

中国工程建设标准化协会标准 CECS

编 号:

备案号:

超长大面积混凝土结构 跳仓法技术规程

Technical specification for
mass and super-length concrete structure
with alternative bay construction method

(征求意见稿)

2018- - 发布

2018- - 实施

中国工程建设标准化协会 发布

2018年9月28日版

中国工程建设标准化协会标准

超长大体积混凝土结构跳仓法技术规程

Technical specification for mass and super-length concrete structure

with alternative bay construction method

编 号：CECS -2018

备案号：

主编单位：北京市建筑工程研究院有限责任公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2018年 月 日

2018 北京

前 言

本规程为推荐性标准。

本规程是根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2017年第一批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2017]014号），由北京市建筑工程研究院有限责任公司等单位经充分征求行业各有关单位意见的基础上编制完成的。

本规程的主要内容：1总则、2术语和符号、3基本规定、4结构设计、5材料、配比、制备及运输、6混凝土施工、7施工过程中的温控及监测、附录A 温度应力和收缩应力的计算、附录B 跳仓仓格长度的计算、附录C取消沉降后浇带的措施、附录D混凝土后期强度。其中附录A、B均为规范性附录。

本规程由中国工程建设标准化协会负责管理，并组织实施，由北京市建筑工程研究院有限责任公司负责具体技术内容的解释。

为了提高《超长大面积混凝土结构跳仓法技术规程》的编制质量和水平，请在执行本标准的过程中，注意总结经验，积累资料，如发现需要修改和补充之处，请将意见和有关资料寄至北京市建筑工程研究院有限责任公司（地址：北京市海淀区复兴路34号；邮政编码：100039；电话：010-68180829；E-mail：gts.wang@263.net）。

本规程主编单位：北京市建筑工程研究院有限责任公司

本规程参编单位：北京市建筑设计研究院有限公司

中冶建筑研究总院有限公司

北京城建设计研究总院有限责任公司

华东建筑设计研究总院

深圳市建筑设计研究总院有限公司

贵州省建筑设计研究院有限责任公司

中国建筑东北设计院

哈尔滨工业大学

同济大学结构所

上海大学

北京方圆工程监理有限公司

北京双圆工程咨询监理有限公司

中国建筑股份有限公司技术中心

北京建工集团有限责任公司

北京城建集团有限责任公司

上海建工集团股份有限公司

宝钢集团股份有限公司

青建集团股份公司

华夏建宇（北京）混凝土技术研究院

厦门市硅酸盐学会

北京市建设工程质量第一检测所有限责任公司

本规程主要起草人员：王铁梦 李 伟 李晨光 杨嗣信

李国胜 魏镜宇 刘佳庆 王国卿

陆 参 邓椿森 高玉亭 周 笋

杨秀仁 林松涛 仲晓林 张际斌

高兴君 陈 勇 芮明倬 王启文

赖庆文 韩建聪 高 毅 刘爱玲

张晋勋 邱德隆 龚 剑 魏永明

王怀忠 张同波 邓兴才 杨宗谦

巴恒静 杨英姿 朱杰江 李 东

熊学玉 路来军 马祖红 张贵洪

本规程主要审查人员：

目 次

1 总则 1

2 术语和符号..... 2

3 基本规定..... 7

4 结构设计..... 9

 4.1 一般规定..... 9

 4.2 基础底板..... 9

 4.3 地下室外墙..... 10

5 材料、配比、制备及运输..... 13

 5.1 一般规定..... 13

 5.2 原材料..... 13

 5.3 配合比设计..... 15

 5.4 制备及运输..... 16

6 混凝土施工..... 17

 6.1 一般规定..... 17

 6.2 施工技术准备..... 19

 6.3 钢筋工程..... 20

 6.4 模板工程..... 20

 6.5 混凝土浇筑..... 21

 6.6 混凝土养护..... 22

 6.7 特殊气候条件下的施工..... 23

 6.8 跳仓法施工职业健康安全与环境管理..... 23

7 施工过程中的温控及监测..... 24

附录 A 温度应力和收缩应力的计算 26

附录 B 跳仓仓格长度的计算 35

附录 C 取消沉降后浇带的措施 37

附录 D 混凝土后期强度..... 48

1 总则 51

2 术语和符号.....	52
3 基本规定.....	55
4 结构设计.....	58
4.1 一般规定.....	58
4.2 基础底板.....	59
4.3 地下室外墙.....	60
5 材料、配比、制备及运输.....	61
5.1 一般规定.....	61
5.2 原材料.....	62
5.3 配合比设计.....	63
6 混凝土施工.....	65
6.1 一般规定.....	65
6.2 施工技术准备.....	65
6.4 模板工程.....	66
6.5 混凝土浇筑.....	66
6.6 混凝土养护.....	66
7 施工过程中的温控及监测.....	67

1 总则

- 1.0.1** 为使跳仓法更好地用于超长大体积混凝土结构的设计与施工,贯彻执行国家技术经济政策,符合技术先进、安全适用、经济合理、确保质量、保护环境、提高效益的原则,总结四十余年来国家重大超长大体积混凝土跳仓法工程的设计、施工和材料等方面的经验,制定本规程。
- 1.0.2** 本规程适用于工业与民用建筑地下室超长大体积混凝土结构跳仓法的设计与施工。
- 1.0.3** 超长大体积混凝土结构的设计与施工除遵守本规程外,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 跳仓法 alternative bay construction method

在大体积混凝土工程设计、施工中，必须控制由于水化热和收缩引起的温度收缩裂缝，降低温度收缩应力，将超长混凝土根据结构温度应力与结构长度呈非线性关系，采用不开裂的计算长度作为分仓尺寸，将整体结构分成若干仓，实行跳仓施工，分仓间歇阶段，结构的温度收缩应力得以显著的松弛和释放，抗拉性能得到提高，最终封仓后地下工程承受较小的温度收缩应力，由较长的结构总体抗拉能力来承受。

2.1.2 大体积混凝土 mass concrete

混凝土结构物实体最小几何尺寸不小于 1m 的大体量混凝土，或预计会因混凝土中胶凝材料水化引起的温度变化和收缩而可能导致有害裂缝产生的混凝土。

2.1.3 超长混凝土结构 super-length concrete structure

指单元长度超过现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50100 所规定的混凝土伸缩缝最大间距的结构。

2.1.4 温度应力 thermal stress

混凝土的温度变形受到约束时，混凝土内部所产生的应力。

2.1.5 收缩应力 shrinkage stress

混凝土的收缩变形受到约束时，混凝土内部所产生的应力。

2.1.6 温升峰值 the peak value of rising temperature

混凝土浇筑后随时间不断水化同时放热，当混凝土达到终凝时水化热的温度达到峰值。

2.1.7 里表温差 temperature difference of center and surface

混凝土浇筑体中心与表层下 50mm 温度之差。

2.1.8 降温速率 the speed of temperature descending

散热条件下，混凝土浇筑体中心温度达到温升峰值后每天的温度下降的值。

2.1.9 入模温度 the temperature of mixture placing to mold

混凝土拌合物浇筑入模时的温度。

2.1.10 绝热温升 adiabatic temperature rise

混凝土浇筑体处于绝热状态，内部的最高温升值。

2.2 符 号

2.2.1 温度及材料性能

a ——混凝土热扩散率；

C ——混凝土比热容；

C_x ——外约束介质（地基或老混凝土）的水平变形刚度；

E_0 ——混凝土弹性模量；

$E(t)$ ——混凝土龄期为 t 时的弹性模量；

$E_i(t)$ ——第 i 计算区段，龄期为 t 时，混凝土的弹性模量；

$f_{tk}(t)$ ——混凝土龄期为 t 时的抗拉强度标准值；

K_b, K_1, K_2 ——混凝土浇筑体表面保温层传热系数修正值；

m ——与水泥品种，浇筑温度等有关的系数；

Q ——胶凝材料水化热总量；

Q_0 ——水泥水化热总量；

Q_t ——龄期 t 时的累积水化热；

R_s ——保温层总热阻；

t ——龄期；

T_b ——混凝土浇筑体表面温度；

$T_b(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土浇筑体内的表层温度；

$T_{bm}(t)、T_{dm}(t)$ ——混凝土浇筑体中部达到最高温度时，其块体上、下表面的温度；

T_{max} ——混凝土浇筑体内的最高温度；

$T_{max}(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土浇筑体内的最高温度；

T_q ——混凝土达到最高温度时的大气平均温度；

$T(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土的绝热温升；

$T_y(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土收缩当量温度；

$T_w(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土浇筑体预计的稳定温度或最终稳定温度；

$\Delta T_1(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土浇筑块体的里表温差；

$\Delta T_2(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土浇筑块体在降温过程中的综合降温差；

$\Delta T_{1max}(t)$ ——混凝土浇筑后可能出现的最大里表温差；

$\Delta T_{1i}(t)$ ——龄期为 t 时, 在第 i 计算区段混凝土浇筑块体里表温度的增量;

$\Delta T_{2i}(t)$ ——龄期为 t 时, 在第 i 计算区段内, 混凝土浇筑块体综合降温差的增量;

T ——互相约束结构的综合降温差, 包括水化热温差 T_1 、气温差 T_2 、收缩当量温差 T_3 , 即 $T = T_1 + T_2 + T_3$;

T_1 ——水化热温差;

T_2 ——气温差;

T_3 ——收缩当量温差;

β_μ ——固体在空气中的放热系数;

β_s ——保温材料总放热系数;

λ_0 ——混凝土的导热系数;

λ_i ——第 i 层保温材料的导热系数;

2.2.2 数量几何参数

H ——混凝土浇筑体的厚度, 该厚度为浇筑体实际厚度与保温层换算混凝土虚拟厚度之和;

h ——混凝土的实际厚度;

h' ——混凝土的虚拟厚度;

L ——混凝土搅拌运输车往返距离;

N ——混凝土搅拌运输车台数;

Q_1 ——每台混凝土泵的实际平均输出量;

$Q_{\max}$ ——每台混凝土泵的最大输出量;

S_0 ——混凝土搅拌运输车平均行车速度;

T_t ——每台混凝土搅拌运输车总计停歇时间;

V ——每台混凝土搅拌运输车的容量;

W ——每立方米混凝土的胶凝材料用量;

α_1 ——配管条件系数;

δ ——混凝土表面的保温层厚度;

δ_i ——第 i 层保温材料厚度。

2.2.3 计算参数及其它

-
- $H(\tau, t)$ ——在龄期为 τ 时产生的约束应力延续至 t 时的松弛系数；
 K ——防裂安全系数；
 k ——不同掺量掺合料水化热调整系数；
 k_1 、 k_2 ——粉煤灰、矿渣粉掺量对应的水化热调整系数；
 M_1 、 M_2 M_{11} ——混凝土收缩变形不同条件影响修正系数；
 $R_i(t)$ ——龄期为 t 时，在第 i 计算区段，外约束的约束系数；
 n ——常数，随水泥品种、比表面积等因素不同而异；
 $\bar{r}$ ——水力半径的倒数；
 α ——混凝土的线膨胀系数；
 β ——混凝土中掺合料对弹性模量的修正系数；
 β_1 、 β_2 ——混凝土中粉煤灰、矿渣粉掺量对应的弹性模量修正系数；
 ρ ——混凝土的质量密度；
 ε_y^0 ——在标准试验状态下混凝土最终收缩的相对变形值；
 $\varepsilon_y(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土收缩引起的相对变形值；
 λ ——掺合料对混凝土抗拉强度影响系数；
 λ_1 、 λ_2 ——粉煤灰、矿渣粉掺量对应的抗拉强度调整系数；
 $\sigma_x(t)$ ——龄期为 t 时，因综合降温差，在外约束条件下产生的拉应力；
 $\sigma_z(t)$ ——龄期为 t 时，因混凝土浇筑块体里表温差产生自约束拉应力的
 累计值；
 η ——作业效率；
 σ_{zmax} ——最大自约束应力。

3 基本规定

3.0.1 超长大面积混凝土结构采用跳仓法技术,应根据本规程采用合理的设计方案和施工措施,选用合适的混凝土材料,控制温度变化和收缩引起的裂缝,减少和取消伸缩缝。

3.0.2 采用超长大面积混凝土结构采用跳仓法技术,应根据结构沉降发展规律控制差异沉降,包括绝对差异沉降和相对差异沉降,有条件地取消沉降后浇带。

3.0.3 超长大面积混凝土结构采用跳仓法施工,应根据本规程和工程结构设计图纸编制专项施工方案。工程技术人员必须熟悉工程地质、水文和气象条件,根据本工程特点、环境,提出工程施工要点、主要技术措施。

3.0.4 超长大面积混凝土结构跳仓法的设计和施工除应参照国家大面积混凝土施工规范及混凝土搅拌生产工艺的要求外,尚应符合下列要求:

1 混凝土设计强度等级宜为中低强度混凝土 C25~C40,地下工程大面积混凝土底板、外墙宜采用 60d 或 90d 龄期的强度指标,并作为混凝土配合比设计、混凝土强度评定及工程验收的依据,同时分别备用 90d、120d 龄期的测试试块;

2 混凝土结构配筋除应满足结构承载力和设计构造要求外,还应结合超长大面积混凝土的施工方法,注意加强构造设计,配置控制因温度和收缩可能产生裂缝的细而密的抗裂构造钢筋;

3 设计中宜采取减少超长大面积混凝土结构外部约束的技术措施;

4 非桩基的超长大面积混凝土基础结构设置在坚硬地基或岩石类地基上时,宜在混凝土垫层上设置滑动隔离层。

3.0.5 基础底板、地下室外墙、地下室楼板都可以跳仓施工,分仓可以不在同一垂直位置,基础底板和楼板分仓位置可在跨间的任何位置。基础底板、地下室外墙、地下室楼板应分别绘制分仓布置图。

3.0.6 跳仓施工超长大面积混凝土结构,不应掺加膨胀剂和膨胀剂类外加剂,不应掺加纤维,不应预埋冷却水管。

3.0.7 为了确保大面积混凝土不产生有害裂缝和渗漏,应当控制第一主拉应力小于等于混凝土标准抗拉强度的 85%。

3.0.8 超长大面积混凝土结构跳仓法施工前,应对施工阶段大面积混凝土浇筑体

的温度、温度应力及收缩应力进行试算，并确定施工阶段大体积混凝土浇筑体的温升峰值、里表温差及降温速率等控制指标，制定相应温控技术措施，相应保温保湿技术措施。

3.0.9 超长大体积混凝土结构跳仓法施工前，应做好各项施工准备工作，并根据当地气象、水文、地质条件采取相应的技术措施。冬期施工尚应符合国家现行有关标准的规定。

3.0.10 超长大体积混凝土结构跳仓法施工中，必须根据现场条件、周围环境做好跳仓法施工组织设计，必须考虑雨季、高温、气温骤降等特殊或异常条件下的应急预案。

3.0.11 宜对建筑物沉降进行长期观测。

4 结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 地下室结构采用跳仓法施工时，可不再设置施工后浇带。

4.1.2 地下室结构的混凝土强度等级，基础梁板宜不高于C40，外墙宜采用C30～C35，楼盖梁板采用预应力时不宜低于C40，非预应力时不宜大于C35，内墙和柱子根据设计需要采用。基础梁板及地下室外墙，当采用粉煤灰混凝土时，宜采用60d或90d龄期的强度指标作为混凝土设计强度。

4.1.3 主楼结构与裙房或地下车库结构在地下部分连成整体时，应采取有效措施减少差异沉降，并应进行地基变形验算，当主楼与裙房或地下车库相邻跨的柱或墙基础满足下列规定之一时，可不设置沉降后浇带：

1 主楼、裙房或地下车库的基础均采用桩基，经计算相邻跨的柱或墙基础不均匀沉降值小于 $2L/1000$ ，或绝对差异沉降小于 3cm；

2 主楼、裙房或地下车库的基础埋置深度较深，地基持力层为密实的高承载力、低压缩性土，压缩模量大，各自的基础沉降量很小，经计算相邻跨的柱或墙基础不均匀沉降值小于 $2L/1000$ ，或绝对差异沉降小于 3cm；

3 主楼基础采用桩基或复合地基，裙房或地下车库采用筏形基础的天然地基，经计算相邻跨的柱或墙基础不均匀沉降值小于 $2L/1000$ ，或绝对差异沉降小于 3cm；

4 主楼基础采用桩基或复合地基，裙房或地下车库天然地基采用独立柱基防水板，经计算相邻跨的柱或墙基础不均匀沉降值小于 $2L/1000$ ，或绝对差异沉降小于 3cm；

L 为主楼与裙房或地下车库相邻跨的柱或墙基础的中心距离。

4.2 基础底板

4.2.1 超长大体积混凝土结构采用跳仓法施工，基础底板可采用平板式或梁板式筏形基础。

4.2.2 基础底板采用“分层浇筑、分层振捣、一个斜面、连续浇筑、一次到顶”的推移式连续浇筑施工，筏板的厚度大于2m，在板的中间部位可不设水平构造钢筋。

4.2.3 基础平板筏基的厚度可根据多数柱或桩的冲切承载力确定，少量轴力大的柱，为满足冲切承载力需要，筏板可设上反柱帽或下反柱帽见图 4.2.3。桩顶锚入筏板或承台时，应采取有效防水措施。

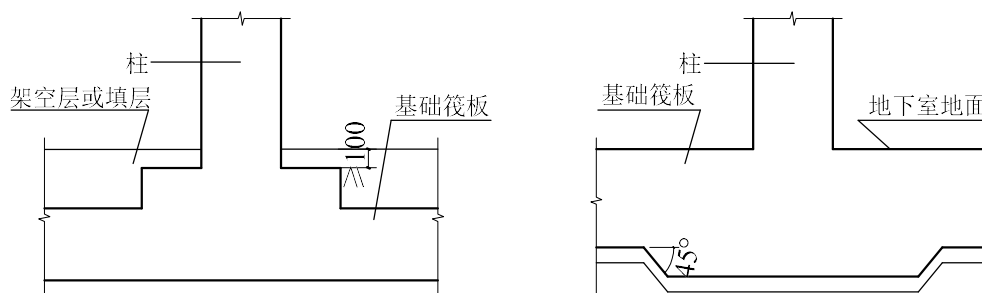


图 4.2.3 基筏板上/下反柱帽剖面

4.2.4 当设有地下室时，柱下条形基础和筏形基础可不考虑抗震构造，基础结构构件（包括筏形基础的梁与板、厚板基础的板、条形基础的梁等）可不验算混凝土裂缝宽度。

4.3 地下室外墙

4.3.1 地下室外墙的厚度应根据层高和受力情况确定，且应不小于 250mm。

4.3.2 地下室外墙承载力计算简图应根据工程具体支撑条件确定。当地下室层高不大，沿水平方向多数不是混凝土墙体支撑时，地下室外墙承载力计算可按竖向单向板，在楼板处按铰支座，与基础底板按固接。底板上下钢筋可伸至外墙外侧边，端部可不设弯钩，外墙外侧竖向钢筋在基础底板弯成直段，其长度按搭接长度与底板钢筋相连接图 4.3.2。外墙裂缝计算应按偏心受压构件。

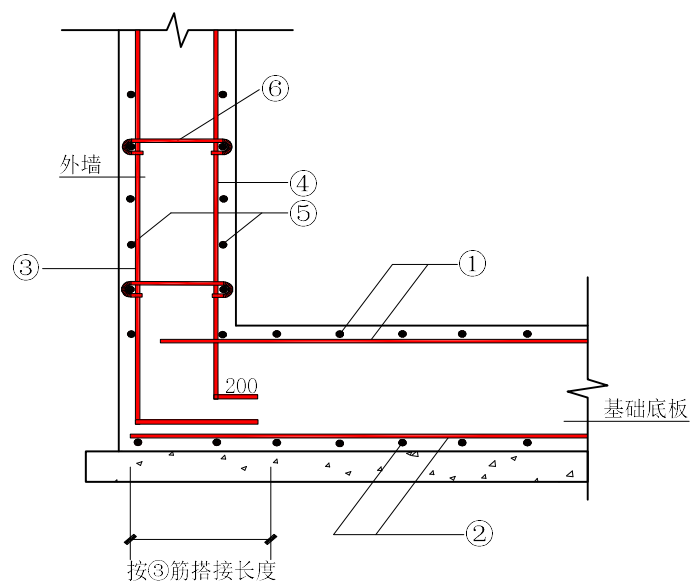


图 4.3.2 外墙竖向钢筋与底板连接构造

- 1 - 基础底板上部钢筋； 2 - 基础底板下部钢筋； 3 - 外侧竖向分部钢筋；
4 - 内侧竖向分部钢筋； 5 - 水平分布钢筋； 6 - 拉接钢筋；

4.3.3 地下室外墙的竖向和水平钢筋除按计算确定外，竖向分布钢筋的配筋率不宜小于 0.3%，外墙厚度不大于 600mm 时水平分布钢筋最小配筋率宜为 0.4%~0.5%，钢筋直径宜细，间距不大于 150mm，且应在竖向钢筋的外侧，内外侧水平钢筋拉筋直径可为 6mm，间距不大于 600mm 梅花形布置，人防外墙时拉筋间距不大于 500mm。

4.3.4 无地上房屋的地下车库，外墙不宜设扶壁柱。当外墙设有扶壁柱时，在扶壁柱处沿竖向原有水平分布钢筋间距之间增加直径 8mm、长度为柱每边伸出 800mm 的附加钢筋图 4.3.4。

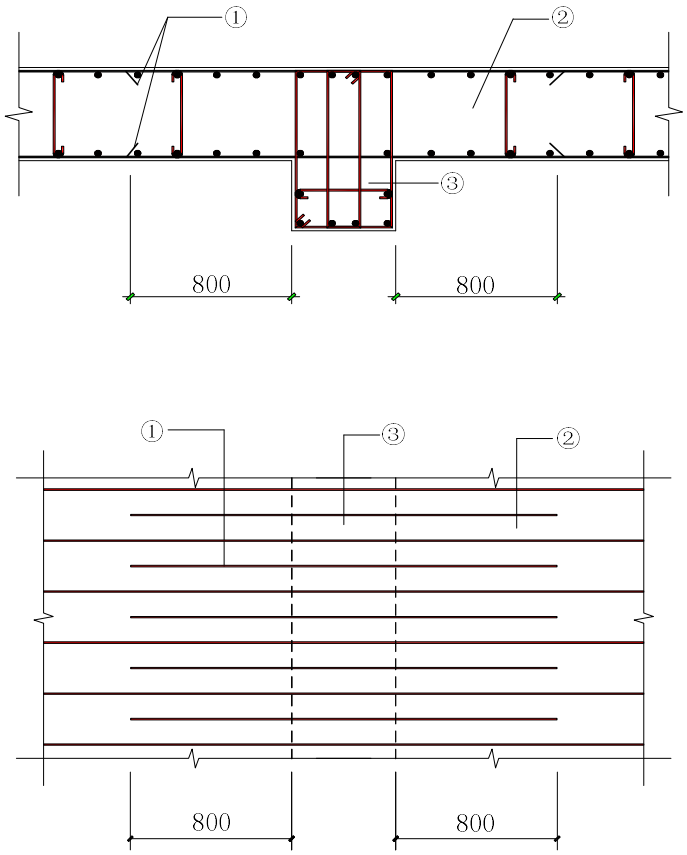


图 4.3.4 外墙扶壁柱旁附加钢筋

1 - 附加水平分布钢筋； 2 - 外墙； 3 - 扶壁柱；

4.3.5 地下室外墙与基础底板交界处可不设置基础梁或暗梁，除上部为剪力墙外，地下室仅有一层时的外墙顶部宜配置两根直径不小于20mm的通长构造钢筋。

5 材料、配比、制备及运输

5.1 一般规定

5.1.1 用于跳仓施工的混凝土除应符合工程设计所规定的强度等级、抗渗等级、耐久性及体积稳定性等要求外，尚应满足大体积混凝土施工规范的要求，并应符合经济合理、绿色环保的原则，尽可能减少水泥和胶凝材料用量，降低混凝土绝热温升值的要求。

5.1.2 用于地下室底板、外墙的混凝土应利用其后期强度，根据设计图纸要求按 60d 或 90d 强度作为混凝土配合比设计、强度评定及工程验收的依据。

5.1.3 跳仓施工混凝土的制备和运输，应根据预拌混凝土运输距离、运输设备、供应能力、材料变化、气象环境等调整预拌混凝土的有关参数。

5.2 原材料

5.2.1 跳仓施工的混凝土所用水泥的质量，应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175 的有关规定，宜使用 P.O.42.5，当采用其他品种水泥时，其性能指标必须符合现行有关标准的规定。

所选用的水泥还应符合下列规定：

1 水泥的比表面积不宜大于 $350\text{m}^2/\text{kg}$ ，常用的 42.5 水泥，其 3d 抗压强度小于 27Mpa，28d 试配抗压强度的富余系数大于 1.16；

2 所用水泥的铝酸三钙含量不应大于 8%；水泥 3d 水化热宜小于 250kJ/kg，7d 的水化热宜小于 280kJ/kg；

3 水泥生产厂家应向混凝土生产企业如实提供水泥混合材的品种、掺量及 3d、7d 的水化热测值；

4 所用水泥在预拌混凝土搅拌站的入水泥储仓温度不宜大于 60℃；

5 水泥进场时应检查水泥品种、代号、强度等级、包装或散装编号、出厂

日期等，并应对水泥的强度、安定性、凝结时间等进行检验，检验结果应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175 的相关规定。

5.2.2 粗细骨料的选用，除应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52 和《建筑及市政工程用净化海砂》JG/T494 及现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 选用天然砂或机制砂，级配良好，其细度模数在 2.3~3.0 的中粗砂，含泥量（重量比）不大于 3%；

2 选用质地坚硬，连续级配，不含杂质的非碱活性碎石。石子粒径，地下室底板、内外墙、地下室梁板宜选用 5mm~31.5mm。石子含泥量不应大于 1%，针片状颗粒含量不应大于 8%；碎石级配后的孔隙率 40%以内，松散堆积密度应大于 1500kg/m³；

3 不应选用吸水率较高的粗骨料。

5.2.3 粉煤灰和粒化高炉矿渣粉的选用，除应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB1596 和《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T18046 的有关规定外，还应符合下列规定：

1 粉煤灰宜采用 F 类 I 级或 II 级粉煤灰，对进厂的粉煤灰除按规定进行复检外，应通过看颜色、闻气味、必要时用显微镜观察辨别真伪，同时应做“安定性”检验或直接加水搅拌，观察其有无膨胀。

混凝土掺加粉煤灰可减少水泥用量，降低水化热，减缓早强速率，减少混凝土早期裂缝，跳仓法施工的混凝土宜掺粉煤灰为主，矿粉为辅，矿粉宜少掺或不掺。掺和料的总量占胶凝材料总量的 30%~50%；

2 矿渣粉宜选用 S95 级，其比表面积 $\leq 420 \text{ m}^2/\text{kg}$ ，矿粉占胶凝材料总量的 15%以内。

5.2.4 外加剂的选用，除应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119 的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 外加剂的品种、掺量应根据材料试验确定；

2 跳仓施工混凝土优选减缩型聚羧酸高效减水剂；

3 抗冻性能要求较高或寒冷地区的大体积混凝土，宜采用引气剂或引气型减水剂；

4 跳仓施工混凝土不应使用膨胀剂或膨胀剂类外加剂。

5.2.5 拌合用水质量应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ63 的有关规定。

5.3 配合比设计

5.3.1 超长大面积混凝土结构配合比设计时，其混凝土的配制强度计算应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的相关规定，且配置强度上限值不应超过30%；并应利用混凝土的后期强度，当采用60d或90d标养龄期的混凝土强度作指标时，应将其作为混凝土配合比设计、强度评定及工程验收的依据。

5.3.2 跳仓法施工常用的 C25~C40 中、低强度等级的大体积混凝土，其主要参数控制如下：

1 水胶比，可参照现行行业标准《普通混凝土配合比设计规范》JGJ 55 中的相关规定计算，并根据对混凝土结构的耐久性要求进行适当调整，建议范围：0.4~0.45，拌合水用量不应大于 $170\text{kg}/\text{m}^3$ ，胶凝材料总量不应大于 $350\text{kg}/\text{m}^3$ ，水泥用量不应大于 $240\text{ kg}/\text{m}^3$ ；

2 浆骨比，即每方混凝土中浆体体积（包括胶凝材料与拌合水的总体积）与骨料体积（包括粗细骨料的总体积）之比。跳仓施工的每立方混凝土中，浆体体积不得大于 32%，骨料体积不得小于 68%；

3 砂石比，为计算简便，可用砂与石的质量比，也可用砂率直接换算之，泵送混凝土的砂率选定范围宜为：38%~42%，粗骨料用量不应低于 $1050\text{kg}/\text{m}^3$ ；

4 掺和料掺量，矿物掺和料在混凝土中的掺量应通过试验确定。具体取值与所使用的水泥品种、工程结构类型及对混凝土耐久性要求，所处环境、施工季节、水胶比大小等等因素相关。其具体掺量应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55 和国家标准《矿物掺和料应用技术规范》GB/T51003 的相关规定；

5 混凝土拌合物浇筑时入模坍落度宜控制在 120~160mm，最大不得超过 180mm，在满足施工和泵送要求的前提下，尽可能采用较小的坍落度；

6 混凝土拌合物入模温度宜控制在 $5^{\circ}\text{C} \sim 32^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.3 混凝土制备前，宜进行绝热温升、泌水率、可泵性等对大体积混凝土控制

裂缝技术参数的试验，必要时配合比设计应通过试泵送。

5.3.4 在确定混凝土配合比时，应根据混凝土的绝热温升、温控施工方案的要求等，提出混凝土制备时粗细骨料和拌和用水等原材料及混凝土拌合物入模温度控制的技术措施，严格控制原材料的质量，特别是采石场不得混进杂质。

5.4 制备及运输

5.4.1 施工单位与预拌混凝土生产企业需签订混凝土买卖合同，合同必须符合国家相关法律法规和本规程的技术标准，报工程监理（或建设单位）备查。

5.4.2 施工方所选择的预拌混凝土生产厂家应具有相应的生产资质，其生产、运输、供应能力必须满足混凝土浇筑工艺和施工进度的要求，其质量应符合国家现行标准《预拌混凝土》GB/T 14902 和《混凝土质量控制标准》GB 50164 的相关规定以及合同中规定的相关技术要求。

5.4.3 由多家预拌混凝土生产企业同时供应混凝土的同一个工程部位，所使用的原材料、配合比、材料计量等级，以及制备工艺和质量检验水平应基本相同。

5.4.4 混凝土拌合物的运输应采用混凝土搅拌运输车，其运输车的数量应满足混凝土浇筑的工艺要求。并应符合如下要求：

- 1 运输车应具有防风、防晒、防雨、防寒设施及卫星定位监控系统。
- 2 搅拌运输车在装料前必须将罐内的积水排除干净。
- 3 搅拌运输车单程运送时间，应符合国家现行标准《预拌混凝土》GB/T 14902 的有关规定。

5.4.5 混凝土拌合物送达工地后，若坍落度损失较大或离析严重，需要补充外加剂调整拌合物性能时，宜符合下列规定：

- 1 当运输过程中出现离析或使用外加剂进行调整时，搅拌运输车应进行快速搅拌，搅拌时间不应小于 120s；经补充外加剂并快速搅拌已无法恢复混凝土拌和物的工艺性能时，不得浇筑入模。
- 2 任何时候严禁向拌合物中加水。

6 混凝土施工

6.1 一般规定

6.1.1 按本规程对混凝土结构施工图中后浇带的留置进行优化，与设计单位协调，进而确定跳仓法施工的分仓位置。

6.1.2 基础筏板

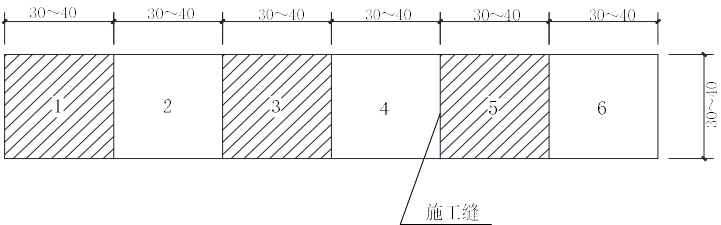
采用跳仓法施工时，应符合下列规定：

1 仓块划分以有利于应力释放和易于流水作业为原则，根据基础筏板面积大小沿纵向和横向分仓，仓格间距应不大于 40m；为方便施工，底板、楼板（顶板）及外墙的施工缝位置可以错开。

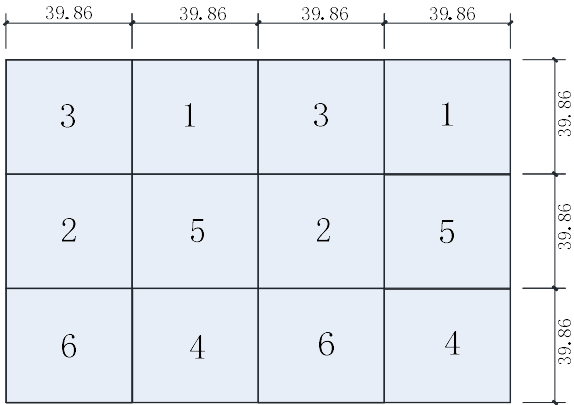
2 分仓施工缝按“品”状跳仓浇筑混凝土，间隔 7 天后，再进行倒“品”状填仓浇筑混凝土。

3 按跳仓法施工的混凝土底板置于岩石类地基上时，且采用本体防水混凝土，迎水面未设计防水作法，宜在混凝土垫层上设置滑动层。

4 仓格间距大于 40m 的筏板，应通过温度收缩应力计算后确定分仓尺寸，具体计算按本规程附录 A 、附录 B 进行。



(a) 递推式跳仓



(b) 棋盘式跳仓

图 6.1.2 跳仓平面布置示意图

6.1.3 地下室楼板

采用跳仓法施工时，应符合下列规定：

1 平面的纵向和横向仓格应小于 40m，各层顶板分仓与基础底板分仓不必在同仓格内；

2 地下室应回填土的各部位应及时回填，地下室外墙高出室外地面部分也应及时完成保温隔热做法。

6.1.4 地下室外墙

采用跳仓法施工时，应符合下列规定：

1 地下室结构外墙仓格间格直线长度应小于 40m；

2 跳仓施工缝可设置在任何位置。

6.1.5 超长大体积混凝土结构跳仓法施工方案应包括下列内容：

1 底板、墙体、楼板分别绘制分仓图；

2 温度应力和收缩应力的计算；

3 施工阶段温控措施；

4 原材料优选、配合比设计、制备与运输；

5 混凝土主要施工设备和现场总平面布置；

6 温控监测设备和测试布置图；

7 混凝土浇筑顺序和施工进度计划；

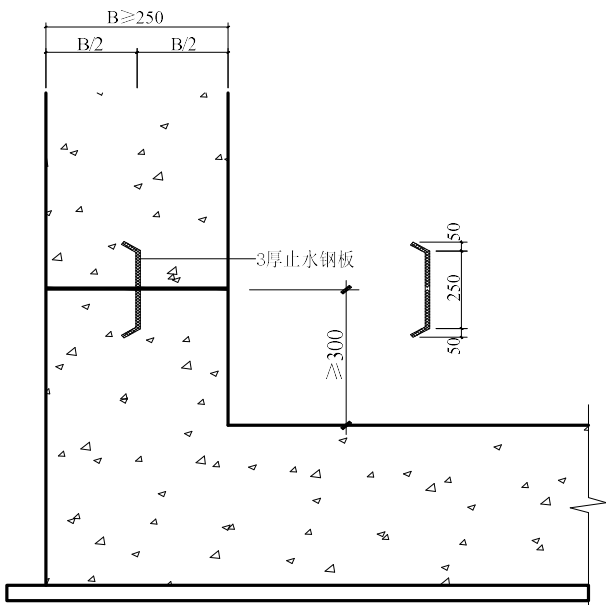
8 混凝土保温和保湿养护方法；

9 主要应急保障措施（交通堵塞、不利气候条件下等）；

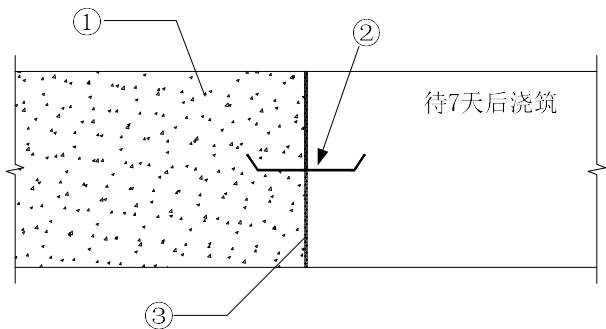
10 特殊部位和特殊气候条件下的施工措施。

6.1.6 超长结构采用跳仓法施工时，施工缝按下列规定处理：

底板与外墙、底板与底板、有回填土的地下室顶板施工缝应采取钢板止水带、底板施工缝处采用 $\text{Ø}6$ 或 $\text{Ø}8$ 双向方格（ $80\text{mm} \times 80\text{mm}$ ）骨架，用 20 目钢丝网封堵混凝土（图 6.1.6）。设止水钢板时骨架及钢板网上、下断开，保持止水钢板的连续贯通。



(1) 底板与外墙施工缝



1-已浇筑混凝土；2-止水钢板必须上翘；

3- Ø6 或 Ø8 钢筋骨架，先浇侧绑扎 20 目钢丝网

(2) 基础底板施工缝

图 6.1.6 施工缝示意图

6.2 施工技术准备

6.2.1 超长大体积混凝土结构跳仓法施工前，应进行图纸会审，提出施工阶段的综合抗裂措施，制订关键部位的施工作业指导书，对预拌混凝土厂家提出技术要求，并进行专项技术交底。

6.2.2 超长大体积混凝土结构跳仓施工，应在混凝土的模板和支架、钢筋工程、预埋管件等工作完成并验收合格后方可进行混凝土施工。

6.2.3 施工现场设施应按施工总平面布置图的要求按时完成并标明地泵或布料车位置，场区内道路应坚实平坦通畅，并制订场外交通临时疏导方案。

6.2.4 施工现场的供水、供电应满足混凝土连续施工的需要，当有断电可能时，应有双路供电或自备电源等措施。

6.2.5 跳仓施工混凝土的供应能力应满足连续浇筑的需要，制定防止出现“冷缝”的措施。

6.2.6 用于超长大体积混凝土结构跳仓施工的设备，在浇筑混凝土前应进行全面的检修和试运转，其性能和数量应满足大体积混凝土连续浇筑的需要。

6.2.7 混凝土的测温监控设备宜按本规程的有关规定配置和布设，标定调试应正常，保温用材料应齐备，并应派专人负责测温作业管理。

6.2.8 超长大体积混凝土结构跳仓施工前，应对工人进行专业培训，并应逐级进行技术交底，同时应建立严格的岗位责任制和交接班制度。

6.3 钢筋工程

6.3.1 在每区块混凝土浇筑过程中，应采取防止受力钢筋、定位筋、预埋件等移位和变形的措施。

6.3.2 当每区块水平结构预埋管线的密集部位，宜在预埋管线的上层面布置 $\Phi 8 \sim 12$ 钢筋@200~300，或宽度600~800的钢筋网片带作为抗裂构造措施。

6.3.3 区块相邻垂直于施工缝方向的钢筋连接宜采用搭接方式。

6.3.4 当区块基础底板厚度大于500时，应根据承担的荷载对上排钢筋的支撑架进行验算，进而确定支架横梁和支架立柱的截面选型。

6.3.5 地下室外墙水平钢筋应放在竖筋的外侧位置；如设计对外墙水平钢筋放置有其它要求除外。

6.4 模板工程

6.4.1 模板及支架应根据施工过程中的各种工况进行设计，应具有足够的承载力和刚度，支架系统在安装、使用和拆除过程中，必须采取防倒塌防倾覆的措施，保证整体的稳定性。

6.4.2 模板及支架的变形验算应符合下式规定：

$$a_{fG} \leq a_{f,lim}$$

a_{fG} —按永久荷载标准值计算的构件变形值；

$a_{f,lim}$ —按本规程规定的构件变形限值。

1. 结构表面外露的模板，其挠度限值宜取模板构件计算跨度1/400；
2. 结构表面隐蔽的模板，其挠度值宜取模板构件计算跨度的1/250；
3. 支架轴向压缩变形限值或侧向挠度限值，宜取计算高度或计算跨度的1/1000。

6.4.3 跳仓法施工模板工程应符合下列规定：

1. 地下室多层间连续支模的底层支架拆除时间，应根据连续支模的楼层间荷载分配和混凝土强度的增长情况确定；
2. 采用跳仓法施工不得将预埋件及电开关盒固定在模板上；
3. 安装模板前与混凝土接触面应清理干净、涂刷隔离剂，减小混凝土与模板间的吸附力；
4. 在冬季施工期间，宜在墙体混凝土强度达到1.0MPa时，先松动对拉螺栓，减少模板对混凝土墙的吸附或粘结；
5. 竖向结构模板与水平结构模板应分别支设。

6.4.4 超长大体积混凝土结构跳仓施工的拆模时间，除应满足国家现行有关标准对混凝土的强度要求外，还应满足混凝土浇筑体表面以下50mm处与大气温差不应大于20℃，当模板作为保温养护措施的一部分时，其拆模时间应根据本规程规定的温控要求确定。

6.5 混凝土浇筑

6.5.1 超长大体积混凝土结构基础底板、墙体、顶板混凝土的浇筑顺序应分仓进行，相邻仓的浇筑间隔时间不应少于7d。

6.5.2 超长大体积混凝土结构跳仓施工的浇筑工艺应符合下列规定：

- 1 对于大型基础底板高度 $H=1m\sim 2m$ 以上时，应采用分层（500mm 为一层）振捣，一次完成高度、大推进的办法，坡度为 1：6～1：7；
- 2 混凝土的浇筑法为分层布料、分层振捣、斜坡推进法施工；

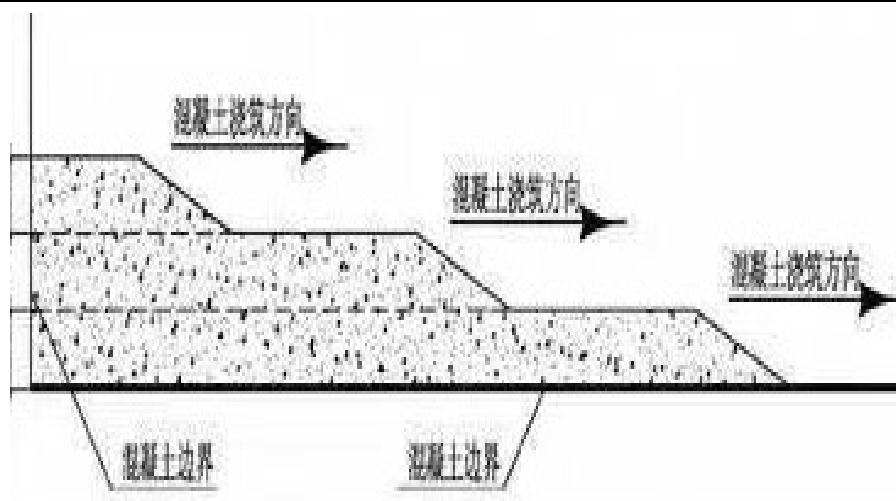


图 6.5.2 大体积混凝土分段（块）分层浇筑方法

3 在浇筑基础底板时，应防止在振捣中产生泌水。混凝土表面的水泥浆应分散开，在初凝之后、终凝之前可用木抹子进行多次压实；

4 每步错开不小于 3m 为宜，（见图 6.5.2）振捣时布设三道振捣点，分别设在混凝土的坡脚，坡道中间和表面。振捣必须充分，每个点振捣时间控制在 10s 左右并及时排除泌水；

5 基础底板及楼板混凝土表面在初凝后终凝前进行多次抹压，覆盖塑料薄膜，进行喷雾养护。

6.5.3 浇筑过程中，应采取措施防止受力钢筋、定位筋、预埋件等移位和变形。

6.5.4 浇筑面应及时进行多次抹压处理，楼板表面严禁掸水扫毛工艺。

6.6 混凝土养护

6.6.1 跳仓施工的超长大体积混凝土结构，在混凝土底板浇筑完毕，初凝喷雾养护后，应立即用塑料薄膜（布）覆盖；地下室外墙的混凝土养护，宜采用墙顶铺长管随时浇水或喷雾等措施。

6.6.2 混凝土浇筑完毕后，除应按普通混凝土进行常规养护外，尚应按温控技术措施的要求进行保温养护，并应符合下列规定：

1 应专人负责保温养护工作，并应按本规程的有关规定操作，同时应做好测试记录；

2 带模养护的持续时间不得少于 3d，保湿养护的持续时间不得少于 14d；

3 保温覆盖层的去除应分层逐步进行，当混凝土的表面温度与环境最大温差小于20℃时，方可全部去除。

6.6.3 在保温养护过程中，应对混凝土浇筑体的里表温差和降温速率进行现场监测，当实测结果不满足温控指标的要求时，应调整保温养护措施。

6.7 特殊气候条件下的施工

6.7.1 超长大面积混凝土结构跳仓施工遇炎热、冬期、大风或者雨雪天气时，必须采用保证混凝土浇筑质量的技术措施，大雨时不得浇灌混凝土，中雨时必须调整水胶比，并作下料部位的防雨措施。

6.7.2 炎热天气浇筑混凝土时，宜采用遮盖、洒水、拌冰屑等降低混凝土原材料温度的措施，混凝土入模温度宜控制在32℃以下。混凝土浇筑后，应进行保湿养护，宜避开高温时段浇筑混凝土。

6.7.3 冬期浇筑混凝土，混凝土入模温度不应低于5℃。混凝土浇筑后，应进行保湿保温养护。

6.7.4 大风天气浇筑混凝土，在作业面应采取挡风措施，并增加混凝土表面的抹压次数，应覆盖塑料薄膜和保温材料。

6.7.5 雨雪天不宜露天浇筑混凝土，当需施工时，应采取确保混凝土质量的措施。浇筑过程中突遇大雨或大雪天气时，应在结构合理部位留置施工缝，并应尽快中止混凝土浇筑；混凝土终凝后应进行覆盖，严禁雨水直接冲刷新浇筑的混凝土。

6.8 跳仓法施工职业健康安全与环境管理

6.8.1 “跳仓法”施工的安全技术必须符合国家现行《建筑施工安全技术统一规范》（GB5087）、《建筑施工安全检查标准》（JGJ59）及相关的现行建筑施工安全技术规范。

6.8.2 “跳仓法”文明施工检查评定应符合现行国家标准《建设工程施工现场消防安全技术规范》（GB50720）和现行行业标准《建筑施工现场环境与卫生标准》（JGJ146）《施工现场临时建筑物技术规范》（JGJ/T188）的规定。

7 施工过程中的温控及监测

7.0.1 超长大面积混凝土进行温控测试，不进行应变测试。

7.0.2 超长大面积混凝土浇筑体里表温差、降温速率及环境温度的测试，在混凝土浇筑后，每昼夜不应少于 4 次；入模温度的测量，每台班不应少于 2 次；测温周期不少于 28d。

7.0.3 混凝土施工时应进行温度控制，并应符合下列规定：

- 1 混凝土入模温度不宜大于 32℃；
- 2 在覆盖养护或带模养护阶段，混凝土浇筑体内部的温度与混凝土浇筑体表面温度差值不应大于 25℃；结束覆盖养护或拆模后，混凝土浇筑体表面以内 50mm 位置处的温度与环境温度差值不应大于 20℃；
- 3 混凝土浇筑体内相邻两测温点的温度差值不应大于 25℃；
- 4 混凝土内部降温速率不宜大于 2.0℃/d。

7.0.4 混凝土测温应符合下列规定：

- 1 宜根据每个测温点被混凝土初次覆盖时的温度确定各测点部位混凝土的入模温度；
- 2 浇筑体周边表面以内测温点、浇筑体表面测温点、环境测温点的测温，应与混凝土浇筑、养护过程同步进行；
- 3 应按测温频率要求及时提供测温报告，测温报告应包含各测温点的温度数据、温差数据、代表点位的温度变化曲线、温度变化趋势分析等内容；
- 4 混凝土结构表面以内 50mm 位置的温度与环境温度的差值小于 20℃时，可停止测温。

7.0.5 超长大面积混凝土浇筑体内监测点的布置，应真实地反映出混凝土浇筑体内最高温升、里表温差、降温速率及环境温度，可按下列方式布置：

- 1 监测点的布置范围应以所选混凝土浇筑体平面图对称轴线的半条轴线为测试区，在测试区内监测点按平面分层布置；
- 2 在测试区内，监测点的位置与数量可根据混凝土浇筑体内温度场分布情

况及温控的要求确定；

3 在每条测试轴线上，监测点位宜不少于 4 处，应根据结构的几何尺寸布置；

4 沿混凝土浇筑体厚度方向，一般布置外表面、底面和中心温度测点，其余测点宜按测点间距不大于 600mm 布置；基础底板厚度小于 1.5m 时可以分外表面和中心两层设置测温点；

5 保温养护效果及环境温度监测点数量应根据具体需要确定；

6 混凝土浇筑体的外表温度，宜为混凝土外表以内 50mm 处的温度；

7 混凝土浇筑体底面的温度，宜为混凝土浇筑体底面上 50mm 处的温度。

7.0.6 测温元件的选择应符合以下列规定：

1 测温元件的测温误差不应大于 0.3℃（25℃环境下）；

2 测试范围：-30～150℃；

3 绝缘电阻应大于 500MΩ。

7.0.7 混凝土测温频率应符合下列规定：

1 第 1d 至第 4d，每 4h 不应少于一次；

2 第 5d 至第 7d，每 8h 不应少于一次；

3 第 7d 至测温结束，每 12h 不应少于 1 次。

7.0.8 温度测试元件的安装及保护，应符合下列规定：

1 测试元件安装前，必须在水下 1m 处经过浸泡 24h 不损坏；

2 测试元件接头安装位置应准确，固定应牢固，并与结构钢筋及固定架金属体绝热；

3 测试元件的引出线宜集中布置，并应加以保护；

4 测试元件周围应进行保护，混凝土浇筑过程中，下料时不得直接冲击测试测温元件及其引出线；振捣时，振捣器不得触及测温元件及引出线。

7.0.9 测试过程中应及时描绘出各点的温度变化曲线和断面的温度分布曲线。

7.0.10 发现温控数值异常应及时报警，并应采取相应的措施。

附录 A 温度应力和收缩应力的计算

(规范性附录)

A.1 混凝土的绝热温升

A.1.1 水泥的水化热

$$Q_{\tau} = \frac{1}{n + \tau} Q_0 \tau \quad (\text{A.1.1-1})$$

$$\frac{\tau}{Q_{\tau}} = \frac{n}{Q_0} + \frac{\tau}{Q_0} \quad (\text{A.1.1-2})$$

$$Q_0 = \frac{4}{7/Q_7 - 3/Q_3} \quad (\text{A.1.1-3})$$

式中: Q_{τ} ——在龄期 τ 天时的累积水化热 (kJ/kg);

Q_0 ——水泥水化热总量 (kJ/kg);

τ ——龄期 (d);

n ——常数, 随水泥品种、比表面积等因素不同而异。

A.1.2 胶凝材料水化热总量应在水泥、掺合料、外加剂用量确定后根据实际配合比通过试验得出。当无试验数据时, 可考虑根据下述公式进行计算:

$$Q = k Q_0 \quad (\text{A.1.2})$$

式中: Q ——胶凝材料水化热总量 (kJ/kg);

k ——不同掺量掺合料水化热调整系数, 其值取法参见表 A.1.2。

A.1.3 当现场采用粉煤灰与矿渣粉双掺时, 不同掺量掺合料水化热调整系数可按式进行计算:

$$k = k_1 + k_2 - 1 \quad (\text{A.1.3})$$

式中: k_1 ——粉煤灰掺量对应的水化热调整系数可按表 A.1.3 取值;

k_2 ——矿粉掺量对应水化热调整系数可按表 A.1.3 取值。

表 A.1.3 不同掺量掺合料水化热调整系数

掺量	0	10%	20%	30%	40%
粉煤灰 (k ₁)	1	0.96	0.95	0.93	0.82
矿渣粉 (k ₂)	1	1	0.93	0.92	0.84

注：表中掺量为掺合料占总胶凝材料用量的百分比。

A.1.4 混凝土的绝热温升可按式计算：

$$T(t) = \frac{WQ}{C\rho}(1 - e^{-mt}) \quad (\text{A.1.4})$$

式中： $T(t)$ ——混凝土龄期为 t 时的绝热温升 (°C)；
 W ——每 m^3 混凝土的胶凝材料用量 (kg/m^3)；
 C ——混凝土的比热，一般为 $0.92 \sim 1.0$ ($\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$)；
 ρ ——混凝土的质量密度， $2400 \sim 2500$ (kg/m^3)；
 m ——与水泥品种、浇筑温度等有关的系数， $0.3 \sim 0.5$ (d^{-1})；
 t ——混凝土龄期 (d)。

A.2 混凝土收缩变形值的当量温度

A.2.1 混凝土收缩的相对变形值可按式计算：

$$\varepsilon_y(t) = \varepsilon_y^0(1 - e^{-0.01t}) \prod_{i=1}^{11} M_i \quad (\text{A.2.1})$$

式中： $\varepsilon_y(t)$ ——龄期为 t 时混凝土收缩引起的相对变形值；
 ε_y^0 ——在标准试验状态下混凝土最终收缩的相对变形值，取 3.24×10^{-4} ；

M_1 、 M_2 、... M_{11} ——考虑各种非标准条件的修正系数，可按表 A.2.1 取用。

A.2.2 混凝土收缩相对变形值的当量温度可按式计算

$$T_y(t) = \varepsilon_y(t) / \alpha \quad (\text{A.2.2})$$

式中： $T_y(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土的收缩当量温度；

α ——混凝土的线膨胀系数，取 1.0×10^{-5} 。

表 A.2.1 混凝土收缩变形不同条件影响修正系数

水泥品种	M_1	水泥 细度 (m^2/kg)	M_2	水 胶 比	M_3	胶浆 量 (%)	M_4	养护 时间 (d)	M_5	环境 相对 湿度 (%)	M_6	$\bar{r}$	M_7	$\frac{E_s F_s}{E_c F_c}$	M_8	减 水 剂	M_9	粉煤 灰掺 量 (%)	M_{10}	矿 粉 掺 量 (%)	M_{11}
矿渣水泥	1.25	300	1.0	0.3	0.85	20	1.0	1	1.11	25	1.25	0	0.54	0.00	1.00	无	1	0	1	0	1
低热水泥	1.10	400	1.13	0.4	1.0	25	1.2	2	1.11	30	1.18	0.1	0.76	0.05	0.85	有	1.3	20	0.86	20	1.01
普通水泥	1.0	500	1.35	0.5	1.21	30	1.45	3	1.09	40	1.1	0.2	1	0.10	0.76	—	—	30	0.89	30	1.02
火山灰水泥	1.0	600	1.68	0.6	1.42	35	1.75	4	1.07	50	1.0	0.3	1.03	0.15	0.68	—	—	40	0.90	40	1.05
抗硫酸盐水泥	0.78	—	—	—	—	40	2.1	5	1.04	60	0.88	0.4	1.2	0.20	0.61	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	45	2.55	7	1	70	0.77	0.5	1.31	0.25	0.55	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	50	3.03	10	0.96	80	0.7	0.6	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	14~ 180	0.93	90	0.54	0.7	1.43	—	—	—	—	—	—	—	—

注： 1 $\bar{r}$ ——水力半径的倒数，为构件截面周长（L）与截面积（F）之比， $\bar{r}=100L/F$ （ m^{-1} ）；

2 $E_s F_s/E_c F_c$ ——配筋率， E_s 、 E_c ——钢筋、混凝土的弹性模量（ N/mm^2 ）， F_s 、 F_c ——钢筋、混凝土的截面积（ mm^2 ）；

3 粉煤灰（矿渣粉）掺量——指粉煤灰（矿渣粉）掺合料重量占胶凝材料总重的百分数。

A.3 混凝土的弹性模量

A.3.1 混凝土的弹性模量可按下式计算

$$E(t) = \beta E_0 (1 - e^{-\varphi t}) \tag{A.3.1-1}$$

式中： $E(t)$ ——混凝土龄期为 t 时，混凝土的弹性模量（ N/mm^2 ）；
 E_0 ——混凝土的弹性模量，一般近似取标准条件下养护 28d 的弹性量可按表 A.3.1 取用；
 φ ——系数，应根据所用混凝土试验确定，当无试验数据时，可近似地取 0.09。
 β ——混凝土中掺合料对弹性模量修正系数，取值应以现场试验数据为准，在施工准备阶段和现场无试验数据时，可按表 A.3. 2 计算。

表 A.3.1 混凝土在标准养护条件下龄期为 28 天时的弹性模量

混凝土强度等级	混凝土弹性模量（ N/mm^2 ）
C25	2.80×10^4
C30	3.0×10^4
C35	3.15×10^4
C40	3.25×10^4

A.3.1 掺合料修正系数可按下式计算

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 \tag{A.3. 2}$$

式中： β_1 ——混凝土中粉煤灰掺量对应的弹性模量调整修正系数，可按表 A.3. 2 取值；
 β_2 ——混凝土中矿粉掺量对应的弹性模量调整修正系数，可按表 A.3. 2 取值；

表 A.3. 2 不同掺量掺合料弹性模量调整系数

掺量	0	20%	30%	40%
粉煤灰（ β_1 ）	1	0.99	0.98	0.96
矿渣粉（ β_2 ）	1	1.02	1.03	1.04

A.4 温升估算

A.4.1 浇筑体内部温度场和应力场计算可采用有限单元法或一维差分法。

A.4.2 有限单元法可使用成熟的商用有限元计算程序或自编的经过验证的有限元程序。

采用一维差分法, 可将混凝土沿厚度分许多有限段 Δx (m), 时间分许多有限段 Δt (h)。相邻三点的编号为 $n-1$ 、 n 、 $n+1$, 在第 k 时间里, 三点的温度 $T_{n-1, k}$ 、 $T_{n, k}$ 及 $T_{n+1, k+1}$, 经过 Δt 时间后, 中间点的温度 $T_{n, k+1}$, 可按差分式求得:

$$T_{n, k+1} = \frac{T_{n-1, k} + T_{n+1, k}}{2} \cdot 2a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} - T_{n, k} (2a \frac{\Delta t}{\Delta x^2} - 1) + \Delta T_{n, k} \quad (\text{A.4.2})$$

式中: a ——混凝土的热扩散率, 取 $0.0035 \text{m}^2/\text{h}$ 。

$\Delta T_{n, k}$ ——第 n 层热源在 k 时段之间释放热量所产生的温升。

A.4.3 混凝土内部热源在 t_1 和 t_2 时刻之间释放热量所产生的温差, 可按下式计算:

$$\Delta T = T_{\max} (e^{-mt_1} - e^{-mt_2}) \quad (\text{A.4.3})$$

A.4.4 在混凝土与相应位置接触面上释放热量所产生的温差可取 $\Delta T/2$ 。

A.5 温差计算

A.5.1 混凝土浇筑体的里表温差可按下式计算:

$$\Delta T_1(t) = T_m(t) - T_b(t) \quad (\text{A.5.1})$$

式中: $\Delta T_1(t)$ ——龄期为 t 时, 混凝土浇筑体的里表温差 ($^{\circ}\text{C}$);

$T_m(t)$ ——龄期为 t 时, 混凝土浇筑体内的最高温度, 可通过温度场计算或实测求得 ($^{\circ}\text{C}$);

$T_b(t)$ ——龄期为 t 时, 混凝土浇筑体内的表层温度, 可通过温度场计算或实测求得 ($^{\circ}\text{C}$);

A.5.2 混凝土浇筑体的综合降温差可按下式计算

$$\Delta T_2(t) = \frac{1}{6} [4T_m(t) + T_{bm}(t) + T_{dm}(t)] + T_y(t) - T_w(t) \quad (\text{A.5.2})$$

式中: $\Delta T_2(t)$ ——龄期为 t 时, 混凝土浇筑体在降温过程中的综合降温 ($^{\circ}\text{C}$);

$T_m(t)$ ——在混凝土龄期为 t 内，混凝土浇筑体内的最高温度，可通过温度场计算或实测求得 ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{bm}(t)$ 、 $T_{dm}(t)$ ——混凝土浇筑体达到最高温度 $T_{\max}$ 时，其块体上、下表层的温度 ($^{\circ}\text{C}$);

$T_y(t)$ ——龄期为 t 时，混凝土收缩当量温度 ($^{\circ}\text{C}$);

$T_w(t)$ ——混凝土浇筑体预计的稳定温度或最终稳定温度，(可取计算龄期 t 时的日平均温度或当地年平均温度) ($^{\circ}\text{C}$)。

A.6 温度应力计算

A.6.1 自约束拉应力的计算可按下式计算

$$\sigma_z(t) = \frac{\alpha}{2} \times \sum_{i=1}^n \Delta T_{li}(t) \times E_i(t) \times H_i(t, \tau) \quad (\text{A.6.1-1})$$

式中： $\sigma_z(t)$ ——龄期为 t 时，因混凝土浇筑体里表温差产生自约束拉应力的累计值 (MPa);

$\Delta T_{li}(t)$ ——龄期为 t 时，在第 i 计算区段混凝土浇筑体里表温差的增量 ($^{\circ}\text{C}$)。

$E_i(t)$ ——第 i 计算区段，龄期为 t 时，混凝土的弹性模量 (N/mm^2);

α ——混凝土的线膨胀系数;

$H(\tau, t)$ ——在龄期为 τ 时，第 i 计算区段产生的约束应力延续至 t 时的松弛系数，可按表 A.6.1 取值。

A.6.2 混凝土浇筑体里表温差的增量可按下式计算:

$$\Delta T_{li}(t) = \Delta T_1(t) - \Delta T_1(i-j) \quad (\text{A.6.2})$$

式中： j ——为第 i 计算区段步长 (d);

表 A.6.1 混凝土的松弛系数表

$\tau=2d$		$\tau=5d$		$\tau=10d$		$\tau=20d$	
t	H (τ , t)	t	H (τ , t)	t	H (τ , t)	t	H (τ , t)
2	1	5	1	10	1	20	1
2.25	0.426	5.25	0.510	10.25	0.551	20.25	0.592
2.5	0.342	5.5	0.443	10.5	0.499	20.5	0.549
2.75	0.304	5.75	0.410	10.75	0.476	20.75	0.534
3	0.278	6	0.383	11	0.457	21	0.521
4	0.225	7	0.296	12	0.392	22	0.473
5	0.199	8	0.262	14	0.306	25	0.367
10	0.187	10	0.228	18	0.251	30	0.301
20	0.186	20	0.215	20	0.238	40	0.253
30	0.186	30	0.208	30	0.214	50	0.252
∞	0.186	∞	0.200	∞	0.210	∞	0.251

A.6.3 在施工准备阶段，最大自约束应力也可按下式计算：

$$\sigma_{z\max} = \frac{\alpha}{2} \times E(t) \times \Delta T_{l\max} \times H_i(t, \tau) \quad (\text{A.6.3})$$

式中： $\sigma_{z\max}$ ——最大自约束应力（MPa）；

$\Delta T_{l\max}$ ——混凝土浇筑后可能出现的最大里表温差（℃）；

$E(t)$ ——与最大里表温差 $\Delta T_{l\max}$ 相对应龄期 t 时，混凝土的弹性模量（N/mm²）；

$H_i(t, \tau)$ ——在龄期为 τ 时，第 i 计算区段产生的约束应力延续至 t 时的松弛系数，可按表 A.6.1 取值。

A.6.4 外约束拉应力可按下式计算：

$$\sigma_x(t) = \frac{\alpha}{1-\mu} \sum_{i=1}^n \Delta T_{2i}(t) \times E_i(t) \times H_i(t_1) \times R_i(t) \quad (\text{A.6.4})$$

式中： $\sigma_x(t)$ ——龄期为 t 时，因综合降温差，在外约束条件下产生的拉应力（MPa）；

$\Delta T_{2i}(t)$ ——龄期为 t 时，在第 i 计算区段内，混凝土浇筑体综合降温差的增量（℃），可按下式计算：

μ ——混凝土的泊松比，取 0.15；

$R_i(t)$ ——龄期为 t 时，在第 i 计算区段，外约束的约束系数。

A.6.5 混凝土浇筑体综合降温差的增量可按下式计算：

$$\Delta T_{2i}(t) = \Delta T_2(t) - \Delta T_2(t-k) \quad (\text{A.6.5})$$

A.6.4 混凝土外约束的约束系数可按下式计算：

$$R_i(t) = 1 - \frac{1}{\cosh\left(\sqrt{\frac{C_x}{HE(t)}} \times \frac{L}{2}\right)} \quad (\text{A.6.6})$$

式中： L ——混凝土浇筑体的长度（mm）；

H ——混凝土浇筑体的厚度，该厚度为块体实际厚度与保温层换算混凝土虚拟厚度之和（mm）；

C_x ——外约束介质的水平变形刚度（N/mm³），一般可按下表 A.6.5 取值：

表 A.6.6 不同外约束介质下 C_x 取值（10⁻²N/mm³）

外约束介质	软粘土	砂质粘土	硬粘土	风化岩、低强度等级素混凝土	C10 级以上配筋混凝土
C_x	1~3	3~6	6~10	60~100	100~150

A.7 控制温度裂缝的条件

A.7.1 混凝土抗拉强度可按下式计算

$$f_{tk}(t) = f_{tk}(1 - e^{-\gamma t}) \quad (\text{A.7-1})$$

式中： $f_{tk}(t)$ ——混凝土龄期为 t 时的抗拉强度标准值（N/mm²）；

f_{tk} ——混凝土抗拉强度标准值（N/mm²）；

γ ——系数，应根据所用混凝土试验确定，当无试验数据时，可取 0.3。

A.7.2 混凝土防裂性能可按下列公式进行判断：

$$\sigma_z \leq \lambda f_{tk}(t) / K \quad (\text{A.7.2-1})$$

$$\sigma_x \leq \lambda f_{tk}(t) / K \quad (\text{A.7.2-2})$$

式中： K ——防裂安全系数，取 $K=1.15$ 。

λ ——掺合料对混凝土抗拉强度影响系数， $\lambda=\lambda_1 \cdot \lambda_2$ ，可按表 A.7.2-1 取值；

f_{tk} ——混凝土抗拉强度标准值，可按表 A.7.2-2 取值；

表 A.7.2-1 不同掺量掺合料抗拉强度调整系数

掺量	0	20%	30%	40%
粉煤灰 (λ_1)	1	1.03	0.97	0.92
矿渣粉 (λ_2)	1	1.13	1.09	1.10

表 A.7.2-2 混凝土抗拉强度标准值 (N/mm^2)

符号	混凝土强度等级			
	C25	C30	C35	C40
f_{tk}	1.78	2.01	2.20	2.39

附录 B 跳仓仓格长度的计算

（规范性附录）

B.1 跳仓仓格长度计算公式

跳仓仓格长度的确定，依据温度及收缩应力的简化计算公式：

$$\sigma = -E\alpha T \left[1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \beta \frac{L}{2}} \right] H(t, t) \quad (\text{第一组拉应力}) \quad (\text{B.1.1})$$

采用极限变形概念研究推导出平均伸缩缝间距的具体公式：

$$[L] = 1.5 \sqrt{\frac{EH}{C_x}} \operatorname{arcch} \frac{|\alpha T|}{|\alpha T| - \varepsilon_p} \quad (\text{最大不裂分仓长度}) \quad (\text{B.1.2})$$

其中：

$[L]$ ——平均伸缩缝间距

E ——混凝土弹性模量

H ——底板厚度或板墙高度

C_x ——地基或基础水平阻力系数

α ——混凝土线膨胀系数

T ——互相约束结构的综合降温差，包括水化热温差 T_1 、气温差 T_2 、收缩当量温差 T_3 ，即 $T = T_1 + T_2 + T_3$ 。

T_1 ——水化热温差（壁厚大于或等于 500mm 时考虑）

T_2 ——气温差

T_3 ——收缩当量温差

ε_p ——钢筋混凝土的极限拉伸

其中，连续地基地板与楼面板在计算时的内部约束相同，边界条件可以进行代换。只需对 C_x 进行修正，就可以应用于楼板的伸缩缝间距的计算。

B.2 跳仓仓格长度计算参数的选取

B.2.1 跳仓仓格长度计算公式中，参数 E 、 C_x 、 α 、 T 根据附录 A 中相应规定选取。

B.2.2 跳仓仓格长度计算公式中， ε_p 钢筋混凝土的极限拉伸：

- 1、当材质不佳、养护不良时，取 $0.5 \times 10^{-4} \sim 0.8 \times 10^{-4}$ ；
- 2、当材质优良、养护得当，缓慢降温时，取 2×10^{-4} ；
- 3、中间状况，取 $1 \times 10^{-4} \sim 1.5 \times 10^{-4}$ 。

附录 C 取消沉降后浇带的措施

一、不设沉降缝的依据

在上世纪八十年代以前，按有关规定凡不同高度房屋之间的基础、房屋不同形式基础之间、房屋平面凹凸不规则相互间基础、基础埋置在不同深度的房屋之间均需设置沉降缝分开，这种处理做法在北京及全国各地普遍应用。由于地基土的剪切传递，房屋基础之间的基础连续下沉，沉降观测表明地基沉降曲线是连续的，即便设有沉降缝也未出现突变现象，于是上述各类房屋的基础设沉降缝毫无意义。因此，从上世纪八十年代以后就没有设置沉降缝的规定，在同时新建房屋基础之间，设计时应控制相互间的差异沉降在规范允许值之内。在上世纪七十年代中建造的北京饭店东楼，高层主楼平面山字形，东西翼与中部及主楼与前厅裙房之间设沉降缝分开，前厅地下室地面比主楼地下室地坪面低，设想待主楼下沉后找平，沉降观测结果在沉降缝两侧始终没有差异沉降，若干年后原有高差不变。其他如首都宾馆留有沉降缝的工程有同北京饭店东楼相类似情况。

二、沉降后浇带的作用、浇灌时间和存在问题

在上世纪八十年代初北京市建筑设计院负责结构设计的北京西苑饭店工程，主楼客房平面为L形地下3层地上23层加顶部旋转餐厅塔楼6层，地面以上高度93.51m，裙房门厅地下2层地上3层，宴会厅地下1层地上1层，主楼基础埋深12m落在砂卵石层，采用箱形基础，裙房基础埋深7.55m和9.5m粉细砂层，采用条形基础。该工程参照日本经验在国内首次高层主楼与裙房之间不设沉降缝，主楼在与裙房相邻跨施工期间设置沉降后浇带，设想调剂主楼与裙房基础之间的差异沉降满足设计要求，目的是为了控制相邻建筑高度不同的基础差异沉降而可能产生结构构件附加内力和裂缝。沉降后浇带从基础到裙房屋顶，相关结构构件的钢筋断开，钢筋采用搭接或后浇带浇灌前焊接，待主楼结构完成23层顶板时浇筑混凝土连成整体。此后在北京及其他地方建造的许多高层主楼与裙房之间不再设沉降缝，而参照北京西苑饭店工程的做法采用了沉降带后浇带。并在《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程》JGJ3-91第6.1.3条规定，“为减小高层部分与裙房间的差异沉降量，在施工时应采用施工后浇带断开，待高层部分主体结构完成

时再连成整体，如采用桩基，可根据沉降情况，在高层部分主体结构未全部完成时连接成整体”。

在高层主楼与裙房之间设置了沉降后浇带的天然地基、复合地基和桩基的工程，在沉降后浇带两侧设置的沉降观测点观测结果表明，由于高层主楼地基下沉时土的剪切传递，临近裙房地基随着下沉形成连续沉降曲线而不产生突变现象，更由于许多工程在沉降后浇带相关结构构件的钢筋连续不断开，不再有设置沉降后浇带的作用。

由于设置沉降后浇带，在沉降后浇带浇灌以前，当地下水位较高的工程基坑降水不能停止，基坑肥槽不能回填，楼层梁板的模板不能拆，在此部位机电设备不能安装，建筑装修不能进行，地下室顶部防水不能做、土不能填，尤其是基础底板留的沉降后浇带范围清理非常困难、钢筋除锈很难彻底而影响质量，因此对工程的质量、进度、造价有较大的影响。

三、主楼与裙房或地下车库基础设计应控制差异沉降

很多主楼与裙楼或地下车库之间施工期间设置沉降后浇带的工程，沉降观测表明沉降后浇带两侧没有沉降差，沉降后浇带成了虚设，《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2002、JGJ3-2010中都取消了设置沉降后浇带的规定。因此，设计时必须采用变刚度调平设计方法及有效措施，把主楼与裙房或地下车库基础间的差异沉降值控制在规范允许范围内。采取的措施为：

1、减少高层主楼沉降量的措施

（1）采用压缩模量较高的一般第四纪沉积的中密以上之砂土层或卵石圆砾（通称作“砂卵石”）层为基础持力层，其厚度宜不小于4m并较均匀，且无软弱下卧层。实例：中环世贸中心，北京LG大厦，沈阳世茂中心，北京摩根中心，中关村金融中心（高150m），北京丽泽首创中心（高200m），均成功采用了天然地基方案。

（2）适当扩大基础底面积，以减少基底实际压力。实例：北京国际大厦，通过箱形基础外扩以降低基底压力。

（3）当建筑荷载较大或基础持力层以及地基受压层深度范围内为压缩相对较大土层时，可以采取人工地基的做法，也可以采用桩基或复合地基，应做好

技术经济比较。采用复合地基时，应条件合适，并有必要的试验数据。凡采用复合地基方法的工程，应进行沉降观测。

北京雪莲大厦（建筑高度约150m高）、北京保信金融中心（主楼地上31层）、北京SOHO现代城（A栋地上40层）是较早采用了灌注桩后注浆工艺以控制高层建筑沉降量。

随着研究的深入和经验的积累，大直径钻孔灌注桩后注浆技术越来越成熟可靠，应用日益广泛，研究与实践相辅相成。北京财富中心、北京银泰中心、北京电视中心新台址、北京CCTV新台址、北京国家体育场、首都国际机场T3航站楼以及在建的北京新机场航站楼等均采用了灌注桩后注浆技术以提高基桩承载能力、减少变形。

2、加大裙房沉降量的措施

当前地下室层数有愈来愈多的趋势，即基坑深度越来越深，裙房基础处于超补偿状态。过去有的设计，将裙房做成筏板基础，既增加了造价，又会抑制裙房基础沉降，使得高低层之间的沉降差过大。所以，设法使裙房部分的沉降量不致太少，是一个很重要的减少高低层之间的沉降差的方法。

加大裙房沉降量的措施主要有：

（1）适当调整裙房基础的埋置深度，以使压缩性相对更高的土层作为裙房基础持力层。例如：高层基础持力层为密实的砂土或碎石土时，而裙房基础底面标高则可以提高（如果可能），使得基底放置在黏性土或粉土层之上。例如北京西苑饭店设计“将高层主楼的基础落在-12.00m砂卵石层上，设二层地下室；裙房的基础绕在-7.559~-9.50m粉细砂层上，设一层和二层地下室。

（2）基础形式应优先选用单独柱基或条形基础。有防水要求时可采用单独柱基或条形基础另加防水板的方法。此时防水板下应铺设一定厚度的易压缩材料。

（3）选用单独柱基或条形基础之后，还须设法尽量采用较高地基容许承载力，尽可能减少其基底面积。

四、不设沉降后浇带的工程实例

设计单位采用变刚度调平设计方法及有效措施,把主楼与裙房或地下车库基础间的差异沉降值控制在规范允许范围内,全国已有许多工程主楼与裙房或地下车库之间的基础在施工期间不设置沉降后浇带。以下工程为例:

1、北京西城区某科技馆,地下5层,地上主楼12层裙楼6层,基础埋深度30m,基底为中、细砂,地基承载力标准值 $f_{ka}=360\text{kpa}$,基础底附加压力远小于经深度修正后的地基承载力。在2013年9月25日经专家论证会讨论,决定将原设计高层与低层之间设置的沉降后浇带取消。

2、北京市建筑设计研究院设计的北京丽泽商务区首创中心项目F02地块,两栋150m、1栋120主塔楼,裙房5层,地下均为4层埋深23m,均采用天然地基,持力层为卵石,主楼采用平板式筏基,裙房采用独立柱基、墙下条基加防水板,主楼带裙房的大底盘结构,采用上部结构、地下室结构、基础、地基土整体模型,对地基基础进行协同分析,确保主楼与裙房之间的沉降差值满足规范要求,施工期间主楼与裙房之间均未设置沉降后浇带,该项目结构在2016年底竣工,2017年底投入使用。

3、北京中国尊工程,位于北京CBD核心区Z15地块,主塔楼地上共108层高528m,地下7层埋深约37m,采用桩筏基础,设计用变刚度调平方法,主塔楼两侧纯地下室部分采用天然地基,持力层为黏性土层。工程桩分为三种类型:主塔楼核心筒和巨型柱区域为桩径1200mm、桩长44.6m,主塔楼其他区域桩径1000mm、桩长40.1m,塔楼与纯地下室之间过渡区域桩径1000mm、桩长26.1m,所有桩均采用桩侧柱端后压浆。该工程施工期间主塔楼与纯地下室基础之间没有设沉降后浇带。

4、北京市建筑设计研究院设计的北京经济技术开发区的京东集团总部2号楼,A座地上19层地下5层,核架核心筒结构,CFG桩梁板式筏基;B座地上16层地下5层,框架核心筒结构,CFG桩梁板式筏基;C座地上12层,框架核心筒结构,天然地基梁板式筏基。A、B、C座地下室及纯地下室均为5层,纯地下室天然地基独立柱基防水板, $\pm 0=27\text{m}$,抗浮设计水位标高为16.5m,纯地下室抗浮采用钢渣压重和抗浮锚杆。基础地基采用变刚度调平设计,A座南楼平均沉降39.5mm,B座南楼平均沉降35.7mm,C座北楼平均沉降41mm,主楼与纯地下室之间差异沉降量均小于0.1%,满足规范规定,不设置沉降后浇带。

5、北京市通州区潞城镇棚户区改造土地开发项目BCD区后北营东侧二期地块及西北角地块安置房项目，施工分为一、二、三、四标段。其中一、二标段由中国建筑设计研究院设计，北京建工集团和北京城建集团施工，由9栋高层住宅楼、1个大型地下车库等组成，地下均为3层，总建筑面积约32万平方米，其中1号至4号楼地上28层高83m，5号至9号楼地上27层高72.4m，高层住宅采用CFG桩筏板基础，车库采用天然地基筏板基础，按设计高层住宅最终沉降量不大于40mm，高层住宅与地下车库之间设置沉降后浇带，在2017年10月24日专家论证会讨论决定不设沉降后浇带。三、四标段由北京市建筑设计研究院设计，北京城建道桥建设集团有限公司和中国建筑一局施工，由7栋高层住宅、大型地下车库等组成，均为地下3层，总建筑面积25.38万多平方米，其中1号、4号、5号地上27层高78.75m，2号、3号楼地上28层高81.65m，6号楼地上18层高52.65m，7号楼地上19层高55.55m，地下均为3层，高层住宅采用CFG桩筏板基础，地下车库采用天然地基筏板基础，按设计高层住宅最终沉降量不大于50mm，高层住宅与地下车库之间设置沉降后浇带，在2017年11月3日专家论证会讨论决定不设置沉降后浇带。

6、奥雅纳（北京）设计的珠海某超高层项目，有一栋超高层办公楼、一栋高层公寓楼和配套的多层商业裙房，超高层办公楼地上46层高233.75m，地下3层，塔楼及裙房均采用钻孔灌注桩端后注浆桩基，塔楼与裙房和纯地下室之间不设沉降后浇带。

7、上海市真如副中心A6地块工程，位于普陀区礼尚路东侧、礼泉路南侧、南北长约260m，东西宽约120m，地上有高层主楼6栋，其中27层3栋，32层、29层、17层各1栋，2层变电站和1层高的卸货区，其余为绿化和庭院，地面下覆土厚度1.5m，地下3层连成一体，标高 $\pm 0.0 = 6.15\text{m}$ ，基础底板底为-15.8m，主楼基础采用直径800mm、长51.5m~57m钻孔灌注桩，桩端落在9-1、9-2细、中砂层，基础筏板厚1.5m，其他建筑基础采用直径700mm钻孔灌注桩，筏板厚600mm，基础底板混凝土强度等级均为C35，抗浮水位地面下0.5m，最低水位地面下1.5m。设计单位为上海江欢成建筑设计有限公司、上海新华院建筑设计有限公司，施工单位为上海宝冶集团有限公司。原设计采用施工后浇带，高层主楼周边与纯地下室之间设置沉降后浇带，2015年3月14日召开专家论证会时，根据高层主楼、地上低层房屋和地下室均采用了桩基础，按设计单位对其中29层主楼基础沉降计

算最大为29mm，与纯地下室相邻边沉降值为16mm；相邻东边A5地块也是由上海宝冶集团有限公司施工已建成的两栋地上32层办公楼，从2011年11月至2014年9月（完成装修后）沉降实测结果，中部最大沉降量分别为16.3mm 和18.7mm，经论证后决定，取消施工后浇带和沉降后浇带，基础底板、地下室外墙及顶板均采用“跳仓法”施工。

8、上海世界金融大厦地处浦东陆家嘴金融开发区，南邻陆家嘴路、北接区内规划道路、东近浦东南路、西临规划中的浦城路。由同济大学设计院作地下结构设计，该工程主楼共 43 层、裙房共四层，主楼高度 186m，裙房高度 20m。基础平面形状呈钻石形，最大边长为 57.0m，短边边长为 33.0m。对角线长 80 余 m，裙房挑出 46.5m。地下室共三层，底板面标高为-12.90m，主楼底板厚 3.30m、裙房底板厚 1.60m，底板混凝土为 C30、S8 级抗渗。基础采用钢管桩基，主楼共有 $\phi 609.6$ 钢管桩 571 根，裙房共有 $\phi 609.6$ 钢管桩 54 根。现浇钢筋混凝土基础底板采用一次性连续浇筑，不留后浇带。

9、虹口商城主楼地下二层，地上二十二层；裙房地下二层，地上六层。主裙楼建在一座桩-箱基上，主楼底板厚 1.8m，埋深 9.4m，桩长 27.5m；裙房底板厚 1.0m，桩长 23.8~26m，基础形状呈宝石形。经设计优化，主楼桩长由 27.5m 减至 25.74m；裙房的桩长改为 16m。原设计在主楼与裙房相邻处设置后浇带一道，按原设计主楼沉降 7~9cm，裙房沉降 3~4cm。主楼与裙房的差异沉降 5~5.7cm。

经整体沉降分析，考虑桩-土-箱共同工作，取消后浇带后，基础的最大沉降 6.4cm，边缘区 3.5cm 和 3.8cm，最大差异沉降为 2.9cm，在原后浇带部位增加弯矩 3459 kN·m，原设计配筋仍能满足使用要求。进行温度应力计算，实行温控，确保不产生有害裂缝。

在上海采用桩基础的高层主楼与裙房之间不设沉降后浇带的工程还有：东海商业中心、金融广场、浦贸大厦、远东国际大厦、金都大厦、东锦大酒店、国际网球中心等。

五、设有沉降后浇带的工程沉降实测实例

设有沉降后浇带的天然地基、复合地基和桩基础的工程，沉降观测表明在沉降后浇带柱间或沉降后浇带两侧差异沉降值都很小，许多工程的沉降后浇带提前

进行了浇灌。下列为各地的工程实例：

（一）天然地基工程

1. 北京西苑饭店：高层客房楼 A 段：地下 3 层，地上 23 层加塔楼 6 层，高 93.51m；裙房大厅 B 段：地下和地上均为 2 层；宴会厅 C 段：地下 1 层，地上 2 层。A 段地基为砂卵石，箱形基础；B 段和 C 段地基为粉细砂交叉梁形基础。A 段与 B 段、C 段之间设置有沉降后浇带（该工程是在北京乃至全国首例高层主楼与裙房低层之间不设永久性沉降缝、采用沉降后浇带的工程），在基础完成时共设置了沉降观测点 167 个，到主楼结构完工进行了沉降实测。A 段计算沉降值：最大为 50.3mm，最小为 35mm，而实测最大值为 32.1mm；B 段计算沉降值最大 10mm 左右，各段沉降实测值如图 C-1。从实测观测图可以看出高层主楼与裙房之间沉降曲线是连续的，没有突变现象。

2. 北京燕莎中心：由高层主楼旅馆地上 18 层地下 3 层，北裙房地上地下各 1 层，南裙房地下 1 层地上 2—3 层组成。高层主楼为埋置在粉质粘土、粘质粉土上的箱形基础，南北裙房为在粉质粘土、粘质粉土上的片筏基础，高层主楼与裙房之间设置了沉降后浇带。基础底板完成设置沉降观测点，至主楼结构完成到进行部分装修，在主楼与裙房设置的沉降观测点（图 C-2）及其差异沉降值如表 C-1。从表 C-1 中可以看出，主楼与裙房之间最终的差异沉降值仅 1.39mm~2.31mm。因此，主楼与裙房之间完全可以不设沉降后浇带，施工期间可设置施工后浇带。

3. 北京安慧北里阳光新干线住宅：地上 12 层地下 2 层，与北边地下 2 层的车库连成整体，基础底为粉质粘土，砂质粉土， $f_{ka}=180\text{kPa}$ ，住宅为满堂筏基，地下车库采用独立柱基防水板，均为天然地基，施工期间主楼与地下车库之间设置了沉降后浇带，完成基础底板设置了沉降观测点，并在沉降后浇带两侧也设了观测点，直至主楼结构封顶沉降观测结果，主楼最大沉降值为 15.4mm，沉降后浇带两侧差异沉降值最大为 0.7mm。

4. 紫荆苑综合楼：位于深圳市福田区景田路，北边三栋地上 12 层、13 层主楼，南北地上 3 层裙房（图 C-3（a）），地下均为 1 层连成整体，地基持力层为砾质粘土，主楼采用平板筏基，裙房采用独立柱基，主楼与裙房之间设置了沉降后浇带。共设置了 24 个沉降观测点，观测结果如图 C-3（b），表明紫沉降后浇带两侧的沉降差基本为零，不仅可以取消沉降缝，而且可以取消沉降后浇带。

（二）复合地基工程

1. 清华同方科技广场：位于北京清华大学东侧，两栋塔楼地上 26 层，裙房地上 5 层，地下均为 3 层与地下车库部分连成整体。地基土为重粉质粘土、粘土，塔楼采用 CFG 桩复合地基，裙房和地下车库部分为天然基础，均采用满堂筏基。该工程塔楼与裙房、地下车库之间设置了沉降后浇带，在 2001 年 6 月基础底板完成后设置了沉降观测点，至 2003 年投入使用后 4 个月共观测 23 次。表明：两塔楼核心筒最大沉降值分别为 39.7mm 和 35.7mm，裙房最小为 18.7mm，塔楼与裙房和地下车库之间沉降值没有突变现象（图 C-4）。

2. 北京建国路金地花园 A 座公寓：地上 34 层地下 2 层，基础满堂筏板采用 CFG 桩复合地基，相邻地下车库 2 层，采用满堂筏板天然地基，主楼与地下车库地基连成整体。在施工期间设置沉降后浇带，从基础底板完成后就在后浇带两侧设置了沉降观测点，至主楼完成 6 层时沉降后浇带两侧几乎没有差异沉降，提前浇筑了后浇带的混凝土。主楼封顶时基础最大沉降值为 39.8mm。

（三）桩基础工程

1. 西安市的西安国际商务中心：A 段为高约 150m 的超高层写字楼，筒中筒结构；B 段为高约 100m 的高层公寓楼，框剪结构；C 段为 3 层裙房的商贸中心，框架结构。地上用防震缝分为三个结构单元，地下室 2 层连成整体，高低层之间设沉降后浇带。写字楼和公寓楼均采用桩筏基础，裙房采用天然地基十字交叉梁筏基，在写字楼和公寓封顶后一年的沉降观测值，其结果如图 C-5。

2. 北京南银大厦，位于北京朝阳区三元桥东南角，主楼写字楼地上 31 层地下 2 层，西侧有纯地下室，基地为粉质粘土、粘质粉土 $f_{ka}=220\text{kpa}$ ，主楼采用 $\Phi 400$ 预应力管桩，桩端持力层为细、粉砂，满堂布桩，纯地下室部分为天然地基，主楼与纯地下室之间基础不设置沉降后浇带（图 C-6）。主楼计算最大沉降为 90mm，设置了沉降观测点，在结构封顶后大部分装修已完成时，在核心筒实测最大沉降量为 45.5mm（图 C-7）。

3. 河南省新乡市公安综合楼，主楼地上 24 层，主楼左右两侧裙房均为地上 6 层，地下一层连成整体，主楼采用 $\Phi 800$ 钻孔灌注桩，中筒、中柱下桩长 56m，边柱下桩长 47m，桩端为细、粉砂层，裙楼采用 $\Phi 600$ 钻孔灌注桩，长 35m，桩端为粉质粘土或细砂。主楼与裙楼相邻跨内设置了宽 1000mm 沉降后浇带，钢筋

断开，设置了 13 个沉降观测点，施工至主楼地上 10 层、裙楼地上 4 层时测得沉降差值小于 1mm。

附图：

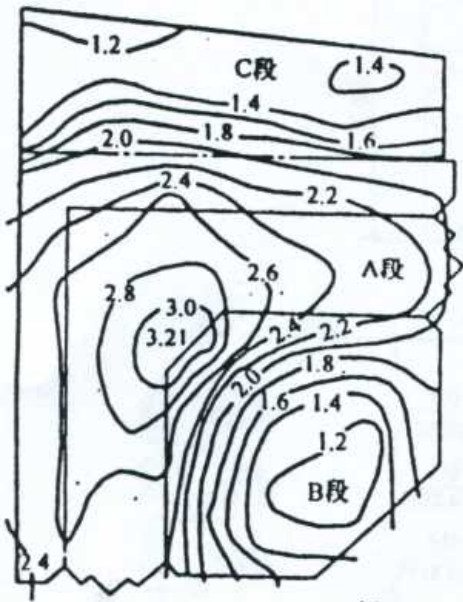


图 C-1 西苑饭店沉降实测值 (cm)

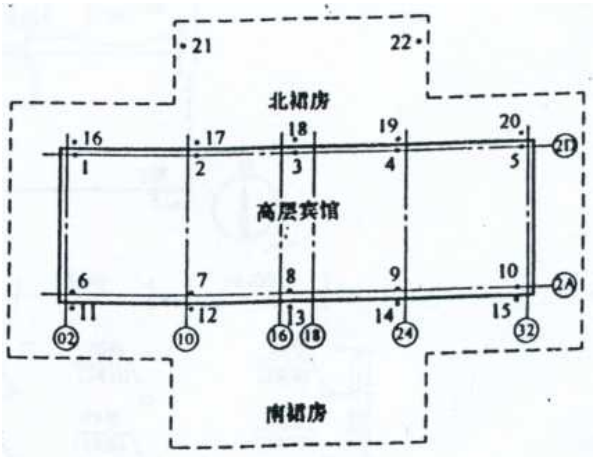


图 C-2 北京燕莎中心沉降观测点布置

北京燕莎中心沉降实测值 (mm) 表 C-1

观测点	(1) 1991. 4. 1 观测			(2) 1991. 10. 23 观测			(3)	(2) + (3) - (1)	主楼与裙房 差异沉降值
	实测	底板重 沉降	合计	实测	底板重 沉降	合计	至最终沉 降附加量	叠加值	
7	23. 28	8. 04	31. 32	29. 88	8. 04	37. 92	6. 35	12. 95	1. 39
12	1. 16	4. 54	5. 70	8. 18	4. 54	12. 72	4. 54	11. 56	
9	20. 68	8. 04	28. 72	28. 41	8. 04	36. 45	6. 35	14. 08	1. 94
14	0. 81	4. 54	5. 35	8. 41	4. 54	12. 95	4. 54	12. 14	
3	27. 69	8. 04	35. 73	35. 03	8. 04	43. 07	6. 35	13. 69	2. 31
18	0. 23	4. 54	4. 77	7. 07	4. 54	11. 61	4. 54	11. 38	

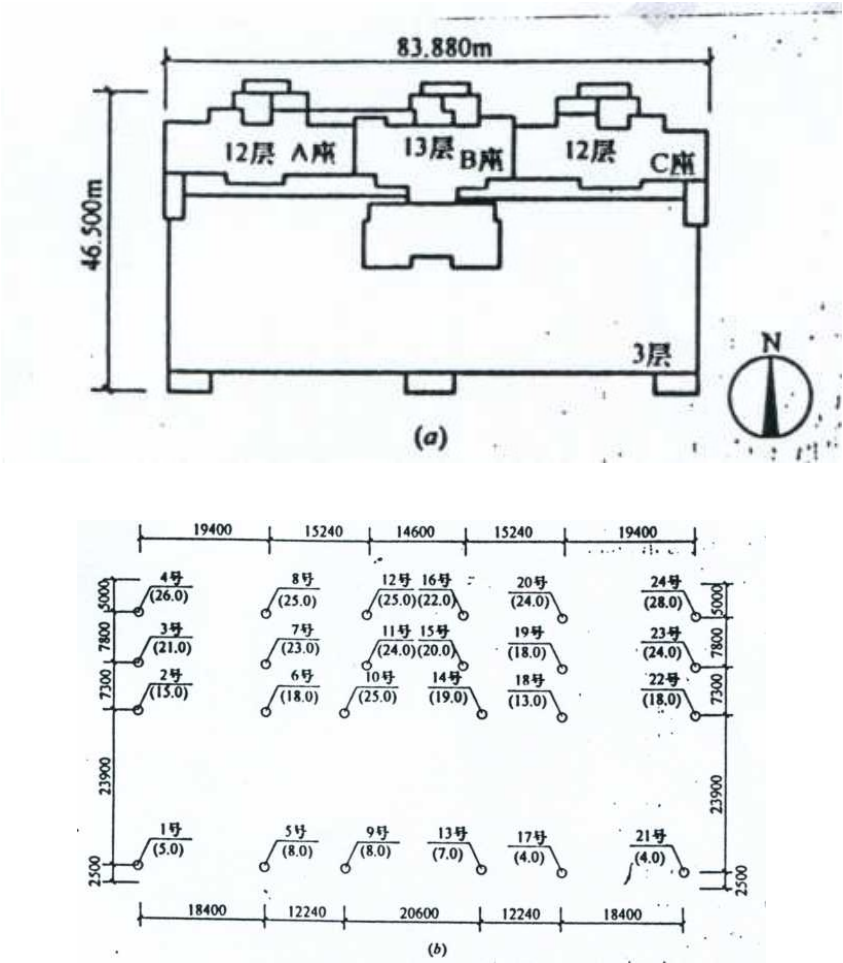


图 C-3 紫金苑综合楼
(a) 总平面图; (b) 沉降观测点位置及沉降值 (mm)

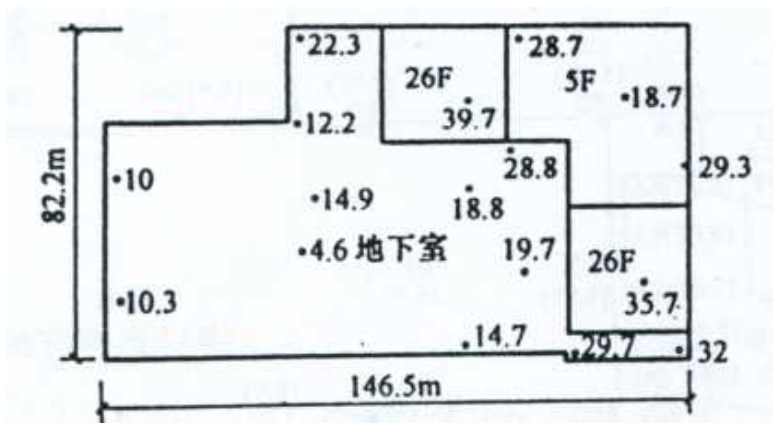


图 C-4 清华同方科技广场沉降实测值 (mm)

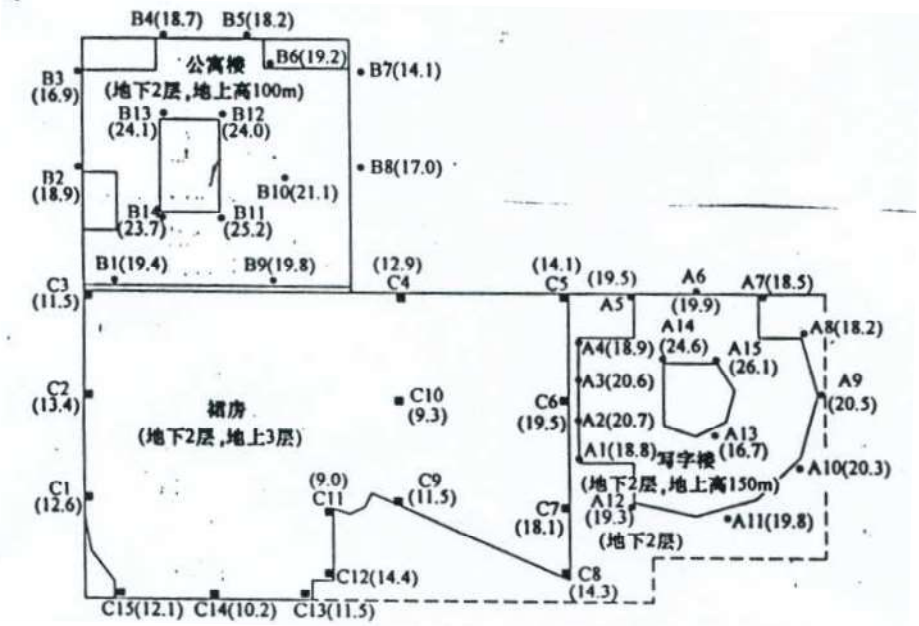


图 C-5 西安国际商务中心实测沉降值 (mm)

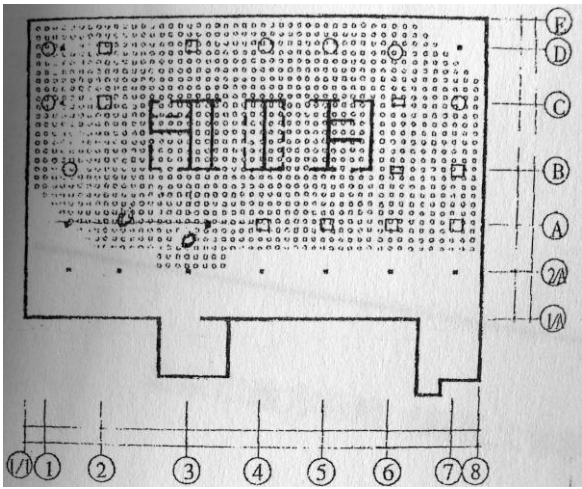


图 C-6 北京南银大厦桩基平面布置

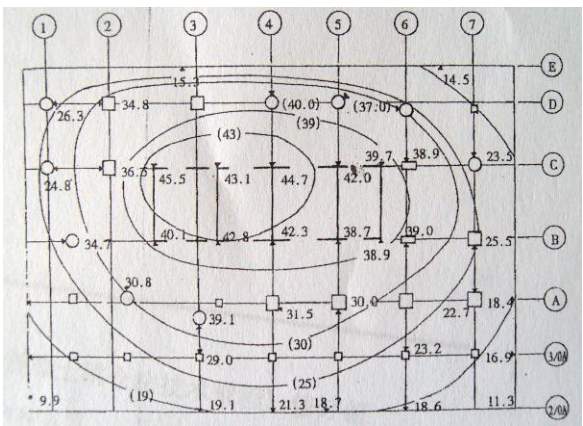


图 C-7 北京南银大厦底板实测沉降曲线

附录 D 混凝土后期强度

普通混凝土与粉煤灰混凝土对比

水泥品种	混凝土种类	各龄期强度比值				
		R ₇	R ₂₈	R ₆₀	R ₉₀	R ₁₈₀
42.5级	普通混凝土	0.63~0.84	1.0	1.07~1.18	1.18~1.27	1.25~1.42
硅酸盐水泥	粉煤灰混凝土	0.55~0.79	1.0	1.15~1.21	1.27~1.35	1.35~1.48
32.5级	普通混凝土	0.66	1.0	1.18	1.19	—
矿渣水泥	粉煤灰混凝土	0.61~0.63	1.0	1.18~1.21	1.25~1.29	—

混凝土不同龄期强度

C30混凝土			C40混凝土		
龄期 (d)	强度 (N/mm ²)	百分比 (%)	龄期 (d)	强度 (N/mm ²)	百分比 (%)
3	15.2	51	3	21.3	53
7	28.6	95	7	37.8	95
14	33.8	113	14	44.6	112
28	37.6	125	28	48.3	121
60	42.7	142	60	56.0	140
90	47.5	158	90	63.5	159

根据《混凝土结构工程施工规范》中相关规定，因考虑运输、管理等因素，混凝土搅拌站配制的强度比设计强度提高不小于15%，但有的搅拌站提高得太多，这对控制混凝土裂缝是不利的。因此，在正常情况下掺有粉煤灰的大体积混凝土，取用60d或90d龄期强度，对工程结构承载力是合理和可靠的。本规程规定了混凝土强度上限不应超过30%。

中国工程建设标准化协会标准

超长大体积混凝土结构跳仓法技术规程

**Technical specification for mass and super-length concrete structure
with alternative bay construction method**

CECS

条文说明

2018 北京

目 次

1 总则.....51

2 术语和符号.....52

3 基本规定.....55

4 结构设计.....58

 4.1 一般规定.....58

 4.2 基础底板.....59

 4.3 地下室外墙.....60

5 材料、配比、制备及运输.....61

 5.1 一般规定.....61

 5.2 原材料.....62

6 混凝土施工.....65

 6.1 一般规定.....65

 6.2 施工技术准备.....65

 6.4 模板工程.....66

 6.5 混凝土浇筑.....66

 6.6 混凝土养护.....66

7 施工过程中的温控及监测.....67

1 总则

1.0.1 本跳仓法技术规程所提示的设计、施工和材料要求内容是为了提高工程建成后的整体质量，在总结四十余年数百个工程实践经验而编写的，以国家技术经济政策为方向，努力达到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量、保护环境提高综合效益。实践证明采用跳仓法施工对控制混凝土裂缝、提高效率、保证质量和降低工程造价具有显著的意义。

同时，在工民建领域的大体积混凝土实施跳仓法，采用 60d、90d 强度，可以大量节约水泥，同时大量减少二氧化碳排放量，节能环保的作用十分巨大。

1.0.2 本规程的适用范围作了规定，本规程主要用在工业与民用建筑地下室结构工程中。

本规程的“跳仓法”是混凝土不参加任何膨胀剂的跳仓施工，要求高品质“普通混凝土好好打”，提高混凝土的均质性，降低变异性。

1.0.3 本规程是现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 的延伸和发展。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 跳仓法施工的原理是基于“混凝土的开裂是一个涉及设计、施工、材料、环境及管理等的综合性问题，必须采取‘抗’与‘放’相结合的综合措施来预防”。

“跳仓施工方法”虽然叫“跳仓法”，但同时注意的是“抗”与“放”两个方面。

“放”的原理是基于目前在工业与民用建筑混凝土结构中，胶凝材料（水泥）水化放热速率较快，1~3d 达到峰值，以后迅速下降，经过 7~14d 接近环境温度的特点，通过对现场施工进度、流水、场地的合理安排，先将超长结构划分为若干仓，相邻仓混凝土需要间隔 7d 后才能浇筑相连，通过跳仓间隔释放混凝土前期大部分温度变形与干燥收缩变形引起的约束应力。“放”的措施还包括初凝后多次细致的压光抹平，消除混凝土塑性阶段由大数量级的塑性收缩而产生的原始缺陷；浇筑后及时保温、保湿养护，让混凝土缓慢降温、缓慢干燥，从而利用混凝土的松弛性能，减小叠加应力。

“抗”的基本原则是在不增加胶凝材料用量的基础上，尽量提高混凝土的抗拉强度，主要从控制混凝土原材料性能、优化混凝土配比入手，包括控制骨料粒径、级配与含泥量，尽量减小胶凝材料用量与用水量，控制混凝土入模温度与入模坍落度，以及混凝土“好好打”保证混凝土的均质密实等方面。“抗”的措施还包括加强构造配筋，尤其是板角处的放射筋与大梁中的腰筋。结构整体封仓后，以混凝土本身的抗拉强度抵抗后期的收缩应力，整个过程“先放后抗”，最后“以抗为主”。从约束收缩公式分析中，可得混凝土结构中的变形应力并不是随结构长度或约束情况而线性变化的，其最大值最后总是趋近于某一极值，若混凝土的抗拉强度能尽量贴近这一值，则可极大地减小开裂。同时可看出最大应力总是与结构的降温幅度成正比（干燥收缩也等效为等量降温），故提高抗拉强度不能以增加水化热温升或干燥收缩为前提。

2.1.2 本规程所属的大体积混凝土，不再单纯按尺寸厚度和施工经验界定。由于以往许多工程结构设计和施工中忽略了温控和抗裂措施，使得结构施工阶段中出现裂缝，影响了结构的使用和耐久性，因此，把需要温控和采取抗裂措施的这类混凝土归属于大体积混凝土性质的混凝土结构。

2.1.3 超长混凝土结构。超过《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010（简称《混凝土规范》）钢筋混凝土结构伸缩缝的最大间距的结构，称为超长混凝土结构。《混凝土规范》规定的钢筋混凝土结构伸缩缝的最大间距如表所示。

钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距（m）

结构类别		室内或土中	露天
排架结构	装配式	100	70
框架结构	装配式	75	50
	现浇式	55	35
剪力墙结构	装配式	65	40
	现浇式	45	30
挡土墙、地下室	装配式	40	30
墙壁等类结构	现浇式	30	20

2.1.4 温度应力，“温度变形受到约束时”的约束包括混凝土的内约束和混凝土的外约束。例如内约束中石子对水泥浆收缩的约束，以及混凝土内外温度差对混凝土收缩的约束。外约束包括地基或模板对混凝土收缩的约束，以及寒冷天冷对混凝土收缩的影响等。

2.1.5 收缩应力，指混凝土早期收缩应力。①塑性收缩（凝缩）应力、②自生收缩（自缩）应力、③温度收缩（冷缩）应力、④干燥收缩（干缩）应力，上述收缩应力引起的混凝土裂缝，是跳仓法所要应对的主要内容。至于混凝土的碳化膨胀裂缝，以及荷载裂缝一般不属于混凝土早期收缩应力裂缝。

2.1.6 温升峰值：混凝土浇筑后水化热引起混凝土升温最高值，与水泥品种、用量，关系很大。近年来随水泥细度的提高，水泥活性较 30 年提高出约两个等级，比如现在的 42.5 水泥大体相当于水泥标准修订前的 525 号水泥，又相当于 1979 年以前硬练标准的 600 号水泥；混凝土的水化热温升峰值也就大大提高提前了。配置大体积混凝土要求温升峰值不应太早、太高，施工企业对水泥峰值进行实测，以便采取有针对性的降温技术措施。

2.1.8 降温速率：混凝土达到温升峰值后每天的温度下降值。沿混凝土浇筑后的不同厚度部位的降温速率都必须进行控制，每天不大于 2℃，而且内外温差不大于 25℃，外表与大气温差不大于 20℃。

2.1.10 绝热温升：混凝土浇注体处于绝热状态，内部不同时刻升温曲线数值，是控制不同厚度部位的温度梯度值的重要依据。

3 基本规定

3.0.1 鉴于超长大体积混凝土结构的重要性，“跳仓法”专项施工方案需经施工单位技术负责人审批，并报总监理工程师备案并核查落实情况。

3.0.4 本条根据超长大体积混凝土工程施工的特点，提出了对超长大体积混凝土设计强度等级、结构配筋等的具体要求。

1 根据现有资料统计，一般大体积比较适宜采用60d或90d龄期的强度指标。地下室底板、外墙的混凝土由于荷载是逐渐增加，采用60d或90d龄期的强度指标，已经是工程实践行之有效的经验，并在现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 - 2010第12.1.11条中有规定，是可节能、降耗、有效减少有害裂缝产生的技术措施。高于C40混凝土出现裂缝的概率增加，因此建议采用混凝土的设计强度等级在C25~C40的范围内。

在工民建领域的大体积混凝土采用60d、90d强度，可以充分利用掺合料取代水泥，降低温度收缩应力，提高抗裂性和耐久性，从而可以大量节约水泥，同时可大量减少二氧化碳排放量，满足低碳节能环保要求。

2 本款提出在超长大体积混凝土跳仓法施工对结构的配筋除应满足结构强度和构造要求外，还应满足大体积混凝土施工的具体方法（整体浇筑、分层浇筑或跳仓浇筑）配置承受因水泥水化热和收缩而引起的温度应力和收缩应力的构造钢筋。

3 本款中所指的减少超长大体积混凝土结构外部约束是指：模板、地基、桩基和已有混凝土等外部约束。

4 在超长大体积混凝土结构施工中考虑硬质岩石地基对它的约束时，宜在混凝土垫层上设置滑动层，滑动层构造可采用一毡二油或一毡一油（夏季），以达到尽量减少约束的目的。

3.0.6 本条规定不应掺加膨胀剂和膨胀剂类外加剂的理由如下：

1、掺微膨胀剂补偿收缩混凝土需要饱和水养护 14 天，否则很难达到控制裂缝的目的。大量工程实践表明一旦养护条件不满足要求，混凝土的收缩将会比不加微膨胀剂的混凝土收缩大很多，甚至产生贯穿裂缝。目前，大量跳仓法施工工程实践证明，不掺加微膨胀剂的混凝土，能控制工程不产生有害裂缝。

2、掺膨胀剂类外加剂存在“延迟膨胀”的风险和“过量膨胀”的危害。

混凝土的早期塑性收缩在先，与膨胀剂的线膨胀不同步——在塑性阶段生成钙矾石不会产生膨胀，待有一定强度时再膨胀会造成混凝土裂缝。

如果膨胀剂掺量不准确则会出现过量膨胀而导致混凝土破坏。

掺加膨胀剂还存在着延迟钙矾石膨胀应力形成的后期延迟性开裂风险。

中国常用膨胀剂钙矾石 $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ ，必须有大量供水条件（ $65^\circ \sim 75^\circ$ 受热脱水分解）。法国专家要求小于 65° 预防脱水破坏，膨胀剂中含有硫酸根，对钢筋锈蚀和耐久性不利，施工中需水量大，急剧降低坍落度。2009.8 为 AP1000 三代核电工程进行对比试验，核电工程决定一律不掺膨胀剂和纤维。施工中没有充分供水条件掺膨胀剂混凝土，产生剧烈的收缩落差，反而引起更多的收缩裂缝，限制膨胀率为零和负值。有许多工程出现裂缝后沉积在混凝土微裂缝中的钙矾石和混凝土中的未水化的钙矾石后期再遇充分供水条件时，便产生后期遇水膨胀破坏，即所谓延迟钙矾石引起的开裂。在北京、上海、深圳某些工程中掺膨胀剂，企图达到补偿收缩目的。但实际工程产生了更加严重的收缩裂缝。某些工程掺氧化钙类和氧化镁类膨胀剂，引起混凝土内部自约束应力，产生粉碎酥裂失去强度，形成自然爆裂。法国技术要求严格控制混凝土钙矾石稳定性，要求经过泡水与 $38^\circ C$ 烘箱干湿交替反复 7 天共 70 周的试验： $\varepsilon \leq 0.06\%$ 膨胀变形。以下原引上海《地基基础设计规范》J11595-2010 条文说明 319 页中 15.7 章节：

本规程裂缝控制技术要求不在混凝土中掺加微膨胀剂，由于微膨胀剂只有在水中才能起作用，而施工现场很难达到使微膨胀剂产生效果的养护条件，大量工程实例表明一旦养护条件不满足要求，混凝土的收缩将会比不加微膨胀剂的混凝土收缩大很多，甚至产生大量的裂缝。目前，大量的工程实践证明，不掺加微膨胀剂的混凝土，同样能保证工程不产生裂缝，其裂缝控制风险远远小于掺加微膨胀剂的混凝土，减少收缩的技术措施包括混凝土组成材料的选择、配合比设计、浇筑方法以及养护条件等。必要时可在基础承台表面增设直径较细、间距较小的构造抗裂钢筋。已有 100 多项工程的成功实例。

本条规定不应掺加纤维，是鉴于纤维在工程实际应用中存在不能均匀分散、结团现象，易导致混凝土内部缺陷，降低混凝土强度。

本条规定不应预埋冷却水管，是由于工民建领域大体积混凝土水化时产生大

量水化热，最高温升可达到 65~75℃，此时如通入冷却水，导致混凝土整体降温较大，导致较大的外约束应力，从而导致贯穿性开裂，国内外都有工程实例。

3.0.7 本条确定了超长大体积混凝土在施工方案阶段应做的试算分析工作，对大体积混凝土浇筑体在浇筑前应进行温度、温度应力及收缩应力的验算分析。其目的是为了确定温控指标（温升峰值、里表温差、降温速率、混凝土表面与大气温差）及制定温控施工的技术措施（包括混凝土原材料的选择、混凝土拌制、运输过程及混凝土养护的降温和保温措施，温度监测方法等），以防止或控制有害裂缝的发生，确保施工质量。

4 结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 在现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496中已有跳仓法施工的规定，但没有与基础结构设计相关的规定。本规程是该规范的补充和延伸，采用跳仓法施工时对结构设计和施工提出了相关规定。

4.1.2 高强度混凝土水化热及收缩偏大，徐变偏小，应力松弛效应偏小，为控制裂缝混凝土强度等级不宜太高。现在采用的泵送流动性高强度预拌混凝土，比以往的人工搅拌的较低强度混凝土，水泥用量、水用量都增加，水泥活性增加，比表面积加大，水胶比加大，坍塌落度加大等，导致水化热及收缩变形显著增加；混凝土及水泥向高强度化发展、水泥强度不断提高，用量不断增加，混凝土的抗压强度显著提高而抗拉强度提高滞后于抗压强度，拉压比降低，弹性模量增长迅速；随胶凝材料增多，体积稳定性成比例下降（温度收缩变形显著增加）；用高强度钢筋代替中低强度钢筋导致钢筋配筋率减小，使用应力显著增加，混凝土裂缝增大。试验表明由于非弹性影响，混凝土结构开裂时钢筋实际应力约为60MPa。因此，钢筋混凝土结构中的混凝土裂缝不可避免，应控制有害裂缝（渗水、钢筋锈蚀、耐久性等）出现。

4.1.3 设置沉降后浇带的目的，为控制相邻建筑高度不等的基础、主楼与裙房或地下车库之间的差异沉降而可能产生结构构件附加内力和裂缝。

从上世纪八十年代初开始许多高层主楼及裙房之间设置沉降后浇带的工程，沉降观测表明在沉降后浇带两侧没有突变性沉降差，地基反压力仍然平缓均匀分布，沉降后浇带成了虚设，只起安慰作用，并且给施工造成许多困难，拖延工期，降低防水质量。其原因是由于地基土连续剪切传递不可能发生突变，尤其箱形基础构件在沉降后浇带钢筋连续而不断开情况下，箱形基础整体刚度较大，具有良好的抵抗差异沉降能力。主楼与裙房采用联合基础，以下为减少联合基础差异沉降的措施：

1 减少高层建筑沉降的措施有：

（1）地基持力层应选择压缩性较低的一般第四纪中密及中密以上的砂土或砂卵石土，其厚度不宜小于4m，并且无软弱下卧层。

(2) 适当扩大高层部分基础底面面积，以减少基础底面的基底反力。

2 使裙房沉降量不致过小的措施有：

(1) 裙房基础应尽可能减小基础底面面积，不宜采用筏形基础，以柱下独立基础或条形基础为宜。有防水要求时可采用另加防水板的方法，此时防水板下宜铺设一定厚度的易压缩材料。

(2) 裙房宜采用较高的地基承载力。有整体防水板时，对于内、外墙基础，调整地基承载力所采用的计算埋置深度 d 均可按下式计算：

$$d = (d_1 + d_2) / 2$$

式中： d_1 —— 自地下室室内地面起算的基础埋置深度， d_1 不小于 1.0m；

d_2 —— 自室外设计地面起算的基础埋置深度。

应注意使高层建筑基础底面附加压力与裙房基础底面附加压力相差不致过大。

(3) 裙房基础埋置深度，可小于高层建筑的埋置深度，以使裙房地基持力层的压缩性大于高层地基持力层的压缩性（如高层地基持力层为较好的砂土，裙房地基持力层为一般粘性土）。

4.2 基础底板

4.2.1 基础底板型式有梁板式筏基、平板式筏基。国内建筑结构的设计以前习惯采用梁板式筏基，一般认为它的整体刚度大、结构用的材料比平板式筏基省，尤其是现场施工操作人员的工资水平较低的情况下更可取。经过多项工程对基坑护坡、基础工程土方、基础结构用工及工期、梁板式筏基与平板式筏基单方造价、地下室建筑地面回填材料等综合比较结果，采用平板式筏基综合造价比梁板式筏基低，如果考虑基础工期缩短减少银行贷款的利息，那将更有意义。上部结构虽然有不同的类型，基础底板不论是平板式筏基还是梁板式筏基由于地下室周边外墙和若干内墙都将组成整体刚度较大的结构，当具有多层地下室时更是这样。

4.2.2 由于目前基础筏板按现行国家标准《大体积混凝土规范》GB 50496 采用整体分层连续浇筑施工，厚度大于 1 m 的不再分层浇筑，因此没有必要按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 - 2011 第 8.4.10 条规定筏板厚度大于 2m 在板厚中间再设置水平构造防裂钢筋。

4.2.3 平板式筏形基础应进行冲切承载力验算是现行北京市地方标准《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》 DBJ11/501 - 2009 第 8.6.7 条强制性规定。少量轴力大的柱下为满足冲切承载力需要筏板设置柱帽时,根据地下车库考虑卫生环境不再设置排水沟,宜优先采用下反柱帽,有利减少基础埋置深度,节省造价。当需要抗浮填压重材料时,柱帽可采用上反。桩顶锚入筏板或承台时为防水采取有效措施是必要的,不仅设计要有明确要求,更重要的是施工时要保证质量。

4.2.4 基础结构构件,地震发生时不会产生塑性铰,不需要考虑延性,不考虑抗震构造,也就是基础梁的箍筋弯钩可按非抗震、支座边箍筋间距按剪力确定,无加密区要求。基础结构构件可不验算混凝土裂缝宽度,这是因为基础梁或筏板钢筋应力实测值远小于设计强度值,其因素较多,例如,天然地基和桩基设计承载力均为极限值的 1/2,在柱下和墙下的反力比平均反力大得多,而跨中梁、板变形和内力比计算值小得多;基础底面与地基土之间巨大摩擦力;地下室与上部结构整体作用,使基础构件内力及相应的挠曲减小;混凝土弯曲构件裂缝验算方法是根据简支梁的试验结果提出的,基础构件与简支梁情况差的很远,等等。因此,没有必要再验算混凝土裂缝宽度。

4.3 地下室外墙

4.3.1 地下室外墙的厚度应根据具体工程确定,考虑到承受土压、水压及防水功能其厚度应不小于 250mm,超长结构外墙厚度不宜小于 300mm。地下室外墙的混凝土养护难度大,控制裂缝比其他构件困难,而混凝土强度等级高时,更不易控制混凝土裂缝,因此,混凝土强度等级宜低不宜高,不论多层建筑还是高层建筑的地下室外墙,承受轴向压力、剪力对混凝土强度等级不需要太高,土压、水压作用下按偏压构件或按弯曲构件计算,混凝土强度等级高低对配筋影响很小,所以混凝土强度等级宜采用 C30~C35。地下室内部墙体及柱子,受力大,混凝土易养护对控制裂缝有利,因此混凝土强度等级应根据结构设计需要进行确定。

4.3.2 地下室外墙在水平方向支承构件可能是墙或柱,间距可能不等,如按实际情况计算外墙板,类型可能较多,如果支座是柱子,柱必须竖向计算在外墙水平荷载作用下弯曲组合的偏压计算。为了计算简单,外墙配筋统一,外墙在水平侧向荷载作用下按单向板计算,并在楼板处按铰支座,在与基础底板相交处按固接。

基础底板上部钢筋锚入外墙按构造大于等于 5 倍直径即可,没有必要按习惯

和某些图集要求端部下弯，底板下部钢筋端部也可不沿外墙上弯，而外墙外侧竖向钢筋下端与底板下部钢筋按搭接长度搭接，即能满足外墙外侧竖向钢筋的锚固长度，与基础底板按固接，而底板在外墙端一般是按铰支座计算，按本规程图 4.2.4 连接完全可满足构造要求，而且方便施工节省人工。

无论有地上建筑或无地上建筑，地下室外墙除承受水平荷载外，均有竖向轴力存在，应按偏心受压构件计算，按纯弯计算混凝土裂缝宽度是不切实际的，造成计算结果裂缝超宽而增加钢筋。

4.3.3 现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010 第 12.2.5 条规定：高层建筑地下室外墙，其竖向和水平钢筋应双层双向布置，间距不宜大于 150mm，配筋率不宜小于 0.3%。许多工程的地下室外墙实际情况表明由于混凝土养护比较困难，裂缝控制难度较大，除高层建筑以外的其他建筑的地下室外墙竖向钢筋配筋率均不宜小于 0.3%，外墙厚度不大于 600mm 时，水平分布钢筋的配筋率还应适当增大，宜 0.4%~0.5%，其直径宜细不宜粗，间距不大于 150mm，并宜将水平分布钢筋布置在竖向钢筋的外侧。

4.3.4 在地下室外墙的附壁柱处，实为外墙截面突变，最易产生竖向裂缝，不少工程就在这些部位出现此类裂缝。为了控制裂缝，实践表明在附壁柱两侧采取如图 4.2.6 所示必要的附加钢筋措施是有效的。无地上建筑的地下室外墙可以不设附壁柱，楼板的梁在外墙端可按铰支座，虽加大了梁的跨中配筋，但不再配附壁柱钢筋，总的钢筋用量反而节省。

4.3.5 多层地下室的外墙具有极大的刚度和整体性，基础底板反力完全可以有效地与上部柱平衡；单层地下室外墙，当上部结构柱间距小于墙高度两倍时，则为刚性墙，基础底板反力如同多层地下室外墙与上部柱平衡，否则地下室外墙应按深梁考虑，但是均没有必要地下室外墙与基础底板交接部位设置地梁。当地下室仅为一层时，参照现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 - 2010 第 12.3.22 条宜在墙顶部配置两根直径不小于 20mm 的通长构造钢筋。在多层地下室的外墙与楼板交接处不应设附加钢筋更不应设暗梁。

5 材料、配比、制备及运输

5.1 一般规定

5.1.2 本条文考虑到超长大体积混凝土结构的施工及建设周期一般较长的特点，在保证混凝土有足够强度满足使用要求的前提下，规定了超长大体积混凝土结构采用60d或90d的后期强度，这样可以减少大体积混凝土中的水泥用量，提高掺合料的用量，以降低大体积混凝土的水化温升。同时可以使浇筑后的混凝土内外温差减小，降温速度控制的难度降低，并进一步降低养护费用。

5.2 原材料

5.2.1 为在超长大体积混凝土结构施工中降低混凝土因水泥水化热引起的温升，达到降低温度应力和保温养护费用的目的，本条文根据目前国内水泥水化热的统计数据 and 多个大型重点工程的成功经验，以及美国《大体积混凝土》ACI 207.1R-96 中的相关规定，将原《块体基础大体积混凝土施工技术规范》YBJ 224-91 中的“大体积混凝土施工时所用水泥其7d水化热应小于250kJ/kg”修订为“大体积混凝土施工时所用水泥其3d水化热宜小于240kJ/kg，7d水化热宜小于270kJ/kg”，同时规定了其水泥中的铝酸三钙含量小于8%。

当使用了3d水化热大于240kJ/kg，7d水化热大于270kJ/kg或抗渗要求高的混凝土，其水泥中的铝酸三钙含量高于8%时，在混凝土配合比设计时应根据温控施工的要求及抗渗能力要采取适当措施调整。

5.2.2 粗细骨料的选用考虑到，混凝土的收缩是由于水泥浆体水化硬化成水泥石后体积收缩所致。混凝土的骨料，特别是粗骨料对水泥收缩起着约束作用，是混凝土内部阻抗水泥石收缩的主要组分，因此骨料的含量、粒径、级配、孔隙率大小、杂质含量、骨料材质、品种都对混凝土收缩开裂有一定影响。本条文选用天然砂或机制砂规定细度模数2.3~3.0的中等粗砂含泥量不大于3%（包括泥块含量）。

粗骨料宜选用5mm—31.5mm质地坚硬连续级配孔隙率40%以内，这一指标是20年前我国骨料的一般水平。西方国家采取人工级配的方法控制骨料孔隙率，资料表明混凝土用水量只有130kg/m³并依然有较好的泵送性。目前北京、深圳等地所用石子的孔隙率接近50%，北京地区砂子含石量20%左右，粗细骨料的质量必须引起高度重视，改变粗放型的管理方式是防止超大体积混凝土出现有害裂缝的重要途径。

5.2.3 掺合料的选用本条文材料只选择粉煤灰和矿粉，两种掺合料理由如下：

1、粉煤灰在拌制混凝土时有三种效应并产生三种势能，包括形态效应产生的减水势能、火山灰活性效应造成的反应势能、微集料效应造成的致密势能。与基准混凝土相比，掺加粉煤灰可以改善混凝土拌合物的和易性，减少混凝土的泌水性。此外掺有粉煤灰的混凝土具有较小的弹性模量，且能减小混凝土水化热，延缓大体积混凝土水化热峰值的出现，使得最终由温度引起的约束力变小。正是由于粉煤灰掺合料的这一特点，使其广泛应用于泵送混凝土，来改善混凝土的可泵性和抗裂性，防止集料的离析。但是，粉煤灰会降低混凝土早期的极限抗拉强度。所以，粉煤对于混凝土的抗裂存在一个最优掺量。掺有粉煤的混凝土试验得知抗裂性较基准混凝土有明显的改善，但对粉煤灰掺量较高的混凝土应加强养护或采用2次抹面。

2、矿渣粉和优质超细矿渣粉活性均高于粉煤灰，且需水量较低，改善了絮凝情况，改善料均匀性，但其水化反应较粉煤灰快，提高了早期弹性模量，并且产生胶凝量较大，对开裂较为敏感，增大了混凝土收缩开裂趋势，细度较大的超细矿粉表现更甚。掺矿渣粉对混凝土较掺粉煤灰对混凝土抗裂性能低。掺普通矿渣粉还易产生泌水，措施不当易产生表面裂缝。

5.2.4 本条规定不应掺加膨胀剂和膨胀剂类外加剂的理由如下：

1、掺微膨胀剂补偿收缩混凝土需要饱和水养护14天，否则很难达到控制裂缝的目的。大量工程实践表明一旦养护条件不满足要求，混凝土的收缩将会比不加微膨胀剂的混凝土收缩大很多，甚至产生贯穿裂缝。目前，大量跳仓法施工工程实践证明，不掺加微膨胀剂的混凝土，能控制工程不产生有害裂缝。

2、掺膨胀剂类外加剂存在“延迟膨胀”的风险和“过量膨胀”的危害。混凝土的早期塑性收缩在先，与膨胀剂的线膨胀不同步，中国建材院教授认为：混凝土强度5~10MPa是膨胀的最佳发展期，并将其定义为“有效膨胀窗口”。混凝土在塑性阶段生成钙矾石不会产生膨胀，待有一定强度时再膨胀会造成混凝土裂缝。

另外如果掺量不准确会出现过量膨胀，尤其是混凝土先期水份不足、后期遇到潮湿环境后再膨胀造成混凝土开裂。

5.3 配合比设计

5.3.2 本条文依据《普通混凝土配合比规程》吸取了有经验的混凝土搅拌站多年

来数理统计方法确定的混凝土成分参数成熟经验,结合各地近年来跳仓法施工的成熟经验,本规程提出了水胶比、浆骨比、砂石比、掺合料的相关参数。不仅是单纯从混凝土强度等级考虑,而且高度重视了混凝土的长期耐久性和前期的防裂性,以及混凝土的可操作性。

“从实践中来,到实践中去”是规程条文的来源和归宿。实践又是在不断发展的,规程编写组人员着眼于未来,希望在实施本条文时积累数据经验,继续提高跳仓法规程的实践性科学性水平。

本条文中“抹合水用量不应大于 170 kg/m^3 ”,“混凝土入模坍落度宜控制在 $120\sim 160\text{mm}$,最大不得超过 180mm ”是重点。在满足施工和泵送要求的前提下,尽可能采用较小的坍落度。

6 混凝土施工

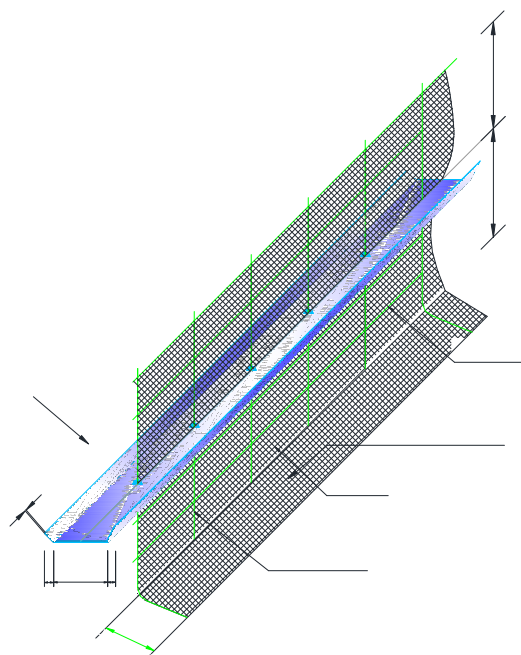
6.1 一般规定

6.1.3 地下室楼板

地下室顶板采用跳仓法施工，有关分仓、混凝土浇筑等的规定与基础底板相似，但是混凝土浇筑后的养护工作更为重要。

地下室外墙及地下车库顶板在完成防水施工后及时回填和覆盖土是非常重要的，地下室顶板采用跳仓法施工时，对有关构件做好保温隔热措施是必备的条件，否则难以控制施工期间混凝土出现裂缝。

6.1.6 地下室底板施工缝钢丝网与止水钢板构造参见下图。



6.2 施工技术准备

6.2.1 预拌混凝土连续供应是超长大面积混凝土结构施工前一项重要的技术准备工作，应选用实力强、信誉好、管理水平高的预拌混凝土生产单位，并签订合同文件。同时可以要求预拌混凝土生产单位报送有针对性的技术保证文件。

6.2.2 本条规定无论从工程质量还是从施工安全的角度看都是十分必要的。边调整钢筋或电管，边浇筑混凝土，或边加固模板边浇筑混凝土，不仅不能保证工

程质量，更是重大安全事故的重要原因。全部隐蔽部份的部位不完成书面验收签认不得进行混凝土的浇筑应当成为不可动摇的规矩。

6.2.3 为了超长大体积混凝土结构的顺利浇筑，平面运输布置图要求按地下工程、地上工程分阶段绘制，分阶段实施。

6.2.4 见规程原文，本条目的是实现混凝土浇筑的连续性。

6.2.5 本条首先是强调；制定防止出现“冷缝”的措施，其次还应制定“冷缝”的处理措施。

6.2.6 认真实施设备检修和试运转后应留下可追逆记录。制定此条目的是满足大体积混凝土的连续浇筑保证在一个“仓”内不出现“冷缝”。

6.2.7 条文中“应派专人负责测温作业管理”是落实测温方案的重要手段，不仅要有测温记录还有综合分析以及对温差超标准的处理建议。

6.2.8 培训要有考核记录，岗位责任制要有书面文字，交接班要有书面签认。

6.4 模板工程

6.4.1 本条是模板工程的重要工作内容，应认真落实。

6.4.2 本条给出模板和支架系统在变形验算时的基本规定，与现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666-2011第4.3.8条一致。

6.4.4 拆模要依据相应的规范，且应满足混凝土表面与大气温差要求。

6.5 混凝土浇筑

6.5.1 本条文主要说明超长大体积混凝土结构基础底板、墙体、顶板混凝土的浇筑顺序。本条只表述了基础底板和楼层梁板部分，内外墙见结构设计4.2.2条。

6.5.2 本条强调超长大体积混凝土结构跳仓施工的浇筑工艺应符合下列规定：

1 大型基础底板或整个设备基础混凝土的浇筑法应采用大斜坡推进法施工，大推进坡度为1:6~1:7。

2 要求排除泌水，由于采用一次推进大斜坡浇筑法施工，泌水沿斜面流到坑底，再机械或人工清出；且要求混凝土表面的水泥浆应分散开，在初凝之前可用木抹子进行2次压实。

6.5.4 本条强调超长大体积混凝土结构跳仓施工浇筑面应及时进行多次抹压处理，楼板表面严禁掸水扫毛工艺。并建议采取机械抹压工艺。

6.6 混凝土养护

6.6.1 跳仓施工的超长大体积混凝土结构，在混凝土浇筑完毕初凝后，宜立即喷雾养护。

6.6.2 第2款可采用喷雾、塑料薄膜或养护剂养护，应经常检查养护情况，保持混凝土表面湿度。建议把制度落实主墙的养护措施作为控制重点。

6.6.3 麻袋、阻燃保温被等可作为保温材料覆盖混凝土和模板，必要时，可搭设挡风保温棚或遮阳降温棚。

7 施工过程中的温控及监测

7.0.2 超长大体积混凝土结构施工需在监测数据指导下进行，并需要及时调整技术措施，监测系统宜具有实时在线和自动记录功能。若实现该系统功能有一定困难，亦可采取手动方式测量，但考虑到测试数据代表性，数据采集频度应满足本条规定。

7.0.3 控制温差是解决混凝土裂缝控制的关键，温差控制主要通过混凝土覆盖或带模养护过程进行，温差可通过现场测温数据经计算获得。

1 控制混凝土入模温度，可以降低混凝土内部最高温度，必要时可采取技术措施降低原材料的温度，以达到减小入模温度的目的，入模温度可通过现场测温获得；控制混凝土最大温升是有效控制温差的关键，减小混凝土内部最大温升主要从配合比上进行控制，最大温升值可以通过现场测温获得；在超长大体积混凝土结构浇筑前，为了对最大温升进行控制，可按现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 进行绝热温升计算，绝热温升即为预估的混凝土最大温升，绝热温升计算值加上预估的入模温度即为预估的混凝土内部最高温度。

2 本条分别按覆盖养护或带模养护、结束覆盖养护或拆模后两个阶段规定了混凝土浇筑体与表面温度的差值要求。根据现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的规定，当基础大体积混凝土浇筑体表面以内 40mm~80mm 位置的温度与环境温度的差值小于 20℃时，可停止测温并结束覆盖养护。根据现行国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496 的规定混凝土浇筑体的外表温度，宜为混凝土外表以内 50mm 处的温度。本规程结合大体积混凝土保护层等因素确定混凝土浇筑体的外表温度为混凝土外表以内 50mm 处的温度。

本条中所说的混凝土浇筑体表面温度是指保温覆盖层或模板与混凝土交界

面之间测得的温度，表面温度在覆盖养护或带模养护时用于温差计算；环境温度用来确定结束覆盖养护或拆模的时间，在拆除覆盖养护层或拆除模板后用于温差计算。由于结束覆盖养护或拆模后无法测得混凝土表面温度，故采用在基础表面以内 450mm 位置设置测温点来代替混凝土表面温度，用于温差计算。

当混凝土浇筑体表面以内 50mm 位置处的温度与混凝土浇筑体表面温度差值有大于 20℃ 的趋势时，应增加保温覆盖层或在模板外侧加挂保温覆盖层；结束覆盖养护或拆模后，当混凝土浇筑体表面以内 50mm 位置处的温度与混凝土温度差值有大于 20℃ 的趋势时，应重新覆盖或增加外保温措施。

3 测温点布置以及相邻两测温点的位置关系应符合本规程 7.0.4 条的规定。

4 降温速率可通过现场测数据经计算获得。

7.0.4 本条对混凝土测温提出了相应的要求，对大体积混凝土测温开始和结束时间作了规定了。虽然混凝土裂缝控制要求在相应温差不大于 25℃ 时可以停止覆盖养护，但考虑到天气变化对温差可能产生的影响，测温还应继续一段时间，故规定温差小于 20℃ 时，才可以停止测温。

7.0.5 多数超长大体积混凝土结构具有对称轴线，如实际工程不对称，可根据经验及理论计算结果选择有代表性温度测试位置。

7.0.7 本条对大体积混凝土测温频率进行了规定，每次测温都应形成报告。

7.0.10 温度监测是信息化施工的体现，是从温度方面判断混凝土质量的一种直观方法。监测单位应每天提供温度监测日报，若监测过程中出现温控指标不正常变化，也应及时反馈给委托单位，以便发现问题采取相应措施。