



# 冷铸锚650吨张拉杆失效分析

卢剑峰 罗艺红 陈艺玲 梁剑冰

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

**摘要:**张拉杆是斜拉桥斜拉索施工的重要配件,通过对某断裂的张拉杆进行机械和组织检验及强度校核,分析了断裂的原因,并在此基础上提出了今后该类张拉杆的设计及制造中值得注意的问题。

**关键词:**张拉杆 断裂 分析

## 概要

斜拉桥建设中在斜拉索张拉时,张拉杆断裂将影响整个施工过程。所以,对于斜拉索张拉过程张拉杆受力情况的研究一直是斜拉桥建设的一个重点<sup>[1][2][3]</sup>。显然,断裂张拉杆的分析是提高张拉杆质量的有效途径。

## 1 实验材料

按GB/T18365《斜拉桥热聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》要求,每根成品在出厂之前必须进行超张拉检验,合格后方可出厂交付使用。以某根在超张拉时断裂的650t张拉杆为研究对象。

该张拉杆的工艺路线为:锯→焊→热→锯→镗→车1→超探→车2→钳→磁探→发蓝。张拉杆

的零件材料为40Cr,下料尺寸为 $\phi 190 \times 3280$ ,调质269HBW~323HBW,零件最大尺寸为 $\phi 180 \times 3250$ 。

此张拉杆为2012年6月份完成加工并投入使用,张拉使用约有100次,最大拉过625t。在张拉301丝( $\phi 5$ )冷铸锚过程中,放张到400t力时断裂,断裂部位螺纹为Tr170 $\times$ 16。断裂前3天曾380t力持荷3天(拉杆内应力210MPa)进行拉索振动试验,最大振幅为1000mm,频率0.87Hz。在试验过程中曾把张拉杆作为扁担起吊张拉台座,起吊过程因台座卡住基坑,曾利用吊车快速上下震动台座。断面和断裂部位如图1所示:



拉杆断面



连接螺母



断裂位置

图1 断面及断裂部位

## 2 机械和组织检验结果

对张拉杆的机械和组织检验主要包括断口分析、低倍组织分析、力学分析、硬度检测和显微分析。

(1)对张拉杆断口进行分析。张拉杆断口与轴向基本垂直,断口较平齐,在圆周边上有台阶(约占横截面10%),无明显的塑性变形,属

脆性断裂。检测断口附近的螺纹中径、大径,发现张拉杆的几何尺寸基本无变化。

(2)在断口附近的横截面上取样进行材料的低倍组织检验,检验结果如表1所示,检验结果表明材料的低倍组织合格。

表1 低倍组织检验结果

一般疏松	中心疏松	锭型偏析	一般点状偏析	边缘点状偏析
1.5级	1.0级	0.5级	0级	0级

(3) 对张拉杆进行力学性能分析。沿张拉杆的纵向、在心部和边缘分别取样做拉伸、冲击试验,发现张拉杆的冲击吸收功偏低。为了验证张拉杆热处理时回火是否充分,分别在边缘和心部各再取一个冲击样品,重新回火(加热温度500℃,保温1h)后,再加工成标准试样后做冲击试验,与之前的数据进行比较,实验结果如表2所示。实验结果表明心部的冲击吸收功基本无变化,边缘的冲击吸收功增大了一倍。

表2 力学性能分析

取样部位	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	断后伸长率 (%)	断面收缩率 (%)	冲击吸收功 Aku2 (J)	冲击吸收功 Aku2' (J) (再取试样重新回火)
心部	无屈服	849	19.5	70	21.5	21.0
边缘	屈服点	843	20.5	70	20.5	49.0
边缘		908	18.0	66	20.5	49.0

表3 显微分析结果

检测项目	心部样品	边缘样品
非金属夹杂物	A2,B1,C0,D1	A2,B1,C0,D1
晶粒度	7级	7级
金相组织	珠光体+半网铁素体	回火索氏体+屈氏体+半网铁素体

### 3 强度校核

为分析断裂情况还需进行强度校核。断裂为非螺纹失效,故只需校核螺杆的强度。

外螺纹Tr170×116-7e,螺纹底径 $\phi$ 152,抗拉强度 $\sigma_b=840\text{MPa}$ ,因材料无明显屈服,取屈服强度 $\sigma_s=0.8\sigma_b=672\text{MPa}$ 。超张拉力为525t,断裂时为400t,则有:

$$\sigma = 525 \times 10^4 / S = 5250000 / (76 \times 76 \times 3.14) = 289\text{MPa}$$

安全系数为 $n = \sigma_s / \sigma = 672 / 289 = 2.3$ ,故排除强度不足造成的断裂。

### 4 断裂原因分析

首先进行冲击韧性分析。判断冲击韧性差为热处理过程中产生的第二类回火脆性造成,主要依据为:(1)检测结果已经基本排除材料及组织缺陷因素;(2)排除氢脆。材料的断面收缩率正常,不符合氢脆断面收缩率显著降低的特

(4)对张拉杆的硬度检测(HRC)。从张拉杆横截面上圆心处开始,沿半径方向向外圆,每间隔5mm~10mm检测一次,发现整个横截面的硬度差异不大,但硬度值偏低(硬度技术要求换算28HRC~35HRC)。

(5)对张拉杆进行显微分析。在断口边缘、心部,各取一个金相样品进行显微分析,分析结果如表3所示。断口边上组织与其他处无明显差异,非金属夹杂物不算严重,金相组织、晶粒度都不粗大。

点;(3)重新回火后冲击值升高,说明脆性可逆,符合第二类回火脆性的特点。

接着进行回火脆性分析。为确定40Cr钢在350℃~370℃是否出现回火脆性,取两组试样进行试验,热处理工艺为:850℃淬火保温1h,机油冷却,不同回火温度下保温1h,水冷,U型缺口,结果如表4所示。因40Cr具有回火脆性,张拉杆在调质后的校直一般都要进行回火消除内应力,回火温度一般都较低,而且多是缓冷,容易产生回火脆性。

然后再进行脆性断裂分析。假设该张拉杆为脆性断裂,则必须解释延伸率和断面收缩率检验合格原因。可以认为张拉杆在使用过程中受到冲击载荷,在受力最大的第一牙螺纹处、螺纹牙底应力集中处(车刀痕、牙底尖角)产生微裂纹,在张拉过程中受扭力、张拉力共同作用扩大裂纹,在放张时裂纹迅速扩展产生瞬断。第二类回

火脆性不影响抗拉强度和塑性。所谓塑性是指在外力作用下材料产生永久变形而不被破坏的能力,通常用延伸率和断面收缩率来衡量。而韧性表征材料抵抗裂纹扩展的性能,是强度和塑性的综合指标。

表4 不同回火温度(°C)下的冲击值(J)

回火温度	第一支	第二支	平均值
200	27	24	25.5
240	28	29	28.5
280	12	10	11.0
320	10	14	12.0
350	10	8	9.0
380	16	13	14.5
420	34	34	34.0
460	50	50	50.0
500	70	71	70.5

## 5 张拉杆设计制造中值得注意的问题

综合上述分析,在张拉杆制造中以下几个问

(上接第36页)

(2) 钢板中部空鼓:造成这种缺陷的原因主要是注胶过程中胶体中包裹了气泡无法排出或压力注胶结束后存在螺杆处漏胶没能及时封堵。此类空鼓可用电钻配小直径钻头在空鼓部位两端边缘处钢板上各开一孔,用大号注射器将丙酮注入空腔中以确认两孔贯通并清洗空腔后,再用大号注射器将拌好的结构胶注入空腔中,连续反复多次操作直至将空腔中的空气排完后将孔口封闭即可。

(3) 蜂窝状空鼓:造成这种缺陷的主要原因是在压力注胶过程中,由于压力注胶罐中的胶液已排完或摇晃压力注胶罐,高压空气通过注胶管进入钢板与混凝土之间的空腔中,高压空气团突然进入低压环境中,会爆裂成小气泡并被包裹于胶体中,形成由胶液薄膜分隔并紧挨在一起的气泡群。因该缺陷中各气泡间无法贯通,无法通过补灌进行处理,只能将钢板拆下重新安装重新注胶或在旁边加贴钢板补强。

题值得注意。

(1) 由于在易出现回火脆性的温度范围内回火,会导致工件出现回火脆性,在使用过程中受力断裂。建议将回火温度提高到500°C以上,以获得良好的综合机械性能。

(2) 在条件允许的情况下应使用回火脆性小、强度更高的材料。

(3) 在加工时保证槽底圆角和粗糙度。

(4) 校直回火后应再次回火(快冷)消除回火脆性。

### 参考文献

- [1] 李芳武,郑勇生,罗辉.斜拉桥长索软硬组合牵引受力机理研究[J].武汉理工大学学报,2010(9)
- [2] 叶青.二次张拉预应力钢绞线锚具在桥梁施工中的张拉工艺及预应力损失分析[J].黑龙江交通科技,2011(10)
- [3] 郑勇生.斜拉桥长索软硬组合牵引受力机理研究[J].公路交通科技,2012(8)

## 6 结语

压力注胶法粘贴钢板的施工过程要确保质量,除了材料的质量必须保证以外,整个质量控制的关键点就是粘结面的有效结合性及有效粘结面积是否满足设计及规范的要求。因此,在压力注胶法粘贴钢板的施工过程中,应注重对所有粘结面的处理及压力注胶过程的控制,尽量避免质量缺陷,特别是蜂窝状空鼓质量缺陷的出现。

### 参考文献

- [1] 交通部颁标准《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008)
- [2] 2010广西壮族自治区公路管理局《危桥改造加固工程技术规范》
- [3] 混凝土结构加固技术规范(CECS25:90),中国计划出版社,1991年12月
- [4] 混凝土结构加固设计规范(GB50367-2006),中国建筑工业出版社,2006-09-01
- [5] 交通部颁标准《公路桥梁加固设计规范》JTGTJ22-08
- [6] 《桥梁工程鉴定与加固手册》,人民交通出版社