

给水排水工程 结构设计手册（第二版）

《给水排水工程结构设计手册》编委会 编

中国建筑工业出版社

给水排水工程结构设计手册

(第二版)

《给水排水工程结构设计手册》编委会 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

给水排水工程结构设计手册/《给水排水工程结构设计手册》编委会编. --2版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2006

ISBN 978-7-112-08807-2

I. 给... II. 给... III. ①给水工程-结构设计-技术手册②排水工程-结构设计-技术手册 IV. TU991.02-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 133146 号

责任编辑: 丁洪良

责任设计: 董建平

责任校对: 王 侠 张 虹

给水排水工程结构设计手册

(第二版)

《给水排水工程结构设计手册》编委会 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 96 字数: 2400 千字

2007 年 1 月第二版 2007 年 1 月第三次印刷

印数: 56941—60940 册 定价: 150.00 元

ISBN 978-7-112-08807-2

(15471)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

《给水排水工程结构设计手册》自 1984 年出版后，受到工程界广泛的欢迎，成为相关领域工程设计人员广为应用的有力工具，至今已达 20 多年。在此期间，我国有关工程结构设计的模式已有了转换，根据 1992 年颁布的《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153-92，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，替代以往采用的单一安全系数极限状态设计方法；同时还针对给水排水工程中各类结构的特点，制定了系列标准（由建设部颁发的通用标准和由中国工程建设标准化协会颁发的专用标准）。据此，对原手册进行了全面的修编。

修编的手册内容，除涵盖了原手册涉及的各类结构外，增加了“给水排水工程结构设计基本规定”，作为第一篇，阐述了给水排水工程结构的特征和相应已颁发的结构设计系列标准；说明了各类结构设计中的共性要求（承载力和耐久性措施等）；介绍了各类作用（永久作用、可变作用的标准值、组合值、准永久值等）的计算确定和具体应用。同时，结合 20 年来的工程实践，增补了无粘结预应力在盛水构筑物的应用、卵形消化池的结构设计等。并基于工程应用需要扩展了若干内力计算图表和各种材质的管道结构设计内容，使之更贴近当前工程实践的应用。

本手册的每一篇内仍附有典型结构的算例。当前工程设计中，结构计算多应用计算机软件进行，但实际上尚无针对性良好的专用软件，为此算例仍以解析解给出，可供校核，确保结构设计无误。

本手册的编写组织以原手册编制单位为基础，结合给水排水工程结构设计系列标准的参编人员，组成了编委会：

主编：沈世杰（北京市市政工程设计研究总院）

编委（以姓氏笔画排序）：

王大龄（上海市政工程设计研究院）

王长祥（中国市政工程华北设计研究院）

刘雨生（北京市市政工程设计研究总院）

苏发怀（中国市政工程西北设计研究院）

宋绍先（中铁工程设计咨询集团有限公司）

钟启承（北京市市政工程设计研究总院）

郭天木（中国市政工程西南设计研究院）

潘家多（北京市市政工程设计研究总院）

薛晓荣（中国市政工程中南设计研究院）

手册各篇、章的具体编写人员如下：

第 1 篇—除 1.1、1.2 章（沈世杰）外，其他章：王大龄、王恒栋、沈晔、卫丹、毛炜；尚有王金、张英新、曾磊、朱莺凤、蒋玲玲、李春波参加了部分工作；

第 2 篇—王大龄、王恒栋、沈晔、卫丹、毛炜；

第 3 篇—苏发怀、樊锦仁、孙于宁；

第 4 篇—4.1 章：齐庆春、陈文华、万启泰、范毅雄；

4.2 章：燕君穆、赵雄、冯龙度、万启泰、薛晓荣；

4.3 章：刘湘云、范毅雄、赵莉、赵雄；

第 5 篇—郭天木、王水华、汪德全；

王长祥、温小英、刘迎焕；

第6篇—葛春辉、王荣文、马骏、王大龄、李春波、彭夏军、孙磊；

第7篇—宋绍先、衣学波、何迅；

第8篇—8.1~8.3章：潘家多；

8.4~8.6章：刘雨生、宋奇叵、李琛彧；

8.7章：沈世杰、翟荣申；

8.8~8.9章：钟启承；

第9篇—沈世杰。

本手册的内容涉及众多标准规范、文献资料，在编辑中难免存在偏颇，诚请读者多提宝贵意见，以期再版时得以修正，进一步完善。另外，在手册编写过程中，获得中国建筑工业出版社和各编委单位的大力支持和鼓励，谨此一并致谢。

目 录

第 1 篇 结构设计基本规定和常用资料	1
1.1 设计标准	1
1.2 结构上的作用	9
1.3 材料的物理力学指标	28
1.4 场地、地基	116
1.5 变形缝和施工缝（后浇带）	176
1.6 水下施工	184
1.7 不开槽施工	192
1.8 常用资料	215
第 2 篇 常用构件的计算表（含内力分析和截面设计）	231
2.1 计量单位	231
2.2 静力计算	232
2.3 结构构件设计	527
第 3 篇 矩形水池	805
3.1 常用结构形式	805
3.2 敞口水池	808
3.3 有盖水池	842
3.4 多格水池	848
3.5 双层水池	871
3.6 带斗底矩形水池	873
3.7 综合算例	890
第 4 篇 圆形水池	926
4.1 钢筋混凝土圆形水池结构设计	926
4.2 预应力混凝土圆形水池结构设计	968
4.3 算例	994
第 5 篇 取水头部及泵房	1038
5.1 取水头部常用结构形式	1038
5.2 取水头部设计要点	1043
5.3 取水头部结构计算与构造	1055
5.4 取水头部附属设施	1072
5.5 水下施工提要	1078
5.6 泵房概述	1079
5.7 泵房结构上的作用及设计资料	1084

5.8	泵房稳定验算和地基承载力计算	1087
5.9	泵房内力分析	1091
5.10	泵房构造	1125
5.11	泵房算例	1131
5.12	附表	1192
第 6 篇	沉井	1197
6.1	沉井的分类及在给水排水工程中的应用	1197
6.2	设计要点	1198
6.3	沉井计算	1200
6.4	构造要求	1214
6.5	设计例题	1218
第 7 篇	水塔	1241
7.1	水塔分类与结构形式	1241
7.2	水塔的附属设施和设备	1246
7.3	结构上的作用 (荷载)	1248
7.4	基本规定	1253
7.5	基本构造	1255
7.6	水箱计算	1259
7.7	支承结构计算	1289
7.8	地基基础计算	1310
7.9	地基处理	1328
第 8 篇	管道	1329
8.1	管道工程结构分类及应用	1329
8.2	埋地给水排水管道结构上的作用	1340
8.3	管道结构的设计计算及连接构造	1346
8.4	钢管、铸铁管	1364
8.5	预应力混凝土管	1380
8.6	塑料管	1401
8.7	预制混凝土圆管	1430
8.8	埋地钢筋混凝土结构矩形管道	1437
8.9	埋地混合结构矩形管道	1490
第 9 篇	抗震设计	1498
9.1	设计原则和基本规定	1498
9.2	场地、地基和基础	1501
9.3	水池	1505
9.4	水塔	1516
9.5	泵房	1520
9.6	管道	1523
9.7	管道算例	1527

第 1 篇 结构设计基本规定和常用资料

1.1 设计标准

1.1.1 给水排水工程结构涵盖的内容

(1) 给水工程中的各种取水构筑物和污水处理厂内的各类构筑物。后者包括给水水质净化和污水处理厂内的各类水池：沉淀池、曝气池、消化池、清水池、调蓄池、水塔等。在结构形式上有圆形、矩形；敞口、有盖；平底、锥底、穹底等。在施工方式上也可采用不开槽的沉井结构。

(2) 各种管材的地下管道。包括钢管、铸铁管（灰口铸铁、球墨铸铁、铸态球铁）、混凝土（含钢筋混凝土）圆管、预应力混凝土圆管（管芯缠丝、振动挤压、预应力钢筒混凝土——PCCP）、钢筋混凝土盾构、矩形管道（含混合结构）、各种化学管材管道（硬塑管 UPVC、玻璃钢管 FRP、GRP、PE 管等）。在施工方式上可分为开槽敷设和不开槽顶进或掘进。

(3) 自承式架空管道，通常采用钢管，结构形式可分为平直管、拱形管、折线形管等。

1.1.2 结构特征

给水排水工程的结构特征，主要可综合以下特征：

(1) 结构均由板、壳构件组成——单、双向受力板（含变截面）、圆柱壳、圆锥壳、拱壳及其组合壳体等。

(2) 结构可以露明在地面以上，建造于地下和半地下式，因此结构主要承受的作用为水压力（内部水压或外部地下水）、土压力、温湿度作用、地面车辆轮压或堆积荷载、流水压力、融冰压力（对位于河道内或岸边的取水构筑物）、预加应力（对预应力结构）、地基不均匀沉降的影响等。

(3) 水质净化处理厂内盛水构筑物，容量可以在万吨以上，甚至 10 万吨以上，因此对混凝土壁板浇筑成型过程中的早期温度变化和地基不均匀沉降导致结构受力的影响，需要特别加以关注。

1.1.3 结构设计依据的标准（含规范、规程）

根据给水排水工程结构的特征，设计的合理使用年限达到 50 年，结构设计应依据下列标准（含规范、规程）执行：

(1) 有关构筑物的设计规范、规程

1) 通用标准

《给水排水工程构筑物结构设计规范》GB 50069—2002。

2) 专用标准

(A) 《给水排水工程沉井结构设计规程》CECS137：2002；

(B) 《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》CECS138：2002；

(C) 《给水排水工程水塔结构设计规程》CECS139：2002；

(D) 《混凝土水池软弱地基处理设计规程》CECS86：96；

(E) 《给水排水工程混凝土构筑物变形缝设计规程》CECS117：2000。

(2) 有关管道结构的设计规范、规程

1) 通用标准

《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332—2002。

2) 专用标准

(A) 《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设计规程》CECS 140: 2002;

(B) 《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》CECS141: 2002;

(C) 《给水排水工程埋地铸铁管管道结构设计规程》CECS142: 2002;

(D) 《给水排水工程埋地预制混凝土圆形管管道结构设计规程》CECS143: 2002;

(E) 《给水排水工程埋地矩形管管道结构设计规程》CECS145: 2002;

(F) 《埋地钢管道水泥砂浆衬里技术标准》CECS10: 89;

(G) 《埋地硬聚氯乙烯给水管道工程技术规程》CECS17: 2000;

(H) 《埋地聚乙烯排水管道工程技术规程》CECS164: 2004。

注: 上列标准(含规范、规程)所引用的标准均未列出。

(3) 抗震设计规范:《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》GB 50032—2003。

(4) 按照我国目前的工程建设标准体制, 专用标准通常由中国工程建设标准化协会组织制定, 编号CECS, 属推荐性(即国际上的自愿采用)标准, 本身不具有强制执行性质, 但如果一旦受到引用列入工程项目的招标文件, 则将受到“合同法”的制约, 同样应在设计中贯彻执行。相当于英国的BS标准、美国的ACI、ASCE等技术标准。

1.1.4 结构设计的基本规定

根据1.1.3列出的标准规范的要求, 结构设计应计算两种极限状态: 承载力极限状态和正常使用极限状态, 并符合规范规定的要求。

(1) 按承载力极限状态计算, 包括强度计算和稳定验算两部分。对结构进行强度计算时, 均采用以分项系数的设计表达式; 对结构进行稳定验算时, 以设计稳定性抗力系数来表述其稳定性。

1) 强度计算时应满足下式要求:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1.1.4-1)$$

式中 γ_0 ——结构的重要性系数, 通常对给水排水工程的结构可取1.0; 但对城市的给水输水管道, 如单线敷设且无调蓄设施时, 应取1.10; 对雨水管道可适当降低, 取0.9计算;

S ——作用效应的基本组合设计值, 即

$$S = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} C_{Gi} G_{ik} + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} C_{Qj} Q_{jk} \quad (1.1.4-2)$$

式中 G_{ik} ——第*i*项永久作用标准值;

C_{Gi} ——第*i*项永久作用的作用效应系数;

γ_{Gi} ——第*i*项永久作用的分项系数, 对结构自重取1.20, 其他永久作用取1.27; 当结构有利时均取1.0计算;

m ——永久作用的项数;

Q_{1k} 、 Q_{jk} ——第1项、第*j*项可变作用的标准值;

C_{Q1} 、 C_{Qj} ——第1项、第*j*项可变作用的作用效应系数;

γ_{Q1} 、 γ_{Qj} ——第1项、第*j*项可变作用的作用分项系数; 对地下水作用应作为第1项可变作用, 分项系数取1.27; 其他作用分项系数取1.40;

n ——可变作用项数;

ψ_c ——可变作用的组合系数, 可取0.90计算;

R ——结构的抗力强度计算值,应按《混凝土结构设计规范》GB 50010、《砌体结构设计规范》GB 50003、《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用。

2) 稳定验算应分别满足下列要求:

(A) 上浮

$$\sum_{i=1}^m G_{ik} / q_{fw,k} \cdot A_F \geq K_{sb} \quad (1.1.4-3)$$

式中 $q_{fw,k}$ ——基底水压力标准值;

A_F ——基础底面积;

K_{sb} ——抗浮稳定性抗力系数,对构筑物不应小于 1.05;对管道不应小于 1.10。

(B) 沿基底滑动

$$\frac{\sum_{i=1}^m G_{ih,k} + \sum_{j=1}^n Q_{jh,k}}{\mu \sum_{i=1}^m G_{iv,k}} \geq K_{sf} \quad (1.1.4-4)$$

式中 $G_{ih,k}$ ——第 i 个永久作用的水平向作用标准值;

$G_{iv,k}$ ——第 i 个永久作用的竖向作用标准值;

$Q_{jh,k}$ ——第 j 个可变作用的水平向作用标准值;

μ ——基底与地基土间的摩擦系数,可按表 1.1.4-1 采用;

K_{sf} ——沿基底滑动时的设计稳定性抗力系数,不应小于 1.30。

基底与地基土间的摩擦系数 μ 值

表 1.1.4-1

地基土类别		μ	地基土类别	μ
黏性土	可塑	0.25~0.30	中、粗、砾砂	0.40~0.50
	硬塑	0.30~0.35	碎石土	0.40~0.60
	坚硬	0.35~0.45	软质岩	0.40~0.60
粉土		0.30~0.40	表面粗糙的硬质岩	0.65~0.75

注:① 对淤泥质黏土可能取 $\mu=0.20\sim0.30$;

② 当满足抗滑需要,把基底做成倾斜面时,应将所有作用换算到倾斜面上的分量进行计算。

(C) 连同地基土深层滑动

验算深层滑动稳定性时,通常可采用圆弧滑动模型,采用瑞典条分法计算,通过验算确定最危险的滑动面上的抗滑稳定性抗力系数,即应满足下式要求:

$$\frac{\sum_{i=1}^m (q_{ik} b_i + g_{si,k}) \cos \alpha_i \tan \varphi_{ik} + \sum_{i=1}^m C_{ik} l_i}{\sum_{i=1}^m (q_{ik} b_i + g_{si,k}) \sin \alpha_i} \geq K_{ss} \quad (1.1.4-5)$$

式中 q_{ik} ——作用在第 i 个土条上作用标准值;

b_i ——第 i 个土条的宽度;

$g_{si,k}$ ——第 i 个土条的自重标准值,对位于水下部分应按土的有效重度计算;

α_i —— i 土条底面中点与滑动圆心连线和垂线间的夹角;

φ_{ik} 、 C_{ik} —— i 土条滑动面处土的内摩擦角和黏聚力,应通过对该土体进行抗剪强度测试确定,其试验条件应与土质、施工加载速度、地基内外水位的变化情况等有关,为安全计算可按快剪方式进行试验确定;

K_{ss} ——深层滑动稳定性抗力系数,不应小于 1.20;

m ——计算时划分的土条数;

l_i —— i 土条在滑动面上的长度。

(D) 对非整体连接的管道,例如由承插连接管子敷设的管道,在敷设方向改变处,应对其在内水压力作用下进行抗滑稳定验算,并应满足下式要求:

$$\frac{\mu \sum_{i=1}^m G_{iv,k} + F_{pk}}{\sum_{i=1}^m G_{ih,k} + \sum_{j=1}^n Q_{jh,k}} \geq K_{sw} \quad (1.1.4-6)$$

式中 $G_{iv,k}$ ——第 i 项永久作用的竖向分量标准值;

$G_{ih,k}$ ——第 i 项永久作用沿滑动方向的水平向分量标准值;

$Q_{jh,k}$ ——第 j 项可变作用沿滑动方向的水平向分量标准值;

F_{pk} ——沿滑动方向一侧的被动土压力,可按朗金公式计算深度 Z 处单位面积上的土压力 $F_{zp,k}$,即:

$$F_{zp,k} = \gamma_s Z \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \cot \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1.1.4-7)$$

此时 C 、 φ 可按固结快剪方式对土进行抗剪试验获得;当无试验数据时,可取当量内摩擦角为 30° (即综合 C 的作用在内) 计算;

K_{sw} ——管道改变方向处的抗滑稳定性抗力系数,不应小于 1.50。

注: 1. 上列抗滑利用土的被动土压力时,施工中不应扰动该土层,应保持土的原状;

2. 当土体形成被动土压力时,产生变形明显,因此为了避免变形过大,应取 $K_{sw} \geq 1.50$ 。

(E) 对水塔等高耸构筑物和位于河、湖等边缘的构筑物,尚应进行抗倾覆稳定验算,并应满足下式要求:

$$\frac{\sum_{i=1}^m M_{is,k}}{\sum_{j=1}^n M_{jt,k}} \geq K_{st} \quad (1.1.4-8)$$

式中 $M_{is,k}$ ——第 i 项作用标准值对构筑物倾倒一侧基底边缘的抗倾力矩;

$M_{jt,k}$ ——第 j 项作用标准值对构筑物倾倒一侧基底边缘的倾覆力矩;

K_{st} ——抗倾覆稳定性抗力系数,不应小于 1.50。

(F) 对埋地柔性管道应计算管壁截面的环向稳定性,并应满足下式要求:

$$\frac{F_{cr,k}}{F_{sv,k}/D_0 + F_{vk} + q_{vk}} \geq K_{sr} \quad (1.1.4-9)$$

$$F_{cr,k} = \frac{2E_p(n^2-1)}{3(1-\nu_p^2)} \left(\frac{t}{D_0} \right)^3 + \frac{E_d}{2(n^2-1)(1+\nu_s)} \quad (1.1.4-10)$$

式中 $F_{cr,k}$ ——管壁截面失稳的临界压力标准值;

$F_{sv,k}$ ——每延米管道上管顶的竖向压力标准值;

F_{vk} ——管内真空压力标准值;

q_{vk} ——地面车辆轮压传递到管顶处的竖向压力标准值;

D_0 ——管道的计算直径,可取管壁中线计算;

t ——管壁厚;

E_p ——管材的弹性模量;

E_d ——管侧土的综合变形模量,即综合考虑了管侧回填土和槽帮原状土变形模量的影响,可按下式确定:

$$E_d = \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2 \left(\frac{E_e}{E_n} \right)} E_e \quad (1.1.4-11)$$

E_c 、 E_n ——管侧回填土在要求压实密度时相应的变形模量、基槽两侧原状土的变形模量，均应通过试验确定（设计规范提供的参考数据，系从安全考虑偏低）；

α_1 、 α_2 ——与管中处槽宽（ B_r ）和管外径（ D_1 ）的比值有关的计算参数，可按表 1.1.4-2 确定；

ν_p ——管材泊松比；

ν_s ——管侧回填土的泊松比；

n ——管壁失稳时的褶皱波数，其取值应使 $F_{cr,k}$ 为最小值，并为等于、大于 2.0 的整数。

计算参数 α_1 及 α_2

表 1.1.4-2

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

注：① 当 B_r/D_1 非整数时，可按插值计算。

② 对填埋式敷设的管道，当按 $B_r/D_1 > 5$ 考虑时，对 B_r 宽度范围内的填土压实密度应符合设计要求。

(2) 对混凝土结构进行按正常使用极限状态设计时，应验算控制结构的变形、裂缝出现或裂缝展开宽度。

1) 当结构构件在组合作用下处于轴心受拉或小偏心受拉时，应对截面进行控制裂缝出现验算，此时应采用按短期效应的标准组合作用，即其作用效应可按式确定：

$$S_d = \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + C_{q1} Q_{1k} + \Psi_C \sum_{j=2}^n C_{Qj} Q_{jk} \quad (1.1.4-12)$$

根据求得的作用效应，对构件截面进行验算。

对轴心受拉构件应满足：

$$\frac{N_k}{A_0} \leq \alpha_{ct} f_{tk} \quad (1.1.4-13)$$

式中 N_k ——在标准组合作用下构件截面上的轴向力标准值；

A_0 ——计算截面的换算截面面积；

f_{tk} ——混凝土的轴心抗拉强度标准值，应按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用，如表 1.1.4-3 所示；

α_{ct} ——混凝土拉应力限制系数，可取 0.87。

注：混凝土拉应力限制系数 α_{ct} 的取值，系根据单一抗裂安全系数为 1.25 通过换算确定。

混凝土轴心抗拉强度标准值（N/mm²）

表 1.1.4-3

抗拉强度	混凝土强度等级					
	C25	C30	C35	C40	C45	C50
f_{tk}	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64

对小偏心受拉构件应满足：

$$N_k \left(\frac{e_0}{\gamma \bar{W}_0} + \frac{1}{A_0} \right) \leq \alpha_{ct} f_{tk} \quad (1.1.4-14)$$

式中 e_0 ——轴向力对截面重心的偏心距；

$\bar{W}_0$ ——构件换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩；

γ ——截面抵抗矩塑性系数，对矩形截面可取 1.75。

2) 当结构构件在组合作用下处于受弯、大偏心受拉或受压时，应对截面进行控制裂缝宽度验算，此时可采用按长期效应的准永久组合作用，其作用效应可按式确定：

$$S_d = \sum_{i=1}^m C_{Gi} G_{ik} + \sum_{j=1}^n C_{Qj} \Psi_{Qj} Q_{jk} \quad (1.1.4-15)$$

式中 Ψ_{Qj} ——第 j 项可变作用的准永久值系数。

(A) 在准永久组合作用下，钢筋混凝土构件矩形截面的最大裂缝宽度 $w_{\max}$ ，可按式计算：

$$w_{\max} = 1.8 \Psi \frac{\sigma_{sq}}{E_s} \left(1.5C + 0.11 \frac{d}{\rho_{te}} \right) (1 + \alpha_1) v \quad (1.1.4-16)$$

$$\Psi = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sq} \alpha_2} \quad (1.1.4-17)$$

式中 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;

E_s ——钢筋的弹性模量;

C ——最外层纵向受拉钢筋的混凝土净保护层厚度;

d ——纵向受拉钢筋直径; 当采用不同直径的钢筋时, 应取 $d = \frac{4A_s}{u}$; A_s 为受拉钢筋的总截面面积, u 为受拉钢筋截面的总周长;

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 为计算高度; 对偏心受拉构件 A_s 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 $\alpha_1 = 0.28 \left[\frac{1}{1 + \frac{2e_0}{h_0}} \right]$;

h_0 为计算截面的有效高度;

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

(B) 在准永久组合作用下, 截面纵向受拉钢筋应力 σ_{sq} 可按下列公式计算:

受弯构件:
$$\sigma_{sq} = \frac{M_q}{0.87 A_s h_0} \quad (1.1.4-18)$$

式中 M_q ——在准永久组合作用下, 计算截面处的弯矩。

大偏心受压构件:
$$\sigma_{sq} = \frac{M_q - 0.35 N_q (h_0 - 0.3e_0)}{0.87 A_s h_0} \quad (1.1.4-19)$$

式中 N_q ——在准永久组合作用下, 计算截面处的纵向力。

大偏心受拉构件:
$$\sigma_{sq} = \frac{M_q + 0.5 N_q (h_0 - a')}{A_s (h_0 - a')} \quad (1.1.4-20)$$

式中 a' ——位于偏心力一侧的钢筋至截面近侧边缘的距离。

(C) 在准永久组合作用下, 受弯构件、大偏心受拉或受压构件截面的计算最大裂缝宽度, 应符合下式要求:

$$w_{\max} \leq [w_{\max}] \quad (1.1.4-21)$$

式中 $[w_{\max}]$ ——钢筋混凝土构筑物、管道的最大裂缝宽度限值, 应满足表 1.1.4-4 的规定。

验算是否符合式 (1.1.4-21) 要求, 可利用第 2 篇内相应的图表进行。

钢筋混凝土构筑物、管道的最大裂缝宽度限值 $[w_{\max}]$ (mm)

表 1.1.4-4

结构构件类别	部位及环境条件	$[w_{\max}]$
水处理构筑物、水池、水塔	清水池、给水水质净化处理构筑物	0.25
	水塔的水柜、污水处理构筑物	0.20
泵房	贮水间、格栅间	0.20
	其他地面以下部分	0.25
取水头部	常水位以下部分	0.25
	常水位以上湿度化部分	0.20
管道	埋地刚性管道	0.20

注: 当采用沉井结构时, 施工阶段的最大裂缝宽度限值可取 0.25mm。

3) 对结构构件进行变形验算, 应取长期效应的准永久组合作用, 并应符合下列要求:

(A) 对泵房内电机层楼面的支承结构应作变形验算, 控制其挠度, 避免导致传动轴严重磨损和降低功能, 对此应满足下式要求:

$$w_v \leq \frac{l_0}{750} \quad (1.1.4-22)$$

式中 w_v ——支承梁的计算挠度;

l_0 ——支承梁的计算跨度。

计算 w_v 时, 可利用第 2 篇内相应的图表进行。

(B) 对埋地柔性管道均应进行变形验算, 并应满足下式要求:

$$w_{d,max} \leq [w_{d,max}] \quad (1.1.4-23)$$

$$w_{d,max} = D_l \frac{K_d r_0^3 (F_{sv,k} + 2\Psi_q q_{vk} r_0)}{E_p I_p + 0.061 E_d r_0^3} \quad (1.1.4-24)$$

式中 $w_{d,max}$ ——管道在准永久组合作用下的计算最大变形;

$[w_{d,max}]$ ——管道允许的最大竖向变形限值; 应按表 1.1.4-5 的规定采用;

D_l ——变形滞后效应系数, 可取 1.0~1.5 计算; 对无压或低压管 (内压不超过 0.2MPa) 应取 1.5; 对压力管道, 如竣工至投入运行的时间较短 (例如不超过 3 个月), 则可取 1.0, 当时间间隔较长, 则应取大于 1.0 计算;

K_d ——管道变形系数, 应按管的基础敷设中心角确定, 当土弧基础的中心角为 90° 、 120° 时, 可分别取 0.096、0.089 计算;

I_p ——管道的单位长度截面惯性矩;

r_0 ——管道的计算半径, 可取管壁中线计算;

q_{vk} ——地面车辆轮压作用或堆积荷载作用在管顶上的单位面积压力;

Ψ_q —— q_{vk} 作用的准永久值系数。

管道允许最大竖向变形限值

表 1.1.4-5

管 材	防腐内衬	变形限值 $\frac{[w_{d,max}]}{D_0}$
金属管材	水泥砂浆刚性内衬	0.02~0.03
	延性良好的涂料内衬	0.03~0.04
化学管材	—	0.05

注: ① 当水泥砂浆中掺入纤维类增强材料时, 变形限值可采用表中高限值;

② 防腐涂料的品种较多, 应根据其延性确定变形限值;

③ 表列变形限值系指管道正常使用时的要求, 施工验收时, 应扣除其滞后变形影响作为验收控制值。

(3) 对构筑物、管道进行结构设计时, 按承载力极限状态和正常使用极限状态计算中, 需要分别采用作用的基本组合、标准组合和准永久组合。基本组合采用的作用是设计值, 即作用的标准值乘以相应作用分项系数; 标准组合采用的作用为标准值; 准永久组合采用的作用是作用的准永久值, 即作用标准值乘以相应作用的准永久值系数。

对每一种组合均需考虑多种工况, 通过计算确定构件截面的最不利受力状态 (应力、应变、变形等)。需要核算的工况应根据构筑物或管道的运行功能、敷设条件 (地上、地下或半地下)、结构形式 (水塔、沉井、盾构等)、施工方式 (现浇、预制装配、开槽或不开槽等)、环境条件 (温度作用、地面水或地下水、浪压力等) 等综合考虑确定, 将在各篇中作具体介绍。

1.1.5 耐久性措施

根据给水排水工程结构设计系列标准所依据的《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 的规定, 结构的合理使用年限应为 50 年。按照给水排水工程结构所处的特定运行环境条件 (对沿海地区盐雾侵

蚀、地下水水质含侵蚀性应另加处理)，除满足按承载能力和正常使用极限状态设计要求（强度、稳定、抗裂度和裂缝宽度控制等）外，尚应满足下列确保结构耐久性的措施。

- (1) 保证混凝土的质量
- 1) 结构受力构件的混凝土强度等级不应低于 C25；
- 2) 混凝土中的水泥宜采用普通硅酸盐水泥；当考虑抗冻融作用时，不得采用火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥；
- 3) 混凝土的骨料应级配良好，水灰比不应大于 0.50；
- 4) 对现浇混凝土内宜掺加补偿收缩膨胀剂；通常有明矾石、硫铝酸钙、氧化钙等类型膨胀剂；膨胀剂的掺加量不宜超过水泥用量的 12%；
- 5) 当使用碱活性骨料时，应控制每立方米混凝土内的碱含量不超过 3kg；骨料的碱活性检测可采用砂浆棒长度膨胀法试验（见 1.3.2）。

- (2) 混凝土应具有抗渗性能
- 1) 给水排水工程的构筑物 and 现浇的混凝土管道，运行中都将承受一定的水压，因此要求混凝土本身应具有抗渗性能。按规范要求，混凝土的抗渗等级应符合表 1.1.5-1 的规定。

混凝土抗渗等级 Si①				表 1.1.5-1
最大作用水头与构件厚度之比值	<10	10~30	>30	
抗渗等级 Si	S4	S6	S8	

注：1. Si 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。
2. 在工程实践配制混凝土时，Si 值宜适当提高，以不低于 S6 为宜。

- 2) 给水排水工程中的压力运行管道，通常在工厂内制作，其抗渗性能应满足在设计内水压力作用下符合不渗水指标。

- (3) 混凝土应具有抗冻性能
- 1) 对位于最冷月平均气温低于（-3℃）地区的露明无保温措施的构筑物，混凝土本身应具有一定的抗冻性能。按规范要求，混凝土的抗冻等级应符合表 1.1.5-2 的规定。

混凝土抗冻等级 Fi				表 1.1.5-2
结构类别 工作条件 气候条件	地表水取水头部		其 他	
	冻融循环总次数		地表水取水头部的水位涨落区以上部位及外露的水池等	
	≥100	<100		
最冷月平均气温低于 -10℃	F300	F250	F200	
最冷月平均气温在 -3℃ ~ -10℃	F250	F200	F150	

注：① 混凝土抗冻等级 Fi 系指龄期为 28d 的试件，在进行相应要求冻融循环总次数 i 次作用后，其强度降低不大于 25%，重量损失不超过 5%；
② 冻融循环总次数系指一年内气温从 +3℃ 以上降至 -3℃ 以下，然后回升至 +3℃ 以上的交替次数；对地表水取水头部，尚应考虑一年中月平均气温低于 -3℃ 期间，因水位涨落面产生的冻融交替次数，此时水位每涨落一次应按一次冻融计算。

- 2) 为改善和提高混凝土的抗冻性能，通常可在混凝土中掺加引气剂，混凝土内的含气量控制在 3%~5%。引气剂的掺入量与引气剂的品种有关，可参考表 1.1.5-3 的数据采用。

引气剂的品种及掺入量				表 1.1.5-3
品 种 名 称	主 要 成 分	掺入量占水泥重量(%)	研制单位	
PC-2	松香热聚物	0.005~0.01	青岛交通部一局二处	
CON-A	松香皂	0.005~0.01	十三冶金建设公司等	
801	高级脂肪醇衍生物	0.01~0.3	水电科学研究院	
OP 乳化剂	烷基苯环氧乙烷缩合物	0.06	各化工厂	
ABS	烷基苯月黄酸钠	0.008~0.01	铁道研究院、水科院等	
AS	烷基月黄酸钠	0.008~0.01	铁道研究院、水科院等	

① 抗渗等级，据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55--2000)，“Si”应改为“Pi”——编辑注。

(4) 构筑物和管道的各部位构件内, 受力钢筋的混凝土保护层最小厚度 (以钢筋的外缘起算), 按规范的规定应符合下列要求:

1) 构筑物各部位构件钢筋的混凝土保护层最小厚度应按表 1.1.5-4 采用。

钢筋的混凝土保护层最小厚度 (mm)

表 1.1.5-4

构件类别	工 作 条 件	保护层最小厚度	构件类别	工 作 条 件	保护层最小厚度
墙、板、壳	与水、土接触或高湿度	30	梁、柱	与污水接触或受水气影响	40
	与污水接触或受水气影响	35	基础、底板	有垫层	40
梁、柱	与水、土接触或高湿度	35		无垫层	70

注: ① 墙、板、壳内的分布筋的混凝土保护层最小厚度不应小于 20mm; 梁、柱内箍筋的混凝土保护层最小厚度不应小于 25mm;

② 表列保护层厚度系按混凝土等级不低于 C25 给出, 当低于 C25 时应增加 5mm;

③ 当位于沿海环境, 受盐雾影响显著时, 最小保护层厚度不应小于 45mm;

④ 当构件表面有水泥砂浆抹面层或其他涂料作为保护措施时, 保护层最小厚度可酌减。

2) 现浇矩形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混凝土保护层最小厚度, 应按表 1.1.5-5 采用。

管道的现浇混凝土构件内受力钢筋的最小保护层厚度 (mm)

表 1.1.5-5

管道类型	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, 顶板上层筋及侧壁外层筋、底板下层筋的保护层厚度应按侵蚀等级予以加厚;

③ 构件内分布钢筋的混凝土保护层厚度不应小于 20mm。

3) 对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 80~100mm 时, 不应小于 12mm; 当壁厚大于 100mm 时, 不应小于 20mm。

(5) 在最冷月平均气温低于 -3°C 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, 不得采用黏土类砖砌体; 当采用现浇钢筋混凝土结构时, 其混凝土抗冻等级不应低于 F200。

(6) 对给水排水工程结构的内力分析, 均应按弹性体系计算, 不考虑由非弹性变形所产生的内力重分布。

1.2 结构上的作用

1.2.1 作用分类

给水排水工程结构承受的作用可分为下列三类:

(1) 永久作用: 结构和永久设备的自重、土的竖向压力和侧向压力、构筑物和管道内的水重、结构上的预加应力、地基的不均匀沉降等。

(2) 可变作用: 构筑物顶盖或操作平台上的活荷载、吊车荷载、雪荷载、风荷载、地表或地下水的压力 (侧压力、浮托力)、流水压力、融冰压力、地面人群荷载、地面堆积荷载、地面车辆荷载、温湿度变化作用、压力运行管道的静水压力、管道运行时可能出现的真空压力等。

(3) 偶然作用: 地震、爆炸、撞击等, 主要考虑地震作用。

1.2.2 永久作用标准值

(1) 结构自重：常用结构材料的重力密度标准值可按表 1.2.2-1 采用。

常用结构材料的重力密度 (kN/m³)

表 1.2.2-1

材 料 名 称	重 力 密 度	材 料 名 称	重 力 密 度
素混凝土	2200~2400	空心砖砌体	1300
焦渣混凝土(填充用)	1000~1400	钢	7850
沥青混凝土	2000	铸铁	7200
无砂大孔性混凝土	1600~1900	玻璃钢	1400~2200
泡沫混凝土	400~600	浆砌毛方石	2400
加气混凝土	550~750	水泥空心砖	960~1030
水玻璃耐酸混凝土	2000~2350	混凝土空心小砌块	1180
钢筋混凝土	2400~2500	聚氯乙烯板、管材	1360~1600
水泥砂浆	2000	钢丝网水泥	2500
混合砂浆	1700	陶粒空心砌块	500~600
砖砌体	1800~1900	蒸压粉煤灰砖	1400~1600

(2) 竖向土压力

1) 土的重力密度可通过土工试验获得, 对开槽施工的回填土的重力密度, 如无试验数据时, 可取 18kN/m³ 计算。对位于水下的土的重力密度, 可取其有效重力密度为 10kN/m³。

2) 地下构筑物顶部的竖向土压力

$$F_{sv,k} = n_s \gamma_s H_s \quad (1.2.2-1)$$

式中 $F_{sv,k}$ ——单位面积上的竖向土压力标准值;

γ_s ——回填土的重力密度;

H_s ——顶部覆土高度;

n_s ——竖向土压力系数, 一般可取 1.0, 当构筑物的平面尺寸长宽比大于 10 时, 宜取 1.2。

3) 埋地管道上的竖向土压力

管道上的竖向土压力, 首先要区分开槽敷设管道还是不开槽顶进施工(顶管或盾构)。

(A) 开槽敷设时管顶的竖向土压力

管顶每延米长度上作用的竖向土压力标准值可按式计算:

$$F_{sv,k} = C_i \gamma_s H_s B_c \quad (1.2.2-2)$$

式中 B_c ——管道的外缘宽度; 当为圆管时, 即为管外径 D_1 ;

C_i ——土压力系数, 对刚性管道一般可取 1.2; 当设计地面高于原状地面时, 宜取 1.2~1.4 (与增填土高度有关, 设计时可取高值计算); 对柔性管道应取 1.0。

(B) 不开槽顶进施工时, 管顶的每延米竖向土压力标准值可按式计算:

$$F_{sv,k} = C_j \gamma_s B_t D_1 \quad (1.2.2-3)$$

$$B_t = D_1 \left[1 + \tan \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (1.2.2-4)$$

$$C_j = \frac{1 - \exp(-2k_a \mu H_s / B_t)}{2k_a \mu} \quad (1.2.2-5)$$