

桥梁拉索限位设计与应用技术规范

Specifications for restraining design & application with cables for bridges

2025 - 07 - 29 发布

2025 - 08 - 29 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 基本要求 2

 4.1 设计原则 2

 4.2 自由行程 2

5 材料 2

6 设计与应用 2

 6.1 一般规定 3

 6.2 抗震设计流程 3

 6.3 设计参数 4

 6.4 建模与分析 5

 6.5 抗震验算 6

附录 A（资料性） 拉索限位装置结构示例 7

附录 B（资料性） 拉索限位装置技术参数 8

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。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

桥梁拉索限位设计与应用技术规范

1 范围

本文件规定了桥梁采用拉索限位设计的基本要求、材料及设计与应用的要求。
本文件适用于为控制地震作用位移响应而采用拉索限位设计的公路和城市桥梁。

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 699 优质碳素结构钢
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓连接副
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB/T 3632 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副
- GB/T 8358 钢丝绳 实际破断拉力测定方法
- GB/T 8918 重要用途钢丝绳
- GB/T 11352 一般工程用铸造碳钢件
- CJJ 166 城市桥梁抗震设计规范
- JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
- JTG B02 公路工程抗震规范
- JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范
- JTG/T 2231—01 公路桥梁抗震设计规范
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

拉索自由行程 free displacement of cable restrainer

拉索限位装置从初始位置在水平某个主位移方向上开始相对滑动到拉索张紧开始受力状态的位移值。

3.2

拉索限位刚度 lateral restraining stiffness of cable restrainer

拉索限位装置的拉索张紧后的水平刚度。

3.3

拉索限位装置 cable restrainer

一种以拉索作为主要受力构件能有效限制墩梁相对位移，防止落梁等地震灾害的限位装置。

3.4

拉索限位设计 cable-restrain design

以拉索作为主要受力构件开展的限制墩梁相对位移，防止落梁等地震灾害的设计工作。

4 基本要求

4.1 设计原则

- 4.1.1 拉索限位设计宜采用拉索限位装置与桥梁上、下部结构连接实现，拉索限位装置结构示例见附录 A，其技术参数见附录 B。
- 4.1.2 对板式橡胶支座的桥梁采用拉索限位设计时，E1 地震作用下支座不宜与墩（台）顶产生相对滑动，E2 地震作用下支座不宜与墩（台）顶产生较大相对滑动。
- 4.1.3 对板式橡胶支座以外其他类型支座的桥梁采用拉索限位设计时，E2 地震作用下应不发生落梁破坏。
- 4.1.4 拉索限位设计中连接件的承载力应大于拉索的承载力。
- 4.1.5 拉索限位设计宜实现多墩台共同参与承担地震水平作用。
- 4.1.6 拉索限位设计应传递由地震产生的水平力，应采用非线性模型计算限位力和自由行程。
- 4.1.7 正常使用荷载作用下，拉索不发生限位作用，应满足上部结构荷载及位移的要求。
- 4.1.8 在正常设计、生产、安装、运营和养护条件下，拉索限位装置设计使用年限不应低于 15 年。

4.2 自由行程

- 4.2.1 拉索自由行程中，限位装置不应限制桥梁结构在正常使用状态下发生的位移。
- 4.2.2 拉索自由行程宜考虑桥址场地的地震动参数、桥梁结构的型式、桥梁下部结构的变形和荷载承受能力、梁墩搭接长度、收缩与徐变以及温度变形等因素确定合理取值。

5 材料

- 5.1 拉索限位装置组件和连接件等采用的钢材宜采用锻钢或轧钢加工，采用优质碳素结构钢、碳素结构钢、合金结构钢和低合金高强度结构钢时，其性能应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 3077 和 GB/T 1591 的规定。
- 5.2 拉索限位装置采用钢铸件时，铸钢材质应符合 GB/T 11352 的规定。
- 5.3 拉索限位装置采用不锈钢时，一般环境宜采用 06Cr17Ni12Mo2、06Cr19Ni13Mo3 和 06Cr18Ni11Ti 不锈钢冷轧钢板，腐蚀环境宜采用 022Cr17Ni12Mo2 和 022Cr19Ni13Mo3 不锈钢冷轧钢板。不锈钢板化学成分及力学性能应符合 GB/T 3280 的规定。
- 5.4 拉索宜采用高强度钢丝绳，钢丝绳的技术性能应符合 GB/T 8918 的相关规定，其破断拉伸试验测定方法按 GB/T 8358 规定执行。
- 5.5 高强度螺栓、螺母、垫圈的技术条件应符合 GB/T 1231、GB/T 3632 的规定。
- 5.6 当大气腐蚀环境为在 JT/T 722—2023 中 C3 及以下时，拉索用钢丝绳镀锌级别不应低于 AB 级；为 C4 及以上时，钢丝绳镀锌级别应为 A 级，并包覆防腐胶带以隔离空气、杂质和水等。
- 5.7 拉索用钢丝绳的防腐应符合 GB/T 8918 的相关规定，钢丝绳可均匀连续涂覆防锈润滑油脂。

6 设计与应用

6.1 一般规定

- 6.1.1 下列情形宜进行拉索限位设计：
- 桥梁位于地震作用下易发生大变形的地基上；
 - 有效支承长度较小的桥梁；
 - 横桥向只设置一个支座或支座的横向间距相对梁高较小的桥梁；
 - 连续梁桥的边墩和上部结构之间；
 - 简支梁（板）桥。
- 6.1.2 对采用板式橡胶支座的桥梁，拉索限位装置与板式橡胶支座共同传递地震水平力时，应按 JTG/T 2231—01 中桥梁抗震体系类型 I 进行抗震设计。
- 6.1.3 对采用板式橡胶支座的桥梁，允许板式橡胶支座与墩（台）顶产生相对滑移并采用拉索限制支座最大滑动位移时，应按 JTG/T 2231—01 中桥梁抗震体系类型 II 进行抗震设计。
- 6.1.4 对采用板式橡胶支座以外其他类型支座的桥梁，应根据支座及其他连接装置确定桥梁抗震体系后再进行抗震设计。
- 6.1.5 拉索限位装置不应影响支座性能的发挥，正常使用状态下不影响支座转动和平动能力的发挥，对于减隔震支座，地震作用下不影响支座减隔震性能的发挥。
- 6.1.6 拉索限位装置的拉索自由行程应与桥梁支座的主位移量相协调，若桥梁采用了减隔震支座，限位装置在发生限位作用前不应影响减隔震支座发挥其减隔震作用。
- 6.1.7 采用的拉索限位装置应满足其强度和刚度要求。

6.2 抗震设计流程

6.2.1 采用拉索限位装置的桥梁抗震设计流程图如图 1 所示：

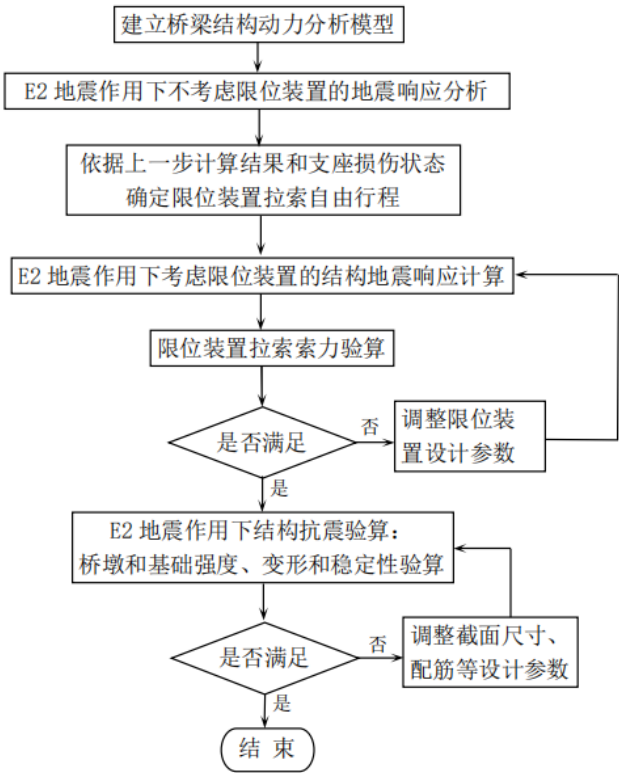


图1 抗震设计流程图

6.3 设计参数

6.3.1 钢丝绳最小破断拉力按公式（1）计算：

$$F_0 = \frac{K' \cdot D^2 \cdot R_0}{1000} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

F_0 ——钢丝绳最小破断拉力，单位为千牛（kN）；

K' ——某一指定结构钢丝绳的最小破断拉力系数， K' 值应符合GB/T 8918中的相关规定；

D ——钢丝绳公称直径，单位为毫米（mm）；

R_0 ——钢丝绳公称抗拉强度，单位为兆帕（MPa）。

6.3.2 限位装置水平承载力容许值计算如下：

a) 桥梁抗震体系采用类型 I 时，水平承载力容许值 F_d 按公式（2）计算：

$$F_d = V_t \dots\dots\dots (2)$$

式中：

F_d ——限位装置水平承载力，单位为千牛（kN）；

V_t ——地震作用下桥墩塑性铰区域截面弯矩达到超强弯矩或墩身剪力达到抗剪承载力时分别对应的墩顶水平剪力，单位为千牛（kN），取两者较小值。

b) 桥梁抗震体系采用类型 II 时，水平承载力容许值 F_d 按公式（3）计算：

$$F_d = v'_t \dots\dots\dots (3)$$

式中：

V'_t ——地震作用下桥墩底部截面发生局部轻微损伤，但仍处于弹性状态时对应的墩顶最大水平剪力，单位为千牛（kN）。

6.3.3 钢棒抗剪承载力 应符合公式（4）：

$$F_v \geq 1.5F_0 \cdot n \dots\dots\dots (4)$$

式中：

F_v ——钢棒抗剪承载力，单位为千牛（kN）；

F_0 ——钢丝绳最小破断拉力，单位为千牛（kN）；

n ——拉索并列的数量。

6.3.4 单根拉索的水平刚度 K_H 计算参考公式(B.11)，拉索限位刚度为 K_{SH} ，具体计算公式见公式(5)～公式（7）：

$$K_{SH} = n \cdot K_H \dots\dots\dots (5)$$

$$K_H = 4 \cdot \cos^2 \alpha \cdot K \cdot \rho \dots\dots\dots (6)$$

$$K = (E \cdot A) / L \dots\dots\dots (7)$$

式中：

K_{SH} ——限位装置的拉索限位刚度，单位为千牛每米（kN/m）；

n ——拉索并列的数量；

K_H ——单根拉索的水平刚度，单位为千牛每米（kN/m）；

α ——拉索张紧时与水平面的夹角，单位为弧度（rad）；

K ——单根拉索的轴向刚度，单位为千牛每米（kN/m）；

ρ ——拉索刚度修正系数，宜根据试验确定，一般取1.0；

E ——拉索弹性模量，单位为兆帕（MPa）；

A ——单根拉索计算截面积，单位为平方毫米（mm²）；

L ——单根拉索计算长度，连通式拉索限位装置一般是指单圈拉索周长，单位为毫米（mm）。

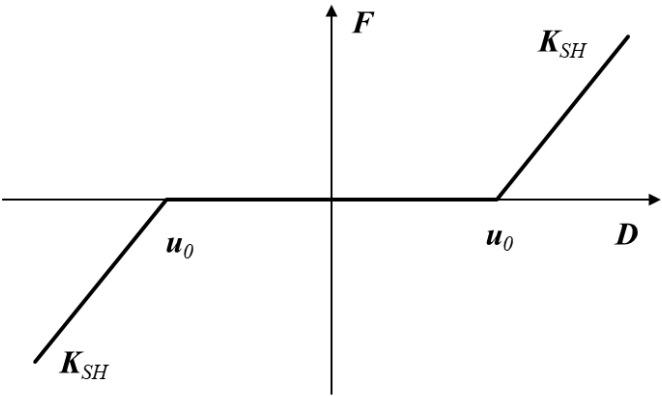
6.3.5 拉索限位设计中墩梁搭接长度应保证超过拉索自由行程的 1.5 倍，以确保限位设计发挥作用，并符合 JTG B02、JTG/T 2231—01 的相关规定。

6.4 建模与分析

6.4.1 公路桥梁按 JTG B02、JTG/T 2231-01 的相关规定进行建模。

6.4.2 城市桥梁按 CJJ 166 的相关规定进行建模。

6.4.3 拉索限位装置的力学本构如图 2 所示。



标引序号说明：

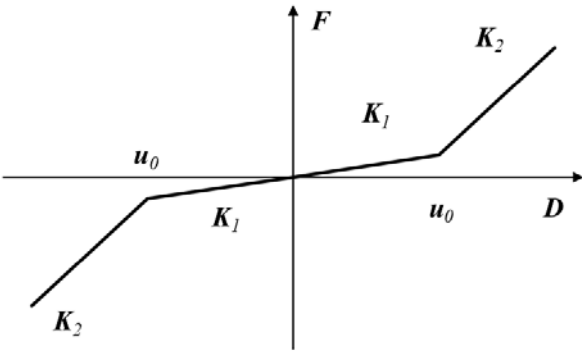
u_0 ——拉索自由行程；

K_{SH} ——拉索限位装置的水平刚度。

当支座位移小于 u_0 时，拉索处于基本松弛状态，当支座位移大于 u_0 时，拉索限位装置的水平刚度为 K_{SH} 。

图2 拉索限位装置的力学本构

6.4.4 拉索限位装置建模时，与支座并联，其力学本构如图 3 所示。



标引序号说明：

u_0 ——拉索自由行程；

K_1 ——支座的水平刚度；

K_2 ——支座与拉索限位装置共同发挥作用时的水平刚度。

当支座位移或墩梁相对位移小于 u_0 时，拉索处于基本松弛状态，只有支座的水平刚度 K_1 发挥作用，当支座位移或墩梁相对位移大于 K_2 时，拉索限位装置发挥作用，与支座一起受力。

图3 拉索限位装置与支座并联时的力学本构

6.5 抗震验算

6.5.1 拉索的承载能力按公式（8）进行验算：

$$F_{ls} \leq F_d \cdots \cdots \cdots (8)$$

式中：

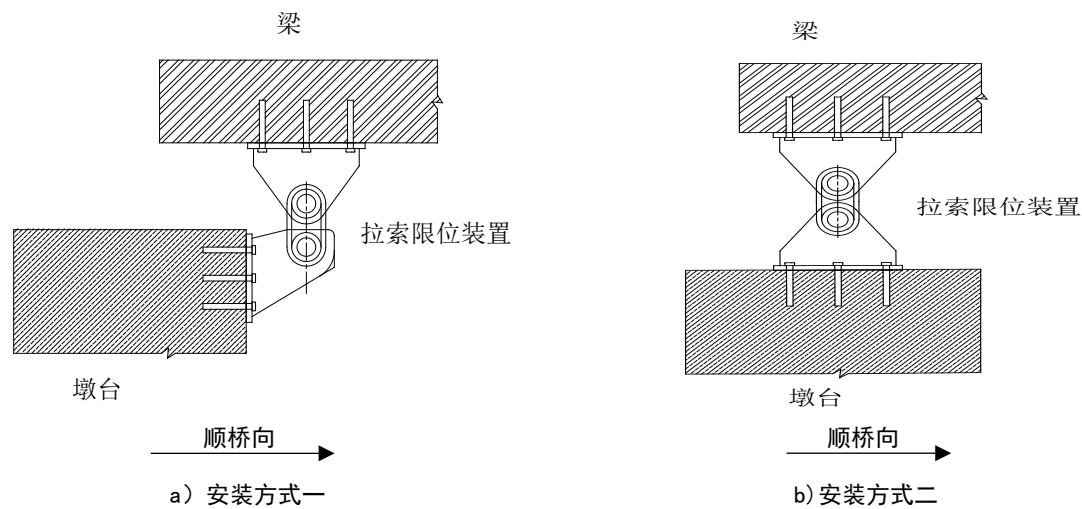
F_{ls} ——拉索的水平组合地震内力，单位为千牛（kN）。

F_d ——拉索的水平承载力，即拉索限位装置水平承载力，单位为千牛（kN）。

- 6.5.2 公路桥梁应按 JTG B02、JTG/T 2231—01 的相关规定进行验算。
- 6.5.3 城市桥梁应按 CJJ 166 的相关规定进行验算。
- 6.5.4 拉索限位装置组件的强度、刚度应满足 JTG D64 的相关要求。
- 6.5.5 桥梁上、下部结构与拉索限位装置连接的部位，其强度、刚度应满足 JTG 3362、JTG D64 的相关要求。

附录 A
(资料性)
拉索限位装置结构示例

拉索限位装置可控制墩梁相对位移,通过锚固螺栓安装在梁底和墩台侧,也可安装在梁底和墩台顶,结构示意图如图A. 1所示:



图A. 1 拉索限位装置结构示意图

拉索限位装置设计技术参数确定可参考附录B。

附录 B

(资料性)

拉索限位装置技术参数

拉索限位装置的主要设计参数：限位装置自由行程 u_0 、限位装置单根拉索的侧向限位刚度 K_H 和拉索限位装置的限位刚度 K_{SH} 。其中，自由行程 u_0 通过工程实际需求和计算确定，由上、下钢棒形心之间的高差 h 和侧向拉索长度 l_s 控制；限位装置单根拉索的侧向限位刚度 K_H 则与拉索全长、拉索直径等因素有关，通过计算确定。

一般情况下，首先通过有限元计算求出所需自由行程 u_0 ，根据实际桥梁结构主梁与盖梁间距确定上、下钢棒形心之间的高差 h ，再通过公式 (B. 1) 得到侧向拉索长度 l_s ：

$$l_s = \sqrt{h^2 + u_0^2} \dots\dots\dots (B. 1)$$

式中：

- l_s ——拉索的侧向拉索长度，单位为毫米 (mm)；
- h ——上下钢棒形心之间的高差，单位为毫米 (mm)；
- u_0 ——限位装置自由行程，单位为毫米 (mm)。

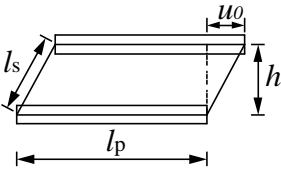
而后按照构造要求确定上下连接板的长边长度 l_p ，进而计算得到单根拉索全长 L ，计算公式见公式 (B. 2)：

$$L = 2 \times (l_s + l_p) \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中：

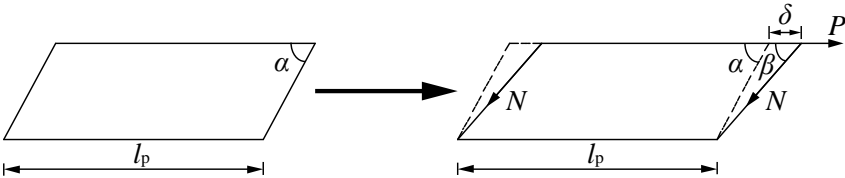
- L ——单根拉索全长，单位为毫米 (mm)；
- l_p ——上下连接板的长边长度，单位为毫米 (mm)。

图B. 1给出了连通式拉索限位装置设计参数的几何关系图。



图B. 1 连通式拉索限位装置几何关系图

拉索限位装置单根拉索的水平刚度 K_H 的推导过程为：设拉索达到自由行程 u_0 时单根拉索全长为 L_1 ，拉索与水平方向夹角为 α ；在水平力 P 作用下，墩梁相对位移继续加大 δ ，此时单根拉索全长为 L_2 ，拉索与水平方向夹角为 β ，两侧拉索轴力为 N ，如图B. 2所示。



图B. 2 连通式拉索限位装置水平刚度分析示意图

P 可按公式 (B. 3) 计算：

$$P = 2N\cos\beta \dots\dots\dots (B. 3)$$

式中：

- P ——水平力，单位为千牛 (kN)；

N ——两侧拉索轴力，单位为千牛（kN）；

β ——拉索与水平方向夹角，单位为度（°）。

设单根拉索轴向刚度为 K ，忽略拉索变形前后拉索截面的改变及拉索长度伸长对其轴向刚度的影响，则拉索轴力 N 可按公式（B.4）计算：

$$N = K\Delta l = K(L_2 - L_2) \cdots \cdots \cdots (B.4)$$

式中：

K ——单根拉索轴向刚度，单位为千牛每米（kN/m）；

Δl ——拉索伸长量，单位为毫米（mm）；

L_2 ——单根拉索伸长后长度，单位为毫米（mm）；

L_1 ——拉索达到自由行程 u_0 时单根拉索长度，单位为毫米（mm）。

设连接板长边长度为 l_p ，根据图B.2可得到公式（B.5）：

$$\left(\frac{L_2}{2} - l_p\right) = \left(\frac{L_1}{2} - l_p\right) \cdot \cos(\alpha - \beta) + \delta \cdot \cos\beta \cdots \cdots \cdots (B.5)$$

式中：

α ——拉索达到自由行程时拉索与水平方向夹角，单位为度（°）；

β ——拉索达到自由行程后墩梁水平相对位移继续增大 δ 时，拉索与水平方向夹角，单位为度（°）；

δ ——拉索达到自由行程后墩梁水平相对位移继续增大量，单位为毫米（mm）。

将公式（B.4）和公式（B.5）代入公式（B.3），整理得公式（B.6）：

$$P = 2 \cdot K \cos\beta \cdot [(L_1 - 2l_p) \cdot \cos(\alpha - \beta) + 2\delta \cos\beta + 2l_p - L_1] \cdots \cdots \cdots (B.6)$$

则单根拉索水平刚度 K_H 计算公式见公式（B.7）：

$$K_H = \frac{P}{\delta} = \frac{2 \cdot K \cos\beta \cdot [(L_1 - 2l_p) \cdot \cos(\alpha - \beta) + 2\delta \cos\beta + 2l_p - L_1]}{\delta} = \xi \cdot K \cdots \cdots \cdots (B.7)$$

式中：

K_H ——限位装置单根拉索的侧向限位刚度，单位为千牛每米（kN/mm）；

ξ ——拉索轴向刚度折减系数，其与限位装置的几何尺寸和侧向位移 δ 相关，是一个变化范围较小的变量， ξ 近似为常量。

当 $\delta \rightarrow 0$ 时， $\beta \rightarrow \alpha$ ，此时有：

$$\begin{aligned} K_H &= \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{P}{\delta} = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{2 \cos\beta \cdot [(L_1 - 2l_p) \cdot \cos(\alpha - \beta) + 2\delta \cos\beta + 2l_p - L_1]}{\delta} K \\ &= \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{2 \cos\beta \cdot [(L_1 - 2l_p) \cdot \cos(\alpha - \beta) + 2l_p - L_1]}{\delta} K + \lim_{\delta \rightarrow 0} (4 \cos^2\beta \cdot K) \cdots \cdots \cdots (B.8) \end{aligned}$$

由正弦定理可得：

$$\frac{\delta}{\sin(\alpha - \beta)} = \frac{\left(\frac{L_1}{2} - l_p\right)}{\sin\beta} \cdots \cdots \cdots (B.9)$$

将公式（B.9）代入公式（B.8）可得公式（B.10）：

$$\begin{aligned} K_H &= \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{2 \cos\beta \cdot [(L_1 - 2l_p) \cdot \cos(\alpha - \beta) + 2l_p - L_1]}{\delta} K + \lim_{\delta \rightarrow 0} (4 \cos^2\beta \cdot K) \\ &= \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{2 \cos\beta \cdot \sin\beta [\cos(\alpha - \beta) - 1]}{\sin(\alpha - \beta)} K + \lim_{\delta \rightarrow 0} (4 \cos^2\beta \cdot K) \\ &= \lim_{\alpha \rightarrow \beta} -2 \cos\beta \cdot \sin\beta \tan \frac{\alpha - \beta}{2} + 4 \cos^2\alpha \cdot K \\ &= 4 \cos^2\alpha \cdot K \cdots \cdots \cdots (B.10) \end{aligned}$$

综上所述，理想状态下，拉索限位装置单根拉索的侧向限位刚度为：

$$K_H = 4\cos^2\alpha \cdot K \cdots \cdots \cdots (B. 11)$$

其中 α 为限位装置位移达到自由行程 u_0 时拉索与水平方向夹角， K 为拉索轴向刚度。在弹性范围内，拉索轴向刚度由 $K=EA/L$ 确定。

拉索限位装置的限位刚度为：

$$K_{SH} = n \cdot K_H \cdots \cdots \cdots (B. 12)$$

式中：

K_{SH} ——拉索限位装置的限位刚度，单位为千牛每米（kN/mm）；

n ——拉索并列的数量。

