

中国公路学会标准

T/CHTS

STANDARDS OF CHINA HIGHWAY

XXX-201X

& TRANSPORTATION SOCIETY

同向回转拉索技术指南

Technical Guide of The Plan Looping Cable

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

201X-XX-XX 发布



T/CHTS XXX-201X (C)

该标准版权为中国公路学会所有。除用于国家法律法规规定用途，或事先得到中国公路学会文字上的许可外，不得以任何形式擅自复制、再造、传播、出版、转帖、改编本标准。

中国公路学会地址：北京市朝阳区安华西里 3 区

电话：010-64245690 传真：010-64958372

网址：<http://www.chts.cn/> 电子信箱：chts64958372@qq.com

前 言

同向回转拉索以其拉索绕过索塔产生环形压力的工作机理,从根本上解决了索塔锚索开裂问题,同时也突破了鞍座在常规斜拉桥上的使用限制。这使得同向回转拉索或其相关技术在公路斜拉桥的建设中逐步得到重视和肯定,并持续得到推广应用。

目前,现行国家、行业及地方标准对同向回转拉索还存在较多的不适应,相关技术条件尚为空白。为了加强对同向回转拉索的技术管理,统一同向回转拉索设计、制造、施工、试验的标准,促进同向回转拉索的推广应用具有重要指导作用,特编制本指南。

在指南编制过程中,编写组吸收了安徽省交通运输厅交通科技项目《同向回转拉索柱式塔斜拉桥关键技术研究》的研究成果,结合多年工程实践经验,广泛征求了相关单位和个人的意见,反复讨论、修改后由中国公路学会审查定稿。

本指南由安徽省交通控股集团有限公司提出,并受中国公路学会委托,负责具体解释工作。

本指南主编单位:安徽省交通控股集团有限公司

本指南参编单位:同济大学、安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司

本指南主要起草人:胡可 杨晓光 郑建中 曹光伦 马祖桥 石雪飞 阮欣 刘志权 梅应华 段海澎 孙敦华 窦巍 何金武 王凯

本指南主要审查人:XXXX

标准实施中,请将发现的问题和建议反馈至中国公路学会团体标准工作办公室(地址:北京市朝阳区安华西里三区 联系方式:010-64245690;电子邮箱:chts64958372@qq.com),供修订时参考。

目 次

前言	II
目次	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和符号.....	2
3.1 术语.....	2
3.2 符号.....	3
4 结构、型号与规格.....	5
4.1 结构.....	5
4.2 型号与规格.....	7
5 技术要求.....	8
5.1 索体.....	8
5.2 锚具.....	9
5.3 鞍座.....	9
5.4 定位器.....	12
6 加工、制造.....	13
6.1 索体.....	13
6.2 锚具.....	13
6.3 鞍座.....	13
6.4 定位器.....	16
6.5 环境保护.....	16
7 试验方法.....	17
7.1 索体.....	17
7.2 锚具.....	17
7.3 鞍座.....	17
7.4 定位器.....	17
8 产品检验.....	19
8.1 检验分类.....	19
8.2 检验项目.....	19
8.3 检验规则.....	20
9 包装、标志、运输和储存.....	21
9.1 包装.....	21
9.2 标志.....	21
9.3 运输和储存.....	21
10 安装、养护与更换.....	22
10.1 鞍座安装.....	22
10.2 锚具安装.....	23
10.3 拉索安装与张拉.....	23

10.4 定位器与其他附属结构安装.....	23
10.5 养护.....	23
10.6 更换.....	23
10.7 质量检查与质量标准.....	24
10.8 风险管理与控制.....	24
附 录 A 分丝夹持型鞍座主要技术参数.....	25
附 录 B 分丝夹持型鞍座组合疲劳及耐磨蚀性能试验.....	26
附 录 C 分丝夹持型鞍座组合夹持性能试验.....	28

1 范围

本指南规范了同向回转拉索的结构、规格与型号、技术要求、加工与制造、试验方法、检验规则、包装、标志、运输和储存、安装、养护与更换等要求。

本指南适用于公路斜拉桥用钢绞线拉索，其他工程结构的拉索可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用必不可少，凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 1591 低合金高强度结构钢
GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
GB/T 24238 预应力钢丝及钢绞线用热轧盘条
GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
GB/T 700 碳素结构钢
GB/T 8162 结构用无缝钢管
GB / T 14975 结构用不锈钢无缝钢管
GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
GB/T 4956 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法
GB/T 5574 工业用橡胶板
GB/T 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定
GB/T 529 硫化橡胶或热塑性橡胶 撕裂强度的测定
GB/T 1732 漆膜耐冲击测定法
GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验
GB/T 1768 色漆和清漆 耐磨性的测定 旋转橡胶砂轮法
GB/T 1763 漆膜耐化学试剂性测定法
GB/T 1771 色漆和清漆 耐中性盐雾性能的测定
JT/T 771 无粘结钢绞线斜拉索技术条件
JT/T 737 填充型环氧涂层钢绞线
JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
JTG/T F50-2011 公路桥涵施工技术规范
JG/T 403-2014 无粘预应力筋用防腐润滑脂
JG 161 无粘结预应力钢绞线
YB/T 152 高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线
GJ/T 297 桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料
GSB05-1426-2001 漆膜颜色标准样卡
JB/T 5000.13 重型机械通用技术条件 第13部分：包装
HGT 3343 漆膜耐油性测定法

3 术语和符号

3.1 术语

3.1.1 同向回转拉索 plan looping cable

一种采用“定点环绕、同向锚固”方式拉索。具体为一种在斜拉桥上斜向连续绕过索塔，在主梁同截面两侧锚固的拉索。该拉索体系可用于索塔锚固区为柱式断面的斜拉桥中。

3.1.2 钢绞线拉索 strand stay cable

由多根独立的钢绞线按一定次序编排而成，配设相应装置和构件，能在工程结构中承受拉力的拉索。

3.1.3 索套管 stay pipe

套装或包裹于拉索自由段最外层的 HDPE 管或金属管，保护拉索抵抗外界的冲击和腐蚀。

3.1.4 钢绞线索股 strand

涂覆、外包防护层的拉索用钢绞线。

3.1.5 钢绞线护套 strand sheath

钢绞线外涂覆、外包的防护层。

3.1.6 索体 cable form

钢绞线索股与索套管的组合体。

3.1.7 锚固段 anchorage zone

位于锚固装置内的拉索节段。

3.1.8 过渡段 transition zone

拉索通过约束装置，从常规状态向锚固状态转变的区段。

3.1.9 自由段 free zone

拉索位于锚固段、过渡段之外的区段。

3.1.10 锚具 anchor

一种锚固在索体端头，进行拉索与外界拉力传递的装置。

3.1.11 分丝夹持型鞍座 saddle with separated pinching strand conduits

用于钢绞线拉索转向支承，传递拉索径向及不平衡荷载，并采用集束异形截面金属分丝管，可对每根穿过分丝管并张拉后的钢绞线进行沿程夹持的装置。

3.1.12 鞍座锚体 anchorage body

鞍座的主体构件，提供对拉索的支撑和锚固作用，有时可直接被称为鞍座。

3.1.13 鞍座前导管 front guide pipe of saddle

鞍座锚体埋置较深时，设置于鞍座锚体与过渡管之间的管道，提供拉索安装与更换的通道。

3.1.14 鞍座过渡管 transition pipe of saddle

设置于鞍座前导管或锚体前的管道，通过内置约束环、定位器等装置，改变拉索钢绞线的排列间隙，使其适应自由段和锚固段的空间要求。

3.1.15 鞍座延伸管 extension pipe of saddle

设置于过渡管前的管道，套装于拉索套管外，为索套管提供定向自由伸缩空间。鞍座延伸管与过渡管可合并设计与加工。

3.1.16 分丝管 separated strand conduit

设置于鞍座锚体内的集束小导管，提供拉索每根钢绞线单独穿过的通道。

3.1.17 定位板 curved bolt

设置于鞍座锚体或前导管内，固定于外壳上，设置位置、开孔形状和位置被精确控制的多孔板，横向控制穿过开孔的分丝管或线管位置，使其排列得准确、整齐、有序。

3.1.18 鞍座外壳 saddle shell

鞍座最外层构件。

3.1.19 连接法兰 connecting flange

鞍座各单元件端部之间相互连接的凸缘盘。

3.1.20 鞍座线管 strand tube of saddle

设置于鞍座前导管内的集束小圆管，提供拉索每根钢绞线单独穿向锚体内对应分丝管的通道。

3.1.21 约束环 tension ring/floating deviator/cable hoop

挤压套装在拉索上的悬浮空心圆柱形套管，控制拉索截面形状，保持拉索钢绞线排列次序，提供拉索钢绞线转向支承，也称浮动转向器、索箍。

3.1.22 定位器 guide/bering/guide deviator/internal damper

挤压套装在拉索上的固定空心装置或挤压通过拉索每根钢绞线的固定多孔装置，控制拉索横向位置和截面形状，保持钢绞线排列次序，提供钢绞线转向支承，也称弹性支撑体、固定转向器、兼顾减振功能时的内置阻尼器。

3.1.23 体填充料 filling grout in anchorage body

填充于鞍座锚体内、分丝管间的材料，由浆体固化后，将相互独立的分丝管及其他部件结成共同受力的整体，一般为水泥基制品。

3.2 符号

下列符号适用于本标准：

A_{pk} ——钢绞线的公称截面面积（单位： mm^2 ）；
 D_n ——钢绞线的公称直径（单位： mm ）；
 f_{ptk} ——钢绞线的抗拉强度标准值（单位： MPa ）；
 f_{pm} ——试验用钢绞线的实测极限抗拉强度平均值（单位： MPa ）；
 F_{pm} ——试验用钢绞线的实测极限拉力平均值（单位： kN ）；
HDPE/PE——高密度聚乙烯（在本标准中，HDPE/PE 都代表高质量、高密度聚乙烯）；
 α ——钢绞线的张拉应力值（单位： MPa ）；
 $\Delta\alpha$ ——钢绞线的张拉应力幅值（单位： MPa ）；
GZn——耐磨型无粘结镀锌钢绞线；
GEp——耐磨填充环氧钢绞线；
HL——同向回转拉索；
MJ——锚具；
JA——分丝夹持型鞍座；
DW——定位器。

4 结构、型号与规格

4.1 结构

4.1.1 拉索

4.1.1.1 同向回转拉索由索体、锚具、鞍座和约束、定位、转向、阻尼装置等组成，分锚固段、过渡段、自由段等部分（图1）。

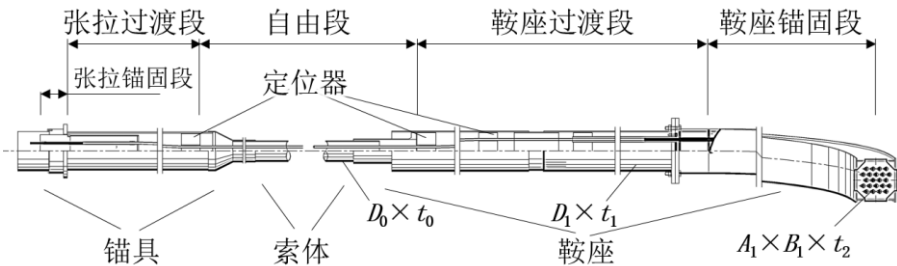


图1 同向回转拉索结构示意图

D_0 、 t_0 —索套管外径壁厚； D_1 、 t_1 —鞍座前导管外径、壁厚

A_1 、 B_1 、 t_2 —鞍座锚体回转面内宽、回转面外高、外壳板厚

4.1.1.2 索体由按六边形排列的多根钢绞线索股与在其外套装的索套管组成（图2）。不同型号索体中索股的排列应符合现行《无粘结预应力钢绞线》（JG 161）的有关规定。

4.1.1.3 钢绞线索股为耐磨型无粘结镀锌钢绞线或耐磨型 PE 防护环氧钢绞线（图2）。

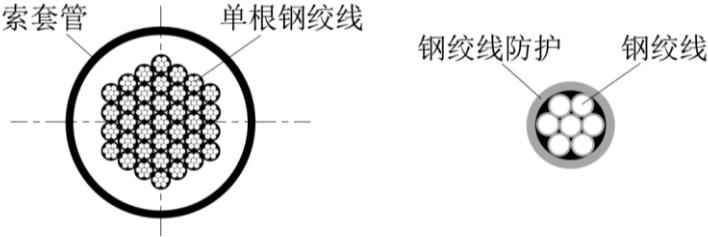


图2 拉索索体、索股截面示意

4.1.2 锚具

4.1.2.1 拉索采用的锚具为张拉端锚具，由锚板、夹片、调整螺母、过渡管、防护帽、防腐润滑脂、以及锚垫板、钢导管、螺旋筋等组成（图3）。

4.1.2.2 过渡管由外壳管、定位浆体、穿线管和密封装置等组成。

锚垫板、钢导管、螺旋筋可按设计归属其他结构。

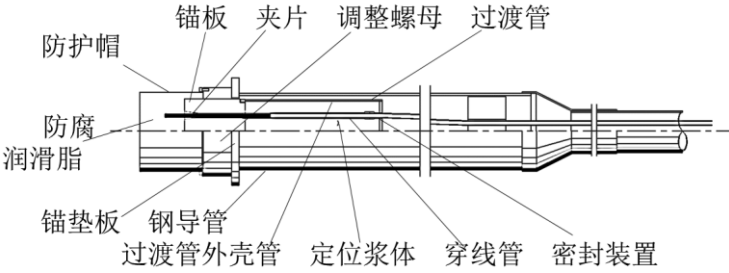


图3 同向回转拉索锚具示意

4.1.3 鞍座

4.1.3.1 鞍座为分丝夹持型鞍座（图 4 ），由锚体、前导管、过渡管、延伸管、定位器等组成。

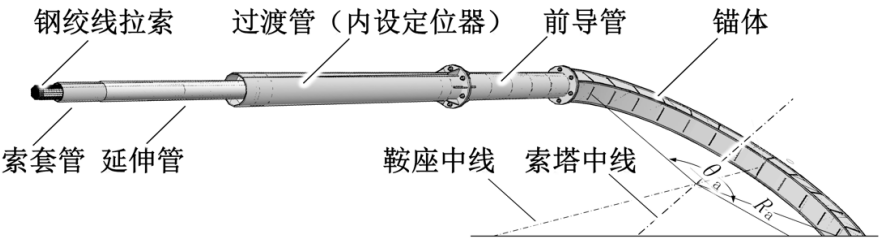


图4 同向回转拉索鞍座示意

θ_a —鞍座锚体圆心角； R_a —鞍座锚体半径

4.1.3.2 锚体由外壳板、分丝管、定位板、填充料、连接法兰、剪力钉等组成（图 5）。

4.1.3.3 前导管需要时设置于锚体与过渡管之间，由外壳管、线管、定位板、连接法兰等组成（图 5 ）。

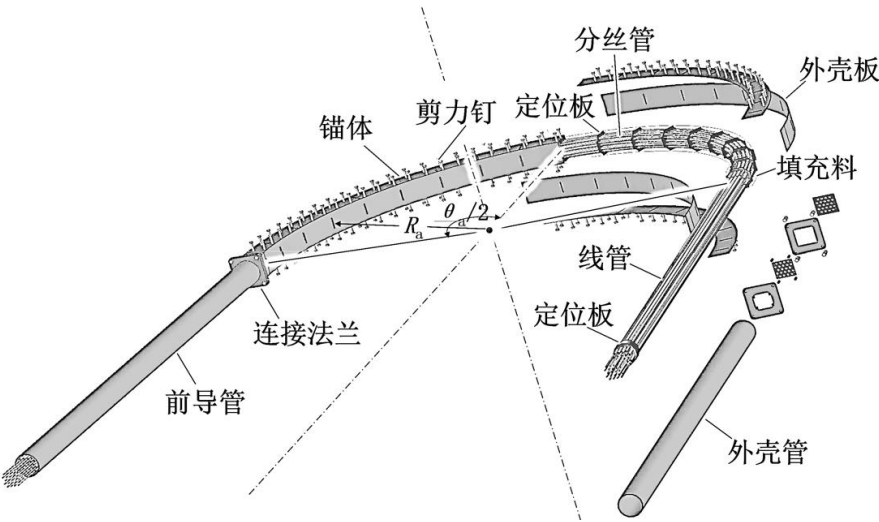


图5 鞍座锚体、前导管结构示意图

4.1.3.4 过渡管、延伸管由外壳管、连接装置或过渡装置等组成（图 6 ）。

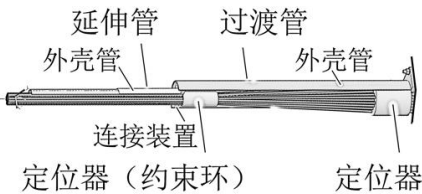


图6 鞍座过渡管、延伸管结构示意图

4.1.4 约束、定位、转向、阻尼装置

4.1.4.1 定位器可作为约束、定位、转向、阻尼装置等的通称。

4.1.4.2 当定位器为挤压套装在拉索上的悬浮空心圆柱形套管时，也称为约束环、浮动转向器、索箍。

4.1.4.3 当定位器为挤压套装在拉索上的固定空心装置或固定多孔装置时，也称为弹性支撑体、固定转向器。

4.1.4.4 当定位器兼顾减振功能时，也称为内置阻尼器。

4.2 型号与规格

4.2.1 拉索

4.2.1.1 同向回转拉索或索体的型号由“[拉索代号][钢绞线直径][钢绞线代号]-[钢绞线根数]”表示。

示例：

43 根公称直径 15.2mm 耐磨型无粘结镀锌钢绞线组成的拉索，其型号可表示为 HL15.2GZn-43。

4.2.1.2 拉索或索体的规格由“[钢绞线直径]-[钢绞线根数]”表示。主要技术参数按现行《无粘结钢绞线斜拉索技术条件》（JT/T 771）等的有关规定执行。

示例：

43 根公称直径 15.2mm 耐磨型无粘结镀锌钢绞线组成的拉索，其规格可表示为 15.2-43。

4.2.1.3 钢绞线索股的型号由“[钢绞线直径][钢绞线代号]”表示。

示例：

公称直径 15.2mm 耐磨型无粘结镀锌钢绞线索股，其型号可表示为 15.2GZn。

4.2.2 锚具

4.2.2.1 锚具的型号由“[锚具代号][钢绞线直径][钢绞线代号]-[钢绞线根数]”表示。

示例：

43 根公称直径 15.2mm 耐磨型无粘结镀锌钢绞线组成的拉索，其锚具的型号可表示为 MJ15.2GZn-43。

4.2.2.2 锚具的规格及主要技术参数按现行《无粘结钢绞线斜拉索技术条件》（JT/T 771）等的有关规定执行。

4.2.3 鞍座

4.2.3.1 分丝夹持型鞍座的型号由“[鞍座代号][钢绞线直径]-[钢绞线根数]”表示。

示例：

43 根公称直径 15.2mm 钢绞线组成的拉索，其鞍座的型号可表示为 JA15.2-43。

4.2.3.2 分丝夹持型鞍座的规格及主要技术参数参见附 A。

4.2.4 定位器

定位器的型号由“[鞍座代号][钢绞线直径][钢绞线代号]-[钢绞线根数]”表示。

示例：

43 根公称直径 15.2mm 耐磨型无粘结镀锌钢绞线组成的拉索，其定位器的型号可表示为 DW15.2GZn-43。

4.2.4.1 定位器的规格及主要技术参数按国家、行业现行标准的有关规定执行。

5 技术要求

5.1 索体

5.1.1 耐磨型无粘结镀锌钢绞线

5.1.1.1 耐磨型无粘结镀锌钢绞线在拉索自由段的防护应由热镀锌层、防腐润滑脂层、PE护套等组成（图7）。

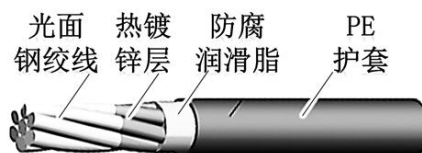


图7 无粘结镀锌钢绞线示意

5.1.1.2 热镀锌钢绞线公称直径为 15.2mm，抗拉强度应不小于 1860MPa，热镀锌层重量应为 190~350g/m²。

5.1.1.3 热镀锌钢绞线除应符合现行《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》（YB/T 152）对尺寸及性能等的规定外，尚应符合现行《无粘结钢绞线斜拉索技术条件》（JT/T 771）对尺寸及偏差、机械性能等的规定。

5.1.1.4 防腐润滑脂

5.1.1.4.1 防腐润滑脂采用现行《无粘预应力筋用防腐润滑脂》（JG/T 403-2014）中的 3 号润滑脂。润滑脂用量应不小于 15~40g/m。

5.1.1.4.2 润滑脂涂敷应连续、均匀、饱满，应与护套的挤出同时完成。

5.1.1.4.3 润滑脂材料应具有良好的化学稳定性，对周围材料无侵蚀作用，其他要求应符合现行 JG/T 403-2014 的有关规定。

5.1.1.5 PE 护套厚度为 $1.5_{-0}^{+0.5}$ mm，在钢绞线上的最小摩阻力为 3300N/m，表面应无斑痕或损伤，材料应符合现行《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》（GJ/T 297）的规定，其他应符合现行《无粘结预应力钢绞线》（JG 161）的规定。

5.1.1.6 钢绞线在分丝夹持型鞍座内应能独立地抗磨蚀、防腐蚀，采用耐磨、防腐材料强化防护。

5.1.1.7 钢绞线在分丝夹持型鞍座内采用的耐磨、防腐防护层为填充式聚脲防护层时，应符合下列要求。

5.1.1.7.1 防护层厚度应为 $2.5_{-0.2}^{+0.2} \sim 3_{-0.2}^{+0.2}$ mm，出露鞍座锚体端口应不小于 750mm，与 PE 护套的搭接长度应不小于 400mm（图8）。

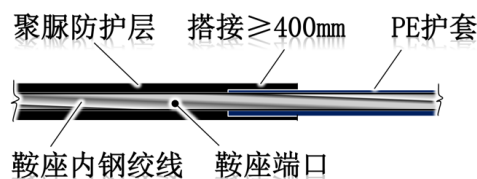


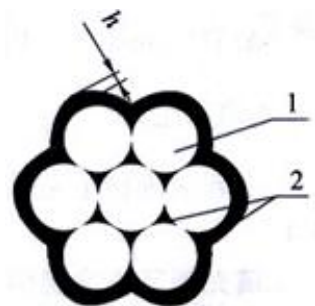
图8 填充式聚脲防护钢绞线示意

5.1.1.7.2 聚脲防护层应连续、均匀、饱满，表面应无斑痕或损伤。

5.1.1.7.3 聚脲防护层材料应符合设计及本标准的规定。

5.1.2 耐磨填充型环氧钢绞线

5.1.2.1 耐磨填充型环氧钢绞线在拉索自由段的防护应由填充型环氧涂层组成（图9）。



1—光面绞线，2—环氧涂层

图9 填充型环氧涂层钢绞线示意

5.1.2.2 填充型环氧涂层钢绞线采用的光面钢绞线公称直径为 15.2mm，抗拉强度应不小于 1860MPa。环氧涂层厚度应不小于 0.5mm，在各钢丝之间及外侧的填充均应密实。

5.1.2.3 填充型环氧涂层钢绞线的技术要求应符合现行《填充型环氧涂层钢绞线》（JT/T 737）的规定。

5.1.2.4 钢绞线在分丝夹持型鞍座内应能独立地抗磨蚀、防腐蚀，应满足 4.3.4 的要求。必要时，采用耐磨、防腐材料强化防护。

5.1.3 钢绞线用热轧盘条

5.1.3.1 钢绞线选用 YL82B 号热轧盘条。热轧盘条的技术指标应符合《预应力钢丝及钢绞线用热轧盘条》（GB/T 24238）的规定。

5.1.3.2 热轧盘条采用其他行业或国家标准时，牌号应符合 GB/T 24238 牌号对照规定。热轧盘条除应符合相应标准的规定外，还应满足 GB/T 24238 的规定。

5.1.4 索套管

5.1.4.1 索套管应具有良好的保护性能和密封效果，可纵向自由胀缩，并应能完全承受顶部支撑时的拉力或底部支撑时的压力。

5.1.4.2 索套管选用 HDPE 圆管时，材料线膨胀系数可取 $10\sim 20\times 10^{-5}$ ，技术要求应符合现行《无粘结预应力钢绞线》（JG 161）的有关规定。

5.1.4.3 索套管选用金属圆管时，技术要求应符合国家、行业现行相关标准的有关规定。

5.1.4.4 索套管的外观、尺寸应符合设计、现行《无粘结预应力钢绞线》（JG 161）等的有关规定。

5.2 锚具

5.2.1 拉索采用的锚具应成系统，并应与拉索采用的钢绞线索股相匹配。

5.2.2 锚具的技术要求应符合现行《无粘结预应力钢绞线》（JG 161）及国家、行业其他现行相关标准的有关规定。

5.2.3 锚具的外观、尺寸、涂装应符合设计、JG 161 等的有关规定。

5.3 鞍座

5.3.1 锚体

5.3.1.1 锚体应能均匀承受和传递拉索径向压力及锚体两端拉索不平衡力。

5.3.1.2 锚体应能保证拉索装换的便捷性。锚体内外应无灌浆、无灌脂。

5.3.1.3 锚体弯曲半径应保证钢绞线在分丝管内的最小弯曲半径 $R_{\min} \geq 400d$ (d 为钢绞线中单根钢丝的直径)，并应考虑弯曲对钢绞线的摩蚀疲劳影响。

5.3.1.4 分丝管应具有夹持形状。设计无规定时，分丝管、拉索钢绞线间的夹持系数应不小于 0.4 (图 10)。

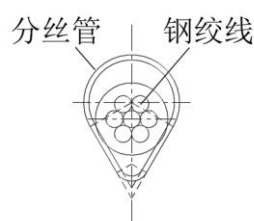


图10 分丝管截面示意

5.3.1.5 锚体两端应设直线段。分丝管在锚体两端直线段内应通过偏移平缓释放对钢绞线的夹持力 (图 11)。

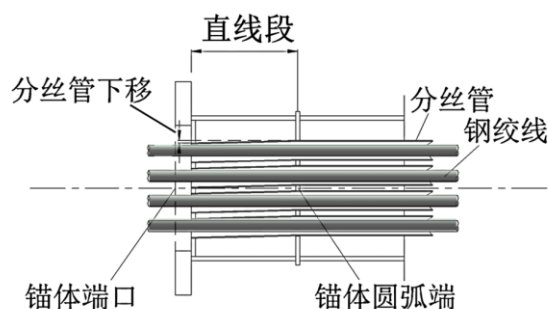


图11 分丝管偏移示意

5.3.1.6 分丝管采用不锈钢圆管加工而成时，管壁厚应不小于 1.5mm，钢材宜采用 022Cr17Ni12Mo2 不锈钢，技术要求应符合现行《结构用不锈钢无缝钢管》(GB / T 14975) 的规定。

5.3.1.7 锚体外壳板、定位板、连接法兰宜采用 Q235 号钢板 (图 12)，材料应符合现行《碳素结构钢》(GB/T 700) 的规定。定位板间距应不大于 500mm。

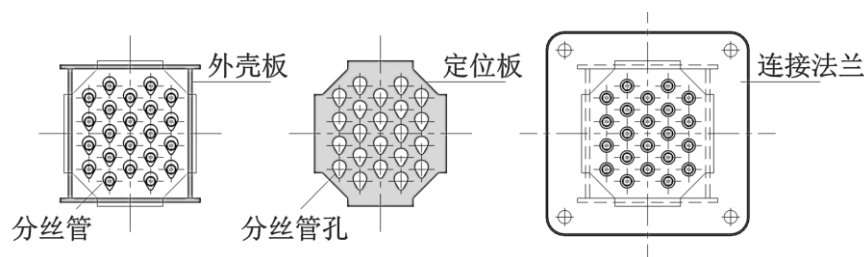


图12 锚体外壳板、定位板、连接法兰结构示意图

5.3.1.8 锚体侧板焊设剪力钉选用圆柱头焊钉。圆柱头焊钉，焊接瓷环标准及检验应符合现行《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》(GB/T 10433) 的规定。

5.3.1.9 锚体内的填充料应具有早强、高强、微膨胀、自流平、稳定，对周围材料无侵蚀等特性。技术要求应符合与相应分丝管配套的设计规定，并应符合国家、行业现行相关标准的有关规定。

5.3.1.10 锚体连接法兰固定螺栓、垫圈、螺母应符合国家现行相关标准的有关规定。

5.3.1.11 锚体制造除应符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50-2011)的规定外，尚应符合设计的有关规定。锚体各部分焊缝质量等级为Ⅱ级，分丝管端部应作圆滑处理。

5.3.2 前导管、过渡管及延伸管

5.3.2.1 前导管内的线管应与锚体内的分丝管一一对应(图13)。过渡管内的钢绞线偏转角度应不大于 25mrad (1.4°)。延伸管的长度应能满足索套管伸缩及定位的要求。

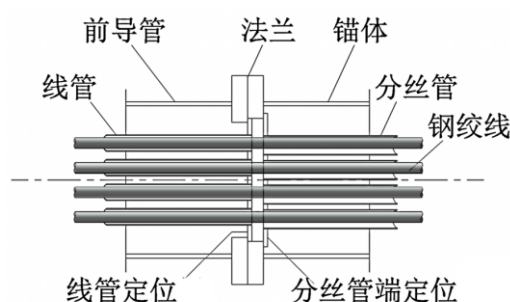


图13 前导管、锚体连接示意

5.3.2.2 前导管内的线管宜采用壁厚不小于 1.5mm 的不锈钢圆管。前导管、过渡管及延伸管的外壳管、定位板、连接法兰等宜采用Q235号钢管或钢板。

5.3.2.3 前导管、过渡管及延伸管材料、制造等相关技术要求应符合本标准第4.3.1条的有关规定。

5.3.3 防腐涂装

5.3.3.1 鞍座钢结构应进行长效(25年)防腐涂装。涂装应符合设计和现行《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722)的有关规定。

5.3.3.2 螺栓、垫圈、螺母、焊钉等，当为埋置时，可采用热镀锌、热浸锌、喷锌铝合金防腐，当为外露时，可采用不锈钢材料防腐。

5.3.4 鞍座组合力学性能

5.3.4.1 鞍座、拉索、锚具的组合体系应进行鞍座组合疲劳性能试验和鞍座组合静载性能试验。

5.3.4.2 鞍座组合疲劳性能与耐磨蚀试验应采用上限应力为 $45\%f_{ptk}$ ，应力幅度为 200MPa ，循环次数为200万次的疲劳荷载进行。试验应符合以下要求：

- 1) 钢丝总数不足100根时，折损不超过2根；
- 2) 钢丝总数达到或超过100根时，折损率不超过实际根数的2% (带小数时四舍五入)；
- 3) 钢绞线护套不允许折断、穿透，鞍座、锚具或其构件不得受损破坏。
- 4) 疲劳后试件的剩余强度应不低于 $92\%f_{pm}$ 或 $95\%f_{ptk}$ (两者中的较大值)；
- 5) 疲劳后鞍座、锚具或其构件不得受损破坏，但夹片出现裂纹除外。

5.3.4.3 鞍座组合抗滑性能试验应在综合试验台座上进行，确保钢绞线与鞍座分丝管之间的夹持系数不小于0.4。

5.3.5 同向回转拉索分丝夹持型鞍座主要技术参数参见附录A。

5.4 定位器

5.4.1 定位器应具有满足要求的定位、约束、转向、阻尼等单项性能或组合性能，并对周围环境（温度等）相对稳定。

5.4.2 定位器应能承受并传递拉索由于施工偏位、结构变形、垂度变化、索体振动、分丝偏转而产生的横向压力，并能有效缓解因此存在的纵向磨蚀。

拉索分丝偏转产生的横向压力可按偏转角度不大于 $25\text{mrad}(1.4^\circ)$ 计算。

5.4.3 定位器用作内置阻尼器时，应验证减振效果，明确材料性能，规定设置位置。

5.4.4 定位器设置应稳固，并可触及，可更换，可调节。

5.4.5 定位器可采用 Q235 号钢材、HDPE 材料和弹性橡胶制成。弹性橡胶包括天然橡胶、氯丁橡胶、三元乙丙橡胶或其它类似材料。材料的弹性、硬度、耐久性等技术要求应符合国家、行业现行相关标准的有关规定。

5.4.6 定位器的外观、尺寸、涂装应符合设计规定。

6 加工、制造

6.1 索体

6.1.1 同向回转拉索体系用索体 HDPE 外护套的加工制造应参照《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》(GJ/T 297) 及相关现行规范执行。

6.1.2 若索体采用填充型环氧钢绞线斜拉索, 则索股的生产应参照《填充型环氧涂层钢绞线》(JT/T 737) 及相关现行规范的规定进行。

6.1.3 若索体采用耐磨型无粘结镀锌钢绞线, 则索股的生产除了应参照现行相关规范的规定外, 尚应按照本指南的有关规定。

6.1.4 若索体采用耐磨型无粘结镀锌钢绞线, 则鞍座锚固区段的钢绞线宜采用填充型聚脲进行防护, 索股的生产除了应参照现行相关规范的规定外, 尚应按照本指南的有关规定。

6.1.5 填充型聚脲涂层应采用双层结构, 底层宜采用双组份铁红聚氨酯改性防腐底漆, 面层宜采用双组份耐磨防腐聚脲。涂层的材料性能和工作性能除应满足线形规范外, 还应满足索股对疲劳、耐磨和夹持性能的要求。

6.1.6 聚脲涂层加工

6.1.6.1 填充型聚脲涂层的加工应在工厂内完成, 喷涂前应进行工艺试验, 检验涂层的质量, 验证加工工艺。

6.1.6.2 填充型聚脲涂层的加工应在工厂内完成, 喷涂前应进行工艺试验, 检验涂层的质量, 验证加工工艺。

6.1.6.3 底层喷涂施工应均匀连续, 厚度应满足设计要求, 不宜小于 45 μ m; 喷涂 2 小时后检查涂层表面, 对不满足要求的部分进行修补, 底漆重涂间隔最长不宜超过 24 小时, 最短不宜小于 3 小时。

6.1.6.4 面层喷涂施工应均匀连续, 厚度应满足设计要求; 喷涂完 10 分钟后应立即检测涂层外观, 对流挂处进行修理, 对缺陷处补喷, 确保表面平整光洁。

6.1.6.5 经检测合格后的涂层, 应进行常温熟化, 待熟化 7 天后方可进行绞盘运输。

6.1.7 质量检查

6.1.7.1 聚脲涂覆层表面缺陷检测, 检查聚脲涂覆层是否有漏点和缺陷, 聚脲涂层应连续、均匀、饱满, 表面应无气泡、无斑痕或损伤。

6.1.7.2 聚脲长度、聚脲与护套搭接位置长度应逐根进行检测, 长度误差应控制在 1cm 以内。

6.1.7.3 聚脲厚度检测用精度为 0.02mm 游标卡尺测量, 在聚脲涂覆段取对称的四个点, 误差应控制在 0, +0.5mm。

6.2 锚具

6.2.1 锚固的加工应该与钢绞线的类型进行配套, 锚夹具的强度、硬度及尺寸应与同向回转拉索相适配。

6.2.2 锚固的制造参照《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370-2007 及其他相关规范执行。

6.3 鞍座

6.3.1 一般规定

- 6.3.1.1 鞍座采用的原材料和外加工件进厂时，应进行鞍座的材料检验。
- 6.3.1.2 鞍座钢结构加工必须符合设计和有关标准的规定。关键工艺试验应进行专题评定。
- 6.3.1.3 鞍座钢结构加工和检查所用的设备、器具等均应进行工前和定期的检查和效验。工厂和工地检查器具应相互核对。

6.3.2 原材料

- 6.3.2.1 鞍座各构件材料设计未另行规定时，分丝管、线管采用 022Cr17Ni12Mo2 不锈钢管，其余部分采用 Q235 钢板或钢管。
- 6.3.2.2 螺栓组、焊钉、约束环和定位器等必须按设计和有关标准的规定进行尺寸规格、化学成分和机械性能试验。
- 6.3.2.3 防护涂装材料必须符合设计和有关标准对品种、规格、技术性能的规定。

6.3.3 分丝管、线管加工

- 6.3.3.1 锚体分丝管可采用圆形不锈钢无缝钢管二次加工制成。前导管线管可采用圆形不锈钢管一次精确切割制成。
- 6.3.3.2 分丝管的加工，可先采用挤压、滚压、冷拉等工艺，将圆管加工为设计的夹持形状，再采用滚压等工艺，将直管加工成设计的弯曲形状。
- 6.3.3.3 分丝管加工后，弯曲应控制于同一平面，扭曲应控制在允许范围，表面不得有裂纹，表面折叠、结疤、轧折和离层等应进行无损清除。
- 6.3.3.4 分丝管二次精确切割可在锚体组装与焊接时进行。分丝管、线管管口光圆处理可在锚体、前导管组装与焊接后进行。

5.3.2 钢板构件加工

- 6.3.3.5 零部件的切割应采用数控切割工艺进行。零部件的制孔应采用钻孔或数控切割工艺成形。
- 6.3.3.6 切割面、制孔面应与零部件表面垂直，表面不得有裂纹、夹渣、分层，边缘不得有大于 1mm 的缺棱，并应除去毛刺，必要时磨光。
- 6.3.3.7 定位板、法兰盘加工时，应设置板面上两条对称轴或其他测量标记，作为分丝管、线管定位测量的参照。
- 6.3.3.8 外壳板可由多块钢板对接焊成。外套管可由多段钢管对接焊成。对接焊缝宜与鞍座轴线垂直。锚体上对接焊缝距离锚端的弧线长度应小于 1m。

6.3.4 鞍座组装

- 6.3.4.1 零部件经检查合格后，方可进行构件或单元件的组装和焊接。
- 6.3.4.2 构件或单元件组装和焊接时，应采取措施，严格控制组装精度和焊接变形，及时处理焊接缺陷。
- 6.3.4.3 法兰盘的组装和焊接宜在与已成单元件临时拼装后进行，以利于单元件轴线保持一致，线管轴线与分丝管口出线点对齐。
- 6.3.4.4 锚体、前导管组装与焊接后，应进行分丝管管口、线管管口及连接装置的光圆处理。要求管口及连接内壁应光滑，错台及端口过渡应圆滑。
- 6.3.4.5 钢结构加工中，各部分焊接的焊缝质量等级为Ⅱ级。

6.3.5 锚体压浆

- 6.3.5.1 锚体压浆的技术条件和施工工艺应符合设计和有关标准的规定，并通过专项试验确定。

6.3.5.2 鞍座工厂试拼装合格后方可进行锚体压浆。

6.3.5.3 锚体压浆后应进行规定时间的养生，填充料强度达到设计标准强度的 75%后方可起吊、移运

6.3.6 质量检查与质量标准

6.3.6.1 鞍座应进行钢结构加工全过程的工厂检验，检验应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T F50-2011）、《公路工程质量检验评定标准（第一册 土建工程）》（JTG F80/1-2012）的有关规定。

6.3.6.2 锚体钢结构检验的质量标准应符合表 1 的规定。

表1 锚体钢结构加工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差
1	分丝管截面尺寸(mm)	0, -0.2
2	分丝管夹持角度(°)	0, -10
3	分丝管解压偏移量(mm)	1
4	钢板件几何尺寸(mm)	±1
5	钢板件平面度(mm)	0.5,1
6	钢板件制孔尺寸(mm)	+0.2, 0
7	钢板件制孔位置及间距(mm)	±0.5
8	分丝管出口位置 (mm)	1
9	分丝管口及连接装置	光滑，圆滑
10	锚体内弧线弦长(mm)	±5
11	锚体内弧线矢高(mm)	±5
12	锚体内弧线偏离设计弧线(mm)	5
13	外壳板内外侧板与顶底板垂直度(mm)	1.5
14	法兰盘与外壳板垂直度(mm)	1.5
15	法兰盘面平面度(mm)	0.5
16	焊缝尺寸	符合设计要求
17	焊缝探伤	符合设计要求

6.3.6.3 前导管钢结构检验的质量标准应符合表 2 的规定。

表2 前导管钢结构加工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差
1	线管截面尺寸(mm)	±0.2
2	线管轴线长(mm)	±5
3	外壳管轴线长(mm)	±5
4	钢板件几何尺寸(mm)	±1
5	钢板件平面度(mm)	0.5,1
6	钢板件制孔尺寸(mm)	+0.2, 0
7	钢板件制孔位置及间距(mm)	±0.5
8	线管出口位置 (mm)	1

9	线管口及连接装置	光滑，圆滑
10	前导管边线偏离设计边线(mm)	5
11	法兰盘对接间隙(mm)	1
12	焊缝尺寸	符合设计要求
13	焊缝探伤	符合设计要求

6.3.6.4 过渡管与延伸管钢结构检验的质量标准应符合表 3 的规定。

表3 过渡管与延伸管钢结构加工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差
1	外壳管轴线长(mm)	+50, 0
2	钢板件几何尺寸(mm)	±1
3	钢板件平面度(mm)	0.5,1
4	管体边线偏离设计边线(mm)	5
5	法兰盘对接间隙(mm)	1
6	焊缝尺寸	符合设计要求
7	焊缝探伤	符合设计要求
8	约束环、定位器	符合设计要求

6.3.6.5 检验的质量标准应符合表 4 的规定。

表4 锚体压浆质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差
1	填充料强度 (MPa)	不小于设计要求
2	密实度	

6.4 定位器

5.4.1 定位器、限位环、过渡管的加工制造应参照《无粘结钢绞线斜拉索技术条件》(JT/T 771)、《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370-2007 及其他相关规范执行。

6.5 环境保护

6.5.1 鞍座在加工制作过程中应在厂内生产，并合理安排加工制造时间，控制噪声污染和光污染，减少对周边环境的影响。

6.5.2 鞍座在加工制作过程中的废料和余料应妥善分类收集，并应统一处理和回收利用，不得随意搁置、堆放。

6.5.3 鞍座锚体填充料灌注过程中应在专用工作平台上进行，并对余料进行统一处理，避免灌浆料对环境造成污染。

6.5.4 鞍座防腐涂层施工应在厂内指定区域内完成，并做好防护措施，避免涂料对环境造成污染。

6.5.5 填充型聚脲喷涂应在封闭的空间中进行，并做好防护措施，避免聚脲涂料对环境造成污染。

6.5.6 同向回转拉索的其他产品加工制作过程中应符合环境保护的相关要求，避免对环境造成污染。

7 试验方法

7.1 索体

7.1.1 耐磨型无粘结镀锌钢绞线的检测应按现行《预应力混凝土用钢绞线》(GB/T 5224)、《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》(YB/T 152)、《无粘结预应力钢绞线》(JG 161)、《喷涂聚脲防水涂料》GB/T23446 的规定进行。

7.1.2 耐磨型环氧钢绞线的检测应按现行 GB/T 5224、《填充型环氧涂层钢绞线》(JT/T 737) 的规定进行。

7.1.3 钢绞线护套用 PE 材料的检测应按现行《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》(GJ/T 297) 的规定进行；护套厚度、防腐润滑脂含量的检测应按现行 JG 161 的规定进行。

7.1.4 钢绞线在鞍座内的强化防护层的检测应按国家、行业现行相关标准的有关规定进行。

7.1.5 索套管用 HDPE 材料的检测应按现行 GJ/T 297 的规定进行；索套管用钢管的检测应按现行《结构用无缝钢管》(GB/T 8162) 的规定进行；索套管外观、直径、长度和壁厚的检测应按现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50-2011) 的规定进行。

7.2 锚具

7.2.1 锚具的检测应包括对锚板、夹片、调整螺母、防护帽、填充用防腐油脂或石蜡的检测，对过渡管外壳管、定位浆体、穿线管和密封装置的检测，对外观、尺寸、涂装的检测，以及对配属的锚垫板、钢导管、螺旋筋的检测。

7.2.2 锚具的检测应按现行《无粘结预应力钢绞线》(JG 161) 及国家、行业其他现行相关标准的有关规定进行。

7.3 鞍座

7.3.1 鞍座用钢材料的检测应按现行《碳素结构钢》(GB/T 700)、《结构用无缝钢管》(GB/T 8162)、《结构用不锈钢无缝钢管》(GB/T 14975)、《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50-2011)、《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》(GB/T 10433) 的规定进行。

7.3.2 外观、尺寸、焊缝的检测应按现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50-2011) 的规定进行。

7.3.3 防腐涂装的检测应按《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722)、《磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法》(GB/T 4956)、《漆膜颜色标准样卡》(GSB05-1426-2001) 的规定进行。

7.3.4 鞍座组合疲劳性能与耐磨蚀试验应按本标准附录 B 规定的方法进行；鞍座组合夹持性能试验应按本标准附录 C 规定的方法进行。

7.3.5 在一定条件下，鞍座组合力学性能试验可按现行《无粘结钢绞线斜拉索技术条件》(JT/T 771) 的规定进行。

7.4 定位器

7.4.1 定位器用钢材的检测应按现行《碳素结构钢》(GB/T 700) 的规定执行；HDPE 材料的检测应按现行《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》(GJ/T 297) 的规定执行；弹性橡胶的检测应按现行《工业用橡胶板》(GB/T 5574) 规定进行。

7.4.2 外观、尺寸的检测应按现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50-2011) 的规定进行。

7.4.3 防腐涂装的检测应按《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722）、《磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法》（GB/T 4956）、《漆膜颜色标准样卡》（GSB05-1426-2001）的规定进行。

8 产品检验

8.1 检验分类

8.1.1 同向回转拉索产品检验分为型式检验、材料检验、工厂检验和工地检验 4 类。

8.1.2 型式检验为对产品全面性能进行控制性检验。型式检验应由具有相应资质的质量监督检测机构进行。有下列情况之一时，应进行产品的型式检验：

- 1) 新产品定型、老产品转产鉴定时；
- 2) 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- 3) 正常生产时，每 5 年进行 1 次时；
- 4) 停产 2 年后，恢复产品的生产时；
- 5) 出厂产品较型式检验样品差异较大时；
- 6) 国家或省级质量监督机构要求时。

8.1.3 材料检验为对产品加工用原材料及外加工件进厂时进行的验收检验。

8.1.4 工厂检验为每批产品加工中和出厂前，制造方对产品质量进行的控制性检验。

8.1.5 工地检验为产品运至工地后，接收方对产品质量进行的验收检验。

8.2 检验项目

8.2.1 型式检验应按表 5 的规定执行。

表5 同向回转拉索产品型式检验项目

检验项目	技术要求	检验方法	取样
鞍座组合疲劳性能	4.3.4	6.3.4/6.3.5	1
鞍座组合静载性能	4.3.4	6.3.4/6.3.5	1

8.2.2 工厂检验应按表 6 的规定执行。

表6 同向回转拉索产品工厂检验项目

检验项目	技术要求	检验方法	取样数量
索体	钢绞线机械性能	4.1.1/4.1.2, 4.1.3	6.1.1~5.1.4
	索套管外观、尺寸	4.1.4	6.1.5
锚具	外观、尺寸、涂装	4.2.3	6.2.2
鞍座	外观、尺寸、涂装	4.3.1, 4.3.2, 4.3.3	6.3.2, 6.3.3
定位器	外观、尺寸、涂装	4.4.6	6.4.2, 6.4.3

8.2.3 工地检验应按表 7 的规定执行。

表7 同向回转拉索产品工地检验项目

检验项目	技术要求	检验方法	取样数量
索体	包装、标志	8.1, 8.2	目测，尺测
	钢绞线机械性能	4.1.1/4.1.2, 4.1.3	6.1.1~6.1.4

	索套管外观、尺寸	4.1.4	6.1.5	6.1.5
锚具	包装、标志	8.1, 7.2	目测, 尺测	100%
	外观、尺寸、涂装	4.2.3	6.2.2	6.2.2
鞍座	包装、标志	8.1, 8.2	目测, 尺测	100%
	外观、尺寸、涂装	4.3.1, 4.3.2, 4.3.3	6.3.2, 6.3.3	100%
定位器	包装、标志	8.1, 8.2	目测, 尺测	100%
	外观、尺寸、涂装	4.4.6	6.4.2, 6.4.3	100%

8.3 检验规则

8.3.1 应联合进行鞍座组合疲劳、静载型式检验，并制定系统的检验子项。若有任何 1 子项不合格, 则直接判定产品不合格。

8.3.2 材料检验应按本标准第 4 章、第 5 章的规定进行, 不合格的原材料及外加工件严禁使用。

8.3.3 可分别进行拉索钢绞线、鞍座的工厂检验，应制定系统的检验子项。

1) 对拉索钢绞线，若有 1 子项不合格，则判定该盘（钢绞线）或该件（鞍座）产品不合格。

2) 再次从未试验过的产品中取 2 倍的试件进行不合格子项的复检。若仍有 1 子项不合格, 则判定该批产品不合格。

8.3.4 可分别进行拉索钢绞线、鞍座的工地检验，应制定系统的检验子项。检验判定标准同出厂判定。

8.3.5 对出厂检验的不合格产品，生产厂可以重新处理，作为新的一批提交验收。对工地检验的不合格产品，接收方有权退回处理，并提出限时改正的要求。

9 包装、标志、运输和储存

9.1 包装

9.1.1 拉索钢绞线出厂时，应卷盘包装。卷盘内径应不小于 1.1m。包装应符合 JG 161 的相关规定。

9.1.2 锚具、鞍座出厂时，应分项包装。包装应符合 JB/T 5000.13 的相关规定或其他事先的约定。

9.1.3 索套管出厂时，应每根包裹后再成箱包装。。

9.2 标志

9.2.1 产品应有质量合格证明，并应标志下列内容：

- 1) 编号，型号，名称，规格，重量；
- 2) 安装标记；
- 3) 厂名，厂址，批号，生产日期；

9.2.2 产品包装应标志工程项目名称、产品信息（参见本标准 7.2.1 条）。

9.3 运输和储存

9.3.1 应制定安全、可靠的产品运输方案。

9.3.2 产品在运输和储存过程中，应避免暴晒、雨淋、雪侵、锈蚀，防止碰、划、抛、撞等机械损伤或散失，远离热源，保持清洁，严禁酸、碱、油、有机溶剂等污染。

9.3.3 产品在运输和储存过程中严禁拆卸。

10 安装、养护与更换

10.1 鞍座安装

10.1.1 鞍座安装前应制定完整的鞍座安装方案，并报监理单位批准后方可实施，安装方案如有变更需报监理单位批准后方可调整。

10.1.2 鞍座安装需利用塔柱劲性骨架完成鞍座定位与固定，劲性骨架需要根据鞍座的总量、尺寸、空间位置等条件进行专门设计，宜采用热轧工字钢、槽钢及角钢支撑。

10.1.3 劲性骨架设计时需要考虑鞍座定位的刚度要求、强度要求及钢筋定位对骨架的要求，同时需要考虑骨架方案的经济性。

10.1.4 进场检验合格的安装方可进行安装。

10.1.5 单层鞍座宜采用散拼安装；双层鞍座宜采用整体安装，以提高安装效率和安装精度。

10.1.6 鞍座散拼安装

10.1.6.1 鞍座散拼安装定位可采用三点定位、五点校核法：以鞍座顶点、及导管出口点作为控制点进行定位，以鞍座顶点、鞍座锚体端点以及导管出口点作为控制点进行校核。

10.1.6.2 散拼劲性骨架可分为竖向骨架，横向支撑骨架，其他联系骨架；竖向骨架的位置和数量应按照鞍座的位置关系确定，并兼考虑钢筋定位的要求，一般在鞍座顶点和锚固出口位置应设置竖向主骨架；横向支撑骨架直接支撑鞍座重量，应具有较好的刚度；其他联系骨架用于提高劲性骨架的整体性，根据计算要求和鞍座空间位置确定。

10.1.6.3 劲性骨架定位安装完成后，在鞍座顶点位置附近安装调节器，并对调节器进行精确定位，准确定位后固定调节器。调节器应该可沿着高度方向进行调整，也可绕着鞍座顶点转动。

10.1.6.4 鞍座应先吊放于调节器之上，要求鞍座中心位置位于调节器中心处，鞍座两端导管采用牵引装置进行临时固定。

10.1.6.5 先通过调节器的微调装置对鞍座顶点进行精确调整，后通过导管的牵引装置将导管口调整至放样点位置。

10.1.6.6 对鞍座顶点、锚体出口、导管出口进行精确测量，如有误差可通过调节器及牵引装置进行微调，直至满足定位精度要求后进行焊接固定。

10.1.7 鞍座整体安装

10.1.7.1 整体安装应在地面组拼平台上对鞍座与劲性骨架的相对位置进行精度定位，在塔上通过劲性骨架的快速对接实现鞍座定位，应尽量避免在塔上对鞍座进行二次调整。

10.1.7.2 整体安装的劲性骨架设计时还需要考虑吊装的刚度要求和安装的分节要求，还需要考虑吊装的刚度要求和安装的分节要求。

10.1.7.3 整拼劲性骨架的设计原则和散拼设计原则相似，在散拼骨架的基础上均匀对称选择部分竖向骨架作为定位主骨架。定位主骨架应适当提高刚度，作为整体安装定位使用，竖向主骨架节段间设置匹配键，用于匹配制造和定位。联系钢筋应满足定位和吊装过程的整体刚度要求，根据计算结果确定。

10.1.7.4 相邻两节骨架在制作时应设置快速对位标记，吊装至桥塔时通过快速对位标记实现鞍座的整体快速定位安装。

10.1.7.5 相邻两节骨架在制作时应设置快速对位标记，吊装至桥塔时通过快速对位标记实现鞍座的整体快速定位安装。

10.1.7.6 鞍座吊装就位后需对鞍座顶点、锚体出口、导管出口的位置进行测量调节，直至满足要求。

10.2 锚具安装

10.2.1 进场经验合格后的锚固方可进行安装。

10.2.2 锚具安装前应对锚具表面进行清理，保证锚具表面清洁。

10.2.3 锚具定位宜采用临时单孔锚具和光面钢绞线将梁端锚固固定在锚垫板处，安装过程中应避免对锚固延伸管防腐护套造成损伤，避免对锚固锥孔造成变形。

10.2.4 锚具定位时应确保索孔排布方向与鞍座锚孔方向一致。

10.3 拉索安装与张拉

10.3.1 索套管安装前，应进行焊接试验，保证现场焊接合格率达到 100%；索套管安装中，应不出现过度弯曲；索套管安装后留有足够的胀缩空间。

10.3.2 拉索各构件在整个施工过程中，应妥善防护，防止雨水和其他有害液体的侵入。

10.3.3 钢绞线索股应预设安装定位标记，控制在鞍座锚体内采用的耐磨、防腐防护层准确就位。

10.3.4 同向回转拉索的安装应采用逐根索股安装，钢绞线索股的安装应采用后端推送方法进行。

10.3.5 钢绞线索股的张拉应在梁端对称张拉。

10.3.6 拉索的张拉可采用逐根索股张拉、整束张拉、或组合方式进行。

10.3.7 拉索安装过程中若要放张，则必须利用锚头螺母进行整体放张，不可利用夹片放张。

10.3.8 拉索的张拉应确保拉索总张力、各钢绞线索股张力均匀度控制在允许偏差范围内。

10.3.9 拉索的张拉应采用相应的程序和设备进行。张拉应设置主控和适时测量元件。张拉千斤顶的校准精确度应不低于 1.0%，校准期应不超过 6 个月。

10.4 定位器与其他附属结构安装

10.4.1 拉索定位器、塔上鞍座过渡管和延伸管、梁上锚具钢导管、索套管固定装置及拉索外置减振器、制振索、监控传感器等的安装应确保拉索各构件以及索套管无损伤或挤压。

10.4.2 拉索定位器、塔上鞍座过渡管和延伸管、梁上锚具钢导管、索套管固定装置及拉索外置减振器的安装位置应满足设计要求。

10.5 养护

10.5.1 桥梁施工完成时，应进行拉索质量初检，并全面记录拉索结构状态。

10.5.2 桥梁设计寿命期，应进行拉索定期检查，必要时进行拉索专项检查。

10.5.3 理条件具备时，可以采用适当的设备，进行拉索状态的连续监控。

10.5.4 损伤应及时修护，同向回转拉索的更换可采用后端推送的方法进行。

10.6 更换

10.6.1 在钢绞线拉索更换前必须制定完善的操作流程及安全保障措施，方可实施。

10.6.2 同向回转拉索的更换可采用单根绞线更换，也可采用整索更换；若 HDPE 外套管需要更换，则应采用整索更换。

10.6.3 换索时索股应采用后端推送的方法进行退索。

10.6.4 退索可按照以下步骤进行

1) 塔端解除斜拉索过渡管与预埋管的连接，并缓慢下放过渡管，至在塔面前导管口与 HDPE 外套管顶端间留出大于 1m 后将过渡管临时固定。

2) 梁端解除锚固区钢导管过渡管的连接，并缓慢提起，至钢导管与过渡管口间留出大于 1m 的空间后将过渡管临时固定。

3) 解除锚头防护罩，清理两端锚具及钢绞线、夹片上的防腐油脂。

- 4) 采用换索连接器将新钢绞线与旧钢绞线牢固地连接成一个整体。
- 5) 采用推送的方式将钢绞线退出鞍座锚体
- 10.6.5 在换索过程中新钢绞线的安装宜与旧钢绞线的拆除同步进行操作
- 10.6.6 新钢绞线安装并张拉，进过渡管复位及锚头防护。

10.7 质量检查与质量标准

10.7.1 鞍座安装质量检查应按表 8 的规定执行。

表8 鞍座安装质量检验项目

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
锚体高程	±5mm	测量仪器，每个顶点和出口
锚体平面位置	±10mm	测量仪器，每个顶点和出口
前导管出口高程	±5mm	测量仪器，给个出口
前导管出口平面位置	±15mm	测量仪器，每个出口
锚固端与导向管的对接	法兰盘接缝不大于 3mm	游标卡尺、塞尺，每个接口
导管外形	不得出现磕碰变形	目测，每个导管

10.7.2 拉索张拉质量检查应按照表 9 的规定执行。

表9 斜拉索安装与张拉质量检验项目

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
钢绞线索股 PE 护套	PE 护套不得破损	目测、逐根
拉索外套管	不得破损	目测、逐根
绞线标记点到前导管出口距离偏差	±5cm	直尺，逐根
前导管过渡管连接法兰	接缝密闭	目测、逐个
索力与理论值偏差	±5%	10%抽检，测量仪器或抽拔
索股间均匀性	±2%	10%抽检，测量仪器或抽拔

10.8 风险管理与控制

- 10.8.1 同向回转拉索体系鞍座安装和钢绞线安装施工前，应编制专项施工方案，在方案中应对施工风险控制与管理进行专项分析。
- 10.8.2 同向回转鞍座安装过程中属于高空作业，应严格按照高空作业加强施工过程中的安全风险控制。
- 10.8.3 同向回转拉索安装过程需要在塔壁设置操作平台，应加强风险控制，设备的性能要求不得低于挂篮设备的要求，设备应有专业厂家加工制造。
- 10.8.4 在同向回转拉索体系安装施工过程中施工单位和监理单位应严格按照审批方案管理现场操作，将强对施工过程中的风险控制。

附 录 A分丝夹持型鞍座主要技术参数

表A. 1 分丝夹持型鞍座主要技术参数（单位：mm）

拉索 规格	HDPE 索套管	鞍座前导管	鞍座分丝管
	$D_0 \times t_0$	$D_1 \times t_1$	$A_1 \times B_1 \times t_2$
15. 2-22	$\phi 160 \times 5$	$\phi 299 \times 8$	$271 \times 278 \times 8$
15. 2-27	$\phi 160 \times 5$	$\phi 325 \times 8$	$318 \times 359 \times 8$
15. 2-31	$\phi 160 \times 5$	$\phi 325 \times 8$	$318 \times 359 \times 8$
15. 2-37	$\phi 180 \times 5.6$	$\phi 356 \times 8$	$365 \times 359 \times 8$
15. 2-43	$\phi 200 \times 6.2$	$\phi 406 \times 9$	$365 \times 441 \times 8$
注： 1) 本表技术参数适用于公称直径 15. 2mm，抗拉强度 1860MPa 以下的钢绞线拉索。 2) 当拉索规格与本表不相同，鞍座应选择邻近较大规格。 3) 当拉索规格超过本表范围时，鞍座应进行重新设计			

附录 B 分丝夹持型鞍座组合疲劳及耐磨蚀性能试验

B.1 试验系统与试件

B.1.1.1 分丝夹持型鞍座组合疲劳试验宜采用卧式系统疲劳试验，在试验台座下设置滚动装置，通过助动器顶进试验台座实现加载。

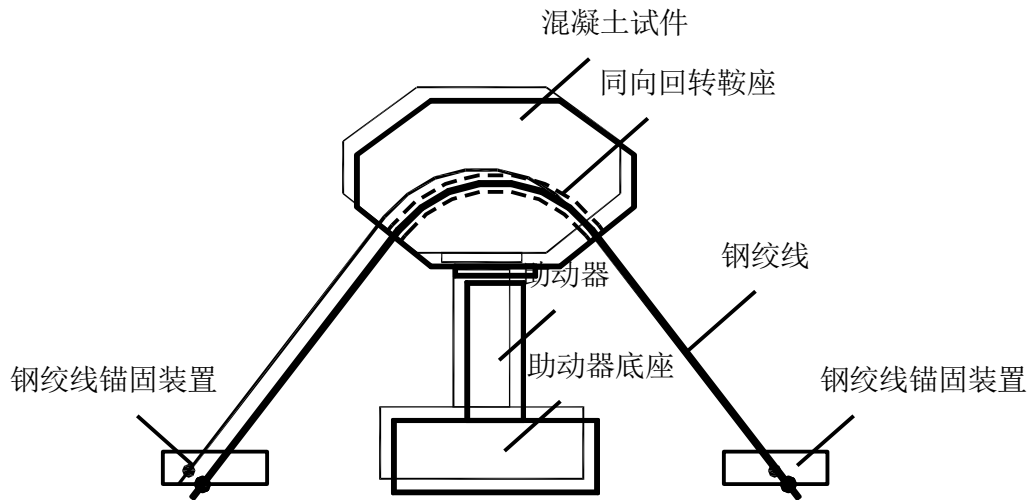


图 B.1 卧式疲劳试验系统示意图

B.1.1.2 送检试件需采用连续取样，取样数量按照试验所需数量的1.2倍选取，试件选定后根据钢绞线的类型确定是否需要对鞍座范围内进行耐磨防腐层二次加工。加工、固化、养护后的试件可送试验室进行检测。在安装前从1.2倍试件中随机选取进行安装。

B.2 试验参数

B.2.1.1 系统疲劳试验参数：系统疲劳试验的钢绞线承受200万次637MPa~837MPa的应力循环。

B.2.1.2 疲劳试验过程中助动器加载的荷载数值应根据钢绞线索股的面积、鞍座的圆心角进行计算

$$F = 2\sigma A \sin(\theta/2)。$$

B.3 试验过程

B.3.1 试验安装

B.3.1.1 在试验前应进行试验系统矫正，确保试验系统沿中轴对称。保证试验台座中心线与疲劳助动器处于同一直线上，鞍座两侧出口、锚固点关于鞍座中心线轴对称，误差不超过±1mm。台座内鞍座顶点与锚固点连线的距离与理论偏差应控制在-5，0mm

B.3.1.2 系统纠正完成应对鞍座和锚具进行临时固定，避免钢绞线安装过程中系统发生扰动。

B. 3. 1. 3 钢绞线试件逐一穿入指定的分丝管孔道内，穿束采用推送式穿束，应注意在对钢绞线防腐层的保护，避免造成防腐层破损。应保证分丝管内所有钢绞线均处于耐磨防腐区段。

B. 3. 1. 4 钢绞线安装就位后，应进行预紧张拉，钢绞线预紧应采用两侧对称张拉，预紧应力不得大于200MPa。

B. 3. 2 试验加载

在试验正式加载前先进行预加载，试验加载应按以下步骤执行：

1) 加载前应在鞍座前端沿中线对称的两个位置布置动态采集位移计，对试验前期的加载过程进行观测，确保试验过程中系统处于对称状态。设备安装完成后解除临时锁定，完成加载准备工作。

2) 预加载是调试试验系统的重要步骤，疲劳助动器应由零载状态分级增加至最大荷载，在由最大荷载分级将至零载，反复循环两次，对预加载过程中加载设备的响应进行观测，取保系统正常运作。

3) 预加载完成后开始疲劳荷载施加，在疲劳荷载施加的前期，利用动态位移监测设备对鞍座的位移进行持续观测，确保试验系统处于对称状态。如有异常情况应及时停止，并对系统进行校正。

4) 等监测结果表明系统处于稳定工作状态后，撤除位移监测设备，进行疲劳试验的正式加载。

B. 3. 3 疲劳后静力加载

在疲劳试验完成后应进行疲劳后静力强度检测，疲劳后静力强度检验应根据试验室设备情况，确定疲劳后静力强度的加载方式：

1) 当疲劳助动器的吨位满足要求时，可直接利用助动器进行疲劳后静力加载；

2) 当疲劳助动器的吨位满足要求，但有条件跟换为静力千斤顶加载时，应先采用临时固定措施对试验台座进行固定，后安装静力千斤顶进行加载，在设备更换过程中需确保钢绞线和鞍座及锚具之间为相对位移；

3) 当疲劳助动器的吨位满足要求，且无法跟换静力千斤顶加载时，应根据助动器能力计算可进行静力加载的索股数量，将剩余索股拆除后进行加载，在多余索股拆除过程中需确保钢绞线和鞍座及锚具之间为相对位移；

B. 4 试验检验

B. 4. 1 在疲劳施工过程中应安排实验室专人值班，对试验全过程进行观测。利用声发射传感器对系统可能出现的断丝进行监测。

B. 4. 2 系统疲劳性能评定：系统疲劳试验在经历200万次疲劳循环后，钢绞线的断丝率不得大于2%；当钢丝总数不足100根时，断丝的钢丝数量不得超过2丝。

B. 4. 3 系统疲劳试验后剩余强度评定：疲劳试验后试件的剩余强度应不小于 $95\%f_{ptk}$ （0.95倍标准强度）和 $92\%f_{pm}$ （0.92倍平均极限强度）的最大值。

B. 4. 4 疲劳试验完成应对钢绞线耐磨防腐层的损伤情况进行评定，要求鞍座内钢绞线防腐层的防护不得失效。

附录 C 分丝夹持型鞍座组合夹持性能试验

C.1 试验系统与试件

C.1.1 分丝夹持型鞍座组合夹持性能宜采用与附录B相同的综合实验台座进行,在试验实验过程中将试验台座临时固定。在两侧锚具位置分别鞍座两个动态采集压力传感器,测定两侧索力。

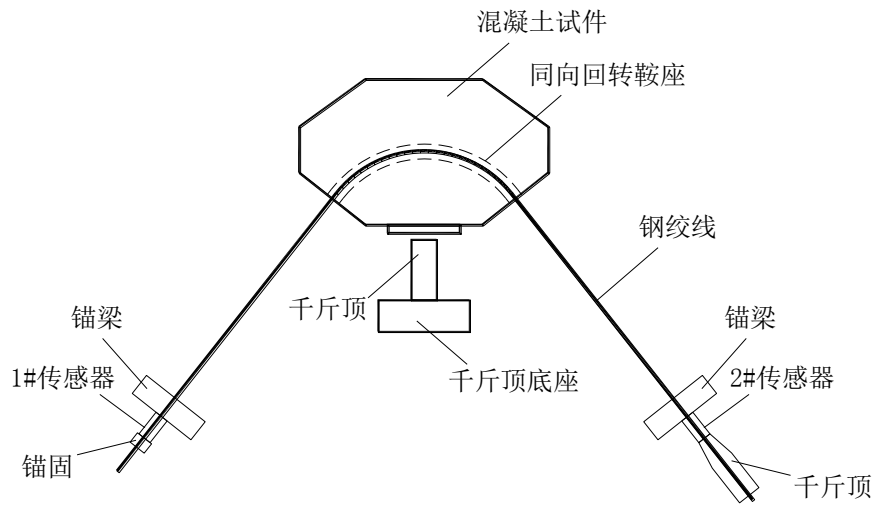


图 C.1 卧式疲劳试验系统示意图

C.1.2 单组试验试件应不小于4根,在安装前随机选取3根绞线进行测试,同时应选取3根疲劳后试件进行测试。

C.2 试验过程

C.2.1 试验安装

试验安装应按照如下步骤进行:

- 1) 在试验前应进行试验系统矫正,确保试验系统沿中轴线对称。保证试验台座中心线与疲劳助动器处于同一直线上,鞍座两侧出口、锚固点关于鞍座中心线轴对称,误差不超过 $\pm 1\text{mm}$ 。台座内鞍座顶点与锚固点连线的距离与理论偏差应控制在 $-5, 0\text{mm}$
- 2) 系统纠正完成应对鞍座和锚具进行临时固定,避免钢绞线安装过程中系统发生扰动。
- 3) 钢绞线试件逐一穿入指定的分丝管孔道内,穿束采用推送式穿束,应注意在对钢绞线防腐层的保护,避免造成防腐层破损。应保证分丝管内所有钢绞线均处于耐磨防腐区段。
- 4) 安装两侧 1#、2#压力传感器, 1#传感器后安装锚头, 2#号传感器后安装张拉千斤顶。
- 5) 千斤顶收紧钢绞线,使得钢绞线属于顺直自由状态。

C.2.2 试验加载与测试

试验加载与测试应按照如下步骤进行:

- 1) 试验安装完成后对两侧传感器进行调零,并进行连续动态采集,采样频率不宜低于 10Hz 。

- 2) 千斤顶开始持续缓慢张拉，直到 2 号传感器数值达到 195kN，加载全过程 1、2#传感器持续采集。
- 3) 2#传感器一侧缓慢卸载千斤顶，卸载全过程 1、2#传感器持续采集。
- 4) 存储试验数据备分析，拆除试验设备。

C.3 试验分析与检验

C.3.1 将任意时刻两侧传感器的压力带入下式，可得到任意时刻系统的名义夹持系数 $\mu(t)$ 。

$$\mu(t) = \frac{1}{\theta} \ln \frac{F_1(t)}{F_2(t)}$$

上式即为夹持系数的计算公式。

其中， $\mu(t)$ —任一时刻钢绞线与鞍座分丝管之间的名义夹持系数；

θ —鞍座弧段对应的圆心角，弧度制；

$F_1(t)$ 、 $F_2(t)$ —任一时刻钢绞线两侧拉力， $F_1(t) > F_2(t)$ 。

C.3.2 将任意时刻系统的名义夹持系数 $\mu(t)$ 绘制曲线图（典型曲线图见图C.5-1），并选取有效的加载区域，求解的方差最小的期望 $\overline{\mu(t)}$ 即为系统的综合夹持系数。

C.3.3 将设计无明确要求情况下，疲劳试验前与疲劳试验后的系统综合夹持系数均不应小于0.4。

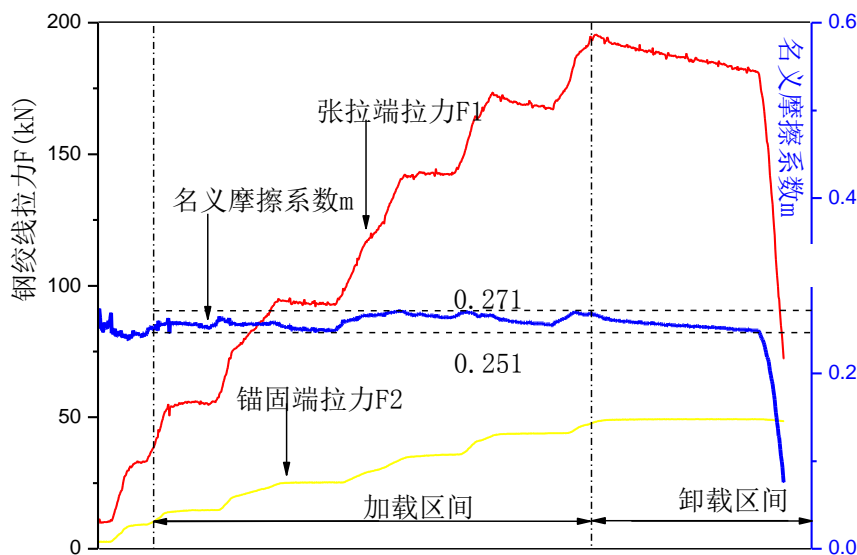


图 C.2 典型综合动夹持系数分析图式