

doi:10.3799/dqkx.2014.113

# 青海共和盆地中低温地热流体发电

王敏黛<sup>1</sup>, 郭清海<sup>1\*</sup>, 严维德<sup>1,2,3</sup>, 刘明亮<sup>1</sup>, 曹耀武<sup>1</sup>,  
李洁祥<sup>1</sup>, 石维栋<sup>2,3</sup>, 尚小刚<sup>2,3</sup>, 马月花<sup>2,3</sup>

1. 中国地质大学环境学院, 湖北武汉 430074

2. 青海省水文地质工程地质环境地质调查院, 青海西宁 810008

3. 青海省水文地质及地热地质重点实验室, 青海西宁 810008

**摘要:** 青海省是我国地热资源相对丰富的地区,但其主要地热能开发利用方式长期以来为效率较低的直接利用。以青海东北部地热异常明显的共和盆地为典型研究区,依据前期地热地质调查和地球物理工作成果,在盆地北部施工了终孔深度为1 852 m的DR2井,获取了温度达84.2℃的地热流体。在此基础上,建立了青海省首个试验地热发电站,设计年平均净发电量为114 kW。与利用高温地热流体发电的西藏羊八井地热电站不同,青海共和试验地热电站是青藏高原利用中低温地热流体发电的典范,有望为青海省能源结构优化做出开拓性贡献。总体来看,共和盆地地热流体温度较高、水量丰富、具有较大的发电潜力,但在开发利用过程中也应注意结垢问题。

**关键词:** 地热发电;中低温地热流体;共和盆地;青海。

中图分类号: P314

文章编号: 1000-2383(2014)09-1317-06

收稿日期: 2014-04-12

## Medium-Low-Enthalpy Geothermal Power-Electricity Generation at Gonghe Basin, Qinghai Province

Wang Mindai<sup>1</sup>, Guo Qinghai<sup>1\*</sup>, Yan Weide<sup>1,2,3</sup>, Liu Mingliang<sup>1</sup>, Cao Yaowu<sup>1</sup>,  
Li Jiexiang<sup>1</sup>, Shi Weidong<sup>2,3</sup>, Shang Xiaogang<sup>2,3</sup>, Ma Yuehua<sup>2,3</sup>

1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Institute of Hydrogeology, Engineering and Environmental Geology Survey of Qinghai Province, Xi'ning 810008, China

3. Key Laboratory of Hydrogeology and Geothermal Geology of Qinghai Province, Xi'ning 810008, China

**Abstract:** Qinghai Province is characterized by relatively abundant geothermal resources in China, but geothermal energy utilization has been suffering from low efficiency due to the dominant direct use over a long period. Taking Gonghe Basin located in northeastern Qinghai as the study area, we explore the issue in this paper on the basis of the previous geothermal geological and geophysical investigations. A borehole (DR2) with a depth of 1 852 m in the north part of the basin is drilled and geothermal fluid with a temperature up to 84.2℃ can be extracted from DR2, based on which the first geothermal power plant in Qinghai with an annual net electricity generation capacity of 114 kW is established. Different from the Yangbajing geothermal power plant in Tibet where high-temperature geothermal fluids are exploited for electricity generation, the Gonghe pilot power plant in Qinghai is a typical example of middle-low-enthalpy geothermal power generation, which leads the optimization of energy structure in Qinghai Province. In general, the geothermal fluids from Gonghe are featured with comparatively high temperatures and discharge rates, and therefore have a great potential for power generation. However, scaling may occur during the exploitation of Gonghe geothermal fluid in view of its chemical composition, which should be addressed in the process.

**Key words:** geothermal electricity generation; middle-low-enthalpy geothermal fluid; Gonghe Basin; Qinghai province.

基金项目: 青海省科技计划项目(No. 2013-G-Q08A)。

作者简介: 王敏黛(1990-),女,硕士研究生在读,从事高温地热领域的研究工作。E-mail: mindaiwang@163.com

\* 通讯作者: 郭清海, E-mail: qhguo2006@gmail.com

## 0 引言

地核与地表的巨大温差、地壳内放射性元素衰变及断层摩擦产生的热量等形成了储量巨大的地热能。据估算,地壳外层 10 km 以内的地热能总量就达到了  $1.254 \times 10^{27}$  J, 相当于全世界煤炭储存总量的 2 000 倍, 地表以下 3 km 以内的地热能总量也相当于 2.9 万亿吨标准煤的能量, 这是 2010 年世界煤炭总产量的 400 倍。地热能具有非常大的开发潜力以及广阔的利用前景(Ingvar, 2001; Enrico, 2002)。

根据赋存形式及埋藏深度,地热能可分为 3 种类型:(1)浅层地温能,埋藏深度一般在 200 m 以内;(2)地热流体,埋藏深度一般为 200 m 到 3 km;(3)干热岩,通常埋藏深度大于 3 km 小于 10 km。在这 3 种地热资源中,只有地热流体已达到商业发电开发利用阶段。地热流体又可根据温度分为高温( $>150$  °C)、中温(90~150 °C)和低温(地表平均气温至 90 °C)3 种地热资源。

人类利用地热资源历史已久,但主要以直接利用为主,发电是上世纪初才开始尝试并在其后大规模发展的(Gerald, 2001)。1904 年,意大利首次利用地热蒸汽发电成功,其后于 1913 年在拉德瑞罗建成世界上第一座试验地热电站;1958 年,新西兰的怀拉开地热电站首次利用扩容法解决了地热流体的发电技术;至 1997 年底,全世界地热发电总装机容量已近 8 021 MW(马梅林和王纪春, 1998; 王贵玲等, 2000; 汪集旻等, 2000; Ingvar, 2001)。地热发电的原理简而言之就是先把地热能转变成机械能,然后再把机械能转化成电能。由于可利用的地热资源的类型不同,所采用的技术方法也相应存在差异,主要分为地热蒸汽、地热水、联合循环及干热岩 4 种发电方式。地热蒸汽发电直接利用地热井中的高温蒸汽,先进行净化,然后推动汽轮机做功,使发电机发电(吕太等, 2009)。地热水发电的基本思想是将热水转化成蒸汽,然后用蒸汽发电,主要方法有 2 种:一种是降压闪蒸(扩容),即通过降低压力使地热流体迅速汽化;另一种是用地热水加热某种低沸点物质(如氟利昂、异戊烷等),使之汽化(Ronald, 2004)。联合循环发电将蒸汽发电和地热水发电相结合,充分提高了地热流体热能的利用率。干热岩发电的原理则是利用人工注入的冷水将其热量从地下带出,通过产生的蒸汽或热水来发电(高学伟等, 2008)。

## 1 我国地热发电历史及现状

我国属于富地热资源的国家,但其分布十分不均,高温地热资源仅分布在西藏南部、四川西部、云南西南部及台湾省,中低温地热资源主要分布于东南沿海热带、华北及东北部分地区(Hu *et al.*, 2000; Wan *et al.*, 2005)。

我国地热发电始于 20 世纪 70 年代,时值第一次石油危机,在全国建成了 7 个中低温地热电站,其位置、地热流体温度及发电功率分别为:广东丰顺县邓屋, 92 °C, 300 kW; 湖南宁乡县灰汤, 98 °C, 300 kW; 河北怀来县后郝窑, 87 °C, 200 kW; 山东招远县汤东泉, 98 °C, 300 kW; 辽宁盖县熊岳, 90 °C, 200 kW; 广西象州市热水村, 79 °C, 200 kW; 江西宜春县温汤, 67 °C, 100 kW(马梅林和王纪春, 1998; 王贵玲等, 2000; 郑克棣和潘小平, 2009)。这 7 座中低温地热电站无一例外都是建立在热田面积比较小的中低温对流型地热系统中,其热储温度和高温水热系统相比要低得多,另外由于热田面积小,汇水范围小,可供开采利用的水量也不大。上述地热电站的发电量均介于 50 kW 到 300 kW 之间,且发电过程中出现的问题一直没有得到妥善解决;到现在为止其中 6 个已经停产,唯一仍在运营的是广东丰顺地热电站,发电量约 300 kW,只相当于羊八井地热电站的 1/80 左右。

20 世纪 70 年代中期,我国开始在西藏尝试高温地热发电,先后建立过 3 个地热电站,分别是羊八井地热电站、朗久地热电站和那曲地热电站。羊八井地热电站现在主要利用温度高达 255 °C 的深部地热流体,发电量为 24.18 MW(Zeng *et al.*, 2014)。朗久和那曲是 2 个相对规模比较小的热田,地热流体的温度和流量都不太稳定。在建厂后的发电过程中,地热流体输送管道的结垢和腐蚀问题一直没有得到妥善解决,所以这两个电站现已废弃。我国至今仍在运营的高温地热电站,只有西藏羊八井。羊八井电站虽然在发电量上与其他国家的部分地热电站相比并不逊色,但发电过程中产生了许多环境问题。例如,在电厂刚刚建成以后的十几年时间里,主要开发利用对象是浅部地热流体,而最初的浅层地热井均施工于热田的排泄区,长期的地热流体开采造成热水位下降,同时也导致了热田南区的地面沉降。另外,地热电站发电过程中产生了大量富含有害组分的地热废水,而地热废水的回灌至今仍未彻底实现,在某些时段仍就近排入当地地表水体,造成了较严重的热田水环境污染。

## 2 青海共和盆地地热资源分布

我国多年前即已在西藏实现高温地热发电,但与西藏毗邻的青海省虽同样有丰富的地热资源(张珍, 1999),开发利用程度却低得多(严维德等, 2013)。目前青海地热资源的开发利用仅限于洗浴、医疗、游泳、大棚养殖、区域供暖等方面,总体来说,还停留在地热资源开发利用的初级阶段(赵振等, 2013)。

据青海省国土资源厅及青海省水工环地质调查院勘查结果,青海省地热资源种类齐全,地热水、浅层地温能、干热岩 3 种类型均有发现,且广泛分布于省内的六州一地一市。全省已发现水温 15 °C 以上的地热异常区 84 处,其中热泉排泄温度在 90 °C 以上的中温水热区 1 处,60~80 °C 的低温水热区 10 处,40~60 °C 的低温水热区 9 处,15~40 °C 的低温水热区 64 处。地热资源分布区主要包括共和—贵德盆地、大柴旦、都兰、青藏铁路沿线和玉树巴塘地区、兴海地区、同仁盆地等,如在贵德扎仓寺发现温度为 93.5 °C 的热泉,都兰热水乡、夏日哈乡发现 70~82 °C 的热泉,显示这些地区地热资源开发潜力非常大。另外,通过地热勘探井,在共和、贵德、大柴旦、都兰、玉树巴塘盆地已发现多处温度 60~93 °C 的地下水,热储埋深一般介于 200~1 800 m。如在共和恰卜恰镇先后施工多口深井,均获取了井口温度在 72 °C 以上的中低温地热水,可开采总量达 10 000 m<sup>3</sup>/d。更重要的是,青海省水文地质工程地质环境地质调查院联合中国地质大学(武汉),于 2013 年在共和盆地中北部经钻探验证,最终在 2 230 m 深度探测到温度达 153 °C 的干热岩。随着深度增加,地温以 6.8 °C/100 m 的梯度稳定升高,且勘探表明区内 1 600 m 以下无地下水分布迹象。该

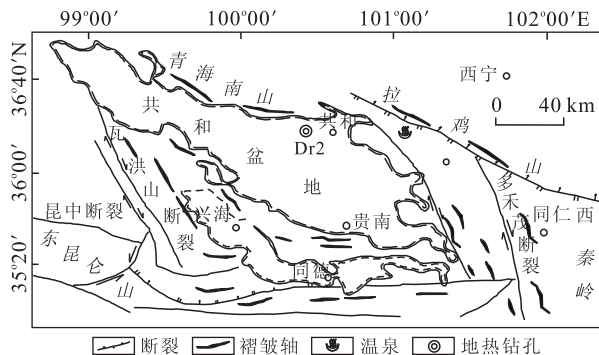


图 1 共和地质简图及 DR2 井位(据薛建球等, 2013)

Fig. 1 Simplified geological map of Gonghe Basin and location of Well DR2

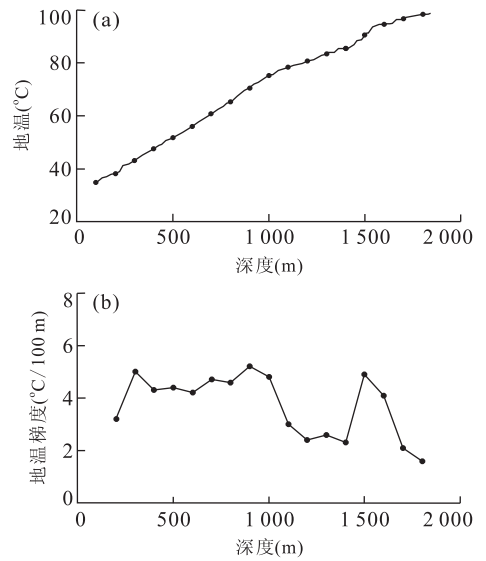


图 2 DR2 井地温(a)和地温梯度(b)随深度变化曲线  
Fig. 2 Plots of well temperature (a) and geothermal gradient (b) versus depth for Well DR2

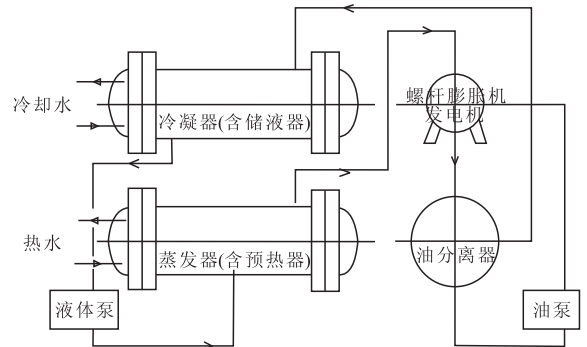


图 3 螺杆膨胀机发电流程

Fig. 3 A flow chart showing the process of electricity generation by screw expander

干热岩岩体在共和盆地底部广泛分布,仅钻孔控制面积已达 150 km<sup>2</sup>,开发利用潜力巨大。这是在国内首次发现的可大规模利用的干热岩资源。共和盆地干热岩资源的发现不仅为深部地热的开发利用提供了得天独厚的天然试验场地,也使青海省能源开发利用新途径的开辟成为可能。

## 3 共和盆地地热发电

### 3.1 地热井位选择与成井过程

为在共和盆地利用热储流体发电,青海省水文地质工程地质环境地质调查院和中国地质大学(武汉)开展了前期地热地质调查和地球物理工作。在研究区南部上塔买—阿乙亥地段,可推断出 4 条基底

表 1 DR2 生产井地热水的化学组成

Table 1 Chemical composition of geothermal water sample from Well DR2

分析项目( $\mu\text{g/L}$ )	分析项目( $\mu\text{g/L}$ )	分析项目( $\mu\text{g/L}$ )	分析项目( $\mu\text{g/L}$ )
$\text{Al}^{3+}$	nd.	$\text{F}^-$	3.56
As	0.621	$\text{HCO}_3^-$	604
B	26.4	$\text{CO}_3^{2-}$	2.42
$\text{Ca}^{2+}$	45.7	$\text{Cl}^-$	678
$\text{K}^+$	12.1	$\text{NO}_3^-$	nd.
$\text{Mg}^{2+}$	1.82	$\text{SO}_4^{2-}$	135.6
$\text{Na}^+$	576.5		
Sr	1.46		
$\text{Zn}^{2+}$	0.04	Ni	0.011
$\text{NH}_4^+$	0.59	Pb	0.044
$\text{Fe}^{2+}$	0.02	Se	0.012
$\text{SiO}_2$	58.2	Mn	nd.
$\text{CO}_2$	15.4		
$\text{H}_2\text{S}$	nd.		
		Ag	0.453
		Au	0.154
		Ba	0.066
		Be	nd.
		Cd	0.003
		Co	nd.
		Cr	nd.
		Cu	nd.
		Fe(总)	nd.
		Hg	nd.
		Sn	0.12
		V	0.11
		Li	9.060
		Rb	122
		Cs	686
		Sb	12.81

注: pH 为 7.69; 温度为 84.2 °C.

断裂,近南北向的恰卜恰沟 F1 断裂和阿乙亥沟 F3 断裂属张扭性断裂,具导水、导热作用,北西西向沙有一克才 F2 断裂和四道班一下谢家盖 F4 断裂为压扭性断裂,具阻水作用(王斌等,2010). 结合区域地质构造,共和盆地恰卜恰地区基底埋深不大,热储层厚度较薄、泥岩较多,兼之两组断裂复合部位更有利热水对流运移,因此若希望获得温度较高、水量较多的地热流体,盆地基底断裂带是优选靶区. 最终选择在盆地 DR2 处成井(图 1),终孔深度 1 852 m.

据 DR2 井岩芯资料,0~49.1 m 为第四系全新统砂砾卵石及亚砂土、中粗砂,49.1~598.8 m 为下更新统亚粘土、砂岩,598.8~1 440.9 m 为新近系泥岩、砂质泥岩、粉细砂岩、中粗砂岩、砂砾岩,基底埋深 1 440.9 m,以下为花岗岩. 热储埋深为 718.35~1 465.5 m,岩性为细砂岩、含砾细砂岩、中粗砂岩、砂砾岩等. 其中 1 200~1 354 m 粉砂岩呈泥钙质胶结,富水性较差,含水层厚度 119.1 m. 1 650.0~1 710.0 m 为断层角砾岩,下部有断裂性带状热储. 笔者利用 DR2 井的实测温度数据绘制了地温和地温梯度随深度变化曲线(图 2a, 2b),发现成井位置地热异常明显,且地温随深度单调增加,这指示共和盆地内的地热系统属传导型.

根据热储位置及钻孔岩芯,设计地热井成井工艺如下. 0~203.56 m,成井口径 410 mm,此段内下入  $\varphi 273 \times 8.89$  mm 石油套管 203.56 m,管外用水泥进行永久止水,形成泵室段. 203.56~1 500.00 m,成井口径 215 mm,其中 191.20~718.00 m 下入  $\varphi 140 \times 7.72$  mm 石油套管 526.8 m,与上部段泵室段呈托盘连接,并用膨胀橡胶、海带及水泥止水.

718.00~1 500.37 m 为含水层,岩性以砂岩和泥岩互层为主,下入  $\varphi 140 \times 7.72$  mm 石油套管,相对隔水层 6 个,采用实管,含水层 6 个,采用花管,合计实管 706.88 m,花管 599.5 m.

### 3.2 试验地热电站的建立

如前所述,青海省地热资源丰富,共和盆地则是全省地热资源富集区之一,具有地热发电潜力,但长期以来地热开发利用率却较低,利用方式也仅限于直接利用. 在国家大力开发地热资源政策的支持下,中国地质大学(武汉)和青海省水文地质工程地质环境地质调查院协同工作,于 2014 年在共和建立了青海首个试验地热发电站,期望利用区内中低温地热流体发电,为青海省能源结构优化做贡献.

研究表明,现代技术的发展使利用中低温地热流体发电得以实现(Oguz, 2011). 由于研究区热储内赋存中低温地热流体,共和地热电站未采用传统的利用高品位地热能的汽轮机,而采用 ORC 螺杆膨胀动力机发电. 螺杆膨胀机可利用低品位地热能实现热功转换,其基本原理是用中低温地热流体对某种低沸点有机工质进行加热,工质沸腾产生蒸汽并推动转子产生动力做功(Baik *et al.*, 2013). 蒸汽从膨胀机排出后,进入油分离器,分离润滑油,气体进入冷凝器冷凝成液体,液体被液体泵升压,进入预热器、蒸发器,完成一轮循环. 与此同时,润滑油在油分离器实现分离后,借助油泵输送至各润滑点,确保轴承等零件的润滑与降温(图 3).

### 3.3 共和盆地地热流体地球化学特征及其对发电的影响

地热流体的地球化学特征对其发电效率及地热

表2 20~90℃范围内DR2井地热水对方解石的饱和指数

Table 2 Saturation indices of the geothermal water extracted from DR2 with respect to calcite over a temperature range of 20–90 °C

温度(℃)	20	30	40	50	60	70	80	90
饱和指数	0.736	0.787	0.851	0.929	1.008	1.093	1.183	1.276

井发电寿命有重要影响(Guo, 2012). 如西藏羊八井热田的地热流体在生产井口水气分离后,通过输送管送至地热电厂供发电机组使用. 由于地热蒸气中富含CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>S等酸性气体,降温冷凝后,水的pH值低于5.0,对金属管道材料具有较强的腐蚀性(赵平等, 1998). 共和盆地DR2生产井抽取的地热水的化学组成见表1所示. 由于井口地热流体温度(84.2℃)低于当地沸点,不存在水汽分离,而流体pH为7.69,在中性范围内,因此在DR2井发电过程中可不考虑腐蚀的发生. 然而,采自DR2井的地热水样品在室温下的化学分析结果指示其Ca<sup>2+</sup>浓度为45.2 mg/L, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>和CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>浓度分别为603.8 mg/L和2.4 mg/L,用SOLVEQ-XPT软件可计算出在20~90℃范围内DR2井地热水对方解石的饱和指数如表2所示. 在此温度范围内,地热水对于方解石均处于过饱和状态,因此发电过程中存在管道结垢的可能. 当然,地热水中CaCO<sub>3</sub>是否析出并不仅仅取决于其对于方解石等矿物的饱和指数,还与地热水流速、压力、套管的材质及光洁度、井筒内孔径变化等多种因素有关,如多数情况下管道变径处更容易结垢(赵平等, 1998). 因此,DR2井地热流体对于方解石饱和指数的计算结果并不意味着结垢一定发生.

## 4 结论

青海共和盆地地热地质条件优越,地热流体性状良好,用于地热发电的DR2井的井口水温可达84.2℃,单井涌水量达1 002.2 m<sup>3</sup>/d,总溶解固体为2.23 g/L, pH值为7.69,具有一定发电潜力. 我们在共和建成了青海首个试验地热电站,设计年均净发电量虽仅为114 kW,但对共和地区乃至青海省的能源结构导向具有重大意义. 由于DR2井地热流体具有较高的碳酸和钙含量,在今后的开发利用过程中应注意井管结垢问题.

## References

- Baik, Y. J., Kim, M., Chang, K. C., et al., 2013. A Comparative Study of Power Optimization in Low-Temperature Geothermal Heat Source Driven R125 Transcritical Cycle and HFC Organic Rankine Cycles. *Renewable Energy*, 54: 78–84. doi: 10.1016/j.renene.2012.08.055
- Enrico, B., 2002. Geothermal Energy Technology and Current Status; An Overview. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 6 (1–2): 3–65. doi: 10.1016/S1346-0321(02)00002-3
- Gao, X. W., Li, N., Kang, H., 2008. The Development Status of Geothermal Power Technology. *Electric Power Survey & Design*, 6(3): 59–62, 80 (in Chinese with English abstract).
- Gerald, W. H., 2001. The Status of World Geothermal Power Generation 1995–2000. *Geothermics*, 30 (1): 1–27. doi: 10.1016/S0375-6505(00)00042-0
- Guo, Q. H., 2012. Hydrogeochemistry of High-Temperature Geothermal Systems in China; A Review. *Applied Geochemistry*, 27(10): 1887–1898. doi: 10.1016/j.apgeochem.2012.07.006
- Hu, S. B., He, L. J., Wang, J. Y., 2000. Heat Flow in the Continental Area of China; A New Data Set. *Earth and Planetary Science Letters*, 179(2): 407–419. doi: 10.1016/S0012-82/x(00)00126-6
- Ingvar, B. F., 2001. Geothermal Energy for the Benefit of the People. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 5(3): 299–312. doi: 10.1016/S1364-0321(01)00002-8
- Lü, T., Gao, X. W., Li, N., 2009. The Geothermal Power Technology and Technical Problems. *Journal of Shenyang Institute of Engineering (Natural Science Edition)*, 1(5): 5–8 (in Chinese with English abstract).
- Ma, M. L., Wang, J. C., 1998. Current Status and Prospects of Geothermal Power Generation at Home and Abroad. *Journal of Electrotechnics*, 11: 1–4 (in Chinese).
- Oguz, A., 2011. Power Generation from Medium Temperature Geothermal Resources. *Energy*, 36 (5): 2528–2534. doi: 10.1016/j.energy.2011.01.045
- Ronald, D., 2003. Second Law Assessment of Binary Plants Generating Power from Low-Temperature Geothermal Fluids. *Geothermics*, 33(5): 565–586. doi: 10.1016/j.geothermics.2003.10.003
- Wan, Z. J., Zhao, Y. S., Kang, J. R., 2005. Forecast and Evaluation of Hot Dry Rock Geothermal Resource in China. *Renewable Energy*, 30(12): 1831–1846. doi: 10.1016/j.renene.2005.01.016
- Wang, B., He, S. H., Li, B. X., et al., 2010. Geothermal Resource Distribution Characteristics of Gonghe Basin in

- Qinghai—Effect of CSAMT in Geothermal Prospecting. *Mineral Resources and Geology*, 24(3): 280—285 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G. L., Zhang, F. W., Liu, Z. M., 2000. An Analysis of Present Situation and Prospects of Geothermal Energy Development and Utilization in the World. *Acta Geoscientia Sinica*, 21(2): 134—139 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J. Y., Liu, S. B., Zhu, H. Z., 2000. Development Strategy of China's Geothermal Energy in 21st Century. *Electric Power*, 33(9): 85—94 (in Chinese with English abstract).
- Xue, J. Q., Gan, B., Li, B. X., et al., 2013. Geological-Geophysical Characteristics of Enhanced Geothermal Systems (Hot Dry Rocks) in Gonghe-Guide Basin. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 37(1): 35—41 (in Chinese with English abstract).
- Yan, W. D., Wang, Y. X., Gao, X. Z., et al., 2013. Distribution and Aggregation Mechanism of Geothermal Energy in Gonghe Basin. *Northwestern Geology*, 46(4): 223—230 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, Y. C., Wu, N. Y., Zheng, S., et al., 2014. Numerical Simulation of Electricity Generation Potential from Fractured Granite Reservoir through A Single Horizontal Well at Yangbajing Geothermal Field. *Energy*, 65: 472—487. doi:10.1016/j.energy.2013.10.084
- Zhang, Z., 1999. Abundant Geothermal Resources in Qinghai Province. *Earth*, 6: 11 (in Chinese).
- Zhao, P., Jin, J., Zhang, H. Z., et al., 1998. Chemical Composition of Thermal Water in the Yangbajain Geothermal Field, Tibet. *Chinese Scientia Geological Sciences*, 33(1): 61—72 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z., Luo, Y. F., Meng, M., et al., 2013. Researches on Arrangements for Reconnaissance and Development of General Situation of Geothermal Resources in Qinghai Province. *Journal of Qinghai Environment*, 23(3): 130—135 (in Chinese).
- Zheng, K. Y., Pan, X. P., 2009. Status and Prospect of Geothermal Generation Development in China. *Sino-Global Energy*, 14(2): 45—48 (in Chinese with English abstract).

### 附中文参考文献

- 高学伟, 李楠, 康慧, 2008. 地热发电技术的发展现状. 电力勘测设计, 6(3): 59—62, 80.
- 吕太, 高学伟, 李楠, 2009. 地热发电技术及存在的技术难题. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 5(1): 5—8.
- 马梅林, 王纪春, 1998. 国内外地热发电现状与展望. 电工技术, 11: 1—4.
- 王斌, 何世豪, 李百祥, 等, 2010. 青海共和盆地地热资源分布特征兼述 CSAMT 在地热勘查中的作用. 矿产与地质, 24(3): 280—285.
- 王贵玲, 张发旺, 刘志明, 2000. 国内外地热能开发利用现状及前景分析. 地球学报, 21(2): 134—139.
- 汪集扬, 刘时彬, 朱化周, 2000. 21 世纪中国地热能发展战略. 中国电力, 9(33): 85—94.
- 薛建球, 甘斌, 李百祥, 等, 2013. 青海共和—贵德盆地增强型地热系统(干热岩)地质—地球物理特征. 物探与化探, 37(1): 35—41.
- 严维德, 王焰新, 高学忠, 等, 2013. 共和盆地地热能分布特征与聚集机制分析. 西北地质, 46(4): 223—230.
- 张珍, 1999. 青海丰富的地热资源. 地球, 6: 11.
- 赵平, 金建, 张海政, 等, 1998. 西藏羊八井地热田热水的化学组成. 地质科学, 33(1): 61—72.
- 赵振, 罗银飞, 孟梦, 等, 2013. 青海省地热资源概况及勘察开发利用部署初步研究. 青海环境, 23(3): 130—135.
- 郑克梭, 潘小平, 2009. 中国地热发电开发现状与前景. 中外能源, 14(2): 45—48.