

Status Quo and Development Trend of Prestressed Steel Strand

Dong Liu, Jiyuan Wang, Wenzhong Wang, Shanglin Lv

National Construction Steel Quality Supervision and Test Centre, Central Research Institute of Building and Construction Co., Ltd., MCC, Beijing
Email: liudong@cribc.com

Received: Feb. 13th, 2020; accepted: Feb. 27th, 2020; published: Mar. 5th, 2020

Abstract

With the rapid development of prestressed concrete engineering technology in China, the prestressed steel strand industry has continued to progress. This article introduces the development present situation of prestressed steel strand industry, elaborates the related question combining with the domestic situation, and analyzes its trend.

Keywords

Prestressed Steel Strand, Status Quo, Development Trend

预应力钢绞线发展现状及分析

刘冬, 王纪元, 王文中, 吕尚霖

中冶建筑研究总院有限公司, 国家建筑钢材质量监督检验中心, 北京
Email: liudong@cribc.com

收稿日期: 2020年2月13日; 录用日期: 2020年2月27日; 发布日期: 2020年3月5日

摘要

随着我国预应力混凝土工程技术的快速发展, 预应力钢绞线行业持续进步, 本文介绍了预应力钢绞线行业的发展现状, 并结合国内情况阐述了相关问题, 进行了趋势分析。

关键词

预应力钢绞线, 现状, 发展趋势

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

预应力钢绞线具有抗拉强度高、松弛值低、延伸率好及耐疲劳性能良等特点，在道路、桥梁、机场、水利大坝等工程建设中有着很广泛的应用，随着我国基础建设的快速发展，预应力钢绞线需求日渐增多，预应力钢绞线的发展应用将进一步推动我国工程建设领域的产业升级[1]。

2. 预应力钢绞线概况

2.1. 我国预应力钢绞线发展历史

我国预应力混凝土钢绞线技术发展于 20 世纪 50 年代，当时国内生产设备及工艺水平较落后，自动化程度低，为解决现代化建设与基础建筑材料匮乏的矛盾，我国于 1960 年代自主研发出强度 1500 MPa~1600 MPa 级的预应力钢丝，标志着我国预应力混凝土产品的正式诞生。1970 年代是我国预应力钢材生产的起步阶段，生产工艺水平较低，盘条采用铅淬火热处理，单道次拉拔多次，之后进行矫直回火热处理，获得普通松弛预应力钢绞线等产品[2]。1980 年代，我国引进了低松弛预应力钢绞线生产线，制造出了抗拉强度高、轻质化、安全性高的低松弛预应力钢绞线，标志着我国预应力行业的重大产业升级，利用稳定化处理工艺代替了铅淬火热处理工艺，经稳定化处理后的钢材由松弛值降低到了 2.5% 以下。1990 年代至今，我国具备了较强的预应力钢绞线生产研发能力，生产装备及工艺技术水平有了跨越式的进步，预应力钢绞线产品已经达到了国际先进水平，成为预应力钢材的主要产品。

2.2. 预应力钢绞线的发展现状

国外钢绞线应用较早，19 世纪中旬，一些生产钢丝绳的欧美企业开发了预应力钢绞线产品，德国于 1953 年发布了预应力钢材的标准，随后英国、瑞士、美国等国家也相继出台相关标准。19 世纪 60 年代，日本开发出预应力钢棒，1980 年左右美国开发出环氧树脂涂层预应力钢绞线。目前国外预应力钢绞线向高性能多功能方向发展，日本开发出了高达 2270 MPa 级的 7 丝超高强钢绞线，除强度高外，其弯曲、松弛、疲劳及抗腐蚀性能均满足预应力钢绞线标准要求[3]。此外，大直径钢绞线[4]、缓粘结预应力筋[5]、高耐腐蚀钢绞线[6]、超耐久性钢绞线等也是国外目前研究发展的重点。

目前，我国预应力钢绞线产品品种包括 2 丝、3 丝、7 丝及 19 丝等结构。按照表面形态可以分为光面、刻痕、模拔、镀锌、涂环氧树脂等品种。生产预应力钢绞线的预应力用高碳钢盘条的稳定性好和索氏体化率高[7]；表面处理及拉丝工艺技术实现了自动化加工控制，生产的钢丝表面质量好，尺寸精度高，断头率低；稳定化处理工艺已彻底替代了铅淬火热处理工艺，减少了环境污染，提高了产品质量及生产效率[8]。

我国预应力工程技术近年来发展迅速，目前全国预应力钢绞线行业生产厂家约 70 余家，其中 20 余家在天津，约占全国预应力钢绞线生产单位的 1/3。2018 年的产量突破 600 万吨，生产量及使用技术均达到世界先进水平，已应用于超高层，超大跨度及各种形状、不同功能的结构中如：东海大桥筒支梁、田湾核电站、京沪高铁等重大工程中。预应力钢绞线产品研发以超高强度、大直径等高性能为发展方向，国产预应力钢绞线完全替代了进口产品，在高端应用领域(如高铁、核电、LNG、水电)中获得了应用，产品的品种规格覆盖了国内外全部标准范围。全国钢绞线生产厂家分布及十二年钢铁产量见图 1 及图 2。

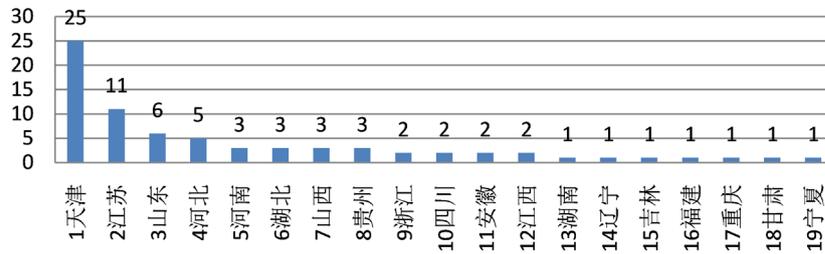


Figure 1. The manufacturer of steel strand for prestressed concrete in 2015

图 1. 2018 年预应力混凝土用钢绞线生产企业



Figure 2. Production of steel strand in 12 years

图 2. 十二年钢绞线产量对比

2.3. 预应力钢绞线的应用领域

预应力钢绞线大量应用于交通建设、各式建筑、水利水电及能源等关系到国计民生的领域，具体应用见表 1。

Table 1. Application field of prestressed steel strand

表 1. 预应力钢绞线应用领域

应用领域	应用行业	具体应用
交通	普通铁路、高铁、轻轨	轨道板、高架桥、岩土锚固
	公路	城市立交桥梁
	基础设施建设	地铁、城市轨道交通，岩土锚固
	机场	机场高速路基及跑道
建筑	港口码头	预应力管桩
	各种工民用建筑工程	工厂、住宅、商业场馆、塔式建筑
	易滑坡地段	岩体护坡锚固
水利	隧道	山区隧道矿顶锚顶
	水电大坝	岩土锚固，坝体加固
	给排水工程	涵洞，渡槽加固
能源	核电站	地基、厂房、岩土锚固
	石油	钻井平台及油气井
	液化天然气	储罐地基
	矿山	岩体工程、斜拉索、悬索

2.3.1. 在交通领域中的应用

随着高铁及高速公路的建设,各种铁路、公路桥梁、机场路基、港口码头等向大跨度、大载荷方向发展,我国正在开发研制大规格单根预应力钢绞线替代小规格多根钢绞线,方便施工,提高了预应力混凝土的安全耐久性。

2.3.2. 在建筑工程领域中的应用

在跨度大,荷载重的建筑情况下使用预应力钢绞线的经济效益显著,对预应力钢绞线应用广泛的建筑主要有体育场馆、会展中心、剧院、商场、写字楼、候机楼等大型公共建筑中。另一个应用较多的领域是桥梁隧道结构,国内外许多悬索桥,斜拉桥都是技术成熟的预应力工程[9]。把预应力技术用于服役结构的加固补强上更是内容丰富、种类繁多。

2.3.3. 在水利建设领域中的应用

水利行业对预应力钢绞线产品的需求应用逐年提高,给排水工程结构不断发展更新,水电站等清洁能源是未来的发展方向,预应力混凝土结构在水利建设工程领域的应用越来越广泛。预应力钢绞线的抗裂性、耐久性等优越性也被用来解决水利工程中的一些结构技术难题。

2.3.4. 在能源领域中的应用

我国自主生产的预应力钢绞线作为核安全壳结构的主筋已应用于岭澳二期核电站,突破了技术壁垒,结束了核电用钢绞线国外垄断的局面。同时,LNG工程用耐低温预应力钢绞线的开发研制,开启了我国生产的预应力钢绞线在LNG低温领域的应用,标志着国产化钢绞线的又一个技术性飞跃。耐腐蚀、高强度的预应力钢绞线、在海洋采油平台、海洋储罐等海洋工程中发挥了重要的作用。

3. 预应力钢绞线标准进展

为稳定和提高我国预应力钢绞线的产品质量,促进行业技术改造和技术进步,标准的制定是基础。目前现行的预应力钢绞线标准主要有GB/T 5224-2014《预应力混凝土用钢绞线》、YB/T 4428-2014《多丝大直径高强度低松弛预应力钢绞线》,YB/T 152-1999《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》等。

在1964年,我国第一个预应力钢绞线标准YB286-64《预应力混凝土结构用钢绞线》发布;1985年,该标准升级为国家标准GB5224-1985《预应力混凝土用钢绞线》;1995年,对国家标准进行了修订,改为推荐性标准GB/T5224-1995《预应力混凝土用钢绞线》。此次修订在品种、规格、强度级别、技术要求等方面进行了较大的提高,增加 1×2 和 1×3 两种结构钢绞线,纳入了低松弛性能指标等内容,对我国当时预应力钢绞线产品的生产及质量控制指明了方向;2003年,预应力钢绞线产品国家标准再次修订,预应力钢绞线标准中 1×7 结构钢绞线由原标准最大规格15.20 mm增加到18.00 mm;增加了1960 MPa强度级别,增大了盘重要求,增加了疲劳试验和偏斜拉伸试验等内容。新修订的标准与国际先进标准接轨,向大规格、高强度、大盘重方向发展,产品标准水平进一步的提高;目前最新版的预应力钢绞线标准为GB/T 5224-2014《预应力混凝土用钢绞线》,预应力钢绞线标准中增加刻痕钢绞线品种;7丝钢绞线增加了规格;增加19丝钢绞线的类别、规格、强度级别,将松弛试验初始力(负荷)由特征(公称)最大力百分比改为实际最大力百分比;增加了特征值检验和交货检验型式试验要求(新增应力腐蚀试验),至此标准达到了国际先进水平。产品的技术提升和标准的升级密切相关,提高标准的水平,对促进预应力钢绞线的升级改造具有重大意义。

预应力施工技术及配套方法与产品标准具有同样重要的作用,目前有JG/T 323-2011《预应力钢绞线用轧花机》,JG/T 330-2011《建筑工程用索》,《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》,GB/50204-2015《公路工程施工安全技术规范》,JTG B01-2014《公路工程技术标准》等标准规范。这些

标准规范的持续更新,极大的促进了预应力钢绞线应用的技术进步,拓宽了预应力钢绞线的应用领域。

我国近年来预应力产品生产技术飞速发展,产品质量持续提高,部分产品已达到国际先进水平,形成了完善的标准体系。我国与国外钢绞线在标准范围对比如表 2 所示。

Table 2. The domestic and international comparison of standard scope of prestressed steel strand

表 2. 国内外预应力钢绞线标准范围比对

序号	标准号	标准名称	标准范围
1	GB/T 5224-2003	预应力混凝土用钢绞线	适用于由冷拉光圆钢丝及刻痕钢丝捻制的用于预应力混凝土结构的钢绞线
2	ABNT NBR 7483-2008	预应力钢绞线规范	6 股是同样的公称直径,螺旋状缠绕在中心丝上的 7 股钢绞线
3	BS 5896-1980	预应力混凝土用高强钢丝和钢绞线	高强度钢丝和七线预应力钢绞线
4	JIS G 3536-2008	预应力混凝土用无涂层钢丝和钢绞线	在 PC 混凝土中使用的 PC 钢绞线。符合 JIS G 3502 的线材经过韧化处理,冷加工后的钢丝缠绕,最后除掉残留变形而实施烤蓝处理的钢绞线
5	NF A35-035-2001	钢产品-热镀锌或锌铝覆层的预应力光滑钢丝和 7 股钢丝	
6	PrEN 10138-3-2009	预应力钢材 第 3 部分 钢绞线	作了热处理以便消除应力的高抗拉强度的钢绞线
7	ASTM A416/A416M-2006	预应力混凝土用无涂层七丝钢绞线	包括两种类型和两个级别的无镀层七股预应力钢绞线,它们用于先张法和后张法的预应力混凝土结构。这两种类型的钢绞线分别为低松弛和消除应力(普通松弛)钢绞线。低松弛钢绞线被视为标准类型。而消除应力钢绞线,除非订货时专门指明或需方和供方之间商定,否则不供应
8	UNE 36094-1997	预应力混凝土用钢丝和钢绞线	适用于 2、3、7 股绞线,灰色光面

4. 预应力钢绞线存在问题及趋势分析

4.1. 预应力钢绞线存在问题

4.1.1. 技术门槛低、无序化竞争

近年来,经济建设的持续发展引发了我国钢铁产业的快速增长,基础建设的投资比重随之增大,同时也促进了预应力行业的发展[10]。但目前实际钢需求及消费已经出现明显回落趋势,且预应力钢绞线行业门槛较低,引发了钢绞线厂的无序竞争,加剧了预应力钢绞线产能过剩的压力。一些小企业选择降低产品性能的方法来降低成本,更有企业减少或者去掉环保设备[11],以牺牲环境为代价赚取利益,造成了预应力钢绞线行业的无序竞争,给市场带来了不好的影响。

4.1.2. 高性能预应力钢绞线技术发展缓慢

我国预应力钢绞线技术在结构设计理念和标准存在一定差距,预应力结构节约材料的优势未能充分发挥;预应力钢绞线配套设备不完善、应用性差;预应力工艺技术实施细节不全面、结构耐久性不足;钢绞线拉索高耐蚀、抗震技术、体外束成套技术在我国的研究待升级。

4.1.3. 行业应用团队基础薄弱

预应力混凝土等设计规范待升级匹配,预应力应用公司规模小、综合能力不强,在预制混凝土构件制作、安装和后张预应力工程等方面缺乏优秀施工团队,技术力量不足,预应力体系施工团队与技术要求不能形成较好配套。

4.2. 预应力钢绞线发展趋势分析

随着预应力混凝土工程设计和施工技术的不断完善与提高,在预应力混凝土结构工程中对预应力钢绞线的性能及配套技术要求越来越高。

一是随着预应力钢绞线市场的饱和,预应力钢绞线生产发展的速度已超过了其市场需求速度。为避免供求失衡,投资情况因视周边市场饱和度而定;并通过政策干预,加强对生产企业产品质量监管,加强环保监测,对于不符合法律法规规定的企业,通过行政追责等必要的强制性手段,化解落后产能,改变无序竞争状态,促进行业的健康发展。

二是研发新型高性能预应力钢绞线,提高企业的核心竞争力。研发大规格钢绞线,大直径钢绞线具有较高强度,节约工时,提高施工效率,降低施工成本;研发耐腐蚀、耐高低温、抗震等高性能钢绞线,为不同环境下的工程应用打下良好基础;研究机械除锈、弱酸加超声波酸洗等新型工艺方法;研究高效、低能耗的生产设备,能源回收利用等生产工序,实现节能减排。

三是预应力钢绞线是一个施工技术要求高的产品,需提升岗位人员的操作技能,提高产品的施工作业效率及安全性。

四是开拓预应力钢绞线新的应用及销售领域。推动预应力钢绞线在普通住宅中的应用,将减少部分施工量,加快了施工进度,节约了成本,推广需要专业的预应力结构设计及预应力体系施工设备等;预应力钢绞线生产企业可转移海外市场,增大产品出口份额,同时建立良好的行业市场秩序。

5. 结语

预应力混凝土用钢绞线的品种、规格和性能持续更新,是预应力混凝土结构工程设计与施工不断发展进步的标志。我国预应力钢绞线产品的未来发展中机遇与挑战并存,在钢铁行业化解产能,行业转型升级的关键时期,要充分利用资源优势,研发高性能预应力钢绞线产品,改善新工艺、新技术,促进节能减排,增强生产及应用人员能力,开拓新的应用领域等重要手段,促进生产、设计、施工协同进步,不断适应发展的需要,使我国的预应力钢绞线事业与时代同行,达到新的高度,以提高质量和效益为中心,创新驱动、科学发展、转型升级,降低能耗,加快由制造大国向制造强国迈进。

参考文献

- [1] 陶学康. 21世纪的混凝土及预应力混凝土新技术[J]. 施工技术, 2003, 32(7): 1-5.
- [2] 李明远. 从五十年的进程看我国预应力制品企业未来发展[C]//中国钢结构协会线材制品行业分会成立二十周年纪念文集. 1989-2009: 54-60.
- [3] The Flint Fib Congress (2002) Concrete Structures in the 21st Century, Volume 1 & 2. Japan.
- [4] 朱万旭, 黄颖, 苏均, 郑晓龙, 周红梅. 大直径钢绞线的预应力锚具[J]. 建筑技术, 2003, 34(12): 903-904.
- [5] 曾昭波. 缓粘结预应力体系力学性能的试验研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中冶集团建筑研究总院, 2005.
- [6] 郭正兴. 高耐腐蚀预应力筋材料研制的新进展[J]. 建筑技术, 2005, 36(4): 308-309.
- [7] 戴宝昌. 对几个重要线材品种的技术要求[J]. 金属制品, 2003, 29(1): 35-40.
- [8] 冯大斌. 我国预应力技术发展现状及趋势[C]//发展绿色技术, 建设节约结构——第十四届全国混凝土及预应力混凝土学术会议论文集. 北京: 中国土木工程学会, 2007: 62-68.
- [9] 吕志涛, 吴京, 王景全, 朱虹. 混凝土和预应力混凝土结构学科现状及发展方向研究[C]//土木学科发展现状及前言发展方向研究. 北京: 人民交通出版社, 2012: 57-75.
- [10] 谢仕柜. 预应力混凝土用钢棒[J]. 金属制品, 1997, 23(2): 6-8.
- [11] 王文喜, 毛爱菊, 潘捷. 预应力制品行业的现状及发展趋势[C]//第十七届全国混凝土及预应力混凝土学术会议暨第十三届预应力学术交流会, 2015: 123-133.