

天津市浅层地热能开发利用动态监测网建设

田光辉 林 黎 程万庆 曾梅香
刘东林 宋美钰 蔡 芸 王 平 宗振海

(天津地热勘查开发设计院, 天津 300250)

摘要:天津是中国浅层地热能开发利用试点城市之一,目前已顺利完成试点工作,形成了“调查先行、规划跟进、工程示范、监测到位、政策保障”的“天津模式”,动态监测作为其中一项重要的工作,取得了丰硕的成果。首先,结合天津浅层地热能地质条件和开发利用现状,制定了动态监测网的原则和技术要求;建设了地层温度监测站、运行系统监测站及两者皆有的监测站共 11 个,同时建立了天津浅层地热能开发利用试验基地及动态监测中心,采用 GPRS 网络实现了监测数据的无线传输;产学研相结合,研制了“分布串列式地层精细温度测量和传输采集系统”等监测设备、仪器及软件,共申报国家专利 14 项;在总结和分析建设经验的基础上,起草了《天津市埋管地源热泵动态监测规程》。笔者认为,天津的工作成果,必将为其他省市开展浅层地热能工作提供宝贵的经验。

关键词:浅层地热能;动态监测网;监测中心;专利;规程

中图分类号:P968;P314 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)06-1660-07

1 概 述

浅层地热能是指地表以下一定深度范围内(一般为恒温带至 200 m 埋深),温度低于 25℃,在当前技术经济条件下具备开发利用价值的地热能^[1]。它是一种可再生、环保、清洁的新型能源,开发利用浅层地热能是发展绿色经济、低碳经济和循环经济的必然趋势。中国浅层地热能开发利用潜力巨大,据保守估算,全国 287 个地级以上城市每年浅层地热能资源量相当于 95 亿 t 标准煤,在现有技术经济条件下,可利用热量相当于每年 3.5 亿 t 标准煤,如果有效开发利用,扣除开发利用的电能消耗,每年可节约标准煤 2.5 亿 t,减少排放二氧化碳 5 亿 t(数据引自“国际新能源网”)

为进一步推进浅层地热能开发利用,总结探索调查评价与开发利用的工作模式,更好地指导全国的工作,2009 年至 2010 年,国土资源部和天津市联合开展了“天津市浅层地热能开发利用调查试点工

作^[2]”。试点工作包括浅层地热能调查评价、开发利用规划编制、示范工程建设、动态监测网建设和政策研究等各项工作。利用一年的时间,天津市圆满地完成了各项工作任务。在调查评价和示范工程建设的基础上,初步构建了天津市浅层地热能开发利用动态监测网,建设完成了 11 个监测站、1 个试验基地和天津浅层地热能开发利用监测中心;研发了相关的监测设备、仪器及软件,申报国家专利 14 项;并起草了《天津市埋管地源热泵动态监测规程》。这些成果将及时、准确、动态的监测和预测开发利用浅层地热能资源可能带来的环境地质影响,提出防治浅层地热能利用产生不利环境影响的措施^[3],为天津市浅层地热能资源科学合理开发利用提供了技术数据;同时,也为今年开展的全国 29 个省、市、自治区浅层地热能调查评价工作提供了宝贵的经验。

天津市开发利用浅层地热能资源始于 2000 年,第一个项目是天津东车辆段修所项目,服务面积为 500 m²。经过近 10 年的发展,截止 2010 年 5 月,天

收稿日期:2011-08-21;改回日期:2011-10-26

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1212011013001)资助。

作者简介:田光辉,男,1980 年生,工程师,现主要从事水文地质、工程地质和热储工程研究工作;E-mail:tjdrytgh08@126.com。

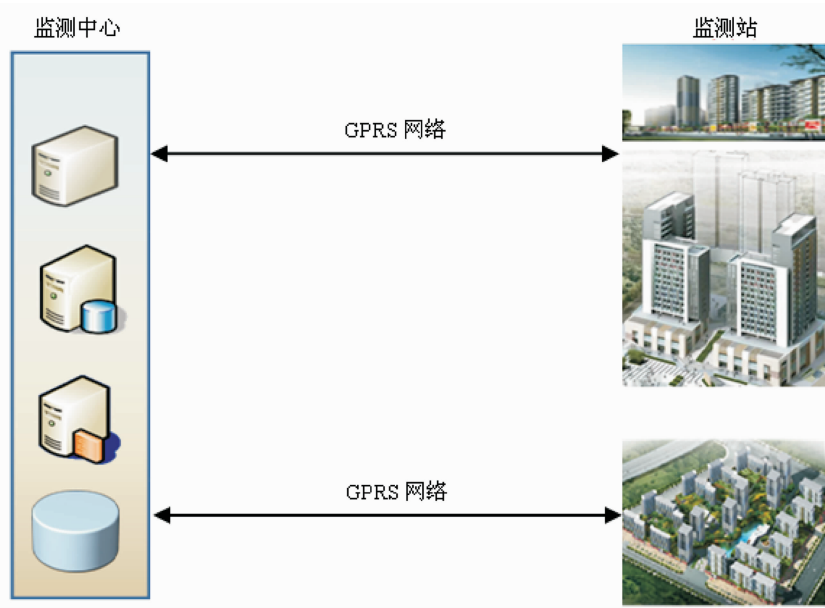


图 1 天津浅层地热能开发利用动态监测网示意图

Fig.1 Dynamic monitoring network map showing the development and utilization of shallow geothermal energy in Tianjin

天津市共有浅层地热能开发利用项目 174 个, 总服务面积达 294.79 万 m^2 。其中地理管地源热泵系统 132 个, 占总数的 75.86%, 服务面积 183.27 万 m^2 , 占总面积的 62.17%; 地下水地源热泵系统 42 个, 占总数的 24.14%, 服务面积 111.52 万 m^2 , 占总面积的 37.83%。主要用于企事业单位、商场和展馆、学校和医院等建筑物的供暖和制冷^①。

2 动态监测网的构建

动态监测网建设应遵循的主要原则: ①要能覆盖整个天津市, 选择区域地质、水文地质条件具有代表性的工程, 兼顾各地层结构、地质构造单元; ②结合具体的工程现状及实际情况, 具有可操作性; ③参考浅层地热能资源适宜性分区, 监测站所在地的资源条件要具有代表性^[4]; ④监测站要具有不同的工程规模、利用方式和建筑类型; ⑤结合一定的行政区划, 便于管理; ⑥监测内容要具有针对性, 保证数据的连续性和准确性。

2.1 动态监测网构建模式

监测网的布设采用“监测中心—监测站”的构建模式(图 1)。监测中心是整个系统运作的核心, 通过

GPRS 无线传输系统, 负责收集、整理和分析不同类型监测站上传的监测数据, 评价开发利用浅层地热能对地质环境的影响及系统的节能效果, 全市监测站的拓展、维护和管理, 编写监测月报、监测年报等工作。

2.2 监测站

天津的浅层地热能开发利用动态监测站根据不同的方式分为地下水地源热泵监测站和地理管地源热泵监测站, 后者又根据具体工程条件细分为地温监测站、运行系统监测站、地温和运行系统监测站 3 种类型。具体的分类及监测要求见表 1。

监测站的建设必须依托于各个具体工程, 结合示范工程建设, 按照动态监测网建设的基本原则, 选择了 11 个已建或在建的地源热泵项目, 实施了监测站的建设, 具体见表 2。

2.3 试验基地

为了更好地了解和分析地理管地源热泵系统运行特征, 研究天津地区地理管换热孔的布置方式, 探讨最佳的投资和运行方案, 在天津地热勘查开发设计院建立了地理管地源热泵系统试验基地。试验基地布置了不同深度(包括 60 m、80 m、100 m、120

①孙宝成, 等. 天津市浅层地热能资源调查报告. 天津地热勘查开发设计院, 2010.

表 1 天津市浅层地热能开发利用动态监测站分类表
Table 1 Classification of shallow geothermal energy development and utilization dynamic monitoring stations in Tianjin

监测站类型		监测要求
地下水地源热泵监测站		重点监测水井的开采量、回灌量、水位及液面温度、水质、地源侧和空调侧供回水总管流量及温度、热泵机组和循环泵的耗电量
地理管地源热泵监测站	地温监测站	1.只监测地层温度的变化,用于分析热泵系统运行对地温场的影响 2.监测孔的布置:要基本控制换热孔群的地温场分布特征,分别在孔群分布区域的中心位置、过渡区和边缘位置布置监测孔 3.监测孔的类型:参与换热的监测孔、影响半径监测孔、背景值监测孔、冻土层监测孔 4.测温点的布设:不同地层结构、岩土体冻土层深度、恒温层处均要布设测温点;如果地层情况不详时,测温点应加密布设
	运行系统监测站	1.只监测运行系统的相关参数,评价系统能效比 2.监测内容:地源侧和空调侧供回水总管流量及温度、热泵机组和循环泵的耗电量
	地温及运行系统监测站	包括以上两部分监测内容

m、150 m)、不同管数(单 U 和双 U)、不同孔间距(4.5 m 和 5 m)的试验管群区,各种试验研究用途地埋孔 21 眼。建有可调节的地源热泵机房,全套的机房运行设备和精度较高的监测仪表与记录系统;建有可控的末端风机盘管系统,制冷或供热面积约 1 000 m²。形成了一套完整的浅层地热能地源热泵系统,可根据需要进行各种模拟运转试验与测试^①。

地温监测:试验基地以 150 m 深单 U 地埋孔为主要温度监测对象,垂直方向上根据地层特征共布设 16 个测温传感器;水平方向以该孔为圆心,在半径 1.0 m、1.5 m、2.0 m、2.5 m 和 3.0 m 处各设置一个测温孔,各测温孔不处于同一直线,深度为 35 m,每眼孔垂向上布设 3 个测温传感器,监测换热孔的影响半径;另外,布置了 120 m 深双 U 地温监测孔 1 个,垂向上布设了 13 个测温传感器;布置冻土层监测孔 1 个,下入测线 2 m,每隔 30 cm 布设一个测温传感器。试验基地共布设 53 个测温点。

运行系统监测:6 个流量计分别监测地源侧和空调侧总管流量、单孔循环流量;32 个温度计分别监测地源侧和空调侧供回水温度、单孔的进出口温度;以上监测主要用于分析地源侧和空调侧的换热量及单孔的换热量。另外,电量监测用于计算系统的能效比。

2.4 监测中心

监测中心建在试验基地内,其主要职能包括:①贯彻执行国家、省市有关浅层地热能监测的法律、法规、标准、技术规范和管理规定;②负责本市地下水和地理管地源热泵监测站数据的实时监测、收集、整理和分析,评价开发利用浅层地热能对地质环境的影响及热泵系统的节能效果;③负责全市监测站的拓展、维护和管理;④负责全市监测人员的技术交流、技术培训及监测工作协调;⑤负责编写监测月报、年报,定期向主管部门上报动态监测情况,及时向各监测站反馈分析结果,指导系统科学运行;⑥完成上级主管部门下达的其他监测任务。

3 设备研制与规程编制

为了更好地完成天津市浅层地热能开发利用动态监测网建设,通过收集资料,现场考察,分析和总结以往监测设备的不足,充分利用现代高科技电子通信技术和材料技术,经过多次实践应用和改进完善,自主研发了相关的监测设备、仪器及软件系统。如其中最重要一个产品“分布串列式地层精细温度测量与传输采集系统^[5]”,该系统解决了现有产品引线多、不易调试、施工技术要求高、不能平滑成缆等问题,性能更加稳定可靠。这些产品均在具体工程项

①程万庆,等.天津市浅层地热能资源开发利用动态监测网建设专题报告.天津地热勘查开发设计院,2010.

表 2 天津市浅层地热能开发利用动态监测站建设一览

Table 2 List of shallow geothermal energy development and utilization dynamic monitoring stations in Tianjin

序号	工程名称	利用规模 /万 m ²	建筑 类型	热源系统	地下监测系统	运行监测系统
1	文化中心	90.0	公建	16 对水源井 地埋孔 3750 个 孔深 120m, 双 U	13 个监测孔 102 个测温点	2 个流量计、4 个温度计、1 个电表、1 套机柜、1 台计算机等
2	中新生态城 动漫园	17.0	公建	1 对地热深井 地埋孔 1381 个 孔深 120m, 双 U	9 个监测孔 261 个测温点	2 个流量计、4 个温度计、1 个电表、1 套机柜、1 台计算机等
3	梅江会展中心	20.0	公建	地埋孔 897 个 孔深 120m, 双 U	7 个监测孔 57 个测温点	2 个流量计、4 个温度计、1 个电表、1 套机柜、1 台计算机等
4	天大 26 号教学楼 与体育馆	2.9	公建	地埋孔 750 个 孔深 120m, 双 U	无	4 个流量计、8 个温度计、2 个电表、2 套机柜、2 台计算机等
5	富水一方	13.16	民建	地埋孔 643 个 孔深 120m, 双 U	无	2 个流量计、4 个温度计、1 个电表、1 套机柜、1 台计算机等
6	华勘局	1.36	公建	地埋孔 145 个 孔深 120m, 双 U	无	2 个流量计、4 个温度计、1 个电表、1 套机柜、1 台计算机等
7	华宁电子	1.84	公建	地埋孔 174 个 孔深 120m, 双 U	3 个监测孔 39 个测温点	无
8	滨海高新区 服务中心	6.0	公建	地埋孔 720 个 孔深 120m, 双 U	4 组监测孔 29 个测温点	4 个流量计、8 个温度计、16 个配电箱输入电量在线监测等
9	天津工业大学 新校区 A 区	18.15	学校	2 对地热深井 地埋孔 588 个 孔深 120m, 双 U	4 个监测孔 52 个测温点	2 个流量计、4 个温度计、 1 个电表等
10	海泰信息广场	3.0	公建	3 眼水源井 深度 440m	3 个自动水位监测仪	2 个流量计、4 个温度计、 1 个电表等
11	环渤海热带(海南)农 产品物流交易中心	6.07	公建	地埋孔 410 个 孔深 100m, 双 U	10 个监测孔 100 个测温点	2 个流量计、4 个温度计、1 个电表、1 套机柜、1 台计算机等

目中得到了充分应用和操作运行,并通过了相关部门的质量监督、技术检验,共申报国家专利 14 项,目前已授权 7 项。

为了更好地了解地埋管地源热泵系统运行对地下的地质环境影响程度、地温场长期使用变化情况、热泵系统的运行效率及节能效果,获取连续、稳定和真实的动态监测数据,使地埋管地源热泵项目动态监测系统设计、施工及验收,做到技术先进、经济合理、安全适用,保证工程质量,起草编制了《天津市地埋管地源热泵动态监测规程》。

本规程规定了(竖直)地埋管地源热泵动态监测系统建设的 technical 工作要求及有关工艺操作规定,动态监测的主要内容及技术要求。主要包括地温监测孔施工工艺及垂直测线和温度传感器布置、水平测

线布置、机房内运行系统监测设施的安 装、数据的采集及传输、监测内容及技术要求等。

4 监测数据的初步分析

2010 年 6 月 24 日—10 月 17 日,在试验基地内利用 150 m 深单 U 监测孔进行了原始地温的连续监测,获得了一系列宝贵数据。从不同深度地温监测数据分析,地下 5 m 深处地层温度受大气温度的影响最为明显,在夏、秋季节时间段内,地层温度呈递增的趋势,从 6 月 24 日的 13.5℃增加至 10 月 17 日的 16.125℃。但其与大气温度的变化趋势不近相同,有一定时间的滞后现象,相对高值区出现在 10 月上旬,与大气温度在 7 月或 8 月出现高值相比,延后约 2 个月;而 5 m 以下的地层温度受大气温度的影响

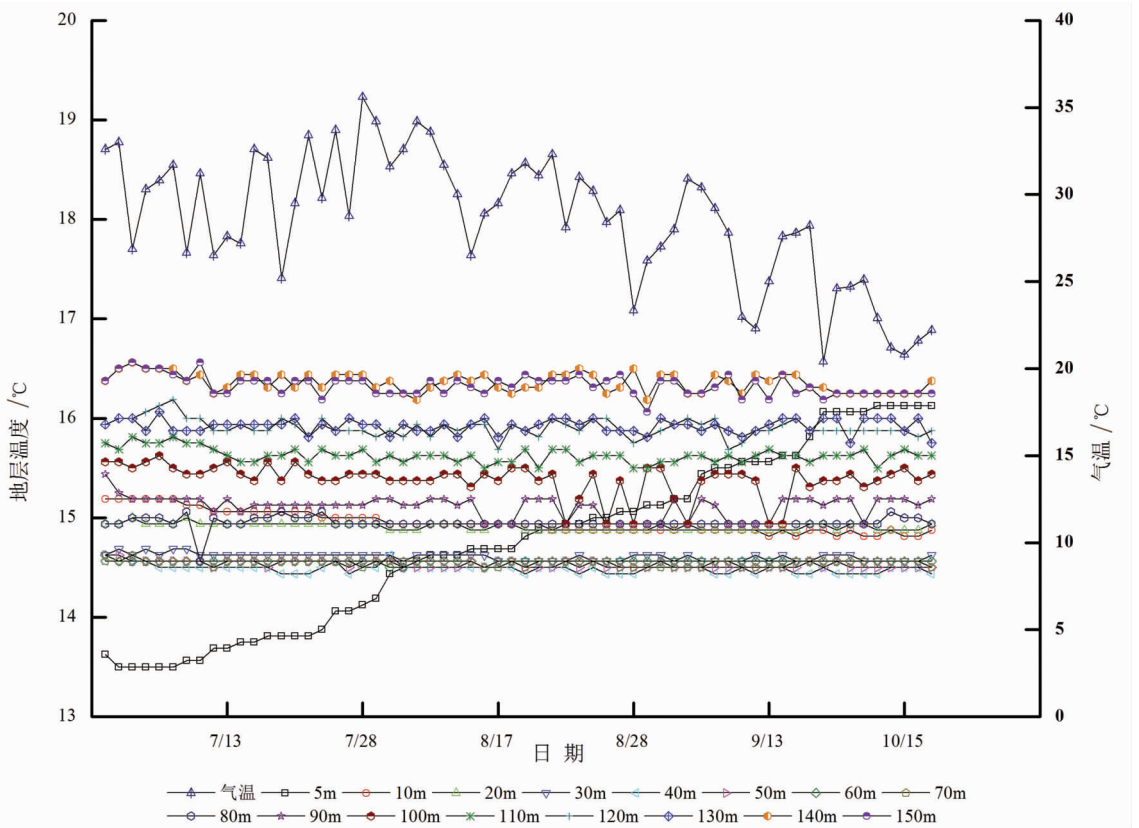


图 2 150 m 深单 U 型监测孔不同深度地层原始温度曲线图

Fig.2 Original temperature curve of single-U 150 m deep monitor holes at different depths of the layer

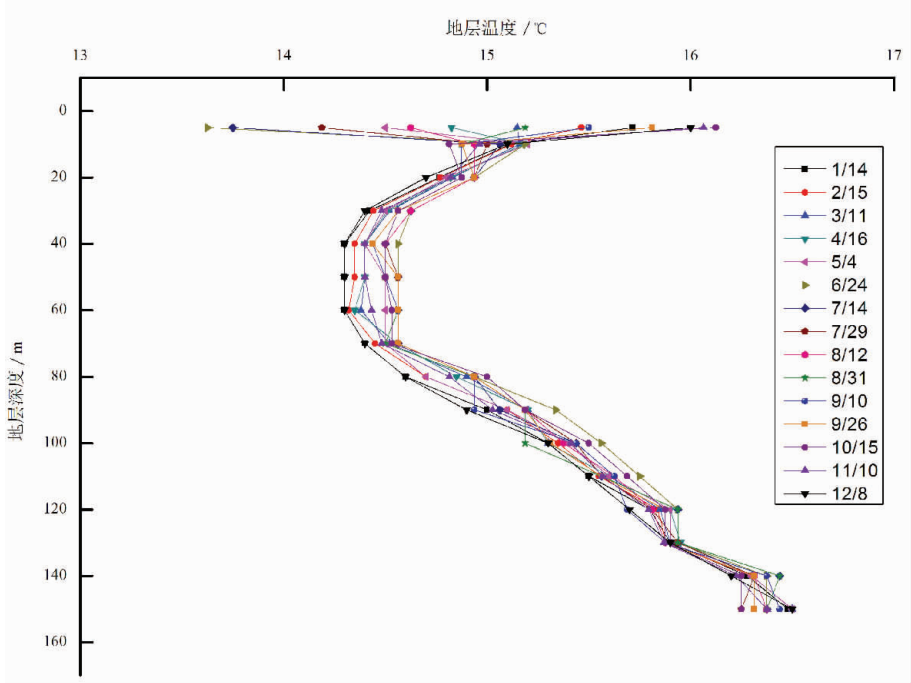


图 3 150 m 深单 U 型监测孔不同时间垂向地层原始温度曲线图

Fig.3 Original temperature curve of single-U 150 m deep monitor hole in different periods of the vertical layer

较小,基本稳定在 14.5℃~16.5℃;随着地层深度的增加,地层温度逐渐变大,至 150 m 深处达到 16.5℃(图 2)。

地层温度在垂向上出现明显分带,依次是变温带、恒温带和增温带。地壳最表面的温度受地面温度周期性变化的影响是随着深度的增加而减弱的,至一定深度,这种影响接近消失,地温基本保持恒定,通常称之为“恒温带”。“恒温带”之上称为“变温带”,其温度主要受太阳辐射、季节性气候的影响呈周期性变化;“恒温带”之下称为“增温带”,其温度主要受下部地壳传导热的影响,地温随深度的增加而增高,不同地区具有不同的地热增温率。由图 3 可知,监测孔周围变温带深度为 0~40 m,恒温带的深度为 40~60 m,地温约为 14.5℃。这一数据与以往设计中常用的恒温带深度 30 m、地温 13.5℃有一定的出入,均有所增加。分析原因可能是由近 20 年人类社会活动、气候整体变暖致使地温场变化引起的。当然这只是单一工程的监测数据,实际情况如何,还需要大量的、不同地区、不同工程地温原始监测数据进行验证确认。

5 结论及建议

通过过去一年的努力,天津市浅层地热能开发利用动态监测网已经初步成型,采用“监测中心—监测站”的构建模式,共建设了不同类型的监测站 11 个,试验基地 1 个及监测中心 1 个;同时,产学研相结合,研制了动态监测所需的仪器、设备和软件,共申报国家专利 14 项;起草编制了《天津市地埋管地源热泵动态监测规程》,为今后动态监测系统的建设提供了依据;同时,对监测数据进行了初步的分析,得出地温在垂向的分布规律,当然,这些规律还需要更多的、不同地区的数据进行验证^①。

天津试点工作成果,得到了李克强副总理的重要批示:“天津试点的成果可喜,国土资源部要按已定部署联合有关方面,继续推动我国浅层地热能调查评估和开发利用工作,开拓新型能源,推动低碳经济发展”。动态监测是一项重要的基础工作,笔者建议进一步完善天津市浅层地热能资源开发利用动态监测网,实现数据的自动化采集和传输,为合理开发浅层地热能资源和地质环境影响评价提供科学依据。

参考文献(References):

- [1] 韩再生,冉伟彦,佟红兵,等.浅层地热能勘查评价[J].中国地质,2007,4(6):1115-1121.
Han Zaisheng, Ran Weiyang, Tong Hongbing, et al. Exploration and evaluation of shallow geothermal energy [J]. Geology in China, 2007, 34(6):1115-1121(in Chinese with English abstract).
- [2] 斯文.天津市浅层地热能资源开发利用示范城市建设[J].地热能,2010,6:26-27.
Si Wen. Construction of development and utilization of shallow geothermal energy resources demonstration city in Tianjin [J]. Geothermal Energy, 2010, 6:26-27(in Chinese).
- [3] 韩再生,冉伟彦,佟红兵,等. DZ/T 0225-2009 浅层地热能勘查评价规范[S].中国:中华人民共和国国土资源部,2009.
Han Zaisheng, Ran Weiyang, Tong Hongbing, et al. DZ/T 0225-2009 Specification for shallow geothermal energy investigation and evaluation [S]. China: Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, 2009 (in Chinese).
- [4] 高新宇,范伯元,张宏光,等.浅层地温能开发利用对地质环境影响程度的探索性研究[J].现代地质,2009,23(6):1185-1193.
Gao Xinyu, Fan Boyuan, Zhang Hongguang, et al. Frontier research on the impact extent of geological environment during the development and utilization of shallow geothermal resources [J]. Geoscience, 2009, 23(6):1185-1193 (in Chinese).
- [5] 韩金树,林黎,张云霞,等.分布串列式地层精细温度测量和传输采集系统:中国,ZL2010202599109[P].2011-04-06.
Han Jinshu, Lin Li, Zhang Yunxia, et al. Serial formation fine distribution and transmission temperature measurement acquisition system: China, ZL2010202599109[P]. 2011-04-06 (in Chinese).

①田光辉,等.滨海新区浅层地热能开发利用可行性研究报告.天津地热勘查开发设计院,2009.

The construction of dynamic monitoring network for the development and utilization of shallow geothermal energy in Tianjin

TIAN Guang-hui, LIN Li, CHENG Wan-qing, ZENG Mei-xiang, LIU Dong-lin,
SONG Mei-yu, CAI Yun, WANG Ping, ZONG Zeng-hai

(Tianjin Geothermal Exploration and Development Designing Institute, Tianjin 300250, China)

Abstract: Tianjin is one of the experimental cities for shallow geothermal energy development and utilization in China, and experiments in selected places have already been finished, with the formation of "Tianjin mode", i.e., "investigation first, planning follow-up, project demonstration, monitoring in place and policy guarantee". Dynamic monitoring, as one of the important tasks, has made great progress. According to the geological condition and the present situation of development and utilization of shallow geothermal energy in Tianjin, the principle and technical requirements of dynamic monitoring network has been drawn up; eleven monitoring stations consisting of layer temperature, operating system and a combination of them have been constructed, with the building of the test base and dynamic monitoring center, and the monitoring data have been transmitted wirelessly through GPRS network; the combination of production, the monitoring equipment, instruments and software such as "serial formation of fine distribution and transmission temperature measurement acquisition system" have been developed, with the application for 14 national patents; according to the summary and analysis of the construction experience, "Tianjin pipe ground-source heat pump dynamic monitoring rules" has been drafted. The authors hold that the achievements of Tianjin will offer valuable experience for shallow geothermal energy projects in other provinces.

Key words: shallow geothermal energy; dynamic monitoring network; monitoring center; patent; rule

About the first author: TIAN Guang-hui, mail, born in 1980, engineer, mainly engages in the study of hydrogeology, engineering geology and geothermal reservoir engineering; E-mail: tjdrytgh08@126.com.