



灌区建筑物的混凝土结构 计算

熊启钧 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

灌区建筑物的混凝土结构 计算

熊启钧 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以算例的形式详细介绍了灌区主要建筑物的内力计算及混凝土结构计算, 这些建筑物包括矩形断面落地槽、水闸、矩形断面渡槽、U形薄壳渡槽、箱涵、盖板涵、悬臂式挡土墙、圆拱直墙式无压隧洞等。有关荷载与内力计算的原则及混凝土结构计算方法均执行 SL 191—2008《水工混凝土结构设计规范》的规定。书中还介绍了有关的工程实例, 其结构布置及设计经验对类似工程的设计有一定参考价值。为了提高设计质量及设计效率, 书中编制了 9 个电算程序, 每种建筑物都有相应的混凝土结构计算程序, 每个程序都包括从荷载计算到混凝土结构计算的全部计算内容, 书中介绍了这些电算程序的特点、编制使用说明及示例。配合本书的出版, 作者将 9 个电算程序无偿提供给读者, 由中国水利水电出版社发布在水电知识网上 (<http://www.waterpub.com.cn>) 供读者免费下载使用。

本书内容丰富实用, 电算程序更有实用价值, 可供水工专业及其他有关专业设计人员参考使用, 也可作为水利专业院校的教学参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

灌区建筑物的混凝土结构计算 / 熊启钧编著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2011.2
ISBN 978-7-5084-8420-4

I. ①灌… II. ①熊… III. ①灌区—水工建筑物—钢筋混凝土结构—结构计算 IV. ①TV698

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第024528号

书 名	灌区建筑物的混凝土结构计算
作 者	熊启钧 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 31.5 印张 747 千字
版 次	2011 年 2 月第 1 版 2011 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	85.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书以算例的形式详细介绍灌区主要建筑物的混凝土结构计算，这些建筑物包括矩形断面落地槽、水闸、矩形断面渡槽、U形薄壳渡槽、箱涵、盖板涵、悬臂式挡土墙、圆拱直墙式无压隧洞等，其中部分建筑物的结构计算曾在《灌区建筑物的水力计算与结构计算》一书中介绍过，但该书介绍的内容偏重在内力计算方面，有关混凝土的结构计算相对较少，同时在编写出版《灌区建筑物的水力计算与结构计算》时，新的水工混凝土结构设计规范还未发布，有关混凝土结构计算的方法还是执行老规范的规定。现在，新修订的SL 191—2008《水工混凝土结构设计规范》及DL/T 5057—2009《水工混凝土结构设计规范》已先后发布，前者为水利行业标准，后者为电力行业标准，灌区建筑物属水利工程，应执行水利行业标准，因此本书有关荷载与内力计算的原则及混凝土结构计算方法均按SL 191—2008《水工混凝土结构设计规范》。本书除详细介绍各种灌区建筑物的内力计算方法外，也同样按SL 191—2008《水工混凝土结构设计规范》的规定详细介绍了各建筑物各部位的混凝土结构计算。

混凝土结构计算是灌区建筑物结构计算的重要部分，它将最终确定建筑物各部位混凝土构件的截面尺寸及配筋量，也直接关系到工程造价，设计者的职责就是根据正确的混凝土结构计算拟定合理的构件截面尺寸及配筋量。近年来笔者参与了一些灌区续建配套与节水改造以及河道治理等工程项目的设计评审工作，所见不少建筑物设计图的混凝土结构构件尺寸多偏大，如果是经过了认真的计算，是不应该如此的，这样往往会使工程投资加大而造成浪费。笔者认为，建筑物设计的原则应是在保证工程安全及符合规范要求的前提下，尽可能地使结构布置及构件尺寸经济合理，这就需要在设计中进行认真细致的分析计算，而且也要相信自己的计算，在计算确认已经满足要求的情况下，没有必要再过多地加大安全度。这是编写本书的意图之一。

本书各章共有30个算例，从各算例可看出，不同建筑物的内力计算及混凝土结构计算的项目和内容虽有所不同，但计算工作量均大而繁琐，为了提高设计效率，使设计者免除繁琐的计算工作量，配合本书的出版，新编制了9

个电算程序，每种建筑物均都有一个相应的混凝土结构计算程序（其中矩形断面渡槽 2 个），每个程序都包括从荷载计算到混凝土结构计算的全部计算内容，这也是新编程序的特点，即各程序均根据基本资料，直接计算输出建筑物各部位各控制截面的混凝土结构计算成果。9 个电算程序的名称分别是：矩形落地槽混凝土结构计算程序、水闸混凝土结构计算程序、矩形断面渡槽槽身横向混凝土结构计算程序、矩形断面渡槽槽身纵向混凝土结构计算程序、U 形薄壳渡槽结构计算程序、箱涵混凝土结构计算程序、盖板涵洞混凝土结构计算程序、悬臂式挡土墙混凝土结构计算程序、圆拱直墙式无压隧洞混凝土结构计算程序。利用这些程序可简便快捷地完成各建筑物包括内力计算及混凝土结构计算的全过程，使设计者从繁重的计算工作中解脱出来，而有更多的时间用来进行方案比较及优化设计，由于计算程序能很快给出计算成果，因此利用这些程序也更有助于进行方案比较及优化设计。笔者无偿提供 9 个电算程序，由中国水利水电出版社发布在水电知识网上（[http://www. water-pub. com. cn](http://www.water-pub.com.cn)）供读者免费下载使用，将这几个电算程序奉献给读者，希望能有助于完成更加经济合理的设计成果。这也是编写本书的意图之一。

与《灌区建筑物的水力计算与结构计算》相同，本书的编写原则是以实用为主，各章（各种建筑物）的编写方式也是先简要介绍所采用的计算方法及有关计算公式，再以算例详细介绍荷载、内力及混凝土结构计算的全部计算过程与计算结果分析，以及按新、老水工混凝土结构设计规范的计算成果比较（部分算例），然后是相应电算程序的计算示例。针对不同的布置型式、边界条件及计算工况，每种建筑物均有多个算例，每个手算算例后均有一个电算程序的计算成果与其对比。可以看出，各算例的手算成果与电算程序计算成果均完全相同，本书验证了电算程序编制的正确性，同时，也可视为电算程序的使用手册。

本书还介绍了有关的工程实例，其中部分在各章节，部分在附录中，其结构布置及设计经验对类似工程的设计有一定参考价值。附录部分的“渡槽设计资料统计表”及“渡槽槽身结构布置图实例”，介绍了 13 座渡槽工程的基本设计资料及槽身结构布置图，可以看出各渡槽的主要结构尺寸都是比较经济的。这些渡槽多建于 20 世纪 70 年代前后，当时的资金及钢筋、水泥等建筑材料均较短缺，笔者是那个时期的过来人，那时设计人员在设计中主要考虑的就是既要保证工程安全，又要尽可能地使设计经济合理以减少工程量及投资。今天已不存在资金及建筑材料短缺的问题，有可能使工程的设计标准更高，但在设计中也不应过于保守，衡量设计是否优秀的标准不仅仅是工程不

出安全事故，还应看是否经济合理。

笔者在水利工程设计行业工作至今已整整 54 年，主要从事取水输水及灌区水工建筑物的设计工作，在工作中深感有实用价值的技术参考资料及减少繁重的计算工作量对设计人员的重要性，因此比较注重两件事：一是技术资料的积累、总结与交流；二是致力于如何提高设计效率及尽可能使设计人员免除繁琐的计算工作量，在这方面多少有些心得体会及成果。之前，应中国水利水电出版社之约，曾编写出版了《隧洞》、《涵洞》及《灌区建筑物的水力计算与结构计算》，配合这些书的出版，还在出版社的网站上发布了笔者编制的部分电算程序，受到广大读者的欢迎与好评，感到非常欣慰。希望本书及有关的电算程序也同样能有助于从事灌区建筑物设计工作的读者更快更好地完成经济、合理的设计成果，这样，也算是笔者再为水利建设做点有益的工作。

由于个人水平所限，本书内容难免有不足甚至错误之处，欢迎读者提出宝贵意见。

本书的编写得到河南省水利勘测设计研究有限公司（原河南省水利勘测设计院）领导的大力支持，特在此表示衷心感谢。

熊启钧

2010 年 9 月于河南省水利勘测设计研究有限公司

目 录

前言

第一章 综述	1
第一节 不同水工混凝土结构设计规范计算成果差别的简要分析比较	1
第二节 混凝土结构计算公式	2
第三节 电算程序简介及编制使用说明	10
第二章 矩形断面落地槽混凝土结构计算	17
第一节 落地槽的结构布置及应用范围	17
第二节 素混凝土矩形断面落地槽混凝土结构计算	19
第三节 钢筋混凝土矩形断面落地槽混凝土结构计算	36
第四节 工程实例	79
第三章 水闸稳定计算及混凝土结构计算	83
第一节 闸室稳定计算	83
第二节 闸墙混凝土结构计算	84
第三节 闸底板混凝土结构计算	85
第四节 算例	88
第四章 矩形断面渡槽混凝土结构计算	134
第一节 不带横杆的矩形断面渡槽横向结构计算	134
第二节 带横杆的矩形断面渡槽横向结构计算	161
第三节 矩形断面渡槽槽身纵向混凝土结构计算	192
第四节 矩形断面渡槽槽身纵向预应力混凝土结构计算	213
第五章 U形薄壳渡槽混凝土结构计算	235
第一节 槽身横向结构计算公式	235
第二节 槽身纵向结构计算公式	239
第三节 槽身混凝土结构计算算例	240
第四节 工程实例	282
第六章 箱涵混凝土结构计算	285
第一节 单孔箱涵的内力计算及混凝土结构计算公式	285
第二节 无水工况算例	289
第三节 内水压力控制工况算例	320

第七章 盖板涵洞混凝土结构计算..... 348

 第一节 单孔盖板涵洞的内力计算及混凝土结构计算公式 348

 第二节 无汽车荷载算例 351

 第三节 有汽车荷载算例 364

 第四节 无汽车荷载算例（侧墙及底板为素混凝土结构） 376

第八章 悬臂式挡土墙混凝土结构计算..... 381

 第一节 悬臂式挡土墙的稳定分析、内力计算及混凝土结构计算公式 381

 第二节 算例 389

第九章 圆拱直墙式无压隧洞衬砌混凝土结构计算..... 440

 第一节 计算用表 440

 第二节 素混凝土衬砌不考虑围岩抗力算例 443

 第三节 钢筋混凝土衬砌不考虑围岩抗力算例 456

 第四节 素混凝土衬砌考虑围岩抗力算例 474

附录 A 渡槽设计资料统计表 481

附录 B 渡槽槽身结构布置图实例 484

参考文献 496

第一章 综 述

本书将介绍几种灌区主要建筑物的结构计算及相应的电算程序。各种建筑物结构计算的内容均包括荷载计算、内力计算及混凝土结构计算等。

新修订的 SL 191—2008《水工混凝土结构设计规范》及 DL/T 5057—2009《水工混凝土结构设计规范》已先后发布，前者为水利行业标准，后者为电力行业标准，灌区建筑物属水利工程，应执行水利行业标准，因此本书有关荷载与内力计算的原则及混凝土结构计算方法均按 SL 191—2008《水工混凝土结构设计规范》。各种建筑物所涉及的混凝土结构构件有素混凝土及钢筋混凝土受弯构件、素混凝土及钢筋混凝土偏心受压构件、钢筋混凝土偏心受拉构件、预应力混凝土结构受弯构件等。本章将集中介绍所用到的有关混凝土结构计算公式。

为了提高设计效率，使设计者免除繁琐的计算工作量，配合本书的出版，笔者编制了 9 个电算程序，每种建筑物都有相应的结构计算程序，每个程序均包括从荷载计算到混凝土结构计算的全部计算内容，本章将简要介绍这些电算程序的特点及编制使用说明。

本书的编写原则是以实用为主，各章（各种建筑物）的编写方式是先简要介绍所采用的计算方法及有关计算公式，再以算例详细介绍荷载、内力及混凝土结构计算的全部计算过程及计算结果分析，然后示出电算程序的基本资料输入及计算成果输出界面。针对不同的布置型式、边界条件及计算工况，每种建筑物均有多个算例，每个手算算例后均有一个电算程序的计算成果与其对比，手算算例也是对电算程序编制正确性的验证。

第一节 不同水工混凝土结构设计规范计算 成果差别的简要分析比较

按 SL 191—2008 与按 DL/T 5057—2009 计算的成果有一定出入，但差别很小。对两者计算成果的差别简述如下：

(1) 荷载基本组合（持久状况）时，SL 191—2008 的承载力安全系数为 $K=1.2$ （对于 2 级、3 级建筑物，下同）。DL/T 5057—2009 的结构重要性系数 $\gamma_0=1.0$ ，设计状况系数 $\psi=1.0$ ，结构重要性系数 $\lambda_d=1.2$ ，3 个系数的乘积 $\gamma_0\psi\lambda_d$ 值也等于 1.2。因此两者承载能力极限状态计算的成果完全相同。

(2) SL 191—2008 荷载偶然组合时的承载力安全系数为 $K=1.0$ 。如 DL/T 5057—2009 相应也按偶然状况考虑，结构重要性系数 $\gamma_0=1.0$ ，设计状况系数 $\psi=0.85$ ，结构重要性系数 $\lambda_d=1.2$ ，3 个系数的乘积 $\gamma_0\psi\lambda_d=1.0\times 0.85\times 1.2=1.02$ ，其值略大于 SL 191—2008 的承载力安全系数 1.0，可认为两者承载能力极限状态计算的成果也基本相同。

(3) SL 191—2008 荷载偶然组合时的承载力安全系数为 $K=1.0$ 。如 DL/T 5057—2009 相应按短暂状况考虑, 结构重要性系数 $\gamma_0=1.0$, 设计状况系数 $\psi=0.95$, 结构重要性系数 $\lambda_d=1.2$, 3 个系数的乘积 $\gamma_0\psi\lambda_d=1.0\times 0.95\times 1.2=1.14$, 则按 DL/T 5057—2009 的承载能力极限状态计算的成果较 SL 191—2008 计算的约大 14%。

(4) 对于正常使用极限状态的抗裂计算, 按 SL 191—2008 与按 DL/T 5057—2009 的计算成果差别极小, 可认为完全相同。

(5) 对于正常使用极限状态的限裂验算, 按 SL 191—2008 计算的裂缝宽度值大于按 DL/T 5057—2009 计算的裂缝宽度值。

上述比较表明, 按 SL 191—2008 计算的成果, 基本上也能满足 DL/T 5057—2009 的要求。在以后部分章节的算例中还将对按不同规范计算的成果值进行具体分析比较。

第二节 混凝土结构计算公式

本书介绍的各种建筑物的混凝土结构计算, 均按 SL 191—2008 《水工建筑物设计规范》的规定及公式执行, 所引用的有关计算公式汇总如下。

一、素混凝土受弯构件计算公式

素混凝土矩形截面受弯构件的正截面承载力应符合以下规定:

$$KM \leq \frac{1}{6} \gamma_m f_t b h^2 \quad (1-1)$$

式中: K 为承载力安全系数; M 为弯矩设计值, $\text{N} \cdot \text{mm}$; f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值, N/mm^2 ; b 为矩形截面宽度, mm ; h 为矩形截面高度, mm ; γ_m 为截面抵抗矩塑性系数。

按 SL 191—2008, 矩形截面抵抗矩塑性系数 γ_m 计算公式为:

$$\gamma_m = 1.55 \times \left(0.7 + \frac{300}{h} \right) \quad (1-2)$$

式中: $\left(0.7 + \frac{300}{h} \right)$ 为修正系数值, 其值不应大于 1.1, 即矩形截面抵抗矩塑性系数 γ_m 的最大值为 $1.55 \times 1.1 = 1.705$ 。

由修正系数计算式知, 当截面高度 h 值小于 750mm 时, 修正系数值均大于 1.1, 截面抵抗矩塑性系数 γ_m 值均为 1.705。

二、钢筋混凝土受弯构件计算公式

(一) 承载能力极限状态计算

有关矩形截面或翼缘位于受拉边的倒 T 形截面受弯构件正截面承载能力极限状态计算公式为:

$$KM \leq f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (1-3)$$

$$f_c b x = f_y A_s - f'_y A'_s \quad (1-4)$$

$$x \leq 0.85\xi_b h_0 \quad (1-5)$$

$$x \geq 2a'_s \quad (1-6)$$

$$\xi_b = \frac{x_b}{h_0} = \frac{0.8}{1 + \frac{f_y}{0.0033E_s}} \quad (1-7)$$

以上各式中: K 为承载力安全系数; M 为弯矩设计值, $\text{N} \cdot \text{mm}$; f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值, N/mm^2 ; f_y 及 f'_y 为钢筋的抗拉及抗压强度设计值, N/mm^2 ; A_s 及 A'_s 为纵向受拉及受压钢筋的截面面积, mm^2 ; h_0 为截面的有效高度, $h_0 = h - a_s$, mm ; b 为计算截面的宽度, mm ; a_s 为受拉钢筋合力点至截面近边缘的距离, mm ; a'_s 为受压钢筋合力点至截面近边缘的距离, mm ; ξ_b 为相对界限受压区计算高度; x 为截面受压区计算高度, mm ; x_b 为界限受压区计算高度, mm ; E_s 为钢筋弹性模量, N/mm^2 。

(二) 正常使用极限状态验算

1. 抗裂验算

有关受弯构件的抗裂验算公式如下:

$$M_k \leq \gamma_m \alpha_{cr} f_{tk} W_0 \quad (1-8)$$

$$W_0 = \frac{I_0}{h - y_0} \quad (1-9)$$

$$\alpha_E = \frac{E_s}{E_c} \quad (1-10)$$

$$y_0 = \frac{A_c y'_c + \alpha_E A_s h_0 + \alpha_E A'_s a'_s}{A_c + \alpha_E A_s + \alpha_E A'_s} \quad (1-11)$$

$$I_0 = I_c + A_c (y_0 - y'_c)^2 + \alpha_E A_s (h_0 - y_0)^2 + \alpha_E A'_s (y_0 - a'_s)^2 \quad (1-12)$$

以上各式中: M_k 为按荷载标准值计算的弯矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$; f_{tk} 为混凝土轴心抗拉强度标准值; α_{cr} 为混凝土拉应力限制系数, 对荷载的标准组合, α_{cr} 取为 0.85; γ_m 为截面抵抗矩的塑性指数; A_c 为混凝土截面面积, mm^2 ; A_s 及 A'_s 为受拉及受压钢筋截面面积, mm^2 ; α_E 为钢筋弹性模量 E_s 与混凝土弹性模量 E_c 之比; h 为截面高, mm ; y'_c 为混凝土截面重心至受压边缘的距离, mm ; y_0 为换算截面重心至受压边缘的距离, mm ; W_0 为换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩 mm^3 ; I_0 为换算截面对其重心轴的惯性矩, mm^4 ; I_c 为混凝土截面对其本身重心轴的惯性矩, mm^4 。

2. 裂缝宽度验算

对使用上要求限制裂缝宽度的钢筋混凝土构件, 应验算裂缝宽度, 要求裂缝宽度计算值不超过允许值。

当钢筋混凝土构件已满足抗裂要求时, 可不再进行裂缝宽度验算。对于重要的钢筋混凝土构件, 经论证确有必要时, 还应进行裂缝宽度验算。

有关正截面裂缝宽度的验算公式如下:

$$w_{\max} = \alpha \frac{\sigma_{sk}}{E_s} \left(30 + c + 0.07 \frac{d}{\rho_{te}} \right) \quad (1-13)$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} \quad (\text{当 } \rho_{te} < 0.03 \text{ 时, 取 } \rho_{te} = 0.03) \quad (1-14)$$

$$A_{te} = 2a_s b \quad (1-15)$$

$$\sigma_{sk} = \frac{M_k}{0.87h_0 A_s} \quad (1-16)$$

以上各式中： α 为考虑构件受力特征和荷载长期作用的综合影响系数，对受弯和偏心受压构件，取 $\alpha=2.1$ ；对偏心受拉构件，取 $\alpha=2.4$ ； c 为最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区边缘的距离，mm； d 为受拉钢筋直径，mm； ρ_{te} 为受拉钢筋的有效配筋率； A_{te} 为有效受拉混凝土截面面积，mm²； a_s 为受拉钢筋重心至受拉边缘的距离，mm； b 为矩形截面的宽，对有受拉翼缘的倒T形及I字形截面， b 为受拉翼缘宽度，mm； σ_{sk} 为按荷载标准值计算的构件纵向受拉钢筋应力，N/mm²。

三、钢筋混凝土偏心受压构件计算公式

(一) 承载能力极限状态计算

有关矩形截面偏心受压构件的正截面承载能力极限状态计算公式如下：

$$KN \leq f_c b x + f'_y A'_s - \sigma_s A_s \quad (1-17)$$

$$KNe \leq f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (1-18)$$

$$x \geq 2a'_s \text{ (当计入受压钢筋时)} \quad (1-19)$$

$$e = \eta e_0 + \frac{h}{2} - a_s \quad (1-20)$$

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400} \frac{e_0}{h_0} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \zeta_1 \zeta_2 \quad (1-21)$$

$$\zeta_1 = \frac{0.5 f_c A}{KN} \quad (1-22)$$

$$\zeta_2 = 1.15 - 0.01 \frac{l_0}{h} \quad (1-23)$$

当不满足式(1-19)条件时，正截面受压承载力计算公式为：

$$KNe' \leq f_y A_s (h_0 - a'_s) \quad (1-24)$$

$$e = \eta e_0 + \frac{h}{2} + a_s \quad (1-25)$$

$$e' = \eta e_0 - \frac{h}{2} + a'_s \quad (1-26)$$

对于大偏心受压构件，取 $\sigma_s = f_y$ ，同时为便于计算，以 $x = \xi h_0$ 代入式(1-17)及式(1-18)中，可简化为：

$$KN \leq f_c \xi b h_0 + f'_y A'_s - f_y A_s \quad (1-27)$$

$$KN \leq f_c \xi b h_0 + f'_y A'_s - f_y A_s \quad (1-28)$$

$$KNe \leq f_c \alpha b h_0^2 + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (1-29)$$

$$KNe \leq f_c \alpha b h_0^2 + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (1-30)$$

$$\alpha = \xi (1 - 0.5 \xi) \quad (1-31)$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha} \quad (1-32)$$

$$\alpha_b = \xi_b (1 - 0.5 \xi_b) \quad (1-33)$$

以上各式中: N 为轴向力设计值, N ; σ_s 为受拉边或受压较小边纵向钢筋的应力, N/mm^2 ; ξ 为相对受压区高度, $\xi = x/h_0$; ξ_b 为相对界限受压区计算高度, e 为轴向力作用点至受拉边或受压较小边钢筋合力点之间的距离, mm ; e' 为轴向力作用点至受压区钢筋合力点之间的距离, mm ; η 为考虑挠曲影响的轴向力偏心距增大系数; l_0 为构件的计算长度, mm ; ζ_1 为考虑截面应变对截面曲率影响的系数, 当 $\zeta_1 > 1$ 时, 取 $\zeta_1 = 1$; 对于大偏心受压构件, 直接取 $\zeta_1 = 1$; ζ_2 为考虑构件细长比对截面曲率影响的系数, 当 $l_0/h < 15$ 时, 取 $\zeta_2 = 1.0$ 。

根据混凝土受压区计算高度 x 及受压钢筋面积 A_s' 值的大小, 大偏心受压构件承载力极限状态可有 3 种计算情况:

第一种情况: 由式 (1-30) 计算受压钢筋面积 A_s' , 如其相应配筋率大于最小配筋率, 则按式 (1-28) 计算受拉钢筋面积 A_s 。

第二种情况: 由式 (1-30) 计算受压钢筋面积 A_s' , 如其相应配筋率小于最小配筋率, 则重新按最小配筋率 $\rho_{\min}$ 计算受压钢筋面积, 再由式 (1-29) 计算系数 α 以及相应的 ξ 和 x 值, 如 $x \geq 2a_s$, 则由式 (1-27) 计算受拉钢筋面积 A_s 。

第三种情况: 同第二种情况, 求出 x 值后, 如 $x < 2a_s$, 则采用 $x = 2a_s$, 并按式 (1-24) 计算受拉钢筋面积 A_s 。

(二) 正常使用极限状态计算

1. 抗裂验算

有关偏心受压构件的抗裂验算公式如下:

$$N_k \leq \frac{\gamma_m \alpha_a f_{tk} A_0 W_0}{e_0 A_0 - \gamma_m W_0} \quad (1-34)$$

$$A_0 = A_c + \alpha_E A_s + \alpha_E A_s' \quad (1-35)$$

式中: N_k 为按荷载标准值计算的轴向, N ; A_0 为换算截面面积, mm^2 ; 其余符号意义同前。

2. 裂缝宽度验算

裂缝宽度验算除受拉钢筋应力计算公式外, 其余同前述受弯构件计算公式。

$$\sigma_{sk} = \frac{N_k}{A_s} \left(\frac{e}{z} - 1 \right) \quad (1-36)$$

$$z = \left[0.87 - 0.12(1 - \gamma_f') \left(\frac{h_0}{e} \right)^2 \right] h_0 \quad (1-37)$$

$$e = \eta_s e_0 + y_s \quad (1-38)$$

$$\eta_s = 1 + \frac{1}{4000} \frac{e_0}{h_0} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \quad \left(\text{当 } \frac{l_0}{h} \leq 14 \text{ 时, 可取 } \eta_s = 1.0 \right) \quad (1-39)$$

以上各式中: σ_{sk} 为按荷载标准值计算的纵向受拉钢筋应力, N/mm^2 ; z 为纵向受拉钢筋合力点至受压区合力点的距离, mm ; η_s 为使用阶段的偏心矩增大系数; y_s 为截面重心至纵向受拉钢筋合力点的距离, mm ; γ_f' 为受压翼缘面积与腹板有效面积的比值, $\gamma_f' =$

$$\frac{(b'_f - b)}{bh_0}, \text{ mm}。$$

四、钢筋混凝土偏心受拉构件计算公式

(一) 承载能力极限状态计算

有关矩形截面偏心受拉构件的正截面承载能力极限状态计算公式如下:

$$KN \leq f_y A_s - f'_y A'_s - f_c b x \quad (1-40)$$

$$KNe \leq f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (1-41)$$

$$e = e_0 - \frac{h}{2} + a_s \quad (1-42)$$

$$x \leq 0.85 \xi_b h_0 \quad (1-43)$$

$$x \geq 2a'_s (\text{考虑受压钢筋时}) \quad (1-44)$$

当 $x < 2a'_s$ 时, 可按式 (1-45) 计算:

$$KNe' \leq f_y A_s (h'_0 - a_s) \quad (1-45)$$

(二) 正常使用极限状态验算

1. 抗裂验算

有关偏心受拉构件的抗裂验算公式如下:

$$N_k \leq \frac{\gamma_m \alpha_a f_{tk} A_0 W_0}{e_0 A_0 + \gamma_m W_0} \quad (1-46)$$

式中: N_k 为按荷载标准值计算的轴向, N ; 其余符号意义同前。

2. 裂缝宽度验算

裂缝宽度验算除受拉钢筋应力计算公式外, 其余同前述受弯构件计算公式:

$$\sigma_{sk} = \frac{N_k}{A_s} \left(1 \pm 1.1 \frac{e_s}{h_0} \right) \quad (1-47)$$

$$e_s = e_0 - \frac{h}{2} + a_s \quad (1-48)$$

上二式中: σ_{sk} 为按荷载标准值计算的纵向受拉钢筋应力, N/mm^2 ; e_s 为轴向拉力作用点至纵向受拉钢筋合力点的距离, mm 。

五、预应力混凝土结构构件公式

(一) 预应力混凝土结构正截面受弯承载力计算公式

矩形截面或翼缘位于受拉区的倒 T 形截面受弯构件, 正截面受弯承载力按以下公式计算:

$$KM \leq f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) - (\sigma'_{p0} - f'_{py}) A'_p (h_0 - a'_p) \quad (1-49)$$

$$f_c b x = f_y A_s - f'_y A'_s + f_{py} A_p + (\sigma'_{p0} - f'_{py}) A'_p \quad (1-50)$$

受压区的高度应符合以下要求:

$$x \leq 0.85 \xi_b h_0 \quad (1-51)$$

$$x \geq 2a' \quad (1-52)$$

以上各式中: K 为承载力安全系数; M 为弯矩设计值, $\text{N} \cdot \text{mm}$; A_p 及 A'_p 为受拉区及受压区纵向预应力钢筋的截面面积, mm^2 ; A_s 及 A'_s 为受拉区及受压区纵向非预应力钢筋的截面面积, mm^2 ; a'_s 为受压区纵向非预应力钢筋合力点至受压区边缘的距离, mm ; a'_p 为受压区纵向预应力钢筋合力点至受压区边缘的距离, mm ; a' 为纵向受压钢筋合力点至受压区边缘的距离, 当受压区未布置纵向预应力筋或受压区纵向预应力钢筋应力 ($\sigma'_{p0} - f'_{py}$) 为拉应力时, 式 (1-52) 中的 a' 应用 a'_s 代替; σ'_{p0} 为受压区的预应力钢筋合力点处混凝土法向应力为零时的预应力钢筋应力, N/mm^2 ; f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值, N/mm^2 ; f'_y 为受压钢筋的强度设计值, N/mm^2 ; ξ_b 为受拉钢筋和受压钢筋同时达到其强度设计值的相对界限受压区计算高度, 按式 (1-53) 计算, 其余符号意义同前。

当采用钢绞线时, 受拉钢筋和受压钢筋同时达到其强度设计值的相对界限受压区计算高度 ξ_b 按式 (1-53) 计算:

$$\xi_b = \frac{0.8}{1.6 + \frac{f_{py} - \sigma_{p0}}{0.0033E_s}} \quad (1-53)$$

式中: f_{py} 为纵向预应力钢筋的抗拉强度设计值, N/mm^2 ; E_s 为钢筋弹性模量, N/mm^2 ; σ_{p0} 为受拉区纵向预应力钢筋合力点处混凝土法向应力为零时的预应力钢筋中的应力。

当在截面受拉区内配置有不同种类的钢筋或不同的预应力筋的受弯构件, 其相对界限受压区计算高度应分别计算, 并取其中较小值。

(二) 预应力混凝土结构裂缝控制等及抗裂验算公式

裂缝控制等级根据环境条件类别按 SL 191—2008 表 3.2.7 分为 3 个级别。

一级为严格要求不出现裂缝的构件, 在荷载效应标准组合下, 正截面混凝土法向应力应符合以下规定:

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (1-54)$$

二级为一般要求不出现裂缝的构件, 在荷载效应标准组合下, 正截面混凝土法向应力应符合以下规定:

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0.7\gamma f_{tk} \quad (1-55)$$

式中: σ_{ck} 为荷载效应标准组合下抗裂验算边缘的混凝土法向应力; σ_{pc} 为扣除全部预应力损失后在验算边缘混凝土的预压应力; γ 为受拉区混凝土塑性影响系数, 对受弯构件, 其值等于普通钢筋混凝土构件计算时的截面抵抗矩塑性系数 γ_m ; f_{tk} 为混凝土轴心抗拉强度标准值, N/mm^2 。

三级为允许出现裂缝的构件, 裂缝限值为 0.2mm。

受弯构件的 σ_{ck} 值按式 (1-56) 计算:

$$\sigma_{ck} = \frac{M_k}{W_0} \quad (1-56)$$

式中: M_k 为由荷载标准组合计算的弯矩值, N/mm^2 ; W_0 为换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩, mm^3 。

对严格要求不出现裂缝的构件, 在荷载效应标准组合下, 斜截面混凝土的主拉应力应符合以下要求:

$$\sigma_{tP} \leq 0.85 f_{tk} \quad (1-57)$$

对一般要求不出现裂缝的构件,在荷载效应标准组合下,斜截面混凝土的主拉应力应符合以下要求:

$$\sigma_{tP} \leq 0.95 f_{tk} \quad (1-58)$$

对严格要求及一般要求不出现裂缝的构件,在荷载效应标准组合下,斜截面混凝土的主压应力应符合以下要求:

$$\sigma_{cP} \leq 0.6 f_{ck} \quad (1-59)$$

式中: σ_{tP} 及 σ_{cP} 为在荷载标准组合下混凝土的主拉应力及主压应力, N/mm^2 , 按式 (1-60) 计算; 其余符号意义同前。

$$\sigma_{tP} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (1-60)$$

$$\sigma_x = \sigma_{Pe} + \frac{M_k y_0}{I_0} \quad (1-61)$$

$$\tau = \frac{(V_k - \sum \sigma_{Pe} A_{Pb} \sin \alpha_P) S_0}{I_0 b} \quad (1-62)$$

以上各式中: V_k 为按荷载标准值计算的剪力值, N ; σ_x 为由预应力和弯矩值 M_k 在计算纤维处产生的混凝土法向应力, N/mm^2 ; σ_y 为由集中荷载标准值 F_k 产生的混凝土竖向压应力, N/mm^2 ; τ 为由剪力值 V_k 和预应力弯起钢筋的预应力在纤维处产生的混凝土剪力, N/mm^2 ; σ_{Pe} 为预应力弯起钢筋的有效预应力, N/mm^2 ; σ_{Pc} 为扣除全部预应力损失后,在计算纤维处由预应力产生的法向应力, N/mm^2 ; y_0 为换算截面重心至受压边缘的距离, mm ; S_0 为计算纤维以上部分的换算截面面积对构件换算截面重心的面积矩, mm^3 ; A_{Pb} 为计算截面上同一弯起平面内的预应力弯起钢筋的截面面积, mm^2 ; α_P 为计算截面上预应力弯起钢筋的切线与构件纵向轴线的夹角, $(^\circ)$ 。

(三) σ_{Pe} 、 σ_{Pc} 及 σ_{P0} 计算

预应力混凝土槽身施加预应力的方法一般为后张法,后张法构件的由预应力产生的混凝土法向应力 σ_{Pe} 、预应力钢筋的有效预应力 σ_{Pe} 、预应力钢筋合力点处混凝土法向应力为零的预应力钢筋的应力 σ_{P0} 由以下公式计算:

$$\sigma_{Pe} = \frac{N_P}{A_n} \pm \frac{N_P e_{Pn}}{I_n} y_n \quad (1-63)$$

$$\sigma_{Pe} = \sigma_{con} - \sigma_l \quad (1-64)$$

$$\sigma_{P0} = \sigma_{con} - \sigma_l + \alpha_E \sigma_{Pe} \quad (1-65)$$

$$N_P = \sigma_{Pe} A_P + \sigma'_{Pe} A'_P - \sigma_{l5} A_s - \sigma'_{l5} A'_s \quad (1-66)$$

$$e_{Pn} = \frac{\sigma_{Pe} A_P y_{Pn} - \sigma'_{Pe} A'_P y'_{Pn} - \sigma_{l5} A_s y_{sn} + \sigma'_{l5} A'_s y'_{sn}}{\sigma_{Pe} A_P + \sigma'_{Pe} A'_P - \sigma_{l5} A_s - \sigma'_{l5} A'_s} \quad (1-67)$$

以上式中: A_n 为净截面面积,即扣除孔道、凹槽等削弱部分以外的混凝土全部截面面积及纵向非预应力钢筋截面面积换算成混凝土的截面面积之和, mm^2 ; I_n 为净截面的惯性矩, mm^4 ; e_{Pn} 为净截面重心至预应力钢筋及非预应力钢筋和力点的距离, mm ; y_n 为净截面重心至所计算纤维处的距离, mm ; σ_l 为预应力损失值,按 SL 191—2008 8.2.1 ~

8.2.8 的规定计算； α_E 为钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值； N_P 为预应力及非预应力钢筋的合力，N； σ_{P0} 为受拉区的预应力钢筋合力点处混凝土法向应力为零时的预应力钢筋应力，N/mm²； σ_{Pe} 及 σ'_{Pe} 为受拉区及受压区的预应力钢筋的有效预应力，N/mm²； A_P 及 A'_P 为受拉区及受压区的预应力钢筋截面面积，mm²； σ_{l5} 及 σ'_{l5} 为受拉区及受压区的预应力钢筋各自合力点处混凝土收缩和徐变引起的预应力损失值，N/mm²； y_{Pn} 及 y'_{Pn} 为受拉区及受压区预应力合力点至净截面重心的距离，mm； y_{sn} 及 y'_{sn} 为受拉区及受压区的非预应力钢筋重心至净截面重心的距离，mm； σ_l 为相应阶段的预应力，N/mm²。

六、素混凝土偏心受压构件计算公式

受拉区和受压区承载力应分别符合以下规定：

$$\text{受拉区} \quad KN \leq \frac{\phi \gamma_m f_t b h}{\frac{6e_0}{h} - 1} \quad (1-68)$$

$$\text{受压区} \quad KN \leq \frac{\phi f_c b h}{\frac{6e_0}{h} + 1} \quad (1-69)$$

以上式中：K 为承载力安全系数；N 为轴向力设计值，N； f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值，N/mm²； f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值，N/mm²； e_0 为轴向力作用点至截面重心的距离，mm；b 为矩形截面宽度，mm；h 为矩形截面高度，mm； γ_m 为截面抵抗矩塑性系数； ϕ 为素混凝土构件的稳定系数。

七、关于荷载分项系数及取值问题

SL 191—2008 在其“条文说明”部分说明：“在本标准中，荷载标准值仍采用 DL 5077—1997《水工建筑物荷载设计规范》规定的数值，但荷载分项系数不再按该规范取用，也不再出现荷载分项系数这一术语”。在 SL 191—2008 中虽然不再使用荷载分项数这一术语，但在荷载效应组合设计值 S 的计算式 (3.2.2-1)～式 (3.2.2-3) 中，各荷载效应前的乘数实际上仍是相应的荷载分项系数值，只不过不是按 DL 5077—1997《水工建筑物荷载设计规范》取值。

本书在有关计算公式的介绍及算例中，为便于说明，仍使用了“荷载分项系数”这一术语，其取值则按 SL 191—2008 式 (3.2.2-1)～式 (3.2.2-3) 的规定。

1. 基本组合时

(1) 混凝土结构自重的荷载分项系数，对结构起不利作用时采用 1.05，对结构起有利作用时采用 0.95。

(2) 土压力及围岩压力的荷载分项系数，对结构起不利作用时采用 1.20，对结构起有利作用时取 0.95。

(3) 地下水压力的荷载分项系数采用 1.2。

(4) 人群荷载的荷载分项系数采用 1.1。

(5) 对于渡槽内的水压力，SL 191—2008 将满槽水压力作为“可控制其不超过规定限值的可变荷载”，规定其荷载分项系数对结构起不利及有利作用时均为 1.1，对设计水