

金陵科技学院

供电工程课程设计报告



设计名称： 网球中心电气设计

专 业： 电气工程及其自动化班 级： 21 电气工程及其自动化

学生学号： 2104011041 学生姓名： 梁宸睿

所属院部： 机电工程学院 指导教师： 王海祥

20 23 ——20 24 学年

第 1 学期

金陵科技学院教务处制

目录

| | |
|-----------------------------|----|
| 一、课程设计目的 | 4 |
| 二、课程设计的要求 | 4 |
| 三、建筑分析 | 4 |
| 四、负荷计算 | 4 |
| 4.1 电气元件统计 | 4 |
| 4.2 需要系数法负荷计算 | 6 |
| 五、设备选型 | 8 |
| 5.1 电气设备选型的一般要求 | 8 |
| 5.2 变压器的选择 | 9 |
| 5.3 高压断路器选择 | 10 |
| 5.4 高压隔离开关选择 | 11 |
| 5.5 高压熔断器的选择 | 11 |
| 5.6 低压断路器的选择 | 12 |
| 5.7 电缆的选择 | 13 |
| 六、电气主接线的分析与选择 | 17 |
| 6.1 主接线的定义 | 17 |
| 6.2 对主接线的基本要求 | 17 |
| 6.3 主接线方案的确定 | 17 |
| 6.4 主接线中主要电气元件的功能 | 18 |
| 6.5 电气主接线的选择 | 18 |
| 七、短路电流计算 | 20 |
| 7.1 短路原因和后果 | 20 |
| 7.2 短路计算 | 20 |
| 八、配电线路的敷设 | 22 |
| 8.1 配电线路选择的要求与规定 | 22 |
| 8.2 线缆的敷设规定 | 22 |
| 8.3 配电线路的敷设应避免环境造成的影响 | 23 |
| 8.4 线路敷设 | 23 |
| 8.5 电缆敷设 | 23 |
| 九、接地与防雷设计 | 24 |

| | |
|---------------------|----|
| 9.1 避雷针分析 | 24 |
| 9.2 避雷针计算 | 25 |
| 附录 | 27 |
| 1. 网球中心照明灯具选择 | 27 |
| 2. 网球中心建筑计算负荷 | 28 |
| 3. 电缆选择..... | 28 |
| 4. 设备断路器选择..... | 29 |

一、课程设计目的

根据供电工程课程所学书本知识以及学校网球中心电力系统的实际情况，参考各类文献，实地考察，利用 CAD 画图软件设计网球中心的电力系统，并计算相关参数。

二、课程设计要求

1. 使用浩辰 CAD 设计网球中心的电力系统
2. 对电气元件进行负荷计算、短路计算，并进行设备选型
3. 对总体配电系统进行设计
4. 对建筑进行接地与防雷设计

三、建筑分析

本次课程设计我们对网球中心进行研究，设计网球中心的配电与照明系统。

1、网球中心现状分析

网球中心现有馆舍总面积 39862 平方米，设有一个决赛场、二个半决赛场、十四个露天球场以及五个室内场地、多个休息室和办公室。先对每个赛区楼层进行分析：

决赛区 F1：决赛场、室内场地、休息室、办公室、会议室、媒体采访间、空调间、医护用房、卫生间、更衣室等。

决赛区 F2：食品贩卖处、媒体休息室、观众席、卫生间等。

决赛区 F3：贵宾室、运动俱乐部、观众席等。

半决赛区：半决赛场、观众席、卫生间等。

四、负荷计算

4.1 电气元件统计

1. 照明设备

①如附录表 1，决赛区 F1 大约需要 $24000m^2$ 需要照明，按 $10W/m^2$ 计算，计算得决赛区 F1 需要正常照明功率为 $240KW$ 。

②决赛区 F2 大约 $3340m^2$ 需要照明，按 $10W/m^2$ 计算，计算得决赛区 F2 需要正常照明功率为 $33.4KW$ 。

③决赛区 F3 大约 $3340m^2$ 需要照明，同样按 $10W/m^2$ 计算，决赛区 F3 大约

需要正常照明功率为 33.4KW。

④半决赛区大约 $12830m^2$ 需要照明，同样按 $10W/m^2$ 计算，半决赛区大约需要正常照明功率为 128.3KW。

⑤每个楼道应考虑有 1 个应急灯，考虑到应急灯的亮度不高，我们取 $9W/m^2$ ，网球中心共 30 个楼梯，面积为 $1555m^2$ ，大约需要正常照明功率为 14KW。

2. 电脑：网球中心共 45 台电脑，按照一台电脑 350W 的功率，可以得到电脑总安装功率是 15.8kW。

3. 中央空调：

中央空调包括水系统工作、风系统工作、盘管系统工作

水冷中央空调包含四大部件，压缩机、冷凝器、节流装置、蒸发器，制冷剂依次在上述四大部件循环，压缩机出来的冷媒(制冷剂)高温高压的气体，流经冷凝器，降温降压，冷凝器通过冷却水系统将热量带到冷却塔排出，冷媒继续流动经过节流装置，成低温低压液体，流经蒸发器，吸热，再经压缩。在蒸发器的两端接有冷冻水循环系统，制冷剂在此吸热将冷冻水温度降低，使低温的水流到用户端，再经过风机盘管进行热交换，将冷风吹出。

风机盘管空调系统，就是借助风机盘管机组不断地循环室内空气，使之通过盘管而被冷却或加热，以保持房间要求的温度和一定的相对湿度。盘管使用的冷水或热水，由集中冷源和热源供应。与此同时，由新风空调机房集中处理后的新风，通过专门的新风管道分别送入各空调房间，以满足空调房间的卫生要求。

风机盘管空调系统与集中式系统相比，没有大风道，只有水管和较小的新风管，具有布置和安装方便、占用建筑空间小、单独调节好等优点，广泛用于温、湿度精度要求不高、房间数多、房间较小、需要单独控制的舒适性空调中。

网球中心的总建筑面积约为 $39862m^2$ ，室内面积按 $24000m^2$ 计算，中央空调冷负荷指标按 $200 W/m^2$ 计算，得需要的冷负荷功率为 $4800kW$ ，我们选出四台电功率为 $300kw$ ，制冷功率为 $800kw$ 的冷热水机组，根据冷热水机组对冷却水流量与冷冻水流量的要求选出相对应的冷却水泵与冷冻水泵各四台，冷却塔风机四台。其中冷却水泵功率为 $30kw/台$ ，冷冻水泵功率为 $22kw/台$ ，冷却塔风机功率为 $7.5kw/台$ 。既然有了中央空调，风机盘管的功率也需要考虑。

4. 摄像头：27 个半球摄像机，7 个一体化球形摄像机，半球摄像机每台功率

为40w/台，一体化球形摄像机为450w/台，共4.23kw 的负荷功率。

5. 卫生用通风机：卫生间采用排风扇净化空气，全建筑内共有 38 间，一共 38 个排风扇，一个排风扇 40W，共15.2kW。

4.2 需要系数法负荷计算

用电设备组计算负荷：

$$P_c = K_d * P_e(kw)$$

$$Q_c = P_c * \tan\varphi(kvar)$$

$$S_c = P_c / \cos\varphi(KV * A)$$

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_N}(A)$$

式中 P_e —为用电设备功率, K_d —需要系数, P_c —有功功率, Q_c —无功功率, S_c —视在计算负荷, $\tan\varphi$ —电气设备功率因数角的正切值, I_c —计算电流, U_n —电气设备额定电压（线电压）

多组设备的计算负荷：

$$P_c = K_{\Sigma p} \sum P_{c.i}(kw)$$

$$Q_c = K_{\Sigma q} \sum Q_{c.i}(kvar)$$

$$S_c = \sqrt{(P_c^2 + Q_c^2)}(KVA)$$

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_N}(A)$$

式中 $K_{\Sigma p}$ —有功功率同时系数，通常取值为 0.75~0.90， $K_{\Sigma q}$ —无功功率同时系数，通常取值为 0.80~0.95。

① 照明设备

决赛区 F1: $P_e = 240KW$ ，需要系数 $K_d = 0.8$ ，LED 灯管的功率因数 $\cos\varphi = 0.95$ ， $\tan\varphi = 0.33$ 。

$$P_{c.1} = 240 \times 0.8kw = 192kw, Q_{c.1} = 192 \times 0.33kvar = 63.36kvar$$

决赛区 F2: $P_e = 33.4KW$ ，需要系数 $K_d = 0.8$ ，LED 灯管的功率因数 $\cos\varphi = 0.95$ ， $\tan\varphi = 0.33$ 。

$$P_{c.2} = 33.4 \times 0.8kw = 26.72kw, Q_{c.2} = 26.72 \times 0.33kvar = 8.82kvar$$

决赛区 F3: $P_e = 33.4KW$ ，需要系数 $K_d = 0.8$ ，LED 灯管的功率因数 $\cos\varphi =$

0.95, $\tan\varphi = 0.33$ 。

$$P_{c.3} = 33.4 \times 0.8kw = 26.72kw, Q_{c.3} = 26.72 \times 0.33kvar = 8.82kvar$$

半决赛区: $P_e = 128.3KW$, 需要系数 $K_d = 0.8$, LED 灯管的功率因数 $\cos\varphi = 0.95$, $\tan\varphi = 0.33$ 。

$$P_{c.4} = 128.3 \times 0.8kw = 102.64kw, Q_{c.4} = 102.64 \times 0.33kvar = 33.87kvar$$

应急照明: $P_e = 14KW$, 需要系数 $K_d = 0.8$, LED 灯管的功率因数 $\cos\varphi = 0.95$, $\tan\varphi = 0.33$ 。

$$P_{c.5} = 14 \times 0.8kw = 11.2kw, Q_{c.5} = 11.2 \times 0.33kvar = 3.69kvar$$

② 电脑(需要系数 $K_d = 0.8$, 功率因数 $\cos\varphi = 0.75$, $\tan\varphi = 0.88$)

$$P_{c.6} = 15.8 \times 0.8kw = 12.64kw, Q_{c.6} = 12.64 \times 0.88kvar = 11.12kvar$$

③ 中央空调

冷热水机组(需要系数 $K_d = 0.80$, 功率因数 $\cos\varphi = 0.8$, $\tan\varphi = 0.75$)

$$P_{c.7} = 800 \times 0.8kw = 640kw, Q_{c.7} = 640 \times 0.75kvar = 480kvar$$

冷却塔(需要系数 $K_d = 0.75$, 功率因数 $\cos\varphi = 0.8$, $\tan\varphi = 0.75$)

$$P_{c.8} = 40 \times 0.75kw = 30kw, Q_{c.8} = 30 \times 0.75kvar = 22.5kvar$$

冷冻水泵(需要系数 $K_d = 0.75$, 功率因数 $\cos\varphi = 0.8$, $\tan\varphi = 0.75$)

$$P_{c.9} = 120 \times 0.75 = 90kw, Q_{c.9} = 90 \times 0.75kvar = 67.5kvar$$

冷却水泵(需要系数 $K_d = 0.75$, 功率因数 $\cos\varphi = 0.8$, $\tan\varphi = 0.75$)

$$P_{c.10} = 160 \times 0.75kw = 120kw, Q_{c.10} = 120 \times 0.75kvar = 90kvar$$

④ 摄像头属于弱电范围, 这里我们直接取 4.23kw。

⑤ 风机盘管(需要系数 $K_d = 0.75$, 功率因数 $\cos\varphi = 0.8$, $\tan\varphi = 0.75$)室外网球场不需要空调, 建筑内大约需要 25kw。

$$P_{c.11} = 25 \times 0.75kw = 18.75kw, Q_{c.11} = 18.75 \times 0.75kvar = 14.06kvar$$

⑥ 卫生用通风机 (需要系数 $K_d = 0.85$, 功率因数 $\cos\varphi = 0.8$, $\tan\varphi = 0.75$)

$$P_{c.12} = 15.2 \times 0.85 = 12.9kw, Q_{c.12} = 12.9 \times 0.75kvar = 9.6kvar$$

总的计算负荷: $K_{\Sigma p}$ 和 $K_{\Sigma q}$ 可取相同值 0.9。

$$P_c = K_{\Sigma p} \sum P_{c.i} = 0.9 * (192 + 26.72 + 26.72 + 102.64 + 11.2 + 12.64 + 640 + 30 + 90 + 120 + 4.23 + 18.75 + 12.9) = 1148.57kw$$

$$Q_c = K_{\Sigma q} \sum Q_c = 0.9 * (63.39 + 8.82 + 8.82 + 33.87 + 3.69 + 11.12 + 480 +$$

$$22.5 + 67.5 + 90 + 14.06 + 0.96) = 724.23 \text{ kvar}$$

$$S_c = \sqrt{(P_c^2 + Q_c^2)} = \sqrt{(1148.57^2 + 724.23^2)} = 1357.84 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_N} = \frac{1357.84}{\sqrt{3} * 0.38} = 2063.02 \text{ A}$$

通过上述计算：网球中心总视在计算负荷为 $1357.84 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 。

五、设备选型

5.1 电气设备选型的一般要求

1. 按正常工作条件选择

电气设备按正常工作条件选择，主要包括以下几个方面：

(1) 使用环境条件主要包括设备的安装地点（户内或户外）、环境温度、海拔、相对湿度等，还应考虑防尘、防腐、防爆、防火等要求。即根据安装地点的环境不同，可分为室内型和室外型两种。

(2) 额定电压、电气设备的额定电压 U_N ，应不小于设备安装地点电网的最高工作电压 $U_{W.max}$ ，即

$$U_N \geq U_{W.max}$$

(3) 额定电流、电气设备的额定电流 I_N 应不小于设备正常工作时的最大负荷电流 $I_{W.max}$ ，即

$$I_N \geq I_{W.max} \text{ 或 } I_N \geq I_c$$

2. 按短路情况进行校验

(1) 动稳定校验

动稳定是指电气设备承受短路电流力效应的能力，满足动稳定的条件是

$$i_{max} \geq i_{sh}^{(3)} \text{ 或 } I_{max} \geq I_{sh}^{(3)}$$

式中， i_{max} 和 I_{max} 分别为电气设备允许通过的最大电流峰值和有效值，可查相关手册或产品样本； $i_{sh}^{(3)}$ 和 $I_{sh}^{(3)}$ 分别为设备安装地点的三相短路冲击电流峰值和有效值。

(2) 热稳定校验

热稳定是指电气设备承受短路电流热效应的能力，满足热稳定的条件是

$$I_t^2 t \geq I_{\infty}^2 t_{ima}$$

式中, I_t 为电气设备在 t 时间内的热稳定电流 (kA); $I_{\infty}^{(3)}$ 为三相短路稳态短路电流 (kA); t 为厂家给出的热稳定试验时间 (s); t_{ima} 为假想时间 (s)。
 I_t 和 t 可查相关手册或产品样本。

3. 断流能力校验

断路器、熔断器等电气设备, 均担负着切断短路电流的任务, 因此, 必须具备在通过最大短路电流时能将其可靠切断的能力。所以选用此类设备时, 必须使其额定开断容量或额定开断电流大于其安装处的最大短路容量或短路电流, 即

$$I_{oc} > I_k^{(3)} \text{ 或 } S_{oc} > S_k^{(3)}$$

式中, I_{oc} 和 S_{oc} 分别为断路器在额定电压下的最大开断电流 (kA) 和开断容量 (MV · A), 可查相关手册或产品样本; $I_k^{(3)}$ 和 $S_k^{(3)}$ 分别为安装地点的最大三相最大短路电流 (kA) 和短路容量 (MV · A)。

高低压电气设备的选择, 应根据工程实际情况, 在保证安全、可靠工作的前提下, 积极而稳妥地采用新技术, 使用新产品, / 并注意节约投资, 选择合适的电气设备。

5.2 变压器的选择

变压器台数的选择:

变压器的台数一般根据负荷等级、用电容量和经济运行等条件综合考虑确定。当符合下列条件之一时, 宜装设两台及以上变压器:

1、有大量一级或二级负荷在变压器出现故障或检修时, 多台变压器可保证一、二级负荷的供电可靠性。当仅有少量二级负荷时, 也可装设一台变压器, 但变电所低压侧必须有足够容量的联络电源作为备用。

2、季节性负荷变化较大, 根据实际负荷的大小, 相应投入变压器的台数, 可做到经济运行、节约电能。

3、集中负荷容量较大, 虽为三级负荷, 但一台变压器供电容量不够, 这时也应装设两台及以上变压器。

所以由于网球中心有大量一级或二级负荷, 这里选择装设两台变压器, 这样在变压器出现故障或检修时, 两台变压器可保证一、二级负荷的供电可靠性。

变压器容量的选择:

1、计算出设备的计算负荷后，就可选择变压器了。变压器的容量 $S_{r.T}$ 首先应保证在计算负荷 S_c 下变压器长期可靠运行。

对有两台变压器运行的变电所，通常采用等容量的变压器，每台容量应同时满足以下两个条件：

一满足总计算负荷 70%的需要，即

$$S_{r.T} \approx 0.7S_c = 0.7 \times 1357.84 = 950.49 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

②满足全部一、二级负荷 $S_{c(I+II)}$ 的需要，即

$$S_{r.T} \geq S_{c(I+II)}$$

一二级负荷计算：

照明设备

$$\begin{aligned} S_{c.1} &= 0.9 \sqrt{(P_{c.1}^2 + Q_{c.1}^2)} \\ &= 0.9 \sqrt{[(192 + 36.72 + 26.72 + 102.64 + 11.2)]^2 + [(63.36 + 8.82 + 8.82 + 33.87 + 3.69)]^2} \\ &= 340.5 \text{ kV} \cdot \text{A} \end{aligned}$$

$$S_{c(I+II)} = 340.5 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

条件①是考虑到两台变压器运行时，每台变压器各承受总计算负荷的 50%，负荷率约为 0.7，此时变压器效率较高。而在事故情况下，一台变压器承受总计算负荷时，只过负荷 40%，可继续运行一段时间。在此时间内，完全有可能调整生产，可切除三级负荷。条件②是考虑在事故情况下，一台变压器仍能保证一、二级负荷的供电。

由于 $S_{r.T} = 950.49 \text{ kV} \cdot \text{A}$ ，且 $S_{r.T} \geq S_{c(I+II)} = 340.5 \text{ kV} \cdot \text{A}$ ，参考附录表 7，所以我们选择每台变压器型号为 S9-1000/10/0.4kV。

5.3 高压断路器选择

按断路器使用场合、环境条件来选择型号，然后再选择额定电压、额定电流值，最后校验动稳定、热稳定和断流容量。

由于选择的变压器高压侧为 10KV 进线，由附录表 8，选择 SN10-10I/630 型断路器。

高压侧断路器的校验：

①动稳定校验：变压器高压侧三相短路冲击电流峰值为 $i_{sh}=3.69\text{kA}$ ，而 SN10-10I型断路器极限通过电流峰值为 $i_{max}=40\text{kA}$ 。

$$i_{max} > i_{sh}$$

所以，满足动稳定要求。

5.4 高压隔离开关选择

隔离开关只需要选择额定电压和额定电流，校验动稳定性和热稳定性。

由于选择的变压器高压侧为 10KV 进线，由附录表 8，选择 GN8-10T/400 型高压隔离开关。

高压隔离开关的校验：

动稳定校验：变压器高压侧三相短路冲击电流峰值为 $i_{sh}=3.69\text{kA}$ ，GN8-10T 型隔离开关的极限通过电流的峰值为 $i_{max}=31.5\text{kA}$ 。

$$i_{max} > i_{sh}$$

所以，满足动稳定要求

5.5 高压熔断器的选择

1. 保护线路的熔断器的选择

(1)熔断器的额定电压 $U_{N.FU}$ 应等于线路的额定电压 U_N

$$U_{N.FU} = U_N$$

(2)熔体额定电流 $I_{N.FE}$ 小于线路计算电流 I_c ，即 $I_{N.FE} \geq I_c$

(3)熔断器额定电流 $I_{N.FU}$ 不小于熔体的额定电流 $I_{N.FE}$

$$I_{N.FU} \geq I_{N.FE}$$

(4)熔断器断流能力校验

①对限流式熔断器（如 RN1 型）其断流能力 I_∞ 。应满足

$$I_\infty \geq I''^{(3)}$$

式中， $I''^{(3)}$ 为熔断器安装地点的三相次暂态短路电流的有效值。

②对非限流式熔断器(RW 型)，其断流能力应大于三相短路冲击电流有效值：

$$I_\infty \geq I_{sh}^{(3)}$$

③对断流能力有下限值的熔断器(RW 型)还应满足：

$$I_{\infty.min} \geq I_K^{(2)}$$

式中, $I_{\infty.min}$ 为熔断器分断电流下限值; $I_K^{(2)}$ 为线路末端两相短路电流。

2. 保护电力变压器（高压侧）的熔断器熔体额定电流的选择

（1）熔断器型号的选择

户内熔断器选择 RN1 型, 户外熔断器选择 RW 型。由于此设计为网球中心, 大部分属于室外, 所以选择 RW 型。

（2）熔体额定电流 $I_{N.FE}$ 的选择

熔断器熔体额定电流应满足: $I_{N.FE} = (1.5 - 2.0)I_{1N.T}$

$I_{N.FE}$ —熔断器熔体额定电流; $I_{1N.T}$ —变压器一次绕组额定电流。

3. 保护电压互感器的熔断器熔体额定电流的选择因为电压互感器二次侧电流很小, 故选择 RN2 型专用熔断器作电压互感器短路保护, 其熔体额定电流为 0.5A。

5.6 低压断路器的选择

1. 低压断路器的额定电压应不低于所在线路的额定电压。
2. 低压断路器的额定电流应不小于它所安装的脱扣器额定电流。
3. 低压断路器的类型应符合安装条件、保护性能及操作方式的要求。
4. 低压断路器断流能力的校验

SCM1 (cm1) 系列断路器适用于交流 50hz、60hz、500v 及以下的电路中作不频繁转换和电动机不频繁起动之用。断路器具有过载、短路和欠电压保护装置, 能保护线路及电源设备不受损坏。本断路可垂直安装、亦可水平安装。

（1）对于应急照明: $U_N = 380V$, $I_c = \frac{14/0.55}{\sqrt{3} \times 0.38} = 38.78A$

选择断路器 CM1-100M 400V/40A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 38.78A$

（2）对于决赛区 F1: $U_N = 380V$, $I_c = \frac{240/0.8}{\sqrt{3} \times 0.38} = 455.84A$

选择断路器 CM1-630M 400V/500A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 455.84A$

（3）对于决赛区 F2: $U_N = 380V$, $I_c = \frac{33.4/0.55}{\sqrt{3} \times 0.38} = 92.52A$

选择断路器 CM1-100M 400V/100A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 92.52A$

（4）对于决赛区 F3: $U_N = 380V$, $I_c = \frac{33.4/0.55}{\sqrt{3} \times 0.38} = 92.52A$

选择断路器 CM1-100M 400V/100A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 92.52A$

（5）对于半决赛区: $U_N = 380V$, $I_c = \frac{128.3/0.55}{\sqrt{3} \times 0.38} = 355.4A$

选择断路器 CM1-400M 400V/400A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 355.4A$

$$(6) \text{ 对于电脑: } U_N = 380V, I_c = \frac{15.8/0.55}{\sqrt{3} \times 0.38} = 43.76A$$

选择断路器 CM1-100M 400V/50A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 43.76A$

(7) 对于中央空调:

$$\text{冷热水机组: } U_N = 380V, I_{30} = \frac{830/0.8}{\sqrt{3} \times 0.38} = 1571.97A$$

由于此机组功率过大, 我们可以选择单独供电。网球中心共有 170 台空调, 一台平均 4000W。

选择断路器 CM1-400 400V/400A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 1571.97A$

$$\text{冷却塔: } U_N = 380V, I_{30} = \frac{30/0.8}{\sqrt{3} \times 0.38} = 36.36A$$

选择断路器 CM1-100M 400V/40A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 36.36A$

$$\text{冷冻水泵: } U_N = 380V, I_{30} = \frac{90/0.8}{\sqrt{3} \times 0.38} = 170.45A$$

选择断路器 CM1-225M 400V/180A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 170.45A$

$$\text{冷却水泵: } U_N = 380V, I_{30} = \frac{120/0.8}{\sqrt{3} \times 0.38} = 227.27A$$

选择断路器 CM1-400M 400V/250A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 227.27A$

$$(8) \text{ 风机盘管: } U_N = 380V, I_{30} = \frac{25/0.8}{\sqrt{3} \times 0.38} = 47.35A$$

选择断路器 CM1-100M 400V/50A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 47.35A$

$$(9) \text{ 卫生用排风机: } U_N = 380V, I_{30} = \frac{15.2/0.8}{\sqrt{3} \times 0.38} = 29.2A$$

选择断路器 CM1-63M 400V/6A, 安装脱扣器额定电流 $I_{N.TR} \geq 2.92A$

低压侧断路器的校验:

动稳定校验: 低压侧均选用 CM1 系列断路器, 其极限短路分断能力为 $i_{max}=50kA$, 而低压侧三相短路电流冲击电流有效值为 $i_{sh} = 43.59kA$ 。

$$i_{max} > i_{sh}$$

所以, 满足动稳定要求。

5.7 电缆的选择

电力电缆主要包括导体、屏蔽层、绝缘层和包覆层及各种部件, 导体通常采用多股铜绞线(或铝、铝合金)制成, 根据电缆中导体的数目多少, 电缆可分为单芯、三芯、四芯和五芯等种类。

具体电缆芯数选择如附录表 4 所示。

1000V 及其以下低压侧，三相回路的照明电缆应选用五芯，三相动力设备应选用四芯电缆。变压器的高压侧 10KV 电缆线路应选用三芯电缆。由于网球中心作为重要的公共建筑，电缆导体材料应当选用铜芯。

通常我们选择 YJV 型铜芯或铝芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆，它一般敷设于室内、隧道、电缆沟及管道中；也可埋在松散的土壤中，电缆能承受一定的敷设牵引但不能承受机械外力作用的场合，不同型号的 YJV 型电缆作用不同。

接下来我们对所选取的导线按照电压损失条件进行校验。

高压侧： $I_c = 72.17A$

电缆我们选择 YJV-6/10kV 3×70。

(1) 低压侧：

① 决赛区 F1 照明： $I_c = 664.82A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 4×240。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 192kw, Q_c = 63.36kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{pR_i l + qX_i l}{10U_N^2} = \frac{(192 \times 0.091 \times 0.1 + 63.36 \times 0.077 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 1.5 < 5$$

满足电压损失要求，将电缆安装到电脑的低压配电箱，电缆长度 100m。

② 应急照明： $I_c = 38.78A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 5×6。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 11.2kw, Q_c = 3.69kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{pR_i l + qX_i l}{10U_N^2} = \frac{(11.2 \times 3.554 \times 0.1 + 3.69 \times 0.092 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 2.8 < 5$$

满足电压损失要求，将电缆安装到电脑的低压配电箱，电缆长度 100m。

③ 决赛区 F2： $I_c = 92.52A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 5×25。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 26.72kw, Q_c = 8.82kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{pR_i l + qX_i l}{10U_N^2} = \frac{(26.72 \times 0.87 \times 0.1 + 8.82 \times 0.082 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 1.7 < 5$$

满足电压损失要求，将电缆安装到电脑的低压配电箱，电缆长度 100m。

④ 决赛区 F3: $I_c = 92.52A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 5×25。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 26.72kw, Q_c = 8.82kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{pR_i l + qX_i l}{10U_N^2} = \frac{(26.72 \times 0.87 \times 0.1 + 8.82 \times 0.082 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 1.7 < 5$$

满足电压损失要求，将电缆安装到电脑的低压配电箱，电缆长度 100m。

⑤ 半决赛区: $I_c = 355.4A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 5×150。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 102.64kw, Q_c = 33.87kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{pR_i l + qX_i l}{10U_N^2} = \frac{(102.64 \times 0.145 \times 0.1 + 33.87 \times 0.077 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 1.2 < 5$$

满足电压损失要求，将电缆安装到电脑的低压配电箱，电缆长度 100m。

⑥ 电脑: $I_c = 43.76A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 5×6。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 12.64kw, Q_c = 11.12kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{pR_i l + qX_i l}{10U_N^2} = \frac{(12.6 \times 3.554 \times 0.1 + 11.12 \times 0.092 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 3.2 < 5$$

满足电压损失要求，将电缆安装到电脑的低压配电箱，电缆长度 100m。

⑦ 冷热水机组: $I_c = 1571.97A$ ，由于负荷电流过大，电缆我们选择三根 YJV-0.6/1kV 4×400。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 640kw, Q_c = 480kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{piR_i + qiX_i}{10U_N^2} = \frac{(640 \times 0.091 \times 0.1 + 480 \times 0.077 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 4.9 < 5$$

满足电压损失要求，将冷热水机组安装到低压配电箱，电缆长度 100m。

冷却塔: $I_c = 36.36A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 4×4。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 30kw, Q_c = 22.5kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{p_i R_i + q_i X_i}{10 U_N^2} = \frac{(30 \times 3.554 \times 0.1 + 22.5 \times 0.092 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 7.53 > 5$$

不满足电压损失要求，重新选用 YJV-0.6/1kV 4×10， $\Delta U\% = 4.6 < 5$ 。将冷却塔安装到低压配电箱，电缆长度 100m。

冷冻水泵： $I_c = 227.27A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 4×95。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 90kw, Q_c = 67.5kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{p_i R_i + q_i X_i}{10 U_N^2} = \frac{(90 \times 0.229 \times 0.2 + 67.5 \times 0.077 \times 0.2)}{10 \times 0.38^2} = 3.5 < 5$$

满足电压损失要求，将电缆安装到冷冻水泵的低压配电箱，电缆长度 200m。

冷却水泵： $I_c = 170.45A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 4×70。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 120kw, Q_c = 90kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{p_i R_i + q_i X_i}{10 U_N^2} = \frac{(120 \times 0.310 \times 0.1 + 90 \times 0.078 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 3.07 < 5$$

满足电压损失要求，将电缆安装到冷却水泵的低压配电箱，电缆长度 200m。

风机盘管： $I_{30} = 47.35A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 4×10。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 175kw, Q_c = 131.25kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{p_i R_i + q_i X_i}{10 U_N^2} = \frac{(175 \times 2.175 \times 0.1 + 131.25 \times 0.085 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 27.2 > 5$$

不满足电压损失要求，重新选用 YJV-0.6/1kV 4×70， $\Delta U\% = 4.5 < 5$ 。将风机盘管安装到低压配电箱，电缆长度 100m。

⑧卫生用排风机： $I_c = 29.2A$ ，电缆我们选择 YJV-0.6/1kV 4×4。

按照电压损失条件校验：

$$P_c = 12.9kw, Q_c = 9.6kvar$$

$$\Delta U\% = \sum_{i=1}^n \frac{p_i R_i + q_i X_i}{10 U_N^2} = \frac{(12.9 \times 3.554 \times 0.1 + 9.6 \times 0.092 \times 0.1)}{10 \times 0.38^2} = 3.2 < 5$$

满足电压损失要求，将电缆安装到卫生用排风机的低压配电箱，电缆长度100m。

六、电气主接线的分析与选择

6.1 主接线的定义

主接线是指由各种开关电器、电力变压器、母线、电力电缆或导线、移相电容器、避雷器等电气设备依一定次序相连接的接受和分配电能的电路。中低压供电系统中主要采用单母线结线、单元式结线和桥式结线。

6.2 对主接线的基本要求

整个电力系统和变电所本身运行得可靠性、经济性、灵活性组成了电气主接线的基本要求：

①安全性：必须保证在任何可能的运行方式及检修状态下运行人员和设备的安全。

②可靠性：主结线的可靠性要求由用电负荷等级确定。

③灵活性：应能适应各种可能的运行方式的要求。

④经济性：应能满足最少的投资和年运行费用的要求，使总的经济效益为最佳。

⑤应具有发展与扩建的方便性在设计接线方时要考虑到 5~10 年的发展远景，要求在设备容量、安装空间以及接线形式上，为 5~10 年的最终容量留有余地。

6.3 主接线方案的确定

①确定负荷等级：

本网球中心设计为二类建筑，其中正常照明、事故照明等为一级负荷，中央空调、电脑、卫生用通风机等为三级负荷。

②确定供电方式：

按《民用建筑电气设计规范》要求，二类建筑应按一级负荷供电的要求进行供电。

一级负荷应有两个独立的电源供电，当一个电源故障时，另一个电源不会同时损坏。

本设计中高压侧采用两回独立的 10KV 电源。对于一级负荷的供电要求，引

进独立的双回路 10KV 电源后，高压侧采用单母线分段联络的运行方式，低压侧采用单母线分段联络的运行方式，正常时两台变压器分列运行，任一台变压器出故障后，余下的一台可以满足所有一、二级负荷的供电。

6.4 主接线中主要电气元件的功能

①断路器：是一种开关电器，能切除或投入正常负荷，并能切断故障回路，断开时无可见断点，必须与能产生可见断点的隔离电器配合使用。

②负荷开关：是一种开关电器，能投入或切除正常负荷，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：是隔离电器，只能切除或投入空载或很小的负荷，断开时有明显可见的断点。往往与断路器配合使用。

④熔断器：是一种保护电器，专门用于切断过负荷较大的回路或短路回路的。当熔断器熔体上的电流超过一定值后，熔体发热熔断，切断电路。

⑤电流互感器：是一种电流变换电器，隔离高电流，通常将大电流变成小电流，以取得测量和保护用的电流信号。

⑥电力变压器：电力变压器是用来变换交流电压、电流而传输交流电能的一种静止的电器设备，它是根据电磁感应的原理实现电能传递的，是一种静止的电气设备，是用来将某一数值的交流电压（电流）变成频率相同的另一种或几种数值不同的电压（电流）的设备。

6.5 电气主接线的选择

本次网球中心设计采用一次侧采用桥式接线、二次侧采用单母线分段接线的主接线方式。这种接线方式的特点是所用设备少，结构简单，占地面积小，供电可靠性和灵活性高，可供一、二级负荷。

一次侧采用桥式接线：

单母线分段接线可以分段单独运行，也可以并列同时运行。

若采用断路器分段，则运行的可靠性和灵活性都较大。分段运行时，各段相当于单母线不分段状态，当任一电源发生故障时，电源进线断路器自动跳开后，分段断路器自动合闸，保证全部出线或重要负荷继续供电。并列运行时，当任段母线发生故障时，继电保护装置会将分段断路器自动跳开，将故障段母线切除，保证非故障段母线继续运行。

若采用隔离开关分段，则运行的可靠性和灵活性较差。分段运行时，任电源发生故障需经倒闸操作才能恢复全部负荷的供电；并列运行时，任一段母线发生故障将造成全部负荷短时停电，只有查清故障后将分段隔离开关打开，非故障段母线才能恢复供电。隔离开关分段因倒闸操作不便，目前已不再采用。

单母线分段接线既保留了单母线接线简单、经济、方便等优点，又在一定程度上提高了供电的可靠性，因此这种接线得到广泛应用。但该接线仍不能克服某路断路器检修时，该回路要长时间停电的显著缺点，同时这种接线在段母线或母线隔离开关故障或检修时，该段母线上的所有回路都要长时间停电。

二次侧采用单母线分段接线：

内桥接线是指母联在两台变压器开关(专指断路器)的内侧，靠近变压器侧。外桥可以装设进线互投和桥开关自投。桥开关自投和内桥不同在于动作逻辑。内桥要考虑变压器保护的动作，外桥一般不必考虑。

内桥接线的任一线路投入、断开、检修或故障时，都不会影响其他回路的正常运行。但当变压器投入、断开、检修或故障时，则会影响一回线路的正常运行。由于变压器运行可靠，而且不需要经常进行投入和断开，因此内桥接线的应用较广泛。

对于全并列的内桥接线如果备用线路侧主变压器故障跳闸，不会造成失电，可能造成过负荷。如果主供线路侧主变压器故障跳闸，BZT 动作可能会造成短时失电，也可能造成过负荷。对于低压侧分列运行的内桥接线如果主变压器故障跳闸，可能造成失电和过负荷。

内桥接线的优点是：接线简单、经济、可靠性高，引出线的切除和投入比较方便，运行灵活性好，还可采用备用电源自投装置；其缺点是：当变压器检修或故障时，要停掉一路电源和桥断路器，并且把变压器两侧隔离开关拉开，然后再根据需要投入线路断路器，这样操作步骤较多，继电保护装置也较复杂。所以，内桥接线一般适用于故障较多的长线路和变压器不需要经常切换的运行方式。

下图为一次侧采用桥式接线、二次侧采用单母线分段接线的主接线：

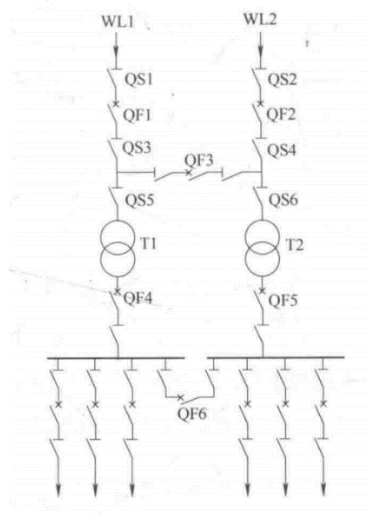


图 1 电气主接线

七、短路电流计算

7.1 短路原因和后果

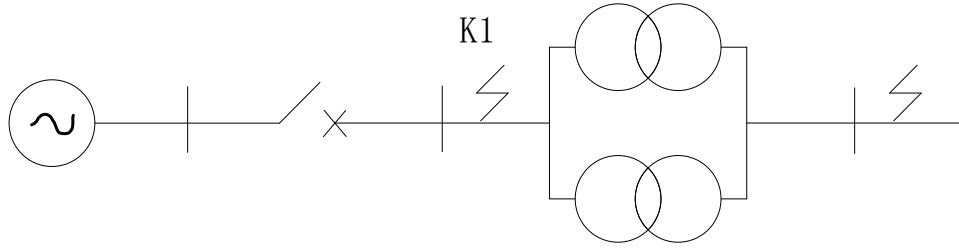
由于短路时有上述现象发生，因此短路所引起的后果是破坏的。具体表现在：

- (1) 短路电流所产生的热效应使设备发热急剧增加，短路持续时间较长时，可使设备因过热而损坏甚至烧毁。
- (2) 短路电流产生很大的电动力，可引起设备机械变形、扭曲甚至损坏。
- (3) 短路时系统电压大幅度下降，将严重影响用户的正常工作。电力系统中最主要的负荷是感应电动机，电压降低时其电磁转矩将显著减小，转速随之下降或停转，造成产品报废甚至设备损坏。
- (4) 短路情况严重时，可使系统中的功率分布突然发生变化，导致并列运行的发电厂失去同步，破坏系统的稳定性，造成大面积停电。
- (5) 发生不对称短路时，不平衡电流所产生的不平衡磁场会对邻近的平行线路（通信线路、铁道信号系统等）产生电磁干扰，影响其正常工作。

由此可见，对短路过程的研究具有十分重要的意义。实际上，在电力系统设计和运行的许多工作中，都必须有短路计算的结果作为依据，例如：选择合理的电气接线图，选择有足够动稳定性和热稳定度的电气设备及载流导体，合理配置各种继电保护和自动装置并正确地整定其参数等。因此，深入研究有关短路问题的理论及其计算方法是很有必要的。

7.2 短路计算

电力系统的额定容量取 $500MV \cdot A$ ，查附录表得 S9-1000/10/0.4kV 对应的 $U_k\% = 4.5$ 。



选取基准值 $S_d = 100MVA$ ， $U_{c1} = 10.5kV$ ， $U_{c2} = 0.4kV$ ，由此可得：

$$I_{d1} = \frac{S_d}{\sqrt{3}U_{c1}} = 5.5kA$$

$$I_{d2} = \frac{S_d}{\sqrt{3}U_{c2}} = 144.3kA$$

该回路由一个电力系统，一个线路，两个变压器并联运行构成。

所以我们分别计算它们的标么值：

电力系统 S：

$$X_s^* = \frac{S_d}{S_{oc}} = \frac{100}{500} = 0.2$$

一般我们取 $x = 0.4\Omega/km$ 。

线路 XL1：

$$X_{L1}^* = xl \frac{S_d}{(cU_n)^2} = 0.4 * 10 * \frac{100}{(10.5)^2} = 3.6$$

电力变压器 T：

$$X_T^* = \frac{U_k\%}{100} \frac{S_d}{S_{r.T}} = \frac{4.5}{100} * \frac{100}{1000 \times 10^{-3}} = 4.5$$

线路 XL2：

$$X_{L2}^* = xl \frac{S_d}{(cU_n)^2} = 0.4 * 0.1 * \frac{100}{(10.5)^2} = 0.036$$

在高压侧 K1 断点处：

$$X_{\Sigma k1}^* = X_s^* + X_{L1}^* = 0.2 + 3.6 = 3.8$$

高压侧三相短路电流：

$$I_{k1} = \frac{I_{d1}}{X_{\Sigma k1}^*} = \frac{5.5}{3.8} = 1.45kA$$

$$i_{sh} = 2.55I_{k1} = 2.55 \times 1.45kA = 3.69kA$$

$$I_{sh} = 1.51I_{k1} = 1.51 \times 1.45kA = 2.19kA$$

在低压侧 K2 断点处:

$$X_{\Sigma k2}^* = X_s^* + X_{L1}^* + \frac{X_T^*}{2} + X_{L2}^* = 0.2 + 3.6 + \frac{4.5}{2} + 0.036 = 6.09$$

低压侧三相短路电流:

$$I_{k2} = \frac{I_{d2}}{X_{\Sigma k2}^*} = \frac{144.3}{6.09} = 23.69kA$$

$$i_{sh} = 1.84I_{k2} = 1.84 \times 23.69kA = 43.59kA$$

$$I_{sh} = 1.09I_{k2} = 1.09 \times 23.69kA = 25.82kA$$

八、配电线路的敷设

8.1 配电线路选择的要求与规定

配电方式主要有放射式、树干式和混合式。本图书馆主要采用放射式供电,每个配电柜和线路上的负荷应尽量平衡。

①由低压配电间供电的照明回路的计算电流不宜大于 100A,单项供电线路的电流不宜超过 30A,每一回路连接的配电箱不宜超过 4 个。

②室内分支线路的每一单相回路不宜超过 15A,其长度 220 / 380 三相四线制线路不宜超过 100m,单相 220V 线路不宜超过 35m

③在照明分支回路中应避免采用三项低压断路器对三个单相分支回路进行控制的保护。

④照明系统中的每一单相回路,不宜超过 16A 灯具为单相回路时数量不宜超过 25 个,大型建筑组合灯具每一单相回路不超过 25A,光源数量不宜超过 60 个。

⑤当照明回路采用遥控方式时,应同时具有解除遥控的可能性。

⑥重要场所气体放电灯的照明线路,其中性线截面应与相线规格相同。

8.2 线缆的敷设规定

线路敷设的规定:

① 符合下列场所的环境特征,如环境潮湿程度、环境宽敞通风情况等。

② 符合建筑物和构建物的特征,如采用预知还是现浇、框架结构、滑升模板施工情况不同时则管线的设计部位不同。

③ 人与布线之间可接近的程度,如机房、仓库、车间等人与布线之间可接近的程度明显不同。

- ④ 考虑断路可能出现的几点应力, 如配电室和负荷末端显然不同。
- ⑤ 在安装期间或运行中布线可能遭受的其它应力和导线自重。
- ⑥ 线路装置应有足够的绝缘强度, 能满足相间和相对地的绝缘要求。
- ⑦ 导线和电缆安装敷设应根据《民用建筑电线电缆防火设计规范》的规定。
- ⑧ 线路装置必须按规程装设, 并符合安全技术要求, 布线合理、安装牢固、便于维修、还要美观整齐。

8.3 配电线路的敷设应避免环境造成的影响

- ① 应避免由外部热源产生热效应的影响。
- ② 应防止在使用过程中因水的侵入或因进入固体物而带来的影响。
- ③ 应防止外部机械性损伤而造成的影响。
- ④ 在有大量灰尘的场所, 应避免由于灰尘聚集在布线上所带来的影响。
- ⑤ 应避免由于强烈的阳光辐射带来的危害。

8.4 线路敷设

导线的敷设方法有许多种, 按线路在网球中心内敷设位置的不同, 分为明敷设和暗敷设; 按在结构上敷设位置不同, 分为沿墙、沿柱、沿梁、沿顶棚和沿地面敷设导线明敷设, 是指线路敷设在建筑物表面可以看得见的部位。

导线明敷设是在建筑物全部完工以后进行, 一般用于简易建筑或新增加的线路。导线暗敷设, 是指导线敷设在建筑物内的管道中。导线暗敷设与建筑结构施工同步进行, 在施工过程中首先把各种导管和预埋件置于建筑结构中, 建筑完工后再完成导线敷设工作。暗敷设是建筑物内导线敷设的主要方式。

本网球中心一般线路的敷设方式采用穿阻燃型 PVC 管暗敷设于墙、顶板、梁柱及吊顶内。应急照明线路采用阻燃型 PVC 管在结构上内暗敷设并保证有一定的覆盖层, 当不能满足上述要求时应采用钢管保护, 并采用防火处理。照明回路和插座回路不得合穿一管, 相同路径上性质相同的回路可以合穿一管但零线不得共用, 保护线共用时截面应取钢管内最大的相线截面, 各种线路的保护管内所穿导线数量最多不超过 8 根。照明支线均采用 2.5 mm^2 , 插座支线均采用 4 mm^2

8.5 电缆敷设

配电电缆从配电室配出在配电间内采用梯级型电缆桥架敷设。各层水平敷设的电缆数量较多时应采用梯级型电缆桥架, 室内电缆多采用电缆沟敷设, 或者穿

镀锌管埋地敷设、或者穿管沿墙暗敷,因为这样敷设不影响室内的美观。如果室内有防静电地板的话,也可以将桥架铺设在地板下头沿桥架敷设。屋顶有吊顶的话,也可以将配管放在屋顶吊顶能盖住的地方沿屋顶配管敷设。如果室内有现场仪表需要接线,那么需要穿金属软管敷设。较少时采用塑料卡钉固定于墙上,设备间无吊顶时采用穿钢管在设备层内暗敷。所有裸露的电缆,除配电间内的电缆外,当敷设高度不大于 2m 时均加钢管保护。空调设备的电源有各层的空调配电箱集中供电,风机盘管的供电线路采用穿 PVC 管沿墙或在吊顶内暗敷,调速开关应采用暗装。

电缆的敷设应符合下列规定:

①任何方式敷设的电缆,无论在垂直、水平转向部位和电缆热伸缩部位以及蛇行弧部位的弯曲半径,不宜小于所规定的弯曲半径。

②电缆支架的层间垂直距离,应满足电缆能方便地敷设和固定,在多根电缆同层支架敷设时,有更换或增设任意电缆的可能。

③在电缆沟电缆夹层内安装的电缆支架底板和顶板的净距离要合适。

④电缆沟或隧道内通道净宽,要符合相关规定。

⑤电缆线路的设计分段长度,除应满足电缆护层感应电压的允许值外还要结合施工条件和施工机具等因素。

九、接地与防雷设计

9.1 避雷针分析

避雷针通常采用镀锌圆钢或镀锌焊接钢管制成。针长 1m 以下时,圆钢直径不小于 12mm,钢管直径不小于 20mm;针长 1~2m 时,圆钢直径不小于 16mm,钢管直径不小于 25mm。它通常安装在钢筋水泥杆(支柱)或构架上,它的下端要经引下线与接地装置连接。

我国过去的防雷设计规范,对避雷针和避雷线的保护范围都是按“折线法”来确定的,实践证明是安全的,已装避雷设施不可能废除,因此目前在输配电线路和配电所中仍被采用。而现行国家标准 GB50057—2010《建筑物防雷设计规范》则规定采用“滚球法”来确定,以便与国际电工委员会(IEC)标准接轨。

所谓“滚球法”,就是选择一个半径为 h (滚球半径)的球体,沿需要防护直击雷的点位滚动。如果球体只接触到避雷针(线)或避雷针(线)与地面,而不触及

需要保护的部位、则该部位就在避雷针（线）的保护范围之内。

9.2 避雷针计算

公式如下：
$$r_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)}$$

$$r_x = (h - h_x)p \quad h_x \geq h/2$$

$$r_x = (1.5h - 2h_x)p \quad h_x < h/2$$

式中： r_x 是避雷针在 h_x 高度的平面上的保护半径

h_r 是滚球半径如下图表 9-8

h_x 被保护物的高度

P 是避雷针的高度影响系数

| 防雷类别 | 滚球半径/m | 避雷网网格尺寸/m |
|----------|--------|---------------|
| 第一类防雷建筑物 | 30 | 5*5 或 6*4 |
| 第二类防雷建筑物 | 45 | 10*10 或 12*8 |
| 第三类防雷建筑物 | 60 | 20*20 或 24*16 |

表 9-8 不同类别防雷建筑物的滚球半径及避雷网的网格尺寸

由于我们保护的是奥体网球中心，是宽大的建筑物所以我们采用避雷带或者避雷网,奥体中心的网球中心占地面积约 5.23 万平米，高度约 41 米，我们选用避雷针一般选用 20-30 米，由计算公式二可算得一根避雷针所保护的半径约 11 米，所以一根避雷针所保护的半径约为 380 平方米，再用整体面积除以一根避雷针的保护范围，约得 138 根避雷针。

引下线是外部防雷装置的一部分，它可将接闪器雷电流传导至接地装置。为减少由于雷电流通过外部防雷装置引起损坏的概率，引下线的布置要满足下列要求：

- 1) 有几个并联雷电流通道存在。
- 2) 雷电流通道的长度最小。
- 3) 按防雷等电位要求，将建筑物导电部件进行等电位联结。

下图为防雷引下线的数量及间距按表 9-9 要求设置：

| 建筑物防 雷分类 | 引下线间距/m | | 引下线数量 | 备注 |
|--------------|-------------|------------------------------|----------|----------------------------|
| | 人工敷设引 下线 | 利用自然引下 线 | | |
| 第一类防 雷建筑物 | ≤ 12 | --- | ≥ 2 | 不采用独立避 雷针、架空避 雷线（网）时 |
| 第二类防 雷建筑物 | ≤ 18 | 按柱跨度设 置，但平均值 ≤ 18 | ≥ 2 | |
| 第三类防 雷建筑物 | ≤ 25 | 按柱跨度设 置，但平均值 ≤ 25 | ≥ 2 | 40m 以下建筑物 以外 |

表 9-9 防雷引下线的数量及间距

附录

1. 网球中心照明灯具选择

| 类别 | 照度标准 值/lx (中) | 灯盏型号 | 灯盏个 数 |
|-------|---------------------|------------------|----------|
| 决赛场 | 1500 | 网球场专用照明灯 400W | 12 |
| 室内场地 | 500 | 网球场专用照明灯 400W | 9 |
| 半决赛场 | 750 | 网球场专用照明灯 400W | 6 |
| 休息室 | 50 | 节能灯 20W | 12 |
| 办公室 | 100 | 三管荧光灯 40W | 2 |
| 会议室 | 70 | 三管荧光灯 40W | 6 |
| 走廊 | 20 | 节能灯 20W | 40 |
| 媒体采访问 | 70 | 三管荧光灯 40W | 4 |
| 楼梯间 | 30 | 应急照明灯 10W | 4 |
| 空调间 | 30 | 节能灯 20W | 8 |
| 医护用房 | 100 | 三管荧光灯 40W | 2 |
| 食品贩卖处 | 50 | 节能灯 20W | 8 |
| 媒体休息室 | 50 | 节能灯 20W | 6 |
| 配电室 | 30 | 节能灯 20W | 2 |
| 维修间 | 30 | 节能灯 20W | 2 |
| 观众席 | 100 | LED 球场灯 200W | 6 |
| 更衣室 | 30 | 节能灯 20W | 2 |
| 贵宾室 | 50 | 节能灯 20W | 3 |
| 运动俱乐部 | 100 | 三管荧光灯 40W | 4 |
| 储藏间 | 30 | 节能灯 20W | 3 |
| 卫生间 | 30 | 节能灯 20W | 1 |
| 淋浴间 | 30 | 节能灯 20W | 2 |

表 1.1 网球中心建筑照明灯具选择

2. 网球中心建筑计算负荷

| 负荷名称 | 安装 功率 kw | 需要 系数 K_d | 功率 因数 $\cos\varphi$ | $\tan\varphi$ | 有功 功率 (kw) P_c | 无功功 率 (kvar) Q_c | 视在功 率 (kva) S_c |
|------------|----------------|-------------------|---------------------------|---------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 决赛区 F1 照明 | 240 | 0.8 | 0.95 | 0.33 | 192 | 63.36 | 202.18 |
| 决赛区 F2 照明 | 33.4 | 0.8 | 0.95 | 0.33 | 26.72 | 8.82 | 28.14 |
| 决赛区 F3 照明 | 33.4 | 0.8 | 0.95 | 0.33 | 26.72 | 8.82 | 28.14 |
| 半决赛区照明 | 128.3 | 0.8 | 0.95 | 0.33 | 102.6 | 33.87 | 108.04 |
| 应急照明 | 14 | 0.8 | 0.95 | 0.33 | 11.2 | 3.69 | 11.79 |
| 电脑机房 | 15.8 | 0.8 | 0.75 | 0.88 | 12.64 | 11.12 | 16.83 |
| 冷热水机组 | 800 | 0.8 | 0.8 | 0.75 | 640 | 480 | 800 |
| 冷却塔 | 40 | 0.75 | 0.8 | 0.75 | 30 | 22.5 | 37.5 |
| 冷冻水泵 | 120 | 0.75 | 0.8 | 0.75 | 90 | 67.5 | 112.5 |
| 冷却水泵 | 160 | 0.75 | 0.8 | 0.75 | 120 | 90 | 150 |
| 决赛区 F1 风机盘 | 25 | 0.75 | 0.8 | 0.75 | 18.75 | 13.88 | 23.44 |
| 决赛区 F2 风机盘 | 25 | 0.75 | 0.8 | 0.75 | 18.75 | 13.88 | 23.44 |
| 决赛区 F3 风机盘 | 25 | 0.75 | 0.8 | 0.75 | 18.75 | 13.88 | 23.44 |
| 卫生用通风机 | 15.2 | 0.85 | 0.8 | 0.75 | 12.9 | 9.6 | 16.08 |

表 1.2 网球中心建筑计算负荷

3. 电缆选择

| 设备 | 电缆 | | | 来处 | 去处 |
|-----------|-------------|-------|------------|------|--------------|
| | 型号 | 规格 | 长度 (km) | | |
| 变压器 | YJV-6/10kV | 3×70 | 10 | 地埋电缆 | 配电室 |
| 决赛区 F1 照明 | YJV-0.6/1kV | 4×240 | 0.1 | 配电室 | 决赛区 F1 低压配电箱 |
| 决赛区 F2 | YJV-0.6/1kV | 5×25 | 0.1 | 配电室 | 决赛区 F2 低压 |

| | | | | | |
|-----------|-------------|-------|-----|-----|---------------|
| 照明 | | | | | 配电箱 |
| 决赛区 F3 照明 | YJV-0.6/1kV | 5×25 | 0.1 | 配电室 | 决赛区 F3 的低压配电箱 |
| 应急照明 | YJV-0.6/1kV | 5×6 | 0.1 | 配电室 | 应急层低压配电箱 |
| 电脑 | YJV-0.6/1kV | 5×6 | 0.1 | 配电室 | 电脑低压配电箱 |
| 半决赛区照明 | YJV-0.6/1kV | 5×150 | 0.1 | 配电室 | 半决赛区低压配电箱 |
| 冷热水机组 | YJV-0.6/1kV | 4×300 | 0.1 | 配电室 | 冷热水机组低压配电箱 |
| 冷却塔 | YJV-0.6/1kV | 4×10 | 0.1 | 配电室 | 冷却塔低压配电箱 |
| 冷冻水泵 | YJV-0.6/1kV | 4×95 | 0.2 | 配电室 | 冷冻水泵低压配电箱 |
| 冷却水泵 | YJV-0.6/1kV | 4×70 | 0.1 | 配电室 | 冷却水泵低压配电箱 |
| 风机盘管 | YJV-0.6/1kV | 4×70 | 0.1 | 配电室 | 风机盘管低压配电箱 |
| 卫生用通风机 | YJV-0.6/1kV | 4×4 | 0.1 | 配电室 | 卫生用排风机低压配电箱 |

表 1.3 电缆选择

4. 设备断路器选择

| 设备 | 断路器型号 |
|-----------|--------------------|
| 变压器 | SN10-10I/63 |
| 决赛区 F1 照明 | CM1-800M 400V/700A |
| 决赛区 F2 照明 | CM1-100M 400V/100A |
| 决赛区 F3 照明 | CM1-100M 400V/100A |
| 应急照明 | CM1-100M 400V/40A |

| | |
|--------|--------------------|
| 电脑 | CM1-100M 400V/50A |
| 半决赛区照明 | CM1-400M 400V/400A |
| 冷热水机组 | CM1-400 400V/400A |
| 冷却塔 | CM1-100M 400V/40A |
| 冷冻水泵 | CM1-225M 400V/180A |
| 冷却水泵 | CM1-400M 400V/250A |
| 风机盘管 | CM1-100M 400V/50A |
| 卫生用通风机 | CM1-63M 400V/6A |

表 1.4 设备断路器选择