

JIAKONG PEIDIAN XIANLU

SHIGONG SHOUCHE

# 架空配电线路

# 施工手册

乔新国 江雁喆 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

JIAKONG PEIDIAN XIANLU

SHIGONG SHOUCHE

# 架空配电线路

# 施工手册

乔新国 江雁喆 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书对架空配电线路的施工标准规范、施工技能知识进行阐述,注重理论联系实际,反映最新的技术标准规范,做到知识性、专业性、系统性和实用性相结合。

全书共分九章,第一章原材料及器材、第二章测量、第三章土石方工程、第四章基础工程、第五章杆塔工程、第六章架线工程、第七章接地工程、第八章杆上电气设备、第九章工程验收与移交。

本书适合电力线路施工及维护人员学习使用,也可作为电网企业架空配电线路人员岗位培训的教材,农网配电人员实用技术培训教材,并可用于各类院校相关专业电力线路理论与知识学习的教材或参考书,同时也可作为农村劳动力转移培训和其他人员的业余读物。

### 图书在版编目(CIP)数据

架空配电线路施工手册/乔新国,江雁喆编著.—北京:中国电力出版社,2017.3

ISBN 978-7-5198-0246-2

I. ①架… II. ①乔… ②江… III. ①架空线路—配电线路—架线施工—手册 IV. ①TM726.3-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第004152号

---

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:马淑范(shufan-ma@sgcc.com.cn)

责任校对:太兴华

装帧设计:左 铭

责任印制:蔺义舟

---

印 刷:北京市同江印刷厂

版 次:2017年3月第一版

印 次:2017年3月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:16.625

字 数:397千字

印 数:0001—2000册

定 价:68.00元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换



## 前 言

电力工业既是基础产业又是公用事业，既是生产资料又是生活资料，关系到社会的进步，生产力的发展和人民生活水平的提高，要最大限度地满足社会日益增长的电力需求。2014年，国家出台《国家新型城镇化规划（2014—2020年）》，对城乡配电网供电能力和供电可靠性提出更高要求。2015年，国家能源局印发《配电网建设改造行动计划》，提出2015年至2020年全国配电网建设改造投资不低于2万亿元（人民币）。新一轮的配电网配网改造升级工程将结合推进新型城镇化、农业现代化和扶贫搬迁等，积极适应农产品加工、乡村旅游、农村电商等新型产业发展以及农民消费升级的用电需求，推进新型小城镇和中心村电网改造升级。

配电网改造升级工程建设包含大量的66kV及以下架空线路的施工，架空配电线路施工是配电网建设的重要组成部分。按国家标准规范熟练地掌握架空配电线路的施工技能，保证工程质量，全面提高施工人员的生产技能水平，是配电网建设的需要。依据2015年1月1日施行的国家标准GB 50173—2014《电气装置安装工程66kV及以下架空电力线路施工及验收规范》，编写了本书。

本书对66kV及以下架空配电线路的施工标准规范、施工技能知识进行阐述，注重理论联系实际，反映最新的技术标准规范，做到知识性、专业性、系统性和实用性相结合。在注重理论的同时，突出实践技能的提高，力图做到深入浅出，层次分明，详略得当。本书适合电力线路施工及维护人员学习使用，也可作为电网企业架空配电线路人员岗位培训的教材，农网配电人员实用技术培训教材，并可用于各类院校相关专业电力线路理论与知识学习的教材或参考书，同时也可作为农村劳动力转移培训教材和其他人员的业余读物。

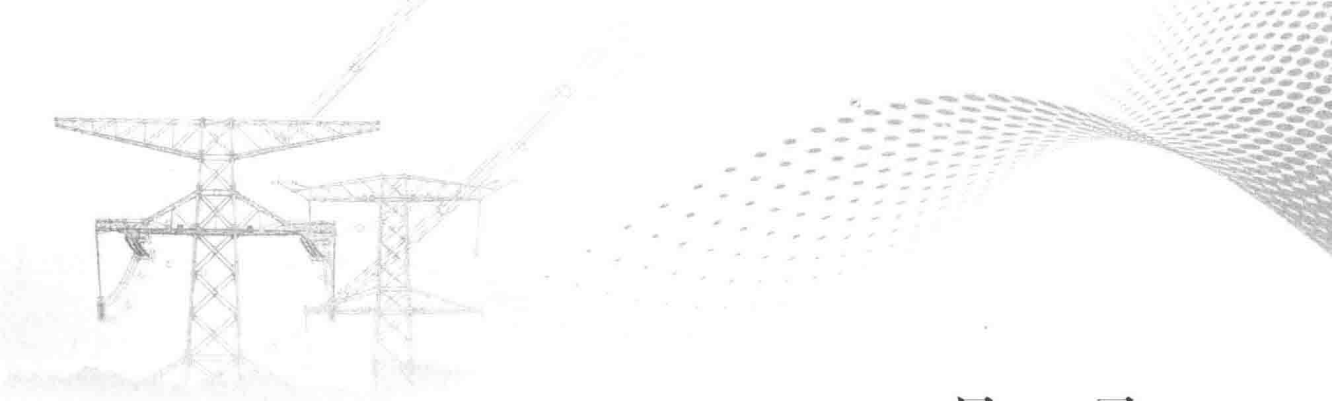
本书包括原材料及器材、测量、土石方工程、基础工程、杆塔工程、架线工程、接地工程、杆上电气设备、工程验收与移交等内容。

全书由乔新国、江雁喆编著，该书编写过程中，成晓芳、鄢焱、周克修、江颢、江博等同志参加了本书部分章节的编写，全书由黄松泉同志审定。本书编写过程中，得到了编者单位和中国电力出版社等有关单位的大力支持和帮助，在此谨表感谢。

在编写本书的过程中参考和辑录了部分书刊中的有关资料，谨向这些书籍、刊物的作者致谢。由于编写水平有限，经验不足，虽经反复修改，仍难免有疏漏和不当之处，恳请广大读者和同行批评指正。

作 者

2016年8月



# 目 录

前言

<b>第一章 原材料及器材</b> .....	1
第一节 材料 .....	1
第二节 基础 .....	1
第三节 杆塔 .....	13
<b>第二章 测量</b> .....	16
第一节 测量仪器 .....	16
第二节 分坑测量 .....	24
<b>第三章 土石方工程</b> .....	33
第一节 土壤基本知识 .....	33
第二节 基础开挖 .....	35
第三节 爆破作业流程与一般知识 .....	42
<b>第四章 基础工程</b> .....	50
第一节 现浇混凝土施工 .....	50
第二节 钻孔桩基础浇灌 .....	58
第三节 掏挖基础浇制 .....	60
第四节 装配式基础施工 .....	61
第五节 岩石基础施工 .....	66
第六节 冬季施工 .....	67
第七节 基础操平找正 .....	68
<b>第五章 杆塔工程</b> .....	73
第一节 常用起重工器具及选择 .....	73
第二节 10kV 架空线路杆型 .....	92
第三节 钢筋混凝土杆起立前各项工作 .....	97
第四节 钢筋混凝土杆整体起立 .....	105

第五节	铁塔组立 .....	119
第六节	拉线 .....	133
<b>第六章</b>	<b>架线工程 .....</b>	<b>141</b>
第一节	一般规定 .....	141
第二节	放线 .....	148
第三节	导线连接 .....	154
第四节	紧线 .....	157
第五节	附件安装 .....	166
第六节	光缆架设 .....	174
<b>第七章</b>	<b>接地工程 .....</b>	<b>179</b>
第一节	接地电阻 .....	179
第二节	接地装置及施工 .....	180
第三节	接地电阻测量 .....	187
<b>第八章</b>	<b>杆上电气设备 .....</b>	<b>191</b>
第一节	柱上配电变压器安装 .....	191
第二节	柱上避雷器安装 .....	202
第三节	10kV 柱上断路器安装 .....	204
第四节	10kV 柱上跌落式熔断器安装 .....	214
第五节	10kV 柱上隔离开关安装 .....	217
第六节	杆上电气设备试验 .....	219
<b>第九章</b>	<b>工程验收与移交 .....</b>	<b>231</b>
附录: GB 50173—2014	《电气装置安装工程 66kV 及以下架空电力线路施工及验收规范》附录 D .....	235
参考文献 .....		259



---

# 第一章 原材料及器材

架空电力线路工程使用的原材料及器材应符合国家标准 GB 50173—2014《电气装置安装工程 66kV 及以下架空电力线路施工及验收规范》的规定。要求产品有出厂合格证书，对没有证书的产品应抽样送检。强调线路工程在施工之前对原材料、器材进行检查，使问题暴露在安装之前，以保证工程质量。钢材焊接用焊条、焊剂等焊接材料的规格、型号应符合所焊接金属焊接的工艺要求。本章主要介绍材料、基础、杆塔、导地线、绝缘子和金具的基本要求和规定。

## 第一节 材 料

### 1. 质量检验资料

- (1) 应有该批产品出厂质量检验合格证书，设备应有铭牌。
- (2) 应有符合国家现行标准的各项质量检验资料。
- (3) 对砂、石等原材料应抽样并提交具有资质的检验单位检验，应在合格后再采用。

### 2. 材料的检验

原材料及器材有出厂质量检验合格证书，但有下列情况之一者，应重作检验，并应根据检验结果确定是否使用或降级使用：

- (1) 超过规定保管期限者。
- (2) 因保管、运输不良等原因造成损伤或损坏可能者。
- (3) 对原检验结果有怀疑或试样代表性不够者。

### 3. 焊接材料

钢材焊接用焊条、焊剂等焊接材料的规格、型号，应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定，且保管、使用时应采取下列措施：

- (1) 焊条、焊丝、焊剂和熔嘴应储存在干燥、通风良好的地方，并应由专人保管。
- (2) 焊条、焊丝、熔嘴和焊剂在使用前，应按产品技术文件的规定进行烘干。
- (3) 焊条重复烘干次数不应超过 1 次，不得使用受潮的焊条。

## 第二节 基 础

### 一、砂、石、水

现场浇筑混凝土基础所使用的砂、石，应符合现行行业标准 JGJ 52—2006《普通混凝





土用砂、石质量及检验方法标准》的规定。

### 1. 砂

砂是石质的细粒状材料，系由岩石风化而成。按其产源不同，分为河砂、江砂、海砂及山砂 4 种，以河砂、江砂质量为好，在混凝土作细骨料。

砂按颗粒大小分为：粗砂——平均粒径不小于 0.5mm；中砂——平均粒径为 0.35～0.5mm；细砂——平均粒径为 0.25～0.35mm；特细砂——平均粒径小于 0.25mm。

砂粒粗，表面积小，所需用胶合表面的水泥量也少。因此，拌制混凝土用砂宜用粗砂或中砂。但是如砂中仅有粗颗粒，而缺少细颗粒去填充粗颗粒的空隙，同样会增加水泥的用量，平均粒径小于 0.25mm 的砂不宜使用。砂必须颗粒坚硬、洁净，含泥量小于砂量的 5%，云母等杂质不应超过砂重的 5%。砂的比重为 2.5～2.75，砂的单位体积质量不得低于 1400～1550kg/m<sup>3</sup>。

预制混凝土构件及现场浇制基础使用的砂必须符合现行 JGJ 52《普通混凝土用砂的质量标准及检验方法》的规定。

### 2. 石子

混凝土所用的石子一般有碎石和卵石，是粗骨料。碎石是岩石经人工或机械加工破碎而成，有棱角、表面粗糙，和水泥浆胶结比较好。在同样条件下，碎石混凝土比卵石混凝土强度高，但和易性较差。卵石由天然风化而成无棱角，按产地不同，可分为河卵石、海卵石和山卵石。河卵石比较洁净少混有杂质。

石子按其粒径分为：细石——粒径 5～20mm；中石——粒径 20～40mm；粗石——粒径 40～100mm。

架空电力线路的钢筋混凝土基础，一般采用中石，无筋混凝土基础可采用粗石。为了便于浇灌，在钢筋混凝土中，石子最大粒径不得大于钢筋间最小净距的 3/4。碎石和卵石比重随着岩石种类不同而异，大多在 2.5～2.7，它们密度为 1400～1800kg/m<sup>3</sup>。不论用何种石子，其强度必须大于混凝土的强度。

预制混凝土构件及现场浇制基础使用的碎石或卵石，必须符合现行 JGJ 53《普通混凝土用碎石或卵石的质量及检验方法》的规定。

### 3. 水

混凝土拌和用水应符合下列规定：

- (1) 制作预制混凝土构件用水，应使用可饮用水。
- (2) 现场拌和混凝土，宜使用可饮用水。当无可饮用水时，应采用清洁的河溪水或池塘水等。水中不得含有油脂和有害化合物，有怀疑时应送有相应资质的检验部门做水质化验，并应在合格后再使用。
- (3) 混凝土拌和用水严禁使用未经处理的海水。

## 二、水泥

水泥的质量、保管及使用应符合现行国家标准 GB 175《通用硅酸盐水泥》的规定。水泥的品种与标号，应满足设计要求的混凝土强度等级。水泥保管时应防止受潮，不同品种、不同等级、不同制造厂、不同批号的水泥应分别堆放，并应标识清楚。

制造水泥的原料有石灰石、石英砂、黏土及赤铁矿砂等，将这些原料按比例混合，经



过粉碎、磨细后在水泥窑中煅烧，再加入适量的石膏和高炉矿渣（或火山灰、粉煤灰）共同磨细后即成水泥。水泥的主要成分为硅酸钙及铁铝酸钙。

### 1. 水泥的性质

(1) 比重和容重。水泥的比重约 3.1，密度约为  $1000\sim 1600\text{kg/m}^3$ 。

(2) 细度。即水泥颗粒的磨细程度。水泥颗粒越细，单位质量内水泥表面积越大，在搅拌时和水接触的表面积也就越大，水化作用也就越快，早期强度也越强。但是细颗粒的水泥在空气中硬化时，有较大的收缩，在运输、贮存过程中容易受潮、降低强度。

(3) 凝结时间。水泥必须具有在一定时间内凝结的能力，水泥和水拌和后成为可塑性的水泥浆。水泥浆具有充分的流动性而且表面光泽，胶结成固体状态的过程称为凝结，从加水开始算起到凝结过程所需时间称为凝结时间。水泥浆失去流动性、失去塑性变成稠浓现象，称为初凝，发生初凝现象所需的时间称为初凝时间。水泥浆完全失去流动性变成凝块、具有强度时，称为终凝，从加水算起到发生终凝所需要的时间为终凝时间。在混凝土施工过程中，必须有足够的时间完成运输、浇灌等工作，所以凝结时间不得过早，但也不能过迟，混凝土浇注完毕后就希望很快地凝结与得到强度。尤其在冬季施工时，凝结得越迟，受冻损害的危害越大。

国家标准规定：硅酸盐水泥的初凝时间，从加水时起不得早于 45min，终凝时间不得迟于 390min。

(4) 体积安定性。水泥在硬化过程中体积变化是否均匀的性质，称为体积安定性。体积安定性不良的水泥，在硬化过程中会自行破裂，影响混凝土工程的质量，甚至引起严重事故。造成体积安定性不良的主要原因是水泥中含有过多的游离石灰与三氧化硫，遇水熟化极缓慢，当水泥浆已具有强度后，它能在其中继续熟化，且体积较原始体积增大两倍以上，致使硬化后的水泥浆体开裂。如果水泥中石膏等杂质过多，也会发生类似情况。体积安定性不合格的水泥禁止使用。

(5) 水化热。水泥在凝结硬化过程中会放出热量，称为水化热。水化热大小及放热快慢，取决于水泥成分和细度。水泥颗粒越细，早期放热量越高。一般构件在低温施工时，水化热可以补充一部分热量损失，因而加快硬化速度。但对大体积的混凝土（如大块体基础、水坝等），由于水化热积聚在内部不易散发，内部温度上升过高，而表层部分却散热较快，内外温差所引起的应力可使混凝土产生裂缝而影响质量。

### 2. 常用水泥的品种

(1) 硅酸盐水泥。俗称熟料水泥，是以硅酸钙为主要成分的熟料，然后加入一定数量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料。不掺混合材料的代号 P·I，掺混合材料的代号 P·II。此种水泥是我国水泥的主要品种之一，标号在 425 号以上，最高达 725R 号。其特点是早期强度比普通硅酸盐水泥高 5%~10%，在低温下强度增长比其他水泥快，抗冻、抗磨性好，但水化热较高，抗腐蚀性差，适宜配制高标号混凝土。

(2) 普通硅酸盐水泥。简称普通水泥，是由硅酸盐水泥熟料加入少量混合材料和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，代号 P·O。它和硅酸盐水泥相比，除早期强度稍低外，其他性能相近，可广泛用于各种混凝土或钢筋混凝土基础。

(3) 矿渣硅酸盐水泥。简称矿渣水泥，它是在硅酸盐水泥熟料中加入占水泥成品重 20%~70% 的粒化高炉矿渣和适量石膏共同磨细或分别磨细混匀而成，代号 P·S。它与普



通水泥相比颜色淡、比重较小、水化热较低，抗硫酸盐侵蚀性和耐热性较好，但泌水性和干缩性较大，抗冻性和耐磨性较差，早期强度增长较慢，需较长的养护期。

(4) 火山灰质硅酸盐水泥。简称火山灰水泥，是在硅酸盐水泥熟料中，加入占水泥成品重 20%~50% 的火山灰质和适量石膏共同磨细或分别磨细混匀而成，代号 P·P。它也早期强度较低，需要较长养护期，在低温环境中强度增长较慢，在高温及潮湿环境中（如蒸汽养护）强度增加较快，搅拌混凝土所需水量较普通水泥多。

(5) 粉煤灰硅酸盐水泥。简称粉煤灰水泥，是在硅酸盐水泥熟料中加入占水泥成品重 20%~40% 粉煤灰和适量石膏共同磨细而成，代号 P·F。其性能和火山灰水泥相似，但需水性及干缩性小，适用大体积混凝土基础。

除上述 5 种主要水泥品种外，还有快硬硅酸盐水泥、矾土水泥（高铝水泥），它们早期强度增长很快，可用于紧急抢修工程、冬季施工及抗冻工程等；高强硅酸盐水泥其标号在 625 号以上；膨胀水泥在硬化过程中体积膨胀，可用于加固结构、浇灌底脚螺栓，堵塞、修补漏水裂缝和孔洞等；不透水水泥具有快凝、早强特点，用于修补、接缝和作喷射防水层。可供特殊施工条件下选用。

### 3. 水泥的标号

水泥的强度大小是以水泥标号来说明的。水泥标号的确定，根据国标 GB 177 的规定，用软练法测定。硅酸盐水泥分为 425R、525、525R、625、625R、725R 六个标号；普通硅酸盐水泥分为 325、425、425R、525、525R、625、625R 七个标号；矿渣水泥、火山灰水泥和粉煤灰水泥分为 275、325、425、425R、525、525R、625R 七个标号。其标号值即为试块 28 天抗压强度折合成  $\text{kg}/\text{cm}^2$  的值， $\text{kg}/\text{cm}^2 = 0.09811\text{MPa}$ 。水泥试块是将水泥和标准砂按 1:2.5 的比例混合，加入规定数量的水（水灰比 0.44~0.46），按规定方法制成 160mm×40mm×40mm 尺寸的试件。

### 4. 水泥的储存

水泥的储存用不透水塑料编织袋包装及水泥罐储存两种方法。架空电力线路施工多用袋装水泥，每袋水泥 50kg。

水泥储存最重要的是防潮，仓库应干燥、尽量密闭。堆放时，下面要垫高且离地 30cm、离墙亦应 30cm 以上，水泥堆放高度不要超过 10 包。

水泥贮存时间不要超过规定的保管期，水泥保管期一般为 3 个月。根据实验证明，在条件良好仓库中，存放 3 个月强度将降低 10%~20%、存放 6 个月强度将降低 15%~30%。水泥存放按出厂日期起算，超过规定的保管期或虽未超过规定的保管期，但保管不善，使用时需重新检验确定标号。

水泥受潮通常表现为结块，凝结速度减慢，密度减小和强度降低。对受潮水泥也应经过鉴定试验，使用前应加以研碎并将已结成硬块的水泥筛去。凡受潮和过期的水泥均不宜用于高标号混凝土或重要的结构部位。

水泥的质量、保管及使用应符合现行国家标准 GB 175《通用硅酸盐水泥》的规定。水泥的品种与标号，应满足设计要求的混凝土强度等级。每批水泥除必须取得出厂质量合格证明外，尚应标明出厂日期。水泥保管时应防止受潮；不同品种、不同等级、不同制造厂、不同批号的水泥应分别堆放，并应标识清楚。



### 三、混凝土及其配制

混凝土是指用水泥、沥青或合成材料（如树脂、合成纤维）等作胶凝材料固结而成的总称。这些材料分别称为水泥混凝土、沥青混凝土、聚合混凝土和纤维混凝土等。平常所说的混凝土是指用水泥作胶凝材料，按一定比例加砂、石等骨料和水拌制后，经硬化而成的人造石，故又称水泥混凝土或普通混凝土，简称混凝土。架空电力线路上用的混凝土就是指这种水泥混凝土。

预制混凝土构件及现浇混凝土基础用钢筋、地脚螺栓、插入角钢等加工质量，均应符合设计要求。钢材应符合现行国家标准 GB 1499《钢筋混凝土用钢》的规定，表面应无污物和锈蚀。

#### （一）混凝土分类

混凝土按其用途可分为普通结构用混凝土和特种混凝土，如耐酸、耐碱、高强、快硬、防水、防辐射等混凝土。

混凝土按其容重可分为特重混凝土（ $2700\text{kg}/\text{m}^3$ ）、重混凝土（ $2100\sim 2600\text{kg}/\text{m}^3$ ）、稍轻混凝土（ $1900\sim 2000\text{kg}/\text{m}^3$ ）、轻混凝土（ $1000\sim 1900\text{kg}/\text{m}^3$ ）及特轻混凝土（低于 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ）。

混凝土按其流动性分为塑性混凝土（坍落度为 $3\sim 8\text{cm}$ ）、低流动性混凝土（坍落度为 $1\sim 3\text{cm}$ ）以及干硬性和特干硬性混凝土（坍落度为 $0$ ）。

#### （二）混凝土的和易性与坍落度

混凝土的和易性是指混凝土搅拌后，在施工过程中干稀均匀的合适程度。和易性良好的混凝土，在运输过程中不易发生离析现象，施工中便于浇捣密实、分布均匀，易于充满模板各个部分，牢固地粘着钢筋，不产生蜂窝、麻面等不良现象。

混凝土的坍落度是评价混凝土和易性及混凝土稀稠程度的指标。

坍落度的测定方法：用白铁皮做成一个截头圆锥形筒，上口直径 $10\text{cm}$ 、底口直径 $20\text{cm}$ 、高度 $30\text{cm}$ ，如图 1-1 所示。测定时将圆筒放在铁板上，将拌和好的混凝土分三次放入，每次放入筒高的三分之一，用直径 $15\text{mm}$ 、长 $500\text{mm}$ 铁棒捣固 $25$ 次。如此连续操作三次，使混凝土与筒口相平，然后把筒轻轻提起，这时混凝土就自行坍落下来。用尺测量坍落下来多少，就得出混凝土的坍落度。为保证测定准确，必须试验三次，取其平均值。

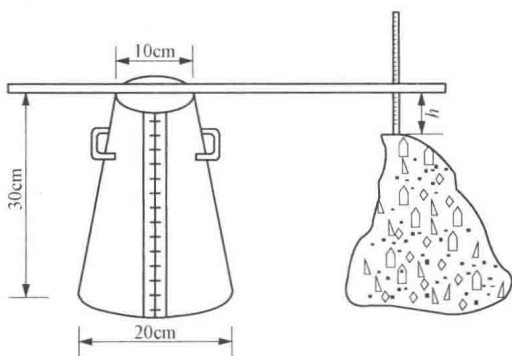


图 1-1 坍落度测定

#### （三）混凝土的抗压强度和混凝土标号

混凝土的标号就是混凝土的抗压强度。混凝土标号的确定方法，是将拌和好的混凝土料注入一个特制的边长为 $15\text{cm}$ 立方体、可拆卸的铁制模盒内，捣固严实，这就叫试块。试块在模内静放两昼夜后拆模。在标准条件下（温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ ），相对湿度不小于 $90\%$ ，养护 $28$ 天后，对试块作抗压试验，测得的抗压强度总体分布中的一个值，强度低于



该值的百分率不超过5%，得到立方体抗压强度标准值  $f_{cu,k}$ （以  $N/mm^2$  计）、混凝土强度等级用 C 值表示与  $f_{cu,k}$  值表示。如混凝土强度等级 C20，即指立方体抗压强度标准值 ( $f_{cu,k}$ ) 为  $20N/mm^2$ ，相当于原表示方法的 200 号混凝土。

混凝土的抗压强度主要决定于水泥标号与水灰比，而骨料的强度、砂石比率、混凝土硬化时温度、湿度以及施工条件都对混凝土抗压强度有所影响。

### 1. 水泥标号、水灰比对混凝土强度的影响

混凝土的强度是水泥与水起水化作用，使水泥浆凝固硬化而产生的。水泥标号高、水灰比小，混凝土的强度就高，反之，混凝土强度就低。

单位体积混凝土中水的质量与水泥质量的比例叫混凝土水灰比。为了保持适宜的和易性，求得施工方便，平时用水量总在水泥质量的 50%~70%，而在混凝土中用来与水泥起化作用的水，只需 10%~20%。其余的水分都要慢慢地蒸发出来。如果加水过多，水被蒸发后，混凝土的内部就要留下许多小孔，这些小孔过多时，混凝土强度降低。但水过少，混凝土不易成型，易生麻面、蜂窝，甚至造成空洞，同样会有损混凝土的强度。

### 2. 骨料对混凝土强度影响

骨料级配优良和骨料的质地坚硬能增加混凝土的密实性与强度，特别是在高标号混凝土中，骨料对强度影响更大。粗骨料表面粗糙有棱角时能增大骨料与水泥浆的粘结力，所以水灰比相同条件下，碎石混凝土比卵石混凝土的强度要高。

### 3. 养护条件对混凝土强度影响

混凝土硬化过程就是水泥和水化作用的过程，混凝土的硬化并产生强度是随时间的增加而逐渐提高的。正常养护条件下，前 7 天强度增长较快，一般可达 28 天强度的 60%~65%，28 天后强度增长很慢，故工程上一般以 28 天混凝土强度作为混凝土的强度依据。在养护过程中要保持温度和湿度，温度在 15~20℃ 最佳。如养护湿度不够，混凝土内水分蒸发，满足不了混凝土内水泥水化作用的需要，在混凝土内出现较多气孔，将影响混凝土强度。

特别要注意的是混凝土浇灌后不能受冻，受冻就停止了强度增长，受冻后再解冻硬化过程大为变坏，水结成冰使混凝土组织变得疏松，强度大为降低成为废品。

### 4. 捣固对混凝土强度的影响

混凝土浇灌到模内后，应能充填密实，成型后表面光滑，不产生蜂窝、麻面和狗洞等缺陷。混凝土只有密实才能保证混凝土强度，所以充分捣固是重要工序。一般使用机械震捣比人工震捣质量高，震捣时间和震力只要混凝土能达到密实即可，震捣时间过长或震力过大反而使塑性混凝土产生离析现象，致使强度降低。

## (四) 混凝土的收缩和膨胀

当混凝土长期在水中硬化时，会产生微量的膨胀。当混凝土在空气中硬化时，混凝土中的水分会逐渐蒸发，体积发生收缩。混凝土的这种湿胀、干缩变形现象是由于混凝土中水分的变化而引起的。

混凝土的收缩和膨胀，对结构物的危害较大，它可使混凝土表面出现较大的拉应力，从而引起表面开裂，给混凝土产生不利的影晌。

### (五) 耐久性

混凝土具有良好的耐磨、抗冻、抗风化、抗化学腐蚀等性能。在特殊条件下使用的混



凝土，可以采取加入相应有效的抗腐蚀材料，增强其抗腐蚀性，达到较长久使用的目的。

#### (六) 混凝土配合比的计算

混凝土的配合比是指混凝土的组成材料之间用量的比例关系（质量比），一般以水：水泥：砂：石表示，水泥的基数为1。

##### 1. 配合比计算的一般规定

(1) 最少用水量。混凝土在满足施工和易性的条件下，当水泥用量维持不变时，用水量越少，水灰比越小，则混凝土密实性越好，收缩量越小；当水灰比维持不变时，在保证混凝土强度的前提下，用水量越少，水泥用量越省，同时混凝土体积变化也越少。因此，应力求最少的用水量。

(2) 最大的石子粒径。石子最大粒径越大，则总表面积越小，表面上需要包裹的水泥浆就减少，混凝土密实性提高。但石子最大粒径要受到结构断面尺寸和钢筋最小间距等条件限制。

(3) 最多石子用量。混凝土是以石子为主体，砂子填充石子的空隙，水泥浆则使砂石胶成一体。石子用量越多、则需要用的水泥浆越少。但石子用量不可任意增多，否则不利于混凝土拌和物粘聚性和浇捣后的密实性。因此在原材料与混凝土和易性一定条件下，应选择一个最优石子用量。

(4) 最密骨料级配。使石子用量最多，砂石骨料混合物级配合适，密度最大，空隙率最小，且骨料级配应与混凝土和易性相适应。

##### 2. 普通混凝土配合比计算

(1) 计算步骤。配合比计算，目前都采用计算和试验相结合的方法，即先根据结构物的技术要求、材料情况及施工条件等，计算出理论配合比，再用施工所用的材料进行试配，并根据试压结果进行调整，最后定出施工用的配合比。混凝土配合比计算步骤如下：

1) 计算要求的配制强度。混凝土的配置强度，可根据与设计混凝土强度等级相应的混凝土立方体抗压强度标准值按下式计算

$$f_{cu,o} = f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (1-1)$$

式中  $f_{cu,o}$ ——混凝土的施工配置强度， $N/mm^2$ ；

$f_{cu,k}$ ——设计的混凝土立方体抗压强度标准值， $N/mm^2$ ；

$\sigma$ ——施工企业的混凝土强度标准差， $N/mm^2$ 。

架空电力线路施工企业不是专职混凝土施工企业，不具有近期同一品种混凝土强度25组以上资料，故 $\sigma$ 值的选取不能由计算求得，可按强度等级低于C20的 $\sigma=4$ ；C20~C35的 $\sigma=5$ ，高于C35的 $\sigma=6$ 选取。

2) 确定水灰比。根据混凝土试配强度 $f_{cu,o}$ 、水泥实际强度和粗骨料种类，利用经验公式计算水灰比值。

采用碎石时

$$f_{cu,o} = 0.46f_{ce} \left( \frac{c}{W} - 0.52 \right) \quad (1-2)$$

采用卵石时

$$f_{cu,o} = 0.48f_{ce} \left( \frac{c}{W} - 0.61 \right) \quad (1-3)$$



式中  $\frac{c}{W}$ ——混凝土所要求的水灰比；

$f_{ce}$ ——水泥的实际强度， $N/mm^2$ 。

在无法取得水泥强度实际值时可用下式代入

$$f_{ce} = \lambda_{ce} f_{cu,k} \quad (1-4)$$

式中  $f_{cu,k}$ ——水泥标号，换算成  $N/mm^2$ ；

$\lambda_{ce}$ ——水泥标号的富裕系数，一般可取 1.13。

出厂期超过 3 个月或存放条件不良而已有所变质的水泥，应重新鉴定其标号，并按实际强度进行计算。

计算所得的混凝土水灰比值应与规范所规定的范围进行核对，如果计算所得的水灰比大于表 1-1 所规定的最大水灰比时，应按表 1-1 取值。

表 1-1 混凝土最大水灰比和最小水泥用量

混凝土所属环境条件	最大水灰比	最小水泥用量 ( $kg/m^3$ )			
		普通混凝土		轻骨料混凝土	
		配筋	无筋	配筋	无筋
不受雨雪影响的混凝土	不做规定	250	200	250	225
(1) 受雨雪影响的混凝土 (2) 位于水中或水位升降范围内的混凝土 (3) 在超市环境中的混凝土	0.7	250	225	275	250
(1) 寒冷地区水位升高范围内的混凝土 (2) 受水压作用的混凝土	0.65	275	250	300	275
严寒地区水位上升范围内的混凝土	0.6	300	275	325	300

- 注 1. 表中的水灰比，对普通混凝土系指水与水泥（包括外掺混合材料）用量的比值；对轻骨料混凝土系指净用水量（不包括轻骨料 1h 吸水量）与水泥（不包括外掺混合材料）用量的比值。
2. 表中的最小水泥用量，对普通混凝土包括外掺混合材料，对轻骨料混凝土不包括外掺混合材料；当采用人工捣实混凝土时，水泥用量应增加  $25kg/m^3$ ；当掺用外加剂且能有效地改善混凝土的和易性时，水泥用量可减少  $25kg/m^3$ 。
3. 当混凝土强度等级低于 C10 时，可不受本表的限制。
4. 寒冷地区系指最冷月份平均气温在  $-5\sim 15^\circ C$ ；严寒地区系指最冷月份平均气温低于  $-15^\circ C$ 。
5. 防水混凝土应符合现行国家标准《地下防水工程施工及验收规范》的有关规定。

3) 确定水的用量。按骨料品种、规格及施工要求的坍落度值见表 1-2，选用每立方米混凝土的用水量见表 1-3。

表 1-2 混凝土浇筑时的坍落度

结构种类	坍落度 (mm)
基础或地面等的垫层、无配筋的大体积结构（挡土墙、基础等）或配筋稀疏的结构	10~30
板、梁和大型及中型截面的柱子等	30~50
配筋密列的结构（薄壁、斗仓、筒仓、细柱等）	50~70
配筋特密的结构	70~90

- 注 1. 本表系采用机械振捣混凝土时的坍落度，当采用人工捣实混凝土时其值可适当增大。
2. 当需要配制大坍落度混凝土时，应掺用外加剂。
3. 曲面或斜面结构混凝土的坍落度应根据实际需要另行选定。
4. 轻骨料混凝土的坍落度宜比表中数值减少 10~20cm。



表 1-3

混凝土用水量选用表

(kg/m<sup>3</sup>)

坍落度	卵石最大颗粒 (mm)			碎石最大颗粒 (mm)		
	10	20	40	15	20	40
10~30	190	170	160	205	185	170
30~50	200	180	170	215	195	180
50~70	210	190	180	225	205	190
70~90	215	195	185	235	215	200

- 注 1. 本表用水量系采用中砂时的平均取值, 如采用细砂, 每立方米混凝土用水量可增加 5~10kg, 采用粗砂可减少 5~10kg。
2. 掺用各种外加剂或混合料时, 可相应增减用水量。
3. 混凝土的坍落度小于 10cm 时, 用水量可按各地现有经验或经过试验取用。
4. 本表不适用于水灰比小于 0.4 或大于 0.8 的混凝土。

4) 计算水泥用量。根据已确定的水灰比及用水量 ( $m_w$ ), 可按式 (1-5) 计算水泥用量

$$m_{cc} = \frac{c}{W} m_w \quad (1-5)$$

由式 (1-5) 计算所得的水泥用量如小于规定的最小水泥用量时, 应按表 1-1 规定的最小水泥用量采用。混凝土最大水泥用量不宜大于 550kg/m<sup>3</sup>。

5) 确定砂率。砂率是砂子质量与砂石总重的百分值, 可根据对所用材料的使用经验选用合理的数值。如无使用经验, 可按骨料品种、规格及水灰比值在表 1-4 中的范围内选用。

表 1-4

混凝土砂粒选用表

水灰比 (%)	卵石最大颗粒 (mm)			碎石最大颗粒 (mm)		
	10	20	40	15	20	40
0.4	26~32	25~31	24~30	30~35	29~34	27~32
0.5	30~35	29~34	28~33	33~38	32~37	30~35
0.6	33~38	32~37	31~36	36~41	35~40	33~38
0.7	36~41	35~40	34~39	39~44	38~43	36~41

- 注 1. 表中数值系中砂的选用砂率, 对粗砂或细砂, 可相应地增加或减少砂率。
2. 本表适用于坍落度为 10~60mm 的混凝土, 坍落度如大于 60mm 或小于 10mm 时, 应相应地增加或减少砂率。
3. 只用一个单粒级粗骨料配制混凝土时, 砂率值应适当增加。
4. 掺有各种外加剂或掺合料时, 其合理砂率值应经试验或参照其他有关规定选用。
5. 配制大流动性泵送混凝土时, 砂率宜提高至 40%~50%。

6) 计算砂石用量。在已知砂率情况下, 对粗、细骨料的用量可用体积法或质量法求。

a) 体积法。是假定混凝土拌和物的体积等于各组成材料的绝对密实体积的总和, 而各种材料的密实体积为其质量 (kg) 除以它的密度。因此, 可使用以下两个关系式

$$\frac{m_{cc}}{\rho_{cc}} + \frac{m_a}{\rho_a} + \frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_w}{\rho_w} + 10a = 1000 \quad (1-6)$$





$$\frac{m_s}{m_s + m_a} \times 100\% = \beta_s\% \quad (1-7)$$

式中  $m_{cc}$ ——每立方米混凝土水泥用量, kg;  
 $m_a$ ——每立方米混凝土粗骨料用量, kg;  
 $m_s$ ——每立方米混凝土细骨料用量, kg;  
 $m_w$ ——每立方米混凝土用水量, kg;  
 $\rho_{cc}$ ——水泥密度, g/cm<sup>3</sup>;  
 $\rho_a$ ——粗骨料表观密度, g/cm<sup>3</sup>;  
 $\rho_s$ ——细骨料表观密度, g/cm<sup>3</sup>;  
 $\rho_w$ ——水的密度, g/cm<sup>3</sup>;  
 $a$ ——混凝土含气量百分数, %、在不使用引气塑外加剂时  $a=1$ ;  
 $\beta_s$ ——砂率, %。

b) 质量法。这种方法是先假定一个混凝土拌和物密度值, 再根据各材料之间的质量关系, 计算各材料的用量。从而节省了体积法中把质量变成绝对体积和绝对体积变成质量的大量计算, 从而使配合比的计算更加简便。

混凝土密度, 无积累资料可按混凝土强度小于等于 C10 时计算密度为 2360kg/m<sup>3</sup>、C15~C30 时为 2400kg/m<sup>3</sup>、大于 C30 时为 2450kg/m<sup>3</sup> 来选用。

用质量法计算时, 则可使用以下两个关系式

$$m_{cc} + m_a + m_s + m_w = m_{cp} \quad (1-8)$$

$$\frac{m_s}{m_s + m_a} \times 100\% = \beta_s\%$$

式中  $m_{cp}$ ——每立方米混凝土拌和物假定质量, kg。

上述关系式中,  $\rho_{cc}$  可取 2.9~3.1kg/cm<sup>3</sup>、 $\rho_w = 1\text{kg/cm}^3$ ;  $\rho_s$  及  $\rho_a$  应按《普通混凝土用砂(或碎石及卵石)质呈标准及检验方法》所规定的方法测得。

(2) 混凝土拌和物的试配与调整。混凝土的理论配合比初步计算出来以后, 还需进行试配调整, 即用施工时所用的原材料拌和少量混凝土进行试验, 以证明其和易性、坍落度、密度和强度是否符合要求。经过调整适当增减水与水泥用量、砂率和水灰比, 以确定施工配合比。

1) 坍落度的调整。经试拌后, 如坍落度小于要求时, 可保持水灰比、适当增加水泥浆用量。一般增加 10mm 坍落度, 约需增加水泥浆量 1%~2%; 如坍落度大要求时, 若拌和物黏聚性不足, 应适当增加砂子用量, 若拌和物砂浆过多, 应适当减少砂子与水的用量。

配合比经调整后, 应按调整后的配合比重新进行试拌, 并作坍落度试验, 如符合要求, 则可作为提供检验混凝土强度用的基准配合比。

2) 试配混凝土的强度检验及水灰比调整, 检验混凝土强度时至少应采用三个不同的配合比, 其中一个为基准配合比, 另外两个配合比的水灰比值, 应较基准配合比分别增加及减少 0.05, 其中用水量应该与基准配合比相同, 但砂率值可作适当调整。

为检验混凝土强度, 每种配合比应至少制作一组(三块)试块, 标准养护 28 天试压。有条件的企业亦可同时制作多组试块, 供快速检验或较早龄期时试压, 以便提前提出混凝土配合比供施工用。但以后仍以标准养护 28 天的检验结果为准来调整配合比。