

A Brief Introduction on Distributed Geothermal Wellhead Power Plants at Olkaria Area in Kenya

Zhengmin Cai, Weidong Qiang, Dongmei Gao, Shen Zheng, He Li

Engineering Service Branch, CNPC Great Wall Drilling Company, Beijing
Email: caizhengmin_gwdc@163.com

Received: Oct. 27th, 2014; revised: Nov. 23rd, 2014; accepted: Nov. 30th, 2014

Copyright © 2014 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

This paper analyzed the feature of energy structures and current status of renewable energy development in Kenya. The characteristics of geothermal resource at Olkaria area were elaborated. A comparative study has been conducted on the technical differences between the central power plants and wellhead power plants. It was pointed out that the wellhead geothermal power plants were more suitable for the geothermal energy development at Olkaria in Kenya. This paper provides a scientific reference for the optimum selection of geothermal power production mode.

Keywords

Geothermal Energy, Resource Feature, Distributed Power Plant, Central Power Plant

浅谈分布式井口地热电站在肯尼亚Olkaria地区的应用

蔡正敏, 强卫东, 高冬梅, 郑申, 李贺

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: caizhengmin_gwdc@163.com

收稿日期: 2014年10月27日; 修回日期: 2014年11月23日; 录用日期: 2014年11月30日

摘要

本文分析了肯尼亚的能源结构特点及其可再生能源的开发现状,介绍了Olkaria地区的地热资源特点;对传统的集中式电站和新型分布式井口电站的技术特性进行了对比研究,指出分布式井口地热电站在肯尼亚Olkaria地区具有较好的应用前景,为地热电站的建站模式优选提供了科学参考。

关键词

地热能, 资源特征, 分布式电站, 集中式电站

1. 前言

截止到 2013 年, 肯尼亚总发电装机容量为 1672 MW, 按照能源种类划分, 水利发电装机容量是 820 MW、化石能源是 560 MW、地热是 255 MW、风电是 5 MW。肯尼亚现有发电容量[1]的统计分析见表 1。

肯尼亚水电装机容量在总装机容量中占最大比例 49.0%, 大多数水电站位于塔纳盆地, 盆地中水量不足容易造成供电不足。因此大力开发地热电站的建设是弥补肯尼亚电力缺口的重要措施。

2. 肯尼亚地热资源典型特征

肯尼亚地热资源十分丰富, 位于四大环球性的地热带中的红海 - 亚丁湾 - 东非裂谷地热带, 多为平均海拔 1000 米左右的熔岩高原, 位于东非大裂谷纵贯南北, 是世界上三大断裂带之一, 沿着断层带的地壳较薄, 热质接近地表。在地震引起的地壳弯曲条件下形成了受地幔岩浆加热的地下热水和蒸汽储层[2]。这些因素使肯尼亚拥有丰富的地热资源, 其地热资源分布及储量如图 1 所示。

肯尼亚 Olkaria 地区地热资源是目前肯尼亚唯一商业化发电利用的地热田, 地热田位于肯尼亚首都内罗毕西北约 125 km 的肯尼亚裂谷地热带内。该地热带是红海 - 亚丁湾 - 东非裂谷边缘高温地热带的重要组成部分。该地热田地质构造与奥尔卡里亚火山中心有关, 是一个火山喷发形成的开放性沉积岩隆起, 地热田边缘由弧形断层所围限, 形成一环状构造, 热源与火山活动有直接联系。

根据 Olkaria 地热资源的相关公开资料[3]可知, 该区域的地热资源具有以下特点:

1) 地热流体温度在 130℃~300℃之间; 2) 干度(含汽量)在 20% 以上, 甚至达到近 100%; 3) 单井产汽量 20 t/h 及以上。这些特点表明, 肯尼亚 Olkaria 地区的地热属于中高温的地热资源, 利用该地区地热田进行发电可大力缓解肯尼亚的电力紧张。地热田可以在较大的大面积内钻井, 这使得某些地热井的距离相对较远, 因此, 针对每一口地热井建立分布式井口地热电站还是将地热蒸汽汇集后建立传统的集中式地热电站是地热开发过程中必须综合考虑的基本问题之一[4]。有很多因素影响上述地热发电站的建设模式的选择, 如地形地貌, 地热流体参数以及技术经济性等。下面针对传统的集中式电站和新型分布式井口地热电站优缺点进行系统的对比分析。

3. 分布式井口电站与集中式地热电站的对比分析

集中式地热电站和分布式井口地热电站的对比分析可从资源的综合利用效率, 系统及设备的复杂性、适用性与可靠性, 投资开发成本和建站周期等方面进行系统考虑:

■ 地热资源的综合利用效率

对于同一地区的地热田, 不同位置的地热井开采出的地热流体温度仍可能差异较大[5], 对于集中式地热电站, 需要综合考虑不同地热井的资源差异, 在电站参数选择时, 通常选择电站参数使得更多的热

Table 1. The sources and total amount of electricity in Kenya (2012/2013)
表 1. 肯尼亚全国发电来源和发电量(2012/2013)

发电来源	装机容量		年发电量		
	MW	%	GWhrs	%	
可再生 能源	水电	820	49.0%	4299	53.1
	地热	255	14.9%	1599	19.8
	风能	5	0.3%	14	0.2
	热电联产	32	2.3%	72	0.9
	进口			42	0.5
	总计	1112	66.5%	6025	74.5
化石 能源	中速柴油机	452	27.0%	1720	21.3
	燃气轮机	60	3.6%	27	0.3
	高速柴油机(HSD)	18	1.1%	53	0.7
	应急电厂	30	1.8%	261	3.2
	总计	560	33.5%	2061	25.5
装机容量和发电量		1672 MW		8087 GWhrs	



Figure 1. The distributions and reserves of geothermal resources in Kenya [2]

图 1. 肯尼亚地热资源分布及储量[2]

井流体可以汇集到集中式电站进行发电，即便如此，仍无法兼顾所有地热井，这使得较低温度的地热井无法利用，而较高温度的地热井不得不降低参数造成资源浪费；当采用分布式井口地热电站时，井口电站的参数可根据不同地热井的参数分别进行优选，使得每口热井的能源都能得到最大化的利用，因此单从地热资源利用效率来看，分布式井口地热电站具有比较优势[6]。

■ 系统及设备的复杂性、适用性与可靠性

集中式电站在电站与热井之间需要远距离的地热流体输送管线，在输送过程中会产生部分能量损失；集中式电站由于汇集了来自不同热井的流体，可以采用大功率的汽轮机组，大型汽轮机组的热效率与分布式发电系统中采用的小型汽轮机相比，热效率较高；集中式机组的对于具有热流体参数相似并且距离相对较近的地热井具有比较优势。

分布式井口电站需要根据每口地热井的参数进行个性化的优化设计以实现热能利用最大化，这使得不同地热所需的汽轮机组及其辅助设备都要进行个性化定制或选型，相比较集中式电站而言，虽然不需要热流体管线，但增加了设备的种类和系统的复杂性。此外，在地形地貌相对复杂的区域铺设热力管线难度较大，也只能采用分布式井口地热电站。

在可靠性方面，集中式地热电站发生故障停车时，整个供电区域都会受到影响；对于分布式井口电站，单个井口电站故障并不影响其他井口电站的正常运行，因此故障影响区域相对较小，整个电力系统的稳定性较好。井口式地热电站井口电站单机功率小，主要设备均可实现撬装化，便于运输和拆卸。当地热井产能衰减过大时可方便地进行电站迁移；当需要进行集中建站的时候，也可以将模块化的单元发电机组进行组合，整体来说适应性较强。

此外由于井口地热电站的装机容量不是很大，并网时对现有电网不会带来很大的冲击。既可以承担电网的基本负荷，又可以承担调峰负荷，机组能够适应频繁启停的工况，给整个电网的运行调度带来方便。

■ 投资开发成本和建站周期

集中式地热电站由于汇聚了多个热井的地热流体，其发电容量相对较大，并且需要远距离流体输送管线。在建设周期方面，集中式电站需等待所有热井钻探完成并取得测井数据后进行设计，热力管线的建设需要也相对较长周期，导致整个电站的投资开发周期较长；对于分布式井口地热电站，单个井口电站的规模相对较小，而且不要热力输送管线，建站周期较快，对于较大的地热田，可以边打井边建电站，极大的缩短了地热资源的利用周期，并且分布式井口地热电站具有相对较强的便携性，当一口地热井产能持续降低不适合继续发电时，可以将井口式电站整体迁移到其他热井继续使用，相比于集中式地热电站，井口地热电站的投资相对较小，边开发便利用的建站模式将缩短整个开发周期并显著提高资金的利用效率和投资回报率[7]，因此，井口分布式地热电站在肯尼亚 Olkaria 地区具有较为广阔的应用前景。

4. 分布式井口地热电站在肯尼亚 Olkaria 地区的应用

分布式地热电站在肯尼亚Olkaria地区已经实现了成功应用，如由印度绿色能源公司建造的分布式电站地热电站位于肯尼亚Olkaria地热田的东北部，其装机容量为5.4 MW，该井口地热电站是由冰岛咨询公司进行指导建设的，基本情况如表2。

该地热电站采用转速为 6000 r/min 的高速汽轮机，汽轮机转子为整体锻装式，具有体积小，安装非常方便的优点。气液分离器采用图 2 所示的卧式分离器，凝汽器采用如图 3 所示的表面式凝汽器；抽真空系统采用了两级射汽抽气器方案冷却塔。

考虑到肯尼亚地热资源中腐蚀性气体很少，同时电站基本都修建在山的较高位置，由地热蒸汽中分离出来的不凝结气不易在生活区聚集，因此空气中腐蚀性气体浓度非常低。整个电站的冷却塔处不凝结气浓度相对较高，硫化氢气体经冷却塔顶部电扇吹除稀释后，其浓度仅为 1.9 ppm，远远低于世行规定的最低浓度指标 10 ppm，因此无需进行不凝性气体收集和额外的后续处理，厂房便采用了轻钢结构，易于拆卸和安装简单。考虑到井口式电站的便携要求，该电站的重要设备均采用了便于拆装的撬装式结构，便于拆卸运输和井口电站的整体迁移。

Table 2. The chart of main technical indicators
表 2. 主要技术指标表

序号	指标名称	单位	数值	备注
1	总装机容量	MW	5.4	
2	机组台数	台	2	
3	单台机组额定发电功率	MW	2.7	
4	单台汽轮机额定耗汽量	t/h	25.65	6 bar(a)饱和蒸汽
5	汽轮机汽耗率	kg/kWh	8.55	含汽封用汽
6	经济寿命	年	20	



Figure 2. The horizontal water/steam separator
图 2. 卧式汽水分离器



Figure 3. Surface condenser
图 3. 表面式冷凝器

5. 结论及建议

由于肯尼亚 Olkaria 地区同一地热田的不同地热井的资源品位差异，其井口最大可用能对应的井口压力并不相同，对于集中式电站，由于各井的参数差异，采用集中式电站必然要兼顾低产量井和高产量井，可能导致两方面的问题，一方面，某些低焓值热井，由于其温度压力参数较低，其蒸气无法并网到集中

式电站的机组进口，该类热井将直接被废弃；而高温压参数的地热井将不得不降低参数运行，造成资源利用率低。

分布式井口地热电站在肯尼亚 Olkaria 地区具有较好的适用性和比较优势，它仅需要根据每口热井的资源特性，确定其最佳井口参数和机组参数，能够实现每口地热井的热能利用最大化。并且，分布式井口地热电站具有建站周期短、配套设施投资低、建设和运行方式灵活的特点，更加适合地热田开发初期先导试验电站的建设，能够显著降低建站投资和建站周期，实现肯尼亚 Olkaria 地区的地热资源快速滚动开发。

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] Mohammed, Y.S., Mustafa, M.W. and Bashir, N. (2013) Status of renewable energy consumption and developmental challenges in Sub-Sahara Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **27**, 453-463.
- [2] Mwangi, S.M. (2013) Application of geochemical methods in geothermal exploration in Kenya. *Procedia Earth and Planetary Science*, **7**, 602-606.
- [3] Di Pippo, R. (2012) Geothermal power plant principles, applications, case studies and environmental impact. 3rd Edition, Elsevier.
- [4] Geirdal, C.A.C., Gudjonsdottir, M.S. and Jensson, P. (2015) Economic comparison of a well-head geothermal power plant and a traditional one. *Geothermics*, **53**, 1-13.
- [5] 西藏地热工程处 (译) (1988) 地热和地热发电技术指南. 水利电力出版社, 北京.
- [6] Coskun, C., Oktay, Z. and Dincer, I. (2011) Performance evaluations of a geothermal power plant. *Applied Thermal Engineering*, **31**, 4074-4082.
- [7] Yildirim, D. and Ozgener, L. (2012) Thermodynamics and exergoeconomic analysis of geothermal power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 6438-6454.