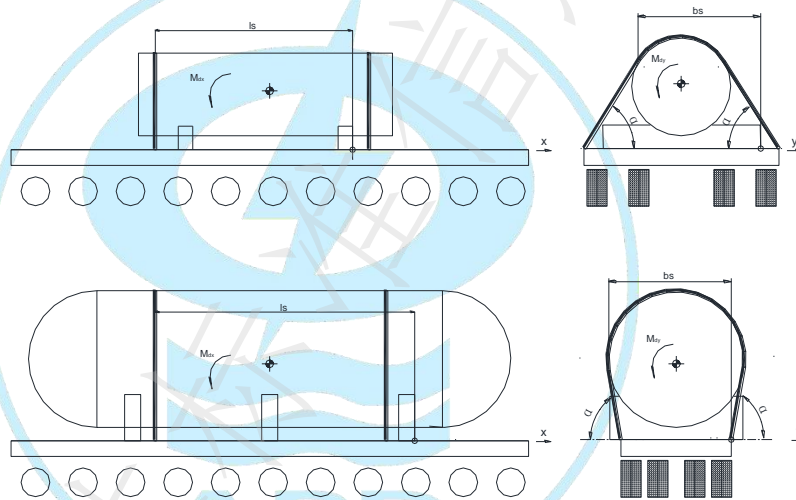


图7 腰箍加固示意图

防纵移每根索具需要的强度按公式 (27) 计算。

$$S_x = \frac{F_{dx}}{2n\mu\sin\alpha} \dots\dots\dots (27)$$

防横移每根索具需要的强度按公式 (28) 计算。

$$S_y = \frac{F_{dy}}{2n\mu\sin\alpha} \dots\dots\dots (28)$$

防纵倾每根索具需要的强度按公式 (29) 计算。

$$S_{qx} = \frac{M_{dx}}{2\sin\alpha(l_{s1}+l_{s2}+\dots+l_{sn})} \dots\dots\dots (29)$$

防横倾每根索具需要的强度按公式 (30) 计算。

$$S_{qy} = \frac{M_{dy}}{nb_s \sin \alpha} \dots\dots\dots (30)$$

11.2.2 当采用多种方式加固时,腰箍产生的加固力按公式(31)~(34)计算。

a) 腰箍产生的防纵移作用力,按公式(31)计算。

$$[F_{dx}] = 2nLC\mu \sin \alpha \dots\dots\dots (31)$$

b) 腰箍产生的防横移作用力,按公式(32)计算。

$$[F_{dy}] = 2nLC\mu \sin \alpha \dots\dots\dots (32)$$

c) 腰箍产生的防纵倾力矩,按公式(33)计算。

$$[M_{dx}] = 2LC \sin \alpha (l_{s1} + l_{s2} + \dots + l_{sn}) \dots\dots\dots (33)$$

d) 腰箍产生的防横倾力矩,按公式(34)计算。

$$[M_{dy}] = nLC \sin \alpha b_s \dots\dots\dots (34)$$

11.3 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(35)计算。

$$H_x = 0.15D \dots\dots\dots (35)$$

防横向滚动时,按公式(36)计算。

$$H_y = 0.08D \dots\dots\dots (36)$$

注:掩挡可靠固定,且掩挡或鞍座的强度需根据货物惯性力的大小加以验算。

11.4 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(37)计算。

$$L_h = \frac{F_{dx}}{0.7H_h[\tau]} \dots\dots\dots (37)$$

使用焊接方式加固时,防止横向移动,所需焊缝长度按公式(38)计算。

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

注:普通结构钢焊材许用剪切应力 $[\tau]$ 取90MPa。

11.5 常用加固材料极限工作负荷的确定

11.5.1 合成纤维栓紧带

合成纤维栓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,应选用符合GB/T 23914.2-2009的合成纤维栓紧带总成作为绑扎工具,合成纤维扁平织带标签完好,破断拉力应不小于3倍栓紧能力,其金属附件和拉紧装置的破断拉力应不小于2倍栓紧能力。

11.5.2 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，绑扎链条标签完好，最小破断拉力应不小于栓紧能力的2倍，表8给出了常见的绑扎链条规格及栓紧能力值。

表8 绑扎链条规格及栓紧能力值

链条的直径(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

11.5.3 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9中给出了常见的绑扎钢丝绳的破断拉力和栓紧能力值。

表9 常用绑扎钢丝绳及栓紧能力表

钢丝绳公称直径(mm)	最小破断拉力(kN)	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—2006中7.4规定的要求进行计算。

11.5.4 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栓紧能力应按表10规定性能等级取值。

表10 常用螺栓紧能力表

螺纹规格 (d)	螺纹公称应 力截面积 (mm ²)	栓紧能力 LC (kN) 性能等级								
		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

11.5.5 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（39）计算，耳板示意图见图8。

$$LC = 2B \times t \times \frac{[\tau]}{1000} \dots\dots\dots (39)$$

注：普通A3钢（Q235）许用剪切应力 $[\tau]$ 取90MPa。

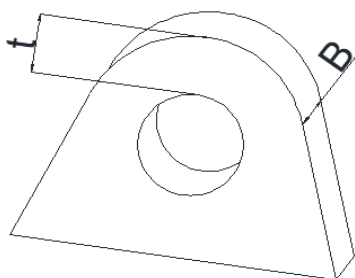


图8 耳板示意图

11.5.6 支挡材料

11.5.6.1 木材

木材以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11，可满足绝大多数木材的安全使用要求。

表11 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；			

11.5.6.2 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。

12 加固验算内容及判断方法

12.1 货物纵向滑移的绑扎计算及校核

防止货物纵向滑移所需的水平抗力 F_{dx} 按公式（14）计算。

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纵向分力，一方面为它的垂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（40）计算，纵向移动加固平衡示意图见图9。

$$[F_{dx}] = \sum_{i=1}^n LC_i (\cos \alpha_i \sin \beta_i + \sin \alpha_i \times \mu) \dots \dots \dots (40)$$

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。

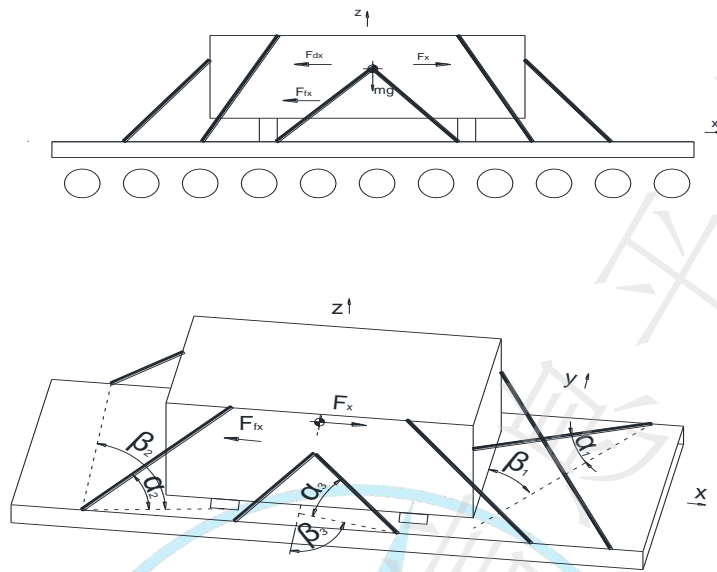


图9 纵向移动加固平衡示意图

防止货物纵向滑动的安全性按公式（41）判断。

$$[F_{dx}] \geq F_{dx} \dots\dots\dots (41)$$

12.2 货物纵向倾倒的绑扎计算及校核

绑扎系统应提供的纵向倾倒抗力矩 M_{dx} 按公式（15）计算。
绑扎系统可提供的抗力矩按（42）计算，纵向倾覆平衡示意图见图10。

$$[M_{dx}] = \sum_{i=1}^n LC_i [\cos \alpha_i \sin \beta_i \times h_{si} + \sin \alpha_i \times l_{si}] \dots\dots\dots (42)$$

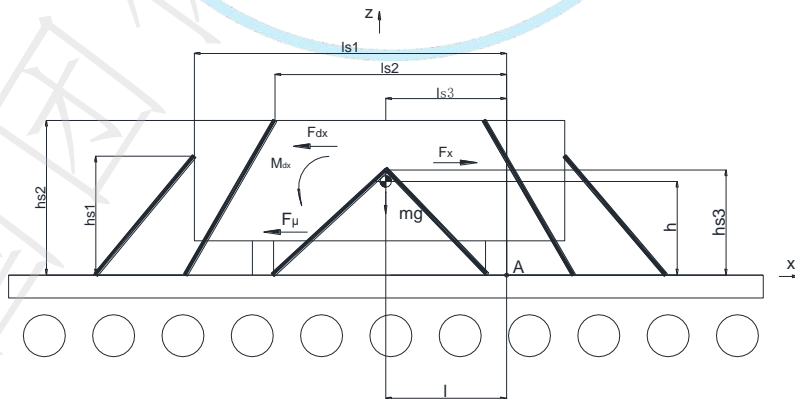


图10 纵向倾覆平衡示意图

防止货物纵向倾倒的安全性按公式（43）判断。

$$[M_{dx}] \geq M_{dx} \dots\dots\dots (43)$$

12.3 货物横向滑移的绑扎计算及校核

绑扎系统应提供的横向水平抗力 F_{dy} 按公式（16）计算。

绑扎系统可提供的横向水平抗力按公式（44）计算，横向移动平衡示意图见图11。

$$[F_{dy}] = \sum_{i=1}^n LC_i(\cos\alpha_i \cos\beta_i + \sin\alpha_i \times \mu) \dots\dots\dots (44)$$

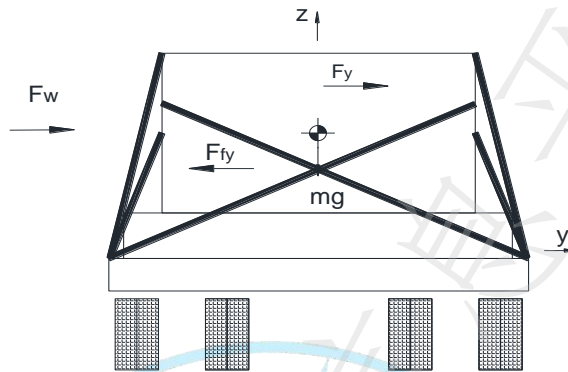


图11 横向移动平衡示意图

防止货物横向滑动的安全性按公式（45）判断。

$$[F_{dy}] \geq F_{dy} \dots\dots\dots (45)$$

12.4 货物横向倾倒的绑扎计算及校核

绑扎索具应提供的横向倾倒抗力矩 M_{dy} 应按公式（18）计算。

绑扎系统可提供的抗力矩按公式（46）计算，横向倾覆平衡示意图见图12。

$$[M_y] = \sum_{i=1}^n LC_i(\cos\alpha_i \cos\beta_i \times h_{si} + \sin\alpha_i \times b_{si}) \dots\dots\dots (46)$$

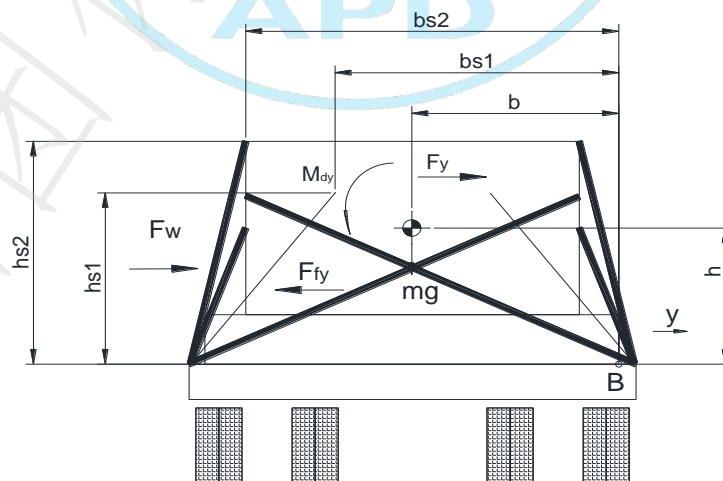


图12 横向倾覆平衡示意图

防止货物横向倾倒的安全性按公式（47）判断。

$$[M_y] \geq M_y \dots\dots\dots (47)$$

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 23914.2—2009 道路车辆装载物固定装置安全性第2部分:合成纤维栓紧带总成
- [3] GB/T 35227—2017 地面气象观测规范 风向和风速
- [4] DL/T 1017 电力大件运输规范
- [5] QC/T 913—2013 液压悬挂挂车通用技术条件
- [6] QC/T 1149—2021 大件运输专用车辆
- [7] TB/T 3181—2014 铁路运输过程中货物惯性力值计算
- [8] T/APD 0004—2021 海上风电设备运输规范
- [9] Q/ZYG 001—2016 合成纤维扁平吊带
- [10] 铁路货物装载加固规则 中国铁道出版社出版(铁总运[2015]296号)
- [11] 货物系固手册编制指南 中国船级社 2015年
- [12] 机械设计手册 北京:机械工业出版社, 2010.

