

# 浅谈消防安全绳技术及其应用

张 磊

(公安部上海消防研究所 上海 200032)

**摘 要:** 首先介绍了几种常用制绳材料, 分析了由不同的制绳材料制成消防安全绳 (Fire Service Life Safety Rope) 在强度 (strength)、耐磨性 (abrasion resistance)、吸水性 (hygroscopicity) 和防腐性 (rot-proofness) 等方面的区别, 接着通过介绍几种基本编制方式, 分析了不同编制方式对于消防安全绳减震性 (cushion)、延伸率、表面性能和硬度等方面的影响, 然后介绍了国内外标准对于消防安全绳直径的规定及相应的技术依据, 最后推荐了在不同救援任务中、不同外部环境下消防部队应选取消防安全绳的类型以及不同类型消防安全绳的保养维护方法, 为消防部队提供了一定的技术参考。

**关键字:** 消防安全绳 合成纤维 静力绳 动力绳 抗拉强度

## 1 引言

消防安全绳是一种消防部队普遍配备和广泛应用的救援器材。标准 GA 494 - 2004《消防用防坠落装备》[1] 中对消防安全绳的定义为: 消防部队在灭火救援、抢险救灾或日常训练中仅用于承载人的绳子。由于消防任务的自身特点、现场状况和操作程序都存在差异, 消防员通常需要有针对性的选取最适合现场使用的消防安全绳。

## 2 消防安全绳技术

目前, 常用的消防安全绳主要可以从材料、编织方法和直径尺寸加以区分。不同的材料、编织方法和尺寸的消防安全绳都具有各自的特点、用途和使用方法。下面就从这几方面对消防安全绳现有技术和应用予以介绍。

### 2.1 制绳材料

标准 GB 24543 - 2009《坠落防护 安全绳》[2] 中将绳索按照材质分为织带式、纤维绳式、钢丝绳式和链式。目前, 生产消防安全绳的材料主要以合成纤维为主。

合成纤维是制造消防安全绳的理想材料, 最常用的包括: 聚酰胺、聚酯纤维、聚烯烃和凯夫拉, 它们都具有纤维长、强度高、抗腐蚀、易保存等特

点。纵观这几种材料, 尚没有哪一种材料制成的消防安全绳可以满足各种类型救援任务的作战要求, 下面就将分别介绍这四种材料的优缺点、使用性能和主要用途。

#### 2.1.1 聚酰胺

聚酰胺就是通常所说的尼龙, 英文名称 Polyamide (简称 PA), 国内一般称之为锦纶。

目前, 虽然没有哪一种合成纤维可以用于制造适应于各种类型救援任务的消防安全绳, 但是尼龙因其优点更为突出, 已经成为使用最广泛的制造消防安全绳的材料。

尼龙的抗张强度高, 断裂强度约 42 ~ 56cN/tex, 断裂伸长率达 25% ~ 65%, 这使其具有良好的减震性和耐磨性, 并在常见纺织纤维中居首。尼龙不受碱和汽油、杀虫剂等有机溶剂的侵蚀, 中活性成分对其也没有作用。尼龙还具有熔点高 (约 248℃)、表面光滑等优点。但是, 尼龙不耐酸性溶剂, 尼龙大分子上的酰胺键在酸性溶剂中会发生断裂和分解。尼龙的吸水性比较强, 吸水的比例可以达到自重的 8% ~ 9.5%, 吸水之后的尼龙分子会膨胀, 从而大大降低尼龙的强度和耐磨性能, 不过尼龙干了之后, 其强度和耐磨性能又会得到恢复。由于尼龙大分子的端基对光、热较敏感, 导致锦纶变黄、发脆, 所以尼龙的耐光性一般, 因此尼

龙不能长期暴露在室外，防止其因阳光中的紫外线照射而老化。

现在使用的尼龙主要有两种类型：尼龙 66 和尼龙 6，两者的主要区别在于，尼龙 66 断裂强度和熔点比后者略高，伸展性略低，一般用于静力绳，尼龙 6 的伸展性和韧性更好，一般用于动力绳。

表 1<sup>[3]</sup> 中列出了聚氨酯纤维与其他几种纤维在强度和耐磨性方面的比值。

表 1

类型	强度比值	耐磨性比值
聚氨酯	1	1
聚酯纤维	0.87	0.62
聚丙烯	0.6	0.4
聚乙烯	0.52	0.21
天然纤维	0.37	0.13

### 2.1.2 聚酯纤维

聚酯纤维，英文名称 Polyester（简称 PET），在我国称之为涤纶，也是合成纤维中的一个重要品种。

涤纶的强度与尼龙相比略低，短纤维强度为 2.6 ~ 5.7cN/dtex，高强度纤维为 5.6 ~ 8.0cN/dtex。但是涤纶的吸水性较低，吸水量只有自重的 1%，湿态强度与干态强度基本相同，这一点是尼龙无法达到的。

涤纶还具有抵御酸和有机溶剂侵蚀的能力、良好的耐磨性和较高的熔点（约 248℃），抗紫外线的性能也是其他纤维所不具备的。与尼龙相比，涤纶的减震性较低，静态延伸较低，在持续负重之下的也不会延伸很多，因此，静力绳常常由涤纶制造。

### 2.1.3 聚烯烃

聚烯烃，英文名称 Polyamide，主要有聚丙烯，英文名称 Polypropylene（简称 PP）和聚乙烯 Polyethylene（简称 PE）两种。发明之初，该类纤维就被广泛应用于制造绳子。

聚烯烃最主要的优点就是它的比重小（0.91），是常用制绳纤维中最轻的一种。即使长期泡在水中，聚烯烃也不会吸收水分或是失去强度。同时，聚烯烃类纤维化学稳定性好，能耐大多数酸碱的侵蚀（除具有氧化性质的酸以外）。聚烯

烃类纤维中的聚乙烯还具有非常突出的耐低温性能，低温催化点达到 -70℃。因此，此类安全绳非常适合用于河流救援和水面牵引以及应对寒冷的条件。

然而，聚烯烃类纤维具有一些明显的不足，如抗拉强度和弹性较低；抗紫外线性能也不高；耐磨性较差；熔点较低（140℃），工作温度上限只有 65℃；容易吸收油类，特别是高温的矿物油，可引起纤维的膨胀、变色甚至破裂。

### 2.1.4 凯夫拉

凯夫拉，英文名称 Kevlar，由美国杜邦公司于 20 世纪 60 年代研制而成，是芳纶类复合材料的一种。

凯夫拉具有密度低、强度高、韧性好、耐高温、易于加工和成型等特点，尤其是强度方面，用凯夫拉制造的绳子直径和重量只要传统绳子的一半，但是却达到相同的强度。与强度相对较高的尼龙相比，5mm 凯夫拉绳芯加上尼龙或是聚酯保护绳皮后的强度相当于 7mm 的尼龙绳。

除了强度方面具有优势外，与前几种合成纤维相比，凯夫拉的其他特点都很一般。

## 2.2 编织方式

除了材料外，消防安全绳的性能特点也与纤维的编织方式、纤维搭配方式和搭配比例密不可分。按照不同搭配方式和编织方式制成的消防安全绳所适用场合也是不同的，每种方式都有其优、缺点，适用于特定的使用场合。下面将介绍几种安全绳常见的编织方式及其特点。

### 2.2.1 绞绳<sup>[4]</sup>

绞绳的制造过程是先将纤维逆时针拧成丝线，再将丝线顺时针拧成股，最后将三股线逆时针拧在一起形成一条绳子。绞绳有普通绞绳和硬绞绳两种，后者比前者绞得更紧一些。

这种编织方式的每一步都是朝相反的方向拧，绳子通过反作用力和摩擦力紧密结合，使得绞绳的硬度很高并且非常耐磨。这种类型的绳子表面摩擦系数很高，非常适用于需要救援人员顺着绳子攀爬的场合。由于是拧制而成，绞绳受到外力后，系于绳子尾端的物体或是人员就会旋转，这种情况将给救援工作造成很多危险。过硬的表面也使得将绞绳打结变得非常困难，并且非常容易产生扭结，扭结会破坏纤维，给绳子带来永久性的损害，从而降低绳子的强度。

### 2.2.2 八股辫绳

八股辫绳通常由八股尼龙或是棉线纤维编织而成，编织方法是将四股线互相缠绕，两股顺时针编，两股逆时针编。绳子内部是实心结构，承重后不会压扁，特别适合在滑轮上使用。八股辫绳是使用场合比较广泛的一种安全绳。

八股辫绳主要特点是耐磨性良好、抗拉强度高、防扭曲和握力好。但是，这类绳子与绞绳一样，所有的承重纤维都暴露在外，并且绳子上的纤维或是丝线很容易被钩出，影响使用效果。

### 2.2.3 双辫绳

双辫绳是由两层结构组成，里面一层是绳芯，外面一层是绳皮，因为结构和夹心绳类似，所以两者时常被混淆。在大部分的双辫绳中，里层的绳芯是承重的主要部分，外层的绳皮紧紧环绕着绳芯编织，避免绳子使用时绳芯受到磨损。双辫绳是静力绳和辅绳的常见结构。

双辫绳结构目前在绳索中使用的比例很高，因为这种绳子容易操控、抗拉强度良好、弯曲半径小、质地柔软并且具有防止绳芯磨损和被紫外线损害的绳皮。但是，当负载之后，双辫绳的耐磨性能就会降低很多而且会被拉长。由于是双层结构，绳皮和绳芯之间也可能发生滑移和不方便对安全绳的情况进行检查。减震性能也一般。

### 2.2.4 夹心绳<sup>[6]</sup>

目前生产的夹心绳主要有两种，静力夹心绳和动力夹心绳。

静力夹心绳的绳芯是由连续的、相互平行的纤维编织而成。纤维在整根绳子内都被拉直，没有任何扭转和弯曲，这就使得静力夹心绳在负重之后只能产生很小的延伸。在一个人的负载下，这种结构的绳子的延伸率在 1.25% 至 10% 之间。由于延伸率不高，因此这类绳子的工作效率很高，非常适合于拖、吊等救援工作。

动力夹心绳具有很好的弹性和延伸性，可以吸收诸如攀爬时发生坠落时产生的突然冲击力。为了具备这种特点，动力夹心绳的绳芯一般会采用类似绞绳的编织方式，先将纤维拧成股，再将股按照相反方向拧成绳芯。当有负载时，拧在一起绳芯就会略微松开，从而在受力方向延伸以吸收产生的冲击。例如，当救援人员在高层建筑或是发射塔上作业时，他发生的坠落的可能性就很大，一旦坠落，没有丝毫弹性的静力绳会把坠落时产生的冲击力全部传

递到救援人员身上，对其造成危害。理论证明，人体受 900kg 冲击力就要受伤。因此，救援人员进行类似的救援作业时，应该选择具备吸收冲击力能力的动力绳<sup>[4]</sup>。

坠落系数是进行动力绳或是静力绳选取的重要依据。坠落系数 = 下坠距离 / 距离攀爬者最近保护点到保护者之间绳长。坠落系数由坠落的严重程度决定，坠落越严重则系数越大，例如下坠 5m，绳长 2.5m，下坠系数是 2，该值一般为 0 到 2。由公式可以看出，有效绳长越长，可作更多的延伸来吸收坠落能量。

在大部分救援任务时，坠落系数小于 0.25，静力绳是可以满足使用要求。如果坠落系数大于 0.25，就不能单独使用静力绳，还应配备动力绳和减震器。在某些场合，静力绳被用做路绳，动力绳被用做保护绳。总而言之，当救援人员的工作位置可能位于固定点（锚固点）上方时，就应该使用动力绳系统或是配备有动力和减震器的静力绳系统。

## 2.3 直径

消防安全绳的直径直接关系其抗拉强度。直径越大，抗拉强度越大，起吊能力和安全性能也越高。但是，过大的直径也会带来很多问题，如重量和体积增大、造价增高、相配的附件和包装变大，这些都使得搬运和操作变得困难。更重要的是，直径变大后，消防安全绳的接触面增大，摩擦力增大，使得吊运时更加费力，握感也变差。因此，过细或是过粗的消防安全绳都不适宜与救援工作，应选取符合国家标准和正规厂家生产的消防安全绳。

美国防火协会（NFPA）在制定消防安全绳标准时，将 300 磅（约 136kg）作为抗拉强度的基准（300 磅是一名背负空气呼吸器，装备全面的队员的重量），并且规定消防安全绳的最小安全阈值为 15，由此计算出救援中使用的绳索的最小抗拉强度为 2040 千克力。为了达到标准的要求，消防安全绳的直径最低应该为 9.5mm（3/8 英寸）。但是，考虑到在实际救援现场，救援人员在营救伤员或是携带过重负载时，单人用消防安全绳可能就无法达到要求。

因此，就增立了双人用消防安全绳的最小抗拉强度，为单人消防安全绳抗拉强度的两倍，达到 4081 千克力。为了满足提高后的抗拉强度，消防安全绳的直径也相应增加到 12.5mm（1/2 英寸）。

因此,在 NFPA1983 中轻型消防安全绳的最小直径为 9.5mm (3/8 英寸),通用性消防安全绳的最小直径为 12.5mm (1/2 英寸)<sup>[6]</sup>。

我国的现行标准 GA494 - 2004 《消防用防坠落装备》中将消防安全绳按照直径尺寸分为轻型和通用型两档,轻型消防安全绳的直径不小于 9.5mm (3/8 英寸)且小于 12.5mm (1/2 英寸);通用消防安全绳的直径不小于 12.5mm (1/2 英寸)且不大于 16mm (5/8 英寸)。

尽管按照标准生产的消防安全绳可以满足现场的操作需求,但是美国防火协会等机构仍然不推荐在搭救伤员或负载过重时仅用一根单绳。同时,即使 9.5 毫米的消防安全绳可以达到强度要求,也应该选择 12.5 毫米的消防安全绳。

### 3 应用

由上面几个方面的介绍可以了解到,目前消防安全绳的种类相对较多,要合理选择最为适合的种类需要了解每种类型的特点及不间断的摸索实践。现在就将上述三个方面结合在一起对消防安全绳的应用予以介绍,希望可以为消防部队及相关领域提供一些参考。

(1) 尼龙夹心绳与其他合成纤维的安全绳相

比,其多数综合性能都很突出,可以适用于多种场合,尤其适用于动力绳系统。

(2) 聚酯纤维(涤纶)绳具有良好的综合性能,特别是耐酸性和耐候性,也可以适用于多种场合,尤其是尼龙绳无法适用的酸性环境和静力绳系统。

(3) 聚烯烃绳常用于必须浮在水面上的场合,如河流救援绳索、水面牵引绳索。同时,在寒冷环境下(中国大部分地区),这类安全绳也不会断裂、失效。

### 参考文献

- [1] GA 494 - 2004. 消防用防坠落装备 [S]
- [2] GB 24543 - 2009. 坠落防护 安全绳 [S]
- [3] 方季余. 美国常用的消防安全. 消防科学与技术 [J], 1982 (4): 44 - 45
- [4] Clyde Soles. The Outdoor Knots Book [M]. Seattle: The Mountaineers Books. 2004
- [5] Jane Blackford, Ed Maycock. Mountaineering Equipment - Ropes [J]. Materials World Vol. 9 no. 8, pp. 8 - 12
- [6] NFPA 1983 - 2006. Standard on Life Safety Rope and Equipment [S]