

3D Modeling of Lithologic Strata in Shallow Geothermal Exploitation and Utilization Area

Aihua Liu, Zilong Jia, Jia Zheng, Juan Li, Yanchun Guo, Jingran Du, Fu Li

Shallow Geothermal Energy Department, Beijing Geothermal Research Institute, Beijing
Email: liuaihua0129@163.com

Received: Jun. 16th, 2017; accepted: Jul. 4th, 2017; published: Jul. 7th, 2017

Abstract

Lithologic strata determine the heat pump layout methods during the shallow geothermal energy exploitation and utilization. It is the numerical modeling basis of shallow geothermal sustainable utilization. Taking some district as example in Beijing, 8 heat exchange holes deep 150 m were drilled, and the lithology recording and well logging were carried out. In addition, 27 boreholes' depth ranging from 48 m to 160 m whose information was gathered. Based on the quaternary lithologic strata data interpreted from the boles data, the study area geological model was established though Schlumberger PETREL modeling software. The model reflects the underground space structure perceptually. Shallow geothermal energy exploitation and utilization conditions were analyzed by 3D lithologic model, and it laid a foundation for heat pump suitability and geological background for numerical molding.

Keywords

Shallow Geothermal Energy, Lithologic Strata, Geological Modelling, Heat Pump

浅层地温能开发利用区岩性地层三维建模

刘爱华, 贾子龙, 郑佳, 李娟, 郭艳春, 杜境然, 李富

北京市地热研究院浅层地温能室, 北京
Email: liuaihua0129@163.com

收稿日期: 2017年6月16日; 录用日期: 2017年7月4日; 发布日期: 2017年7月7日

摘要

在浅层地温能开发利用中, 地层结构是地源热泵系统设计的重要依据。本文以北京某一区块为例, 钻探8眼换热孔, 钻探深度均为150 m, 进行了地层岩性编录及测井, 另搜集研究区深度48~160 m不等的27

眼钻孔地层资料, 基于解译的钻孔第四系浅层岩性地层资料, 应用Schlumberger PETREL建模软件, 建立了研究区三维岩性地层模型。该模型可直观反映研究区的地层结构, 利用该三维模型综合分析研究区浅层地温能开发利用地质条件, 为研究区地源热泵适宜性评价奠定了基础, 为后续数值模拟提供了基础地质背景。

关键词

浅层地温能, 岩性地层, 地质建模, 地源热泵

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

浅层地温能是一种新型可再生能源, 广泛存在于岩石、土壤、水源等许多介质中, 位于地表 200 m 以内的恒温带内[1]。当前浅层地温能的主要开发利用方式有以地表水源为热源的水源热泵和以地表岩石、土壤介质为热源的土壤源热泵(地埋管地源热泵)。如果忽视应用场地的地质条件, 将导致热泵应用区的资源浪费、热泵系统效率低下等问题[2] [3] [4]。北京地区地埋管地源热泵利用广泛, 对地源热泵开发利用区地层开展研究是评价浅层地温能资源、了解地埋管换热性能、热泵系统运行特性与节能效果的重要手段。通过开展钻探、物探等手段可了解地层, 但耗时费力, 成本较高, 且无法了解地层全貌[5] [6]。三维地质建模对于整个区域采用合理算法, 是一种了解地层全貌的重要手段, 为浅层地温能的开发利用提供了基础[7]。浅层地温能开发利用区多位于第四系地层内, 北京地区第四系地层分布广泛且不均匀, 由于古河道的摆动和迁移, 各岩性间普遍存在沉积相变, 人工交互难度大, 研究工作不够深入[8]。浅层地温能首次在研究区内开发利用, 区内钻探取芯孔揭露地层岩性结构, 然而第四系三维地质模型尚未建立。本文对 20 km² 研究区内地层岩性进行了概化, 应用建模软件建立了岩性地层模型, 直观分析了研究区浅层地温能开发利用钻探可行性, 为研究区浅层地温能开发利用钻探工作提供了可靠依据。

2. 建模数据准备工作

数据是地质建模中的重要数据资源, 它可以非常准确地模拟出地质体的形态[9] [10]。三维地质建模所需数据来源一般分为三类:

(1) 离散点数据

离散点数据是指断面离散点数据和地层面离散点数据, 分别作为断面与地层面的离散点集合, 通过数学插值决定断面和地层面的形态。

(2) 钻孔数据

钻孔数据实际上是离散点数据的一种情况, 当工程比较简单或研究范围较小时, 通过钻孔信息形成的离散数据经过克里金插值后导入软件进行建模, 进而确定分层地层面。

(3) 修正数据

通过以上两种数据建立的初始模型有时会存在误差, 这时需要对模型进行修改, 修改时所导入的数据称为修正数据。

进行三维地质建模的前提是根据这些钻孔资料进行分类整理,对能够用于三维地质建模的数据进行抽取。为了消除数据精度和属性差异造成的建模歧义,需要对岩层做概化处理,这些处理不会影响整个模型构造结果,且在数据处理中必不可少[11][12]。

本次地层结构建模中,重点对研究区内第四系钻孔资料进行整理分析,作为建模工作的重要来源。研究区内新增 8 眼 150 m 深度钻孔均揭露为第四系地层,钻探深度内的岩性层面多达 30 个分层,粘土、粉土、细砂、中细砂、中砂、中粗砂、粗砂、砾砂、圆砾等均有分布,层厚 1~30 m 不等,粘土、粉土层多而薄,厚度一般为 3~5 m。总体上,岩层为颗粒粒径自上而下为细-粗-细-粗-细两个韵律叠加的地层结构。以此规律作为编图中换热孔数据概化整理的总体依据,并建立钻孔对应物质属性表(表 1)。

首先,将区内粘土、粉土、细砂、中细砂、中砂、中粗砂、粗砂、砾砂、圆砾等九类地层简化为五大类:粘土和粉土、细砂、中砂、粗砂、砾砂。其中中细砂依照中细砂夹层中的颗粒粒径大小归类,如为粘土、粉土或细砂,则将中细砂为主的岩层归类为细砂层;如为粒径较大者如中砂、中粗砂、粗砂、砾砂,则归类为中砂。中粗砂归类简化方法亦相同。夹层的厚度一般为归类岩层单层厚度的一半以下。由于圆砾地层分布面积小,地层薄,因而在进行砾砂简化时参照夹层处理的方法合并消减。最后为粘土和粉土、细砂、中砂、粗砂、砾砂等五大类岩层分别赋予代码编号: n1、n2、n3、n4、n5。

针对换热孔不同地层岩性及深度数据,遵循细-粗-细-粗-细两个韵律叠加的地层结构,将厚度大于 15 m 的地层简化作为钻孔区主要地层。其中顶层作为覆盖层,岩性未概化,保持原始值。概化后各钻孔不同深度岩性层面及对应深度如表 1 所示。同时,区内已有 27 眼钻孔也依照此规律进行了岩性概化。

3. 研究区岩性地层三维建模

3.1. 地质建模软件

可视化三维地质模型能够直观、灵活再现地质体特征,国内对三维地质建模算法开展了大量的研究工作,并研发了三维地层建模系统,然而广泛通用的软件较少。国际上较为流行的软件有 GOCAD、Earth Vision、GMS 等。Schlumberger PETREL 软件多用于油气藏建模,由于 PETREL 优良的模拟性能,本次

Table 1. Simplified physical attributes in boreholes

表 1. 钻孔简化物质属性表

钻孔	岩层	深度(m)	钻孔	岩层	深度(m)	钻孔	岩层	深度(m)	钻孔	岩层	深度(m)
	n1	7		n1	6		n1	9		n1	7
	n2	59		n3	49		n3	45		n2	44
zk1	n5	83	zk2	n4	89	zk3	n1	75	zk4	n1	76
	n4	115		n3	118		n3	108		n4	100
	n1	139		n1	134		n5	150		n2	120
	n3	150		n3	150		-	-		n5	150
	n1	14		n1	8		n1	32		n1	7
	n2	42		n4	42		n3	63		n2	44
zk5	n1	73	zk6	n1	68	zk7	n4	115	zk8	n1	73
	n5	97		n4	120		n3	150		n5	91
	n1	111		n3	150		-	-		n4	125
	n4	150		-	-		-	-		n3	150

工作中利用该模拟软件对研究区开展三维地质建模。PETREL 采用当前流行的随机建模技术,从已知确定性资料的控制点出发,推测出未知部分数据(内插或外推),预测孔(井)间参数,得到研究区整体三维地质模型[13][14]。与此同时,还可开展各种地质统计方法,如平均移动法、函数与克里金差值法、高斯模拟法、序贯高斯模拟法、序贯指示模拟法,并引入复杂的数学方法建立定量的三维储层模型。

PETREL 三维地质建模流程见图 1。本次 PETREL 三维地质建模数据包括孔位、坐标数据、地质分层等 35 眼钻孔的数据准备。其中坐标数据为孔位坐标、研究区拐点坐标等;分层数据从岩芯资料得到,为各孔岩性地层划分对比数据。将以上数据导入工区中。在建立构造模型和岩性地层模型后,根据需要进行模型输出。PETREL 能够实现不同层次、多角度、任意切片、过滤、体积切割等三维储集层动态显示,具有强大的成图和三维显示功能,为地层研究提供了充分的视角。

3.2. 建模过程

根据本次工作的需要,建模过程分为构造建模和岩性建模。

PETREL 加载钻孔坐标和岩性分层数据,本次研究共划分为五类岩性:粘土和粉土(Clay and Silt),细砂(Fine sand),中砂(Medium sand),粗砂(Coarse sand),砾砂(Gravel sand)。加载钻孔及钻孔岩性分层数据后如图 2 所示。

构造建模分三步完成,即建立断层模型、三维网格化、垂向层面。在研究区内创建 3D 网格和定义垂向层面。由于研究区具有薄层砂体特征,平面展布好,无大断层和次生断层,因此建立顶底断层模型时只需定义网格的走向和趋势线。本次模拟中设定平面网格步长为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$,平面上形成 183×278 个网格,纵向上细分为 100 个网格,共有 5,087,400 个网格单元。垂向层面定义 100 个细分层,层与层之间根据地质特征和层序走向设定尖灭,使之符合地层层序。

建立层面模型时,首先要获得钻井分层数据,以钻孔揭示的地层厚度为依据,通过地层等厚度内插值得到小层界面。小层界面穿过绝对部分分层数据点,表明小层界面忠实于钻井分层数据。本文以钻孔岩性分层数据作为控制点,通过单层五种岩性分别做横向、垂向变差函数分析,拟合变差函数模型曲线,从而相对较好地确定各类统计特征参数。选择数据分析的岩性,用序贯指示模拟算法,建立三维岩性地层模型。

本次工作建立了研究区岩性地层三维实体模型及栅格模型(图 3、图 4)、绘制了北东—南西向

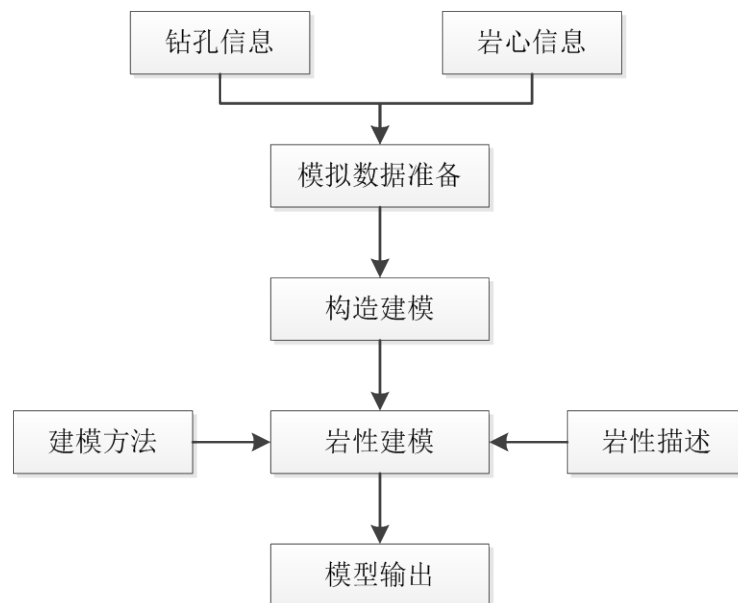


Figure 1. The geological modeling flow diagram
图 1. 地质建模流程图

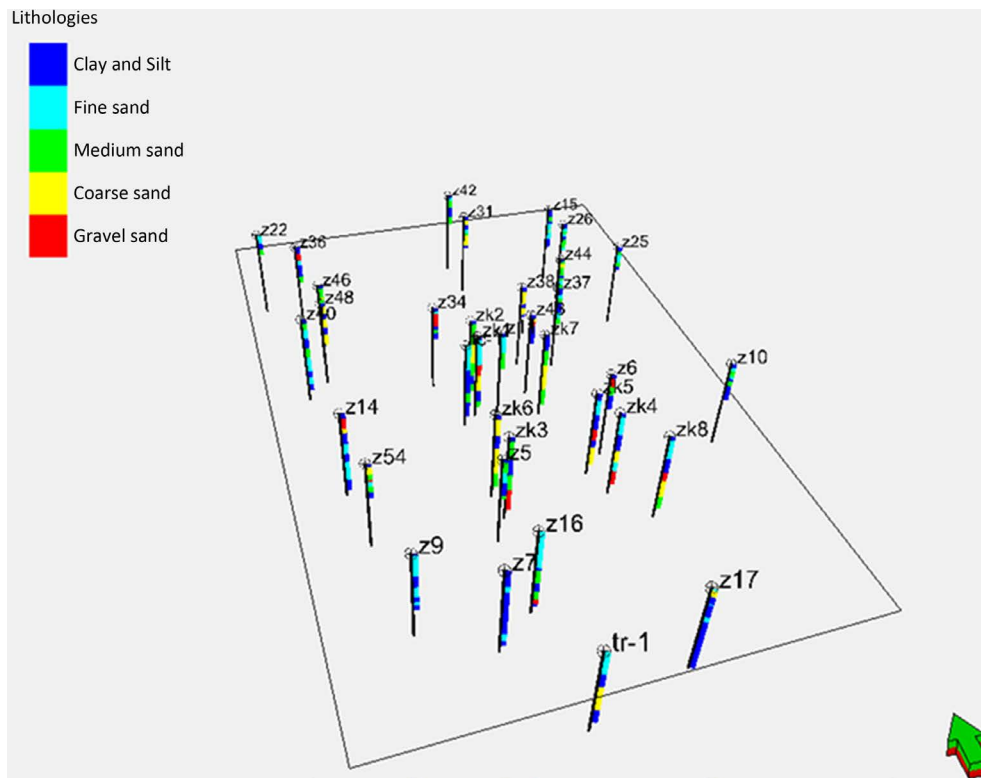


Figure 2. The boreholes location map

图 2. 钻孔位置图

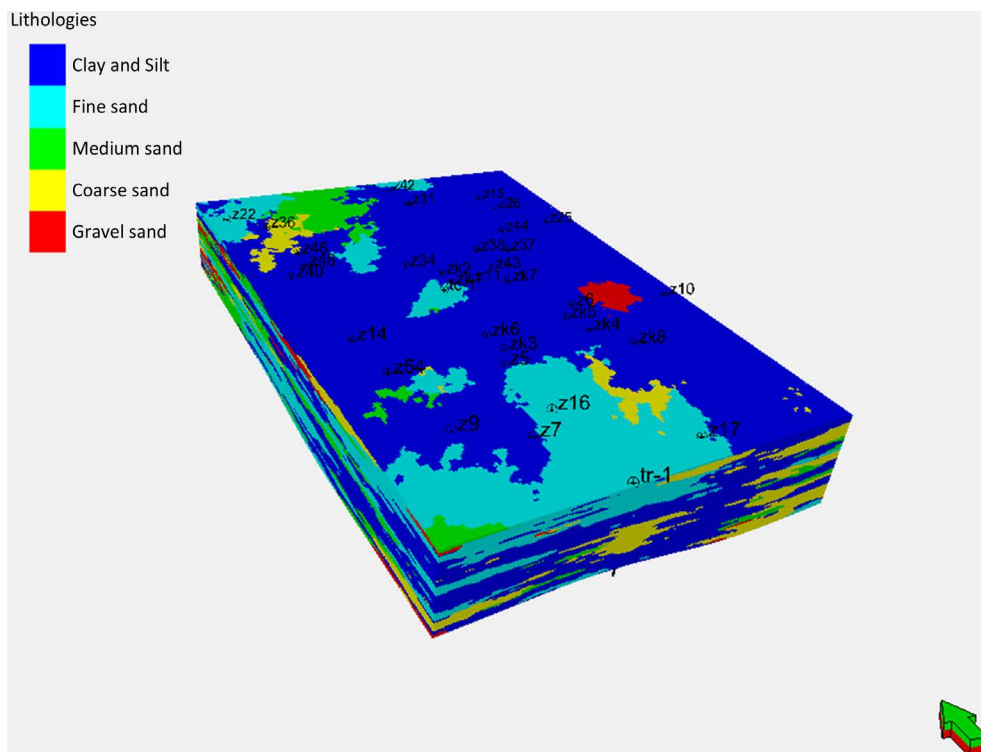


Figure 3. Stratum solid model in study area

图 3. 研究区地层实体模型

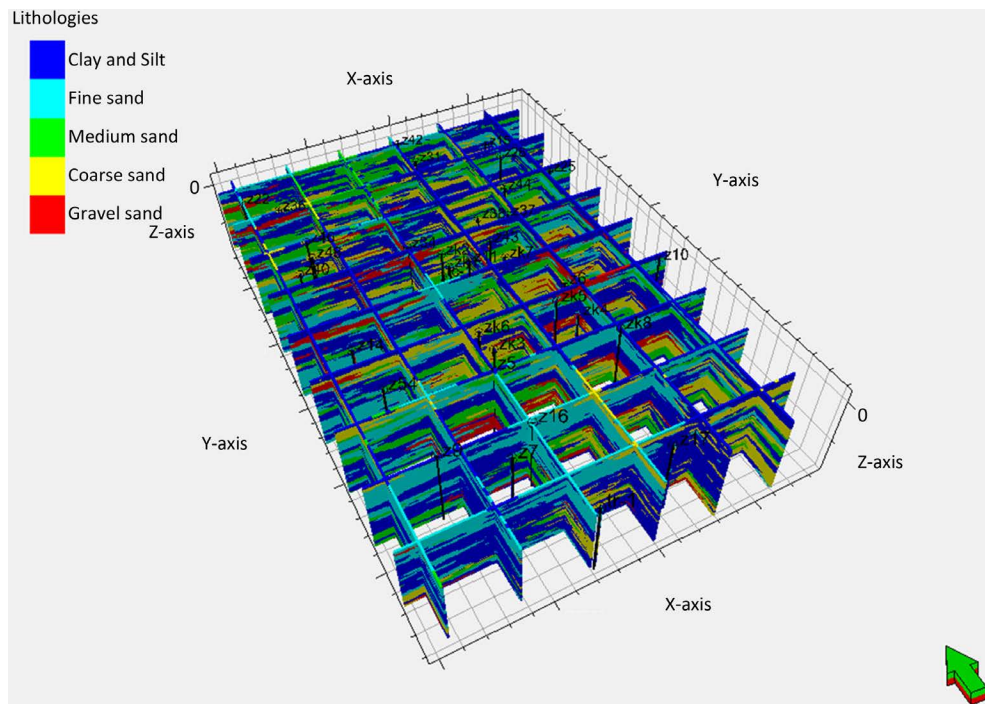


Figure 4. The lithology bar graph in study area
图 4. 研究区岩性栅状图

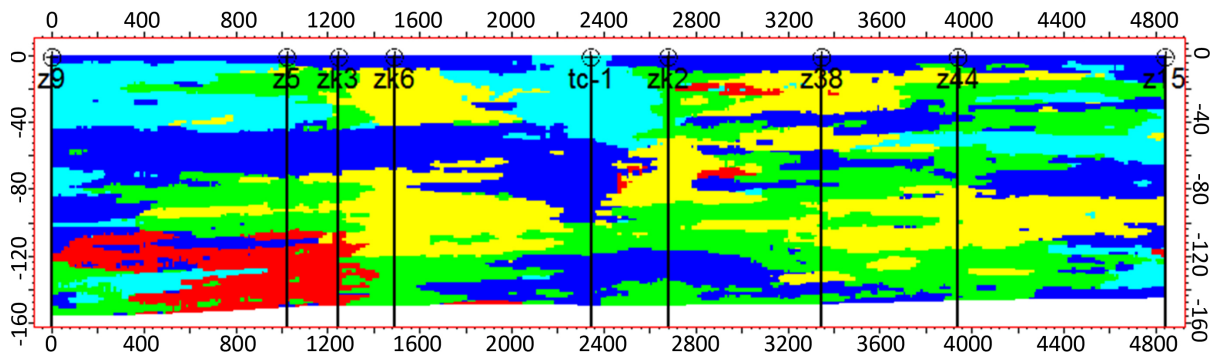


Figure 5. The boreholes connection map in study area (northeast to southwest direction z15-z44-z38-zk2-tc-1-zk6-zk3-z5-z9)
图 5. 研究区连孔剖面图(北东—南西方向 z15-z44-z38-zk2-tc-1-zk6-zk3-z5-z9)

z15-z44-z38-zk2-tc1-zk6-zk3-z5-z9 方向的连孔剖面图(图 5)。由图可见, 研究区范围内第四系结构主要为粘性土层、砂层互层, 粘性土层数多, 地层分布不均匀, 各岩性间沉积相变迅速, 自上而下主要有砂质粘土和粉砂组成的全新统(Q4)地表覆盖层; 中间岩层岩性为冲洪积砂、砂砾石夹粘土为主的上更新统马兰组(Q3m)和砂质粘土和粘质砂土为主的中更新统周口店组(Q2z); 底部地层为中砂、中粗砂薄层等岩层为主的下更新统泥河湾组(Q1n)。

4. 地理管区地层钻探性分析

研究区南部和北部地层粘土、粉土与细砂地层比重大, 中部则多见粗砂。垂向上, 粘土和粉土的厚度在顶部和中部厚度大, 全区比重最大, 岩性体积比例为 37.39%。其次为细砂, 地层浅部分布厚度大, 岩性比例为 21.28%。中砂与粗砂也在全区均有分布中砂垂向上分布比例大致一致, 粗砂则在揭露地层的中下部厚度大, 中砂、粗砂岩性体积比例分别为 19.89%、14.92%。砾砂全区内比重最小, 占 6.52%, 地层上、中、

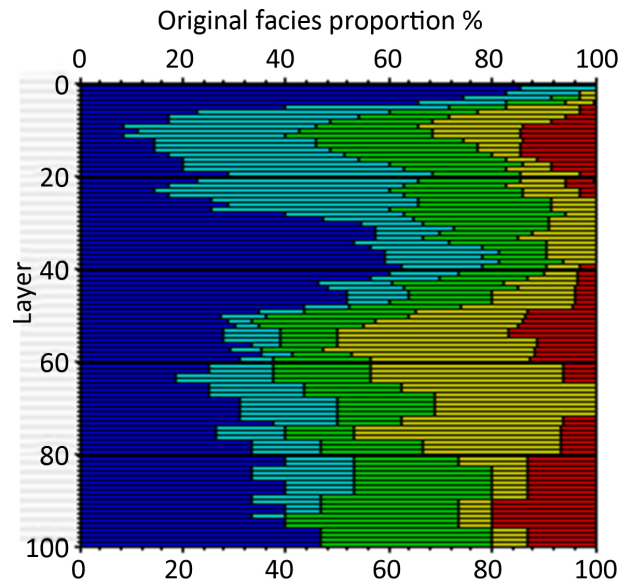


Figure 6. The lithological proportion distribution of vertical stratification in study area

图 6. 研究区垂向分层岩性比重分布图

下部均有分布但并不连续，在一定深度层位不可见，显示出区内沉积变化的韵律性特征，如图 6 所示。

依据连孔剖面图可见，研究区沉积物横向相变迅速，纵向不稳定，基本呈现上细下粗的沉积结构。总体上，研究区第四系分布广泛，区内河流相的粘性土和砂层沉积厚度最大，以多层的砂砾石、砂、粉细砂层及间以粘性土层结构为主，地层可钻性较好，适于埋管地源热泵系统建设。不过由于地层比较松软，需要注意成孔的保护，防止塌孔事故发生。

5. 结论

Schlumberger PETREL 软件可充分建立研究区内的岩性地层，立体直观且可直接成图，为分析研究提供了良好的手段。论文根据研究区的钻孔数据，建立了研究区的岩性三维地质模型。研究表明研究区内河流相的粘性土和砂层沉积厚度最大，以多层的砂砾石、砂、粉细砂层及间以粘性土层结构为主，地层可钻性较好，适于埋管地源热泵系统建设。

参考文献 (References)

- [1] DZ/T 0225-2009. 浅层地热能勘查评价规范[S].
- [2] 纪铁群, 叶超. 北京平原区浅层地温能空间信息系统设计与实现[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2009, 30(1): 54-58.
- [3] 刘俊, 张旭. 大规模地源热泵地温恢复特性研究[J]. 铁道标准设计, 2010(S2): 93-96.
- [4] 顾湘, 段新胜, 李少华. 埋管热响应试验孔地温恢复特性研究[J]. 太阳能学报, 2014, 35(9): 1688-1692.
- [5] 明镜. 三维地质建模技术研究[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(4): 14-18, 56.
- [6] 计秉玉, 赵国忠, 王曙光, 等. 沉积相控制油藏地质建模技术[J]. 石油学报, 2006, 27(S1): 111-114.
- [7] 刘玉超, 邢振祥, 李俊, 等. 天津滨海新区浅层地温能开发模拟系统研究[J]. 电脑知识与技术, 2009, 5(24): 6874-6876.
- [8] 明镜, 潘懋, 屈红刚, 等. 北京市新生界三维地质结构模型构建[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 45(1): 111-119.
- [9] 武强, 孙海洲, 徐生恒, 等. 单井循环浅层地热能开发的概念模型与数学建模[J]. 工程勘察, 2014(12): 43-48.

-
- [10] 薛林福, 李文庆, 张伟, 等. 分块区域三维地质建模方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(6): 2051-2058.
- [11] 何满潮, 李学元, 刘斌, 等. 工程岩体三维构模中钻孔数据处理方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(11): 1821-1826.
- [12] 程丹, 杨钦, 张永波, 等. 基于水文剖面的三维地质建模方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(11): 1362-1366.
- [13] 吴永彬, 张义堂, 伍增贵, 等. 基于 PETREL 的油藏三维可视化地质建模技术[J]. 石油工业计算机应用, 2007(1): 21-24, 63.
- [14] 刘伟, 刘红岐, 李建萍, 等. PETREL 软件在油藏储层地质建模中的应用实例[J]. 国外测井技术, 2010, 2010(1): 20-21, 3.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: me@hanspub.org