

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2012年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2012〕5号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 材料；5. 改变结构体系加固法；6. 增大截面加固法；7. 粘贴钢板加固法；8. 外包钢筋混凝土加固法；9. 钢管构件内填混凝土加固法；10. 预应力加固法；11. 连接与节点的加固；12. 钢结构局部缺陷和损伤的修缮。

本标准中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本标准由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由四川省建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送四川省建筑科学研究院有限公司（地址：四川省成都市一环路北三段55号，邮编：610081）。

本标准主编单位：四川省建筑科学研究院有限公司
清华大学

本标准参编单位：武汉大学
同济大学
合肥工业大学
太原理工大学
住房和城乡建设部标准定额研究所

中国电子工程设计院有限公司
江苏东南特种技术工程有限公司
湖南大学
上海二十冶建设有限公司
广西建工集团第五建筑工程有限责任公司
中国五洲工程设计集团有限公司
中建科工集团有限公司
中信建筑设计研究总院有限公司
中建一局钢结构工程有限公司
北京市建筑工程研究院有限责任公司
北京梦想空间结构研究中心有限公司
上海同华特种土木工程有限公司
北京首钢建设集团有限公司
北京首钢国际工程技术有限公司
西南交通大学
同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司
武汉武大天业结构设计事务所有限公司
法施达（大连）实业集团有限公司
福建省桃城建设工程有限公司
深圳市建筑设计研究总院有限公司
成都益国工程设计顾问有限公司
合肥工业大学设计院（集团）有限公司

本标准主要起草人员：梁 坦 王元清 梁 爽 黎红兵
石永久 施 刚 姚 涛 卢亦焱
杜新喜 罗永峰 吴善能 完海鹰
舒兴平 卜良桃 雷宏刚 李海旺

薛伶俐 丁大益 胡孔国 刘 臣
潘 毅 张晓光 李 军 温四清
左勇志 刘延年 孟祥武 陈振明
刘明路 叶国平 李 杉 海 涛
张坦贤 李今保 阮新伟 赵嘉康
赵 娜 刘平原 李春严
本标准主要审查人员：周绪红 范 峰 白生翔 余海群
徐厚军 吴耀华 曾志攀 王文军
毕 琼 林 冰

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
3.1	一般规定	6
3.2	设计计算原则	7
3.3	加固方法及配合使用技术	9
4	材料	10
4.1	原钢材及其连接材料	10
4.2	加固用钢材及焊接材料	10
4.3	螺栓、焊钉、栓钉及锚栓	12
4.4	预应力用钢拉索和钢拉杆	13
4.5	结构胶粘剂	13
4.6	混凝土和水泥基灌浆料	17
4.7	防腐蚀、防火涂装材料	17
5	改变结构体系加固法	18
5.1	一般规定	18
5.2	改变结构体系加固法	18
5.3	构造规定	22
6	增大截面加固法	23
6.1	一般规定	23
6.2	受弯构件加固计算	25
6.3	轴心受力构件加固计算	28
6.4	拉弯、压弯构件加固计算	29

6.5	构造规定及设计对施工要求	35
7	粘贴钢板加固法	36
7.1	一般规定	36
7.2	受弯构件的加固计算	36
7.3	轴心受力构件加固计算	40
7.4	拉弯和压弯构件的加固计算	41
7.5	构造规定	41
8	外包钢筋混凝土加固法	44
8.1	一般规定	44
8.2	加固计算	44
8.3	构造规定	48
9	钢管构件内填混凝土加固法	50
9.1	一般规定	50
9.2	圆形钢管构件加固计算	51
9.3	方形钢管构件加固计算	53
9.4	设计对管内新填混凝土施工的要求	58
10	预应力加固法	59
10.1	一般规定	59
10.2	构件预应力加固设计	63
10.3	结构整体预应力加固设计	68
10.4	构造规定	69
10.5	设计对施工的要求	71
11	连接与节点的加固	73
11.1	一般规定	73
11.2	焊接连接的加固	73
11.3	螺栓或铆钉连接的加固	75
11.4	栓焊并用连接的加固	76
11.5	节点的加固	77
11.6	加固件的连接	82
11.7	构造规定	82

12 钢结构局部缺陷和损伤的修缮	85
12.1 一般规定	85
12.2 连接修缮	85
12.3 变形修缮	86
12.4 裂纹修缮	87
12.5 涂装修缮	88
附录 A 既有建筑物结构荷载标准值的确定方法	90
附录 B 钢构件截面加固形式的选用	93
本标准用词说明	96
引用标准名录	97

住房和城乡建设部信息中心
浏览专用

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	6
3.1	General Requirements	6
3.2	Calculation Principles for Design	7
3.3	Strengthening Method and Technics	9
4	Materials	10
4.1	Original Steel and Its Connection Material	10
4.2	Steel for Strengthening and Welding Material	10
4.3	Bolt, Stud and Anchor Bolt	12
4.4	Prestressed Steel Tightwire and Tie Rod	13
4.5	Structural Adhesive	13
4.6	Concrete and Cement Based Grouting Materials	17
4.7	Corrosion Protection and Fire Retardant Coating Materials	17
5	Structural Member Strengthening with Changing Structural System	18
5.1	General Requirements	18
5.2	Strengthening with Changing Structural System	18
5.3	Detailing Requirements	22
6	Structural Member Strengthening with Increasing Section Area	23
6.1	General Requirements	23
6.2	Strengthening Calculation of Flexural Members	25

6.3	Strengthening Calculation of Axially Loaded Members	28
6.4	Strengthening Calculation of Tension-bending and Compression-bending Members	29
6.5	Detailing Requirements and Requirements on Construction of Design	35
7	Structural Member Strengthening with Bonded Steel Plate	36
7.1	General Requirements	36
7.2	Strengthening Calculation of Flexural Members	36
7.3	Strengthening Calculation of Axially Loaded Members	40
7.4	Strengthening Calculation of Tension-bending and Compression-bending Members	41
7.5	Detailing Requirements	41
8	Structural Member Strengthening with Externally Wrapped Reinforcement Concrete	44
8.1	General Requirements	44
8.2	Strengthening Calculation	44
8.3	Detailing Requirements	48
9	Steel Tube Member Strengthening with Filled Concrete	50
9.1	General Requirements	50
9.2	Strengthening Calculation of Round Steel Tube Member	51
9.3	Strengthening Calculation of Rectangle Steel Tube Member	53
9.4	Construction Requirements on the Filled Concrete in the Steel Tube	58
10	Strengthening with Prestress	59
10.1	General Requirements	59
10.2	Prestressed Strengthening Design in Structure Member	63
10.3	Prestressed Strengthening Design in Integral Structure	68
10.4	Detailing Requirements	69

10.5	Requirements on Construction of Design	71
11	Strengthening of Connections and Joints	73
11.1	General Requirements	73
11.2	Strengthening of Welded Connections	73
11.3	Strengthening of Bolt or Rivet Connections	75
11.4	Strengthening of Connection Combined Bolts and Welds	76
11.5	Strengthening of Joints	77
11.6	Connection of Strengthening Member	82
11.7	Detailing Requirements	82
12	Repair of Steel Structure with Local Defects and Damages	85
12.1	General Requirements	85
12.2	Repairs of Connections	85
12.3	Repairs of Deformation	86
12.4	Repairs of Crack	87
12.5	Repairs of Coating	88
Appendix A	Determination for Load Characteristic Value of Existing Structures	90
Appendix B	Strengthening Shape of Cross Section	93
	Explanation of Wording in This Standard	96
	List of Quoted Standards	97

1 总 则

1.0.1 为使钢结构的加固设计，做到技术可靠、安全适用、经济合理、确保质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于工业与民用建筑和一般构筑物钢结构加固的设计。

1.0.3 钢结构加固前，应根据建（构）筑物的种类，分别按现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292 进行检测或鉴定。当与抗震加固结合进行时，尚应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 或《构筑物抗震鉴定标准》GB 50117 等进行抗震能力鉴定。

1.0.4 钢结构加固的设计，除应符合本标准外，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 钢结构加固 strengthening of steel structure

对可靠性不足或产权人要求提高可靠度的钢结构、构件及其相关部分采取增强、局部更换或调整其内力等措施，使其具有现行设计标准及产权人所要求的安全性、适用性和耐久性。

2.1.2 原结构 existing structure

实施加固前的原有结构，也称加固前的结构。

2.1.3 原构件 existing member

实施加固前的原有构件，也称加固前的构件。

2.1.4 结构卸荷加固 strengthening of unloading structure

在原位上使结构完全卸荷，或将构件拆解后进行的加固。

2.1.5 结构负荷加固 strengthening of loading structure

结构卸去或部分卸去活荷载后在原位上进行的加固。

2.1.6 名义应力 nominal stress

按标准规定或由材料力学一般方法算得的构件截面应力。

2.1.7 净截面 net section

扣除孔洞、锈蚀和损伤削弱失效后的截面。

2.1.8 扩展性裂纹 expansible crack

长度或深度有可能不断增加的裂纹。

2.1.9 脆断倾向性裂纹 brittle fracture orientated crack

有使钢结构、构件可能发生突然脆性断裂的裂纹。

2.1.10 摩擦型高强度螺栓连接 friction-type high strength bolt connection

仅考虑由板件间摩擦力传递板件间作用力的高强度螺栓连接。

2.1.11 结构胶粘剂 structural adhesive

用于承重结构或构件胶接的、能长期承受设计应力和环境作用的胶粘剂，简称结构胶。

2.2 符 号

2.2.1 作用效应

M ——弯矩；

M_0 ——构件加固前的弯矩；

N ——轴心力；

N_0 ——构件加固前的轴心力；

V ——剪力；

V_0 ——构件加固前的剪力；

σ ——全部使用荷载作用下构件最大应力；

σ_1 ——扣除初始荷载的使用荷载作用下构件最大应力；

σ_0 ——不能卸载的初始荷载作用下构件最大应力；

σ_f ——垂直于角焊缝长度方向，按角焊缝有效截面计算的焊缝正应力；

τ ——剪应力；

τ_f ——沿角焊缝长度方向，按角焊缝有效截面计算的焊缝剪应力。

2.2.2 计算指标

E ——钢材的弹性模量；

f ——钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f^* ——钢材抗拉、抗压和抗弯换算强度设计值；

f_f^w ——角焊缝的抗拉、抗压和抗剪强度设计值；

f_0 ——原结构钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_s ——加固用钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_v ——钢材抗剪强度设计值；

f_y ——钢材屈服强度或屈服点的标准值；

G ——钢材的剪变模量；

N_E ——欧拉临界力。

2.2.3 几何参数

A ——毛截面面积或全部截面面积；

A_n ——净截面面积；

A_0 ——原构件的毛截面面积；

A_{n0} ——原构件的净截面面积；

A_s ——构件加固部分的截面面积；

A_t ——构件加固后的总截面面积，即 A_0 与 A_s 之和；

a ——间距；

d ——直径；

e_0 ——等效偏心距；

h_c ——角焊缝有效厚度；

h_f ——角焊缝焊脚尺寸；

I ——毛截面惯性矩；

I_0 ——原构件毛截面惯性矩；

I_s ——构件加固部分的截面惯性矩；

L ——长度；

L_0 ——构件的计算长度；

L_s ——加固件焊缝延续的总长度；

L_w ——焊缝长度；

L_{ws} ——加固焊缝实际施焊段的长度；

W ——毛截面抵抗矩；

W_n ——净截面抵抗矩；

W_{on} ——原构件净截面抵抗矩；

t ——板件厚度；

λ ——长细比；

λ_0 ——构件的相对长细比；

ω ——挠度；

ω_0 ——初始挠度；

ω_T ——总挠度；

ω_w ——焊接残余挠度；

$\Delta\omega$ ——挠度增量。

2.2.4 计算系数及其他

t' ——考虑抽样数量影响的计算系数；

α_N ——压弯构件的弯矩增大系数；

α_v ——新增钢筋混凝土的强度修正系数；

β_{mx}, β_{ty} ——压弯构件稳定计算的等效弯矩系数；

γ ——截面塑性发展系数；

η_m ——受弯构件加固强度修正系数；

η_n ——轴心受力构件加固强度修正系数；

η_v ——受弯构件腹板粘钢加固强度修正系数；

ψ_t ——经验系数；

ξ ——焊接残余挠度影响系数；

δ ——考虑加固件间断焊缝连续性系数；

φ ——轴心受压构件稳定系数；

φ_b ——均匀受弯构件的整体稳定系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 钢结构经可靠性鉴定确认需要加固时，应根据鉴定结论并结合产权人提出的要求，按本标准的规定进行加固设计。加固设计的范围，可按整幢建筑物或其中某独立区段确定，也可按指定的结构、构件或连接确定，但均应考虑该结构的整体稳固性。

3.1.2 加固后钢结构的安全等级，应根据结构破坏后果的严重性、结构的重要性和加固设计使用年限，由产权人与设计方按实际情况共同商定。

3.1.3 钢结构的加固设计，应与实际施工方法紧密结合，采取有效措施，保证新增构件及部件与原结构连接可靠，新增截面与原截面结合牢固，形成整体共同工作；并不应对未加固部分，以及相关的结构、构件和地基基础造成不利的影晌。

3.1.4 对高温、高湿、低温、冻融、化学腐蚀、振动、温度应力、收缩应力、地基不均匀沉降等影响因素引起的原结构损坏，应在加固设计中提出有效的防治对策，并应按设计规定的顺序进行治理和加固。

3.1.5 钢结构的加固设计，应综合考虑其技术经济效果，不应加固适修性很差的结构，且不应导致不必要的拆除或更换。

3.1.6 对加固过程中可能出现倾斜、失稳、过大变形或坍塌的钢结构，应在加固设计文件中提出有效的临时性安全措施。

3.1.7 钢结构的加固设计使用年限，应按下列原则确定：

1 结构加固后的使用年限，应由产权人和设计单位共同商定；

2 当结构的加固材料中使用结构胶粘剂或其他聚合物成分时，其结构加固后的使用年限宜按 30 年考虑；当产权人要求结

构加固后的使用年限为 50 年时，其所使用的胶和聚合物的粘结性能，应通过耐长期应力作用能力的检验；

3 使用年限到期后，当重新进行的可靠性鉴定认为该结构工作正常，仍可继续延长其使用年限；

4 对使用胶粘方法或掺有聚合物材料加固的结构、构件，尚应定期检查其工作状态；检查的时间间隔可由设计单位确定，但第一次检查时间不应迟于 10 年；

5 当为局部加固时，应考虑原建筑物剩余设计使用年限对结构加固后设计使用年限的影响；

6 在钢结构加固设计文件中，应依据本条规定的原则注明该结构加固后的设计使用年限。

3.1.8 设计应明确结构加固后的用途和使用环境，在加固设计使用年限内，未经技术鉴定或设计许可，不得改变加固后结构的用途和使用环境。

3.2 设计计算原则

3.2.1 钢结构加固设计可采用线弹性分析方法计算结构的作用效应，并应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

3.2.2 加固钢结构时，应按下列规定进行承载力极限状态和正常使用极限状态的设计、验算。

1 结构上的作用，应经调查或检测核实，并按本标准附录 A 的规定确定其标准值或代表值，当此项工作已在可靠性鉴定中完成时，宜加以引用。

2 被加固结构、构件的作用效应，应按下列规定确定：

1) 结构的计算图形，应符合其实际受力和构造状况；

2) 作用效应组合和组合值系数以及作用的分项系数，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 确定，并应考虑由于实际荷载偏心、结构变形、温度作用造成的附加内力。

3 结构、构件的尺寸，对原有部分应根据鉴定报告采用原设计值或实测值；对新增部分，可采用加固设计文件给出的设计值。

4 原结构、构件材料的抗拉强度、抗压强度和抗剪强度设计值应按下列规定取值：

- 1) 当结构可靠性鉴定认为原设计文件有效，且未发现结构构件或连接的性能有明显退化时，可采用原设计值；
- 2) 当结构可靠性鉴定认为应重新进行现场检测时，应采用检测结果推定的屈服强度或条件屈服点进行确定。

5 采用钢材为加固材料时，其性能和质量，应符合本标准第4章的有关规定；当采用其他材料为加固材料时，其性能和质量的要求尚应按现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728的规定执行；加固材料性能的设计值应按本标准各相关章节的规定采用。

6 验算结构、构件承载力时，应考虑原结构在加固时的实际受力状态，包括加固部分应变滞后的特点及加固部分与原结构的共同工作程度。

7 加固后改变传力路线或使结构质量增大时，应对相关结构、构件及建筑物地基基础进行验算。

8 对超静定结构尚应考虑因构件截面改变、构件刚度改变致使体系内力重分布的影响，并应采用合理的计算分析方法。

3.2.3 抗震设防区结构、构件的加固，除应满足承载力要求外，尚应复核其抗震能力；不应存在因局部加强或刚度突变而形成的新薄弱部位。

3.2.4 本标准的各种加固方法可用于结构的抗震加固，但具体采用时，尚应在设计、计算和构造上执行现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。

3.2.5 为防止结构加固部分意外失效而导致的坍塌，在使用胶粘剂或掺有聚合物的加固方法时，其加固设计除应按本标准的规定进行外，尚应对原结构进行验算。验算时，应要求原结构、构

件能承担 n 倍恒载标准值的作用。当可变荷载标准值与永久荷载标准值之比值不大于 1 时, n 应取 1.2; 当该比值等于或大于 2 时, n 应取 1.5; 其间应按线性内插法确定。

3.3 加固方法及配合使用技术

3.3.1 钢结构的加固可分为直接加固与间接加固两类, 设计时, 可根据实际条件和使用要求选择适宜的加固方法及配合使用的技术。

3.3.2 直接加固宜根据工程的实际情况选用增大截面加固法、粘贴钢板加固法和组合加固法。

3.3.3 间接加固宜根据工程的实际情况采用改变结构体系加固法、预应力加固法。

3.3.4 钢结构加固的连接方法宜采用焊缝连接、摩擦型高强螺栓连接; 亦可采用焊缝与摩擦型高强螺栓的混合连接等。

3.3.5 与结构加固方法配合使用的技术应采用符合本标准规定的连接技术和修复、修补技术。

4 材 料

4.1 原钢材及其连接材料

4.1.1 钢结构原构件的强度设计值，当按现场检测的屈服强度推定值 f_y 确定时，其抗拉强度设计值 f 应取 f_y 与 γ_R 的比值；抗力分项系数 γ_R 应取为 1.2。

4.1.2 对受有气相腐蚀的钢结构原构件，当其截面面积损失大于 25% 或其板件剩余厚度小于 5mm 时，其验算时的钢材强度设计值，尚应乘以表 4.1.2 规定的强度降低系数。对特殊环境中受腐蚀的钢结构加固，其强度降低系数应专门研究确定。经验算认定尚可继续使用的原构件及其连接，均应重新采取有效的防腐蚀措施进行处理。

表 4.1.2 考虑腐蚀损伤的强度降低系数

腐蚀性等级	强度降低系数
强腐蚀	0.80
中等腐蚀	0.85
弱腐蚀	0.90
微腐蚀	可不降低

4.1.3 与钢结构原构件匹配的连接，其强度设计值，当按现场检测的结果或专家论证的结果评定时，其取值不得高于现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定值；对受有气相腐蚀的钢结构连接，尚应乘以本标准表 4.1.2 规定的强度降低系数。

4.2 加固用钢材及焊接材料

4.2.1 钢结构加固用钢材的品种、质量和性能应符合下列规定：

1 加固件的钢号应与原构件的钢号相同或相当；其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《建筑结构用钢板》GB/T 19879 的有关规定；其韧性、塑性及焊接性能应与原构件钢材相匹配；

2 不得使用无出厂合格保证、无标志的钢材；

3 表面原始锈蚀等级为 D 级的钢材不应用作结构钢。

4.2.2 钢结构加固用焊接材料的质量和性能应符合下列规定：

1 手工焊接采用的焊条，应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 或《热强钢焊条》GB/T 5118 的规定，选择的焊条型号应与主体金属力学性能相适应。

2 焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110、《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045、《热强钢药芯焊丝》GB/T 17493 的规定。

3 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293、《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470 的规定。气体保护焊使用的氩气应符合现行国家标准《氩》GB/T 4842 的规定，其纯度不应低于 99.95%。

4.2.3 钢结构加固用钢筋的品种、质量和性能应符合下列规定：

1 宜选用 HRB400 级或 HPB300 级钢筋；

2 钢筋的质量应分别符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2、《钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1 和《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB 13014 的规定；

3 钢筋的强度设计值应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用；

4 不得使用无出厂合格证、无标志或未经进场复验的钢筋

以及再生钢筋。

4.3 螺栓、焊钉、栓钉及锚栓

4.3.1 加固钢结构用螺栓的质量和性能应符合下列规定：

1 钢结构连接用 4.6 级及 4.8 级普通螺栓应为 C 级螺栓；5.6 级及 8.8 级普通螺栓应为 A 级或 B 级螺栓；其性能和质量应符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 的规定。C 级螺栓与 A 级、B 级螺栓的规格及尺寸应分别符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 与《六角头螺栓》GB/T 5782 的规定。

2 钢结构用大六角高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 的规定。钢结构用扭剪型高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定。

3 螺栓球网架用高强度螺栓应符合现行国家标准《钢网架螺栓球节点用高强度螺栓》GB/T 16939 的规定。

4.3.2 加固钢结构用焊钉、栓钉和锚栓的质量和性能应符合下列规定：

1 圆柱头焊钉、栓钉应以 ML15 钢或 ML15AL 钢制作，焊钉或栓钉的屈服强度不应小于 360N/mm^2 ，抗拉强度不应小于 400N/mm^2 。焊/栓钉连接件的材料及焊接用瓷环应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的规定。

2 锚栓应采用优质碳素结构钢制成，其质量和性能等级应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699 和《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 的规定。

4.4 预应力用钢拉索和钢拉杆

4.4.1 预应力加固钢结构的拉索，可采用钢绞线索、钢丝拉索、钢丝绳索及钢拉杆。

4.4.2 加固用钢绞线拉索的质量及性能应分别符合现行国家标准《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161、《填充型环氧涂层钢绞线》JT/T 737 和《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》YB/T 152 的规定。

4.4.3 加固用钢丝拉索的质量及性能应符合现行行业标准《高密度聚乙烯护套钢丝拉索》CJ/T 504 的规定。

4.4.4 加固用钢丝绳的质量及性能应符合现行国家标准《重要用途钢丝绳》GB 8918 的规定。

4.4.5 加固用钢拉杆，可采用普通圆钢制作的拉杆；也可采用高强度钢拉杆。高强度钢拉杆的质量和性能应符合现行国家标准《钢拉杆》GB/T 20934 的规定。

4.4.6 加固用拉索的锚具应符合国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 的规定。

4.5 结构胶粘剂

4.5.1 钢结构加固用的结构胶粘剂，应采用以钢为基材的结构胶，且应符合下列规定：

1 当使用环境为常温时，应采用Ⅰ类 AAA 级或 AA 级常温结构胶；

2 当使用环境有高温时，应采用Ⅱ类或Ⅲ类耐温结构胶；

3 在任何情况下，严禁采用以不饱和聚酯或醇酸树脂为主成分的胶粘剂。

4.5.2 钢结构加固用结构胶的粘结抗剪强度标准值应具有按置信水平为 0.90 确定的不小于 95% 的保证率。钢结构加固用的结构胶，其安全性能和耐久性能必须分别符合表 4.5.2-1、表 4.5.2-2 的规定。

表 4.5.2-1 钢结构加固用结构胶安全性能指标

检验项目		检验条件	安全性能合格指标			
			I类胶		II类胶	III类胶
			AAA级	AA级		
粘 结 能 力	钢对钢拉伸 抗剪强度 (MPa)	试件粘合后养护 7d, 到期立即在: (23±2)°C、(50±5)%RH 条件下测试	≥17	≥14	≥17	≥17
	标准值	(120±2)°C; 10min	—	—	≥14	—
		平均值	(150±3)°C; 10min	—	—	—
			(-45±2)°C; 30min	≥20	≥17	≥20
粘 结 能 力	钢对钢对接接头抗拉 强度(MPa)	试件粘合后养护 7d, 到期立即在 (23±2)°C、(50±5)%RH 条件下测试	≥38	≥33	≥38	≥40
	钢对钢 T 冲击剥离 长度(mm)		≤6	≤12	≤6	≤6
			钢对钢不均匀扯离 强度(kN/m)	≥20	≥16	≥20

注：表中各项性能指标，除标有标准值外，均为平均值。

表 4.5.2-2 钢结构加固用结构胶耐久性能指标

检验项目		检验条件	耐久性能合格指标			
			I 类胶		II 类胶	III 类胶
			AAA 级	AA 级		
耐环境作用能力	耐湿老化能力	在 50℃、95%RH 环境中老化 90d 后，冷却至室温进行钢对钢拉伸抗剪强度试验	≤10	≤15	≤15	
	耐热老化能力	在下列温度环境中老化 90d 后，以同温度进行钢对钢拉伸抗剪试验	(60±2)℃恒温	≤5	≤10	—
			(120±2)℃恒温	—	—	≤5
			(150±3)℃恒温	—	—	≤7
耐冻融能力	在 -25℃⇌35℃冻融循环温度下，每次循环 8h，经 50 次循环后，在室温下进行钢对钢拉伸抗剪试验	与同温度短期试验结果相比，其抗剪强度平均降低率(%)				
		在室温下短期试验结果相比，其抗剪强度降低率(%)不大于 5%				
耐应力作用能力	耐长期前剪应力作用能力	在各类胶最高使用温度下，承受 5.0MPa 剪应力，持续作用 210d	钢对钢拉伸粘结抗剪试件不破坏，且蠕变的变形值小于 0.4mm			
	耐疲劳作用能力	在室温下，以频率为 5Hz、应力比为 5:1、最大应力为 5.0MPa 的疲劳荷载下进行钢对钢拉伸抗剪试验	经 5×10 ⁶ 次等幅正弦波疲劳荷载作用后，试件未破坏			

4.5.3 钢结构加固用结构胶的胶体性能应符合表 4.5.3 的规定。

表 4.5.3 钢结构加固用结构胶胶体性能指标

检验项目	检验条件	安全性能合格指标			
		I 类胶		II 类胶	
		AAA 级	AA 级	III 类胶	
胶体性能	抗拉强度 (MPa)	涂布胶	≥35	≥35	≥38
		压注胶	≥4.0×10 ³	≥3.5×10 ³	≥3.5×10 ³
	受拉弹性模量 (MPa)	涂布胶	≥3.0×10 ³	≥2.7×10 ³	≥2.7×10 ³
		压注胶	≥1.5	≥1.5	≥1.7
	伸长率 (%)	涂布胶	≥1.8	≥1.8	≥2.0
		压注胶	≥50	≥50	≥60
抗弯强度 (MPa)		且不得呈碎裂状破坏			
抗压强度 (MPa)		≥65	≥65	≥70	
热变形温度 (°C)		≥60	≥60	≥120	≥150
注：表中各项性能指标，除标有标准值外，均为平均值。		使用 0.45MPa 弯曲应力的 B 法			

注：表中各项性能指标，除标有标准值外，均为平均值。

4.5.4 与钢结构加固用的结构胶配套使用的界面胶、底胶和修补胶，其安全性能应符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 的规定。

4.6 混凝土和水泥基灌浆料

4.6.1 钢结构加固用混凝土的强度等级不应低于 C30；其耐久性应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

4.6.2 钢结构加固用的混凝土可使用商品混凝土，当混凝土中掺加粉煤灰时，粉煤灰应为 I 级灰，且烧失量不应大于 5%。

4.6.3 钢结构加固用的聚合物混凝土、微膨胀混凝土、钢纤维混凝土、合成纤维混凝土和喷射混凝土，应在工程施工前进行试配，经检测性能符合设计要求后方可使用。

4.6.4 钢结构加固用水泥基灌浆料的性能和质量应符合现行国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448 的规定；其施工工艺应符合现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 的规定。

4.7 防腐蚀、防火涂装材料

4.7.1 钢结构防腐蚀、防锈采用的涂装材料，钢材表面的除锈等级及防腐蚀对钢结构的构造要求等，应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 和《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 的有关规定。

4.7.2 当加固的钢结构只能采用人工除锈时，宜采用溶剂型涂料作为第一道和第二道涂料；不宜采用带锈涂料。

4.7.3 钢结构防火涂装材料的品种、质量和性能应符合现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907 的有关规定。

5 改变结构体系加固法

5.1 一般规定

5.1.1 当采用改变结构体系的加固方法时，可根据实际情况和条件，采用改变荷载分布方式、传力途径、节点性质、边界条件、增设附加杆件、施加预应力或考虑空间受力等措施对结构进行加固。

5.1.2 改变结构体系的加固设计，除应考虑结构、构件、节点、支座中的内力重分布与二次受力外，尚应考虑新体系对相关部分的地基基础和结构造成的影响。

5.1.3 采用调整内力的方法加固结构时，应在加固设计图中规定调整应力或位移的限值及允许偏差，并应规定其监测部位及检验方法。

5.1.4 采用增设支点的方法改变结构体系时，应根据被加固结构的构造特点和工作条件，选用刚性支点加固法或弹性支点加固法。

5.1.5 采用预应力进行改变结构体系的加固时，其设计应符合本标准第 10 章的规定。

5.1.6 采用改变结构体系加固法时，其设计应与施工紧密配合；未经设计允许，不得擅自修改设计对施工的要求。

5.2 改变结构体系加固法

5.2.1 当选用改变结构或构件刚度的方法对钢结构进行加固时，可选用下列方法：

1 可增设支撑系统形成空间结构并按空间受力进行验算（图 5.2.1-1）；

2 可增设支柱或撑杆增加结构刚度（图 5.2.1-2）；

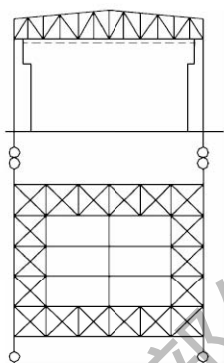


图 5.2.1-1 增设支撑系统以形成空间作用示意

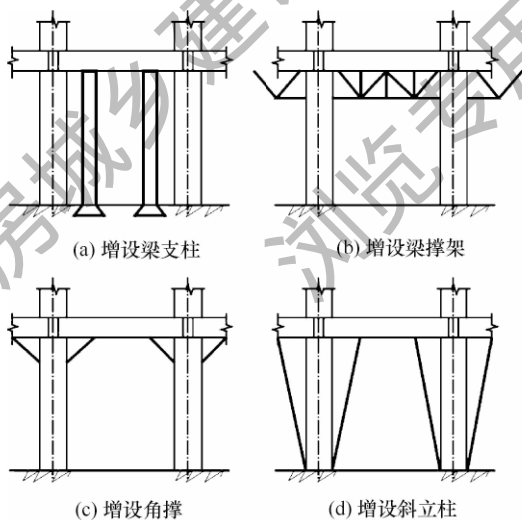


图 5.2.1-2 增设支柱或撑杆以改变体系示意

- 3 可增设支撑或辅助杆件使构件的长细比减小提高稳定性 (图 5.2.1-3);
- 4 在排架结构中, 可重点加强某柱列的刚度 (图 5.2.1-4);
- 5 可通过将一个集中荷载转化为多个集中荷载改变荷载的

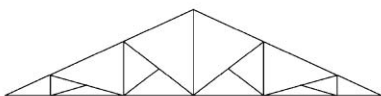


图 5.2.1-3 用再分杆加固桁架示意

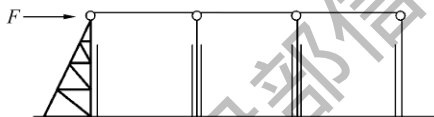


图 5.2.1-4 加强边柱柱列刚度示意

分布；

6 在桁架中，可通过将端部铰接支承改为刚接（图 5.2.1-5）改变其受力状态；

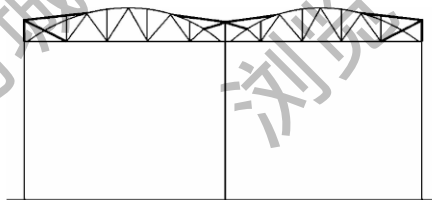


图 5.2.1-5 桁架端支承由铰接改变为刚接示意

7 可增设中间支座，或将简支结构端部连接成为连续结构（图 5.2.1-6）；对连续结构，可采取措施调整结构的支座位置；

8 在空间网架结构中，可通过改变网络结构形式提高刚度和承载力；亦可在网架周边加设托梁，或增加网架周边支撑点，改善网架受力性能；

9 可采取措施使加固构件与其他构件共同工作或形成组合结构进行加固（图 5.2.1-7）。

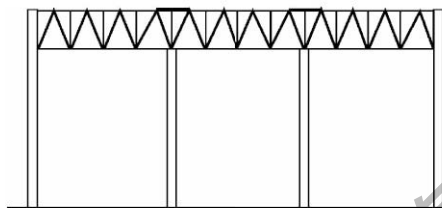


图 5.2.1-6 托架增设中间支座示意

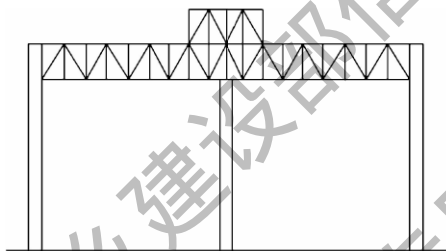


图 5.2.1-7 使天窗架与屋架连成整体共同受力

5.2.2 改变结构体系的加固设计，应按加固后形成的新结构体系进行验算。

5.2.3 当采用刚性支点加固结构、构件时，应按下列步骤进行设计计算：

- 1 计算并绘制原结构、构件的内力图；
- 2 初步确定预加力，并绘制在支撑点预紧力作用下原结构构件的内力图；
- 3 绘制加固后结构构件在新增荷载作用下的内力图；
- 4 将本条第 1 款～第 3 款的内力图叠加，绘出构件各截面内力包络图；
- 5 计算构件各截面实际承载力；
- 6 调整预加力值，使构件各截面最大内力值小于截面实际承载力；
- 7 根据最大的支点反力，设计支承结构及其基础。

5.2.4 当采用弹性支点加固结构、构件时，应先计算出所需支点弹性反力，然后确定支承结构所需的刚度。计算步骤应符合下列规定：

- 1 计算并绘制原结构的内力图；
- 2 绘制原结构在新增荷载下的内力图；
- 3 确定原结构所需的预加力，即卸荷值，并由此求出相应的弹性支点反力值 R ；
- 4 根据所需的弹性支点反力 R 及支承结构类型，计算支承结构所需的刚度；
- 5 根据所需的刚度确定支承结构截面尺寸，设计支承结构及其基础。

5.3 构造规定

5.3.1 改变结构体系所采用的支柱、支撑、撑杆等，其端部应与被加固结构构件可靠连接，且连接的构造不应过多削弱原构件的承载能力。

5.3.2 钢结构加固所使用的支柱、支撑、撑杆等，当直接支承于基础时，可按一般地基基础构造进行处理；当其端部以梁、柱为支承时，宜选用型钢套箍的构造方式。

6 增大截面加固法

6.1 一般规定

6.1.1 采用焊接连接、螺栓连接、铆钉连接和粘贴钢板的增大截面法加固，应符合本章的规定。

6.1.2 采用增大截面加固钢构件，应考虑原构件受力情况及存在的缺陷和损伤；在施工可行、传力可靠的前提下，可按本标准附录 B 选取有效的截面增大形式。

6.1.3 采用增大截面法加固钢结构构件时，其构造设计应符合下列规定：

- 1 加固件应有明确、合理的传力途径；
- 2 加固件与被加固件应能可靠地共同工作，并采取措施保证截面的不变形和板件的稳定性；
- 3 对轴心受力、偏心受力构件和非简支受弯构件，其加固件应与原构件支座或节点有可靠的连接和锚固；
- 4 加固件的布置不宜采用导致截面形心偏移的构造方式；
- 5 加固件的切断位置，应以最大限度减小应力集中为原则，并应保证未被加固处的截面在设计荷载作用下仍处于弹性工作阶段。

6.1.4 完全卸荷状态下，采用增大截面法加固钢构件的设计、计算可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定进行，并应符合下列条件：

- 1 原构件的缺陷和损伤应已得到有效补强；
- 2 原构件钢材强度设计值应已根据可靠性鉴定报告确定；
- 3 当采用焊接方法加固时，其新老构件之间的可焊性应已得到确认。

6.1.5 负荷状态下，采用增大截面法加固钢构件的设计、计算

应按本标准第 6.2 节～第 6.4 节的规定进行。

6.1.6 负荷状态下，钢构件的焊接加固，应根据原构件的使用条件，校核其最大名义应力 $\sigma_{0\max}$ 是否符合表 6.1.6 应力比限值的规定。若不符合规定时，不得在负荷状态下进行焊接加固；应改用其他增大截面的方法进行加固。

表 6.1.6 焊接加固构件的使用条件及其应力比限值

类别	使用条件	应力比限值 $\sigma_{0\max} / f_y$
I	特繁重动力荷载作用下的结构	≤ 0.20
II	除 I 外直接承受动力荷载或振动作用的结构	≤ 0.40
III	间接承受动力荷载作用，或仅承受静力荷载作用的结构	≤ 0.65
IV	承受静力荷载作用，并允许按塑性设计的结构	≤ 0.80

6.1.7 负荷状态下，采用增大截面法加固钢结构时，其原构件在轴力和弯矩作用下的最大名义应力 $\sigma_{0\max}$ 可按式确定：

$$\sigma_{0\max} = \frac{N_0}{A_{n0}} \pm \frac{M_{0x}}{\alpha_{Nx} W_{0nx}} \pm \frac{M_{0y}}{\alpha_{Ny} W_{0ny}} \quad (6.1.7)$$

式中： N_0 ， M_{0x} ， M_{0y} ——分别为原构件的轴力 (N) 和绕 x 轴和 y 轴的弯矩设计值 (N·mm)；

A_{n0} ， W_{0nx} ， W_{0ny} ——分别为原构件的净截面面积 (mm^2) 和对 x 轴和 y 轴的净截面抵抗矩 (mm^3)；

α_{Nx} ， α_{Ny} ——弯矩增大系数，按本标准第 6.1.8 条的规定采用。

6.1.8 对拉弯构件，弯矩增大系数 α_{Nx} ， α_{Ny} 的取值均应为 1.0；对其他构件，弯矩增大系数应按下列公式计算确定：

$$\alpha_{Nx} = 1 - \frac{N_0 \lambda_x^2}{\pi^2 EA_0} \quad (6.1.8-1)$$

$$\alpha_{Ny} = 1 - \frac{N_0 \lambda_y^2}{\pi^2 EA_0} \quad (6.1.8-2)$$

式中： A_0 ——原构件的毛截面面积（ mm^2 ）；

E ——钢材的弹性模量（ N/mm^2 ）；

λ_x ——原构件的毛截面面积对 x 轴的长细比；

λ_y ——原构件的毛截面面积对 y 轴的长细比。

6.1.9 焊接加固后的 I、II 类构件，宜对其剩余疲劳寿命进行专门的评估或计算；当处于低温下工作时，尚宜对其低温冷脆风险进行专门评估。

6.1.10 负荷状态下，采用螺栓连接或铆钉连接加固钢结构时，原构件最大名义应力 σ_{max} 不应大于 $0.85f_y$ 。

6.2 受弯构件加固计算

6.2.1 主平面内受弯的加固构件，应按下式验算其抗弯强度：

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq \eta_m f \quad (6.2.1)$$

式中： M_x ， M_y ——绕加固后截面形心 x 轴和 y 轴的加固前弯矩与加固后增加的弯矩之和（ $\text{N} \cdot \text{mm}$ ）；

W_{nx} ， W_{ny} ——对加固后截面 x 轴和 y 轴的净截面抵抗矩（ mm^3 ）；

γ_x ， γ_y ——截面塑性发展系数，对 I、II、III 类结构 γ_x 、 γ_y 的值均取为 1.0；对 IV 类结构，应根据截面形状按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用；

η_m ——受弯构件加固强度修正系数，对双侧加固，按表 6.2.1 取值；对单侧加固，按表 6.2.1 系数的 0.9 倍取值；

f ——钢材的抗弯强度设计值（MPa），取截面中最低强度级别钢材的抗弯强度设计值。

表 6.2.1 η_m 系数取值

类别 方法	I、II类 结构	其他类结构			
		$\sigma_{\max}/f \leq 0.2$	$0.2 < \sigma_{\max}/f \leq 0.4$	$0.4 < \sigma_{\max}/f \leq 0.65$	$\sigma_{\max}/f > 0.65$
焊接加固	0.85	0.90	0.85	0.80	—
螺栓连接、铆钉连接加固	0.85	0.95	0.90	0.85	0.80

注：表中应力比 σ_{\max}/f 的限值尚应符合本标准表 6.1.6 的规定。

6.2.2 I、II、III类结构的受弯实腹构件的抗剪应力 τ 、组合梁腹板计算高度边缘处的局部承压应力 σ_c 和折算应力应分别按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定计算；对IV类构件，当按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 关于塑性设计的规定，由腹板承受剪力进行计算时，其钢材强度应取计算部位腹板强度设计值。

6.2.3 主平面内受弯的加固构件，其整体稳定性的验算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定，稳定系数应按加固后截面计算，但验算时，应将钢材抗弯强度设计值 f 改取为钢材换算强度设计值 f^* ，并应乘以强度折减系数 η_m 。

6.2.4 用于加固构件整体稳定验算的钢材换算强度设计值 f^* 可按下列规定进行确定：

- 1 当 $f_0 \leq f_s \leq 1.15f_0$ 时，可取 f^* 等于 f_0 ；
- 2 当 $f_s > 1.15f_0$ 时，可按下列式计算：

$$f^* = \sqrt{\frac{(A_s f_s + A_0 f_0)(I_s f_s + I_0 f_0)}{(A_s + A_0)(I_s + I_0)}} \quad (6.2.4)$$

式中： f_0 ， f_s ——分别为构件原来用钢材和加固用钢材的强度设计值 (MPa)；

A_0 ， A_s ——分别为加固构件原有截面和加固的截面面积 (mm^2)；

I_0 ， I_s ——分别为加固构件原有截面和加固截面对加固后

截面形心主轴的惯性矩 (mm^4)。

6.2.5 组合截面板梁的翼缘和腹板的局部稳定性，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定进行验算；对按塑性设计的Ⅳ类构件，其宽厚比尚应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 关于塑性设计的规定。

6.2.6 钢结构受弯构件加固后的总挠度 ω_T 可按下式确定，且不应超过现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 规定的限值。

$$\omega_T = \omega_0 + \omega_w + \Delta\omega \quad (6.2.6)$$

式中： ω_0 ——初始挠度，按实测资料或加固前实有荷载与加固前的截面特性计算确定 (mm)；

ω_w ——焊接加固时的焊接残余挠度，可按本标准第 6.2.7 条确定 (mm)；

$\Delta\omega$ ——挠度增量，按加固后增加的荷载标准值和已加固截面特性计算确定 (mm)。

6.2.7 焊接残余挠度 ω_w 宜采取施工措施消除；其数值可按以下经验公式确定：

$$\omega_w = \frac{\delta h_f^2 L_s (2L_0 - L_s)}{200I_0} \sum_{i=1}^m \xi_i \psi_i y_i \quad (6.2.7)$$

式中： δ ——考虑加固件间断焊缝连续性系数，当为连续焊缝时，取 δ 为 1.0，当为间断焊缝时，取加固焊缝实际施焊段长度与连续施焊长度的比值；

h_f ——角焊缝焊脚尺寸 (mm)；

L_s ——加固件焊缝连续的总长度 (mm)；

L_0 ——受弯构件在弯曲平面内的计算长度 (mm)；单跨简支梁时取梁的计算跨度 (mm)；

I_0 ——原构件截面的惯性矩 (mm^4)；

y_i ——第 i 条加固焊缝至构件截面形心的距离 (mm)；

ξ_i ——与加固焊缝处结构初始应力水平 σ_{0i} 有关的系数，应按表 6.2.7 取值；

f_y ——原构件钢材的屈服强度标准值 (MPa)；

ψ_l ——经验系数，结构构件受拉和受压区均有加固焊缝时取 1.0；仅拉或压区有加固焊缝时取 0.8；计算稳定性时取 0.7。

表 6.2.7 ξ_i 系数取值

σ_{0i}/f_y	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	≥ 0.7
ξ_i	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	3.50

注：中间值按线性内插法确定。

6.3 轴心受力构件加固计算

6.3.1 轴心受拉或轴心受压构件宜采用对称的或不改变形心位置的增大截面形式，其加固后强度应按下列式验算：

$$\frac{N}{A_n} \leq \eta_n f \quad (6.3.1)$$

式中： N ——计算构件所承受的总轴心力（N）；

A_n ——加固后构件净截面积（ mm^2 ）；

f ——钢材强度设计值（MPa），取截面中最低强度级别钢材的强度设计值；

η_n ——轴心受力构件加固强度修正系数，对双侧加固，按表 6.3.1 取值；对单侧加固，按表 6.3.1 系数的 0.9 倍取值。

表 6.3.1 η_n 系数取值

类别 方法	I、II类结构		其他类结构				
	轴心 受拉	轴心 受压	轴心 受拉	轴心受压			
				$\sigma_{0\max}/f \leq 0.2$	$0.2 < \sigma_{0\max}/f \leq 0.4$	$0.4 < \sigma_{0\max}/f \leq 0.65$	$\sigma_{0\max}/f > 0.65$
焊接加固	0.85	0.70	0.90	0.80	0.75	0.70	不允许
螺栓连接或 铆钉连接加固	0.85	0.85	0.90	0.90	0.85	0.80	0.75

注：表中应力比 $\sigma_{0\max}/f$ 的限值尚应符合本标准表 6.1.6 的规定。

6.3.2 当采用非对称或改变形心位置的增大截面加固时，应按本标准第 6.4 节的规定进行计算。

6.3.3 实腹式轴心受压构件，当无初弯曲和损伤，且采用对称或形心位置不变的增大截面形式加固时，其整体稳定性可按下式验算：

$$\frac{N}{\varphi A} \leq \eta_n f^* \quad (6.3.3)$$

式中：N——加固时和加固后构件所受总轴心压力 (N)；

φ ——轴心受压构件稳定系数，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定值采用；

A——构件加固后的截面面积 (mm²)；

η_n ——轴心受力构件加固强度修正系数，按本标准第 6.3.1 条的规定采用；

f^* ——钢材换算强度设计值 (MPa)，按本标准第 6.2.4 条采用。

6.3.4 当构件有初始弯曲或有形心位置改变引起的附加偏心矩时，应按本标准第 6.4 节对压弯构件加固的规定计算其整体稳定性。

6.3.5 对初始应力比不大于 0.2 的负荷下焊接加固的钢柱，其计算可不乘以强度降低系数。

6.4 拉弯、压弯构件加固计算

6.4.1 拉弯或压弯构件的截面加固应根据原构件的截面特性、受力性质和初始几何变形状况等条件，综合考虑选择适当的加固截面形式，其截面强度应按下式验算：

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x + N\omega_{Tx}}{\gamma_x W_{nx}} \pm \frac{M_y + N\omega_{Ty}}{\gamma_y W_{ny}} \leq \eta_{EM} f \quad (6.4.1)$$

式中：N——构件承受的总轴心力 (N)；

M_x, M_y ——分别为绕 x 轴和 y 轴的总最大弯矩 (N·mm)；

A_n ——计算截面净截面面积 (mm²)；

W_{nx} , W_{ny} ——分别为计算截面净截面面积对 x 轴和 y 轴的净截面抵抗矩 (mm^3);

ω_{Tx} , ω_{Ty} ——构件对 x 轴和 y 轴的总挠度 (mm), 按本标准公式 (6.2.6) 计算;

γ_x , γ_y ——截面塑性发展系数, 对 I、II 类结构构件, 取 γ_x 等于 γ_y 等于 1.0; 对 III、IV 类结构构件, 可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用;

η_{EM} ——拉弯或压弯加固构件的强度修正系数, 对双侧加固, 按表 6.4.1 取值; 对单侧加固, 按表 6.4.1 系数的 0.9 倍取值;

f ——钢材强度设计值 (MPa), 取截面中最低强度级别钢材的强度设计值。

表 6.4.1 η_{EM} 系数取值

类别 方法	I、II 类 结构	其他类结构				$N/A_n > 0.55f_y$
		$N/A_n \leq 0.55f_y$				
		$\sigma_{0\max}/f \leq 0.2$	$0.2 < \sigma_{0\max}/f \leq 0.4$	$0.4 < \sigma_{0\max}/f \leq 0.65$	$\sigma_{0\max}/f > 0.65$	
焊接加固	0.80	0.85	0.80	0.75	—	按 η_n 取值
螺栓连接、 铆钉连接加固	0.80	0.90	0.85	0.80	0.75	按 η_n 取值

注: 1 表中应力比 $\sigma_{0\max}/f$ 的限值尚应符合本标准表 6.1.6 的规定;

2 η_n 值应符合本标准表 6.3.1 的规定。

6.4.2 加固弯矩作用在对称平面内的实腹式压弯构件, 其稳定性的验算应符合下列规定。

1 弯矩作用平面内的稳定性验算应符合下列规定:

1) 弯矩作用平面内的稳定性验算应按下列公式验算:

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{\max} M_x + N\omega_x}{\gamma_x W_{1x} (1 - 0.8N/N_{Ex})} \leq \eta_{EM} f^* \quad (6.4.2-1)$$

$$N_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda_x^2} \quad (6.4.2-2)$$

式中: N ——所计算构件段范围内轴心压力 (N);

φ_x ——弯矩作用平面内的轴心受压构件的稳定系数, 按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定取值采用;

M_x ——所计算构件段范围内最大弯矩 (N·mm);

γ_x ——截面塑性发展系数, 对 I、II 类构件, γ_x 应取 1.0; 对 III、IV 类构件, 可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用;

W_{1x} ——弯矩作用平面内较大受压纤维的毛截面抵抗矩 (mm^3);

ω_x ——构件对 x 轴的初始挠度 ω_0 及焊接加固残余挠度 ω_w 之和 (mm), ω_w 按本标准第 6.2.7 条确定;

β_{mx} ——等效弯矩系数, 按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用;

f^* ——钢材换算强度设计值 (MPa), 按本标准第 6.2.4 条采用;

N_{Ex} ——欧拉临界力 (N);

A ——构件加固后的截面面积 (mm^2);

λ_x ——加固后构件对截面 x 轴的长细比。

2) 对轧制或组合成的 T 形和槽形单轴对称截面, 当弯矩作用在对称轴平面且使较大受压翼缘受压时, 除应按本标准公式 (6.4.2-1) 验算外, 尚应按下式验算:

$$\left| \frac{N}{A} - \frac{\beta_{\text{mx}} M_x + N \omega_x}{\gamma_x W_{2x} (1 - 1.25N/N_{\text{Ex}})} \right| \leq \eta_{\text{EM}} f^* \quad (6.4.2-3)$$

式中: W_{2x} ——对较小翼缘或腹板边缘的毛截面抵抗矩 (mm^3)。

2 弯矩作用平面外的稳定性应按下式验算:

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \eta \frac{\beta_{1x} M_x + N \omega_x}{\varphi_b W_{1x}} \leq \eta_{\text{EM}} f^* \quad (6.4.2-4)$$

式中: N ——构件所受轴心压力 (N);

φ_y ——弯矩作用平面外的轴心受压构件稳定系数, 按现行

国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定值采用；

A ——加固后构件的截面面积 (mm^2)；

φ_b ——均匀受弯构件的整体稳定系数，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定计算；计算时 f_y 取 f^* ；对闭口截面取 φ_b 取 1.0；

M_x ——所计算构件段范围内最大弯矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)；

η ——截面影响系数，闭口截面 η 取 0.7；其他截面 η 取 1.0；

β_{ix} ——等效弯矩系数，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用；

ω_x ——构件对 x 轴的初始挠度 ω_{0x} 与焊接残余挠度 ω_w 之和 (mm)。

6.4.3 弯矩作用在两个主平面内的双轴对称加固实腹式工字形和箱形截面压弯构件，其稳定性应按下列公式验算：

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x + N \omega_x}{\gamma_x W_{1x} (1 - 0.8N/N_{Ex})} + \eta \frac{\beta_{iy} M_y + N \omega_y}{\varphi_{by} W_{1y}} \leq \eta_{EM} f^* \quad (6.4.3-1)$$

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \frac{\beta_{my} M_y + N \omega_y}{\gamma_y W_{1y} (1 - 0.8N/N_{Ey})} + \eta \frac{\beta_{ix} M_x + N \omega_x}{\varphi_{bx} W_{1x}} \leq \eta_{EM} f^* \quad (6.4.3-2)$$

式中： φ_x, φ_y ——对强轴和弱轴的轴心受压构件稳定系数，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定值采用；

$\varphi_{bx}, \varphi_{by}$ ——均匀受弯构件的整体稳定系数；对闭口截面取 φ_{bx} 等于 φ_{by} 等于 1.0；对工字形截面， φ_{by} 取 1.0； φ_{bx} 可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定计算，计算时 f_y 取 $1.1 f^*$ ；

M_x, M_y ——所计算构件段范围内对强轴和弱轴的最大

弯矩 (N·mm);

N_{Ex} , N_{Ey} ——构件分别对 x 轴和 y 轴的欧拉临界力 (N);

ω_x ——构件对 x 轴的初始挠度 ω_{0x} 与焊接残余挠度 ω_{wx} 之和 (mm);

ω_y ——构件对 y 轴的初始挠度 ω_{0y} 与焊接残余挠度 ω_{wy} 之和 (mm);

W_{1x} , W_{1y} ——对强轴和弱轴的毛截面抵抗矩 (mm³);

β_{mx} , β_{my} , β_{tx} , β_{ty} ——等效弯矩系数, 按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用。

6.4.4 格构式轴心受压构件的加固应符合下列规定:

1 当无初弯曲且为对称加固截面时, 可分别按本标准第 6.3.1 条和第 6.3.3 条的规定验算其强度和稳定性; 但对虚轴的长细比应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定取用换算长细比。

2 当构件有初始弯曲、焊接残余挠度或非对称加固截面引起的附加偏心时, 应视为格构式压弯构件, 分别按本标准第 6.4.5 条~第 6.4.8 条验算其稳定性。

6.4.5 弯矩的整体稳定性应符合下列规定:

1 仅有绕虚轴 x 轴作用的弯矩和初弯曲的附加偏心 ω_x 时, 加固格构式压弯构件, 其弯矩作用平面内的整体稳定性可按下列公式验算:

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x + N \omega_x}{W_{1x} (1 - \varphi_x N / N_{Ex})} \leq \eta_{EM} f^* \quad (6.4.5-1)$$

$$W_{1x} = I_x / y_0 \quad (6.4.5-2)$$

式中: I_x ——加固后截面对 x 轴的毛截面惯性矩 (mm⁴);

y_0 ——由 x 轴到压力较大分肢的轴线距离或者到压力较大分肢的腹板边缘的距离 (mm), 二者取较大者。

2 弯矩作用平面外的整体稳定性可不验算, 但应验算分肢的稳定性。分肢的轴力可按桁架的弦杆, 并应考虑构件所受轴

力、弯矩和弯曲损伤引起的附加偏心算得；对缀板式构件的分肢尚应计入由剪力引起的弯矩。

6.4.6 弯矩绕实轴作用，且无弯矩作用平面外初始弯曲损伤及附加偏心的格构式压弯构件，其弯矩作用平面内和平面外的稳定性计算均应与加固后实腹式压弯构件相同，且在计算弯矩作用平面外的整体稳定性时，长细比应取换算长细比且 φ_x 应取 1.0。

6.4.7 弯矩作用在两个主平面和有双向初弯曲和附加偏心 (ω_x, ω_y) 的双肢格构式压弯构件，其加固后稳定性验算应符合下列规定：

1 按整体计算时，应按公式 (6.4.7-1) 计算，其中， φ_x 和 N_{Ex} 由换算长细比及本标准第 6.3.3 条中关于轴心受压稳定系数的规定确定。

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x + N \omega_x}{W_{1x} (1 - \varphi_x N / N_{Ex})} + \frac{\beta_{1y} M_y + N \omega_y}{W_{1y}} \leq \eta_{EM} f^* \quad (6.4.7-1)$$

2 按分肢计算时，在轴心力 N 和弯矩 M_y 作用下，可将分肢作为桁架弦杆计算其轴心力；对弯矩 M_y ，可按公式 (6.4.7-2) 和公式 (6.4.7-3)，分配给两分肢 (图 6.4.7)，然后按本标准第 6.4.2 条的规定计算分肢的稳定性。

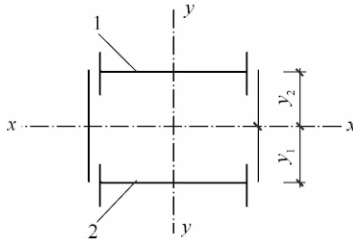


图 6.4.7 格构式构件截面
1、2—均为分肢

1) 分肢 1 可按下式计算：

$$M_{y1} = \frac{I_1 / y_1}{I_1 / y_1 + I_2 / y_2} M_y \quad (6.4.7-2)$$

2) 分肢 2 可按下式计算:

$$M_{y2} = \frac{I_2/y_2}{I_1/y_1 + I_2/y_2} M_y \quad (6.4.7-3)$$

式中: I_1, I_2 ——分肢 1, 分肢 2 对 y 轴的惯性矩 (mm^4);

y_1, y_2 —— M_y 作用的主轴平面至分肢 1、分肢 2 轴线的距离 (mm)。

6.4.8 对实腹式轴心受压、压弯构件和格构式构件单肢的板件应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定验算其局部稳定性。

6.5 构造规定及设计对施工要求

6.5.1 负荷状态下进行钢结构加固时, 应制定详细的加固工艺过程和技术条件, 其所采用的工艺应保证加固件的截面因焊接加热、附加钻、扩孔洞等所引起的削弱不致产生显著影响, 并按隐蔽工程进行验收。

6.5.2 采用螺栓或铆钉连接方法增大钢结构构件截面时, 加固与被加固板件应相互压紧, 并应从加固件端部向中间逐次做孔和安装、拧紧螺栓或铆钉, 且不应造成加固过程中截面的过大削弱。

6.5.3 增大截面法加固有 2 个以上构件的静不定结构时, 应首先将加固与被加固构件全部压紧并点焊定位, 并应从受力最大构件开始依次连续地进行加固连接。

6.5.4 当采用增大截面法加固开口截面时, 应将加固后截面密封, 以防止内部锈蚀; 加固后截面不密封时, 板件间应留出不小于 150mm 的操作空间, 用于日后检查及防锈维护。

7 粘贴钢板加固法

7.1 一般规定

7.1.1 本方法可用于钢结构受弯、受拉、受剪实腹式构件的加固以及受压构件的加固。

7.1.2 粘贴钢板加固钢结构构件时，加固钢结构构件表面宜采取喷砂方法处理。

7.1.3 粘贴在钢结构构件表面上的钢板，其最外层表面及每层钢板的周边均应进行防腐蚀处理，并应符合本标准第4.7节的有关规定。钢板表面处理用的清洁剂和防腐蚀材料不应影响钢板及结构胶粘剂的工作性能和耐久性产生不利影响。

7.1.4 采用本方法加固的钢结构，其长期使用的环境温度不应高于60℃；处于高温、高湿、介质侵蚀、放射等特殊环境的钢结构采用本方法加固时，除应按国家现行有关标准的规定采取相应的防护措施外，尚应采用耐环境因素作用的胶粘剂，并按专门的工艺要求进行粘贴。

7.1.5 采用粘贴钢板对钢结构进行加固时，宜在加固前采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

7.1.6 采用粘贴钢板加固的钢结构，应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 耐火等级及耐火极限的规定，并应对胶粘剂和钢板进行防护。

7.2 受弯构件的加固计算

7.2.1 采用粘贴钢板对实腹式受弯构件进行加固时，除应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 受弯构件承载力计算的规定外，加固后的构件尚应符合在达到受弯承载能力极限状态前，其外贴钢板与原钢构件之间不致出现粘结剥离破坏的

规定。

7.2.2 受弯构件粘贴钢板加固后的截面面积和截面弹性模量可按组合截面进行计算，计算中可不计胶层的厚度。

7.2.3 受弯构件的受拉边或受压边翼缘粘钢加固时（图 7.2.3），其正截面承载力应按下列公式确定：

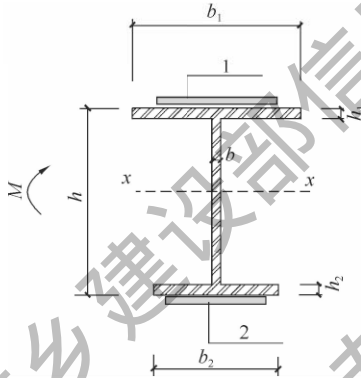


图 7.2.3 工字形截面构件正截面受弯承载力计算

1—粘钢 A'_{sp} ；2—粘钢 A_{sp}

$$\sigma_0 = \frac{M_{x0}}{W_{nx0}} \quad (7.2.3-1)$$

$$\sigma_1 = \frac{M_x - M_{x0}}{W_{nx}} \quad (7.2.3-2)$$

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 = \frac{M_{x0}}{W_{nx0}} + \frac{M_x - M_{x0}}{W_{nx}} \leq \eta_m f \quad (7.2.3-3)$$

式中： σ_0 ——不能卸载的初始荷载作用下构件最大应力（MPa）；

σ_1 ——扣除初始荷载的使用荷载作用下构件最大应力（MPa）；

σ ——全部使用荷载作用下构件最大应力（MPa）；

W_{nx0} ——原构件净截面模量（ mm^3 ）；

W_{nx} ——加固后构件净截面模量（ mm^3 ）；

M_{x0} ——不能卸载的初始荷载作用下的弯矩设计值（ $\text{N} \cdot \text{mm}$ ）；

M_x ——构件加固后弯矩设计值 (N·mm)；

f ——钢材的抗弯强度设计值 (MPa)；

η_m ——受弯构件加固强度修正系数，应按本标准表 7.2.3 的规定取值。

表 7.2.3 η_m 系数取值

类别 方法	I、II类 结构	其他类结构			
		$\sigma_{0\max}/f \leq 0.2$	$0.2 < \sigma_{0\max}/f \leq 0.4$	$0.4 < \sigma_{0\max}/f \leq 0.65$	$\sigma_{0\max}/f > 0.65$
粘贴钢板加固	0.85	1.00	0.95	0.90	0.85

注：表中应力比 $\sigma_{0\max}/f$ 的限值尚应符合本标准表 6.1.6 的规定。

7.2.4 受弯构件的腹板上粘钢进行受剪加固时 (图 7.2.4)，其抗剪强度应符合下列规定：

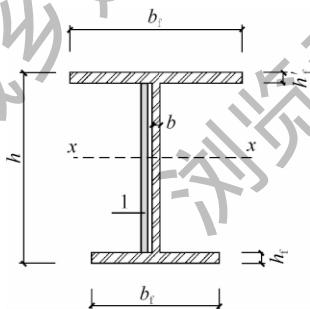


图 7.2.4 工字形截面构件受剪加固计算
1—粘钢

1 承受静力荷载的构件应符合下列规定：

$$\tau = \frac{VS}{I(t_w^0 + t_{w1})} \leq \eta_v f_v \quad (7.2.4-1)$$

2 承受动力荷载的构件应符合下列规定：

$$\tau = \frac{V_1 S_0}{I_0 t_w^0} + \frac{(V - V_1) S}{I(t_w^0 + t_{w1})} \leq f_v \quad (7.2.4-2)$$

式中： V ——加固后计算截面沿腹板平面作用的剪力 (N)；

- V_1 ——加固过程中实际荷载作用下的剪力 (N);
- S_0 、 S ——加固前和加固后构件在计算剪应力处以上毛截面中和轴的面积矩 (mm^3);
- I_0 、 I ——加固前原截面和加固后构件的毛截面惯性矩 (mm^4);
- t_w^0 ——加固前原有构件腹板厚度 (mm);
- t_{w1} ——加固后腹板增加的换算厚度 (mm);
- f_v ——计算部位原钢材的抗剪强度设计值 (MPa);
- η_v ——受弯构件腹板粘钢加固强度修正系数, 对于 I、II 类结构取为 0.80; 对其他类结构取为 0.85。

7.2.5 在对主平面内受弯构件进行粘钢加固时, 其整体稳定性验算, 可采用本标准第 6.2.4 条的有关公式。验算时, 应将钢材抗弯强度设计值 f 改取为钢材换算强度设计值 f^* , 并应乘以强度修正系数 η_m 。钢材换算强度设计值 f^* , 应按本标准第 6.2.4 条的有关规定计算; 其抗弯加固强度修正系数 η_m 应按本标准表 6.2.1 的规定取值。

7.2.6 受弯构件采用粘钢加固后, 其受弯承载力以及受剪承载力的提高幅度, 均不应超过 30%。

7.2.7 被加固结构构件的总挠度验算, 可采用本标准第 6.2.6 条的有关公式, 但不应考虑焊接残余挠度计算项。

7.2.8 对受弯构件正弯矩区的正截面加固, 其受拉面沿轴向粘贴的钢板的截断位置, 应从其强度充分利用的截面算起, 且粘贴延伸长度的取值应符合下式规定:

$$l_{sp} \geq (f_{sp} t_{sp} / f_{bd}) + 200 \quad (7.2.8)$$

式中: l_{sp} ——受拉钢板粘贴延伸长度 (mm);

t_{sp} ——粘贴的钢板总厚度 (mm);

f_{sp} ——加固钢板的抗拉强度设计值 (MPa);

f_{bd} ——钢板与钢板之间的粘结强度设计值 (MPa), 可取为 2.0MPa。

7.2.9 受弯构件粘贴钢板加固后的翼缘和腹板的局部稳定性验

算，应符合本标准第 6.2.5 条的有关规定。

7.3 轴心受力构件加固计算

7.3.1 轴心受拉或者轴心受压宜采用对称或不改变形心位置的加固截面形式，粘钢加固的轴心受拉或者轴心受压构件的强度验算，应采用本标准第 6.3 节的有关公式；轴心受力构件加固强度修正系数 η_n ，应按本标准表 6.3.1 取值。

7.3.2 当粘钢端部有可靠锚固时，轴心受拉构件的局部加固，其正截面承载力应同时符合下列公式规定：

$$N \leq fA_{n0} + \eta_n f_{sp} A_{sp} \quad (7.3.2-1)$$

$$N \leq 1.4 fA_{n0} \quad (7.3.2-2)$$

式中： N ——轴向拉力设计值 (N)；

f ——钢材的抗弯强度设计值 (MPa)；

A_{n0} ——原构件净截面面积 (mm^2)；

η_n ——轴心受力构件加固强度修正系数，应按本标准表 7.3.2 的规定取值；

f_{sp} ——粘贴钢板的抗拉强度设计值 (MPa)；

A_{sp} ——粘贴钢板的截面面积 (mm^2)。

表 7.3.2 η_n 系数取值

类别 方法	I、II类结构		其他类结构				
	轴心 受拉	轴心 受压	轴心 受拉	轴心受压			
				$\sigma_{0\max}/f \leq 0.2$	$0.2 < \sigma_{0\max}/f \leq 0.4$	$0.4 < \sigma_{0\max}/f \leq 0.65$	$\sigma_{0\max}/f > 0.65$
粘贴钢板加固	0.85	0.80	0.90	0.90	0.85	0.80	0.75

注：表中应力比 $\sigma_{0\max}/f$ 的限值尚应符合本标准表 6.1.6 的规定。

7.3.3 轴心受压构件的整体稳定性验算，应采用本标准第 6.3.3 条的有关公式计算。轴心受压构件截面的分类应依据加固前的原有截面类型，板件厚度应按加固后的毛截面面积确定。

7.4 拉弯和压弯构件的加固计算

7.4.1 粘钢加固的拉弯或压弯构件，其截面强度应按本标准公式 6.4.1 验算；拉弯或压弯构件加固的强度修正系数 η_{EM} ，应按本标准表 7.4.1 的规定取值。

表 7.4.1 η_{EM} 系数取值

类别 方法	I、II类 结构	其他类结构				$N/A_n > 0.55f_y$
		$N/A_n \leq 0.55f_y$				
		$\sigma_{0max}/f \leq 0.2$	$0.2 < \sigma_{0max}/f \leq 0.4$	$0.4 < \sigma_{0max}/f \leq 0.65$	$\sigma_{0max}/f > 0.65$	
粘贴钢板加固	0.80	0.90	0.85	0.80	0.75	按本标准表 7.3.2 η_n 取值

注：表中应力比 σ_{0max}/f 的限值尚应符合本标准表 6.1.6 的规定。

7.4.2 弯矩作用在对称轴平面内的实腹式压弯构件的粘钢加固，其平面内稳定性应按本标准第 6.4.2 条第 1 款的公式验算；截面塑性发展系数 γ_x 应取为 1.0。

7.4.3 粘钢加固的实腹式压弯构件在弯矩作用平面外的稳定性应按本标准第 6.4.2 条第 2 款的规定进行验算。

7.4.4 粘钢加固受压圆钢管时，其加固后外径 D 与其壁厚之比应符合下式规定：

$$\frac{D}{t} \leq 100(235/f_y) \quad (7.4.4)$$

7.4.5 加固后构件的局部稳定应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定验算；对构造措施充分、可按塑性设计的钢结构构件，其宽厚比尚应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。

7.5 构造规定

7.5.1 当工字形钢梁的腹板局部稳定需要加固时，可采用在腹

板两侧粘贴 T 形钢件的方法进行加固 (图 7.5.1), 其中 T 形钢件的粘贴宽度不应小于板厚的 25 倍。

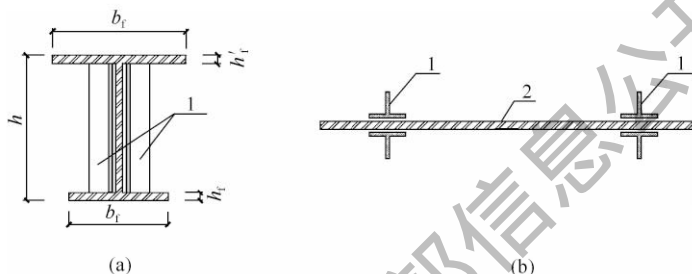


图 7.5.1 工字形截面腹板局部稳定加固

1—T 形粘钢; 2—腹板

7.5.2 在受弯构件的受拉边或受压边钢构件表面上进行粘钢加固时, 粘贴钢板的宽度不应超过加固构件的宽度; 其受拉面沿构件轴向连续粘贴的加固钢板宜延长至支座边缘, 且应在包括截断处的钢板端部及集中荷载作用点的两侧设置不少于 2M12 的连接螺栓 (图 7.5.2), 作为粘钢端部的机械锚固措施; 对受压边的粘钢加固, 尚应在跨中位置设置不少于 2M12 的连接螺栓。

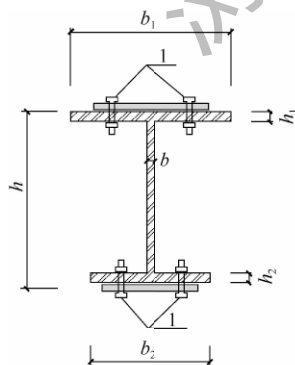


图 7.5.2 工字形截面受弯加固端部构造

1—M12 螺栓

7.5.3 采用手工涂胶粘贴的单层钢板厚度不应大于 5mm, 采用

压力注胶粘贴的钢板厚度不应大于 10mm。

7.5.4 为避免胶层出现应力集中而提前破坏，宜将粘贴钢板端部削成 30° 斜坡角，且不应大于 45° 。

7.5.5 加固件的布置不宜采用引起截面形心轴偏移的形式，不可避免时，应在加固计算中考虑形心轴偏移的影响。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

8 外包钢筋混凝土加固法

8.1 一般规定

8.1.1 实腹式轴心受压、压弯和偏心受压的型钢构件加固应符合本章规定。

8.1.2 采用外包钢筋混凝土加固型钢构件时，宜采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

8.1.3 型钢构件采用符合本标准设计规定的外包钢筋混凝土加固后，在进行结构整体内力和变形分析时，其截面弹性刚度可按下列公式确定：

$$E_t I_t = EI_0 + E_c I_c \quad (8.1.3-1)$$

$$E_t A_t = EA_0 + E_c A_c \quad (8.1.3-2)$$

$$G_t A_t = GA_0 + G_c A_c \quad (8.1.3-3)$$

式中： $E_t I_t$ 、 $E_t A_t$ 、 $G_t A_t$ ——分别为加固后组合截面抗弯刚度（ $N \cdot mm^2$ ）、轴向刚度（ N ）和抗剪刚度（ N ）；

EI_0 、 EA_0 、 GA_0 ——分别为原有型钢构件的截面抗弯刚度（ $N \cdot mm^2$ ）、轴向刚度（ N ）和抗剪刚度（ N ）；

$E_c I_c$ 、 $E_c A_c$ 、 $G_c A_c$ ——分别为新增钢筋混凝土部分的截面抗弯刚度（ $N \cdot mm^2$ ）、轴向刚度（ N ）和抗剪刚度（ N ）。

8.2 加固计算

8.2.1 采用外包钢筋混凝土加固压弯构件和偏心受压构件，其正截面承载力应按下列公式验算：

$$N \leq \eta_{cs} (N_{su} + N_{cu}) \quad (8.2.1-1)$$

$$M \leq \eta_{cs}(M_{su} + M_{cu}) \quad (8.2.1-2)$$

式中：N、M——分别为构件加固后的轴向压力设计值（N）和考虑二阶效应后控制截面的弯矩设计值（N·mm）；应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算；

N_{su} 、 M_{su} ——分别为型钢构件的轴心受压承载力（N）及相应的受弯承载力（N·mm）；当为对称截面时可分别按本标准公式（8.2.2-1）和公式（8.2.2-2）计算；

N_{cu} 、 M_{cu} ——分别为钢筋混凝土部分承担的轴心受压承载力（N）及相应的受弯承载力（N·mm），可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算；

η_{cs} ——被加固构件的强度修正系数，按表 8.2.1 取值。

表 8.2.1 η_{cs} 系数取值

类别 方法	$\sigma_{0max}/f \leq 0.2$	$0.2 < \sigma_{0max}/f \leq 0.4$	$0.4 < \sigma_{0max}/f \leq 0.65$	$\sigma_{0max}/f > 0.65$
外包钢筋 混凝土加固	0.90	0.85	0.80	0.75

注：表中应力比 σ_{0max}/f 的限值尚应符合本标准表 6.1.6 的规定。

8.2.2 型钢构件和新增钢筋宜布置成矩形截面（图 8.2.2），并可按下列简化方法设计：

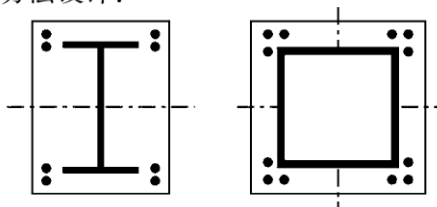


图 8.2.2 对称配筋截面

1 先计算钢构件部分的轴心受压承载力及相应的受弯承载力，型钢构件部分承担的轴力及相应的受弯承载力可按下列公式计算：

$$N_{su} = \frac{N - N_b}{N_{u0} - N_b} N_{s0} \quad (8.2.2-1)$$

$$M_{su} = \left(1 - \left[\frac{N_{su}}{N_{s0}}\right]^m\right) M_{s0} \quad (8.2.2-2)$$

2 再确定钢筋混凝土部分承担的轴力和弯矩设计值，钢筋混凝土部分承担的轴力设计值及相应的弯矩设计值可按下列公式计算：

$$N_c = 1.25(N - N_{su}) \quad (8.2.2-3)$$

$$M_c = 1.25(M - M_{su}) \quad (8.2.2-4)$$

$$N_{u0} = N_{s0} + N_{c0} \quad (8.2.2-5)$$

$$N_{s0} = fA_0 \quad (8.2.2-6)$$

$$N_{c0} = f_c A_c + f'_{st} A_s \quad (8.2.2-7)$$

$$N_b = 0.5\alpha_1\beta_1 f_c b h \quad (8.2.2-8)$$

$$M_{s0} = \gamma W_{0n} f \quad (8.2.2-9)$$

式中： N_c 、 M_c ——分别为钢筋混凝土部分承担的轴力（N）和弯矩设计值（N·mm）；

N_{u0} ——加固后，组合构件短柱轴心受压承载力（N）；

N_{s0} ——型钢构件的轴心受压承载力（N）；

N_{c0} ——钢筋混凝土部分的轴心受压承载力（N）；

N_b ——界限破坏时的轴力（N）；

M_{s0} ——型钢构件的受弯承载力（N·mm）；

m —— N_{su} - M_{su} 相关线性形状系数，按表 8.2.2 取值；

f'_{st} ——钢筋抗压强度设计值（MPa）；

A_s ——纵向钢筋截面面积（mm²）；

α_1 、 β_1 ——混凝土等效矩形应力图系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 确定；

γ ——截面塑性发展系数，对 I、II 类结构构件， γ 应取 1.0；对 III、IV 类结构构件，可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定采用；

W_{0n} ——型钢构件净截面抵抗矩 (mm^3)。

表 8.2.2 N_{su} - M_{su} 相关线性形状系数 m

型钢形式	绕强轴弯曲 工字形	绕弱轴弯曲 工字形	十字形 及箱形
$N \geq N_b$	1.0	1.5	1.3
$N < N_b$	1.3	3.0	2.6

3 然后可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算钢筋混凝土部分偏心受压正截面承载力及其配筋。

8.2.3 对承受压力和双向弯矩作用的矩形截面外包钢筋混凝土型钢构件，其正截面受弯承载力应按下列公式验算：

$$M_x \leq \eta_{cs}(M_{sux} + M_{cux}) \quad (8.2.3-1)$$

$$M_y \leq \eta_{cs}(M_{suy} + M_{cuy}) \quad (8.2.3-2)$$

式中： M_x 、 M_y ——分别为绕 x 轴和 y 轴的弯矩设计值 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)；

M_{sux} 、 M_{suy} ——分别为型钢构件部分绕 x 轴和 y 轴的受弯承载力 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)；

M_{cux} 、 M_{cuy} ——分别为钢筋混凝土部分绕 x 轴和绕 y 轴的受弯承载力 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)。

8.2.4 外包钢筋混凝土加固型钢构件时，其受剪截面应符合下列限制条件：

$$V \leq 0.45\beta_c f_c b h_0 \quad (8.2.4-1)$$

$$f_v t_w h_w \geq 0.1\beta_c f_c b h_0 \quad (8.2.4-2)$$

$$V_{cu} \leq 0.25\beta_c f_c b h_0 \quad (8.2.4-3)$$

式中： V ——加固后构件的剪力设计值 (N)；

t_w 、 h_w ——分别为钢构件腹板的厚度和腹板的高度 (mm)， t_w

h_w 应计入与受剪方向一致的所有钢板的面积；

f_v ——钢材的抗剪强度设计值 (MPa)；

V_{cu} ——外包钢筋混凝土部分的受剪承载力 (N)，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算；

β_c ——混凝土强度影响系数，当混凝土强度等级不高于 C50 时， β_c 取 1.0；当混凝土强度等级为 C80 时， β_c 取 0.8；其间接线性内插法确定。

8.2.5 外包钢筋混凝土加固型钢构件时，其斜截面受剪承载力应符合下列规定：

$$V \leq V_{su} + \alpha_v V_{cu} \quad (8.2.5-1)$$

$$V_{su} = t_w h_w f_v \quad (8.2.5-2)$$

式中： V ——加固后构件的剪力设计值 (N)；

V_{su} ——型钢构件的受剪承载力 (N)；

V_{cu} ——外包钢筋混凝土部分的受剪承载力 (N)，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算；

α_v ——新增钢筋混凝土的强度修正系数， α_v 取 0.85；

t_w 、 h_w ——分别为钢构件腹板的厚度和腹板的高度 (mm)， t_w
 h_w 应计入与受剪方向一致的所有钢板的面积；

f_v ——钢材的抗剪强度设计值 (MPa)。

8.3 构造规定

8.3.1 采用外包钢筋混凝土加固法时，混凝土强度等级不应低于 C30；外包钢筋混凝土的厚度不宜小于 100mm。

8.3.2 外包钢筋混凝土内纵向受力钢筋的两端应有可靠的连接和锚固。

8.3.3 采用外包钢筋混凝土加固时，对于过渡层、过渡段及钢构件与混凝土间传力较大部位经计算需要在钢构件上设置抗剪连接件时，宜采用栓钉。

8.3.4 除本标准规定的构造要求外，钢筋混凝土部分的其他构造尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

9 钢管构件内填混凝土加固法

9.1 一般规定

9.1.1 轴心受压和偏心受压的圆形和方形截面钢管构件的加固应符合本章规定。

9.1.2 采用内填混凝土加固法的钢管构件应符合下列条件：

1 圆形钢管的外直径 D 不宜小于 200mm；钢管壁厚 t 不宜小于 4mm；

2 方形钢管的截面边长不宜小于 200mm；钢管壁厚不宜小于 6mm；

3 矩形截面钢管的高宽比 h/b 尚不应大于 2；

4 被加固钢管构件应无显著缺陷或损伤；若有显著缺陷或损伤，应在加固前修复。

9.1.3 采用内填混凝土加固法，宜采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

9.1.4 采用内填混凝土加固法时，混凝土宜采用无收缩混凝土或自密实混凝土，其强度等级不应低于 C30，且不宜高于 C80。当采用普通混凝土时，应通过添加减缩剂减小混凝土收缩的不利影响。

9.1.5 对有抗震设防要求的结构，采用内填混凝土加固钢管构件，其相关设计、计算和构造尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

9.1.6 内填混凝土加固的钢管结构，在进行结构整体内力和变形分析时，其截面弹性刚度可按下列公式计算：

$$E_t A_t = E A_0 + E_c A_c \quad (9.1.6-1)$$

$$E_t I_t = E I_0 + E_c I_c \quad (9.1.6-2)$$

$$G_t A_t = G A_0 + G_c A_c \quad (9.1.6-3)$$

式中： $E_t A_t$ —加固后截面的轴压刚度（N）；

$E_t I_t$ —加固后截面的抗弯刚度（ $N \cdot \text{mm}^2$ ）；

$G_t A_t$ —加固后截面的抗剪刚度（N）；

E 、 E_c —分别为原钢管和内填混凝土的弹性模量（MPa）；

G 、 G_c —分别为原钢管和内填混凝土的剪变模量（MPa）；

A_0 、 A_c —分别为原钢管和内填混凝土的截面面积（ mm^2 ）；

I_0 、 I_c —分别为原钢管和内填混凝土的截面惯性矩（ mm^4 ）。

9.2 圆形钢管构件加固计算

9.2.1 内填混凝土圆形钢管构件的轴心受压承载力应符合下列规定：

$$N \leq N_u \quad (9.2.1)$$

式中： N ——内填混凝土圆形钢管构件所受轴心压力设计值；

N_u ——内填混凝土圆形钢管构件的轴心受压承载力设计值。

9.2.2 内填混凝土圆形钢管构件的轴心受压承载力设计值，应符合下列规定：

$$N_u = \varphi_l \varphi_e N_0 \quad (9.2.2-1)$$

1 当 $\theta \leq 1/(\alpha-1)^2$ 时，内填混凝土圆形钢管构件的轴心受压承载力设计值应按下列式计算：

$$N_0 = 0.9 \eta_c A_c f_c (1 + \alpha \theta) \quad (9.2.2-2)$$

2 当 $\theta > 1/(\alpha-1)^2$ 时，内填混凝土圆形钢管构件的轴心受压承载力设计值应按下列式计算：

$$N_0 = 0.9 \eta_c A_c f_c (1 + \sqrt{\theta} + \theta) \quad (9.2.2-3)$$

$$\theta = \frac{A_0 f}{A_c f_c} \quad (9.2.2-4)$$

3 且本条第 1、2 款在任何情况下均应符合下列条件：

$$\varphi_l \varphi_e \leq \varphi_0 \quad (9.2.2-5)$$

式中： N_0 ——内填混凝土圆形钢管轴心受压短柱的承载力设计值 (N)；

θ ——内填混凝土圆形钢管构件的套箍系数，当 θ 大于 2 时， θ 取 2；

α ——与内填混凝土强度等级有关的系数，按表 9.2.2-1 取值；

A_c ——内填混凝土的截面面积 (mm^2)；

f_c ——内填混凝土的抗压强度设计值 (MPa)；

A_0 ——原钢管构件的截面面积 (mm^2)；

f ——原钢管构件的抗拉、抗压强度设计值 (MPa)；

η_c ——内填混凝土圆形钢管构件加固强度修正系数，按表 9.2.2-2 取值；

φ_e ——考虑偏心率影响的承载力折减系数，按现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定采用；

φ_l ——考虑长细比影响的承载力折减系数，按现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的规定采用；

φ_0 ——按轴心受压构件考虑的 φ_l 值。

表 9.2.2-1 系数 α

混凝土等级	$\leq C50$	C55~C60
α	2.00	1.80

表 9.2.2-2 η_c 系数取值

应力比 $\sigma_{0\max}/f$	$\sigma_{0\max}/f \leq 0.2$	$0.2 < \sigma_{0\max}/f \leq 0.4$	$0.4 < \sigma_{0\max}/f \leq 0.65$	$\sigma_{0\max}/f > 0.65$
η_c	0.85	0.80	0.75	0.70

注：表中应力比 $\sigma_{0\max}/f$ 的限值尚应符合本标准表 6.1.6 的规定。

9.2.3 当内填混凝土圆形钢管构件的剪跨 a 小于构件直径 D 的

2 倍时，应验算构件的横向受剪承载力，并应符合下式的规定。
剪跨 a 应为横向集中荷载作用点至支座或节点边缘的距离。

$$V \leq V_{uc} \quad (9.2.3)$$

式中： V ——横向剪力设计值 (N)；

V_{uc} ——内填混凝土圆形钢管构件的横向受剪承载力设计值 (N)。

9.2.4 内填混凝土圆形钢管构件的横向受剪承载力设计值，应按下列公式计算：

$$V_{uc} = (V_0 + 0.1N') \left(1 - 0.45 \sqrt{\frac{a}{D}} \right) \quad (9.2.4-1)$$

$$V_0 = 0.2a_v A_c f_c (1 + 3\theta) \quad (9.2.4-2)$$

式中： V_0 ——内填混凝土圆形钢管构件受纯剪时的承载力设计值 (N)；

N' ——与横向剪力设计值 V 对应的轴向压力设计值 (N)；

a ——剪跨，即横向集中荷载作用点至支座或节点边缘的距离 (mm)；

D ——原钢管的外径 (mm)；

a_v ——新增混凝土的强度修正系数， a_v 取 0.85；

A_c ——内填混凝土的截面面积 (mm²)；

f_c ——内填混凝土的抗压强度设计值 (MPa)；

θ ——内填混凝土圆形钢管构件的套箍系数，按本标准公式 (9.2.2-4) 确定。

9.3 方形钢管构件加固计算

I 轴心受压构件的加固计算

9.3.1 内填混凝土方形钢管轴心受压构件的承载力应符合下列规定：

$$N \leq N_{un} \quad (9.3.1-1)$$

$$N_{\text{in}} = \eta_r (fA_{\text{in}} + f_c A_c) \quad (9.3.1-2)$$

式中： N ——内填混凝土方形钢管轴心压力设计值 (N)；

N_{in} ——轴心受压时净截面受压承载力设计值 (N)；

η_r ——加固方形钢管构件的承载力折减系数， η_r 取 0.75；

A_{in} ——钢管的净截面面积 (mm^2)。

9.3.2 轴心受压构件的稳定性应符合下列规定：

$$N \leq \varphi N_u \quad (9.3.2-1)$$

$$N_u = \eta_r (fA_0 + f_c A_c) \quad (9.3.2-2)$$

1 当 $\lambda_0 \leq 0.215$ 时，轴心受压构件的稳定系数应按下列式计算：

$$\varphi = 1 - 0.65\lambda_0^2 \quad (9.3.2-3)$$

2 当 $\lambda_0 > 0.215$ 时，轴心受压构件的稳定系数应按下列式计算：

$$\varphi = \frac{1}{2\lambda_0^2} \left[(0.965 + 0.3\lambda_0 + \lambda_0^2) - \sqrt{(0.965 + 0.3\lambda_0 + \lambda_0^2)^2 - 4\lambda_0^2} \right] \quad (9.3.2-4)$$

式中： N_u ——内填混凝土方形钢管构件的轴心受压承载力设计值 (N)；

φ ——轴心受压构件的稳定系数；

λ_0 ——构件的相对长细比，按本标准第 9.3.3 条计算。

9.3.3 轴心受压构件的相对长细比应按下列公式计算：

$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (9.3.3-1)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{r_0} \quad (9.3.3-2)$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{I_0 + I_c E_c / E}{A_0 + A_c f_c / f}} \quad (9.3.3-3)$$

式中： f_y ——原矩形钢管的屈服强度 (MPa)；

λ ——内填混凝土方形钢管轴心受压构件的长细比；

l_0 ——轴心受压构件的计算长度 (mm)；

r_0 ——内填混凝土方形钢管轴心受压构件截面的当量回转半径 (mm)。

II 压弯构件的加固计算

9.3.4 弯矩作用在一个主平面内的内填混凝土方形钢管压弯构件，其承载力应符合下列规定：

$$\frac{N}{N_{\text{un}}} + (1 - \alpha_c) \frac{M}{\eta_r M_{\text{un}}} \leq 1 \quad (9.3.4-1)$$

$$\frac{M}{\eta_r M_{\text{un}}} \leq 1 \quad (9.3.4-2)$$

$$\alpha_c = \frac{f_c A_c}{f A_0 + f_c A_c} \quad (9.3.4-3)$$

$$M_{\text{un}} = [0.5 A_{n0} (h - 2t - d_n) + bt(t + d_n)] f \quad (9.3.4-4)$$

$$d_n = \frac{A_0 - 2bt}{(b - 2t) \frac{f_c}{f} + 4t} \quad (9.3.4-5)$$

式中： N ——轴心压力设计值 (N)；

M ——弯矩设计值 (N·mm)；

A_{n0} ——原构件的净截面面积 (mm²)；

α_c ——内填混凝土工作承担系数；当 α_c 小于 0.7 时， α_c 取 0.7；

M_{un} ——只有弯矩作用时净截面的受弯承载力设计值 (N·mm)；

f ——钢管钢材的抗弯强度设计值 (MPa)；

b 、 h ——方形钢管截面平行、垂直于弯曲轴的边长 (mm)；

t ——钢管壁厚 (mm)；

d_n ——内填混凝土受压区高度 (mm)。

9.3.5 弯矩作用在一个绕 X 轴的主平面内的内填混凝土方形钢管压弯构件，其弯矩作用平面内的稳定性应符合下列规定：

$$\frac{N}{\varphi_x N_u} + (1 - \alpha_c) \frac{\beta_{\text{max}} M_x}{\eta_r \left(1 - 0.8 \frac{N}{N_{\text{Ex}}}\right) M_{\text{ux}}} \leq 1 \quad (9.3.5-1)$$

$$\frac{\beta_{\text{mx}} M_x}{\eta_r \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{\text{Ex}}}\right) M_{\text{ux}}} \leq 1 \quad (9.3.5-2)$$

$$M_{\text{ux}} = [0.5A_{\text{n0}}(h - 2t - d_n) + bt(t + d_n)]f \quad (9.3.5-3)$$

$$N'_{\text{Ex}} = \frac{N_{\text{Ex}}}{1.1} \quad (9.3.5-4)$$

$$N'_{\text{Ex}} = N_u \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2 f} \quad (9.3.5-5)$$

式中： φ_x ——弯矩作用平面内轴心受压稳定系数，按本标准公式 (9.3.2-3)、公式 (9.3.2-4) 计算；

N_{Ex} ——欧拉临界力 (N)；

M_{ux} ——只有弯矩 M_x 作用时截面的受弯承载力设计值 (N·mm)；

β_{mx} ——等效弯矩系数，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 确定。

9.3.6 弯矩作用在一个绕 X 轴主平面内的内填混凝土方形钢管压弯构件，其弯矩作用平面外的稳定性应符合下列规定：

$$\frac{N}{\varphi_y N_u} + \frac{\beta_{\text{tx}} M_x}{1.4 \eta_r M_{\text{ux}}} \leq 1 \quad (9.3.6)$$

式中： φ_y ——弯矩作用平面外的轴心受压稳定系数，按本标准公式 (9.3.2-3)、公式 (9.3.2-4) 计算；

β_{tx} ——等效弯矩系数，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 确定。

9.3.7 弯矩作用在两个主平面内的双轴压弯内填混凝土方形钢管构件，其承载力应符合下列规定：

$$\frac{N}{N_{\text{un}}} + (1 - \alpha_c) \frac{M_x}{\eta_r M_{\text{unx}}} + (1 - \alpha_c) \frac{M_y}{\eta_r M_{\text{uny}}} \leq 1 \quad (9.3.7-1)$$

$$\frac{M_x}{\eta_r M_{\text{unx}}} + \frac{M_y}{\eta_r M_{\text{uny}}} \leq 1 \quad (9.3.7-2)$$

式中： M_x 、 M_y ——分别为绕主轴 x 、 y 轴作用的弯矩设计值

(N·mm);

M_{ux} 、 M_{uy} ——分别为绕 x 、 y 轴的净截面受弯承载力设计值 (N·mm)，按本标准公式 (9.3.4-4) 计算。

9.3.8 双轴压弯内填混凝土方形钢管构件绕主轴 x 轴的稳定性，应符合下列规定：

$$\frac{N}{\varphi_x N_u} + (1 - \alpha_c) \frac{\beta_{mx} M_x}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ex}}\right) \eta_r M_{ux}} + \frac{\beta_{iy} M_y}{1.4 \eta_r M_{uy}} \leq 1 \quad (9.3.8-1)$$

$$\frac{\beta_{mx} M_x}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ex}}\right) \eta_r M_{ux}} + \frac{\beta_{iy} M_y}{1.4 \eta_r M_{uy}} \leq 1 \quad (9.3.8-2)$$

式中： φ_x ——绕主轴 x 轴的轴心受压稳定系数，可按本标准公式 (9.3.2-3)、公式 (9.3.2-4) 计算；

β_y ——弯矩等效系数，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 确定。

M_{ux} 、 M_{uy} ——分别为绕 x 、 y 轴的受弯承载力设计值 (N·mm)，按本标准公式 (9.3.5-3) 计算。

9.3.9 双轴压弯内填混凝土方形钢管构件绕主轴 y 轴的稳定性，应符合下列规定：

$$\frac{N}{\varphi_y N_u} + \frac{\beta_{ix} M_x}{1.4 \eta_r M_{ux}} + (1 - \alpha_c) \frac{\beta_{my} M_y}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ey}}\right) \eta_r M_{uy}} \leq 1 \quad (9.3.9-1)$$

$$\frac{\beta_{ix} M_x}{1.4 \eta_r M_{ux}} + \frac{\beta_{my} M_y}{\left(1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ey}}\right) \eta_r M_{uy}} \leq 1 \quad (9.3.9-2)$$

式中： φ_y ——绕主轴 y 轴的轴心受压稳定系数，可按本标准公式 (9.3.2-3)、公式 (9.3.2-4) 计算；

β_{ix} ——等效弯矩系数，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 确定。

9.3.10 内填混凝土方形钢管框架柱的计算长度应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定执行。

9.3.11 内填混凝土方形钢管柱的剪力可假定由钢管管壁承受，其剪切强度应同时符合下式规定：

$$V_x \leq 2t(b-2t)f_v \quad (9.3.11-1)$$

$$V_y \leq 2t(h-2t)f_v \quad (9.3.11-2)$$

式中： V_x 、 V_y ——方形钢管混凝土柱中沿主轴 x 轴、主轴 y 轴的最大剪力设计值 (N)；

b ——方形钢管沿主轴 x 轴方向的边长 (mm)；

h ——方形钢管沿主轴 y 轴方向的边长 (mm)；

f_v ——钢材的抗剪强度设计值 (MPa)。

9.4 设计对管内新填混凝土施工的要求

9.4.1 混凝土浇筑之前，应配合混凝土浇筑方法在原钢管构件上选定合适位置开混凝土浇筑口和排气孔，待混凝土浇筑完毕后，应再将浇筑口和排气孔补焊封闭。当负荷较大时，应考虑开口或开孔对被加固件的截面削弱的影 响，并采取加强措施。

9.4.2 管内混凝土浇筑可根据实际情况采用常规浇捣法、泵送顶升浇筑法或自密实免振捣法施工；当采用泵送顶升浇筑法或自密实免振捣法浇筑混凝土时，宜根据现行国家标准《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936 的有关规定加强浇筑过程控制。

9.4.3 内填混凝土钢管构件中的混凝土宜采用无收缩混凝土。混凝土的配合比，除应满足强度指标外，尚应控制混凝土坍落度。混凝土配合比应根据混凝土的设计强度等级计算，并通过试验确定。对泵升浇筑法，混凝土配合比尚应符合可泵性规定。

10 预应力加固法

10.1 一般规定

10.1.1 钢结构体系或构件的加固可采用预应力加固法。

10.1.2 加固钢结构、构件的预应力构件，可采用中、高强度的钢丝、钢绞线、钢拉杆、钢棒、钢带或型钢，亦可采用碳纤维棒或碳纤维带，但应根据实际加固条件通过构造和计算进行选择；所选材料的性能应符合本标准第4章的规定。

10.1.3 钢结构预应力加固设计，宜根据被加固结构、构件的实际受力状况、构造和使用环境确定预应力构件的布置、锚固节点构造以及张拉方式。施加预应力的技术方案及预应力大小的确定，应遵守结构或构件的卸载效应大于结构或构件的增载效应的原则。

10.1.4 采用预应力对钢结构进行整体加固时，可通过张拉加固索、调整支座位置及临时支撑卸载等方法施加预应力。

10.1.5 采用预应力加固钢结构构件时，可选择下列方法：

1 对正截面受弯承载力不足的梁、板构件，可采用预应力水平拉杆进行加固，亦可采用下撑式预应力拉杆进行加固。若工程需要且构造条件允许，尚可同时采用水平拉杆和下撑式拉杆进行加固。

2 对受压承载力不足的轴心受压柱、小偏心受压柱以及弯矩变号的大偏心受压柱，可采用双侧预应力撑杆进行加固；若偏心受压柱的弯矩不变号，亦可采用单侧预应力撑杆进行加固。

3 对桁架中承载力不足的轴心受拉构件和偏心受拉构件，可采用预应力杆件进行加固。

10.1.6 采用预应力加固钢结构、构件时，结构的计算模型应根据加固后的结构体系及构件受力方式建立，并应考虑结构抗震要

求、非线性效应以及原结构缺陷、损伤和变形的影响。

10.1.7 采用预应力加固的钢结构构件，除应根据设计状况进行承载能力验算及正常使用极限状态验算外，尚应对施工阶段进行验算。当原结构上既有荷载较小或尚未施加时，加固所用预应力大小不应在施工阶段导致原梁发生局部或整体失稳。

10.1.8 预应力加固钢结构的设计验算，应计入预应力的作用效应，预应力的作用效应属永久荷载效应，并应考虑预应力施加的张拉系数、预应力损失系数的影响。

10.1.9 预应力加固后的钢结构构件和节点，应按下式进行承载能力极限状态验算：

$$\gamma_0 \left(\gamma_G S_{GK} + \sum_{i=1}^m \gamma_{pi} \gamma_T S_{pi} + \gamma_{Q1} S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \right) \leq R(\gamma_R \cdot f) \quad (10.1.9)$$

式中： γ_{pi} ——预应力作用分项系数，当预应力作用效应对结构有利时取 1.0，不利时取 1.2；

γ_T ——张拉系数；

S_{pi} ——预应力标准值效应。

10.1.10 结构构件的预应力张拉系数 γ_T ，应分别按下列规定确定：

1 当杆件内荷载产生的应力与预应力同号时，或两者反号但预应力大于荷载应力时， γ_T 应取 1.1；

2 当杆件内荷载产生的应力大于预应力且符号相反时， γ_T 应取 0.9；

3 当可用有效手段直接监测得到预应力值时， γ_T 应取 1.0。

10.1.11 预应力构件的张拉控制应力值 σ_{con} 应符合下列规定：

1 消除应力钢丝、钢绞线的张拉控制应力，应按下列式计算：

$$\sigma_{con} \leq 0.75 f_{ptk} \quad (10.1.11-1)$$

2 中强度预应力钢丝的张拉控制应力，应按下列式计算：

$$\sigma_{con} \leq 0.70 f_{ptk} \quad (10.1.11-2)$$

3 预应力钢筋、钢带或钢棒的张拉控制应力，应按下列式

计算：

$$\sigma_{\text{con}} \leq 0.85f_{\text{pyk}} \quad (10.1.11-3)$$

4 预应力碳纤维棒或碳纤维板的张拉控制应力，应按下式计算：

$$\sigma_{\text{con}} \leq 0.6f_t \quad (10.1.11-4)$$

式中： f_{ptk} ——预应力构件钢丝、钢绞线的极限强度标准值 (MPa)；

f_{pyk} ——预应力钢筋、钢带或钢棒的屈服强度标准值 (MPa)；

f_t ——预应力碳纤维棒或碳纤维板的强度设计值 (MPa)。

5 钢绞线、消除应力钢丝、中强度预应力钢丝的张拉控制应力值 σ_{con} 不应小于 $0.4f_{\text{ptk}}$ ；预应力钢筋、钢带或钢棒的张拉控制应力值 σ_{con} 不宜小于 $0.5f_{\text{pyk}}$ 。

10.1.12 计算预应力构件的预应力损失时，应考虑下列影响因素：

- 1 锚具变形、预应力索的回缩及滑移；
- 2 预应力索张拉端锚口摩擦和转向装置处的摩擦；
- 3 预应力索的应力松弛；
- 4 温度的影响。

10.1.13 预应力索因锚具变形、索身回缩及滑移的预应力损失 F_m ，可按下式计算：

$$F_m = \Delta_a \frac{E_a A_a}{l} \quad (10.1.13)$$

式中： A_a ——预应力拉索横截面积 (mm^2)；

E_a ——预应力拉索弹性模量 (MPa)；

l ——预应力拉索长度 (mm)；

Δ_a ——锚具变形、回缩及滑移总量 (mm)。

10.1.14 预应力索的应力松弛损失 F_s ，可按下列规定计算：

- 1 钢绞线、消除应力钢丝的应力松弛损失应符合下列

规定：

1) 普通松弛时，可按下式计算：

$$F_s = 0.4 \left(\frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.5 \right) \sigma_{\text{con}} \quad (10.1.14-1)$$

2) 低松弛，当 $\sigma_{\text{con}} \leq 0.7f_{\text{ptk}}$ 时，可按下式计算：

$$F_s = 0.125 \left(\frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.5 \right) \sigma_{\text{con}} \quad (10.1.14-2)$$

3) 低松弛，当 $0.7f_{\text{ptk}} \leq \sigma_{\text{con}} < 0.8f_{\text{ptk}}$ 时，可按下式计算：

$$F_s = 0.2 \left(\frac{\sigma_{\text{con}}}{f_{\text{ptk}}} - 0.575 \right) \sigma_{\text{con}} \quad (10.1.14-3)$$

式中： f_{ptk} ——预应力索极限强度标准值（MPa）。

2 中强度预应力钢丝 F_s 应取 $0.08\sigma_{\text{con}}$ 。

3 预应力钢棒、钢带、碳纤维棒或碳纤维板 F_s 应取 $0.03\sigma_{\text{con}}$ 。

4 当 $\sigma_{\text{con}}/f_{\text{ptk}} \leq 0.5$ 时，预应力构件的应力松弛损失值可忽略不计。

10.1.15 预应力加固钢结构抗震设计验算的阻尼比，弹性分析宜取 0.02，弹塑性分析宜取 0.05。

10.1.16 预应力加固钢结构在施加预应力后，结构或构件的反向变形不应超过其原荷载标准组合下的挠度。

10.1.17 加固钢结构或钢构件的预应力构件，在使用荷载作用下应不松弛或张力大于零，并应满足稳定性要求。

10.1.18 被加固的钢结构或构件以及用于加固的预应力构件，在正常工作状态的荷载作用下，均应处于弹性工作状态。

10.1.19 用于加固的预应力高强度钢索的设计应力，承重索不宜大于索材极限抗拉强度的 40%；稳定索不宜大于索材极限抗拉强度的 55%。

10.1.20 钢构件预应力输入端节点局部区域的零部件，应采用合理的计算方法进行验算。

10.1.21 采用本标准加固方法新增的预应力拉杆、撑杆、缀板以及各种紧固件和锚固件，均应进行防腐蚀处理。

10.1.22 当被加固构件表面有防火要求时，应按现行国家标准

《建筑设计防火规范》GB 50016 规定的耐火等级及耐火极限要求，对预应力构件及其连接进行防护。

10.2 构件预应力加固设计

10.2.1 钢结构构件预应力加固法，可用于单个钢构件的加固，亦可用于连续跨的同一种构件的加固。常用的加固方法宜包括：预应力钢索加固法、预应力钢索加撑杆加固法（图 10.2.1-1）、预应力撑杆加拉杆加固法（图 10.2.1-2）及钢梁预应力钢索吊挂加固法，且可用于钢梁、拱、托架和桁架加固（图 10.2.1-3）。

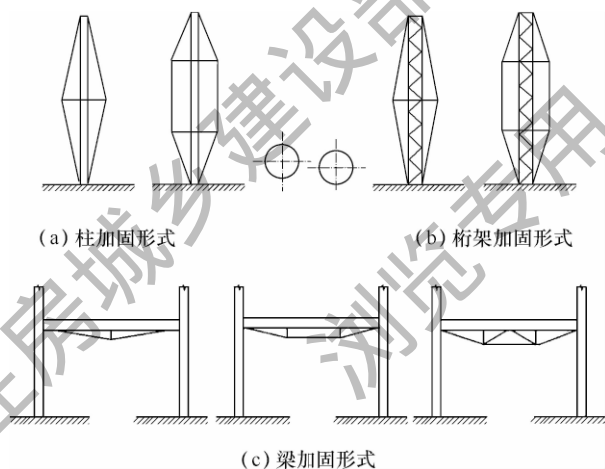


图 10.2.1-1 预应力钢索加撑杆加固法示意

10.2.2 用于加固的预应力构件及节点的布置，应具有明确的传力路径。加固后的组合构件应有明确的计算简图。

10.2.3 用于加固钢构件的预应力构件的设置，不宜削弱或损伤原构件及其节点，并应根据实际情况采取补强措施。锚固节点的布置，宜位于被加固构件受力较小处。

10.2.4 预应力拉索的转折点或撑杆的支点，宜位于构件变形较大处。

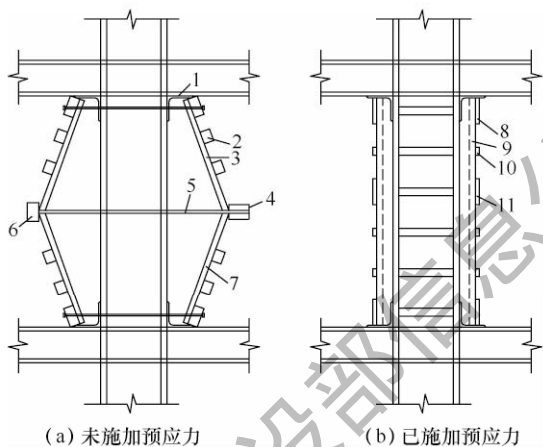
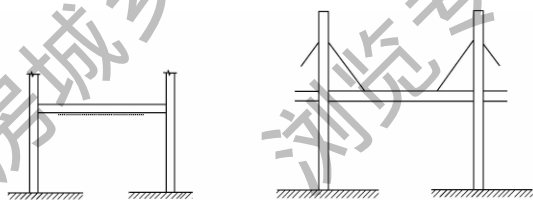


图 10.2.1-2 双侧刚性预应力撑杆加固法示意

1—衬垫角钢；2、10—箍板；3、7、9—撑杆；4、6—工具式拉紧装置；5—预应力拉杆；8—顶板；11—加宽箍板



(a) 梁(桁架)预应力钢索加固法 (b) 梁(桁架)预应力拉杆吊挂加固法

图 10.2.1-3 钢构件预应力加固法示意

10.2.5 用于加固钢构件的预应力构件及节点，宜根据被加固构件的截面对称布置。

10.2.6 采用拉杆吊挂加固法时，拉杆安装后应施加一定的预应力使其处于张紧状态。

10.2.7 加固后钢构件的设计验算，可按组合构件验算，亦可将组合构件拆分成单一构件分别验算其承载力和刚度，并应验算组合构件的整体变形。

10.2.8 在输入预应力的锚固节点处，被加固构件的截面宜加

强，且应按实际受力状态对该节点域及其连接进行设计验算。

10.2.9 预应力加固所增加的节点应进行承载力验算，并应符合构造措施规定。

10.2.10 采用预应力高强度钢索加固的轴心拉杆，可按下式估算所需高强度钢索的总截面面积：

$$A_p \geq \frac{Af(1+\varphi)}{f_p - f(1+\varphi)} \quad (10.2.10)$$

式中：A、 A_p ——分别为被加固杆件、预应力高强度钢索的截面面积 (mm^2)；

f 、 f_p ——分别为被加固杆件、预应力高强度钢索的强度设计值 (MPa)；

φ ——被加固杆件的稳定系数，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 确定。

10.2.11 预应力加固轴心拉杆的验算应符合下列规定：

1 被加固的轴心拉杆，可按下式进行验算：

$$\frac{0.9N_{pe}}{A_n} + \frac{E_n}{E_n A_n + E_p A_p} N \leq f \quad (10.2.11-1)$$

2 预应力拉杆，可按下式进行验算：

$$\frac{1.5N_{pe}}{A_p} + \frac{E_p}{E_n A_n + E_p A_p} N \leq f_p \quad (10.2.11-2)$$

式中： N_{pe} ——预应力产生的构件中的有效预应力，扣除损失后的预应力值 (N)；

N ——加固后构件承受的轴心拉力设计值 (N)；

A_n 、 A_p ——分别为被加固构件及预应力构件的净截面面积 (mm^2)；

E_n 、 E_p ——分别为被加固构件及预应力构件的弹性模量 (MPa)；

f 、 f_p ——分别为被加固构件及预应力构件的材料设计强度 (MPa)。

10.2.12 预应力索与撑杆加固轴心受压柱或杆 (图 10.2.1-1)，应符合下列规定：

1 被加固的轴心压杆可按下式进行验算：

$$\frac{N + N_{pe}}{\varphi A} \leq f \quad (10.2.12-1)$$

2 预应力拉杆可按下式进行验算:

$$\frac{1.05N_{pe}}{A_p} \leq f_p \quad (10.2.12-2)$$

3 撑杆可按下式进行验算:

$$\frac{N_{pe}}{\varphi_c A_c} \leq f_c \quad (10.2.12-3)$$

式中: φ 、 φ_c ——分别为被加固杆件及撑杆的稳定系数,应根据构件计算长度,按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 查表得到;

N ——加固后构件承受的轴心压力设计值 (N);

f 、 f_p ——分别为被加固构件及预应力构件的材料设计强度 (MPa);

A 、 A_p 、 A_c ——分别为被加固构件、预应力拉杆、撑杆的截面面积 (mm^2);

N_{pe} ——预应力产生的构件中的有效预应力,扣除损失后的预应力值 (N);

N_{pc} 、 f_c ——分别为撑杆承受的轴力设计值 (N)、撑杆材料强度设计值 (MPa)。

10.2.13 预应力索与撑杆加固梁或梁式构件 (图 10.2.1-1),应符合下列规定:

1 梁的强度可按下式进行验算:

$$-\frac{N_p}{A_n} \pm \frac{M - M_p}{W_{nx}} \leq f \quad (10.2.13-1)$$

2 梁的平面内稳定可按下式进行验算:

$$-\frac{N_p}{\varphi_x A} \pm \frac{M - M_p}{W_{1x} \left(1 - 0.8 \frac{N_p}{N_{Ex}}\right)} \leq f \quad (10.2.13-2)$$

3 梁的平面外稳定可按下式进行验算:

$$-\frac{N_p}{\varphi_y A} \pm \frac{M - M_p}{\varphi_b W_{1x}} \leq f \quad (10.2.13-3)$$

4 预应力撑杆稳定可按下式进行验算：

$$\frac{N_{pc}}{\varphi A_c} \leq f \quad (10.2.13-4)$$

5 预应力拉杆可按下式进行验算：

$$\frac{1.5N_{pc} - \Delta N_p}{A_p} \leq f \quad (10.2.13-5)$$

式中： N_p ——被加固梁中由于预应力构件的张力产生的轴向内力（N），为初始预张力与荷载作用后产生的后期张力之和；

M_p ——由于 N_p 的作用在梁中产生的弯矩（N·mm）；

N_{pc} 、 A_c ——分别为撑杆的轴力设计值（N）、撑杆截面面积（mm²）；

ΔN_p ——拉杆由于荷载产生的轴力设计值（N）。

10.2.14 刚性预应力撑杆加固的轴心受压构件（图 10.2.1-2），可按下式进行验算：

$$N \leq \eta_p (A\varphi f + A_c\varphi_c f_c) \quad (10.2.14)$$

式中： φ 、 φ_c ——分别为被加固杆件及撑杆的稳定系数，应根据构件计算长度，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 确定；

N ——加固后构件承受的轴心压力设计值（N）；

η_p ——加固构件承载力降低系数，可取 0.9；

A 、 A_c ——分别为被加固构件、撑杆的截面面积（mm²）。

10.2.15 采用双侧预应力索及撑杆加固偏心受压构件时，可按受压较大一侧的单侧撑杆进行加固设计验算。选用的加固构件应能满足原构件加固后承受最不利偏心受压的设计要求。构件另一侧应采用同规格的加固构件，使加固构件双侧对称。

10.2.16 对于预应力加固的桁架结构，可将包含预应力拉杆的桁架结构视为静不定结构进行内力分析，在求得桁架杆件的内力和结构变形后，可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定进行验算。

10.2.17 预应力加固构件的连接节点，可按现行国家标准《钢

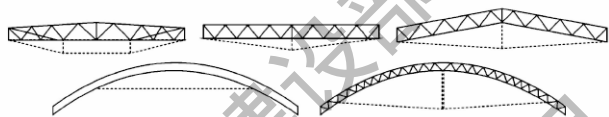
结构设计标准》GB 50017 的规定进行验算。

10.3 结构整体预应力加固设计

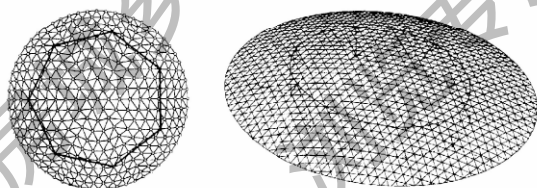
10.3.1 钢结构整体预应力加固法，宜用于大跨度及空间结构体系。加固方法宜采用预应力钢索加固法、预应力钢索加撑杆加固法、预应力钢索斜拉法或悬索吊挂加固法（图 10.3.1）。



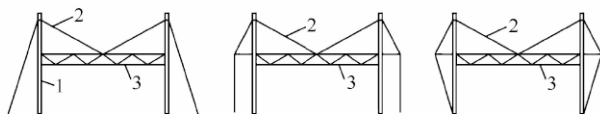
(a) 预应力钢索加固法



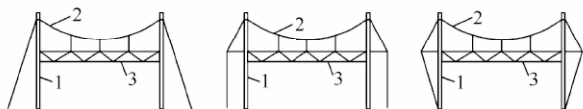
(b) 预应力钢索加撑杆加固法



(c) 空间网络结构预应力钢索加固法



(d) 预应力钢索斜拉加固法



(e) 预应力悬索吊挂加固法

图 10.3.1 整体预应力加固法示意

1—塔架；2—索；3—原结构

10.3.2 用于结构整体预应力加固的预应力构件及节点，宜布置在被加固钢结构或结构单元的范围内，且应具有明确的传力路径和计算简图。

10.3.3 预应力拉索的转折点、锚固节点及撑杆的支点，应位于原结构的节点或支座。

10.3.4 对结构整体预应力加固的预应力构件宜对称布置，预应力加固的效应宜使原结构多数杆件内力减少、少数杆件内力增加。对内力增加的杆件，当其内力组合设计值超过构件承载力设计值时宜先行加固，再施加预应力。

10.3.5 采用预应力钢索和撑杆加固时，与同一根预应力环索相连的撑杆长度宜相等，或斜索与撑杆的夹角宜相等。

10.3.6 用于施加预应力的构件及其锚固节点宜对称布置，用于锚固预应力索的钢构件及其节点不宜偏心受力。

10.3.7 与撑杆连接的原结构节点应重新设计。现场增设撑杆连接零件时，应采取必要的防护措施，确保原结构安全。

10.3.8 构件和节点的极限承载力验算以及结构整体承载力验算，应包括加固时的预应力状态和加固后的使用状态。结构分析计算时，预应力状态的初始条件，应为现状结构的变形状态；使用状态的初始状态，应为预应力状态结束时的变形状态。

10.3.9 结构整体预应力加固验算应包括下列内容：

- 1 构件的强度、刚度与稳定性验算，以及构件本身的局部稳定性验算；
- 2 节点的强度与节点板件的稳定性验算；
- 3 结构整体变形验算；
- 4 对需要计算整体稳定的结构体系，尚应进行整体稳定性验算。

10.4 构造规定

10.4.1 加固结构的预应力杆件、锚具和连接器的形式和构造，均应符合国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T

14370 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 的规定。

10.4.2 加固用预应力高强度钢索，宜为不分段的连续索，索转折处宜采用可转动节点，且转动节点构造应符合索的最小转弯半径规定。

10.4.3 拉索端锚固节点应传力可靠，且宜采用预应力损失低且施工方便的锚具。

10.4.4 索张拉端节点及张拉时索滑动的节点，宜采取减少摩擦的构造措施。

10.4.5 转换器构造，应采用能使预应力杆件尺寸平缓过渡的措施。

10.4.6 预应力张拉端节点构造，应考虑施加预应力的施工方法及超张拉的影响。

10.4.7 张拉端节点的板件，其宽厚比或高厚比应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定；其撑杆长细比应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 关于轴心压杆的规定。

10.4.8 自由长度较长的预应力索，应设置吊索或吊杆。

10.4.9 在预应力撑杆加拉杆加固法中，撑杆采用角钢时，其构造设计应符合下列规定：

1 预应力撑杆用角钢的截面不应小于 $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$ 。压杆肢的两根角钢宜用缀板连接，形成槽形的截面。缀板厚度不应小于 6mm ，宽度不应小于 80mm ，长度可按角钢与被加固柱间的间隙确定，相邻缀板间距应保证单个角钢的长细比不大于 40。

2 承压末端的传力构造，应采用抵承传力方式。角钢顶端焊接的抵承传力顶板的厚度不宜小于 16mm 。

10.4.10 刚性预应力撑杆加固的压杆肢的弯折与复位，应符合下列规定：

1 弯折压杆肢前，应在角钢的侧立肢上切出三角形缺口，

缺口背面，应补焊加强钢板（图 10.4.10）；

2 弯折压杆肢的复位应采用工具式拉紧螺杆，螺杆直径不应小于 16mm，螺帽高度不应小于螺杆直径的 1.5 倍。

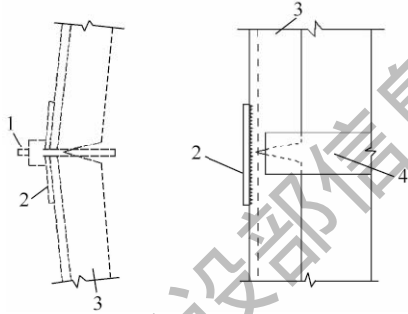


图 10.4.10 角钢缺口处加焊钢板补强

1—工具式拉紧螺杆；2—补强钢板；3—角钢撑杆；4—剖口处箍板

10.5 设计对施工的要求

10.5.1 在钢结构加固施工前，应预先制定加固施工方案，并应编制相应的施工组织设计文件。

10.5.2 对已确定的加固施工方案，应进行数值模拟计算，同时应记录各施工步骤关键构件的应力及节点位移。

10.5.3 进行钢结构加固施工前，应对加固区域的结构构件及节点进行复测，对用于加固的构件和节点进行定位。

10.5.4 进行加固的钢结构，在施加预应力前，应对关键构件或超应力构件进行加固。

10.5.5 钢结构加固用张拉设备和仪器，应事先进行计量标定。施加预应力应采用专用设备，其负荷标定值应大于施加拉力值的 2 倍，施加预应力的偏差不应超过设计值的 5%。

10.5.6 钢结构加固施工时，预应力施加的张拉顺序应符合设计规定。当设计无规定时，应根据结构特点、施工条件，由施工方制定张拉方案，并应经设计方或业主审核同意。

10.5.7 钢结构加固施工张拉时，对直线索可采用一端张拉法，对折线索宜采用两端张拉法。采用多个千斤顶同时张拉时，应同步加载。

10.5.8 进行钢结构加固施工前，应制定施工过程监测与控制方案。监测手段应能反应各施工步骤中关键结构参数的数值及其变化状况。

10.5.9 钢结构加固施工过程中，应根据预定的监测方案，对主要构件的内力、变形、位置及其变化进行实时监测，并应与理论计算值比较，应使结构及构件的状态处在预定的控制范围内。

11 连接与节点的加固

11.1 一般规定

11.1.1 钢结构连接的加固方法，可依据原结构的连接方法和实际情况选用焊接、铆接、普通螺栓或高强度螺栓连接的方法。

11.1.2 在同一受力部位连接的加固中，不宜采用焊缝与铆钉或普通螺栓共同受力的刚度相差较大的混合连接方法，可采用焊缝和摩擦型高强螺栓在一定条件下共同受力的并用连接。

11.1.3 负荷下连接的加固，当采用端焊缝或螺栓加固而需要拆除原有连接，或需要扩大原钉孔，或增加钉孔时，应采取合理的施工工艺和安全措施，并核算结构、构件及其连接在负荷下加固过程中是否具有施工所要求的承载力。

11.2 焊接连接的加固

11.2.1 焊缝连接的加固，可依次采用增加焊缝长度、有效厚度或两者同时增加的方法。

11.2.2 加固新增的角焊缝，其长度和焊脚尺寸，或熔焊层的厚度，应由连接处结构加固前后设计受力改变的差值，并考虑原有连接实际可能的承载力计算确定。计算时应考虑焊缝的受力重新进行复核并考虑加固前后焊缝的共同工作、受力状态的改变以及本标准第 11.2.5 条和第 11.2.6 条的规定。

11.2.3 负荷下用焊接加固结构时，不宜采用长度垂直于受力方向的横向焊缝。

11.2.4 负荷下用增加非横向焊缝长度的方法加固焊缝连接时，原有焊缝中的应力不得超过该焊缝的强度设计值；加固处及其相邻区段结构的最大初始名义应力 $\sigma_{0\max}$ 不得超过本标准第 6.1.6 条的规定。加固前后的新老焊缝可共同受力，但应按本标准第

11.2.6 条的规定进行强度计算。

11.2.5 负荷下采用堆焊增加角焊缝有效厚度的方法加固焊缝连接时，宜通长满焊加固；不能通长满焊时，加固焊缝总长度不应小于 100mm，并按下式验算焊缝应力：

$$\sqrt{\sigma_f^2 + \tau_f^2} \leq \eta_f f_f^w \quad (11.2.5)$$

式中： σ_f 、 τ_f ——按角焊缝有效面积 $h_e L_w$ 计算的垂直于焊缝长度方向的正应力和沿焊缝长度方向的剪应力 (MPa)；

η_f ——焊缝强度影响系数，可按表 11.2.5 采用；

f_f^w ——角焊缝的强度设计值 (MPa)。

表 11.2.5 焊缝强度影响系数 η_f

加固焊缝总长度 (mm)	≥ 600	300	200	100
η_f	1.00	0.90	0.80	0.65

注：当加固焊缝总长度为表中中间值时，应按相邻的偏小值取用 η_f 值。

11.2.6 加固后直角的角焊缝强度可按下列公式计算，并允许新增和原有的焊缝共同受力：

1 当力垂直于焊缝长度方向时，可按下列公式计算：

$$\sigma_f = \frac{N}{h_e L_w} \leq f_f^w \quad (11.2.6-1)$$

2 当力平行于焊缝长度方向时，可按下列公式计算：

$$\tau_f = \frac{V}{h_e L_w} \leq 0.85 f_f^w \quad (11.2.6-2)$$

3 当 σ_f 和 τ_f 共同作用时，可按下列公式计算：

$$\sqrt{\sigma_f^2 + \tau_f^2} \leq 0.95 f_f^w \quad (11.2.6-3)$$

式中： σ_f ——按角焊缝有效截面 ($h_e L_w$) 计算，垂直于焊缝长度方向的应力 (MPa)；

τ_f ——按角焊缝有效截面计算，沿焊缝长度方向的剪应力 (MPa)；

h_e ——角焊缝的有效厚度 (mm)，对于直角角焊缝等于

$0.7h_f$, h_f 为较小焊脚尺寸;

L_w ——角焊缝的计算长度 (mm), 对每条焊缝其实际长度减去 10mm;

f_w^v ——角焊缝的强度设计值 (MPa), 应根据加固结构原有和新增钢材强度较低者, 按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 确定。

11.2.7 当仅用增加焊缝长度、有效厚度或者两者并用的方法不能满足连接加固的要求时, 可采用附加连接板的方法, 附加连接板可用角焊缝与基本构件相连, 亦可用附加节点板与原节点板对接, 并应进行连接的受力分析, 应使焊缝及其附加板件、节点板能承受荷载作用效应组合。

11.3 螺栓或铆钉连接的加固

11.3.1 更换螺栓或铆钉或新增加固连接件时, 宜采用适宜直径的高强度螺栓连接。当负荷下进行结构加固, 需要拆除结构原有受力螺栓、铆钉或增加孔数、扩大栓、钉孔径时, 除应验算结构原有和新增连接件的承载力外, 还应校核板件的净截面面积的强度。

11.3.2 当用高强度摩擦型螺栓更换结构原连接的部分铆钉, 组成高强度螺栓与铆钉的并用连接时, 应保证连接受力均匀, 与缺损铆钉对称布置的非缺损铆钉应一并更换。

11.3.3 用高强度螺栓更换有缺损的铆钉或螺栓时, 可选用直径比原钉孔小 1mm~3mm 的高强度螺栓, 且其承载力应满足加固设计计算的要求。

11.3.4 用高强度摩擦型螺栓加固铆钉连接时, 可采用两种连接共同受力的计算模式, 计算时高强度摩擦型螺栓的承载力设计值应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定计算确定。

11.3.5 用焊缝连接加固螺栓或铆钉连接时, 连接构造不符合焊缝与原有连接件的共同受力条件时, 应按焊缝承受全部作用力进

行设计计算，且不宜拆除原有连接件；若符合焊缝与原有连接件的共同受力条件，则可按本标准第 11.5 节和第 11.6 节的有关规定进行设计计算。

11.4 栓焊并用连接的加固

11.4.1 抗剪螺栓群采用焊缝加固的栓焊并用连接接头的设计计算应符合本节的规定。

11.4.2 栓焊并用的连接加固（图 11.4.2），应符合下列规定：

1 平行于受力方向的侧焊缝起弧点距连接板近端不应小于角焊缝焊脚尺寸 h_f ，且与最近的螺栓距离不应小于 1.5 倍的螺栓公称直径 d_0 ；

2 侧焊缝末端应连续绕角焊缝长度不小于 $2h_f$ 。连接板边缘与焊件边缘距离不应小于 30mm。

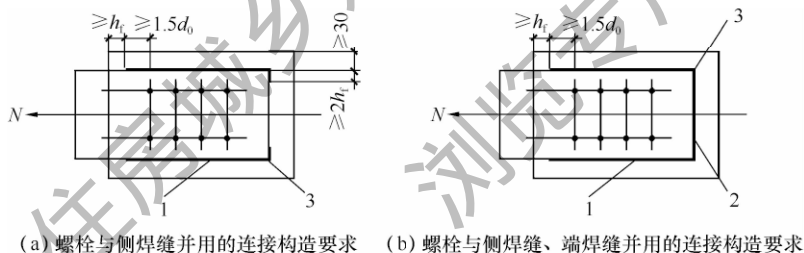


图 11.4.2 栓焊并用的连接接头要求

1—侧焊缝；2—端焊缝；3—连续烧焊

11.4.3 摩擦型高强度螺栓与焊缝并用的连接，当其连接的承载力比值在 0.5~3.0 范围内时，可按共同工作的假定进行加固计算；当其连接的承载力比值在 0.5~3.0 范围外时，荷载应由摩擦型高强度螺栓与焊缝中承载力大的连接承担，不考虑承载力小的连接的作用。

11.4.4 施工时必须先紧固高强度摩擦型螺栓，后实施焊接，并应在设计文件中作出规定。在焊接 24h 后还应对摩擦型高强度螺栓进行补拧，补拧扭矩应为施工终拧扭矩值。焊缝形式应为角

焊缝。

11.4.5 在原有摩擦型高强度螺栓连接接头上新增角焊缝进行加固补强时，摩擦型高强度螺栓连接和角焊缝焊接连接应分别承担加固焊接补强前的荷载和加固焊接后新增的荷载。

11.4.6 高强度摩擦型螺栓连接不得设计成仅与端焊缝并用的连接。

11.4.7 栓焊并用连接的受剪承载力的计算应符合下列规定：

1 高强度摩擦型螺栓与侧焊缝并用连接：

$$\phi = N_b / N_{fs} \quad (11.4.7-1)$$

1) 当 $\phi < 0.5$ 时，应按下式计算：

$$N_v = N_{fs}; \quad (11.4.7-2)$$

2) 当 $0.5 \leq \phi < 0.8$ 时，应按下式计算：

$$N_v = 0.75N_{fs} + N_b; \quad (11.4.7-3)$$

3) 当 $0.8 \leq \phi \leq 2$ 时，应按下式计算：

$$N_v = 0.9N_{fs} + 0.8N_b; \quad (11.4.7-4)$$

4) 当 $2 < \phi \leq 3$ 时，应按下式计算：

$$N_v = N_{fs} + 0.75N_b; \quad (11.4.7-5)$$

5) 当 $\phi > 3$ 时，应按下式计算：

$$N_v = N_b; \quad (11.4.7-6)$$

式中： ϕ ——栓焊强度比；

N_v ——栓焊并用连接受剪的承载力设计值 (N)；

N_{fs} ——侧焊缝受剪承载力设计值 (N)；

N_b ——高强度摩擦型螺栓连接受剪承载力设计值 (N)。

2 高强度摩擦型螺栓与侧焊缝及端焊缝并用连接时，应按下列下式计算：

$$N_v = 0.85N_{fs} + N_{fc} + 0.25N_b \quad (11.4.7-7)$$

式中： N_{fc} ——连接接头中端焊缝受剪承载力设计值 (N)。

11.5 节点的加固

11.5.1 当端板连接节点承载力不足时，可采用侧面角焊缝加固

或围焊加固（图 11.5.1）；当受弯承载力满足要求时，宜采用侧面角焊缝加固。

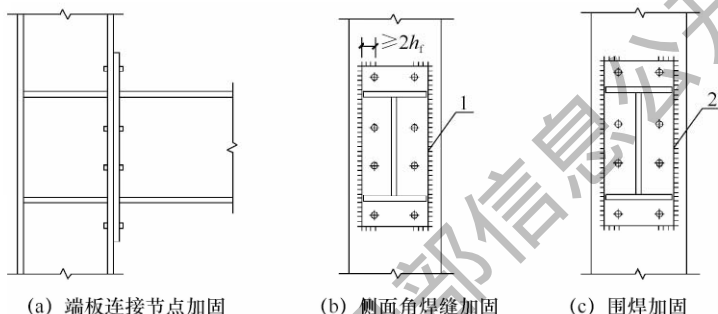


图 11.5.1 端板连接节点加固示意

1—侧面角焊缝；2—端板围焊

11.5.2 螺栓连接节点的焊接加固，当螺栓承担的荷载大于其设计承载力的 65% 时，不应考虑原螺栓的承载作用，而应按焊缝承担全部荷载进行验算；当螺栓承担的荷载小于其设计承载力的 65% 时，允许原螺栓与新增焊缝共同受力，并按下列规定验算其承载力：

1 受弯承载力应按下式计算：

$$M_{wb} = M_w + \eta_{ep} M_b \quad (11.5.2)$$

式中： M_{wb} ——栓焊并用连接受弯承载力设计值（N·mm）；

M_w ——焊缝受剪承载力设计值（N·mm）；

M_b ——高强度摩擦型螺栓连接受弯承载力设计值（N·mm）；

η_{ep} ——高强度摩擦型螺栓连接受弯承载力修正系数，当螺栓承担的荷载小于其设计承载力的 20% 时，取 0.65；当螺栓承担的荷载为其设计承载力的 20%~40% 时，取 0.55；当螺栓承担的荷载为其设计承载力的 40%~65% 时，取 0.4。

2 受剪承载力验算可按本标准第 11.4.7 条的规定执行；角

焊缝焊脚尺寸 h_f 宜取现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 允许的最小值。

3 当节点域构造不满足设计要求时，可按本标准第 11.5.7 条的规定进行加固。

11.5.3 梁柱节点加固前，节点的最大名义应力应小于 $0.6f_y$ ，并应符合下列规定：

1 当负载下加固梁柱节点加固前的实际名义应力值小于 0.3 时，可按照非负载下加固梁柱节点考虑，其受力性能和新建加强型盖板节点的受力性能无明显差别；

2 当负载下加固梁柱节点加固前的实际名义应力值在 0.3 倍~0.6 倍屈服应力之间时，应考虑初始荷载对加固后结构受力的影响且不应考虑加固构件的塑性变形发展。加固后节点连接的弹性极限弯矩应大于梁的塑性弯矩。

11.5.4 负载下采用盖板加固梁柱节点（图 11.5.4），盖板长度宜为梁高的 $1/2 \sim 2/3$ ；厚度宜为 0.8 倍~1.2 倍梁翼缘厚度；其节点连接强度应按下列公式进行验算：

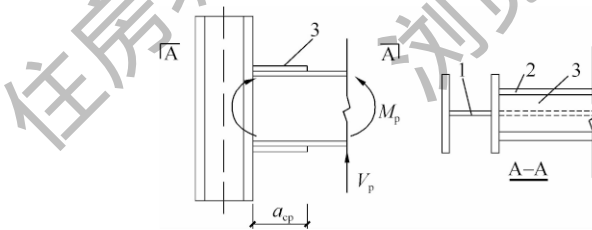


图 11.5.4 盖板加固梁柱节点示意

1—柱；2—梁；3—盖板

$$M \leq \eta_b M_{by} + \eta_{cp} M_{cp} \quad (11.5.4-1)$$

$$M_{cp} = f_{yep} t_{cp} b_{cp} (d + t_{cp}) \quad (11.5.4-2)$$

式中： M ——加固后梁端弯矩设计值（ $N \cdot mm$ ）；

η_b ——原梁端承载力折减系数，取 0.75；

M_{by} ——加固前梁的屈服弯矩（ $N \cdot mm$ ），计算时可不考虑

梁柱连接处焊接工艺孔及螺栓等的削弱；

η_{cp} —— 考虑盖板焊接残余应力影响的折减系数，取 0.8；

M_{cp} —— 盖板的屈服弯矩 (N·mm)；

f_{ycp} —— 盖板钢材的屈服强度 (MPa)；

t_{cp} —— 盖板厚度 (mm)；

b_{cp} —— 盖板宽度 (mm)；

d —— 梁截面高度 (mm)。

11.5.5 盖板与柱翼缘之间的对接焊缝宜按等强连接设计。盖板端部与梁翼缘之间的角焊缝内力值应按下列公式计算，盖板侧面两道半熔透焊缝所承受剪力设计值应为塑性铰处梁的设计剪力 V_p ，单侧焊缝所承受的剪力设计值应为塑性铰处梁的设计剪力 V_p 的 1/2。

$$P = 0.1V_p \quad (11.5.5-1)$$

$$Q = 1.0V_p \quad (11.5.5-2)$$

式中： P —— 盖板末端与梁翼缘之间的角焊缝对盖板的竖向约束力 (N)；

Q —— 盖板末端与梁翼缘之间的角焊缝对盖板的水平约束力 (N)；

V_p —— 塑性铰处梁的设计剪力 (N)。

11.5.6 塑性铰处梁的设计剪力 V_p 应按下列公式确定：

$$V_p = \frac{2M_p}{L} + \frac{wL'}{2} \quad (11.5.6-1)$$

$$L' = L - 2a - 2 \times \frac{d}{3} \quad (11.5.6-2)$$

$$M_p = f_y W_p \quad (11.5.6-3)$$

式中： M_p —— 梁的塑性弯矩 (N·mm)；

L' —— 塑性铰之间的距离 (mm)；

d —— 梁截面高度 (mm)；

w —— 梁自重或其他均布荷载 (N/mm)；

a —— 剪跨，即横向集中荷载作用点至支座或节点边缘的距离 (mm)；

W_p ——塑性截面模量或塑性抵抗矩 (mm^3)。

11.5.7 当端板连接的节点域不满足设计要求时,宜采用增设节点域加劲肋的加固方式。中柱对应的节点域不满足设计要求时,应增设交叉加劲肋(图 11.5.7a);角柱对应的节点域不满足设计要求时,应沿节点域主压应力迹线增设加劲肋(图 11.5.7b)。增设加劲肋仍不能满足设计要求时,可考虑加厚节点域板件,并按本标准第 11.5.8 条的规定执行。

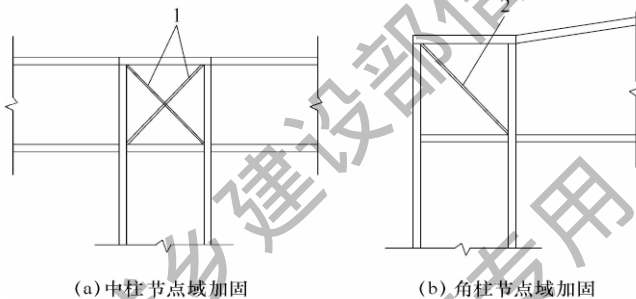


图 11.5.7 端板连接节点域加固

1—加劲肋; 2—加劲肋

11.5.8 当梁柱节点域厚度不符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定时,对 H 形截面柱节点域可采用下列补强措施(图 11.5.8):

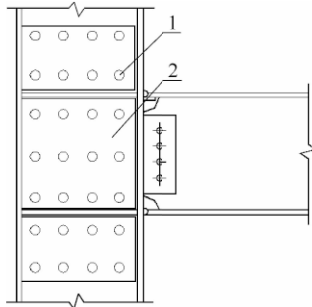


图 11.5.8 梁柱节点域焊贴补强板加强

1—塞焊; 2—补强板

1 加厚节点域的柱腹板。腹板加厚的范围应伸出梁的上下翼缘外不小于 150mm。

2 节点域处焊贴补强板加强。补强板与柱加劲肋和翼缘可采用角焊缝连接；并应与柱腹板采用塞焊连成整体；塞焊点之间的距离不应大于较薄焊件厚度的 $21\sqrt{235/f_y}$ 倍。

3 对轻型结构，可设置节点域斜向加劲肋加强。

11.6 加固件的连接

11.6.1 为加固结构而增设的板件，除应有足够的设计承载能力和刚度外，尚应与被加固结构有可靠的连接。

11.6.2 加固件与被加固结构间的连接，应根据设计受力要求计算并考虑构造和施工条件确定。对轴心受力构件，可根据下式计算；对受弯构件，应根据最大设计剪力计算；对压弯构件，可根据以上二者中的较大值计算。对仅用增设中间支承杆件或支点来减少受压构件自由长度时，支承杆件或支点与加固构件间的连接受力，亦可按下式计算，式中 A_t 应取原构件截面面积。

$$V = \frac{A_t f}{50} \sqrt{f_y / 235} \quad (11.6.2)$$

式中： A_t ——构件加固后的总截面面积（ mm^2 ）；

f ——构件钢材强度设计值（MPa），当加固件与被加固构件钢材强度不同时，取较高钢材强度的值；

f_y ——钢材的屈服强度（MPa），当加固件与被加固构件钢材强度不同时，取较高钢材强度的值。

11.6.3 加固件的焊缝、螺栓、铆钉等连接的计算可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定进行，计算角焊缝强度设计值时，应乘以 0.85 的修正系数；计算其他连接强度设计值时，应乘以 0.95 的折减系数。

11.7 构造规定

11.7.1 焊缝连接加固时，新增焊缝宜布置在应力集中最小、远

离原构件的变截面以及缺口、加劲肋的截面处；应使焊缝对称于作用力，并避免使之交叉；新增的对接焊缝与原构件加劲肋、角焊缝、变截面等之间的距离不宜小于 100mm；各焊缝之间的距离不应小于被加固板件厚度的 4.5 倍。

11.7.2 用盖板加固有动力荷载作用的构件时，盖板端应采用平缓过渡的构造措施，并应减少应力集中和焊接残余应力。

11.7.3 高强度螺栓摩擦型连接的板件连接接触面处理应按设计要求和现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 及《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定进行。当不能满足要求时，应进行摩擦面的抗滑移系数试验，并应复核加固连接的设计计算。

11.7.4 除焊接盖板加固方法外，钢结构梁柱节点加固还可选用焊接侧向盖板加固（图 11.7.4-1）、梁翼缘加腋加固（图 11.7.4-2）、

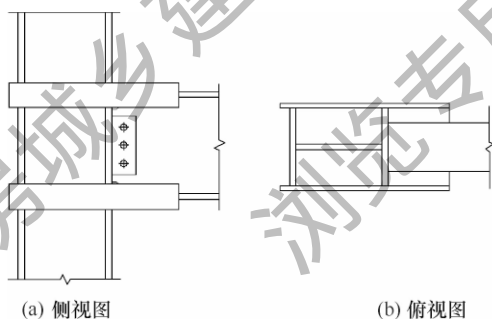


图 11.7.4-1 焊接侧向盖板加固

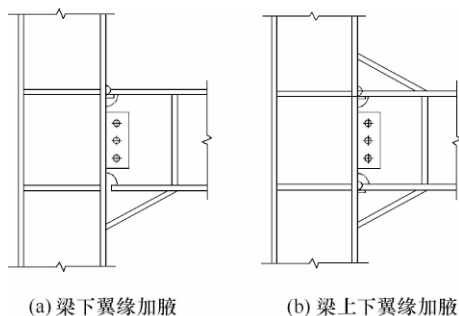


图 11.7.4-2 梁翼缘加腋加固

梁翼缘增设肋板加固 (图 11.7.4-3)、高强度螺栓连接加固 (图 11.7.4-4) 等方案, 其设计方法应与焊接盖板加固方法设计方法一致, 但应对加固件承载力折减系数进行专项论证。

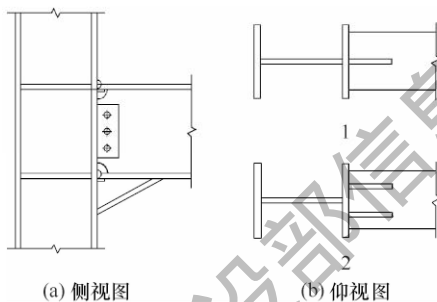


图 11.7.4-3 梁翼缘增设肋板加固

1—设置一道肋板; 2—设置两道肋板

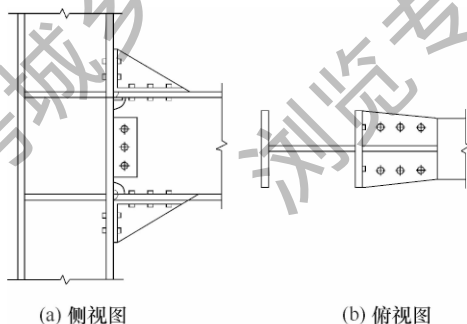


图 11.7.4-4 高强度螺栓连接加固

12 钢结构局部缺陷和损伤的修缮

12.1 一般规定

12.1.1 钢结构构件或连接的局部缺陷和损伤的修复与处理应符合本章规定。

12.1.2 对可能导致钢结构整体承载力不足的缺陷和损伤，应采取加固措施进行处理。

12.1.3 对下列缺陷和损伤，宜采取拆换措施：

- 1 高强度螺栓连接出现延迟断裂现象；
- 2 承受动力荷载的摩擦型高强度螺栓连接出现滑移现象；
- 3 钢结构节点板弯折损伤伴有裂纹；
- 4 承受动力荷载的钢构件出现疲劳裂纹。

12.1.4 经可靠性鉴定确认可以修复的钢结构局部缺陷和损伤，应根据其类型及产生原因进行专项修复设计。

12.1.5 钢结构的缺陷和损伤的修复，应按设计规定卸除或部分卸除作用于结构上的活荷载，并采取可靠的安全措施。

12.2 连接修缮

12.2.1 钢结构焊缝的修复应符合下列规定：

1 焊缝实际尺寸不足时，应根据验算结果在原有焊缝上堆焊辅助焊缝；

2 焊缝出现裂纹时，宜采用碳弧气刨或风铲刨掉原焊缝后重焊，并应作防腐蚀处理；

3 焊缝出现气孔、夹渣、咬边时，对常温下承受静载或间接动载的结构，若无裂纹或其他异常现象，可不作处理；

4 焊缝内部的夹渣、气孔等超过现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 规定的外观质量要求时，应采用碳弧气刨或

风铲将有缺陷的焊缝清除，然后以同型号焊条补焊，补焊长度不宜小于 40mm。

12.2.2 由螺栓漏拧或终拧扭矩不足造成摩擦型高强度螺栓连接的滑移，可采用补拧并在盖板周边加焊进行修复。

12.2.3 铆钉连接的修复应符合下列规定：

1 对松动或漏铆的铆钉应更换或补铆；更换铆钉时，宜采用气割割掉铆钉头且不应烧伤主体金属；不得采用焊补、加热再铆合方法处理有缺陷的铆钉。修复时，可采用高强度螺栓代替铆钉，其直径换算按等强度确定。

2 当采用高强度螺栓替换铆钉修复时，若铆钉孔缺陷不妨碍螺栓顺利就位时，可不处理铆钉孔；当孔壁倾斜度超过 5° ，且螺栓不能与连接板表面紧贴时，应扩钻铆钉孔或采用楔形垫圈。

12.3 变形修缮

12.3.1 钢结构构件的变形可采用热加工方法矫正。当矫正有困难时，应予拆换或加固。

12.3.2 钢结构弯曲变形的处理，应符合下列规定：

1 压杆弯曲变形的处理，当其变形难以矫正时，应以杆件的最大内力和实际的弯曲尺寸，按偏心受压杆件验算。验算时，其承载力设计值应乘以表 12.3.2 规定的折减系数。若验算结果尚能满足承载要求，可不予处理；当不满足承载要求时应予以加固。

表 12.3.2 受压杆件弯曲变形的承载力折减系数

杆件的弯曲矢高	$\leq l/450$	$l/350$	$l/300$	$l/250$	$l/200$
承载力折减系数	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5

注：1. 当弯曲矢高为中间值时，承载力折减系数按线性内插法确定；

2. 表中 l 为杆件计算长度。

2 拉杆弯曲变形的处理，承受静荷载的拉杆的弯曲，当其弯曲矢高 f 小于等于杆件长度 l 的 $1/150$ 时，可不矫直；当 f 大于杆件长度 l 的 $1/150$ 时，宜予以矫直；当 f 大于 $1/50$ 时，应予以加固。

12.3.3 钢结构腹板局部凹凸的处理，应符合下列规定：

1 当梁、柱腹板的受压区有局部凹凸时，应进行承载力验算。验算结果满足承载要求时，可不予处理。当不满足要求时应予加固。当局部凹凸位于腹板受拉区且无裂纹时，可不予处理。

2 当局部凹凸对腹板受力有影响时，应进行修复。修复方法宜采用机械矫正法，当不能校平，可采用火焰法校平。对腹板的凹凸部分亦可采用增设加劲肋的方法处理，并使加劲肋与腹板相贴一面的形状与腹板变形的轮廓一致。

12.3.4 钢结构节点板弯折变形的处理，应符合下列规定：

1 当节点板弯折处无裂纹时，可在矫正后加设加劲肋。

2 当节点板弯折处存在轻微裂纹，且节点板受力较小时，可用堵焊法修补裂纹，并按本条第1款进行处理。

3 当节点板弯折变形不满足本条第1款、第2款的规定时，应予以更换。

12.4 裂纹修缮

12.4.1 结构因荷载反复作用及材料选择、构造、制作、施工安装不当产生的具有扩展性或脆断倾向性裂纹损伤时，应对结构进行修复。在修复前，必须分析产生裂纹的原因及其影响的严重性，制定加固方案、采取修复加固措施；对不宜采取修复加固措施的构件，应予拆除更换。在对含裂纹构件进行修复加固设计时，宜采用断裂力学方法进行抗脆断验算。

12.4.2 在钢结构构件上发现裂纹时，作为临时应急措施之一，可在裂纹端部以外 $0.5t \sim 1.0t$ 处钻孔（图 12.4.2），防止裂纹进

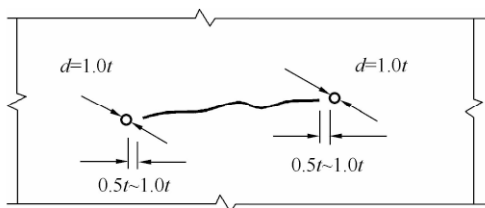


图 12.4.2 裂纹两端钻止裂孔

t —板厚

一步急剧扩展，并根据裂纹性质及扩展倾向采取修复加固措施。

12.4.3 承受静载或间接动载钢结构构件的裂纹修复应符合下列规定：

1 修复裂纹时应优先采用焊接方法。

2 对网状、分叉裂纹区和有破裂、过烧或烧穿等缺陷的梁、柱腹板部位，宜采用焊接的嵌板修补（图 12.4.3）。

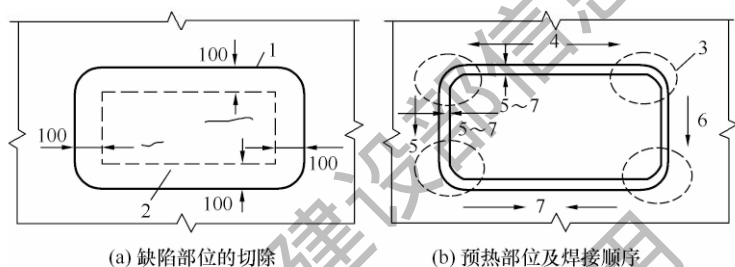


图 12.4.3 裂纹的嵌板法修复示意

1—切割线；2—缺陷的界限；3—预热区域；4~7—焊接顺序

3 用附加盖板修补裂纹时，宜采用双层盖板，裂纹两端应钻孔。当盖板用焊接连接时，应将加固盖板压紧，其厚度应与原钢板等厚，焊脚尺寸应等于板厚。当用摩擦型高强度螺栓连接时，应在裂纹的每侧用双排螺栓，盖板宽度应能布置螺栓，盖板长度每边应超出裂纹端部 150mm。

12.5 涂装修缮

12.5.1 钢结构构件涂装的修复应根据构件实际锈蚀、腐蚀程度采取修缮措施。当构件截面削弱程度不足以影响结构安全时，可采取表面除锈、增加防腐涂层的修复方法；当构件截面削弱程度已影响结构安全时，应采取相应加固措施进行修复。

12.5.2 钢结构构件表面除锈可采用手工除锈、机械除锈或喷砂除锈。除锈等级应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未深覆过的钢材表面和全

面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 的有关规定。

12.5.3 锈蚀、腐蚀缺陷的修复，应在重做防护措施前，采取酸洗、喷砂机械打磨等处理措施清除锈蚀、旧涂层和污垢等；新涂层的品种、涂刷层数和厚度应根据产品要求和耐久性要求确定。

住房和城乡建设部信息中心
浏览专用

附录 A 既有建筑物结构荷载 标准值的确定方法

A.0.1 对已有结构上的荷载标准值取值，除应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定外，尚应符合本附录的规定。

A.0.2 结构和构件自重的标准值，应根据构件和连接的实测尺寸，按材料或构件单位自重的标准值计算确定。对难以实测的连接构造的尺寸，可按结构详图估算。

A.0.3 常用材料和构件的单位自重标准值，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用。当现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定值有上、下限时，应按下列规定采用：

- 1 当荷载效应对结构不利时，应取上限值；
- 2 当荷载效应对结构有利时，应取下限值。

A.0.4 当遇到下列情况之一时，材料和构件的自重标准值应按现场抽样称量确定：

- 1 现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 尚无规定；
- 2 自重变异较大的材料或构件；
- 3 材料或构件自重的原设计采用值与实际情况有显著出入。

A.0.5 现场抽样检测材料或构件自重的试样数量，不应少于 5 个。当按检测的结果确定材料或构件自重的标准值时，应按下列规定进行计算：

- 1 当其效应对结构不利时，应按下式计算：

$$g_{k,\text{sup}} = m_g + \frac{t'}{\sqrt{n}} s_g \quad (\text{A.0.5-1})$$

式中： $g_{k, \text{sup}}$ ——材料或构件自重的标准值；

m_g ——试样称量结果的平均值；

s_g ——试样称量结果的标准差；

n ——试样数量；

t' ——考虑抽样数量影响的计算系数，按表 A. 0. 5 采用。

2 当其效应对结构有利时，应按下式计算：

$$g_{k, \text{sup}} = m_g - \frac{t'}{\sqrt{n}} s_g \quad (\text{A. 0. 5-2})$$

表 A. 0. 5 计算系数 t' 值

n	t' 值	n	t' 值	n	t' 值	n	t' 值
5	2.13	8	1.89	15	1.76	30	1.70
6	2.02	9	1.86	20	1.73	40	1.68
7	1.94	10	1.80	25	1.71	≥ 60	1.67

A. 0. 6 对非结构的构、配件，或对支座沉降有影响的构件，当其自重效应对结构有利时，应取其自重标准值 $g_{k, \text{sup}}$ 等于 0。

A. 0. 7 当房屋结构进行加固验算时，对不上人的屋面，应计入加固工程的施工荷载，其取值应符合下列规定：

1 当估算的荷载低于现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的屋面均布活荷载或集中荷载时，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 采用；

2 当估算的荷载高于现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定值时，应按实际估算值采用；

3 当施工荷载过大时，宜采取措施予以降低。

A. 0. 8 对加固改造设计的验算，其基本雪压值、基本风压值和楼面活荷载的标准值，除应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用外，尚应按下一目标使用年限，乘以表 A. 0. 8 的修正系数 ψ_n 予以修正。下一目标使用年限，应由委托方和鉴定方共同商定。

表 A.0.8 基本雪压、基本风压及楼面活荷载的修正系数 ψ_s

下一目标使用年限	10 年	20 年	30 年~50 年
雪荷载或风荷载	0.85	0.95	1.00
楼面活荷载	0.85	0.90	1.00

注：对表中未列出的中间值，可按线性内插法确定，当目标使用年限低于 10 年时，应按 10 年取 ψ_s 值。

附录 B 钢构件截面加固形式的选用

B.0.1 受拉构件的截面加固可采用规定的形式（图 B.0.1）或其他形式。

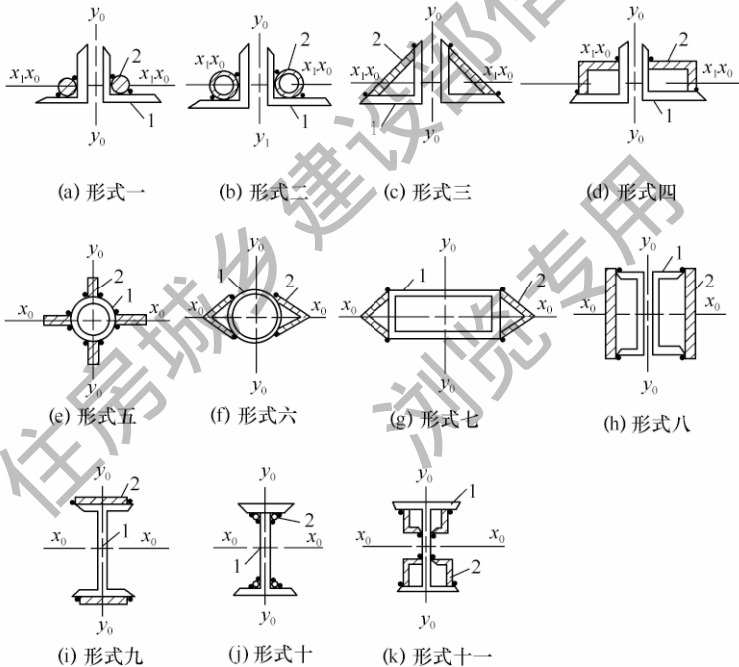


图 B.0.1 受拉构件的截面加固形式

1—原截面；2—增加截面

B.0.2 受压构件的截面加固可采用规定的形式（图 B.0.2）或其他形式。

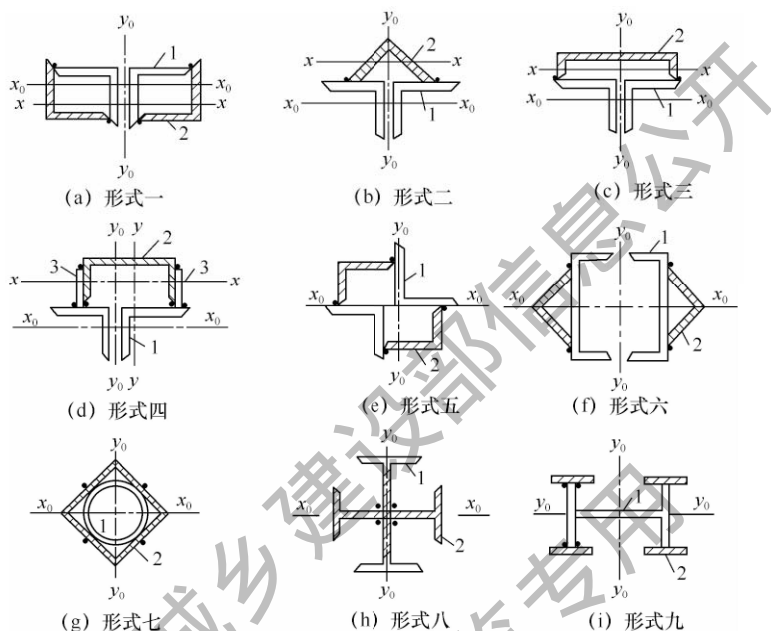


图 B.0.2 受压构件的截面加固形式

1—原截面；2—增加截面；3—辅助板件

B.0.3 受弯构件的截面加固可采用规定的形式（图 B.0.3）或其他形式。

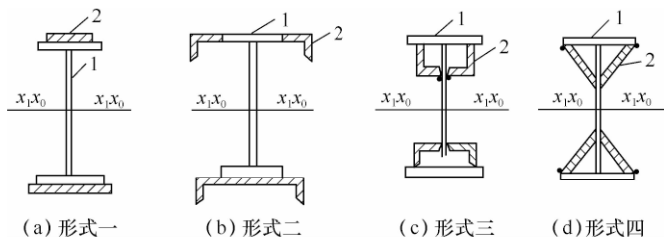


图 B.0.3 受弯构件的截面加固形式（一）

1—原截面；2—增加截面

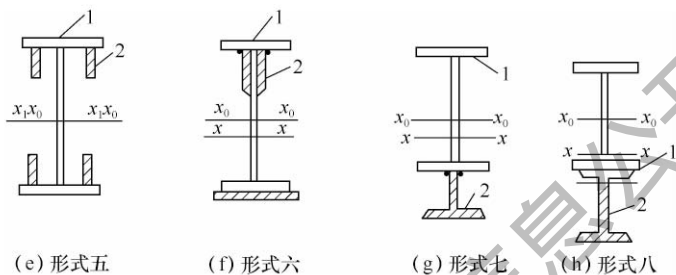


图 B.0.3 受弯构件的截面加固形式 (二)

1—原截面；2—增加截面

B.0.4 弯矩不变号偏心受力构件的截面加固可采用不对称的形式 (图 B.0.4a~图 B.0.4e)。若弯矩可能变号, 应采用对称的截面形式 (图 B.0.4f)。

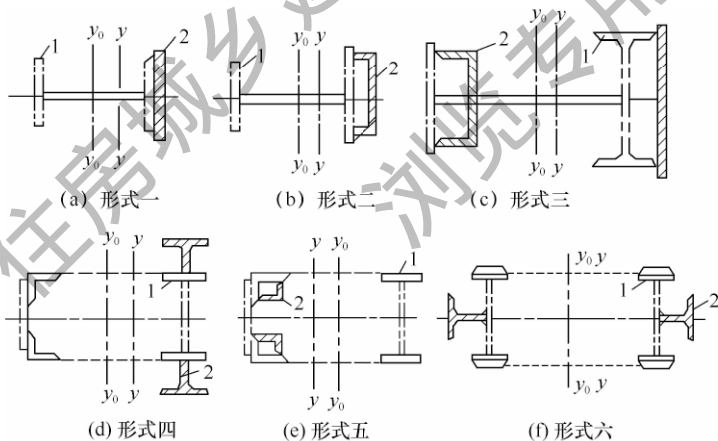


图 B.0.4 弯矩不变号偏心受力构件的截面加固形式

1—原截面；2—增加截面

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 2 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 4 《建筑设计防火规范》GB 50016
- 5 《钢结构设计标准》GB 50017
- 6 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046
- 7 《构筑物抗震鉴定标准》GB 50117
- 8 《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144
- 9 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 10 《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292
- 11 《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448
- 12 《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550
- 13 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 14 《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728
- 15 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50936
- 16 《优质碳素结构钢》GB/T 699
- 17 《碳素结构钢》GB/T 700
- 18 《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228
- 19 《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229
- 20 《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230
- 21 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231
- 22 《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1
- 23 《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB/

T 1499. 2

- 24 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 25 《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098. 1
- 26 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632
- 27 《氩》GB/T 4842
- 28 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- 29 《热强钢焊条》GB/T 5118
- 30 《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293
- 31 《六角头螺栓 C级》GB/T 5780
- 32 《六角头螺栓》GB/T 5782
- 33 《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110
- 34 《重要用途钢丝绳》GB 8918
- 35 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923. 1
- 36 《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045
- 37 《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433
- 38 《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470
- 39 《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB 13014
- 40 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370
- 41 《钢结构防火涂料》GB 14907
- 42 《熔化焊用钢丝》GB/T 14957
- 43 《钢网架螺栓球节点用高强度螺栓》GB/T 16939
- 44 《热强钢药芯焊丝》GB/T 17493
- 45 《建筑结构用钢板》GB/T 19879
- 46 《钢拉杆》GB/T 20934
- 47 《高密度聚乙烯护套钢丝拉索》CJ/T 504
- 48 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》

JGJ 85

49 《无粘结预应力钢绞线》 JG/T 161

50 《填充型环氧涂层钢绞线》 JT/T 737

51 《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》 YB/T 152

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用