

机械工人职业技能培训教材

高级

电工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

理论技能尽在其中



机械工业出版社



权威

按照国家最新颁布的《工人技术等级标准》及《职业技能鉴定规范》，由机械工业部组织行业近200名专家、工程技术人员、技师、高级技师参加编写

配套

既有实用的《机械工人职业技能培训教材》，又有与之配套的《技能鉴定考核试题库》，覆盖机械行业18个主要技术工种

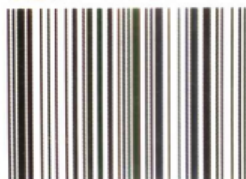
科学

融理论和技能于一体，初、中、高三级内容合理衔接

实用

是企业培训部门、各级职业技能鉴定机构、再就业培训机构开展工人培训的理想教材，也可作为技工学校、职业高中、各种短训班的专业课教材

ISBN 7-111-04740-0



9 787111 047407 >

定价：16.00 元

机械工人职业技能培训教材

高级电工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编



机械工业出版社

本书共分七章。内容包括变配电所电气设备的保护、安装、接线和调试，变配电所二次回路设备及其安装、接线和调试，变配电设备的正常运行状态和异常现象处理，高压电力电缆终端头和中间接头的型式和安装制作，高压电动机和电力拖动设备的安装和调试，中频、高频电炉和炼钢电弧炉的工作原理和安装调试，变配电所的安全运行管理和微机监控，以及合理用电、节约用电和提高生产率。

本书可供参加国家职业技能鉴定的电工和职业学校电工专业毕业生考前准备参考，也可供电工自学参考。

高级电工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

*

责任编辑：边 萌 版式设计：霍永明

封面设计：姚 毅 责任校对：李秋荣

责任印制：路 琳

*

机械工业出版社出版（北京市百万庄大街22号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850mm×1168mm^{1/32}·印张 9.875·2插页·字数 258千字

1999年6月第1版第1次印刷

印数 0 001—5 000·定价：16.00元

*

ISBN 7-111-04740-0/TM·781

本社购书热线电话（010）68993821、68326677-2527

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

机械工人职业技能培训教材与题库 编审委员会名单

(按姓氏笔画排列)

- | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|------|
| 主任委员 | 邵奇惠 | | | |
| 副主任委员 | 史丽雯 | 李成云 | 苏泽民 | 陈瑞藻 |
| | 谷政协 | 张文利 | 郝广发 | (常务) |
| 委员 | 于新民 | 田力飞 | 田永康 | 关连英 |
| | 刘亚琴 | 孙旭 | 李明全 | 李玲 |
| | 李超群 | 吴志清 | 张岚 | 张佩娟 |
| | 邝正元 | 杨国林 | 范申平 | 姜世勇 |
| | 赵惠敏 | 施斌 | 徐顺年 | 董无岸 |
| 技术顾问 | 杨溥泉 | | | |
| 本书主编 | 杨昭义 | 参编 | 朱伯衡 | 耿恒山 |
| | | | 王宝军 | 尚春阳 |
| | | | 多华璞 | 郭强 |
| | | | 翟晓光 | 尚品一 |
| | | | 叶庆文 | |
| 本书主审 | 石可清 | | | |

前 言

这套教材及试题库是为了与原劳动部、机械工业部联合颁发的机械工业《职业技能鉴定规范》配套，为了提高广大机械工人的职业技能水平而编写的。

三百六十行，各行各业对从业人员都有自己特有的职业技能要求。从业人员必须熟练地掌握本行业、本岗位的职业技能，具备一定的包括职业技能在内的职业素质，才能胜任工作，把工作做好，为社会做出应有的贡献，实现自己的人生价值。

机械制造业是技术密集型的行业。这个行业对其职工职业素质的要求比较高。在科学技术迅速发展的今天，更是这样。机械行业职工队伍的一半以上是技术工人。他们是企业的主体，是振兴和发展我国机械工业极其重要的技术力量。技术工人队伍的素质如何，直接关系到行业、企业的生存和发展。在市场经济条件下，企业之间的竞争，归根结底是人才的竞争。优秀的技术工人是企业各类人才中重要的组成部分。企业必须有一支高素质的技术工人队伍，有一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠，才能保证产品质量，提高生产效率，降低物质消耗，使企业获得经济效益；才能支持企业不断推出新产品去占领市场，在激烈的市场竞争中立于不败之地。

机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训，重视工人培训教材等基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的经验。尤其是在“七五”和“八五”期间，先后组织编写出版了《机械工人技术理论培训教材》149种，《机械工人操作技能培训教材》85种，以及配套的习题集、试题库和各种辅助性教材共约700种，基本满足了机械行业工人职业培训的需要。上述各类教材以其行业针对性、实用性强，职业工种覆盖面广，层次齐备和成龙

配套等特点，受到全国机械行业工人培训、考核部门和广大机械工人的欢迎。

1994年以来，我国相继颁发了《劳动法》、《职业教育法》，逐步推行了职业技能鉴定和职业资格证书制度。我国的职业技能培训开始走上了法制化轨道。为适应新形势的要求，进一步提高机械行业技术工人队伍的素质，实现机械、汽车工业跨世纪的战略目标，我们在组织修改、修订《机械工人技术理论培训教材》，使其以新的面貌继续发挥在行业工人职业培训工作中的作用的同时，又组织编写了这套《机械工人职业技能培训教材》和《技能鉴定考核题库》，共87种，以更好地满足行业和社会的需要。

《机械工人职业技能培训教材》是依据原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》编写的，包括18个机械工业通用工种。各工种均按《职业技能鉴定规范》中初、中、高三级“知识要求”（主要是“专业知识”部分）和“技能要求”分三册编写，适合于不同等级工人职业培训、自学和参加鉴定考核使用；对多个工种有共同要求的“基本知识”如识图、制图知识等，另编写了公共教材，以利于单科培训和工人自学提高。题库分别按工种和学科编写。

本套教材继续保持了行业针对性强和注重实用性的特点，采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词、术语；各工种教材则更加突出了理论和实践的结合，将“专业知识”和“操作技能”有机地融为一体，形成了本套教材的一个新的特色。

本套教材是由机械工业相对集中和发达的上海、天津、江苏、山东、四川、安徽、沈阳等地区机械行业管理部门和中国第一汽车集团公司等企业组织有关专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师编写的。在此，谨向为编写本套教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢！教材中难免存在不足和错误，诚恳希望专家和广大读者批评指正。

机械工业职业技能鉴定指导中心

1994/6

目 录

前言

第一章 10kV 变配电所的继电保护	1
第一节 10kV 变配电设备的常用继电保护的原理电路	1
第二节 电流互感器、电压互感器在三相电路中的接线方式和 应用特点	22
第三节 线路自动重合闸装置的结构、原理和安装调试	27
第四节 10kV 变配电设备常用继电保护的安装调试	32
第五节 短路电流计算和动热稳定性校验	44
复习思考题	66
第二章 变配电所的二次回路和操作电源	68
第一节 断路器的控制电路和绝缘监察装置	68
第二节 二次回路的安装调试	79
第三节 操作电源的安装接线和使用	82
复习思考题	96
第三章 变配电设备的正常运行状态和异常现象处理	97
第一节 高压隔离开关、电流互感器和电压互感器	97
第二节 油断路器和真空断路器	99
第三节 电力变压器	101
第四节 防雷设备、并联电容器、电力电缆、仪表和 继电保护及二次回路、直流设备	107
复习思考题	112
第四章 35kV 电力电缆的终端头和中间接头	113
第一节 电缆终端头和中间接头的基本要求	113
第二节 电缆终端头和中间接头的结构特点	116
第三节 电缆终端头和中间接头的安装	127
复习思考题	148
第五章 高压电动机和电力拖动设备	149

第一节	高压电动机的继电保护原理接线	149
第二节	高压同步电动机的安装调试	153
第三节	同步发电机的并网方法	182
第四节	电力拖动和设备安装调试	187
	复习思考题	211
第六章	特种电气设备	212
第一节	中频热处理设备的原理和安装调试	212
第二节	高频热处理设备的原理和安装调试	245
第三节	炼钢电弧炉的安装调试	251
	复习思考题	276
第七章	变配电所的运行管理	278
第一节	变配电所的安全运行管理	278
第二节	合理用电和节约用电	281
第三节	工厂供电系统的微机监控	296
第四节	提高劳动生产率的知识	301
	复习思考题	305

第一章 10kV 变配电所的继电保护

培训要求：了解短路电流计算方法，熟悉变配电所常用继电保护的原理、接线，学会安装调试方法。

第一节 10kV 变配电设备的常用 继电保护的原理电路

一、10kV 变配电所常用继电保护方式

1. 过电流保护 当电气设备发生短路故障时，将产生很大的短路电流，利用这一特点，设置过电流保护和电流速断保护。

过电流保护的動作电流是按照躲开被保护设备(包括线路)的最大工作电流来整定的。考虑到由于某些原因可能会出现瞬时电流波动，造成断路器频繁跳闸，因此要求过电流保护在动作时带有时限。为了使上、下级的各电气设备继电保护动作有选择性，动作时间的整定采用阶梯的时限阶段差，即位于电源侧的上一级保护的動作时间要比下级保护时间长。

过电流保护的動作时间分为定时限和反时限两种。定时限是指保护装置的動作时间是固定的，与短路电流大小无关，常采用时间继电器来实现。反时限是指保护装置的動作时间与短路电流大小成反比关系，短路电流越大，動作时间越短，所以称为反时限过电流保护。

(1) 电流速断保护 是按照被保护设备的短路电流来整定的。它不依靠上、下级保护的整定时间差别来求得选择性，可以快速跳闸来切断故障。为了防止越级动作，要求其動作电流要选得大于被保护设备(线路)末端的最大短路电流。

(2) 定时限过电流保护 电流速断保护的動作迅速，但不能保护线路全长。过电流保护能保护线路的全长，但動作不迅速，所

以出现了采用带时限的过电流保护。

带时限电流速断保护的動作时限比下一級线路瞬時動作的速断保护大一个时间阶差，一般取 0.5s，其動作电流应大于下一段线路瞬時速断保护的動作电流值。

2. 欠电压保护 是反映电压降低而動作的继电保护，常用于以下场合：

(1) 因故障等原因，当电源电压突然剧烈降低或瞬间消失时，为了保证重要负荷的电动机的自启动，对不重要的电动机装设欠电压保护动作跳闸。

(2) 对不允许自启动的电动机，和由于生产工艺条件及技术保安要求，不允许失去电源后再自启动的电动机，应装设欠电压保护动作跳闸。

(3) 对于 3~10kV 配电线路，由于故障等原因瞬時跳闸后，为了减少自动重合闸动作合闸时线路上变压器的励磁涌流，以防止励磁涌流过大，引起线路继电保护第二次跳闸而使重合闸动作失败，对一般用电负荷安装欠电压保护，在线路失压后动作跳闸。

3. 其它保护 除以上几种保护外，还有变压器的气体保护，对重要负荷或线路，有自动重合闸装置，有的双电源变电所还采用备用电源自动投入装置。

4. 电气设备继电保护方式选择 电气设备常用的继电保护方式选择见表 1-1。

二、高压电力线路保护

一般中小型工矿企业的高压电力线路，通常使用 6~10kV 电压，供电线路一般不很长，供电半径不超过 2km 左右，总用电量通常不超过 5000kV·A。厂区供电系统的高压电力线路保护，通常采用带时限的过电流保护，常配合使用电流速断保护，作为线路的相间短路保护。当厂区高压电力线路发生相间短路故障时，通过继电保护作用使高压断路器跳闸，切除短路故障。由于 6~10kV 电力线路属小电流接地系统，在线路上发生单相接地故

表 1-1 电气设备常用的继电保护方式选择表

被保护设备名称	保护方式	主回路的动作情况	使用范围	一般采用继电器型号
变 压 器	纵联差动保护	动作于一、二次侧主断路器的跳闸	并列运行的容量在 $6300\text{kV}\cdot\text{A}$ 及以上的变压器	BCH-2
			单独运行容量在 $10000\text{kV}\cdot\text{A}$ 及以上，重要工业企业单台容量在 $6300\text{kV}\cdot\text{A}$ 及以上变压器	
			电流速断灵敏度不符合要求的容量在 $2000\text{kV}\cdot\text{A}$ 及以上的变压器	
	电流速断保护		用于 $10000\text{kV}\cdot\text{A}$ 以下，没有差动保护，且其过电流保护时限大于 0.5s 时	DL-10 GL-10
	过电流保护		一次侧具有高压断路器的所有变压器	
过负荷保护	动作于信号（根据需要也可动作跳闸）	需要时		
	气体继电器保护	轻瓦斯动作于信号 重瓦斯动作于一、二次断路器跳闸	变电所变压器容量在 $800\text{kV}\cdot\text{A}$ 及以上的油浸式变压器 车间内装设的容量在 $400\text{kV}\cdot\text{A}$ 及以上的油浸式变压器	QJ-80
厂区 $6\sim 10\text{kV}$ 架空线路	过电流保护	动作于跳闸	普遍采用	DL-10 GL-10
	电流速断保护			

(续)

被保护设备名称	保护方式	主回路的动作情况	使用范围	一般采用继电器型号
6 ~ 10kV 电力电容器	相间短路速断保护	动作于跳闸	用断路器控制的电容器组	DL-10 GL-10
	欠电压保护		普通采用	
	横联差动保护		电容器台数较多, 又无法按组或单台安装熔断器时	BCH- $\frac{1}{2}$
6 ~ 10kV 高压电动机	电流速断保护	动作于跳闸	一般用于 2000kW 以下的电动机, 采用两相式	DL-10 GL-10
	过负荷保护	作用于信号或带一定时间作用于跳闸	均宜装设	DL-10 GL-10
	欠电压保护	动作于跳闸	根据具体需要装设	
	单相接地保护	动作于跳闸或信号	当接地电流大于 5A 时, 须装接地电流为 10A 及以上时, 保护装置动作于跳闸; 10A 以下时, 可动作于跳闸或信号	
	纵联差动保护	动作于跳闸	2000kW 及以上或 2000kW 以下电流速断保护灵敏度不能满足要求时	DL-10 BCH- $\frac{1}{2}$

障时, 不影响三相系统的正常运行, 但需及时发出信号, 以便运行值班人员进行处理, 防止故障进一步扩大为两相接地短路, 因此, 还需装设绝缘监察装置或单相接地保护。

6~10kV 高压电力线路, 通常采用两相两继电器式和两相一继电器式的两种保护方式。

1. 反时限过电流保护 反时限过电流保护一般由 GL 型继电器组成。图 1-1 为两相不完全星接两继电器式的原理电路图。

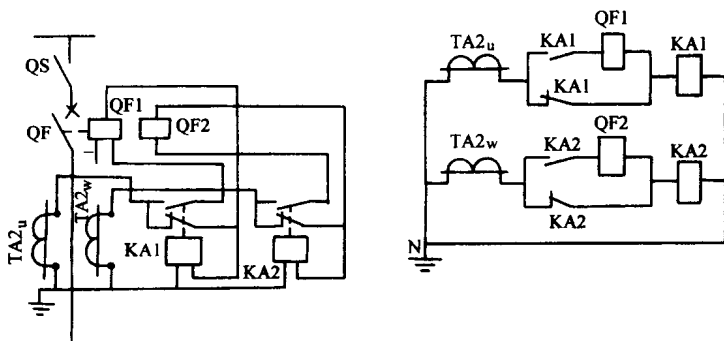


图 1-1 反时限过电流保护原理电路图

当被保护线路发生短路时，在电流互感器的一次侧和二次侧流过很大的电流， TA_{2u} 、 TA_{2w} 电流互感器的二次电流经 KA_1 、 KA_2 继电器的常闭触头和电流线圈构成回路。当继电器电流线圈流过的电流超过继电器的整定电流后，继电器动作，其常开触头闭合，常闭触头打开，电流互感器 TA_{2u} 、 TA_{2w} 的二次电流经过闭合的常开触头，跳闸线圈 QF_1 、 QF_2 和继电器的电流线圈形成回路，使跳闸线圈 QF_1 、 QF_2 动作，断路器 QF 跳闸。

图 1-2 为两相差继电器式的原理电路图。与两相两继电器式比较，减少了一只继电器和一个跳闸线圈，动作原理相似，只是

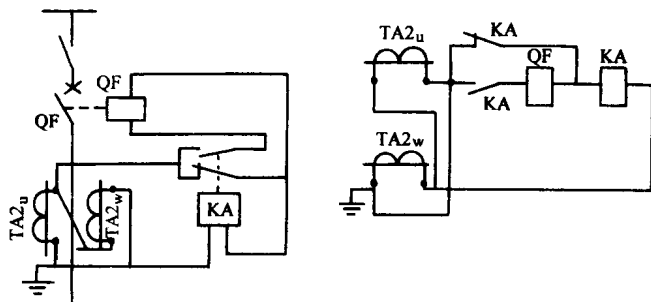


图 1-2 两相差继电器原理电路图

当被保护线路发生三相短路时，流过继电器电流线圈和跳闸线圈的电流为两相的矢量之差，等于一相电流的 $\sqrt{3}$ 倍。当发生 a (U)、c (W) 相两相短路时，流过电流继电器的电流为一相电流的两倍。其它情况与两相两继电器式的动作情况相同。

反时限过电流保护（定时限过电流保护）的动作电流 (I_{op}) 的整定为

$$I_{op} = \frac{K_w K_{rel}}{K_{re} K_i} I_{Lmax} \quad (1-1)$$

式中 K_w ——保护装置的结线系数，星形接法时为 1，角形和差接法时为 $\sqrt{3}$ ；

K_{rel} ——保护装置的可靠系数，对 GL 型过电流继电器可取 1.3~1.4，对 DL 型电流继电器可取 1.2~1.3；

K_{re} ——电流继电器的返回系数，一般 GL-15 型取 0.80，GL-11、21 型和 DL 型取 0.85；

K_i ——电流互感器额定变比；

I_{Lmax} ——线路的最大负荷电流，应根据线路实际的过负荷情况，特别是尖峰电流（包括电动机自启动电流）情况来确定。

如果采用的断路器为手动操动机构中的过流脱扣器作过电流保护，其脱扣器动作电流（脱扣电流） I_{op} 的整定为

$$I_{op} = \frac{K_w K_{rel}}{K_i} I_{Lmax} \quad (1-2)$$

式中 K_{rel} ——保护装置的可靠系数，可取 2~2.5，这里已计入脱扣器的返回系数。

过电流保护动作时间的整定，采用阶梯原则，就是位于电源侧的上一级保护的動作时间要比下级保护时间长，这个时间上的差别称为时间级差 Δt 。时间级差 Δt 应考虑到前一级保护动作时间可能发生负偏差，即可能提前动作一个时间，而后一级保护动作时间又可能发生正偏差，即可能延后动作一个时间，还有保护装置的動作，有一定的惯性误差（特别是使用 GL 型电流继电器），

所以,为了确保前后保护的動作选择性,对定时限过电流保护,取 $\Delta t=0.5\text{s}$,对反时限过电流保护:取 $\Delta t=0.7\text{s}$ 。

为了保证前后两级保护装置动作的选择性,在后一级保护装置所保护的线路前端发生三相短路时,前一级保护的動作时间 t_1 应比后一级保护中最长的動作时间 t_2 要大一个时间级差 Δt (图 1-3),用公式表示为

$$t_1 \geq t_2 + \Delta t \quad \text{或} \quad t_2 = t_1 - \Delta t$$

定时限过电流保护的動作时间,是利用时间继电器来整定的。

反时限过电流保护的動作时间,由于 GL 型过电流继电器的时限调节机构是按 10 倍動作电流的動作时间来标度的,而实际通过继电器的电流一般不会恰恰为動作电流的 10 倍,因此必须根据电流继电器的動作特性曲线来整定。

例 1-1 某厂 10kV 高压配电线路如图 1-3 所示,首端 WL1 和末端 WL2 的过电流保护,选用 GL-15 型过电流继电器,采用两相两继电器的接线。已知 TA1 端的电流互感器变流比 $K_{i(1)}=100/5$,WL1 线路 KA1 继电器已经整定, $I_{op(1)}=7\text{A}$,10 倍動作电流时间 $t_1=1.1\text{s}$ 。TA2 端 WL2 线路的最大尖峰电流 $I_{Lmax(2)}=50\text{A}$, $K_{i(2)}=50/5$,WL2 首端的三相短路电流 $I_{K-1}^{(3)}=435\text{A}$,末端的 $I_{K-2}^{(3)}=190\text{A}$ 。试整定 KA2 的動作电流、動作时间和检验灵敏度。

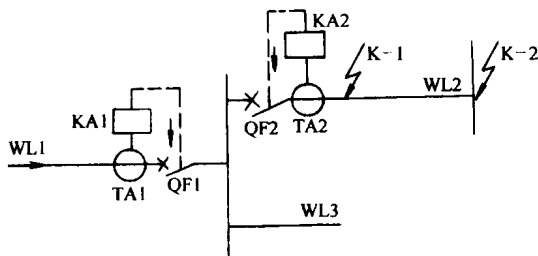


图 1-3 高压配电线路图

解 (1) 整定 KA2 的動作电流 取 $K_{rel}=1.3$, $K_w=1$, $K_{re}=0.8$,按式 (1-1) 得

$$I_{op(2)} = \frac{1.3 \times 1}{0.8 \times (50/5)} \times 50A = 8.1 A$$

近似取为 8A。

(2) 整定 KA2 的动作时间 先确定 KA1 端实际动作时间。由于 I_K 反应到 KA1 中的电流 $I_{K(1)} = 435A \times 1 / (100/5) = 21.7A$ ，故 $I_{K(1)}$ 对 KA1 的动作电流倍数 $n_1 = 21.7A / 7A = 3.1$ 。利用 $n_1 = 3.1$ 和 $t_1 = 1.1s$ ，查 GL-15 型过电流继电器的动作特性曲线，可得 KA1 的实际动作时间 $t'_1 = 1.9s$ 。

因此 KA2 的实际动作时间应为

$$t'_2 = t'_1 - \Delta t = 1.9s - 0.7s = 1.2 s$$

确定 KA2 的 10 倍动作电流的动作时间。由于 I_K 反应到 KA2 中的电流 $I_{K(2)} = 435A \times 1 / (50/5) = 43A$ ，故 $I_{K(2)}$ 对 KA2 的动作电流倍数 $n_2 = 43A / 8A = 5.3$ 。利用 $n_2 = 5.3$ 和 KA2 的实际动作时间 $t'_2 = 1.2s$ ，查 GL-15 型电流继电器的动作特性曲线，可得 KA2 的 10 倍动作电流的动作时间整定为 $t_2 \approx 0.9s$ 。

(3) KA2 的灵敏度检验 KA2 所保护线路 WL2 末端 K-2 点的两相短路电流为

$$I_{K_{min}}^{(2)} = 0.866 \times I_{K-2}^{(3)} = 0.866 \times 190 = 164.5 A$$

因此 KA2 的保护灵敏度为

$$S_{p(2)} = \frac{K_w I_{K_{min}}^{(2)}}{K_t I_{op(2)}} = \frac{1 \times 164.5}{10 \times 8} = 2 > 1.5$$

KA2 整定的动作电流满足保护灵敏度要求。

例 1-2 某厂高压配电线路的最大尖峰电流为 150A，线路末端的三相短路电流为 1500A。现采用 GL-15 型过电流继电器，组成两相电流差接线的相间短路保护，电流互感器变流比为 200/5A。试整定继电器的动作电流。

解 查 GL-15 型过电流继电器技术参数得 $K_{re} = 0.8$ ， $K_w = \sqrt{3}$ 。取 $K_{rel} = 1.3$ ， I_{Lmax} 为 150A。

由式 (1-1) 得继电器的动作电流为