

基层供电企业员工岗前培训系列教材

# 变电站电气设备

河南省电力公司 组编

主编 彭理燕

主审 姬三杰

专业类



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

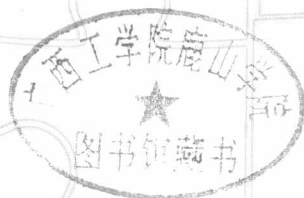
基层供电企业员工岗前培训系列教材

# 变电站电气设备

河南省电力公司 组编

主编 彭理燕

主审 姬三杰



326302

广西工学院鹿山学院图书馆



d326302



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

## 内 容 提 要

《基层供电企业员工岗前培训系列教材》是依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》，结合生产实际编写而成的。

本套教材共有 14 册，其中 3 册为实训教材。本册为《变电站电气设备》，全书共十二个单元，具体内容有：电力系统的基本概念，电力系统中性点运行方式，高压开关电器，互感器，电抗器、电力电容器，母线、绝缘子、电力电缆，电气主接线，配电装置，操作电源，二次回路，信号回路，同期回路等。

本书可作为基层供电企业新员工、复转军人入职培训用书和生产技能人员提升职业能力的培训用书，也可供电力职业院校教学参考使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

变电站电气设备/彭理燕主编；河南省电力公司组编. —北京：中国电力出版社，2010

(基层供电企业员工岗前培训系列教材)

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9987 - 4

I. ①变… II. ①彭… ②河… III. ①变电所—电气设备—技术培训—教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 004574 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http: //www. cepp. com. cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

2010 年 2 月第一版 2010 年 2 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 13.75 印张 253 千字

印数 0001—3000 册 定价 27.00 元

## 敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 前言

为了增强基层供电企业员工岗前培训的针对性和实效性,进一步提高岗前培训员工的综合素质和岗位适应能力,河南省电力公司组织河南电力工业学校、南阳电力技工学校的教学管理人员及部分教师共同策划、编写了这套基层供电企业员工岗前培训系列教材。该套教材按照电网主要生产岗位的能力素质模型和岗位任职资格标准,实施基于岗位能力的模块培训,提高培训教学的针对性和可操作性,培养具有良好职业素质和熟练操作技能、快速适应岗位要求的中高级技能人才。

该套教材针对基层供电企业员工岗前培训的特点,在编写过程中贯彻以下原则:

第一,从岗位需求分析入手,参照国家职业技能标准中级工要求,精选教材内容,切实落实“必须、够用、突出技能”的教学指导思想。

第二,体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路,较好地处理了基础知识与专业知识、理论教学与技能训练之间的关系,有利于帮助学员掌握知识、形成技能、提高能力。

第三,按照教学规律和学员的认知规律,合理编排教材内容,力求内容适当、编排合理新颖、特色鲜明。

第四,突出教材的先进性,结合生产实际,增加新技术、新设备、新材料、新工艺的内容,力求贴近生产实际,缩短培训与企业需要的距离。

本书共十二个单元,主要介绍了电力系统的基本概念,电力系统中性点运行方式、高压开关电器、互感器、电抗器、电力电容器、母线、绝缘子、电力电缆、电气主接线,配电装置,操作电源,二次回路,信号回路和同期回路等内容。本书由河南电力工业学校彭理燕主编,并编写单元一、二、三,单元四、五、六由符贵编写,单元七、八由徐文忠编写,单元九、十由陈邓伟编写,单元十一与十二由郝东香编写。全书由南阳电力技工学校姬三杰主审。

在本书编写过程中,平顶山供电公司艾新法、郑州供电公司孙建巍和新乡供电公司王继平给予了大力支持与帮助,南阳电力技工学校张少杰、河南电力工业学校

惠自洪进行了具体的组织与指导，在此一并表示感谢。

由于编写时间仓促，水平有限，难免出现疏漏，敬请读者在使用中多提宝贵意见。

编 者

2010 年 1 月

# 《基层供电企业员工岗前培训系列教材》

## 编 委 会

主 任：凌绍雄

副 主 任：焦银凯 苏国政 常玉田 仝全利

委 员：孙永阁 陈水增 王 静 张 静 张少杰  
邓启民 宋素琴 孙卫红 徐文忠 李忠强  
吴 兵 沈世峰 吴 荻 惠自洪 郭海云  
付红艳 戴 泌 曹国慧

# 目 录

## 前言

### 单元一 电力系统的基本概念

|                     |    |
|---------------------|----|
| 课题一 概述 .....        | 1  |
| 课题二 变电站电气设备 .....   | 5  |
| 课题三 电气设备的主要参数 ..... | 8  |
| 思考与练习 .....         | 11 |

### 单元二 电力系统中性点运行方式

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 课题一 中性点不接地的三相系统 .....     | 13 |
| 课题二 中性点经消弧线圈接地的三相系统 ..... | 16 |
| 课题三 中性点直接接地的三相系统 .....    | 19 |
| 课题四 中性点经低阻抗接地的三相系统 .....  | 20 |
| 思考与练习 .....               | 21 |

### 单元三 高压开关电器

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 课题一 开关电器中电弧的产生和熄灭 ..... | 22 |
| 课题二 高压断路器 .....         | 28 |
| 课题三 高压隔离开关 .....        | 51 |
| 思考与练习 .....             | 58 |

### 单元四 互感器

|                 |    |
|-----------------|----|
| 课题一 概述 .....    | 60 |
| 课题二 电流互感器 ..... | 61 |
| 课题三 电压互感器 ..... | 69 |
| 思考与练习 .....     | 78 |

### 单元五 电抗器、电力电容器

|               |    |
|---------------|----|
| 课题一 电抗器 ..... | 79 |
|---------------|----|

|                |    |
|----------------|----|
| 课题二 电力电容器····· | 82 |
| 思考与练习·····     | 85 |

## 单元六 母线、绝缘子、电力电缆

|               |    |
|---------------|----|
| 课题一 母线·····   | 86 |
| 课题二 绝缘子·····  | 90 |
| 课题三 电力电缆····· | 95 |
| 思考与练习·····    | 98 |

## 单元七 电气主接线

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 课题一 电气主接线的一般知识····· | 99  |
| 课题二 电气主接线的基本形式····· | 103 |
| 课题三 变电站电气主接线·····   | 112 |
| 课题四 限制短路电流的方法·····  | 115 |
| 思考与练习·····          | 117 |

## 单元八 配电装置

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 课题一 配电装置概述····· | 118 |
| 课题二 屋内配电装置····· | 122 |
| 课题三 屋外配电装置····· | 130 |
| 课题四 成套配电装置····· | 139 |
| 思考与练习·····      | 147 |

## 单元九 操作电源

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 课题一 变电站直流负荷及操作电源····· | 148 |
| 课题二 蓄电池组直流系统·····     | 150 |
| 思考与练习·····            | 165 |

## 单元十 二次回路

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 课题一 二次回路的基本知识····· | 166 |
| 课题二 断路器的控制回路·····  | 171 |
| 思考与练习·····         | 183 |

## 单元十一 信号回路

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 课题一 变电站的信号····· | 184 |
| 课题二 事故信号·····   | 186 |



|                      |     |
|----------------------|-----|
| 课题三 预告信号 .....       | 193 |
| 课题四 新型中央信号装置介绍 ..... | 197 |
| 思考与练习 .....          | 199 |

## 单元十二 同期回路

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 课题一 同期方式和同期点的选择 ..... | 200 |
| 课题二 同期交流回路 .....      | 201 |
| 课题三 准同期装置 .....       | 203 |
| 思考与练习 .....           | 209 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 210 |
|------------|-----|

## 单元一

# 电力系统的基本概念

## 课题一 概 述

### 学习目标

1. 了解我国电力的发展情况。
2. 了解我国电网的现状。

### 知识点

1. 目前我国电力的发展及电力企业的组成。
2. 目前我国电网的发展状况。

### 技能点

1. 能正确分析并理解电气设备的额定电压。
2. 识读电网分布图。

### 学习内容

21 世纪伊始,美国工程院联合 30 多家职业工程协会,历经半年,评出了 20 世纪对人类社会生活影响最大的 20 项工程技术成果,其中位列榜首的是电力工程。假如没有电力,人类 20 世纪的科技、经济成果都只能是美丽的幻想。“国民经济要发展,电力事业要先行”这句话也足以说明,电力对于我国国民经济发展的的重要性。回顾电力工业的发展历程,我们会发现,中国电力的发展是始终跟随着世界电力前进的步伐。

近年,我国国民生产总值持续增长,经济的高速增长与能源和负荷不对称分布已经形成矛盾,正如一位经济学者所说:“经济增长不一定等于经济发展”,与发达国家相比,我国的经济增长是粗放式的,是以高能耗、高污染为代价的,经济发展所引发的外部成本太高。大煤电、大水电、大核电、特高压输电呼之欲出。

### 一、我国电力发展概况

1879 年,我国上海公共租界点亮了第一盏电灯。1882 年,中国第一家公用电力公司——上海电气公司创办。中国最早的水电站——云南华电石龙坝创始于光绪

三十四年，即 1908 年。

我国电力装机容量经过 67 年的发展，从 1882 年的 11.76kW 到 1949 年的 185 万 kW，再到 2005 年底的 5 亿 kW。新中国成立以来，均以年均 10% 以上的速度发展，这在世界电力发展历史上都是罕见的。特别是改革开放的 1978 年以来，我国电力工业发展的规模之大、持续时间之长，更是举世无双。

近 20 多年来，特别是在近 10 年来，我国电力工业连续跃过法国、英国、加拿大、德国、俄国、日本，从 1996 年开始就稳居世界第二，基本上扭转了长期困扰我国经济发展和人民生活需要的电力严重短缺局面，实现电力供需基本平衡略有裕量的成就。特别在电力结构上，不断调整优化，技术装备水平不断提高，使我国电力工业进入了大机组、大电厂、大电网、特高压、自动化、信息化，水电、火电、核电、新能源发电全面发展的新时期。电网建设极大加强，电力调度水平不断提高，西电东送、南北互供、水火调剂、全国联网的格局已基本形成。科技水平得到提高，环境排放控制、生态保护日益加强，电力管理水平和服务水平不断得到提高，在利用外资、引进设备、引进技术、实施走出去战略都取得了巨大的成就。此外，还不断提高了电力职工队伍素质，积极扩大了多种经营，不断深化电力企业改革，推动企业重组改造，加强了法制建设，走上了法制化管理的轨道。

## 二、我国电力走向市场化

从 20 世纪 80 年代开始，世界上许多国家的电力工业陆续走向了市场化，其主要目标是打破传统电力工业垄断运营的模式，厂网分开，开放电网，实现竞争，进而降低发电成本，提高服务质量，促使电力工业健康发展。但是到目前为止，这种电力市场的改革还未能建立非常成功的样板，各种模式都还处于不断探索、不断完善的过程中。

1980 年以来，我国为了缓解长期电力短缺的局面，制定了一系列加快电力建设的政策措施，形成了多元化投资渠道。这些措施取得了很大的成效，在“九五”期间缺电情况得到明显缓解。在这种情况下，我国电力体制不适应市场经济体制的现象日益显现出来，电力工业走向市场化已势在必行。

依据国务院国发 [2002] 5 号文件，电力体制改革的总体目标是，打破垄断，引入竞争，提高效率，降低成本，健全电价机制，优化资源配置，促进电力发展，推进全国联网，构建政府监管下的政企分开、公平竞争、开放有序、健康发展的电力市场体系。

电力体制改革的主要内容是，为在发电环节引入竞争机制，首先要实现“厂网分开”，将原国家电力公司管理的电力资产按照发电和电网两类业务进行划分。发电环节按照现代企业制度要求，将原国家电力公司管理的发电资产直接改组或重组

为规模大致相当的 5 个全国性的独立发电公司，逐步实行“竞价上网”，开展公平竞争。电网环节分别设立国家电网公司和中国南方电网有限责任公司。国家电网公司下设华北、东北、华东、华中和西北 5 个区域电网公司。国家电网公司主要负责各区域电网之间的电力交易、调度，参与跨区域电网的投资与建设；区域电网公司负责经营管理电网，保证供电安全，规划区域电网发展，培育区域电力市场，管理电力调度交易中心，按市场规则进行电力调度。区域内的省级电力公司可改组为区域电网公司的分公司或子公司。

两大电网公司：国家电网公司和中国南方电网有限公司。

五大发电公司：中国华能集团公司、中国大唐集团公司、中国华电集团公司、中国国电集团公司和中国电力投资集团公司。

四大辅业集团：中国电力工程顾问集团公司、中国水电工程顾问集团公司、中国水利水电建设集团公司和中国葛洲坝集团公司。

为了对电力企业进行有效的监管，国务院决定成立国家电力监管委员会，按照垂直管理体系，向区域电网公司电力交易调度中心派驻代表机构。国家电力监管委员会的主要职责是制定市场运营规则，监管市场运行，维护公平竞争；向政府价格主管部门提出调整电价建议；监督电力企业生产标准，颁发和管理电力业务许可证；处理电力纠纷；负责监督社会普遍服务政策的实施。

### 三、我国电网现状及展望

#### 1. 各区域电网

各区域电网分布图如图 1-1 所示。

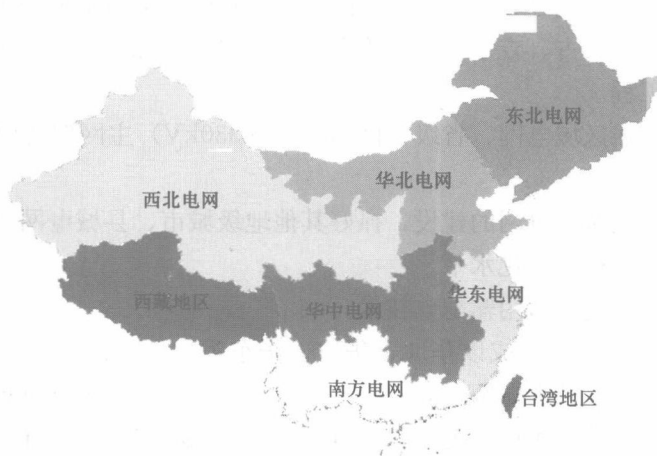


图 1-1 各区域电网分布图（内蒙古地区、中国香港、中国澳门除外）

## 2. 各区域电网所辖地区

华北电网：北京、天津、河北、山西、山东。

东北电网：辽宁、吉林和黑龙江。

华中电网：河南、湖北、江西、湖南、重庆和四川。

华东电网：上海、江苏、浙江、安徽和福建。

西北电网：陕西、甘肃、青海、宁夏回族自治区和新疆维吾尔自治区。

南方电网：广西、广东、贵州、云南和海南。

西藏电力有限公司属于国家电网公司代管。

## 3. 我国电网现状

1989年，葛洲坝到上海南桥的±500kV直流输电工程建成并投运，标志着我国电网从省际间联网向大区域联网迈进了一步。2005年，我国电网基本实现了全国互联。东北电网与华北电网、华北电网与华中电网分别采用500kV交流联网，华东电网与华中电网通过葛洲坝—南桥和龙泉—政平直流工程异步联网；华中电网与南方电网通过三峡—广东直流工程异步联网；西北电网与华中电网通过灵宝直流背靠背工程异步联网，全国形成东北—华北—华中电网、华东电网、西北电网、南方电网四个主要同步电网。

## 4. 对我国电网未来的展望

(1) 加快建设1000kV交流试验示范工程，不失时机地开工建设±800kV直流输电工程。要在提高现有500kV电网输送能力的同时，加快实施特高压输电试验示范工程。

(2) 加快跨区电网建设，进一步强化全国联网结构。同时，积极推进与俄罗斯、哈萨克斯坦、蒙古、吉尔吉斯斯坦等周边国家的能源开发与合作，研究建设跨国联网和送电工程。

(3) 继续加强区域电网、省级电网500kV(330kV)主网架建设，加快形成西北750kV网架。

(4) 加强重点城市电网的建设，抓好其他地级城市、县城电网建设改造，完善农村电网、提高农村电气化水平。

(5) 大力推进先进适用输配电技术。

2020年前后，将建设成以华北、华中、华东为核心，覆盖各大电源基地和主要负荷中心的特高压骨干电网，有效引导大煤电、大水电、大核电集约化开发，充分实现全国范围内的资源优化配置。各电压等级电网功能定位明确，结构坚强，发展协调，电网运行安全性、可靠性、经济性显著提高，具备抵御防止大面积停电事故的能力，各项技术经济指标和装备质量全面达到或领先于国际水平。

## 课题二 变电站电气设备

### 学习目标

1. 知道变电站的种类。
2. 能说明一、二次设备的定义及分类。

### 知识点

1. 变电站的基本型式。
2. 电气设备分类、概念。

### 技能点

1. 正确区分不同变电站的型式。
2. 能够认识变电站各类一、二次设备。

### 学习内容

#### 一、变电站的类型

变电站是电力系统的中间环节,根据其在电力系统中的地位和作用,可以分成以下几类。

(1) 枢纽变电站。枢纽变电站位于电力系统的枢纽点,电压等级一般为 330kV 及以上,联系多个电源,出线回路多,变电容量大;全站停电后将造成大面积停电或系统瓦解,枢纽变电站对电力系统运行的稳定性和可靠性起重要作用。

(2) 中间变电站。中间变电站位于系统主干环行线或系统主干线的接口处,电压等级一般为 330~220kV,汇集 2~3 个电源和若干线路,高压侧以穿越功率为主,低压侧向地区用户供电。全站停电后,将引起区域电网的解列。

(3) 地区变电站。地区变电站是某个地区和某个城市的主要变电站,电压等级一般为 220kV,全站停电后将造成该地区或该城市供电的紊乱。

(4) 企业变电站。企业变电站是大、中型企业的专用变电站,电压等级 35~220kV,1~2 回进线。

(5) 终端变电站。终端变电站位于配电线路的终端,接近负荷处,高压侧 10~110kV 引入线,经降压后向用户供电。

#### 二、变电站的主要电气设备

为了满足用户对电力的要求和保证电力系统运行的安全稳定和经济性,变电站电气部分的主要工作,是起、停机组,调整负荷,切换设备和线路,不断监视主要设备的运行,发生异常和故障时及时处理等。以上所有的工作都是靠操作主要电气设备来完成的。通常按主要电气设备作用的不同,将电气设备分成两大类型。

### 1. 一次设备

直接产生、输送、分配和使用电能的设备为一次设备，一次设备包括以下几类。

(1) 生产和转换电能的设备。例如，将机械能转换为电能的发电机，变换电压、传输电能的变压器，将电能转换为机械能的电动机等。

(2) 接通和断开电路的开关设备。如高低压断路器、负荷开关、接触器、磁力起动器、熔断器、隔离开关等。

(3) 保护电器。例如，限制短路电流的电抗器、防御过电压的避雷器等。

(4) 载流导体。例如，传输电能的软、硬导体及电缆等。

(5) 接地装置。

通常，一次设备用规定的图形和文字符号表示，常用一次设备图形和文字符号如表 1-1 所示。

表 1-1 常用一次设备图形和文字符号

| 设备名称   | 图形符号                                                                                | 文字符号 | 用 途       |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------|
| 发电机    |    | G    | 将机械能转变成电能 |
| 直流电动机  |    | MD   | 将电能转变成机械能 |
| 交流电动机  |    | MA   | 将电能转变成机械能 |
| 双绕组变压器 |   | TM   | 变换电能电压    |
| 三绕组变压器 |  | TM   | 变换电能电压    |
| 自耦变压器  |  | TA   | 变换电能电压    |
| 电抗器    |  | L    | 限制短路电流    |
| 分裂电抗器  |  | L    | 限流        |
| 电流互感器  |  | TA   | 变换电流      |
| 电压互感器  |  | TV   | 变换电压      |
| 断路器    |  | QF   | 投、切高压电路   |
| 隔离开关   |  | QS   | 安全隔离电源    |

## 2. 二次设备

二次设备指对一次设备和系统的运行状况进行测量、控制、保护和监察的设备，二次设备包括以下几类。

(1) 互感器。互感器分电压互感器和电流互感器，分别将一次系统的高电压、大电流转换成低电压、小电流，向测量仪表和继电保护装置供电。互感器是一次设备与二次设备之间的联络元件。

(2) 测量表计。例如，电压表、电流表、功率表、电能表等，用于测量电路中的电气参数。

(3) 继电保护和自动装置。例如，各种继电器、自动装置等，用于监视一次系统的运行状况，迅速反应异常和事故，作用于断路器，进行保护控制。

(4) 操作电器。各类型的操作把手、按钮等，实现对电路的操作控制。

(5) 直流电源设备。例如，蓄电池组、直流发电机、硅整流装置等，供给控制、保护用的直流电源及厂（站）用直流负荷和事故照明用电等。

## 三、电气接线和配电装置

在变电站中，各个电气设备必须按一定的要求连成一个整体，并与必要的辅助设备一起安装，才能供电，这即是电气接线和配电装置。

### 1. 电气接线

在变电站中，根据各种电气设备的作用及要求，按一定的方式连接起来所形成的电路称为电气接线。其中，一次设备所连成的电路称为一次电路或电气主接线；二次设备所连成的电路称为二次电路或二次接线。电气接线通常用电气接线图来表示，故又可分为一、二次接线图。

电气接线图可画成三线图，也可画成单线图。三线图是绘出各相所有设备的全图，比较复杂，故电气接线图通常用单线图表示。单线图虽然绘出的是单相电路的连接情况，实际上却表示三相电路。某电厂电气主接线如图 1-2 所示。

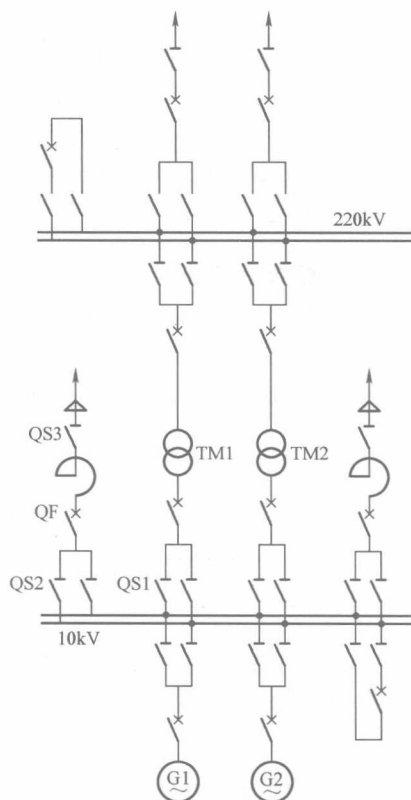


图 1-2 某电厂电气主接线



## 2. 配电装置

变压器、母线、开关设备等布置在不同的地方，与它们相配套的辅助设备及必要的建筑物组成的整体即为配电装置。有关电气主接线和配电装置的专业知识将在以后的单元中介绍。

# 课题三 电气设备的主要参数

## 学习目标

1. 了解电力系统相关参数的制定原则，以及相关标准代号的含义。
2. 能说出电气一次设备的额定参数（电压、电流及功率）的含义。

## 知识点

1. 电力系统相关参数的制定原则。
2. 电压、电流及功率等参数的意义。
3. 电能质量及供电可靠性的含义。

## 技能点

1. 正确识读标准代号的含义。
2. 能够根据电力网的额定电压标注出与电力网相连接电气设备的额定电压。

## 学习内容

### 一、参数标准简介

(1) 我国国家标准分为强制性（GB）、推荐性（GB/T）等。为加强标准化管理，避免行业标准代号的混乱，提高标准化工作的有效性，国家质量技术监督局统一规定了行业标准代号（与国家标准一样分为强制性、推荐性和指导性技术文件，

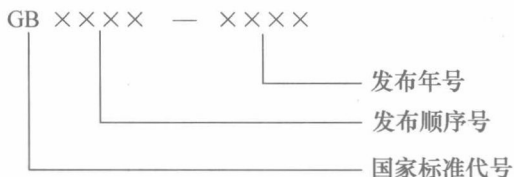


图 1-3 国家标准编号

字母标识也一样），如电力行业标准代号为 DL，其主管部门为国家经贸委。国家标准编号如图 1-3 所示。

GB 156—1993《标准电压》为强制性，发布年号为 1993 年；GB/T 762—2002《标准电流等级》为推荐性，发布年号为 1996 年；GB/T 1880—1996《标准频率》为推荐性，发布年号为 1996 年。

(2) 我国电压电流等级和频率标准化技术委员会（简称标委会，下同）由国务院标准化行政主管部门、国家质量技术监督局直接领导和管理，主要从事电力系统的基本参数和电能质量专业技术领域的标准化技术归口工作。