



《地源热泵系统工程 技术规范》修订要点解读^{*}

中国建筑科学研究院 朱清宇[☆] 徐 伟 沈 亮

摘要 介绍了规范的修订背景和修订内容的具体考虑。增加了是否需实施岩土热响应试验的判断依据、试验方法的选择,明确指出了应采用动态耦合计算的方法指导系统设计。

关键词 地源热泵 规范 修订 动态耦合计算 岩土 热响应试验

Interpretation of some points in the revised *Technical code of ground-source heat pump system*

By Zhu Qingyu[★], Xu Wei and Shen Liang

Abstract Presents the background and the detailed considerations of revised provisions. Adds the basis upon which the thermal response test is judged to be performed or not, and the selection of test methods. Specifies that the dynamic coupled calculation method should be applied to guide system designing.

Keywords ground-source heat pump, standard, revise, dynamic coupled calculation, rock-soil, thermal response test

★ China Academy of Building Research, Beijing, China

①

0 引言

地埋管地源热泵系统是将地下 100 m 左右恒温带中的土壤、卵石、岩石和含水层作为热泵系统的热源和热汇的一种季节性蓄能系统^[1]。近年来,得益于国家节能减排的政策支持,以及人们节能环保意识的提高,地源热泵系统工程在我国如雨后春笋般迅速推广开来。在这一背景的推动下,GB 50366—2005《地源热泵系统工程技术规范》(以下简称《规范》)应运而生。

《规范》自实施以来,对地源热泵空调技术在我国健康快速的发展和作用起到了很好的指导和规范作用。然而,随着地埋管地源热泵系统在我国研究和应用的不断深入,如何设计其地埋管换热系统,《规范》中并没有系统的条文加以约束,致使在实际的地埋管地源热泵系统的设计和应用中,存在一定的盲目性和随意性。为了使《规范》更加完善

合理,统一规范岩土热响应试验方法,科学合理地设计地埋管地源热泵系统,本次修订增加了岩土热响应试验方法及相关内容,在确保系统向地下的冬季取热及夏季排热相平衡,以及系统高效节能的前提下,明确了应结合岩土热物性参数,采用动态耦合计算的方法指导地埋管地源热泵系统设计,并在此基础上,对相关条文进行了修订。

1 《规范》修订的背景

1.1 地埋管地源热泵系统应用广泛

地埋管地源热泵系统也称为土壤源热泵系统。与其他形式的热泵系统(如地下水地源热泵系统和地表水地源热泵系统)相比,地埋管地源热泵系统受地域性和自然条件的影响较小,因而其应用较

①☆ 朱清宇,男,1967 年 5 月生,工学博士,副研究员
100013 北京市北三环东路 30 号
(010) 64517428
E-mail: ssendai@gmail.com
收稿日期:2010-05-04

* “十一五”国家科技支撑课题资助项目(编号:20070106110131002)

广。在我国,该系统的应用具有以下特点:

1)建筑应用规模大。通过对住房和城乡建设部公布的 2007 年度和 2008 年度可再生能源建筑应用示范项目统计调查,在 144 个示范项目中,总的地源热泵建筑应用面积为 1 578.06 万 m^2 ,其中地埋管地源热泵技术应用面积为 337.16 万 m^2 ,占到总建筑应用面积的 21.36%,仅次于地下水地源热泵技术^[2]。此外,应用地埋管地源热泵系统的单体建筑面积越来越大,甚至大有赶超地下水地源热泵系统的态势,这也成为该技术在我国推广应用的显著特点之一。

2)应用地域广。从我国西北边陲——新疆,至东部沿海省份——江苏、浙江,从我国东北的辽宁,至南端的广东、广西,均有已经建成并投入使用的地埋管地源热泵系统。

3)应用建筑类型多。地埋管地源热泵系统几乎涵盖了各种类型的居住建筑和公共建筑,还有部分工业建筑。其中住宅项目包括经济适用房、商品房小区、高档公寓、别墅与农村居住建筑;公共建筑包括政府办公建筑、写字楼、商场、宾馆酒店、会展中心、医院、休闲娱乐度假场所、博物馆、体育场馆等。

1.2 传统的地埋管地源热泵系统设计方法存在不足

以往以及目前工程应用中,针对地埋管地源热泵系统的设计方法,往往采用每延米换热量的方法,即根据建筑物的总负荷,按照每延米换热量计算总的地埋管换热器长度。这种设计方法往往来源于设计人员自身的经验或估计,是一种粗放的、没有依据的经验性设计。

从经典传热学理论而言,地埋管换热器与土壤的传热过程是一个复杂的、非稳态的传热过程,所涉及的时间尺度很长,空间区域很大^[3];此外,对于长期运行的地埋管换热器,冬夏季的换热工况存在一定的差异^[4],需要根据冷热负荷的情况,采取动态耦合的计算分析方法来确定地埋管地源热泵系统的运行和配置情况,如采取间歇运行方式、混合模式运行等。

而如果沿用上述按每延米换热量计算换热器长度的方法指导设计,则将地埋管换热器与土壤的传热过程视为一个稳态导热过程,这不符合实际情况。该方法之所以能够广泛应用于地源热泵系统

的设计中,是由于其计算简单,设计时能够满足理论值的要求,在系统运行初期能够满足制冷供暖的需求。但是,以这样的方法设计地埋管地源热泵系统存在很大的隐患,不是过于保守,就是过于大胆。只有通过岩土热响应试验,正确获得岩土热物性参数,将用户端的负荷变化情况与岩土热物性参数耦合计算,以动态的理念来指导系统设计,才能决定该系统是否节能。

1.3 对岩土热响应试验的方法没有统一规定

随着对地埋管地源热泵技术的深入研究和广泛应用,通过岩土热响应试验获得岩土热物性参数来指导地埋管地源热泵系统的设计这一理念,也逐渐被广大的业主和设计人员所接受。但是,哪些地埋管地源热泵系统需要进行岩土热响应试验,采用何种方法来实施这一试验,通过试验得到的岩土热物性参数又如何指导地埋管地源热泵系统的设计,一直以来没有统一的标准加以规范和限制。仅就岩土热响应试验的方法而言,国内外展开了形式多样的研究。为此,笔者对我国 10 多个省、自治区、直辖市近 60 个开展岩土热响应试验的项目进行了广泛深入的调查^[5]。通过调查研究发现,如果没有统一的规范对岩土热响应试验的方法和手段进行指导和约束,则很有可能造成通过试验得到的岩土热物性参数结果不一致,致使地埋管地源热泵系统在使用过程中存在一些争议。鉴于此,为了规范地埋管地源热泵系统的市场行为,为该系统的的设计提供统一的指导,就需要在《规范》修订时增加对岩土热响应试验的相关规定和说明。

2 《规范》修订要解决的问题

1)对应用地埋管地源热泵系统的项目,以何种方式来界定该项目是否需要岩土热响应试验。

随着地埋管地源热泵技术应用建筑类型的不断增加,规模的不断扩大,是否所有的项目都需要实施岩土热响应试验,如何实现差别对待,体现《规范》的灵活性,此次修订需要重点说明。

2)采用何种方法来实施岩土热响应试验。

岩土热响应试验的研究在国内外已开展多年,提出的试验方法和试验设备也多种多样。此次修订中,采用何种试验方法,对试验设备又有哪些要求,才能体现《规范》的可操作性,也是重点关注的问题之一。

3)如何利用岩土热物性参数指导地埋管地源

热泵系统的设计。

岩土热响应试验最关键的目的是要获得岩土热物性参数,以动态的计算方法来指导具体的地埋管地源热泵系统设计,从而提高地埋管地源热泵系统运行的经济性和稳定性,规范地埋管地源热泵系统的发展和应用。

3 《规范》修订要点解读

此次修订的主要内容为增加岩土热响应试验相关内容,明确提出采用动态耦合计算的方法指导地埋管地源热泵系统的设计,并由此对《规范》中的相关条文和条文说明进行修改。

3.1 对是否需要实施岩土热响应试验提出了明确的界限

在《规范》第 3 章中增加第 3.2.2A 条:当地埋管地源热泵系统的应用建筑面积在 3 000~5 000 m^2 时,宜进行岩土热响应试验;当应用建筑面积大于等于 5 000 m^2 时,应进行热响应试验。并在附录 C:岩土热响应试验中特别说明;地埋管地源热泵系统的应用建筑面积大于或等于 10 000 m^2 时,测试孔的数量不少于 2 个。

该条文中,应用建筑面积指在同一个工程中,应用地埋管地源热泵系统的各个单体建筑面积的总和。这涵盖了一些分散的地埋管地源热泵系统项目,如大型的别墅区,虽然每栋单体建筑独立配置一套地埋管地源热泵系统,但当总的应用建筑面积达到条文中的相关规定时,应当进行相应的热响应试验。

此外,近几年地埋管地源热泵系统在我国应用的规模越来越大,应用该技术的项目面积动辄上万 m^2 ,根据国外对商用和公用建筑应用地埋管地源热泵系统的技术要求,应用建筑面积小于 3 000 m^2 时至少设置 1 个测试孔进行岩土热响应试验。考虑到我国目前地埋管地源热泵系统应用的特点,并结合国外已有的经验,为了保证大中型地埋管地源热泵系统的安全运行和节能效果,同时也是为了便于业主根据自身项目的特点,更为直观地确定是否需要实施岩土热响应试验,规定采用以应用建筑面积作为是否需要实施岩土热响应试验的划分依据。

3.2 采用放热试验的方法实施岩土热响应试验

就岩土热响应试验而言,最为常用也是应用最为成熟的技术方法,就是采用放热的方法进行试

验,即向地埋管换热器施加一定加热量,保证一段时间连续不间断的运行,通过对运行数据的采集分析,获得岩土热物性参数。与此相对应的就是取热试验,从土壤中提取热量,通过一段时间连续不间断的运行,分析试验数据得到岩土热物性参数。此次修订采用放热试验方法,而没有对采用取热试验的方法进行详细规定,原因如下。

1)采用放热试验的方法,技术手段和操作方法应用最为成熟,也有较为完备的数据分析方法,非常有利于岩土热响应试验的实施和推广,这也符合制定规范的主旨:即确保规范能够贯彻实施的同时,增加规范条文的可操作性。

2)岩土热物性作为一种物理性质,一般来说,在一定的温度波动范围内,其参数不会有较大波动。因此,在通过不同的试验方法而能够获得近似相同的试验结果时,优先选择较为简便、较易实现的试验方法。

3)通过对我国岩土热响应试验开展情况的研究和调研发现,一些科研院所、高校也相继开发出了进行取热试验的测试设备,但普遍存在设备体积、质量大,不适于测试现场较为恶劣的环境;加之目前还没有提出针对取热试验的较为完整、合理的分析方法,测试所得到的数据仅作为参考,并不能指导具体的设计。鉴于取热试验这种试验方法尚不成熟,不能形成从测试到分析应用的完整体系,不具备推广应用的条件,因此,在此次修订中,仅提供了采用放热试验方法的详细做法和要求。

4)就采用放热试验而言,仍然存在不同的做法,如采用固定加热功率的试验方法,采用固定地埋管换热器入口温度的试验方法等。通过多次的岩土热响应试验总结以及理论分析,在本次修订中,采取固定加热功率的做法,而不采用其他方法,是因为前者在具体操作过程中最易于实现,只需现场提供一个相对稳定的电源即可;试验数据的分析方法也最为成熟,除了推荐的计算软件外,一些科研院所和高校也开发出对应的分析计算软件,均可实现计算要求。因此,采用固定加热功率的试验方法最为人们熟知,对设备的制作要求和控制要求也相对较为简单,有利于岩土热响应试验相关技术和研究的推广应用,同时也能为设计人员、业主等提供一种更为直观的、

明了的设计选型的试验依据。

3.3 提供一种地埋管换热器的分析方法

在此次修订中,对竖直地埋管换热器的分析,推荐一种理论计算模型^[6]作为利用岩土热物性参数对地埋管换热器分析的数学计算方法。其核心就是强调要结合岩土热物性参数,以动态的方法进行地埋管地源热泵系统的设计和选型。

经典传热学理论将竖直地埋管换热器的模型假设分为线热源模型^[7]和圆柱热源模型^[8]两类。这两种模型假设条件不同,从而建立的数学模型也有所不同。但这两种模型都可作为对竖直地埋管换热器分析的数学工具。就《规范》本身的性质而言,制定的目的是为了规范、指导从事本行业人员和单位的技术行为、工程行为,而非学术讨论文章,即应对两种方法的利弊加以权衡,确定一种更为可行的方法。因此,修订中推荐一种竖直地埋管换热器的分析计算方法,一方面增加《规范》的实用性,可以根据《规范》中推荐的分析方法辅助地埋管地源热泵系统的设计,或利用该方法的原理,开发相应的模型计算和设计软件;另一方面,推荐但不局限于一种算法,也确保了《规范》的灵活性和可操作性。

3.4 细化地埋管换热器设计参数

在此次修订中,较为关键的是增加了第 4.3.5A 条,即关于冬夏两季对地埋管换热器设计进出口温度的限定。其中要求:夏季运行期间,地埋管换热器出口最高温度宜低于 33℃;冬季运行期间,不添加防冻剂的地埋管换热器进口最低温度宜高于 4℃。

增加此条款的目的是为了确保地埋管地源热泵系统的高效运行。然而,在针对此条款的实际操作过程中,存在的主要困难是:由于南北气候差异,规范中对地埋管换热器夏季出口温度的要求在我国北方地区普遍能够达到,而南方地区则存在一定的困难;地埋管换热器冬季进口温度限制在我国南方地区普遍能够满足,而在我国北方,尤其是在东北地区难以实现。为此,对此条款严格程度要求的用词,采用了“宜”,目的就是在确保地埋管地源热泵系统运行高效的前提下,尽可能满足对温度限值的要求。

此外,此次修订还提出了一套较为完整的岩土热响应试验方法和步骤,并对试验内容和提交试验

报告应当涵盖的方面均给出了明确的规定。丰富了《规范》的内容,增强了《规范》的约束性和可操作性。由于对应的内容条文说明中已有较详细的说明,本文不再赘述。

4 结语

此次修订不仅是对现有地埋管地源热泵系统的完善,同时也是对该技术应用推广的一次总结:

1)地埋管地源热泵系统的应用应当遵循因地制宜原则,根据当地地质条件、气候特征适度开展;

2)地埋管地源热泵系统适用于低能耗、低密度的建筑,不仅能够满足用户的供暖空调,甚至生活热水需求,而且其节能环保的效益也能得到较好的体现;

3)应根据不同气候地区的供暖空调特点,按照地埋管换热系统的换热特性进行设计,确保供暖空调系统的高效节能。

此次修订是基于地埋管地源热泵系统在我国快速发展应用的背景,旨在完善地埋管换热系统勘察、前期设计,指导地埋管地源热泵系统方案选择、深化设计。增加了岩土热响应试验方法及相关内容,汲取国外好的经验,立足我国国情,充分吸纳本行业各个单位好的意见和建议,对正确指导地埋管地源热泵系统的设计和应用,规范行业市场,完善标准体系具有十分重要意义。

参考文献:

- [1] 汪训昌. 以科学发展观规范地源热泵系统建设[J]. 制冷与空调, 2009, 9(3): 15-21
- [2] 徐伟. 中国地源热泵发展研究报告[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 4-5
- [3] 方肇洪. 地热换热器的传热分析[J]. 工程热物学报, 2004, 25(4): 685-687
- [4] 赵军. U 型管埋地换热器长期性能的实验研究与灰色预测[J]. 太阳能学报, 2006, 27(11): 1137-1140
- [5] 朱清宇. 岩土热物性参数测试的研究及应用[J]. 暖通空调, 2008, 38(增刊): 206-209
- [6] 吕晓辰. 地埋管换热器和周围岩土的传热分析及工程设计应用[J]. 暖通空调, 2008, 38(增刊): 201-205
- [7] Zeng H Y. A finite line-source model for boreholes in geothermal heat exchangers [J]. Heat Transfer — Asian Research, 2002, 31(7): 558-567
- [8] Ingersoll L R, Plass H J. Theory of the ground pipe heat source for the heat pump [J]. Heating, Piping & Air Conditioning, 1948(7): 119-122