

缆索起重机

中国水力发电工程学会施工专业委员会 组编
严自勉 顾斯照 编著

水利水电工程施工系统系列专著

*Shuili Shuidian Gongcheng Shigong
Xitong Xilie Zhuanzhu*

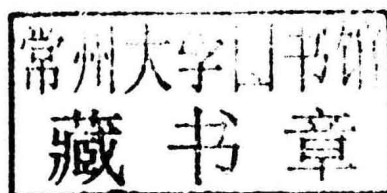


中国电力出版社
www.cepp.com.cn

水利水电工程施工系统系列专著

缆索起重机

中国水力发电工程学会施工专业委员会 组编
严自勉 顾斯照 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书对近 40 年来我国在水利水电工程施工中应用和自行研发的重型缆索起重机做了回顾、总结与展望。

本书共分 16 章,重点介绍了重型缆索起重机的理论、计算、构造和技术上的新发展,并结合工程实践,对重型缆索起重机在水利水电工程施工中的选型、配套和使用、管理等方面的问题加以讨论。

本书供缆索起重机设计、制造、安装、运行、管理等方面的专业技术人员参考使用,也可供高等院校相关专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

缆索起重机/中国水力发电工程学会施工专业委员会组编;严自勉,顾斯照编著. —北京:中国电力出版社,2010.3

(水利水电工程施工系统系列专著)

ISBN 978-7-5083-9582-1

I. 缆… II. ①中…②严…③顾… III. 水利工程-缆索起重机 IV. TV53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 191052 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 3 月第一版 2010 年 3 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 372 千字
印数 0001—3000 册 定价 58.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

序 言

水利水电工程施工系统系列专著 缆索起重机

缆索起重机是一种特种起重机械，在水工建筑物施工及其他行业有着广泛的应用。而在其多种用途中，最重要的用途是在大中型水利水电工程混凝土大坝施工中作为主要的施工设备，向坝体吊运混凝土。由于这种缆索起重机工况频繁，常称为重型缆索起重机。

与其他起重机械相比，例如与门、塔机一栈桥施工方案相比，缆索起重机具有一系列独特的优点，在峡谷河床混凝土高坝施工中几乎成为唯一可选择的施工方案。因此，在我国大中型水利水电工程的混凝土坝施工中广泛采用缆索起重机作为主要浇筑设备，特别是在我国西部水力资源集中的大型水电工程混凝土坝施工，基本上全部采用缆索起重机浇筑混凝土。缆索起重机的设计、制造、安装、运行技术也随着工程的大规模应用得到迅速提高和发展。我国缆索起重机的设计、应用已处于国际先进水平。

世界上有关起重机的著作较多，而专门论述缆索起重机的著作很少，过去主要使用前苏联在 20 世纪 50 年代出版的《架空索道及缆索起重机》和《缆索起重机》两本书，其他有关水利水电工程使用缆索起重机的书籍和资料就很少了。鉴于上述情况，迫切需要一本有关缆索起重机的专著，以填补当前缆索起重机技术资料的严重不足，介绍现代重型缆索起重机创新和采用新技术的情况，并总结水利水电工程混凝土坝施工采用缆索起重机的实践经验。

中国水力发电工程学会施工专业委员会（简称专委会）的前身是工程施工系统专业委员会，当时的专业主要涉及筑坝系统、混凝土生产系统和砂石骨料生产系统。缆索起重机作为筑坝系统的主要设备，是专委会重点关注的项目之一，也是专委会组织工程施工系统系列专著项目之一。

我国最早进行缆索起重机设计的单位，除原机械工业部门的专业厂家外，在水利水电系统进行缆索起重机研发的单位，主要是前水电部杭州机械设计研究所（现国电杭州机械设计研究院）。严自勉先生早年毕业于交通大学机械系，原任杭州机械设计研究所总工，长期从事起重机械和缆索起重机设计，对缆索起重机造诣极深。因此，专委会特请严老为本专著的主要执笔人。由于专著中需编入近期水电工程使用缆机的经验，专委会又请前水利水电系统组织缆索起重机研发的主要负责人、著名的施工机械专家顾斯照先生与严老共同完成本书。

中国水力发电工程学会施工专业委员会^①

2009 年 10 月

^① 本序言由中国水力发电工程学会施工专业委员会秘书长阮光华执笔。

前言

水利水电工程施工系统系列专著 缆索起重机

本书是对近 40 年来我国在水利水电工程施工中应用和自行研发重型缆索起重机的回顾、总结和展望。书中重点介绍了重型缆索起重机的理论、计算、构造和技术上的新发展，并结合工程实践，就其在水利水电工程施工中的选型、布置、配套和使用、管理等方面的问题加以讨论。

一、缆索起重机的特点

缆索起重机是一种特殊的特种起重机械，其特点为：以柔性钢索作为大跨距架空支承构件（称为承载索，索的两端由地面上的支架支承，构成索道系统），供悬吊重物的载重小车在索上往返运行，兼有垂直运输和远距离水平运输功能，可用来在较大空间范围内，对重物进行起重、运输和装卸作业。

缆索起重机除有与一般起重机械相似的构造外，还具有两种为缆索起重机所特有，而为一般起重机械所无的独特部件：一是由承载索构成的索道系统，二是悬挂于承载索上的承马（或称支索器）。前者与架空索道的构造相类似，但又另有其特点；后者分布并悬挂于承载索上，用以承托工作绳，避免这些工作绳的垂度过大以致影响缆索起重机的正常工作。

在缆索起重机的设计计算中，凡与起重机械具有共性的部分，例如技术参数、工作制度、计算方法和安全系数等，均须遵循我国标准 GB 3811—1983 或欧洲标准 FEM 设计规范的有关规定。而缆索起重机独特的索道系统和工作绳部分，则应参照欧洲国际索道运输组织 O. I. T. A. F 推荐标准等的有关规定。

二、缆索起重机的用途

缆索起重机在水工建筑物施工、桥梁建筑、森林工业、采矿工业、堆料场装卸、港口搬运和渡槽架设等方面都有着广泛的应用，还可配用抓斗进行水下开挖疏浚。

而在缆索起重机的多种用途中，最重要的用途则是在大中型水利水电工程混凝土大坝施工中作为主要的施工设备，向坝体吊运混凝土。这类缆索起重机一般具有以下特点：除满足施工要求外，在确定其布置和选型时，必须因地制宜（考虑地形、地质等条件）；跨距达数百米或千米以上，并且使用周期长，必须采用密封索作承载索；起重量大，工作速度高，一般采用直流拖动，以获得良好的调速性能；满载工作频繁，其起重机工作级别为 A6 或 A7，起升机构和牵引机构的工作级别均为 M7；为了保证较高的生产效率，必须设置有良好的显示和监控设施。这类缆索起重机是本书讨论的重点。

三、混凝土大坝用重型缆索起重机施工的优越性

重型缆索起重机比较适用于峡谷河床中混凝土高坝的施工。和门、塔机—栈桥施工方案相比，一般认为，缆索起重机施工方案主要有以下优点：

(1) 缆索起重机施工无需架设横跨河床的施工栈桥,节省了栈桥钢材和费用,也避免了栈桥施工中的许多麻烦问题,例如浇筑栈桥下混凝土困难等。

(2) 缆索起重机的工作与施工导流方案无关,且缆索起重机工作时与地面其他施工机械相互干扰较少,对于高坝,一般也不存在需要架设高、低栈桥的问题,施工布置较易解决。

(3) 缆索起重机可在基坑开挖后期即预先安装好,提前形成生产能力,从而有利于完成第一年混凝土浇筑进度和坝体渡汛。

(4) 缆索起重机从投入使用后,可一直连续工作到竣工,且无需在汛期停工或撤出。

(5) 缆索起重机工效比门、塔机高得多。

(6) 工程初期可利用缆索起重机作为两岸设备、材料的交通手段。

四、现代重型缆索起重机技术上的发展

自 20 世纪 80 年代初至今,与其发展最快的 50、60 年代时的情况相比,缆索起重机在技术上又有了很多新的改进和发展,主要有以下几方面:

(1) 除极个别情况采用双索外,几乎全都采用单根承载索。

(2) 采用新的支承车型式,包括塔高接近 0 米的无塔架主、副车,以及塔高达 70~90m 的 A 形架加配重车的超高塔架主、副车。

(3) 由设在主车上的司机室改为采用可搬移的机外司机室,以便根据现场情况,及时将司机室搬迁到更有利于观察现场的位置。

(4) 钢质的小车车轮和滑轮均改用 MC 尼龙制造。

(5) 随着电子技术的发展,改用晶闸管整流设备代替过去传统的直流发电机组整流方式。

(6) 随着信息技术的发展,采用由可编程序控制器 (PLC)、计算机和无线信息传输等相结合,组成更完善的信息储存、传输和编程、显示、监控系统。

图 1 所示为现代平移式无塔架重型缆索起重机的构造示意图,可从图中大致了解这类缆

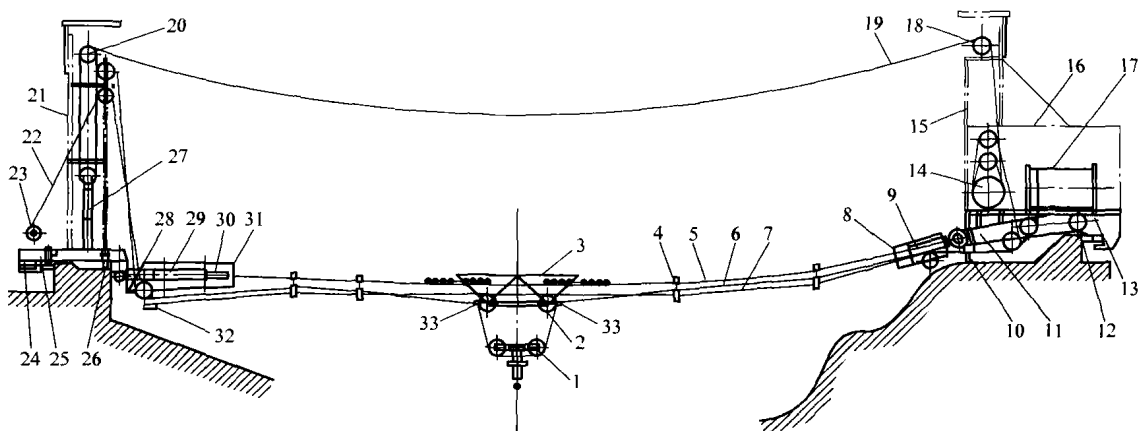


图 1 现代平移式无塔架重型缆索起重机构造示意图

1—吊钩下滑轮组; 2—上滑轮组; 3—小车; 4—自行式承马; 5—承载索; 6—牵引绳下支; 7—起升绳; 8—主车检修平台; 9—主车拉板; 10—主车前轨; 11—主车架; 12—主车水平轨; 13—排绳机构; 14—牵引绞车; 15—主车天轮支架; 16—机房; 17—起升绞车; 18—主车天轮; 19—牵引绳上支; 20—副车天轮; 21—副车天轮支架; 22—张紧绳; 23—张紧绞车; 24—副车架; 25—副车水平轨; 26—副车前轨; 27—牵引绳张紧装置; 28—后拉板; 29—张紧滑轮组; 30—前拉板; 31—副车检修平台; 32—起升绳系结座; 33—牵引绳系结座

(注: 图中未示主、副车后垂直轮和轨道)

索起重机主要机构的设置和总体布置的概况。

五、有关缆索起重机的参考书籍

世界上有关起重机的专著较多，而专门论述缆索起重机的专著很少。迄今所知，主要当推前苏联的两本著作：一本是前苏联 1951 年出版的《架空索道及缆索起重机》，其中文翻译本出版于 1955 年；另一本是前苏联 1954 年出版的《缆索起重机》，其中文翻译本出版于 1959 年。这两本书出版至今虽已过去 50 余年，其内容难免陈旧，但多年来这两本书一直都是国内从事缆索起重机工作者手头的主要参考书。

德国在 1958~1959 年间出版了《DIE HEBEZEUGE》（起重装置）一书，在其第二分册的有关章节中曾专门论述了缆索起重机的计算和构造。可惜该书未曾在国内翻译出版，知者较少。

国内在 20 世纪 80~90 年代也曾有关于缆索起重机的专著出版，但因涉及的专业不同，其书中内容与当代用于水利水电工程施工的重型缆索起重机联系较少，未能得到水利水电工作者的广泛应用。

鉴于上述情况，写作本书的目的在于填补当前缆索起重机技术资料的严重不足，争取使本书内容能做到：①尽量介绍现代重型缆索起重机创新和采用新技术的情况；②论述缆索起重机技术时，密切联系水利水电工程混凝土大坝施工的实践。

本书内容分三大部分：第 1~4 章主要内容为重型缆索起重机的承载索和工作绳的理论和计算，第 5~12 章主要内容为重型缆索起重机各部分的构造，第 13~16 章主要内容为水利水电工程施工重型缆索起重机的选择和应用。

作 者

目 录

水利水电工程施工系统系列 专著 缆索起重机

序言

前言

第 1 章 钢索和钢丝绳的品种和性能	1
1.1 承载索——密封索	1
1.2 工作绳——特种钢丝绳	4
第 2 章 承载索的理论和计算	11
2.1 悬链线法和抛物线法——应用抛物线法计算索道系统（承载索） 的拉力和垂度	11
2.2 工作绳的影响	16
2.3 几种可能影响计算的因素	18
2.4 承载索的状态方程式和包络线	23
2.5 承载索的安全系数	27
2.6 承载索应力分析	28
2.7 承载索的使用寿命	34
2.8 承载索计算例题	36
第 3 章 起升系统和钢丝绳导绕	44
3.1 起升系统的布置	44
3.2 起升绳的绕法	46
3.3 起升绳的计算和选择	47
3.4 导向滑轮选择	50
3.5 钢丝绳导绕准则	52
第 4 章 小车牵引系统布置和计算	57
4.1 牵引系统布置方案	57
4.2 建立牵引绳初拉力的方案和计算	59
4.3 牵引绳安全系数	65
4.4 牵引系统计算例题	66
4.5 牵引系统的活配重设置和张紧装置	72
4.6 小车位置的显示问题	73

第 5 章 承马 (支索器)	74
5.1 固定式承马	74
5.2 移动式承马	77
5.3 国产缆索起重机使用的新型承马	82
第 6 章 承载索索套、拉板和张紧	84
6.1 承载索的端部接头	84
6.2 拉板	86
6.3 承载索张紧装置	87
6.4 承载索安装设施	89
第 7 章 小车和吊钩下滑轮组	91
7.1 小车	91
7.2 吊钩下滑轮组	94
第 8 章 起升绞车和排绳装置	96
8.1 总体构造	96
8.2 卷筒	98
8.3 排绳机构	100
第 9 章 牵引绞车和摩擦传动	103
9.1 钢丝绳摩擦传动的基本原理	103
9.2 摩擦传动的安全系数	107
9.3 多槽驱动轮 (卷筒) 的驱动型式	107
9.4 带衬垫双槽驱动轮的驱动型式	109
9.5 牵引绞车的布置和双槽驱动轮	110
第 10 章 大车行走机构和轨道	113
10.1 大车行走机构的总体布置	113
10.2 轨道	114
10.3 行走车轮	116
10.4 行走台车和均衡梁	118
10.5 特殊的车轮支承构造	121
10.6 重型缆索起重机大车行走的阻力	123
10.7 主动车轮的打滑验算	123
10.8 辐射式缆索起重机爬坡副车的行走机构	124
第 11 章 缆索起重机钢结构	127
11.1 缆索起重机钢结构构造方案	127
11.2 缆索起重机钢结构材料的选用	127
11.3 缆索起重机钢结构的计算	127
11.4 无塔架主、副车车架结构	129
11.5 高塔架主、副车车架结构	130

11.6	A形架结构	132
11.7	机房、电气房	133
11.8	可搬移机外司机室	133
第 12 章	缆索起重机电气系统	135
12.1	发展现状	135
12.2	供电系统	136
12.3	各机构的电力拖动	137
12.4	控制系统	138
12.5	安全保护	139
12.6	国际上有关电动机选用的规定	140
12.7	起升直流电动机选择	142
12.8	关于提高空罐升、降速度的分析	150
12.9	牵引直流电动机选择	152
12.10	大车行走电动机选择	157
第 13 章	缆索起重机机型	159
13.1	缆索起重机类型	159
13.2	缆索起重机支架构造	166
13.3	缆索起重机工作级别	172
第 14 章	缆索起重机的选型与布置	174
14.1	机型的选择	174
14.2	额定起重量	177
14.3	跨距、垂度和水平力	178
14.4	承载索铰支点高程和视线坡角	179
14.5	非正常工作区	180
14.6	工作速度和加速度	181
14.7	生产率	184
14.8	缆索起重机的双层布置	187
14.9	运料线的设置和运料设备的选择	187
14.10	关于增大吊罐容量的建议	191
第 15 章	缆索起重机的安装、试验和使用	193
15.1	缆索起重机的安装	193
15.2	缆索起重机的试验	200
15.3	缆索起重机使用中的几项操作	203
第 16 章	国内外重型缆索起重机发展概况	208
16.1	国外重型缆索起重机发展概况	208
16.2	国内重型缆索起重机发展概况	210
16.3	国产重型缆索起重机与德国 TKF 重型缆索起重机的比较	213

附录一 国际上有关承载索和工作绳安全系数的规定·····	217
附录二 缆索起重机名词术语·····	218
参考文献·····	234

钢索和钢丝绳的品种和性能

本章重点介绍了用作重型缆索起重机承载索所用的优质密封索，说明密封索的构造、材质和性能以及其强度表示的方式和报废标准。近年生产的国产重型缆索起重机均改用面接触的特种钢丝绳作工作绳，而不再采用线接触的普通钢丝绳，故本章还主要说明了特种钢丝绳的特殊构造及其类型、品种和选择要点。

➡ 1.1 承载索——密封索

设计某种缆索起重机时，先要选定其承载索配用钢索的品种，这种钢索应满足该缆索起重机的工作制度对其承载索使用寿命的要求，并且价格相对比较便宜。对于小型的吊装型缆索起重机，因所要求的使用寿命不长，可采用由圆钢丝捻制而成的单股螺旋索（37~169 丝，直径 35~75mm，断面见图 1-1），或多股螺旋索（75~259 丝，直径 32~75mm，断面见图 1-2）。对于小型的兼用型缆索起重机，要求使用寿命稍长，可考虑采用半密封索（由圆钢丝作绳芯，外层由圆钢丝和异型钢丝组成，直径最大 50mm，断面见图 1-3）。而对于用于水利水电工程施工的混凝土浇筑型重型缆索起重机，一般都要求其寿命足以使用完成一个工程，则必须选用优质的密封索（断面见图 1-4）作承载索，这里重点予以介绍。

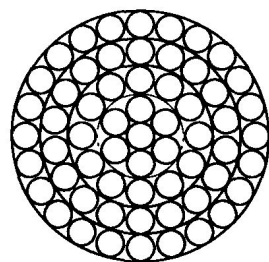


图 1-1 单股螺旋索断面图

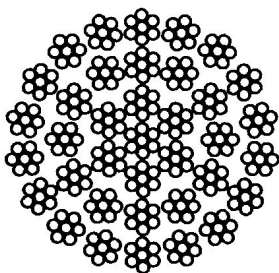


图 1-2 多股螺旋索断面图

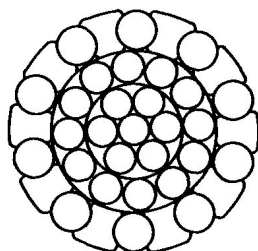


图 1-3 半密封索断面图

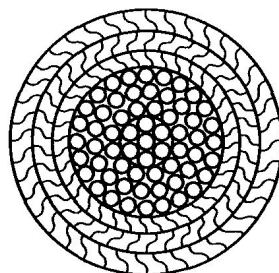


图 1-4 密封索断面图

1.1.1 密封索的构造

密封索由若干根圆钢丝构成绳芯（有的索在这些较粗的圆钢丝间的空隙处还有很细的圆钢丝作填充），外面以螺旋形密捻有若干层 Z 形的异型钢丝（过去有的密封索还在绳芯外密捻有 1~2 层由梯形断面钢丝组成的过渡层，近些年来生产的密封索已省去此过渡层），参见图 1-4 的断面图。绳芯是捻制整根密封索的轴心部分，起着支撑外层钢丝和储存润滑油的作用（也能传递部分轴向拉力）；密封索承受的轴向拉力，大部分由各外层 Z 形钢丝传递，Z 形钢丝捻制的层数随密封索直径的增大而增多，大直径者最多可达 6 层，相邻两层的捻向相反，以相互抵消捻角引起的旋转力矩，Z 形钢丝的断面高度内层者较小而外层者较大，一般约为 5.0~6.5mm。在密封索外表面上，除能见到 Z 形钢丝间的缝隙外，整个表面光滑有如一根光面圆钢。

1.1.2 密封索的优越性

采用密封索作承载索，具有以下优点：

（1）密封索的构造使其能承受一定的横向力和因之引起的弯矩，因而适宜用作承载索，即作为带载荷的小车车轮运行的轨道。

（2）密封索断面的有效面积大，破断强度较大，与其他品种的钢丝绳相比，可采用较小的绳索外径。

（3）密封索表面平滑，使车轮运动平稳，并因与轮面接触面积的增大，而大大减轻车轮踏面和索面的磨损。从国内配用尼龙车轮的多台缆索起重机的使用经验看，在一个工程使用完后，承载索的磨损量均极微小，大致在 0.5mm 以内。

（4）其外层各 Z 形钢丝层的各根钢丝相互结合紧密，其间又有油脂填充，使外部的水分难以渗入，从而避免钢索内部发生腐蚀。并且即使有个别外层钢丝发生断丝，因有相邻钢丝压住，断头也还不致弹出而影响其正常工作。

（5）其拉伸弹性模量较大， $E_R = (1.4 - 1.7) \times 10^5 \text{ MPa}$ ，因而受拉的伸长率较小。

（6）通过密封索的构造设计（相邻各 Z 形钢丝层捻向相反），使整根密封索的扭转系数很小，并且在密封索的捻制过程中经过“后定形”，索的自旋倾向更小。

必须注意，虽然同样都是密封索，但有的密封索产品只能适用于索桥或用作拉索等单纯受拉的场合，而不宜反复承受因载荷小车通过所产生的横向力和弯矩，所以在订购时务必要明确说明该索的用途为“用作缆索起重机的承载索”。

1.1.3 密封索的制造技术标准

过去国内在缆索起重机的工作中，对密封索制造技术标准的研究尚不够深入，也曾因此在订货中带来问题，今后应将以下我国的国家标准和欧洲的有关标准作为订货验收技术要求方面的依据或主要参考（标准名称应为“密封钢丝绳”，现按行业习惯仍称为“密封索”）。

我国国家标准 GB 352—1988《密封钢丝绳》包含下列内容：

- （1）结构及分类。
- （2）尺寸、形状及允许偏差。
- （3）技术要求。
- （4）试验方法。
- （5）试验规则。
- （6）包装、标志及质量证明书。

该标准规定的密封索最大直径仅达到 71mm (计算破断载荷 5115kN), 并在试验规则中规定“密封索的检查和验收由供方技术监督部门进行”。

奥地利的国家标准 ÖNORM M 9532《带圆钢丝芯和一、二、三层异型钢丝层的密封索》所规定的密封索最大直径也仅为 70mm (计算破断载荷 5286kN)。对于现代重型缆索起重机所用的直径更大的密封索, 应可比照该标准的有关规定来考虑。此外, 尚有奥地利交通部发布的 DSB 1973《关于载人吊运设备用钢丝绳制造和使用的条件》, 也是一个很有参考价值的国际标准。

1.1.4 密封索的材质和性能

(1) 钢丝的化学成分 (根据奥地利 DSB 1973 标准的规定)。

- 1) 炭 (C): 0.30%~0.90%。
- 2) 锰 (Mn): 0.30%~1.00%。
- 3) 硅 (Si): 0.10%~0.30%。
- 4) 磷 (P): 最大 0.035%。
- 5) 硫 (S): 最大 0.035%。
- 6) 磷、硫总量: 最大 0.060%。
- 7) 铜 (Cu): 最大 0.12%。
- 8) 铬 (Cr): 最大 0.08%。

(2) 钢丝的金相组织: 索氏体。

(3) 钢丝强度。密封索钢丝的强度一般为: 用作绳芯的圆钢丝, 抗拉强度可达 1770MPa; 外层传力的 Z 形钢丝抗拉强度则分为 1180、1370MPa 和 1570MPa 三档。如某缆索起重机的小车车轮为钢质车轮, 宜配用 1370MPa 级的密封索, 而若为尼龙车轮, 则应配用 1570MPa 级的密封索, 并在订货时注明。

(4) 整根密封索的强度。和一般钢丝绳一样, 密封索的强度有两种表示方式: ①计算破断拉力 (calculated breaking load) 或称钢丝破断拉力总和 (nominal aggregate breaking force), 符号为 F_r ; ②最小破断拉力 (minimum breaking force 或 minimum breaking load), 符号为 $F_{\min}$ 。前者指钢索各传力钢丝强度之和, 为欧洲厂商所常用; 后者指整根钢索的最小破断拉力, 为美国、加拿大、日本的厂商所常用, 也有厂商在产品样本上将这两种强度同时标明。实际上, 这两种强度之间存在一个符号为 K 的“捻制损失系数” (spinning loss factor) 的比例关系, 即 $F_{\min} = KF_r$, 可大致按 $K=0.9$ 进行两种强度的换算。

(5) Z 形钢丝的制造方法。各国生产的 Z 形钢丝的 Z 形断面的形状, 因其采用的制造方法不同而有所差异。就目前所知, 生产 Z 形钢丝有两种方法, 奥地利和瑞士用轧制法, 而德国则用拉拔法。拉拔法需通过拉丝模拉拔 7 个道次, 而轧制法只需通过轧辊轧制 3 个道次, 后者由于轧辊的磨损量少, 因而比较经济, 产量也较高。

1.1.5 密封索的制造厂商

如前所述, 目前国产密封索的直径较小, 尚不足以应用于国产重型缆索起重机, 而往往需要通过进口来解决。各工业化国家如奥地利、加拿大、意大利、日本、法国等都有厂家能生产缆索起重机和架空索道承载索用的密封索。在选择采购对象时, 除考虑价格因素外, 还必须慎重研究该厂商的设备、技术和过去的业绩, 并通过其产品样本了解其产品的构造、最大直径、强度 (计算破断载荷)、最大单根重量等数据, 以供比较。缆索起重机的承载索必

须是整根,不允许分段接长,并且现代重型缆索起重机均采用单承载索(很少用双索),特别是大跨距、大起重量的缆索起重机,更需配用大直径和大长度的密封索作承载索。为此,承制厂家必须具备巨型的制绳设备和先进的技术、严格的质量管理体系和以往良好的业绩,这些都应在订货前加以慎重的考察。

注:就目前所知,缆索起重机承载索接长的唯一先例是一台超大跨距的德国缆索起重机,为了减轻承载索的质量,以解决边远地区大件运输的难题,特将该承载索分为两段,其两端头用浇铸锌合金的带螺纹锥孔索套接头连接为一体,由于接头段的直径比索的直径大得多,因此小车只能以极低的牵引速度通过接头段,给缆索起重机工作带来不便,因而不宜将接头设置于正常工作区范围内。

过去国内用的进口缆索起重机和国产重型缆索起重机大多数都是用奥地利的奥钢联(即奥地利线材公司, AUSTRIA DRAHT GmbH)产品,使用结果都不错,其产品的最大直径可达 110mm,最大单根质量可达 110t。但近年(从小湾工程开始)情况有所改变,奥钢联已不再生产供应整根密封索,其生产密封索的主要设备捻绳机及部分技术力量已转移到奥地利拖飞宝缆绳公司(TEUFELBERGER SEIL GmbH),即改为由拖飞宝公司捻制成密封索供货(其所用的 Z 形钢丝仍为奥钢联生产提供),因此 2002 年以后,国产缆索起重机用的密封索已都改为向拖飞宝公司订货。据了解,奥钢联的部分技术力量转移到意大利的瑞德公司 REDAELLI (ROPE-TEC),该公司过去曾成功生产过不少密封索,但直径较小,如今又得到原奥钢联部分技术力量的合作,国内也开始试用其生产的密封索产品。

1.1.6 密封索的报废标准

根据奥地利 DSB 1973 规定(我国标准 GB 9075—1988《架空索道用钢丝绳检验和报废规范》的规定与之相似),出现下列情况应即报废:

(1) 表层相邻两钢丝发生断丝,断头有可能弹出时(俗称爆丝)。

(2) 在 $200d$ 长度范围内,断面积均匀性的减少 10% (d 为密封索直径,断面积减少包括断丝、磨损、腐蚀及其他损坏等)。

(3) 在 $30d$ 长度范围内,断面积局部性的减少 5%。

此外,现场安装时,个别密封索曾发现表层 Z 形钢丝间存在缝隙偏大的情况,由于在以后使用过程中会逐渐自行密合,说明这种情况对其使用质量不致发生影响。在初期使用后,也曾发现过其表层有个别 Z 形钢丝断丝,可能是该钢丝的接头脱焊或受雷击所致,断丝后,该根钢丝因应力释放回缩,而导致在断口处有一定宽度的空隙,如其相邻钢丝并无特殊情况,用环氧树脂将断头空隙处黏结并填满后,应仍可正常使用,当然,以后在使用过程中仍应对此断丝附近的区段加强检查监视,如发现空隙进一步增大,还必须再次用环氧树脂填补。

1.2 工作绳——特种钢丝绳

德国缆索起重机及过去国产的 20t 重型缆索起重机,都选用普通线接触纤维芯绳作工作绳(主要指起升绳和牵引绳)。所选钢丝绳型式一般为瓦灵吞—西鲁型纤维芯绳(不用钢芯绳),简化标记为 $6 \times 36WS + FC$,其断面构造见图 1-5 (a)。用作起升绳者采用交互捻绳(过去称为交绕),而用作牵引绳者采用同向捻绳(过去称为顺绕)。用普通钢丝绳作工作绳有两个好处:①价格低廉;②可以采用国产钢丝绳配套,在当时的经济体制下,采购订货较

易解决。但这样也存在一个缺点,即普通钢丝绳的使用寿命太短,即使是在较好的情况下,一根国产普通绳的起升绳最多不过使用10个月左右,牵引绳则约一年多,即须报废换绳,而缆索起重机换绳是很麻烦的事,不但耗用人力、物力,并且要花费宝贵的工作时间,影响施工进度。此外,用这种普通绳作工作绳,因其绳面较粗糙,还将使尼龙制造的导向滑轮绳槽较快磨损,常需更换新滑轮。

有鉴于此,近年制造的国产30t缆索起重机,都已改用进口的特种钢丝绳代替普通钢丝绳作工作绳。这样做是借鉴了美国制造的岩滩工程缆索起重机使用特种绳的经验,一方面希望能增加工作绳的使用寿命,根据有关资料介绍,特种钢丝绳的使用寿命至少可比普通钢丝绳长一倍或更多,这样,即使特种钢丝绳价格较贵,折算下来仍然值得;另一方面也因为若两者的强度相同,特种钢丝绳的绳径可比普通纤维芯绳细得多,因而可配用直径相对较小的导向滑轮,不致因滑轮过大而影响总体布置。至于进口特种钢丝绳的订购供货,现在也已不是什么问题,而且这种特种钢丝绳国内厂家亦开始有生产,只是在性能质量方面,与国际先进水平相比,目前还稍有差距。

1.2.1 特种钢丝绳的特殊构造

特种钢丝绳是技术含量较高的一类产品,特就特在其具有特殊的构造和性能,其中主要包括以下几方面的构造(但一个品种的特种钢丝绳,不一定具有这些特殊构造的全部)。

1.2.1.1 优化的钢质绳芯

普通钢丝绳一般采用纤维芯,对于新绳来说,这种纤维芯可起到弹性衬垫的作用,并能存蓄润滑剂,当绳受到大的动载时,纤维芯被压缩而钢丝绳伸长,从而使受载的峰值降低。但随着该绳工作时间的增加,这一优点将很快转化为缺点:润滑剂被从纤维芯中挤出,而被空气中的水分所取代,同时纤维芯的稳定性逐渐降低,其直径缩小,致使钢丝绳的基本几何构造发生变化,外层绳股将相互接触而使钢丝绳的工作状态恶化。这种情况当存在大的横向力时尤为严重,例如用在多层卷绕的卷筒时就是如此。与此相比,采用钢质绳芯的钢丝绳构造便具有较大的优越性:钢质绳芯的可压缩性很小,并且结构紧凑,能确保良好的稳定性,使钢丝绳得到较长的使用寿命,并且钢质绳芯增大了钢丝绳的金属断面积,在同样载荷条件下,用钢芯绳可比纤维芯绳直径细些。

虽然普通钢丝绳也有用钢质绳芯的,但各国生产的特种钢丝绳非但全都采用钢质绳芯,并且还都通过计算机对其绳股和钢质绳芯的配置进行过优化设计,使其性能得到进一步提高,主要为:

(1) 特种钢丝绳各组成部分稳定性增强,并且各根钢丝受力均匀,减少或避免二次应力,从而延长其使用寿命。

(2) 提高充填率,其充填率在0.608~0.755之间,比普通纤维芯绳约在0.5以下要高得多。同样绳径的特种钢丝绳比起普通绳来,具有较高的破断强度。

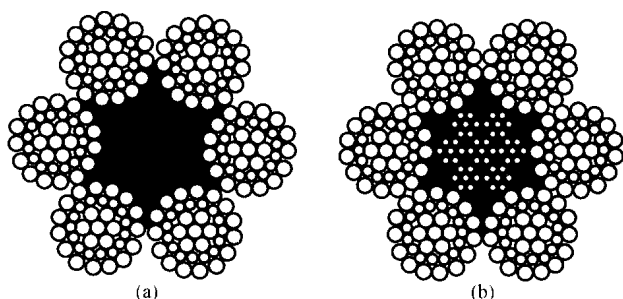


图1-5 普通线接触纤维芯绳和普通线接触钢芯绳

(a) 普通线接触纤维芯绳; (b) 普通线接触钢芯绳

(3) 特种钢丝绳具有较小的伸长率和较大的弹性模量。

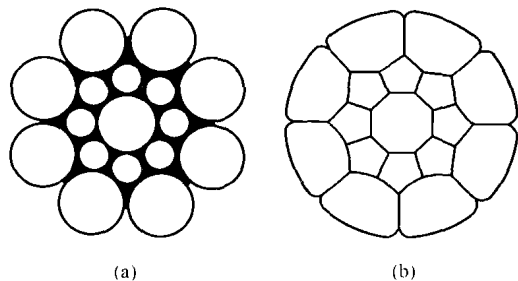


图 1-6 线接触绳股与密实型绳股

(a) 线接触绳股; (b) 密实型绳股

1.2.1.2 密实型绳股

普通钢丝绳的绳股中的钢丝相互间的接触,过去由点接触改进为线接触,即日常应用的西尔型、瓦灵吞型、填充型(或其混合型)等各种线接触绳股,曾使钢丝绳的工作状况得到很大改善。而现代的特种钢丝绳更采用了所谓的“密实型绳股”(即绳股中的钢丝相互间为面接触),其断面构造见图 1-6 (b),是制绳技术的又一大进步。

密实型绳股的制作方法:首先如同普通线接触绳股一样,将圆钢丝捻制成绳股,然后再将此绳股穿过拉丝模或通过特殊的辊压设备轧制拉伸,使股内各钢丝发生塑性变形,最终使该绳股的直径缩小而股的外表面变得平滑,同时其圆钢丝的截面由圆形变为多边形,原来各圆钢丝间的间隙被挤满,各钢丝之间也由线接触变为面接触。当然密实型绳股要比原来的绳股密实得多。

由密实型绳股捻制成的特种钢丝绳与常规线接触绳股捻制的钢丝绳相比,具有下列优点:

(1) 充填率高,因而在同样绳径的情况下钢丝绳的破断强度较高。

(2) 由于钢丝间为面接触,大大改善了钢丝的受力情况,有利于延长钢丝绳的使用寿命,并且钢丝绳比较柔顺,即绳的僵性降低,有利于提高通过滑轮时的效率。

(3) 绳的表面比较光滑,在很大程度上改善了绳表面和滑轮绳槽之间的接触,减少绳的外层钢丝特别是尼龙滑轮绳槽的磨损;用作牵引绳时,这种比较光滑的绳表面,还有利于大大减轻自行式承马的轻金属摩擦传动轮绳槽的磨损。

(4) 具有很强的抗磨损和抗腐蚀的性能(水分和尘埃不易渗入绳股内部)。

(5) 当配用于多层卷绕的卷筒时,其平滑的表面能很好地避免线接触绳股钢丝在相邻两绳圈间的捋擦和损伤。

总之,密实型绳股的特种钢丝绳的使用寿命相对于线接触绳股者要提高很多,据有关厂家的资料,寿命比交互捻绳可提高约一倍,比同向捻绳可提高约 40%。

1.2.1.3 在钢质绳芯外围设置塑料层

有的特种钢丝绳在其钢质绳芯外围设置一层塑料层,从而将纤维芯(对外层绳股起软垫的作用)和钢质绳芯(良好的几何稳定性)的优点很好地结合起来。带塑料层的钢丝绳的制造工艺:首先将其钢质绳芯部分进行充分的润滑,然后包以塑料层,最后再捻上各外层绳股而成为完整的钢丝绳,参见图 1-7 (a) 8 股特

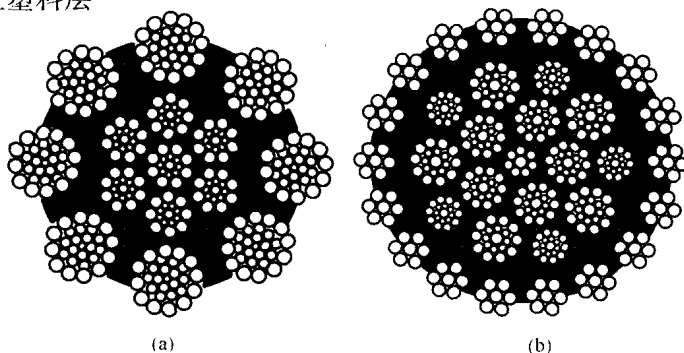


图 1-7 不抗转特种钢丝绳和抗转特种钢丝绳

(a) 不抗转特种钢丝绳; (b) 抗转特种钢丝绳