

中华人民共和国能源行业标准

NB/T XXXXX—XXXX

地热发电系统热性能计算导则

Calculation guide for thermal performance of geothermal power generation systems



XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家能源局

发布

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 地热发电系统热性能计算的基本规定.....	5
5 地热发电系统热性能计算步骤.....	5
6 地热发电系统热性能计算.....	5
参考文献.....	9



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。

本标准的制定为地热发电系统热性能的计算提供依据。

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。

本标准主要起草单位：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、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、中国石化工程建设公司、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、高峻、王剑波、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、周连升、尹洪梅、许文杰

本标准于2018年XX月XX日首次发布。



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相关术语、定义、计算方法及适用范围。

本标准适用于闪蒸地热发电系统、双工质地热发电系统、全流地热发电系统和干蒸汽地热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。

GB 50791-2013	地热电站设计规范
GB/T 14909-2005	能量系统焓分析技术导则
GB/T 19962-2005	地热发电接入电力系统的技术规定
GB/T 28812-2012	地热发电用汽轮机规范
GB/T 30555-2014	螺杆膨胀机（组）性能验收试验规程
NB/T XXXX-2018	地热能术语
NB/T XXXX-2018	地热发电机组性能验收试验规程

3 术语和定义

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体流量。

3.1.2

地热水 geothermal water

处于液相的地热流体。

3.1.3

饱和温度 saturated temperature

地热流体处于饱和气态或液态时对应的温度。

3.1.4

饱和压力 saturated pressure

地热流体处于饱和气态或液态时对应的压力。

3.2 地热发电系统及其关键参数和设备**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，可分为闪蒸地热发电系统、双工质地热发电系统、全流地热发电系统、干蒸汽地热发电系统以及地热联合发电系统。

3.2.2**闪蒸地热发电系统 flash geothermal power generation system**

闪蒸地热发电系统是将地热井口来的地热两相流体，先送到闪蒸器中进行扩容闪蒸，使其产生部分蒸汽，再引到汽轮机做功发电的系统。根据闪蒸器的数量及其工作压力，闪蒸地热发电系统可分为单级闪蒸地热发电系统、双级闪蒸地热发电系统和多级闪蒸地热发电系统。

3.2.3**双工质地热发电系统 binary geothermal power generation system**

双工质地热发电系统是用地热流体在热交换器中加热某种低沸点工质，使之蒸发相变为蒸气进入膨胀机做功发电的系统。根据工质的性质，双工质地热发电系统可分为有机朗肯循环地热发电系统和卡琳娜循环地热发电系统。

3.2.4**全流地热发电系统 total flow geothermal power generation system**

全流地热发电系统是将来自地热井的地热流体引入膨胀机做功发电的系统。

3.2.5**干蒸汽地热发电系统 dry steam geothermal power generation system**

干蒸汽地热发电系统是将地热干蒸汽直接引入汽轮机做功发电的系统，可分为背压式干蒸汽地热发电系统和凝汽式地热发电系统。

3.2.6**地热联合发电系统 combined geothermal power generation system**

几种不同方式的地热发电系统按照能量梯级利用的原则组成的地热发电系统。

3.2.7**闪蒸器 flash separator**

闪蒸地热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。

3.2.8

闪蒸温度 flash temperature

闪蒸地热发电系统的地热流体在闪蒸器中发生闪蒸时的温度。

3.2.9

蒸发器 evaporator

地热发电系统中，通过与地热流体的热交换，实现低沸点工质蒸发相变的设备。

3.2.10

蒸发温度 evaporation temperature

地热发电系统蒸发器中液体工质蒸发相变时的温度。

3.2.11

冷凝器 condenser

用来冷凝地热发电系统膨胀机做功后乏汽的设备，以空气和水为冷却介质，或称凝汽器。

3.2.12

冷凝温度 condensing temperature

冷凝器内气体工作介质凝结相变时的温度。

3.2.13

膨胀机 expander

利用压缩气体膨胀降压时向外输出机械功使气体温度降低的原理以获得能量的机械。

3.2.14

有机工质 organic working medium

有机朗肯循环地热发电系统的工作介质，以低沸点有机物为代表。

3.2.15

工质泵 working fluid pump

输送循环工质或使循环工质增压的机械。

3.2.16

电站辅助设备 auxiliary equipment

除膨胀机和发电机外用于地热电站地热流体或工作介质开采、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。

3.2.17

热力系统边界 thermodynamic system boundary

用于划分地热发电系统热性能计算服务对象的质量流和能量流边界。

3.3 地热发电系统热性能参数

3.3.1

净发电功率 net power output

地热发电机组发电机端测量的毛发电功率扣除辅机耗电后的系统净发电功率。

3.3.2

单位流体发电量 specific work per unit mass of geothermal fluid

地热发电系统净发电功率与输入地热系统的地热流体流量之比。

3.3.3

系统热效率 thermal efficiency

地热发电系统净发电功率与驱动地热发电系统的地热流体的热量之比，又称为发电效率。

3.3.4

系统单位时间输入热量 heat input rate

地热流体单位时间内用于驱动地热发电系统所释放的热量。

3.3.5

系统焓效率 exergy efficiency

地热发电系统净发电功率与地热流体所含的焓量之比。

3.3.6

系统自用电率 house power consumption rate

用以辅助地热发电系统机组运行的辅机耗电功率与电站毛发电功率的比值。

3.3.7

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设计功率发电量的比值，一般以1年作为统计期。

3.3.8

地热水利用率 geothermal fluid utilization ratio

地热发电系统有效利用地热水的热量与全年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

膨胀机等熵效率 isentropic efficiency of expander

地热发电系统运行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。

3.3.10

膨胀机机械效率 mechanical efficiency of expander

地热发电系统膨胀机的输出功与输入功的比值。

3.3.11

汽耗率 specific steam consumption per unit power generation

干蒸汽地热发电系统或闪蒸地热发电系统膨胀机单位输出功功率的汽耗量，即膨胀机入口蒸汽流量与发电机输出功率之比。

4 地热发电系统热性能计算的基本规定

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，本标准只明确到发电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关键点的焓值、焓值可由物性数据软件（表）、状态方程查找或计算，单位焓值、单位焓值应以发电系统当地的环境工况为基准。

5 地热发电系统热性能计算步骤

地热发电系统热性能的计算应遵循以下步骤。

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分割方式，不同的地热发电系统的热性能计算边界可由NB/T XXX-2018《地热发电机组性能验收实验规程》的相关部分确定。

5.2 明确环境基准

地热发电系统热性能计算的环境基准应参考GB/T 14909-2005中的能量系统环境参考态。

5.3 说明计算依据

所使用的热力学参数和热物性的来源可参考GB/T 14909-2005的相关规定。

5.4 核实能量平衡

基于地热发电系统和设备的能量平衡关系，做出地热发电系统的能量支付、收益和损失平衡表。

5.5 热性能的计算

选定热性能参数计算地热发电系统相应的热性能。

6 地热发电系统热性能计算

6.1 净发电功率

根据地热发电机组发电机端测量的毛发电功率和辅机耗功，按式（1）计算系统净发电功率。

$$W_{\text{net}} = W_{\text{exp}} - W_{\text{aux}} = m_{\text{fluid}} (h_{\text{exp.in}} - h_{\text{exp.out}}) \eta_{\text{i,exp}} \eta_{\text{s,gen}} \eta_{\text{m,exp}} - W_{\text{aux}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

W_{net} ——净发电功率，单位为千瓦（kW）；

W_{exp} ——膨胀发电机的输出功率，单位为千瓦（kW）；

W_{aux} ——水泵、工质泵、电控仪器等辅机所耗功率，单位为千瓦（kW）；

m_{fluid} ——膨胀机进口流体质量流量，单位为千克每秒（ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ）；

$h_{\text{exp.in}}$ ——膨胀机进口流体比焓，单位为千焦每千克（ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）；

$h_{\text{exp.out}}$ ——膨胀机出口流体比焓，单位为千焦每千克（ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）；

$\eta_{\text{i,exp}}$ ——膨胀机等熵效率；

$\eta_{\text{s,gen}}$ ——发电机效率；

$\eta_{\text{m,exp}}$ ——膨胀机机械效率。

6.2 单位流体发电量

根据地热发电系统净发电功率和输入地热系统的地热流体流量，按式（2）计算单位流体发电量。

$$w_{\text{geo}} = \frac{W_{\text{net}}}{m_{\text{geo}}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

w_{geo} ——单位流体发电量，单位为千瓦时每千克（ $\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）或千瓦时每吨（ $\text{kWh}\cdot\text{t}^{-1}$ ）；

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（ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ）。

6.3 系统热效率

根据地热发电系统净发电功率和驱动地热发电系统的地热流体热量，按式（3）计算系统热效率。

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{geo}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

η_{th} ——系统热效率；

Q_{geo} ——驱动地热发电系统的地热流体的热量，单位为千瓦（kW）。

6.4 系统单位时间输入热量

系统单位时间输入热量按式（4）计算得到。

$$Q_{\text{geo}} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

Q_{in} ——进入地热发电系统的地热流体的热量，等于进入地热发电系统地热流体的质量流量与进入地热发电系统地热流体比焓的乘积，单位为千瓦（kW）。

Q_{out} ——对于背压式干蒸汽地热发电系统和全流地热发电系统， Q_{out} 为膨胀机出口乏汽所含的热量，单位为千瓦（kW）；

——对于凝汽式干蒸汽地热发电系统和单级闪蒸地热发电系统， Q_{out} 为膨胀机出口乏汽在冷凝

器或凝汽器中所释放的热量，单位为千瓦（kW）；

——对于双工质地热发电系统， Q_{out} 为地热流体处于环境工况时所含的热量，单位为千瓦（kW）。

6.5 系统焓效率

根据地热发电系统净发电功率和地热流体所含的焓量，按式（5）计算系统焓效率。

$$\eta_{ex} = \frac{W_{net}}{E_{geo}} = \frac{W_{net}}{m_{geo} [(h_{in} - h_o) - T_0 (s_{in} - s_o)]} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

η_{ex} ——系统焓效率；

E_{geo} ——驱动地热发电系统的地热流体所释放的焓量，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⁻¹）；

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⁻¹）；

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⁻¹·K⁻¹）；

s_o ——进入地热发电系统的地热流体的在环境温度下的比熵，单位为千焦每千克每开尔文（kJ·kg⁻¹·K⁻¹）；

T_0 ——环境温度，单位为开尔文（K）。

6.6 系统自用电率

根据辅机耗电功率与电站毛发电功率，按式（6）计算系统自用电率。

$$X_d = \frac{W_{aux}}{W_{exp}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

X_d ——系统自用电率。

6.7 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设计功率发电量，按式（7）计算装机容量利用系数。

$$CF = \frac{E_{gen}}{P_{cap} t} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

CF ——装机容量利用系数；

E_{gen} ——地热发电系统总发电量，单位为千瓦时（kWh）；

P_{cap} ——地热发电系统设计功率，单位为千瓦（kW）；

t ——地热发电系统运行时间，单位为小时（h）。

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全年地热水可供热量，按式（8）计算地热水利用率。

$$\eta_{geo} = \frac{h_{in} - h_{out}}{h_{in} - h_{amb}} = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{amb}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

η_{geo} ——地热水利用率；

h_{out} ——流出地热发电系统的地热水的比焓，单位为千焦每千克 ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)；

h_{amb} ——进入地热发电系统的地热水在环境工况下的比焓，单位为千焦每千克 ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)；

T_{in} ——地热温度热流，单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)；

T_{out} ——地热流体排放温度，单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)；

T_{amb} ——当地环境温度，单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。

6.9 膨胀机等熵效率

根据地热发电系统运行工质在膨胀机中的实际焓降和理想焓降，按式 (9) 计算膨胀机等熵效率。

$$\eta_{\text{s,exp}} = \frac{h_{\text{exp,in}} - h_{\text{exp,out}}}{h_{\text{exp,in}} - h_{\text{exp,out,s}}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\eta_{\text{s,exp}}$ ——膨胀机等熵效率；

$h_{\text{exp,out,s}}$ ——膨胀机等熵膨胀出口运行工质比焓，单位为千焦每千克 ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)。

6.10 膨胀机机械效率

根据地热发电系统膨胀机的输出功和输入功，按式 (10) 计算膨胀机机械效率。

$$\eta_{\text{m,exp}} = \frac{W_{\text{out}}}{W_{\text{in}}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$\eta_{\text{m,exp}}$ ——膨胀机机械效率；

W_{out} ——膨胀机输出功率，单位为千瓦 (kW)；

W_{in} ——膨胀机输入功率，单位为千瓦 (kW)。

6.11 汽耗率

根据干蒸汽地热发电系统或闪蒸地热发电系统膨胀机入口流量和发电机输出功率，按式 (11) 计算汽耗率。

$$d_{\text{mid}} = \frac{m_{\text{mid}}}{W_{\text{exp}}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

d_{mid} ——汽耗率，单位为千克每千瓦时 ($\text{kg}\cdot\text{kWh}^{-1}$)

m_{mid} ——工作介质的流量，单位为千克每小时 ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$)。

参 考 文 献

- [1] Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies And Environmental Impact(Third Edition)
- [2] ASTM E974—2000 Standard Guide for Specifying Thermal Performance of Geothermal Power Systems
- [3] 工程热力学（第四版）
-

