

摘 要

本毕业设计主要介绍的是根据国家相关标准和规范对住宅小区的变压配电系统进行设计。利用需要系数法、单位指标法和单位面积法对厦门市湖里区一个实际工程项目进行各用电负荷的计算，计算出变压器总容量为 1825.6KVA，故选择 3 台 SCL-630/10KV-0.4KV 箱式干式变压器可满足要求且留一定的余量，然后结合该小区的用电情况确立出 3 台变压器具体的配电方案。

一般居民用电负荷采用单相供电，故提出应用面积或者户数平摊三相的方法，保持三相负荷分配基本平衡。此外还讨论了线路敷设方面的知识，使得城市 10 kV 电压变为用户需要的 220/380V 电压，接至住户配电箱。最后结合该住宅小区选用既安全又经济的 TN-C-S 接地方式，绘制出向三级负荷供电的主结线图。

关键词： 负荷计算 干式变压器 配电方案 面积平摊 接地方式 主结线图

ABSTRACT

According to the relevant national standards and norms, the residential power distribution transformer system has been design in this graduation design. The electrical charge on a practical engineering project in the Lake District of Xiamen city has been calculated through using the method of demand coefficient, the method of unit index and the method of unit area, and the calculated total capacity of the transformer was 1825.6KVA. Thus the three box and dry transformers which type is SCL-630/10KV-0.4KV has been chosen to, which could meet the requirements and leave some margin, and then the specific distribution scheme of three transformers have been established according to the electricity supply of this residential quarter.

Generally, for residents are using single-phase power supply, thus the method of application area or flatting the three-phase by users to maintain the basic balance of the distribution of three-phase electricity loads. In addition, the wiring knowledge of line laying was discussed, as a result, the 10 kV voltage of this city has been changed into 220/380V voltage of user needs to connect to the household distribution box. Finally, the earthing mode of TN—C—S both safe and economic has been chosen and the diagram of main tie line of the power supply to level three electrical loads has been drawn.

KEYWORDS: Calculation of electrical load, Dry type transformers, Distribution scheme, Flat area, Earthing mode, Diagram of main tie line

目 录

1 引言	1
1.1 课题的来源与现状	1
1.1.1 课题的来源	1
1.1.2 课题的现状	1
1.2 研究目标及意义	1
1.3 主要研究内容	2
2 总体设计	3
2.1 住宅小区分类	3
2.2 小区工程说明	3
2.3 设计思路	4
2.4 系统框图	4
3 住宅小区负荷计算	6
3.1 负荷分级	6
3.2 用户和设备的供电要求	6
3.3 负荷计算	7
3.3.1 需要系数法	7
3.3.2 单位指标法	8
3.3.3 单位面积法	9
3.4 小区详细负荷计算	9
3.4.1 居民用电负荷计算	9
3.4.2 商业及写字楼用电负荷计算	10
3.4.3 其他用电负荷计算	11
4 住宅小区变压配电措施	13
4.1 供配电系统设计规定	13
4.2 配变电所简述	13
4.3 变压器选择	14
4.3.1 变压器容量和台数确定	14
4.3.2 变压器位置选择	15
4.3.3 小区各变压器配电方案	16
4.4 配电变压器三相负荷平衡	17
4.4.1 变压器三相负荷不平衡的危害	17
4.4.2 住宅小区三相负荷平衡措施	18
4.5 配电变压器的维护	19

5 小区电气设计	20
5.1 小区电能的输送	20
5.2 线路敷设	21
5.2.1 10KV 线路敷设	21
5.2.2 低压入户线路敷设	21
5.2.3 住宅内部线路敷设	21
5.3 小区安全管理系统	22
5.3.1 防火系统	22
5.3.2 防盗系统	22
5.4 主结线中电气元件及接线方式	22
5.4.1 小区主结线方式	22
5.4.2 主结线中电气元件的功能	23
5.5 配电线路的检测	24
6 住宅小区接地方式	26
6.1 接地方式概述	26
6.2 TT 系统	27
6.3 TN-S 系统	28
6.4 TN-C-S 系统	28
6.5 接地形式的选择	29
7 结论	31
致 谢	32
参考文献	33
附图 1	35
附图 2	36

1 引言

随着现代科学技术的发展和人们生活水平的提高，各式各样的住宅小区层出不穷，在了解了小区的位置、环境、交通及户型等外观后，人们开始更加注重供配电等内在条件的质量。这就要求设计人员必须针对综合性住宅小区的建设规模，结合小区的总体规划及用电负荷特征，合理选择住宅小区的供电方式，以保证变压配电系统的安全可靠运行。

1.1 课题的来源与现状

1.1.1 课题的来源

本课题主要来源于本人对厦门市典型住宅小区的用电情况调查，对居民住宅小区变压配电方式进行探讨，根据国家相关标准、规范，并结合小区楼层高度、负荷的重要程度进行分类，同时对厦门市湖里区一个实际住宅小区项目进行变压配电方面的研究。

1.1.2 课题的现状

随着经济的不断发展，人们生活水平迅速提高，为了适应人们日益增长的物质文化需要，各地新建居民住宅小区的数量迅速增长。厦门作为一个沿海城市，风景优美、气候宜人，更促进了厦门房地产业的飞速发展。各类民用、商用等建筑向大面积、高层、超高层、多功能、综合性用途发展，因此对建筑电气提出了更高的要求。

在供电上，变压器的容量有的超过 1000KVA，达 1600KVA, 2000KVA；有的小区内一、二、三级负荷同时存在，因此增加了供电的复杂性；为了满足供电质量，变压器有时设在高层，有时设在地下室，有时在同一平面中需要设置几处……这就形成了量大、面广、用途复杂的供电系统，不论是高低压的一次及二次接线中，都存在提高技术的问题。

在用电负荷上，同一小区内，同时存在居民、商户、办公、电梯、水泵、路灯等用电负荷，而且居民用电负荷中，电器多种多样，有的小区变频空调、中央空调、地热、以及新型投影系统等同时存在，这对供电提出了新的要求。

在接地、防雷上，接地形式多样，有 TT 系统、TN-S 系统和 TN-C-S 系统等。而且地区差异、天气情况以及人们的生活习惯等等都对居民小区配电设施的选型、容量等带来很大差异。

上述中的种种都使得研究住宅小区变压配电系统显得非常关键和必要。

1.2 研究目标及意义

住宅小区的变压配电系统设计是住宅设计的一个重要组成部分，它对于小区的美观、

保障居民的生命财产安全、降低住宅造价都具有一定的影响。

住宅小区的变压配电系统设计要以国家相关规范为准则，以安全用电、节约能源为指导，着眼于提高广大人民的物质、文化、生活需求。并应用现代电气技术，完成配电、动力、照明、接地防雷等的设计，尽可能的提高供电可靠性和降低运行维护成本。同时还应结合配网自动化，做好小区安全管理系统的防火、防盗设计^[1]。

本文通过对国家相关标准、规范的节选，对住宅小区的用电情况进行调查，结合厦门市的气候特点、生活水平、用电习惯等进行分析，针对湖里区一个实际工程项目进行变压配电系统设计，阐述了变压配电系统设计的方法，这对后期的维护等都提供很大便利。

1.3 主要研究内容

本文根据各住宅小区的规模、楼层高度以及负荷的重要程度进行了住宅小区的分类、负荷的分类，结合需要系数法、单位指标法和单位面积法对厦门市湖里区一个实际工程项目进行了用电负荷的计算（包括居民、商户、办公、电梯、水泵、路灯及公共照明用电负荷）。在此基础上进行变压器的形式、位置、容量和台数合理选择，然后结合该小区的用电情况确立出三台变压器具体的配电方案。

通常住宅小区居民用电负荷占的比重较大，为了保证用户的安全，一般情况居民用电负荷采用单相供电，这就使得三相负荷分配显得尤为重要。本文从节能和安全的角度阐述了三相负荷不平衡的危害，接着提出应用面积或者户数平摊三相的方法，保持三相负荷分配基本平衡。当然三相负荷平衡是一项长期工作，需要配电变压器运行人员定期对变压器的三相负荷进行测量，并计算三相不平衡度，保证三相负荷分配的平衡。

本文还讨论了线路敷设方面的知识，使得城市 10 kV 电压变为用户需要的 220/380V 电压，接至住户配电箱。除此还对小区的安全管理系统进行讨论，并结合该住宅小区绘制出三级负荷供电的主结线方式、阐述其中电气元件的功能。

根据规定，住宅配电系统的设计应采用 TT、TN-S 或 TN-C-S 接地方式，本文比较了这三种接地方式的特点，最终决定采用既安全又经济的 TN-C-S 系统。当然小区的变压配电系统设计还应该进行线路检测工作。

2 总体设计

2.1 住宅小区分类

根据《民用住宅设计通则》GB50352-2005 中所述，民用建筑分成居住住宅和公共住宅，住宅建筑按层数分为低层住宅、多层住宅、中高层住宅和高层住宅四类。其中一层至三层为低层住宅，四层至六层为多层住宅，七层至九层为中高层住宅，十层及十层以上为高层住宅。除住宅建筑之外的民用建筑高度不大于 24m 的为单层和多层建筑，大于 24m 的为高层建筑（不包括建筑高度大于 24m 的单层公共建筑），大于 100m 的为超高层建筑^[2]。

2.2 小区工程说明

本次设计项目为厦门市湖里区某住宅小区项目，该住宅小区占地总面积大约为 5100 平方米，其中占地建筑面积大约为 2600 平方米，共有 17 栋（1#楼至 17 号楼）居民住宅建筑和 1 栋 3 层高的物业楼，这 18 栋住宅建筑中有 1 栋低层住宅、4 栋中高层住宅和 13 栋高层住宅，1#楼到 8#楼带一层底商，9#楼和 10#楼均带 1 层底商和 1 层写字楼，每层底商均由两户商家组成，每层写字楼也是由 2 户组成的，共有居民 255 户，商户 20 户，写字楼 4 户，除物业楼之外每栋均安装了电梯，具体如表 2-1 所示。为了小区的安全和和谐，特别设置了 2 个保安室，聘用了 6 民保安 24 小时值班，同时为了便于车位的使用、小区的管理，特别在北门和东门均设置了自动收费系统。除此小区的美观和居民的身心健康也不容忽视，在小区的中央还建造了儿童娱乐处、晨练处和花园。小区平面图详见附图 1 所示。

表 2-1 小区建筑情况表

楼号	户数	单层面积(平方米)	层数	类别
1#楼	9	99	8	中高层住宅
2#楼	9	99	8	中高层住宅
3#楼	9	99	8	中高层住宅
4#楼	8	99	7	中高层住宅
5#楼	12	121	11	高层住宅
6#楼	12	121	11	高层住宅
7#楼	12	121	10	高层住宅
8#楼	12	121	10	高层住宅
9#楼	28	195	15	高层住宅
10#楼	28	195	15	高层住宅
物业楼	4	113.6	3	低层住宅

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

11#楼	24	204	15	高层住宅
12#楼	20	204	15	高层住宅
13#楼	28	204	15	高层住宅
14#楼	28	204	15	高层住宅
15#楼	12	120	12	高层住宅
16#楼	12	120	12	高层住宅
17#楼	12	120	12	高层住宅
合计	279	2559.6		

2.3 设计思路

住宅小区变压配电工程的设计首先是要满足建设小康社会的需要，适应现在，开发将来。户外预装式变电站运行稳定、可靠、安全，建设所需要投入的资金和时间都较少，故我们选用户外预装式变电站，设计中根据小区实际用电负荷选用合适容量的变压器，并且使变压器分布深入负荷中心，缩短低压供电半径，降低电能损耗，节约有色金属，减少电压损失，满足供电质量要求。

居民用电负荷采用单相供电，在宏观上根据面积或者户数平摊三相的方法，保持三相负荷分配基本平衡，而且在微观上要做到细致，给每个用户提供一个良好的用电环境。在实现安全可靠配电的同时，还要做到环境的美化，使整个小区的配电合理、适用、经济。

本市的高压供电等级模式为 $110\text{kV} \rightarrow 35\text{kV} \rightarrow 10\text{kV}^{[3]}$ ，城区主要配电线路电压等级为 10kV ，住宅小区一级配电电压选用 10kV ，低压配电电压采用 $220/380\text{V}$ ，故本小区采用 $10\text{kV}/0.4\text{kV}$ 预装式变电站供电方案，接地形式采用既安全又经济的 $\text{TN}-\text{C}-\text{S}$ 系统，并且根据自身特点采取相应的等电位联结安全保障措施。

2.4 系统框图

城市 10kV 高压接到箱式变压器的高压侧，每台箱变向周边区域采用电缆放射式配电。由各建筑低压电缆分支箱敷设低压分支线缆至各单元内配电箱，即：城市 10kV 线路—>高压电缆分支箱—>预装式变电站（箱变）—>低压电缆分支箱—>各单元配电箱，配电模式示意图如图 2-1 所示。

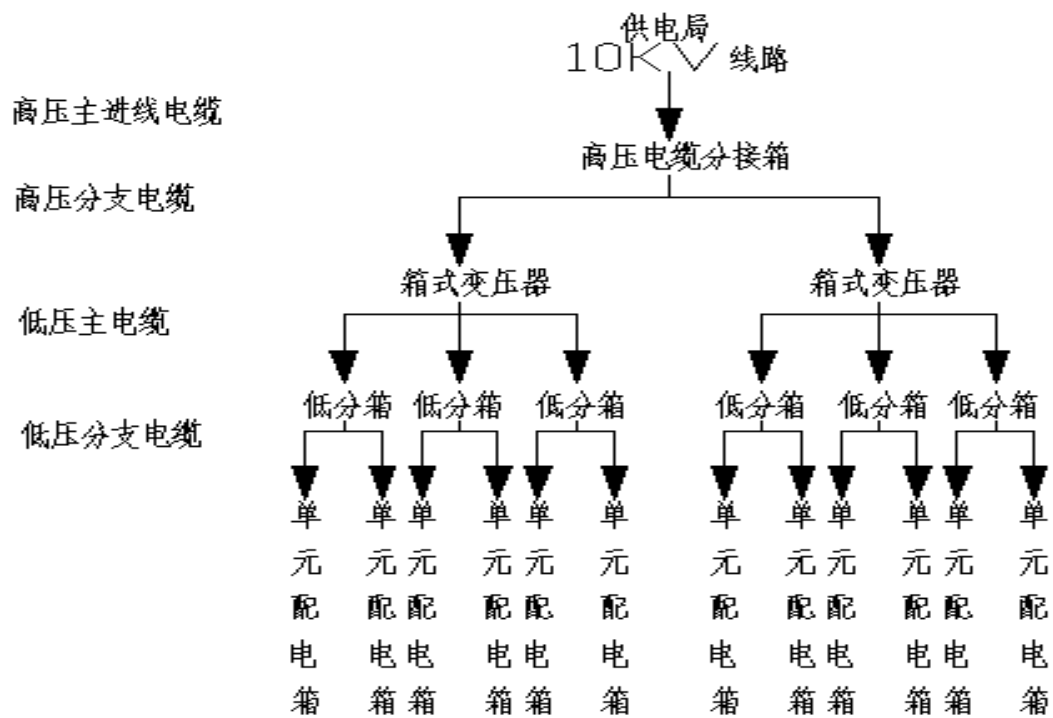


图 2-1 供配电系统模式示意图

3 住宅小区负荷计算

随着社会的发展，家用电器的普及，人们越来越离不开电，电能作为一种绿色能源，在日常生活中扮演着重要角色。负荷的合理计算有利于小区选择合适的变压配电设施，合理配置小区用电负荷，确保住宅小区经济可靠供电，保障住户用电安全, 以及满足居民长久的用电需求，为人们的生活提供安全、和谐的环境。

3.1 负荷分级

根据用户的重要性或其用电设备对供电可靠性的要求及其中断供电对人身、社会、经济造成的损失程度，可以把用电设备分为一级（含特别重要）负荷、二级负荷和三级负荷，如表 3-1 所示：

表 3-1 用电负荷分级表^[1]

负荷级别	中断供电后果	用户名称
特级负荷	在一级负荷中，当中断供电将造成重大设备损坏或发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷，以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷	国家级及承担重大国事活动的会堂；国家级政府办公楼；国家及直辖市广播电台、电视台；民用机场；地、市级以上气象台、站；通信枢纽及市话局、卫星地面站；大型金融中心、大型银行、大型证券交易中心；重要医院；电力调度中心；交通指挥中心。
一级负荷	中断供电将造成人身伤亡的、中断供电将在经济上造成重大损失的、中断供电将影响重要用电单位的正常工作的任意一种	大型银行营业厅的照明、一般银行的防盗系统；大型博物馆、展览馆的防盗信号电源、珍贵展品室的照明电源；在民用建筑中，重要的交通枢纽、重要的通讯枢纽、重要宾馆、大型体育场馆、以及经常用于重要活动的大量人员集中的公共场所等
二级负荷	中断供电将在经济上造成较大损失的、中断供电将影响较重要用电单位的正常工作的任意一种	高层普通住宅、高层宿舍；大型普通办公楼；甲等电影院；中型百货商场；高等学校、科研单位；一、二级汽车客运站；大型冷库。
三级负荷	中断供电损失、影响不大的	不属于特别重要及一、二级负荷用户的其他用户

3.2 用户和设备的供电要求

1、特级负荷：供电除由双重电源供电外，还需增加应急电源。由于在电网中很难得到两个真正独立的电源，电网的各种故障都可能引起全部电源进线同时失去电源，造成

停电事故，所以对特别重要负荷要由与电网不并列的、独立的应急电源供电。应急电源可以是供电网络中独立于正常电源的专用的馈电线路、独立于正常电源的发电机组、蓄电池和 UPS 装置等。

2、一级负荷：供电应由双重电源供电，而且不能同时损坏，即当一个电源发生故障时，另一个电源不能同时受到损坏，双重电源可一用一备，也可以同时工作，各自供给一部分负荷。

3、二级负荷：二级负荷的供电系统，宜由双回线路供电。在负荷较小或地区供电条件困难时，二级负荷可由一回 6kV 及以上专用的架空线路供电。

4、三级负荷：对供电无特殊要求，可以根据用户供电可靠性要求选择与之对应的供电方式，但应该尽量减少配电级数，使配电系统安全、经济、可靠。

本设计中的小区面积不大，且并不符合以上规定中重要用户的标准，因此，只允许接入一回路高压电源。如有需要，可对电梯、消防设施自备应急电源，但应急电源与工作电源之间必须采取措施，防止并列运行对 10kV 供电网络造成反送电事故。应急电源的设置需经供电部门审查同意后方能接入。

对于消防设备，还应设置柴油发电机作其第二电源，并在其供电回路末端设置双电源切换装置以满足消防供电要求。

3.3 负荷计算

负荷计算内容包括设备容量、计算容量、计算电流和顶峰电流。其中计算容量是计算配电系统各回路中的电流，并按发热条件选择变压器的依据。现在比较合理的计算负荷的方法有三种，分别为需要系数法、单位指标法和单位面积法。

3.3.1 需要系数法

所有用电设备的计算容量不等于设备容量，所以要引入需要系数。需要系数是用电设备组最大所需要的功率与额定负载时所需的功率的比值，它可从需要系数表中查询到，一般情况设备台数较多时取较小值，设备台数少时取较大值。若进行计算的负荷有多种，我们可以将用电设备按其性质不同分为若干组，对每一组选择合适的需要系数，算出每组用电设备的计算负荷，然后由各组的计算负荷求总得到计算负荷。需要系数法的计算公式如下：

1、单组用电设备组的负荷计算公式如下：

$$P_c = K_c * P_e \quad (3-1)$$

$$Q_c = P_c * \tan \phi \quad (3-2)$$

$$S_c^2 = P_c^2 + Q_c^2 \quad (3-3)$$

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_N} \quad (3-4)$$

上式中 P_c 为计算有功功率， K_c 为需要系数， P_e 为设备容量； Q_c 为计算无功功率， $\tan \phi$ 为设备功率因数角的正切值； S_c 为计算视在容量； I_c 为计算电流， U_N 为用电额定电压。

2、多组用电设备组的负荷计算：考虑到各用电设备组的最大负荷不一定会同时出现，我们引入各用电设备组的的同时系数计算多组用电设备组的负荷，计算公式如下：

$$P_c = K_{\Sigma P} * \sum_{i=1}^n P_{ci} \quad (3-5)$$

$$Q_c = K_{\Sigma Q} * \sum_{i=1}^n Q_{ci} \quad (3-6)$$

$$S_c^2 = P_c^2 + Q_c^2 \quad (3-7)$$

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_N} \quad (3-8)$$

上式中 $K_{\Sigma P}$ 为有功功率的同时系数， P_{ci} 为第 i 组用电设备组的计算有功功率， n 为用电设备组的组数； $K_{\Sigma Q}$ 为无功功率的同时系数； Q_{ci} 为第 i 组用电设备组的计算无功功率。

3.3.2 单位指标法

应用单位指标法可以估算计算容量(适用于照明及居民用电负荷)^[4]，即：

$$P_n = P_i * N \quad (3-9)$$

上式中 P_n 为计算容量； P_i 为每户居民用电指标； N 为住宅小区居民总户数。

根据《中国南方电网-城市配电网技术导则》Q/CSG 10012-2005 中说明，城市住宅、商业和办公用电负荷可按表 3-2 统计估算，具体如下：

表 3-2 住宅、商业和办公用电负荷估算^[5]

用户类型		用电功率或负荷密度
住宅	建筑面积 $\leq 60m^2$	4KW/户
	建筑面积 $81m^2 \sim 120m^2$	6KW/户
	建筑面积 $121m^2 \sim 150m^2$	8~10KW/户
	建筑面积 $150m^2$ 以上	每增加 $40m^2$ ，增加 2KW

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

	高档住宅、别墅	12~20KW/户
	商用	按 100~120W/m ² 计算
	办公	按 80~100W/m ² 计算

需要注意的是对于多户住宅用电负荷甚至整个小区而言还应该考虑同时系数。

3.3.3 单位面积法

单位面积法适用于估算商业、办公等场所的用电负荷，即：

$$P_m = P_e * S * \mu \quad (3-10)$$

上式中 P_m 为商业或办公最大用电负荷； P_e 为每平方米用电指标； S 为面积； μ 为同时系数。

3.4 小区详细负荷计算

结合该项目的小区，负荷计算包括了居民用电负荷计算、商业及写字楼用电负荷计算、其它用电负荷计算三种。

3.4.1 居民用电负荷计算

为了保证安全，居民用电采用单相供电方式，居民用电负荷计算采用单位指标法，公式如下：

$$PJ_j = P_j * N_j * \mu \quad (3-11)$$

$$PJ = \sum_{j=1}^{18} PJ_j \quad (3-12)$$

上式中 PJ 为居民最大用电总负荷； PJ_j 为第 j 栋楼居民最大用电负荷； P_j 为第 j 栋楼每户居民用电指标； N_j 为第 j 栋楼居民总户数； μ 为同时系数，同时系数可从表 3-3 中选取。

3-3 多户住宅同时系数^[6]

按单相配电计算时所连接的基本户数/户	按三相配电计算时所连接的基本户数/户	同时系数通用值	同时系数可采用值
≤3	≤9	1	1
4	12	0.95	0.95
6	18	0.75	0.8
8	24	0.66	0.7
10	30	0.58	0.65
12	36	0.5	0.6
14	42	0.48	0.55

景德镇陶瓷学院科技艺术学院本科生毕业设计（论文）

16	48	0.47	0.55
18	54	0.45	0.5
21	63	0.43	0.5
24	72	0.41	0.45
25~100	75~300	0.4	0.45
125~200	375~600	0.33	0.35
260~300	780~900	0.26	0.3

参照以上的住宅、商业和办公用电负荷估算表和多户住宅同时系数，计算出每栋居民最大用电负荷，物业楼的用电负荷和居民用电负荷较相似，将其也作为居民用电负荷的形式计算。求和就可算出居民最大用电总负荷，详细结果如下表所示：

表 3-4 居民用电负荷明细表

楼号	住户数N _j	单层面积 (平方米)	单户住户 用电负荷 P _j (KW/户)	计算负荷 (KW)	同时系数μ	实际负荷P _{Jj} (KW)
1#楼	7	99	5	35	0.3	10.5
2#楼	7	99	5	35	0.3	10.5
3#楼	7	99	5	35	0.3	10.5
4#楼	6	99	5	30	0.3	9
5#楼	10	121	8	80	0.3	24
6#楼	10	121	8	80	0.3	24
7#楼	10	121	8	80	0.3	24
8#楼	10	121	8	80	0.3	24
9#楼	24	195	12	288	0.3	86.4
10#楼	24	195	12	288	0.3	86.4
物业楼	4	113.6	6	24	0.3	7.2
11#楼	24	204	13	312	0.3	93.6
12#楼	20	204	13	260	0.3	78
13#楼	28	204	13	364	0.3	109.2
14#楼	28	204	13	364	0.3	109.2
15#楼	12	120	6	72	0.3	21.6
16#楼	12	120	6	72	0.3	21.6
17#楼	12	120	6	72	0.3	21.6
合计	255	2559.6				771.3

由上可知居民最大用电总负荷 P_J 为 771.3KW。

3.4.2 商业及写字楼用电负荷计算

根据已知商户面积，写字楼面积，可按单位面积法求取商户用电负荷和办公用电负荷。商户总面积 1270m²，20 户，单位用电指标取 80W/m²，同时系数取 0.5；写字楼总面积 390m²，4 户，单位用电指标取 60W/m²，同时系数取 0.95。详细结果如下：

表 3-5 商户用电负荷明细表

名称	单位用电指标 $P_e (W/m^2)$	商户面积S	同时系数 μ	用电负荷(KW)
1#底商	80	99	0.5	3.96
2#底商	80	99	0.5	3.96
3#底商	80	99	0.5	3.96
4#底商	80	99	0.5	3.96
5#底商	80	121	0.5	4.84
6#底商	80	121	0.5	4.84
7#底商	80	121	0.5	4.84
8#底商	80	121	0.5	4.84
9#底商	80	195	0.5	7.8
10#底商	80	195	0.5	7.8
总和		1270		50.8

商户用电负荷 $PS = P_e * S * \mu = 80 * 1270 * 0.5 / 1000 = 50.8KW$;

写字楼用电负荷 $PX = P_e * S * \mu = 60 * 390 * 0.95 / 1000 = 22.23KW$ 。

3.4.3 其他用电负荷计算

1) 电梯用电负荷计算

为了居民的便利，中高层、高层住宅小区一般都安装有电梯，电梯采用三相供电方式，电梯用电负荷计算公式如下：

$$PD = P_e * N * \mu \quad (3-13)$$

上式中 PD 为电梯最大用电负荷； P_e 为单台电梯的用电负荷；N 为电梯总台数； μ 为多部电梯运行时的同时系数，取值见下表：

表 3-5 电梯同时系数一览表^[7]

电梯台数	同时系数		电梯台数	同时系数
1	1		8	0.64
2	0.91		9	0.6
3	0.85		10	0.56
4	0.8		11	0.52
5	0.76		12	0.48
6	0.76		13	0.44
7	0.68		17	0.3

小区采用单台电梯的用电负荷为 15KW 的电梯，小区共有电梯 17 台，同时系数取 0.3。

电梯最大用电负荷 $PD = P_e * N * \mu = 15 * 17 * 0.3 = 76.5KW$ 。

2) 二次加压水泵

小区拥有加压泵 3 台，每台 20KW，加压水泵的最大用电负荷 $PB = P_e * N = 20 * 3 = 60KW$ 。

3) 路灯及公用照明

小区有公共照明及路灯 100 盏，每盏 50W，路灯及公用照明最大用电负荷 $PL=100*50/1000=5KW$ 。

住宅小区综合用电最大负荷为各用电负荷累加求和可以得出，具体如下所示：

$P=P_J+P_S+P_X+P_D+P_B+P_L=771.3+50.8+22.23+76.5+60+5(KW)=985.83 KW$ 。

4 住宅小区变压配电措施

随着人们生活水平的提高，房地产业也发展的如火如荼，各地新建中高档住宅小区的数量飞速增长。住宅小区用电负荷的计算准确度的提高，变压配电设施的合理性选择，才能既满足小区居民持续的用电需求，又能合理降低工程造价，并且提高住宅小区的用电安全^[8]。

变压配电系统设计应首先确保人身安全，供电可靠。它的设计还应全面考虑小区的负荷性质、居民的用电量、小区的工程特点、系统规模和当地的供电条件等因素，合理确定出安全、稳定、经济、节能高效的设计方案。

4.1 供配电系统设计规定

供配电系统设计应遵循以下规定：①住宅小区的 10（6）KV 供电系统，宜采用环网方式；②高层住宅宜在底层或地下一层设置 10（6）/0.4KV 户内变电所或预装式变电站，以便缩短低压供电半径；③多层住宅小区、别墅群，宜分区设置 10（6）/0.4KV 预装式变电站，其单台变压器的容量，宜不大于 800KVA^[9]。

4.2 配变电所简述

居民住宅小区中通常选用的配变电所形式有 3 种，分别为杆上变电站、独立式配变电所、户外预装式（户外箱变）变电站。

杆上变电站进线和出线都是架空线，采用这种方式供电的居民住宅一般较分散，对变电站的位置选择要尽量接近负荷中心区，确保电压质量。城市住宅楼层较高，为避免飘落物体、儿童玩耍等造成事故，不宜采用杆上变电站。而农村住宅、厂矿职工住宅一般楼层较低，杆上变电站仍在部分农村住宅、厂矿职工住宅中使用。

独立式配变电所需要占据一定的建筑面积，增加了建设投资，特别是在人口密集的中国，更是造成土地资源的浪费。而且小区的建设是分区、分期进行的，在时间上具有先后顺序，造成小区采用独立式配变电所方案不太合适。

箱式变电站主要由多回路高压开关系统、铠装母线、变电站综合自动化系统、通讯、远动、计量、电容补偿及直流电源等电气单元组合而成，安装在一个防潮、防锈、防尘、防鼠、防火、防盗、隔热、全封闭、可移动的钢结构箱体内，全封闭运行。具有安全可靠、自动化程度高、组合方式灵活、投资省见效快、占地面积小、外形美观、维修方便等特点。而且箱式变电站位置比较好选择，使得低压配电部分更加合理，增加了供电可靠性。

本小区均为中高层、高层建筑，用电负荷分散，供电半径大，依据计算容量、供电距离、用电设备特性、电源回路数量、远景规划及公共电网的现状和发展规划等因素综合考虑确定采用预装式变电站供电方案。由于城区主要配电线路电压等级为 10kV，住宅小区一级配电电压选用 10kV，低压配电电压采用 220/380V，故本小区采用 10KV/0.4KV 预装式变电站供电方案。

4.3 变压器选择

变压器选择是否合理，对我们的生活环境、能源的节约及投资成本都有极大的影响，因此，在众多电气设备的选择中，变压器的选择就显得极其关键和重要。至今，变压器分为干式变压器和油浸式变压器两种，油浸式变压器发生故障时有可能喷油和燃烧，使得使用油浸式变压器存在安全隐患，而且漏油、产生故障时会对环境造成污染。

干式变压器与油浸式变压器相比，具有防火性能好、免维护、无污染、抗短路能力强、耐热能力强、安装方便等一系列优点，在室外使用时只需加装防护外壳即可。干式变压器通常不会自燃，而且优质产品具有阻燃能力^[10]。

由于干式变压器具有非常好的防火性能，所以随着社会经济的发展，干式变压器的应用越来越广泛，尤其在现代化的商业中心、居民小区、高层建筑及其他公共场所等对防火要求高的地方均要求使用干式变压器。结合本小区的特点，选择干式的箱式变压器。

4.3.1 变压器容量和台数确定

只有合理选择变压器的容量，才能保证小区用电的安全可靠，可见变压器容量的选择是至关重要的。在实际工作中。我们往往按照计算负荷来确定出变压器的容量，计算公式如下：

$$S=P/(\beta \cdot \cos \phi) \quad (4-1)$$

上式中 S 为住宅小区变压器总容量；P 为住宅小区综合用电最大负荷； β 为变压器的负荷率； $\cos \phi$ 为补偿后的功率因数，根据《中国南方电网-城市配电网技术导则》Q/CSG 10012-2005 中规定补偿后的功率因数不应小于 0.9，但是不管采取什么方式补偿，功率因数不可能达到 1，所以一般取值为 0.9。由此可知要想求得变压器的容量，还必须先确定变压器的负荷率。

住宅小区的用电负荷较大，加之变压器常年运行，造成变压器的长期累计损耗大。变压器的最佳负荷率，可以用损耗的功率比来表示，即：

$$\beta = \sqrt{P_o / P_k} \quad (4-2)$$

上式中 P_0 表示变压器的空载损耗,约等于铁损; P_k 为变压器额定电流时的短路损耗,它作为额定电流时的铜损。由式 4-2 可知, β 与变压器的类型息息相关,当变压器效率最高时,不同类型变压器的负荷率在 41%~63%之间。国产变压器的损耗及其最佳负荷率见表 4-1。

表 4-1 国产 SCL 型变压器最佳负荷率^[7]

容量 (KVA)	500	630	800	1000	1250	1600
空载损耗 (W)	1850	2100	2400	2800	3350	3950
负载损耗 (W)	4850	5650	7500	9200	11000	13300
损失比 (%)	2.62	2.69	3.13	3.29	3.28	3.37
最佳负荷率 (%)	61.8	61	56.6	55.2	55.2	54.5

由上表可知,最佳负荷率平均在 60%,故取 β 为 60%。

变压器总容量 $S=P/(\beta \cdot \cos \phi)=985.83/(0.6 \cdot 0.9) \text{KVA}=1825.611 \text{ KVA}$ 。

$S_1=S_2=S_3=S/3=1825.611/3(\text{KVA})=608.537\text{KVA}<630\text{KVA}$,我们可以选择 3 台同型号同功率的环氧浇注干式电力变压器 SCL-630 来满足该小区的供电要求,而且由上表 SCL-630 的最佳负荷率为 61%带入式子进行验证,计算过程如下所示: $S_1=S_2=S_3=S/3=P/(\beta \cdot \cos \phi)/3=985.83/(0.61 \cdot 0.9)/3=598.56\text{KVA}<630\text{KVA}$,故可知满足该小区供电要求,且还留有一定的余量。

4.3.2 变压器位置选择

变压器位置的确定应满足以下要求:

- (1) 方便高压进线和低压出线,并接近电源侧;
- (2) 方便设备的运输、装卸和搬运;
- (3) 接近负荷中心或大容量设备处;
- (4) 不应设在剧烈震动或高温的场所;
- (5) 不应设在厕所、浴室、厨房或其他经常积水场所的正下方,且不宜与上述场所靠太近;
- (6) 不宜设在多尘或有腐蚀性气体的场所,当无法远离时,不应设在污染源盛行风向的下方侧等场所;
- (7) 不应设在有爆炸危险环境的正上方或正下方,不宜设在火灾危险环境的正上方

或正下方；

- (8) 不宜设置在地势低洼和可能积水的场所；
- (9) 应避免建筑物的伸缩缝、沉降缝等位置；
- (10) 不宜与有防电磁干扰要求的设备及机房贴邻或位于其正上方或正下方；
- (11) 宜选择在通风、散热条件较好的场所^[9]。

结合本小区的实际情况，把三台变压器均选择在小区的绿化带中。

4.3.3 小区各变压器配电方案

结合小区三台变压器的具体位置和负荷分布，满足变压器安全工作和变压器较小的供电半径，可以确立出该小区比较理想的变压器配电方案。

3 台二次加压水泵负荷分别由 3 台变压器供电；公共照明负荷分成 3 份，每台变压器负责一份供电半径较小的照明负荷的供电。3 台变压器供电方案情况见表 4-2、4-3 和 4-4 所示。

表 4-2 1#变压器供电方案

负荷类别	居民用电	商户用电	办公用电	电梯用电	水泵用电	公共照明	合计
楼号	1#~5#， 14#~17# 楼	1#~5#底 商	无	1#~5#， 13#~17# 梯			
最大用电 负荷(KW)	238.5	20.68	0	45	20	1.67	325.85
1#变压器 负荷容量 (KVA)							593.5337
1#变压器负荷容量593.5337KVA<630KVA，还有一定余量，可见符合。							

表 4-3 2#变压器供电方案

负荷类别	居民用电	商户用电	办公用电	电梯用电	水泵用电	公共照明	合计
楼号	6#，11#~ 13#楼	6#底商	无	无			
最大用电 负荷(KW)	304.8	4.84	0	0	20	1.67	331.31
2#变压器 负荷容量 (KVA)							603.4791
2#变压器负荷容量603.4791KVA<630KVA，还有一定余量，可见符合。							

表 4-4 3#变压器供电方案

负荷类别	居民用电	商户用电	办公用电	电梯用电	水泵用电	公共照明	合计
楼号	7#~10#， 物业楼	7#~10# 底商	9#，10#办 公	6#~12# 梯			
最大用电 负荷(KW)	228	25.28	22.23	31.5	20	1.67	328.68

3#变压器 负荷容量 (KVA)							598.6885
3#变压器负荷容量 $598.6885\text{KVA} < 630\text{KVA}$ ，还有一定余量，可见符合。							

4.4 配电变压器三相负荷平衡

除了某些专用的变压器以外，绝大部分的配电变压器同时带有照明负荷和动力负荷，也就是单相用电负荷和三相用电负荷都要该变压器配电。随着经济飞速发展，生活水平的提高，大量的中高档、大功率单相电器在居民家中比比皆是。居民观念的改变，加上电能具有环保、安全、价格低廉、方便快捷、省事的优点，很多家庭几乎全部电气化，如抽水、做饭、取暖、降温等日常生活都用电，这些电器的功率都较大，也大都采用单相电源，这就使得单相用电负荷要远大于三相用电负荷，这就需要我们认真考虑三相负荷的平衡问题。

4.4.1 变压器三相负荷不平衡的危害

从节能和安全的角度上去考虑，可以把变压器三相负荷不平衡产生的危害分为以下几点：

(1) 三相负荷不平衡会增加变压器有功功率损耗和线路损耗。我们知道，变压器的负载损耗与变压器负载的平方成正比，当变压器的三相负载平衡时，变压器的负载损耗为最小，当三相负载不平衡时，变压器的负载损耗将增大很多。在变压器所带负载相同的情况，当三相负载不平衡达到最大时，变压器的有功功率损耗是三相负载平衡时有功功率损耗的三倍。同样，三相不平衡负载也会使低压线损增加。在输送相同功率的情况下，三相负载不对称运行造成的低压线路损耗比三相负载对称运行要高得多，运行很不经济。

(2) 三相负荷不平衡会降低变压器的利用率，威胁设备的安全运行。配电变压器的三相绕组是按对称运行情况设计制造的，它的每相绕组的的结构性质是一样的，每相额定容量相等，所以三相负荷不平衡时，变压器的出力将会受到限制，变压器的最大出力只能按三相负荷中最大一相不超过额定容量为准。而且当配电变压器在三相负荷不平衡状态下运行时，变压器负荷高的那相很容易出现故障，如缺相、接点过热、低压侧总熔断器烧毁、个别密封胶垫劣化等，严重时还会烧毁配电变压器，威胁设备的安全运行。

(3) 三相负荷不平衡时产生零序电流，导致配电变压器运行温度升高。三相负载不平衡下运行的配电变压器，必然产生零序电流，这个零序电流随不对称程度大小而变化，不对称度越大，零序电流就越大。零序电流在变压器铁心中产生零序磁通，而高压侧没

有零序电流，不能由高压侧的零序磁通来抵消低压侧的零序磁通，这就迫使零序磁通只能从变压器的箱壁和钢构件中通过，由于这些材料的导磁率很低，所以磁滞损耗和涡流损耗都比较大，造成箱壁和钢构件发热，从而使配电变压器运行温度升高，使变压器内部绝缘老化加快，导致变压器寿命缩短，严重时将导致变压器烧毁事故。

（4）三相负荷不平衡时产生中性点漂移，造成三相输出电压不对称，对用电设备造成损害。配电变压器是按三相对称运行设计制造的，各相绕组的电阻、漏抗和阻抗基本一致，三相负荷平衡时变压器内部压降相同，其输出电压是对称的。三相负荷不平衡时，各相电流不一致，中性线有电流通过，从而使中性点漂移，各相电压发生变化，负荷大的相电压降大，负荷小的相电压降小，造成三相输出电压不平衡。如果此时中性线因故断路，所接负荷小的相电压就会异常升高，接在此相上的用电设备和家用电器将被烧毁。

（5）三相负荷不平衡将会使得电动机输出功率降低，并使其绕组温度升高。三相负荷不平衡造成的三相电压不对称，将在感应电动机定子中产生逆序旋转磁场，电动机在正、逆两序旋转磁场的作用下运行，由于正序旋转磁场比逆序旋转磁场大，所以电动机旋转方向不变，但由于转子逆序阻抗小，因此逆序电流大。逆序磁场、逆序电流将产生较大的制动力矩，使电动机输出功率降低，绕组温度升高，危及电动机的安全运行^[11]。

4.4.2 住宅小区三相负荷平衡措施

变压器三相负荷不平衡不仅使得电能的浪费，也引发这么多的安全问题，所以研究三相平衡的措施是必须做的工作，这样才能尽量避免安全事故，同时还能节约能源。

对于小区居民用电负荷一般采用单相供电，在宏观上，我们可以根据面积或者户数平摊三相的方法，保持三相负荷分配基本平衡。这是在变压配电系统设计时保持三相负荷分配基本平衡的一个有效措施，由于居民用电并不是一成不变的，这就需要对小区三相负荷平衡进行管理。

小区三相负荷平衡的管理工作需要配电变压器运行人员定期对变压器的三相负荷进行测量，并计算三相不平衡度^[12]。当三相负荷不平衡度大于 15%时，要及时对变压器所带负荷进行调整；当有较大单相负荷接入时要认真核对变压器相间所带负荷情况，以使变压器三相所带负荷分配均匀。而且配电变压器运行人员要及时掌握用户的临时用电、季节性用电情况，尤其对有单相大容量设备居民的用电，通过对需求侧的管理，使配变三相负荷不平衡度大幅度下降、配变的安全经济运行能力得到明显增强。

由上可知，三相负荷平衡是一项长期工作，必须要长期坚持，特别是用户多、用电量较大、用户分散的地区，平衡工作必须经常做，要不厌其烦，效果才能明显。只要合

理地调整变压器所带负荷，使变压器经济运行，并优化相间负荷配置，就能够有效地降低变压器的损耗，为节约电能做出较大的贡献。

如果配电变压器的三相负荷不平衡度都达到国家规定的标准以内，其经济效益是十分可观的。对降低低压电网损耗、保持低压电网安全、保证低压电网可靠运行都有很大好处，同时也将极大促进地区经济发展状况，提高广大人民的生活水平，更好的推动党和国家的社会建设工作。

4.5 配电变压器的维护

配电变压器的日常维护关系到用电网络的安全有效运行，所以定期对配电变压器进行有效的监测维护是很有必要的。配电变压器的日常维护对电网的安全运行有着至关重要的作用，如果配电变压器维护不当而产生系统故障，严重的甚至可能导致整个电网都处于瘫痪的状态，这对社会的经济、人们的生活是很不利的。其次，配电变压器的日常维护可以延长配电变压器的使用寿命，一台变压器最起码的价格也要好几万人民币，所以从经济的角度上考虑，配电变压器的日常维护也是很有必要的。

一般来说，配电变压器选择在干燥通风的环境里，寿命会比较长，所以配电变压器尽量选择在干燥通风的位置。其次在配电变压器的日常维护中，要认真检查各个连接件是否松动，因为各种各样外界以及自身的原因，可能会出现两端受力震动而导致连接件、紧固件松动的现象，很可能产生过热点，影响变压器的正常运行。所以，要在高压以及低压的端头包括所有可能引起变压器过热的位置，设置相应的温度传感器，定期进行观察维护，同时认真检查紧固端和连接件。其三，定期定时地对配电变压器进行除锈、防锈，也是维护配电变压器正常运行的一个重要手段^[13]。

除此之外，在配电变压器的运行过程中，要定期对其重要的零件进行监测更新，看是否有不合乎要求的情况。如果在检查的过程中，发现配电变压器的零件氧化腐蚀严重，一定要及时地对不能使用的零件进行更换。还要特别注意配电变压器的表面是否有碳化的现象，如果有这种现象，要及时有效地采取措施进行解决，把一切隐患都杜绝在摇篮里。

通过以上的对配电变压器的日常监测及维护方法，不但可以延长变压器的使用寿命，也能从从根本上保证配电变压器使用的安全性。

5 小区电气设计

5.1 小区电能的输送

城市 10KV 高压接到箱式变压器的高压侧,再由箱变低压电缆分支箱敷设低压分支线缆至各单元内配电箱,最后至住户配电箱,即:城市 10 kV 线路—>高压电缆分支箱—>预装式变电站（箱变）—>低压电缆分支箱—>各单元配电箱—>住户配电箱。电能输送方框图和变压配电示意图如下:

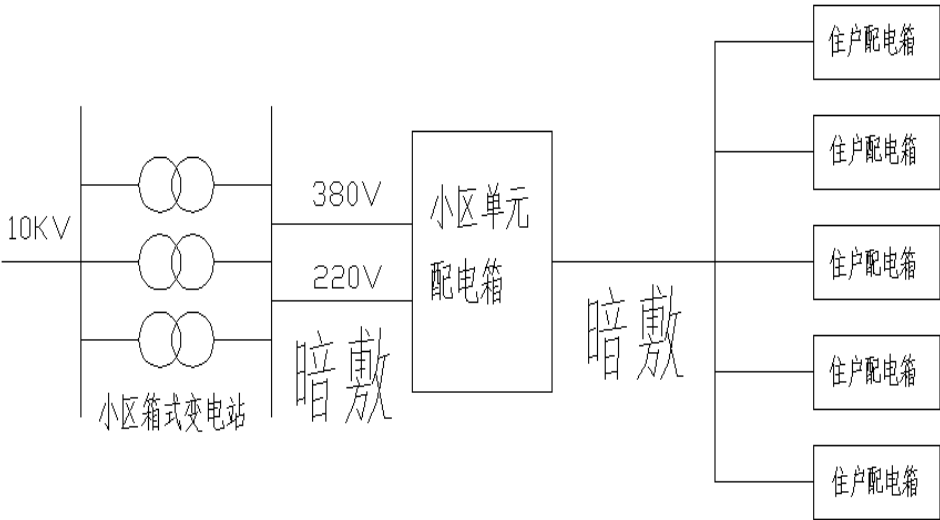


图 5-1 小区电能输送方框图

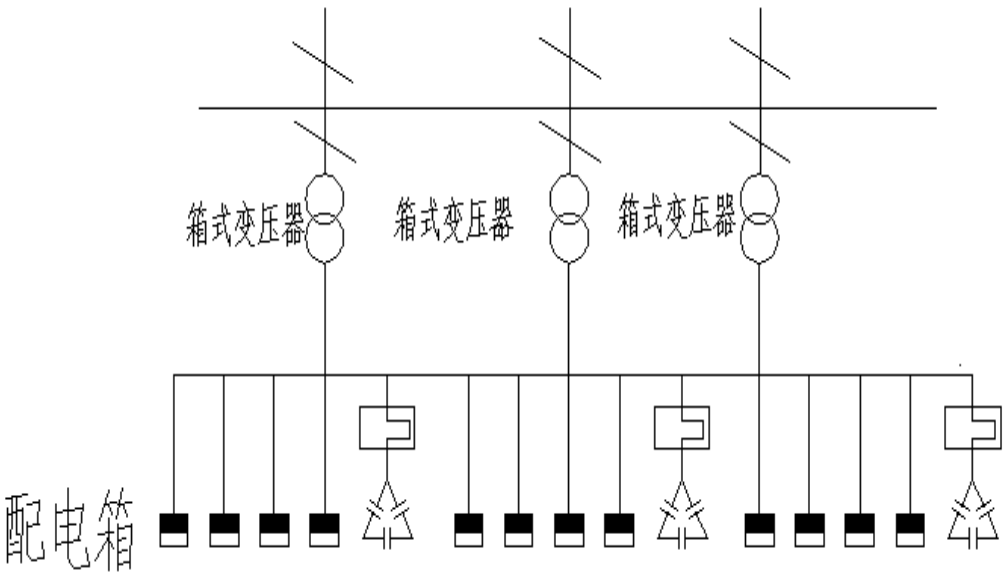


图 5-2 变压配电示意图

5.2 线路敷设

线路敷设施工是居民住宅小区配电过程的重要环节，倘若选择不当、方案设计考虑不周全以及施工过程中存在缺陷，将极大的降低居民住宅小区的供电可靠性。在选择线路敷设方式时，除了要保证各项安全距离，还应当充分考虑当地的地质情况、气候特点等因素。

5.2.1 10KV 线路敷设

对于住宅小区占地面积很大的，一般 10kV 线路是主干线从小区内对穿，为防止遭受外力破坏，应当尽量采用排管敷设；小型商住楼一般从邻近的供电局公用 10kV 配电线路上取得电源。当住宅小区内设箱变配电所时，分支电缆线路进入建筑物采用排管敷设或电缆沟敷设。

本小区箱变变压器设在小区内的绿化带中，故从站变到箱变的 10 kV 线路用电缆连接，并且进入建筑物采用排管敷设或电缆沟敷设，当然在确定线路敷设方式后，路径选择也非常重要。

5.2.2 低压入户线路敷设

经箱式变压器变电后进入小区的配电线路，可采用电缆暗设（可以排沟、排管）排布或明设排布。导线暗配种类有钢管穿线，硬塑料管内穿线和半硬塑料管内穿线，这样将管线均埋在墙体和楼板或地面内，表面看不到配电线路，使小区看上去美观整齐，而且采用电缆暗设使得配电线路能防水、防潮、防机械损伤，使用寿命长。城市住宅小区多采用电缆暗设排布。

在采用电缆沟暗设时，应注意电缆沟应平整、光洁，并有 1%的坡度，应按间距 50m 左右设积水坑，以便排水之用。当电缆与建筑物平行敷设时，应埋设在建筑物散水坡外 0.2 米；过马路时埋线深度不应小于 1.2 米，而且过马路、水景及入户时应穿钢管保护^[14]。

5.2.3 住宅内部线路敷设

随着家用电器的增多，为避免电气线路过载和降低谐波电压的影响，户内配电系统应采用多回路形式，至少应设照明回路、一般插座回路和空调回路，如果实际需要也可将厨房和淋浴室设为单独回路。此外考虑到家庭办公和信息化的发展，还可根据需要增设一条专用回路，如单独设置一个回路供给家庭信息多媒体箱。

住宅内部的照明支路和插座支路是分开设计的，应该分开保护和分线敷设。插座回路应选用带漏电保护功能的高分断能力的小型空气开关；照明回路应选用不带漏电保护

功能的高分断能力的小型空气开关。住宅内部线路敷设应以暗敷设为好。现市场上推出的新型阻燃 PVC 管，其可绕性趋近于 PVC 波纹管，刚度相当高，而价格却只是钢管的 1/3，故采用 PVC 管对住宅内部的线路进行敷设^[15]。

5.3 小区安全管理系统

5.3.1 防火系统

- （1）一、二级负荷的供电应采用双电源方式。一路为市电电源，另一路为应急电源；
- （2）设置应急照明系统；
- （3）应用手动响鸣火警报警系统，如可能，可加装火灾自动报警系统；
- （4）每栋楼的总电源进线断路器，应设置漏电保护功能。

5.3.2 防盗系统

（1）每栋楼门口安装对讲机，访客可通过门口对讲机，输入被访住户的户号，住户可通过户内对讲机和来访者通话，以确定是否打开防盗门。本住宅小区采用可视对讲系统，除具有以上功能外，还可通过屏幕观察来访人员，以确定是否打开防盗门，而且可视对讲系统还可以向小区保安处报警，整个小区将各住户防盗系统通过复合总线进行联网，每个住户的报警装置直接连接到总线上，构成完整的报警系统。保安处设主机一台，可实时记录来访者时间、开门记录、被访住户地址等，并可通过计算机打印出以上信息，以便备查。

（2）小区周围安装周界报警系统。通过在围墙上安装红外探测仪，来实现周界防范功能^[16]；

（3）在小区的主要出入口、每栋楼的各个通道口、电梯轿厢等重要场所设置监控录像点，使得监控中心的保安能对小区的各个重要部位了如指掌，并可以通过无线对讲机调动巡逻保安人员及时处理问题，也可利用记录下的视频图像对发生过的事情进行取证。

5.4 主结线中电气元件及接线方式

5.4.1 小区主结线方式

主结线方式是由各种开关电器、电力变压器、母线、电力电缆或导线、移相电容器、避雷器等电气设备按一定的顺序相连接的分配电能的电路。该住宅小区变压器一次侧采用单元式结线，二次侧采用单母线结线，这种结线简单、经济、可靠。小区采用的三台箱变供电，开关组合为“断路器+隔离开关”（两个隔离开关分设于断路器两侧，可产生明显的断点）来完成功能（开关元件既能投、切正常负荷，又能在回路故障时切除故障

回路)，故选用由“断路器+隔离开关”组成的开关组。但隔离开关不能切合负荷电流和短路电流，在投入和退出时，其操作顺序为：①接通回路时，先闭合隔离开关，后闭合断路器；②断开回路时，先断开断路器，后断开隔离开关。该小区向三级负荷供电的主结线方式如附图 2 所示。

5.4.2 主结线中电气元件的功能

主结线图是一种电路图，它的各元件以 IEC 标准或国家标准统一规定的图形符号和文字符号来表示，各元件的表示符号如图 5-3。



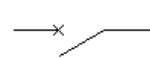
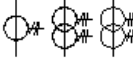


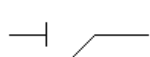
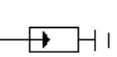
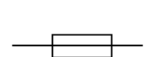

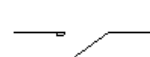
元件名称	图形符号	文字符号	元件名称	图形符号	文字符号
变压器		T	热继电器		KB
断路器		QF	电流互感器		TA
负荷开关		QL	电压互感器		TV
隔离开关		QS	避雷器		F
熔断器		FU	移相电容器		CR
接触器		KM			

图 5-3 主结线中电气元件表示符号

各元件的功能如下：

（1）断路器：是一种开关电器，俗称自动开关，用于配电电路不频繁通断控制，在电路发生短路、过载或欠电压等故障时，能自动分断故障电路，是配电电路中应用广泛的一种保护电器。

（2）负荷开关：是一种开关电器，能切除或投入正常负荷，具有一定的灭弧能力，断开时有明显的可见断点。

（3）隔离开关：是一种保护电器，只能切除或投入空载或较小的负荷，断开时有明显的可见断点，通常与断路器配合使用。

（4）熔断器：是一种保护电器，用于配电线路的严重过载和短路保护。当熔断器熔体上通过的电流超过一定值后，熔体发热熔断，切除电路。

（5）接触器：能频繁地接通或断开交直流主电路，实现远距离自动控制。

（6）电流互感器：是一种电流变换电器，隔离高电压，通常将大电流变成小电流，以取得测量和保护电流信号。二次侧不允许开路，倘若二次侧绕组开路，磁通密度将过度的增大，铁心将剧烈地发热，会使电流互感器因过热而损坏。

（7）电压互感器：是一种电压变换电器，隔离高电压，通常将大电压变成小电压，以取得测量和保护电压信号。二次侧不允许短路，倘若二次侧短路时，二次侧会有短路电流通过，会损坏电压互感器。

（8）避雷器：能有效防止过电压侵入。避雷器设于被保护设备的前端，当有过电压侵入时，将避雷器击穿，对地放电，以起到保护后面的电气设备的作用。

（9）移相电容器：作为无功功率补偿。供配电系统大多都是感性负荷，从系统吸取感性无功，致使系统中感性无功成分增加，功率因数下降。电容器向系统吸取容性无功，使系统容性无功成分增加，以抵消部分感性无功，提高功率因数。

（10）带电显示器：通电回路中，带电显示器的通断达到显示电路通断情况时会显示，它能有效检测电压、电流的工作状态。

（11）接地开关：接于电路的进线端子，起保护作用，当有过电流或电器设备带静电时，处于接地状态，达到保护、防止事故的发生的作用。

（12）漏电保护器：用作防止直接接触电或间接触电事故的发生，在接地故障中所采用的漏电保护都是用作间接触电保护，即防止人体触及故障设备的金属外壳。具有过电流，过负荷及漏电保护设备。

5.5 配电线路的检测

配电线路是整个电力系统中不可或缺的一部分，配电线路的运行是否正常直接影响到整个电力系统的运行情况。而配电线路具有点多、面广、线长等特点，同时线路受温度、气候等因素的影响较大，这些都使得配电线路在运行过程中会出现很多故障，影响到了人们的正常生活。

配电线路发生故障的原因有内部原因和外部原因。内部原因比如有配电线路的老化、配电线路的施工工艺不标准、短路和过载等；外部原因比如有一些单位和个人忽视电力系统方面的法律和规定，擅自在电力线路的保护区内建造楼房等违章建筑，这会给配电线路带来威胁。

做好配电检修工作意义重大，它能提高线路设备安全和人身安全，减少事故的发生。其次检修线路也能减少维修，从而节省了人力、物力、财力，提高了经济效益。因此在线路检测中要制定好检测措施，及时引进新的检修方法和手段，保证线路的正常运行，

为人民群众的日常生活提供保障，也为我国的经济建设提供源源不断的动力。

6 住宅小区接地方式

接地是为保证设备正常工作和人身安全而采取的一种用电安全措施，常用的有工作接地、保护接地、防雷接地、屏蔽接地等。接地设备将设备可能产生的漏电流、雷电电流以及静电荷等引入地下，从而避免人身触电和保证环境、设备安全，避免火灾、爆炸等事故的发生。

6.1 接地方式概述

国际电工委员会（IEC）规定的供电方式符号中，第一个字母表示电力（电源）系统对地关系：T 表示是中性点直接接地；I 表示电源端所有带电部分不接地或有一点通过高阻抗接地。第二个字母表示用电设备外露的可导电部分对地的关系：T 表示电气设备的外露可导电部分直接接地，此接地点在电气上独立于电源端的接地点，它与系统中的其它任何接地点无直接关系；N 表示负载采用接零保护，电气设备的外露可导电部分与电源端接地点有直接电气连接。“—”后面的字母表示工作零线与保护线的组合关系。如 C 表示工作零线与保护线是合一的，即 PEN 线，如 TN—C；S 表示工作零线与保护线是严格分开的，所以 PE 线称为专用保护线，如 TN—S^[17]。

综上所述：低压配电系统按接地方式的不同分为三大类，即 IT、TT 和 TN 系统^[18]。

IT 系统：IT 系统是指电源端所有带电部分不接地或有一点通过高阻抗接地，且电气设备的外露可导电部分可直接接地或通过保护线接至单独接地体的接地系统。

TT 系统：本系统是指电力系统中性点直接接地，电气设备外露导电部分与大地直接联接，而与系统如何接地无关，也称为保护接地系统。此系统中专用保护线（PE 线）和工作中性线（N 线）分开，PE 线与 N 线没有电的联系。正常运行时，PE 线没有电流，N 线可以有电流。在 TT 系统中负载的所有接地均称为保护接地。

TN 系统：TN 系统是将电气设备的外露导电部分均接到保护线上，并与电源的接地点相连，称作接零保护系统，用 TN 表示。根据工作零线与保护线的组合关系，TN 系统有以下三种形式：

- 1) TN—C 系统：整个系统的中性零线和保护线是合一的；
- 2) TN—S 系统：整个系统的中性零线和保护线是分开的；
- 3) TN—C—S 系统：系统中一部分线路的中性零线和保护线是合一的，而另一部分是分开的。

根据自 2012 年 8 月 1 日开始实施《住宅设计规范》GB 50096-2011 中 8.7.2 中规定：

住宅配电系统的设计应采用 TT、TN—S 或 TN—C—S 接地方式，并应进行总等电位联结^[19]。

6.2 TT 系统

TT 系统亦为三相四线系统，系统有一个直接的接地点，电气设备外露导电部分接到与电力系统接地点无直接关系的接地点上。也就是系统无 PE 线，有一点是直接接地的，它的工作中性线（N 线）与专用保护线（PE 线）无电气连接，是相互分开的。系统如图 6-1 所示：

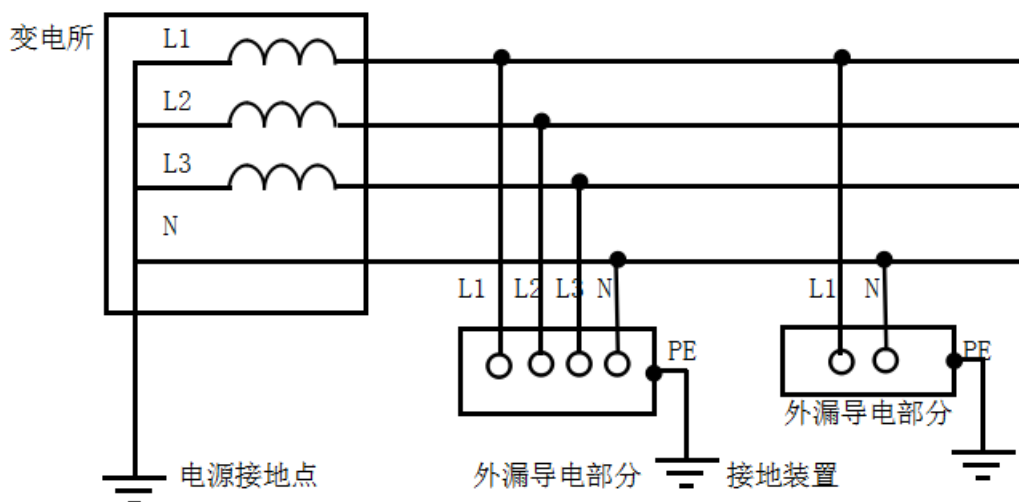


图 6-1 TT 系统

从上图也可以看出，TT 系统适用于公共电网供电的场所，一般每栋住宅楼有单独的接地极和 PE 线。所以不管三相负荷是否平衡，中性线是否带电，保护线均不会带电，用电设备外露导电部分也不会带电，保证了使用时的安全。同时由于电气设备的外壳与电源的接地无电气连接，故适用于对电位敏感的数据处理设备和精密电子设备。

但当用电设备发生单相接地故障时，由于 TT 系统单相短路保护的灵敏度比 TN 系统低，故熔断器和断路器往往不能立即动作，造成设备外壳带电，所以一般需要设漏电保护器作后备保护。由于各用电设备均需单独接地，造成 TT 系统接地装置分散、耗用钢材多、施工较为困难。随着大容量的漏电保护器的应用，该系统越来越在计算机网络系统供电中得到使用，但目前因公共电网电源质量不高，采用的较少。

现在有的单位采用 TT 系统，施工单位借用其电源作临时用电时，应用一条专用保护线以减少需接地设备的钢材用量，把新增加的专用保护线和工作零线分开。TT 系统使用的场所一般是等电位联结有效范围外的户外用电场所，如户外照明、户外集贸市场、户外演出场地等的电气装置；高压中性点经低电阻接地的变电所；城市、农村居民区公共用电等。

6.3 TN—S 系统

TN—S 系统亦为三相五线制系统，它是三相四线加 PE 线组成的接地系统，系统的中性线和保护线是严格分开的，用电设备的外露可导电部分接在 PE 线上。系统如图 6-2 所示：

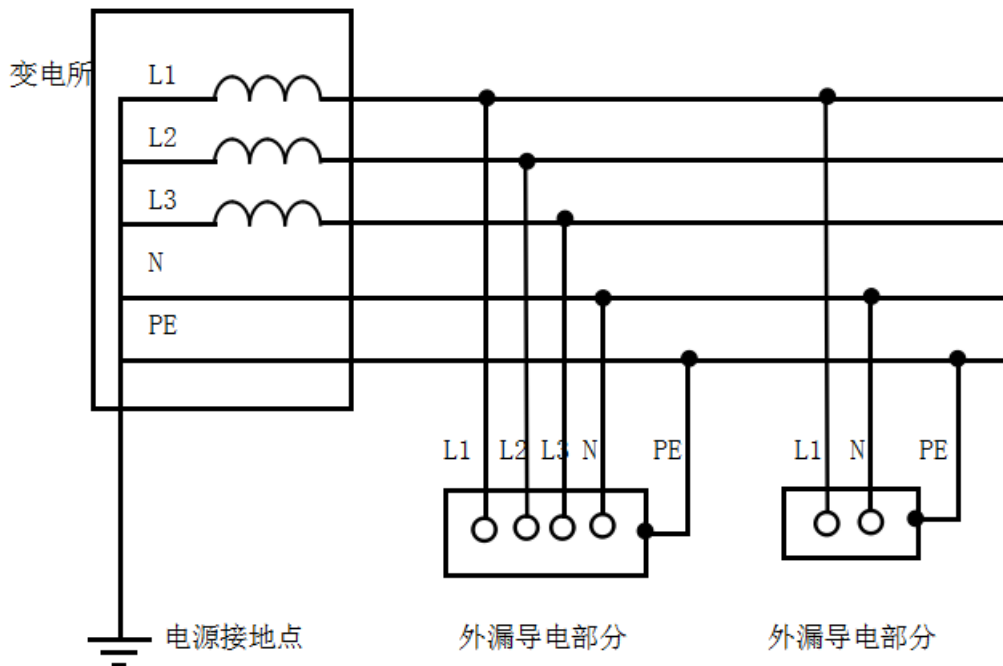


图 6-2 TN—S 系统

由于 TN—S 系统中性线 N 与保护接地线 PE 除在变压器中性点共同接地外，两线从变压器低压母线处便分开了，所以与 TT 系统一样，不管 N 线是否带电，PE 线均不会带电，与 PE 线连接的设备外壳同样也不会带电。TN—S 的 PE 线平时不通过工作电流，它只在发生接地故障时通过故障电流，其电位接近地电位，因此不会干扰信息技术设备。而且在 TN—S 系统中，发生电气故障时，通过 PE 线接地电流较大，一般熔断器和断路器都能动作切断电源，因此 TN—S 接地系统明显保证了使用时的安全。

TN—S 系统缺点是全程设 PE 线，不够经济。同时由于增加了中性线，初期投资较高，而且 TN—S 系统相对地短路时，对地故障电压较高。

TN—S 系统适用于对电位敏感的数据处理设备和精密电子设备，也可用于易爆炸等危险场合。在民用建筑中，家用电器大都有单独接地触点的插头，采用 TN—S 系统既安全又方便。

6.4 TN—C—S 系统

TN—C—S 系统中一部分线路的中性零线和保护线是合一的。如果系统前面部分为 TN

—C 方式供电，但为考虑安全供电，二级配电箱出口处，分别引出 N 线及 PE 线，在系统后部分采用 TN—S 方式供电。系统如图 6-3 所示：

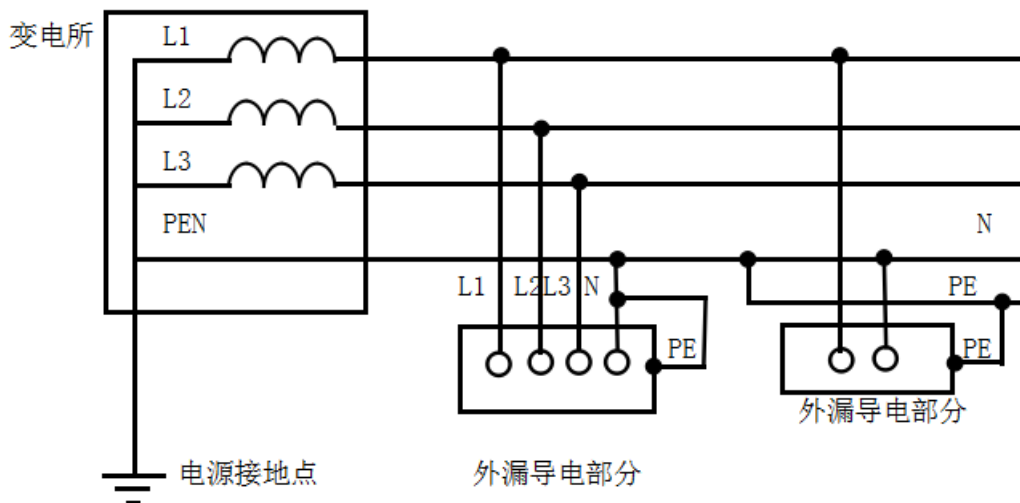


图 6-3 TN—C—S 系统

采用 TN—C—S 系统时，当 N 线与 PE 线分开后就不能再合并，所以实际上后半部分就成了 TN—S 系统。也就是 PEN 线在进入住宅用户配电箱后，配电箱内分开设计了 N 端子板和 PE 端子板，N 线与 PE 线进入住宅便互相分开，不再有任何电气连接了。因此 TN—C—S 系统从变电所到进入住宅前少了一根专用保护线，较 TN—S 系统经济。而进入住宅配电箱后又是 TN—S 接地系统，所以也兼顾了系统的安全。

采用 TN—C—S 系统时，PEN 线需连接非常可靠。一旦断线，此时系统内配电设备如发生电气接地故障会使得外露导电部分带电，从而发生间接触电等事故，为了避免此缺点通常需采用等电位接地来防范^[20]。

6.5 接地形式的选择

低压配电系统，应兼顾保障安全、配电可靠、经济合理、维护方便等要求，不管采用哪种方式的接地系统，等电位联结都是安全保障的有效措施，每个建筑均应根据自身特点采取相应的等电位联结安全保障措施^[6]。

TN—C—S 系统从变电所到进入住宅前少了一根专用保护线，较 TN—S 系统经济，而进入住宅配电箱后又是 TN—S 接地系统，所以也兼顾了系统的安全。而且 TN—C—S 系统的中性线和 PE 线是在进入建筑物后才分开的，与 TN—S 系统比较，他们之间的电位差较小，对信息技术设备引起的干扰的可能较小，因此对于低压供电（即变电所没有设在建筑物内）的建筑物选用 TN—C—S 系统，在安全上有很大的保障。

TT 系统单相短路保护的灵敏度比 TN 系统低，故熔断器和断路器往往不能立即动作，

造成设备外壳带电，不安全隐患大。而且各用电设备均需单独接地，造成 TT 系统接地装置分散、耗用钢材多、施工较为困难。

综上分析出采用 TN—C—S 系统既安全又经济，因此对于本工程项目采用 TN—C—S 系统。

7 结论

随着我国经济建设的不断深入，人们生活水平的日益提高，与人们生活密切相关的住宅小区的建设如火如荼，建设的类别、形式、档次也千差万别。因此做好住宅小区变压配电系统的设计工作无疑是住宅小区建设的重要环节。

一直以来，国家出台了一系列的供配电系统设计方面的规范，然而，光套用相关规范不可能解决所有问题。本文结合厦门市的一个具体工程项目的情况，结合需要系数法、单位指标法和单位面积法进行各用电负荷的计算（包括居民、商户、办公、电梯、水泵、路灯及公共照明用电负荷），在此基础上选择节能且安全的 3 台 SCL-630/10KV-0.4KV 箱式干式变压器，结合该小区的用电情况确立出三台变压器具体的配电方案。

一般居民用电负荷采用单相供电，故本文提出应用面积或者户数平摊三相的方法，保持三相负荷分配基本平衡。此外还讨论了线路敷设方面的知识，使得城市 10 kV 电压变为用户需要的 220/380V 电压，接至住户配电箱。最后结合该住宅小区选用既安全又经济的 TN—C—S 接地方式，绘制出向三级负荷供电的主结线图，由此设计出比较安全、合理的变压配电方案。

住宅小区的供电形式是多样、复杂的，不可能规定某一具体形式，也不可能套用一种方式，需从实际出发，进行详细的计算、分析后才可能有比较好的结果。在具体设计中三相负荷平衡让我感到很头痛，最终确立出面积平摊三相的宏观控制加上定期对变压器的三相负荷进行测量管理相结合的方法，实现三相负荷的基本平衡。

当然，本文还存在一些问题需要我继续向老师请教学习，比如针对各个小区导线截面选择以及具体的线路敷设路径等，我相信在老师的指导和自己的学习下，将会解决这些问题。

通过本次设计，我在很多方面有了提高，如 CAD 制图、Office 的熟练运用等等。在设计中涉及到了很多有关小区配电的专业知识，虽然我们前面没开设这门学科，但经过这次设计，我学到了很多这方面的专业知识，进一步提高了自己的内涵。

致 谢

在即将完成这篇致谢的时候，我猛然发觉自己快要离开这座校园。四年的年华让我和这片宁静的校园紧紧地拴在了一起，人生又将写下新的篇章。在这离别之际，尽管依依不舍，却很珍惜，因为在我的生命中有那么多可亲可敬可爱的人值得感激。

首先，衷心感谢我的导师吴德道老师，从论文思路到论文的撰写与修改，各个环节中无不凝聚着恩师的汗水和心血。其次，在整个学习过程中，王新翠老师、邵龙安老师在选题、扣题方面也给予我极大的关心和指导，使我能克服困难，顺利完成论文工作。在此，表示我由衷的谢意。

最后也要感谢新区的各位自动化专业的老师，他们使我在大学四年中学习到了很多，不管是专业知识还是如何规划自己的人生，他们都给与我很大的帮助，借此机会向他们表示我诚挚的谢意！

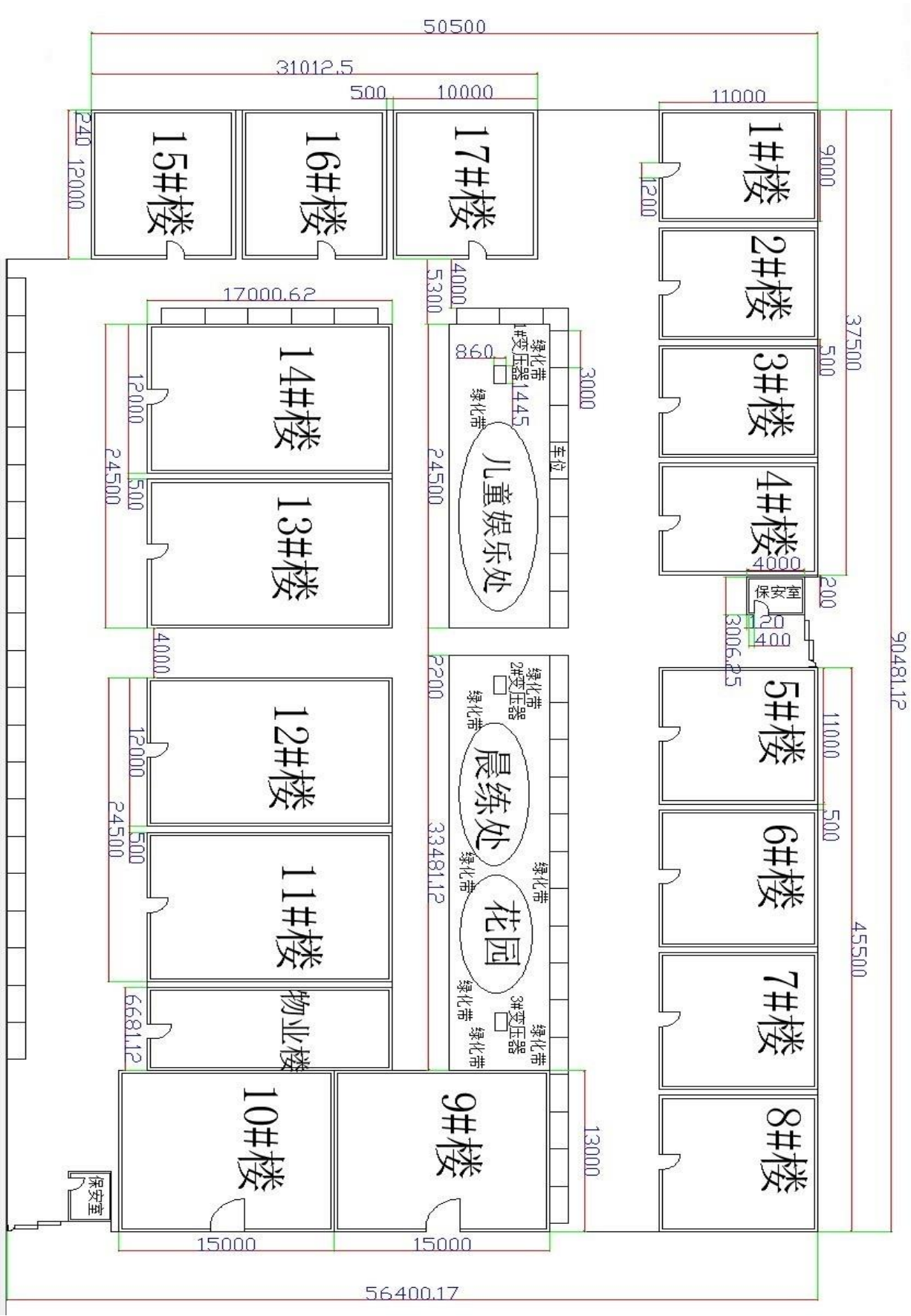
回首往事，历历在目。老师谆谆教导，师兄师姐的真诚关心，同学的热情帮助，好友的鼓励支持，父母家人的支持理解，都使我不能忘怀，你们将永远激励我不断拼搏，永往直前！

参考文献

- [1] 黄海荣. 贵阳市居民住宅小区供电设计研究[D]: [硕士学位论文]. 贵州: 贵州大学, 2009
- [2] 中华人民共和国建设部. GB50352-2005[S]. 民用住宅设计通则. 北京: 中国建筑设计研究院, 2005-05-09
- [3] 王梅红. 某小区 10KV 供配电工程设计[J]. 漯河职业技术学院学报, 2013, 12(5): 39~40
- [4] 郝晓晓. 住宅小区用电负荷及配变容量的测算[J]. 华北电力技术, 2011, 12(5): 16~18
- [5] 中国南方电网有限责任公司标准化委员会. Q/CSG 10012-2005[S]. 中国南方电网-城市配电网技术导则. 佛山: 佛山南海电力设计院工程有限公司, 2005-12-13
- [6] 朱敏捷. 住宅小区的负荷计算及变压器容量确定[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2009, 27(01): 43~45
- [7] 胡导福, 杜勇, 徐颖娟, 成学伟. 城市住宅小区配电变压器容量的合理选择[J]. 湖北电力, 2008, 32(06): 30~32
- [8] Miner, Gary. AwwaRF Report Tackles Distribution System Security[J]. Water Works Association Journal, 2008, 100(4): 177~177
- [9] 住房和城乡建设部工程质量安全监管司, 中国建筑标准设计研究院. 全国民用建筑工程设计技术措施(2009年版)[M]. 北京: 中国计划出版社, 2009, 1~446
- [10] 冯丽. 变电站站用变压器选择及容量计算[J]. 科技传播, 2011, 2011. 12(下): 109~110
- [11] 徐福强. 如何进行农村配变三相负荷不平衡问题的管理[J]. 科技致富向导, 2013, 32: 83~83
- [12] F. R. Quintela, J. M. G. Arévalo, R. C. Redondo, N. R. Melchor. Four-wire three-phase load balancing with Static VAR Compensators. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2011, 33(3): 562~568
- [13] 马军辉. 干式变压器的结构与维护[J]. 科技创新与应用, 2013, 12: 77~77

- [14] <http://wenku.baidu.com/view/171634335a8102d276a22f75.html>
- [15] 程海燕. 现代住宅小区电气设计分析探讨[J]. 广东建材, 2008, 06:231~233
- [16] 黄震. 小议住宅电气设计[J]. 智能建筑电气技术, 2010, 4 (02) :29~33
- [17] <http://www.62data.cn/pdzt/jczs/200812/38190.html>
- [18] 郜振国. 低压配电系统接地的几种形式[N]. 电子报, 2004. 10. 24(013)
- [19] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB50096-2011 住宅设计规范[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011, 1~60
- [20] 刘清义. 多_高层住宅小区配电系统接地型式探讨[J]. 中国高新技术企业, 2010, (22):132~133

附图 1



附图 2

