

ICS 27.180

F 15

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 10271—2019

地热发电系统热性能计算导则

Calculation guide for thermal performance of geothermal power generation systems

2019-11-04 发布

2020-05-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国能源
行业标准
地热发电系统热性能计算导则
NB/T 10271—2019

*

中国石化出版社出版发行
地址：北京市东城区安定门外大街 58 号
邮编：100011 电话：(010) 57512500
石化标准编辑部电话：(010) 57512453
发行部电话：(010) 57512575
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail: press@sinopec.com
北京艾普海德印刷有限公司印刷
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 38 千字
2020 年 1 月第 1 版 2020 年 1 月第 1 次印刷

*

书号：155114·1528 定价：25.00 元
(购买时请认准封面防伪标识)

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	3
5 计算步骤	3
6 热性能计算	4
附录 A（资料性附录） 我国现有地热发电系统示意图	8
参考文献	10

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规定起草。

本标准由能源行业地热能专业标准化技术委员会（NEA/TC29）提出并归口。

本标准起草单位：天津大学、东营晶昌石油装备科技有限公司、中国科学院广州能源研究所、中国石化工程建设公司、浙江开山压缩机股份有限公司、江西华电螺杆发电技术有限公司、北京优奈特燃气工程技术有限公司、烟台欧森纳地源空调股份有限公司、国网天津电力科学研究院、中国核电工程有限公司、中国石化集团新星石油有限责任公司、清华大学能源互联网创新研究院。

本标准主要起草人：赵军、王永真、安青松、龚宇烈、王剑波、赵丰年、高峻、吕心力、邓帅、朱强、骆超、曲勇、胡达、汤森、岳吉祥、王宗满、甘智勇、高中显、刘平、周连升、许文杰、尹洪梅、胡立凯。

本标准于2019年首次发布。

地热发电系统热性能计算导则

1 范围

本标准规定了地热发电系统热性能的计算方法。

本标准适用于地热闪发电系统、地热双工质循环发电系统、地热全流发电系统、地热干蒸汽发电系统以及地热联合发电系统的热性能计算。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

NB/T 10097 地热术语

3 术语和定义

NB/T 10097界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 地热流体及其热工参数

3.1.1

地热水 geothermal water

处于液态的地热流体。

3.1.2

地热湿蒸汽 geothermal wet steam

含有饱和水的地热蒸汽。

3.1.3

地热干蒸汽 geothermal dry steam

处于饱和状态或者过热状态的地热蒸汽。

3.1.4

地热流体流量 flow rate of geothermal fluid

单位时间内流经封闭管道或明渠有效截面的地热流量。

3.2 地热发电系统及其设备

3.2.1

地热发电系统 geothermal power generation systems

将地热流体所运载的热能转换为电能的系统，可分为地热闪发电系统、地热双工质循环发电系统、地热全流发电系统、地热干蒸汽发电系统以及地热联合发电系统。我国现有地热发电系统的示意图参见附录A。

3.2.2

地热闪蒸发电系统 flash geothermal power generation system

地热闪蒸发电系统是将地热井中的地热流体，先送到闪蒸器中进行闪蒸，再将产生的蒸汽引入膨胀机做功发电的系统。

3.2.3

地热双工质循环发电系统 binary cycle geothermal power generation system

地热双工质循环发电系统由地热流体循环和低沸点工质发电循环组成，是用地热流体在热交换器中加热低沸点工质，使之蒸发为蒸气，再将其引入膨胀机做功发电的系统。

3.2.4

地热全流发电系统 total flow geothermal power generation system

地热全流发电系统是将地热井中的地热流体直接引入膨胀机做功发电的系统。

3.2.5

地热干蒸汽发电系统 dry steam geothermal power generation system

地热干蒸汽发电系统是将地热井中的地热干蒸汽直接引入膨胀机做功发电的系统。

3.2.6

闪蒸器 flasher

地热闪蒸发电系统中通过扩容闪蒸使地热流体产生蒸汽并实现汽液分离的设备。

3.2.7

膨胀机 expander

利用地热流体或低沸点工质膨胀降压向外输出机械功的设备。

3.2.8

工质泵 working fluid pump

输送低沸点工质的设备。

3.2.9

辅助设备 auxiliary equipment

除膨胀机和发电机外用于地热发电系统地热流体或循环工质开采、输运、循环、冷却及回灌的设备，又称辅机。不包括电站办公及照明等设备。

3.2.10

热力系统边界 thermodynamic system boundary

用于划分地热发电系统热性能计算对象的质量流和能量流边界。

3.3 地热发电系统热性能

3.3.1

膨胀机等熵效率 isentropic efficiency of expander

地热发电系统中地热流体或低沸点工质在膨胀机中的实际焓降与理想焓降之比，又称绝热效率。

3.3.2

发电功率 gross power output

扣除外部励磁和非同轴主油泵所耗功率后，地热发电系统发电机出线端所输出的功率。

3.3.3

净发电功率 net power output

发电功率与辅机耗电功率的差值。

3.3.4

单位地热流体净发电量 net power output per unit geothermal fluid

地热发电系统净发电功率与进入地热发电系统的地热流体质量流量之比。

3.3.5

单位时间输入热量 heat input rate

进入地热发电系统地热流体的质量流量与比焓的乘积。

3.3.6

系统热效率 thermal efficiency of system

地热发电系统发电功率与单位时间输入热量之比。

3.3.7

系统焓效率 exergy efficiency of system

地热发电系统发电功率与单位时间驱动地热发电系统的地热流体携带的最大可用功之比。

3.3.8

地热水利用率 geothermal water utilization ratio

地热发电系统有效利用地热水的热量与地热水可供热量的比值，适用于地热水驱动的地热发电系统。

3.3.9

系统自用电率 auxiliary consumption rate of system

地热发电系统的辅机耗电功率与发电功率的比值。

3.3.10

冷却耗电率 consumption rate of cooling

地热发电系统的冷却设备（包括循环水泵、风机等）耗电功率与发电功率的比值。

3.3.11

装机容量利用系数 installed capacity factor

统计期内地热发电系统的总发电量与装机容量发电量的比值，一般以1年作为统计期。

3.3.12

汽耗率 specific steam consumption per unit power generation

地热干蒸汽发电系统或地热闪蒸汽发电系统膨胀机单位输出功率的汽耗量，即膨胀机入口蒸汽流量与发电功率之比。

4 基本规定

4.1 地热发电系统及其设备的热性能计算应建立在系统和设备的质量守恒和能量守恒的基础上。

4.2 对于涵盖地热发电和直接利用的地热综合利用系统，本标准只涉及发电子系统的热力系统边界，地热发电系统的热性能计算不考虑地热直接利用带来的能量收益。

4.3 地热发电系统热性能计算中的工质比焓、比熵等物性参数，可由物性数据软件（表）、状态方程查找或计算。

5 计算步骤

5.1 确定计算边界

应根据地热发电系统的形式明确地热发电系统热性能计算的边界和子系统的划分方式，不同地热发电系统热性能的计算边界可参考GB/T 30555—2014中4.3.1和NB/T 10270—2019中4.4.1的内容。

5.2 明确环境基准

地热发电系统热性能计算的环境参考态可参考GB/T 14909—2005中3.1的内容。

5.3 说明计算依据

说明所使用的热物性参数的来源。

5.4 核实能量平衡

核算地热发电系统的能量输入、输出和损失之间的平衡。

5.5 热性能的计算

确定初始参数计算地热发电系统相应的热性能。

6 热性能计算

6.1 膨胀机等熵效率

根据地热发电系统膨胀机中工质的实际焓降和理想焓降，按式（1）计算膨胀机等熵效率。

$$\eta_{s,\text{exp}} = \frac{h_{\text{exp,in}} - h_{\text{exp,out}}}{h_{\text{exp,in}} - h_{\text{exp,out,s}}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\eta_{s,\text{exp}}$ ——膨胀机等熵效率；

$h_{\text{exp,in}}$ ——膨胀机进口工质比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

$h_{\text{exp,out}}$ ——膨胀机出口工质的实际比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

$h_{\text{exp,out,s}}$ ——膨胀机出口工质的理想比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）。

6.2 发电功率

根据膨胀机进出口工质的质量流量、实际焓差、机械效率和发电机效率，按式（2）计算地热发电系统的发电功率。

$$W_{\text{exp}} = m_{\text{exp}} (h_{\text{exp,in}} - h_{\text{exp,out}}) \eta_m \eta_{s,\text{gen}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

W_{exp} ——发电功率，单位为千瓦（kW）；

m_{exp} ——膨胀机进口工质质量流量，单位为千克每秒（kg/s）；

η_m ——机械效率；

$\eta_{s,\text{gen}}$ ——发电机效率。

6.3 净发电功率

根据发电功率和辅机耗电功率，按式（3）计算地热发电系统的净发电功率。

$$W_{\text{net}} = W_{\text{exp}} - W_{\text{aux}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

W_{net} ——净发电功率，单位为千瓦（kW）；

W_{aux} ——辅机耗电功率，单位为千瓦（kW）。

6.4 单位地热流体净发电量

根据地热发电系统净发电功率和进入系统的地热流体质量流量，按式（4）计算单位地热流体净发电量。

$$w_{\text{geo}} = \frac{W_{\text{net}}}{3.6m_{\text{geo}}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

w_{geo} ——单位地热流体净发电量，单位为千瓦时每吨（kW·h/t）；

m_{geo} ——进入地热发电系统的地热流体的质量流量，单位为千克每秒（kg/s）。

6.5 单位时间输入热量

系统单位时间输入热量按式（5）计算得到。

$$Q_{\text{geo}} = m_{\text{geo}} h_{\text{in}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

Q_{geo} ——单位时间输入热量，单位为千瓦（kW）；

h_{in} ——进入地热发电系统的地热流体的比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）。

6.6 系统热效率

根据地热发电系统发电功率和单位时间输入热量，按式（6）计算系统热效率。

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{exp}}}{Q_{\text{geo}}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

η_{th} ——系统热效率。

6.7 系统焓效率

根据地热发电系统发电功率和单位时间驱动地热发电系统的地热流体携带的最大可用功，按式（7）计算焓效率。

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{W_{\text{exp}}}{E_{\text{geo}}} = \frac{W_{\text{exp}}}{m_{\text{geo}} [(h_{\text{in}} - h_{\text{o}}) - T_0 (s_{\text{in}} - s_{\text{o}})]} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

η_{ex} ——系统焓效率；

E_{geo} ——单位时间驱动地热发电系统的地热流体携带的最大可用功，单位为千瓦（kW）；

h_{o} ——进入地热发电系统的地热流体在环境工况下的比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

s_{in} ——进入地热发电系统的地热流体的比熵，单位为千焦每千克每开尔文[kJ/(kg·K)]；

s_{o} ——进入地热发电系统的地热流体在环境工况下的比熵，单位为千焦每千克每开尔文[kJ/(kg·K)]；

T_0 ——环境温度，单位为开尔文（K）。

6.8 地热水利用率

根据地热发电系统有效利用地热水的热量和地热水可供热量，按式（8）计算地热水利用率。

$$\eta_{\text{geo}} = \frac{h_{\text{w,in}} - h_{\text{w,out}}}{h_{\text{w,in}} - h_{\text{w,amb}}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

η_{geo} ——地热水利用率；

$h_{\text{w,in}}$ ——进入地热发电系统的地热水的比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

$h_{\text{w,out}}$ ——流出地热发电系统的地热水的比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

$h_{\text{w,amb}}$ ——地热水在当地平均温度下的比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）。

6.9 系统自用电率

根据地热发电系统的辅机耗电功率与发电功率，按式（9）计算系统自用电率。

$$X_{\text{d}} = \frac{W_{\text{aux}}}{W_{\text{exp}}} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

X_{d} ——系统自用电率。

6.10 冷却耗电率

根据地热发电系统的冷却设备耗电功率与发电功率，按式（10）计算冷却耗电率。

$$L_{\text{c}} = \frac{W_{\text{c}}}{W_{\text{exp}}} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

L_{c} ——冷却耗电率；

W_{c} ——冷却设备耗电功率，单位为千瓦（kW）。

6.11 装机容量利用系数

根据统计期内地热发电系统的总发电量和装机容量发电量，按式（11）计算装机容量利用系数。

$$CF = \frac{E_{\text{gen}}}{P_{\text{cap}}t} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

CF ——装机容量利用系数；

E_{gen} ——统计期内地热发电系统总发电量，单位为千瓦时（kW·h）；

P_{cap} ——地热发电系统装机容量，单位为千瓦（kW）；

t ——地热发电系统统计期内的累计运行时间，单位为小时（h）。

6.12 汽耗率

根据地热干蒸汽发电系统或地热闪蒸汽发电系统膨胀机入口蒸汽流量和发电功率，按式（12）计算汽耗率。

$$d = \frac{3600m_s}{W_{\text{exp}}} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

d ——汽耗率，单位为千克每千瓦时[$\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$];

m_s ——膨胀机入口蒸汽流量，单位为千克每秒 (kg/s)。

附录 A
(资料性附录)
我国现有地热发电系统示意图

A.1 地热闪蒸发电系统

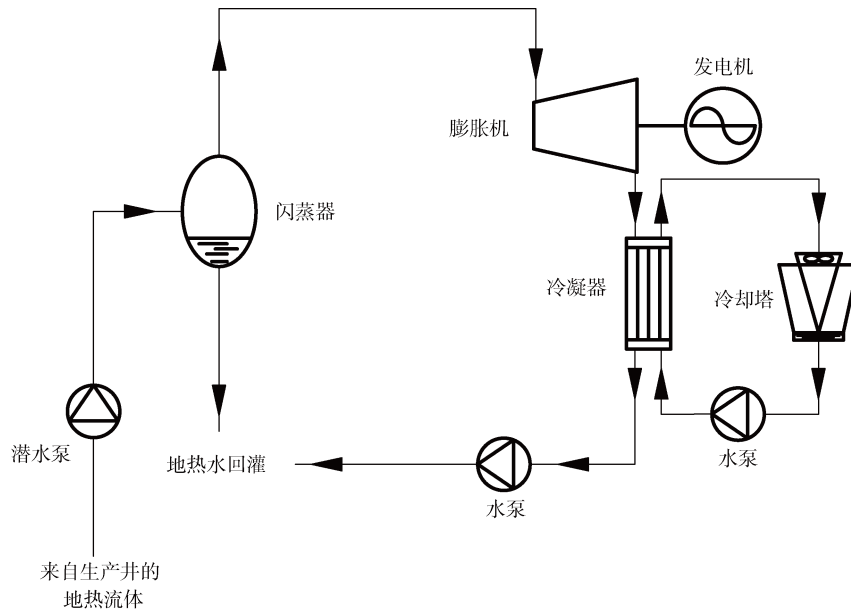


图 A.1 地热单级闪蒸发电系统示意图

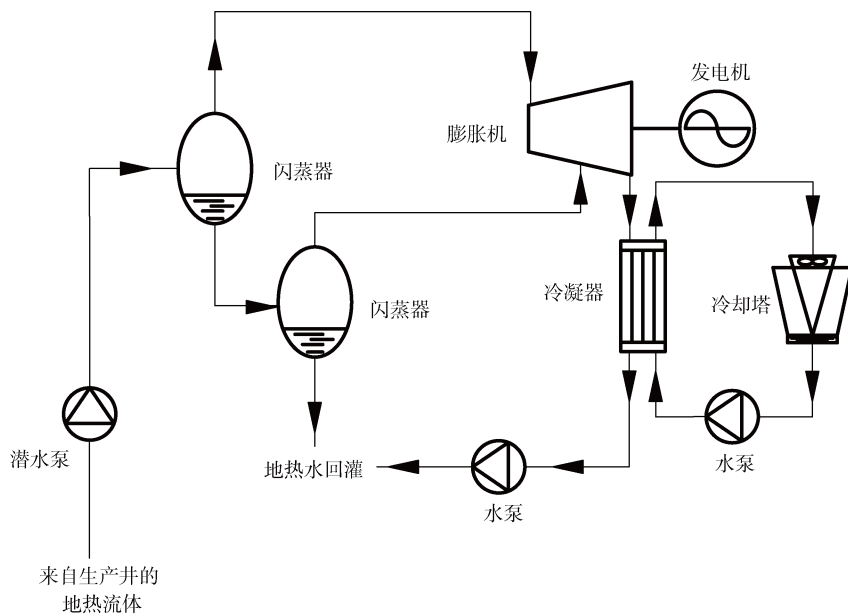


图 A.2 地热双级闪蒸发电系统示意图

A.2 地热双工质循环发电系统

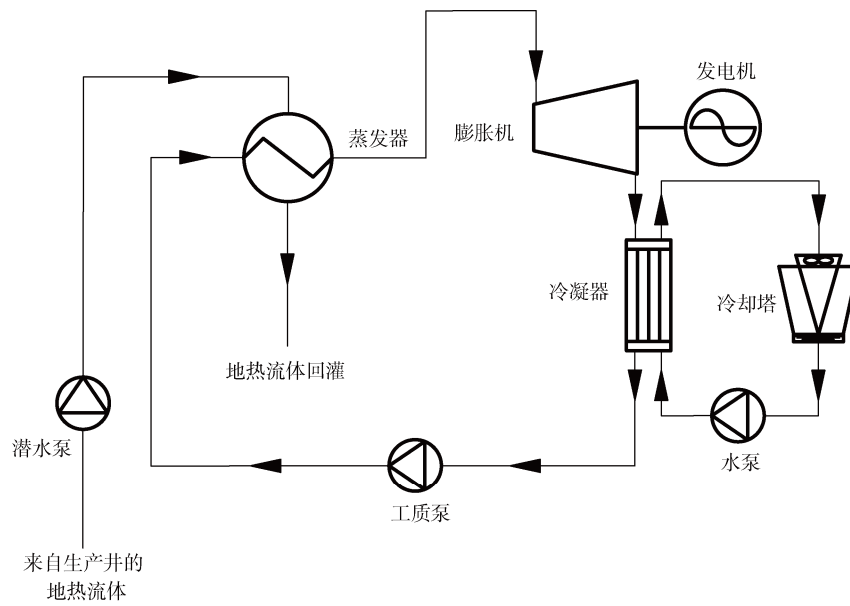


图 A.3 地热双工质循环发电系统示意图

A.3 地热全流发电系统

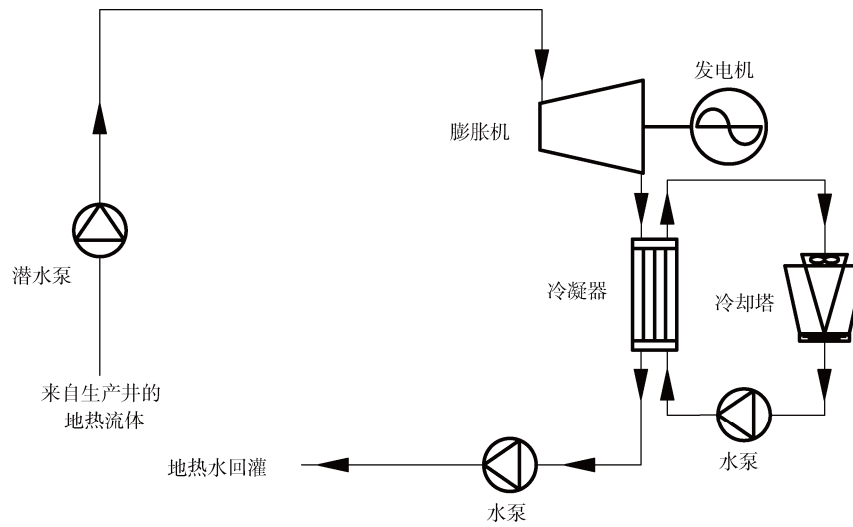


图 A.4 地热全流发电系统示意图

参 考 文 献

- [1] GB/T 14909—2005 能量系统焓分析技术导则
 - [2] GB/T 19962—2005 地热发电接入电力系统的技术规定
 - [3] GB/T 26972—2011 聚光型太阳能热发电术语
 - [4] GB/T 28812—2012 地热发电用膨胀机规范
 - [5] GB/T 30555—2014 螺杆膨胀机（组）性能验收试验规程
 - [6] GB 50791—2013 地热电站设计规范
 - [7] DL/T 904—2015 火力发电厂技术经济指标计算方法
 - [8] NB/T 10270—2019 地热发电机组性能验收试验规程
 - [9] ASTM E974—2000 Standard Guide for Specifying Thermal Performance of Geothermal Power Systems
 - [10] Ronald DiPippo. Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact (Third Edition), 2016
 - [11] Arnold Watson. Geothermal Engineering Fundamentals and Applications, 2013
 - [12] 沈维道, 童钧耕. 工程热力学(第四版). 北京: 高等教育出版社, 2007
-