第19卷 第1期 山东建筑工程学院学报 Vol.19 No.1
2004年 3月 JOURNAL OF SHANDONG UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND ENGINEERING Mar. 2004

文章编号:1003-5990(2004)01-0021-06

临沂膨胀土的工程特征分析

戚庆学[1],杨利红[1],刘世强[1],宋传伟[2]
(1.山东岩土工程勘察总公司 第四工程处,山东 临沂 276006;2.山东省临沂市水利局 工程处,山东 临沂 276006)

摘要:临沂膨胀土分布广泛,常常导致建(构)筑物的开裂破坏,如何正确认识膨胀土,是该地区亟待解决的重要课题。通过对临沂市自然地质条件、膨胀土的微观及宏观地质特征分析,提出了临沂膨胀土的地质成因为河流冲积的有力证据。在X射线衍射、X荧光分析、扫描电镜观察以及大量土工试验的基础上,对膨胀土的物质成份、微观结构以及工程特征进行了系统的研究。

关键词:临沂;膨胀土;工程特征
中图分类号:P343 **文献标识码**:A

Analysis on the engineering characteristic of expansive soil in Linyi

QI Qing-xue[1], YANG Li-hong[1], LIU Shi-qiang[1], *et al*.
(1. The Fourth Engineering Division, Shandong Geotechnical Investigation Corporation, Linyi 276006, China)

Abstract: The expansive soil distributes widely in Linyi city, and usually causes the building breakage. How to have a correct understanding of the expansive soil is an important task to be solved urgently in this area. By analyzing geological conditions of nature, micro-structure of expansive soil and macroscopic characteristics, it is concluded that the geological cause of the expansive soil is alluvial. Based on X ray diffraction, X fluorescence, TEM and lots of experiments, the material composition, microstructures and the characteristic of engineering are studied by the numbers.

Key words: Linyi; expansive soil; engineering characteristics

1 自然地质条件

临沂市位于山东省东南部,京沪高速公路、日东高速公路、兖石铁路、205、206、327国道在此通过,沂河、祊河、涑河等流经市区。

临沂市属暖温带半湿润大陆性气候,具有气温适宜、四季分明、夏季多雨、冬少雪、春旱多风、秋旱少雨等特点。临沂市多年平均降雨量约970mm,其中,6~9月份降雨量为739.4mm,占全年降雨量总和的76.3%。年平均蒸发量为856.2mm,其中5~8月份蒸发量为507.9mm,占全年蒸发量总和的59.4%。

临沂市膨胀土湿度系数为0.758,大气影响深度2.76m,大气影响急剧层深度为1.70m。

除沂河西岸边的金雀山和银雀山,沂河以东的小皇山和沭埠岭属构造剥蚀丘陵,地势较高外,临沂市地形整体较平坦,总体上西北高、东南低,地面标高为64~71m,地形坡度小于1‰。

市区地貌形态主要有河流一级阶地和河流中游冲积平原。

收稿日期:2003-10-23
作者简介:戚庆学(1972-),男,山东临沂人,山东岩土工程勘察总公司第四工程处工程师,硕士,研究方向:工程勘查及施工.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2 水文地质和工程地质条件

受地形、地貌、补排关系及人为因素的影响，地下水位埋深差异较大，一般在5m以下，局部地区由于大量抽取地下水，深达18m。近几年由于居民用水及工业用水的增加，加之无计划的超量开采，改变了地下水的径流规律，形成了达2km²的北西向近椭圆形的地下水下降漏斗区，中心部位第四系孔隙水已被疏干，即使丰水期地下水位仍不能恢复正常，其范围还不断扩大，地下水位不断下降，漏斗中心在五里堡至汽车站一带。含水介质一般为第四系砂层及灰岩裂隙。根据含水岩层在地质剖面中所处的部位，临沂市地下水为潜水类型，按含水介质类型，可分为孔隙水和岩溶裂隙水，主要接受大气降水的垂直入渗补给和西部山区地下水的侧向径流补给，地下水由西北向东南运动流入沂河。临沂市地下水对混凝土无腐蚀性

临沂市地层结构相对来说较简单，自上而下分别为：

(1) 松散填土，沂蒙路中段、北段两侧老城区厚度较大，局部厚达7m，其余厚度较小，约1m；

(2) 粉质粘土，呈可塑偏硬状态、韧性中等、切面较粗糙，厚度一般为0.00～1.60m，最大达2.80m；

(3) 粘土，呈可塑偏硬～硬塑状态，局部为坚硬状态，具膨胀性，为临沂市膨胀土，该层土具有明显的层理特征，具体表现为：粘土的中间部位颜色较深，结构较均匀，具有油脂光泽，韧性较高、干强度较高，顶部和底部粘土混少量粉粒或中粗砂，颜色相对较浅，为膨胀土与上下两土层的过渡状态；

(4) 含砂粉质粘土，为相对软弱层，呈软塑状态，中粗砂含量约20%，厚度约1.0m；

(5) 中粗砂，呈中密状态，由于基岩埋深的差异，厚度变化较大，厚度在0.0～10.0m，中粗砂磨圆度较高，分选较好；

(6) 临沂市第四系覆盖层下伏基岩主要为石灰岩，北部及东部为青山群安山岩，埋深在4.5～15.0m之间。

由于河流冲积、沉积时代、岩浆侵入及断层错动等影响，局部地区略有差异。临沂市典型工程地质剖面见图1。

3 临沂膨胀土的宏观地质特征

3.1 一般特征描述

临沂市膨胀土广泛分布在临沂市沂河一级阶地和河流中游冲积平原地区，层位较稳定，厚度一般为0.70～2.20m，埋深一般在0.50～4.00m之间，罗庄等地局部出露地表。膨胀土一般位于地下水位以上，因此，受大气降雨及人为活动的影响较大。临沂市膨胀土沿沂河具有区域性分布的特点[1]，其分布见图2。

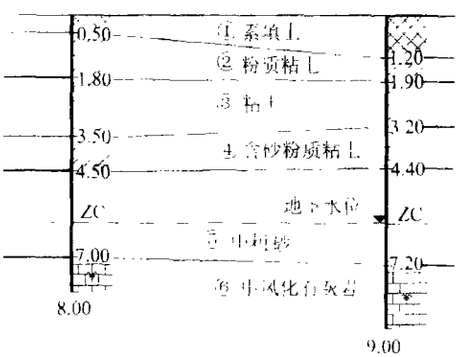


图1 临沂市典型工程地质剖面示意图

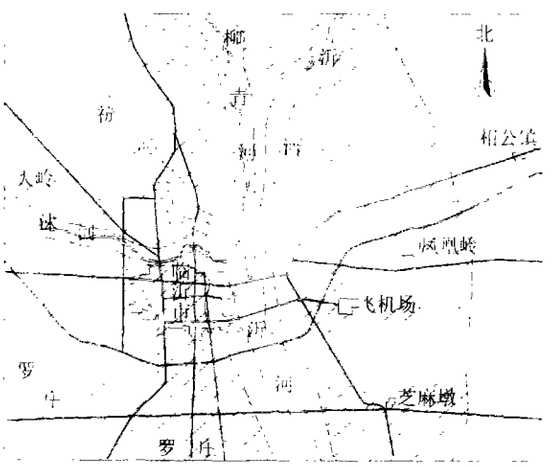


图2 临沂市膨胀土分布示意图

受小范围沉积环境的控制，临沂市膨胀土颜色较杂，大致可分为深色膨胀土和浅色膨胀土，深色包括灰褐色、灰色、灰黑色、黑色，浅色包括褐黄色、黄褐色、褐色等。膨胀土的颜色具有成层特性，上层及下层颜色较浅，中层颜色较深。另外，膨胀土的颜色还受含水量的影响，含水量高时颜色较深，反之颜色

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

较浅。根据该地区研究成果,膨胀土的胀缩特性及其他物理力学性质,受沉积环境的控制,深色与浅色膨胀土具有不同的物理力学性质[2],其中深色膨胀土分布广泛,胀缩性较大,为临沂市典型膨胀土。

在临沂膨胀土中,常含有少量铁锰质结核,呈褐色,颗粒直径一般在2~4mm,用手很难捏碎,但锤击易碎。受沉积规律的影响,顶层膨胀土混有较多粉粒,底层混少量中砂,且分布不均匀,上、下多,中间少。

3.2 临沂膨胀土的地质成因分析

通过地层结构、地貌形态等综合判定,临沂市膨胀土的地质成因为河流冲积。主要证据有以下几点:

(1) 临沂市地层结构自上而下由高塑性粘土逐渐过渡到含砂粉质粘土、中粗砂,且砂粒自上而下有逐渐增大的趋势,这种逐渐变粗的地层结构是河流阶地的典型结构。对于膨胀土本身而言,其粒度成份、包含物特征也具有上述特征。

(2) 膨胀土沿沂河具有区域性分布的特点。从临沂市北部到南部沂河中游平原地区,均有膨胀土分布,而且沿沂河呈条带状分布。它们不论在地层位置、野外特征、工程性质等方面均具有相似之处。

(3) 膨胀土分布地区地貌形态为河流一级阶地或冲积平原。

(4) 除此之外,通过肉眼及微观结构观察,还发现膨胀土的包含物及单粒呈亚圆形或圆形,磨圆性较好,该结果可以认为是临沂膨胀土河流冲积的有力证据。

4 临沂膨胀土的物质成份

临沂膨胀土特殊的工程地质性质受其特殊的矿物、化学、粒度、交换阳离子成份等所控制。研究膨胀土的物质成份不仅对了解膨胀土工程特性,探讨膨胀机理所必需,而且也是探讨膨胀土的改良与加固方法必不可少的。

4.1 矿物成份

膨胀土的胀缩性能及其变化与其矿物成份关系甚为密切,粘土矿物主要存在于粘土粒级的颗粒中。本试验是应用土粒在静水中的沉降原理,使用移液管吸取上部悬液,置于坩锅中并经烘干,取得粘粒成份后,通过X射线衍射方法,委托南京大学地球科学系完成,结果见表1,为比较我国各地区膨胀土的矿物成份[3],将其一并列于表中。

临沂膨胀土的矿物成份不同于其他地区,主要以伊利石为主,其次为蒙脱石、高岭石,含少量碎屑矿物,如石英。膨胀土是粘粒含量很高的土,其中蒙脱石钠的活动性为7.2,蒙脱石钙的活动性为1.5,少量的蒙脱石就可导致明显的胀缩性。伊利石的活动性为0.9,伊利石是不稳定矿物,在适宜的条件下可失去K^+变成似蒙脱石,伊利石并不是不亲水的,只是它的亲水性略小于蒙脱石而已。高岭石的活动性为0.33~0.46,石英无活动性。

表1 矿物成份分析表　　%

产　地	伊利石	蒙脱石	高岭石	绿泥石	石英
山东临沂	47	29	19		5
安徽江淮	45	40	15		0
广西宁明	61	9	30		
湖北襄樊	34.5	36.2	29.3		
广西南宁	58.8	10.4	22.3	8.5	
陕西汉中	26~41	41~59	15		
安徽定远	67.04	6.15	26.81		

4.2 化学成份

粘粒的化学成份由其矿物组成决定。风干膨胀土料经粉碎过筛(0.5cm),并经移液、烘干处理后,取得小于0.002μm颗粒,委托南京大学现代测试中心,采用X荧光进行化学成份分析,试验设备为XR(f)S,结果见表2,为比较我国各地区膨胀土的化学成份[3],将其一并列于表中。

表2 化学成份分析表　　%

产　地	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O
山东临沂	50.38	17.82	9.14	2.15	2.57
安徽江淮	45.4	26.50	10.80	1.90	2.20
广东韶关	54.15	19.17	10.0	2.49	3.23
湖北郧县	64.21	17.27	6.31	1.51	2.16
广西三塘	45.20	25.13	7.05	1.51	5.85
陕西安康	49.72	23.49	5.50	4.41	4.80
四川广汉	44.80	24.19	10.76	1.34	2.39

产　地	CaO	MnO	TiO_2	Na_2O	LOI
山东临沂	1.50	0.79	0.77	0.53	13.55
安徽江淮	0.12			0.69	
广东韶关	0.40		0.88	0.26	6.50
湖北郧县	1.47			0.87	7.48
广西三塘	4.21		0.50	3.20	10.72
陕西安康	4.20			1.58	11.40
四川广汉	0.20	0.02	0.88	0.29	14.65

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

试验结果显示,临沂膨胀土的化学成份主要以 SiO_2、Al_2O_3 和 Fe_2O_3 为主,占全重的 77.34%,烧失量(挥发质,如 CO_2、C、H_2O 或有机质)较高,占全重的13.55%。除以上表列数据之外,还含有少量的 P_2O_5、SO_3。

粘土的硅铝比 $SiO_2/Al_2O_3 = 2.83$, $SiO_2/(Al_2O_3 + Fe_2O_3) = 1.87$,其比值越小,胀缩量就越小,反之则大。

4.3 粒度成份

土的粒度成份是反映其工程地质性质的一个重要方面,是土的结构特征。它表征土的分散性,亦即组成土的土粒的大小比例关系。临沂膨胀土的特点是粘粒(<0.005mm)含量较高,含量为 69%。粘土颗粒小,比表面积大,因而粘粒含量愈高,吸水能力愈强。同时也是膨胀土遇水膨胀、失水收缩的重要因素之一。表 3 为膨胀土中加入六偏磷酸钠作分散剂后,采用移液管法测得的颗粒分析结果,为比较我国各地区膨胀土的颗粒组成[2],将其一并列于表中。

表 3 颗粒分析成果表 %

产地	粒径/mm			
	0.25~0.075	0.075~0.005	0.005~0.002	<0.002
山东临沂	4.6	26.4	15.0	54.0
安徽定远	6.52	18.54	38.91	36.03
湖北郧县	19	35	20	26
广西宁明	3.69	25.76	22.51	48.47
四川成都	5.88	44.52	5.07	44.53
贵州遵义	8.10	29.52	7.92	54.46
广西柳州	6.80	47.0	14.0	32.0

临沂膨胀土的粒度组成具有二个峰值,一个为粉粒组(较低),另一个为胶粒组(较高),见图 3

4.4 交换阳离子特征及比表面积

当粘土颗粒与各种不同的溶液相互作用时,在土粒与溶液之间产生离子交换,粘粒表面的交换性阳离子,作为一个个活跃的中心,对粘粒与水相互作用的程度起着影响,交换性阳离子的种类、属性和占交换容量的比例等都将影响到水与粘粒的作用程度,从而导致其体积发生改变以及其他一些性质的变化。为了定量说明粘粒表面的物理—化学特征,我们委托中国科学院南京土壤研究所测定了膨胀土的阳离子交换容量及交换性阳离子成份。交换容量及交换性阳离子成份采用土壤学的常规方法测定。粘土的比表面积是根据粘土矿物的比表面积加权后得出的。粘土矿物的比表面积是在液氮冷却条件下进行 N_2(气)的等温物理吸附测定的,根据获得的等温吸附曲线计算表面参数,相对压力选择在0.001~0.998之间,在获得 N_2 吸附等温线的基础上,应用多分子吸附等温方程计算 BET 比表面积[23],表 4 为本次试验物理—化学结果。

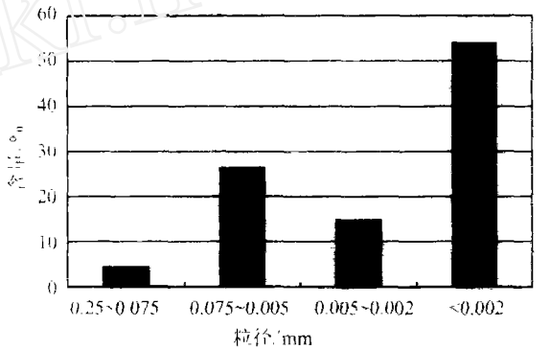


图 3 膨胀土颗粒分析柱形图

临沂膨胀土以交换性 Ca^{2+} 为主,占交换性盐基总量的 70.5%,其次是 Mg^{2+}、K^+、Na^+。土中阳离子交换成份影响着土的物理力学性质,通常土粒越细,比表面积越大,亲水性就越大,离子交换能力也就越强,其塑性就越大,胀缩性也表现更强烈。

表 4 物理—化学试验结果表

比表面积/($m^2 \cdot g^{-1}$)	阳离子交换成分/(me·(100g)$^{-1}$)				阳离子交换量/(me·(100g)$^{-1}$)
	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	
20.7	6.91	2.91	40.82	7.28	49.36

5 临沂膨胀土的工程地质特征

膨胀土的工程地质性质是一个多因素影响的目标函数,它受土的成因、物质成份、结构特征及天然状态等因素影响,为了研究临沂膨胀土的工程地质性质,我们对其物理力学性质、胀缩特性、击实特性及微观结构特征做了一系列室内试验。

5.1 物理力学特征

试验土样取自临沂市罗庄区金九路与罗八路的交汇处,在探坑中采用环刀采取原状土样,取样深度约 1m,取样数量为 6 件。对所采试样均进行了物理力学性质试验,表 5 的内容为各土样试验结果的平均值。

土的物理力学性质在很大程度上决定于其组织结构。其次,土的原始含水量对其强度影响也很大,

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

尤其对高度分散的膨胀土更为明显。

表 5　物理力学性质表

试验项目		试验指标	评　价
含水量 W/%		32.5	含水量较低
密度 ρ/(g·cm^{-3})		1.81	
干密度 ρ_d/(g·cm^{-3})		1.37	
孔隙比 e_0		1.028	孔隙比较大
饱和度 S_r/%		88.0	非饱和土
液限 W_L/%		66.1	高液限粘土、韧性高、干强度高
塑限 W_p/%		34.1	
塑性指数 I_p		32.0	高液限粘土、膨胀潜势高
液性指数 I_L		-0.05	坚硬状态
压缩系数 α_{1-2}/MPa^{-1}		0.13	中等偏低压缩性
压缩模量 E_{s1-2}/MPa		15.6	中等偏低压缩性
无侧限抗压强度/kPa		187.1	硬粘土
直剪快剪	C/kPa	71.8	强度较高
	ϕ/°	14.9	

5.2　胀缩特征

为了研究临沂膨胀土的胀缩性,我们对试样进行了不同压力下土的膨胀率、自由膨胀率、膨胀力及收缩试验,各试验项目的平均值见表 6。

表 6　膨胀土的胀缩特征表

试验项目	试验指标	评　价
自由膨胀率 δ_{ef}/%	70	中等膨胀潜势
50kPa 下的膨胀率 δ_{ep50}/%	-0.12	
25kPa 下的膨胀率 δ_{ep25}/%	0.01	
0kPa 下的膨胀率 δ_{ep0}/%	2.21	
膨胀力 Pe/kPa	67	
收缩系数 λ_s	0.45	
缩限 W_s/%	11.5	
线缩率 δ_s/%	9.1	
体缩率 δ_v/%	30.5	

临沂膨胀土的胀缩特征之一是当外加荷载大于 25kPa 时,压缩变形大于湿胀变形,膨胀率为负值;当外加荷载小于 25kPa 时,湿胀变形大于压缩变形,膨胀率表现为正值。特征之二是收缩系数高达 0.45,收缩系数愈高,说明土失水时收缩愈强烈,这与土的成份、结构形态及结构连结有关。

5.3　击实特征

将风干膨胀土样粉碎并过筛后(1.00mm),采用轻型击实试验方法,测得膨胀土的最佳含水量为 27.6%,最大干密度为 1.59g/cm^3。含水量与干密度的关系曲线见图 4。

6　临沂膨胀土的微结构特征

膨胀土的胀缩性不仅取决于粘土矿物的类型和数量,还取决于土的结构特征。研究表明,膨胀土的微结构是一类具有复杂形式的特殊结构体系,以片状、扁平状粘土颗粒相互集聚形成的微集聚体是组成膨胀土结构的基本单元体,决定着膨胀与收缩及强度特征。

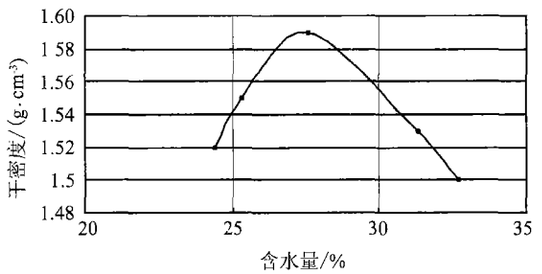


图 4　含水量与干密度关系曲线

本课题中膨胀土微结构的观察委托中国科学院南京地质古生物研究所完成,所用仪器为 LEO—1530VP 扫描电子显微镜。天然土样在室温状态下风干后,对其断口进行了微观结构观察。在扫描电镜下可看出,在天然土样放大 1000 倍的微结构特征图(图 5)上,可见较多纵横交错的收缩裂隙;在高倍数显微镜下,膨胀土中的矿物形态以片状为主,片状矿物之间以面—面、边—面叠聚形式接触,部分片状矿物边缘有卷曲现象,在片状叠聚体之间,可见少量孔隙及圆球形石英颗粒。此外,有少量物质无规则外形,呈凝胶状将片状矿物胶结在一起成为粒径更大的团粒。天然土样放大 3000 倍的微结构特征见图 6。

7　结论

临沂膨胀土特有的自然地质条件、宏观地质特征、物质成份决定了其不同于其他地区膨胀土的工程特性。

(1) 临沂膨胀土的地质成因为河流冲积。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(2) 矿物成份以伊利石为主,其次为蒙脱石、高岭石,含少量碎屑矿物;化学成份主要以 SiO_2、Al_2O_3 和 Fe_2O_3 为主,占全重的 77.34%,$SiO_2/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$为 1.87,烧失量较高,占全重的 13.55%;粘粒(<0.005mm)含量较高,含量为 69%,比表面积较大;阳离子交换成份以交换性 Ca^{2+} 为主,占交换性盐基总量的 70.5%,其次是 Mg^{2+}、K^+、Na^+。

(3) 临沂膨胀土孔隙比较大;液限较高;含水量较低,为非饱和土,天然状态下,呈坚硬状态,强度较高;具中等膨胀潜势,收缩系数较高。

(4) 粘土矿物以叠聚体形式存在,彼此之间以面—面、面--边的形式接触,部分叠聚体边缘有卷曲现象。风干粘土表面可见少量裂隙。

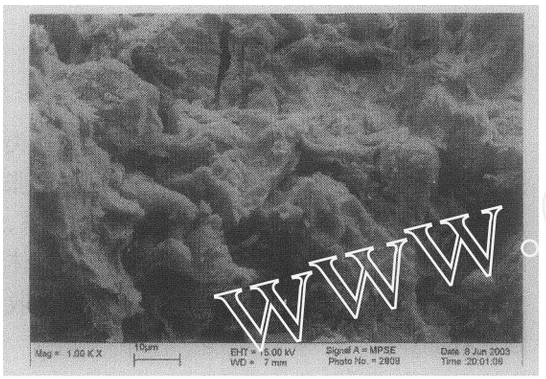


图 5 天然土样的微结构特征(1000×)



图 6 天然土样的微结构特征(3000×)

www.cnki.net

参考文献:

[1] 戚庆学,张云,李洪春.临沂市岩土工程问题及对策[J].曲阜师范大学学报,2003,29(3):92-95.

[2] 戚庆学.临沂市膨胀土液限与塑限之间的相关关系[J].岩土工程技术,1998(2):31-32.

[3] 李生林,施斌.中国膨胀土的工程地质研究[M].南京:江苏科技出版社,1992.

科研简讯

我校有两项科研项目通过技术鉴定

"城市中心区规划控制研究"是山东省教育厅立项和资助的科研项目,由我校建筑系承担研究。该研究通过定性与定量、理论与实践相结合的方法和手段,从多学科、多层次较为全面系统地研究了城市中心区的规划控制原理,提出了较系统完整的中心区规划控制理论、程序、原理和方法。本研究对编制城市中心区规划,提高规划的科学性,有效控制中心区的开发建设和改造,具有重要作用。对提高中心区的土地价值,创造良好的中心区环境,保证中心区城市功能的正常发挥,均有现实积极意义。它实用性和可操作性强。鉴定专家一致认为:该项研究成果对城市中心区的规划建设有重要的指导作用,理论、方法有创新,达到了国内领先水平。

"塑管低温地板辐射供暖研究"是山东省教育厅立项和资助的科研项目,由我校空调系承担研究。该研究是将换热盘管埋于地板混凝土层中,通过盘管内热水的循环流动,来加热地板板面,然后再通过辐射、对流的方式与室内壁面和空气进行热交换,实现向室内供热的目的。该课题从理论基础、实验研究和应用技术三方面做了大量的研究工作。改进与完善了地板辐射传热模型,编制了地板辐射传热供暖系统设计与模拟软件、制定了地板辐射传热供暖的设计技术措施,进行了低温热水地板辐射系统的实验与实测研究,对地板辐射供冷进行了初步研究,取得了一定成果,指导完成了地板辐射传热供暖设计 10 万 m^2。该研究对地板辐射传热供暖技术发展和应用,具有积极和现实的意义,并具有较好的经济效益、社会效益和社会环境效益。鉴定委员会一致认为:该供冷供暖实验室和低温地板辐射供暖设计及其模拟软件技术达到了国内领先水平。

科研处

2004年3月10日

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net