

文章编号: 1671-6612 (2022) 03-517-06

地埋管地源热泵系统水平集管连管方式的研究

辛立明 高朋 王玉超 朱永强 刘启明 甄璐莹

(北京市勘察设计研究院有限公司 北京 100038)

【摘要】 地埋管地源热泵系统因土壤温度稳定、受环境影响小、不占用地上面积,且相对于地表水地源热泵和地下水地源热泵,维护和运行较为简单,故其应用越发广泛。以往的研究多注重垂直埋管的布孔方式以及布孔深度的研究,而对于地埋管水平集管的连管方式相对较少。水平集管连管方式既影响地源热泵系统管路的水力平衡,还与施工过程的工程量相关。结合工程实例对地埋管地源热泵系统三种水平集管连管方式进行研究。结果表明:完全同程分散式连管方式总水力损失最大,异程集中式连管方式总水力损失最小;异程集中式连管方式,所需的PE管长度最小,钢管长度最大,施工开挖的土方量最小;局部同程分散式连管方式,所需的管长之和最小,施工开挖的土方量最大。

【关键词】 地埋管地源热泵系统; 施工工艺; 水平管连管方式; 对比分析
中图分类号 TK11 文献标识码 A

The Connecting Mode of Horizontal Collector in Ground Source Heat Pump System

Xin Liming Gao Peng Wang Yuchao Zhu Yongqiang Liu Qiming Zhen Luying

(Beijing Survey and Design Research Institute Co., Ltd, Beijing, 100038)

【Abstract】 Ground source heat pump system with stable soil temperature, small environmental impact, does not occupy the ground area, and relative to surface water system and groundwater system, simple maintenance and operation, its application is more widely. In the past, more attention was paid to the distribution of vertical buried pipes and the depth of the distribution of holes, but the horizontal collection is relatively less. The horizontal connection not only affects the hydraulic balance of the pipeline, but also is related to the amount of engineering in the construction process. Combined with an engineering example, this studies three kinds of horizontal collecting pipe connecting modes of ground source heat pump system. The results show that the total hydraulic loss is the largest in the fully same path decentralized connection, and the minimum in the different path centralized connection. Required PE pipe length is the smallest in different range centralized pipe connecting mode, the steel pipe length is the largest, and the construction excavation earthwork quantity is the smallest. Local same path distributed pipe connection requires minimum sum of pipe lengths and the largest amount of earthwork.

【Keywords】 ground-source heat pump system; construction technology; horizontal connection; comparative analysis

作者(通讯作者)简介: 辛立明(1993.4-),男,工程硕士,助理工程师, E-mail: xinliming123@163.com
收稿日期: 2021-08-17

0 引言

地埋管地源热泵系统是以地下岩土中热量为冷热源,通过中间介质作为热载体,并使中间介质在由塑料管组成的封闭环路中通过地下岩土体循环流动,从而实现与地下岩土进行热量交换,并通

过热泵实现对建筑室内供冷供热。根据地埋管换热器的布置形式不同,可以分为水平埋管和垂直埋管换热器两大类。垂直埋管由于占地少、工作性能稳定等优点,已经成为工程应用中的主导形式^[1]。

地源热泵室外地埋管系统是由垂直埋管换

热器、水平供回水管道以及检查井和对应的分集水器等几部分组成，其中垂直地埋管换热器管道的连管方式通常有两种，一种是单 U 型，一种是双 U 型；水平供回水管道的连管方式通常有两种，一种是集管式，一种是非集管式；对于水平管供回水系统形式又可分为同程式和异程式两种。

水平供回水管的连管方式与系统初投资、施工过程的工艺、地埋管水力损失、运行维护管理等都有密切关系^[2]，因此研究地源热泵系统水平集管的连管方式对地源热泵系统在实际工程中应用具有深远意义。

本文总结了水平集管的几种连管方式，并以实际工程项目为例，分析不同连管方式的差异性。

1 水平管连管方式

目前实际工程中常见到的水平管连管类型主要包括集管同程式、集管局部同程式、集管异程式、集管无变径连接式、非集管同程式、非集管局部同程式和非集管异程式。不同的连管方式可以根据施工场地来合理的选用^[3]。非集管式连管方式是将每个地埋管换热器单独汇总至分集水器，管道在地埋换热孔到分集水器之间不存在焊接点，此种连管方式降低了管路泄漏的风险，可靠性高，但是需要消耗大量管材，靠近分集水器附近管路数量较多，管沟占地面积较大。集管式连管方式是将多个地埋管换热器并联至环路集管，再由集管连接到分集水器，此种连管方式管路施工过程操作简便，运行维护管理方便，但是管路中连接点较多，存在泄露的风险。两种连管方式在条件允许下均可同程敷设，以确保整个地埋管换热系统流量水力平衡。

非集管式连管方式具有焊接节点少的优点，每个地埋换热孔可以单独控制，当某一地埋管换热器回路的 PE 管出现漏水的情况，只需要单独截断损坏回路，仅报废一个换热孔。但是不容易做到同程设计，容易出水力不平衡的现象，局部需采用增加管路长度等特殊方式使其满足平衡要求。

集管式连管方式容易做到同程设计，满足水力平衡的要求。同程回路将总管与各个支管构成循环环路总长度相等的系统，阻力大致相同，流量分配较均匀，可减少初次调整水力平衡的难度，但是初投资相对较大。异程式系统的总管与各个支管构成的循环环路的总长度不相等，异程式系统最远环路

同最近环路之间的水力损失相差很大，压力不易平衡，使得靠近总管附近的分管供水量过剩，而系统末端管供水不足，供热量达不到要求。

根据多年工程经验，一般将地源热泵地埋管水平集管连管方式分为同程集中式、同程分散式、异程集中式等几种不同形式。根据项目场地情况，结合不同连管方式的特点，选择合适的连管方式。

1.1 同程集中式

同程集中式是指水平管路同程布置，以达到水力平衡的要求，供回水管路集中敷设，地埋管的供回水管通向同一个检查井。

此种方式是最为常规的一种连接工艺，其优点在于设计方便，管路全部采用同程式连接，无水力失衡风险，施工过程操作简便，系统管路较少，投资成本较低。缺点在于系统检修措施过于简单，通常仅于总管路处设置检查井，当系统出现问题时，无法及时发现确切位置及对应管道，检修过程中需将管路全部关闭，影响系统正常使用，因此此种方式适宜单系统体量较小且管道埋深较浅的情况。

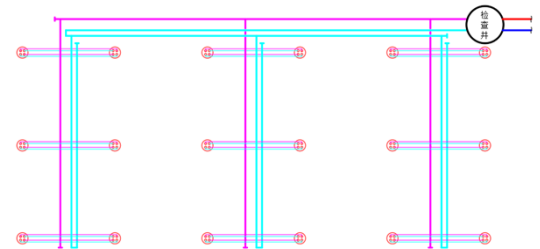


图 1 同程集中式连接示意图

Fig.1 Simultaneous centralized connection diagram

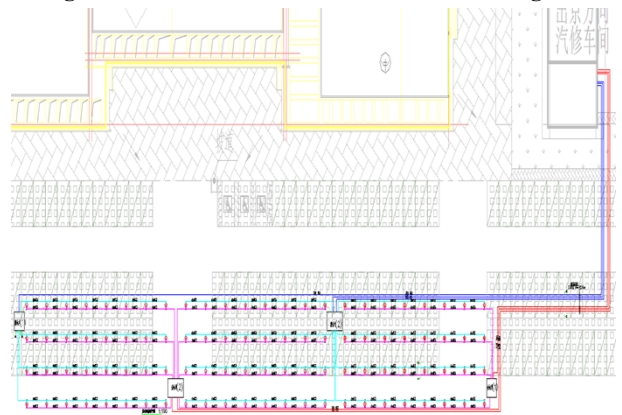


图 2 项目 A 水平管连管方式示意图

Fig.2 Schematic diagram of horizontal pipe connection for Project A

项目 A 位于北京市延庆区，建筑面积 2022.7m²。地埋换热孔布置在综合楼服务楼前空地

处, 数量为 96 个, 钻孔深度 100m, 钻孔间距为 4.3m。孔数较少, 系统体量小, 水平管连接采用将地埋换热孔划分不同区域的局部同程分散式连管方式, 供回水管进入不同的分集水器检查井, 与检查井内的分集水器相连, 汇成总管通向机房, 如图 2 所示。

1.2 同程分散式

同程分散式是指将水平管路采用集管同程式连接, 此种方式是将供水检查井和回水检查井分别对称设置于地埋管区域外围的两端, 将各分区换热孔采用集管方式与各分区的供回水主管路连接, 并以同程方式将供回水主管路沿不同方向逐一引至对应的供水检查井以及回水检查井内, 并最终通过检查井内分集水器汇总为供(回)水总管引至机房。

此工艺优点在于设计方便, 管路全部采用同程式连接, 无水力失衡风险, 施工过程操作简便, 运行维护管理方便, 适宜单系统体量适中且场区规整的情况。缺点在于检查井位置要求较为固定, 需结合其他专业设计要求及场地条件进行优化, 且检查井内分集水器导致检查井尺寸远大于常规阀门井做法, 检查井以及分集水器的投资需要单独计算。

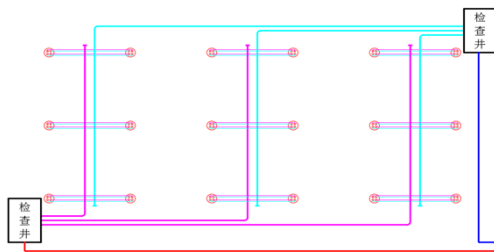


图 3 同程分散式连接示意图

Fig.3 Schematic diagram of simultaneous distributed connection

项目 B 位于北京市昌平区, 占地面积 115017m², 共 7 栋科研楼, 建筑面积 224800m², 其中地上 160400m², 地下 64400m²。系统共配置 964 个地埋换热孔, 孔深为 120m, 换热孔间距为 5m。水平管连接采用所有地埋换热孔供回水管路长度相同的完全同程分散式连管方式, 在同程分散式系统基础上进行优化, 将换热孔根据管路连接形式进行分区, 并于每个分区的主管路处设置阀门井, 用于对该分区内系统管路进行检修, 检修过程中仅需关闭对应检查井内的阀门, 不影响其它分支系统的正常使用。管道经过阀门井与供回水总管相连, 直接通向机房, 如图 4 所示。

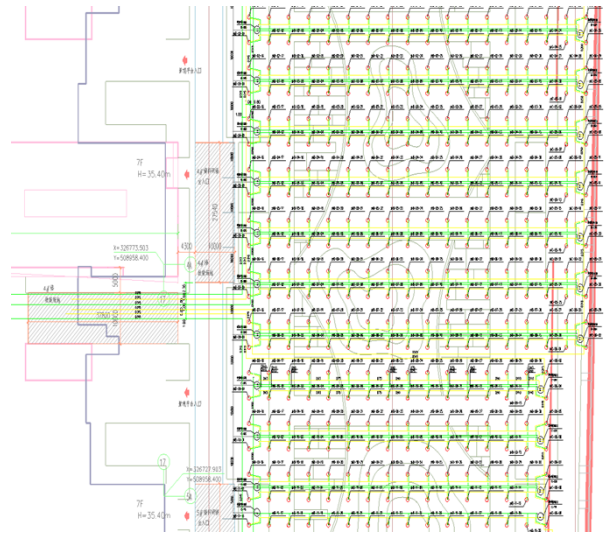


图 4 项目 B 水平管连管方式示意图

Fig.4 Schematic diagram of horizontal pipe connection for Project B

1.3 异程集中式

异程集中式是指水平管路采用异程式连接, 供回水管集中敷设到检查井内, 此种方式是将检查井设置于地埋管区域附近, 各分区换热孔采用集管方式与各分区供回水主管路连接, 并采用异程方式且逐一引至对应的检查井内。

此工艺优点在于换热孔和检查井位置灵活, 管材少, 施工过程操作简便, 适用于单系统体量较大且布孔区域形状多变, 检查井可布位置受限且管路不易形成同程布置要求的情况。缺点在于管路全部采用异程式连接, 存在水力失衡风险, 需经过严格的水力计算进行校核, 并根据校核结果调整对应管路的管径或采取其他有效的平衡措施。

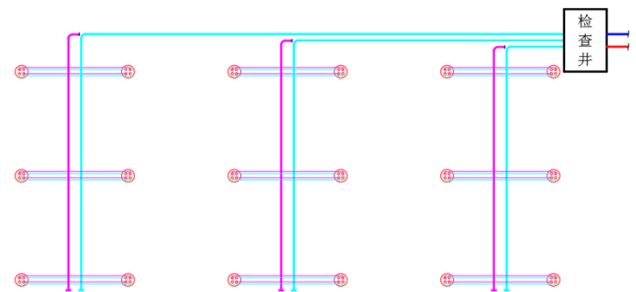


图 5 异程集中式连接示意图

Fig.5 Schematic diagram of remote centralized connection

项目 C 位于吉林省长春市, 项目总用地面积约 284898m², 总建筑面积约 275388.42m²。地埋换热孔布置在厂房建筑筏板基础以下以及建筑周边

绿地等空地范围,其中厂房建筑筏板基础以下布孔共计 1480 个,空地范围布孔共计 1520 个,合计 3000 个,孔深 150m,孔间距为 4.5m。此项目地理孔布置区域较多,形状不规则,不宜同程布置,为节省管材,降低施工成本,布置在空地范围内的地理换热孔的水平管采用异程集中式连管方式,供回水管采用异程的方式连接到相同的分集水器检查井内,与井内的分集水器相连,汇成总管通向机房,如图 6 所示。

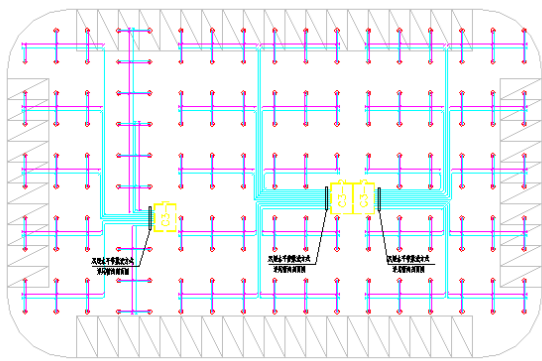


图 6 项目 C 水平管连管方式示意图

Fig.6 Schematic diagram of horizontal pipe connection for Project C

2 差异性分析

本文通过对上述三个项目不同连管方式进行简化,以便能更直观比较不同连管方式在水力损失、施工工艺以及经济上的差异。假设地理换热孔数量为 64 个,单孔流量为 1m³/h,孔深为 150m,孔间距为 5m。三个项目的连管方式经简化后如图 7~图 9 所示。

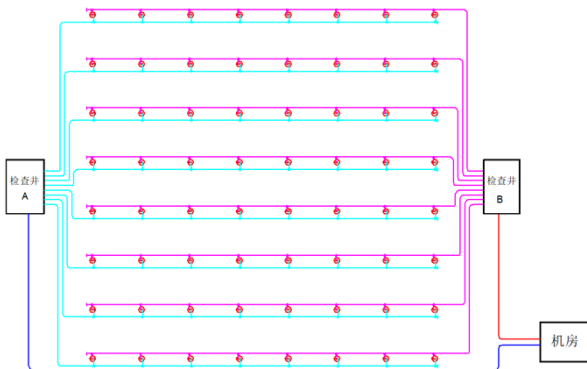


图 7 项目 A 局部同程分散式连管示意图

Fig.7 Schematic diagram of local parallel distributed pipe connection for Project A

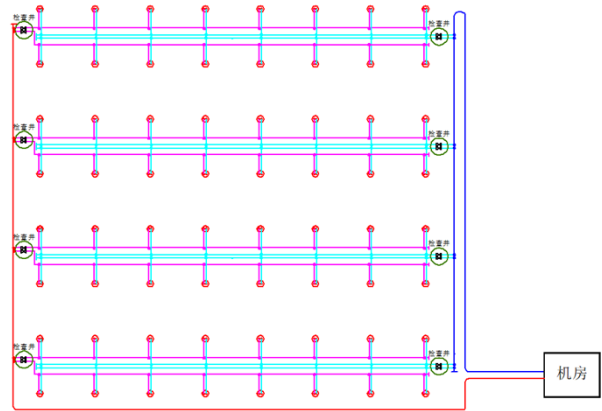


图 8 项目 B 完全同程分散式连管示意图

Fig.8 Schematic diagram of fully synchronous distributed pipe connection for Project B

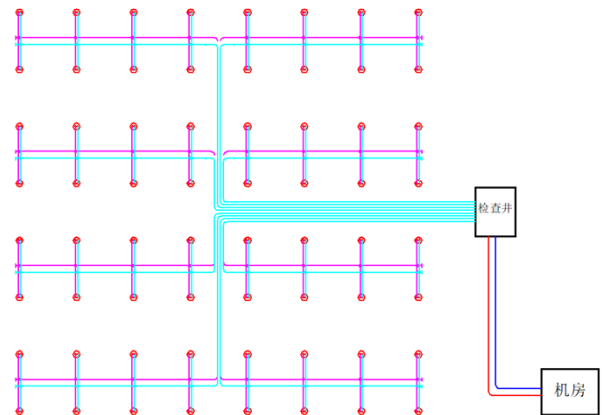


图 9 项目 C 异程集中式连管示意图

Fig.9 Schematic diagram of different distance centralized connection for Project B

2.1 水力平衡分析

地理管换热器管内水力损失可以根据以下方法进行计算^[4]。

(1) 确定管内流体的流量、公称直径和流体特性。

(2) 根据公称直径,确定地理管的内径。

(3) 计算地理管的断面面积 A :

$$A = \frac{\pi}{4} \times d_j^2 \tag{1}$$

式中: A 为地理管的断面面积, m²; d_j 为地理管的内径, m。

(4) 计算管内流体的流速 V :

$$V = \frac{G}{3600 \times A} \tag{2}$$

式中: V 为管内流体的流速, m/s ; G 为管内流体的流量, m^3/h 。

(5) 计算管内流体的雷诺数 R_e , R_e 应该大于 2300 以确保紊流:

$$R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot d_j}{\mu} \quad (3)$$

式中: R_e 为管内流体的雷诺数; ρ 为管内流体的密度, kg/m^3 ; μ 为管内流体的动力黏度, $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ 。

(6) 计算管段的沿程阻力 P_y :

$$P_d = 0.158 \cdot \rho^{0.75} \cdot \mu^{0.25} \cdot d_j^{-1.25} \cdot V^{1.75} \quad (4)$$

$$P_y = P_d \cdot L \quad (5)$$

式中: P_y 为计算管段的沿程阻力, Pa ; P_d 为计算管段单位管长的沿程阻力, Pa/m ; L 为计算管段的长度, m 。

(7) 计算管段的局部阻力 P_j :

$$P_j = P_d \cdot L_j \quad (6)$$

式中: P_j 为计算管段的沿程阻力, Pa ; L_j 为计算管段的长度, m 。

(8) 计算管段的总阻力 P_z :

$$P_z = P_y \cdot L_j \quad (7)$$

式中: P_z 为计算管段的总阻力, Pa 。

项目 A 的连管方式属于局部同程分散式连管方式, 同组埋管换热孔间不存在水力不平衡的情况, 每组之间因到分集水器检查井的距离不同存在水力不平衡的情况, 需要对管路进行调整使其调节^[5]。同时在埋管孔的外侧设置两个分集水器检查井, 需要单独进行施工。经计算, 局部同程分散式连管方式的埋管换热孔至机房最不利环路总阻力为 72065.10Pa, 不平衡率控制在 4.1%。

项目 B 的连管方式属于完全同程分散式连管方式, 对于不同孔间的水力损失是相同的, 不存在水力不平衡情况。其中管路中不需要设置分集水器, 使用阀门井代替了分集水器检查井, 阀门井的尺寸远小于检查井, 不需要单独开挖分集水器检查井, 施工难度减小, 以其中一个换热孔为例进行水力分析, 经计算, 完全同程分散式连管方式的埋管换热孔至机房的总阻力损失为 82502.44Pa。

项目 C 的连管方式属于异程集中式连管方式, 将分集水器检查井设置于埋管区域附近, 各个分

区的埋管换热孔采用集管方式与供水主管路连接, 采用异程方式逐一引入分集水器检查井内, 经过计算, 并根据计算结果对管路进行调整, 采取有效平衡措施。异程集中式连管方式管路中最不利环路的总阻力损失为 67220.30Pa, 不平衡率为 5.1%。

表 1 不同模式连管方式水力计算结果

Table 1 Hydraulic calculation results of different modes of connection

连管方式	最不利环路总阻力/Pa	不平衡率/%
项目 A	72065.10	4.1
项目 B	82502.44	0
项目 C	67220.30	5.1

三种连管方式里项目 B 完全同程分散式连管方式的水力损失最大, 不存在水力不平衡情况, 项目 C 异程集中式连管方式总水力损失最小, 管路水力不平衡最大, 项目 A 局部同程分散式连管方式水力总阻力及不平衡率介于三者之间。

2.2 施工量对比分析

水平埋管主要包括塑料 PE 管和无缝钢管以及分集水器。由埋管换热孔到分集水器检查井或阀门井的管段材料为 PE 管, 由分集水器检查井或阀门井到机房的管段一般采用钢管。管沟开挖时开挖宽度根据水平管间距以及管道两侧预留的间距确定, 沟槽开挖深度根据埋管设计埋深确定。分集水器检查井需单独开挖进行施工, 阀门井可随管沟开挖直接设置, 不许单独施工开挖。

项目 A 局部同程分散式连管形式设置有两个分集水器检查井, 管道单层铺设。埋管采用集管形式连接至检查井内分集水器, 每组分集水器 8 组埋管, 每组埋管 8 个埋管换热孔。经计算, 采用 PE 管的水平集管总长度为 788.5m, 钢管总管长度为 87.3m, 设计埋深均为 1.5m, 施工需要挖掘的土方量为 847.1 m^3 。

项目 B 完全同程分散式连管形式不设置分集水器检查井, 埋管单层铺设, 每组埋管换热孔通过集管连接后通向两端的阀门井, 经计算, 采用 PE 管的水平集管总长度为 1078.96m, 采用钢管的长度为 35.64m, 设计埋深均为 1.5m, 施工需要挖掘的土方量为 733.5 m^3 。

项目 C 异程集中式连管形式的管长分为埋管换热孔至分集水器检查井的水平集管, 水平集管埋管分为上下两层, 采用 PE 管的水平集管总长度为

784.4m，上层管道设计埋深为 1.5m，下层管道设计埋深为 2.1m。管道从检查井至机房的总管采用钢管，其总长度为 35.6m，设计埋深为 1.5m，施工需要挖掘的土方量为 658.8m³。

表 2 不同模式连管方式统计结果

Table 2 Statistical results of different modes of connection

连管方式	PE 管/m	钢管/m	分集水器 检查井/个	土方量/m ³
项目 A	788.5	87.3	2	847.1
项目 B	784.4	158.8	1	658.8
项目 C	1078.9	35.6	0	733.5

三种连管方式中项目 A 局部同程分散式连管方式所需的管长最小，但施工中所需开挖的土方量最大，且系统中有两个分集水器检查井，施工工艺相对复杂。项目 B 的完全同程分散式连管方式所需 PE 管长度最大，钢管长度最小，且没有分集水器及其检查井的施工，施工工艺简单，施工中所需开挖的土方量介于三者之间。项目 C 的异程集中式连管方式所需的 PE 管长度最小，钢管长度最大，有一个分集水器检查井，施工中所需开挖的土方量最小。

3 结语

本文结合实际工程经验，根据不同项目之间的

区别，分析了三种不同的地源热泵埋管水平连管方式。

(1) 完全同程分散式连管方式总水力损失最大；异程集中式连管方式总水力损失最小，但不同换热地埋孔水力不平衡率最大；局部同程分散式连管方式总水力损失介于三者之间，换热地埋孔间水力不平衡较小。

(2) 完全同程分散式连管方式所需 PE 管长度最大，钢管长度最小，施工开挖的土方量介于三者之间；异程集中式连管方式，所需的 PE 管长度最小，钢管长度最大，施工开挖的土方量最小；局部同程分散式连管方式，所需的管长之和最小，施工开挖的土方量最大。

参考文献：

- [1] 刁乃仁,方肇洪.地埋管地源热泵技术[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [2] 胡志春.地源热泵的技术经济性评价[J].城市建设理论研究,2015,5(028):4990-4991.
- [3] 王广国.地埋换热系统水力工况及经济性分析[D].邯郸:河北工程大学,2013.
- [4] GB 50366-2005,地源热泵系统工程技术规范(2009年版)[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [5] 全国民用建筑工程设计技术措施-暖通空调·动力[M].北京:中国计划出版社,2009.