

大规格角钢

在输电铁塔中的应用



主编 ■ 刘泽洪



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

大规格角钢 在输电铁塔中的应用

主 编 刘泽洪
副主编 李 正 余 军

常州大学图书馆
藏书章



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书系统总结了大规格角钢在输电工程中的结构设计特点和应用情况,尤其对锦屏—苏南 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电线路工程中,采用普通规格角钢组合和大规格角钢的输电铁塔在结构设计及真型试验方面进行了对比。

本书共分八章,主要内容有绪论、输电铁塔采用大规格角钢的技术优势、大规格角钢的生产、大规格角钢输电铁塔的设计、大规格角钢输电铁塔的加工制造、特高压直流工程大规格角钢输电铁塔真型试验、大规格角钢输电铁塔技术经济性和大规格角钢在特高压工程中的应用。

本书可作为从事输电线路角钢塔结构研究和设计人员的教材,也可供从事输电线路角钢塔加工制造、施工建设、运行维护等技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大规格角钢在输电铁塔中的应用 / 刘泽洪主编. —北京: 中国电力出版社, 2011.11

ISBN 978-7-5123-2376-6

I. ①大… II. ①刘… III. ①角钢-应用-输电铁塔 IV. ①TM753

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 236818 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 12 月第一版 2011 年 12 月北京第一次印刷

710 毫米 $\times$ 980 毫米 16 开本 12 印张 155 千字

印数 0001—3000 册 定价 36.00 元

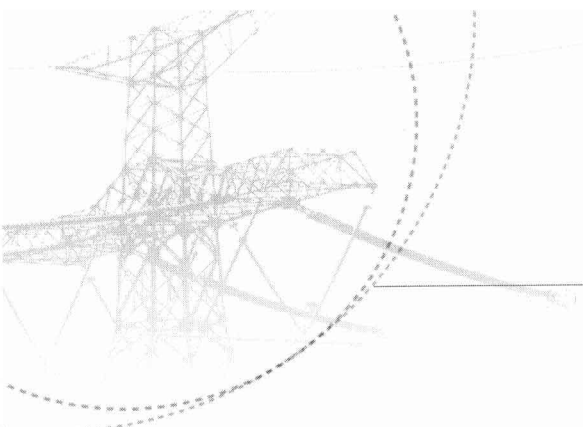
敬告读者

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

编写人员名单

主 编	刘泽洪			
副 主 编	李 正	余 军		
编写人员	邢海军	包永忠	郭跃明	孟宪乔
	王 洪	杨 洋	杨靖波	张东英
	肖洪伟	李 艳	李清华	冯云巍
	吴海洋	黄大维	徐海潮	黄 璜
	张 磊	吴国强	张祥禄	肖 兵
	张子富	段松涛	寻 凯	张友富



前 言

随着输电线路输送容量及电压等级的不断提高,杆塔的荷载与重量不断增大。目前角钢塔角钢肢宽均在 200mm 及以下,特高压及一些同塔双/多回超高压线路工程中承载力大的角钢塔塔身主材需要采用双拼或多拼角钢组合,导致杆塔结构复杂,用钢量增加。而大规格角钢的截面积大,承载能力高,能够替代角钢组合满足更大承载能力的铁塔需求。在大荷载杆塔中合理应用大规格角钢,具有相对的技术优势和经济优势,不仅适应电网的发展趋势而且促进了国家工业基础的提升,符合“资源节约、环境友好”型社会建设要求。

2009 年 9 月 22 日,大规格 Q420 高强角钢在锦屏—苏南 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电工程(简称锦苏工程)试点应用研讨会在北京召开,会议对大规格 Q420 角钢在锦屏工程中试点应用进行了技术经济性比较,分析了大规格角钢生产与市场供应情况,确定了锦苏工程试点应用的原则,全面启动了大规格高强角钢的应用研究工作,有力地促进了大规格角钢在我国输电线路中的应用。

依托锦苏工程,国家电网公司组织中国电力科学研究院、中国电力工程顾问集团公司、中南电力设计院、西南电力设计院、安徽电力设计院和国网直流建设分公司等单位,开展了大规格角钢杆塔结构设计研究和真型试验,解决了大规格角钢设计及应用中的一系列关键技术问题,研究成果为大规格角钢的应用提供了重要的技术支撑。

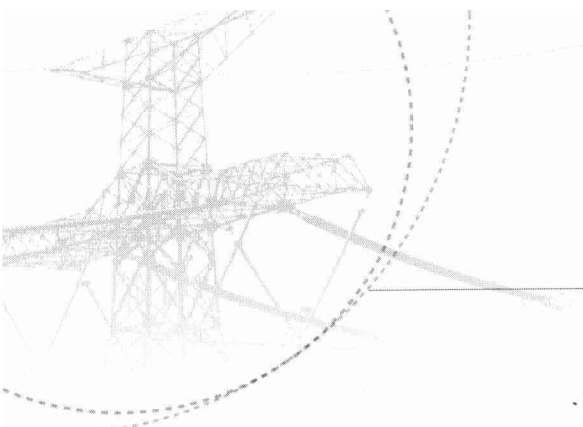
本书是我国第一本全面深入介绍大规格角钢输电铁塔结构的专著，可作为从事输电铁塔结构研究和设计人员的教材，也可为输电铁塔加工、施工建设、运行维护等技术人员提供参考。

本书编写得到了国家电网公司相关部门的大力支持。中国电力工程顾问集团公司也为本书的编写提供了帮助，在此表示诚挚的感谢。

限于编者水平，书中难免有不足之处，敬请读者指正。

编 者

2011 年 11 月



目 录

前言

第一章

绪论	1
----	---

第一节 大规格角钢应用的特点	1
----------------	---

第二节 大规格角钢的应用现状	3
----------------	---

第三节 大规格角钢发展现状及前景	5
------------------	---

第二章

输电铁塔采用大规格角钢的技术优势	9
------------------	---

第一节 大规格角钢与角钢组合截面特性对比	9
----------------------	---

第二节 大规格角钢应用的技术可行性	14
-------------------	----

第三节 大规格角钢的应用优势	16
----------------	----

第三章

大规格角钢的生产	18
----------	----

第一节 材质	18
--------	----

第二节 力学性能	20
----------	----

第三节 尺寸、外形及重量	22
--------------	----

第四节 大规格角钢生产技术	25
---------------	----

第四章

大规格角钢输电铁塔的设计	33
第一节 大规格角钢塔结构基本计算原则	33
第二节 大规格角钢输电铁塔荷载计算	41
第三节 大规格角钢基本构件设计计算	66
第四节 大规格角钢输电铁塔结构计算方法	79
第五节 大规格角钢输电铁塔构造要求	88

第五章

大规格角钢输电铁塔的加工制造	95
第一节 大规格角钢输电铁塔制造技术要求	95
第二节 大规格角钢输电铁塔加工技术	98
第三节 大规格角钢铁塔质量控制	105

第六章

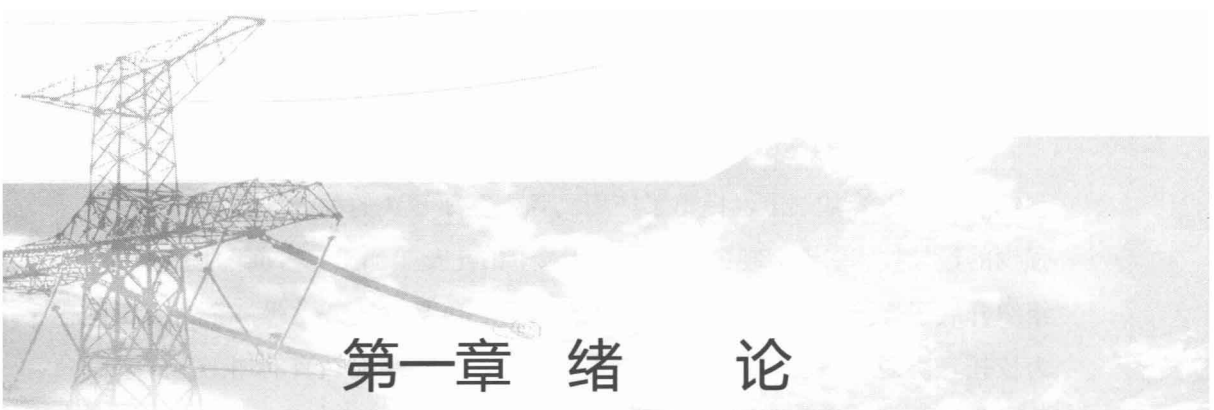
特高压直流工程大规格角钢输电铁塔真型试验	110
第一节 真型试验的意义	110
第二节 真型试验的设施及方法	116
第三节 真型试验	118

第七章

大规格角钢输电铁塔技术经济性	131
第一节 ZC27105B 直线塔	131
第二节 JC1 转角塔	137
第三节 JC5D 转角塔	145

第八章

大规格角钢在特高压工程中的应用·····	152
第一节 工程设计概况·····	152
第二节 工程应用原则·····	153
第三节 工程用大规格角钢集中采购·····	154
第四节 大规格角钢铁塔监造·····	156
附录 A 角钢规格表·····	160
附录 B 角轴心受压构件的稳定系数 ϕ ·····	167
附录 C 铁塔用热轧大规格等边角钢采购技术条件·····	170



第一章 绪 论

第一节 | 大规格角钢应用的特点

建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强智能电网是国家电网公司电网发展的战略目标。在电网建设中，特高压及一些同塔双/多回超高压输电线路对输电铁塔承载能力的要求较高，如 1000kV 单回、 $\pm 800\text{kV}$ 单回、500kV 同塔双回、500kV 单回转角塔、220kV 同塔多回等，其主材承载要求已超出单肢最大普通规格角钢的承载能力，因而需采用双拼甚至四拼技术。目前，为提高输电铁塔承载能力，逐渐采用了高强度钢材的角钢塔和钢管塔，主要体现在三个方向：一是提高材料强度级别和质量级别，如推广应用 Q420、Q460 高强度等级的钢材等；二是优化和改进杆塔结构设计，如推广应用钢管塔；三是提高材料规格，如在角钢塔中使用大规格角钢（本书特指角钢肢宽 220mm 及以上的等肢热轧角钢）。

一、提高材料强度级别和质量级别

在输电线路中推广应用 Q420、Q460 高强度钢材是国家电网公司推动基建科技创新、实施产业升级的重要举措，是提高输电线路科技水平，降低工程造价的重大突破。自 2006 年以来，在国家电网公司基建部、特高压建设部等部门的统一组织下，中国电力科学研究院协同中国电力工程顾问集团公司、有关网省电力公司、电力设计院等单位，经过研究、分析和论证，在广泛调研国内外高强钢的使用情况和国内高强钢生产供应情况、铁塔企业的高

强钢加工能力等基础上,提出了应用高强钢需要解决的关键问题,确定了高强钢的设计技术参数,制定了高强钢焊接、钻孔及热加工等方面的技术标准,组织开展了焊接培训工作,并以官亭—兰州 750kV 输电线路等八个试点工程为依托,协调组织了高强钢的集中采购供应,对高强钢铁塔的加工开展了监造工作等。以晋东南—南阳—荆门 1000kV 特高压交流输电试验示范工程和向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程全线采用 Q420 高强钢为标志,进入了全面应用阶段。截至 2010 年底,在 220kV 及以上电压等级的输电线路工程中,Q420 高强钢的应用总量已达近 60 万 t,Q460 也在 500kV 等多个输电线路工程中得到了试点应用。

推广应用高强钢能够缩短我国与发达国家在输电线路塔材级别上的差距,有效降低钢材用量,促进钢铁行业的技术进步,节省线路建设投资,具有显著的社会效益、环境效益和经济效益。

二、优化和改进杆塔结构设计

与角钢塔相比,在输电线路中推广应用钢管塔具有构件风压小、刚度大、结构简洁、传力清晰等优点,能够充分发挥材料的承载性能。自 2008 年以来,在国家电网公司特高压建设部、基建部等部门的组织下,中国电力科学研究院协同中国电力工程顾问集团公司、有关电力设计院等单位,以淮南—上海 1000kV 特高压同塔双回输电线路全线采用钢管塔为依托,开展了钢管塔应用关键技术研究,制定了钢管塔设计、加工以及施工等技术标准,组织开展了焊接培训,规范和提高了铁塔加工企业的生产装备水平,组织关键原材料专业化生产和集中采购等前期准备工作,为推广应用钢管塔提供了坚强的技术支撑。

目前,国家电网公司已在科研、设计、制造等环节掌握了钢管塔应用的关键技术,并具有设计、加工、建设和运行的经验,具备了推广应用的条件,

同时已在 220kV 四回路、500kV 双回路、750kV 等不同电压等级的工程中试点应用了 Q420、Q460 高强度钢管塔。按照规划,“十二五”期间,国家电网公司将建成“三纵三横”特高压骨干网架,其中同杆双回部分将全面采用钢管塔,年需求钢管塔近百万吨。

三、提高材料规格

与推广应用高强钢、钢管塔相类似,输电线路工程应用大规格角钢是输电线路工程的又一重大技术创新,大规格角钢截面积大,单构件承载能力高,能够满足更大承载能力的铁塔需求,可以代替双拼或多拼角钢组合塔以及部分钢管塔,具有明显的技术经济优势。

大规格角钢塔与角钢组合塔相比,具有以下特点:

- (1) 结构整体性好,传力清晰。
- (2) 节点构造简单。
- (3) 大量减少连接螺栓和填板,节省材料用量。
- (4) 减少双拼和多拼铁塔的加工量,加工运输方便。
- (5) 降低铁塔组立的施工量和施工难度。

大规格角钢塔与钢管塔相比,具有以下特点:

- (1) 节点构造简单,连接方便。
- (2) 减少焊接加工量,加工方便。
- (3) 组立的施工量和施工难度降低。
- (4) 最大单件重量小,现场运输尤其是山地运输方便。

第二节 | 大规格角钢的应用现状

大规格角钢国外已有多年生产经验。国外 S355J0 和 Q235B 级大规格角钢在工业、建筑等行业得到了广泛应用,规格为 $\angle 250 \times 25$ 的 SS540 级角钢曾

以铆接方式应用于输电铁塔上。

国内大规格角钢在输电铁塔以及钢结构建筑等其他行业一直缺乏应用实践。以往国内使用的大规格角钢原材料均为进口。2008 年,国家电网公司特高压杆塔试验基地加荷塔首次应用了由钢板焊接拼装成的 Q345C $\angle 300 \times 30$ 和 $\angle 250 \times 25$ 大规格角钢,其立柱采用四拼大规格角钢组合,见图 1-1。

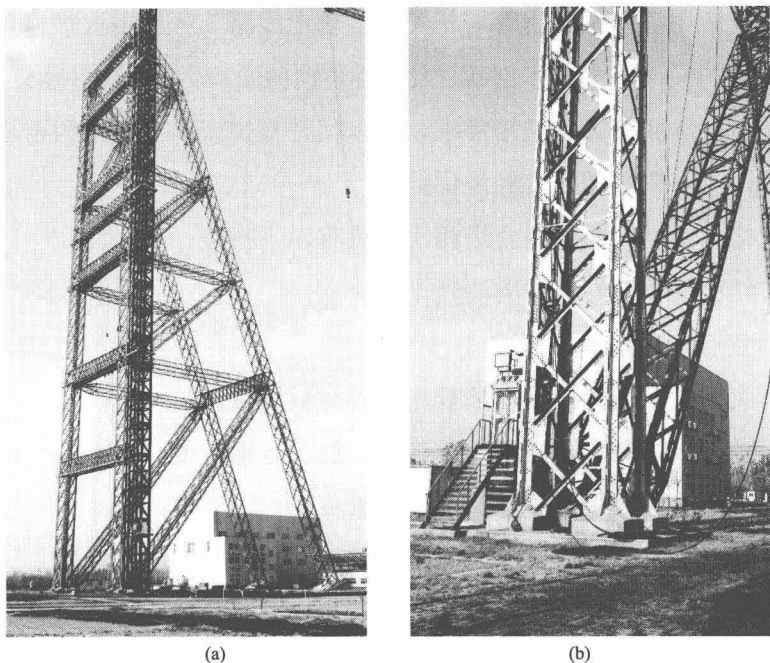


图 1-1 特高压杆塔试验基地大规格角钢加荷塔

(a) 加荷塔整体; (b) 四拼大规格角钢组合立柱

2010 年 1 月, Q420 高强度热轧大规格角钢首次应用于锦苏工程的 JC1、JC5D 塔 2 基真型塔。JC1 塔采用了 Q420 $\angle 220 \times 22$ 和 Q420 $\angle 250 \times 24$, JC5D 塔采用了 Q420 $\angle 220 \times 24$ 和 Q420 $\angle 250 \times 30$, 其中 JC5D 塔塔腿采用 Q420 $\angle 220 \times 24$ 的双拼十字形组合。

第三节 | 大规格角钢发展现状及前景

一、大规格角钢生产技术及市场供应

目前我国型钢生产企业 50 余家,年产能约 1500 万 t。市场供应的角钢规格主要为 4 型号~20 型号,钢材牌号主要为 Q235、Q345、Q420 和 Q460,钢材的质量级别主要为 B 级和 C 级。虽然角钢生产相关标准 GB/T 706—2008《热轧型钢》以及 YB/T 4163—2007《铁塔用热轧角钢》规格序列中含有 22 型号、25 型号规格的角钢,但由于工程应用引导不够,市场没有现货供应。

从大规格角钢的生产技术看,随着国内多条 650 轧机及以上大型船用型钢生产线相继投产,已具备生产大规格角钢的条件。国内个别型钢生产企业少量生产过 $\angle 250 \times 25$ 规格角钢,主要用于出口,牌号为 SS400、SS540 及 S355J0,采用日标 JIS 3192《热轧型钢尺寸、外形、重量及允许偏差》、JIS 3101《一般结构用轧制钢材》及欧标 EN 10025《非合金结构钢》。2008 年开始,在国家电网公司引导下国内钢铁企业开展了输电铁塔用大规格角钢的研究开发工作。

从角钢生产技术和市场供应的角度看,目前国内基本具备了在输电线路中大规模应用大规格角钢的条件,但应注意以下几个关键问题:

一是现行标准 GB/T 706—2008 和 YB/T 4163—2007 对于角钢表面质量及外形等缺乏明确的定量要求,在实际执行过程中缺乏可操作性,需要进一步完善。

二是在生产过程中,由于大规格角钢坯型截面积大,钢坯的内外温差控制难度大,在避免铸造缺陷方面要难于普通规格角钢;大规格角钢最小压缩比仅能达到 5.5,可能对角钢成品性能存在不利影响;为保证角钢端面质量,

一般采用带锯锯切，大角钢生产效率还需不断改进。

三是虽然在产品试制、设备保证、工艺控制、质量检验、供货能力等方面，大规格角钢已具备工程应用条件。但生产企业批量生产的经验不足，为了保证工程质量和进度，应对角钢生产实施监造，确保质量。

二、大规格角钢输电铁塔设计技术

大规格角钢塔与普通规格角钢塔在设计计算方法上具有相似性，主要的设计计算方法和参数取值仍借鉴普通规格角钢塔，主要设计技术参数包括基本构件设计计算、构件的计算长度、构件的允许最大长细比等，这些方法和参数已在普通规格角钢塔设计中得到验证。但在构造上两者有所区别，主要包括角钢截面特性、减孔数、角钢准距及螺栓间距和边距、连接形式和节点形式等，这也是本书重点介绍的内容。

大规格角钢输电铁塔经过不同塔型的真型塔试验验证，按本书介绍的方法设计的铁塔整体强度、变形和整体刚度满足规程、规范和施工、运行的要求；铁塔主要节点设计合理；主要受力杆件的设计与试验相吻合；大规格角钢的受力性能理论计算与实际情况相吻合，大规格角钢输电铁塔的设计技术是成熟和可行的。

三、大规格角钢输电铁塔加工技术

目前，国内主要铁塔生产企业在大规格角钢输电铁塔的加工能力、生产装备等方面基本具备加工要求，具有加工大规格角钢输电铁塔的经验。

大规格角钢输电铁塔的加工除了对原材料的质量控制之外，主要的技术关键在于焊接、热加工和冷加工质量。根据工程需要，中国电力科学研究院提出了大规格角钢输电铁塔加工技术导则，对焊接人员、焊接装备、焊接工艺评定、焊接检验提出了明确的要求，在制孔、制弯和矫直等工艺环节，由

于大规格角钢较普通规格角钢厚,加工难度较大,实际生产中应该高度重视。

由于国内批量加工大规格角钢输电铁塔的经验不足,在铁塔制造过程中需要开展监造工作,对于保证铁塔加工质量是非常有必要的。

四、大规格角钢在输电线路的应用及发展前景

国外大规格角钢在铁塔中应用已经非常广泛。在美国钢管塔应用较少,主要因为其生产供应的 $\angle 250 \times 35$ 高强度角钢,单肢角钢最大承载力可达到 5000kN 以上,约为我国现有最大规格 $\angle 200 \times 24$ 的两倍,能够基本满足同塔双回线路铁塔主材的承载要求;大规格角钢在国外已形成了相当规模的产业化体系。

在我国,大规格角钢在输电铁塔上的应用还不够。导致这一问题的原因,既有生产企业的问题,也有设计方面的问题。2009 年 9 月 22 日,国家电网公司特高压建设部在北京组织召开了 Q420 高强度大规格角钢在锦苏工程试点应用研讨会,会议决定对 JC1 和 JC5D 两基转角塔进行大规格角钢试点应用并开展真型试验。这标志着我国大规格角钢应用已经起步。随着推广用力度的加大、大规格角钢结构的技术问题和前沿课题的研究和解决,大规格角钢在输电铁塔领域必将有很好的发展。

相比双拼普通规格角钢铁塔,高强度大规格角钢铁塔在使用功能、设计、施工以及综合经济方面都具有优势。双拼普通规格角钢铁塔采用大规格高强角钢铁塔设计后,可降低材料用量,同时也可使构件数量得以减少,焊接工作量和镀锌层的面积也可得以降低,不但可以降低工程造价,还可减轻加工、运输、安装、运行维护等各个环节的工作量,具有较好的经济性和可靠性。

通过锦苏工程的建设,大规格角钢已实现国产化,其制造技术已基本成熟,质量可得到保证,随着产能的增长,大规格高强度角钢具备了推广应用的基础条件。在锦苏工程中采用了牌号为 Q420 的低合金高强度钢,对进一

步推广使用高级别高强钢具有重要示范意义。大规格角钢的使用，需要设计行业推动，需要尽快完善大规格角钢标准体系，尽快制定大规格角钢的国家标准。在新的形势下，还会继续向前发展。

大规格角钢在输电铁塔结构中的应用具有良好的前景。由于大规格角钢在承载力上优于普通规格角钢组合，在其使用范围内是最合理的选择。因此，在特高压及一些同塔双/多回超高压承载力大的输电铁塔结构方面，大规格角钢的应用将更有前途，符合可持续发展要求。