

220 kV 人字柱变电构架—格构横梁结构选型分析

李国文¹, 窦杰², 张大长³

(1. 江苏省电力公司, 江苏 南京 210008; 2. 宿迁供电公司, 江苏 宿迁 321300;

3. 南京工业大学, 江苏 南京 210009)

摘要:以三门和六门 220 kV 人字柱出线构架为例, 设计 4 种国内外变电站常用的变电构架型式。运用有限元分析软件进行变电构架空间整体分析, 对比不同构架横梁型式和不同梁、柱节点连接方式的优劣, 并进行经济性比较。研究表明, 梁、柱节点刚接时, 变电构架横梁采用格构式角钢梁较单根钢管梁杆件利用率高; 变电构架横梁采用格构式钢管梁时, 梁、柱节点刚接杆件利用率高于铰接; 梁、柱节点铰接时, 构架柔度较大, 各杆件位移较大; 提出较为合理的 220 kV 人字柱变电构架型式; 构架横梁采用格构式钢管梁、钢管弦杆、角钢腹杆、梁和柱节点铰接。

关键词:220 kV 变电站; 人字柱变电构架; 结构型式

中图分类号:TU398

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2016)02-0065-04

随着电网建设的高速发展, 用电负荷需求快速增加, 电压等级逐渐提高, 线路导线截面、导线荷载随着电网建设规模的扩大而增大。变电构架作为变电站最主要的构筑物, 占地面积达变电站 50% 以上, 支撑电力线进、出变电站, 其建设进程也在加速发展。因其重要性高、承受荷载大、经济指标高、工艺要求复杂, 规范将 220 kV 及以上电压等级构架结构重要性系数定为一类^[1,2]。因此变电构架的材料选用, 在考虑安全性的同时, 还要考虑结构的经济性、加工制造和施工的快捷性、结构外观的美观性等。

国内 500 kV 变电构架中, 人字柱变电构架结构应用最广泛。该结构由人字形普通钢管构架柱和三角形断面格构式钢梁或单根钢管梁组成。构架柱与构架钢梁采用刚接或铰接的形式相连, 结构超静定次数低。人字柱钢结构变电构架具有结构型式明确, 构件数量较少, 传力明确且易于安装, 占地面积较小等优点, 其产生的经济效益和社会效益较大。

而国内与变电构架有关的文献较少。陈传新, 刘素丽^[3]以四门出线构架为例, 采用空间计算对 750 kV 变电构架进行结构选型, 提出了一种合理的构架型式。文献[4]通过一个实际工程中所用的变电构架柱中高架柱与人字柱连接节点进行有限元计算, 提出了连接节点处加劲肋布置优化方案。朱朝阳、靳振宇^[5]利用 STAADCHINA 软件进行了变电构架的空间分析, 总结了计算步骤及计算结果。本文主要针对 220 kV 人字柱变电构架, 进行结构选型, 以确定较为合理的钢梁型式, 并选择最优的梁、柱节点连接形式, 满足安全性、经济性、美观性等要求, 为类似工程提供一个参考依据。

1 构架型式简介

变电构架的受力主要以水平荷载为主, 承受的主要水平荷载是导线张力、地线的张力以及风荷载。目前国内 500 kV 及以上电压等级大多采用人字柱变电构架, 其结构形式主要包括等截面普通钢管结构和格构式钢结构这 2 种型式。其中格构式钢结构依据杆件类型不同又可以分为钢管格构式和角钢格构式。格构式钢结构的优点在于其整个结构均由较小角钢或钢管组成, 节点采用螺栓连接, 构件尺寸小、自重轻、制作、运输及防腐处理很方便, 缺点是杆件种类和数量较多, 现场拼装工作量较大。本文分别设计了 4 种类型的 220 kV 人字柱变电构架, 进行了 4 种构架型式的分析, 比较其优缺点。

(1) 六门普通钢管构架。梁跨度为 13 m, 构架柱采用人字形普通圆钢管柱, 构架横梁采用单根圆钢管梁, 梁、柱节点刚接, 纵向设置端撑, 腹杆刚接, 柱脚刚接。

(2) 六门格构式角钢构架。梁跨度为 13 m, 构架柱采用人字形普通圆钢管柱, 构架横梁采用格构式钢梁, 弦杆和腹杆均为角钢, 梁、柱节点刚接, 腹杆刚接, 柱脚刚接。

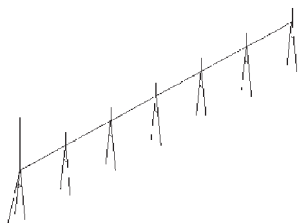
(3) 三门格构式钢管构架 (刚接)。梁跨度为 24 m, 构架柱采用人字形普通圆钢管柱, 构架横梁采用格构式钢管梁, 弦杆和腹杆均采用圆钢管, 梁、柱节点刚接, 腹杆铰接, 柱脚刚接。

(4) 三门格构式钢管构架 (铰接)。梁跨度为 24 m, 构架柱采用人字形普通圆钢管柱, 构架横梁采用格构式钢梁, 弦杆和腹杆均采用钢管, 梁、柱节点铰接, 腹杆铰接, 柱脚刚接。

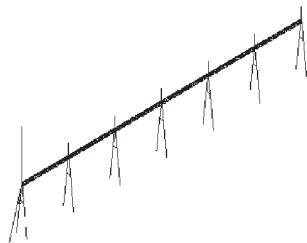
4 种变电构架型式如图 1 所示。220 kV 人字柱变电构架主要尺寸如表 1 所示。

收稿日期: 2015-11-11; 修回日期: 2015-12-25

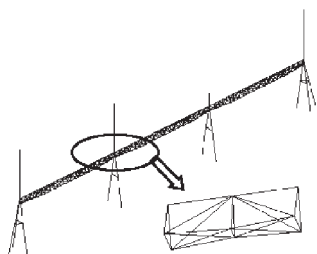
基金项目: 2013 年江苏省“六大人才高峰”项目 (JY-005) 资助



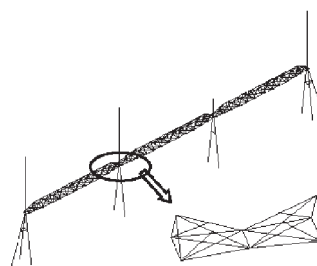
(a) 13 m 六门普通钢管构架



(b) 13 m 六门格构式角钢构架



(c) 24 m 三门格构式钢管构架(刚接)



(d) 24 m 三门格构式钢管构架(铰接)

图 1 4 种变电构架型式

表 1 变电构架主要尺寸

m

构架类型	13 m 六门变电构架	24 m 三门变电构架
出线挂点高	14	14
出线挂点高	18	18
出线挂点高	13	24
柱根开	3	2.96

2 门形出线构架选型

2.1 构架结构验算

目前国内外计算变电出现构架的方法主要有 2 种:一是平面简化算法,二是空间算法。由于平面简化计算精度不高,手算工作量较大,目前一般较少应用。而随着计算机应用的普及,变电构架静力分析计算一般通过各种平面或空间结构计算分析程序完成。与平面计算相比,空间计算更加符合结构实际受力性能,计算结果更加精确,设计可靠度更高。本文以 220

kV 人字柱门形出线构架为对象,分别采用图 1 所示的各种结构型式,考虑多种工况下受力情况,运用 SAP2000 有限元分析程序进行整体计算,进行计算结果对比,以确定一种较为合理的结构型式。

2.2 荷载参数

本文分析时,钢材材料均为 Q235B。共有 12 个设计工况,分别为大风(0°)、大风(90°)、覆冰(0°)、安装(0°)、检修(0°)、验算(0°)、大风(0°)-转角 5°、大风(90°)-转角 5°、覆冰(0°)-转角 5°、安装(0°)-转角 5°、检修(0°)-转角 5°、验算(0°)-转角 5°。荷载模式只考虑不同工况下的导线荷载、地线荷载以及风荷载。

$$\omega_0 = v^2 / 1600 \quad (1)$$

$$\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (2)$$

由式(1)求得基本风压,然后参照《建筑结构荷载规范》^[6]中风压标准值计算式(2),立柱、地线支架及水平桁架梁等杆件的风荷载为各风荷载标准值乘以杆件直径,转化为各杆件上的线荷载;导线荷载及地线荷载按荷载表给出的荷载值,采用节点力的方式施加在导线挂点处。

考虑最不利荷载组合,按《建筑结构荷载规范》,取 1.2×永久荷载+1×活荷载+1.4×风荷载,各工况下导线挂点荷载、地线挂点荷载如表 2 所示。工况 1 至工况 12 分别为大风(0°)、大风(90°)、覆冰(0°)、安装(0°)、检修(0°)、验算(0°)、大风(0°)-转角 5°、大风(90°)-转角 5°、覆冰(0°)-转角 5°、安装(0°)-转角 5°、检修(0°)-转角 5°、验算(0°)-转角 5°。X、Y、Z 且分别为水平拉力、侧向风压和垂直荷载。

表 2 荷载参数

工况名称	风速 / (m·s ⁻¹)	导线挂点荷载 /kN			地线挂点荷载 /kN		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1	30	21	5.18	5.04	8.4	1.4	0.6
2	30	22.3	0	5.04	8.75	0	0.6
3	10	21	2.8	7.28	8.4	0.84	1.16
4	10	18.9	2.14	5.04	7.56	0.63	0.6
5	10	18.9	2.14	5.04	7.56	0.63	0.6
6	10	15	1.7	4.2	6	0.5	0.5
7	30	20.9	7.01	5.04	8.37	2.13	0.6
8	30	22.2	1.83	5.04	8.72	0.73	0.6
9	10	20.9	4.63	7.28	8.37	1.57	1.16
10	10	18.8	3.79	5.04	7.53	1.29	0.6
11	10	18.8	3.79	5.04	7.53	1.29	0.6
12	10	14.9	3.01	4.2	5.98	1.02	0.5

2.3 计算结果分析

运用 SAP2000 有限元分析软件,按照空间杆系结构进行建模,建模时选择梁单元和杆单元。分别对 4 种

型式模型开展受力分析,考虑结构 P-Δ 效应,得到不同工况下相应的计算结果。提取不同工况对应的主要受力杆件的综合应力比和杆件位移,绘制成表,进行对比分析。13 m 三门变电构架计算结果如表 3 所示,24 m 三门变电构架计算结果如表 4 所示。

(1) 当变电构架横梁采用单根钢管梁时,梁跨为 13 m 六门变电构架主要杆件的综合应力比明显小于采用格构式角钢梁。说明采用单根钢管梁时,构件的利用率较低,安全裕度较大。而采用格构式角钢梁时,各杆件利用率较高,能充分发挥构件的承载能力,且都在构件的安全限值以内。

(2) 对于 2 种构架横梁型式,梁、柱的连接方式均为刚接,各主要杆件的位移变化小于 10%,且都没超出位移限值。说明人字柱变电构架,各杆件的位移受构架梁型式的影响较小。

(3) 当变电构架横梁采用格构式钢管梁时,梁跨为 24 m 三门变电构架梁、柱节点采用铰接连接时各主要杆件的综合应力比明显小于刚接。说明采用铰接连接时,各杆件的利用率较低,安全裕度较大。

(4) 2 种连接方式所对应的各主要杆件的位移,梁、柱铰接连接时比刚接大 10% 以上,但都没超出位移限值。说明人字柱变电构架,各杆件的位移变化主要与梁、柱节点连接形式有关。

(5) 对于不同梁跨度和不同横梁型式的人字柱变电构架,最大位移和最大应力比的控制工况都是大风工况,且构架梁两端人字柱的应力比和位移小于中间人字柱。

2.4 经济性对比

(1) 220 kV 人字柱变电构架采用单根钢管梁时,所用构件规格较大,且用钢量较多,构件重量也大。同时因构架梁跨度较大,其梁断面尺寸也较大,构架梁与人字形柱头的连接较难处理,接头复杂,耗钢量也多。

(2) 使用格构式钢管梁时,梁、柱铰接连接与刚接连接用钢量近似,且构件规格较小,便于安装和防腐。较刚接连接,铰接连接时构件安全裕度高。

各变电构架的用钢量如表 5 所示。

综合上述各个方面对比发现,在相同荷载作用下,220 kV 人字柱变电构架采用单根钢管梁时,杆件的利

表 3 13 m 三门变电构架计算结果表

节点位置	综合应力比 /%		位移(0°)/mm		位移(5°)/mm		限值 /mm	控制工况
	角钢	钢管	角钢	钢管	角钢	钢管		
人字柱 1	70.29	79.93	21.59	20.93	26.37	27.15	70	工况 8
人字柱 2	80.79	71.05	36.93	39.01	42.29	40.9	70	工况 1
人字柱 3	75.58	65.93	34.27	36.9	40.42	39.36	70	工况 1
人字柱 4	75.86	67.42	34.7	37.01	40.6	38.95	70	工况 1
人字柱 5	75.78	67.13	34.3	37.07	40.71	38.71	70	工况 1
人字柱 6	80.74	74.29	37.48	39.4	42.86	41.63	70	工况 1
人字柱 7	44.01	44.3	21	20.26	25.91	28.73	70	工况 7
横梁 1	100	74.58	53.79	43.1	46.22	58.38	65	工况 2
横梁 2	89.64	75.92	44.51	45.43	48.27	47.38	65	工况 2
横梁 3	76.65	65.32	45.53	44.17	47.17	48.86	65	工况 2
横梁 4	88.09	66.25	45.63	44.22	47.28	49	65	工况 2
横梁 5	92.47	72.83	44.32	45.74	48.74	47.72	65	工况 2
横梁 6	98.51	75.43	56.19	43.11	46.05	59.53	65	工况 1

表 4 24 m 三门变电构架计算结果表

节点位置	综合应力比 /%		位移(0°)/mm		位移(5°)/mm		限值 /mm	控制工况
	刚接	铰接	刚接	铰接	刚接	铰接		
人字柱 1	52.71	37.7	16.4	15.76	18.94	16.28	70	工况 8
人字柱 2	82.17	77.64	31	37.39	32.22	37.62	70	工况 1
人字柱 3	83.03	78.16	31.04	37.28	32.3	37.58	70	工况 1
人字柱 4	53.78	37.28	15.53	16.5	17.5	17.33	70	工况 8
横梁 1	53.15	66.68	44.28	49.13	45.6	49.3	65	工况 2
横梁 2	83.16	62.57	45.53	52.82	46.73	49.65	65	工况 2
横梁 3	82.72	58.66	44.22	49.51	45.48	52.91	65	工况 1

表 5 变电构架用钢量

结构型式		用钢量
13 m 六门	单根钢管梁	60.6
	格构式角钢梁	57.6
24 m 三门	钢管梁(刚接)	19.0
	钢管梁(铰接)	19.6

用率较低,安全裕度高,但采用单根钢管梁时,钢管梁管径较大,安装及镀锌较为困难。而采用格构式角钢梁时,杆件的利用率高于单根钢管梁时,且没有超出构件的安全承载力。格构式角钢梁由多根小角钢相连,节点采用节点板螺栓连接,构件尺寸小、自重轻,制作、运输及防腐处理很方便,但其杆件种类和数量较多,现场拼装工作量将增大,安装周期较长,而且角钢结构风阻大,外形也不够美观。

格构式钢管构架,其整个结构均由较小钢管组成,弦杆节点采用法兰盘螺栓连接,腹杆采用节点板螺栓连接或直接焊接,构件尺寸小、自重轻,制作、运输及防腐处理也很方便。杆件种类和数量较全角钢构架少,杆件刚度好,风阻较小,立面简洁,外形美观。对格构式钢管构架而言,腹杆受力较小,利用率较低。而采用角钢腹杆较采用钢管腹杆能节约投资,降低总造价。而且角钢腹杆比钢管腹杆布置灵活,钢管腹杆仅能布置成单斜杆,局限性很大,安装及热镀锌较角钢繁琐。角钢腹杆则布置多样化,适应性强,可依据不同分段采用不同的布置方式,能有效减小弦杆断面尺寸,使得塔柱更为美观。因此,对于 220 kV 人字柱变电构架,采用钢管弦杆,角钢腹杆的格构式钢管梁无论是经济性,还是建筑外观都较优越。

3 结束语

(1) 梁、柱节点刚接时,220 kV 人字柱变电构架

横梁采用格构式角钢梁较单根钢管梁杆件利用率高,安全裕度较低。但工程综合成本较低,安装、输送及防腐较为简便。

(2) 220 kV 人字柱变电构架梁采用格构式钢管梁时,梁、柱节点刚接杆件利用率高于铰接,安全裕度较低,且用钢量近似相同。

(3) 220 kV 人字柱变电构架在荷载作用下各杆件的位移主要与梁、柱节点的连接方式有关。梁、柱节点铰接时,构架柔度较大,各杆件位移较大。

(4) 提出一种较为合理的 220 kV 人字柱变电构架型式:构架梁采用格构式钢管梁,钢管弦杆,角钢腹杆,梁、柱节点铰接,构架整体安全裕度高,经济性好,外观美观,且运输、安装方便,可为以后类似工程提供参考。

参考文献:

- [1] 中南电力设计院. 变电构架设计手册[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,2006:49-54.
- [2] NDGJ 96-92 变电所建筑结构设计技术规定[S].1993.
- [3] 陈传新,刘素丽. 750 kV 变电构架结构选型[J]. 电力建设,2007,28(5):33-35.
- [4] 卢海陆,刘广鹏,张津荣. 变电构架中高架柱与人字柱的节点优化[J]. 低温建筑技术,2011,33(3):65-67.
- [5] 朱朝阳,靳振宇. 变电构架的空间分析[J]. 武汉大学学报:工学版,2010,43(S):110-112.
- [6] GB 50009—2012 建筑结构荷载规范[S].

作者简介:

李国文(1980),男,内蒙古赤峰人,高级工程师,从事输电线路工程设计及评审等相关研究工作;

窦杰(1978),男,江苏宿迁人,高级工程师,从事输电线路工程设计及运行维护等相关工作;

张大长(1971),男,浙江新昌人,教授,从事土木工程相关教学及科研工作。

Selection of 220 kV Substation Truss-column Structures-Lattice Beam

LI Guowen¹, DOU Jie², ZHANG Dachang³

(1. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210008, China;

2. Jiangsu Suqian Electric Power Company, Suqian, 321300, China;

3. Nanjing University of Technology, Nanjing 211816, China)

Abstract: Taking 3-span and 6-span 220 kV truss-column frames as example, four types of commonly used substation frames are proposed and designed in this paper, and related finite element analyses are performed to study their force mechanism. The horizontal beam types and beam-to-column connections of different frames are investigated and compared. The research results indicated that, when beam and column is fix-connected, the usage of latticed angled beam is higher than tubular beam; when latticed tubular beam is used, the member usage of fixed frame is higher than pin-ended frame. The frame with pinned beam-to-column joints is flexible. Lastly, the reasonable 220 kV truss-column structure type is recommended, with latticed tubular beam, angle braces, and pin-ended beam-to-column joints.

Key words: 220 kV substation; substation truss-column structure; Structure type