

中华人民共和国国家标准

给水排水工程管道结构设计规范

Structural design code for pipelines of water supply and
wastewater engineering

GB 50332—2002

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2003年3月1日

中华人民共和国建设部

公 告

第 92 号

建设部关于发布国家标准 《给水排水工程管道结构设计规范》的公告

现批准《给水排水工程管道结构设计规范》为国家标准，编号为 GB50332—2002，自 2003 年 3 月 1 日起实施。其中，第 4.1.7、4.2.2、4.2.10、4.2.11、4.2.13、4.3.2、4.3.3、4.3.4、5.0.3、5.0.4、5.0.5、5.0.11、5.0.13、5.0.14、5.0.16 条为强制性条文，必须严格执行。原《给水排水工程结

构设计规范》GBJ69—84 中的相应内容同时废止。

本规范由建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国建设部
二〇〇二年十一月二十六日

前 言

本规范根据建设部（92）建标字第 16 号文的要求，对原规范《给水排水工程结构设计规范》GBJ69—84 作了修订。由北京市规划委员会为主编部门，北京市市政工程设计研究总院为主编单位，会同有关设计单位共同完成。原规范颁布实施至今已 15 年，在工程实践中效果良好。这次修订主要是由于下列两方面的原因：

（一）结构设计理论模式和方法有重要改进

GBJ69—84 属于通用设计规范，各类结构（混凝土、砌体等）的截面设计均应遵循本规范的要求。我国于 1984 年发布《建筑结构设计统一标准》GBJ68—84（修订版为《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068—2001）后，1992 年又颁发了《工程结构可靠度设计统一标准》GB50153—92。在这两本标准中，规定了结构设计均采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，替代原规范采用的单一安全系数极限状态设计方法。据此，有关结构设计的各种标准、规范均作了修订，例如《混凝土结构设计规范》、《砌体结构设计规范》等。因此，《给水排水工程结构设计规范》GBJ69—84 也必须进行修订，以与相关的标准、规范协调一致。

（二）原规范 GBJ69—84 内容过于综合，不利于促进技术进步

原规范 GBJ69—84 为了适应当时的急需，在内容上力求能概括给水排水工程的各种结构，不仅列入

了水池、沉井、水塔等构筑物，还包括各种不同材料的管道结构。这样处理虽然满足了当时的工程应用，但从长远来看不利于发展，不利于促进技术进步。我国实行改革开放以来，通过交流和引进国外先进技术，在科学技术领域有了长足进步，这就需要对原标准、规范不断进行修订或增补。由于原规范的内容过于综合，往往造成不能及时将行之有效的先进技术反映进去，从而降低了它应有的指导作用。在这次修订 GBJ69—84 时，原则上是尽量减少综合性，以利于及时更新和完善。为此将原规范分割为以下两部分，共 10 本标准：

1. 国家标准

- （1）《给水排水工程构筑物结构设计规范》；
- （2）《给水排水工程管道结构设计规范》。

2. 中国工程建设标准化协会标准

- （1）《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》；
- （2）《给水排水工程水塔结构设计规程》；
- （3）《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》；
- （4）《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》；
- （5）《给水排水工程埋地铸铁管管道结构设计规程》；
- （6）《给水排水工程埋地预制混凝土圆形管管道

结构设计规程》;

(7)《给水排水工程埋地管芯缠丝预应力混凝土管和预应力钢筒混凝土管管道结构设计规程》;

(8)《给水排水工程埋地矩形管管道结构设计规程》。

本规范主要是针对给水排水工程各类管道结构设计中的一般性要求作出规定,包括适用范围、主要符号、材料性能要求、各种作用的标准值、作用的分项系数和组合系数、承载能力和正常使用极限状态,以及构造要求等。这些一般性规定将在协会标准中得到遵循,贯彻实施。

本规范由建设部负责管理和对强制性条文的解释,由北京市市政工程设计研究总院负责对具体技术内容的解释。请各单位在执行本规范过程中,注意总结经验和积累资料,随时将发现的问题和意见寄交北

京市市政工程设计研究总院(100045),以供今后修订时参考。

本规范编制单位和主要起草人名单

主编单位:北京市市政工程设计研究总院

参编单位:中国市政工程中南设计研究院、中国市政工程西北设计研究院、中国市政工程西南设计研究院、中国市政工程东北设计研究院、上海市市政工程设计研究院、天津市市政工程设计研究院、湖南大学。

主要起草人:沈世杰 刘雨生(以下按姓氏笔画排列)

王文贤 王憬山 冯龙度 刘健行

苏发怀 陈世江 沈宜强 钟启承

郭天木 葛春辉 翟荣申 潘家多

目 次

1 总则	5-12-5	5 基本构造要求	5-12-10
2 主要符号	5-12-5	附录 A 管侧回填土的综合变形 模量	5-12-11
3 管道结构上的作用	5-12-5	附录 B 管顶竖向土压力标准值 的确定	5-12-11
3.1 作用分类和作用代表值	5-12-5	附录 C 地面车辆荷载对管道作用 标准值的计算方法	5-12-12
3.2 永久作用标准值	5-12-6	附录 D 钢筋混凝土矩形截面处于受 弯或大偏心受拉(压)状态时 的最大裂缝宽度计算	5-12-13
3.3 可变作用标准值、准永久值 系数	5-12-6	附录 E 本规范用词说明	5-12-14
4 基本设计规定	5-12-7		
4.1 一般规定	5-12-7		
4.2 承载能力极限状态计算规定	5-12-8		
4.3 正常使用极限状态验算规定	5-12-9		

1 总 则

1.0.1 为了在给水排水工程管道结构设计中,贯彻执行国家的技术经济政策,达到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于城镇公用设施和工业企业中的一般给水排水工程管道的结构设计,不适用于工业企业中具有特殊要求的给水排水工程管道的结构设计。

1.0.3 本规范系根据我国《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068—2001和《工程结构可靠度设计统一标准》GB50153—92规定的原则进行制定的。

1.0.4 按本规范设计时,有关构件截面计算和地基基础设计等,应按相应的国家标准的规定执行。

对于建造在地震区、湿陷性黄土或膨胀土等地区的给水排水工程管道结构设计,尚应符合我国现行的有关标准的规定。

2 主要符号

2.1 管道上的作用

F_{vk} ——管道内的真空压力标准值;
 $F_{cr,k}$ ——管壁截面失稳的临界压力标准值;
 q_{vk} ——地面车辆轮压传递到管顶处的单位面积竖向压力标准值;
 $F_{ep,k}$ ——主动土压力标准值;
 F_{pk} ——被动土压力标准值;
 F_{wk} ——管道内工作压力标准值;
 $F_{wd,k}$ ——管道的设计内水压力标准值;
 $Q_{vi,k}$ ——地面车辆的 i 个车轮所承担的单个轮压标准值;
 S ——作用效应组合设计值;
 $F_{sv,k}$ ——每延长米管道上管顶的竖向土压力标准值。

2.2 几何参数

A_0 ——管道计算截面的换算截面面积;
 a ——单个车轮的着地分布长度;
 B_c ——矩形管道的外缘宽度;
 b ——单个车轮的着地分布宽度;
 D_0 ——圆形管道的计算直径;
 D_1 ——圆形管道的外径;
 d_i ——相邻两个车轮间的净距;

e_0 ——纵向力对截面重心的偏心距;

H_s ——管顶至设计地面的覆土高度;

h_0 ——钢筋混凝土计算截面的有效高度;

L_e ——管道纵向承受轮压影响的有效长度;

L_p ——轮压传递至管顶处沿管道纵向的影响长度;

r_0 ——圆形管道的计算半径;

t ——管壁厚度;

μ ——受拉钢筋截面的总周长;

W_0 ——管道换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩;

$w_{d,max}$ ——管道的最大竖向变形;

w_{max} ——钢筋混凝土计算截面的最大裂缝宽度。

2.3 计算系数

C_c ——埋地式土压力系数;

C_d ——开槽施工土压力系数;

C_f ——不开槽施工土压力系数;

C_G ——永久作用的作用效应系数;

C_Q ——可变作用的作用效应系数;

D_t ——变形滞后效应系数;

E_p ——管材弹性模量;

E_d ——管侧土的综合变形模量;

K_a ——主动土压力系数;

K_d ——管道变形系数;

K_p ——被动土压力系数;

K_s ——设计稳定性抗力系数;

α_{ct} ——混凝土拉应力限制系数;

α_s ——管道结构与管周土体的刚度比;

γ ——受拉区混凝土的塑性影响系数;

γ_G ——永久作用分项系数;

γ_0 ——管道的重要性系数;

γ_Q ——可变作用分项系数;

μ_d ——动力系数;

ν_p ——管材的泊桑比;

ρ ——钢筋混凝土管道计算截面处钢筋的配筋率;

ψ ——钢筋混凝土管道计算裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数;

ψ_c ——可变作用的组合值系数;

ψ_q ——可变作用的准永久值系数。

3 管道结构上的作用

3.1 作用分类和作用代表值

3.1.1 管道结构上的作用,按其性质可分为永久作

用和可变作用两类：

1 永久作用应包括结构自重、土压力（竖向和侧向）、预加应力、管道内的水重、地基的不均匀沉降。

2 可变作用应包括地面人群荷载、地面堆积荷载、地面车辆荷载、温度变化、压力管道内的静水压（运行工作压力或设计内水压力）、管道运行时可能出现的真空压力、地表水或地下水的作用。

3.1.2 结构设计时，对不同的作用应采用不同的代表值。

对永久作用，应采用标准值作为代表值；对可变作用，应根据设计要求采用标准值、组合值或准永久值作为代表值。

可变作用组合值，应为可变作用标准值乘以作用组合系数；可变作用准永久值，应为可变作用标准值乘以作用的准永久值系数。

3.1.3 当管道结构承受两种或两种以上可变作用时，承载能力极限状态设计或正常使用极限状态按短期效应的标准组合设计，可变作用应采用标准值和组合值作为代表值。

3.1.4 正常使用极限状态考虑长期效应按准永久组合设计，可变作用应采用准永久值作为代表值。

3.2 永久作用标准值

3.2.1 结构自重，可按结构构件的设计尺寸与相应的材料单位体积的自重计算确定。对常用材料及其制作件，其自重可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009的规定采用。

3.2.2 作用在地下管道上的竖向土压力，其标准值应根据管道埋设方式及条件按附录 B 确定。

3.2.3 作用在地下管道上的侧向土压力，其标准值应按下列公式确定：

- 1 侧向土压力应按主动土压力计算；
- 2 侧向土压力沿圆形管道管侧的分布可视作均匀分布，其计算值可按管道中心处确定；

3 对埋设在地下水位以上的管道，其侧向土压力可按下列式计算：

$$F_{ep,k} = K_a \gamma_s z \quad (3.2.3-1)$$

式中 $F_{ep,k}$ ——管侧土压力标准值 (kN/m^2)；

K_a ——主动土压力系数，应根据土的抗剪强度确定；当缺乏试验数据时，对砂类土或粉土可取 $\frac{1}{3}$ ；对粘性土可取 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ ；

γ_s ——管侧土的重力密度 (kN/m^3)，一般可取 18 kN/m^3 ；

Z ——自地面至计算截面处的深度 (m)，

对圆形管道可取自地面至管中心处的深度。

4 对于埋设在地下水位以下的管道，管体上的侧向压力应为主动土压力与地下水静水压力之和；此时，侧向土压力可按下式计算：

$$F_{ep,k} = K_a [\gamma_s z_w + \gamma'_s (z - z_w)] \quad (4.2.3-2)$$

式中 γ'_s ——地下水位以下管侧土的有效重度 (kN/m^3)，可按 10 kN/m^3 采用；

Z_w ——自地面至地下水位距离 (m)。

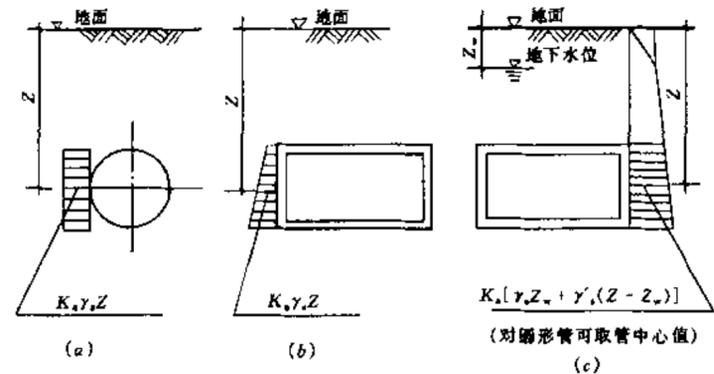


图 3.2.3 作用在管道上的侧向土压力

(a) 圆形管道 (无地下水)；

(b) 矩形管道 (无地下水)；

(c) 管道埋设在地下水位以下

3.2.4 管道中的水重标准值，可按水的重力密度为 10 kN/m^3 计算。

3.2.5 预应力混凝土管道结构上的预加应力标准值，应为预应力钢筋的张拉控制应力值扣除相应张拉工艺的各项应力损失。张拉控制应力值，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的有关规定确定。

3.2.6 对敷设在地基土有显著变化段的管道，需计算地基不均匀沉降，其标准值应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定计算确定。

3.3 可变作用标准值、准永久值系数

3.3.1 地面人群荷载标准值可取 4 kN/m^2 计算；其准永久值系数 ψ_q 可取 $\psi_q = 0.3$ 。

3.3.2 地面堆积荷载标准值可取 10 kN/m^2 计算；其准永久值系数可取 $\psi_q = 0.5$ 。

3.3.3 地面车辆荷载对地下管道的影响作用，其标准值可按附录 C 确定；其准永久值系数应取 $\psi_q = 0.5$ 。

3.3.4 压力管道内的静水压力标准值应取设计内水压力计算，其标准值应根据管道材质及运行工作内水压力按表 3.3.4 的规定采用；相应准永久值系数可取 $\psi_q = 0.7$ ，但不得小于工作内水压力。

表 3.3.4 压力管道内的设计内水压力标准值 $F_{wd,k}$

管道类别	工作压力 F_{wk} (10^{-1} MPa)	设计内水压力 (MPa)
钢管	F_{wk}	$F_{wk} + 0.5 \geq 0.9$
铸铁管	$F_{wk} \leq 5$	$2F_{wk}$
	$F_{wk} > 5$	$F_{wk} + 0.5$
混凝土管	F_{wk}	$(1.4 \sim 1.5) F_{wk}$
化学管材	F_{wk}	$(1.4 \sim 1.5) F_{wk}$

注: 1 工业企业中低压运行的管道, 其设计内水压力可取工作压力的 1.25 倍, 但不得小于 0.4MPa。
 2 混凝土管包括钢筋混凝土管、预应力混凝土管、预应力钢筒混凝土管。
 3 化学管材管道包括硬聚氯乙烯圆管 (UPVC)、聚乙烯圆管 (PE)、玻璃纤维增强塑料管 (GRP、FRP) 等。
 4 铸铁管包括普通灰口铸铁管、球墨铸铁管、未经退火处理的球墨铸铁管等。
 5 当管线上没有可靠的调压装置时, 设计内水压力可按具体情况确定。

3.3.5 埋设在地表水或地下水以下的管道, 应计算作用在管道上的静水压力 (包括浮托力), 相应的设计水位应根据勘察部门和水文部门提供的数据采用。其标准值及准永久值系数 ψ_q 的确定, 应符合下列规定:

1 地表水的静水压力水位宜按设计频率 1% 采用。相应准永久值系数, 当按最高洪水位计算时, 可取常年洪水位与最高洪位数的比值。

2 地下水的静水压力水位, 应综合考虑近期内变化的统计数据及对设计基准期内发展趋势的变化综合分析, 确定其可能出现的最高及最低水位。

应根据对结构的作用效应, 选用最高或最低水位。相应的准永久值系数, 当采用最高水位时, 可取平均水位与最高水位的比值; 当采用最低水位时, 应取 1.0 计算。

3 地表水或地下水的重度标准值, 可取 $10\text{kN}/\text{m}^3$ 计算。

3.3.6 压力管道在运行过程中可能出现的真空压力 F_v , 其标准值可取 0.05MPa 计算; 相应的准永久值系数可取 $\psi_q = 0$ 。

3.3.7 对埋地管道采用焊接、粘接或熔接连接时, 其闭合温度作用的标准值可按 $\pm 25^\circ\text{C}$ 温差采用; 相应的准永久值系数可取 $\psi_q = 1.0$ 计算。

3.3.8 对架空管道, 当采用焊接、粘接或熔接连接时, 其闭合温度作用的标准值可按具体工况条件确定; 相应的准永久值系数可取 $\psi_q = 0.5$ 计算。

3.3.9 露天架空管道上的风荷载和雪荷载, 其标准值及准永久值系数应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的有关规定确定。

4 基本设计规定

4.1 一般规定

4.1.1 本规范采用以概率理论为基础的极限状态设计方法, 以可靠指标度量结构构件的可靠度, 除对管道验算整体稳定外, 均采用含分项系数的设计表达式进行设计。

4.1.2 管道结构设计应计算下列两种极限状态:

1 承载能力极限状态: 对应于管道结构达到最大承载能力, 管体或连接构件因材料强度被超过而破坏; 管道结构因过量变形而不能继续承载或丧失稳定 (如横截面压屈等); 管道结构作为刚体失去平衡 (横向滑移、上浮等)。

2 正常使用极限状态: 对应于管道结构符合正常使用或耐久性能的某项规定限值; 影响正常使用的变形量限值; 影响耐久性能的控制开裂或局部裂缝宽度限值等。

4.1.3 管道结构的计算分析模型应按下列原则确定:

1 对于埋设于地下的矩形或拱形管道结构, 均应属刚性管道; 当其净宽大于 3.0m 时, 应按管道结构与地基土共同作用的模型进行静力计算。

2 对于埋设于地下的圆形管道结构, 应根据管道结构刚度与管周土体刚度的比值 α_s , 判别为刚性管道或柔性管道, 以此确定管道结构的计算分析模型:

当 $\alpha_s \geq 1$ 时, 应按刚性管道计算;

当 $\alpha_s < 1$ 时, 应按柔性管道计算。

4.1.4 圆形管道结构与管周土体刚度的比值 α_s 可按下列式确定:

$$\alpha_s = \frac{E_p}{E_d} \left(\frac{t}{r_0} \right)^3 \quad (4.1.4)$$

式中 E_p ——管材的弹性模量 (MPa);

E_d ——管侧土的变形综合模量 (MPa), 应由试验确定, 如无试验数据时, 可按附录 A 采用;

t ——圆管的管壁厚 (mm);

r_0 ——圆管结构的计算半径 (mm), 即自管中心至管壁中线的距离。

4.1.5 对管道的结构设计应包括管体、管座 (管道基础) 及连接构造; 对埋设于地下的管道, 尚应包括管周各部位回填土的密实度设计要求。

4.1.6 对管道结构的内力分析, 均应按弹性体系计算, 不考虑由非弹性变形所引起的塑性内力重分布。

4.1.7 对管道结构应根据环境条件和输送介质的性能, 设置内、外防腐构造。用于给水工程输送饮用水的管道, 其内防腐材料必须符合有关卫生标准的要求, 确保对人体健康无害。

4.2 承载力极限状态计算规定

4.2.1 管道结构按承载力极限状态进行强度计算时,应采用作用效应的基本组合。结构上的各项作用均采用作用设计值。作用设计值,应为作用代表值与作用分项系数的乘积。

4.2.2 管道结构的强度计算应采用下列极限状态计算表达式:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (4.2.2)$$

式中 γ_0 ——管道的重要性系数,应根据表(4.2.2)的规定采用;

S ——作用效应组合的设计值;

R ——管道结构的抗力强度设计值。

表 4.2.2 管道的重要性系数 γ_0

管道类别 重要性系数	给水管道		排水管道	
	输水管	配水管	污水管	雨水管
γ_0	1.1	1.0	1.0	0.9

注: 1 当输水管道设计为双线或设有调蓄设施时,可采用 $\gamma_0 = 1.0$ 。
2 排水管道中的雨水、污水合流管, γ_0 值应按污水管采用。

4.2.3 作用效应的组合设计值,应按下列式确定:

$$S = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} C_{Gi} G_{ik} + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} C_{Qj} G_{jk}$$

式中 G_{ik} ——第 i 个永久作用标准值;

C_{Gi} ——第 i 个永久作用的作用效应系数;

γ_{Gi} ——第 i 个永久作用的分项系数;

Q_{1k} ——第 1 个可变作用标准值,该作用应为地下水或地表水产生的压力;

Q_{jk} ——第 j 个可变作用的标准值;

γ_{Q1} 、 γ_{Qj} ——分别为第 1 个和第 j 个可变作用的分项系数;

C_{Q1} 、 C_{Qj} ——分别为第 1 个和第 j 个可变作用的作用效应系数;

ψ_c ——可变作用的组合系数。

注:作用效应系数为结构在作用下产生的效应(如内力、应力等)与该作用的比值,可按结构力学方法确定。

4.2.4 管道结构强度标准值、设计值的确定,应符合下列要求:

1 对钢管道、砌体结构管道、钢筋混凝土矩形管道和架空管道的支承结构等现场制作的管道结构,其强度标准值和设计值应按相应的现行国家标准《钢结构设计规范》、《砌体结构设计规范》、《混凝土结构设计规范》等的规定确定。

2 对各种材料和相应的成型工艺制作的圆管,其强度标准值应按相应的产品行业标准采用;对尚无

制定行业标准的新产品,则应由制造厂方提供,并应附有可靠的技术鉴定证明。

4.2.5 永久作用的分项系数,应按下列规定采用:

1 当作用效应对结构不利时,除结构自重应取 1.20 外,其余各项作用均应取 1.27 计算;

2 当作用效应对结构有利时,均应取 1.00 计算。

4.2.6 可变作用的分项系数,应按下列规定采用:

1 对可变作用中的地表水或地下水压力,其分项系数应取 1.27;

2 对可变作用中的地面人群荷载、堆积荷载、车辆荷载、温度变化、管道设计内水压力、真空压力,其分项系数应取 1.40。

4.2.7 可变作用的组合系数 ψ_c ,应采用 0.90 计算。

4.2.8 对管道结构的管壁截面进行强度计算时,应符合下列要求:

1 对沿线采用柔性接口连接的管道,计算管壁截面强度时,应计算在组合作用下,环向内力所产生的应力;

2 对沿线采用焊接、粘接或熔接连接的管道,计算管壁截面强度时,除应计算在组合作用下的环向内力外,尚应计算管壁的纵向内力,并核算环向与纵向内力的组合折算应力;

3 对沿线柔性接口连接的管道,当其接口处设有刚度较大的压环约束时,该处附近的管壁截面,亦应计算管壁的纵向内力,并核算在环向与纵向内力作用下的组合折算应力。

4.2.9 管壁截面由环向与纵向内力作用下的组合折算应力,可按下列式计算:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{\theta i}^2 + \sigma_{x i}^2} - \sigma_{\theta i} \sigma_{x i} \quad (4.2.9)$$

式中 σ_i ——管壁 i 截面处的折算应力(N/mm²);

$\sigma_{\theta i}$ ——管壁 i 截面处由组合作用产生的环向应力(N/mm²);

$\sigma_{x i}$ ——管壁 i 截面处由组合作用产生的纵向应力(N/mm²)。

4.2.10 对埋设在地表水或地下水以下的管道,应根据设计条件计算管道结构的抗浮稳定。计算时各项作用均应取标准值,并应满足抗浮稳定性抗力系数不低于 1.10。

4.2.11 对埋设在地下的柔性管道,应根据各项作用的不利组合,计算管壁截面的环向稳定性。计算时各项作用均应取标准值,并应满足环向稳定性抗力系数 K_s 不低于 2.0。

4.2.12 埋地柔性管道的管壁截面环向稳定性计算,应符合下列式要求:

$$F_{\sigma, k} \geq K_s (q_{vk} + F_{vk}) \quad (4.2.12-1)$$

$$F_{\sigma, k} = \frac{2E_p (n^2 - 1)}{1 - \nu_p^2} \left(\frac{t}{D_0} \right)^3 + \frac{E_d}{2(n^2 - 1)(1 + \nu_s^2)} \quad (4.2.12-2)$$

式中 $F_{cr,k}$ ——管壁截面失稳的临界压力标准值 (N/mm^2);
 q_{vk} ——地面车辆轮压传递到管顶处的竖向压力标准值 (N/mm^2);
 F_{vk} ——管内真空压力标准值 (N/mm^2);
 ν_p ——管材的泊桑比;
 ν_s ——管侧回填土的泊桑比;
 D_0 ——管道的计算直径 (mm), 可取管壁中线距离;
 n ——管壁失稳时的折皱波数, 其取值应使 $F_{cr,k}$ 为最小值, 并为等于、大于 2.0 的整数。

4.2.13 对非整体连接的管道, 在其敷设方向改变处, 应作抗滑稳定验算。抗滑稳定应按下列规定验算:

- 1 对各项作用均取标准值计算;
- 2 对稳定有利的作用, 只计入永久作用 (包括由永久作用形成的摩阻力);
- 3 对沿滑动方向一侧的土压力可按被动土压力计算;
- 4 抗滑验算的稳定性抗力系数不应小于 1.5。

4.2.14 被动土压力标准值可按下式计算:

$$F_{pk} = \gamma_s z \cdot \lg^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (4.2.14)$$

式中 φ ——土的内摩擦角, 应根据试验确定, 当无试验数据时, 可取 30° 计算。

4.3 正常使用极限状态验算规定

4.3.1 管道结构的正常使用极限状态计算, 应包括变形、抗裂度和裂缝开展宽度, 并应控制其计算值不超过相应的限定值。

4.3.2 柔性管道的变形允许值, 应符合下列要求:

- 1 采用水泥砂浆等刚性材料作为防腐内衬的金属管道, 在组合作用下的最大竖向变形不应超过 $0.02 \sim 0.03 D_0$;
- 2 采用延性良好的防腐涂料作为内衬的金属管道, 在组合作用下的最大竖向变形不应超过 $0.03 \sim 0.04 D_0$;
- 3 化学建材管道, 在组合作用下的最大竖向变形不应超过 $0.05 D_0$ 。

4.3.3 对于刚性管道, 其钢筋混凝土结构构件在组合作用下, 计算截面的受力状态处于受弯、大偏心受压或受拉时, 截面允许出现的最大裂缝宽度, 不应大于 $0.2mm$ 。

4.3.4 对于刚性管道, 其混凝土结构构件在组合作用下, 计算截面的受力状态处于轴心受拉或小偏心受拉时, 截面设计应按不允许裂缝出现控制。

4.3.5 结构构件按正常使用极限状态验算时, 作用效应均采用作用代表值计算。

4.3.6 对混凝土结构构件截面按控制裂缝出现设计

时, 应按短期效应的标准组合作用计算。作用效应的标准组合设计值, 应按下式确定:

$$S_d = \sum_{i=1}^m G_{Gi} G_{ik} + C_{Qi} Q_{1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n C_{Qj} Q_{jk} \quad (4.3.6)$$

4.3.7 对钢筋混凝土结构构件的裂缝展开宽度, 应按准永久组合作用计算。作用效应的准永久组合设计值, 应按下式确定:

$$S_d = \sum_{i=1}^m G_{Gi} G_{ik} + \sum_{j=1}^n C_{Qj} \psi_{Qj} Q_{jk} \quad (4.3.7)$$

式中 ψ_{Qj} ——相应 j 项可变作用的准永久值系数, 应按本规范 3.3 的有关规定采用。

4.3.8 对柔性管道在组合作用下的变形, 应按准永久组合作用计算, 并应按下式计算其变形量:

$$w_{d,max} = D_l \frac{K_d r_0^3 (F_{sv,k} + 2\psi_q q_{vk} r_0)}{E_p I_p + 0.061 E_s r_0^3} \quad (4.3.8)$$

式中 $w_{d,max}$ ——管道在组合作用下的最大竖向变形 (mm), 应符合 4.3.2 的要求;

D_l ——变形滞后效应系数, 可取 $1.00 \sim 1.50$ 计算;

K_d ——管道变形系数, 应按管的敷设基础中心角确定; 对土弧基础, 当中心角为 90° 、 120° 时, 分别可采用 0.096 、 0.089 ;

$F_{sv,k}$ ——每延长米管道上管顶的竖向土压力标准值 (kN/mm), 可按附录 B 计算;

q_{vk} ——地面车辆轮压传递到管顶处的竖向压力标准值 (kN/mm), 可按附录 C 计算;

I_p ——管壁的单位长度截面惯性矩 (mm^4/mm)。

4.3.9 对刚性管道, 其钢筋混凝土构件在标准组合作用下的截面控制裂缝出现计算, 应按下列规定计算:

1 当计算截面处于轴心受拉状态时, 应满足下式要求:

$$\frac{N_k}{A_0} \leq \alpha_{ct} \cdot f_{tk} \quad (4.3.9-1)$$

式中 N_k ——在标准组合作用下计算截面上的轴向力 (N);

A_0 ——计算截面的换算截面积 (mm^2);

f_{tk} ——构件混凝土的抗拉强度标准值 (N/mm^2), 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定确定;

α_{ct} ——混凝土拉应力限制系数, 可取 0.87 。

2 当计算截面处于小偏心受拉状态时, 应满足下式要求:

$$N_k \left(\frac{e_0}{\gamma W_0} + \frac{1}{A_0} \right) \leq \alpha_{ct} f_{tk} \quad (4.3.9-2)$$

式中 e_y ——计算截面上的轴向力对截面重心的偏心距 (mm);

W_y ——换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩 (mm^3);

γ ——计算截面受拉区混凝土的塑性影响系数, 对矩形截面可取 1.75。

4.3.10 对预应力混凝土结构的管道, 在标准组合作用下的控制裂缝出现计算, 应满足下式要求:

$$\alpha_{cp}\sigma_{sk} - \sigma_{pc} \leq \alpha_{ct}f_{tk} \quad (4.3.10)$$

式中 σ_{sk} ——在标准组合作用下, 计算截面上的边缘最大拉应力 (N/mm^2);

σ_{pc} ——扣除全部预应力损失后, 计算截面上的预压应力 (N/mm^2);

α_{cp} ——预压效应系数, 可取 1.25。

4.3.11 对刚性管道, 其钢筋混凝土结构构件在准永久组合作用下, 计算截面处于受弯、大偏心受压或大偏心受拉状态时, 最大裂缝宽度可按附录 D 计算, 并应符合 4.3.3 的要求。

5 基本构造要求

5.0.1 对圆形管道的接口宜采用柔性连接。当条件限制时, 管道沿线应根据地基土质情况适当配置柔性连接接口。对敷设在地震区的管道, 应根据相应的抗震设计规范要求执行。

5.0.2 对现浇钢筋混凝土矩形管道、混合结构矩形管道, 沿线应设置变形缝。变形缝应贯通全截面, 缝距不宜超过 25m; 缝处应设置防水措施 (例如止水带、密封材料)。

注: 当积累可靠实践经验, 在混凝土配制及养护等方面具有相应的技术措施时, 变形缝间距可适当加大。

5.0.3 对预应力混凝土圆管, 应施加纵向预加应力, 其值不应低于相应环向有效预压应力的 20%。

5.0.4 现浇钢筋混凝土管道和混合结构管道中的钢筋混凝土构件, 其各部位受力钢筋的净保护层厚度, 不应小于表 5.0.4 的规定。

表 5.0.4 钢筋的净保护层最小厚度 (mm)

管道类别	构件类别 钢筋部位	顶板		侧壁		底板	
		上层	下层	内侧	外侧	上层	下层
给水、雨水		30	30	30	30	30	40
污水、合流		30	40	40	35	40	40

注: 1 底板下应设有混凝土垫层;
2 当地下水有侵蚀性时, 顶板上层及侧壁外侧筋的净保护层厚度尚应按侵蚀等级予以加厚;
3 构件内分布钢筋的混凝土净保护层厚度不应小于 20mm。

5.0.5 对于厂制成品的钢筋混凝土或预应力混凝土圆管, 其钢筋的净保护层厚度, 当壁厚为 8~100mm 时不应小于 12mm; 当壁厚大于 100mm 时不应小于 20mm。

5.0.6 对矩形管道的钢筋混凝土构件, 其纵向钢筋的总配筋量不宜低于 0.3% 的配筋率。当位于软弱地基上时, 其顶、底板纵向钢筋的配筋量尚应适当增加。

5.0.7 对矩形钢筋混凝土压力管道, 顶、底板与侧墙连接处应设置腋角, 并配置与受力筋相同直径的斜筋, 斜筋的截面面积可为受力钢筋的截面面积的 50%。

5.0.8 管道各部位的现浇钢筋混凝土构件, 其混凝土抗渗性能应符合表 5.0.8 要求的抗渗等级。

表 5.0.8 混凝土抗渗等级

最大作用水头与构件厚度比值 i_w	<10	10~30	>30
混凝土抗渗等级 S_i	S4	S6	S8

注: 抗渗标号 S_i 的定义系指龄期为 28d 的混凝土试件, 施加 $i \times 10^2 \text{kPa}$ 水压后满足不渗水指标。

5.0.9 厂制混凝土压力管道的抗渗性能, 应满足在设计内水压力作用下不渗水。

5.0.10 砌体结构的抗渗, 应设置可靠的构造措施满足在使用条件下不渗水。

5.0.11 在最冷月平均气温低于 -3°C 的地区, 露明敷设的管道和排水管道的进、出口处不少于 10m 长度的管道结构, 不得采用粘土砖砌体。

5.0.12 在最冷月平均气温低于 -3°C 的地区, 露明的钢筋混凝土管道应具有良好的抗冻性能, 其混凝土的抗冻等级不应低于 F200。

注: 混凝土的抗冻等级 F_i , 系指龄期为 28 天的混凝土试件经冻融循环 i 次作用后, 其强度降低不超过 25%, 重量损失不超过 5%。冻融循环次数系指从 $+3^\circ\text{C}$ 以上降低 -3°C 以下, 然后回升至 $+3^\circ\text{C}$ 以上的交替次数。

5.0.13 混凝土中的碱含量最大限值, 应符合《混凝土碱含量限值标准》CECS53 的规定。

5.0.14 钢管管壁的设计厚度, 应根据计算需要的厚度另加腐蚀构造厚度。此项构造厚度不应小于 2mm。

5.0.15 铸铁管的设计壁厚应按下式采用:

$$t = 0.975t_p - 1.5 \quad (5.0.15)$$

式中 t ——设计壁厚 (mm);

t_p ——铸铁管的产品壁厚 (mm)。

5.0.16 埋地管道的回填土应予压实, 其压实系数 λ_c 应符合下列规定:

1 对圆形柔性管道弧形土基敷设时, 管底垫层的压实系数应根据设计要求采用, 控制在 85%~

90%；相应管两侧（包括腋部）的压实系数不应低于90%~95%。

2 对圆形刚性管道和矩形管道，其两侧回填土的压实系数不应低于90%。

3 对管顶以上的回填土，其压实系数应根据地面要求确定；当修筑道路时，应满足路基的要求。

附录 A 管侧回填土的综合变形模量

A.0.1 管侧土的综合变形模量应根据管侧回填土的土质、压实密度和基槽两侧原状土的土质，综合评价确定。

A.0.2 管侧土的综合变形模量 E_d 可按下列公式计算：

$$E_d = \zeta \cdot E_c \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$\zeta = \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2 \left(\frac{E_c}{E_n} \right)} \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中 E_c ——管侧回填土在要求压实密度时相应的变形模量(MPa),应根据试验确定；当缺乏试验数据时，可参照表 A.0.2-1 采用；

E_n ——基槽两侧原状土的变形模量 (MPa),应根据试验确定；与缺乏试验数据时，可参照表 A.0.2-1 采用；

ζ ——综合修正系数；

α_1 、 α_2 ——与 B_r (管中心处槽宽) 和 D_1 (管外径) 的比值有关的计算参数，可按表 A.0.2-2 确定。

表 A.0.2-1 管侧回填土和槽侧原状土的变形模量 (MPa)

回填土压实系数 (%)	85	90	95	100
	4 < N ≤ 14	14 < N ≤ 24	24 < N ≤ 50	> 50
原状土标准贯入锤击数 $N_{63.5}$				
土的类别				
砾石、碎石	5	7	10	20
砂砾、砂卵石、细粒土含量不大于 12%	3	5	7	14
砂砾、砂卵石、细粒土含量大于 12%	1	3	5	10
粘性土或粉土 ($W_L < 50\%$) 砂粒含量大于 25%	1	3	5	10

续表

回填土压实系数 (%)	85	90	95	100
	4 < N ≤ 14	14 < N ≤ 24	24 < N ≤ 50	> 50
原状土标准贯入锤击数 $N_{63.5}$				
土的类别				
粘性土或粉土 ($W_L < 50\%$) 砂粒含量小于 25%		1	3	7

注：1 表中数值适用于 10m 以内覆土，对覆土超过 10m 时，上表数值偏低；
2 回填土的变形模量 E_c 可按要求的压实系数采用；表中的压实系数 (%) 系指设计要求回填土压实后的干密度与该土在相同压实能量下的最大干密度的比值；
3 基槽两侧原状土的变形模量 E_n 可按标准贯入度试验的锤击数确定；
4 W_L 为粘性土的液限；
5 细粘土系指粒径小于 0.075mm 的土；
6 砂粒系指粒径为 0.075~2.0mm 的土。

表 A.0.2-2 计算参数 α_1 及 α_2

$\frac{B_r}{D_1}$	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
α_1	0.252	0.435	0.572	0.680	0.838	0.948
α_2	0.748	0.565	0.428	0.320	0.162	0.052

A.0.3 对于埋地式敷设的管道，当 $\frac{B_r}{D_1} > 5$ 时，应取 $\zeta = 1.0$ 计算。此时 B_r 应为管中心处按设计要求达到的压实密度的填土宽度。

附录 B 管顶竖向土压力标准值的确定

B.0.1 埋地管道的管顶竖向土压力标准值，应根据管道的敷设条件和施工方法分别计算确定。

B.0.2 对埋设在地面下的刚性管道，管顶竖向土压力可按下列规定计算：

1 当设计地面高于原状地面，管顶竖向土压力标准值应按下列公式计算：

$$F_{sv,k} = C_c \gamma_s H_s B_c \quad (\text{B.0.2-1})$$

式中 $F_{sv,k}$ ——每延长米管道上管顶的竖向土压力标准值 (kN/m)；

C_c ——埋地式土压力系数，与 $\frac{H_s}{B_c}$ 、管底地基土及回填土的力学性能有关，一般可取 1.20~1.40 计算；

γ_s ——回填土的重力密度 (kN/m³)；

H_s ——管顶至设计地面的覆土高度 (m)；

B_c ——管道的外缘宽度 (m)，当为圆管时，应以管外径 D_1 替代。

2 对由设计地面开槽施工的管道,管顶竖向土压力标准值可按下式计算:

$$F_{sv,k} = C_d \gamma_s H_s B_c \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中 C_d ——开槽施工土压力系数,与开槽宽有关,一般可取 1.2 计算。

B.0.3 对不开槽、顶进施工的管道,管顶竖向土压力标准值可按下式计算:

$$F_{sv,k} = C_j \gamma_s B_i D_1 \quad (\text{B.0.3-1})$$

$$B_i = D_1 \left[1 + \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (\text{B.0.3-2})$$

$$C_j = \frac{1 - \exp \left(-2K_a \mu \frac{H_s}{B_i} \right)}{2K_a \mu} \quad (\text{B.0.3-3})$$

式中 C_j ——不开槽施工土压力系数;

B_i ——管顶上部土层压力传递至管顶处的影响宽度 (m);

$K_a \mu$ ——管顶以上原状土的主动土压力系数和内摩擦系数的乘积,对一般土质条件可取 $K_a \mu = 0.19$ 计算;

φ ——管侧土的内摩擦角,如无试验数据时可取 $\varphi = 30^\circ$ 计算。

B.0.4 对开槽敷设的埋地柔性管道,管顶的竖向土压力标准值应按下式计算:

$$W_{ck} = \gamma_s H_s D_1 \quad (\text{B.0.2-4})$$

附录 C 地面车辆荷载对管道作用标准值的计算方法

C.0.1 地面车辆荷载对管道上的作用,包括地面行驶的各种车辆,其载重等级、规格型式应根据地面运行要求确定。

C.0.2 地面车辆荷载传递到埋地管道顶部的竖向压力标准值,可按下列方法确定:

1 单个轮压传递到管道顶部的竖向压力标准值可按下式计算 (图 C.0.2-1):

$$q_{vk} = \frac{\mu_d Q_{vi,k}}{(a_i + 1.4H)(b_i + 1.4H)} \quad (\text{C.0.2-1})$$

式中 q_{vk} ——轮压传递到管顶处的竖向压力标准值 (kN/m^2);

$Q_{vi,k}$ ——车辆的 i 个车轮承担的单个轮压标准值 (kN);

a_i —— i 个车轮的着地分布长度 (m);

b_i —— i 个车轮的着地分布宽度 (m);

H ——自车行地面至管顶的深度 (m);

μ_d ——动力系数,可按表 (C.0.2) 采用。

2 两个以上单排轮压综合影响传递到管道顶部

的竖向压力标准值,可按下式计算 (图 C.0.2-2):

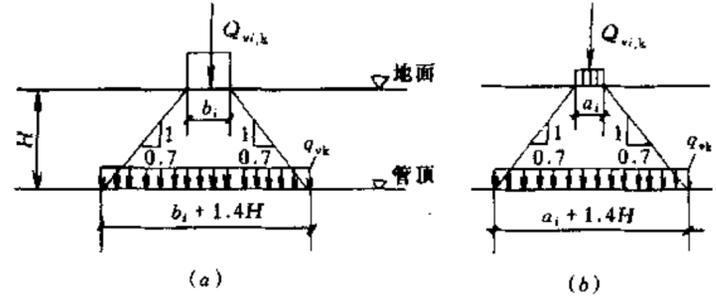


图 C.0.2-1 单个轮压的传递分布图

(a) 顺轮胎着地宽度的分布;

(b) 顺轮胎着地长度的分布

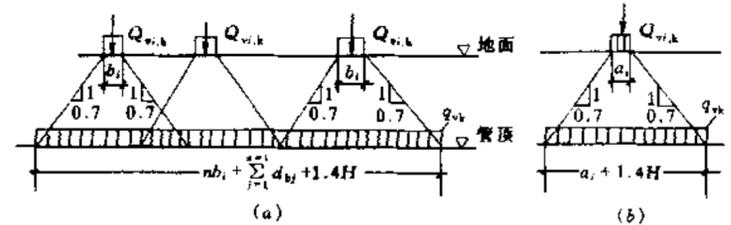


图 C.0.2-2 两个以上单排轮压综合影响的传递分布图

(a) 顺轮胎着地宽度的分布;

(b) 顺轮胎着地长度的分布

$$q_{vk} = \frac{\mu_d n Q_{vi,k}}{(a_i + 1.4H) \left(nb_i + \sum_{j=1}^{n-1} d_{bj} + 1.4H \right)} \quad (\text{C.0.2-2})$$

式中 n ——车轮的总数量;

d_{bj} ——沿车轮着地分布宽度方向,相邻两个车轮间的净距 (m)。

表 C.0.2 动力系数 μ_D

地面在管顶(m)	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	≥ 0.70
动力系数 μ_D	1.30	1.25	1.20	1.15	1.05	1.00

3 多排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值,可按下式计算:

$$q_{vk} = \frac{\mu_d \sum_{i=1}^n Q_{vi,k}}{\left(\sum_{i=1}^{m_a} a_i + \sum_{j=1}^{m_a-1} d_{aj} + 1.4H \right) \left(\sum_{i=1}^{m_b} b_i + \sum_{j=1}^{m_b-1} d_{bj} + 1.4H \right)} \quad (\text{B.0.2.3})$$

式中 m_a ——沿车轮着地分布宽度方向的车轮排数;

m_b ——沿车轮着地分布长度方向的车轮排数;

d_{aj} ——沿车轮着地分布长度方向,相邻两个车轮间的净距 (m)。

C.0.3 当刚性管道为整体式结构时,地面车辆荷载的影响应考虑结构的整体作用,此时作用在管道上的竖向压力标准值可按下式计算 (图 C.0.3):

$$q_{ve,k} = q_{vk} \frac{L_p}{L_c} \quad (\text{C.0.3})$$

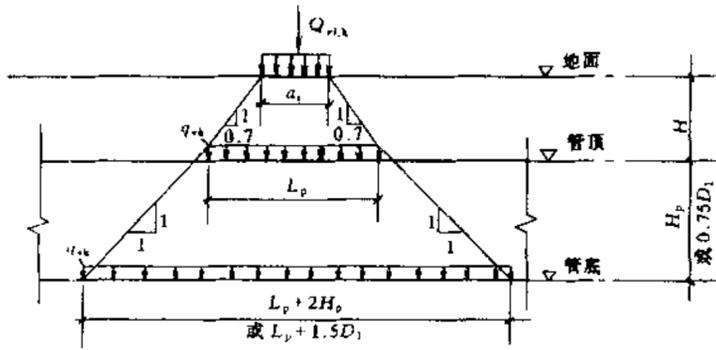


图 C.0.3 考虑结构整体作用时
车辆荷载的竖向压力传递分布

式中 q_{vk} ——考虑管道整体作用时管道上的竖向压力 (kN/m²);

L_p ——轮压传递到管顶处沿管道纵向的影响长度 (m);

L_e ——管道纵向承受轮压影响的有效长度 (m), 对圆形管道可取 $L_e = L_p + 1.5D_1$; 对矩形管道可取 $L_e = L_p + 2H_p$, H_p 为管道高度 (m)。

C.0.4 当地面设有刚性混凝土路面时, 一般可不计地面车辆轮压对下部埋设管道的影响, 但应计算路基施工时运料车辆和碾压机械的轮压作用影响, 计算公式同 (C.0.2-1) 或 (C.0.2-2)。

C.0.5 地面运行车辆的载重、车轮布局、运行排列等规定, 应按行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTJ021 的规定采用。

附录 D 钢筋混凝土矩形截面处于 受弯或大偏心受拉 (压) 状态时的 最大裂缝宽度计算

D.0.1 受弯、大偏心受拉或受压构件的最大裂缝宽度, 可按下列公式计算:

$$w_{\max} = 1.8\psi \frac{\sigma_{sq}}{E_s} \left(1.5c + 0.11 \frac{d}{\rho_{te}} \right) (1 + \alpha_1) \cdot \nu \quad (\text{D.0.1-1})$$

$$\psi = 1.1 - \frac{0.65f_{tk}}{\rho_{te}\sigma_{sq}\alpha_2} \quad (\text{D.0.1-2})$$

式中 w_{\max} ——最大裂缝宽度 (mm);

ψ ——裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数, 当 $\psi < 0.4$ 时, 应取 0.4; 当 $\psi > 1.0$ 时, 应取 1.0;

σ_{sq} ——按长期效应准永久组合作用计算的截面纵向受拉钢筋应力 (N/mm²);

E_s ——钢筋的弹性模量 (N/mm²);

c ——最外层纵向受拉钢筋的混凝土净保护层厚度 (mm);

d ——纵向受拉钢筋直径 (mm); 当采用不同直径的钢筋时, 应取 $d = \frac{4A_s}{u}$; u 为纵向受拉钢筋截面的总周长 (mm);

ρ_{te} ——以有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率, 即 $\rho_{te} = \frac{A_s}{0.5bh}$; b 为截面计算宽度, h 为截面计算高度; A_s 为受拉钢筋的截面面积 (mm²), 对偏心受拉构件应取偏心力一侧的钢筋截面面积;

α_1 ——系数, 对受弯、大偏心受压构件可取 $\alpha_1 = 0$; 对大偏心受拉构件可取 $\alpha_1 =$

$$0.28 \left[\frac{1}{1 + \frac{2e_0}{h_0}} \right];$$

ν ——纵向受拉钢筋表面特征系数, 对光面钢筋应取 1.0; 对变形钢筋应取 0.7;

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值 (N/mm²);

$$\alpha_2 \text{——系数, 对受弯构件可取 } \alpha_2 = 1.0; \text{ 对大偏心受压构件可取 } \alpha_2 = 1 - 0.2 \frac{h_0}{e_0}; \text{ 对大偏心受拉构件可取 } \alpha_2 = 1 + 0.35 \frac{h_0}{e_0}。$$

α_2 ——系数, 对受弯构件可取 $\alpha_2 = 1.0$; 对大偏心受压构件可取 $\alpha_2 = 1 - 0.2 \frac{h_0}{e_0}$; 对大偏心受拉构件可取 $\alpha_2 = 1 + 0.35 \frac{h_0}{e_0}$ 。

α_2 ——系数, 对受弯构件可取 $\alpha_2 = 1.0$; 对大偏心受压构件可取 $\alpha_2 = 1 - 0.2 \frac{h_0}{e_0}$; 对大偏心受拉构件可取 $\alpha_2 = 1 + 0.35 \frac{h_0}{e_0}$ 。

α_2 ——系数, 对受弯构件可取 $\alpha_2 = 1.0$; 对大偏心受压构件可取 $\alpha_2 = 1 - 0.2 \frac{h_0}{e_0}$; 对大偏心受拉构件可取 $\alpha_2 = 1 + 0.35 \frac{h_0}{e_0}$ 。

α_2 ——系数, 对受弯构件可取 $\alpha_2 = 1.0$; 对大偏心受压构件可取 $\alpha_2 = 1 - 0.2 \frac{h_0}{e_0}$; 对大偏心受拉构件可取 $\alpha_2 = 1 + 0.35 \frac{h_0}{e_0}$ 。

D.0.2 受弯、大偏心受压、大偏心受拉构件的计算截面纵向受拉钢筋应力 σ_{sq} , 可按下列公式计算:

1 受弯构件的纵向受拉钢筋应力

$$\sigma_{sq} = \frac{M_q}{0.87A_s h_0} \quad (\text{A.0.2-1})$$

式中 M_q ——在长期效应准永久组合作用下, 计算截面处的弯矩 (N·mm);

h_0 ——计算截面的有效高度 (mm)。

2 大偏心受压构件的纵向受拉钢筋应力

$$\sigma_{sq} = \frac{M_q - 0.35N_q(h_0 - 0.3e_0)}{0.87A_s h_0} \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中 N_q ——在长期效应准永久组合作用下, 计算截面上的纵向力 (N);

e_0 ——纵向力对截面重心的偏心距 (mm)。

3 大偏心受拉构件的纵向钢筋应力

$$\sigma_{sq} = \frac{M_q + 0.5N_q(h_0 - a')}{A_s(h_0 - a')} \quad (\text{A.0.2-3})$$

式中 a' ——位于偏心力一侧的钢筋至截面近侧边缘的距离 (mm)。

附录 E 本规范用词说明

B.0.1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”。

B.0.2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……规定”。