

混凝土结构 常见构造问题处理措施

HUNNINGTU JIEGOU CHANGJIAN GOUZAO WENTI CHULI CUOSHI

陈雪光 著

中国建筑工业出版社

混凝土结构常见构造问题 处理措施

陈雪光 著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构常见构造问题处理措施/陈雪光著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 7
ISBN 978-7-112-19462-9

I. ①混… II. ①陈… III. ①混凝土结构-建筑工程-工程施工-技术措施 IV. ①TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 113839 号

混凝土结构的构造问题不但施工技术人员应重视, 工程设计的技术人员更应重视, 在设计时如对构造问题考虑不周, 在施工时已很难处理或者无法处理, 设计院的结构工程师不但应“重计算”也应“重构造”。

当前采用“平法制图规则”绘制的施工图设计文件不再表示常见的构造做法, 要求施工时参照相应图集集中的详图, 这就要求施工技术人员正确地理解构造做法。本书根据最新标准、规范和规程编写, 并结合工程经验和习惯做法, 对常见构造问题提出处理措施。除文字描述外还附以相应的构造图, 方便读者阅读。本书不仅适合施工技术人员, 也适合设计院的结构工程师在工程设计、处理现场混凝土结构构造问题时提供参考。

责任编辑: 李春敏 曾 威

责任设计: 谷有稷

责任校对: 王宇枢 李欣慰

混凝土结构常见构造问题处理措施

陈雪光 著

*

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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19½ 字数: 425 千字

2016 年 8 月第一版 2016 年 8 月第一次印刷

定价: 50.00 元

ISBN 978-7-112-19462-9

(28726)

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

混凝土结构的构造问题应引起结构设计、施工工程技术人员和监理工程师等专业技术人员的重视,在工程设计中不但要认真进行结构的整体力学分析,还应采用正确的构造处理措施,保证结构在各种荷载作用下的安全性,因此在建筑结构设计中既要“重计算”也要“重构造”。国家标准设计图集《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(G101 系列图集)为国内广大设计单位提供了一种全新的施工图设计文件制图规则,该规则因有可降低设计成本、缩短设计周期等优点,受到设计单位欢迎并用其规则编制施工图设计文件。虽然在施工图设计文件中不一定绘制相应的构造详图,而要求施工企业参照标准设计图集中的详图使用,但设计单位的结构工程师应避免因设计考虑不周而造成在施工中很难处理或无法处理的结构构造问题,埋下工程结构的安全隐患。构造问题不仅仅是施工的事,设计时就应该考虑到某些构造做法的可行性,因此保证工程结构的安全应从源头——设计做起。许多有关混凝土结构的构造要求基本是在设计规范、规程中作了相应规定,而施工规范、施工验收规范中并没有相应规定,国家标准设计系列图集(如:G101、G329 等)中的构造详图均为常见的构造示意图,不能包含所有混凝土结构的构造要求,当引用其图集中的部分节点构造做法时,需设计人员在施工图设计文件中指明具体节点和要求,而特殊的节点及图集中不包括的节点做法应绘制相应的详图图样,不能认为国家标准设计图集中的节点详图构造是万能的,适用所有现浇混凝土结构的节点构造处理问题。

《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(G101 系列图集)从 1996 年开始使用,至今已有 20 年了,广大工程技术人员对“平法”制图规则已基本掌握,也在使用中积累了很丰富的实践经验,但由于施工技术人员、监理工程师等专业水平参差不齐,对相关图集中的构造做法理解也不尽相同,难免在工程中处理不当而给结构留下安全隐患。我国建筑工程设计文件编制深度规定在施工图设计文件中允许引用标准设计图集相关做法,因此在施工图设计文件中引用国家标准设计图集或地方标准设计图集的现象非常普遍,这就要求相关的工程技术人员认真学习和了解相应图集。随着科技的进步,以及国家标准、规范、规程和标准设计图集的不断修编,混凝土结构的构造做法也有了很多变化,一些构造要求在以前的施工中是正确、符合当时规范要求的,但现在未必符合现行的规范规定,只有不断地学习、掌握新的知识和规定,在工程中正确使用,才能最大程度上减少结构的安全隐患,保证工程结构的可靠性。在工程建设的各个环节上的工程技术人员,不但要学会正确的构造处理措施,还应通过工程实践提高结构专业的理论

水平。

本书是根据我国 2010 年后修编的有关混凝土结构设计和施工标准、规范和规程编写的，并结合本人在工程中的设计经验，参考相应的试验研究成果和在施工中处理构造问题的成功实践，力求给出常见构造问题的处理措施，目的是与同行共同学习和提高。本书共分七章，基本包括了从基础至地上经常采用的结构体系中的构造问题处理措施。所谓“常见构造问题”是指在现浇混凝土结构中经常遇到的大量普遍性的构造处理问题。为方便读者对这些构造问题的理解和正确处理，除文字描述外还附以相应的构造图表达处理措施。本书可使工程技术人员通过理论的学习和探讨提高专业技术水平，加深对现行标准、规范和规程的理解，正确地处理混凝土的结构构造问题，希望对读者有一定的借鉴和帮助。

本书可供建筑结构技术人员学习和参考，不但适合作为施工企业土建工程师、监理公司土建工程师、房地产等企业相关工程技术人员的学习材料，也适合工程设计单位的结构工程师在工程设计中参考和借鉴，并可为施工现场处理混凝土结构构造问题提供参考。

限于本人的水平及对现行国家和行业标准、规范和规程的学习理解深度，书中难免有不妥之处，热盼读者给予指正，不胜感谢。



2016 年 5 月

目 录

第 1 章 纵向钢筋锚固、连接、保护层厚度	1
1.1 受拉钢筋的锚固处理措施	1
1.2 受压钢筋的锚固长度	4
1.3 钢筋端部的弯钩和机械锚固处理措施	5
1.4 抗震构件纵向受拉钢筋最小锚固长度	6
1.5 光圆钢筋锚固末端的构造处理措施	8
1.6 纵向受力钢筋采用弯折锚固的处理措施	9
1.7 纵向受力钢筋的连接处理措施	10
1.8 纵向受力钢筋绑扎搭接区段长度及接头面积百分率	12
1.9 纵向受力钢筋绑扎搭接长度处理措施	13
1.10 有抗震设防要求的现浇混凝土框架梁、柱纵向受力钢筋的连接措施	15
1.11 梁、柱类构件纵向受力钢筋搭接范围内的构造处理措施	16
1.12 纵向受力钢筋的机械连接类型及性能	17
1.13 纵向受力钢筋机械连接接头应用处理措施	19
1.14 纵向受力钢筋焊接接头的处理措施	20
1.15 钢筋末端弯钩和弯折的处理措施	22
1.16 普通钢筋保护层最小厚度规定	23
1.17 减小保护层厚度的处理措施	25
1.18 保护层厚度较大时的处理措施	26
1.19 并筋的根数及等效直径处理措施	27
1.20 并筋的锚固长度、搭接连接及保护层厚度的处理措施	28
第 2 章 柱及梁柱节点构造处理措施	30
2.1 框架梁柱中间节点核心区混凝土强度等级不同处理措施	30
2.2 框架梁柱边节点核心区混凝土强度等级不同处理措施	32
2.3 框架节点核心区水平箍筋太密集的处理措施	33
2.4 框架柱中拉结钢筋的构造要求	34
2.5 框架柱顶层边节点柱纵向钢筋的连接处理措施	35

2.6	框架柱顶层中间节柱钢筋的锚固处理措施	39
2.7	框架柱变截面时纵向钢筋的处理措施	40
2.8	钢筋混凝土柱保护层厚度改变处纵向钢筋处理措施	42
2.9	框架柱纵向受力钢筋连接的处理措施	43
2.10	框架顶层端节点钢筋构造处理措施	45
2.11	框架柱箍筋、拉结钢筋及非螺旋圆形箍筋处理措施	46
2.12	框架角柱的特殊构造措施	48
2.13	抗震框架柱节点箍筋加密区间距及肢距构造措施	48
2.14	抗震框架底层柱根部箍筋构造处理措施	50
2.15	抗震钢筋混凝土柱在刚性地面处箍筋构造处理措施	52
2.16	框架柱中设置芯柱的构造处理措施	53
2.17	框架柱纵向受力钢筋采用绑扎搭接处箍筋处理措施	54
2.18	柱中纵向钢筋在上下层根数不同时处理措施	55
2.19	转换柱(框支柱)的构造要求及处理措施	56
2.20	框架梁端部有竖向加腋时柱端部箍筋加密区处理措施	58
2.21	抗震设计框架柱错层节点构造处理措施	59
2.22	异形柱纵向受力钢筋及箍筋构造处理措施	61
2.23	异形柱纵向受力钢筋顶层节点处理措施	62
第3章	剪力墙构造处理措施	64
3.1	剪力墙水平分布钢筋在转角处搭接处理措施	64
3.2	剪力墙水平分布钢筋在端柱内锚固处理措施	65
3.3	一字形、带翼缘剪力墙水平分布钢筋端部处理措施	66
3.4	剪力墙斜向相交及墙厚度不同时处理措施	68
3.5	剪力墙水平分布钢筋搭接连接处理措施	69
3.6	剪力墙边缘构件(暗柱)及墙肢中拉结钢筋保护层厚度处理措施	70
3.7	剪力墙竖向及水平分布钢筋遇到暗梁或楼层梁时处理措施	72
3.8	剪力墙竖向分布钢筋在顶层构造处理措施	73
3.9	剪力墙第一根分布钢筋距构件边距离	74
3.10	剪力墙竖向分布钢筋在结构面连接处的处理措施	76
3.11	剪力墙竖向分布钢筋直径或间距改变时处理措施	77
3.12	剪力墙水平分布钢筋在暗柱、扶壁柱处理措施	79
3.13	剪力墙肢中竖向分布钢筋连接处理措施	80
3.14	剪力墙边缘构件竖向钢筋连接处理措施	82
3.15	剪力墙端柱及小墙肢纵向钢筋在顶层处理措施	83

3.16	剪力墙连梁纵向钢筋在剪力墙小墙肢锚固处理措施	84
3.17	剪力墙连梁纵向钢筋及箍筋处理措施	86
3.18	剪力墙暗梁纵向钢筋在端部的处理措施	88
3.19	剪力墙水平分布钢筋兼做连梁腰筋处理措施	89
3.20	剪力墙肢洞口边补强钢筋处理措施	91
3.21	剪力墙连梁洞口补强钢筋处理措施	93
3.22	配筋单排分布钢筋的剪力墙构造处理措施	94
3.23	配置交叉斜筋、集中对角斜筋及对角暗撑剪力墙连梁构造处理措施	95
3.24	抗震剪力墙水平施工缝处抗滑移附加短筋构造处理措施	97
3.25	剪力墙与平面外楼面大梁相连构造处理措施	100
3.26	剪力墙肢暗柱、扶壁柱构造处理措施	102
3.27	剪力墙拉结钢筋的处理措施	103
3.28	剪力墙约束边缘构件的处理措施	105
3.29	剪力墙构造边缘构件的处理措施	108
3.30	剪力墙局部错洞时边缘构件中纵向钢筋处理措施	109
3.31	叠合错洞剪力墙连梁及边缘构件处理措施	111
3.32	将剪力墙不规则错洞改为规则洞口处理措施	113
3.33	错层剪力墙的处理措施	114
第4章	梁构造处理措施	116
4.1	抗震设计多跨框架梁上部非通长纵向钢筋处理措施	116
4.2	楼层框架梁纵向受力钢筋在端支座锚固处理措施	118
4.3	框架梁纵向受力钢筋在中间支座锚固处理措施	121
4.4	框架梁在柱两侧截面尺寸不同时纵向钢筋处理措施	122
4.5	梁仅一端支座为框架柱处理措施	124
4.6	框架梁端部加腋时节点处构造处理措施	127
4.7	梁下部纵向钢筋不伸入支座的处理措施	128
4.8	转换梁的构造处理措施	129
4.9	梁侧面钢筋(腰筋)连接及在支座的锚固构造措施	131
4.10	梁纵向受力钢筋在搭接连接范围内箍筋加密处理措施	133
4.11	普通楼面梁支座上部纵向受力钢筋截断长度处理措施	134
4.12	普通梁上部纵向受力钢筋与架立钢筋搭接处理措施	136
4.13	普通梁上部纵向钢筋在端支座锚固处理措施	137
4.14	普通梁下部纵向受力钢筋锚固处理措施	139
4.15	悬臂梁纵向受力钢筋锚固处理措施	141

4.16	悬臂梁上部纵向受力钢筋弯折处理措施	143
4.17	梁附加横向钢筋设置的构造措施	144
4.18	梁下部有均布荷载时附加钢筋处理措施	147
4.19	垂直折梁内折角处配筋处理措施	148
4.20	悬臂倾斜框架梁箍筋处理措施	149
4.21	楼层梁端第一道箍筋布置措施	150
4.22	梁箍筋形式的处理措施	151
4.23	抗震设计框架梁端箍筋加密区范围及箍筋肢距处理措施	153
4.24	砌体结构中现浇混凝土梁支承长度处理措施	154
4.25	砌体结构上现浇混凝土梁纵向钢筋锚固长度处理措施	155
4.26	底部框架-抗震墙砌体结构中托墙梁处理措施	157
4.27	梁腹板范围内腰筋配置要求及处理措施	160
4.28	梁纵向钢筋最小净距处理措施	161
4.29	井字梁纵向钢筋及交点处构造处理措施	163
4.30	密肋梁构造处理措施	164
4.31	水平折梁、弧形梁配筋构造处理措施	166
4.32	次梁底低于主梁底时支座处理措施	168
4.33	框架梁下部挂板与相邻框架柱连接的处理措施	169
4.34	电梯间检修吊钩处理措施	170
4.35	深受弯构件中深梁构造处理措施	171
4.36	深梁沿下边缘作用均布荷载及深梁集中荷载时, 附加吊筋的处理措施	174
4.37	抗震设计框架宽扁梁梁柱节点处理措施	176
第5章	楼(屋)面板及板式楼梯处理措施	179
5.1	现浇混凝土板下部钢筋在支座内锚固处理措施	179
5.2	现浇混凝土板上部钢筋在边支座锚固长度处理措施	180
5.3	现浇混凝土板采用焊接钢筋网片时在支座内锚固处理措施	183
5.4	地下室顶板与地下室外墙钢筋连接处理措施	185
5.5	抗震设计嵌固层及转换层楼板边支座、大洞口边处理措施	186
5.6	普通楼(屋)面板预留洞口边处理措施	187
5.7	现浇混凝土板中温度钢筋的构造处理措施	190
5.8	现浇混凝土单向板上部钢筋处理措施	191
5.9	现浇混凝土双向板钢筋的配置处理措施	193
5.10	现浇混凝土板中构造钢筋和分布钢筋处理措施	194
5.11	现浇混凝土悬挑板构造钢筋处理措施	196

5.12	现浇混凝土悬挑板转角处构造处理措施	198
5.13	现浇混凝土斜向板纵向钢筋处理措施	200
5.14	板柱、板柱-剪力墙结构体系抗冲切构造处理措施	201
5.15	现浇板柱结构体系抗剪栓钉处理措施	204
5.16	楼、屋面板上设备基础与板的连接处理措施	206
5.17	折板式现浇混凝土楼梯在弯折处钢筋配置处理措施	208
5.18	带滑动支座板式现浇混凝土楼梯处理措施	209
5.19	现浇混凝土板式楼梯第一阶与基础构造措施	212
第六章	地基基础构造处理措施	214
6.1	柱纵向受力钢筋在独立基础内锚固处理措施	214
6.2	柱纵向受力钢筋在条形基础及基础梁内锚固处理措施	216
6.3	现浇混凝土柱纵向受力钢筋在板式筏形基础内锚固处理措施	218
6.4	现浇混凝土墙竖向钢筋在基础内的锚固处理措施	220
6.5	短柱独立基础构造处理措施	222
6.6	柱、墙纵向钢筋基础内设置横向构造钢筋处理措施	224
6.7	基础梁水平加腋处理措施	226
6.8	单柱独立基础底板配筋处理措施	227
6.9	多柱联合基础配筋处理措施	228
6.10	独立柱基础间系梁处理措施	230
6.11	条形基础配筋处理措施	232
6.12	条形基础相交处底板钢筋处理措施	234
6.13	条形基础底部标高不同时处理措施	235
6.14	混凝土灌注桩成孔方式选择及桩身构造处理措施	237
6.15	工程桩与承台、筏板、条形承台梁连接处理措施	240
6.16	桩基承台下部钢筋、条形承台梁纵向钢筋构造处理措施	241
6.17	三桩承台受力钢筋的布置方式及构造处理措施	243
6.18	桩基承台间联系梁构造处理措施	244
6.19	平板式筏形基础钢筋处理措施	245
6.20	平板式筏形基础柱墩的处理措施	247
6.21	剪力墙洞口下筏板内暗梁处理措施	249
6.22	梁板式筏形基础底板钢筋处理措施	250
6.23	筏板基础板端部封边处理措施	252
6.24	筏形基础底板、地下室防水板地坑配筋构造处理措施	253
6.25	筏形基础底板变截面处钢筋构造处理措施	255

6.26	筏板纵向钢筋在端部的构造处理措施	258
6.27	梁板式筏形基础主梁纵向钢筋连接及箍筋的配置处理措施	259
6.28	梁板式筏形基础主梁端部构造处理措施	262
6.29	梁板式筏形基础主梁变截面及有高差处构造处理措施	263
6.30	梁板式筏形基础次梁钢筋连接及箍筋配置处理措施	265
6.31	筏形、箱形基础底板及地下室防水板后浇带处理措施	267
6.32	地下室防水板与扩展基础连接构造处理措施	269
第七章	其他构造处理措施	272
7.1	混凝土结构中普通钢筋牌号选用原则	272
7.2	抗震结构混凝土构件中使用普通钢筋的要求	274
7.3	带“E”牌号钢筋的使用处理措施	275
7.4	细晶粒带肋钢筋的使用处理措施	276
7.5	混凝土构件中钢筋代换处理措施	276
7.6	混凝土构件纵向受力钢筋配筋率的计算方法及处理措施	277
7.7	混凝土构件中纵向受力钢筋最小间距规定	279
7.8	抗震设计剪力墙底部加强部位范围的规定	280
7.9	如何区别框架柱、剪力墙端柱、异形柱、剪力墙、短肢剪力墙、剪力墙的小墙肢等竖向构件概念	281
7.10	抗震等级为特一级构件的构造处理措施	284
7.11	混凝土结构耐久性基本要求处理措施	285
7.12	正确判定混凝土结构环境类别	289
7.13	混凝土结构中预埋件处理措施	291
7.14	抗震设计混凝土结构中构造柱处理措施	293
7.15	混凝土结构砌体填充墙抗震处理措施	295
7.16	大体积混凝土设计、施工处理措施	297
7.17	预制构件吊环处理措施	299
参考文献		301

第 1 章 纵向钢筋锚固、连接、保护层厚度

1.1 受拉钢筋的锚固处理措施

根据现行的《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010（以下简称新《混凝土规范》）的规定，钢筋的锚固分为“基本锚固长度”和“锚固长度”两种，与《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002（以下简称原《混凝土规范》）中的锚固要求不完全相同，在设计、施工和监理等建设活动中，应注意区分避免混淆。

1) 受拉钢筋的基本锚固长度

根据现行《混凝土规范》第 8.3.1 条规定，当计算中充分利用钢筋的抗拉强度时，钢筋的基本锚固长度 l_{ab} 按下式计算：

普通钢筋
$$l_{ab} = \alpha \frac{f_y}{f_t} d$$

预应力钢筋
$$l_{ab} = \alpha \frac{f_{py}}{f_t} d$$

从现行《混凝土规范》给出的计算公式可以看到，受拉钢筋的基本锚固长度 l_{ab} 是由钢筋抗拉强度设计值 f_y 、混凝土轴心抗拉强度设计值 f_t 决定，并与锚固钢筋的直径和外形有关。式中分母项反映出混凝土设计强度值对粘结锚固强度的影响，当混凝土强度等级高于 C60 时，仍按 C60 取值（原《混凝土规范》规定，混凝土强度等级高于 C40 时，按 C40 取值）。通过试验研究证明，高强度混凝土的锚固性能有所增强，原《混凝土规范》规定混凝土强度等级最高为 C40 偏于保守，为了充分利用混凝土强度提高对锚固的有利影响，应提高到 C60。

不同的钢筋外形也影响基本锚固长度，钢筋的锚固外形系数 α 是经过对各类钢筋进行系统粘结锚固试验研究和可靠度分析得出的，现行《混凝土规范》给出了钢筋的锚固外形系数 α 表，并删除原规范中锚固性能很差的刻痕钢丝的外形系数（表 1.1-1）。预应力螺纹钢筋通常采用后张法，并端部采用专用螺母锚固，因此，现行《混凝土规范》未列出锚固长度的计算方法。

钢筋的锚固外形系数 α 表 1.1-1

钢筋类型	光圆钢筋	带肋钢筋	螺旋肋钢丝	三股钢绞线	七股钢绞线
α	0.16	0.14	0.13	0.16	0.17

注：光圆钢筋末端应做 180°弯钩，弯后平直段长度不应小于 3d，但作受压钢筋时可不作弯钩。

2) 受拉钢筋的锚固长度

在工程中实际的锚固长度 l_a 为钢筋基本锚固长度 l_{ab} 乘锚固长度修正系数 ζ_a 后的数值。修正系数可以根据锚固条件连乘。但为了保证可靠的锚固，在任何情况下受拉钢筋的最小锚固长度不应小于 $0.6l_{ab}$ （原《混凝土规范》为 0.7 ）及 200mm （原《混凝土规范》为 250mm ）。

根据现行《混凝土规范》第 8.3.1 条规定，受拉钢筋的锚固长度 l_a 按下式计算，且不应小于 200mm ：

$$l_a = \xi_a l_{ab}$$

式中 ξ_a ——锚固长度修正系数。

现行《混凝土规范》第 8.3.2 条规定，纵向受拉普通钢筋的锚固长度修正系数 ζ_a 应根据钢筋的锚固条件按下列规定取用：

- 1 当带肋钢筋的公称直径大于 25mm 时取 1.10 ；
- 2 环氧树脂涂层带肋钢筋取 1.25 ；
- 3 施工过程中易受扰动的钢筋取 1.10 ；
- 4 当纵向受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算面积时，修正系数取设计计算面积与实际配筋面积的比值，但对有抗震设防要求及直接承受动力荷载的结构构件，不应考虑此项修正；
- 5 锚固区保护层厚度为 $3d$ 时修正系数可取 0.80 ，保护层厚度为 $5d$ 时修正系数可取 0.70 （现行《混凝土规范》新增规定），中间按内插取值，此处 d 为纵向受力带肋钢筋的直径。

规范中规定的不同锚固条件下钢筋的锚固长度修正系数，是通过试验研究并参考工程经验和国外标准而确定的。

粗直径带肋钢筋由于相对肋高减小，对锚固作用的影响会降低，因此，当直径大于 25mm 时锚固长度增加 10% ；

环氧树脂涂层带肋钢筋由于钢筋表面光滑，对锚固有不利影响，根据试验分析和参考国外有关标准的有关规定，锚固长度增加 25% 。在一般工业和民用建筑中此类钢筋使用的极少，通常会在较恶劣的四、五类环境中采用。

施工扰动通常是指采用滑模或施工期间用纵向受力钢筋作为承重依托时，对钢筋锚固作用的不利影响，锚固长度应增加 10% 。此项修正应根据施工方式确定是否增加。

设计文件标注的构件实际受力钢筋配筋面积往往由于构造等原因而比计算值大，钢筋的实际应力值小于强度设计值，锚固长度可以按比例减小，修正系数取决于实际配筋的富余量，设计文件应有注明或应由设计工程师确认。但是要注意此项修正不能用于抗震结构构件和直接承受动力荷载结构中的受力钢筋锚固。

3) 锚固长度范围内的构造要求

现行《混凝土结构设计规范》第 8.3.1 条规定，当锚固钢筋保护层厚度 $\leq 5d$ 时，锚固长度范围内应配置横向构造钢筋，其直径不应小于 $d/4$ ；对梁、柱等杆状构件间距不应大于 $5d$ ，对板、墙等平面构件间距不大于 $10d$ ，且均不应小于 100mm，此处 d 为锚固钢筋的直径。

当混凝土保护层厚度不大时，在钢筋锚固长度范围内配置构造钢筋（可以是箍筋或者横向钢筋），其目的是防止混凝土保护层劈裂时钢筋锚固突然部分失效，构造钢筋的直径按锚固钢筋的最大直径计算，间距按最小直径计算。

需要说明的是：对于有抗震设防要求框架结构中的梁、柱节点纵向受力钢筋的锚固方式和锚固要求，根据具体情况有特指的规定。

从基本锚固长度计算公式中看到，纵向受拉钢筋的基本锚固长度 l_{ab} 与混凝土抗拉设计强度 f_t 有关，混凝土强度等级的大小影响基本锚固长度的计算结果，在工程中如何确定混凝土的强度等级，是常有分歧的问题，并且也是纵向受拉钢筋能否有效地在支座内可靠锚固的问题。纵向受拉钢筋的锚固长度中的混凝土强度等级，应按支座的混凝土强度等级考虑，而不应按构件本身的混凝土强度等级。如：竖向构件中纵向受力在基础中的锚固长度应是按基础混凝土的强度等级。在高层建筑中柱、墙的混凝土强度等级均会比基础高，若按竖向构件的混凝土强度等级采用基本锚固长度就会偏小。框架梁纵向钢筋在框架柱中的基本锚固长度应按柱的混凝土强度等级采用。当支座不是混凝土构件时，基本锚固长度应按构件的混凝土强度等级考虑，如砌体结构的楼面梁在支座的锚固。

处理措施

按现行《混凝土规范》给出的受力钢筋抗拉锚固计算公式及有关规定，列出受拉钢筋基本锚固长度和锚固长度表供参考使用（表 1.1-2、表 1.1-3）；

1. 普通受拉钢筋基本锚固长度 l_{ab}

表 1.1-2

钢筋种类	混凝土强度等级							
	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	$\geq C60$
HPB300	34d	30d	28d	25d	24d	23d	22d	21d
HRB335	33d	29d	27d	25d	23d	22d	21d	21d
HRB400 HRBF400 RRB400	40d	35d	32d	29d	28d	27d	26d	25d
HRB500 HRBF500	48d	43d	39d	36d	34d	32d	31d	30d

注：因 C20 作为结构混凝土使用较少，因此未列入。

2. 普通受拉钢筋锚固长度 l_a

表 1.1-3

钢筋种类	钢筋直径	混凝土强度等级							
		C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	≥C60
HPB300	—	34d	30d	28d	25d	24d	23d	22d	21d
HRB335	≤25	33d	29d	27d	25d	23d	22d	21d	21d
	>25	36d	32d	30d	28d	25d	24d	23d	23d
HRB400	≤25	40d	35d	32d	29d	28d	27d	26d	25d
HRBF400	>25	44d	39d	35d	32d	31d	30d	29d	28d
RRB400									
HRB500	≤25	48d	43d	39d	36d	34d	32d	31d	31d
HRBF500	>25	53d	47d	43d	40d	37d	35d	34d	33d

注：1. C20 作为结构混凝土使用较少，因此未列入；

2. 未考虑保护层厚度的修正系数；

3. 未考虑环氧树脂涂层带肋钢筋。

3. 光圆钢筋作为受力钢筋时，末端应做 180°弯钩，弯后平直段长度不应小于 3d，基本锚固长度及锚固长度是包括弯钩在内的投影长度。

4. 受拉钢筋锚固长度修正系数 ζ_a 可连乘，最小锚固长度 l_a 在任何情况下均不应小于 0.6 l_{ab} 及 200mm 两者较大值。

5. 当受拉钢筋锚固区保护层厚度为 3 倍钢筋直径时，可用表 1.1-2 数值乘 0.8，当为 5 倍时，可乘 0.7，保护层为中间值时可采用直线插入法。

1.2 受压钢筋的锚固长度

现行《混凝土规范》第 8.3.4 条规定，混凝土结构中的纵向受压钢筋，当计算中充分利用钢筋的抗压强度时，受压钢筋的锚固长度应不小于相应受拉锚固长度的 0.7 倍。

柱及桁架上弦等构件中的受压钢筋也存在着锚固问题。受压钢筋的锚固长度是根据试验研究及可靠度分析，并参考国外规范确定的。在工程中不太容易根据施工图设计文件确定哪些纵向受力钢筋是受压，所以施工时不能凭自己的理解确定受压钢筋而决定其锚固长度，在水平风荷载、往复水平地震作用下，框架柱中的纵向受力钢筋不一定是受压钢筋。而在桁架的上弦杆、某些腹杆通常是简单的二力杆，一般内力都是压力。

处理措施

1. 构件中的纵向受压钢筋按不小于相应受拉钢筋的锚固长度 0.7 倍（0.7 l_a 或 0.7 l_{aE} ）确定。

2. 设计文件中若未明确标注构件的纵向受压钢筋时，应咨询设计方确定，不可自行决定某些钢筋为受压钢筋，确定其最小锚固长度。

3. 受压钢筋不应采用端部弯钩和一侧贴焊锚筋的锚固措施。

4. 受压钢筋锚固区长度范围内应根据锚固钢筋保护层厚度，按相应受拉钢筋的要求设置横向构造钢筋。
5. 受压钢筋采用光圆钢筋时，锚固端不需要做 180° 弯钩。

1.3 钢筋端部的弯钩和机械锚固处理措施

在钢筋末端设置弯钩和机械锚固是减小锚固长度的有效方式，其原理是利用受力钢筋端部的锚头（弯钩、弯折、贴焊锚筋、螺栓锚头或焊接锚板等）对混凝土的局部挤压而加大锚固承载能力。锚头对混凝土的局部挤压保证了机械锚固不会发生锚固破坏，而在锚头前必须要有一定的直线锚固长度，以控制锚固钢筋的滑移，使构件不会发生较大裂缝、变形。

根据近年的试验研究及施工方便并参考国外规范，现行《混凝土规范》第 8.3.3 条规定了几种端部弯钩和机械锚固的形式：钢筋端部设置弯钩、贴焊锚筋、焊端锚板和螺栓锚头等，见图 1.3 钢筋端部弯钩和机械锚固形式。

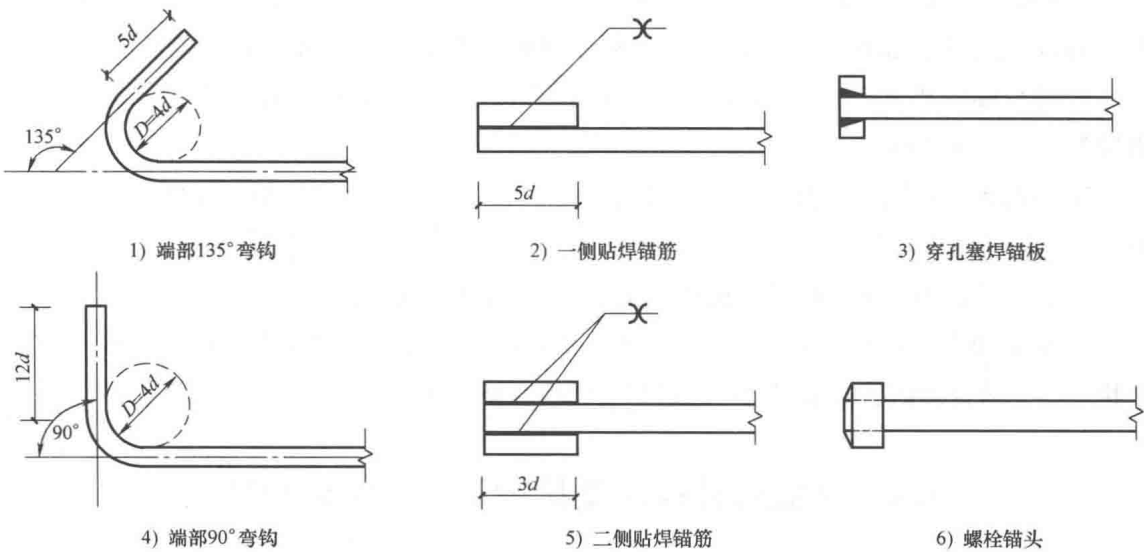


图 1.3 钢筋端部弯钩和机械锚固形式

图例 4) 端部 90° 弯钩、5) 二侧贴焊锚筋和 6) 螺栓锚头，是现行《混凝土结构设计规范》新增的三种钢筋端部弯钩和机械锚固形式。

根据对端部锚头和锚板的试验研究并参考国外的有关规范，端部采用机械锚固时，锚板的局部受压与承压面积有关，因此要求锚板或锚头应有最小的投影面积。

端部采用焊接的锚筋或锚板时，其焊接要求应符合《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 中的相关规定。

机械锚固因局部受压承载力与锚固区的混凝土厚度及约束程度有很大关系，锚头布置得较集中会对局部受压承载力有一定影响，因此要求锚头在纵、横两个方向宜错开设置，并应留有一定的最小净距。钢筋端部弯钩和机械锚固的技术要求见表 1.3。

锚固形式	技术要求
端部 90°弯钩	末端 90°弯钩,弯钩内径 $4d$,弯后直段长度 $12d$
端部 135°弯钩	末端 135°弯钩,弯钩内径 $4d$,弯后直段长度 $5d$
一侧贴焊锚筋	末端一侧贴焊长 $5d$ 同直径钢筋
二侧贴焊锚筋	末端两侧贴焊长 $3d$ 同直径钢筋
端部焊锚板	末端与厚度 d 的锚板穿孔塞焊
螺栓锚头	末端旋入螺栓锚头

处理措施

1. 普通钢筋采用端部弯钩或机械锚固措施时,锚固长度(包括弯钩或锚固端头在内的投影长度),可取受拉钢筋基本锚固长度的 0.6 倍 ($0.6l_{ab}$)。锚固形式应符合图 1.3 要求,技术要求应符合表 1.3 的规定。
2. 采用焊接锚固的焊缝、螺栓锚固的螺纹长度应满足承载力要求。
3. 螺栓锚头和焊接锚板的净承压面积不应小于锚固钢筋截面积的 4 倍(总投影面积的 5 倍),对于方形锚板边长为 $2d$,对于圆形锚板直径为 $2.25d$ (d 为锚固钢筋的直径)。
4. 螺栓锚头和焊接锚板的钢筋净距不宜小于 $4d$ (d 锚固为钢筋的直径),否则要考虑群锚效应的不利影响。
5. 端部钢筋弯钩及一侧贴焊锚筋的情况用于截面侧边、角部的偏置锚固时,锚头偏置方向应向截面内侧倾斜。
6. 受压钢筋不应采用端部弯钩和一侧贴焊锚筋的锚固措施。
7. 承受动力荷载的预制构件,应将纵向受力普通钢筋末端焊接在钢板或角钢上,其他构件中受力普通钢筋的末端也可通过焊接钢板或型钢实现锚固。

1.4 抗震构件纵向受拉钢筋最小锚固长度

在地震作用下,需要考虑抗震设防要求的结构构件,其纵向受力钢筋在混凝土中的锚固端可能位于拉、压反复受力状态或拉力大小交替变化状态,由于可能产生的锚固强度退化,锚固段的滑移量偏大,钢筋的粘结锚固性能比静力粘结锚固性能偏弱。为了保证在反复地震作用下的钢筋与其周围混凝土间具有必要的粘结锚固性能,根据我国的大量试验并参考国外的有关规范,在静力要求的纵向受拉钢筋基本锚固长度 l_{ab} 和锚固长度 l_a 基础上,对一~三级抗震等级的构件乘以不同的增大系数 ζ_{aE} 。

根据现行《混凝土规范》第 11.1.7 条及新《高规》第 6.5.5 条规定,纵向受拉钢筋的锚固长度和基本锚固长度按以下计算:

纵向受拉钢筋的锚固长度 $l_{aE} = \zeta_{aE} l_a$

纵向受拉钢筋的基本锚固长度 $l_{abE} = \zeta_{aE} l_{ab}$