钢结构加固技术规范

CECS77：96

目　录

1　总则
2　术语、符号与代号
　2.1 术语
　2.2 符号与代号
3　加固基本原则及一般方法
　3.1 一般规定
　3.2 加固工程序
　3.3 加固一般方法及其选择
　3.4 材料
4　改变结构计算图形的加固
　4.1 一般规定
　4.2 改变结构计算图形的一般方法
5　加大构件截面的加固
　5.1 一般规定
　5.2 受弯构件的加固
　5.3 轴心受力和拉弯、压弯构件的加固
　5.4 构造与施工要求
6　连接的加固与加固件的连接
　6.1 一般规定
　6.2 焊缝连接的加固
　6.3 螺栓和铆钉连接的加固
　6.4 加固件的连接
　6.5 构造与施工要求
7　裂纹的修复与加固
　7.1 一般规定
　7.2 修复裂纹的方法
8　施工安全与工程验收
　8.1 施工安全
　8.2 工程验收
附录 A　构件的截面加固形式（参考图）
附录 B　本规范用词说明

主编单位：清华大学土木工程系
审查单位：建筑物鉴定与加固委员会
批准单位：中国工程建设标准化协会
批准日期：1996 年 5 月 30 日

前言

现批准《钢结构加固技术规范》CECS77：96 为中国工程建设标准化协会标准，推荐给各有关单位使用。在使用过程中，请将意见及有关资料寄交四川省成都市一环路北三段 55 号，四川省建筑科学研究院中国工程建设标准化协会建筑物鉴定与加固委员会（邮编：610081），以便修订时参考。

中国工程建设标准化协会

1996 年 5 月 30 日

1　总则

1.0.1 为使钢结构的加固做到技术可靠、经济适用、施工简便和确保质量，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于工业与民用建筑和一般构筑物的钢结构因设计、施工、使用管理不当，材料质量不符合要求，使用功能改变，遭受灾害损坏以及耐久性不足等原因而需要对钢结构进行加固的设计、施工和验收。对有特殊要求和特殊情况下的钢结构加固，尚应符合相应的专门技术标准的规定。

1.0.3 钢结构加固前，应按照《工业厂房可靠性鉴定标准》和《民用建筑可靠性鉴定标准》等进行可靠性鉴定。

1.0.4 钢结构的加固设计、施工及验收，除本规范规定外，尚应符合《钢结构设计规范》、《钢结构工程施工及验收规范》的规定。

2　术语、符号与代号

2.1 术语

2.1.1 钢结构的加固对已有钢结构进行加强以提高其承载力、耐久性和满足使用要求。

2.1.2 待加固的钢结构经可靠性鉴定需要进行但尚未实施加固的钢结构。

2.1.3 加固前的结构、构件或原结构、构件实施加固前的现有结构、构件。

2.1.4 加固后的结构、构件实施加固竣工后的结构、构件。

2.1.5 结构的名义应力按规范规定或由材料力学一般方法算得的结构应力。

2.1.6 有效净截面、净截面扣除孔洞、锈蚀和损伤削弱失效后的截面。

2.1.7 摩擦型高强度螺栓连接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。

2.1.8 扩展性裂纹长度或深度有可能不断增加的裂纹。

2.1.9 脆断倾向性裂纹有使钢结构可能发生突然脆性断裂的裂纹。

2.2 符号与代号

2.2.1 作用和作用效应符号

F——集中荷载；

M——弯矩；

M0——构件加固前的弯矩；

N——轴心力；

N0——构件加固前的轴心力；

P——高强度螺栓的预拉力；

V——剪力；

V0——构件加固前的剪力。

2.2.2 计算指标

E——钢材的弹性模量；
G——钢材的剪切模量；

NE——欧拉临界力；
f——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
fy——钢材屈服强度（或屈服点）标准值；
fv——钢材抗剪强度设计值；
f0——原结构钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
fs——加固用钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
f*——加固后结构构件钢材抗拉、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；
σ——正应力；
σc——局部压应力；
σo——构件加固时的正应力；
σf——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；
τf——沿角焊缝长度方向，按角焊缝有效截面计算的焊缝剪应力。
2.2.3 几何参数
A——毛截面面积或全部截面面积；
An——有效净截面面积，净截面面积；
Ao——原构件的毛截面面积；
Aon——原构件的净截面面积；
As——构件加固部分的截面面积；
At——构件加固后的总截面面积，即 Ao 与 A s 之和；
I——毛截面惯性矩；
Io——原构件毛截面惯性矩；
Is——构件加固部分的截面惯性矩；
W——毛截面抵抗矩；
Wn——有效净截面抵抗矩；
Won——原构件净截面积抵抗矩；
L——长度；
Lo——构件的计算长度；
Lw——焊缝长度；
Lws——加固焊缝实际施焊段的长度；
Ls——加固焊缝延续的总长度；
a——间距；
d——直径；
eo——等效偏心距；
he——角焊缝有效厚度；
hf——角焊缝焊脚尺寸；
t——板件厚度；
λ——长细比；
λo——换算长细比；
ω、ωo——挠度、初始挠度；

ωw——焊接残余挠度；

ωT——总挠度；

△ω——挠度增量。

2.2.4 计算系数及其它

αN——压弯构件的弯矩增大系数；

βmx、βty——压弯构件稳定计算的等效弯矩系数；

r——截面塑性发展系数；

δ——焊缝连续性系数；

ξ——焊接残余挠度影响系数；

ηN——轴心受力加固构件的强度降低系数；

ηM——受弯加固构件的强度降低系数；

ηEM——压（拉）弯加固构件的强度降低系数；

φ——轴心受压构件的稳定系数

φb——梁或受弯构件的整体稳定系数；

Ψ——系数。

3 加固基本原则及一般方法

3.1 一般规定

3.1.1 钢结构经可靠性鉴定需要加固时，应根据可靠性鉴定结论和委托方提出的要求，由专业技术人员按本标准进行加固设计。加固设计的内容和范围，可以是结构整体，亦可以是指定的区段、特定的构件或部位。

3.1.2 加固后的钢结构的安全等级应根据结构破坏后果的严重程度、结构的重要性和下一个使用期的具体要求，由委托方和设计者按实际情况商定。

3.1.3 钢结构加固设计应与实际施工方法紧密结合，并应采取有效措施，保证新增截面、构件和部件与原结构连接可靠，形成整体共同工作。应避免对未加固的部分或构件造成不利的影响。

3.1.4 在钢结构加固前应对其作用荷载进行实地调查，其荷载取值应符合下规定：

3.1.4.1 对符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》的荷载应按此规范的规定取值；

3.1.4.2 对不符合《建筑结构荷载规范》规定或未作规定的永久荷载，可根据实际情况进行抽样实测确定。抽样数应根据实际情况确定，但不得少于五年，且应以其平均值乘以 1.2 系数作为该永久荷载的标准值；对未作规定的工艺、吊车等使用荷载,应根据使用单位提供的资料和实际情况取值。

3.1.5 加固钢结构可按下列原则进行承载能力及正常使用极限状态验算；

3.1.5.1 结构的计算简图应根据结构作用的荷载和实际状况确定；

3.1.5.2 结构的计算截面，应采用实际有效截面积，并考虑结构在加固时的实际受力状况，即原结构的应力超前和加固部分的应变滞后特点，以及加固部分与原结构共同工作的程度；

3.1.5.3 加固后如改变传力路线或使结构重量增大，应对相关结构构件及建筑物地基基础进行必要的验算。

3.1.6 对于高温、腐蚀、冷脆、振动、地基不均匀沉降等原因造成的结构损坏，应提出其相应的处理对策后再进行加固。

3.1.7 钢结构的加固设计应综合考虑其经济效益。应不损伤原结构，避免不必要的拆除或更换。

3.1.8 钢结构在加固施工过程中，若发现原结构或相关工程隐蔽部位有未预计的损伤或严重缺陷时，应立即停止施工，并会同加固设计者采取有效措施进行处理后再继续施工。

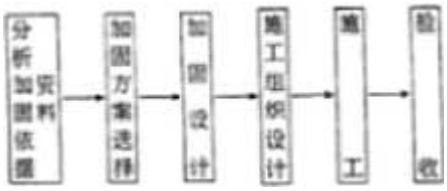
3.1.9 对于加固时可能出现倾斜、失稳或倒塌等不安全因素的钢结构，在加固施工前，应采取相应的临时安全措施，以防止事故的发生。

3.1.10 焊接钢结加固时，原有构件或连接的实际名义应力值应小于 0.55fy,且不得考虑加固构件的塑性变形发展；非焊接钢结构加固时，其实际名义应力值应小于 0.7fy。当现有结构的名义应力值大于上述及本

标准第 5.1.4 条规定时，则不得在负荷状态下进行加固。

3.2 加固工程序

3.2.1 加固工作应按图 3.2.1 程序进行。



3.2.2 根据结构可靠性鉴定结论和有关资料，由设计人员会同施工人员选择适当的方案。

3.2.3 按选择的适当方案进行加固设计，应考虑合适的施工方法及合理的构造措施并根据结构上的实际作用，进行承载能力、正常使用极限状态方面的验算。

3.2.4 按照加固设计进行施工组织设计，施工时应采取有效措施确保质量和安全，并应遵照本标准及现行有关规范进行施工和验收。

3.3 加固一般方法及其选择

3.3.1 钢结构加固的主要方法有：减轻荷载、改变计算图形、加大原结构构件截面和连接强度、阻止裂纹扩展等，当有成熟经验时，亦可采用其它的加固方法。

3.3.2 钢结构加固时的施工方法有：负荷加固、卸荷加固和从原结构上拆下加固或更新部件进行加固。加固施工方法应根据用户要求、结构实际受力状态，在确保质量和安全的前提下，由设计人员和施工单位协商确定。

3.3.3 钢结构加固施工需要拆下或卸荷时，必须措施合理、传力明确、确保安全。主要方法有：

3.3.3.1 梁式结构，例如屋架，可以在屋架下弦节点下设临时支柱（图 3.3.3－1）或组成撑杆式结构（图 3.3.3－2）张紧其拉杆对屋架进行改变应力卸荷。此时，屋架应根据千斤顶或撑杆压力进行承载力验算，且应注意杆件内力是否变号或增大，如个别杆件、节点承载力不足时，卸荷前应对其进行加固。

3.3.3.2 柱子，可采用设置临时支柱（图 3.3.3－3）或“托梁换柱”（图 3.3.3－4）。采用“托梁换柱”时，应对两侧相邻柱进行承载力验算。

3.3.4 钢结构加固一般宜采用焊缝连接、摩擦型高强度螺栓连接，有依据是亦可采用焊缝和摩擦型高强度螺栓的混合连接。当采用焊缝连接时，应采用经评定认可的焊接工艺及连接材料。

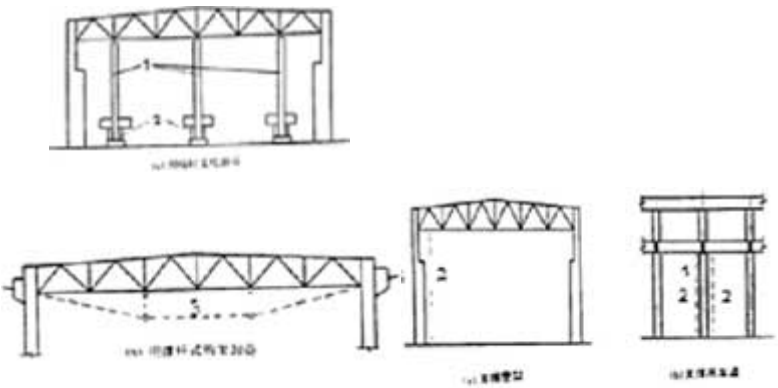


图 3.3.3—1,2 屋架卸荷示意图
注：1—临时支柱；2—千斤顶；3—拉杆

图 3.3.3—3 柱子的卸荷
注：1—被加固柱；2—临时支柱

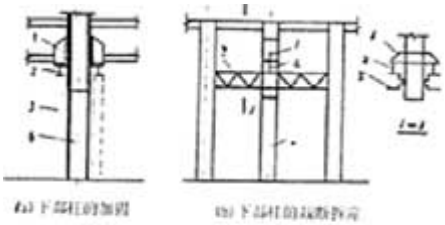


图 3.3.3—4　下部柱的加固及截断拆除

注：1—牛腿；2—千斤顶；3—临时支柱；4—柱子被加固部分；5—永久性特制桁架；6—柱子被截取部分

3.4 材料

3.4.1 待加固的钢结构，应对其材料质量状况进行评价：

3.4.1.1 根据设计文件、钢材质量证明书、施工记录、竣工报告、可靠性鉴定报告等文档资料或样品试验报告，对于待加固钢结构的原材料性能指标给出评价；

3.4.1.2 如果没有充足的文档资料，或者给出的数据不充分、不完全、有疑虑，或者发现有影响结构和材料性能的缺陷或损伤时，应按国家现行有关标准进行抽样检验；

3.4.1.3 对于符合现行国家标准规定的钢材,其强度设计值应按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）规定取值,否则应按本标准的 3.4.1.1 和 3.4.1.2 确定的屈服强度数值除以抗力分项系数 rR 取值：f＝fy/rR，且抗力分项系数取 1.1；

3.4.1.4 对于气相腐蚀的钢结构构件，当其截面积损失大于 25%，或其板件剩余厚度小于 5mm 时，其材料强度设计值尚应根据腐蚀程度乘以表 3.4.1.4 所列相应的降低系数。对于特殊环境中腐蚀钢结构加固应专门研究确定。

腐蚀程度降低系数　　表 3.4.1.4

腐蚀程度（按 GBJ46－82 分类）	降低系数
Ⅳ类（弱腐蚀）	0.90
Ⅴ类（中等腐蚀）	0.85
Ⅵ类（强腐蚀）	0.80

3.4.2 与待加固的钢结构匹配的连接的强度设计值，应按本标准 3.4.1 规定对结构材料的评定结果，按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）的表 3.2.1－4 至表 3.2.1－6 取值），并应考虑其第 3.2.2 条规定的相应折减系数。

3.4.3 钢结构加固材料的选择，应按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）规定并在保证设计意图的前提下，便于施工，使新老截面,构件或结构能共同工作，并应注意新老材料之间的强度、塑性、韧性及焊接性能匹配，以利于充分发挥材料的潜能。

4　改变结构计算图形的加固

4.1 一般规定

4.1.1 改变结构计算图形的加固方法是指采用改变荷载分布状况、传力途径、节点性质和边界条件，增设附加杆件和支撑、施加预应力、考虑空间协同工作等措施对结构进行加固的方法。

4.1.2 改变结构计算图形的加固过程（包括施工过程）中，除应对被加固结构承能力和正常使用极限状态进行计算外，尚应注意对相关结构构件承载能力和使用功能的影响，考虑在结构、构件、节点以及支座中的内力重分布，对结构（包括基础）进行必要的补充验算，并采取切实可行的合理构造措施。

4.1.3 采用改造结构计算图形的加固方法，设计与施工应紧密配合，未经设计允许，不得擅自修改设计规定的施工方法和程序。

4.1.4 采用调整内力的方法加固结构时，应在加固设计中规定调整内力（应力）或规定位移（应变）的数值和允许偏差，及其检测位置和检验方法。

4.2 改变结构计算图形的一般方法

4.2.1 对结构可采用下列增加结构或构件的刚度的方法进行加固：

4.2.1.1 增加支撑形成空间结构并按空间结构进行验算，例如图 4.2.1－1；

4.2.1.2 加设支撑增加结构刚度，或调整结构的自振频率等以提高结构承载力和改善结构动力特性，例如图 4.2.1－2；

4.2.1.3 增设支撑或辅助杆件使构件的长细比减少以提高其稳定性，例如图 4.2.1－3；

4.2.1.4 在排架结构中重点加强某一列柱的刚度，使之承受大部分水平力，以减轻其它柱列负荷，例如图 4.2.1－4；

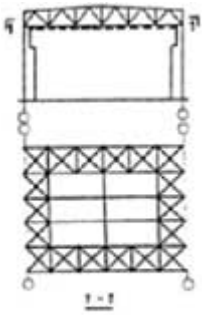
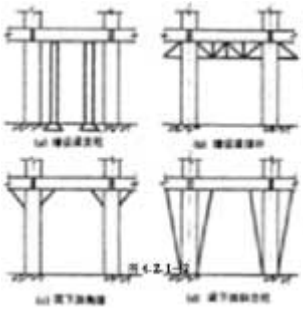


图 4.2.1—1



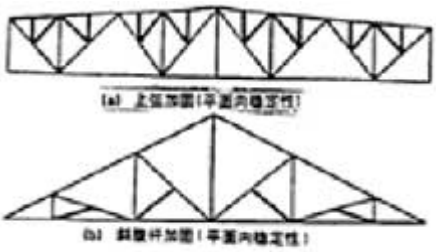


图 4.2.1—3 用再分杆加固桁架

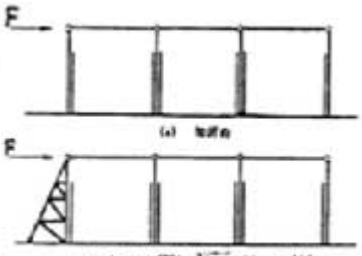


图 4.2.1—4 加强某一列柱

4.2.1.5 在塔架等结构中设置拉杆或适度张紧的拉索以加强结构的刚度，如图 4.2.1－5。

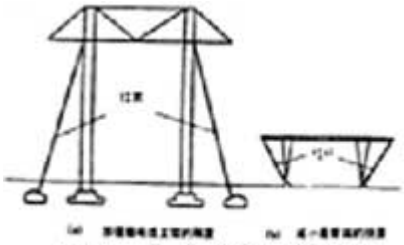


图 4.2.1—5 设置拉杆加强结构刚度

4.2.2 对受弯构件可采用下列改变其截面内力的方法进行加固：

4.2.2.1 改变荷载的分布，例如将一个集中荷载转化为多个集中荷载；

4.2.2.2 改变端部支承情况，例如变铰接为刚接，参见图 4.2.2－2；

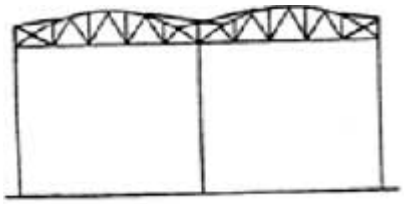


图 4.2.2—2　屋架支座处由铰接改变为刚接

4.2.2.3 增加中间支座或将简支结构端部连接成为连续结构，参见图 4.2.2－3；

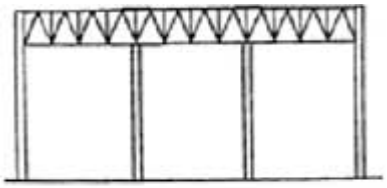


图 4.2.2—3　托架支座处由铰接改变为刚接

4.2.2.4 调整连续结构的支座位置；

4.2.2.5 将构件变为撑杆式结构，例如图 4.2.2－5；

4.2.2.6 施加预应力，例如图 4.2.2－6。

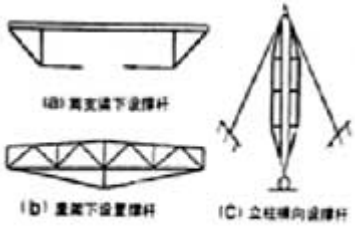


图 4.2.2—5　构件变为撑杆式结构

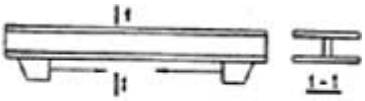


图 4.2.2—6　板梁施加预应力加固

4.2.3 对桁架可采用下列改变其杆件内的方法进行加固：

4.2.3.1 增设撑杆变桁架为撑杆式构架，例如图 4.2.3－1

4.2.3.2 加设应力拉杆，参见图 4.2.3－2。

4.2.4 必要时可采取措施使加固构件与其它构件共同工作或形成组合结构进行加固，例如使钢屋架与天窗架共同工作,参见图 4.2.4；又如在钢平台梁上增设剪力键使其与混凝土铺板形成组合结构等。

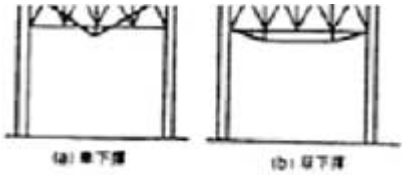


图 4.2.3—1　桁架下设撑杆

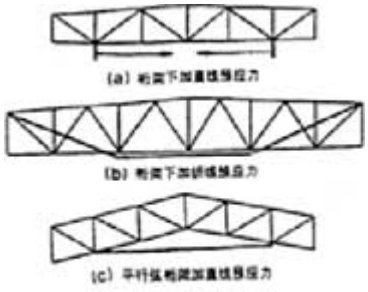


图 4.2.3—2　在桁架中加设预应力拉杆

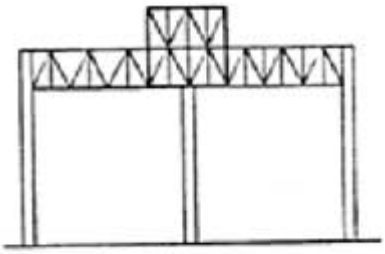


图 4.2.4　使天窗架与屋架连成整体共同受力

5　加大构件截面的加固

5.1 一般规定

5.1.1 采用加大截面加固钢构件时，所选截面形式应有利于加固技术要求并考虑已有缺陷和损伤的状况。

5.1.2 加固的构件受力分析的计算简图，应反映结构的实际条件，考虑损伤及加固引起的不利变形，加固期间及前后作用在结构上的荷载及其不利组合。对于超静定结构尚应考虑因截面加大，构件刚度改变使体系内力重分布的可能。必要时应分阶段进行受力分析和计算。

5.1.3 被加固构件的设计工作条件分类见表 5.1.3

构件的设计工作条件类别　　表 5.1.3

类别	使用条件
Ⅰ	特繁重动力荷载作用下的焊接结构
Ⅱ	除Ⅰ外直接承受动力荷载或振动荷载的结构
Ⅲ	除Ⅳ外仅承受静力荷载或间接动力荷载作用的结构
Ⅳ	受有静力荷载并允许按塑性设计的结构

5.1.4 负荷下焊接加固结构,其加固时的最大名义应力σomax 应按表 5.1.3 划分的结构类别预以限制：对于Ⅰ、Ⅱ类结构分别为｜σomax｜≤0.2fy 和｜σomax｜≤0.4fy；对于Ⅲ、Ⅳ类结构为｜σomax｜≤0.55fy。一般情况下，对于受有轴心压（拉）力和弯矩的构件，其σomax 可按下列公式确定：

$$\sigma_{omax}=\frac{N_o}{A_{on}}\pm\frac{M_{ox}+N_o\omega_{ox}}{\alpha_{Nx}W_{oxn}}\pm\frac{M_{oy}+N_o\omega_{oy}}{\alpha_{Ny}W_{oyn}}\qquad(5.1.4-1)$$

式中 No，Mox，Moy——原构件的轴力，绕 x 轴和 y 轴的弯矩。

Aon，Woxn，Woyn——原构件的净截面面积，对 x 轴和 y 轴的净截面抵抗矩。

αNx，αNy——弯矩增大系数。对拉弯构件取αNx＝αNy1.0；对压弯构件按式（5.1.4－2）和（5.1.4－3）计算

$$\alpha_{Nx}=1-\frac{N_o\lambda_x^2}{\pi^2EA_o}\qquad(5.1.4-2)$$

$$\alpha_{Ny}=1-\frac{N_o\lambda_y^2}{\pi^2EA_o}\qquad(5.1.4-3)$$

其中 Ao，λx，λy——分别为原构件的毛截面面积、对 x 轴和 y 轴的长细比。

ωox，ωoy——原构件对 x 轴和 y 轴的初始挠度,其值取实测值与按式（5.1.4－4）或（5.1.4－5）计算的等效偏心距 e（或 e）之和。

$$e_{ox}=\frac{M_{onx}(N_{oy}-N_o)(N_{oEx}-N_o)}{N_oN_{oy}N_{oEx}} \qquad (5.1.4-4)$$

$$e_{oy}=\frac{M_{ony}(N_{oy}-N_o)(N_{oEy}-N_o)}{N_oN_{oy}N_{oEy}} \qquad (5.1.4-5)$$

其中 No 为原构件轴力；Noy、NoEx、NoEy；Monx 和 Mony 分别用下列各式计算：

$$N_{oy}=A_o \cdot f_y \qquad (5.1.4-6)$$

$$N_{oEx}=\frac{\pi^2 EA_o}{\lambda_x} \qquad (5.1.4-7)$$

$$N_{oEy}=\frac{\pi^2 EA_o}{\lambda_y} \qquad (5.1.4-8)$$

$$M_{onx}=W_{onx} \cdot f_y \qquad (5.1.4-9)$$

$$M_{ony}=W_{ony} \cdot f_y \qquad (5.1.4-10)$$

其中 Ao 为原构件的毛截面面积。

5.1.5 加固后的Ⅰ、Ⅱ类构件，必要时应对其剩余疲劳寿命进行专门研究和计算。

5.1.6 对负荷下加固后钢构件的计算，按本规范第 5.2 、5.3 节的规定进行。对非负荷下加固后钢构件的计算可参照本规范并按《钢结构件设计规范》（GBJ17－88）规定进行。

5.2 受弯构件的加固

5.2.1 在主平面内受弯的加固受弯构件，应按下式计算其抗弯强度：

$$\frac{M_x}{r_xW_{nx}}+\frac{M_y}{r_yM_{ny}}\leq\eta_m f \qquad (5.2.1)$$

式中 Mx，my——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；

Wnx，Wny——对加固后截面 x 轴和 y 轴的净截面抵抗矩；

rx，ry——截机塑性发展系数，对Ⅰ、Ⅱ类结构取 rx＝ry＝1.0；对Ⅲ、Ⅳ类结构，根据截面形状按《钢结构设计规范》（GBJ17－88），表 5.2.1 采用；

ηm——受弯构件加固强度折减系数；对Ⅰ、Ⅱ类焊接结构取 ηm＝0.85，对其他结构取 ηm＝0.9;

f——截面中最低强度级别钢材的抗弯强度设计值。

5.2.2 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类结构的受弯构件截面的抗剪强度 τ，组合梁腹板计算高度边缘处的局部承压强度 σc 和折算应力可分别按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第 4.1.2 条、第 4.13 条、第 4.1.4 条计算；按塑性设计的Ⅳ类构件，可按其第 9.2.2 条的规定计算腹板的抗剪强度，计算时钢材强度值取计算部位钢材强度设计值。

5.2.3 主平面内受弯的加固构件，当不符合《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第 4.2.1 和 4.2.2 条规定时,可按其第 4.2.2 和 4.2.3 条的规定计算其整体稳定性，但应将钢材的抗弯强度设计值 f 改取钢材换算强度设计值 f*（按 5.3.6 条规定取值）并乘以折减系数 ηm。

5.2.4 组合截面板梁的翼缘和腹板应按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第四章第三节的规定设计和计算其局部稳定,对按塑性设计的第Ⅳ类结构构件，其宽厚比尚应符合其第九章第 9.1.4 条表 9.1.4 的规定。

5.2.5 所加固结构构件的总挠 ω 一般可按下式确定：

$$\omega_T=\omega_o+\omega_w+\triangle\omega \qquad (5.2.5)$$

式中 ωo——初始挠度，按实测资料或加固时荷载由加固前的截面特性计算确定；

ωw——焊接加固时的焊接残余挠度，可按第 5.2.6 条确定；

△ω——挠度增量，按加固后增加荷载标准值和已加固截面特征计算确定。

总的 ωT 值不应超过《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第 3.3.3 条表 3.3.2 规定的限值。

5.2.6 焊接残余挠度ωw 应专门研究或接近似由下式确定：

$$\omega_w=\frac{\delta h_f^2 L_s(2L_o-L_s)}{200I_o}\sum_{i=1}^{m}\xi_i Y_i y_i \qquad (5.2.6)$$

式中δ——考虑加固件间断焊缝连续性的系数，当为连续焊缝时，取δ＝1.0，当为是断焊缝时,取加固焊缝实际施焊段长度与延续长度之比；

hf——焊脚尺寸；

Ls——加固件焊缝延续的总长度；

Lo——受弯构件在弯曲平面内的计算长度，简支单跨梁时取梁的跨度；

Io——原构件截面的惯性矩；

yi——第 i 条加固焊缝至构件截面形心的距离；

ξi——与加固焊缝处结构应力水平σoi 有关的系数，按表 5.2.6 取值；

表 5.2.6

σo/f	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
yξ	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	3.50

fy——为原构件钢材的屈服强度标准值。

Ψi——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。

5.3 轴心受力和拉弯、压弯构件的加固

5.3.1 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加固截面形式，其强度应按下列规定计算：

$$\frac{N}{A_n}\leqslant\eta_n f \qquad (5.3.1-1)$$

式中 An——加固后构件净截面积；

f——截面中最低强度级别钢材的强度设计值；

ηn——轴心受力加固构件的强度降低系数。对非焊接加固的轴心受力或焊接加固的轴心受拉Ⅰ、Ⅱ类构件取ηn＝0.85；Ⅲ、Ⅳ类构件取ηn＝0.9。对焊接加固的受压构件按公式（5.3.1－2）取值。

$$\eta_n=0.85-0.23\sigma_o/f_y \qquad (5.3.1-2)$$

其中：σo 为构件未加固时的名义应力。当采用非对称或形心位置改变的截面加固时，应按第 5.3.2 条公式 5.3.2 计算。

5.3.2 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，其截面强度应按下列规定计算：

$$\frac{N}{A_n}\pm\frac{M_x+N\omega_{Tx}}{r_x W_{nx}}\pm\frac{M_y+N\omega_{Ty}}{r_x W_{ny}}\leqslant\eta_{EM} f \qquad (5.3.2)$$

式中 N，Mx，My——分别为构件承受的总轴心力，绕 x 轴和 y 轴的总最大弯矩；

An，Wnx，Wny——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；

ωTx，ωTy——构件对 x 轴和 y 轴的总挠度，按公式（5.2.5）计算；

rw，ry——塑性发展系数，对Ⅰ、Ⅱ类结构构件，取 rx＝ry＝1.0；对Ⅲ、Ⅳ类结构构件按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）中表 5.2.1 采用；

ηEM——拉弯或压弯加固构件的强度降低系数，对Ⅰ、Ⅱ类结构构件取ηEN＝0.85；Ⅲ、Ⅳ类结

构构件取ηEN＝0.9；当N/An≥0.55fy时，取ηEM＝ηn（ηn见第5.3.1条）；

f——截面中最低强度级别钢材的强度设计值。

5.3.3 实腹式轴心受压构件，当无初弯曲和损伤且对称或形心位置不改变加固截面时，其整体稳定性按下列规定计算：

$$\frac{N}{\varphi A} \leq \eta_n f^* \qquad (5.3.3)$$

式中N——加固时和加固后构件所受总轴心压力；

φA——轴心受压构件稳定系数，按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）附录三相应屈服强度钢材的C类截面系数表格查取，或按其表后所附公式计算（计算时取fy＝1.1f*）；

A——构件加固后的截面面积；

ηn——轴心受力加固构件强度降低系数，按第5.3.1条的规定采用；

f* ——钢材换算强度设计值，按第5.3.6条采用。

当构件有初始弯曲等损伤或非对称或形心位置改变的加固截面引起的附加偏心时，应按第5.3.4条加固的压弯构件计算其稳定。

5.3.4 加固实腹式压弯构件，弯矩作用在对称平面内的稳定性，应按下列规定计算：

（1）弯矩作用平面内的稳定性：

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x + N\omega_x}{r_x W_{1x}(1-0.8N/N_{Ex})} \leq \eta_{EM} f^* \qquad (5.3.4-11)$$

式中N——所计算构件段范围内轴心压力；

φx——弯矩作用平面内的轴心受力构件的稳定系数，按第5.3.3条规定采用；

Mx——所计算构件段范围内最大弯矩；

rx——截面塑性发展系数，对Ⅰ、Ⅱ类构件取rx＝1.0，对Ⅲ、Ⅳ类构件按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）表5.2.1采用；

Wlx——弯矩作用平面内较大受压纤维的毛截面抵抗矩；

ηEM——压弯加固构件的强度折减系数，按第5.3.2条规定采用；

ωx——构件对x轴的初始挠度ωo及焊接加固残余挠度ωw之和，ωw按第5.2.6条确定；

βmx——等效弯矩系数，按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第5.2.2条的规定采用；

f*——钢材换算强度设计值，按第5.3.6条规定采用。

NEx——欧拉临界力，按公式（5.3.4－2）计算；

$$N_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda_x^2} \qquad (5.3.4-2)$$

其中A——加固后构件的截面面积；

λx——加固后构件对截面x轴的长细比。对于轧制或组合成的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，除按公式（5.3.4－1）计算外，尚应按下式计算：

$$\frac{N}{A} - \frac{\beta_{mx} M_x + N\omega_x}{r_x W_{2x}(1-1.25N/N_{Ex})} \leq \eta_{EM} f^* \qquad (5.3.4-3)$$

式中W2x——对较小翼缘或腹板边缘的毛截面抵抗矩。

（2）弯矩作用平面外的稳定性：

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \frac{\beta_{tx} M_x + N\omega_x}{\varphi_b W_{1x}} \leq \eta_{EM} f^* \qquad (5.3.4-4)$$

式中N——构件所受轴心压力；

φy——弯矩作用平面外的轴心受压构件稳定系数，参照第5　3　3条规定采用；

A——加固后构件的截面面积；

φb——均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数,按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）附录一第（五）项规定计算（计算时取 fy＝1.1f*），对箱形截面可取φb＝1.4；

Mx——所计算构件段范围内最大弯矩；

βtx——等效弯矩系数，按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第 5.2.2 条第二项的规定采用；

ωx——构件对 x 轴的初始挠度ωox 与焊接残余挠度ωw 之和。

5.3.5 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，其稳定性按下列公式计算：

$$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x+N\omega_x}{\gamma_x W_{1x}(1-0.8N/N_{Ex})}+\frac{\beta_{my}M_y+N\omega_y}{\varphi_{by}W_{1y}}\leq\eta_{bxd}f^* \qquad (5.3.5-1)$$

$$\frac{N}{\varphi_y A}+\frac{\beta_{my}M_y+N\omega_y}{\gamma_y W_{1y}(1-0.8N/N_{Ey})}+\frac{\beta_{mx}M_x+N\omega_x}{\varphi_{bx}W_{1x}}\leq\eta_{bxd}f^* \qquad (5.3.5-2)$$

式中φx、φy——对强轴和弱轴的轴心受压构件稳定系数，参照第 5.3.3 条的规定确定；

φbx，φby——均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数；寸箱形截面取φbx＝φby＝1.4；对工字形截面，取φby＝1.0，φbx 可按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）附录一第（五）项规定计算（计算时取 fy＝1.1f*）；

Mx，My——所计算构件段范围内对强轴和弱轴的最大弯矩；

NEx，NEy——构件分别对 x 轴和 y 轴的欧拉临界力；

ωx——构件对 x 轴的初始挠度ωox 与焊接残余挠度ωwx 的和；

ωy——构件对 y 轴的初始挠度ωoy 与焊接残余挠度ωwy 之和；

W1x，W1y——对强轴和弱轴的毛截面抵抗矩；

βmx，βmy——等效弯矩系数，按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第 5.2.2 条一款的规定采用；

βtx，βty——等效弯矩系数，按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第 5.2.2 条二款的规定采用。

5.3.6 加固构件整体稳定计算时，钢材换算强度设计值可按下列规定采用：

当 fo≤fs≤1.15fo 时，取 f*＝fo；

当 1.15fo<fs 时，按式（5.3.6）计算确定：

$$f^*=\sqrt{\frac{(A_o f_o+A_s f_s)(I_o f_o+I_s f_s)}{(A_o+A_s)(I_o+I_s)}} \qquad (5.3.6)$$

式中 fo，fs——分别为构件原来用钢材和加固用钢材的强度设计值；

Ao，As——分别为加固构件原有截面和加固的截面面积；

Io，Is——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。

5.3.7 加固的格构式轴心受压构件，当无初弯曲且对称加固截面时，可按第 5.3.1 条规定计算其强度；按第 5.3.3 条规定计算其稳定性，但对虚轴的长细比应按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第 5.1.3 条计算取用换算长细比。

当构件有初始弯曲损伤或非对称加固截面引起的附加偏心（包括焊接残余挠度ωw）时，应根据损伤和附加偏心的实际情况,考虑为加固的格构式压弯构件，分别按第 5.3.8 条、第 5.3.9 条、第 5.3.10 条或第 5.3.11 条计算其稳定性。

5.3.8 仅有绕虚轴（X 轴）作用弯矩和初弯曲，附加偏心（ωx）的加固格构式压弯构件，其弯矩作用平面内的整体稳定性按下式计算：

$$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x+N\omega_x}{W_{1x}(1-\varphi_x N/N_{Ex})}\leq\eta_{EM}f^* \qquad (5.3.8)$$

Wlx＝Ix/yo，Ix 为加固后截面对 x 轴的毛截面惯性矩，yo 为由 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,二者取较大者；φx、NEx 由换算长细比确定，其它符号同公式（5.3.4－1）。

弯矩作用平面外的整体稳定性可不计算，但应计算分肢的稳定性。分肢的轴力可按桁架的弦杆，并考虑构件所受轴力、弯矩和弯曲损伤，附加偏心算得；对于缀板式构件的分肢尚应考虑由剪力引起的弯矩。

5.3.9 弯矩绕实轴作用，且无弯矩作用平面外的初始弯曲损伤、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与加固的实腹式压弯构件的相同，但在计算弯矩作用平面外的稳定性时，长细比应取换算长细比且φb 取 1.0。

5.3.10 弯矩作用在两个主平面和有双向初弯曲和附加偏心（ωw、ωy）的加固的双肢格构式压弯构件，其稳定性按以下规定计算：

（1）按整体计算：

$$\frac{N}{\varphi_x A}+\frac{\beta_{mx}M_x+N\omega_x}{W_{1x}(1-\varphi_x N/N_{Ex})}+\frac{\beta_{ty}M_y+N\omega_y}{W_{1y}}\leq\eta_{tx}f \qquad (5.3.10-1)$$

φx、NEx 按换算长细比并参照第 4.3.3 条中关于轴心受压稳定系数的规定确定，其它符号同公式（5.3.5－1）。

（2）按分肢计算：

在 N 和 My 作用下，将分肢作为桁架弦杆计算其轴心力，My 可按公式（5.3.10－2）和公式（5.3.10－3），分配给两肢（图 5.3.10）,然后按第 5.3.4 条的规定计算分肢的稳定性。

分肢 1：

$$M_{y1}=\frac{I_1/y_1}{I_1/y_1+I_2/y_2}M_y \qquad (5.3.10-2)$$

分肢 2：

$$M_{y2}=\frac{I_2/y_2}{I_1/y_1+I_2/y_2}M_y \qquad (5.3.10-3)$$

式中 I1，I2——分肢 1，分肢 2 对 y 轴的惯性矩；

y1，y2——My 作用的主轴平面至分肢 1、分肢 2 轴线的距离。

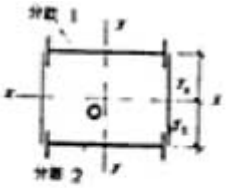


图 5.3.10 格构式构件截面

5.3.11 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《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第五章第四节有关规定验算局部稳定性。

5.4 构造与施工要求

5.4.1 加大截面加固结构构件时，应保证加固件与被加固件能够可靠地共同工作、断面的不变形和板件的稳定性，并且要可能施工。

加固件的切断位置应尽可能减小应力集中并保证未被加固处截面在设计荷载作用下处于弹性工作阶段。

5.4.2 在负荷下进行结构加固时，其加固工艺应保证被加固件的截面因焊接加热，附加钻、扩孔洞等所引起的削弱影响尽可能的小，为此必须制定详细的加固施工工艺过程和要求的技术条件，并据此按隐蔽工程进行施工验收。

5.4.3 在负荷下进行结构构件的加固，当｜σomax｜≥0.3fy，且采用焊接加固件加大截面法加固结构构件时,可将加固件与被加固件沿全长互相压紧；用长 20～30mm 的间断（300～500mm）焊缝定位焊接后，再由加固件端向内分区段（每段不大于 70mm）施焊所需要的连接焊缝，依次施焊区段焊缝应间歇 2～5min。对于截面有对称的成对焊缝时，应平行施焊；有多条焊缝时,应交错顺序施焊；对于两面有加固件的截面，应先施焊受拉侧的加固件，然后施焊受压侧的加固件；对一端为嵌固的受压杆件，应从嵌固端向另一端施焊，若其为受拉杆，则应从另一端向嵌固端施焊。

当采用螺栓（或铆钉）连接加固加大截面时，加固与被加固板件相互压紧后，应从加固件端向中间逐次做孔和安装拧紧螺栓（或铆钉），以便尽可能减少加固过程中截面的过大削弱。

5.4.4 加大截面法加固有两个以上构件的静不定结构（框架、连续梁等）时，应首先将全部加固与被加固构件压紧和点焊定位，然后从力最大构件依次连续地进行加固连接，并考虑第 5.4.2 条和第 5.4.3 条的规定。

6 连接的加固与加固件的连接

6.1 一般规定

6.1.1 钢结构加固连接方法，即焊缝、铆钉、普通螺栓和高强度螺栓连接方法的选择，应根据结构需要加固的原因、目的、受力状态、构造及施工条件，并考虑结构原有的连接方法确定。

6.1.2 在同一受力部位连接的加固中，不宜采用刚度相差较大的，如焊缝与铆钉或普通螺栓共同受力的混合连接方法，但仅考虑其中刚度较大的连接（如焊缝）承受全部作用力时除外。如有根据可采用焊缝和摩擦型高强螺栓共同受力的混合连接。

6.1.3 加固连接所用材料应与结构钢材和原有连接材料的性质匹配,其技术指标和强度设计值应符合《钢结构设计规范》（GBJ17－88）中第 2.0.5 条、第 3.2.1 条和第 3.2.2 条的规定。

6.1.4 负荷下连接的加固，尤其是采用端焊缝或螺栓的加固而需要折除原有连接，和扩大、增加钉孔时，必须采取合理的施工工艺和安全措施，并作核算以保证结构（包括连接）在加固负荷下具有足够的承载力。

.2 焊缝连接的加固

6.2.1 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办法实现。

6.2.2 新增加固角焊缝的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。计算时应对焊缝的受力重新进行分析并考虑加固前后的焊缝的共同工作、受力状态的改变以及 6.2.5 条和 6.2.6 条的规定。

6.2.3 负荷下用焊缝加固结构时，应尽量避免采用长度垂直于受力方向的横向焊缝，否则应采取专门的技术措施和施焊工艺，以确保结构施工时的安全。

6.2.4 负荷下用增加非横向焊缝长度的办法加固焊缝连接时，原有焊缝中的应力不得超过该焊缝的强度设计值，加固处及其邻区段结构的最大初始名义应力σomax 不得超过 5.1.4 条的规定。焊缝施焊时采用的焊条直径不大于 4mm；焊接电流不超过 220A；每焊道的焊脚尺寸不大于 4mm；前一焊道温度冷却至 100℃以下后，方可施焊下一焊道；对于长度小于 200mm 的焊缝增加长度时,首焊道应从原焊缝端点以外至少 20mm 处开始补焊，加固前后焊缝可考虑共同受力，按 6.2.6 条规定进行强度计算。

6.2.5 负荷下用堆焊增加角焊缝有效厚度的办法加固焊缝连接时，应按下式计算和限制焊缝应力：

$$\sqrt{\sigma_f^2+\tau_f^2}\leq\eta_f f_f^w \qquad (6.2.5)$$

式中σf，τf——分别为角焊缝有效面积（heLw）计算的垂直于焊缝长度方向的应力和沿焊缝长度方向的剪应力；

η——焊缝强度影响系数，可按表 6.2.5 采用。

焊缝强度影响系数ηf　　表 6.2.5

加固焊缝总长度（mm）	≥600	300	200	100	50	≤30
ηf	1.0	0.9	0.8	0.65	0.25	0

6.2.6 加固后直角角焊缝的强度按下列公式计算，并可考虑新增和原有焊缝的共同受力作用：

6.2.6.1 在通过焊缝形心的拉力、压力或剪力作用下：

当力垂直于焊缝长度方向时

$$\sigma_f=\frac{N}{h_e L_w}\leq f_f^w \qquad (6.2.6-1)$$

当力平行于焊缝长度方向时

$$\tau_f=\frac{V}{h_e L_w}\leq 0.85 f_f^w \qquad (6.2.6-2)$$

6.2.6.2 在各种力综合作用下，σf和τf共同作用处：

$$\sqrt{\sigma_f^2+\tau_f^2}\leq 0.95 f_f^w \qquad (6.2.6-3)$$

在公式（6.2.6－1）至公式（6.2.6－3）中：

σf——按角焊缝有效截面（heLw）计算，垂直于焊缝长度方向的应力；

τf——按角焊缝有效截面计算，沿焊缝长度方向的剪应力；

he——角焊缝的有效厚度，对于直角角焊缝等于 0.7hf，hf 为较小焊脚尺寸；

Lw——角焊缝的计算长度，对每条焊缝其实际长度减去 10mm；

fwf——角焊缝的强度设计值，根据加固结构原有和加固用钢材强度较低的钢材，按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）表 3.2.1－4 确定。

6.2.7 当仅用增加焊缝长度，有效厚度或两者共同的办法不能满足连接加固的要求时，可采用附加连接板（图 6.2.7 的办法,附加连接板可以用角焊缝与基本构件相连（图 6.27a）；也可用附加节点板与原节点板对接（图 6.2.7b、c），不论采用何种方法，都需进行连接的受力分析并保证连接（包括焊缝及附加板件、节点板等）能够承受各种可能的作用力。

6.3 螺栓和铆钉连接的加固

6.3.1 螺栓或铆钉需要更换或新增加固其连接时，应首先考虑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、扩大钉孔时,除应设计计算结构原有和加固连接件的承载能力外,还必须校核板件的净截面面积的强度。

6.3.2 当用摩擦型高强度螺栓部分地更换结构连接的铆钉，从而组成高强度螺栓和铆钉的混合连接时，应考虑原有铆钉连接的受力状况，为保证连接受力的匀称，宜将缺损铆钉和与其相对应布置的非缺损铆钉一并更换。

6.3.3 当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 1～3mm 的高强度螺栓，但其承载力必须满足加固设计计算的要求。

6.3.4 用摩擦型高强度螺栓加固铆钉连接的混合，可考虑两种连接的共同受力工作，但高强度螺栓的承载力设计值可按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第 7.21 条至第 7.2.5 条的有关规定计算确定。

6.3.5 用焊缝连接加固螺栓或铆钉连接时，应按焊缝承受全部作用力设计计算其连接，不考虑焊缝与原有连接件的共同工作，且不宜拆除原有连接件。

6.4 加固件的连接

6.4.1 为加固结构而增设的板件（加固件），除须有足够的设计承载能力和刚度外，还必须与被加固结构有可靠的连接以保证二者良好的共同工作。

6.4.2 加固件与被加固结构间的连接，应根据设计受力要求经计 算并考虑构造和施工条件确定。对于轴心受力构件，可根据公式 6.4.2）计算；对于受弯构件，应根据可能的最大设计剪力计算；对于压弯构件，可根据以上二者中的较大值计算。

对于仅用增设中间支承构件（点）来减少受压构件自由长度加固时，支承杆件（点）与加固构件间连接受力，可按公式 6.4.2 计算，其中 A 取原构件的截面面积：

$$V=\frac{A_t f}{50}\sqrt{f_y/235} \qquad (6.4.2)$$

式中 At——构件加固后的总截面面积；

f——构件钢材强度设计值，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；

fy——钢材的屈服强度，当加固件与被加固件钢材强度不同时，取较高钢材强度的值。

6.4.3 加固件的焊缝、螺栓、铆钉等连接的计算可按《钢结构设计规范》(GBJ17－88)第 7.1.1 条至第 7.1.4 条和第 7.2.1 条至第 7.2.3 条的规定进行，但计算时，对角焊缝强度设计值应乘以 0.85，其它强度设计值或承载力设计值应乘以 0.95 的折减系数。

6.5 构造与施工要求

6.5.1 焊缝连接加固时，新增焊缝应尽可能地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；应该力求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。

6.5.2 对用双角钢与节点板角焊缝连接加固焊接时（如图 6.5.2），应先从一角钢一端的肢尖端头 1 开始施焊，继而施焊同一角钢另一端 2 的肢尖焊缝，再按上述顺序和方法施焊角钢的肢背焊缝 3、4 以及另一角钢的焊缝 5、6、7、8。

6.5.3 用盖板加固受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，尽可能地减少应力集中和焊接残余应力。

6.5.4 摩擦型高强度螺栓连接的板件连接接触面处理应按设计要求和《钢结构设计规范》及《钢结构工程施工及验收规范》的规定进行，当不能满足要求时，应征得设计人同意，进行摩擦面的抗滑移系数试验，以便确定是否需要修改加固连接的设计计算。

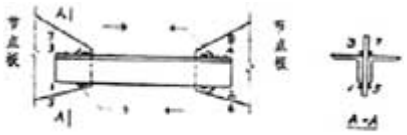


图 6.5.2

6.5.5 结构的焊接加固，必须由有效高焊接技术级别的焊工施焊；施焊镇静钢板的厚度不大于 30mm 时，环境空气温度不应低于－15℃，当厚度超过 30mm 时，温度不应低于 0℃，当施焊沸腾钢板时，应高于 5℃。

7 裂纹的修复与加固

7.1 一般规定

7.1.1 结构因荷载反复作用及材料选择、构造、制造、施工安装不当等产生具有扩展性或脆断倾向性裂纹损伤时，应设法修复。在修复前，必须分析产生裂纹的原因及其影响的严重性，有针对性地采取改善结构实际工作或进行加固的措施，对不宜采用修复加固的构件，应予拆除更换。在对裂纹构件修复加固设计时，应按《钢结构设计规范》（GBJ17－88）第 6.2.1 条至 6.2.3 条规定进行疲劳验算，必要时应专门研究，

进行抗脆断计算。

7.1.2 为提高结构的抗脆性断裂和疲劳破坏的性能，在结构加固的构造设计和制造工艺方面应遵循下列原则：降低应力集中程度，避免和减少各类加工缺陷，选择不产生较大残余拉应力的制作工艺和构造形式，以及采用厚度尽可能小的轧制板件等。

7.1.3 在结构构件上发现裂纹时，作为临时应急措施之一，可于板件裂纹端外（0.5～1.0）t（t 为板件厚）处钻孔（图 7.1.3）,以防止其进一步急剧扩展，并及时根据裂纹性质及扩展倾向再采取恰当措施修复加固。

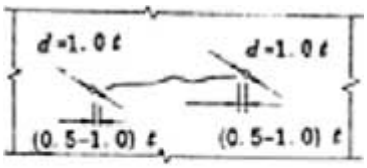


图 7.1.3 裂纹两端钻止裂孔

7.2 修复裂纹的方法

7.2.1 修复裂纹时应优先采用焊接方法，一般按下述顺序进行：

7.2.1.1 清洗裂纹两边 80mm 以上范围内板面油污至露出洁净的金属面；

7.2.1.2 用碳弧气刨、风铲或砂轮将裂纹边缘加工出坡口，直达纹端的钻孔，坡口的形式应根据板厚和施工条件按现行《气焊、手工电弧焊及气体保护等焊缝坡口的基本型式与尺寸》的要求选用；

7.2.1.3 将裂纹两侧及端部金属预热至 100℃～150℃，并在焊接过程中保持此温度；

7.2.1.4 用与钢材相匹配的低氢型焊条或超低氢型焊条施焊；

7.2.1.5 尽可能用小直径焊条以分段分层逆向焊施焊，焊接顺序参见图 7.2.1，每一焊道焊完后宜即进行锤击；

7.2.1.6 按设计要求检查焊缝质量；

7.2.1.7 对承受动力荷载的构件，堵焊后其表面应磨光，使之与原构件表面齐平，磨削痕迹线应大体与裂纹切线方向垂直；

7.2.1.8 对重要结构或厚板构件，堵焊后应立即进行退火处理。

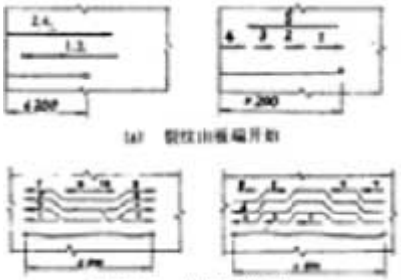


图 7.2.1 堵焊焊道顺序

7.2.2 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，宜采用嵌板修补，修补顺序为：

7.2.2.1 检查确定缺陷的范围；

7.2.2.2. 将缺陷部位切除，宜切带圆角的矩形孔，切除部分的尺寸均应比缺陷范围的尺寸大 100mm（图 7.2.2a）；

7.2.2.3 用等厚度同材质的嵌板嵌入切除部位，嵌入板的长宽边缘与切除孔间二个边应留有 2～4mm 的

间隙，并将其边缘加工成对接焊缝要求的坡口形式；

7.2.2.4 嵌板定位后，将孔口四角区域预热至 100℃～150℃，并按图 7.2.2b 所示顺序采用分段分层逆向焊法施焊；

7.2.2.5 检查焊缝质量，打磨焊缝余高，使之与原构件表面齐平。

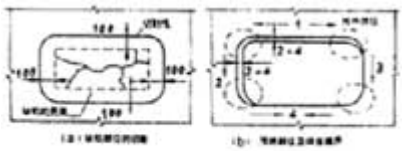


图 7.2.2 缺陷切除后的修补

7.2.3 用附加盖板修补裂纹时，一般宜采用双层盖板，此时裂纹两端仍须钻孔。当盖板用焊接连接时，应设法将加固盖板压紧，其厚度与原板等厚，焊脚尺寸等于板厚，盖板的尺寸和焊接顺序可参照第 7.2.2 条执行。当用摩擦型高强度螺栓连接时,在裂纹的每侧用双排螺栓，盖板宽度以能布置螺栓为宜，盖板长度每边应超出纹端 150mm。

7.2.4 当吊车梁腹板上部出现裂纹时，应检查和先采取必要措施如调整轨道偏心等，再按 7.2.1 修补裂纹,此外尚应根据裂纹的严重程度和吊车工作制类别分别参照选用图 7.24 中的加固措施。

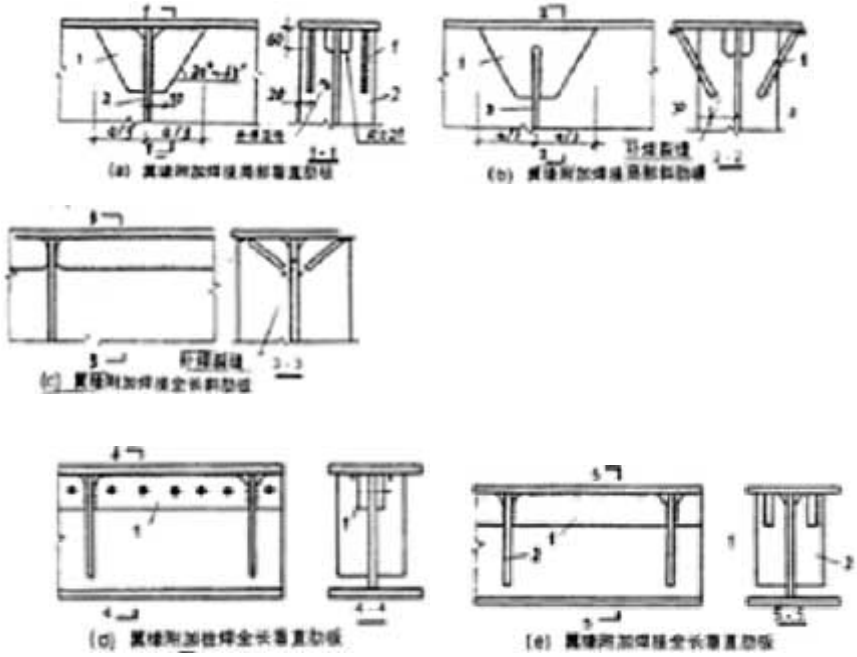


图 7.2.4 吊车梁加固方案注：1－附加肋；2－原有肋

8 施工安全与工程验收

8.1 施工安全

8.1.1 钢结构加固工作开始前，应按设计要求采取卸荷或支顶措施，确保施工安全。

8.1.2 钢结构加固时，必须保证结构的稳定，应事先检查各连接点是否牢固，必要时可先加固连接点或增设临时以撑，待加固完毕后再行拆除。

8.1.3 托梁换柱施工过程中应采取下列安全措施：

8.1.3.1 检查和加设支撑应确保顶升时屋架的稳定；

8.1.3.2 顶升屋盖结构时，全部千斤顶应同步工作；

8.1.3.3 顶起屋架后，拆柱安装托架过程中，应设置防止千斤顶回落的安全装置（图 8.1.3）；

8.1.3.4 应采取措施保证顶升后临时支柱的侧向稳定。

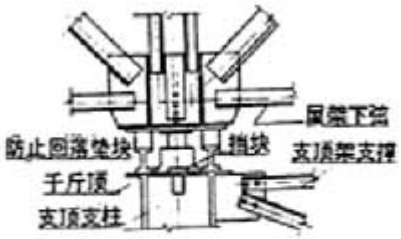


图 8.1.3 防止回落装置

8.1.4 对于钢结构加固工程施工时的安全技术、劳动保护、防火防爆等，必须符合有关规定。

8.2 工程验收

8.2.1 钢结构加固工程的验收，除应满足本标准的规定外，尚应符合《钢结构施工及验收规范》及其它有关规范的要求。

8.2.2 钢结构加固工程的竣工验收，应在全部加固施工完毕后进行。当设有卸荷装置时，应在卸荷装置拆除以后再进行。

8.2.3 对原材料、半成品的质量标准和检验、实验方法，凡本标准有规定者，应按本标准执行；如本标准无规定者，应按有关的现行国家或部颁标准执行。

8.2.4 钢结构加固工程验收，应提供下列文件备查和归档：

8.2.4.1 委托任务书及加固过程有关协议文件；

8.2.4.2 可靠性鉴定报告及有关文件；

8.2.4.3 钢结构施工图、加固设计及修改设计等有关文件；

8.2.4.4 加固所用钢材、连接材料（焊接材料及紧固件）、油漆等材料的质量证明书或试验报告；

8.2.4.5 焊缝外观质量检查及无损探伤报告；

8.2.4.6 设计要求的其它相关资料；

8.2.4.7 钢结构加固工程的竣工验收报告。

8.2.5 采用托梁换柱加固方法时，相邻柱的偏移、基础沉降、屋架倾斜等不得超过现行有关规范的规定。

8.2.6 经质量检验或试验，加固工程的质量满足本标准及现行有关规范的规定时，方能认可验收。

附录 A 构件的截面加固形式（参考图）

A.0.1 受拉构件的截面加固可采用图 A.0.1 中的形式或其它形式。

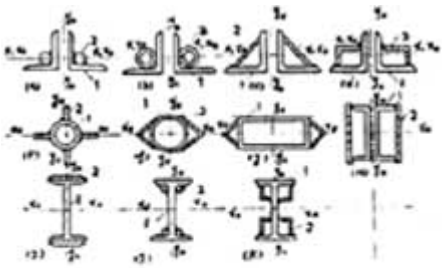


图 A.0.1 受拉构件的截面加固形式
1—原截面；2—增加截面

A.0.2 受压构件的截面加固可采用图 A.0.2 中的形式或其它形式

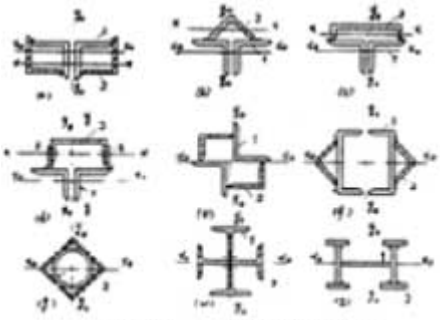


图 A.0.2 受压构件的截面加固形式

1—原截面；2—增加截面；3—辅助板件

A.0.3 受弯构件的截面加固可采用图 A.0.3 中的形式或其它形式。

图 A.0.3 受弯构件的截面加固形式

1—原截面；2—增加截面

A.0.4 偏心受力构件的截面加固可采用图 A.0.4 中的形式或其它形式。

附录 B 本规范用词说明

B.0.1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

B.0.1.1 表示很严格，非这样做不可的：

（1）正面词采用“必须”；

（2）反面词采用“严禁”。

B.0.1.2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

（1）正面词采用“应”；

（2）反面词采用“不应”或“不得”。

B.0.1.3 表示不允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：

（1）正面词采用“宜”或“可”；

（2）反面词采用“不宜”

B.0.2 条文中规定应按其它有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

附加说明 本规范主编单位、参加单位和主要起草人名单

主编单位：清华大学土木工程系

副主编单位：四川省建筑科学研究院

参加单位：冶金部建筑研究总院钢结构所、首钢设计总院

主要起草人：李少甫、张宽权、何文汇、卢晖麓