

中华人民共和国水利行业标准

SL 485—2010

---

**水利水电工程厂（站）用电  
系统设计规范**

**Water resources and hydropower engineering  
design code for auxiliary power system**

**2010-10-11 发布**

**2011-01-11 实施**

---

**中华人民共和国水利部 发布**

# 中华人民共和国水利部

## 关于批准发布水利行业标准的公告

2010 年第 37 号

中华人民共和国水利部批准《水利水电工程厂（站）用电系统设计规范》（SL 485—2010）标准为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水利水电工程厂（站）用电系统设计规范	SL 485—2010		2010.10.11	2011.01.11

二〇一〇年十月十一日

## 前 言

根据水利部水利水电规划设计管理局水总局科〔2004〕11号《关于开展2004年第一批水利水电勘测设计标准编制工作的通知》及《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求,编制本标准。

本标准共9章25节181条和6个附录,主要技术内容有:

- 厂(站)用电接线;
- 厂(站)用电变压器选择;
- 厂(站)用电电动机;
- 厂(站)用电系统短路电流计算;
- 厂(站)用电系统电气设备和导体选择;
- 柴油发电机组的选择;
- 厂(站)用电电气设备布置。

本标准批准部门:中华人民共和国水利部

本标准主持机构:水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位:水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位:中水东北勘测设计研究有限责任公司

本标准出版、发行单位:中国水利水电出版社

本标准主要起草人:朱维志(主编) 朱杰民 范立军

潘虹 白丽 陈喜坤 刘岳山

陈立秋 崇春莹 刘瑜

本标准审查会议技术负责人:温续余 王庆明

本标准体例格式审查人:曹阳

# 目 次

1	总则 .....	1
2	术语 .....	2
3	厂(站)用电接线 .....	4
3.1	厂(站)用电电源 .....	4
3.2	厂(站)用电电压 .....	5
3.3	接线方式 .....	5
3.4	负荷的连接与供电方式 .....	7
3.5	检修供电 .....	8
3.6	消防供电 .....	9
4	厂(站)用电变压器选择 .....	10
4.1	最大负荷的分析统计 .....	10
4.2	变压器型式选择 .....	11
4.3	变压器容量选择 .....	11
4.4	变压器阻抗选择 .....	12
4.5	电压调整 .....	12
4.6	电动机启动时的电压校验 .....	13
5	厂(站)用电电动机 .....	14
5.1	电动机的型式、电压选择与容量校验 .....	14
5.2	电动机启动方式选择 .....	15
6	厂(站)用电系统短路电流计算 .....	16
6.1	高压系统短路电流计算 .....	16
6.2	低压系统短路电流计算 .....	16
7	厂(站)用电系统电气设备和导体选择 .....	18
7.1	高压电气设备和导体选择 .....	18
7.2	低压电气设备和导体选择 .....	18

7.3 低压电器的组合 .....	22
8 柴油发电机组的选择 .....	24
8.1 型式选择 .....	24
8.2 容量选择 .....	25
9 厂(站)用电电气设备布置 .....	26
9.1 变压器布置 .....	26
9.2 配电装置布置 .....	27
9.3 柴油发电机组的布置 .....	28
9.4 对土建的要求 .....	29
附录 A 主要厂(站)用电负荷特性 .....	31
附录 B 厂(站)用电最大负荷计算 .....	38
附录 C 厂(站)用电电压调整计算 .....	41
附录 D 电动机启动电压计算 .....	44
附录 E 厂(站)用电系统短路电流实用计算 .....	49
附录 F 柴油发电机组的容量计算 .....	56
标准用词说明 .....	59
条文说明 .....	61

# 1 总 则

**1.0.1** 为明确水利水电工程厂（站）用电系统设计要求，做到安全、经济、可靠运行，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于大中型水利水电工程的水力发电厂（不含抽水蓄能电站）厂用电、泵站站用电系统设计。

**1.0.3** 厂（站）用电系统应根据工程的规模、电气主接线、运行、检修方式、初期和分期过渡（投运）要求等特点，并结合自然环境条件，经济合理地制定设计方案。

**1.0.4** 本标准引用下列标准：

《旋转电机整体结构的防护等级（IP 代码）分级》（GB/T 4942.1）

《水利水电工程电缆设计规范》（SL 344）

《水利水电工程设计防火规范》（SDJ 278）

《民用建筑电气设计规范》（JGJ 16）

**1.0.5** 厂（站）用电系统设计除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

**2.0.1 厂用电** hydropower plant auxiliary power system  
与水力发电厂生产直接有关的负荷用电。

**2.0.2 站用电** pumping station auxiliary power system  
与泵站运行有关的辅助负荷用电。

**2.0.3 机组自用电** unit service power (unit auxiliary supply)  
与机组运行直接有关的负荷用电，如机组压油装置油泵、漏油泵、进水阀压油装置油泵、机组（主变压器）冷却水（油）泵、水轮机（水泵）上盖排水泵、主变压器、励磁装置冷却风扇等用电。

**2.0.4 单机自用电** unit service power for single unit  
单元接线每一台机组的自用电。

**2.0.5 全厂（站）公用电** station (pumping station) public service power

不属于机组自用电而是全厂（站）共用的负荷用电，如渗漏排水泵、检修排水泵、空气压缩机、厂房桥式起重机、通风、空调、消防、照明等用电。

**2.0.6 机组自用电变压器** unit service transformer  
专供机组自用电的变压器。

**2.0.7 单机自用电变压器** unit service transformer for single unit  
专供一台机组自用电的变压器。

**2.0.8 全厂（站）公用电变压器** station (pumping station) service transformer

专供全厂（站）公用电的变压器。

**2.0.9 主配电屏** main distribution board

与厂（站）用电变压器低压侧直接连接的且有接受厂（站）用电变压器供电并将其分配给各负荷点的功能的一组低压配

电屏。

**2.0.10 分配电屏 sub-distribution board**

接受主配电屏某回路供电并具有将其分配给附近各负荷的功能的一面或一组低压配电屏，一般为双层辐射式供电的第二级。

**2.0.11 双层辐射式供电 two-level radial electric distribution**

主配电屏以辐射式供电给分配电屏，分配电屏再以辐射式供电给负荷的供电方式。

**2.0.12 单层辐射式供电 one-level radial electric distribution**

主配电屏以辐射式直接供电给负荷的供电方式。

**2.0.13 空载自启动 self start-up by no-load transformer**

备用电源空载状态自动投入失去电源的母线时所形成的电动机自启动。

**2.0.14 失压自启动 self start-up at voltage recovery after fault**

运行中突然出现事故低电压，当事故消除，母线电压恢复时形成的电动机自启动。

**2.0.15 带负荷自启动 self start-up by on-load transformer**

备用电源（或工作电源）已带部分负荷，又自动投入失去电源的母线时形成的电动机自启动。

**2.0.16 黑启动 black start**

当发电厂机组不是靠本厂机组或与其连接的电力网的电源时的启动。

## 3 厂（站）用电接线

### 3.1 厂（站）用电电源

3.1.1 厂（站）用电电源应满足以下基本要求：

- 1 各种运行方式下的用电负荷需要并保证供电。
- 2 电源应相对独立。
- 3 当一个电源发生故障时，另一个电源应能自动或远方操作切换投入。

3.1.2 厂（站）用电电源数量的设置，在各种运行方式下应符合以下原则：

- 1 全厂机组运行时，大型水力发电厂应不少于 3 个厂用电电源；中型水力发电厂应不少于 2 个厂用电电源。
- 2 部分机组运行时，大型水力发电厂至少应有 2 个厂用电电源同时供电；中型水力发电厂也应有 2 个厂用电电源，但允许其中 1 个处于备用状态。
- 3 全厂停机时，大型水力发电厂应有 2 个厂用电电源，但允许其中 1 个处于备用状态；中型水力发电厂可有 1 个厂用电电源供电。

4 首台机组投运时，其厂用电电源数量除应满足本条第 2 款外，其中 1 个电源应由本厂厂用电提供。

5 站用电电源数量应根据泵站运行方式、接线形式和站用电的负荷性质等综合考虑确定，不宜超过 2 个。

3.1.3 厂（站）用电电源的取得可采用以下方式：

1 厂用电电源应优先从发电机电压母线或单元分支线上引接，由本厂机组供电。当单元接线上装设有断路器或隔离开关时，厂用电电源宜在主变压器低压侧引接。

2 水力发电厂应有可靠的外来厂用电源。外来厂用电源的取得可采用以下方式：

- 1) 通过主变压器由系统倒送。
- 2) 高压联络自耦变压器的第三绕组。
- 3) 与系统连接的地区电网、近区或保留的施工变电所。
- 4) 地理位置相近的水力发电厂。
- 5) 本水力发电厂的高压侧母线。

### 3 站用电电源的取得可采用以下方式:

- 1) 泵站主电源。
- 2) 地区电网的其他电源。

3.1.4 从 110kV 及以上的高压侧母线上引接厂(站)用电电源应通过技术经济比较论证确定。

3.1.5 有泄洪要求的大坝闸门启闭机应有 2 个电源。

3.1.6 对特别重要的大中型水力发电厂、泵站、泄洪设施等,如有可能失去厂(站)用电电源,影响大坝安全度汛或可能水淹厂房而危及人身设备安全时,应设置能自动快速启动的柴油发电机组或其他应急电源,其容量应满足泄洪设施、渗漏排水等可能出现的最大负荷的需要。

## 3.2 厂(站)用电电压

3.2.1 厂(站)用电系统由一级低压供电或由高、低两级电压供电,应根据电厂或泵站的装机规模、枢纽布置、厂坝区负荷分布、厂(站)用电负荷大小及地区电网等条件进行综合分析比较确定。中型水力发电厂厂用电和泵站站用电宜采用 380V 一级电压供电。

3.2.2 应根据发电机电压、厂用电动机电压、地区电源电压、施工用电电压及负荷分布等情况综合分析比较确定高压厂用电电压,宜采用 10kV。

3.2.3 低压厂(站)用电的电压应采用 380/220V 中性点直接接地的 TN-C 或 TN-C-S 系统。

## 3.3 接线方式

3.3.1 采用两级厂用电电压的大型水力发电厂,宜将机组自用

电与全厂公用电分开，分别用不同的变压器组供电。

**3.3.2** 中型水力发电厂、泵站的机组自用电与全厂（站）公用电宜采用混合供电方式。

**3.3.3** 高压厂用电系统宜采用单母线分段或分段环形接线，分段数应根据电源配置情况确定。

**3.3.4** 当泵站设置 2 台及以上站用变压器时，宜采用单母线分段接线。

**3.3.5** 大型水力发电厂的机组自用电变压器直接至高压厂用电母线上。当机组台数多，单机容量大并采用单元接线，单机自用电负荷超过 315kVA 时，其供电方式为：

1 担任峰荷，其单机自用电负荷宜由接至高压厂用电母线的单机自用电变压器供电。

2 担任基荷，其单机自用电负荷宜由接至高压厂用电母线的单机自用电变压器供电，也可由接至机端的单机自用电变压器供电。

**3.3.6** 当发电机引出线及其分支线均采用离相封闭母线，且分支回路采用单相设备或分相隔离措施时，厂用电变压器的高压侧可不装设断路器和隔离开关。

**3.3.7** 当厂用电分支线未采用离相封闭母线时，厂用电变压器高压侧宜装设断路器。如果受条件限制，装设的断路器额定开断短路电流小于该回路计算的开断电流时，则应采取下列措施：

1 采取限制短路电流措施，以便采用额定短路开断电流较小的断路器。

2 采用高压熔断器或高压限流熔断器组合保护装置，但与限流熔断器配套使用的负荷开关或断路器应能可靠地开断过负荷电流而不误切短路电流，同时应校验厂用电变压器高、低压侧保护动作的选择性。

**3.3.8** 水力发电厂厂内用电变压器与坝区用电变压器的高压侧不宜合用一组断路器。厂用电变压器与近区用电变压器的高压侧不应合用一组断路器，也不应以三绕组变压器供电。

### 3.4 负荷的连接与供电方式

#### 3.4.1 高压厂用电负荷的连接应符合以下要求：

1 厂、坝区的高压厂用电电动机和低压厂用电变压器宜与高压厂用电母线直接连接。

2 如厂、坝区负荷的容量较大，距离较远时，宜装设单独配电变压器供电。

3 同一用途的高压厂用电电动机、低压厂用电变压器应分别接至不同段的高压母线上。

4 水力发电厂的近区及生活区用电，宜从地区电网引接，如从高压厂用电母线上引接应采用单独的配电变压器供电。

3.4.2 水力发电厂内及其附近的厂用电低压负荷宜以主、分配电屏双层辐射式供电，分配电屏宜布置于所供电的负荷附近。为保护动作的选择性，重要负荷辐射式供电的级数不宜多于两级。对靠近主配电屏或容量较大或可靠性要求较高的负荷，也可由主配电屏以单层辐射式直接供电。当机组台数较少且容量较小时，可采用单层辐射式供电。

3.4.3 泵站站用电负荷宜以单层辐射式供电。

3.4.4 厂（站）用电负荷按重要性可分为三类，其主要特性见附录 A。

1 I类负荷是指停止此类负荷供电，将使水力发电厂或泵站不能正常运行或停运，应保证其供电的可靠性。允许中断供电的时间根据负荷性质可为自动或人工切换电源的时间。

2 II类负荷是指短时停止此类负荷供电不会影响水力发电厂或泵站正常运行，宜保证其供电的可靠性。允许中断供电的时间为人工切换操作或紧急修复的时间。

3 III类负荷是指允许较长时间停电而不会影响水力发电厂或泵站正常运行。

3.4.5 I类负荷应有 2 个电源供电，并应符合以下规定：

1 对机械上互为备用的负荷，应从不同分段的主配电屏或自不同分段主配电屏所供电的分配电屏分别引出电源供电。

2 对机械上只有 1 套的负荷，也应从不同分段的主配电屏或自不同分段主配电屏所供电的分配电屏分别引出电源供电，2 个电源经自动切换操作可互为备用。

3 对向负荷供电的不同电源的两分配电屏之间设联络线互为备用时，该联络线上应装设操作电器。

4 对向负荷供电的分配电屏，应以双电源自动切换装置与不同分段的主配电屏连接。

5 对装有双电源切换装置的分配电屏或控制箱，宜靠近用电负荷。

3.4.6 II 类负荷可采用以下方式供电：

1 由主配电屏或分配电屏以单层辐射或双层辐射式供电。

2 对数量较多，但不同时运行的负荷以环形接线方式供电，环形供电的两端宜接至不同电源的配电屏上。

3.4.7 对 III 类负荷可采用干线式供电。

3.4.8 在分配电屏的电源进线回路上宜装设隔离电器，而不宜装设保护电器。

3.4.9 主、分配电屏应适当预留备用出线回路。

## 3.5 检修供电

3.5.1 检修负荷属 III 类负荷，可以干线式供电。在检修负荷集中的地点应设置专用检修配电屏（箱），其设置地点和数量可依据工程具体情况确定。

3.5.2 检修配电屏（箱）宜由低压厂（站）用电主配电屏直接引出回路供电。对远离主配电屏的检修配电屏（箱）或其他检修负荷，也可由就近的分配电屏引接电源。

3.5.3 对检修负荷特别大的大型水力发电厂，经论证可设置检修专用变压器。

3.5.4 厂用电备用电源变压器也可兼供检修用电。

## 3.6 消防供电

3.6.1 消防用电设备应按二级负荷供电。

3.6.2 消防用电设备应采用专用的供电回路，当发生火灾时，应保证消防用电。

3.6.3 消防用电设备应采用双电源供电，并在其配电线路最末一级配电屏（箱）处设置双电源自动切换装置。

## 4 厂（站）用电变压器选择

### 4.1 最大负荷的分析统计

4.1.1 厂（站）用电最大负荷应按下列各种运行方式分别分析统计：

- 1 全部机组（泵组）运行时。
- 2 部分机组（泵组）大修，其余机组（泵组）运行（包括调相）时。
- 3 全部机组（泵组）停运时。
- 4 可能使厂（站）用电变压器出现最大负荷的其他运行方式。

4.1.2 全厂（站）最大负荷按 4.1.1 条第 1、第 2 款运行方式分析统计取其最大者，具体厂（站）用电电源最大负荷可在 4.1.1 条各款中按可能出现的运行方式确定。

4.1.3 厂（站）用电最大负荷应按下列原则计算：

- 1 经常连续及经常短时运行的负荷均应计算。
- 2 经常断续运行负荷应考虑同时率后计入。
- 3 不经常连续及不经常短时运行的负荷应按设备组合运行情况计算，但不计仅在事故情况下运行的负荷。
- 4 不经常断续运行的负荷，仅计入在机组（泵组）检修时经常使用的负荷。

5 互为备用的电动机，只计入参加运行的部分；当由不同电源供电，在计算该电源最大负荷时，应分别计入。

4.1.4 厂（站）用电最大负荷的计算方法见附录 B。厂用电最大负荷计算宜采用综合系数法和负荷统计法，站用电最大负荷计算宜采用分析统计法。

4.1.5 各配电变压器的最大负荷宜根据所连负荷的具体情况分析统计确定。

## 4.2 变压器型式选择

4.2.1 布置在厂房内的厂（站）用电变压器应采用干式变压器；布置在户外的厂（站）用电变压器宜选用油浸式变压器。

4.2.2 厂（站）用电变压器应选用节能型。

4.2.3 当厂用电变压器与离相封闭母线分支连接时，宜采用单相干式变压器。

4.2.4 当厂（站）用电变压器的安装地点潮湿时，应采用防潮性能好的干式变压器。

4.2.5 厂（站）用电变压器接线组别的选择，宜使电源间相位相一致。低压厂（站）用电变压器宜选用 D，yn11 连接组别的三相变压器。

## 4.3 变压器容量选择

4.3.1 厂（站）用电变压器容量的选择和校验应符合以下要求：

1 满足各种运行方式下，可能出现的最大负荷。

2 一台厂（站）用电变压器计划检修或故障时，其余厂（站）用电变压器应能担负Ⅰ类、Ⅱ类厂（站）用电负荷或短时担负厂（站）用电最大负荷。但可不考虑一台厂（站）用电变压器计划检修时另一台厂（站）用电变压器故障或两台厂（站）用电变压器同时故障的情况。

3 应保证需要自启动的电动机在故障消除后电动机启动时所连接的厂（站）用电母线电压不低于额定电压的 60%。

4.3.2 厂（站）用电变压器容量可按下列要求选择：

1 装设 2 台互为备用的厂（站）用电变压器时，每台厂（站）用电变压器的额定容量应满足所有Ⅰ类、Ⅱ类负荷或短时满足厂（站）用电最大负荷的需要。

2 装设 3 台厂（站）用电变压器互为备用或其中一台为明备用时，计及负荷分配不均匀等情况，每台的额定容量宜为厂（站）用电最大负荷的 60%。

3 装设 3 台以上厂用电变压器时，应按其接线的运行方式及所连接的负荷分析确定。

4 厂（站）用电变压器不宜采用强迫风冷时持续输出容量作为额定输出容量选择的依据。但对不经常运行或经常短时运行的厂（站）用电变压器可利用其过负荷能力。

4.3.3 厂用电单机自用电变压器的额定容量应满足该台机组最大负荷需要。当 2 台单机自用电变压器互为备用时，其容量选择宜按 4.3.2 条第 1 款进行。

4.3.4 互为备用的厂（站）用电变压器在已带自身负荷后，还应满足另一台厂（站）用电变压器需要自启动电动机成组自启动时的最低电压要求。

4.3.5 选择厂（站）用电变压器容量时，可不计其温度修正系数的影响。

## 4.4 变压器阻抗选择

4.4.1 高、低压厂（站）用电变压器的阻抗选择，应综合考虑厂（站）用电系统能采用轻型的电器设备、满足电动机正常启动和成组自启动的电压水平及对电压调整的影响等因素。

4.4.2 高、低压厂（站）用电变压器宜选用与配电变压器相同的阻抗值。

4.4.3 大容量低压厂用电变压器的阻抗是否需采用高阻抗变压器，宜通过综合分析确定。

## 4.5 电压调整

4.5.1 在正常的电源电压偏差和厂（站）用电负荷波动的情况下，厂（站）用电各级母线的电压偏差不宜超过额定电压的 $\pm 5\%$ ；当仅接有电动机时可不超过 $+10\%$ 和 $-5\%$ 。

4.5.2 接于发电机电压母线的厂用电变压器，当发电机出口电压的波动范围不超过 $\pm 5\%$ 时，宜采用无励磁调压变压器；当需由系统倒送供厂用电时，应验算电压偏差值，如超过允许值，则

应采用有载调压变压器。

**4.5.3** 经两级电压供电的低压厂用电变压器均可采用无励磁调压变压器；照明专用变压器的调压方式应经验算后确定。站用电变压器宜采用无励磁调压的变压器。

**4.5.4** 厂（站）用电电压调整计算见附录 C。

## 4.6 电动机启动时的电压校验

**4.6.1** 电动机正常启动时，所连接母线的电压降应满足下列要求：

1 电动机经常启动，应不大于 10%；不经常启动应不大于 15%。

2 电动机能保证生产机械要求的启动转矩，且在不破坏同一线路及其他用电设备供电的条件下，可不大于 20%。

3 电动机由单独的变压器供电且不经常启动时，应按生产机械要求的启动转矩确定，可大于 20%。

**4.6.2** 当电动机成组自启动时，低压厂（站）用电母线电压应不低于下列要求：

1 空载或失压自启动为 65%。

2 带负荷自启动或低压母线与高压母线串接自启动为 60%。

**4.6.3** 电动机自启动应按最不利的厂（站）用电接线与运行方式进行电压验算；对明备用变压器可按失压和空载自启动验算；对暗备用（互为备用）变压器应按带负荷自启动验算。当采用两级厂用电压供电时，对以上两种方式均应按高、低压厂用电母线串接自启动进行验算。

**4.6.4** 除过坝设施用的高压电动机外，高压电动机可不验算正常启动时电压水平。低压电动机的功率（kW）大于 20% 变压器容量（kVA）时，应验算正常启动时电动机所连接母线的电压水平。对配电支线较长的低压电动机，应验算正常启动时电动机的端子电压降。

**4.6.5** 电动机启动电压计算见附录 D。

## 5 厂（站）用电电动机

### 5.1 电动机的型式、电压选择与容量校验

5.1.1 厂（站）用电电动机应采用高效、节能的交流电动机。当交流电源消失时仍要求工作的厂用电动机可采用直流电动机。

5.1.2 厂（站）用电电动机宜采用鼠笼型异步电动机，当重载启动经校验不能满足启动力矩要求及工作条件繁重的反复短时工作制的电动机可采用绕线型异步电动机。

5.1.3 电动机的外壳防护等级和冷却方式应与周围环境条件相适应。在潮湿环境（如水轮机/水泵室、蜗壳层、闸门室、坝内廊道等），外壳防护等级宜达到 GB/T 4942.1 中 IP44 级的要求；其他一般场所，可采用不低于 IP23 级；对于有爆炸危险的场所应采用防爆型电动机。厂（站）用电电动机的冷却方式宜采用封闭自扇冷式。

5.1.4 对用于特殊环境（如高原、湿热带和屋外等）的厂（站）用电电动机，应选用适应其条件的专用电动机。

5.1.5 厂（站）用电交流电动机的电压选择应符合以下要求：

1 厂（站）用电电动机宜优先采用 380V 电压电动机，如需采用高压电动机，应进行技术经济比较确定。

2 当需要采用高压电动机时，其电压宜与高压厂用电电压一致。

5.1.6 当电动机用于 1000~4000m 的高海拔地区时，而使用地点的环境最高温度随海拔升高而递减至 40℃ 以下，如电动机温升的递增值与使用地点环境温度的递减值的关系能满足式 (5.1.6-1) 时，则电动机可按铭牌规定的额定功率运行。

$$\frac{h-1000}{100}\Delta Q \leq 40-t_0 \quad (5.1.6-1)$$

式中  $h$ ——使用地点的海拔，m；

$\Delta Q$ ——海拔每增加 100m 影响电动机温升的递增值，其值为电动机额定温升的 1%，℃；

$t_0$ ——使用地点的实际环境最高温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

当电动机温升的递增值大于使用地点环境温度的递减值，即满足式 (5.1.6-2) 时，电动机的允许极限工作温度按每超过  $1^{\circ}\text{C}$ ，降低额定功率 1% 使用。

$$\frac{h-1000}{100}\Delta Q \geq 40 - t_0 \quad (5.1.6-2)$$

## 5.2 电动机启动方式选择

5.2.1 鼠笼型厂（站）用电电动机应优先选用全压启动，当不能满足 5.2.2 条要求时，可选用降压启动方式。

5.2.2 鼠笼型电动机全压启动时，应满足以下要求：

1 电动机启动时，所连接母线的电压应满足 4.6.1 条要求。

2 电动机所配的生产机械允许全压启动。

3 供电设备的过负荷，不应超过允许值。由变压器供电时，经常启动（每天启动 6 次或以上）电动机启动时的总电流不超过变压器额定电流的 4 倍。由柴油发电机供电时，最大一台电动机启动时的总电流不宜超过柴油发电机额定电流的 1.5 倍，且应满足柴油机允许的冲击负荷要求。

4 电动机启动时，其端电压应保证有足够的启动力矩。

5.2.3 电动机采用降压启动时应满足 5.2.2 条第 1 款及第 4 款的要求。

5.2.4 鼠笼型电动机的降压启动方式，应在满足 5.2.3 条要求的前提下，按启动性能好、接线简单可靠、所用设备少、电能损耗小、价格合理等因素综合考虑确定。

5.2.5 对启动力矩大和有变速要求的较大容量低压鼠笼型电动机，宜采用变频启动装置。

5.2.6 中小容量绕线式电动机宜采用频敏变阻器启动，大容量绕线式电动机宜采用静止变频器或其他启动方式。

5.2.7 电动机启动电压计算见附录 D。

## 6 厂（站）用电系统短路电流计算

### 6.1 高压系统短路电流计算

6.1.1 本节的短路电流计算仅适用于选择与校验高压厂（站）用电系统中的电器和导体。

6.1.2 高压厂（站）用电系统短路电流计算，可不计算断路器开断时的直流分量和短路冲击电流。

6.1.3 计算短路电流时，应按可能发生最大短路电流的正常接线方式，不考虑仅在切换过程中可能出现短时并列的运行方式。

6.1.4 同时运行的高压异步电动机总容量不大于 1500kW 时，高压厂用电系统的短路电流计算可不计电动机的反馈电流。

6.1.5 由发电机端或升高电压侧引接的厂用电电源，电源侧系统阻抗可忽略。而从地区电网引接厂（站）用电电源时，应计及系统阻抗。厂（站）用电系统的短路电流的周期分量在整个短路过程中可按不衰减计算。

6.1.6 高压厂（站）用电系统短路电流实用计算见附录 E.1。

### 6.2 低压系统短路电流计算

6.2.1 低压厂（站）用电系统短路电流计算，应考虑以下几点：

1 应计及电阻。

2 采用一级电压供电的低压厂（站）用电变压器的高压侧系统阻抗可忽略不计，对于两级电压供电的低压厂用电变压器，宜计及高压侧系统阻抗。

3 在计算主配电屏及重要分配电屏母线短路电流时，若供电变压器容量大于 500kVA，应在第一周期内计及 20kW 以上的异步电动机的反馈电流。配电屏以外支线短路时可不计。

4 计算 380V 系统三相短路电流时，回路电压应按 400V 计，计算单相短路电流时，回路电压应按 220V 计。

5 导体的电阻值应取达到额定温升时相对应温度下的电阻值。

6.2.2 厂（站）用电变压器容量在 500kVA 及以下，短路电流计算可不计电动机的反馈电流。

6.2.3 低压厂（站）用电系统短路电流实用计算见附录 E.2。

## 7 厂（站）用电系统电气设备和导体选择

### 7.1 高压电气设备和导体选择

7.1.1 高压厂（站）用电系统的电器和导体选择应符合国家或行业有关标准的规定。

7.1.2 选择高压厂用电变压器之后的高压断路器时，可不计短路电流非周期分量对断路器开断能力的影响。

7.1.3 高压厂（站）用电系统的载流导体截面可不按经济电流密度选择。

7.1.4 高压厂（站）用电系统电源回路的电力电缆应采用铜芯电缆。

### 7.2 低压电气设备和导体选择

7.2.1 低压电器的选择应满足其回路的工作电压、电流、频率、额定短时耐受电流、额定峰值耐受电流、准确等级、使用环境、用途和使用类别等的要求。对短路保护电器还应满足短路条件下的开断能力。

7.2.2 低压保护电器短路时的开断能力应按该保护电器安装地点的预期短路电流周期分量有效值校验。

7.2.3 下列情况低压电器和导体的额定短时耐受电流及额定峰值耐受电流可不校验：

1 用额定电流为 60A 以下的熔断器保护的电器和导体；对于用其他熔断器保护的电器应校验其额定峰值耐受电流。

2 当熔体的额定电流不大于电缆允许载流量的 3 倍，且供电回路末端的最小短路电流大于熔体额定电流的 4 倍时，可不校验电缆的额定短时耐受电流。

3 已满足额定短路开断能力的断路器，另装保护且延时动作时间大于断路器最大短延时时间时，应校验断路器的额定短时

耐受电流。

4 采用保护式磁力启动器或装设在单独动力箱或保护外壳内的接触器。

5 用限流断路器保护的回路电器和导体可不校验其额定短时耐受电流，其额定峰值耐受电流可按限流后最大短路电流值校验。

7.2.4 校验主配电屏及重要分配电屏低压电器的开断能力时，应计及容量大于 20kW 电动机的反馈电流。当厂（站）用电变压器容量在 500kVA 及以下时可不计及。

7.2.5 低压母线应按回路的电压、电流、短路电流和周围环境等条件选择，对配电用插接式母线槽、安全滑触线还应校验其电压损失；低压电缆应按回路的电压、电流、电压损失、短路电流、敷设环境和使用条件等选择，还应满足与保护电器的配合要求。

7.2.6 低压厂（站）用电系统载流导体的截面可不按经济电流密度选择。

7.2.7 低压厂（站）用电系统的载流导体宜采用铜材。

7.2.8 低压电器和载流导体的额定短时耐受电流、额定峰值耐受电流和保护电器的开断能力校验应采用回路首端三相短路电流；对保护动作灵敏度的校验应采用回路末端的单相短路电流。

7.2.9 电动机回路正常运行时的电缆电压损失不宜大于 5%，计算电流为电动机运行时可能出现的最大工作电流值。

7.2.10 对起吊设备，应按不经常运行工作制的启动条件校验电压损失，其允许的最大电压损失（包括起吊设备内部的电压损失 2%~3%）不宜超过 15%。

7.2.11 低压厂（站）用电主配电屏的电源进线和母联断路器宜采用智能型保护且有通信接口的断路器。

7.2.12 当用断路器或熔断器作电动机或馈电干线保护时，断路器过电流脱扣器的整定电流或熔断器熔体的额定电流应不小于电动机的额定电流或馈电干线的计算电流；当电动机正常启动或成

组自启动时，保护装置不应误动作；应按保护范围内最小短路电流校验其灵敏度。

**7.2.13** 用断路器保护的回路，断路器瞬时或短延时过电流脱扣器按 1.3 倍整定的整定电流值不应大于回路的短路电流，当末端单相短路的短路电流难以满足灵敏度要求时，可采用零序保护或带长延时过电流脱扣器的断路器。如选用长延时过电流脱扣器时，其动作时间不宜大于 15s。

**7.2.14** 断路器脱扣器整定电流应满足式 (7.2.14-1) ~ 式 (7.2.14-4) 的要求：

过负荷保护（长延时）脱扣器整定电流：

$$I_r \geq I_c \quad (7.2.14-1)$$

短路保护（短延时）脱扣器整定电流：

$$I_m = 1.35 I_{cmax} \quad (7.2.14-2)$$

短路保护（瞬时）脱扣器整定电流：

$$I_i = K_1 I_{cmax} \quad (7.2.14-3)$$

接地故障保护脱扣器整定电流：

$$I_g = K_2 I_c \quad (7.2.14-4)$$

式中  $I_r$ ——过负荷保护脱扣器整定电流，A；

$I_c$ ——回路的正常工作电流，A；

$I_m$ ——短延时保护脱扣器整定电流，A；

$I_{cmax}$ ——对于电动机回路，即为启动电流，对于馈电回路应考虑回路中最大的一台电动机启动电流和除此之外的回路电流之和，A；

$I_i$ ——瞬时保护脱扣器整定电流，A；

$K_1$ ——可靠系数，动作时间不大于 0.02s，取 1.7~2.0；  
动作时间大于 0.02s，取 1.35；

$I_g$ ——接地故障保护脱扣器整定电流，A；

$K_2$ ——躲过回路三相不平衡电流的可靠系数，取 0.3~1.0。

**7.2.15** 热继电器的整定值应按电动机的额定电流选择，除下列情况外，应装设带断相保护的热继电器。

1 被操作的电动机定子为星形接线。

2 用断路器作短路保护。

**7.2.16 断路器和熔断器的额定短路开断能力应按以下要求校验：**

1 断路器和熔断器允许的额定短路开断能力应大于安装地点的预期短路电流值（周期分量有效值），断路器的开断能力尚应符合以下要求：

1) 当利用断路器本身的瞬时过电流脱扣器作为短路保护时，应按断路器的额定短路开断能力校验。

2) 当利用断路器本身的短延时过电流脱扣器作为短路保护时，应按断路器相应延时下的短路开断能力校验。

3) 当另装设继电保护时，如其动作时间未超过该断路器短延时脱扣器的最长延时，则应按短延时脱扣下的短路开断能力校验；其动作时间超过该断路器短延时脱扣器的最长延时，则应遵照产品制造厂家的规定。

4) 当电源为下进线时，应考虑其对断路器开断能力的影响。

2 对于动作时间大于4个周波的断路器，可不计异步电动机的反馈电流。

**7.2.17 当断路器装设在封闭的柜内时，应考虑其对断路器额定电流降低的影响。**

**7.2.18 正常运行由自动控制，要求失电后自启动的电动机不应装设失压脱扣装置；对不要求自启动的电动机，当变压器容量允许时，也可不装设失压脱扣装置。**

**7.2.19 低压厂（站）用电系统的电力电缆宜按以下条件选型：**

1 对大容量、重要负荷回路的电力电缆宜采用铜芯交联聚乙烯绝缘电缆。

2 消防、地下厂房通风、应急照明等重要负荷回路的电力电缆应采用铜芯阻燃型电缆。

3 对配电干线或接有单相负荷时，应采用三相四芯电力电缆。

4 对仅接有三相平衡负荷（三相电动机）的负荷分支回路，宜采用三相三芯或三相四芯电力电缆。

5 对移动式设备、便携式设备等检修供电负荷回路，应装设漏电保护装置并采用三相五芯电力电缆；单相分支回路应采用三芯电力电缆或电线。

6 对接有产生高次谐波负荷的电源进线回路和以气体放电灯为主要负荷的照明回路，应采用中性线与相导体相同截面的电力电缆。

7 厂（站）内敷设的低压电力电缆的外护层宜根据敷设方式和条件，采用塑料护套或塑料护套钢带（丝）内铠装。其类型的选择尚应符合 SL 344 的规定。

7.2.20 低压厂（站）用电系统中，对用电负荷较大，分支回路较多，供电距离较长，采用电力电缆数量多且敷设不便的供电干线或有特殊供电要求的可采用插接式母线槽。插接式母线槽的选型应满足 7.2.5 条要求。

### 7.3 低压电器的组合

7.3.1 电动机供电回路中，宜装设隔离电器、保护电器及操作电器，也可采用保护和操作合一的电器。对于供电干线可只装设隔离电器和保护电器。隔离电器可采用隔离开关、负荷开关、隔离插头等，保护电器可采用断路器、熔断器等。操作电器可采用接触器、磁力启动器、组合电器、断路器、软启动器等。

7.3.2 厂（站）用电负荷宜装设单独的保护电器。在下列情况下也可数个负荷共用一套保护电器，但应保证能迅速切除任一个负荷的短路故障。

- 1 工艺上密切相关的一组电动机。
- 2 不重要负荷。
- 3 不经常运行且容量不大的负荷。

7.3.3 在发生短路故障时，重要供电回路中的各级保护电器应有选择性地动作，具体要求如下：

1 当采用多级供电时，应满足厂（站）用电主配电屏与下级分配电屏之间的保护选择性要求。

2 当支线采用断路器作短路保护时，干线可采用带延时动作的断路器或熔断器作短路保护，熔断器熔体的熔断时间在考虑误差后应大于断路器的分闸时间。

3 当支线采用熔断器作短路保护时，干线上可采用带延时动作的断路器作短路保护，亦可采用熔断器作短路保护，其熔体应较支线上熔断器的熔体大一定级差。

7.3.4 每个电动机供电回路均应单独装设操作电器，如运行需要，一组电动机可共用一套操作电器。

7.3.5 装在主配电屏及机旁配电屏上的启动器或交流接触器与其串联的短路保护电器应协调配合。

7.3.6 用于控制Ⅰ类、Ⅱ类负荷电动机的交流接触器，不应将2台及以上装于屏、箱的同一间隔单元内。

7.3.7 照明电源回路和运行中有可能过负荷的电动机回路及其供电干线应装设过负荷保护。过负荷保护可采用断路器的热保护元件（模块）或长延时过电流脱扣器，也可采用熔断器；对电动机回路，如熔体电流过大，不能起过负荷保护作用时，可采用带热继电器的磁力启动器作过负荷保护。

7.3.8 过负荷保护宜采用反时限特性的保护电器。当采用低压断路器、封闭式或半封闭式一般用途熔断器、热继电器等电器作为过负荷保护时，保护电器与导体的配合，应满足式（7.3.8）的要求：

$$I_j \leq I_n \leq I_g \quad (7.3.8)$$

式中  $I_j$ ——线路计算负荷电流；

$I_n$ ——断路器长延时脱扣器整定电流或熔断器熔体额定电流或热继电器额定电流；

$I_g$ ——导体允许持续载流量。

7.3.9 对有爆炸或火灾危险环境中使用的保护电器与导体的配合，应按相应技术标准要求执行。

## 8 柴油发电机组的选择

### 8.1 型式选择

- 8.1.1 厂(站)用电系统的柴油发电机组应采用燃油消耗低、噪声振动小、响应迅速和运行稳定的产品。可根据系统接线、布置和环境条件采用固定式、可运载式或移动式。
- 8.1.2 柴油发电机组应采用快速自启动的应急型,当厂(站)用电系统电源失去后,柴油发电机组应能自动启动。首次启动恢复供电的时间不宜大于15s。
- 8.1.3 柴油发电机组应具有时刻准备自启动投入工作并能保证连续3次自启动成功投入的功能。当连续3次自启动失败,应能发出报警信号,并闭锁自启动回路。
- 8.1.4 柴油发电机组应装设手动启动、快速自动启动及电源自动切换装置。
- 8.1.5 柴油机宜采用高速及废气涡轮增压型。其冷却方式宜采用闭式循环水冷却;启动方式宜采用电启动,启动电源的容量应能满足6次启动的要求。
- 8.1.6 发电机额定电压宜采用0.4kV,接线应采用星形接线,中性点应能引出。当受布置和接线等条件所限时,经技术经济比较,发电机额定电压也可采用10kV或6.3kV。
- 8.1.7 发电机宜采用快速反应的无刷型自动励磁装置;应装设过电流保护和单相接地保护,还可根据需要装设纵联差动保护。
- 8.1.8 发电机额定电压为0.4kV时,其中性点的接地方式应满足下列要求:

1 当厂(站)用电系统中仅装设一台柴油发电机组时,发电机中性点应直接接地,发电机的接地形式宜与低压厂(站)用电系统的接地形式相一致。

2 当厂(站)用电系统中装设两台及以上柴油发电机组并

列运行时，发电机中性点宜经隔离开关接地；当发电机的中性导体存在环流时，应只将其中一台发电机的中性点接地。

3 当厂（站）用电系统中装设两台及以上柴油发电机组并列运行时，每台发电机的中性点可分别经限流电抗器接地。

## 8.2 容量选择

8.2.1 厂（站）用电系统中作为应急电源的柴油发电机组，其容量选择应考虑下列负荷的用电需要：

- 1 泄洪设施用电负荷。
- 2 渗漏排水用电负荷。
- 3 消防用电负荷。
- 4 涉及厂（站）安全的其他交流用电负荷。

5 当机组有黑启动要求时，尚应满足机组黑启动所必须的用电负荷。

8.2.2 柴油发电机组的容量选择应满足下列要求：

- 1 按最大计算负荷计算发电机容量。
- 2 按带负荷后仍满足最大单台电动机或成组电动机的启动需要校验发电机容量。

3 按空载启动最大的单台电动机时母线容许电压降校验发电机容量。此时厂（站）用电母线上的电压水平不宜低于额定电压的 75%，有电梯时不宜低于 80%。

8.2.3 柴油发电机组的容量计算见附录 F。

## 9 厂(站)用电电气设备布置

### 9.1 变压器布置

9.1.1 厂(站)用电干式变压器布置应满足以下要求:

1 厂(站)用电变压器宜设置安全防护外罩。相邻布置的三相变压器外罩之间最小距离不宜小于1000mm。

2 由发电机电压母线或单元分支线上引接的厂用电变压器,布置上应使分支引接线尽量缩短。

3 由发电机电压封闭母线上引接电源的厂用电变压器,其引接线应采用封闭母线。

4 厂(站)用电变压器可不设单独小间,但其高、低压引线裸露部分应满足电气安全距离要求。

9.1.2 厂(站)用电油浸式变压器布置应满足以下要求:

1 厂(站)用电变压器的防火应满足SDJ 278的有关规定。

2 厂(站)用电变压器外廓与变压器室四壁的最小净距不应小于表9.1.2所列数值。

表 9.1.2 油浸式厂(站)用电变压器外廓  
与变压器室四壁的最小净距

单位: mm

位置关系	变压器容量	变压器容量
	1000kVA 及以下	1250kVA 及以上
变压器与后壁、侧壁之间	600	800
变压器与门之间	800	1000

注: 表中所列尺寸系从变压器外廓离地高度在1.9m以下的突出部分算起。

3 对于就地检修的厂(站)用电变压器,室内高度可按吊芯或吊罩所需的最小高度再加700mm确定,宽度可按变压器两侧各加800mm确定。

4 厂(站)用电变压器室的最高环境温度不应超过设备允

许的环境温度。

5 变压器上部不应作与其无关的电缆或母线通道。

9.1.3 500kVA 及以上变压器的 0.4kV 出线端子与其连接电缆间，宜设置过渡母线。

9.1.4 低压厂（站）用电变压器的布置应靠近相应的低压厂（站）用电配电装置，以使用母线引接。

## 9.2 配电装置布置

9.2.1 厂（站）用电配电装置的布置应结合厂（泵）房布置统一考虑，且应满足第一台机组投运时形成必要的厂（站）用电配电系统，并尽可能使设备布置有规律性，减少电缆交叉。配电装置各回路的相序排列宜一致。

9.2.2 大型水力发电厂的高、低压配电装置不宜集中布置在同一室内。布置在同一室内的配电屏（柜）母线段数不宜超过 3 段，对封闭式配电屏（柜）可适当放宽要求。

9.2.3 6~10kV 高压配电装置应采用成套高压开关柜，并宜设置单独的高压配电室。室内宜预留备用柜位置，当采用移开式开关柜时宜留有断路器手车的检修场地。

9.2.4 低压厂（站）用电配电屏布置宜靠近负荷中心。

9.2.5 标称电压超过交流 24V 容易被触及的裸带电体应设置遮护物，其防护等级不应低于 IP2X 级。

9.2.6 配电装置室通道上方裸带电体距地面的高度，屏前通道内不应低于 2.5m，屏后通道内不应低于 2.3m；否则应加遮护，遮护后的高度不应低于 1.9m，其宽度应符合 9.2.9 条中的规定。

9.2.7 当采用低压母线槽时，其布置应考虑运行维护与检修方便。

9.2.8 当机旁动力配电屏与机组保护、自动装置等二次屏呈一列布置时，其高度宜一致。

9.2.9 厂（站）用电配电装置室操作、维护通道最小尺寸及开关柜或配电屏的高墙距离见表 9.2.9。

表 9.2.9 厂（站）用电配电装置室的各种通道

最小尺寸及屏（柜）离墙距离

单位：mm

配电装置型式	操作通道		背面维护通道	侧面维护通道	靠墙布置时 离墙距离	
	设备单列布置	设备双列（面对面）布置			背面	侧面
固定式高压开关柜	1500	2000	800	800	50	200
移开式高压开关柜	单车长+1200	双车长+900	800	800		200
低压固定式配电屏	1500	2000	800	800	50	200
低压抽屉式配电屏	1800	2300	800	800	50	200

注 1：表中的尺寸系从常用的开关柜或配电屏的屏面算起（即突出部分已包括在表中尺寸内）。

注 2：表中所列操作及维护通道的尺寸，在建筑物有个别突出时允许缩小 200mm。

9.2.10 成排布置的高压柜或配电屏，其长度超过 6m 时，屏后的通道应有两个通向本室或其他房间的出口，并宜布置在通道的两端。当两出口之间的距离超过 15m 时，其间还应增加出口。

9.2.11 布置在室外的高压开关柜及低压配电屏（箱）应选用屋外型。

9.2.12 潮湿场地的高压开关柜或低压配电屏（箱）宜布置在单独房间内，并加强通风防潮措施。

9.2.13 厂（站）用电配电装置顶部不应有油、水等管道通过。

### 9.3 柴油发电机组的布置

9.3.1 厂（站）用电系统柴油发电机组及其附属设备应布置在单独的房间内。其位置应根据工程布置并充分考虑通风、排烟、消声、减振、环境保护、电气接线等条件选择。

9.3.2 柴油发电机房设备布置应满足机组运行工艺要求，力求紧凑、经济合理、保证安全及便于维护、检修。

9.3.3 柴油发电机房宜设有机组间、控制及配电室、储油间、

备件贮藏间等，亦可根据具体情况对上述房间进行合并或增减。

### 9.3.4 柴油发电机组的布置应满足下列要求：

1 机房与控制及配电室毗邻布置时，发电机出线端及电缆沟宜布置在靠控制及配电室侧。

2 机组之间、机组外廓至墙的距离应满足设备搬运、就地操作、维护检修或布置辅助设备的需要。

3 机房内有关布置尺寸不宜小于表 9.3.4 中的数值要求。

表 9.3.4 机组外廓与墙壁间最小净距 单位：m

项目	功率 (kW)				
	<64	75~150	200~400	500~1500	1600~2000
机组操作面	1.5	1.5	1.5	1.5~2.0	2.0~2.5
机组背面	1.5	1.5	1.5	1.8	2.0
柴油机端	0.7	0.7	1.0	1.0~1.5	1.5
发电机端	1.5	1.5	1.5	1.8	2.0~2.5
机组间距	1.5	1.5	1.5	1.5~2.0	2.5
机房净高	2.5	3.0	3.0	4.0~5.0	5.0~7.0

注 1：当机组为水冷却方式时，柴油机端距离可适当缩小；当机组需要做消声工程时，布置尺寸应另行考虑；若机组设在地下层，其间距可适当加大。  
注 2：移动式柴油发电机组的布置可不受表中尺寸限制。

9.3.5 柴油发电機房的建筑防火要求应满足 SDJ 278 和 JGJ 16 的有关规定。

9.3.6 当机房内不需设控制室时，控制屏和配电屏宜布置在发电机端或发电机侧，其操作检修通道均应不小于 2m。

9.3.7 机房门应采取防火、隔音措施，并应向外开启。

9.3.8 机房内可不设置电动起重设备，但应考虑设备吊装、搬运和检修等条件。

## 9.4 对土建的要求

9.4.1 厂（站）用电电气设备及布置的防火应满足 SDJ 278 的

要求。

**9.4.2** 厂（站）用电配电装置室，搬运设备的门应按搬运的最大设备外形尺寸宽加 400mm，高度加 300mm，但其最小宽度不小于 900mm，门高不低于 2100mm。

**9.4.3** 厂（站）用电配电装置室的顶棚和内墙应用装饰涂料处理，顶棚不应抹灰，地面宜采用不起灰并有一定硬度的光滑地面。

**9.4.4** 厂（站）用电配电装置室不应作为与电气巡视无关的通道。

**9.4.5** 布置在坝内、地下或地面顶层的厂（站）用电配电装置室必须作防水、防渗处理，并设有排水设施。

**9.4.6** 厂（站）内的电缆沟应有排水措施，沟内不应有积水。

**9.4.7** 高、低压配电室，电缆沟进、出口洞，通气孔等应有防止鸟、雀、鼠等小动物钻入和雨、雪飘入室内的设施。

**9.4.8** 吊重大于 1000kg 的厂（站）用电电气设备，宜在其所在位置的上方埋设吊钩或吊环。

**9.4.9** 厂（站）用电设备室和设备搬运通道荷载应满足有关标准要求。

## 附录 A 主要厂（站）用电负荷特性

表 A 主要厂（站）用电负荷特性表

序号	负荷名称	重要性类别	运行方式	是否计入最大计算负荷	是否需要自启动	备注
一	机组自用电					
1	机组压油装置油泵	I	经常断续	是	是	
2	机组漏油泵	II	经常断续	是	是	
3	高压油顶起油泵	I	经常断续	否	否	
4	机组（变压器）冷却水泵	I	经常连续	是	是	
5	顶盖排水泵	I 或 II	经常短时或断续	是	是	
6	轴承冷却循环水（油）泵	I	经常连续	是	是	
7	水冷瓦循环水泵	I	经常连续	是	是	
8	协联机构电动机	II	经常断续	是	是	
9	油水管路电动闸阀	I 或 II	经常断续	否	否	
10	主变压器冷却循环油泵	I	经常连续	是	是	
11	主变压器冷却风扇	I	经常连续	是	是	
12	机组起励电源	I	经常短时	否	否	
13	隔离开关操作机构电源	II	不经常断续	否	是	
14	注轴泵	II	不经常断续	否	否	
15	轴承润滑系统用泵	I	经常连续	是	是	
16	励磁系统冷却风扇	I	经常连续	是	是	
17	水内冷机组冷却水泵	I	经常连续	是	是	

表 A (续)

序号	负荷名称	重要性类别	运行方式	是否计入最大计算负荷	是否需要自启动	备注
18	水内冷循环水泵	I	经常连续	是	是	
19	各类进、出水阀 压油装置油泵	I	经常断续	否	是	
20	电气制动用电源	II	经常断续	否	否	
21	发电机(电动机) 恒温电热器	II	经常短时 或连续	否	否	
22	发电机(电动机) 断路器操作机构电源	I	经常短时	否	是	
23	机组盘车电源	III	不经常断续	否	否	
24	水泵调节电机	I	不经常断续	否	是	
25	灯泡式发电机冷 却风机	I	经常连续	是	是	
二	全厂公用电					
(一)	给排水系统					
1	机组冷却供水泵	I	经常连续	是	是	每机一套 时,列入机组 自用电
2	厂房渗漏排水泵	I	经常短时	是	是	
3	机组检修排水泵	II	不经常连续	是	否	一般将一台 排闸门渗漏水 计入最大负荷
4	雨水排水泵	III	不经常短时	否	否	
5	生活用水泵	III	经常短时	是	否	
6	消防用水泵	I	不经常短时	否	是	
(二)	压缩空气系统					
1	压油装置用高压 空压机	II	经常断续	是	是	
2	配电装置用高压 空压机	I	经常短时	是	是	

表 A (续)

序号	负荷名称	重要性类别	运行方式	是否计入最大计算负荷	是否需要自启动	备注	
3	制动、维护、检修用低压空压机	II 或 III	经常短时	是	是		
4	调相用空压机	II	经常短时	是	是		
5	进水口防冰空压机	III	不经常短时	是	否		
(三)	油系统					一台机组检修, 其余机组运行时计入最大负荷	
1	透平油库油泵	III	不经常短时	是	否		
2	绝缘油库油泵	III	不经常短时	是	否	按一定的设备组合运行, 不应全部计入最大负荷	
3	压力滤油机	III	不经常连续	是	否		
4	真空滤油机 (加热器、真空泵等)	III	不经常连续	是	否		
5	离心滤油机	III	不经常连续	是	否		
6	真空泵	III	不经常短时	是	否		
7	烘箱电热	III	不经常连续	是	否		
8	油库、油处理室通风机	III	不经常连续	是	否		
9	油化验室负荷	III	不经常短时	是	否		
(四)	厂房起重设备						
1	厂内桥式起重機	主钩	II	不经常断续	否	否	
		副钩	II	不经常断续	是	否	对双主钩, 则计主钩
		大车行走	II	不经常断续	是	否	
		小车行走	II	不经常断续	否	否	

表 A (续)

序号	负荷名称		重要性类别	运行方式	是否计入最大计算负荷	是否需要自启动	备注
2	调压室闸门启闭机		II	不经常断续	否	否	
3	尾水闸门起重机	吊钩	II	不经常断续	否	否	
		行走	II	不经常断续	否	否	
4	配电装置用电动葫芦		III	不经常断续	否	否	
5	机坑电动葫芦		III	不经常断续	是	否	
6	厂房电梯		I 或 II	经常断续	是	否	
(五)	通风与电热设备						
1	主厂房通风机(空调装置)		II	经常断续	视气象条件及具体设计情况而定	如自动操作,一般为自启动	
2	各配电装置室通风机		II 或 III	视气象条件及具体设计情况而定			
3	变压器室通风机		II 或 III				
4	整流装置通风机		II 或 III				
5	电缆层(洞、道)通风机		II 或 III				
6	中央控制室通风机(空调器)		II	经常连续	是*	是	
7	计算机室空调器		I 或 II	经常连续	是*	是	
8	副厂房各室通风机(空调器)		II 或 III	经常连续或短时	视用途而定	否	
9	冷冻装置		III	经常连续	是*	否	
10	制冷供水泵		III	经常连续	是*	否	
11	加湿器		III	经常连续	是*	否	
12	主厂房电热		III	经常连续	是*	否	
13	副厂房电热		II	不经常连续	是*	否	
14	防火排烟阀电源		I	不经常连续	否	是	

表 A (续)

序号	负荷名称	重要性类别	运行方式	是否计入最大计算负荷	是否需要自启动	备注
(六)	直流、试验及二次负荷等					
1	充电装置	II	不经常连续	是	否	多组蓄电池中, 仅计容量最大的一组
2	浮充电装置	II	经常连续	是	是	多组蓄电池中除一组容量大的外, 均计入
3	蓄电池室通风机	II	经常连续	是	是	
4	蓄电池室电热器	II	经常连续	是	是	
5	载波、微波室电源	I	经常连续	是	是	
6	中央控制室交流操作电源	I	经常连续	是	是	
7	电子计算机室电源	I	经常连续	是	是	
8	遥视系统电源	I	经常断续	是	是	
9	电工试验室电源	III	不经常短时	是	否	
10	仪表试验室电源	III	不经常短时	是	否	
11	高压试验室电源	III	不经常短时	否	否	
12	备用励磁电源	I	不经常短时	否	否	
(七)	开关站(变电站)					
1	移动油泵	III	不经常短时	否	否	
2	隔离开关操作机构	II	不经常断续	否	是	
3	二次负荷	I 或 II	经常连续或短时	是	是	
4	断路器操作柜电热	II 或 III	经常连续	是	是	
5	断路器操作机构	I	经常短时	是	是	
(八)	其他辅助设施负荷					

表 A (续)

序号	负荷名称	重要性类别	运行方式	是否计入最大计算负荷	是否需要自启动	备注
1	尾水泥浆泵	Ⅲ	不经常连续	否	否	
2	排污泵	Ⅲ	经常短时	是	否	
3	厂房钢卷门电动机	Ⅲ	经常断续	否	否	
4	管理楼负荷	Ⅱ或Ⅲ	经常连续	是	否	
(九)	坝区及水工建筑物					
1	坝上门式起重机	Ⅱ或Ⅲ	不经常断续	否	否	或计入行走机构负荷
2	坝上泄洪闸门启闭机	Ⅰ或Ⅱ	不经常断续	否	否	若全部机组运行时负荷最大, 则应计入
3	坝上其他闸门启闭机	Ⅱ	不经常断续	否	否	
4	进(出)水口启闭机液泵	Ⅰ或Ⅱ	不经常断续	否	是	
5	坝内廊道排水泵	Ⅱ	经常连续	是	是	
6	坝内廊道灌浆机电源	Ⅲ	不经常短时	否	否	
7	坝缝止水沥青加热电源	Ⅲ	不经常连续	否	否	
8	拦污栅清污机	Ⅲ	不经常短时	否	否	
9	拦污栅悬臂吊或卷扬机	Ⅲ	不经常断续	是	否	
10	拦污栅冲草水泵	Ⅲ	不经常短时	否	否	
11	防冰冻空压机	Ⅲ	不经常短时	是*	否	
12	坝内电梯	Ⅰ或Ⅱ	经常断续	是	否	
(十)	过坝设施负荷	Ⅰ或Ⅱ	经常短时或断续	是	是(液压), 否(卷扬)	一般单独供电, 计入厂用负荷

表 A (续)

序号	负荷名称	重要性类别	运行方式	是否计入最大计算负荷	是否需要自启动	备注
(十一)	照明	I 或 II	经常连续	是	是	
(十二)	检修负荷					
1	机械修配厂	III	经常短时或连续	是	否	按机组大修需要具体确定负荷
2	厂内小机修负荷	III	经常断续	是	否	按机组大修需要确定负荷
3	转轮检修补焊负荷 (电焊机)	III	不经常断续	是	否	转轮直径 $D < 4.1\text{m}$ 为 2 台焊机; $4.1\text{m} \leq D < 5.5\text{m}$ , 4 台; $D \geq 5.5\text{m}$ , 4~8 台
4	安装间检修用负荷 (电焊机)	III	不经常断续	是	否	
5	检修用临时加热干爆电源	III	不经常连续	是	否	
6	各级电压配电装置检修负荷	III	不经常短时或连续	是	否	
7	检修试验负荷	III	不经常断续或短时	是	否	
8	其他场所检修负荷	III	不经常断续或短时	是	否	

注 1: 表中所列仅为大中型水力发电厂、泵站用电常见负荷, 具体工程设计时, 应按实际情况确定。

注 2: “是否计入最大计算负荷” 栏仅适用于选择全厂 (站) 电源变压器容量用。

a: 按水力发电厂、泵站机 (泵) 组运行方式及季节, 仅计入参加最大负荷时运行部分。

## 附录 B 厂（站）用电最大负荷计算

**B.0.1** 选择厂用电变压器容量的最大负荷即计算负荷，宜按综合系数法确定。

1 当全厂公用电与机组自用电分别供电时，采用式 (B.0.1-1) 计算：

$$S_{js} = K_Z \sum P_Z + K_g \sum P_g \quad (\text{B.0.1-1})$$

式中  $S_{js}$ ——厂用电最大负荷，kVA；

$K_Z$ ——机组自用电的综合系数，取值见表 B.0.1；

$K_g$ ——全厂公用电的综合系数，取值见表 B.0.1；

$\sum P_Z$ ——所有同时参加最大负荷运行的机组自用电负荷额定功率的总和，kW，计算原则见 4.1.3 条；

$\sum P_g$ ——所有同时参加最大负荷运行的全厂公用电负荷额定功率的总和，kW，计算原则见 4.1.3 条。

表 B.0.1 综合系数值

综合系数	电站规模	
	大型	中型
$K_Z$	0.76	0.76
$K_g$	0.77	0.78
$K_0$	0.75~0.78 <sup>a</sup>	0.78~0.79 <sup>a</sup>

a: 电站规模较大者取小值，反之取大值。

2 当全厂公用电与机组自用电混合供电时，采用式 (B.0.1-2) 计算：

$$S_{js} = K_0 \sum P_0 \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中  $K_0$ ——全厂或混合供电时厂用电负荷的综合系数，取值见表 B.0.1；

$\sum P_0$ ——所有同时参加最大负荷运行时负荷的额定功率的总和，kW。

3 当采用近似计算时，采用式 (B. 0. 1 - 3) 计算：

$$S_{js} = 0.72 \sum P_0 \quad (\text{B. 0. 1 - 3})$$

**B. 0. 2** 厂用电变压器容量的最大负荷即计算负荷，也可采用式 (B. 0. 2) 的负荷统计法计算：

$$S_{jg} = K_v \left[ K_{ig} K_{ig} \sqrt{(\sum P_g)^2 + (\sum Q_g)^2} + K_{iz} K_{iz} \sqrt{(\sum P_z)^2 + (\sum Q_z)^2} \right] \quad (\text{B. 0. 2})$$

式中  $S_{jg}$ ——厂用电最大负荷，kVA；

$K_v$ ——厂用电系统网损率，取 1.05；

$K_{ig}$ ——全厂公用电负荷率，取 0.72~0.74，厂用电负荷中电热负荷较大时取大值，反之取小值；

$K_{zg}$ ——全厂公用电同时率，取 0.73；

$K_{iz}$ ——机组自用电负荷率，取 0.7；

$K_{iz}$ ——机组自用电同时率，取 0.77；

$\sum P_g$ ——所有同时参加最大负荷运行的全厂公用负荷额定有功功率的总和，kW；

$\sum Q_g$ ——所有同时参加最大负荷运行的全厂公用电负荷额定无功功率的总和，kvar；

$\sum P_z$ ——所有同时参加最大负荷运行的机组自用电负荷额定有功功率的总和，kW；

$\sum Q_z$ ——所有同时参加最大负荷运行的机组自用电负荷额定无功功率的总和，kvar。

**B. 0. 3** 选择站用电变压器容量的最大负荷即计算负荷，宜按分析统计法确定。可按泵站最大运行方式下的站用最大可能运行负荷，并计入功率因数、同时系数、负荷系数及网络损失系数确定，并用发生事故时，可能出现的最大站用负荷校验，此时可考虑变压器短时过负荷能力。变压器容量可采用式 (B. 0. 3 - 1) ~ 式 (B. 0. 3 - 4) 计算：

$$S_b \geq C_1 C_2 S_{jb} \quad (\text{B. 0. 3 - 1})$$

$$S_{jb} = k_1 \sum S_1 + k_2 \sum S_2 \quad (\text{B. 0. 3 - 2})$$

$$S_1 = p_{ed} / \eta_d \cos\varphi_d \quad (\text{B. 0. 3 - 3})$$

$$S_2 = p_{eg} / \eta_g \cos\varphi_g \quad (\text{B. 0. 3 - 4})$$

- 式中  $S_b$ ——站用电变压器容量, kVA;  
 $C_1$ ——网络损失系数, 一般取 1.05;  
 $C_2$ ——各种不同用电设备的平均负荷系数, 根据统计及运行经验确定, 一般取 0.8;  
 $S_{jb}$ ——计算容量之和, kVA;  
 $S_1$ 、 $S_2$ ——单项计算容量, kVA;  
 $k_1$ 、 $k_2$ ——同时系数, 根据具体情况确定;  
 $p_{ed}$ ——电动机功率, kW;  
 $\eta_d$ ——电动机效率;  
 $\cos\varphi_d$ ——电动机功率因数;  
 $p_{eg}$ ——硅整流及其他负荷等, kW;  
 $\eta_g$ ——硅整流及其他负荷的效率;  
 $\cos\varphi_g$ ——硅整流及其他负荷的功率因数。

## 附录 C 厂（站）用电电压调整计算

### C.1 无激磁调压变压器

C.1.1 当电源电压和厂（站）用电负荷正常变动时，厂（站）用电母线电压可按下列条件及式（C.1.1-1）～式（C.1.1-3）计算，算式中各标么值的基准电压取 0.38kV 或 10（6）kV，基准容量取变压器额定容量  $S_B$ 。

1 按电源电压最低、厂（站）用电负荷最大 [当由系统受电供厂（站）用电时，厂（站）用电负荷取该运行方式下的最大值]，计算厂（站）用电母线的最低电压  $U_{m,\min}$ ，并宜满足  $U_{m,\min} \geq 0.95$ 。

2 按电源电压最高、厂（站）用电负荷最小 [当由系统受电供厂（站）用电时，厂（站）用电负荷取该运行方式下的最小值]，计算厂（站）用电母线的最高电压  $U_{m,\max}$ ，并宜满足  $U_{m,\max} \leq 1.05$ ；当厂（站）用电母线仅接有电动机时，宜满足  $U_{m,\max} \leq 1.10$ 。

$$U_m = U_0 - SZ_\varphi \quad (\text{C.1.1-1})$$

$$Z_\varphi = R_B \cos\varphi + X_B \sin\varphi \quad (\text{C.1.1-2})$$

$$U_0 = \frac{U_g U_{2e}}{1 + n \frac{\delta_U \%}{100}} \quad (\text{C.1.1-3})$$

$$R_B = 1.1 \frac{P_t}{S_B}$$

$$X_B = 1.1 \frac{U_z \%}{100}$$

$$U_g = \frac{U_G}{U_{1e}}, \quad U_{2e} = \frac{U'_{2e}}{U_j}$$

式中  $U_m$ ——厂（站）用电母线电压（标么值）；

$S$ ——厂（站）用电负荷（标么值），以变压器额定容量

- $S_B$  (kVA) 为基准；
- $Z_\varphi$ ——负荷压降阻抗 (标么值)；
- $R_B$ ——变压器的电阻 (标么值)；
- $P_i$ ——双绕组变压器的额定铜耗, kW；
- $\cos\varphi$ ——负荷功率因数, 一般取 0.83~0.85, 大型水电厂 (泵站) 取大值 (对泵站, 计算  $U_{m,\min}$  时应计及无功补偿装置投入的因素, 计算  $U_{m,\max}$  时则不应计及)；
- $X_B$ ——变压器的电抗 (标么值)；
- $U_z\%$ ——双绕组变压器的阻抗电压百分值；
- $U_0$ ——变压器低压侧的空载电压 (标么值)；
- $U_g$ ——电源电压 (标么值), 对连接于发电机电压母线或单元分支线上的厂用电变压器, 最高与最低电源电压宜分别取 1.05 与 0.95; 对经主变压器由系统倒送的厂 (站) 用电变压器以及接到地区电网的厂 (站) 用电变压器, 电源电压的最高与最低值应根据具体情况确定；
- $U_G$ ——电源电压, kV；
- $U_{1e}$ ——变压器高压侧额定电压, kV；
- $U_{2e}$ ——变压器低压侧额定电压 (标么值)；
- $U'_{2e}$ ——变压器低压侧额定电压, kV；
- $U_j$ ——变压器低压侧母线基准电压, kV；
- $n$ ——分接位置,  $n$  为整数, 负分接时为负值；
- $\delta_U\%$ ——级电压, %。

### C. 1. 2 变压器分接开关的参数选择宜符合下列要求：

- 1 为适应电源电压的正常波动, 分接开关的调压范围 (从正分接到负分接) 应取 10%。
- 2 分接开关的级电压宜采用 2.5%。
- 3 额定分接位置宜在调压范围的中间。

## C.2 有载调压变压器

C.2.1 母线电压的计算公式见式 (C.1.1-1) 和式 (C.1.1-2), 但应计及分接头位置可变的因素及无功功率补偿装置投入与否的因素, 即以与不同的电源电压和负荷相适应的分接头位置计算空载电压  $U_0$ 。

C.2.2 变压器分接开关的参数选择宜符合下列要求:

- 1 调压范围宜采取 20% (从正分接到负分接)。
- 2 调压装置的级电压不宜过大, 对 220kV 的变压器宜采用 1.46%, 发电机电压级的变压器最大不超过 2.5%。
- 3 额定分接位置宜在调压范围的中间。

## 附录 D 电动机启动电压计算

### D.1 电动机正常启动电压计算

D.1.1 高压厂用电电动机（忽略高压电动机至母线的电缆阻抗）启动电压宜采用式（D.1.1-1）计算：

$$U_{d*} = \frac{1.05}{1 + \frac{S_{qd} + S_1}{S_{nb1}} U_{z1}} \quad (\text{D.1.1-1})$$

$$S_{qd} = \sqrt{3} U_{nd} I_{qd} = \frac{K_{qd} P_d}{\eta_d \cos \varphi_d}$$

$$I_{qd} = K_{qd} I_{nd}$$

式中  $U_{d*}$ ——电动机启动时端电压（标么值）；

$S_{qd}$ ——电动机的启动容量，kVA；

$U_{nd}$ ——电动机的额定电压，kV；

$I_{qd}$ ——电动机的启动电流，A；

$K_{qd}$ ——电动机的启动电流倍数，简化计算时取 6.0；

$P_d$ ——电动机的额定容量，kW；

$\eta_d \cos \varphi_d$ ——电动机额定效率和额定功率因数的乘积，简化计算时取 0.80；

$I_{nd}$ ——电动机的额定电流，A；

$S_1$ ——启动前厂用电高压母线上已带负荷，kVA；

$S_{nb1}$ ——高压厂用电变压器额定容量，kVA；

$U_{z1}$ ——高压厂用电变压器的阻抗电压。

D.1.2 0.38kV 电动机启动电压宜采用式（D.1.2-1）～式（D.1.2-3）计算：

1 启动时母线电压：

$$U_{m*} = \frac{1.05}{1 + \frac{S_{qd} + S_2}{S_{nb2}} U_{z2}} \quad (\text{D.1.2-1})$$

$$S_2 = S_{nb2} - 0.85P_{nd} \quad (\text{D. 1.2-2})$$

式中  $U_{m*}$  ——启动时母线电压 (标么值);

$S_2$  ——启动前厂 (站) 用电低压母线上已带负荷, kVA, 如果计算中,  $S_2$  值不易确定时, 可按最严重情况计算, 即采用式 (D. 1.2-2) 取值;

$S_{nb2}$  ——低压厂 (站) 用电变压器额定容量, kVA;

$U_{Z2}$  ——低压厂 (站) 用电变压器的阻抗电压;

$P_{nd}$  ——启动电动机的额定容量, kW;

其余符号意义同前。

## 2 启动时电动机的端电压:

$$U_{d*} = \frac{U_{m*}}{1 + \frac{\sqrt{3}I_{qd}(r_1 \cos\varphi_d + x_1 \sin\varphi_d)L}{U_{nd} \times 10^6}} \quad (\text{D. 1.2-3})$$

式中  $U_{d*}$  ——电动机启动时端电压 (标么值);

$I_{qd}$  ——电动机的启动电流, A;

$r_1$ 、 $x_1$  ——导线单位长度的电阻、电抗, mΩ/m;

$L$  ——导线长度, m;

$\cos\varphi_d$  ——电动机启动时的功率因数, 鼠笼式取 0.35, 绕线式取 0.5~0.65;

$U_{nd}$  ——电动机的额定电压, kV, 取 0.38kV。

注: 当采用 2 台互为备用的低阻抗配电变压器供电, 电动机容量 (kW) 是变压器容量 (kVA) 的 1/10 及以下时,  $U_{m*}$  可取 1.0 计。

**D. 1.3 多层辐射形供电电动机启动典型接线如图 D. 1.3 所示, 其电压计算宜按以下要求进行。**

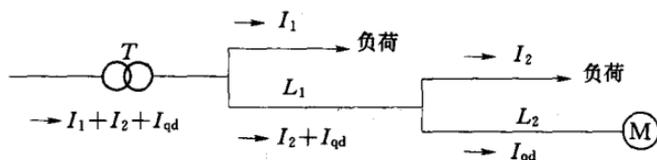


图 D. 1.3 多层辐射形供电电动机启动典型接线

## 1 启动时变压器的电压降按式 (D. 1.3-1) 计算:

$$\Delta U_b = \frac{\sqrt{3} I_{qb} U_{nb2}^2 U_{Z2}}{S_{nb2}} \times 10^{-3} \quad (\text{D. 1. 3 - 1})$$

$$I_{qb} = I_{fgb} + I_{qd}$$

式中  $\Delta U_b$ ——启动时变压器的电压降，V；

$S_{nb2}$ ——变压器额定容量，kVA；

$U_{Z2}$ ——变压器的阻抗电压；

$U_{nb2}$ ——变压器低压侧额定电压，取 400V；

$I_{qb}$ ——电动机启动时，通过变压器的电流，A；

$I_{fgb}$ ——电动机启动前，变压器的负荷电流，A，如图 D. 1. 3 所示负荷电流  $I_1$  与  $I_2$  之算术和，当不易确定时，按严重情况取  $I_{fgb} = I_{nb2} - 0.85 I_{nd}$ ；

$I_{nb2}$ ——变压器低压侧额定电流，A；

$I_{nd}$ ——电动机的额定电流，A；

$I_{qd}$ ——电动机的启动电流，A。

注：较精确计算时， $I_{fgb}$  与  $I_{qd}$  按向量相加，若取负荷电流功率因数为 0.80，则

$$I_{qd} = \sqrt{(0.8 I_{fgb} + I_{qd} \cos \varphi_d)^2 + (0.6 I_{fgb} + I_{qd} \sin \varphi_d)^2}$$

2 主分屏间线路  $L_1$  上的电压降采用式 (D. 1. 3 - 2) 计算：

$$\Delta U = \sqrt{3} I_2 (0.8 r_{11} L_1 + 0.6 x_{11} L_1) \times 10^{-3} + \sqrt{3} I_{qd} \times (r_{11} L_1 \cos \varphi_d + x_{11} L_1 \sin \varphi_d) \times 10^{-3} \quad (\text{D. 1. 3 - 2})$$

式中  $I_2$ ——分屏上除启动的电动机外其他负荷的计算电流，A；

$x_{11}$ 、 $r_{11}$ ——主、分屏间线路单位长度的电阻、电抗， $m\Omega/m$ ；

$L_1$ ——主、分屏间线路长度，m。

3 分屏至电动机线路  $L_2$  上的电压降采用式 (D. 1. 3 - 3) 计算：

$$\Delta U_2 = \sqrt{3} I_{qd} (r_{12} L_2 \cos \varphi_d + x_{12} L_2 \sin \varphi_d) \times 10^{-3} \quad (\text{D. 1. 3 - 3})$$

式中  $L_2$ ——分屏至电动机线路长度，m；

$r_{12}$ 、 $x_{12}$ ——分屏至电动机线路单位长度的电阻、电抗， $m\Omega/m$ 。

4 启动时电动机端电压降及端电压采用式 (D. 1. 3 - 4) 和式 (D. 1. 3 - 5) 计算：

$$U_d \% = \frac{\Delta U_b + \Delta U_1 + \Delta U_2}{U_{nd}} \times 100 \quad (\text{D. 1.3-4})$$

$$U_d = \frac{U_{nb2} - (\Delta U_b + \Delta U_1 + \Delta U_2)}{U_{nd}} \quad (\text{D. 1.3-5})$$

式中  $U_d \%$ ——启动时电动机端电压降的百分数；

$U_d$ ——启动时电动机端电压与额定电压之比；

$U_{nd}$ ——电动机的额定电压，取 380V。

5 上述计算中，均未考虑启动电流因电压降低而减少的因素，所求得的电动机端电压是偏低的。如计算结果不能满足电动机启动力矩的要求时，应考虑这一影响，用试探法进行上述计算。如果已知电动机需要的端电压  $U'_d$ ，可首先考虑电压降低对启动电流的影响，按  $I'_{qd} = U'_d / U_{nd} \times I_{qd}$  代替上述  $I_{qd}$  计算，若其结果  $U_d > U'_d$  则满足要求。

## D.2 成组电动机自启动时母线电压计算

D.2.1 高压电源切换，高、低压厂用电变压器串接担负自启动时高、低压厂用电母线电压标么值宜采用式 (D.2.1-1) 和式 (D.2.1-2) 计算：

$$U_{1*} = \frac{1.05}{1 + \frac{\sqrt{3}I_{q1}U_{nd1} + \sqrt{3} \times 0.38I_{q2} + S_1 U_{z1}}{S_{nb1}}} \quad (\text{D. 2.1-1})$$

$$U_{2*} = \frac{U_{1*}}{1 + \frac{\sqrt{3} \times 0.38I_{q2}U_{z2}}{S_{nb2}}} \quad (\text{D. 2.1-2})$$

式中  $U_{1*}$ ——自启动时，厂用电高压母线电压（标么值）；

$U_{2*}$ ——自启动时，厂用电低压母线电压（标么值）；

$I_{q1}$ ——接于高压母线上的自启动电动机启动电流之和，  
A，按慢速切换，电动机启动电流倍数可按 5 倍计；

$I_{q2}$ ——接于低压母线上的自启动电动机启动电流之和，  
A，按慢速切换，电动机启动电流倍数可按 5

倍计；

$U_{nd1}$ ——高压电动机的额定电压，kV；

$S_{nb1}$ ——高压厂用电变压器的额定容量，kVA；

$S_{nb2}$ ——低压厂用电变压器的额定容量，kVA；

$U_{z1}$ ——高压厂用电变压器的阻抗电压；

$U_{z2}$ ——低压厂用电变压器的阻抗电压；

$S_1$ ——担负自启动的高压母线上在自启动以前已接有的  
计算负荷，kVA，对空载或失压自启动， $S_1=0$ 。

**D. 2. 2** 低压电源切换，高、低压厂用电变压器串接担负自启动时高、低压厂用电母线电压标么值宜采用式 (D. 2. 2 - 1) 和式 (D. 2. 2 - 2) 计算：

$$U_{1*} = \frac{1.05}{1 + \frac{S_1 + \sqrt{3} \times 0.38 I_{q2} U_{z1}}{S_{nb1}}} \quad (\text{D. 2. 2 - 1})$$

$$U_{2*} = \frac{U_{1*}}{1 + \frac{S_2 + \sqrt{3} \times 0.38 I_{q2} U_{z2}}{S_{nb2}}} \quad (\text{D. 2. 2 - 2})$$

式中  $S_1$ ——担负自启动的高压母线上在自启动以前已接有的  
计算负荷，kVA；

$S_2$ ——担负自启动的低压母线上在自启动以前已接有的  
计算负荷，kVA，对空载或失压自启动， $S_2=0$ ；

其余符号意义同前。

**D. 2. 3** 当厂（站）用电采用一级电压供电，低压厂（站）用电  
变压器担负自启动时，0.4kV 厂（站）用电母线电压标么值宜  
采用式 (D. 2. 3 - 1) 计算：

$$U_{2*} = \frac{1.05}{1 + \frac{S_2 + \sqrt{3} \times 0.38 I_{q2} U_{z2}}{S_{nb2}}} \quad (\text{D. 2. 3 - 1})$$

式中符号意义同前。

## 附录 E 厂(站)用电系统短路电流实用计算

### E.1 高压厂(站)用电系统短路电流实用计算

**E.1.1** 高压厂(站)用电系统的短路电流由厂(站)用电电源和电动机两部分供给,并按相角相同取算数和计算。运行电动机总容量在 1500kW 及以下时,可不计电动机反馈电流。

**E.1.2** 三相短路电流周期分量的起始值可采用式 (E.1.2-1)~式 (E.1.2-3) 计算:

$$I'' = I''_B + I''_D \quad (\text{E.1.2-1})$$

$$I''_B = \frac{I_j}{X_X + X_B + X_L} \quad (\text{E.1.2-2})$$

$$I''_D = K_{qd} I_{nd} \times 10^{-3} \\ = K_{qd} \frac{P_{nd}}{\sqrt{3} U_{nd} \eta_{nd} \cos \varphi_{nd}} \times 10^{-3} \quad (\text{E.1.2-3})$$

式中  $I''$ ——短路电流周期分量的起始有效值, kA;

$I''_B$ ——厂(站)用电电源短路电流周期分量的起始有效值, kA;

$I''_D$ ——电动机反馈电流周期分量的起始有效值, kA;

$I_j$ ——基准电流, kA, 当取基准容量  $S_j = 100\text{MVA}$ 、基准电压  $U_j = 6.3\text{kV}$  时,  $I_j = 9.16\text{kA}$ , 当  $U_j = 10.5\text{kV}$  时,  $I_j = 5.5\text{kA}$ , 当计算接于机端或升高电压侧的高压厂(站)用电变压器的母线短路电流时,可取  $S_j$  为变压器的额定容量  $S_{nb}$  (MVA), 则  $I_j$  为短路电流计算侧的变压器额定电流;

$X_X$ ——系统电抗(标么值), 当厂(站)用电电源直接取自机端或升高电压侧时,  $X_X = 0$ , 当厂(站)用电电源取自其他方式时,  $X_X = S_j / S_X$ ;

$X_B$ ——厂(站)用电变压器(电抗器)的电抗(标么值),

对变压器,  $X_B = \frac{U_z\% S_j}{100 S_{nb}}$ , 对电抗器,  $X_B = \frac{X_K\%}{100} \times$

$$\frac{U_{nk} S_j}{\sqrt{3} I_{nk} U_j^2};$$

$K_{qd}$ ——电动机的平均反馈电流倍数, 一般可取 5.5;

$I_{nd}$ ——计及反馈的电动机额定电流之和, A;

$P_{nd}$ ——计及反馈的电动机额定功率之和, kW;

$U_{nd}$ ——电动机的额定电压, kV;

$\eta_{nd} \cos\varphi_{nd}$ ——电动机平均的额定效率和功率因数乘积, 一般可取 0.8;

$X_L$ ——厂(站)用电电源至短路点间线路电抗(标么值);

其中

$S_X$ ——厂(站)用电电源引接点的系统短路容量或与系统连接的断路器的断流容量, MVA;

$U_z\%$ ——以厂(站)用电变压器额定容量  $S_{nb}$  为基准的阻抗电压百分值;

$X_K\%$ ——电抗器的电抗百分值;

$U_{nk}$ ——电抗器的额定电压, kV;

$I_{nk}$ ——电抗器的额定电流, kA。

**E. 1.3** 短路冲击电流可采用式 (E. 1.3) 计算:

$$i_{ch} = i_{chB} + i_{chD} = \sqrt{2}(K_{chB} I_B'' + K_{chD} I_D'') \quad (\text{E. 1.3})$$

式中  $i_{ch}$ ——短路冲击电流, kA;

$i_{chB}$ ——厂(站)用电电源的短路冲击电流, kA;

$i_{chD}$ ——电动机的反馈冲击电流, kA;

$K_{chB}$ ——厂(站)用电电源短路电流的冲击系数, 厂(站)用电电源从机端或从升高电压侧取时, 取 1.78, 其他方式视具体情况经计算确定;

$K_{chD}$ ——电动机反馈电流的冲击系数, 一般可取 1.6。

**E. 1.4**  $t$  瞬间三相短路电流可采用式 (E. 1.4-1) 和式 (E. 1.4-2) 计算:

$$I_{Z(t)} = I_{ZB(t)} + I_{ZD(t)} = I_B'' + K_{D(t)} I_D'' \quad (\text{E. 1.4-1})$$

$$\begin{aligned} I_{fZ(t)} &= I_{fZB(t)} + I_{fZD(t)} \\ &= \sqrt{2}(K_{B(t)} I_B'' + K_{D(t)} I_D'') \end{aligned} \quad (\text{E. 1.4-2})$$

式中  $I_{Z(t)}$  ——  $t$  瞬间短路电流的周期分量有效值, kA;

$I_{fZ(t)}$  ——  $t$  瞬间短路电流非周期分量有效值, kA;

$I_{ZB(t)}$  ——  $t$  瞬间厂(站)用电电源短路电流周期分量有效值, kA;

$I_{fZB(t)}$  ——  $t$  瞬间厂(站)用电电源短路电流非周期分量有效值, kA;

$I_{ZD(t)}$  ——  $t$  瞬间电动机反馈电流周期分量有效值, kA;

$I_{fZD(t)}$  ——  $t$  瞬间电动机反馈电流非周期分量有效值, kA;

$K_{D(t)}$  —— 电动机反馈电流的衰减系数,  $K_{D(t)} = e^{-t/T_D}$ , 一般可取  $T_D = 0.045\text{s}$ ;

$K_{B(t)}$  —— 厂(站)用电电源非周期分量的衰减系数,  $K_{B(t)} = e^{-t/T_B}$ , 厂(站)用电源从机端或升高电压侧取时,  $T_B = 0.040\text{s}$ , 其他方式视具体情况经计算确定;

$t$  —— 短路电流计算时间, s, 用于校验断路器开断电流时,  $t$  为主保护装置动作时间和断路器最小分闸时间之和。

**E. 1.5** 三相短路电流热效应可采用式 (E. 1.5-1) 和式 (E. 1.5-2) 计算:

$$\begin{aligned} Q_t &= \int_0^t i^2 dt = I_B''^2 (t + T_B) \\ &+ 4I_B'' I_D'' \left[ \frac{T_D}{2} (1 - e^{-t/T_D}) + \frac{T_B T_D}{T_B + T_D} \right] + 1.5 I_D''^2 T_D \end{aligned} \quad (\text{E. 1.5-1})$$

$$i = i_B + i_D = \sqrt{2} I_B'' (e^{-t/T_B} - \cos \omega t) + \sqrt{2} I_D'' e^{-t/T_D} (1 - \cos \omega t) \quad (\text{E. 1.5-2})$$

式中  $Q_t$  —— 短路电流热效应,  $\text{kA}^2 \cdot \text{s}$ ;

$i$  —— 短路电流瞬时值, kA;

$i_B$ ——厂（站）用电电源短路电流瞬时值，kA；

$i_D$ ——电动机反馈电流瞬时值，kA；

$t$ ——短路电流热效应计算时间，s，用于校验电缆额定短时耐受电流最小截面，对普通系列断路器，当无延时时时  $t$  取 0.1s，有延时按实际时间取值。

当运行电动机总容量为 1500kW 及以下时，可不计及电动机反馈电流对热效应的作用，短路电流热效应可采用式 (E. 1.5-3) 计算：

$$Q_t = \int_0^t i^2 dt = I_B''^2 (t + T_B) \quad (\text{E. 1.5-3})$$

## E. 2 低压厂（站）用电系统短路电流实用计算

**E. 2.1** 低压主配电屏及重要分配电屏的短路电流，由厂（站）用电电源（变压器）和异步电动机两部分供给，并按相角相同取算术和计算，对带有抱箍制动和单机容量在 20kW 以下的异步电动机不计其反馈电流。

**E. 2.2** 三相短路电流周期分量的起始值可采用式 (E. 2.2-1) ~ 式 (E. 2.2-3) 计算：

$$I'' = I_B'' + I_D'' \quad (\text{E. 2.2-1})$$

$$I_B'' = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}} \quad (\text{E. 2.2-2})$$

$$I_D'' = 4.3 I_{nd} \times 10^{-3} = 8.2 P_{nd} \times 10^{-3} \quad (\text{E. 2.2-3})$$

式中  $I''$ ——三相短路电流周期分量的起始有效值，kA；

$I_B''$ ——厂（站）用电电源（变压器）供给的短路电流周期分量起始有效值，kA；

$I_D''$ ——电动机反馈电流周期分量的起始有效值，kA；

$U$ ——厂（站）用电电源（变压器低压侧）线电压，取 400V；

$R_\Sigma$ 、 $X_\Sigma$ ——每相回路的总电阻和总电抗，m $\Omega$ ；

$I_{nd}$ ——计及反馈的电动机额定电流之和，A；

$P_{nd}$ ——计及反馈的电动机额定容量之和，kW。

**E. 2.3** 短路冲击电流可采用式 (E. 2.3-1) 和式 (E. 2.3-2) 计算：

$$i_{ch} = i_{chB} + i_{chD} = \sqrt{2}K_{chB}I''_B + \sqrt{2}K_{chD}I''_D \quad (\text{E. 2.3-1})$$

- 式中  $i_{ch}$ ——低压主配电屏及重要分配电屏的短路冲击电流, kA;  
 $i_{chB}$ ——厂(站)用电电源(变压器)供给的短路冲击电流, kA;  
 $i_{chD}$ ——电动机的反馈冲击电流, kA;  
 $K_{chB}$ ——厂(站)用电电源短路电流的冲击系数, 可根据回路中  $X_{\Sigma}/R_{\Sigma}$  比值从图 E. 2.3 中查得;  
 $K_{chD}$ ——电动机反馈电流的冲击系数, 取 1.15; 经电力电缆后的  $K_{chD}$ , 可取 1.0。

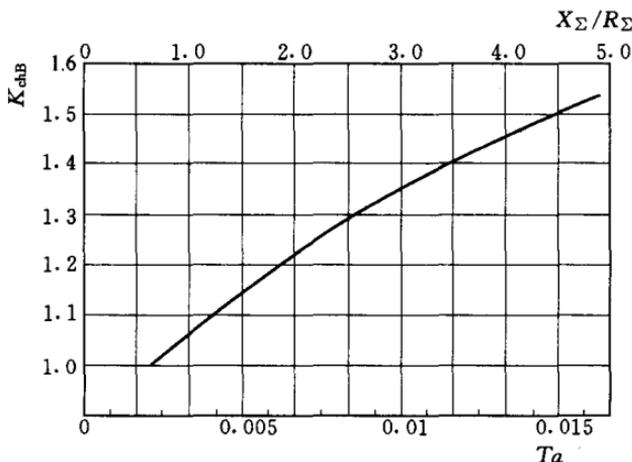


图 E. 2.3  $K_{chB}$  与  $X_{\Sigma}/R_{\Sigma}$  的关系曲线

将式 (E. 2.1-3) 及经电力电缆后的  $K_{chD}$  值代入式 (E. 2.3-1), 则:

$$\begin{aligned} i_{ch} &= \sqrt{2}K_{chB}I''_B + 6.1I_{nd} \times 10^{-3} \\ &= \sqrt{2}K_{chB}I''_B + 11.6P_{nd} \times 10^{-3} \end{aligned} \quad (\text{E. 2.3-2})$$

E. 2.4  $t$  瞬间三相短路电流的周期分量可采用式 (E. 2.4) 计算:

$$I_{Z(t)} = I''_B + K_{D(t)}I''_D \quad (\text{E. 2.4})$$

式中  $I_{Z(t)}$ —— $t$  瞬间短路电流的周期分量有效值, kA;

$K_{D(t)}$ —— $t$  瞬间电动机反馈电流周期分量的衰减系数,

$$K_{D(t)} = e^{-t/T_D};$$

$T_D$ ——电动机周期分量衰减时间常数， $T_D=0.0181s$ 。

### E.3 低压网络单相短路电流计算

E.3.1 单相短路分三种，即相线分别与中性线（N）、保护线（PE）和保护中性线（PEN）短路。水力发电厂（泵站）低压网络，单相短路的典型接线如图 E.3.1 所示。

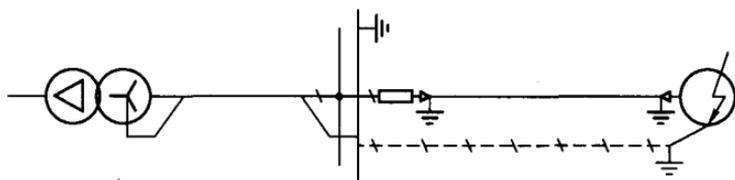


图 E.3.1 单相短路的典型接线

E.3.2 单相短路典型接线的等值网络如图 E.3.2 所示，图 E.3.2 所示为相线与保护线短路，如相线与中性线或保护中性线短路，则相应改变  $X_{0\Sigma}$  组成即可。

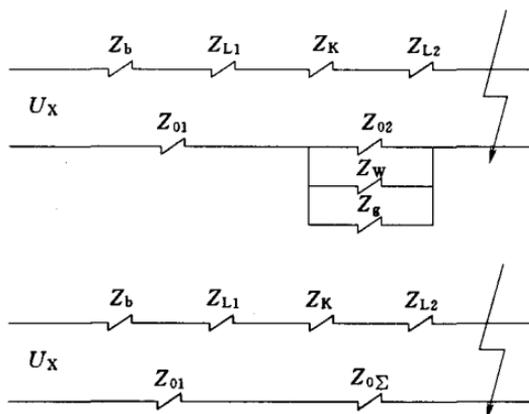


图 E.3.2 单相短路典型接线等值网络

根据等值网络，单相接地短路电流可由式 (E.3.2-1) 和式 (E.3.2-2) 求得：

$$I''^{(1)} = \frac{U_X}{Z_b + Z_{L1} + Z_K + Z_{L2} + Z_{0\Sigma} + Z_{01}}$$

$$= \frac{U_x}{\sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}} \quad (\text{E. 3.2-1})$$

$$Z_b = \frac{1}{3}(2Z_1 + Z_0) \quad (\text{E. 3.2-2})$$

式中  $I''^{(1)}$ ——单相短路电流周期分量（有效）值，kA；

$U_x$ ——网络的相电压，V，取 220V；

$Z_b$ ——变压器的计算阻抗，mΩ；

$Z_1$ 、 $Z_0$ ——变压器的正序、零序阻抗，对 D，yn11 接线组别变压器，可取  $Z_b \approx Z_1$ ；

$Z_{L1}$ ——变压器至主配电屏间线路  $L_1$  相线的单相短路时阻抗，mΩ；

$Z_k$ ——刀开关等低压电器的接触电阻，mΩ；

$Z_{L2}$ ——主配电屏至短路点间电缆段  $L_2$  的相线在单相短路时的阻抗，mΩ；

$Z_{01}$ ——变压器至主配电屏间线路  $L_1$  中性线或保护中性线在单相短路时的阻抗，mΩ；

$Z_{0\Sigma}$ ——主配电屏至短路点间保护线或中性线或保护中性线在单相短路时的组合抗，mΩ；如为保护线阻抗，一般为主配电屏至短路点电缆段  $L_2$  的第 4 芯（如选用电缆第 4 芯作保护线）阻抗  $Z_{02}$ 、电缆金属护层阻抗  $Z_w$  ( $X_w \approx 0$ ) 及接地扁钢阻抗  $Z_g$  三者并联组成的阻抗，具体组成应按设计实际采用的接地网络确定（计算中接地扁钢等值规格一般可为：在主厂房范围内或主厂房以外的配电点及电缆沟相通的负荷点，或有接地干线直接通过的负荷点，按 2 根  $50 \times 5$  扁钢计算，在主厂房以外的其他用电设备按 1 根  $50 \times 5$  扁钢计算）；

$\sum R$ ——单相短路回路电阻之和，mΩ；

$\sum X$ ——单相短路回路电抗之和，mΩ。

## 附录 F 柴油发电机组的容量计算

### F.1 计算负荷

F.1.1 柴油发电机组的负荷可采用式 (F.1.1) 计算:

$$S_{JS} = \frac{P_{\Sigma}}{\eta_{\Sigma} \cos\varphi} \quad (\text{F.1.1})$$

式中  $S_{JS}$ ——计算负荷, kVA;

$P_{\Sigma}$ ——可能同时运行的应急负荷 (包括旋转和静止的负荷) 的额定功率之和, kW;

$\eta_{\Sigma}$ ——应急负荷的计算效率, 一般取 0.82~0.88;

$\cos\varphi$ ——计算负荷的功率因数, 可取 0.80。

F.1.2 计算时应考虑应急负荷的投运规律。对于在时间上能错开运行的应急负荷不应全部计算, 可以分阶段统计同时运行的应急负荷, 取其最大者作为计算负荷。

### F.2 发电机容量选择计算

F.2.1 发电机连续输出容量应大于最大计算负荷, 可采用式 (F.2.1):

$$S_{G1} \geq S_{JS} \quad (\text{F.2.1})$$

式中  $S_{G1}$ ——发电机的额定容量, kVA。

F.2.2 按带负荷后仍满足最大单台电动机或成组电动机的启动应校验发电机容量, 可采用式 (F.2.2):

$$S_{G2} = \left( \frac{P_{\Sigma} - P_m}{\eta_{\Sigma}} + \frac{p_m KC \cos\varphi_m}{\eta_d \cos\varphi_d} \right) \frac{1}{\cos\varphi_G} \quad (\text{F.2.2})$$

式中  $S_{G2}$ ——按最大单台电动机或成组电动机启动校验的发电机容量, kVA;

$P_m$ ——启动最大单台电动机或成组电动机的容量, kW;

$\cos\varphi_m$ ——电动机的启动功率因数, 一般取 0.4;

$\eta_d \cos\varphi_d$ ——电动机额定效率和额定功率因数的乘积，简化计算时取 0.80；

$K$ ——电动机的启动倍数；

$C$ ——按电动机启动方式确定的系数，全压启动  $C=1$ ；

$\cos\varphi_G$ ——发电机的功率因数，可取 0.80。

**F. 2.3** 按空载启动最大的单台电动机时母线允许电压降校验发电机容量，可采用式 (F. 2.3)：

$$S_{G3} = \frac{P_n K C X_d''}{\eta_d \cos\varphi_d} \left( \frac{1}{\Delta E} - 1 \right) \quad (\text{F. 2. 3})$$

式中  $S_{G3}$ ——按空载启动单台最大的电动机时母线允许电压降校验的发电机容量，kVA；

$P_n$ ——最大的单台电动机功率，kW；

$X_d''$ ——发电机次暂态电抗，一般取 0.25；

$\Delta E$ ——厂（站）用电母线允许的瞬时电压降，一般取 0.25（有电梯时取 0.2）。

### F. 3 柴油机输出功率的复核

**F. 3.1** 实际使用地点的环境条件与标准使用条件不同时，应按式 (F. 3.1) 对柴油机的输出功率进行修正：

$$P_x = C P_r \quad (\text{F. 3. 1})$$

式中  $P_x$ ——柴油机的实际输出功率，kW；

$P_r$ ——标准使用条件（海拔 0m，空气温度 20℃，相对湿度 50%）下柴油机的实际输出功率，kW；

$C$ ——海拔、空气温度和相对湿度的综合修正系数。

**F. 3.2** 在全厂（站）停电 1h 内，柴油发电机组应具有承担最大应急负荷的能力。柴油机 1h 允许承受负载能力为  $1.1P_x$ ，其实际输出功率可采用式 (F. 3.2) 计算：

$$P_x = \frac{\beta P_\Sigma}{1.1 \eta_G} \quad (\text{F. 3. 2})$$

式中  $\eta_G$ ——发电机的效率；

$\beta$ ——柴油机与发电机的功率配合系数，一般取 1.1~1.15。

**F.3.3** 制造厂保证的柴油发电机组首次加载能力，应不低于额定功率的 50%。为此要求柴油机的实际输出功率，应不小于 2 倍初始投入的启动有功功率，可采用式 (F.3.3)：

$$P_x \geq 2K \frac{P''_{\Sigma}}{\cos\varphi_a} \cos\varphi_m \quad (\text{F.3.3})$$

式中  $P''_{\Sigma}$ ——初始投入启动的电动机的额定功率之和，kW。

## 标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程厂（站）用电系统设计规范

SL 485—2010

条 文 说 明

# 目 次

3	厂(站)用电接线	64
3.1	厂(站)用电电源	64
3.2	厂(站)用电电压	66
3.3	接线方式	67
3.4	负荷的连接与供电方式	69
3.5	检修供电	72
3.6	消防供电	73
4	厂(站)用电变压器选择	74
4.1	最大负荷的分析统计	74
4.2	变压器型式选择	76
4.3	变压器容量选择	77
4.4	变压器阻抗选择	80
4.5	电压调整	81
4.6	电动机启动时的电压校验	81
5	厂(站)用电电动机	83
5.1	电动机的型式、电压选择与容量校验	83
5.2	电动机启动方式选择	84
6	厂(站)用电系统短路电流计算	89
6.1	高压系统短路电流计算	89
6.2	低压系统短路电流计算	90
7	厂(站)用电系统电气设备和导体选择	94
7.1	高压电气设备和导体选择	94
7.2	低压电气设备和导体选择	95
7.3	低压电器的组合	103
8	柴油发电机组的选择	106
8.1	型式选择	106

8.2	容量选择 .....	107
9	厂(站)用电电气设备布置 .....	108
9.1	变压器布置 .....	108
9.2	配电装置布置 .....	109
9.3	柴油发电机组的布置 .....	111
9.4	对土建的要求 .....	111

## 3 厂（站）用电接线

### 3.1 厂（站）用电电源

**3.1.1 一般设计原则。**其中电源的相对独立是指若干厂（站）用电电源中，任一电源发生故障，在继电保护正常动作情况下，不致使其他电源同时失掉。

**3.1.2 为保证可靠运行所必须的厂（站）用电电源数量，**这不仅与水力发电厂的装机容量及其在系统中的地位、泵站的规模及其在水利水电工程中的重要性等有关，而且也与其运行方式及厂房和设备的安全运行要求密切相关。如一个水力发电厂虽具有多个电源，但有可能在全厂停机时完全失去，或在部分机组运行时，由于电源数量减少仍不够可靠。因此厂用电电源数量不仅要考虑全部机组运行时的要求，还要考虑部分机组运行和全厂停机时的要求。据对国内几十座大、中型水力发电厂厂用电和泵站站用电电源情况调查分析，厂（站）用电电源数量在一台机组或泵站运行或全厂（站）停机时通常是控制条件。在本条所规定的各种运行方式下，大、中型水力发电厂、泵站必须具有的厂用电电源数量已可满足安全、可靠运行的要求。

首台机组投运时运行状况与本条 2 款中部分机组运行相同，因此要求的厂用电电源数量亦与本条 2 款相同，其中要求有一个厂用电电源应由本厂提供，是考虑以此取得厂用电电源的现实性与可靠性，对此在厂用电接线设计及首台机组投运的过渡设计中，必须考虑此问题。

根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》（SL 252）的有关规定，本条所提大型水力发电厂是指：容量在 1200MW 及以上为大（1）型；容量在 300~1200MW 之间为大（2）型。中型水力发电厂是指容量为 50~300MW 之间。大型泵站是指：容量在 30MW 及以上为大（1）型；容量在 10~30MW 之间为大

(2) 型。中型泵站是指容量为 1~10MW 之间。

**3.1.3** 据对国内几十座大、中型水力发电厂的调查，绝大多数水力发电厂的厂用电源均引自发电机电压母线或单元分支线（其中大部分水力发电厂除由发电机电压母线或单元分支线供给厂用电外，还有外来电源）。由发电机电压母线或单元分支线供给厂用电一般比较经济、可靠，且可通过主变压器倒送，自系统取得厂用电电源，因此应是厂用电电源取得的首选方式。当单元接线上装设断路器或隔离开关时，厂用电电源宜在主变低压侧引接。

为提高厂用电供电的可靠性和连续性，水力发电厂应设置外来厂用电电源，对担任腰、基荷的水力发电厂，有条件也可考虑从其他处所取得外来厂用电电源。根据近 30 年来水力发电厂设计、实践经验的总结，本条 2 款列出了 5 种外来厂用电电源的取得方式。

另外，利用水力发电厂兴建时的施工变电所，永临结合，以供给水力发电厂近区用电并作为厂用电的外来电源，不但节省投资，还可简化水力发电厂接线，这是一种普遍采用且方便有利的取得厂用电外来电源的方案。

本条 3 款列出的站用电电源的取得方式，亦是对近十几年来国内泵站设计、实践经验的总结。

**3.1.4** 从水力发电厂高压母线引接厂用电电源仅是厂用电外来电源的取得方式之一。例如：东北的白山水力发电厂、莲花水力发电厂就是采用在 220kV 母线上引接回路并设置高厂变供厂用电，已成功运行多年。该方式与其他取得外来厂用电电源方式相比，往往投资较高，但年电能损失费可能较低，应当通过技术经济比较确定。

随着水电事业的迅猛发展，近年来水力发电厂的单机容量在不断增大。对大容量机组的调峰电厂一般都是采用单元接线，且多在机组与变压器之间装设了发电机断路器。虽然通过主变压器倒送供厂用电将使主变压器损耗增大，但大多数调峰电厂为了保证电厂负荷的快速调节和系统事故备用功能以及避免开环运行，

停机时往往并不切除主变压器，故通过主变压器倒送供厂用电便顺理成章。在电厂高压侧母线上引接厂用电电源方案不宜普遍采用。只有当附近无可靠的外来电源，又是采用单元接线且不装设发电机断路器，机组停运不便经主变压器倒送厂用电时，才可作为比较方案并经论证合理时采用。

### 3.1.5 一般设计原则。

3.1.6 本条主要考虑到对大坝安全度汛有要求，或厂房可能被淹而危及人身或设备安全的特别重要的大中型水力发电厂、泵站、泄洪设施等，一旦发生失去厂（站）用电电源，而同时又失去外来电源，后果将十分严重。因此，增设应急电源就显得十分必要。而柴油发电机组、逆变电源或其他不间断电源装置等，近些年技术进步较快，能够实现远方快速启动和应急响应，可作为水力发电厂、泵站、泄洪设施等的应急电源。尤其柴油发电机组，可靠性高且工程投资增加较少。另据调查，近年来兴建的大、中型水力发电厂或泵站工程，设置柴油发电机组作应急电源较为普遍，也较受业主欢迎，故经论证合理均应设置。

## 3.2 厂（站）用电电压

3.2.1 一般厂（站）用电电动机容量不大，其工作电压普遍采用 380V，故均有 380V 这一级电压。但有的水力发电厂由于部分电动机容量较大，工作电压高于 380V，或由于厂区范围较大，输电距离较远，负荷容量较大，以 380V 电压直接供电有困难时，则可选用高、低两级电压供电。因此，是否采用两级电压供电，与诸多因素有关，应根据具体情况，经过综合分析比较确定。至于中型水力发电厂厂用电和泵站站用电的电动机容量不大，宜以 380V 一级电压供电。

3.2.2 除个别水力发电厂具有 35kV 送电电压级，且经过论证以 35kV 兼作高压厂用电电压外，一般均以 10kV（或 6kV）作为高压厂用电电压，这是由于 10kV（或 6kV）已可满足厂区供电距离和容量的要求，而且较经济。

在 10kV、6kV 两级电压中，高压厂用电电压选用 10kV 较 6kV 便于和地区电网连接（地区电网一般为 10kV），输电距离较远，且电缆、导线等截面较小，绝缘水平与 6kV 相差不多，比较有利。因此推荐采用 10kV 电压级。

**3.2.3** 如 3.2.1 条所述，在水力发电厂、泵站中的低压厂（站）用电电压均为 380V 级，且为了能引取照明、电焊、试验等单相电源的需要等，低压厂（站）用电电压应采用 380/220V 中性点直接接地的 TN-C 或 TN-C-S 系统。其定义详见《交流电气装置的接地》（DL/T 621）的有关规定。

### 3.3 接线方式

**3.3.1** 当大型水力发电厂采用两级厂用电电压供电时，宜将机组自用电与全厂公用电分开供电，这可大大提高机组自用电的可靠性。机组自用电变压器宜接至高压厂用电母线上，机组自用电的备用电源还可从公用厂用电变压器取得。

**3.3.2** 机组自用电与全厂公用电分开供电的目的是为了提高可靠性，但同时也使得厂用供电设备增多、接线复杂。对中型水力发电厂、泵站而言，不应与大型水力发电厂同等要求，考虑到机组自用电与全厂（站）公用电混合供电可以节省投资，简化接线和布置，因此中型水力发电厂、泵站宜采用这种供电方式。

**3.3.3** 据对国内几十座大型水力发电厂的调查，高压厂用电系统绝大多数采用单母线分段接线，多年运行实践证明，该种接线简单清晰，具有足够的可靠性。母线分段数可以与电源数相等，也可少于电源数，亦即每段母线由一个或一个以上的电源供电，但母线分段数不应少于两段。对有些特别重要的大型水力发电厂，还可采用环形接线，以提高厂用电的可靠性与灵活性。

**3.3.4** 单母线分段接线是泵站中普遍采用、运行经验成熟的典型接线型式。

**3.3.5** 国内绝大多数两级厂用电电压供电且机组自用电与全厂公用电分开的大型水力发电厂，普遍采用机组自用电变压器接至

高压厂用电母线上的方案。这种接线方式可靠性高、运行灵活，不受运行方式的制约。

当单机容量较大，单机自用电负荷在 315kVA 以上，且机组台数在 4 台以上时，采用每台机组分别由一台单机自用电变压器供电，具有接线清晰、机组供电的可靠性高、节省电缆及供电经济等优点。而如采用集中供电，由于机组台数多，全厂自用电负荷大，互为备用的机组自用电变压器容量大，空载损耗亦大，且配电电缆用量多，其技术经济的合理性较差。

采用单元接线的大型水力发电厂，无论是担任峰荷还是基荷，单机自用电变压器均宜接至高压厂用电母线。单机自用电变压器接至机端的接线仅适用于基荷水力发电厂，因峰荷水力发电厂机组启停频繁，停机时该机组自用电负荷须由其他电源供电，亦即机组自用电将随机组的起停而频繁地进行切换操作，运行不便。为避免上述弊端，峰荷水力发电厂的单机自用电变压器不宜接至机端。

**3.3.6** 为提高水力发电厂运行的可靠性，厂用电分支回路宜采用与发电机主回路相同型式的母线。当厂用电分支线采用离相封闭母线时，在该分支线上就不宜装设断路器，因为当采用离相封闭母线时，意味着机组容量较大，如厂用电分支线上装设断路器，要求开断的短路电流会很大，此种断路器尺寸大、价格贵，安装断路器不仅布置复杂、不经济，而且降低了本来运行很可靠的封闭母线的可靠性。

当厂用电变压器高压侧未装设断路器或熔断器等保护电器时，变压器及其低压回路故障可能导致机组停机。为了减少这类故障，厂用电变压器应选用单相变压器组，并在变压器和低压断路器之间用母线连接；布置上，还应使两者之间距离最短，以减少故障概率。

**3.3.7** 当厂用电分支线未采用离相封闭母线时，厂用电变压器高压侧宜装设断路器。但当厂用电分支回路的短路电流（周期分量有效值）达 40kA 及以上时，断路器选择会受到布置和经济条

件的限制。在这种情况下，宜采取限制短路电流措施如：加装限流电抗器、快速限流器等，以便选用额定短路开断电流小于40kA的断路器。

当厂用电分支线未采用离相封闭母线且回路的短路电流达40kA及以上，回路的工作电流不大于100A时，还可考虑在回路中装设高压熔断器或高压限流熔断器组合保护装置。根据国内水力发电厂的调查情况表明，已有部分符合上述条件的水力发电厂（如：江口、金哨、尼尔基、大顶子山等水力发电厂）采用了高压熔断器或高压限流熔断器组合保护装置作厂用电变压器高压侧短路保护，经几年来的运行实践证明是可行的。高压限流熔断器组合保护装置通常由高压限流熔断器、氧化锌阀片、负荷开关或开断电流小于31.5kA的断路器等组成。其结构简单，体积小，造价低，且由于熔断器的动作快速性与限流性由物理特性所决定，其动作可靠性较高。该装置既可通过熔断器实现高压侧的短路保护，又能通过负荷开关或断路器实现回路的正常操作、开断过负荷电流和厂用变低压侧的短路电流。但在实际采用时，应充分考虑厂用电变压器高、低压侧保护动作的选择性要求。

**3.3.8** 对“水力发电厂厂内用电变压器与坝区用电变压器的高压侧不宜合用一组断路器”的要求的目的，是为了保证厂内用电的可靠性。

由于近区电网可靠性一般较差，为了不因近区电网故障影响厂用电变压器安全运行，以保证厂用电的可靠性，故要求厂用电变压器与近区用电变压器高压侧不应合用一组断路器。

有的水力发电厂采用三绕组变压器，既供给厂用电，又供给近区工农业用电，不仅降低了厂用电的可靠性，而且使近区工农业负荷增长受到三绕组变压器容量的限制，不利于发展，因此应杜绝此种供电方式。

### 3.4 负荷的连接与供电方式

**3.4.1** 水力发电厂的厂、坝区供电与近区及生活区的供电方式

应有所区别。由于近区及生活区用电负荷分支多，运行不可靠，若接入厂用电网络会降低厂用电的运行可靠性，因此，近区及生活区用电，宜优先考虑从地区电网引接。但据调查，有相当一部分水力发电厂的近区及生活区电源是从高压厂用电母线引接，其原因有经济上的、隶属关系上的、行政区域之间的等，比较复杂。故条文中仍允许从高压厂用电母线上引接，但应采用单独的配电变压器供电。

**3.4.2** 水力发电厂内及其附近的厂用电低压负荷，一般以双层辐射式供电。双层辐射式供电除设置主配电屏外，还在负荷集中处设置分配电屏，由主配电屏以辐射式向分配电屏供电，再由分配电屏以辐射式供电给负荷，以此减少电缆用量。

辐射式供电的干线保护电器可能是低压断路器或熔断器。当级数大于两级，且干线采用低压断路器保护时，延时脱扣器的动作时间有时将超过短延时时限，此时将降低开断能力。当干线采用熔断器保护时，为保持一定级差，使干线上熔断器的额定电流很大，致使动作灵敏度不够或影响电缆截面选择，因此对重要负荷，为保证保护选择性动作，辐射式供电级数不宜多于两级。

对靠近主配电屏或负荷容量较大，从主配电屏直接引接反而经济的负荷，以及从可靠性考虑，需从主配电屏直接引接的负荷，也可从主配电屏直接引出供电。

对机组台数较少（一般为2~3台）且容量较小的水力发电厂，由于厂房尺寸不大，负荷距离较近，设立分配电屏节约电缆有限，经济效益不明显，且增加设备和布置场地，故宜采用单层辐射式供电。

**3.4.3** 理由与3.4.2条中机组台数较少且容量较小的水力发电厂负荷供电方式考虑相同。

**3.4.4** 本标准根据水力发电厂和泵站厂（站）用电负荷的重要性，划分了Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类负荷标准，其基本原则是以厂（站）用电负荷停运后对水力发电厂或泵站运行的影响程度确定的。

**3.4.5** 在水力发电厂或泵站中的Ⅰ类负荷有两种情况，一种是在机械上有2套，互为备用，如机组技术供水泵等；第二种情况是在机械上只有1套，无互为备用，如变压器冷却风扇等。还有些负荷，虽然机械上有2套互为备用，但考虑其他因素2个负荷仍由同一配电屏供电，如机组压油装置油泵等。对第一种情况的设计原则是将互为备用的2套装置，分接于不同电源。第二种情况的设计原则（包括机械上虽有2套，互为备用，但仍由同一配电屏供电的负荷），是由2个电源供电，经切换后可实现互为备用。向负荷供电的不同电源的两分配电屏之间设联络线互为备用时，该联络线上可不装设保护电器，以减少保护级数，便于低压电器设备选择，提高保护的灵敏度与选择性，但应装设操作电器，以便需要时作自动或手动操作切换。对新建的水力发电厂或泵站，厂（站）用电的要求应更高些，向负荷供电的2个电源应能互为备用，故障时自动投切。

**3.4.6** 在水力发电厂或泵站中的Ⅱ类负荷机械上仅有1套，以单电源供电已可满足其可靠性要求。一般是1个回路接1个负荷，使之互不影响。但大坝闸门启闭机由于布置较分散，对不同时运行且容量不大的启闭机，如数台合用1个回路供电，则可节约电缆。但为了保证闸门，尤其是溢洪门的供电可靠性，往往采取环形供电方式，使之有2个电源，而且1个回路供电的闸门数量不宜过多，以便从整体来看，闸门仍是多回路供电。

**3.4.7** 根据以往水力发电厂或泵站厂（站）用电的设计惯例，对Ⅲ类负荷按干线式供电的原则设计，能节约投资，并不影响水力发电厂、泵站运行的可靠性。

**3.4.8** 分配电屏的电源进线回路上装设隔离电器的目的，是当分配电屏检修时，有一个明显的断开点。如果采用负荷开关作隔离电器，还可以作为分配电屏就地操作。若在分配电屏进线上装设保护电器，则此保护电器将与主配电屏在此回路上设置的保护电器重复，还会带来分配电屏负荷回路与进线回路保护电器的级差配合选择等问题，故不宜装设。

3.4.9 按以往的设计惯例，主、分配电屏一般都预留 15%~20%的备用出线回路。

### 3.5 检修供电

3.5.1 据调查，水力发电厂（泵站）除安装场需要检修电源外，在发电机（电动机）层、水轮机（水泵）层，屋内配电装置室、主变压器场（室）、开关站（变电站）、尾水平台及大坝均宜设置检修电源。检修负荷的大小及检修电源回路数与水力发电厂（泵站）规模、机组型式及其容量、检修作业内容及其方法、检修设备的配置情况、劳动组织、检修作业强度和时间安排等很多因素有关。即使同类型水力发电厂（泵站），差别也较大。故应根据工程具体情况确定。为便于分析确定，将各处所需检修负荷举例如下：

(1) 安装场需要临时引接的检修负荷较多，一般有干燥箱电热、电焊、试验，以及变压器绝缘干燥，抽真空等。

(2) 发电机（电动机）层设置检修电源可用作发电机（电动机）工频耐压，定子绕组接头焊接，定子铁损试验、清扫、干燥、滤油、喷漆、临时照明等。

(3) 水轮机（水泵）层设置检修电源可用作水轮机（水泵）轮叶空蚀补焊，叶片裂缝焊接时局部加温、清扫、电焊、临时照明、喷漆等。

(4) 屋内配电装置室设置检修电源也可用作定子铁损试验，耐压试验，还可用于清扫、电焊、临时照明等。

(5) 在变压器场（室）设置检修电源可用作变压器滤油。

(6) 在开关站（变电站）设置检修电源可用作钻孔、电焊、滤油、试验及临时照明等。

(7) 在坝顶及尾水平台设置检修电源可用作钻孔、电焊、滤油、切割、试验及临时照明等。

3.5.2 本条主要考虑到检修负荷属Ⅲ类负荷，对其供电应尽量缩短线路长度且不影响重要负荷回路的供电，所以检修配电屏

(箱)一般由低压主配电屏直接引出回路供电。对离主配电屏较远的检修配电屏(箱)或检修负荷,可就近由其他分配电屏供电。

**3.5.3** 对检修负荷特别大的大型水力发电厂,相应检修配电屏(箱)布点很多,因此可考虑设置独立的检修配电网络和专用检修变压器。该供电方式有接线清晰,能提高厂用电供电可靠性、检修用电方便,减小公用变容量,有利于运行管理等优点。但这种方式将增加厂用电变压器台数及配电箱数量,电缆用量大(如采用插接式母线槽或绝缘母线配电时能得到改善)。所以一般不推荐采用,仅对检修负荷特别大的多机组水力发电厂可考虑设置。

**3.5.4** 厂(站)用电备用(明备用)电源变压器平时闲置无用,若兼供检修用电可以节省投资,且当检修时又发生厂(站)用电电源故障需要厂(站)用电备用电源变压器投入的概率很小,即使发生这种情况,也可停止或减少检修供电而保证运行所需的用电,因此,并不降低厂(站)用电的可靠性。

## **3.6 消防供电**

**3.6.1** 根据《水利水电工程设计防火规范》(SDJ 278)的有关规定,厂(站)消防用电设备按二级负荷供电。本条中的二级负荷有别于Ⅱ类负荷,应注意区分。

**3.6.2** 本条是消防用电设备供电的原则要求。主要引自SDJ 278中的有关规定。

**3.6.3** 本条部分引自《建筑设计防火规范》(GB 50016)中有关规定并结合了近年来多数工程的设计惯例。

## 4 厂（站）用电变压器选择

### 4.1 最大负荷的分析统计

4.1.1、4.1.2 水力发电厂、泵站厂（站）用电最大负荷的出现与水力发电厂机组、泵站泵组的运行方式有关，不同的运行方式其用电负荷不同。因此，必须考虑各种运行方式，取其最大者。而在何种运行方式下会出现最大负荷，这又与水力发电厂机组、泵站泵组的型式、地理位置（涉及冬季采暖负荷）等有关。如位于北方寒冷地区的混流式机组、泵组的水力发电厂、泵站，最大负荷大多出现在冬季一台机组、泵组检修，其余机组、泵组运行的工况，如该水力发电厂机组还作调相运行（泵站一般不调相），则运行机组作调相运行时负荷最大，因此时将压水用空压机负荷同时参加运行。

分析统计最大负荷的目的，是选择厂（站）用电电源变压器的容量或选择厂（站）备用电源变压器的容量。因此不仅要分析全厂（站）出现最大负荷的运行方式，还要分析统计出与此厂（站）备用电源变压器连接的最大负荷的运行方式。全部机组、泵组（包括备用）停运时，往往由外来电源供电，而此时负荷并非全厂（站）最大负荷；但对外来电源厂（站）用电变压器则是最大负荷，故亦应分析统计此种工况下的用电负荷。

4.1.3 由于水力发电厂、泵站厂（站）用电负荷的运行方式多种多样，有经常运行与不经常运行之分。而经常运行或不经常运行的负荷，两者又都可能包含连续、短时或断续的负荷，其组合情况较多。为提高负荷统计的精确度，根据机组、泵组的运行方式及厂（站）用电负荷的运行情况，应首先将明显不可能同时运行的负荷分开，统计出可能参加同时运行的负荷。本条对其统计原则做了如下规定：

- 1 如技术供水泵、渗漏排水泵等经常连续及经常短时运行

的负荷均应计算。

2 如机组、泵组的压油泵与漏油泵等经常断续运行负荷，应视机组、泵组特性及台数，决定参加最大负荷同时运行的台数。并考虑同时率后计入。

3 如检修排水泵属不经常连续运行负荷，当取、排水闸门漏水时，可仅计一台排水泵；再如油处理设备属不经常连续及不经常短时运行的负荷，应按设备组合运行情况统计，不应计入全部装置负荷。而消防水泵等负荷，虽属不经常短时运行，但仅在事故情况下应用，故可不统计。因在此特殊情况下，厂（站）用电变压器可以过负荷，也可相应切除一些不重要负荷。

4 如厂、站内桥机、电焊机等不经常断续运行的负荷应计入。如坝上闸门启闭机在检修期不经常使用，在最大负荷时运行概率较小，一般可不计入或仅计入行走机构负荷。

5 互为备用的电动机，有可能由同一厂（站）用电电源供电时，只应计入参加运行的部分；而由不同电源供电时，则应分别计入。事故备用负荷一般可不计入。因为只有当备用的厂（站）用电变压器发生故障，又适逢此时出现最大负荷，而同时再遇该负荷事故停运需要事故备用负荷投入运行，显然，这三种情况同时出现的概率很小，故事故备用负荷一般可不计入。

厂（站）用电负荷的运行方式详见附录 A 主要厂（站）用电负荷特性表。

4.1.4 厂用电最大负荷的计算方法见附录 B.0.1、B.0.2，即“综合系数法”、“负荷统计法”。“综合系数法”是在“负荷统计法”的基础上改进简化而成的。“负荷统计法”计算过程较繁杂，由于在统计负荷时有约占 20%~30% 的厂用电负荷容量只能靠估算；也有一些厂用电负荷虽知其容量，但却不知其功率因数与效率值，而仅对某些负荷作精确计算，并不能提高计算结果的精度。所以对所有负荷均应分别进行有功与无功的计算，否则，其计算精度很难达到愿望。“综合系数法”简单、明了、计算结果较符合实际，故推荐采用。当然，在厂用电负荷资料较明确、齐

全的情况下，也可采用“负荷统计法”。

站用电最大负荷的计算方法见附录 B.0.3，即“分析统计法”。该计算方法引自《泵站设计规范》(GB/T 50265)。

**4.1.5** 各配电变压器的最大负荷与厂(站)用电配电网及其运行方式(包括备用方式)，以及所连接的负荷特性等有关，只能根据具体情况分析统计确定。

## 4.2 变压器型式选择

**4.2.1** 干式变压器与油浸式变压器相比，具有不燃性、无爆炸和火灾蔓延隐患；布置、检修、运行维护简单等诸多优点；且与相同电压等级油浸式变压器的绝缘水平一致。因此近些年来，随着干式变压器的制造容量不断增大、电压等级不断提高、工艺水平不断进步，它的应用已是非常普遍。所以布置在厂房内的厂(站)用电变压器要求采用干式变压器。这不但使得厂房内布置整洁美观，更主要是可使厂房内电气设备无油化。布置在屋外的厂(站)用电变压器，一般露天布置，所以建议选用油浸式变压器。

**4.2.2** 近些年来，随着我国科学技术的飞速进步和变压器工艺水平的不断提高，节能降耗已成为首要，因此要求厂(站)用电变压器必须选择节能型。如 500kVA 及以下的卷铁心结构干式变压器可比同容量叠片结构干式变压器减少 30% 的空载损耗。只要采用先进结构型式的变压器，就可有效的节能降耗。

铜绕组变压器与铝箔绕组变压器相比，虽然铜绕组具有抗氧化、耐腐蚀、寿命长、熔点高、电阻率小、导电性能好、损耗低等诸多优点；但铝箔绕组变压器也有其独到之处，如重量轻、价格便宜，热膨胀系数比铜更接近于环氧树脂，可以彻底防止开裂；抗冲击性能好，冲击电压梯度分布均匀，可有效抑制电位波动；被渗入稀土金属的铝箔绕组，还可提高机械强度，不易氧化等。综上，铜绕组变压器和铝箔绕组变压器各有特点和优势，故本条对变压器绕组的材质未作要求而只强调了节能。

**4.2.3** 离相封闭母线的可靠性很高，不会发生相间闪络短路。

从离相封闭母线引接的厂用电分支线，一般也为离相封闭母线。为使与封闭母线分支线相连接的厂用电变压器与离相封闭母线具有相同的可靠性，该厂用电变压器宜采用单相干式变压器。

**4.2.4** 近几年来，干式变压器技术进步很快，无论是制造工艺水平还是绝缘材料的应用都在不断更新，且种类较多，可以适应不同的使用环境。因此本条规定：当厂（站）用电变压器的安装地点潮湿时，应采用防潮性能好的干式变压器。至于采用何种工艺、何种绝缘材料的产品，本条不作具体要求，选择时可以结合工程特点，因地制宜的提出使用条件。

**4.2.5** 本条提出“厂（站）用电变压器接线组别的选择，宜使电源间相位相一致”的目的，是为了便于厂（站）用电电源的切换操作可采用并联切换方式。厂（站）用电变压器间虽不并列运行，但一旦误操作造成并列，若厂（站）用电变压器间相位一致，可减小事故后果。如厂（站）用电变压器接线组别经选择，确实不能满足电源间相位一致时，必须采取互不并列的闭锁措施。是否采取如加隔离变压器等措施，需慎重对待。

D, yn11 接线与 Y, yn0 接线组别的配电变压器相比，前者空载损耗与负载损耗虽略大于后者，但 D, yn11 接线比 Y, yn0 接线的零序阻抗要小很多，接近正序阻抗，因而缩小各种短路类型的短路电流差异，可简化保护方式，特别有利于单相接地短路故障保护。此外，D, yn11 接线承受不平衡负荷能力大，可更充分利用厂（站）用电变压器容量，而 Y, yn0 接线要求中性线电流不超过低压绕组额定电流的 25%，限制了接用单相负荷容量。再则，由于 D, yn11 接线变压器其原边接成三角形接线，有利于抑制高次谐波电流，提高了厂（站）用电电能质量。因此，低压厂（站）用电变压器推荐采用 D, yn11 的接线组别。

### 4.3 变压器容量选择

**4.3.1** 本条提出了厂（站）用电变压器容量选择与校验的三条原则。

1 对于水力发电厂主要应考虑当机组检修，由该机组供电的厂用电变压器退出运行时，其余厂用电变压器容量应满足可能出现的最大负荷需要。对单台厂（站）用电变压器的容量，因其所担负的容量与厂（站）用电接线的运行方式有关，即使在非全厂最大负荷时，对某台厂（站）用电变压器也可能出现最大负荷，甚至超过全厂（站）最大负荷时所分担的负荷，所以还应按照厂（站）用电接线的运行方式及所连接的负荷综合分析确定。如由多段母线构成环形接线的大型水力发电厂，正常情况下，一段母线由一台厂用电变压器供电，但当其中有厂用电变压器退出运行时，特别在峰荷水力发电厂全厂停机时，由本厂机组供电的厂用电变压器可能全部退出运行，此时外来电源供电的厂用电变压器可能担负全厂负荷或多段母线上的负荷。

2 主要考虑当有一台厂（站）用电变压器因计划检修或故障退出运行时，可暂时切除一些不重要负荷，其余厂（站）用电变压器的容量应能保证所有 I 类、II 类厂（站）用电负荷的需要。因厂（站）用电变压器计划检修不会安排在出现最大负荷时，另因厂（站）用电变压器检修周期较短，而在此期间又有一台厂（站）用电变压器故障的机率极小，故可不考虑。

3 基于以下原因规定了成组电动机自启动时允许的低压厂（站）用电母线电压的最低值：

(1) 经多年运行经验和试验证明，当母线电压不低于额定电压的 60% 时均能成功自启动。

(2) 在厂（站）用电负荷供电回路中大量使用磁力启动器，当启动器的端电压在其额定电压的 55%~85% 时，磁力启动器触头可能发生抖动，因而要求自启动时厂（站）用电母线电压不宜低于 60%。

(3) 在成组电动机自启动过程中，将会形成自然的“分批”自启动，即使厂（站）用电母线最低电压低于一些电动机自启动允许电压，因启动阻力矩小的会先启动完成，使得启动电流下降，电压上升；而启动阻力矩大、要求启动电压高的厂（站）用

电电动机稍后才开始自启动。自启动时间相对会长些，但能够相继完成。根据以上分析，成组自启动时允许的低压厂（站）用电母线电压不低于额定电压 60% 是有裕度的，能够保证可靠性，且能满足失压、空载、带负荷及高、低压串接自启动等各种情况。

**4.3.2** 本条对厂（站）用电电源和厂（站）用电变压器的容量选择提出了具体要求。在选择变压器容量时，对本条第 3 款，还应满足大型峰荷水力发电厂一机运行或全厂停机等运行方式下的负荷需要。因为在上述运行方式下可以以两个厂用电电源供电，此时要考虑一个电源故障，另一电源能短时满足上述运行方式下的全部负荷需要。对装有风机的干式变压器，当强迫风冷时可过负荷运行，其持续输出容量有的可提高 50% 以上；但考虑到厂（站）用电的重要性，不推荐厂（站）用电干式变压器采用强迫风冷时的持续输出容量作为厂（站）用电变压器额定容量选择的依据。

**4.3.3** 厂用电单机自用电变压器容量选择原则。

**4.3.4** 厂（站）用电变压器一般不并联运行，互为备用的厂（站）用电变压器通常是各自带分段母线运行，分别担负各自所连接的用电负荷。当其中一台厂（站）用电变压器故障，所连接负荷停止运行时，通过关合分段或联络断路器，由另一台厂（站）用电变压器担负全部负荷，此时停运的负荷将会成组自启动，启动电流很大，所以应校验互为备用的厂（站）用电变压器在已带自身负荷后，还应满足另一台厂（站）用电变压器需要自启动电动机成组自启动（包括串接自启动）时的最低电压要求，以保证成组自启动电动机顺利启动投入运行。

**4.3.5** 安装于屋外的油浸式厂（站）用电变压器，其温度修正系数大多略大于 1，所允许过负荷容量可视为裕度。安置在屋内的厂（站）用电变压器通风保证温度一般均能满足厂（站）用电变压器按额定容量运行的要求。因此无必要考虑周围环境温度的影响。

## 4.4 变压器阻抗选择

**4.4.1** 本条提出了选择厂(站)用电变压器的阻抗时应考虑的原则性要求。由于影响阻抗选择的因素很多,而且是相互制约的,因此理应通过全面的技术经济比较来确定最佳阻抗值。

技术上,为了运行的安全可靠,使厂(站)用电回路的短路电流尽量小些,变压器的阻抗值应选大些;但为满足最大电动机正常启动和成组电动机自启动时的电压要求,阻抗值应选小些。另外,为保证电压质量,减小电压偏差范围,阻抗值也应选小些。

经济上,阻抗值应选大些,以便有利于采用轻型的高、低压电器和较小的电缆截面,以节省投资。

但厂(站)用电变压器的阻抗值不应任意选择,变压器制造厂为了生产工艺的通用性,对同一容量、同一电压级的厂(站)用电变压器,如普通配电用变压器和高阻抗变压器的系列产品都有规定的阻抗值,选择时可根据上述要求综合分析研究确定。

**4.4.2** 由于水力发电厂中采用的高压厂用电变压器容量相对较小,其阻抗值的选用若与普通变压器一致,则在变压器副边6~10kV侧母线短路容量一般均能适应选用轻型断路器的要求,故高压厂用电变压器阻抗宜选用与普通变压器相同的阻抗值。低压厂(站)用电变压器阻抗值的选择主要取决于电器设备对短路电流的承受能力。考虑到目前低压电器产品种类很多,短路开断能力有高、中、低档,完全可以满足要求。因此,低压厂(站)用电变压器宜选用与普通变压器相同的阻抗值,以改善大电动机正常启动和成组电动机自启动电压要求,同时还可减小电压波动范围。

**4.4.3** 对大容量的低压厂用电变压器,其低压侧短路电流一般很大,是否需采用高阻抗值的厂用电变压器,宜按4.4.1条的原则要求,综合分析确定。

## 4.5 电压调整

4.5.1 一般规定。

4.5.2 由于发电机出口电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ，该电压偏差值完全满足厂用电母线允许的电压偏差值，故接于发电机电压母线且不从系统受电的厂用电电源变压器，宜采用无励磁调压变压器。当需要由系统倒送供厂用电时，应当验算电压偏差值，如超过则应采用有载调压变压器。

4.5.3 按 4.5.1 条规定的电源电压偏差范围，经两级电压供电的低压厂用电变压器，一般均可采用无励磁调压。如设置专用照明变压器，因照明负荷对电压质量的要求比动力负荷高，但其容量占厂用电总容量的比例小，故应避免由于照明负荷的要求而使高压厂用电变压器采用有载调压。因此，当经验算或采取一般措施不能满足照明负荷电压要求时，则可采用有载调压变压器。站用电变压器运行方式比较固定，宜采用无励磁调压。

## 4.6 电动机启动时的电压校验

4.6.1 系对电动机正常启动时电压下降允许值的一般规定。规定电动机启动电压降允许值的目的是为了限制对其他用电设备的影响和保证电动机的顺利启动。考虑到厂（站）用电配电接线一般均设有主、分配电屏，对于需要验算的较大功率电动机，设计时均就近接至分配电屏母线。因此，电动机支线距离很短，可仅校验母线电压即可。对配电支线较长的电动机，既规定了配电母线电压降的允许值，还要求电动机能保证生产机械要求的启动转矩，即除了验算配电母线电压外还要验算电动机的端子电压。

4.6.2 本条规定了成组电动机自启动时允许的厂（站）用电母线的最低值。此值的确定基于以下四点：

(1) 在运行中，厂（站）用电母线突然失去电压，电动机处于成组惰行状态；电压恢复后，电动机成组自启动，由于备用电源自动投入，失压时间一般不会太长；电压恢复，电动机还未完

全停转，因此比较容易启动，故对成组自启动厂（站）用电母线电压的允许值要求可较单机正常启动时为低。

(2) 在水力发电厂和泵站中较多采用磁力启动器（接触器）启动电动机，由于磁力启动器（接触器）的吸合线圈只能在电压为额定电压的 85%~105% 下正常工作，在额定电压的 35%~40% 虽能吸合但吸力小接触不好，而当电压为额定电压的 55%~85% 有时可能抖动。因此既要求能使电动机顺利启动，又不致使启动器触头烧损，母线电压不宜低于额定电压的 60%。

(3) 电动机启动转矩要求。根据厂（站）用电负荷实际情况，大多数为油泵、水泵及空压机等负荷，而这些负荷的启动阻力矩较小，一般为 0.3 标么值左右，即电动机端子电压不低于 50% 即可。

(4) 即使有的电动机其起始阻力矩较高，但经成组自启动试验表明，成组电动机自启动实际上是“自然分批”完成。启动转矩小的容易启动的电动机先启动，使总启动电流减小，启动母线电压上升，最后也能使大启动转矩的电动机启动投运，只是启动时间稍长些。

带负荷自启动与高、低压串接自启动显然比空载或失压自启动严重得多，启动更困难。因此考虑客观上的要求与实际的可能性，故取额定电压的 60%，空载或失压自启动取额定电压的 65%。

#### 4.6.3 一般设计原则。

4.6.4 据对国内已建和在建水力发电厂的调查分析，除过坝设施电动机容量较大外，一般水力发电厂很少采用高压电动机，即使采用其容量也较小，肯定能满足正常启动电压降的要求，故不必验算。对低压电动机功率大于 20% 电源变压器容量时，才有可能使母线电压不满足 4.6.1 条要求，才需进行正常启动时厂（站）用电配电母线电压校验。但对个别配电支线较长的低压电动机，电动机配电支线上的电压降也将影响电动机的启动，因此，还要求验算正常启动时电动机的端子电压，一般允许的端子电压降为额定电压的 15%~20%，轻载启动可取大值，重载启动取小值。

## 5 厂（站）用电电动机

### 5.1 电动机的型式、电压选择与容量校验

5.1.1 交流电动机比直流电动机结构简单，运行可靠性相对较高，因此，应优先采用交流电动机。采用高效、节能的交流电动机属设计的一般原则。

5.1.2 鼠笼式和绕线式异步电动机具有各自的特点，见表1。

表1 鼠笼式和绕线式异步电动机特点

型式	鼠笼式	绕线式
优点	结构简单，坚固耐用，维修方便，体积小，重量较轻，价格低廉，运行安全可靠，性能指标较好	启动电流小，启动转矩大，发热损耗小（启动时），适合频繁启动，转速可在一定范围内调节
缺点	启动电流大，制动及启动的发热损耗较大，不适合于频繁启动，调速困难	结构复杂、附加设施多（集电环等），需增加启动设备，体积重量较大，价格高，运行可靠性稍差， $\cos\varphi$ 、 $\eta$ 等指标较低

根据厂（站）用电设备的运行特点，采用鼠笼式电动机，除起重设备不能全部满足要求外，其余均能满足，故应优先选用鼠笼式电动机。

5.1.3 根据电动机的外壳防护等级分级和冷却方式并结合水力发电厂、泵站的具体情况考虑制定。

5.1.4 用于特殊环境的厂（站）用电电动机，应选用相应的专用电动机。如湿热带地区使用，应选用湿热带型；用于高原地区的高压电动机应要求制造厂采取必要的防晕措施；用于户外则应采用户外型。

5.1.5 由于绝大多数厂（站）用电电动机容量不大，一般均可采用380V电压，如个别大容量电动机需要采用高压电动机时，应进行技术经济比较确定。当采用高压电动机时，其电压等级宜

与高压厂用电电压一致，以减少电压等级，简化配电接线。

5.1.6 本条根据《高压电机使用于高海拔地区的防电晕技术要求》(JB/T 8439) 提出。

## 5.2 电动机启动方式选择

5.2.1 电动机全压启动是最简单、最经济、最可靠的启动方式，只要符合规定的条件，就应优先采用。各种降压启动方式都比全压启动接线复杂、电器多、投资大、操作维护工作量大、故障率相应提高，而且电动机的发热也高，因此，降压启动应是有条件地选用。

### 5.2.2

1 电动机启动时，所连接母线的电压降要求的说明见 4.6.1 条。

2 一般设计原则。如深井水泵，由于水泵和电动机的联轴较长，有的生产厂家不允许直接启动，而有的生产厂家则允许。

3 供电设备过负荷能力依据如下：

(1) 油浸式电力变压器负载导则及干式电力变压器负载导则。

(2) 经对柴油发电机组的调查资料表明，柴油发电机的过负荷系数一般为 1.4~1.6。由于柴油发电机组所能启动电动机的容量，受多种因素制约，如励磁方式、调速性能、电动机的极对数及启动时柴油发电机组已带负荷的多少和功率因数的高低等，宜根据具体情况进行选择。

4 电动机启动时，由于启动电流大，致使电动机端电压下降，而电动机的启动力矩按电压的平方下降，电动机的启动力矩应大于机械阻力矩，故必须校验电动机启动时的端电压满足公式 (1)：

$$U_{d*} \geq \sqrt{\frac{1.1M_{j*}}{M_{qd*}}} \text{ 或 } U_{d*} \geq \sqrt{\frac{1.1K_j P_j}{KP_d}} \quad (1)$$

式中  $U_{d*}$  ——启动时电动机端电压标么值；

1.1 ——安全系数；

- $M_j$  ——生产机械的启动初始静态阻力矩标么值，见表 2；
- $M_{qd}$  ——电动机折算至机械功率的启动转矩标么值；
- $P_d$  ——电动机铭牌额定功率（对于起重用电动机为主要参数时的额定功率，YZ 及 YZR 系列为 40% 暂载率时的功率）；
- $K$  ——电动机启动转矩倍数（对于起重用电动机 YZ 及 YZR 系列为 40% 暂载率的启动转矩倍数）；
- $K_j$  ——阻力矩标么值，见表 2；
- $P_j$  ——机械轴功率，对于闸门为机械提升时的功率。

表 2 常用机械所需启动静态阻力矩

拖动机械名称	所需启动静态阻力矩
离心式风机、鼓风机、空压机、水泵	0.3
往复式空压机、真空泵	0.4
持续额定容量的交、直流发电机	0.12
闸门启闭机	1.4~1.6
注：对于深孔有淤沙的闸门及小型平板门、起重力比一般闸门要大些但机械设计已考虑这些因素，在电气设计中不必加大静态阻力矩倍数。	

对于闸门启闭机，由于工作制不同，电动机功率不尽一致，而电动机启动力矩倍数是相对应某一工作制的，应按  $U_d \geq$

$$\sqrt{\frac{1.1K_j P_j}{K P_d}}$$
 计算。

例如：某水力发电厂闸门启闭力计算为  $2 \times 85t$ ，启闭机选用  $2 \times 100t$ ，配用 YZ—255M—8 电动机， $FC=25\%$ ，而经计算，如起重  $100t$  时电机容量需  $28.9kW$ ，因实际启闭门力为  $85t$ ，故电动机选择  $FC=25\%$  时为  $26kW$ 。YZ—255M—8 的电动机启动力矩倍数为 2.9，此值是相对于  $FC=40\%$  时容量为  $22kW$  的数值。

根据算式， $K_j$  取 1.6， $P_j = 28.9kW \times 85t/100t = 24.57 kW$ ， $K=2.9$ ， $P_d = 22kW$ 。

$$U_{d*} \geq \sqrt{\frac{1.1 \times 1.6 \times 24.57}{2.9 \times 22}} = 0.823$$

一般启闭机电机选择标准中要求，电动机容量和机械需要容量误差不大于5%，故也可按：

$$U_{d*} \geq \sqrt{\frac{1.1 \times 1.6 \times 26}{2.9 \times 22}} = 0.847$$

对于闸门启闭机电机，一般不宜低于85%的额定电压。但当采用鼠笼式或启动力矩大的电机时，则可取低一些。另外，当用大的机械启动时不带满负荷，电压要求也可以降低，如某水力发电厂桥机为 $4 \times 260t = 1040t$ ，而吊发电机转子时仅为700t，则电压可以降低，这有利于设备和导体选择。

**5.2.4 鼠笼型电动机的降压启动方式较多，传统的降压启动方式有：**Y- $\Delta$ 启动、串联电阻降压启动、自耦降压启动、延边三角形降压启动、电抗器启动等。这些启动方式都属于有级降压启动，都是通过降低电机的启动电压来减少启动电流，采用分步跳跃上升的恒压启动。启动过程中存在2次冲击电流和转矩，且控制回路复杂，电机冲击电流大、冲击转矩大、冲击力矩大、效益低。由于上述传统的降压启动方式存在着明显缺点、技术落后，现已逐渐被淘汰。近年来，随着电力电子技术、微电子技术及大规模集成电路的发展，生产工艺的改进及大功率半导体器件价格的降低，软启动器装置的技术进步速度很快，其价格水平已不断下降并趋于合理，因此，在水力发电厂和泵站中已得到普遍应用。

软启动器降压启动与传统降压启动方式的主要区别是：

(1) 启动平稳，对电源无冲击。在启动电机时，通过逐渐增大晶闸管导通角，使电机启动电流从零线性上升至设定值。对电机无冲击，提高了供电可靠性，减少对负载机械的冲击转矩，延长了机械设备使用寿命。

(2) 有软停车功能，即平滑减速，逐渐停机，它可以克服间断断电停机的弊病，减轻对重载机械的冲击，减少设备损坏。

(3) 启动参数可调, 根据负载情况及电网继电保护特性选择, 可自由地无级调整至最佳的启动电流。

(4) 启动装置功率适度, 一般只为被启动电动机功率的 5%~25%; 允许启动的次数较多。

(5) 具备多种保护功能, 如短路、过载、断相等, 既能改变电机的启动特性, 保护拖动系统, 又能保证电机可靠启动, 降低启动冲击和能耗, 提高效益。

综上所述, 当经过计算分析不能采用全压启动时, 低压鼠笼型电机应优先选用软启动器降压启动。

**5.2.5** 近年来, 随着微电子、电力电子、计算机和自动控制等技术的发展, 变频技术已进入了一个崭新的时代, 越来越成熟的变频技术, 在工业的许多领域得到了广泛的应用。变频器是通过变频调速来改变电机轴输出功率, 达到减少输入功率节省电能的目的。是感应式异步电动机节能的重要手段之一。变频器输出不但改变电压, 而且同时改变频率, 它具有所有软启动的功能。采用变频器可以恒转矩平滑地启动电机, 无大电流冲击, 启动电流可限制在 150% 的额定电流以内, 启动转矩可为 70%~120% 额定转矩, 延长了设备的使用寿命。异步电动机利用变频调速, 是目前调速效果最好、最成熟、最有发展前途的节能技术。采用变频调速控制, 对水泵类和风机类机械通过控制转速来调节流量的方法, 对节约能源, 提高经济效益具有非常重要的意义。目前, 在国内个别水力发电厂已有采用变频器控制水泵和风机运行的实例。但由于变频器比软启动器价格贵出许多, 因此本条规定, 对启动转矩大和有变速要求的较大容量 (55kW 及以上) 低压鼠笼型电动机, 推荐选用静止变频器。

**5.2.6** 由于绕线式电动机不允许直接启动, 其启动方式主要有: 转子串电阻多级启动、转子接频敏变阻器启动、变频器启动和无刷自控电机软启动等。频敏变阻器启动具有接线简单, 启动设备少, 随着启动过程能自动切除变阻器, 力矩变化平稳等优点, 中小容量绕线式电动机宜优先考虑采用。对于大容量绕线式电动

机，宜采用静止变频器或其他启动方式。变频器具有良好的静、动态启动特性，启动电流倍数可以在一定的范围内随意调节、实现了恒电流、恒转矩启动电机的目的，但价格较贵。无刷自控电机软启动器是近几年才问世的一种新型启动装置，它是将启动电阻直接安装在电动机的转轴上，利用电机旋转时产生的离心力作为动力，控制电阻的大小，达到减少电机启动电流、增加启动转矩，使绕线式异步电动机实现无刷自控运行的装置。特别适合于需要大启动转矩、小启动电流的负荷机械，有着广泛的发展前景。但目前采用的业绩还不普遍。设计时可根据工程的具体情况酌情选择。

## 6 厂(站)用电系统短路电流计算

### 6.1 高压系统短路电流计算

6.1.1 规定了高压厂(站)用电系统短路电流计算的适用范围。即是按正常运行方式下可能出现的最严重情况考虑,因此,该短路电流的计算结果仅适用于选择和校验高压厂(站)用电系统的电器和导体,而不适用于继电保护装置的整定计算。

6.1.2 根据《高压交流断路器》(GB 1984)中规定,交流高压断路器的额定短路开断电流由两个特征值表示:

- (1) 交流分量有效值,简称“额定短路电流”。
- (2) 直流分量的百分数。

若直流分量不超过 20%,则额定短路开断电流仅以交流分量有效值来表征。并且还规定断路器额定短路关合电流(峰值)为其额定短路开断电流交流分量有效值的 2.5 倍。目前,在我国已建水力发电厂中,最大的高压厂用变压器容量为 15000kVA,低压侧为 10.5kV,阻抗电压为 6%,变压器低压侧出口短路电流为 14.43kA,变压器的电抗为 441mΩ,电阻为 31.97mΩ,  $T_B=0.04s$ ,计入电缆后取  $T_B=0.04s$ ,其他已运行的水力发电厂,即使串接限流电抗器后也均小于 0.04s,当  $T_B=0.04s$  时,在开断时间为 0.08s(根据目前水力发电厂中普遍采用真空断路器的情况,其开断时间一般为 0.08~0.09s)时的直流分量百分数  $100e^{-t/T_B}=13.5$ ,短路冲击电流为  $i_{chB}=\sqrt{2}(1+e^{-t/T_B})I_B''=2.51I_B''$ 。高压厂用电动机的反馈电流,衰减系数  $K_{D(\sigma)}$  为 0.045s,在短路开断时间 0.08s 时,断路器开断时的直流分量百分数  $100e^{-t/T_D}=16$ ,短路冲击电流  $i_{chD}=\sqrt{2}K_{chD}I_D''=2.26I_D''$ 。

上述表明,厂(站)用电系统的短路电流直流分量百分数不会大于交流分量的 20%,其值也即为仅以交流分量有效值表征的断路器所允许,短路冲击电流也基本满足断路器允许的短路关

合电流为额定短路开断电流的 2.5 倍。为使厂（站）用电系统短路电流计算简化，因此，在短路电流计算中，可不计算短路电流的直流分量（非周期分量）和短路冲击电流。

### 6.1.3 一般设计原则。

6.1.4 本条主要是考虑到目前所选断路器开断电流一般均留有 5% 以上的裕度。经过大量分析计算，同时运行的高压电动机总容量不大于 1500kW 时，其电动机的反馈电流并不大。因此，在高压厂（站）用电系统短电流计算分析中，按电动机反馈电流在断路器开断时小于断路器额定开断电流的 5% 以下时，即可忽略不计。

6.1.5 在短路电流计算中，当电源容量无限大或以电源容量为基准的计算电抗标么值不小于 3 时，即可认为短路电流的周期分量在整个短路过程中不衰减。水力发电厂厂用电负荷一般只占水力发电厂装机容量的 0.4%~1.5%，高压厂用电变压器容量一般在 2000~15000 kVA 之间，变压器的阻抗电压一般为 5.5%~6%，满足计算电抗标么值不小于 3，或电源容量只要为 100~750 MVA 就可视为无穷大容量。

从国内已投入运行的水力发电厂的调查资料表明，厂用电采用二级电压供电的水力发电厂，电源容量均在 100MVA 以上，故水力发电厂高压厂用电变压器高压侧的系统阻抗可以忽略，按无穷大电源计算。水力发电厂高压厂用电变压器高压侧按无穷大电源计算，得出的短路电流数值并不大，而且可使计算简化。

从地区电网引接厂（站）用电电源时，地区电网容量一般较小，系统阻抗往往占有一定比例，宜根据具体情况考虑。

## 6.2 低压系统短路电流计算

6.2.1 本条规定了低压厂（站）用电系统短路电流计算的一般原则：

- 1 根据短路电流计算规定，如回路总电阻  $R_{\Sigma}$  大于  $\frac{1}{3} X_{\Sigma}$

时，电阻对短路电流有较大作用，则必须计及  $R_{\Sigma}$ 。而低压网络中  $R_{\Sigma}$  大于  $\frac{1}{3}X_{\Sigma}$ ，故应计及电阻。

2 采用一级电压供电的低压厂（站）用电变压器（包括接至机端的机组自用电变压器等），由于该厂（站）用电变压器容量远小于其高压侧电源容量，故其高压侧可按无穷大电源考虑。对二级电压供电的低压厂用电变压器，高压厂用电变压器容量一般在 2000~15000kVA 之间，厂用电高压母线相应的短路容量在 33.3~250.0MVA 之间，如按无穷大电源容量计算，则将会引起较大误差，故一般应计及高压侧阻抗。对引自地区网络电源的低压厂（站）用电变压器要具体分析，当高压侧电源容量大于低压厂（站）用电变压器容量 20 倍以上时，可不计高压侧阻抗。实际上由于近年来低压电器开断能力的不断提高，中、高档开断能力的断路器已很普遍，按厂用电变压器高压侧电源容量为无穷大所得短路电流来选择低压电器已并不困难。因此，为简化计算，也可不计高压侧阻抗。

3 低压回路断路器的动作时间大多在 0.02s 以内，而低压异步电动机的反馈电流在此时间内衰减较少，故在计算主配电屏母线或线路出口短路时必须计及异步电动机的反馈电流。由于 20kW 以下电动机不仅容量小，且布置分散、支线长，提供的短路反馈电流衰减较快，数值影响小，故可不计及。对于用电负荷重要、电动机集中、容量也大的分配电屏，一旦故障往往会威胁机组（泵组）正常运行，故此类屏应同主配电屏同样考虑。在主配电屏以外短路时，短路点支路为电动机短路反馈电流和厂（站）用电电源短路电流的共同路径，使主配电屏母线呈现较大残压，大大削弱了异步电动机的短路反馈电流。另外，由于短路反馈电流回路时间常数变小，衰减变快，且由于分支回路设备故障对主配电屏及其他回路影响小，故为简化计算，可不计异步电动机短路反馈电流。上述为供电变压器容量大于 500kVA 时的情况，当供电变压器容量在 500kVA 及以下时的考虑见 6.2.2 条

说明。

4 380V 母线在满载时，母线电压不允许低于 380V，而在空载或轻载时约为 400V；另因计算三相短路电流是用来校验低压电器的断流能力，故应按 400V 计。单相短路电流主要用来校验短路保护设备的灵敏度，按相电压的低值 220V 计算对灵敏度的校验较安全。

5 在选择导体截面时，由于计算电流是按最大负荷电流确定，而实际运行不可能经常运行在最大负荷，根据计算电流选定的截面积往往是向上靠，环境温度也不可能运行在最高温度等原因，致使导体常常未能达到允许的额定温升。考虑导体运行温度有可能比额定温度低  $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，则导体电阻值的下降为  $10\%\sim 12\%$ 。在短路电流计算中，由于忽略了一些低压电器设备与导体接头等的接触电阻，因而也抵消了导体电阻的减少。另外，在短路过程中，导体流过短路电流，而且是几十倍的导体额定电流，导体温度升高，随着短路电流切除时间长短，导体的温度也有高低，甚至超过导体的正常运行温度。这种变化的计算也甚为复杂。为简化短路电流计算，导体均按额定温升相对应的温度取电阻值。忽略导体运行温度低于额定值所引起的电阻值的减少，估计误差甚微。

6.2.2 低压配电柜有两种结构型式，即抽出式和固定式。目前普遍采用的抽出式配电柜有 MNS 型、GCS 型和 GCK 型等，其短路容量都在  $50\sim 100\text{kA}$ ，甚至更高。而固定式配电柜如 GGD 型和 PGL 型的采用则越来越少，正逐渐被淘汰。其短路容量除 GGD—1 型和 PGL—1 型为  $15\text{kA}$  外，其余均为  $30\text{kA}$  及以上（如 PGL—2 型、GGD—2 型为  $30\text{kA}$ ；GGD—3 型为  $50\text{kA}$ ）。当厂（站）用电变压器容量在  $500\text{kVA}$  及以下时，按高压侧无限大电源供电， $500\text{kVA}$  普通配电变压器（ $U_d\% = 4\%$ ）低压侧三相短路电流约为  $18.04\text{kA}$ ，由于  $500\text{kVA}$  及以下的变压器容量小，所连接的电动机容量相对也小，电动机反馈电流不大，衰减快。如严格考虑，当  $500\text{kVA}$  变压器连接的电动机容量（kW）

为变压器容量 (kVA) 的 60% 时, 算得电动机反馈电流约为 2.6kA, 占三相短路电流的 14.4% 左右, 实际可能会更小。按不计电动机反馈电流选择低压电器设备 (GGD—1 型和 PGL—1 型配电柜除外), 对如此容量的变压器而言均具有相当大的裕度。即使计及电动机的反馈电流, 也不会超过 22kA。这对选择短路容量为 30kA 及以上的配电柜毫无影响。因此, 为简化计算, 提出本条。实际上若采用抽出式配电柜 (短路容量 50kA 及以上), 经计算 1600kVA 及以下容量变压器 (三相短路电流加电动机反馈电流约为: 46.8kA) 均可不计电动机的反馈电流。

## 7 厂（站）用电系统电气设备和导体选择

### 7.1 高压电气设备和导体选择

7.1.1 明确了本标准的适用范围和与现行行业标准的关系。

7.1.2 交流高压断路器的开断电流是以短路电流周期分量的有效值和非周期分量的百分数来表征的。开断电流中非周期分量百分数不应大于断路器交流分量幅值的 20%。为了确定这一数值是否大于 20%，计算了厂用电分支装有厂用电变压器和厂用电分支除装有厂用电变压器外还装有电抗器两种情况，计算结果见表 3 和表 4。

表 3 厂用电分支装有厂用电变压器或电抗器后的时间常数

厂用电变压器容量 (kVA)	2000	2500	3150	4000	5000	6300	15000
仅装有厂用电变压器的 时间常数 $T_a$ (s)	0.0174	0.0188	0.0202	0.0217	0.0236	0.0267	0.04
装有厂用变压器和电抗 器的时间常数 $T'_a$ (s)	0.02	0.023	0.0256	0.029	0.0315	0.036	

目前国内快速断路器的固有分闸时间和主保护装置动作时间之和即计算时间为 0.08~0.09s。对应此时间短路电流非周期分量相对值见表 4。

表 4 短路电流非周期分量相对值

$T_a$ 或 $T'_a$ (s)	$K_{Bt} = e^{-\frac{t}{T_a}}$		
	$t=0.07$	$t=0.08$	$t=0.09$
0.02	0.0030	0.0180	0.011
0.0236	0.0515	0.0337	0.022
0.0256	0.0549	0.0439	0.0297
0.0267	0.0747	0.050	0.0344

表 4 (续)

$T_a$ 或 $T'_a$ (s)	$K_{Bt} = e^{-\frac{t}{T_a}}$		
	$t=0.07$	$t=0.08$	$t=0.09$
0.029	0.0895	0.0634	0.0449
0.0315	0.01084	0.0789	0.0574
0.036	0.1430	0.1084	0.0821
0.040	0.1738	0.1350	0.1054

从表 4 可见,任何情况下非周期分量均小于断路器交流分量幅值的 20%,即使计算时间为 0.07s,也不超过 18%。所以在高压厂用电系统的短路电流计算中,从发电机端取厂用电电源,即使在可能最大的时间常数和最短的计算时间(0.07s)情况下,还是可不计短路电流的非周期分量。对于从地区网络取厂(站)用电电源,一般均通过架空或电缆线路,回路的时间常数要比发电机端取厂用电电源小得多;从升高电压侧取厂(站)用电电源,由于厂(站)用电变压器容量小,即使计及电抗器,回路的时间常数也比从发电机端取厂用电电源要小;所以均可不计非周期分量。

**7.1.3 水力发电厂、泵站需要的高压厂(站)用电电源容量较小,其负荷率亦甚低,最大负荷运行小时数一般在 2000h 左右,导体中的电能损耗很小。没有必要为了减少电能损耗而加大导体截面,所以高压厂(站)用电系统的导体截面可不按经济电流密度选择。**

**7.1.4 众所周知,在同样条件下,铜与铜导体(如电缆与设备端子)比铝与铜导体连接的接触电阻小得多,且连接的可靠性也高,所以在导体连接的可靠性与安全性上铜芯电缆要高于铝芯电缆。另外,铜与铝相比,显然铜导体在电气、物理、机械和耐久等性能方面要比铝导体优越得多。因此,考虑高压厂(站)用电系统电源回路的重要性,要求采用铜芯电缆。**

## 7.2 低压电气设备和导体选择

### 7.2.1 一般设计原则。

7.2.2 根据目前制造标准，低压断路器及熔断器不论其动作快慢，均是按短路电流周期分量有效值来考核开断能力。当动作时间小于0.02s，短路的起始时间又发生在最严重的时刻，保护电器切断的是第一周期短路全电流，但由于该电流和短路电流周期分量及短路时的功率因数有一定的比例关系，一般情况下，短路时功率因数不会小于产品的规定值，当计算的短路电流周期分量有效值小于保护电器的开断能力时，即可认为合理。

7.2.3 低压电器和导体可不校验额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流的理由如下：

1 因额定电流为60A以下的熔断器在大短路电流下的限流性能很明显，受其保护的电器和导体均能满足额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流的要求。

2 根据有关的试验资料证明，当熔体的额定电流不大于电缆允许载流量的3倍，而且在被保护线路末端发生单相接地短路，短路电流值大于熔断器熔体额定电流的4倍时，试验测得的塑料电缆线芯温度不超过160℃，在电缆短时经受该温度后，经测定电缆绝缘和导体的电气性能和物理性能均无明显变化，仍可使用，故可不校验电缆的额定短时耐受电流。

3 对已满足额定短路开断能力的断路器，可不校验其额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流。因为低压断路器一般都没有额定峰值耐受电流的数据，其固有开断时间都很短，额定开断电流峰值与额定峰值耐受电流值是一致的，所以只要断路器的额定开断能力满足要求，必然也满足了额定峰值耐受电流要求。对于额定短时耐受电流要求也同样，只要使用断路器本身的瞬时及延时过电流脱扣器，满足了额定开断能力要求，也就自然满足了额定短时耐受电流要求。如用继电器延时动作，而动作时间又超过了断路器本身脱扣器的短延时时间，则应校验断路器的额定短时耐受电流或向制造厂征询意见。

4 接触器或磁力启动器安装在单独动力箱或保护外壳内时，即使不满足短路时的额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流要

求，也不会影响其他设备，故可不校验。

5 限流式低压断路器的动作时间较熔断器快，因此用限流式低压断路器保护的回路电器和导体也无需校验额定短时耐受电流。另外，由于限流式低压断路器的断开时间小于0.01s，所保护的回路电器和导体将不承受短路电流冲击值，因此，可按限流后最大短路电流值校验其额定峰值耐受电流。

7.2.4 见6.2.1条和6.2.2条说明。

7.2.5 一般配电屏上的低压母线很短，可不校验电压降。有的水力发电厂、泵站在厂（站）用电设计中采用密集型插接式母线槽来代替电缆，其长度较长；另外安全滑触线的长度也较长，都应进行母线电压降校验。

7.2.6 水力发电厂、泵站中只有少数设备处于经常运行状态，且其中大部分设备的运行方式是间歇性的，其用电负荷的同时率和负荷率很低，故可不按经济电流密度选择母线和电缆截面。

7.2.7 众所周知，正因为铜导体比铝导体在电气、物理、机械和耐久等性能方面的优越性，目前已倍受人们青睐，其应用范围也越来越广泛。因此，在经济条件允许时，低压厂（站）用电系统的载流导体推荐采用铜材。

7.2.8~7.2.10 一般设计原则。

7.2.11 根据主配电屏在水力发电厂、泵站中的重要性，提出了对低压主配电屏的进线回路和母联断路器应选用智能型且有通信接口的要求，以便与水力发电厂、泵站中的计算机监控系统连接。

7.2.12、7.2.13 一般设计原则。

7.2.14 断路器脱扣器整定电流基于以下考虑：

(1) 过负荷保护脱扣器具有反时限特性，《低压开关设备和控制设备低压断路器》(GB 14048.2)标准中给出了反时限动作的约定值，即在基准温度下，电流整定值为1.05倍时，在约定不脱扣时间内( $I_n \leq 63A$ 为1h， $I_n > 63A$ 为2h)，断路器不应脱扣；而电流整定值为1.3倍时，断路器在约定时间内应脱扣。所

以，整定值不小于回路的工作电流时，脱扣器不会脱扣。

回路工作电流是指正常运行时的计算电流值，对于变压器和发电机回路应为 1.05 倍的额定电流。对于电动机回路，一般不采用断路器过负荷保护脱扣器作为过负荷保护，其整定电流应当提高，并应查阅断路器过负荷保护的反时限曲线，以避免电动机启动时而脱扣。

(2) 断路器脱扣器的动作时间，对于塑壳断路器一般小于 0.02s，而空气断路器一般大于 0.02s，外加延时后一般大于 0.03s。根据不同的  $\cos\varphi$  值计算其冲击系数  $k_{ch}$  见表 5。

表 5 不同的  $\cos\varphi$  值下的冲击系数  $k_{ch}$

$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$T_a$ (s)	$k_{ch}$		
			0.01s	0.02s	0.03s
0.25	0.968	0.0123	1.443	1.197	1.087
0.30	0.954	0.0101	1.372	1.138	1.051
0.35	0.934	0.0085	1.308	1.095	1.029
0.40	0.917	0.0073	1.254	1.065	1.016
0.50	0.866	0.0055	1.162	1.026	1.004
0.60	0.80	0.00425	1.095	1.009	1.00
0.70	0.714	0.00325	1.046	1.00	1.00

电动机启动功率因数一般在 0.35 左右，0.03s 以后其冲击系数基本上接近于 1，而根据 GB 14048.2 的规定，对于短路电流脱扣器所有电流整定值，短路脱扣器应使断路器脱扣，且具有电流整定值的脱扣电流值  $\pm 20\%$  的准确度。

考虑脱扣器  $\pm 20\%$  的误差及一定的可靠系数（约 1.1），故取回路最大电流的 1.35 倍作为整定电流。

(3) 由于瞬时动作，考虑其非周期分量所站的比重，瞬时脱扣器  $\pm 20\%$  准确度及 1.1 的可靠系数，如  $\cos\varphi = 0.35$ ， $k_{ch} = 1.308$ ，则  $K_1 = 1.308 \times 1.2 \times 1.1 = 1.73$ ，所以  $K_1$  取 1.7~2.0；对于动作时间大于 0.02s 的空气断路器  $K_1$  取 1.35。

(4) 由于断路器的短路保护整定电流值，必须满足断路器保护范围内最末端的单相接地故障时的 1.3 倍的灵敏度要求，因此，有些回路就难以满足此要求，为此，需增加接地故障保护。有时在电源进线总开关也增加接地故障保护，并加延时以作为整个系统的单相接地故障的后备保护。 $K_2$  的取值可根据单相负荷的比重引起三相不平衡电流值来整定，有的断路器制造厂，将接地故障电流最大整定值定为 1200A，也足以躲过三相不平衡电流。

7.2.15 在水力发电厂、泵站的厂（站）用电设计中，一般均在接触器中配置热继电器作为电动机的过负荷保护，这已成设计惯例。虽有些厂（站）用电机械设备过负荷的可能性很小，但考虑其他原因（如欠压运行等）亦可能引起电动机过负荷，而且设置过负荷保护有利于防止电动机两相运行或其他轻故障。因此在本标准中推荐装设。

经有关过负荷试验资料证明，双金属片热继电器的技术条件及电动机用低压断路器的长延时脱扣器的技术条件与电动机允许过负荷特性基本配合。因此，按电动机额定电流选择热继电器和低压断路器的长延时脱扣器是有科学依据的。

在电动机故障中，由于两相运行而烧坏的比例较大。为有效地防止两相运行，故提出除被操作的电动机定子为星形接线和用断路器作短路保护外，均应装设带断相保护的热继电器。

绕组为三角形接线的电动机正常运行时，线电流为相电流的  $\sqrt{3}$  倍。当出现断相时，若电动机轴上所带负荷不变，线、相电流均要增大，增大幅度随电动机所带负荷的大小而不同，负载越重，增大越多。如电动机负载为 58%，最严重一相绕组的电流将增加到额定相电流的 1.2~1.3 倍，而线电流仅增加到额定值。如此，反应线电流变化的普通热继电器不能反应这种变化。因此，规定只有定子绕组为星形接线的电动机，装设的热继电器可不带断相保护的热继电器。

另据资料统计，电动机发生两相运行故障的绝大多数，是由于熔断器一相熔断或不良（约 75%）造成的。因此，规定只有

用低压断路器保护电动机时，才可不装设防止两相运行的保护装置。

**7.2.16** 本条对断路器及熔断器额定短路开断能力校验提出了具体规定：

1 在考虑低压断路器的开断能力时，应注意低压断路器的延时开断能力要比瞬时开断能力低。当利用低压断路器本身的短延时脱扣器作短路保护时，可按制造厂给出的断路器短延时下开断能力进行校验。如需另设继电器延时跳闸，而延时时间又超过短延时脱扣器的延时时间，则断路器的开断能力需向制造厂家征询。有些断路器在不同的电源进线方式时，其开断能力不尽相同。一般制造厂家规定断路器的短路开断能力，多数是指电源为上进线时的数值。当电源为下进线时，开断能力将降低。其原因是在动触头断开，开断短路电流的过程中，电弧、金属蒸汽及游离气体不能有效地进入灭弧室而向四周喷射，使断路器内部绝缘迅速下降，而动触头及与其相连的导电部件，仍处于电源全电压作用下，致使断路器内部可能发生单相或相间短路，引起主触头烧毁。因此应考虑电源为下进线时对断路器开断能力的影响，但目前各制造厂家尚提不出确切的数据。对有些断路器，特别是从国外引进的断路器，制造厂家也曾明确提出不受进线方式的影响。但无论如何这是一个应引起重视的问题。

2 低压异步电动机短路反馈电流衰减很快。经计算，其周期分量幅值：在 0.01s 时将衰减至起始值的 77%，0.03s 时衰减至起始值的 47%，0.08s 时衰减至起始值的 13.5%；而非周期分量衰减更快，至 0.08s 时已衰减至起始值的 0.07%。实际在水力发电厂、泵站中低压电动机均接有较长的电缆段，若计及电缆影响，经分析计算，对于动作时间大于 4 个周波的断路器，电动机的反馈电流已衰减到 3% 以下，所以在校验断路器的额定短路开断能力时，对动作时间大于 4 个周波的断路器，可不计异步电动机的反馈电流。

**7.2.17** 当断路器装设在封闭的屏、柜或抽屉内时，因散热条件

差，断路器的额定电流将降低。但由于目前大多数制造厂家并未提供降容的具体数值，因此，在选用断路器时，建议仍按以往设计沿用的80%降容系数来考虑。

**7.2.18** 正常运行作为自动控制，但对失压后不要求自启动的电动机，可装设失压脱扣装置；在失压脱扣装置动作后，厂（站）用电电压恢复也不自动启动，以保证失压后有自启动要求的电动机有足够的启动电压。此失压脱扣装置仅要求瞬时动作即可。由于在水力发电厂、泵站中自启动电动机容量往往不是选择厂（站）用电变压器容量的控制条件，因此按负荷重要性，对可不要求自启动的电动机，如变压器容量允许，也可不装设失压脱扣装置，以简化保护。

**7.2.19** 低压厂（站）用电系统电力电缆的选型基于以下考虑：

1 对大容量、重要负荷回路电缆采用铜芯既可减少电缆根数及其电缆头数量，且其连接的接触面亦较铝芯可靠；而采用交联聚乙烯绝缘是因其缆芯允许温升高、载流量大（与聚氯乙烯绝缘电缆相比可减少电缆根数或截面）、老化慢、寿命长、电气性能好等优点，有利于电缆安全、可靠运行，故推荐采用。

2 消防、地下厂房通风、应急照明、自动控制、远动通信及电子计算机等重要负荷回路的电力电缆要求采用铜芯阻燃型电缆的目的，是为了提高运行可靠性及防止火灾蔓延。

3 对配电干线或接有单相负荷时，如照明、电热、单相电焊机等，中性线（N线）为工作线并将有工作电流（包括谐波电流）通过，不论其电流大小，为保证其供电安全可靠要求采用三相四芯电力电缆。

4 对仅接有三相平衡负荷（如三相电动机）的负荷分支回路，按以往有关标准要求，原则上可采用三芯电缆，并同时采用与相线分开另外单独敷设的导体（如接地网络扁钢）作保护线（PE线）；仅当此导体的电导不能满足单相接地短路保护灵敏度要求时，可采用四芯电缆。根据近些年设计和已建工程的调查，有些采用三芯电缆，但多是采用四芯电缆。电缆增加一芯，所增

投资不多，但却提高了单相接地短路保护的灵敏度，减少了设计、施工中的麻烦。因此，应根据负荷距离的远近和单相接地短路保护的灵敏度，确定采用三相三芯或三相四芯电力电缆。

5 由于移动式、便携式等检修设备比较容易在使用中发生接地故障，一旦发生，人的手掌肌肉对电流的反应是不由自主的紧握不放，不能迅速脱离带电体，从而会长时间承受接触电压，并将心室纤颤而导致死亡。虽然在移动式、便携式等检修设备的供电回路中也设有过流兼接地故障保护（如断路器、熔断器），但动作反应时间一般较长。因此，为确保人身安全，要求在回路中装设漏电保护装置，同时必须设置专用的 PE 线。故而，三相回路须采用三相五芯电力电缆；单相分支回路须采用三芯电力电缆或电线。

6 在水力发电厂、泵站中，随着电子计算机等电力电子设备和气体放电照明设备的广泛应用，在供电回路中产生的高次谐波电流分量也在不断增大。这一高次谐波电流不但在电缆的相导体中流过，同时也要通过电缆的中性线。如此，按以往惯例选择的 3+1 芯电缆的中性线截面往往偏小，引起发热甚至导致火灾。这一点曾在有关的火灾事故调查报告中得到证实。因此本条提出，对接有产生高次谐波负荷的电源进线回路和以气体放电灯为主要负荷的照明回路，要求采用中性线与相导体相同截面的电力电缆。

7 根据水力发电厂、泵站的厂（泵）房内电缆大多是穿管或沿桥架明敷一段后再穿管，一般几经弯曲或线路较长，因此要求电缆的外护层应具有相当的机械性能，故推荐采用塑料护套钢带内铠装，以便于安装并提高运行可靠性。对于沿竖井垂直敷设的电缆的外护层则应采用抗拉强度大的钢丝内铠装型。但对于全程沿电缆桥架敷设的电缆的外护层宜采用无铠装的塑料护套电力电缆。

**7.2.20** 由于插接式母线槽具有传输电流大、便于分接馈电、结构紧凑、能耗小、额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流值高、

使用维护方便可靠等优点，目前在工业与民用建筑、高层建筑及电力系统中得到广泛应用。在水力发电厂中也有个别采用，如保安电源供电系统，检修供电系统，坝上供电系统等。但插接式母线槽的经济性较差，且耐潮湿、耐腐蚀性、散热及抗震性能低，对敷设空间要求大，对敷设环境及安装要求高等，这对在水力发电厂、泵站中广泛采用有一定的局限性。因此本条提出了有条件的采用。

插接式母线槽的额定电压为 400~1000V，电流等级通常为 250~5000A，防护等级通常为 IP40~IP65。按其结构及用途可分为密集绝缘、空气绝缘、空气附加绝缘、耐火、树脂绝缘和滑触式等多种型式；按其外壳材料可分为钢外壳、铝合金外壳和钢铝混合外壳等；按其导体材料有铜导体和铝导体。选择时应结合工程的具体实际条件、有针对性地采用。

### 7.3 低压电器的组合

7.3.1 厂（站）用电系统的低压电器一般有下列四种组合方式：

(1) 电源回路：即厂（站）用电变压器低压侧出线回路。隔离电器一般为隔离开关或隔离插头，保护电器为延时动作的框架式断路器。

(2) 母线分段回路：隔离电器一般为隔离开关或隔离插头，装于保护电器两侧，保护电器为延时动作的框架式断路器。

(3) 供电干线：隔离电器一般为隔离开关或隔离插头，保护电器为带延时动作的断路器或熔断器，也可采用保护和操作合一的电器。

(4) 负荷回路：隔离电器为隔离开关、隔离插头、负荷开关或组合开关，保护电器为塑壳式断路器或熔断器；也可采用保护和操作合一的电器。对电动机等负荷，还需配置操作电器，如磁力启动器、接触器、组合电器、断路器、软启动器等。

7.3.2 工艺上密切相关的一组电动机是指有同时启动停止要求的或其中一台停转其他电动机应立即断电的一组电动机，如用数

台电动机同时工作的起吊装置或行走机构电机。所谓不重要的负荷是指在重要性上属于第Ⅲ类的负荷，如油处理设备、机修设备及电热、试验等负荷。不经常运行且容量不大的负荷主要指仅检修时运行的负荷。上述负荷可数个共由一个回路供电。这不仅节约操作电器和保护电器，减少配电屏出线回路数，还可节约电缆。

**7.3.3** 本条是针对厂（站）用电配电回路的重要性，对配电回路中保护电器选择性动作提出的原则要求。对多级配电回路，如实现保护电器选择性动作有困难时，可适当降低要求；但至少应满足主配电屏与分配电屏之间的保护选择性要求。

**7.3.4** 为便于操作，每台电动机都应具有各自的操作电器；只有运行要求一组电动机同步运转（如两台电动机共同起吊闸门），则可用一台操作电器操作一组电动机。在水力发电厂、泵站中，对容量不超过75kW的厂（站）用电电动机，一般选用保护式磁力启动器或软启动器作电动机操作用；对电动机容量大于75kW，则可采用软启动器或接触器；对容量小于2.0kW，不经常操作的且无自动控制要求的电动机也可采用负荷开关作电机操作用。

**7.3.5** 磁力启动器或交流接触器是不能开断短路电流的操作电器。在短路过程中，其触头受电动力的作用可能弹开，灭弧栅将喷出电弧，触头严重烧损甚至毁坏。因此要求它与回路中串联的短路保护电器相协调配合。否则，磁力启动器或交流接触器均不能装在主配电屏或机旁配电屏上。

**7.3.6** 因交流接触器难以承受其在短路情况下的电动力，加上交流接触器没有保护外壳，为了使控制Ⅰ类、Ⅱ类电动机的交流接触器在不同时停电检修或短路情况下互不影响，因此不允许将2台及以上交流接触器装在屏、箱的同一间隔单元内，而应彼此相互隔开。

**7.3.7** 在水力发电厂、泵站的厂（站）用电负荷中，绝大部分没有技术上过负荷的可能性，但有些负荷（如起重、闸门设备

等) 在运行中有可能被卡住等情况而造成过负荷, 因此, 这些负荷的供电回路和向这些回路供电的干线应装设过负荷保护。采用熔断器保护的电动机回路, 熔断器的熔体电流是按躲过电动机的启动电流而确定的, 往往比负荷的额定电流大很多, 无法起过负荷保护作用, 对要求装设过负荷保护的回路, 可用磁力启动器的热继电器作过负荷保护。照明负荷回路一般装有插座, 连接容量难以控制; 且在检修更换照明器时, 也易造成容量增大, 所以应在电源回路装设过负荷保护。

**7.3.8** 按 IEC 标准《建筑物电气装置》(TC 64) 有关标准规定, 过负荷保护用电器与导体的配合必须同时满足式 (2) 和式 (3) 的条件:

$$I_j \leq I_n \leq I_g \quad (2)$$

$$I_d \leq 1.45 I_g \quad (3)$$

式中  $I_j$ ——线路计算负荷电流;

$I_n$ ——断路器长延时脱扣器整定电流或熔断器熔体额定电流或热继电器额定电流;

$I_g$ ——导体允许持续载流量;

$I_d$ ——保证保护电器可靠动作的电流, 当保护电器为长延时过电流脱扣器或热继电器时,  $I_d$  为约定时间内的最小动作电流; 当为熔断器时,  $I_d$  为约定时间内的最小熔断电流。

为简化设计计算, 考虑到水力发电厂、泵站厂(站)用电系统大都采用低压断路器、封闭、半封闭熔断器或热继电器作过负荷保护电器。当使用上述保护电器时, 将具体数据代入式 (3), 结果是  $I_n \leq I_g$  或  $I_n$  可大于  $I_g$ , 即在上述具体情况下, 式 (3) 不是控制条件, 因此, 仅列式 (2) 已同时能满足上述两公式条件。

**7.3.9** 考虑到在有爆炸或火灾危险的环境中, 保护电器与导体的配合一旦出现问题, 后果将十分严重, 故应严格按相应的技术标准要求执行。

## 8 柴油发电机组的选择

### 8.1 型式选择

8.1.1 一般设计原则。

8.1.2 水力发电厂、泵站中采用的柴油发电机组一般常用于应急工况，因此应采用快速自启动的应急型。目前国产柴油发电机组的启动时间可以在 15s 以内，有的产品可达到 4~7s，但基本均可以保证小于 15s。

柴油发电机组一般只在厂（站）用电系统电源失去后才启动运行，当厂（站）用电系统电源恢复正常后，通过切换，将所有负荷均转由厂（站）用电系统电源供电；再停止机组运行。其切换过程根据工程自动控制要求不同，可为手动切换或自动切换。

根据国内外工程经验，并经咨询柴油发电机组制造商，机组在现场试验时，一般均要求机组启动并入厂（站）用电系统，与厂（站）用电电源并列运行，但正常运行由厂（站）用电系统电源供电时不要求柴油发电机组运行。因此，本条未提出柴油发电机组与厂（站）用电系统并列运行要求。

8.1.3 因柴油发电机组为快速自启动的应急型，故要求柴油发电机组必须保持热备用状态，时刻准备启动。若柴油发电机组自启动连续三次失败，则意味着启动回路或柴油机本体有故障，再启动亦是徒劳，所以按三次考虑。

8.1.4 柴油发电机组的手动启动装置通常在例行试验时使用。

8.1.5 本条中柴油机型式、冷却方式、启动方式、启动电源容量等系根据《往复复式内燃机驱动的交流发电机组》(GB/T 2820)的有关规定提出的。由于高速机组具有体积小、重量轻、启动运行可靠等优点，故宜采用。柴油机的启动方式一般有压缩空气启动和电启动两种，因压缩空气启动需要气动装置，占用空间较大，不易布置，因此建议采用后者。

**8.1.6** 本条中推荐采用的 0.4kV 发电机电压，主要是针对水利水电工程厂（站）用电负荷一般为 0.4kV 低压负荷提出的，可使接线简单，供电直接方便，因此应用十分普遍。另据调查极个别工程也有采用 10kV 或 6.3kV 柴油发电机组的实例，但因其与同容量的 0.4kV 柴油发电机组相比价格要昂贵得多，所以本条提出，当受布置和接线条件所限时，经技术经济比较，发电机电压也可采用 10kV 或 6.3kV。

**8.1.7** 当无刷励磁交流同步发电机与自动电压调整装置配套使用时，其静态电压调整率可保证在  $\pm(1.0\% \sim 2.5\%)$  以内，能适应各种运行方式，易于实现机组自动化。柴油发电机组应装设过电流保护和单相接地保护（若发电机中性点不接地或经高电阻接地，应装设接地故障检测装置），当 1MW 以上或 1MW 及以下机组电流速断保护灵敏度不满足要求时，才装设纵联差动保护。

**8.1.8** 0.4kV 发电机中性点接地方式要求是基于以下考虑：

1 发电机中性点直接接地的优点是降低了系统的内部过电压倍数，当发生单相接地时，相间电压为中性点所固定，基本不会升高。

2 当两台及以上柴油发电机组并列运行时，发电机的中性导体可能会产生三次谐波环流，这将导致发电机发热，降低其出力。在每台发电机中性点引出导体上装设隔离开关并将其中一台发电机中性点接地的目的，就是为了切断发电机间谐波电流的环流回路，限制环流。

3 在每台发电机中性点引出导体上装设限流电抗器的目的，是在保持中性母线电位偏移不大的条件下，有效地限制中性点引出导体的谐波电流在允许范围内。

## 8.2 容量选择

**8.2.1** 根据水利水电工程厂（站）的特点和重要性，提出了柴油发电机组容量选择时应考虑的保安应急用电负荷。

**8.2.2** 一般规定。

## 9 厂(站)用电电气设备布置

### 9.1 变压器布置

#### 9.1.1 提出干式变压器布置要求是基于以下考虑:

1 从运行维护安全和布置整齐美观考虑,建议干式变压器设置防护外罩。由于干式变压器无火灾蔓延危害,且设有防护外罩,为节省占地面积,可以并排布置。但必须保证运行安全,检修方便。如当一台变压器运行,另一台变压器发生故障时,不应影响正常运行的变压器。同时在正常运行工况时,不应造成相互间散热困难。因此,提出两相邻布置的三相干式变压器外罩之间的净距不宜小于1000mm。对与离相封闭母线直接相连的单相干式变压器,其布置间距往往与离相封闭母线间距一致,故可不受三相干式变压器净距要求限制。

2 要求厂用电变压器尽量靠近发电机母线布置,使分支引接线尽量缩短的目的,是为了减少厂用电分支故障率,提高发电机的运行可靠性。尤其对未装设发电机断路器的水力发电厂更应引起重视。

3 发电机引出线采用封闭母线,可大大降低其短路概率,提高发电机运行可靠性。而厂用电分支线属发电机引线的一部分,直接影响发电机的安全可靠运行,故要求选用封闭母线。

4 干式变压器的优点之一是本身不自燃,即使发生短路事故,也无火灾蔓延危险。另因干式变压器有足够的绝缘强度和防护外壳,因此,无须设置单独的小间。这可使布置大为简化,同时也便于变压器散热。但其高、低压引线裸露部分应满足电气安全距离要求。

#### 9.1.2

2 参见《水利水电工程高压配电装置设计规范》(SL 311—2004)第4.4.6条。

3 参见 SL 311—2004 第 4.4.6 条。

4 一般设计原则。

5 如在油浸式变压器顶部布置有电缆或母线，一旦变压器爆破起火，将会直接殃及，造成其他故障，扩大故障范围，应予以避免。

9.1.3 500kVA 及以上变压器，其 0.4kV 引线电缆都在 3 根以上，若将多根电缆同时接于引线端子上，将难以保证接触面积与接触压力，同时由于电缆截面大，线芯硬，易使变压器端子受弯矩影响等而造成事故。为了运行安全可靠、布置整齐美观，因此提出设过渡母线。

9.1.4 在 4.2.1 条中规定，布置在厂房内的厂（站）用电变压器应采用干式变压器，干式变压器不同于油浸式变压器，没有较高的防火要求，它可以靠近低压配电装置布置，因而可不用电缆引接；特别是低压厂（站）用电变压器容量较大时，低压额定电流大，如采用电缆引接，则根数多，不仅布置不便，而且也影响可靠性，若两者靠近布置，直接用硬母线连接，可以缩短电气距离、减少电能损耗，增加运行可靠性。目前，这种方式已在许多工程中采用，效果很好值得推广。

## 9.2 配电装置布置

9.2.1 一般设计原则。

9.2.2 根据以往运行经验，为确保大型水力发电厂厂用电系统运行可靠及检修安全、方便，高、低压配电装置不宜集中布置在同一室内。另考虑到大型水力发电厂应保证其供电可靠性，即使有一段母线短路着火，不应造成全厂停电，故布置在同一室内的配电屏（柜）母线段数不宜超过三段。对封闭式配电屏（柜），一旦短路着火，相互影响小，故可适当放宽要求，以适应布置需要。

9.2.3 6~10kV 高压配电装置应采用成套高压开关柜，并宜设置单独的高压配电室。系对其型式和布置的基本要求。根据以往

经验，水力发电厂、泵站建设时期其 6~10kV 出线往往不能完全确定，常有因技术改造、厂（站）用电负荷改变及近区负荷发展等扩建情况发生。为此，在设计时对 6~10kV 高压开关柜宜预留一定数量的备用位置。另当采用移开式开关柜时，为检修方便，检修时不影响设备安全运行，在 6~10kV 高压开关柜室，要考虑留有断路器手车的检修场地。

**9.2.4** 低压厂（站）用电配电屏宜靠近负荷中心，以缩短电缆长度，节省投资，改善配电质量。

**9.2.5** 本条规定是对标称电压超过交流 24V 安全电压配电装置的安全防护措施。IP2X 防护等级是：

（1）能防止手指或长度不大于 80mm 的类似物触及壳内带电部分或运动部件。

（2）能防止直径大于 12mm 的固体异物进入防护壳内。

**9.2.6** 根据我国情况一般人的举手高度在 2.2m 左右，因在屏前通道内通行的人较屏后多，且并非全是经过训练的电气人员，故在举手高度上再加 0.3m 的安全距离，所以规定屏前裸导体距地面的高度为 2.5m。因屏后通道通行的人少，安全距离考虑为 0.1m，故屏后裸导体距地面的高度定为 2.3m。否则应加遮护。

**9.2.7** 在厂（站）用电系统中，无论采用何种型式的低压母线，布置上都要考虑为其运行巡视、拆卸检修、清扫维护创造条件。

**9.2.8** 提出本条的目的是为了主机间设备布置整齐、美观。设计时应注意专业协调并在设备招标文件中提出此要求，同时注意面漆颜色的协调性。

**9.2.9** 厂（站）用电配电装置操作、维护（包括背、侧面）通道布置是否得当，直接影响设备安全运行、巡视、检修及土建投资。因此，布置时应统一考虑。对靠墙布置的高、低压配电屏（柜）亦应考虑留有一定距离，以减少墙壁结露潮湿对设备的影响和安装调整方便。

**9.2.10** 本条的规定考虑到发生事故时，运行人员能迅速撤离事故现场，以及便于救护人员接近事故现场，这对日常的运行维护

也较方便。

**9.2.11 一般设计原则。**

**9.2.12** 在水力发电厂、泵站的有些场所是比较潮湿的，有的甚至有滴水现象，如像调压井、阀室等，对布置在这些场所的配电柜、屏（箱）宜设单独房间，并加强通风防潮措施，使室内相对湿度不大于90%。这有利于安全运行和延长设备使用寿命。

**9.2.13** 厂（站）用电配电装置室是动力中心，地位重要，为使其运行不受与其无关的油、水等管路的检修或发生泄漏故障等的影响，故规定油、水等管路不应通过该室。

### **9.3 柴油发电机组的布置**

**9.3.1 一般规定。**

**9.3.2 一般设计原则。**

**9.3.3** 机房的布置要有利于改善工作条件，可根据机组容量的大小和台数设置。小容量机组一般机电一体，不需设控制室。大容量机组可把机房和控制室分开设置。

**9.3.4** 机房布置方式及各部位有关最小尺寸，是根据机组运行维护、辅助设备布置、进排风及施工安装等需要，同时结合目前闭式自循环水冷却方式的应急型机组的外廓尺寸提出的。机房宜以横向（垂直）布置，操作管理方便，管线短，布置紧凑。

**9.3.5 一般设计原则。**

**9.3.6 一般规定。**

**9.3.7、9.3.8 一般设计原则。**

### **9.4 对土建的要求**

**9.4.1 一般设计原则。**

**9.4.2 一般设计经验数据。**

**9.4.3** 提出本条要求的目的是为减少灰尘、美化环境。

**9.4.4** 为保证设备运行及人身安全提出本条。

**9.4.5** 为保证布置在地下、坝内或顶层的厂（站）用电配电装

置安全、可靠运行，应向土建专业提出防水、防渗要求。以避免发生渗、漏水现象。

9.4.6 据调查，厂（站）内的电缆沟常有进水，因此，应设排水措施，保证沟内不积水。

9.4.7 一般设计要求。

9.4.8 为了设备安装与检修方便提出本条。设计时应向土建专业提出要求，并提供荷载资料。

9.4.9 提出本条要求的目的是，为了在配合土建专业进行厂（站）用电设备室和设备搬运通道的结构设计时，所提设备荷载资料应详实准确、有针对性。应根据选用的设备型式、规格参数、外形尺寸、单位质量、操作力及布置、安装、检修、运行等因素综合考虑确定。例如：高压成套开关柜常见型式有：气体绝缘式、中置移开式、箱型固定式等；低压配电屏常见有抽屉式和固定式；它们的外形尺寸、单位质量将随参数规格和柜（屏）内元件的差异而不同。据调查，高压开关柜的单位质量一般为7~12kN/面；低压配电屏的单位质量一般为4~8kN/面。设计时应具体情况具体分析，必要时还应征询设备生产厂家意见。