

上海滨海平原区土的热物理指标与静力触探 P_s 值的关系研究

张丁宁

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 为了研究土的热物理指标与静力触探 P_s 值之间的规律性,收集上海滨海平原区的多条地铁隧道的土工热物理试验指标。通过研究发现,导温系数和导热系数随着土层静力触探 P_s 值的增大而增大,比热容随着土层静力触探 P_s 值的增大而减小,呈现出一定的规律性。通过对热物理指标和静力触探 P_s 值进行曲线拟合,发现热物理指标可以利用静力触探 P_s 值通过特定的公式进行换算。

关键词: 热物理;导温系数;导热系数;比热容;静力触探 P_s 值

中图分类号: TU43

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)07-0197-03

0 引言

上海地区属于典型的软土地区,软土具有地下水位高、含水量高、强度低等特点,对地铁的建设要求严格。实际施工时,特别是隧道联络通道施工时,常采用冷冻法来施工。冷冻法设计时就需要土层的热物理指标。土层热物理指标的测定,可采用面热源法、热线比较法、热流计法及热平衡法^[1],土的含水量、孔隙率、密度以及矿物成分等因素对土的热物理指标有较大的影响^[2-5]。在实际工程时,通常是采取地下土层的原状土样送到土工实验室来测定土的导温系数、导热系数和比热容。在采取土样的过程中,受各种因素的影响,土样或多或少受到扰动,从而测出的热物理指标有较大的变异性,在一定程度上影响数据的真实性。静力触探(CPT)技术作为一种原位测试技术,由于其能较好地模拟地下环境,不破坏土的原属性,能很好地反应土的物理力学性质的独特性,在上海地区得到了广泛的运用,较多经验公式都是基于静力触探 P_s 值建立的^[6-10]。本文收集了上海滨海平原区的多条地铁隧道的土工热物理试验指标,通过研究发现:导温系数和导热系数随着土层静力触探 P_s 值的增大而增大,比热容随着土层静力触探 P_s 值的增大而减小,呈现出一定的规律性。通过对热物理指标和静力触探 P_s 值进行曲线拟合,发现热物理指标可以利用静力触探 P_s 值通过特定的

公式进行换算。

1 工程地质概况

上海地区按照地貌形态、时代成因、沉积环境和组成物质等方面的差异,境内可分为五大地貌类型,包括湖沼平原,滨海平原,河口、砂嘴、砂岛,潮坪地带和剥蚀残丘。其中滨海平原位于湖沼平原以东,顾路、合庆、蔡路、江镇、盐仓、大团一线以西,奉城、柘林、漕泾一线以北地区,上海市区位于其中,地势较平坦^[1]。滨海平原的主要地层有:②₁层褐黄色粉质黏土、②₂层灰黄色粉质黏土、③₁层灰色淤泥质粉质黏土、③₂层灰色粉性土、④层灰色淤泥质黏土、⑤₁层灰色黏性土;受古河道影响,局部分布⑤₂层灰色粉性土、⑤₃层灰色黏性土、⑤₄层灰绿色粉质黏土、⑥层暗绿色粉质黏土、⑦层粉、砂性土、⑧₁层灰色黏性土、⑧₂层灰色黏性土与砂性土互层、⑨层青灰色粉细砂。其中以第⑥层暗绿色粉质黏土硬土层分布为典型特征。

地铁隧道在局部穿越黄浦江等大河大江时,埋深加深到⑦层外,其他大部分地区埋深主要分布在④层和⑤层。④层土是上海典型的软土,含水量高、强度低,属高等压缩性、高灵敏度土,是天然地基的主要软弱卧层。⑤层相对于④层而言,状态要好,⑤层是正常固结土层,埋深合适,是地铁隧道主要穿行的土层。

2 热物理指标分析

2.1 热物理指标统计概况

本次选取滨海平原区内③₁层灰色淤泥质粉质黏

收稿日期:2021-11-09

作者简介:张丁宁(1992—),女,理学硕士,工程师,从事岩土工作。

土、④层灰色淤泥质黏土、⑤₁层灰色粉质黏土、⑤₂层灰色黏质粉土、⑥层暗绿色粉质黏土、⑦₁层灰色砂质粉土和⑦₂层灰色粉砂,这7层土进行热物理指标研究。各土层热物理试验数量统计表见表1。

表1 各土层热物理试验数量统计表 单位:个

试验类型	③ ₁	④	⑤ ₁	⑤ ₂	⑥	⑦ ₁	⑦ ₂
导温系数	22	22	22	9	16	10	10
导热系数	22	22	22	9	16	10	10
比热容	22	22	22	9	16	10	10

2.2 热物理指标分析

为了更好地分析土层热物理指标与土层静力触探Ps值之间的关系,选取研究区某条地铁隧道的热物理指标数据见表2。

表2 某条地铁隧道热物理指标

编号	导热系数λ /[W·(m·K) ⁻¹]	导温系数α×10 ⁻³ /(m ² ·h ⁻¹)	比热容C /[kJ·(kg·K) ⁻¹]	Ps值 /MP
③ ₁	1.34	1.68	1.58	0.47
④	1.15	1.43	1.67	0.56
⑤ ₁	1.50	1.95	1.51	0.91
⑤ ₂	1.79	2.14	1.29	3.25
⑥	1.56	1.94	1.54	2.36
⑦ ₁	1.83	2.28	1.08	7.52
⑦ ₂	1.94	3.08	1.05	12.19

从表2的数据可以看出,导热系数和导温系数随着土层静力触探Ps值的增大逐渐增大,而比热容随着土层静力触探Ps值的增大而减小,呈现出一定的规律性。通过对研究区内其他地铁隧道的土层热物理指标和土层静力触探Ps值的数据分析,均发现此规律,于是采用研究区的样本数据进行分析,拟合这两种指标之间的内在规律。

3 指标关联性研究

3.1 导热系数与Ps值关联性研究

从表2可知,随着静力触探Ps值的增大,导热系数也出现相同的增大趋势,但不能得出导热系数与静力触探Ps值的具体规律,为了研究导热系数与静力触探Ps值关联性,将静力触探Ps值作为横坐标,导热系数作为纵坐标,绘制导热系数—静力触探Ps值曲线,如图1所示。

利用图1导热系数—静力触探值进行曲线拟合,绘制出一条光滑曲线,从曲线可以明显看出导热系数和静力触探Ps值呈幂函数关系,拟合的曲线函数为:

$$\lambda = 1.4234 P_s^{0.1595} \quad (1)$$

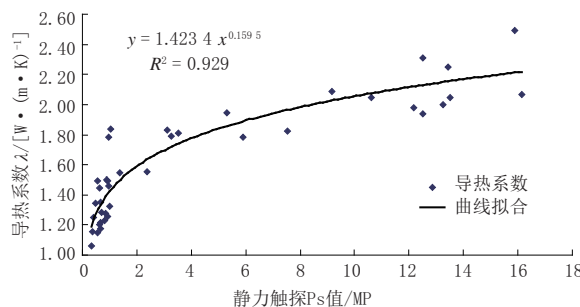


图1 导热系数—静力触探Ps值曲线(单位:MPa)

数据拟合的精度达到0.929,表明拟合结果比较理想,如在该研究区,可以直接利用静力触探Ps值指标通过式(1)换算热物理导热系数指标。

3.2 导温系数与Ps值关联性研究

从表2可以看出,随着静力触探Ps值的增大,导温系数也出现相同的增大趋势,但不能得出导温系数与静力触探Ps值的具体规律,为了研究导温系数与静力触探Ps值关联性,将静力触探Ps值作为横坐标,导温系数作为纵坐标,绘制导温系数—静力触探Ps值曲线,如图2所示。

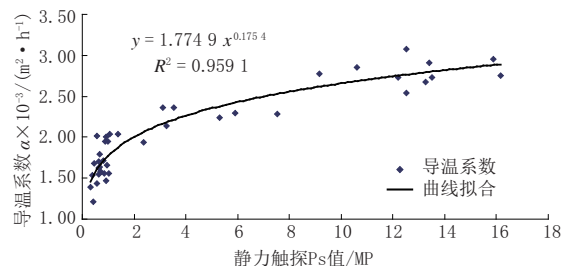


图2 导温系数—静力触探Ps值曲线(单位:MPa)

利用图2导温系数—静力触探值进行曲线拟合,绘制出一条光滑曲线,从曲线可以明显看出导温系数和静力触探Ps值呈幂函数关系,拟合的曲线函数为:

$$\alpha = 1.7749 P_s^{0.1754} \quad (2)$$

数据拟合的精度达到0.9591,表明拟合结果比较理想,如在该研究区,可以直接利用静力触探Ps值指标通过式(2)换算热物理导温系数指标。

3.3 比热容与Ps值关联性研究

从表2可以看出,随着静力触探Ps值的增大,比热容出现相反的减小趋势,但不能得出比热容与静力触探Ps值的具体规律,为了研究比热容与静力触探Ps值关联性,将静力触探Ps值作为横坐标,比热容作为纵坐标,绘制比热容—静力触探Ps值曲线,如图3所示。

利用图3比热容—静力触探值进行曲线拟合,绘制出一条光滑曲线,从曲线可以明显看出比热容和静力触探Ps值呈幂函数关系,拟合的曲线函数为:

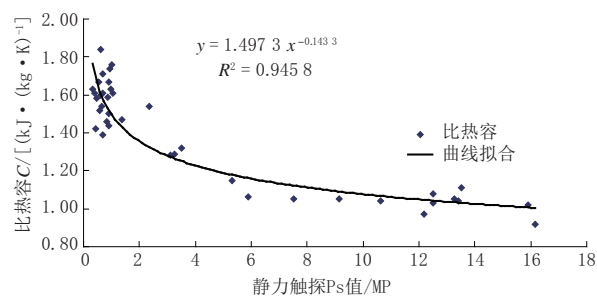


图 3 比热容—静力触探 Ps 值曲线(单位:MPa)

$$C = 1.497\,3\,P_s^{-0.143\,3} \quad (3)$$

数据拟合的精度达到 0.945 8,表明拟合结果比较理想,如在该研究区,可以直接利用静力触探 Ps 值指标通过式(3)换算热物理比热容指标。

4 结 论

(1)本文收集了上海滨海平原区的多条地铁隧道的土工热物理试验指标,通过研究发现:导温系数和导热系数随着土层静力触探 Ps 值的增大而增大,比热容随着土层静力触探 Ps 值的增大而减小,呈现出一定的规律性。通过对热物理指标和静力触探 Ps 值进行曲线拟合,发现热物理指标可以利用静力触探 Ps 值通过特定的公式进行换算。

(2)通过研究地基土层导热系数—静力触探 Ps 值曲线、导温系数—静力触探 Ps 值曲线和比热容—静力触探 Ps 值曲线,拟合经验公式,通过经验公式可以实现利用静力触探 Ps 值换算土层热物理指标,为研究区地基土层的热物理理论研究提供一定的依据。

(3)利用拟合经验公式,只能反映土层一些普遍的属性,而对某些特殊的土层,比如夹层、极不均性土层,是不能通过经验公式进行预测的,仍需依靠传统的方法进行测试。

参考文献:

[1] DGJ 08-37—2012,岩土工程勘察规范[S].

[2] Pourhashemi S A, Hao O J, Chawla R C. An experimental and theoretical study of the nonlinear heat conduction in dry porous media[J]. International journal of energy research, 1999,23(5):389-401.

[3] Singh D N, Devid K. Generalized relationships for estimating soil thermal resistivity[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2000, 22(3):133-143.

[4] Cosenza P, Guerin R, Tabbagh A. Relationship between thermal conductivity and water content of soils using numerical modelling[J]. European Journal of Soil Science, 2003,54(3):581-588.

[5] 肖琳,李晓昭,赵晓豹,等.含水量与孔隙率对土体热导率影响的室内实验[J].解放军理工大学学报:自然科学版,2008,9(3):241-247.

[6] 王刚,江巍,陈宗清,等.双桥静力触探试验在土层划分中的应用研究[J].岩土工程技术,2020,34(6):365-371.

[7] 苗亮,申培武,何成.静力触探 ps 值与土体物理力学参数的关联性[J].工程勘察,2020,48(3):21-25.

[8] 李国维,王苏云,吴建涛,等.预置管法静力触探检测水泥搅拌桩损伤控制方法研究[J].岩土工程学报,2019,41(12):2215-2223.

[9] 吕树胜,陈培帅,邱敏,等.基于层次聚类算法的静力触探试验土体分类方法及试验研究[J].科学技术与工程,2021,21(7):2609-2615.

[10] 邱敏,宋友建,丛璐,等.基于层次聚类算法的孔压静力触探土体分类方法及试验研究[J].水文地质工程地质,2019,46(3):117-123.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿邮箱:cdq@smedi.com