

# 高强度钢绞线的 直径偏差与工程质量

段建华 董昌华

**摘要** 从应力腐蚀角度考虑,钢绞线的耐久性并不因少量的直径差而有差别。锚固系统的效率却与钢绞线的直径偏差有关。

**关键词** 预应力 钢绞线 直径偏差 质量 应力腐蚀

## 1. 背景

最近出现了一些关于钢绞线直径对工程质量影响的讨论,特别提到应力腐蚀的问题,另外三峡工程的有关机构也特别关注钢绞线的耐久性问题。

过去由于冶金技术的限制,不能够生产大直径的高品质高碳钢线材,甚至国外的大部分材料也不甚理想,所以九十年代初,中国  $\Phi 15.24$  毫米 1860 级的钢绞线都采取加粗的技术,以保证整股拉断力值。以新华公司为例,1993~1996 年期间,钢绞线直径一般控制在  $\Phi 15.3 \sim 15.45$  毫米之间,国内同行更有制做出大批量  $\Phi 15.6 \sim 16$  毫米钢绞线的情况,这给用户造成了钢绞线用量大大增加和锚具匹配困难的问题。

20 世纪的最后几年中,马钢、沙钢及宝钢都参照国外的做法先后采取了添加微量的铬增加线材强度的做法,达到了很好的效果。因此现在有条件按公差很小的尺寸生产低松弛高强度预应力钢绞线。

## 2 钢绞线的尺寸质量

### 2.1 直径与面积

业内技术人员都非常清楚,直径与面积的对应关系并非标准中公称(名义)数据那么简单。

如直径 15.24 毫米零公差的钢绞线其面积并非 ASTM 标准中的 140 平方毫米,按 ISO6934 标准生产的 15.2 毫米钢绞线的面积也只是接近公称值 139 平方毫米(所以叫公称数据)。即不同的标准之间,公称数据的制定方法都不一致。

根据绞合的结构和尺寸可以确定直径与面积的关系如下:

$$D = 3.01 * \text{SQRT}(S/5.4934) \text{ (8度捻角,中心丝加粗 3.3\%)}$$

D 为钢绞线直径(毫米),S 为钢绞线面积(平方毫米),SQRT 指开平方。

下表为按上述公式算出的一组数据,这与实际测量数据非常接近。

面积	139	140	141	142	143	144	145	150
直径	15.14	15.2	15.25	15.3	15.36	15.41	15.46	15.73

### 2.2 实际控制水平

采用软件分析新华公司数据库中 1999 年 1 月至 2000 年 6 月的 15.24 毫米 1860 级钢绞线的数据,结果为:

样本数:9795 个 重量:28050 吨

平均每米重量:1103 克(仅比标准高千分之一)

波动数据绝大部分在正负千分之五之间

平均直径在 15.22 毫米

根据 ISO3207 等数据分析解释方法标准,自动得出了全体力学指标的统计特性非常满意的结论。

统计数据表明:

15.24 的直径略低于公称值(而平均面积大 0.35%);

负偏差的数量略多,且偏差范围很小;

质量稳定,统计特性优良。

### 2.3 直径及面积的测量

段建华 新华金属制品股份有限公司 高级工程师

董昌华 新华金属制品股份有限公司 副总经理

绞线由于其多股结构,其直径的测量精度是很有限的,因为手工找出最大方向是完全凭手感,相差几个丝是常见的。如靠近切断位置测量误差就更大。

但是,钢绞线的面积可以很精确地用称重法测量,15.24的面积测量误差都在千分之三以下。因此钢绞线的面积或每米重数据比直径更精确,更有意义。生产时应以面积接近公称值为控制目标,而不是控制粗略的钢绞线直径。

### 3. 直径的标准值

钢绞线的标准规格设立是基于一定时期的冶金技术水平的,而且标准制定普遍采用在满足功能的前提下最低约束原则,工厂根据自己的技术和对顾客期望的理解去采取更严格的控制。

设定钢绞线的标准拉断力同时要考虑冶金技术水平和预应力设计张拉值的期望,毫无疑问,以粗直径满足高拉断力是比较容易的,如果美国标准不容许 15.24/1860 有较大的直径公差,那早期就没有足够多的满意原材料。

又以 1980 年版的英国标准为例,很早就有了满足其要求的原材料。由于冶金技术的进步,现在欧共体企业的样本上 15.7 毫米直径很多都有了 1860 级。国际上早已有了 2000 及 2100 兆帕级的钢绞线,更高级别材料也在研究之中。

工程上对预应力索拉力提出了越来越高的期望,所以有了 17.8、22 及 28 毫米的钢绞线,这可以大大提高预应力施工的效率,并满足大型预应力结构的需要。拉力的不断提高是基于原料和工艺设备的进步,应避免靠加大尺寸、增加材料消耗来实现。

### 4. 直径正偏差对成本的影响

假设将钢绞线面积增大 2%,可以产生如下成本变化:

工程上钢绞线的成本要增加 2%。

在以同样的生产线速度下,钢绞线的产量可提高 2%,每吨固定成本降低近 2%。对于大规模生产的企业来说这是很可观的。

### 5. 从工程角度看直径偏差

#### 5.1 应力腐蚀问题

在已发生的预应力工程事故中,其原因多与设计施工的质量有关,其中的应力腐蚀事故又是主要因素之一,特别是水工结构。未见预应力材料质量问题导致事故的报告。

腐蚀的原因包括:设计未考虑足够的防护、未及时灌浆(张拉周期太长或停工)导致的应力腐蚀断裂及灌浆质量导致的问题。由于 1992 年英国交通部暂时停止后张工艺应用的决定,灌浆问题已引起了我国的高度重视,新发展出来的真空灌浆技术就是力图解决这一问题。

服役下的预应力筋出现应力腐蚀要有特定的腐蚀介质,如酸、氯离子、硫化氢、氢氧化钙、氯化钠、硫氨、硝酸根、NH<sub>4</sub>CNS 和水等。

根据 FIP 的研究报告[1],预应力筋的应力腐蚀破坏形式包括:

延迟的突然断裂;

开裂破坏;

点蚀扩展导致到一定阶段的突然损坏。

应力腐蚀的断裂速度一般在  $10^{-3}$ — $10^{-1}$ cm/h 范围[2],与没有应力下的腐蚀破坏完全不同,断口为脆断型,可见加粗直径几个百分点就可以提高寿命的做法是很不切实际的。

应力腐蚀破坏分为三个阶段:裂纹孕育期、腐蚀裂纹发展期和裂纹急剧生产破坏期。没有全面腐蚀的发生,肉眼不容易发现,属于很危险的一种断裂。所以在腐蚀环境中使用预应力钢材时就需要特别小心。

由于残余应力低,低松弛预应力钢绞线的应力腐蚀敏感性比普通松弛预应力钢材好,碳钢也不属于应力腐蚀敏感材料,但由于强度高,其影响是不能忽视的[3]。如果不控制好预应力筋周围的环境质量,再好的钢绞线也会出问题,所以应注重在设计 and 施工中考虑控制应力腐蚀。

#### 5.2 直径偏差的真正影响

按常见标准的规定,高强度钢绞线的直径不可能太小,将直径控制到太小容易出现超差问题,锚固效率也会下降。

直径太大不仅浪费材料,同样有锚具配合的问题,会降低锚固系统效率,还会减小孔道间隙,影响到保护浆的量和孔道的摩擦,也就是说直径加大会影响工程的质量。

#### 参考文献

[1]FIP, Report on prestressing steel: 5 Stress corrosion cracking resistance test for prestressing tendons. 1980

[2]朱相容,王相润:金属材料的海洋腐蚀与防护. 1999: 88—89

[3]左景伊:应力腐蚀破裂. 1985: 74—75