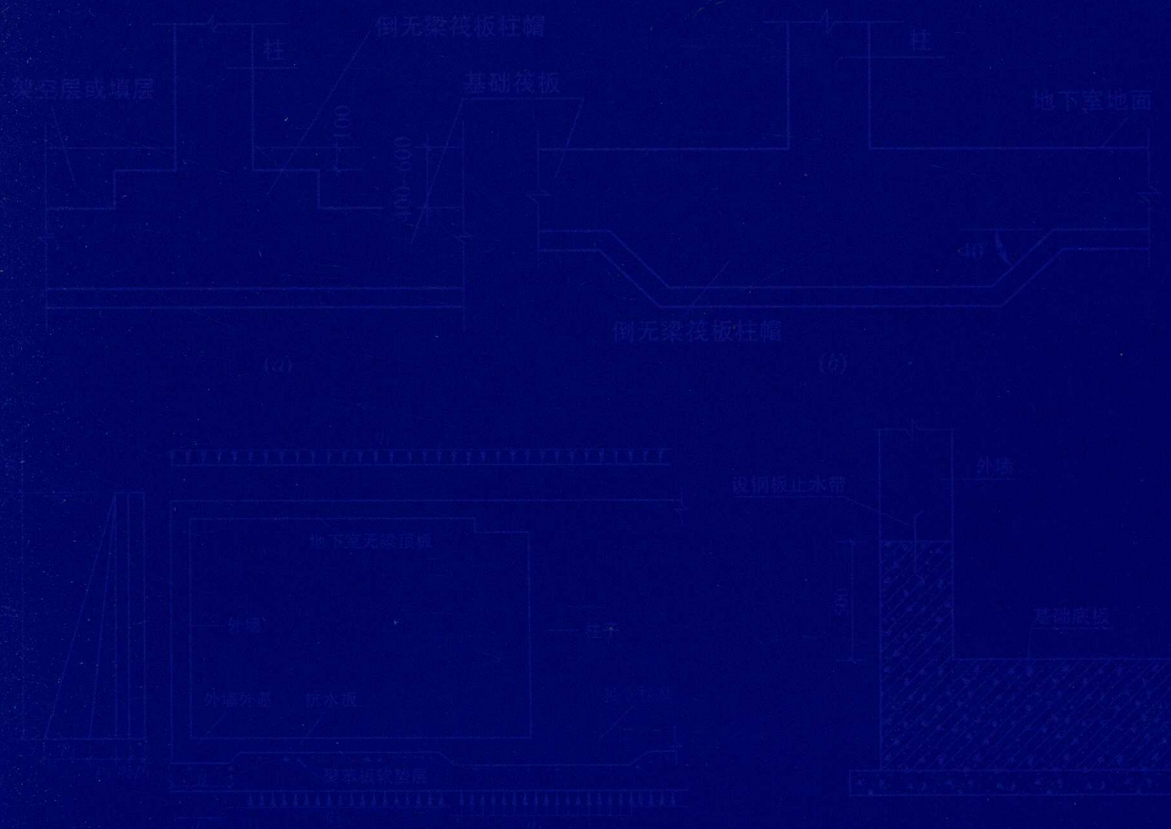


超长大面积混凝土结构设计 与跳仓法施工指南

李国胜 主编



中国建筑工程工业出版社

超长大体积混凝土结构设计与 跳仓法施工指南

李国胜 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

超长大面积混凝土结构设计与跳仓法施工指南/李国胜主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-112-18084-4

I. ①超… II. ①李… III. ①大面积混凝土施工—指南 IV. ①TU755.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 086520 号

本书主要依据《混凝土结构设计规范》、《建筑地基基础设计规范》、《建筑桩基技术规范》、《大面积混凝土施工规范》、《超长大面积混凝土结构跳仓法技术规程》等编写。内容包括重要概念, 钢筋混凝土的性能, 大面积混凝土跳仓法施工, 地下室基础结构设计与跳仓法施工, 地下室内墙、柱、楼盖结构设计与跳仓法施工, 地下室外墙结构设计与跳仓法施工, 地下车库结构设计与跳仓法施工。

本书适合建筑结构设计和施工人员参考阅读, 还可作为结构工程师继续教育、施工技术人员技术继续教育培训教材。

责任编辑: 武晓涛

责任设计: 董建平

责任校对: 李美娜 赵 颖

超长大面积混凝土结构设计与跳仓法施工指南

李国胜 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8¼ 字数: 203 千字

2015 年 8 月第一版 2015 年 8 月第一次印刷

定价: 26.00 元

ISBN 978-7-112-18084-4

(27321)

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)

前 言

本书是为建筑结构设计人员了解和掌握多层和高层建筑地下室及地下车库结构设计与跳仓法施工相关的重要概念、设计要点及构造编写的。内容主要依据《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010(简称《混凝土规范》)、《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011(简称《地基规范》)、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010(简称《高规》)、《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008(简称《桩基规范》)、《大体积混凝土施工规范》GB 50496—2009、《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》DBJ 11—501—2009(简称《北京地基规范》)、《超长混凝土结构跳仓法技术规程》DB11/T 1200—2015、《全国民用建筑工程设计技术措施—结构(地基与基础)》(2009版)[(简称《技术措施》)(地基与基础)]等标准的重要条文,按结构设计和施工的要概念、跳仓法的有关内容编写。

本书共七章:重要概念,钢筋混凝土的性能,大体积混凝土跳仓法施工,地下室基础结构设计与跳仓法施工,地下室内墙、柱、楼盖结构设计与跳仓法施工,地下室外墙结构设计与跳仓法施工,地下车库结构设计与跳仓法施工。其中第一章和第二章是建筑结构设计人员必须熟悉的内容,第三章是本书的重点内容。地基、基础及地下室结构,在多层和高层建筑结构中都是极为重要的设计内容,但是建筑结构设计人员往往比较多地注意地上部分结构设计,对地基的选择,基础的造型、设计要点和构造处理,都注意较少,尤其是对有关材料和施工了解很少,而地基、基础及地下室结构的设计合理与否,材料选择是否得当,对房屋的安全和建造投资至关重要,因此,设计时必须足够重视有关规定。超长混凝土结构工程现在我国工业与民用建筑中相当普遍,跳仓法施工在《大体积混凝土施工规范》中虽然有所提及但不具体,更没有结构设计的内容,北京地方标准《超长混凝土结构跳仓法技术规程》是该规范的补充和延伸,内容包括地下室结构设计和跳仓法施工,本书是该规程的解读和发展。

本书的特点是内容翔实,简明实用,可读性和可操作性强,既有重要概念,设计要点和构造细节,又有工程实例,有助于建筑结构设计人员参照应用,提高设计质量和效率,也可供建筑结构施工图文件审查、施工及监理等工作人员和大专院校土建专业师生参考。

本书在编写中参考和引摘的文献资料较多,对原作者深表谢意。本书内容涉及专业面广,限于编者的水平,有不当或错误之处在所难免,热忱盼望读者指正,编者将不胜感谢。

目 录

第一章 重要概念	1
1. 超长混凝土结构	1
2. 大体积混凝土	2
3. 施工后浇带	2
4. 沉降后浇带	3
5. 粉煤灰混凝土	4
6. 膨胀剂的使用	6
7. 建筑结构裂缝	7
8. 温度变形	8
9. 建筑地基基础设计	13
10. 建筑地基实测沉降值比计算沉降值小的原因	20
11. 混凝土结构构件最小配筋率	25
12. 对建筑物沉降观测的必要性	25
第二章 钢筋混凝土的性能	26
1. 钢筋混凝土的应用历史与发展	26
2. 钢筋混凝土材料特点	26
3. 混凝土裂缝分类	27
4. 混凝土裂缝的检测鉴定	36
5. 混凝土裂缝的控制措施	39
第三章 大体积混凝土跳仓法施工	45
1. 有关规定和意义	45
2. 基本规定	45
3. 跳仓法取代后浇带的原理	46
4. 材料、配比、制备及运输	47
5. 混凝土施工	50
6. 工程实例	56
第四章 地下室基础结构与跳仓法施工	58
1. 基础结构设计要点	58
2. 箱形基础结构的设计	64

3. 主楼旁边有下沉庭院的设计处理 68

4. 设计基础梁、板时应注意的事项 70

5. 不设置沉降后浇带的必备条件 71

6. 跳仓法施工 77

第五章 地下室内墙、柱、楼盖结构设计与跳仓法施工 78

1. 多、高层建筑地下室结构设计要点 78

2. 地下室楼层转换结构设计 82

3. 仅地下室有墙时墙体的设计 82

4. 跳仓法施工 83

第六章 地下室外墙结构设计与跳仓法施工 84

1. 外墙结构设计要点 84

2. 工程实例 88

3. 跳仓法施工 90

第七章 地下车库结构设计与跳仓法施工 92

1. 设计要点 92

2. 楼盖结构设计 92

3. 基础底板结构设计 108

4. 地下室外墙结构设计 117

5. 跳仓法施工 123

参考文献 124

第一章 重要概念

1. 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 1-1 所示。

钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距(m) 表 1-1

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

- 注：1. 装配整体式结构的伸缩缝间距，可根据结构的具体情况取表中装配式结构与现浇式结构之间的数值；
2. 框架-剪力墙结构或框架-核心筒结构房屋的伸缩缝间距，可根据结构的具体情况取表中框架结构与剪力墙结构之间的数值；
3. 当屋面无保温或隔热措施时，框架结构、剪力墙结构的伸缩缝间距宜按表中露天栏的数值取用；
4. 现浇挑檐、雨罩等外露结构的局部伸缩缝间距不宜大于 12m。

现在大量建筑地上有多幢多高层房屋或防震缝分为若干结构单元，而地下室连成一体不设永久缝，总长度和宽度达数百米，有的更长。地面上为庭院绿化，地下为停车库，楼房位置与地下停车库位置总平面有多种类型，如图 1-1 所示，图中斜线为楼房，虚线范围内为地下停车库。

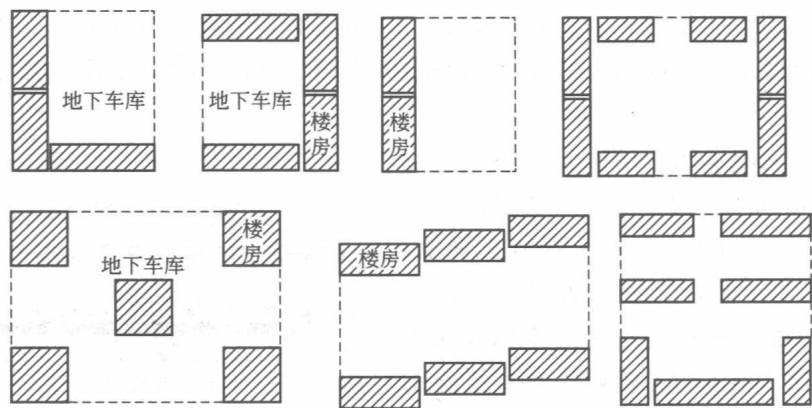


图 1-1 楼房与地下停车库总平面形式

2. 大体积混凝土

混凝土结构实体最小几何尺寸不小于 1m 的大体量混凝土,或预计因混凝土中胶凝料水化引起的温度变化和收缩而导致有害裂缝产生的混凝土,均属于大体积混凝土。我国多高层建筑的基础底板的厚度有不少大于 1m,例如:北京银泰中心的酒店、办公楼部分基础钻孔灌注桩底侧后压浆筏板厚度为 3.5m;青岛财富中心主楼天然地基,基础筏板厚 2.5m;宁波市商会国贸中心 A 楼,钻孔灌注桩基础筏板厚 2.8m,核心筒部分厚 3m。有的基础底板厚度虽然不大于 1m 和地下室外墙或楼盖,往往由于多种因素出现有害的混凝土裂缝。

国家标准《大体积混凝土施工规范》GB 50496—2009(简称《施工规范》)规定,大体积混凝土的设计强度宜为 C25~C40,并可采用混凝土 60d 或 90d 的强度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。

3. 施工后浇带

(1)《高层建筑混凝土结构技术规范》JGJ 3—2010(简称《高规》)第 3.4.13 条规定,当采用有效的构造措施和施工措施减小温度和混凝土收缩对结构的影响时,可适当放宽伸缩缝的间距,这些措施包括每 30~40m 间距留出施工后浇带,带宽 800~1000mm,钢筋采用搭接接头,后浇带混凝土宜在 45d 浇筑。《高规》12.2.3 条规定:高层建筑的地下室不宜设置变形缝。可沿基础长度每隔 30~40m 留一道贯通顶板、底板及墙板的施工后浇带,带宽不宜小于 800mm,且宜设置在柱距三等分的中间范围内。后浇带混凝土宜在其两侧混凝土浇灌完后 45d 以上再进行浇灌,其强度等级应提高一级,且宜采用早强、补偿收缩的混凝土。

(2)施工后浇带的作用是释放混凝土硬化过程中的收缩应力,减少或控制混凝土的初始裂缝。在 20 世纪 80 年代的许多图册或手册中,后浇带(包括施工后浇带和沉降后浇带)处的梁、板和墙钢筋要求断开,为使混凝土收缩更自由,减少约束,在后浇带浇筑前梁的钢筋采用焊接,板、墙钢筋采用搭接。由于此类做法施工费事而且难以保证焊接质量,因此,从 20 世纪 90 年代起改为在后浇带处钢筋连续不再断开。现在有的图集和资料中要求在后浇带范围增设加强钢筋,这是没有必要的,相反增大约束,丧失了后浇带的作用。

(3)当筏板混凝土为刚性防水时,在施工后浇带处筏板下宜采用附加卷材防水做法(见图 1-2)。

(4)施工后浇带本属于施工管理范围,设计可以不管,而且《高规》规定后浇带混凝土宜在 45d 浇筑,《混凝土结构工程施工规范》GB 50666—2011 要求后浇带浇筑时间不得少于 14d,两个标准不一致。超长混凝土工程中采用跳仓法施工时,可以不再设置施工后浇带。

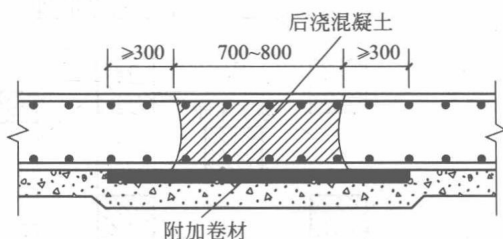


图 1-2 施工后浇带附加卷材防水

4. 沉降后浇带

(1) 国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011(简称《地基规范》)第8.4.20条规定,当高层建筑与相连的裙房之间不设置沉降缝时,宜在裙房一侧设置用于控制沉降差的后浇带,当沉降实测值和计算确定的后期沉降差满足设计要求后,方可进行后浇带混凝土浇筑。

(2) 多高屋主楼与裙房(或地下车库)基础之间设置沉降后浇带,目的是为了控制差异沉降允许值(主楼墙、柱与裙房柱基础之间距离的 $1/500$)。对同时建造的高层主楼与裙房,为减少或避免基础的差异沉降,设计时应采取必要的措施,使主楼与裙房基础的沉降差值在允许范围内。

(3) 为减少差异沉降,主楼基础应采取下列必要措施:

- 1) 地基持力层应选择压缩性较低的土层,其厚度不宜小于4m,并且无软弱下卧层;
- 2) 适当扩大基础底面面积,以减少基础底面单位面积上的压力;
- 3) 当地基持力层为压缩性较高的土层时,可采取高层建筑的基础采用桩基础或复合地基、裙房为天然地基的方法,或高层主楼与裙房采用不同直径、长度的桩基础,以减少沉降差。

(4) 为使裙房基础沉降量接近主楼基础沉降值,可采取下列措施:

- 1) 裙房基础埋置在与高层主楼基础不同的土层,使裙房基底持力层土的压缩性大于高层主楼基底持力层土的压缩性;
- 2) 裙房采用天然地基,高层主楼采用桩基础或复合地基;
- 3) 裙房基础应尽可能减小基础底面面积,不宜采用满堂基础,以柱下单独基础或条形基础为宜,并考虑主楼基底压力的影响。

(5) 采取措施后,许多工程在沉降后浇带两侧设观测点,从开始至主楼地上完成多层实测表明始终没有沉降差,其原因是土体具有强度,在沉降后浇带范围不可能有沉降突变,因此,沉降后浇带浇灌时间可与施工后浇带相同。现在一些标准图集及手册中,要求沉降后浇带待主楼到顶后再浇灌是不正确的。

沉降观测表明,由于高层主楼地基(天然地基或复合地基)下沉土的剪切传递,邻近裙房地基随着下沉而形成连续沉降曲线。因此,当高层主楼侧边裙房或地下车库基础距主楼基础边小于等于20m可不设沉降后浇带(见图1-3)。

(6) 由于沉降后浇带浇灌混凝土相隔时间较长,在水位较高施工时采用降水,按一般沉降后浇带做法在未浇灌混凝土前降水不能停止,因此将增加降水费用,为此可采用在沉降后浇带的基础底板和外墙处增设抗水及防水措施(见图1-4),只需要结构重量能平衡水压浮力时即可停止降水。施工后浇带可不设抗水板。

(7) 设置沉降后浇带给施工造成许多问题,具体为:

- 1) 沉降后浇带两侧需要设钢板止水带,底部增设抗水板和附加防水层;
- 2) 由于待浇灌混凝土的间隔时间较长,楼板、梁模板需长期支撑并防止变形;
- 3) 浇灌混凝土前的清理、剔凿、冲刷工作麻烦,尤其是基础底板部位,移位的钢筋要复位;

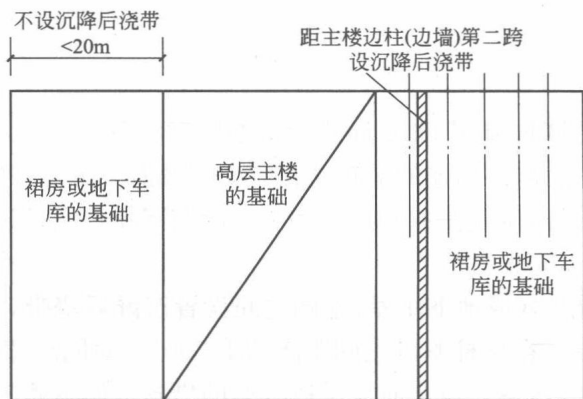


图 1-3 沉降后浇带平面

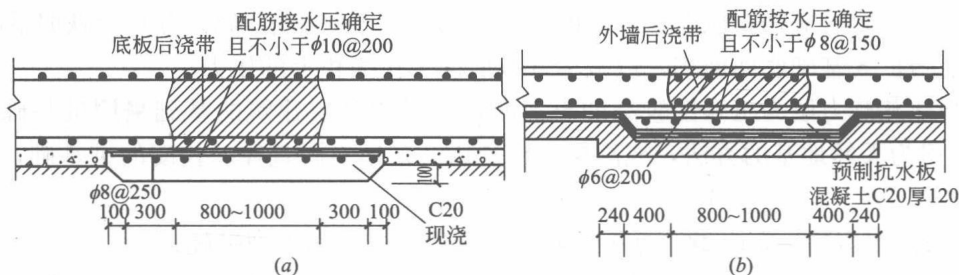


图 1-4 基础底板及外墙施工后浇带防水做法
(a)基础底板后浇带；(b)外墙后浇带

- 4) 浇灌混凝土后必须认真充水养护不得小于 14d，否则与原混凝土接合面出现裂缝；
- 5) 影响沉降后浇带部位的设备安装和建筑装修；
- 6) 影响施工进度，增加施工费用。
- (8) 设计中如果按上述(3)、(4)采取措施，使沉降差值控制在规定允许范围，完全没有必要再设置沉降后浇带。

5. 粉煤灰混凝土

- (1) 粉煤灰是一种人工火山灰材料，是从煤粉炉中收集到的细颗粒粉末。应用粉煤灰配制混凝土，可以改善混凝土性能、提高工程质量、降低工程成本、有利环境、降低能耗。因此，合理利用粉煤灰，可以获得良好的社会效益与经济效益。粉煤灰作为一种优良的活性掺合料用于工程结构混凝土，是在 20 世纪 70 年代以后，现在，粉煤灰被用于配制高强混凝土、高流态混凝土和泵送混凝土。
- (2) 为合理利用粉煤灰，制订了国家标准《粉煤灰混凝土应用技术规范》GBJ 146 和行业标准《粉煤灰在混凝土和砂浆中应用技术规程》JGJ 28。标准对粉煤灰的技术要求、粉煤灰混凝土的应用、配合比设计及施工检验等均有规定。
- (3) 粉煤灰质量的指标分为三个等级：Ⅰ级粉煤灰品位最高，颗粒最细，配制的混凝土各项性能优异，可用于后张预应力构件或跨度小于 6m 的先张预应力钢筋混凝土构件；

Ⅱ级粉煤灰粒径较粗，但经过球磨加工后可以达到或接近Ⅰ级灰的品质指标要求，对混凝土的强度贡献与其他各项物理力学性能的提高均高于或接近于基准混凝土，可用于普通混凝土和轻骨料混凝土；Ⅲ级粉煤灰为未经加工和筛选的原状灰，颗粒最粗，含碳量较高，可用于高强度等级水泥配制低强度混凝土或用于砌筑砂浆中，大体积混凝土结构工程中采用Ⅰ级或Ⅱ级粉煤灰。

(4) 大量的试验研究表明：由于粉煤灰的火山灰活性作用，在混凝土中掺加粉煤灰可以提高混凝土的密实性。龄期越长，反应越完全，混凝土越密实，混凝土的强度也越高。随着混凝土抗压强度的提高，混凝土的抗拉强度与抗折强度也随之相应提高，混凝土的弹性模量可提高5%~10%。普通混凝土与粉煤灰混凝土不同龄期强度对比如表1-2所示。

普通混凝土与粉煤灰混凝土对比 表 1-2

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 硅酸盐水泥	普通混凝土	0.63~0.84	1.0	1.07~1.18	1.18~1.27	1.25~1.42
	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 矿渣水泥	普通混凝土	0.66	1.0	1.18	1.19	—
	粉煤灰混凝土	0.61~0.63	1.0	1.18~1.21	1.25~1.29	—

应用粉煤灰配制的混凝土，因为粉煤灰的二次水化反应一般在混凝土浇筑14d以后才开始，并由于粉煤灰取代了部分水泥，降低了混凝土中水泥的浓度，因此早期强度有所降低。为了克服早期强度降低，粉煤灰混凝土中采用减水剂，其作用为：第一，可以减少混凝土拌和水的用量，减小水灰比提高混凝土中水泥浓度；其次，以减水剂为主的化学外加剂能使水泥中CaSiO₃水化所产生的Ca(OH)₂增多，有利于粉煤灰与Ca(OH)₂的二次水化反应，从而激发了粉煤灰的活性。混凝土中掺入粉煤灰以后，混凝土的水化热峰值一般在3d以后才出现，这一特点对于大体积混凝土和炎热气候下施工的混凝土有利。

(5) 大量的试验研究表明，伴随着粉煤灰混凝土后期强度的提高，其长期性能与耐久性性能均有所改善。以掺用YJ-2型外加剂的粉煤灰混凝土为例，其抗折强度约可提高50%，轴心抗拉强度提高10%，与钢筋粘结力提高12%，混凝土收缩降低4%~20%，钢筋的锈蚀仅相当于基准混凝土的27.5%。当粉煤灰的掺量为水泥的30%时，其渗透系数仅为纯水泥混凝土的38.5%。

(6) 粉煤灰混凝土的设计强度等级、强度保证率、标准差及离差系数等指标，应与基准混凝土相同，其设计强度等级的龄期规定有：地上工程宜为28d；地下工程宜为60d或90d；民用和工业建工程大体积混凝土结构宜为60d或90d。

(7) 普通钢筋混凝土中，粉煤灰的掺量不应大于水泥用量的40%。补偿收缩混凝土中如果掺有粉煤灰，其膨胀性很小，所以在掺有粉煤灰的大体积混凝土结构工程中，不采用掺加膨胀剂的补偿收缩混凝土，例如，北京国贸三期和新中央电视台塔楼工程。

(8) 北京某混凝土搅拌站对掺有25%~30%粉煤灰和减水剂的混凝土，采用60d及90d、龄期强度等级分别为C30和C40、抗渗等级为P8，不同龄期混凝土强度的情况如表1-3所示。

混凝土不同龄期强度

表 1-3

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。

6. 膨胀剂的使用

(1) 20 世纪 80 年代我国建筑工程中开始采用掺膨胀剂的补偿收缩混凝土，使工程中混凝土裂缝控制和提高耐久性起到了积极作用，为提高建筑工程质量作出了贡献。但是，近年来一些工程采用了掺膨胀剂的补偿收缩混凝土而没有取得应有效果，仍发生不同程度的裂缝，甚至出现“掺加膨胀剂就裂，不掺膨胀剂反而不裂”的怪现象。

(2) 膨胀剂主要补偿温度收缩和干燥收缩，补偿收缩混凝土是指所使用的配筋条件下能在混凝土内部建立 0.2~0.3MPa 的压应力或使混凝土所受的拉力低于混凝土抗拉强度的一种微膨胀混凝土。目前建筑工程中掺膨胀剂配制的膨胀混凝土都属于补偿收缩混凝土，只能补偿混凝土的化学减缩、大部分干缩及很少的冷缩，主要用于结构自防水和回填后浇带。

补偿混凝土的关键技术指标是限制膨胀率，而配制补偿混凝土原材料的性能和材料的配合比例对这个指标有较大影响，其中膨胀剂品种、掺量和水泥品种的影响最显著。试验表明，不同的水泥品种采用相同膨胀剂而膨胀率有明显差别，相同水泥采用同一种膨胀剂而掺量不同时膨胀率差别显著。

(3) 膨胀剂的使用应有科学的理论指导，严格周密的施工措施作保证。早期采用膨胀剂补偿混凝土时，必须有膨胀剂供货单位(如中国建筑材料研究院)提供技术咨询，应根据工程结构构件部位、大小和混凝土的强度等级、水泥品种、粗细骨料等情况，以及施工季节、搅拌站距施工现场远近，确定膨胀剂用量，并配合混凝土搅拌站和施工现场。补偿收缩混凝土的养护对其发挥补偿收缩特性至关重要，无论是硫铝酸钙类还是氧化钙类补偿收缩混凝土，在其发生体积膨胀时都需要大量水分，仅靠拌和水是不足以使其具有抗裂能力的。因此，掺膨胀剂补偿收缩混凝土需要充水饱和养护 14d，否则难以达到控制裂缝的目的。

(4) 目前我国有近百家企业生产混凝土膨胀剂，品种繁多，由于生产条件、技术路线

和原材料的差异,导致产品性能不同。采用单位仅按产品广告的掺加比例搅拌混凝土,既无供货单位进行技术咨询,也不了解膨胀剂补偿收缩混凝土施工养护必备条件,错误认为掺了膨胀剂混凝土可以不裂缝,反而忽视对混凝土应有的养护,结果使许多工程导致即使掺加了膨胀剂的结构仍然出现许多裂缝,很多工程的后浇带采用加膨胀剂补偿收缩混凝土浇灌,却与原混凝土交接面出现裂缝。由于上述现象,目前在工程结构中不再采用膨胀剂补偿收缩混凝土,主张普通混凝土“好好打”。

(5) 膨胀剂补偿收缩混凝土的强度等级宜为 C25~C40。高强度混凝土水泥用量多,混凝土的水化热也升高,将导致混凝土内外温差和冷却值增加,使高强度混凝土易开裂。

(6) 现在有许多高层或超高层建筑的基础底板厚度达 2~5m,膨胀剂补偿收缩混凝土即使表面蓄水养护,其核心部位仍然处于绝湿状态,膨胀剂的作用难于发挥。试验表明,补偿收缩混凝土的膨胀在 30~40℃ 为最大,超过 60℃ 其膨胀性远低于常温下的膨胀性。所以在厚度较大的高强度混凝土结构中,如果不能很好地控制内部升温,膨胀剂的作用难于发挥。因此,大体积混凝土的工程基础底板不再采用膨胀剂,因为掺有大量粉煤灰的混凝土,补偿收缩混凝土的膨胀效能很低。例如,北京国贸三期 A 塔工程的 C45 混凝土基础底板,厚度为 4.5m,采用 I 级粉煤灰掺加比例达 49% 配比的混凝土;北京中央电视台新台址的塔楼 1 和塔楼 2,基础底板厚度分别为 10.8m 和 10.9m,采用强度等级为 C40,掺加 44% I 级粉煤灰的混凝土。这两项工程都属于超长大体积混凝土,均没有采用膨胀剂,由于加强养护管理,较好地控制了混凝土裂缝。

7. 建筑结构裂缝

(1) 在工业与民用建筑的砖砌体及钢筋混凝土房屋结构中,裂缝是具有普遍性的现象。工程实践表明,房屋中的许多裂缝并非由于外荷载所引起,有的在尚未投入使用、受荷载前就出现,这类裂缝是由于变形作用所引起,如温度变形、收缩或膨胀变形、地基差异沉降或膨胀等因素引起的裂缝。这些因素与建筑环境、所有材料、结构类型、地基基础、施工条件等有关。因此,工程裂缝的研究是一门综合性很强的学科。

(2) 在建筑结构中裂缝是不可避免的。在一些砖砌体房屋的墙体上和一些钢筋混凝土建筑的现浇框架结构及剪力墙结构中经常出现早期裂缝,即在施工阶段出现的裂缝,其主要原因是收缩及温度应力。一些房屋的屋顶层,受太阳辐射(夏天太阳直射下表面温度可达 50~60℃)作用产生热胀变形,在砖砌体房屋顶层,墙体常引起开裂。钢筋混凝土外露构件,如挑檐、挑廊等,常由于温度影响引起收缩裂缝。裂缝的存在会降低建筑物的整体性、耐久性和抗震性能,给使用者在观感上和心理上造成不良影响。

(3) 在对工程中存在的裂缝进行评定时,应根据裂缝产生的部位及形状进行分析,判断引起开裂的主要原因,分析其危害性,既不能忽视隐患的存在,也不能产生对裂缝的恐惧感,采取科学的态度进行认真的分析和处理。应特别注意对结构的稳定性和受剪承载力将产生严重影响的裂缝,因为这两种裂缝与影响受弯、受拉承载力的裂缝不同,对构件的稳定破坏和剪切破坏没有明显的预兆。

(4) 在建筑结构设计,在控制裂缝方面值得吸取的教训是,有不少人认为钢筋混凝土结构的混凝土强度等级和砖砌体的砂浆强度等级越高越好,结果由于水泥用量多,导致

混凝土构件和墙体收缩开裂。例如,不少现浇钢筋混凝土楼板采用大于 C30 混凝土,而现在绝大多数大中城市是泵送商品混凝土,用水泥量多、坍落度大,在建筑装修前就有大量可见裂缝;砖砌体房屋墙体及围墙,对比现在采用高强度砂浆砌筑的和以前采用低强度砂浆砌筑的,前者比后者的裂缝多且普遍。

(5) 对已有裂缝的建筑,为了解结构的安全性和耐久性是否还满足要求,需要对结构进行检测、鉴定,对其可靠性做出正确评价,然后进行维修处理或加固,以提高结构的安全性,延长其使用寿命。检测时,可根据结构实际情况或工程特点确定重点内容,例如,钢筋混凝土结构构件应着重检测混凝土强度等级、配筋及裂缝分布位置和大小情况;砖砌体结构应看重检测砌筑质量、构造措施、裂缝分布位置和大小情况。

(6) 由于一般建筑设计人员对房屋结构裂缝现象不熟悉,因此,对砖墙、混凝土墙或梁、板的裂缝缺少分析判断的能力,更难以提出合理的处理方法,甚至盲目得出错误结论,采用不必要的加固措施和处理办法。例如,北京某 4 层框架结构厂房,施工完首层顶板在进行二层框架柱绑钢筋时,拆除首层框架梁模板后,发现梁一侧有非常规则的竖向裂缝,某设计单位的总工竟认为是由于柱基础不均匀沉降所产生,实际上梁侧裂缝是由于梁箍筋贴模板所造成的;20 世纪 90 年代初设计的北京某宾馆多功能厅大跨度钢筋混凝土梁,由于当时按规范配置的腰筋较少而出现竖向收缩裂缝,本来完全可以根据裂缝宽度分别采用环氧胶泥表面封闭或环氧浆液压力灌浆处理,而设计单位坚持要采用粘贴钢板处理,多花了不必要的费用;北京某砖砌体结构的多层宾馆,屋顶由于保温隔热处理不足使横墙顶部产生八字形裂缝,设计单位及有关人员竟然认为是由于阳台上方雨篷倾覆所产生,要进行加固处理等等。

(7) 有关钢筋混凝土结构的裂缝成因及控制措施见本书第二章。

8. 温度变形

(1) 建筑结构由于温度产生变形作用引起的应力状态,采用什么样的力学工具来分析,是一项十分重要的方法问题。专家王铁梦通过多年的实践,认为弹性理论是最好的基本工具,深信弹性理论可以解决绝大部分工程结构问题。其他的非线性分析方法,诸如弹塑性、塑性、黏弹性、流变、断裂、损伤等力学工具,都各有其特点和长处,但都没有弹性理论系统和成熟。

在解决结构物变形变化引起的应力状态时,有一个很重要且不可忽略的基本概念,即约束的基本概念。当结构产生变形运动时,不同结构之间、结构内部各质点之间,都可能产生相互影响、相互牵制,这就是“约束”。由于建筑物有各种结构组合,约束的形式也因之有许多种,但大致可分为“外约束”与“内约束”两大类。

一个物体的变形受到其他物体的阻碍,一个结构的变形受到另一结构的阻碍,这种结构与结构之间、物体与物体之间的相互牵制作用,称作“外约束”。例如,地下框架变形受到地基基础的约束,挡土墙体变形受到基础的约束,结构横梁变形受到立柱的约束等,均属外约束。构件的外约束应力起因于结构与结构的约束,约束变形可能有各种形式。因此,既可能产生贯穿性断裂,也可能产生局部裂缝。

一个物体或一个构件本身各质点之间的相互约束作用,称为“内约束”或“自约束”。

沿一个构件截面各点可能有不同的温度和收缩变形,引起连续介质各点间的内约束应力。研究内约束时,一般假定混凝土及钢筋混凝土构件为均质弹性体。但在特殊情况下,如研究混凝土内部微裂的出现时,需要考虑混凝土内部构造,探讨石子骨料与水泥浆的约束应力。假定水泥的收缩变形受到不变形的骨科约束,则按外约束计算方法进行。因此,外约束与内约束是相对的,在不同条件下可以采取不同的假定。

(2) 结构物可能承受由温、湿度及其他作用引起的变形。如图 1-5 所示的悬臂梁,承受一均匀的温度差 T (升温为正,降温为负),梁将产生自由伸长 ΔL ,梁内不产生应力。

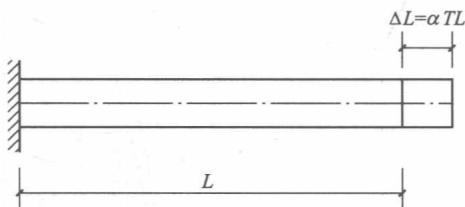


图 1-5 自由变形梁示意

梁端自由伸长值(自由位移):

$$\Delta L = \alpha TL \quad (1-1)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \alpha T \quad (1-2)$$

式中: α ——线膨胀系数(杆件每升高 1°C 的相当变形)($1/^\circ\text{C}$);

T ——温差($^\circ\text{C}$);

L ——悬臂梁的跨度(cm);

ϵ ——相对自由变形。

如果悬臂梁的右端呈嵌固状,则梁的温度变形受到阻碍,完全不能位移,梁内便产生约束应力,其应力数值由以下两个过程叠加而得:

1) 假定梁呈自由变形,梁端变形 $\Delta L = \alpha TL$;

2) 施加一外力 P ,将自由变形梁压缩回到原位产生的应力,即为变形约束应力。

根据外力 P 的作用,位移 $\Delta L = \frac{PL}{EF}$, $P = \frac{\Delta LEF}{L}$,则将自由变位 ΔL 压回原位的压应力,即约束应力为:

$$\sigma = -\frac{P}{F} = -\frac{\Delta LEF}{LF} = -\frac{\alpha TLEF}{LF} = -E\alpha T \quad (1-3)$$

这就是自由变形全部被压回到原位时的最大约束应力,其值与温差、线膨胀系数及弹性模量成比例,而与长度无关。

(3) 实践表明,基础底板的最大控制应力同温差、收缩差及线膨胀系数成正比,为线性比例关系。底板的弹性模量增加,应力增加;底板受地基的约束程度,即地基对底板的阻力系数 C_x 增加,应力增加;底板的厚度增加,应力降低。但所有这些关系都不是线性比例关系,增加或减少的速度呈非线性变化。特别是在这样简单的公式中显而易见的是,最大应力不仅与高长比(H/L)有关,而且与绝对尺寸底板长度有关。长度增加,应力增加,但不是线性关系。在较短的范围内,长度对应力影响较大,超过一定长度后,影响变微,其后趋近一常数。然后,长度无论如何增加,应力不变,见图 1-6。该图显示的是具有不变的(H/L) = $\frac{1}{10}$,具有各种不同水平阻力系数 C_x ,由于底板绝对尺寸变化而有不同应力的关系曲线。可以看出, C_x 越小,应力增加越缓慢;随着长度的增加,应力增长速率不断下降;如长度超过 100~1000m,应力变化极微(6‰以下,长度 80000m 及 100000m,甚至无穷长),应力也

不超过 $(0.3 \sim 0.5)E\alpha T$ ， $0.3 \sim 0.5$ 是考虑混凝土徐变引起的应力松弛系数。

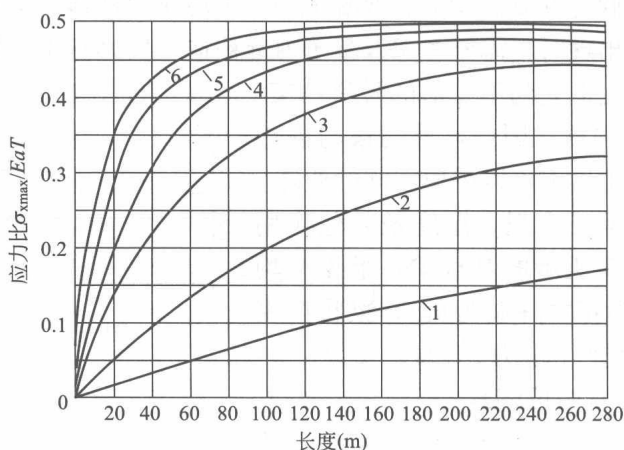


图 1-6 温度应力与结构长度关系

1— $C_x=3 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^3$; 2— $C_x=10 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^3$; 3— $C_x=30 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^3$;
4— $C_x=60 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^3$; 5— $C_x=1 \text{ N/mm}^3$; 6— $C_x=1.5 \text{ N/mm}^3$

由图 1-6 中的曲线可得出结论，伸缩缝作为工业与民用建筑中控制裂缝的主要措施之一，只在较短的间距范围对削减温度收缩应力起显著作用。若超过一定长度，即使设置伸缩缝也没有意义。简而言之，“留伸缩缝，宜短些；若过长，则失去效用”。留伸缩缝不仅麻烦，且主要缺点是漏水并对抗震不利，应尽量避免。

如果想在超长或加长(理论上可以无限长)的底板上不设置伸缩缝，而又想控制不开裂，是否可以实现呢？从计算给出的回答是肯定的，那就要调整有关的其他因素，只要所得出的拉应力(或最大约束应变) $\leq$ 结构材料的抗拉强度(极限拉伸)，就可以保证结构不会开裂，任意长度的无缝工程完全可以实现。

(4) 关于长墙的裂缝区域，一般是在远离边界的中部区域，裂缝呈竖向，较为均布。如混凝土质量很不均匀，则裂缝间距波动较大。如中部遇有截面变化，如壁柱、梁托、沟槽等，则在变断面处产生应力集中，裂缝在壁柱、梁托、沟槽处容易出现，已为许多实践所证实。

为了进一步说明伸缩缝的作用，并且兼顾施工中“后浇缝”的设置理论依据，用极限变形概念研究伸缩缝作用，并作为一种实用计算方法推导出具体公式，对设计与施工是当务之急。

根据试验表明，混凝土构件承受拉应力作用时，其应力—应变关系直至破坏都接近线性关系，见图 1-7。

试以抗拉强度与极限拉伸的正比关系将最大应力公式改造一下，即得 $\sigma_{\max}^*$ 达到抗拉强度时的结构允许最大长度(伸缩缝许可间距)。如果结构物的长度超过伸缩缝间距，则此伸缩缝间距就是裂缝间距。

当水平应力达到抗拉极限强度时，混凝土的拉伸变形

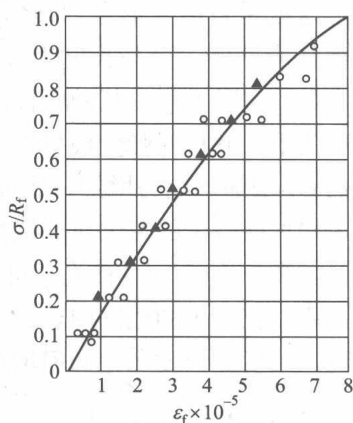


图 1-7 混凝土受拉时应力—应变关系

即达到极限拉伸变形:

$$\sigma_{\max} = R, \epsilon = \epsilon_p, R = E\epsilon_p \quad (1-4)$$

此状态下提取 L , 即为伸缩缝最大间距:

$$\sigma_{\max} = E\epsilon_p = -E\alpha T + \frac{E\alpha T}{\operatorname{ch}\beta \frac{L}{2}} \quad (1-5)$$

$$\operatorname{ch}\beta \frac{L}{2} = \frac{E\alpha T}{E\alpha T + E\epsilon_p} \quad (1-6)$$

$$\frac{L}{2} = \frac{1}{\beta} \operatorname{arcch} \frac{\alpha T}{\alpha T + \epsilon_p} \quad (1-7)$$

最大伸缩缝间距以 $[L_{\max}]$ 表示(亦是不留伸缩缝的裂缝间距), 可按下式计算:

$$[L_{\max}] = 2\sqrt{\frac{EH}{C_x}} \operatorname{arcch} \frac{\alpha T}{\alpha T + \epsilon_p} \quad (1-8)$$

式中: arcch ——双曲余弦的反函数, 查数学手册或利用计算器直接运算。

公式中的分数部分, 如 T 为正值(升温), 极限应变 ϵ 为负值(压应变); 如 T 为负值(降温或收缩), 极限变形为正值(拉伸)。分母两项永远异号, 为便于表示和应用, 以绝对值表示:

$$[L_{\max}] = 2\sqrt{\frac{EH}{C_x}} \operatorname{arcch} \frac{|\alpha T|}{|\alpha T| - \epsilon_p} \quad (1-9)$$

式(1-9)建立在最大应力刚达到抗拉强度 $\sigma_{\max} = R_f$ 尚未开裂的依据之上。如销超过则开裂, 间距减少一半, 得最小间距 $[L_{\min}] = \frac{1}{2}[L_{\max}]$, 因此平均伸缩缝间距 $[L]$ 公式为:

$$[L] = 1.5\sqrt{\frac{EH}{C_x}} \operatorname{arcch} \frac{|\alpha T|}{|\alpha T| - \epsilon_p} \quad (1-10)$$

在式(1-10)中, 混凝土极限拉伸 ϵ_p 值可考虑配筋影响及徐变影响。

应用这一公式, 注意温差 T 中包括水化热温差、气温差、收缩当量温差

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad (1-11)$$

式中: T_1 ——水化热温差(壁厚大于、等于 500mm);

T_2 ——气温差;

T_3 —— $-\frac{\epsilon_y}{\alpha}$, 其中 ϵ_y 为收缩变形, α 为 10×10^{-6} ;

ϵ_p ——极限拉伸, 当材质不佳、养护不良, $(0.5 \sim 0.8) \times 10^{-4}$; 当材质优选、养护优良, 缓慢降温, 2×10^{-4} ; 中间状况, $(1 \sim 1.5) \times 10^{-4}$ 。

如果结构物的长度小于 $[L]$ 或偏于安全地取 $[L_{\min}]$, 则结构物可不设置温度伸缩缝, 即是取消伸缩缝的条件。在缓慢变形条件下考虑徐变, 再考虑构造配筋, 极限拉伸可能越过 2×10^{-4} 。

由上式可看出, 地基对底板的阻力系数 C_x 变化时, 伸缩缝间距也随着变化。当 $C_x \rightarrow 0$ 时, 即地基对底板几乎不产生阻力, 底板接近自由变形时, 伸缩缝间距可任意长, 即取消伸缩缝。一些工程在底板与垫层之间设滑动层, 如铺两层油毡、施沥青涂层以及用其他