

拓扑结构在钢铁企业发电节点网络的应用

刘精宇¹, 常 勇²
(1. 东北大学 国家环境保护生态工业重点实验室, 辽宁 沈阳 110819; 2. 山西太钢不锈钢股份有限公司 炼铁厂, 山西 太原 030003)

摘 要: 以钢铁企业电力能源管理为背景,应用拓扑学知识建立了钢铁企业的分布式发电节点网络结构,给出了网络拓扑结构的评价体系,提出了网络结构的优化原则. 分析表明,节点(指干熄焦发电、燃气蒸汽联合循环发电机组(CCPP)、高炉)之间和各自设备蒸汽管道、煤气管道的距离越短越好,干熄焦设备、CCPP、高炉设备的地理位置应在一条直线上. 依据优化原则得出最适合钢铁企业的6种发电节点网络的拓扑结构,实现了结构空间上的优化,进而为企业降低了能源消耗,减少了电力经济成本.

关 键 词: 能源利用;电力;发电节点;拓扑结构;钢铁企业

中图分类号: TK 018 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2015)02-0241-04

Application of Topological Structure to Power Generation Nodes in Iron and Steel Plant

LIU Jing-yu¹, CHANG Yong²
(1. SEP Key Laboratory on Eco-industry, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Ironmaking Plant, Shanxi Taigang Iron & Steel Co., Ltd., Taiyuan 030003, China. Corresponding author: LIU Jing-yu, E-mail: hst_ljy@163.com)

Abstract: Against a background of electrical energy management of iron and steel plant, the distributed network structure of power generation nodes was established by using topology knowledge in iron and steel plant, with its evaluation indices given. Then, the principle of optimizing the network structure was proposed. It is shown that the distance between the nodes (coke dry quenching power generation, combined cycle power plant (CCPP) and blast furnace) and between the equipment such as steam pipe, gas pipe are as short as possible. The coke dry quenching equipment, CCPP and blast furnace should be located in a straight line. Six kinds of topological structures most suitable for iron and steel plant were developed on the basis of the optimization principle, thus reducing the energy consumption and the electricity cost.

Key words: energy use; electricity; power generation node; topological structure; iron and steel plant

钢铁企业生产流程中会产生很多余压、余热、余能资源(主要包括高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气),提高这些能源的利用率对节能减排具有重要意义^[1]. 很多钢铁联合企业都加强了对余热余能的回收利用,提高其电力转换效率,但却忽视了彼此之间形成的电力网络结构的协同性. 电力网络结构的不完善会对电力系统的稳定性产生不良影响^[2],还会导致余热余能质的使用不够充分,进而降低产电效率,增加了外购电的电力成本.

本文以钢铁企业电力能源管理为背景,应用图论知识构建了钢铁企业分布式发电电力节点的网络拓扑结构,对若干可能的拓扑结构进行了深入分析,建立了电力发电节点网络拓扑结构的评价体系,给出了最适合钢铁企业的电力网络拓扑结构. 这种结构实现了钢铁联合企业电力系统的空间优化.

1 图论的基本概念

图论是拓扑学的一个分支,主要是通过由点

和线组成的图形,构成模拟物理系统的模型,并根据图性质进行分析,提供研究各种系统的巧妙方法^[3]. 利用图论知识对电力系统网络进行拓扑结构分析能够有效提高分析电力系统问题的效率,如电力系统分析计算中的拓扑分解及网络划分^[4-8]. 因此图论成为电力网络系统拓扑分析中最重要的方法.

设电网共有 n 个发电节点,其实际连接结构可用矩阵 $C = (c_{ij})_{n \times n}$ 来表示. 元素 c_{ij} 表示下标所示节点间的连接情况; $c_{ij} = 1$ 表示下标所示节点间有支路连接; $c_{ij} = 0$ 表示下标所示节点间无支路连接. 任何复杂程度不同的电力系统结构都可以用图来表示. 设图 G 表示图,则有 $G \{V, E, I\}$. 式中: V 表示图的顶点,相当于电力网络节点; E 表示图的边,相当于电力网络的节点路径; I 表示顶点和边的关联性,相当于电力网络节点和节点连接的关系,如路径、权值等. 环:自身节点出发,回到自身节点的有向边. 环表示节点自身的属性,比如燃气-蒸汽联合循环发电 (CCPP) 发电节点自身的蒸汽管道距离、权值等. 若一个图有 n 个节点,则其具有 $n(n-1)$ 个网络拓扑结构.

2 拓扑结构在钢铁企业分布式节点网络中的应用

钢铁联合企业的节能发电设备可以构成一个电力系统网络 (如图 1 所示):CCPP 发电设备利用的是焦炉煤气和高炉煤气,因此节点 CCPP 与干熄焦发电和高炉炉顶余压发电两个节点的连线为实线;而那些彼此不关联、无影响的发电设备之间用虚线连接.

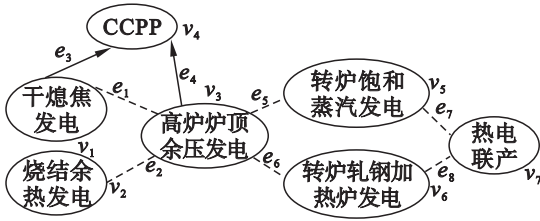


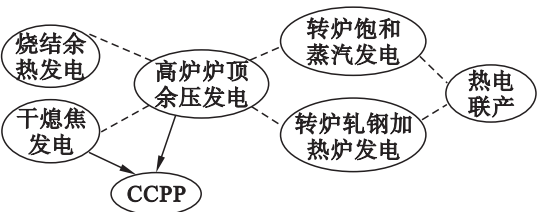
图 1 发电节点第 1 种网络拓扑结构
Fig. 1 The first network topological structure of power generation nodes

图 1 中电力网络结构共有 7 个发电节点,具有网络拓扑结构 42 种,其实际连接情况可用结构矩阵 C 来表示:

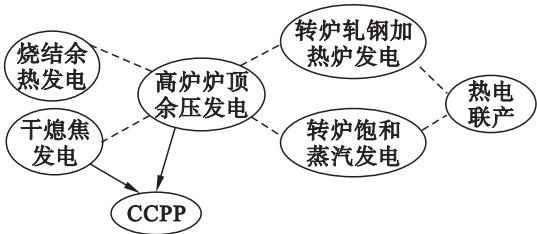
$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

在钢铁联合企业里,大部分发电设备是利用余热产生的蒸汽带动发电机 (TRT (高炉炉顶煤气余压透平发电装置) 除外) 来发电,因此,在矩阵 C 中,对角线上 ‘1’ 代表每个发电节点的自身蒸汽管道大小 (TRT 除外, c_{33} 代表高炉煤气出口直至 TRT 发电设备透平机的管道路径长短), c_{14} 代表提供给 CCPP 发电设备的焦炉煤气管道长短, c_{34} 代表提供给 CCPP 发电设备的高炉煤气管道长短.

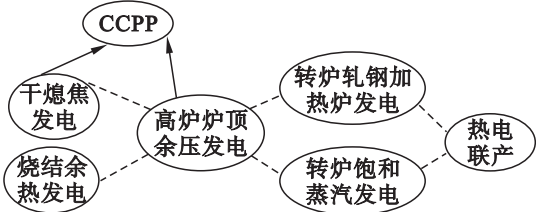
按照发电设备地理位置顺序组成的配置有 14 种. 除了图 1 所示的第 1 种配置,其他 2 ~ 14 种配置如图 2 所示.



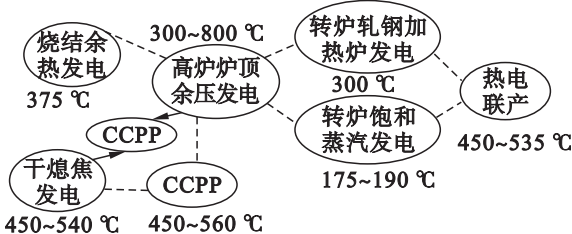
第2种配置



第4种配置



第3种配置



第5种配置

(图中所示温度为节点产生的蒸汽温度)

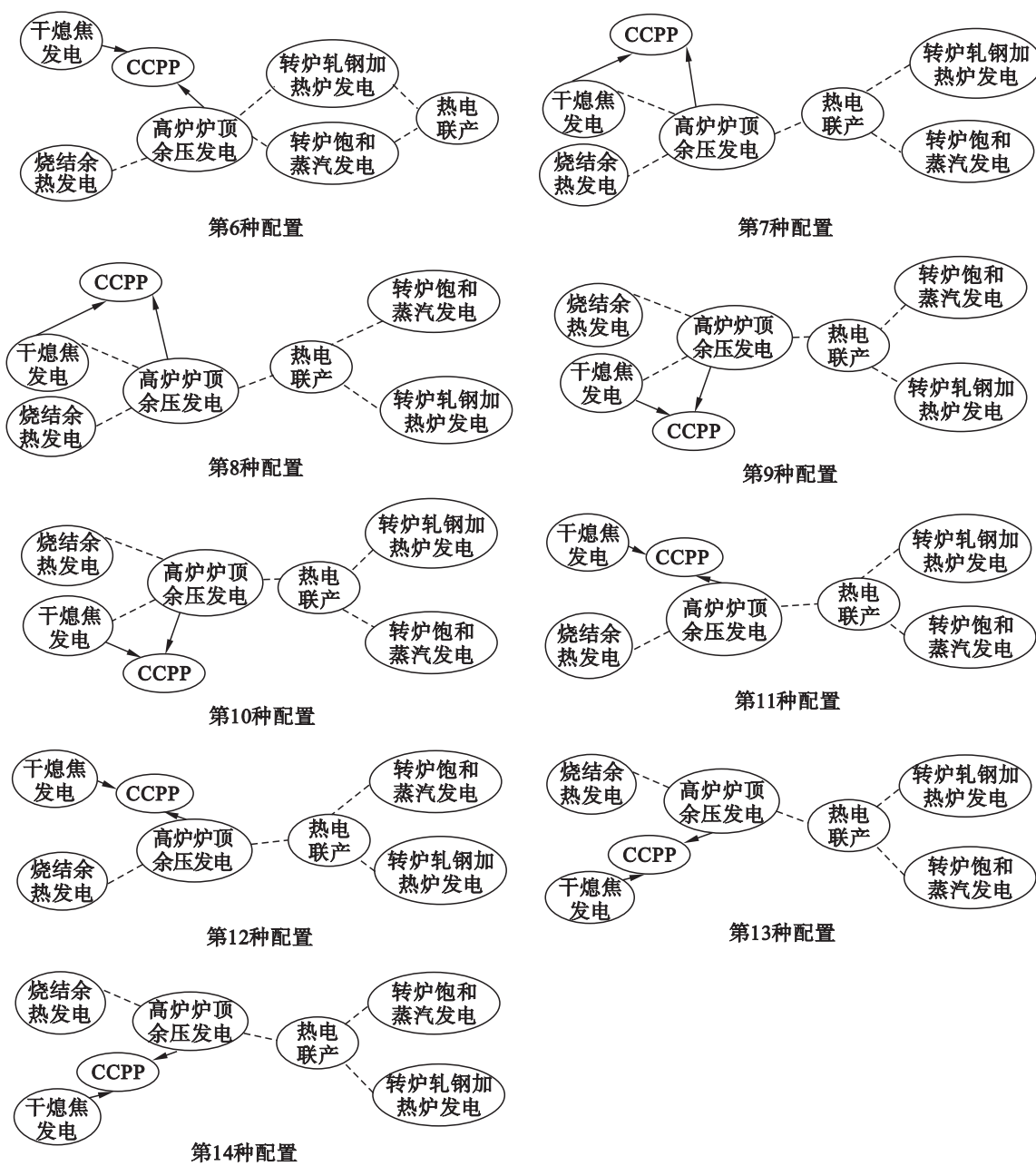


图 2 发电节点的配置

Fig. 2 Layout of power generation nodes

针对某特定钢铁联合企业(该公司发电机组是固定的),采集了上述不同配置下路径的数据,见表 1.

第 2 种配置中, c_{14} 用 c_{22} 替代, c_{22} 用 c_{24} 替代;第 5 种配置中, c_{22} 用 c_{24} 替代;第 9 种配置中, c_{14} 用 c_{22} 替代, c_{22} 用 c_{24} 替代;第 13 种配置中, c_{14} 用 c_{22} 替代, c_{22} 用 c_{24} 替代;第 14 种配置中, c_{14} 用 c_{22} 替代, c_{22} 用 c_{24} 替代.

通过表 1 可以看出,第 5,6,11,12,13 和 14 种配置的总长度发生了变化,且发电量也比其他配置有明显优势;而其他配置的总长度没有变化,发电量也没有明显变化.从表中数据还可以看出,

干熄焦设备、CCPP 设备、高炉彼此之间的地理位置对发电量有重要影响.经过验证,蒸汽在地域相隔 2 km 的管网里压差为 1.37 MPa,温差为 20 ℃,从而导致压力、焓值都降低,进而影响做功能力,导致发电量降低.干熄焦设备、CCPP 设备、高炉三者之间的距离过远,会导致焓值降低,蒸汽参数不匹配,能级降低,进而降低发电量.在数学上,有三角形中两边之和大于第三边的定理,因此干熄焦设备、CCPP、高炉设备地理位置在一条直线上最好.综上可知,第 5,6,11,12,13 和 14 种配置最好.

表 1 14 种配置的比较
Table 1 Comparison of 14 kinds of layout

配置类型	c_{11}	c_{14}	c_{22}	c_{33}	c_{34}	c_{44}	c_{55}	c_{66}	c_{77}	总长/km	发电量/(kW·d ⁻¹)
第 1 种	1	3	0.8	1	4	2	0.5	0.6	0.7	13.6	35 660
第 2 种	0.8	1	3	1	4	2	0.5	0.6	0.7	13.6	35 660
第 3 种	1	3	0.8	1	4	2	0.6	0.5	0.7	13.6	35 660
第 4 种	0.8	1	3	1	4	2	0.6	0.5	0.7	13.6	35 660
第 5 种	0.8	1	2	1	3	2	0.5	0.6	0.7	11.6	38 800
第 6 种	1	2	0.8	1	3	2	0.5	0.6	0.7	11.6	38 800
第 7 种	1	3	0.8	1	4	2	0.7	0.6	0.5	13.6	35 660
第 8 种	1	3	0.8	1	4	2	0.7	0.5	0.6	13.6	35 660
第 9 种	0.8	1	3	1	4	2	0.7	0.5	0.6	13.6	35 660
第 10 种	0.8	1	3	1	4	2	0.7	0.6	0.5	13.6	35 660
第 11 种	1	2	0.8	1	3	2	0.7	0.6	0.5	11.6	38 800
第 12 种	1	2	0.8	1	3	2	0.7	0.5	0.6	11.6	38 800
第 13 种	0.8	1	2	1	3	2	0.7	0.6	0.5	11.6	38 800
第 14 种	0.8	1	2	1	3	2	0.7	0.5	0.6	11.6	38 800

以第 6 种配置为例,缩短 TRT 高炉煤气出口至发电设备透平机的管道路径及转炉饱和蒸汽发电设备、轧钢加热炉、热电联产的蒸汽管道距离后的发电量如表 2 所示.

表 2 第 6 种配置缩短管道距离前后发电量的比较
Table 2 Comparison of power generation before/after shortening pipeline of the sixth layout

管道状态	c_{11}	c_{14}	c_{22}	c_{33}	c_{34}	c_{44}	c_{55}	c_{66}	c_{77}	总长/km	发电量/(kW·d ⁻¹)
缩短前	1	2	0.8	1	3	2	0.5	0.6	0.7	11.6	38 800
缩短后	1	2	0.8	1	3	1.9	0.4	0.5	0.6	11.2	40 980

通过表 2 可以看出,缩短管道距离后,每天发电量增加了 2 180 kW,可见各自设备蒸汽管道、煤气管道的距离是影响发电量的重要因素.

3 结 论

1) 在钢铁联合企业中,余热余能发电节点之间(指干熄焦发电、CCPP、高炉三者)和各自设备蒸汽管道、煤气管道的距离是一个重要因素,还要考虑热工中温度、压力、焓因素.由于节点之间及管道距离过远会导致焓值降低,蒸汽参数不匹配,进而影响发电量;因此节点之间的距离越近越好,从而实现最大能级阶梯式利用.

2) 干熄焦设备、CCPP、高炉设备地理位置在一条直线上较好.

3) 在蒸汽使用环节上,高、中温蒸汽用来发电,低温蒸汽供给相应的用户.

参考文献:

[1] Metz B,Davidson O,Swart R,et al. Climate change 2001: mitigation, contribution of working group III to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate

change(IPCC) [M]. London: Cambridge University Press, 2001: 8 – 38.
[2] Kinney R, Crucitti P, Albert R, et al. Modeling cascading failures in the North American power grid [J]. *The European Physical Journal: B*, 2005, 46 (1): 101 – 107.
[3] Hubballi N, Biswas S, Roopa S, et al. LAN attack detection using discrete event systems [J]. *ISA Transactions*, 2011, 50 (1): 119 – 130.
[4] Paris M, Bose A. A topology that tracks network modifications over time [J]. *IEEE Transactions on Power Systems*, 1988, 3 (3): 992 – 998.
[5] Bi T, Ni Y, Shen C M, et al. Efficient multiway graph partitioning method for fault section estimation in large-scale power networks [J]. *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, 2002, 149 (3): 289 – 294.
[6] Zhu Y L, Sidhu T S, Yang M Y, et al. An AI-based automatic network topology processor [J]. *Electric Power Systems Research*, 2002, 61 (1): 57 – 65.
[7] Xu N, Huang A P, Hou T W, et al. Coverage and connectivity guaranteed topology control algorithm for cluster-based wireless sensor networks [J]. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2012, 12 (1): 23 – 32.
[8] Xiong Y, Gu Z, Jin W. Research and implement of an algorithm for physical topology automatic discovery in switched Ethernet [J]. *Physics Procedia*, 2012, 33: 252 – 257.