

建筑结构设计指导与实例精选系列丛书

钢结构设计 指导与实例精选

周绪红 主编

GANGJIEGOU SHEJI
ZHIDAO YU SHILI JINGXUAN

中国建筑工业出版社

TU391.04/25

2008

建筑结构设计指导与实例精选系列丛书

钢结构设计指导与实例精选

周绪红 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构设计指导与实例精选/周绪红主编. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2007

(建筑设计指导与实例精选系列丛书)

ISBN 978-7-112-09613-8

I. 钢… II. 周… III. 钢结构-结构设计 IV. TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 159541 号

本书通过钢结构工程设计实例, 全面介绍了钢结构基本理论、钢结构设计规范与规程的应用, 以及钢结构设计的具体步骤与设计方法。全书共分 6 章, 内容包括: 钢结构的连接设计与构件设计、钢屋盖结构设计、门式刚架轻型钢结构设计、多层与高层钢结构设计、大跨房屋钢结构设计。

本书的主要读者是从事钢结构设计、制作与安装的工程技术人员, 也可供高等院校土建专业的师生、注册结构工程师考试人员参考。

* * *

责任编辑: 咸大庆 郭 栋

责任设计: 董建平

责任校对: 刘 钰 王 爽

建筑设计指导与实例精选系列丛书

钢结构设计指导与实例精选

周绪红 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 28½ 字数: 689 千字

2008 年 3 月第一版 2008 年 3 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 59.00 元

ISBN 978-7-112-09613-8

(16277)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

建筑结构设计指导与实例精选系列丛书

编 委 会

主任 徐 建

编委 李国胜 张维斌 周绪红 徐 建

孙惠镐 聂建国 咸大庆

出版说明

建筑工程设计和标准应用过程中，会有许多问题需要进一步解释或商榷，为此中国建筑工业出版社组织国内有关设计单位和高等院校的工程技术人员编写了这套丛书。其目的是帮助工程设计人员能够正确使用国家有关标准和规范，并对工程设计中常见问题进行指导。

本系列丛书编写的特点是：“力求实用、重在指导、清晰简捷、结合实际”。本书除了阐述设计方法外，还附有大量的工程实例，对于工程设计人员正确理解规范、掌握设计的基本原理和方法具有积极的作用。

系列丛书包括：混凝土结构、钢结构、砌体结构、地基与基础、钢与混凝土组合结构的设计指导与实例精选，随着工程设计人员的需要，我们将对系列丛书不断地进行扩充。

丛书编委会

前 言

近年来,随着我国建筑用钢政策的调整和钢材产量的快速增加,钢结构工程应用越来越广泛,高层、大跨、轻型钢结构工程如雨后春笋般在全国涌现。为了帮助工程技术人员更好地掌握钢结构设计、理解钢结构规范与规程条文的应用,编写了本书。本书的读者对象主要是从事钢结构设计、制作与安装的工程技术人员,也可供高等院校土建专业的师生、注册结构工程师考试人员参考。

本书通过钢结构工程设计实例,全面介绍了钢结构设计理论、钢结构设计规范与规程的应用以及钢结构设计的具体步骤与设计方法。内容上精简了基本理论部分,以指导设计为主。各章内容相对独立,以介绍构件连接设计、构件截面设计以及屋盖、高层、大跨、轻型钢结构的组成、结构形式、受力特点 and 设计方法为主。全书共分6章,内容包括:钢结构的连接设计、钢结构构件设计、钢屋盖结构设计、门式刚架轻型钢结构设计、多层与高层钢结构设计、大跨房屋钢结构设计。参加本书编写的人员有:长安大学狄谨副教授(第一章)、郑宏教授(第二章)、卢林枫副教授(第五章),湖南大学贺拥军教授(第六章、第五章)、莫涛博士(第三章),兰州大学周绪红教授(第四章、第五章)。全书由周绪红教授统稿并担任主编。

本书在编写过程中,浙江杭萧钢构股份有限公司魏潮文教授提供了门式刚架设计实例,兰州大学刘占科硕士复核了部分设计实例,本书编写时引用了大量的参考文献。在此,对魏潮文、刘占科以及所有参考文献作者表示衷心的感谢。

由于作者的钢结构理论水平和工程实践经验有限,书中难免有不妥之处,恳请各位读者批评指正。

周绪红

目 录

第一章 钢结构的连接设计	1
第一节 钢结构的连接方法.....	1
第二节 焊接方法和焊接形式.....	3
第三节 对接焊缝设计.....	5
第四节 角焊缝设计	12
第五节 螺栓连接的构造	24
第六节 普通螺栓连接设计	25
第七节 高强度螺栓连接设计	34
第二章 钢结构构件的设计	41
第一节 轴心受力构件的设计	41
第二节 受弯构件的设计	56
第三节 拉弯和压弯构件的设计	83
第四节 梁柱连接和柱脚设计	94
第三章 钢屋盖结构设计	106
第一节 屋盖结构的布置.....	106
第二节 屋盖的支撑体系.....	108
第三节 檩条设计.....	112
第四节 天窗架设计.....	117
第五节 普通钢屋架设计实例.....	129
第六节 轻型钢屋架设计.....	155
第七节 钢管屋架设计实例.....	164
第四章 门式刚架轻型钢结构设计	196
第一节 门式刚架轻型钢结构的组成及布置.....	196
第二节 门式刚架轻型钢结构的计算特点.....	199
第三节 门式刚架梁与柱的截面验算.....	210
第四节 连接和节点设计.....	216
第五节 门式刚架设计实例.....	222
第五章 多层与高层钢结构设计	258
第一节 多、高层钢结构的特点.....	258
第二节 多、高层钢结构的结构体系及其应用范围.....	260
第三节 结构的平面和立面布置原则.....	268
第四节 结构的内力分析特点.....	271
第五节 高层钢结构抗震和抗风设计特点.....	278

第六节 高层钢框架结构与钢框架-支撑结构的设计特点 284

第七节 高层钢结构的设计实例..... 293

第六章 大跨房屋钢结构设计..... 328

第一节 大跨房屋钢结构的体系及应用..... 328

第二节 网架结构的设计..... 337

第三节 悬索结构设计..... 386

附录一 型钢表..... 435

附录二 各种截面回转半径的近似值..... 443

附录三 螺栓有效截面积和规格..... 445

主要参考文献..... 446

第一章 钢结构的连接设计

第一节 钢结构的连接方法

钢结构的基本构件如梁、柱、桁架等，是由钢板、型钢等连接而成，构件则通过安装连接成整体结构。连接在钢结构中举足轻重，直接影响到钢结构的制造、安装、经济指标以及使用性能。一般钢结构的连接方式可分为焊接连接、螺栓连接和铆钉连接三种（如图 1-1 所示）。连接的设计应符合安全可靠、传力明确、构造简单、制造方便以及节约钢材的原则。

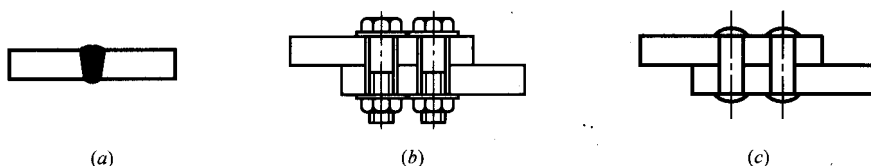


图 1-1 钢结构的连接方法
(a) 焊缝连接；(b) 螺栓连接；(c) 铆钉连接

一、焊缝连接

焊缝连接是以手工电弧焊或自动、半自动埋弧焊接作为连接手段并用金属焊条或焊丝作为材料将钢构件和部件连接成整体的方法。其优点是不需要附加连接板，也不需要钢材上开孔，截面不会受到削弱，构造简单，施工方便；节省钢材；易于采用自动化操作，生产效率高。

焊接连接的缺点是在焊缝附近的热影响区内，钢材的金相组织和力学性能发生变化，导致材料局部变脆。焊接过程中钢材受到不均匀的高温 and 冷却，产生焊接残余应力和残余变形，使受压构件的承载能力和刚度降低，并且影响结构的使用性能。由于焊缝缺陷的影响，与螺栓连接和铆钉连接相比较，焊缝连接的塑性和韧性较差，脆性较大；而且焊接结构对裂纹很敏感，低温冷脆问题较突出。此外，焊缝质量易受材料和操作人员熟练程度的影响。但这些缺点都可以采用科学合理的焊接工艺来解决。

二、螺栓连接

螺栓连接分为普通螺栓连接和高强度螺栓连接两种。

(一) 普通螺栓连接

普通螺栓分为 A、B、C 三级，其中 A、B 级为精制螺栓，C 级为粗制螺栓。A、B 级精制螺栓的杆身在车床上加工制成，表面光滑，尺寸精确；螺栓孔是在装配好的构件上钻

成或用钻模钻成（称为Ⅰ类孔），孔壁光滑，对孔准确，螺栓孔径与螺栓杆径相等（螺栓杆径仅允许负公差，螺栓孔径仅允许正公差）。A级螺栓用于 $d \leq 24\text{mm}$ 、 $l \leq 150\text{mm}$ 和 $10d$ 的螺栓（ d 、 l 分别为螺杆的公称直径与长度）；B级螺栓用于杆径 $d \geq 24\text{mm}$ 、杆长 $l \geq 150\text{mm}$ 和 $10d$ 的螺栓。按国家有关标准规定，螺栓的性能统一用材料性能等级来表示。A、B级螺栓材料性能等级为5.6级或8.8级。小数点前的数字，如“5”表示其抗拉强度不小于 500N/mm^2 ，小数点后的数字，如“0.6”表示螺栓材料的屈强比（屈服强度与抗拉强度的比值）为0.6。C级粗制螺栓由未加工的圆钢制成，杆身粗糙，螺栓孔是在单个零件上一次冲成或不用钻模钻成（称为Ⅱ类孔），螺栓孔的直径比螺栓杆直径大 $1.5 \sim 3\text{mm}$ 。C级螺栓材料性能等级为4.6级或4.8级。

A、B级螺栓的螺杆与孔壁之间的间隙小，故受剪性能好，连接变形小，抗疲劳性能较好，但制造与安装都较费工，价格较贵，故较少采用，主要用作直接承受较大动力荷载的重要结构的受剪螺栓，但目前也已被摩擦型连接的高强度螺栓所取代。C级螺栓受剪性能较差，剪切滑移变形较大，但安装方便，且能有效地传递拉力，故一般用于承受拉力的螺栓连接、次要结构或安装时的临时连接。

（二）高强度螺栓连接

高强度螺栓连接有两种类型：一种是只依靠构件接触面摩擦力传递剪力，并以剪力不超过摩擦力作为设计准则，称为摩擦型连接；另一种如普通螺栓一样，允许接触面滑移，以螺栓剪切或孔壁承压破坏为极限承载力的设计准则，称为承压型连接。前者的螺栓孔径比螺栓杆的直径大 $1.5 \sim 2.0\text{mm}$ ，后者的螺栓孔径比螺栓杆的直径大 $1.0 \sim 1.5\text{mm}$ 。高强度螺栓摩擦型连接因不发生相对滑移，因而剪切变形小，刚度和整体性好，传力可靠，耐疲劳，特别适用于承受动力荷载的结构；承压型连接的承载力高于摩擦型连接，连接紧凑，但剪切变形大，故不能用于承受动力荷载的结构中。

高强度螺栓一般采用45号钢、40B钢和20MnTiB钢加工而成，经热处理后，螺栓抗拉强度应分别不低于 800N/mm^2 和 1000N/mm^2 ，且屈强比分别为0.8和0.9，即前者的性能等级为8.8级，后者的性能等级为10.9级。

高强度螺栓连接保持了普通螺栓连接安装方便和可拆卸的优点，但在材料、扳手、制造和安装方面有一些特殊技术要求，价格也较贵。高强度螺栓相对于铆接而言有更多的优点：高强度螺栓的安装比铆钉操作简单、迅速，便于施工；连接更紧密，不易松动；因靠摩擦力传递剪力，在孔壁应力集中小，故疲劳性能好；单个高强度螺栓的容许承载力比铆钉高得多，因此传递同样大小的力所需高强螺栓数目比铆钉少，其拼接板或节点板尺寸也小，节省了钢材。与焊接相比较，螺栓连接的缺点是需要开孔，削弱构件截面，并增加了制造工作量。此外被连接的构件还需要拼接板、角钢等附加连接件，增加了材料用量。

三、铆钉连接

铆钉连接需要先开孔，用预热的铆钉进行铆合。铆钉连接的塑性、韧性和整体性较好，连接变形小，传力可靠，抗疲劳性能好，特别适用于承受动力荷载的结构。但铆钉连接构造复杂、用钢量大、施工工期长，因此目前已被焊缝连接和高强度螺栓连接所替代。

第二节 焊接方法和焊接形式

一、钢结构的焊接方法

钢结构的焊接方法很多，如电弧焊、电渣焊和电阻焊，其中主要采用电弧焊。电弧焊又分为手工电弧焊、埋弧焊以及气体保护焊。

(一) 手工电弧焊

手工电弧焊是最常用的一种焊接方法。其原理是将包有药皮的焊条和焊件分别作为电源的两极形成电弧，电弧的高温可达 3000°C 。在高温作用下，电弧周围的金属熔化成液态，形成熔池，同时焊条中的焊丝熔化进入熔池中，与焊件的熔融金属相互结合，冷却后形成焊缝。焊条药皮则在焊接过程中产生气体以保护电弧和熔化金属，并形成焊渣覆盖在焊缝表面，以防止氧、氮等有害气体与熔化金属结合形成脆性化合物。

手工电弧焊的设备简单、操作方便，适用范围大，但其生产效率低、劳动强度大，焊接质量在很大程度上取决于施焊者的熟练程度和工作状态。

手工电弧焊应选用与焊接构件钢材的强度相适应、焊缝的塑性及冲击韧性较高、抗裂性较好的焊条型号。对于 Q235 钢采用 E43 型焊条 (E4300~E4328)，对 Q345 钢采用 E50 型焊条 (E5001~E5048)，对 Q390 钢和 Q420 钢采用 E55 焊条 (E5500~E5518)。其中 E 表示焊条，型号中的前两位数字表示焊条熔敷金属的最小抗拉强度，以 43、50、55 kgf/mm^2 计，第 3、4 位数字表示适用焊接位置、药皮类型和适用的焊接电源要求（如交、直流和正、反接要求）。

(二) 埋弧焊

埋弧焊是电弧在焊剂层下燃烧的一种电弧焊。焊丝进入和电弧按焊接方向的移动由专门设备控制完成的称为埋弧自动电弧焊；焊丝进入由专门设备控制，而电弧按焊接方向的移动靠人工操作完成的称为埋弧半自动电弧焊。埋弧焊所采用的焊丝和焊剂应与焊件钢材相匹配，应符合国家现行焊接用焊丝标准的规定。如对 Q235 钢常用 H08A 焊丝配合高锰高硅型焊剂，对 Q345 钢和 Q390 钢常用 H08MnA、H10Mn2 焊丝。

埋弧焊的优点是工艺条件稳定、与大气隔离保护效果好、电弧热量集中且焊接速度较高，减小了热影响区的范围；熔深大、焊缝的化学成分均匀；焊缝质量好、塑性和韧性较高，生产效率高。但埋弧焊对焊件边缘的装配精度要求比手工焊高。

(三) 气体保护焊

气体保护焊是利用二氧化碳 (CO_2) 气体或其他惰性气体作为保护介质的一种电弧熔焊方法，依靠保护气体在电弧周围形成局部的隔离区，以防止有害气体的侵入，保证了焊接过程的稳定性。

气体保护焊的优点是电弧热量集中，焊接速度快，焊件熔深大，热影响区较小，焊接变形较小；由于焊缝熔化区不产生焊渣，焊接过程中能清楚地看到焊缝成型的全过程；气体保护焊所形成的焊缝强度比手工电弧焊高，塑性和抗腐蚀性较好，特别适用于厚钢板或厚度 100mm 以上的特厚钢板的连接。其缺点是设备较复杂，不适用野外或风较大的地方施焊。

二、焊缝连接的形式

焊缝连接形式可按构件相对位置、构造和施焊位置来划分。按构件的相对位置可分为对接、搭接、T形连接和角部连接等类型（图 1-2）。

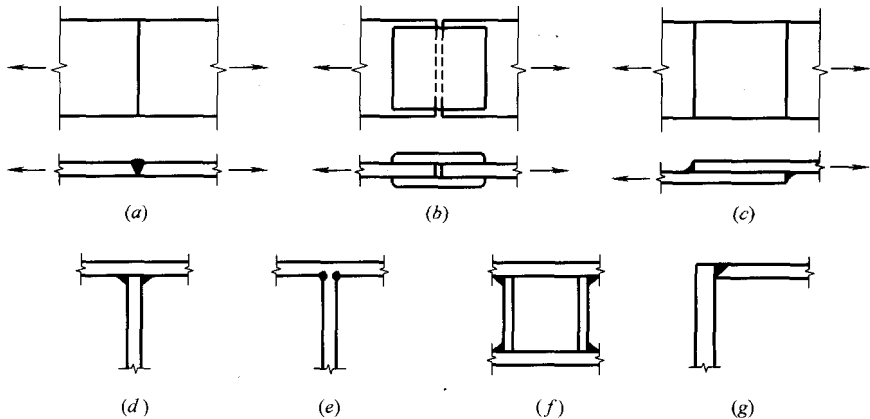


图 1-2 焊缝连接的形式

(a) 对接连接；(b) 用拼接盖板的对接连接；(c) 搭接连接；(d)、(e) T 形连接；(f)、(g) 角部连接

焊缝按构造可分为对接焊缝和角焊缝两种形式。图 1-2 (a) 所示对接连接采用对接焊缝，特点是用料省，传力平顺，应力集中小，疲劳强度高，承受动力荷载性能好；但截面要坡口，对被连接两板的间隙和坡口尺寸有严格要求，制造较费工。图 1-2 (b) 所示对接连接采用角焊缝与盖板拼接，所连接两板的间隙大小无需严格控制，制造简单；但用料费，通过盖板传力，应力集中现象较明显，故疲劳强度低。图 1-2 (c) 所示采用角焊缝搭接连接，其特点与图 1-2 (b) 相同，但由于施工更简单，故应用最广。图 1-2 (d) 和图 1-2 (f) 为采用角焊缝的 T 形连接，加工简单，但腹板焊不透，受力性能稍差。而图 1-2 (e) 和图 1-2 (g) 的 T 形连接采用 K 形坡口对接焊缝，可使连接部位焊透，因此疲劳强度高。

焊缝按施焊位置可分为俯焊（又称平焊）、立焊、横焊和仰焊等（图 1-3）。俯焊施焊方便、焊缝质量容易得到保证，应尽量采用。立焊和横焊因施焊较困难，焊缝质量和焊接效率均较俯焊低。仰焊施焊最为困难，焊缝质量不易得到保证，尽量避免仰焊。

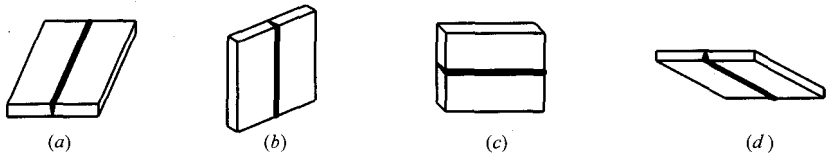


图 1-3 焊缝的施焊位置

(a) 俯焊；(b) 立焊；(c) 横焊；(d) 仰焊

三、焊缝连接的缺陷及质量检验

在焊接过程中，焊缝金属或邻近热影响区钢材表面或内部常存在缺陷。常见的缺陷有

裂纹、焊瘤、烧穿、弧坑、气孔、夹渣、咬边、未熔合、未焊透以及焊缝外形尺寸不符合要求、焊缝成形不良等。缺陷的存在将削弱焊缝的受力面积和在缺陷处引起应力集中，故对连接的强度、塑性和冲击韧性等受力性能产生不利影响，其中裂纹的危害最大，它会导致产生严重的应力集中并易于扩展引起断裂。因此，必须对焊缝的质量按连接的受力性能和所处部位进行分级检验。

焊缝质量检验的方法一般可采用外观检查 and 无损检验。前者主要检查焊缝的外观缺陷和几何尺寸，后者主要检查焊缝的内部缺陷。无损检验的方法有超声波检验、X 射线以及 γ 射线检验等，其中超声波检验目前采用最为广泛，使用灵活、对内部缺陷反应灵敏，但不易识别缺陷性质；有时还用磁粉检验、荧光检验等简单的方法作为辅助。焊缝的质量要求可分为一级、二级和三级。三级焊缝只要求对焊缝作外观检查并应符合三级质量标准；二级、一级焊缝则除外观检查外，还要求一定数量的超声波检验并应符合相应级别的质量标准；当超声波探伤不能对缺陷作出判断时，应采用射线探伤。

焊缝应根据结构的重要性、荷载性质、焊缝形式、工作环境以及应力状态等选用不同的质量等级，其要求如下：

1. 在需要进行疲劳计算的构件中，凡对接焊缝均应焊透，其质量等级为：

(1) 作用力垂直焊缝长度方向的横向对接焊缝或 T 形对接与角接组合焊缝，受拉时应为一级，受压时应为二级；

(2) 作用力平行于焊缝长度方向的纵向对接焊缝应为二级。

2. 不需要计算疲劳的构件中，凡要求与母材等强的对接焊缝应予焊透，其质量等级当受拉时不低于二级，受压时宜为二级。

3. 重级工作制和起重量 $Q \geq 50t$ 的中级工作制吊车梁的腹板与上翼缘之间以及吊车桁架上弦杆与节点板之间的 T 形接头焊缝均要求焊透。焊缝形式一般为对接与角接的组合焊缝，其质量等级不应低于二级。

4. 不要求焊透的 T 形接头采用的角焊缝或部分焊透的对接与角接组合焊缝，以及搭连接采用的角焊缝，其质量等级为：

(1) 对直接承受动力荷载且需要验算疲劳的结构和吊车起重量 $\geq 50t$ 的中级工作制吊车梁，焊缝的外观质量标准应符合二级；

(2) 对其他结构，焊缝的外观质量标准可为三级。

第三节 对接焊缝设计

一、对接焊缝的构造

对接焊缝应根据焊件厚度和施工条件将焊件边缘加工成适当形式和尺寸的坡口，以保证焊件在全厚度内焊透，坡口形式的选用应按现行标准《手工电弧焊焊接接头的基本形式与尺寸》和《埋弧焊焊接接头的基本形式与尺寸》的要求进行。常见的坡口形式有 I 形（即不开坡口）、V 形、U 形、X 形、K 形、单边 V 形等，如图 1-4 所示。各种坡口中，沿焊件厚度方向通常有高度为 p 间隙为 c 的部分不开坡口，称为钝边。当采用手工焊，焊件厚度很小（ $t \leq 6mm$ ， t 为钢板厚度），可采用 I 形坡口，即直边焊，不开坡口。对于

一般厚度 ($t=6\sim 26\text{mm}$) 的焊件可采用 V 形坡口, 对于厚度较大的焊件 ($t=20\sim 60\text{mm}$) 可采用 U 形或 X 形坡口, 其中 V 形和 U 形坡口为单面施焊, 背面清根补焊。在 T 形或角接头中, 以及对接接头一边焊件不便开设坡口时, 可采用 K 形、单边 V 形或单边 U 形坡口。当采用埋弧焊时, 由于其熔深大, 对同样坡口形式, 其适用焊件厚度 t 可以加大 (如 $t\leq 10\text{mm}$ 时, 可采用 I 形坡口), 对接间隙 c 可以稍小, 钝边高度 p 可稍大。

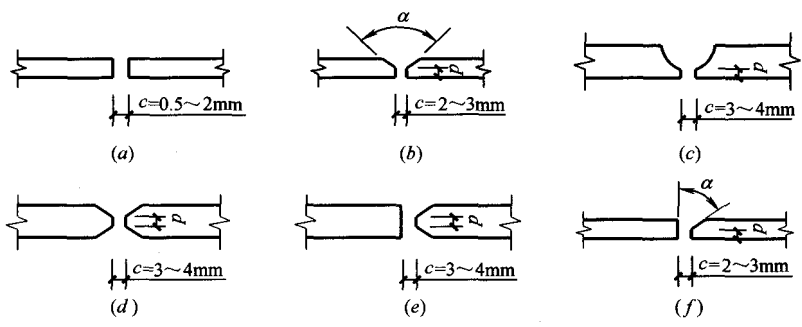


图 1-4 对接焊缝的坡口形式
(a) I 形坡口; (b) V 形坡口; (c) U 形坡口; (d) X 形坡口; (e) K 形坡口; (f) 单边 V 形坡口

在每条焊缝的两端经常因焊接时起弧、灭弧的影响而出现弧坑、未熔透等缺陷, 容易引起应力集中, 对承载力的影响很大。因此, 对接焊缝应在两端设置引弧板 (图 1-5), 引弧板的钢材和坡口应与焊件相同, 引弧板长度对手工焊不小于 60mm, 对自动焊不小于 150mm。引弧板在焊接完后用气割切除, 并将板边沿受力方向修磨平整。当受条件限制无法放置引弧板时, 焊缝计算长度应按实际长度减去 $2t$ (t 为较薄焊件厚度)。

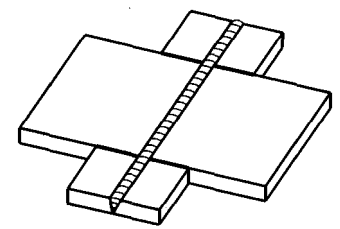


图 1-5 用引弧板焊接

在钢板宽度和厚度有变化的焊接中, 当焊件宽度不等或厚度相差 4mm 以上时, 为了使构件受力均匀, 应将较宽或较厚板的一侧或两侧做成坡度不大于 1 : 2.5 的斜角, 形成平缓的过渡, 以减小应力集中 (图 1-6)。当对接焊接的两钢板厚度之差不超过 4mm 时, 则可采用焊缝表面斜坡来过渡。

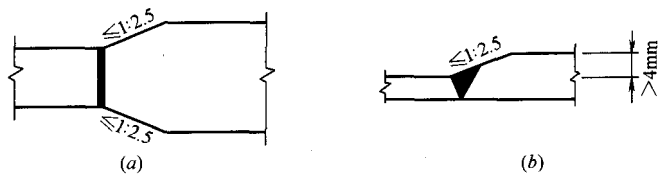


图 1-6 钢板的拼接
(a) 改变宽度; (b) 改变厚度

二、对接焊缝的计算

对接焊缝的强度与所用钢材的牌号、焊条型号及焊缝质量的检验标准等因素有关。实验证明, 焊接缺陷对受压、受剪的对接焊缝影响不大, 但受拉的对接焊缝对缺陷敏感。因

此,《钢结构设计规范》GB 50017—2003 只要求对三级检验的对接焊缝进行强度验算。

(一) 轴心拉力作用的对接焊缝

假设对接焊缝中的应力分布与被连接构件的应力分布相同,则与轴心拉力或压力垂直的对接焊缝(直对接焊缝,如图 1-7a 所示),应按下式计算强度:

$$\sigma = \frac{N}{l_w t} \leq f_t^w \text{ 或 } f_c^w \quad (1-1)$$

式中 N ——轴心拉力;

l_w ——焊缝的计算长度,采用引弧板时取焊缝实际长度,未采用引弧板时取实际长度减去 $2t$;

t ——对接焊缝中焊件的较小厚度;

f_t^w 、 f_c^w ——对接焊缝的抗拉、抗压强度设计值。

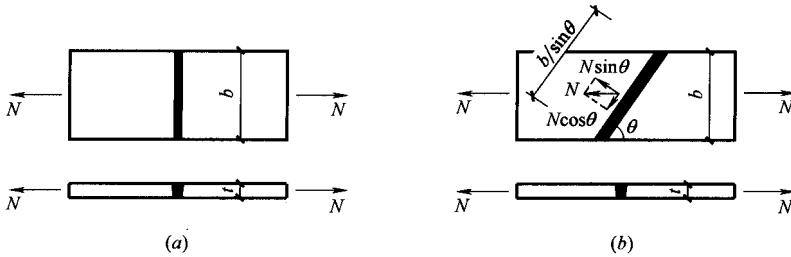


图 1-7 轴心受力的对接焊缝

(a) 直对接焊缝; (b) 斜对接焊缝

对接焊缝的抗压强度设计值 f_c^w 和抗剪强度设计值 f_v^w 均与被连接钢材的相应强度设计值相同,但三级检验的对接焊缝由于焊缝质量不易保证,其抗拉容许应力低于被连接钢材的容许应力(约为 85%)。因此,只有三级检验的承受轴心拉力的对接焊缝才需按式 (1-1) 进行强度验算。如采用图 1-7 (a) 所示直对接焊缝不能满足要求时,可采用图 1-7 (b) 所示的斜对接焊缝。为计算斜对接焊缝,把轴向拉力分解为 $N \sin \theta$ 及 $N \cos \theta$, 分别验算正应力和剪应力,即

$$\sigma = \frac{N \sin \theta}{l_w t} \leq f_c^w \quad (1-2)$$

$$\tau = \frac{N \cos \theta}{l_w t} \leq f_v^w \quad (1-3)$$

式中 θ ——作用力方向与焊缝长度方向间的夹角;

f_v^w ——对接焊缝抗剪强度设计值。

显然, θ 越小,焊缝的承载力越大;当 $\tan \theta \leq 1.5$ 时,可不进行焊缝强度验算。

(二) 弯矩和剪力共同作用的对接焊缝

对于采用对接焊缝的钢板拼接(如图 1-8a 所示),受到弯矩和剪力共同作用时,对接焊缝的最大正应力和最大剪应力不在同一点出现,其强度可按下式分别计算:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_w} = \frac{6M}{l_w^2 t} \leq f_t^w \quad (1-4)$$

$$\tau_{\max} = \frac{VS_w}{I_w t} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{l_w t} \leq f_v^w \quad (1-5)$$

式中 M 、 V ——弯矩和剪力值；

W_w ——焊缝截面抵抗矩；

S_w ——焊缝截面面积矩；

I_w ——焊缝截面惯性矩。

对于采用对接焊缝的 T 形或工字形截面梁，正应力和剪应力在同一位置（如图 1-8b 所示腹板与翼缘的交接处）均较大，除应按式（1-4）和式（1-5）分别验算最大正应力和剪应力外，还应按下式验算腹板和翼缘交接处的折算应力：

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq 1.1 f_t^w \quad (1-6)$$

式中 σ_1 、 τ_1 ——腹板与翼缘交接处焊缝的正应力和剪应力；

1.1——考虑最大折算应力只在局部出现的强度提高系数。

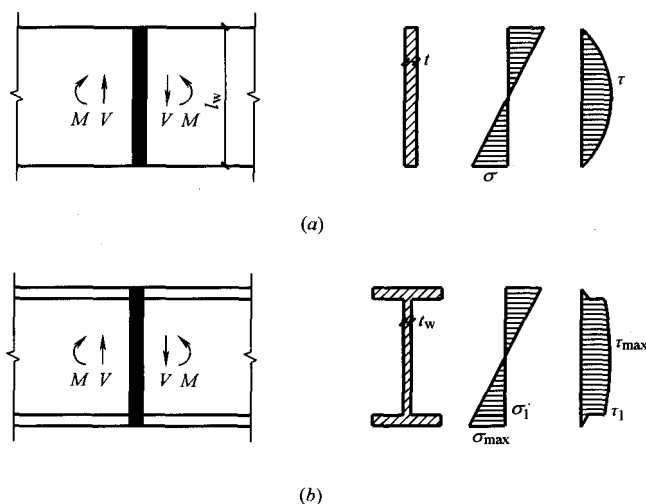


图 1-8 对接焊缝承受弯矩和剪力共同作用

(a) 矩形截面对接焊缝；(b) 工字形截面对接焊缝

(三) 轴心力、弯矩和剪力共同作用的对接焊缝

对接焊缝上同时作用有轴力、弯矩和剪力时，焊缝的最大正应力为轴力与弯矩产生的正应力之和，剪应力按式（1-5）验算，折算应力按式（1-6）验算。

【例题 1-1】 两块钢板的连接采用全熔透对接焊缝（图 1-9）。钢板截面尺寸：宽度 $b=500\text{mm}$ ，厚度 $t=12\text{mm}$ ；钢板承受轴心拉力，其中恒荷载标准值和活荷载标准值引起的轴心拉力值分别为 600kN 和 400kN 。钢材为 Q235B 类钢，采用 E43 型焊条手工电弧焊，施焊时不加引弧板，焊缝质量等级属三级，试设计该连接。

【解】 焊缝承受的轴心拉力设计值为：

$$N = 600 \times 1.2 + 400 \times 1.4 = 1280\text{kN}$$

三级对接焊缝抗拉强度设计值 $f_t^w = 185\text{N/mm}^2$ 。

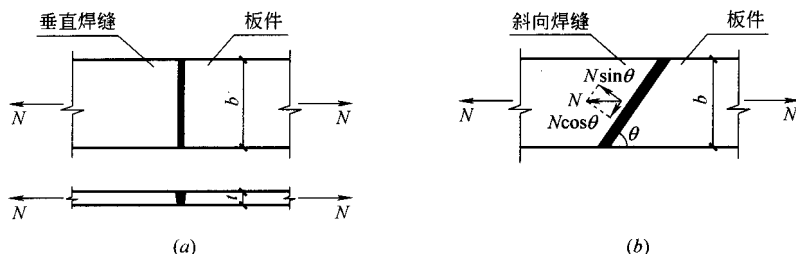


图 1-9 例题 1-1 图

(a) 采用垂直焊缝; (b) 采用斜向焊缝

(1) 采用垂直焊缝, 如图 1-9 (a) 所示。

$$l_w = b - 2 \times 10 = 500 - 2 \times 10 = 480 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{N}{l_w t} = \frac{1280 \times 10^3}{480 \times 12} = 222.2 \text{ N/mm}^2 > f_t^w = 185 \text{ N/mm}^2$$

可知, 垂直焊缝不能满足要求, 需改用斜向焊缝。

(2) 采用斜向焊缝, 如图 1-9 (b) 所示。

取切割斜度为 1.5/1, 相应的斜角 $\sin \theta = 0.832$, $\cos \theta = 0.555$, 则焊缝计算长度:

$$l'_w = \frac{500}{0.832} - 20 = 581 \text{ mm}$$

$$\text{焊缝正应力 } \sigma = \frac{N \sin \theta}{l'_w t} = \frac{1280 \times 10^3 \times 0.832}{581 \times 12} = 152.7 \text{ N/mm}^2 < 185 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{焊缝剪应力 } \tau = \frac{N \cos \theta}{l'_w t} = \frac{1280 \times 10^3 \times 0.555}{581 \times 12} = 101.9 \text{ N/mm}^2 < 185 \text{ N/mm}^2$$

满足要求。

【例题 1-2】 12m 跨度简支钢梁, 其截面如图 1-10 所示, 承受均布静力荷载设计值 $q=80 \text{ kN/m}$, 假设梁截面由抗弯强度控制。现拟对其腹板在跨度方向离支座 x 处做翼缘和腹板的拼接对接焊缝, 已知钢材型号为 Q235B, 采用 E43 型焊条手工电弧焊, 焊缝质量等级为三级。试根据焊缝强度, 求该焊缝位置 x 。

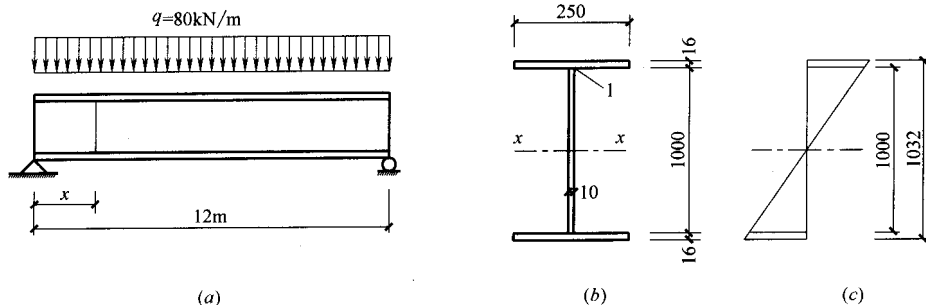


图 1-10 例题 1-2 图

【解】 (1) 截面几何特性

$$\text{惯性矩 } I_x = (250 \times 1032^3 - 240 \times 1000^3) / 12 = 2898 \times 10^6 \text{ mm}^4$$