

中华人民共和国行业标准

钢筋混凝土薄壳结构设计规程

Specification for Design of Reinforced
Concrete Shell Structures

JGJ/T 22—98

1998 北京

中华人民共和国行业标准

钢筋混凝土薄壳结构设计规程

Specification for Design of Reinforced Concrete Shell Structures

JGJ/T 22—98

主编单位：中国建筑科学研究院

批准单位：中华人民共和国建设部

施行日期：1998年12月1日

中国建筑工业出版社

中华人民共和国行业标准
钢筋混凝土薄壳结构设计规程
Specification for Design of Reinforced
Concrete Shell Structures
JGJ/T22—98

*

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
北京黄坎印刷厂印刷

*

开本:850×1168毫米 1/32 印张:10³/₄ 插页:4 字数:288千字
1998年12月第一版 2000年7月第三次印刷
印数:8,001—10,000册 定价:47.00元
统一书号:15112·8904
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)

关于发布行业标准《钢筋混凝土薄壳 结构设计规程》的通知

建标[1998]126 号

根据建设部《关于印发一九九二年工程建设行业标准制订、修订项目计划(建设部部分第一批)的通知》(建标[1992]227 号)要求,由中国建筑科学研究院主编的《钢筋混凝土薄壳结构设计规程》经审查,批准为推荐性行业标准,编号 JGJ/T22—98,自 1998 年 12 月 1 日起施行。原部标准《钢筋混凝土薄壳顶盖及楼盖结构设计计算规程》BTG16—65 同时废止。

本标准由建设部建筑工程标准技术归口单位中国建筑科学研究院负责管理,由中国建筑科学研究院负责具体解释工作。

本标准由建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版。

中华人民共和国建设部

1998 年 6 月 9 日

前 言

本规程系根据建设部建标[1992]227号文的要求,由中国建筑科学研究院会同有关科研、设计单位和高等院校对原《钢筋混凝土薄壳顶盖及楼盖结构设计计算规程》BJG16—65进行修订而成。在修订过程中,修订组汇总了国内外有关薄壳结构的主要科研、设计资料,调查总结了近年来国内的科研成果和工程实践经验,提出修订稿,并以多种方式广泛征求了全国有关单位的意见,经反复修改,最后由有关主管部门组织审查定稿。

本规程共分8章和5个附录,对原规程作了较大的补充和修改,对原规程条文作了全面的整理。主要内容是:

1. 根据国家标准《建筑结构设计统一标准》GBJ 68—84的要求,规定了设计原则和计算方法。

按照国家标准《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083—97的规定,修改了符号、计量单位和基本术语。

2. 以概率极限状态设计法代替原规程采用的容许应力设计法。

3. 增加了扁壳的控制偏微分方程的表达式、薄壳结构地震作用的验算、壳板厚度取值和配筋构造建议;补充了多种集中荷载作用下圆形底旋转薄壳的内力和位移计算及相应的图表、连续扭壳的设计、膜型扁壳的设计、任意边界形状和条件下双曲扁壳控制方程的求解;介绍了各种半解析方法和数值方法;此外,对带肋壳的控制方程求解作了详细说明。

本规程必须与国家标准《建筑结构设计统一标准》GBJ68、《建筑结构荷载规范》GBJ9、《混凝土结构设计规范》GBJ10等配套使用。

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	10
3.1	结构选型	10
3.2	计算原则	10
3.3	薄壳结构的内力和变形分析	15
3.4	壳体的构造和配筋	15
3.5	装配整体式壳体	20
3.6	预应力薄壳结构	23
3.7	孔洞	25
3.8	温度影响	27
4	圆形底旋转薄壳	32
4.1	计算方法	32
4.2	集中荷载和环形荷载作用下的计算和圆孔应力集中	40
4.3	雪、风荷载作用下的计算和稳定验算	56
4.4	带肋壳的计算	57
4.5	壳体环梁的内力	59
4.6	构造要求	62
5	双曲扁壳	65
5.1	几何尺寸	65
5.2	均布荷载作用下的内力计算	66
5.3	法向集中荷载作用下的内力和位移计算	70
5.4	半边荷载、填充荷载和水平荷载作用下的内力和位移计算	76
5.5	稳定验算	77
5.6	带肋壳的计算	78

5.7	边缘构件	80
5.8	构造和配筋	80
6	圆柱面壳	84
6.1	几何尺寸和计算	84
6.2	带肋壳的计算	86
6.3	边缘构件	87
6.4	构造要求	89
7	双曲抛物面扁扭壳.....	93
7.1	几何尺寸	93
7.2	计算方法	95
7.3	边缘构件	95
7.4	构造要求	97
8	膜型扁壳	100
8.1	适用范围和几何尺寸	100
8.2	成型计算	100
8.3	边缘构件	108
8.4	构造要求	110
附录A	圆形底旋转薄壳的计算公式	111
A.1	壳体边缘附近的内力修正值	111
A.2	旋转薄壳的薄膜内力和位移计算公式	114
附录B	双曲扁壳的内力和位移计算及系数表	115
B.1	内力和位移控制方程的求解	115
B.2	内力和位移的系数表	117
附录C	圆柱面壳内力的计算方法及系数表	144
C.1	长壳内力的计算	144
C.2	短壳内力的计算	210
附录D	双曲抛物面扁扭壳的内力和位移计算	238
附录E	本规程用词说明	300
条文说明		301
附加说明		335

1 总 则

1.0.1 为了在钢筋混凝土薄壳结构设计中贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于整体式或装配整体式钢筋混凝土及预应力混凝土薄壳结构的设计。

1.0.3 本规程是根据国家标准《建筑结构设计统一标准》GBJ 68—84 规定的原则制定的。符号、计量单位和基本术语按照国家标准《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T50083—97 的规定采用。

1.0.4 本规程是根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GBJ 9，《混凝土结构设计规范》GBJ 10，《建筑抗震设计规范》GBJ 11，《混凝土结构工程施工及验收规范》GB 50204 和其他有关规范，并结合钢筋混凝土薄壳结构的设计特点、实践经验和科研成果而编制的。

1.0.5 钢筋混凝土薄壳结构的设计除执行本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 壳板 shell plate

由两个曲面所限定，且此两曲面之间的距离远比曲面尺寸为小的物体。

2.1.2 壳体 shell structure

由壳板（有时壳板上有加劲肋）与其边界上的边缘构件组成的具有一定承载能力的物体。

2.1.3 壳面 shell surface

壳板的表面。

2.1.4 壳板厚度 shell thickness

两壳板间垂直于中曲面的距离称为壳板厚度。

2.1.5 壳板中曲面 middle surface of shell

在理论分析时能定义壳板抽象形体的曲面，常为平分壳板厚度的曲面。

2.1.6 壳板主曲率 principal curvature of shell

壳板中曲面上某点处的最大和最小法曲率。

2.1.7 薄壳 thin shell

壳板厚度与其中曲面最小曲率半径之比不大于 $1/20$ 的壳体。

2.1.8 壳体矢高 rise of shell structure

壳板中曲面最高水平处到壳体底平面的最大竖直距离。

2.1.9 壳板矢高 rise of shell

壳板中曲面最高水平处到壳板底平面的最大竖直距离。

2.1.10 壳体边长 side length of shell

壳板中曲面与边缘构件中心面相交的曲线在底平面上的投影

长度。

2. 1. 11 单侧平面曲线 plane curve line without counterflexure
曲率半径中心在曲线同一侧的光滑的平面曲线。

2. 1. 12 壳板高斯曲率 Gauss curvature of shell
壳板两个主曲率的乘积。

2. 1. 13 正高斯曲率 positive Gauss curvature
两个主曲率对应的曲率半径中心在曲面同一侧时的高斯曲率。

2. 1. 14 负高斯曲率 negative Gauss curvature
两个主曲率对应的曲率半径中心在曲面异侧时的高斯曲率。

2. 1. 15 零高斯曲率 zero Gauss curvature
两个主曲率中有一个为零的高斯曲率。

2. 1. 16 正高斯曲率壳体 shell with positive Gauss curvature
具有正高斯曲率的壳体。

2. 1. 17 负高斯曲率壳体 shell with negative Gauss curvature
具有负高斯曲率的壳体。

2. 1. 18 零高斯曲率壳体 shell with zero Gauss curvature
具有零高斯曲率的壳体。

2. 1. 19 旋转壳 shell of revolution

由母线（直线或单侧平面曲线）在空间绕一轴线旋转而形成的壳体。底面一般为圆形，又称为圆形底旋转壳。

2. 1. 20 扁壳 shallow shell

壳板矢高与壳体最短边长之比不大于 $1/5$ 的薄壳。

2. 1. 21 球面壳 spherical shell

母线为圆弧线的旋转壳，其各点主曲率的倒数等于球面半径。壳板矢高与壳底面直径之比不大于 $1/5$ 的球面壳称为扁球壳。

2. 1. 22 椭圆面壳 rotational elliptical shell

母线为椭圆线的旋转壳。

2. 1. 23 旋转抛物面壳 rotational parabolical shell

母线为抛物线的旋转壳。

2. 1. 24 移动面壳体 translational shell

由母线（直线或单侧平面曲线）在空间沿两条准线（直线或单侧平面曲线）移动而形成的壳体。

2. 1. 25 双曲扁壳 double curvature shallow shell

母线及准线均为单侧平面曲线（一般为抛物线或圆弧线），具有正高斯曲率的移动面扁壳。

2. 1. 26 圆柱面壳 cylindrical shell

母线为直线，准线为单侧平面曲线的移动面壳体。

2. 1. 27 双曲抛物面壳 hyperbolic paraboloidal shell

母线为抛物线，准线为单侧平面曲线，具有负高斯曲率的移动面壳体。

2. 1. 28 膜型扁壳 membrane shell

两个主压应力方向上的截面内力彼此相等的扁壳。

2. 1. 29 封闭壳 shell without opening

壳面不敞口的壳体。

2. 1. 30 非封闭壳 shell with opening

壳面敞口的壳体。

2. 1. 31 壳板薄膜内力 membrane forces of shell

在各种作用下，忽略壳板截面上的弯矩、扭矩和垂直于壳面的剪力而求得的壳板截面上的内力。

2. 1. 32 边缘抗力 edge effect

在壳板与边缘构件连接处，由于位移协调而产生的应力或内力。

2. 1. 33 切向 tangential direction

壳板中曲面切平面内沿坐标轴的方向。

2. 1. 34 法向 normal direction

壳板中曲面的法线方向。

2. 2 符 号

2. 2. 1 作用

F_v ——竖向集中荷载；
 F_n ——法向集中荷载；
 F_x —— x 轴方向集中荷载；
 F_y —— y 轴方向集中荷载；
 q_L ——均布线荷载；
 q_{Lo} ——旋转壳内环竖向均布线荷载；
 q_n ——壳板中曲面上的法向均布荷载；
 q_v ——壳板中曲面上的竖向均布荷载；
 s ——壳板中曲面水平投影面上的分布雪荷载；
 q_x ——壳板中曲面上 x 轴方向的均布荷载分量；
 q_y ——壳板中曲面上 y 轴方向的均布荷载分量；
 q_z ——壳板中曲面上 z 轴方向的均布荷载分量；
 q_φ ——旋转壳壳板中曲面上经向的均布荷载分量；
 q_{nc} ——壳板中曲面上法向的均布荷载分量；
 q_p ——膜型扁壳截面上给定的均布线压力；
 Q ——膜型扁壳总荷载；
 r_n ——膜型扁壳壳体周边垂直于底平面的分布线反力；
 s_a ——圆柱面壳壳板中曲面水平投影面上的分布雪荷载；
 g_a ——圆柱面壳壳板中曲面上实际的均布恒荷载；
 q_{ba} ——圆柱面壳边梁上的竖向分布线荷载，包括边梁自重；
 P_a ——作用在圆柱面壳边梁截面上有效的预应力合力；
 q_{Lh} ——圆柱面长壳壳板边缘上水平的分布边缘扰力；
 q_{Lv} ——圆柱面长壳壳板边缘上竖向的分布边缘扰力；
 q_{Lt} ——圆柱面长壳壳板边缘上切向的分布边缘扰力；
 m_L ——圆柱面长壳壳板边缘上的分布边缘力矩；
 q_{sti} ——圆柱面短壳壳板边缘上切向的分布边缘扰力；
 q_{sni} ——圆柱面短壳壳板边缘上法向的分布边缘扰力；

$q_{sq\varphi}$ ——圆柱面短壳壳板边缘上环向的分布边缘扰力；
 m_{sf} ——圆柱面短壳壳板边缘上的分布边缘力矩；
 q_{Lbh} ——圆柱面长壳边梁边缘上水平的分布边缘扰力；
 q_{Lbv} ——圆柱面长壳边梁边缘上竖向的分布边缘扰力；
 q_{Lbt} ——圆柱面长壳边梁边缘上切向的分布边缘扰力；
 m_{Lb} ——圆柱面长壳边梁边缘上的分布边缘力矩；
 q_{bbz} ——圆柱面短壳边梁边缘上水平的分布边缘扰力；
 q_{bvi} ——圆柱面短壳边梁边缘上竖向的分布边缘扰力；
 q_{bti} ——圆柱面短壳边梁边缘上沿切向的分布边缘扰力；
 m_{bi} ——圆柱面短壳边梁边缘上的分布边缘力矩。

2.2.2 作用效应

n_{φ} ——旋转壳壳板截面上经向的分布轴向力；或圆柱面壳壳板截面上环向的分布轴向力；
 n_{θ} ——旋转壳壳板截面上环向的分布轴向力；
 n_x 、 n_y ——壳板截面上 x 、 y 轴方向的分布轴向力；
 n_1 、 n_2 ——壳板截面上顺 x 、 y 轴中曲面切线方向的分布轴向力；
 n_1^m 、 n_2^m 、 ν^m —— x 、 y 、 z 坐标系中壳板截面上相应的分布薄膜内力；
 n_{θ}^m 、 n_{φ}^m 、 ν^m —— θ 、 φ 、 z 坐标系壳板截面上相应的分布薄膜内力；
 n_b ——旋转壳壳板边缘上水平的分布内推力；
 n_{ha}^m ——旋转壳外环边缘上水平的分布薄膜内推力；
 n_{ho}^m ——旋转壳内环边缘上水平的分布薄膜内推力；
 ν ——壳板截面上的分布剪力；
 ν_n ——壳板截面上法向的分布剪力；
 ν_t ——壳板截面上切向的分布剪力；
 ν_v ——壳板截面上竖向的分布剪力；
 ν_h ——壳板截面上水平的分布剪力；
 ν_c ——扁壳壳板角点截面上的分布剪力；

ν_{1v} 、 ν_{2v} ——壳板平行于 y 、 x 轴截面上竖向的分布剪力；
 $\nu_{\varphi n}$ ——旋转壳壳板垂直于经向的截面上法向的分布剪力；
 t ——壳板截面上的分布扭矩；
 t_c ——扁壳角点截面上的分布扭矩；
 m_1 、 m_2 ——壳板平行于 y 、 x 轴截面上的分布弯矩；
 m_{φ} ——旋转壳壳板截面上经向的分布弯矩；或圆柱面壳板截面上环向的分布弯矩；
 m_{θ} ——旋转壳壳板截面上环向的分布弯矩；
 N_{ba} 、 N_{bo} ——旋转壳外、内环截面上的轴向力；
 u 、 ν 、 w ——壳体 x 、 y 、 z 轴方向的位移；
 u_{θ} ——壳体 θ 轴方向的位移；
 ν_{φ} ——壳体 φ 轴方向的位移；
 w_n ——壳体法向的位移；
 u_h^m ——旋转壳壳体按薄膜理论计算的水平位移；
 Ψ ——壳体的转角；
 Ψ_{φ}^m ——旋转壳壳体按薄膜理论计算的经向转角；
 u_{ash} ——旋转壳壳板外环边缘处的水平位移；
 u_{arh} ——旋转壳外环梁与壳板相接处的水平位移；
 u_{osh} ——旋转壳壳板内环边缘处的水平位移；
 u_{orh} ——旋转壳内环梁与壳板相接处的水平位移；
 Ψ_{as} ——旋转壳壳板外环边缘处的经向转角；
 Ψ_{os} ——旋转壳壳板内环边缘处的经向转角；
 Ψ_{ar} ——旋转壳外环梁与壳板相接处的经向转角；
 Ψ_{or} ——旋转壳内环梁与壳板相接处的经向转角；
 ν_{js} ——圆柱面壳壳板边缘的水平位移；
 ν_{jb} ——圆柱面壳边梁与壳板连接处的水平位移；
 w_{js} ——圆柱面壳壳板边缘的竖向位移；
 w_{jb} ——圆柱面壳边梁与壳板连接处的竖向位移；

$\Psi_{js\varphi}$ ——圆柱面壳壳板边缘的环向转角；

$\Psi_{jb\varphi}$ ——圆柱面壳边梁与壳板连接处的环向转角；

σ_{jbu} ——圆柱面壳边梁截面上边缘中点的正应力；

σ_{jbl} ——圆柱面壳边梁截面下边缘中点的正应力。

2.2.3 几何特征

θ, φ, z ——旋转壳的坐标系；

x, φ, z ——圆柱面壳的坐标系；

r, θ, z ——扁球壳的坐标系；

x, y, z ——壳的直角坐标系；

t ——壳板厚度；

f ——壳板的矢高；

f_{tot} ——壳体的矢高；

f_a, f_b ——双曲扁壳 a 边、 b 边上的矢高；

t_{1l}, t_{2l} ——带肋壳在 x, y 轴方向按截面惯性矩折算的厚度；

t_{1A}, t_{2A} ——带肋壳在 x, y 轴方向按截面面积折算的厚度；

$t_{\varphi l}$ ——带肋旋转壳在经向按截面惯性矩折算的厚度；

$t_{\theta l}$ ——带肋旋转壳在环向按截面惯性矩折算的厚度；

$t_{\varphi A}$ ——带肋旋转壳在经向按截面面积折算的厚度；或带肋圆柱面壳在环向按截面面积折算的厚度；

$t_{\theta A}$ ——带肋旋转壳在环向按截面面积折算的厚度；

t_{xD} ——带肋圆柱面壳在 x 轴方向按截面刚度折算的厚度；

$t_{\varphi D}$ ——带肋圆柱面壳在环向按截面刚度折算的厚度；

t_{xA} ——带肋圆柱面壳在 x 轴方向按截面面积折算的厚度；

κ ——等曲率壳的曲率；

κ_1, κ_2 ——壳体中曲面的主曲率；

κ_t ——壳体中曲面的扭曲率；

r_s ——球面壳的半径；或等曲率壳的曲率半径；

- r_1 ——旋转壳中曲面任意点经向的曲率半径；
- r_2 ——旋转壳中曲面任意点纬向的曲率半径；
- r_{2a} ——旋转壳中曲面外环边缘处纬向的曲率半径；
- r_{2o} ——旋转壳中曲面内环边缘处纬向的曲率半径；
- D ——壳板截面单位长度的刚度；
- s_1 ——旋转壳壳体沿经线方向由旋转轴至外环边缘的弧长；
- s_2 ——旋转壳壳体沿经线方向由内环边缘至外环边缘的弧长；
- s_a ——旋转壳由壳体外环边缘量起的经向弧长；
- s_o ——旋转壳由壳体内环边缘量起的经向弧长；
- α ——膜型扁壳周边上的倾斜度；
- φ ——圆柱面壳体右边边梁与壳板连接处至壳面上某一点的圆弧所对应的圆心角；
- φ_c ——圆柱面壳体横截面对成对称线到壳板边缘的圆弧所对应的圆心角；
- A_s ——圆形底膜型扁壳边缘构件的钢筋截面面积；
- A_{sa} 、 A_{sb} ——矩形底膜型扁壳 a 边、 b 边边缘构件的钢筋截面面积。

2.2.4 其他

- C ——壳体的特征长度参数；
- C_a 、 C_o ——旋转壳外环、内环边缘处的特征长度参数；
- C_1 、 C_2 ——双曲扁壳 x 、 y 轴方向的特征长度参数。

3 基本规定

3.1 结构选型

3.1.1 薄壳结构的型式应根据建筑设计要求、施工条件和经济合理性确定。

3.1.2 底面为圆形的壳体型式可采用球面壳、椭球面壳、旋转抛物面壳和膜型扁壳。

3.1.3 底面为矩形的壳体型式可采用双曲扁壳、圆柱面壳、双曲抛物面扭壳和膜型扁壳。

3.1.4 周边支承的矩形底面双曲扁壳、双曲抛物面扭壳和膜型扁壳，其底面长度与宽度的比值宜小于2。

3.1.5 当荷载分布变化较大或圆形底面直径大于8m、矩形底较大边长度大于6m时，不宜采用膜型扁壳。

3.2 计算原则

3.2.1 壳体的计算曲率应采用中曲面的曲率。

3.2.2 壳板及其边缘构件可按弹性理论分析其内力与位移。当壳体的矢高与较小边长之比不大于1/5时，可采用扁壳理论进行计算。

除本规程有专门规定外，壳体的截面设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》的规定。混凝土的泊松比可忽略不计。

3.2.3 壳体截面应进行承载力验算。壳板最大主拉应力不应大于4倍混凝土抗拉强度设计值。圆柱面壳边梁底的最大拉应力不应大于8倍混凝土抗拉强度设计值。

3.2.4 壳体边缘构件应验算在正常使用极限状态下的变形。除有特殊要求者，对荷载短期效应组合下的挠度值，在跨度大于7m时