

Optimal Selection of Vacuum System for Distributed Wellhead Geothermal Power Plants at Olkaria in Kenya

Zhengmin Cai, Xuening Li, Qiang Long, Xingcai Li, Jiwei Zhu, Yonglong He

Branch of Engineering Service, CNPC Great Wall Drilling Company, Beijing
Email: 80129348@qq.com

Received: Feb. 17th, 2015; accepted: Feb. 28th, 2015; published: Mar. 6th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

A comparative analysis on the design of vacuum system has been performed. Several schemes of design were proposed. By the comparative analysis on vacuum systems in geothermal power plants, a conclusion has been presented based on the steam parameters at Olkaria in Kenya, which provides a theoretical basis for the design of geothermal plants at this area.

Keywords

Geothermal Power Plant, Geothermal Steam, Steam Parameter, Vacuum System

肯尼亚Olkaria地热资源井口分布式地热电站抽真空系统的优选

蔡正敏, 李雪宁, 隆强, 李兴财, 朱继伟, 何永龙

中国石油集团长城钻探工程有限公司工程服务公司, 北京
Email: 80129348@qq.com

收稿日期: 2015年2月17日; 录用日期: 2015年2月28日; 发布日期: 2015年3月6日

摘要

本文对地热电站中的抽真空系统设计方案进行了对比分析，给出了地热电站不同的抽真空系统的设计方案。最后以肯尼亚Olkaria地区的地热蒸汽参数为例对地热电站中的抽真空系统进行了对比分析并给出了结论，为该地区的地热电站的设计提供了理论基础。

关键词

地热电站，地热蒸汽，蒸汽参数，抽真空系统

1. 引言

地热电站中热机部分设计范围包括：地热井口至汽机棚蒸汽系统、汽机棚内蒸汽及疏水系统、抽真空系统、循环冷却水系统、调节保安润滑油系统等。其中由于地热蒸汽中含有大量的不凝结气体以及由于设备运行起来后少量的空气的渗入会严重影响汽轮机的工作效率，因此需要不断的抽出不凝结气体，因此抽真空系统是整个设计中一个重要环节。

2. 地热电站中不凝结气的来源和组份

地热电站中的不凝结气主要有三个来源：蒸汽本身携带有 N_2 、 CO_2 、 H_2 、 H_2S 等；轮机轴封及负压管道的密封面会渗入少量空气；冷却水进入混合式凝汽器时由于压力降低也会析出其溶解的空气。这些气体在凝汽器中无法凝结成液体，不断积聚不仅破坏凝汽器的真空，而且影响凝汽器的换热效率，从而导致凝汽器不能正常工作，因此需要将这些不凝结气体不断抽出，以保证凝汽器的真空度和换热效率，使汽轮机高效运行。

3. 抽真空系统的分类

抽气设备是汽轮机组的主要辅助设备之一，机组在启动和正常运行时，抽气设备都要投入运行。抽气设备按工作原理可分为射流式和容积式两大类。根据工作介质的不同，射流式抽气器可分为射汽式和射水式两种。容积式抽气器分为液环式真空泵和机械离心式真空泵。国内电站的小机组一般采用射汽抽气器，大型再热单元制机组一般用射水抽气器，近年来大机组开始应用液环式真空泵[1]。

4. 肯尼亚 Olkaria 地热蒸汽参数

本文以肯尼亚奥卡瑞地热田完钻的某蒸汽井地热蒸汽设计的地热电站中的抽真空系统为优选对象。对于该地热井，地下热储温度维持在 $308^{\circ}C$ 左右，井口蒸汽温度为 $160^{\circ}C$ 左右，压力在 6 bar，干度在 70% 左右。

根据本工程汽源奥卡瑞地热井所产蒸汽中不凝结气体的含量，计算出每台机组的抽气工况参数和抽气组分分别如表 1 和表 2 所示。

通过对国内外地热电站的调研，在该抽气参数和组分下，抽真空设备采用射汽抽气器和真空泵在技术上都是可行的，故拟定了两种抽真空系统方案，通过比选确定具体采用哪种设备。

5. 不同抽真空系统的对比

(1)方案一：两级射汽抽气器

Table 1. Operating parameters of NCG extractor in a single unit

表 1. 单元机组抽气工况参数

序号	名称	单位	值
1	抽气压力	kPa(绝压)	10
2	抽气温度	°C	35
3	抽气量	m ³ /h(工况)	4100

Table 2. Constituent of NCGs [2]

表 2. 单元机组抽气组分[2]

组分	水蒸气	CO ₂	N ₂	H ₂ S	H ₂	CH ₄	空气
体积%	80.000	11.612	3.932	0.116	0.016	2.324	2.000
质量%	67.675	24.011	5.173	0.185	0.012	0.218	2.726

射汽抽气器由工作喷管、混合室和扩压管组成。工作蒸汽进入工作喷管，在其中降压增速，使混合室形成高度真空，混合室的入口与凝汽器抽气口相连，抽气口处蒸汽、空气混合物不断地被吸入混合室，由高速气流夹带着前行进入扩压管，在扩压管中气体的动能转化为压力能，速度降低，压力升高，蒸汽、空气混合物最终排入大气或者中间冷却器。

本地热电站采用两级射汽抽气器，由 3 台 50% 容量的一级射汽抽气器、一台 100% 容量的一级混合式凝汽器和 3 台 50% 容量的二级射汽抽气器、一台 100% 容量的二级混合式凝汽器以及相应的管路、阀门组成。

其中射汽抽气器均为两台运行，一台备用。一级射汽抽气器将主凝汽器(绝压 0.01 MPa)内的气体抽出排至一级混合式辅凝汽器(绝压 0.034 MPa)，再由二级射汽抽气器将一级混合式辅凝汽器中的气体抽出排至二级混合式辅凝汽器(绝压 0.105 MPa)，不凝结气体通过二级混合式辅凝汽器排至冷却塔顶部，经过风机扰流后排入大气，使 H₂S 等有害气体充分扩散。

(2) 方案二：水环真空泵

水环真空泵属容积式泵，即利用容积大小的改变达到吸、排气的目的，它是将叶轮偏心地装在泵体内，当叶轮旋转时水受离心力的作用，泵体壁上形成一个旋转水环，水环上部内表面与轮毂相切，在旋转的过程中，叶片间的空间容积发生改变，每个叶片间的水好像活塞一样往复一次，泵就连续不断地抽吸气体，配有防爆电机时，可抽吸易燃、易爆的气体，当泵体的材料为耐腐蚀材料时，可以抽吸具有一定腐蚀性的气体。

由于国际上规定水环真空泵的标准工况为：进气压力 101.3 kPa；进气温度 20°C；工作液采用清水，水温 15°C；进气相对湿度 100%。本工程所在地大气压力为 77.4 kPa，实际抽气温度 35°C，冷却塔所能提供的水温为 25°C，均偏离水环真空泵的标准工况，因此选型时需要抽气量进行修正。修正后的计算结果如表 3 所示。

根据修正后的计算结果，选择 2BE1-303 型水环真空泵，转速 740 r/min，工况下轴功率 84 kW，用水量 10 m³/h。工作液在水环真空泵中起到密封和冷却作用，工作液和真空泵排气一起经真空泵排气口排出。

(3) 两种方案的比选

两种方案的主要技术和经济因素对比见表 4。

方案二与方案一相比：

(a) 方案二的建设初投资约是方案一的两倍，但其折算电耗只有方案一的 28%，考虑能耗因素后折算的 20 年费用现值只有方案一的 38%，故方案二在经济上优势明显；

(b) 方案二设备更加紧凑，占地面积约是方案一的一半；

Table 3. Computed results for vacuum pump selection

表 3. 真空泵选型计算结果

序号	名称	单位	值
1	进气压力	kPa	10.0
2	排气压力	kPa	77.4
3	修正吸入压力	kPa	13.088
4	进气温度	℃	35
5	进气温度修正系数	—	1.47
6	工作液温度	℃	25
7	工作液温度修正系数	—	0.83
8	工况气量	m ³ /h	4100
9	修正气量	m ³ /h	3360

Table 4. Comparison of two different vacuum scheme

表 4. 抽真空系统方案对比表

序号	比较项	单位	方案一	方案二
1	设备占地	m ²	15	8
2	管线安装	—	复杂	简单
3	运行调节	—	困难	简单
4	每台建设投资	万元	50.04	103.47
5	蒸汽耗量	kg/h	2560	—
6	耗电量	kW	—	84
7	折算电耗	kW	299	84
8	折算 20 年费用现值	万元	1089.19	418.24

注：方案一折算耗电量 = 蒸汽耗量/汽耗率，汽轮机汽耗率约为 8.55 kg/kW·h。

(c) 方案二由于辅助设备少，管线安装简单，整体效果美观；

(d) 由于方案一射汽抽气器的工作蒸汽接自主蒸汽管道，因此其工作会受到主蒸汽压力的影响，运行调节较为困难，相比之下真空泵的工作更为稳定。

通过以上对比可见，方案二较方案一设备紧凑，安装及运行调节简单；考虑初次投资和运行能耗的 20 年费用现值更低。因此应采用方案二，即采用水环真空泵作为本机组的抽气设备。

6. 结论

本文详细地描述了地热电站中的不同的抽真空系统，给出了不同的抽真空系统的设计方案。最后以肯尼亚 Olkaria 地区高温地热蒸汽参数为设计参数的地热电站中的抽真空系统进行了对比分析并给出了结论，为该地区的地热电站的设计提供了理论基础。

基金项目

该项目为中国石油集团“可再生能源技术开发与应用研究”科研项目，课题名称：“肯尼亚地热开发技术研究与现场试验”，项目号：2012A-4906。

参考文献 (References)

- [1] 王勇 (2012) 汽轮机设备及运行维护. 机械工业出版社, 北京.
- [2] 长城钻探工程有限公司 (2014) 中国石油集团长城钻探工程有限公司肯尼亚地热发电项目 4×3 MW 井口先导试验电站可行性研究报告.