

THE CALCULATION AND CONSTRUCTION METHODS OF CONCRETE PILLAR

混凝土电杆计算与构造

徐国林 查晓雄 主编



中国建筑工业出版社

混凝土电杆计算与构造

徐国林 查晓雄 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土电杆计算与构造/徐国林, 查晓雄主编. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2018. 8
ISBN 978-7-112-22265-0

I. ①混… II. ①徐… ②查… III. ①混凝土-电杆-机械计
算 ②混凝土-电杆-建筑构造 IV. ①TM75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 110043 号

本书混凝土电杆的计算主要是根据《混凝土结构设计规范》的基本原理, 并结合混凝土电杆的特点对计算方法进行了简化和改进。对规范中未列出的部分, 如预应力混凝土构件的偏心受拉正截面强度计算和钢筋混凝土构件的刚度和裂缝计算等, 则参考了有关的试验研究资料进行了补充。混凝土电杆和其他结构一样, 统一按照国家标准《建筑结构设计统一标准》采用以概率理论为基础的极限状态计法, 以可靠指标度量结构构件的可靠度, 结构设计时采用荷载分项系数、材料分项系数 (为简便计, 直接以材料设计强度表达) 和结构重要性系数进行设计。

责任编辑: 辛海丽

责任校对: 姜小莲

混凝土电杆计算与构造

徐国林 查晓雄 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12 $\frac{3}{4}$ 字数: 304 千字

2018 年 8 月第一版 2018 年 8 月第一次印刷

定价: 46.00 元

ISBN 978-7-112-22265-0

(32148)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

在我国的电力工程建设的塔架结构以及其他领域的塔架结构中，由于混凝土电杆具有良好的性价比，运行维护简单，且便于大规模工厂化生产而得到了广泛的应用。但在原有的有关设计计算规定（规程）中满足不了设计计算的要求。

为了完善有关设计计算的要求，由徐国林高工和查晓雄教授为主，在浙江荣电电力器材有限公司和徐州三元杆塔厂的大力合作下，对各种不同类型的混凝土电杆，其中包括钢筋混凝土电杆，预应力和半预应力混凝土电杆，进行了大量的试验研究，提出了相应的理论计算公式以及构造要求，其成果已列入了有关的设计和技术规程。其中主要有：

一、对环形截面在各种受力状态下承载能力的极限状态计算，通过大量试件的试验验证，提出了各种类型混凝土电杆正截面极限承载能力的统一计算方法，增补了有关轴心受拉和偏心受拉构件的正截面极限承载能力的计算。

二、对环形截面混凝土电杆在正常使用极限状态下，其环向和纵向裂缝开展的机理，在大量的试验和实际工程的调查中，发现和普通混凝土结构件中出现的机理是完全不同的，在试验研究的基础上，提出了混凝土电杆环向裂缝控制的验算和防止纵向裂缝开展的措施。

三、对轴心受压构件和偏心受压构件弯矩沿杆长分布的影响，构件预加应力对构件稳定的影响，通过大量的试验研究，提出了相应的理论计算方法，给出了不同的 φ_L （考虑构件长细比影响的折减系数）和 φ_e （考虑偏心矩影响的折减系数）的计算方法。

四、对变电构架中所特有的 A 字组合柱进行了整体试验，对内力分析和构造要求，作出了有关规定。

本书可帮助设计人员更好地理解 and 正确应用有关的技术设计规程和规范。

目 录

第一章 总论	1
第二章 材料	2
2.1 概述	2
2.2 混凝土	2
2.3 钢筋	7
第三章 钢筋混凝土电杆正截面极限承载力的计算	11
3.1 概述	11
3.2 基本计算公式	11
3.3 受弯构件和偏心受压构件段柱极限承载力的计算	18
3.4 偏心受拉构件极限承载力的计算	25
3.5 结论	32
第四章 预应力混凝土电杆正截面极限承载力的计算	33
4.1 概述	33
4.2 预应力值的计算	33
4.3 基本计算公式	36
4.4 受弯构件极限承载力的计算	37
4.5 偏心受压构件极限承载力的计算	39
4.6 偏心受拉构件极限承载力的计算	41
4.7 结论	47
第五章 混凝土电杆正截面极限承载力的统一计算方法	48
5.1 概述	48
5.2 受弯和偏心受压构件短柱正截面极限承载力的统一计算方法	49
5.3 偏心受拉构件正截面极限承载力的统一计算方法	56
第六章 受压柱的稳定计算	60
6.1 概述	60
6.2 轴心受压柱的稳定计算	61
6.3 偏心受压柱的稳定计算	62
6.4 弯矩沿杆长变化对偏心受压杆件承载力的影响	73
第七章 斜截面承载力的计算	81
7.1 钢筋混凝土构件斜截面承载力的计算	81
7.2 预应力混凝土构件斜截面承载力的计算	83
第八章 正截面抗裂度和裂缝宽度的计算	88
8.1 概述	88

8.2	钢筋混凝土构件的正截面抗裂度和最大裂缝宽度的计算	90
8.3	预应力混凝土构件的抗裂度计算	100
8.4	抗裂度的实用算法	103
第九章	混凝土电杆的变形计算	118
9.1	概述	118
9.2	钢筋混凝土构件在标准荷载作用下的刚度计算	118
9.3	预应力混凝土构件的刚度计算	133
9.4	变形计算	133
第十章	构造要求	142
10.1	混凝土的强度及保护层厚度	142
10.2	钢筋的构造要求	142
10.3	接头连接及其他构造要求	143
第十一章	接头连接及节点的构造与计算	145
11.1	组装杆的连接	145
11.2	焊接连接	145
11.3	法兰盘螺栓连接	146
11.4	节点连接构造及设计	153
第十二章	工程应用计算实例	157
12.1	变电构架人字柱的计算	157
12.2	110kV 单柱式架空输电线路直线杆的计算	168
附录 A	变电站建筑结构设计技术规范 DL/T 5457—2012	177
附录 B	等效计算长度系数 k 的确定	187
附录 C	变截面独立柱变形的计算	189
附录 D	变电构架组合柱的内力计算公式	192
参考文献		195

第一章 总 论

自 20 世纪 60 年代以来,在我国已广泛采用离心混凝土电杆作为输电线路杆塔和变电所屋外配电装置构架、设备支架的支承结构。大量工程实践证明:这种结构不但具有工厂化生产,生产效率高,质量好,施工速度快,结构安全可靠等优点外,而且可以节省钢材和水泥,同时由于用离心法成型,混凝土的密实度好,可以大大提高结构的抗腐蚀力。由混凝土电杆柱和钢横梁组成的中型、半高型和高型屋外变电构架和输电线路杆塔显得轻巧、美观,深受施工、安装和运行单位的欢迎。

混凝土电杆的计算主要是根据《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89 的基本原理,并结合混凝土电杆的特点对计算方法进行了简化和改进。对规范中未列出的部分,如预应力混凝土构件的偏心受拉正截面强度计算和钢筋混凝土构件的刚度和裂缝计算等,则参考了有关的试验研究资料进行了补充。

混凝土电杆和其他结构一样,统一按照国家标准《建筑结构设计统一标准》采用以概率理论为基础的极限状态计法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,结构设计时采用荷载分项系数、材料分项系数(为了简便,直接以材料设计强度表达)和结构重要性系数进行设计。

结构构件设计应根据承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求,分别进行下列计算和验算:

1. 强度和稳定(压屈失稳)的计算;
2. 变形计算,根据不同的结构及构件所要求的允许变形限值进行变形验算;
3. 抗裂度和裂缝宽度的验算,对预应力混凝土电杆应进行抗裂度验算;对钢筋混凝土电杆应根据裂缝宽度的允许限值,进行最大裂缝宽度的验算。

结构构件的强度(包括压屈失稳)计算,均应用荷载设计值,即荷载标准值乘以相应的荷载分项系数。变形、抗裂度和裂缝宽度的验算均采用荷载标准值。

第二章 材 料

2.1 概 述

钢筋混凝土结构材料的设计指标，根据《建筑结构设计统一标准》的规定，钢筋及混凝土的材料分项系数及设计强度主要应通过对可靠指标的分析及工程经验校准确定。对具有足够统计资料的材料可通过可靠指标的分析方法确定，对统计资料不足的则可以工程经验校准法确定。

工程经验校准法是指以原规范（TJ 10—74）构件材料用量为基准，将单一安全系数 K 中的材料设计强度转化为新规范（GBJ 10—89）分项系数中的设计强度。其设计强度的前提主要有以下几点：

1. 材料标准强度

根据《统一标准》的规定，钢筋和混凝土的标准强度均应具有不小于 95% 保证率。

2. 材料设计强度

钢筋和混凝土的设计强度系数按材料标准强度除以相应的材料分项系数确定。

3. 钢筋强度

原规范规定的钢筋标准强度一般均具有 95% 以上的保证率，仅将原规范的设计强度转换为新规范的设计强度。

4. 混凝土强度新规范较原规范有两点重大修改：

（1）试块的尺寸由 200mm 的立方体改为 150mm 的立方体。

（2）混凝土标准强度的保证率由 85% 改为 95%。

5. 荷载分项系数

根据《统一标准》规定，永久荷载的分项系数 $\gamma_G = 1.2$ ，可变荷载的分项系数 $\gamma_Q = 1.4$ ，对钢筋混凝土构件采用荷载效应比值 $\rho = L/G = 0.5$ （ L 为活荷载， G 为永久荷载）作为两规范之间的“设计校正点”，即在该点上两规范计算结果构件材料的用量基本相同。

采用校准法确定构件材料设计强度的步骤为：

（1）以轴拉构件（延性破坏）为准，确定钢筋的设计强度。

（2）根据已确定的钢筋设计强度，以轴拉构件（脆性破坏）为准，确定混凝土的设计强度。

2.2 混 凝 土

2.2.1 混凝土的强度等级

在我国反映混凝土强度等级的指标，习惯上用标号，现在称为强度等级，它是混凝土各种力学指标的基本代表值。在原规范（TJ 10—74）中规定，混凝土标号为边长 200mm

立方体试块的抗压强度，其强度取值为该强度概率分布的平均值减去 1 倍标准差（保证率为 85%），即

$$f_{cu,k} = \mu - \sigma \tag{2.2.1-1}$$

式中 $f_{cu,k}$ ——混凝土立方标准强度；
 μ, σ ——混凝土强度概率分布的平均值和均方差（标准差）。

这次新规范对混凝土试件的标准尺寸和强度等级的确定作了以下两点重大修改：

- (1) 混凝土试件标准尺寸，由边长 200mm 立方体改为边长 150mm 的立方体；
- (2) 混凝土强度等级的确定原则由强度分布的平均值减 1 倍标准差改为平均值减 1.645 倍标准差（保证率为 95%），即

$$f_{cu,k} = \mu - 1.645\sigma = \mu(1 - 1.645 C_v) \tag{2.2.1-2}$$

式中 C_v ——混凝土立方强度的变异系数， $C_v = \sigma/\mu$ 。

经过修改后的混凝土强度等级的定义为：按照标准方法制作养护的边长为 150mm 的立方体试件，在 28d 龄期，用标准试验方法所得的具有 95% 保证率的抗压强度。新规范的混凝土强度等级分为：C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50 和 C60 十个等级。

由于试件标准尺寸改小，混凝土实测的立方体强度将提高，而强度等级的确定原则由 $\mu - \sigma$ 改为 $\mu - 1.645\sigma$ ，强度又将降低。但综合结果，对于 C30~C50 的混凝土，新老规范的强度关系为

$$f_{15k} \approx f_{20k} - 2(N/mm^2) \tag{2.2.1-3}$$

式中 f_{15k} ——边长为 150mm 立方体混凝土强度的标准值；
 f_{20k} ——边长为 200mm 立方体混凝土强度的标准值。

2.2.2 混凝土的标准强度

1. 轴心抗压强度标准

根据国内 120 组截面尺寸为 150mm×150mm，高宽比 3~4 的棱柱体强度与边长为 200mm 立方体强度的对比试验结果，两者平均值的关系式为

$$\mu_{fprt} = 0.8\mu_{f20} \tag{2.2.2-1}$$

式中 μ_{fprt} ——混凝土棱柱体强度的平均值；
 μ_{f20} ——边长为 200mm 立方体强度的平均值。

由于标准试件边长改用 150mm 立方体，考虑尺寸效应影响，试件强度乘以 0.95 的换算系数，并考虑到结构的实际受力情况与试件的差异，试件强度应乘以修正系数 0.88，则结构中混凝土轴压强度平均值为：

$$\mu_{fc} = 0.95 \times 0.88 \times 0.8 \mu_{f15} = 0.67 \mu_{f15}$$

根据标准强度的定义，轴心抗压标准强度为

$$\begin{aligned} f_{ck} &= \mu_{fc}(1 - 1.645 C_{vc}) \\ &= 0.67 \mu_{f15}(1 - 1.645 C_{vc}) \end{aligned}$$

式中 μ_{fc} ——混凝土轴心抗压强度平均值；
 μ_{f15} ——边长为 150mm 立方体强度的平均值；
 f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值；
 C_{vc} ——混凝土轴心抗压强度变异系数。

假定 $C_{vc} = C_v$, 则

$$f_{ck} = 0.67 \frac{f_{15k}}{(1 - 1.645 C_v)} (1 - 1.645 C_{vc}) = 0.67 f_{15k} \quad (2.2.2-2)$$

对于 C45、C50 及 C60 的混凝土, 考虑到脆性破坏特征显著和实践经验不足, 其抗压强度按式 (2.2.2-2) 换算后, 再分别乘以折减系数 0.975、0.95 和 0.90。

2. 轴心抗拉标准强度

混凝土轴心抗拉强度 f_t 远远低于立方抗压强度, 一般前者约为后者的 $1/9 \sim 1/18$ 。根据我国所进行的 72 组轴心抗拉强度与边长为 200mm 立方体强度对比试验的结果, 两者平均值的关系式为

$$\mu_{ft} = 0.58 (\mu_{f20})^{2/3} (\text{kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2)$$

由于标准试件改用边长为 150mm 立方体, 则关系式变为

$$\begin{aligned} \mu &= 0.58 \times 0.95^{2/3} (\mu_{f15})^{2/3} \\ &= 0.56 (\mu_{f15})^{2/3} (\text{kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2) \end{aligned}$$

与轴压强度相同, 取试件强度修正系数为 0.88, 同时将计量单位由 kg/cm^2 改为 N/mm^2 , 则结构中混凝土轴心抗拉强度平均值为

$$\begin{aligned} \mu_{ft} &= 0.88 \times 0.56 (\mu_{f15})^{2/3} \times (0.1)^{2/3} \\ &= 0.23 (\mu_{f15})^{2/3} \end{aligned}$$

根据标准强度定义, 则轴心抗拉标准强度为

$$f_{tk} = \mu_{ft} (1 - 1.645 C_{vt})$$

式中 μ_{ft} ——混凝土轴心抗拉强度平均值;

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值;

C_{vt} ——混凝土轴心抗拉强度变异系数。

假定 $C_{vt} = C_v$, 则

$$\begin{aligned} f_{tk} &= 0.23 \frac{(f_{15k})^{2/3}}{(1 - 1.645 C_v)^{2/3}} (1 - 1.645 C_{vt}) \\ &= 0.23 (f_{15k})^{2/3} (1 - 1.645 C_v)^{1/3} \end{aligned} \quad (2.2.2-3)$$

对于 C45、C50 及 C60 的混凝土, 与轴压强度相同按上式计算后, 再分别乘以折减系数 0.975、0.95 及 0.9。

3. 弯曲抗压标准强度

弯曲抗压强度大于轴心抗压强度, 这主要是因为混凝土棱柱体轴心受压时, 截面是均匀受压的, 棱柱体外边缘一旦达到极限强度, 试件很快就破坏, 而当钢筋混凝土构件受弯曲时, 截面是非均匀受力的, 靠近受压边缘的压应力大, 靠近中和轴附近的混凝土压应力小, 当外边缘混凝土到达轴压强度时, 由于内部压应力较小起到了一定的约束作用 (应力梯度效应), 这时构件还不至于立即破坏, 需要比轴压强度高的应力, 才能使混凝土压碎。

原规范规定弯曲抗压标准强度 $f_{cmk} = 1.25 f_{ck}$, 根据近年来的试验成果 (规范组偏压构件专题组), 并经过对偏压构件、受弯构件及其他构件的强度综合分析, 决定采用下列关系式

$$f_{cmk} = 1.1 f_{ck} \quad (2.2.2-4)$$

混凝土的标准强度及新老规范混凝土标号换算关系见表 2.2.2。

混凝土强度标准值 (N/mm²)

表 2.2.2

项次	强度种类	符号	混凝土强度等级									
			C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60
			120	170	220	270	320	370	420	470	520	620
1	轴心抗压	f_{ck}	6.7	10.0	13.5	17.0	20.0	23.5	27.0	29.5	32.0	36.0
2	弯曲抗压	f_{cmk}	7.5	11.0	15.0	18.5	22.0	26.0	29.5	32.5	35.0	39.5
3	抗拉	f_{tk}	0.9	1.2	1.5	1.75	2.0	2.25	2.45	2.6	2.75	2.95

2.2.3 混凝土的设计强度

新规范中，混凝土及钢筋的设计强度定义为标准强度除以相应的材料分项系数。材料设计强度取值（隐含材料分项系数）主要是根据可靠性分析及工程经验校准法确定的。

1. 轴心抗压设计强度

C15、C20、C30 及 C40 四种级别的混凝土均具有足够的统计资料，因此其抗压设计强度主要依靠指标分析法确定。

C10 及 C50 以上的混凝土，由于统计资料不足，其抗压设计强度则依据工程经验校准法来确定。

在可靠指标分析中重点是常用的 C20 及 C30 混凝土，经计算得出其材料分项系数 $\gamma_c = 1.4$ 。

按工程经验校准法确定 γ_c 及设计强度，主要是根据原规范与新规范轴压构件承载力相等的原则，并假定轴压构件中混凝土部分的承载力占 80%，钢筋部分占 20%，以此确定混凝土的抗压设计强度及材料分项系数。其具体计算方法如下：

原规范

$$KN_1 = A_s R_R + A'_g R'_g$$

新规范

$$\gamma N_2 = A \left(\frac{f_{ck}}{\gamma_c} \right) + A'_s \left(\frac{f'_{yk}}{\gamma_s} \right)$$

令 $N_1 = N_2$ ，则

$$f_c = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\gamma}{K} (R_s + \rho R'_g) - \rho \frac{f'_{yk}}{\gamma_s} \tag{2.2.3-1}$$

式中 R_s 、 R'_g ——原规范的混凝土及钢筋的抗压设计强度；
 K ——原规范的强度安全系数，取 1.55；
 f_{ck} 、 f'_{yk} ——新规范的混凝土及钢筋的抗压标准强度；
 f_c 、 f'_y ——新规范的混凝土及钢筋的抗压设计强度；
 γ_c 、 γ_s ——新规范的混凝土及钢筋的材料分项系数， γ_s 取 1.1；
 γ ——新规范的平均荷载系数，取 1.27；
 ρ ——配筋率， A'_s/A 或 A'_g/A 。

【例 2.2.3-1】求新规范中混凝土 C10 的抗压强度，已知 $R_s = 5.5\text{N/mm}^2$ ， $R_g = 340\text{N/mm}^2$ ， $f'_{yk} = 340\text{N/mm}^2$ 。

【解】假定轴压构件混凝土和钢筋承载能力之比为 8：2，则

$$\frac{A'_g R'_g}{A R_R} = \rho \frac{R'_g}{R_R} = \frac{2}{8} = 0.25$$

因此

$$\rho = 0.25 R_s / R'_g = 0.25 \times 5.5 / 340 = 0.004$$

f_c = 1.27 \times (5.5 + 0.004 \times 340) / 1.55 - 0.004 \times (340 / 1.1) = 4.38 \text{N/mm}^2

考虑到混凝土经过修改后的质量有所提高，其设计强度较修改前提高 0.5N/mm²，因此取 f_c = 4.8N/mm²。

2. 轴心抗拉设计强度

轴心抗拉设计强度的取值也是根据上述两种方法确定的。

但此时的工程试验校准法应根据新、老规范所采用的混凝土容许拉应力相等的原则进行换算。

原规范 \sigma_1 = R_L / K

新规范 \sigma_2 = f_t / \gamma

令 \sigma_1 = \sigma_2，则

f_t = \gamma R_L / K (2.2.3-2)

式中 R_L ——原规范的混凝土抗拉强度。

【例 2.2.3-2】求新规范混凝土 C10 的抗拉设计强度，已知 R_L = 0.8N/mm²。

【解】f_t = 1.27 \times 0.8 / 1.55 = 0.65 \text{N/mm}^2

考虑混凝土经修改后对强度增大影响不明显，仍取用 0.65N/mm²。

由于抗拉强度的直接统计资料较少，假定抗拉强度的概率分布与抗压强度相同，\gamma_c 取 1.4。

3. 弯曲抗压设计强度

弯曲抗压设计强度取 1.1f_c，材料分项系数与轴压设计强度相同，取 \gamma_c = 1.4。

2.2.4 混凝土的弹性模量

混凝土受压弹性模量原规范的经验公式为

E_c = \frac{10^5}{2.2 + 3.3/R} (\text{kg/cm}^2)

经修改后，R = 0.95f_{15} (R = f_{20})，计量单位由 kg/cm² 改为 N/mm²，则修改后混凝土受压弹性模量为

E_c = \frac{10^2}{2.2 + 34.7/f_{15}} (\text{kg/cm}^2) (2.2.4-1)

由于离心混凝土实测的弹性模量要比普通混凝土高，根据试验实测结果，建议取

E_c = \frac{1.2 \times 10^2}{2.2 + 34.7/f_{15}} (\text{kN/mm}^2) (2.2.4-2)

混凝土强度设计值和弹性模量见表 2.2.4。

混凝土强度标准值 (N/mm²) 表 2.2.4

项次	种类	符号	混凝土强度等级									
			C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60
1	轴心抗压	f_c	5	7.5	10	12.5	15	17.5	19.5	21.5	23.5	26.5
2	弯曲抗压	f_{cm}	5.5	8.5	11	13.5	16.5	19	21.5	23.5	26	29
3	抗拉	f_{tk}	0.65	0.9	1.1	1.3	1.5	1.65	1.8	1.9	2	2.2
4	弹性模量	E_c	17.5	22.0	25.5	28.0	30.0	31.5	32.5	33.5	34.5	36.0

注：离心混凝土的弹性模量应乘以系数 1.2。

2.2.5 离心混凝土的强度等级

离心混凝土的强度等级及其力学计算指标的确定，由于离心法与振动法具有完全不同的工艺特性，用离心法制作的构件其混凝土强度要比振动法高，用振动试件的混凝土强度不能正确反映钢筋混凝土离心构件的混凝土强度及其相应的力学指标。应当采用相同条件（混凝土的材料、配合比、离心及养护制度）下制作的离心试件来确定离心混凝土的强度等级及其相应的力学指标，虽然有关科研、设计和生产单位都曾采用不同形式的离心试件进行了大量的试验研究，积累了大量的试验数据，并提出了不少有益的建议，但由于缺乏统一的规划，没有统一规定的试验方法和标准，各种不同形式的试件所测得的数据相差很大。因此，直到现在对离心混凝土强度检验的方法还没有统一的标准和规定，仍然只能根据《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89 的规定取值。

对离心混凝土弹性模量 E_c 的取值是根据国内的研究单位和设计单位大量的圆筒形离心试件试验的结果，其实测值比《规范》规定值要高 1.2~1.4 倍，因此建议按《规范》规定的弹性模量值乘以 1.2 的提高系数取值。

2.3 钢 筋

2.3.1 钢筋的种类

根据我国目前钢材生产情况和使用情况，在新规范中对原规范的钢筋品种作了一些调整和修改。

1. 列入新规范的钢筋有下列三种：

(1) 热轧钢筋。热轧钢筋是钢材在高温状态下轧制而成。根据其力学指标的高低，分为四个级别：Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级。

在原规范中的 5 号钢筋，因产量很少，新规范中不列入。热轧钢筋已由 16 锰改为 20 锰硅，热轧钢筋外形大部分已由螺纹改为月牙纹。

(2) 冷拉钢筋。冷拉钢筋由热轧钢筋在常温下由机械拉伸而成，冷拉钢筋也分为四个级别：冷拉Ⅰ级、冷拉Ⅱ级、冷拉Ⅲ级、冷拉Ⅳ级。

(3) 热处理钢筋。热处理钢筋是将Ⅳ级钢筋再通过加热、淬火和回火等调质处理的钢筋。在原规范中称这种钢筋为“V级钢筋”。

2. 钢丝有下列四种：

(1) 碳素钢丝。指国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB 5223—85 中的矫直回火钢丝。

(2) 刻痕钢丝。在光面钢丝表面上进行机械刻痕处理，以增加与混凝土的粘结能力。

(3) 钢绞线。是由一根中心钢丝成螺旋形绕在一起的工程直径相同的六根钢丝构成。

(4) 冷拔低碳钢丝。大部分由制杆厂自行拔制，所有原材料为低碳热轧盘条。根据其力学指标的高低，分为甲级和乙级两种。

混凝土电杆的非预应力钢筋宜采用Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级钢筋和乙级冷拔低碳钢丝；预应力钢筋宜采用碳素钢丝，热处理钢筋以及冷拉Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋。

2.3.2 钢筋标准强度取值

钢筋强度的取值必须具有 95% 的保证率。

(1) 对有明显物理流限的热轧钢筋，其标准强度取国标规定的屈服点（钢厂出厂检验的废品限值），其保证率均在 95% 以上。

(2) 对无明显物理流限的碳素钢丝、热处理钢筋和冷拔低碳钢丝，其标准强度则取极限抗拉强度。但应指出在构件设计时，实质上是取 $0.8\sigma_b$ (σ_b 为国标规定的抗拉强度) 作为设计上取用的条件屈服点，并以此确定构件受压区的界限高度。

(3) 冷拔钢筋的标准强度 原规范规定不论冷拉方法是双控（相当于应力控制）还是单控（相当于伸长率控制），其标准强度均取一个值。显然，这两者的实际强度保证率是不一致的。

新规范规定：冷拉 II、III、IV 级钢的标准强度，当采用应力方法冷拉时，其标准强度分别为 450 (430)、500、700N/mm²；而当采用伸长率方法冷拉钢筋时，其冷拉应力比上述标准强度提高 30N/mm²（此应力幅度相当于 1.645 σ ），并按此应力确定相应的冷拉率。

2.3.3 钢筋设计强度取值

钢筋设计强度定义为标准强度除以材料分项系数。

对于热轧 I、II、III 级钢筋，因具有强度统计资料，其设计强度由可靠指标分析方法确定。对于其他钢筋，由于统计资料不足，其设计强度主要根据工程经验校准方法确定。

对热轧 I、II、III 级钢筋按可靠指标 β 分析计算结果列于表 2.3.3。

可靠指标 β 分析计算结果 表 2.3.3

钢筋类型	按 β 分析确定			按工程经验确定	
	γ_s	f_y (N/mm ²)	β	γ_s	f_y (N/mm ²)
热轧 I 级	1.2	200	3.13	1.1052	217.1
热轧 II 级	1.1	310	3.45	1.1052	307.6
热轧 III 级	1.1	340	3.25	1.1052	343.8

按工程经验确定 γ_s 及 f_y 时，是以原规范与新规范轴拉构件承载力相等的原则进行计算。

原规范 $KN_1 = A_s f_{y1}$ ， $K = 1.4$ 和 1.5

新规范 $\gamma N_2 = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} A_s$ ， $\gamma = 1.2667$

式中 f_{yk} 、 f_{y1} ——新规范和原规范的钢筋标准强度。

已知： K 、 γ 、 f_{yk} 、 f_{y1} ，并令 $N_1 = N_2$ ，得

$$\gamma_s = \frac{K f_{yk}}{\gamma f_{y1}} \tag{2.3.3-1}$$

新规范设计强度

$$f_y = f_{yk} / \gamma_s \tag{2.3.3-2}$$

【例 2.3.3】求热轧 II 级钢筋的设计强度。

已知： $f_{yk} = f_{y1} = 340\text{N/mm}^2$ ， $K = 1.4$ ， $\gamma = 1.2667$

【解】 $\gamma_s = 1.4 / 1.2667 = 1.1052$

$$f_y = 340 / 1.1052 = 307.6\text{N/mm}^2$$

对于其他钢筋均按上述方法进行换算而求得。各类钢筋的材料分项系数 γ_s 采用如下：

续表

项次	钢筋种类		符号	受拉钢筋设计 (标准) 强度	受压钢筋设计强度
3	冷拔低碳钢丝	甲级: $\Phi 4$ $\Phi 5$	Φ^b	I 组 II 组 $\begin{cases} 460 (700) \\ 430 (650) \end{cases}$ $\begin{cases} 430 (650) \\ 400 (600) \end{cases}$	400
		乙级: $\Phi 3 \sim \Phi 5$ 用于焊接骨架和焊接网 用于绑扎首梁和绑扎网		320 (550) 250 (550)	320 250

注：括弧中的数值为钢丝的标准强度。

钢筋弹性模量 (kN/mm²) 表 2.3.4-3

项次	钢 筋 种 类	弹性模量
1	I 级 钢筋、冷拉 I 级 钢筋	210
2	II、III、IV 级钢筋、热处理钢筋 碳素钢丝，冷拔低碳钢丝	200
3	冷拉 II、III、IV 级钢筋、刻痕钢丝	180

第三章 钢筋混凝土电杆正截面极限承载力的计算

3.1 概 述

我国原规范 (TJ 10—74) 的正截面强度计算采用了相互制约的三个基本假定 (1) $R_w = 1.25R_u$; (2) $S_h/S_o < 0.3$ 作为判别截面破坏的界限条件; (3) 对于小偏心受压情况, 假定受压区混凝土的合力对受拉钢筋的力矩为常量, 即 $M_h = R_u S_o$, 称为“抵抗力矩守恒”。

这些假定基本上是根据苏联 20 世纪 30 年代的低标号混凝土和低强度钢筋的试验资料而提出的经验关系; 有相当的局限性, 不能确切地反映钢筋混凝土构件的实际工作状态, 尤其是判别条件 $S_h/S_o = 0.8$, 缺乏明确的物理概念, 不能反映影响界限的主要因素。大量的试验表明: 界限条件主要与钢材的品种和预应力值的大小有关, 这些因素不可能简单地用 S_h/S_o 的面积比来表示。“力矩守恒”的假定与试验结果也有较大的出入。大量的偏心受压构件的试验资料表明, 由于原计算公式 R_w 取值偏高, 在 $0.4 < \xi < 0.7$ (ξ ——截面相对高度) 的界限附近区段公式的计算值高于试验值, 偏于不安全; 而由于假定的力矩守恒, 在 $\xi < 0.7$ 的区段计算值又低于试验值, 而且大小偏心的计算公式是不连续的。

特别是对于沿截面周边均匀配筋的环形截面构件, 仅基于截面的极限平衡条件, 没有列出变形条件, 不能给出合理的计算方法。

针对上述存在的问题, 在试验研究的基础上提出了以平截面为基础的正截面极限承载力计算方法。

3.2 基本计算公式

3.2.1 计算的基本假定

1. 截面的平均应变符合平截面假定

国内外对各种钢筋的矩形、T 形及其他各种截面的钢筋混凝土和预应力混凝土受弯和偏心受力构件实测表明: 从加荷开始直至构件破坏, 破坏区段的截面平均应变基本上符合平截面假定。从环形截面构件试验实测应变来看, 在加荷的全过程中, 直到构件的破坏其应变沿截面高度的分布也符合这一假定的 (见图 3.2.1-1, 图中编号 A 及 L 分别为偏压和偏拉构件)。

2. 混凝土的极限压应变取 $\epsilon_{cu} = 0.0033$

混凝土的极限压应变 ϵ_{cu} , 即破坏时截面受压区边缘混凝土平均应变, 严格说来并不是常量, 它与混凝土的强度等级、加荷速度、应变梯度以及截面形状等有关, 统计的平均值为 0.0033。环形电杆试验实测的结果也在 0.003~0.004 范围内, 因此取 $\epsilon_{cu} = 0.0033$ 是合理的。

3. 受拉区不考虑混凝土的抗拉强度。