

南京朗诗 B1 地块 1~6# 楼地源热泵系统设计

中国建筑科学研究院空调所 张钦 袁东立

南京朗诗置业股份有限公司 程洪涛

摘要: 地源热泵系统作为利用可再生资源的高能效系统, 其发展备受瞩目。本文介绍了南京朗诗 B1 地块 1-6# 楼地源热泵系统形式, 并简略叙述了该项目所具有的推广意义。

关键词: 地源热泵 冷热源 节能

1 工程概况

1.1 建筑概况

朗诗·国际街区 B1 地块 1-6# 楼位于江苏省南京市河西新区, 北临纬九路、西临经四东路, 总占地面积 3.0076 公顷, 为普通住宅。

本工程总建筑面积 91557.18m², 地上建筑面积为 68115.62 m², 分为 1-6# 楼。其中 1#、3#、4# 为十八层的高层塔楼, 2#、5#、6# 为七层的中高层塔楼。

1.2 末端区域空调系统形式

本工程是采用顶棚辐射和置换新风为末端的高舒适度低能耗住宅, 实现了“新风、低噪、舒适、节能”的住宅功能。顶棚辐射采暖制冷系统承担室内显热负荷, 将盘管埋设于每层混凝土楼板内。置换新风系统承担室内潜热负荷, 通过散热和吸热使室内环境处于舒适范围。

2 末端系统设计参数和空调负荷说明

2.1 冷热水供回水温度

末端系统冷热源由地源热泵机房提供, 顶棚辐射系统夏季所需供回水温度为 18/20℃, 冬季所需供回水温度为 28/26℃。置换新风系统夏季所需供回水温度为 7/12℃, 冬季所需供回水温度为 35/30℃。

2.2 室内主要设计参数见表 1

表 1 室内主要设计参数

夏季		冬季		新风量/ (m ³ /h.p)
温度/℃	相对湿度/%	温度/℃	相对湿度/%	
26	60	20	40	30

2.3 末端空调系统冷、热负荷

我们利用 TRNSYS 对建筑负荷和空调系统的能耗作了典型年 8760 小时的模拟。得出整个系统夏季总

冷负荷为 2333.71kW，其中，天棚系统冷负荷 432.17kW，新风系统冷负荷 1904.93kW；冬季总热负荷为 1827.83kW，其中，天棚系统热负荷 654.44kW，新风系统热负荷 1173.42kW。

3 地源热泵系统设计

3.1 水系统设计

水系统设计要结合各末端系统的冷热量要求、不同季节末端空调系统的运行模式、经济原则等诸多因素来考虑。

3.1.1 顶棚辐射系统

本系统设置两台克莱门特地源热泵机组供给天棚系统，单台制冷量为 418.9kW，制热量为 420kW。通过 TRNSYS 对全年能耗模拟分析，我们发现在过渡季节，系统需对天棚提供冷量，为降低系统运行能耗，设置一台板式换热器提供天棚系统冷水，其一次水直接来自地源水。

3.1.2 置换新风系统

本系统另设置两台带热回收装置的主机供给新风系统和生活热水，单台制冷量为 1000.5kW，制热量为 1202kW。

3.1.3 本工程包括六栋住宅楼，业主最初提出地源热泵机房分别设置于六栋住宅楼地下一层设备房内的方案，但施工图设计过程中经过多次专家论证和对全年负荷分析计算最后确定改为一个机房，其相对于六个机房的优点有：

1) 由于各栋楼冷热负荷较小，故没有相应的标况机组；而改为一个机房后能够使用标况机组，降低了系统初投资；

2) 避免了使用六个机房时，各环路水量过小导致的沿程阻力小，水泵选型困难的问题。

3.2 地埋管钻孔设计

地埋管的设计和施工是本工程中难度最大的部分，合理地确定埋管型式，并选取适当的地埋管单位长度取热量和释热量是设计的关键。同时应该考虑建筑物土建结构及其他设施，布置地埋孔时避免与之冲突。

常规的土壤换热器有垂直埋管型和水平埋管型两种。垂直埋管型土壤换热器占地面积少，深度方向有调剂性，愈深，受大气影响而引起的波动愈小，但造价高于水平埋管，施工难度较大。由于本工程建筑周围场地很小，因此考虑采用桩基埋管，不足的部分在地面建筑空地采用垂直埋管补充。埋于桩基中的地埋管型式（U型或W型）和长度均由桩基的形状和深度决定。通过对当地土壤换热的测试，可确定U，W，U+W，U+U等各种类型埋管的每米取热量和释热量。桩基埋管从桩相互之间距离及避免交叉

等因素考虑，共计有效利用桩孔环路为 885 个，室外补孔 302 个，间距 5 米，钻孔深度 60 米。

3.3 地埋管水力平衡设计

本工程地埋管环路数量大，如何合理地进行水力调节也是设计的难点。各个环路阻力损失 ΔP ，包括沿程阻力损失和局部阻力损失 ΔP_j 。

3.3.1 各环路沿程阻力损失 ΔP_m 计算

各环路沿程阻力损失 ΔP_m (毫米水柱) = iL ,

式中 i —塑料管水力坡降 (毫米水柱/米);

L —各环路总长度 (米);

塑料管水力坡降，可近似按下式计算:

$$i = 0.00095 \times 1000 \times G^{1.774} / dj^{4.774},$$

式中 G —每个环路流量 (m^3/s);

d_j —地埋管计算内径，本工程为 0.0204 米。

3.3.2 各环路局部阻力损失 ΔP_j 计算

各环路沿程阻力损失 ΔP_j (毫米水柱) = iL'

式中 i —塑料管水力坡降 (毫米水柱/米)，同上;

L' —各环路局部阻力当量长度 (米);

根据以上公式，我们对所有埋管环路进行详细的水力计算，依据计算出的阻力数值进行分组，阻力相近的埋管划为同组，以 1# 楼楼为例，地埋管分组详见表 2、表 3。

表 2 1#楼地埋管分组

J,F-1		J,F-2		J,F-3		J,F-4		J,F-5		J,F-6		J,F-7		J,F-8		J,F-9		J,F-10		J,F-11		J,F-12	
环路编号	阻力	环路编号	阻力	环路编号	阻力	环路编号	阻力	环路编号	阻力	环路编号	阻力	环路编号	阻力	环路编号	阻力	环路编号	阻力	环路编号	阻力	环路编号	阻力	环路编号	阻力
B-4	1.07	B-21	1.76	B-44	2.29	50	2.74	62	3.02	B-25	3.22	77	3.42	33	3.66	154	4.03	131	4.43	147	4.95	100	5.66
B-5	1.11	B-35	1.77	B-57	2.32	B-28	2.74	1	3.03	34	3.24	B-50	3.44	119	3.71	155	4.03	114	4.49	54	4.95	133	5.66
B-6	1.12	B-36	1.77	B-64	2.33	95	2.75	57	3.03	B-38	3.25	120	3.45	162	3.71	16	4.04	70	4.50	72	5.01	43	5.67
B-3	1.25	B-34	1.78	B-62	2.34	B-41	2.77	3	3.06	25	3.25	92	3.51	36	3.72	37	4.04	9	4.56	103	5.03	115	5.73
B-10	1.25	128	1.85	B-30	2.43	B-54	2.80	27	3.06	45	3.25	110	3.51	48	3.72	140	4.10	21	4.60	80	5.07	146	5.73
B-11	1.28	B-13	1.91	B-43	2.45	63	2.81	127	3.06	121	3.25	125	3.51	96	3.77	7	4.16	39	4.60	148	5.08	84	5.77
B-12	1.29	B-20	1.92	B-56	2.48	B-71	2.82	B-26	3.06	129	3.25	159	3.51	109	3.77	152	4.16	104	4.60	41	5.08	101	5.79
B-2	1.41	24	1.93	B-67	2.50	B-69	2.83	29	3.07	163	3.25	107	3.56	122	3.77	160	4.16	150	4.69	11	5.14	116	5.95
B-9	1.42	B-47	1.93	B-65	2.50	2	2.86	26	3.07	30	3.26	64	3.57	32	3.81	23	4.17	19	4.75	126	5.14	144	5.99
B-16	1.42	B-48	1.94	B-63	2.50	61	2.86	56	3.07	B-51	3.27	81	3.58	124	3.84	153	4.21	85	4.75	102	5.17	143	6.05
B-17	1.44	B-33	1.95	113	2.54	88	2.86	68	3.07	15	3.32	111	3.58	47	3.85	137	4.23	10	4.82	13	5.19	136	6.18
B-18	1.45	B-46	1.96	B-29	2.58	6	2.89	105	3.07	87	3.32	161	3.58	40	3.90	8	4.30	20	4.82	17	5.27	134	6.51
B-1	1.56	B-19	2.08	67	2.60	B-27	2.90	156	3.07	90	3.32	B-49	3.59	130	3.90	71	4.30	42	4.82	28	5.29	142	6.64
B-8	1.58	B-59	2.10	76	2.60	89	2.93	B-39	3.09	93	3.32	31	3.61	46	3.91	79	4.30	83	4.82	117	5.34	141	6.77
B-15	1.59	B-32	2.11	B-42	2.61	157	2.93	B-52	3.12	97	3.38	52	3.64	5	3.95	99	4.30	139	4.82	12	5.40	132	7.62
B-22	1.59	B-60	2.11	B-55	2.64	B-40	2.93	112	3.12	98	3.38	91	3.64	65	3.97	138	4.36	118	4.82	18	5.40		
B-23	1.61	B-45	2.14	B-70	2.66	B-53	2.96	58	3.13	60	3.39	108	3.64	38	3.98	53	4.37	74	4.88	44	5.40		
B-24	1.62	B-58	2.15	B-66	2.66	51	2.97	35	3.17	106	3.39	123	3.64	75	3.98	151	4.37	82	4.88	73	5.40		
B-7	1.73	B-61	2.17	B-68	2.67	94	2.99	14	3.19	B-37	3.41	158	3.64	69	4.01	22	4.43	149	4.92	145	5.40		
B-14	1.75	B-31	2.27	86	2.73	B-72	2.99	59	3.20	49	3.42	4	3.65	66	4.03	78	4.43	135	4.93	55	5.52		

表 3 2#楼地埋管分组

J,F-1		J,F-2		J,F-3		J,F-4		J,F-5		J,F-6		J,F-7		J,F-8		J,F-9	
环路 编号	阻力	环路 编号	阻力	环路 编号	阻力	环路 编号	阻力	环路 编号	阻力	环路 编号	阻力	环路 编号	阻力	环路 编号	阻力	环路 编号	阻力
B-8	2.06	B-22	3.04	13	4.22	51	4.46	36	4.71	103	4.85	114	5.04	87	5.21	18	5.55
B-7	2.16	B-2	3.16	4	4.22	93	4.46	49	4.72	46	4.89	45	5.05	20	5.23	94	5.60
B-9	2.20	B-11	3.18	101	4.22	128	4.48	125	4.72	141	4.89	88	5.05	108	5.24	33	5.64
B-17	2.27	B-21	3.20	118	4.22	112	4.49	115	4.75	79	4.90	89	5.05	75	5.27	38	5.67
B-16	2.38	B-1	3.33	149	4.25	16	4.54	9	4.75	84	4.91	29	5.07	82	5.27	10	5.68
B-18	2.38	B-10	3.34	3	4.25	32	4.55	31	4.77	142	4.92	77	5.07	53	5.30	37	5.70
B-26	2.44	B-20	3.36	124	4.25	120	4.58	61	4.78	22	4.94	109	5.08	43	5.31	80	5.72
B-6	2.48	64	3.50	145	4.30	106	4.61	116	4.78	99	4.94	39	5.08	19	5.33	17	5.74
B-15	2.54	B-19	3.52	123	4.32	27	4.61	63	4.79	6	4.95	11	5.09	24	5.33	55	5.76
B-27	2.55	67	3.77	130	4.33	28	4.61	69	4.79	62	4.95	57	5.11	71	5.34	56	5.79
B-25	2.55	127	3.89	136	4.33	119	4.61	12	4.80	139	4.95	59	5.11	95	5.34	138	5.80
B-5	2.65	143	3.94	146	4.33	111	4.62	35	4.81	26	4.97	5	5.11	85	5.37	41	5.83
B-14	2.69	122	3.96	100	4.35	50	4.63	97	4.81	98	4.97	15	5.12	86	5.37	137	5.83
B-24	2.72	121	3.99	34	4.38	92	4.63	60	4.81	76	4.98	113	5.14	58	5.40	96	5.88
B-4	2.82	134	4.04	40	4.40	126	4.63	110	4.82	21	5.00	78	5.14	81	5.40	74	6.15
B-13	2.85	102	4.06	129	4.40	132	4.63	7	4.82	68	5.02	54	5.17	42	5.41	73	6.47
B-23	2.88	148	4.07	117	4.41	144	4.63	8	4.82	23	5.03	65	5.17	14	5.42		
83	2.90	133	4.11	107	4.41	91	4.66	48	4.82	25	5.03	105	5.18	72	5.47		
B-3	2.99	147	4.11	1	4.45	104	4.66	47	4.85	30	5.03	140	5.18	70	5.53		
B-12	3.02	135	4.17	2	4.45	131	4.66	90	4.85	66	5.04	44	5.21	52	5.54		

本设计采用两级分集水器，二级分集水器置于各栋楼专设的窗井内，一级分集水器置于地源热泵机房内。分组的埋管环路首先接入相应的二级分集水器，为了合理分配各栋楼的水量，在二级集水器总管上加装平衡阀；各栋楼埋管二级分集水总管再接入机房内一级分集水器。这就避免了环路过多且各个环路阻力相差过大造成的水力失调现象。

埋管系统图见图 1。

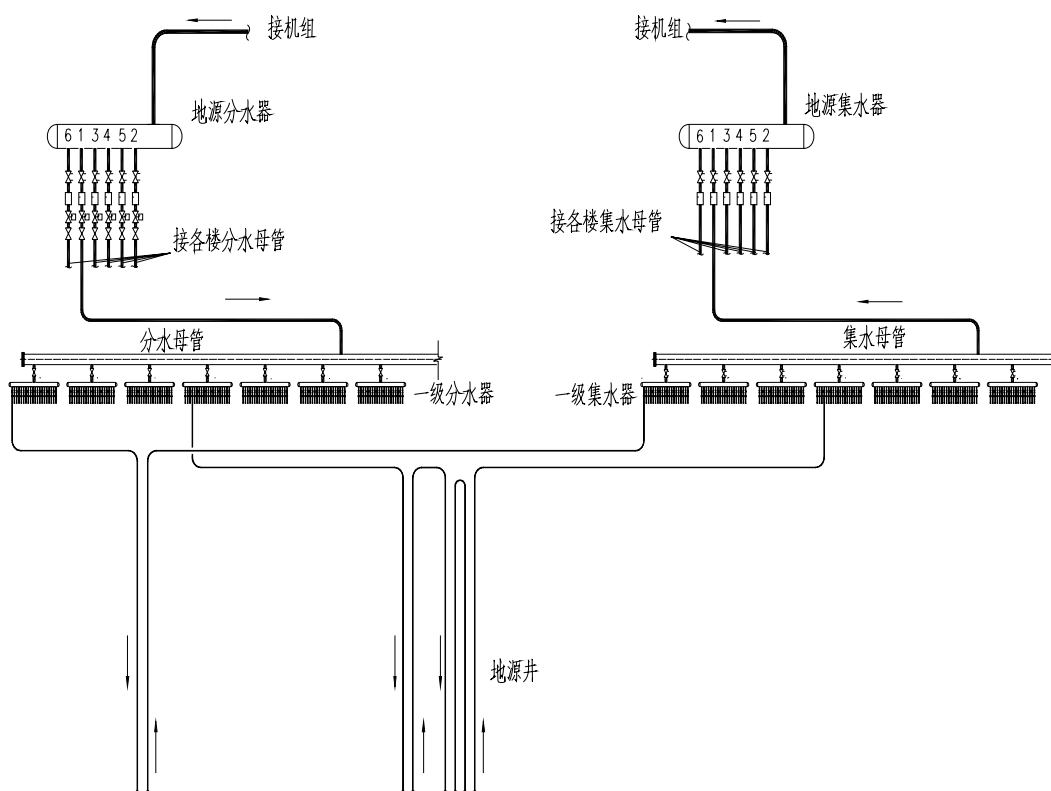


图 1 地埋管系统图

3.4 土壤热平衡

从地源热泵系统的使用特点可以看出，地源的热平衡是保证系统成功持久运行的关键。如果热平衡受到破坏，将使土壤温度发生改变（不论升高或降低），会严重影响若干年后的可靠使用，因此地源热泵系统的热平衡是能否成功的关键因素。通过对全年地源热泵系统向土壤的排热量（主要包括夏季的建筑需冷量和热泵机组的耗电量）和全年系统从土壤中的取热量计算发现，就全年来说，系统夏季的排热量将大于冬季的取热量。故本工程采用了带热回收的地源热泵机组，夏季利用制冷机的冷凝废热（这部分热量本来是要排到地下土壤中去的）来制取免费的生活热水，既免费得到了供住户使用的卫生热水，又减少了系统对大地的热排放，有利于解决南方地区夏季放热量大、冬季取热量小的土壤热平衡问题。

4 结语

4.1 目前国内采用顶棚辐射结合置换新风为末端的高舒适低能耗住宅还有北京锋尚国际公寓和北京当代万国城 MOMA，但朗诗国际街区是目前国内规模最大的尝试桩基埋管系统的工程。而本工程的实施，可扩展地埋管式地源热泵系统在中国南方的应用前景。

4.2 由于本系统是在人口密度较大的住宅常年连续运行，故土壤的全年热平衡计算和热响应试验是必须

格外重视的两个问题。而在热平衡计算中，必须了解整个系统全年运行的逐时冷、热量参数，因此，全年负荷计算必不可少。

4.3 桩基埋管形式在目前国内地源热泵工程中应用较少，在具体做法上还存在需要探讨的问题，这些需要在施工过程中逐渐积累相关工作经验。

参考文献

- 【1】 陆耀庆. 实用供热空调设计手册. 北京：中国建筑工业出版社，1994
- 【2】 全国民用建筑工程设计技术措施暖通空调·动力. 北京：中国计划出版社，2003