doi: 10.19388/j.zgdzdc.2018.02.05
引用格式: 孙东,董建兴,杨海军,等.高寒地区浅层地温能开发利用条件研究及多种能源联用探讨[J].中国地质调查,2018,5(2):32-37.

高寒地区浅层地温能开发利用条件研究及多种能源联用探讨

孙 东[1,2,3], 董建兴[1,2,3], 杨海军[1,2,3], 赵 驰[1,2,3], 陈银松[1,2,3], 李大猛[1,2,3]
(1.四川省地质矿产勘查开发局成都水文地质工程地质中心,成都 610081;
2.四川省环境保护地下水污染防治工程技术中心,成都 610081;
3.四川省华地新能源环保科技有限责任公司,成都 610081)

摘要: 深入研究高寒地区建筑物供暖制冷需求及浅层地温能开发利用条件,可发挥浅层地温能在建筑能源供应中的最大效益;探讨多种能源在供暖中的联合应用,能够更好地解决高寒地区能源紧缺问题。通过对高原气候特点分析,浅层地温能开发利用条件的调查、勘探、评价及多种能源联用的研究认为:高寒地区对浅层地温能需求主要为冬季供暖和生活热水供应,且热量需求大;高寒地区浅层地温能资源品位低,主要体现为换热温差小;换热方式以地下水水源热泵最为经济实用;城市中可供开发利用的空间小。鉴于当地深部地热、太阳能资源丰富,可充分利用这些可再生能源及常规能源,尽可能采用"基础负荷+调峰负荷"的方式,解决热量需求大的问题,从而提高能源的利用效率。

关键词: 浅层地温能;高寒地区;能源联用;地源热泵
中图分类号: P641;P314 **文献标志码**: A **文章编号**: 2095-8706(2018)02-0032-06

0 引言

随着生态文明建设的加快和城市化进程对能源的需求,清洁环保型的浅层地温能资源越来越受到重视[1-2],运用热泵技术,通过实施抽灌井、地下埋管等方式提取浅层(0~200 m)土壤、地下水中的热量或将外界热量排至其中,可以实现对建筑物供暖和制冷,为建筑物的能源供应提供补充。截至2015年底,浅层地温能资源在我国建筑能源供应中的使用面积已达到了3.6亿m^2[3],而位于我国西南的西藏和四川西部高海拔地区受各方面条件限制,浅层地温能资源开发利用程度不高,累计应用面积不到50万m^2,仅在拉萨市、马尔康市等地有所推广应用,其换热方式主要为地下水。

我国地势上由西向东呈现为由高至低的三级阶梯[4],气候差异很大,因此在不同的地区浅层地温能资源特点和利用模式也需因地制宜。尤其是在第一级阶梯上化石能源匮乏的高海拔、气候寒冷地区,因地质条件复杂,未开展浅层地温能资源相关研究,其资源储量及特点不清,建筑物能源需求和供应与其他地区也存在显著差别。本文通过对比研究西藏和四川西部主要城市与周边其他地区的气候差别,深入分析其需求状况,查明了高寒地区浅层地温能资源量及其资源特点,并探讨多种能源联用的开发利用模式,发挥浅层地温能在能源供应中的最大效益。

1 研究区概况

高寒地区主要是指位于我国青藏高原上的高海拔、气候寒冷区(图1)。地理位置涵盖了西藏、青海以及四川的西部,一般海拔在3 000~5 000 m之间,平均海拔4000 m以上。总人口超过1000

收稿日期: 2017-12-12; **修订日期**: 2018-03-07。
基金项目: 中国地质调查局"拉萨市浅层地温能调查评价(编号: 1212011120160)"、"四川省主要城市浅层地温能调查评价(编号: 12120113077200)"和"西藏自治区主要城市浅层地温能开发区1:5万水文地质调查(编号: 12120114086501)"项目联合资助。
第一作者简介: 孙东(1982—),男,高级工程师,从事新能源开发、水文地质及地下水污染防治等研究。Email: sundong2003@126.com。
万方数据

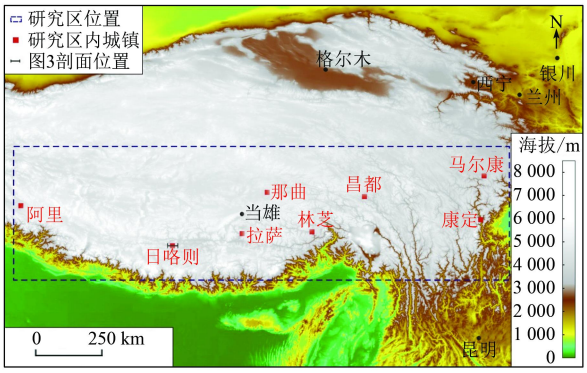

图 1　研究区地理位置

Fig. 1　Location of the study area

万,城镇人口约 420 万,多属于少数民族地区。该区域由于受喜马拉雅造山带的影响,区内地质条件复杂,岩土体类型众多,浅层地温能开发利用条件差异大。

2　高寒地区对浅层地温能资源的需求

2.1　高寒地区气候特点

研究区由于地形的差异,高原内部又可细分为高原、谷地、高原山地和高山峡谷等次级地形地貌区,因此在气候上也存在一些差异,尤其是青藏高原之上的一些重点城市,虽均位于高原气候区,但受地形地貌控制,气温统计参数差异明显(图 2)。

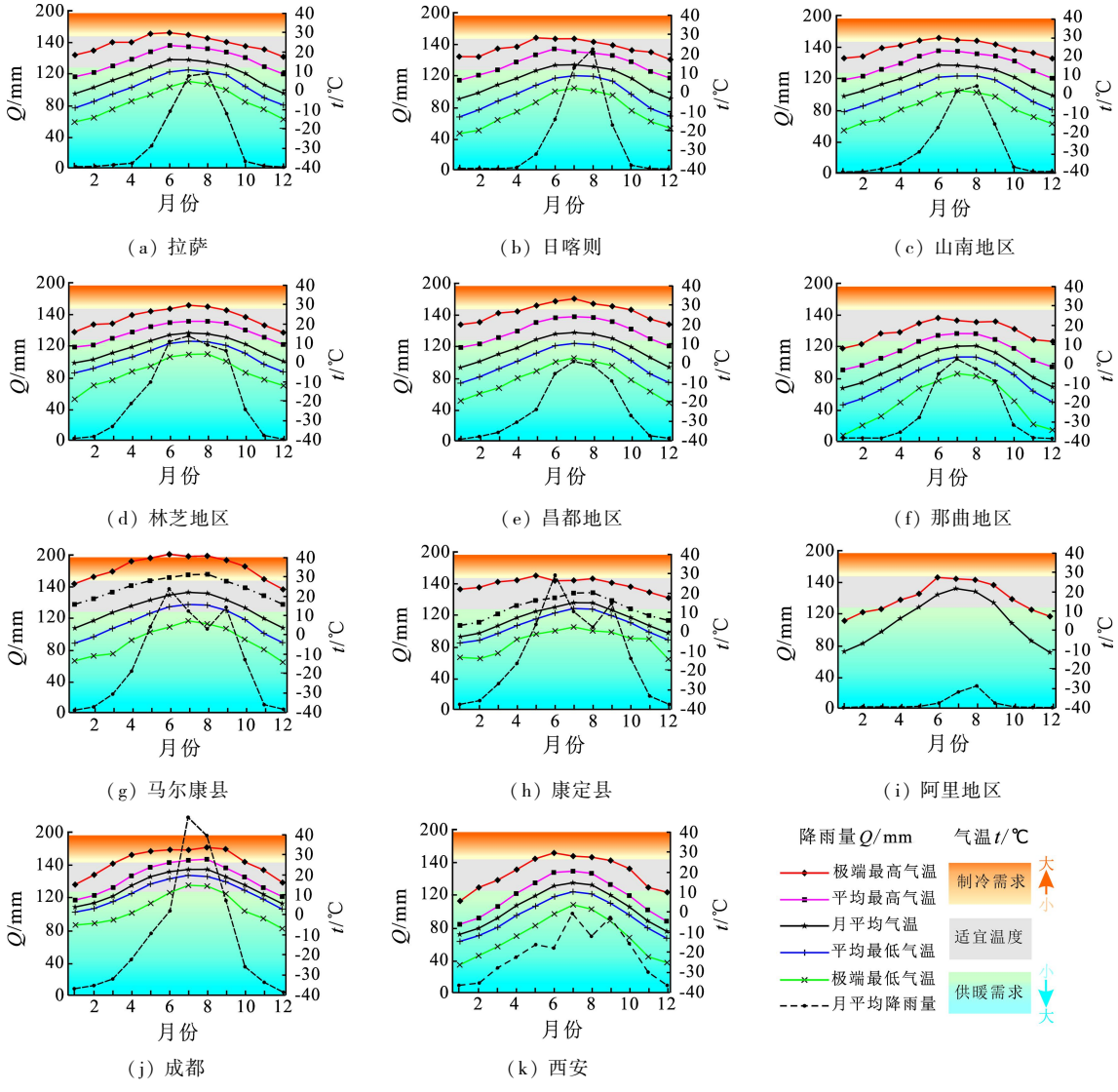

图 2　高寒地区及周边主要城市气象对比及供暖需求

Fig. 2　Meteorological comparison and heating supply demand of main cities in alpine region and its surroundings

高寒地区重点城市年平均气温多在 6.5 ~ 8.7 ℃之间,藏北地区那曲和阿里地区的年平均气温均小于 6 ℃(表 1)。从逐月平均气温来看,大多数城市年平均气温在 0 ~ 20 ℃之间,夏季在 10 ~ 20 ℃,冬

万方数据

季在 -5 ~ 5 ℃,仅有阿里和那曲地区的冬季月平均气温在 -10 ℃以下,仅有阿里地区的夏季月平均气温超过 20 ℃,但低于 22 ℃; 从逐月平均最高气温统计来看,一般不超过 28 ℃,均出现在夏季,仅有马尔康夏季平均最高气温超过了 30 ℃; 从逐月极端最高气温来看,一般也不超过 30 ℃,仅有马尔康夏季极端最高气温超过 30 ℃。从逐月平均最低气温来看,大多数城市冬季均在 0 ℃以下,一般在 -15 ~0 ℃,个别达到了 -15 ℃以下; 从逐月极端最低气温来看,多数在 -25 ~ -10 ℃,个别地区达到了 -25 ℃以下,与高原周边其他城市(如西安、成都、西宁、格尔木)气温区别较大(图 2)。

表 1　高寒地区重点城市年均气温及建筑气候分区

Tab. 1　Annual mean temperature and buildings climate zone of main cities in alpine region

气候分区	重点城市	年均气温/℃
寒冷地区	拉萨市	8.0
	日喀则市	6.5
	山南地区	8.6
	林芝地区	8.7
	昌都地区	7.6
	马尔康	8.6
	康定	7.1
	阿里地区	5.2
严寒地区	那曲地区	-1.1

2.2　高寒地区对浅层地温能需求

依据我国现行的建筑气候划分标准[5],青藏高原的重点城市分为严寒地区和寒冷地区(表 1)。按现在对供暖和制冷的实际需求来看,冬季气温低于 12 ℃时,对供暖就有需求,气温越低需求越大,当夏季温度高于 28 ℃时,对于制冷就有一定的需求,同样气温越高,需求越大。按上述标准对高寒地区的主要城市开展了供暖和制冷需求研究,结果表明高寒地区的大多数城市夏季对制冷的需求不强烈,仅有马尔康有少量的需求; 而在冬季,高寒地区的大多数城市由于冬季气温极低,均有强烈的供暖需求,尤其是位于藏北的城市,如那曲、阿里。

青藏高原由于交通不便、化石能源缺乏等问题,建筑物能源供应一直未能很好解决,几乎未实现集中供暖。据西藏和四川位于高寒地区的城市规划统计,到 2020 年,7 个主要城市的规划人口为 141.8 万,按 2016 年全国城镇居民人均住房面积 36.6 m^2 计算,需要供暖住房面积为 5 189.88 × 10^4 m^2。参考拉萨民用建筑热负荷 60 W/m^2 计算[6],其供热功率需求达 3.11 × 10^6 kW。

3　高寒地区浅层地温能资源赋存条件

3.1　浅层地温能储层结构特点

高寒地区主要城市多位于河谷地区,有基本类似的地质结构和储能结构(图 3)。由于地处河谷谷地,因此沿河谷地带均分布第四系,两侧均有高山分布,因此存在第四系储层和基岩储层 2 类。

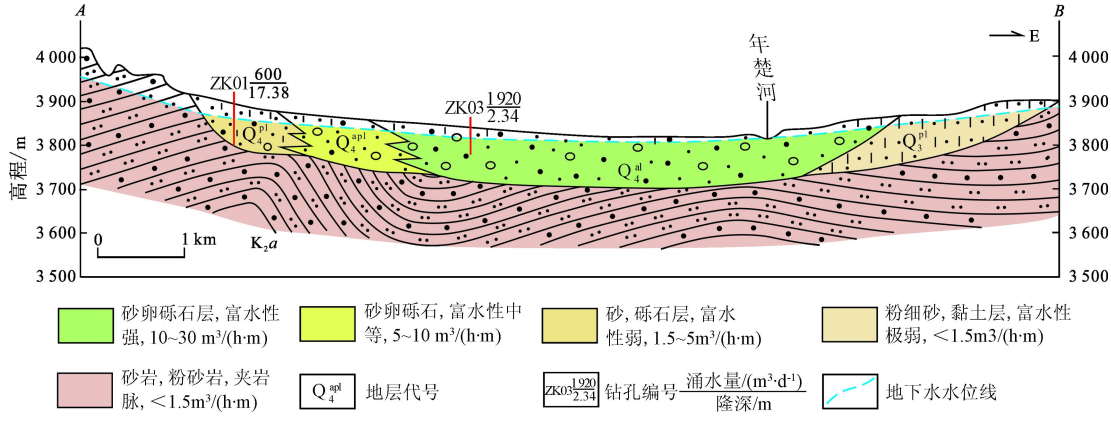

图 3　高寒地区浅层地温能储层结构典型特征剖面

Fig. 3　Typical structure profile of shallow geothermal energy reservoir in alpine region

第四系储层结构受控于地壳隆升和河流演化,差异明显。首先,第四系厚度差异较大,一般几十米至百米不等,个别地区如拉萨可达到 200 m 以上,多具有在现今河道或古河道位置第四系厚度大,向两侧变薄的特征。第四系厚度决定了含水层厚度,也在一定程度上决定了其富水性。其次,成因类型总体以靠近河道处为河流阶地和靠近山体一带为坡洪积为典型特征,靠河阶地一带岩性多以砂卵石层为主,富水性较好,靠近山体一带的岩性主要为碎石土、粉细砂、黏土等,富水性较差,总体

万方数据

上具有由河道向两侧山体富水性减弱的趋势。

基岩储层多分布于两侧山体及第四系之下,岩性受大地构造环境的控制有所不同,多数地区岩性为变质岩类,包括变质砂岩、变质粉砂岩,偶夹岩脉,还有一些地区为岩浆岩,包括花岗岩、闪长岩等,这些岩石储层富水性较弱。

高寒地区主要城市沿河地段,地下水较丰富,大多可以利用地下水水源热泵方式开发浅层地温能资源,但同时其具有较厚卵石层的特点,不利于实施地埋管; 基岩储层由于主要为变质岩、岩浆岩等,其富水性差,岩石钻探难度大,利用地埋管方式开采浅层地温能资源成本较高。

3.2　恒温带特征

高寒地区的恒温层分布有其独特的特点,据钻孔测温结果来看(表 2),其恒温层的深度一般分布在 20 ~ 65 m 之间,但个别地区有所差异。恒温层温度普遍较低海拔平原区低,一般在 10 ~ 12 ℃之间,总体上受当地气温控制,略高于当地年平均气温,个别钻孔(RKZ - ZK01)温度明显高于当地的年平均气温,推测其钻孔位于特殊构造部位,可能受深部地热资源及地热流体影响。比如那曲城区存在众多的断裂构造和深部地热流体活动,其浅表地层温度约 11 ℃,远高于当地年平均气温。

表 2　部分高寒地区恒温层温度和深度统计

Tab. 2　Statistics of temperature and depth of constant temperature strata in the parts of the alpine region

高寒地区城市	钻孔编号	地理位置	恒温层深度范围/m	恒温层温度范围/℃
拉萨市	LS - ZK01	次角林	26 ~ 58	10.2 ~ 10.8
	LS - ZK02	夺底乡	35 ~ 63	10.8 ~ 11.5
	LS - ZK03	火车站	33 ~ 63	12.4 ~ 12.8
	LS - ZK08	汽车七队	37 ~ 66	11.0 ~ 11.4
	LS - DZ01	拉鲁湿地	28 ~ 77	11.4 ~ 11.8
	LS - DZ02	布达拉宫东	25 ~ 69	15.9 ~ 16.1
日喀则	RKZ - ZK01	朗热木	18 ~ 63	13.5 ~ 14.0
林芝地区	LZ - ZK01	八一镇	22 ~ 65	9.5 ~ 9.9
马尔康县	MEK - ZK01	英波洛村	28 ~ 60	11.1 ~ 12.1

3.3　资源潜力

受城市规划区内适宜区面积、储层结构、恒温层温度等差异的影响,高寒地区的资源潜力差别也较大(表 3)。主要城市浅层地热容量为1.97×10^{14} kJ/℃,考虑土地利用系数后适宜和较适宜区的换热总功率为1.29×10^{6} kW,其中地下水水源热泵换热功率为9.73×10^{5} kW,地埋管地源热泵换热功率为3.69×10^{5} kW。可供暖面积总和为$2\,156.49 \times 10^{4}$ m^2,其中地下水水源热泵可供暖面积$1\,628.97 \times 10^{4}$ m^2,地埋管地源热泵可供暖面积597.03×10^{4} m^2。从需求和潜力对比数据来看,高寒地区浅层地温能若全部开采,能提供 40% 左右的

表 3　高寒地区主要城市浅层地温能资源潜力

Tab. 3　Resource potential of shallow geothermal energy of main cities in alpine region

高寒地区城市名称	规划区面积/km^2	地热容量/(kJ·℃$^{-1}$)	适宜区面积/km^2	热泵类型	换热季	换热功率/kW	可供暖面积/(万 m^2)
拉萨市	296.00	8.35×10^{13}	136.83	地下水	冬季	4.27×10^{5}	719.60
			16.42	地埋管	冬季	5.20×10^{3}	8.76
日喀则市	65.81	3.88×10^{13}	14.72	地下水	冬季	2.26×10^{5}	376.91
			1.92	地埋管	冬季	3.35×10^{4}	55.80
林芝地区林芝县	50.24	2.04×10^{13}	37.37	地下水	冬季	1.55×10^{5}	257.71
			10.27	地埋管	冬季	2.63×10^{4}	43.82
昌都地区昌都县	15.38	6.94×10^{12}	5.10	地下水	冬季	3.37×10^{3}	5.62
			11.99	地埋管	冬季	3.55×10^{4}	59.14
山南地区乃东县	27.71	1.43×10^{13}	26.83	地下水	冬季	9.88×10^{4}	164.59
			11.91	地埋管	冬季	5.15×10^{4}	85.81
那曲县	24.59	1.3×10^{13}	23.10	地埋管	冬季	7.53×10^{4}	125.58
阿里地区噶尔县	18.34	7.47×10^{12}	18.34	地下水	冬季	5.64×10^{4}	94.03
			0.82	地埋管	冬季	6.69×10^{2}	1.11
甘孜州康定县	13.89	8.41×10^{12}	2.31	地下水	冬季	5.83×10^{3}	9.72
			11.58	地埋管	冬季	8.85×10^{4}	147.5
阿坝州马尔康县	8.44	4.23×10^{12}	0.32	地下水	冬季	6.34×10^{2}	0.79
			8.12	地埋管	冬季	5.27×10^{4}	69.51
合计	520.40	1.97×10^{14}	329.83			1.29×10^{6}	2 156.49

万方数据

建筑物供暖需求,具有一定的开发利用潜力,可以作为建筑能源供应的重要组成部分。

4 高寒地区浅层地温能利用特点及多种能源联用

4.1 高寒地区浅层地温能开发利用的主要特点

(1)单季使用,热能需求大。由于独特的地理位置及气候条件,高寒地区供暖时间基本为每年 11 月至次年 3 月,具有对热量的需求大的特点。

(2)可利用温差小、品位低。高寒地区恒温层温度一般介于 10 ~ 12 ℃之间,这比我国低纬度低海拔的城市恒温层温度低 5 ~ 8 ℃,导致了机组和换热器效率低下,加上其需求为供暖需求,因而总体上利用温差小。

(3)换热方式单一。受地质条件的控制,高寒地区的浅层地温能储层基本为砂卵石层或者半坚硬—坚硬的基岩,具有钻探难度大、成本高的特点。目前在高寒地区开发浅层地温能资源案例的换热方式几乎全部为地下水水源热泵,如拉萨的金谷饭店、太阳岛酒店、西藏军区营房等。

(4)可利用空间小。高寒地区主要城市多位于河流谷地,尤其是位于高山峡谷地貌区的城市,建筑物密集,可供利用来开发浅层地温能的场地非常有限,如康定县、马尔康县等地。

4.2 浅层地温能与其他能源的联合应用

高寒地区浅层地温能具有储层结构主要为砂卵石和半坚硬—坚硬基岩、恒温层温度低、可利用温差小以及热负荷需求大的特点。若用单一的浅层地温能作为建筑供热能源,存在工程量超大、工程用地限制等问题,往往会导致一些工程在设计时就逐渐放弃了这种清洁能源。虽浅层地温能不一定能满足全部能耗需求,但可以作为重点支撑,探索多种能源联合应用解决高寒地区的建筑供热问题。如世博轴的江水源热泵和地源热泵联用、用友软件园土壤源热泵 + 冰蓄冷 + 水蓄能复合能源解决方案、北苑家园小区的地热负担基础负荷 + 燃气锅炉独担尖峰负荷等工程的能源联用技术给了我们很好的启示。

4.2.1 与可再生能源的联合应用

高寒地区地处青藏高原,位于印度板块与欧亚板块碰撞结合部位,构造作用强烈,形成丰富的深部地热资源,仅西藏境内就有水热显示 664 处[7],估算其可开采总量为 1.54×10^{19} J/a,相当于电能约 4.3×10^{12} kW·h,相当于标准煤约 5.3×10^{8} t。尤其是在一些主要城市周边,如那曲,康定、当雄、尼木等地,深部地热资源丰富。当雄县曾采用过深井抽取地下热水集中供暖,但由于地热水矿化度高,结垢严重,地热井使用 2 a 后报废。鉴于此,可以探索在地温异常区实施地埋管,提高换热效率;或可在深部地热水水质满足要求的前提下联合浅层地温能一起供热,解决能耗需求大的问题;另外还可采用地表水水源热泵技术,充分利用地热尾水作为供暖能源,如康定县城约 30 ℃的地热尾水现基本未利用。

青藏高原由于海拔高,处于我国的太阳能潜力极丰和丰富区[8]。可考虑利用浅层地温能联合太阳能为建筑物供热的模式,解决热能需求大的问题。

4.2.2 与常规及其他能源的联合应用

高寒地区天然气、煤等化石能源较为缺乏,多以外供为主。目前的常规能源为电能,其次是天然气,在拉萨已经建成了天然气站,日喀则的正在建设中。可逐步考虑利用浅层地温能资源,联合常规的电能、天然气等解决建筑物供热问题。

除此之外,还可充分利用工业余热、再生水、洗浴废水等中的热量,实现能源的回收利用,为建筑能耗提供能源。

4.2.3 多种能源联合供热方式

对于多种能源联合为建筑物供热,可考虑多种能源联合共担基础负荷,还可考虑以相对经济的地下水水源热泵为主体,联合地埋管等换热方式共同承担基础负荷;其次还可考虑浅层地温能独担基础负荷,其他能源承担尖峰负荷的联用方式等。

4.2.4 浅层地温能与其他能源联合供热的关键点

在高寒区采用浅层地温能与其他能源联合供热时,应首先做好场地勘查,评估不同换热方式的适用性和经济性,获取准确的设计参数,优化换热方案,考虑单季使用会导致像其他城市出现热堆积一样[9],出现冷堆积的实际问题,准确计算可利用土地范围内浅层地温能可提供的稳定功率,再探讨与其他能源的联合应用可行性,并尽量采用“基础负荷 + 调峰负荷”的方式,保障能源的高效利用。

5 结论

(1)高寒地区主要城市气候具有夏爽冬寒的特点,建筑物能耗需求主要为冬季供暖和全年生活热

万方数据

水供应,对热能需求大; 基本无夏季制冷需求。

(2)高寒地区 520 km^2 的主要城市规划区浅层地热容量为 1.97×10^{14} kJ/℃,能为规划区建筑物提供 40% 左右供热功率; 其资源具有品位低、可利用温差小、储层钻探难度大的特点; 以地下水作为换热介质的地下水水源热泵利用方式是当前主要的利用方式,也是最为经济的利用方式。

(3)高寒地区存在丰富的深部地热、太阳能等可再生能源,可采用浅层地温能为主,地热能、太阳能为辅的联用方式解决热能需求量大的问题,工程设计过程中尽量考虑基础负荷与调峰负荷的优化配置,避免设计负荷过大浪费能源; 同时在工程设计前应开展场地勘查,准确获取关键的各项设计参数,特别应注意仅冬季使用带来的冷堆积问题。

参考文献:

[1] 周阳,邓念东,王凤,等. 浅层地热能适宜性分区结构的分形原理[J]. 中国地质调查,2017,4(1):18 - 23.

[2] 周阳,李锋,闫文中,等. 关中盆地主要城市浅层地热能资源量赋存规律研究[J]. 中国地质调查,2016,3(4):12 - 18.

[3] 段金平,杨俊伟,李仁杰. 我国浅层地温能利用面积已达 3.6 亿平方米[EB/OL]. (2015 - 11 - 10)[2017 - 11 - 25]. http://www. mlr. gov. cn/xwdt/jrxw/201511/t20151110_1387582. htm.

[4] Lee J S. The Geology of China[M]. London: Thomas Murby & Co. ,1939:1 - 31.

[5] 中国建筑科学研究院. GB 50178—1993 建筑气候区划标准[S]. 北京:计划出版社,1994.

[6] 陈明红. 西藏拉萨市城市供热方式研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2008.

[7] 白嘉启,梅琳,杨美伶. 青藏高原地热资源与地壳热结构[J]. 地质力学学报,2006,12(3):354 - 362.

[8] 李柯,何凡能. 中国陆地太阳能资源开发潜力区域分析[J]. 地理科学进展,2010,29(9):1049 - 1054.

[9] 岳丽燕,孟令军,赵苏民,等. 天津市浅层地热能存在的热堆积问题及解决方法探讨[J]. 地质调查与研究,2017,40(1):76 - 80.

Review on the development and utilization conditions of shallow geothermal energy and multiple energy combined application in alpine region

SUN Dong[1,2,3], DONG Jianxing[1,2,3], YANG Haijun[1,2,3], ZHAO Chi[1,2,3], CHEN Yinsong[1,2,3], LI Dameng[1,2,3]

(1. *Chengdu Center of Hydrogeology and Engineering Geology, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Chengdu* 610081, *China*; 2. *Engineering and Technology Center of Groundwater Pollution Control for Environmental Protection in Sichuan, Chengdu* 610081, *China*; 3. *Sichuan Huadi New Energy and Environmental Protection Technology Co., Ltd., Chengdu* 610081, *China*)

Abstract: This research focuses on the heating and cooling demand of the buildings and the development and uti - lization conditions of shallow geothermal energy in alpine region, which would promlte the maximum use of shallow geothermal energy in energy supply of buildings. In addition, it explores the aombined application of multiple en - ergy in supply heating to better solve the energy shortage problem in alpine region. The authors analyzed the plat - eau climate characteristics, and did research on the investigation, exploration, evaluation of shallow geothermal energy and combined application of multiple energy. The results show that shallow geothermal energy is mainly used for winter heating and hot water supply in alpine region, and the demand is great. The resource grade of shallow geothermal energy in alpine region is low with little heat transfer temperature difference. The most eco - nomical mode of heat exchanging is groundwater source heat pump, and there is little space for the development and utilization of shallow geothermal energy in cities. The deep geothermal energy and solar energy are abundant in the study area, and these resources could be fully utilized through the way of basic load and peak - regulating load to solve the problem of great heat demand and improve energy utilization efficiency.

Key words: shallow geothermal energy; alpine region; multiple energy combined application; groundwater source heat pump

(责任编辑: 常艳)

万方数据