



特高压输电线路工程

施工技术

常敏 支国莲 王建平 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013045635

TM726.1
24



特高压输电线路工程

施工技术

常敏 支国莲 王建平 编著

TM726.1
24



北航

C1653545



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

我国“十一五”电网发展开创了世界特高压电网发展新纪元，而“十二五”期间是我国特高压电网发展的重要阶段，我国将在特高压交流试验示范工程的基础上，加快华中、华北、华东“三华”特高压交流同步电网建设。全面总结特高压输电线路工程基础施工、组塔、放线技术及创新成果，将有力促进中国特高压电网的建设。本书在总结特高压输电线路工程的技术成果及经验的基础上编写而成。

本书分八章，主要内容包括架空输电线路的分类，施工材料及工器具运输技术，特高压基础、组塔、架线、接地施工技术，施工中的环保节能工作规定，新型机具设计及应用。

本书可供从事特高压输电工程科研、设计、施工、监理、运行和维护等方面的技术人员学习使用，也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

特高压输电线路工程施工技术 / 常敏，支国莲，王建平编著. —北京：中国电力出版社，2013.5

ISBN 978 - 7 - 5123 - 4441 - 9

I. ①特… II. ①常…②支…③王… III. ①特高压输电 - 输电线路 - 工程施工 IV. ①TM726.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 099034 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 5 月第一版 2013 年 5 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 9.5 印张 165 千字

印数 0001—1500 册 定价 30.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

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

建设特高压是科学的征程。我国一次能源分布与生产力布局很不平衡，大型能源基地与用电负荷中心呈逆向分布。近年来能源开发加速向西部和北部转移，大型能源基地与用电负荷中心的距离越来越远，这就决定了我国能源发展必须走集约开发、远距离、大规模输送的道路。科学证明，只有加快建设具有远距离、大容量、低损耗优势的特高压电网，才能适应大煤电、大水电、大型可再生能源基地的需要，保障经济社会可持续发展对电力的需求。从2004年起，国家电网公司依靠自主创新，联合各方力量，全面开展了特高压研究论证、科技攻关、规划设计、设备研制和建设运行等工作。2006年开工的1000kV晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程就是我国发展特高压输电的起步工程，从第一基铁塔、第一相导线、第一组附件的试点示范，到各种关键设备的试验、启动调试、正式投运，处处都体现着缜密的运算和严谨的科学。2011年12月，1000kV晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程扩建工程建成投产，全面验证了特高压交流输电工程的输送能力和大电网安全控制技术的可行性，在世界电网科技领域实现了“中国创造”和“中国引领”。

建设特高压是创新的征程。特高压工程的施工是一个全新的建设系统，与已经相当成熟的500kV电网施工技术有很大不同，即使参照世界先进施工技术也难以找到借鉴模式。输电线路的关键设备在全世界都是“孤品”，首次采用8分裂导线，第一次在整条线路工程上大面积使用70m高铁塔，施工中交叉跨越、牵张场布置、铁塔组立等技术难题、安全措施和施工方法都面临前所未有的挑战。对此，设计出了新型塔式吊车、落地抱杆、铰接式组合抱杆和组塔方式等新的作业方法，成功解决了难题，保证了工程质量、安全和效益，用实际行动诠释了“特高压精神”，特高压工程的全过程都充满着创新的魅力。通过特高压工程建设，我国全面掌握了特高压的核心技术，收获了大量授权专利和技术专著，具备了全套特高压交直流设备制造能力，制定了特高压技术标准体系，形成了世界领先的试验研究基地，这是我国在基础设施建设领域取得的世界级重大创新和突破。本书所叙及的施工技术上的一些创新方法，仅是特高压工程施工中自主创新、勇攀高峰的一个缩影。

建设特高压是希望的征程。特高压作为转变电网发展方式的标志，作为坚强智能电网的基础，作为引领国际输电技术进步的领跑工程，正面临着发展的新机遇。《国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》中明确提出要发展特高压等大容量、高效率、远距离先进输电技术，标志着特高压已经成为国家战略。国家电网公司规划在“十二五”期间，将建成“三纵三横”特高压骨干网架，以连接大型能源基地和主要用电负荷中心。特高压的发展充满希望，前景广阔。

本书作者作为特高压输电工程施工的参与者，具有丰富的实践经验和理论功底，以亲身经历的技术攻关为实例，本着专业、严谨的作风，认真总结特高压施工成果，挖掘提炼输电线路关键施工技术，历经两年，编写而成《特高压输电线路工程施工技术》一书。

希冀这本源于实践的书籍，能够让从事特高压输电线路施工的电网建设者受益，在特高压发展中发挥参考借鉴作用。

山西省电力公司总经理



2013 年 5 月

前言

我国特高压电网的建设，仅有短短几年时间，而超高压电网的建设已有几十年，故超高压电网的施工技术相对成熟得多。当前我国加快发展特高压输电的时机已经成熟，国家特高压电网建设速度将加快，所以更应当加强创新和总结特高压电网的施工技术。

本书作者在总结特高压输电线路施工技术和进行多次试验的基础上，参考兄弟单位的部分成果编写了本书。本书讲述了超、特高压输电线路施工中较为通用的施工技术。

本书分八章，第一、二章分别叙述了架空输电线路分类、施工材料、机具运输技术，第三至第六章分别重点讲述了特高压基础、组塔、架线、接地施工技术，第七章介绍了架空输电线路施工环保节能工作规定，第八章介绍了新型机具设计及应用，内容丰富，实用性强。

本书是遵照我国现行的国家标准、行业标准、国家电网公司企业标准等进行编写的。如本书与新标准或新导则有矛盾时，应按新标准或新导则执行。

本书的编者于2010年1月开始搜集资料，并执笔编写，直至2012年5月完成。在编写过程中，得到了全国多家送变电公司和部分机具制造企业等的相关技术资料和补充意见。

本书由常敏、支国莲、王建平编著。山西省送变电工程公司第二分公司党支部书记张建勇提供了交、直流特高压输电线路工程的施工照片，北京送变电公司郎福堂副总工程师提供了 $2 \times (一牵3)$ 张力放线技术的部分资料，武汉大学丛远新对全书进行了全面细致的审核，并提出诸多宝贵意见，在此一并表示感谢。

由于经验和水平有限，加上时间仓促，书中难免有错误、疏漏和不妥之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

作者
2013年5月

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 输电线路分类	1
第二节 特高压输电线路施工技术	2
第二章 施工材料及工器具运输技术	4
第三章 基础施工技术	17
第一节 岩石基坑开挖技术	17
第二节 基础混凝土集中搅拌、罐装泵送施工	19
第三节 大体积混凝土裂缝防范措施	24
第四节 转角塔插入式基础施工技术	28
第四章 特高压线路组塔施工技术	36
第一节 内悬浮外拉线抱杆分解组立特高压铁塔施工技术	40
第二节 大吨位吊车组塔技术	64
第五章 特高压张力架线施工技术	71
第一节 导线放线滑车悬挂	72
第二节 张力展放导线施工技术	80
第三节 遥控飞艇展放初级导引绳	87
第四节 特高压线路工程耐张塔附件安装	94
第五节 特高压架线工程质量保证措施	101
第六节 全高空无跨越架跨越架线技术	105

第六章 接地工程施工技术	109
第一节 物理降阻剂降阻机理	109
第二节 接地模块降阻机理分析	117
第三节 线路工程接地施工降低接地电阻方案	123
第七章 架空输电线路施工环保节能工作规定	132
第八章 新型机具设计及应用	136
第一节 轻型锚杆钻机的选用及配置	136
第二节 组塔施工用吊装带	139
参考文献	144

第一章

概 述

第一节 输电线路分类

输送电能的线路统称为电力线路。电力线路分为输电线路和配电线路。由发电厂向电力负荷中心输送电能的线路以及电力系统之间的联络线路称为输（送）电线路。由电力负荷中心向各个电力用户分配电能的线路称为配电线路。

输电线路按电压等级分为高压（HV）、超高压（EHV）和特高压（UHV）线路。35~220kV 线路为高压线路，330~750kV 线路为超高压线路，750kV 以上线路为特高压线路。一般地说，输送电能容量越大，线路采用的电压等级就越高，相邻的电压等级通常相差 2~3 倍。目前我国输电线路的电压等级有 35、（66）、110、（154）、220、330、500、660、750、800、1000kV。新建线路不再使用 66、154kV 电压等级。采用超高压、特高压输电，可有效减少线损，降低线路单位输送功率的造价，减少占地面积，使线路走廊得到充分利用。

输电线路按架设方式分为架空线路和电缆线路。

输电线路按输送电流的性质分为交流线路和直流线路，最常见的是三相交流线路。

输电线路按杆塔上的回路数分为单回路、双回路和多回路线路。除架空地线外，单回路杆塔上仅有一回三相导线，双回路杆塔上有两回三相导线，多回路杆塔上有三回及以上的三相导线。

输电线路按相导线之间的距离分为常规线路和紧凑型线路。

第二节 特高压输电线路施工技术

一、特高压工程简介

1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程（简称晋—荆工程）起自山西省晋东南 1000kV 变电站，经河南省南阳 1000kV 开关站，止于湖北省荆门 1000kV 变电站。该工程全线划分为 18 个施工标段。山西境内分为 3 个施工标段，河南境内为 10 个施工标段，湖北境内为 5 个施工标段。

锦屏—苏南（向家坝—苏南段） ± 800 kV 特高压直流输电工程（简称锦—苏工程）西起四川省西昌换流站，东至江苏省吴江苏南换流站，采用 ± 800 kV 直流输电方案，输电距离约 2090.5km，直流额定电流为 4500A，输电能力为 7200MW。航空直线约 1840km，途经四川、云南、重庆、湖南、湖北、安徽、浙江、江苏等省市。

向家坝—上海 ± 800 kV 特高压直流输电示范工程（简称向—上工程）西起四川省宜宾市向家坝复龙换流站，东至上海市奉贤换流站，直流额定电流为 4000A，输电能力为 6400MW。航空直线 1715km，线路途经四川、重庆、湖南、湖北、安徽、浙江、江苏、上海等省市。

二、特高压线路工程主要施工技术

特高压线路工程施工技术与特高压线路工程的设计特点密不可分，现将至今特高压线路工程涉及的主要技术小结如下：

1. 材料、机具运输技术

- (1) 木质支架索道运输技术；
- (2) 标准化钢结构支架索道运输技术。

2. 土石方开挖及地基处理技术

- (1) 深基坑开挖技术；
- (2) 泥水、流沙坑开挖技术；
- (3) 湿陷性黄土地基处理技术；
- (4) 不均匀沉陷地质地基处理技术；
- (5) 基坑机械成孔技术。

3. 基础分部工程

- (1) 插入式基础施工技术；
- (2) 双背靠背插入式基础施工技术；
- (3) 超多地脚螺栓基础施工技术；

- (4) 岩石嵌固式基础施工技术;
- (5) 人工挖孔桩基础施工技术;
- (6) 岩石锚杆基础施工技术;
- (7) 掏挖基础施工技术;
- (8) 旋挖钻孔灌注桩基础施工技术;
- (9) 大板基础施工技术。

4. 组立塔分部工程

- (1) 内悬浮外拉线抱杆组立特高压铁塔施工技术;
- (2) 内悬浮内拉线抱杆组立特高压铁塔施工技术;
- (3) 内悬浮铰接组合抱杆外拉线组立特高压铁塔施工技术;
- (4) 座地式摇臂抱杆吊装组立特高压铁塔施工技术;
- (5) 大吨位吊车组立特高压铁塔施工技术。

5. 架线分部工程

- (1) 飞行器展放初级导引绳施工技术;
- (2) 一牵多展放多级引绳施工技术;
- (3) $3 \times (\text{一牵} 2)$ 张力展放 6 分裂大截面导线施工技术;
- (4) $2 \times (\text{一牵} 3)$ 张力展放 6 分裂大截面导线施工技术;
- (5) $(\text{一牵} 4) + (\text{一牵} 2)$ 张力展放 6 分裂大截面导线施工技术;
- (6) 一牵 6 张力展放 6 分裂大截面导线施工技术;
- (7) 二牵 $(4 + 2)$ 张力展放 6 分裂大截面导线施工技术;
- (8) 二牵 6 张力展放 6 分裂大截面导线施工技术;
- (9) 1000kV 特高压交流试验示范工程 $2 \times (\text{一牵} 4)$ 张力放线施工技术;
- (10) 1000kV 特高压交流试验示范工程一牵 8 张力放线施工技术;
- (11) 1000kV 特高压交流试验示范工程二牵 8 张力放线施工技术;
- (12) 1000kV 特高压交流试验示范工程八牵 8 张力放线施工技术。

6. 接地工程

本书主要针对适用性比较广或者具有较大推广价值的特高压施工技术进行全面说明, 主要包括标准化钢结构支架索道运输技术、内悬浮外拉线抱杆组立特高压铁塔施工技术、 $2 \times (\text{一牵} 3)$ 张力展放 6 分裂大截面导线施工技术以及新型接地等项技术。

第二章

施工材料及工器具运输技术

大部分输电线路所处地形情况比较复杂，选择一种安全、经济适用、高效快捷、环保的运输技术，对提升工程进度、降低施工成本、保证运输物件的质量、保护环境具有重要意义。

施工材料及工器具采用何种小运方式是决定施工进度的重要因素。特高压工程施工材料及工器具单件质量或尺寸均较大，显然流水化机械运输方式是较为快捷的运输手段，所以应尽量采用索道、普通车辆或特种运输车辆的直达运输方式。

索道运输主要针对位于山地等较为恶劣地形的塔位和单基材料量较多、单件尺寸或质量较大且数量较多的塔位。特高压输电工程地处环境复杂，采用索道运输，比较经济快捷，实用性强，也是必然趋势。

本章主要讲述了索道运输技术。

一、索道分类

根据输电线路工程特点，采用两种不同的索道运输方式。

(1) 孤山头（山包、山梁）上只有一基桩位，车辆运输道路只通到山下。对处于此类地形的桩位，可采用单档环状循环式索道运输方式。

(2) 连续上、下山桩位：一座山上有连续多基桩位，车辆运输道路只能通到其中一基桩位，其余桩位的小运均要通过此基桩位。对此类地形的杆位，可采用多档环状循环式索道运输方式。

单档环状循环式索道与多档环状循环式索道的结构、工作原理、工作流程均相同。对于特高压线路，结合铁塔材料的设计特点，索道额定运输不大于50kN是比较合适的设计标准。本章主要介绍的是分裂承载索式环状索道，结

构较为复杂，但通用性较强。更简易的索道主要是减少了分裂承载索的数量。

向一上工程、锦一苏工程输电线路所处山地的线路区段大部分采用了杉木支撑结构的索道运输系统，具有简便、快捷、投入成本低、转场迅速的特点，见图 2-1。下面针对特高压输电线路施工用索道样式作进一步的说明。



图 2-1 向一上工程索道运输现场

二、环状索道结构

为便于施工操作，承载索的规格一般不会选择过大，这就在一定程度上限制了索道的运载能力。常规索道一般为单根承载索，超高压输电线路工程中单根承载索循环索道的额定荷载一般为 20kN，特高压输电线路工程中 2 根、4 根承载索循环索道的额定荷载分别为 20、50kN。对常规索道进行改进后衍生出了采用多分裂承载索运载重物的索道系统，提高了索道运载能力，可满足单件重量不大于 50kN 的塔材及工器具的运输。

本章中主要介绍额定荷载为 50kN 的分裂承载索式环状索道结构。

环状索道装置布置示意图如图 2-2 所示，该系统由装料场、卸料场、地锚、承载索、返空索、牵引索、牵引机械、高速转向滑车、支撑器、载料车、料斗、支架等组成。货物挂在载料车上，单件重量超过 15kN 或单件长度超过 2m 的货物必须用 2 台载料车抬吊运输，载料车挂在矩形排列的 4 根承载索上，并把载料车与牵引索相连接，牵引机械牵引牵引索，从而带动载料车，把货物从装料场运送到卸料场，卸掉货物后，载料车通过返空索返回到装料场，实现环状运送货物。该系统既可进行单件运输，又可进行多件荷载的连续运输。

当小运距离比较长、地形又比较恶劣时，有的需增设中转场。对于中转角度比较小的（不大于 30° ），中转场增设一个中转支架，承载索和返空索、牵引索由转向滑车锚固即可。对于中转角度比较大的（大于 30° ），则需另行架设一套环状索道系统。

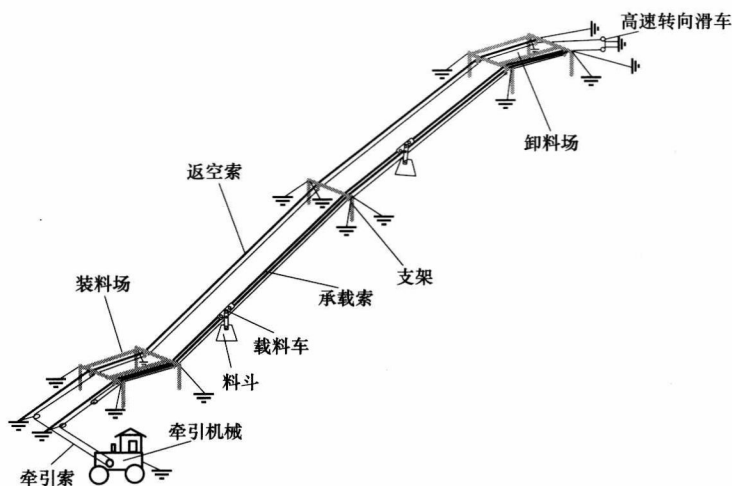


图 2-2 环状索道装置布置示意图

1. 装料场（见图 2-3）

装料场为索道的起始端，由 1 副出口支架、1 副端部支架、1 副导轨、1 台牵引机械（见图 2-4）组成。出口支架和端部支架中间是装料场。

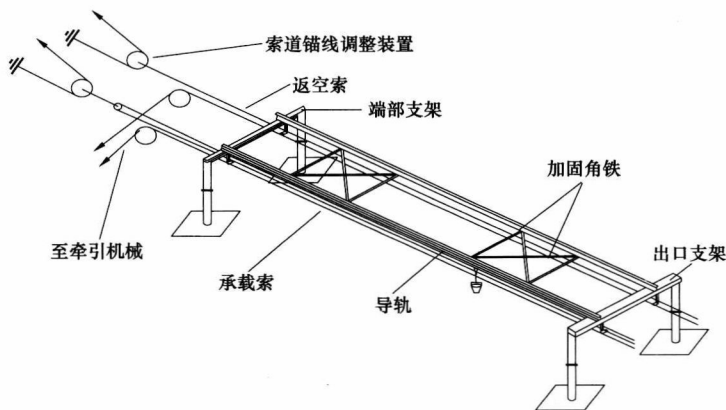


图 2-3 装料场布置示意图

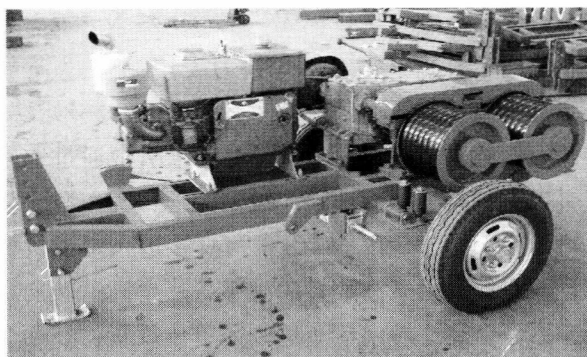
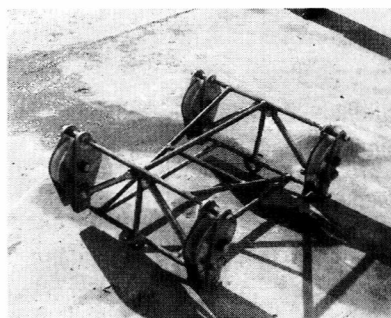


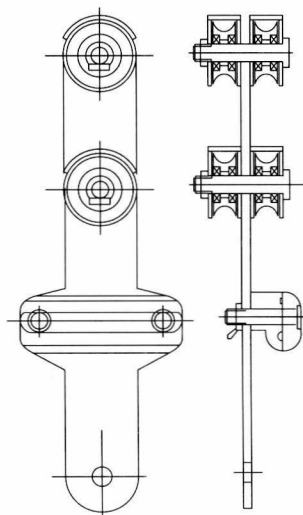
图 2-4 牵引机械

进出口支架、端部支架与中间支架结构相同，仅是高度上的区别，支架高度需根据所处索道通道的位置和地形来确定。端部支架因要承受承载索、返空索和牵引索锚固倾斜角产生的下压力，可用槽刚或钢管对其补强，并用拉线锚固，支架主要应承受下压力。

导轨的作用是返回的载料车（见图 2-5）脱离牵引索后，用人工把载料车从返空索推到承载索上，以便再次装运货物。也可以直接把载料车从返空索上卸下，人力把载料车吊装到承载索上。



(a)



(b)

图 2-5 载料车

(a) 外形；(b) 结构

在始端要把承载索、返空索进行锚固，调整承载索、返空索和牵引索的张力。每根承载索和返空索分别串挂 100kN 拉力表，用 70kN 地锚进行锚固。每个地锚埋设点分别在承载索和返空索的延长线上。为减轻始端支架的下压力，承载索和返空索与地面的水平夹角不大于 25°。牵引索通过地面的一个高速转向滑车后进入牵引机械的卷筒，高速转向滑车的地锚需单独设置。若地形条件能满足牵引索出口角度不大于 30°，牵引索可直接进入牵引机械卷筒。牵引索在终端支架处需设置两个牵引索高速转向滑车，一个高速转向滑车的地锚与返空索的地锚共用，另一个高速转向滑车地锚需单位设置，在两个高速转向滑车之间用槽钢撑开固定，以使两边的牵引索均在索道档内对应牵引索的延长线上。

牵引机械的作用是将牵引索进行环形移动。牵引机械选择 80kN 以上规格，在其后面用 70kN 地锚进行锚固。

2. 承载索、返空索和牵引索

在索道运输中采用圆股钢丝绳作为承载索、返空索和牵引索。应根据不同的设计运输要求和地形情况选择不同类型的钢丝绳。

牵引索、返空索可用较细的钢丝绳；而承载索因承载力大，应选择较大直径的钢丝绳。

根据特高压常用钢管型塔材、角钢型塔材和超重工器具运载要求，环状牵引循环索道设计最大运载能力为 50kN 即可满足运载要求。常规工况下，承载索、牵引索受力情况见表 2-1。

表 2-1 承载索、牵引索受力情况

档距 L (m)	高差 H (m)	$\cos\theta$	集中荷载 Q (kN)	承载索张力 (kN)	牵引索牵引力 (kN)	备注
200	40	0.980 581	50	16.52	9.81	
	80	0.928 477		18.44	18.57	
	120	0.857 493		21.65	25.72	
	160	0.780 869		26.15	31.23	
400	40	0.995 037	50	16.29	4.98	
	80	0.980 581		16.78	9.81	
	120	0.957 826		17.60	14.37	
	160	0.928 477		18.75	18.57	

续表

档距 L (m)	高差 H (m)	$\cos\theta$	集中荷载 Q (kN)	承载索张力 (kN)	牵引索牵引力 (kN)	备注
600	40	0.997 785 2	50	16.45	3.33	
	80	0.991 227 9		16.68	6.61	
	120	0.980 580 7		17.05	9.81	
	160	0.966 234 9		17.57	12.88	
800	40	0.998 752 3	50	16.67	2.50	
	80	0.995 037 2		16.80	4.98	
	120	0.988 936 4		17.01	7.42	
	160	0.980 580 7		17.31	9.81	
1000	40	0.999 201	50	16.91	2.00	
	80	0.996 815 3		16.99	3.99	
	120	0.992 876 8		17.13	5.96	
	160	0.987 440 6		17.33	7.90	

注 承载索、牵引索的安全系数取 3.0。

返空索和牵引索均选用 $\phi 15$ 的普通圆股钢丝绳，经计算符合要求。

3. 端部及出口支架

在索道的装料场和卸料场需设立端部支架和进出口支架。因地形、距离原因，在索道中部需要设立一部分中间支架。支架一般设计为门型。为方便人工搬运及现场组装，设计为组装式，而且大多数部件设计为通用的。这样能提高新加工工具的利用率，而且最大单件质量不超过 40kg，便于人工抬运。

图 2-6 所示为装配式钢管支架布置示意图。横梁采用 2 根槽钢拼装而成，两内侧安装支撑器。横梁支撑采用 A 字型钢结构或木结构支架，支架构件采用钢管制作，考虑到方便搬运，设计长度为 1.5m。根据地形可调整各支架接腿的长度。支架钢管同时设有上下脚钉，支架两外侧打八字拉线固定。底端接腿的底板部分开有大直径孔，用于将铁桩与地面固定。

组装方法：先在地面组装一侧的 A 型支架，用绞磨起立，然后拉线固定；用已经起立的 A 型支架树立起另一侧面的 A 型支架，调整 A 型支架的开档，然后安装横梁；在两侧面外侧打设拉线，用铁桩固定支架腿，最后安装支撑器。