

# 非熔透焊缝的合理应用

浙江省钢结构行业协会焊接专业委员会 王自根

**摘要：**在现行的建筑钢结构设计中，对 T 接全熔透焊缝的要求越来越多，正确理解全熔透焊缝，合理的应用等强的部分熔透焊缝，并用它来代替全熔透焊缝是当前的新思路，本文阐述了全熔透焊缝的与等强焊缝区别和各自的应用场合。提出了等强的非熔透焊的合理应用。

**关键词：**全熔透焊缝；等强非熔透焊；焊缝计算厚度；强化工艺

## 1 前言

在 GB50017-2003 《钢结构设计规范》中的 7.1 焊缝连接一章 7.1.1 中“2. 在不需要进行疲劳计算的构件中，凡要求与母材等强的对接焊缝应予焊透<sup>[1]</sup>”。也许是设计者对此条内容的误解还是该内容的误导，使许多设计者把 T 接焊缝也包括在对接焊缝中了，存在凡计算要求等强的焊缝，不论是平对接还是 T 接，都以全透焊要求在图纸中出现。

而且规范本身也作出了直接的规定，如：

在规范的 7.4.3 条，梁柱连接节点处柱腹板横向加劲肋应满足下列要求：“2. 横向加劲肋…用焊透的 T 形对接焊缝与柱翼缘连接。当梁与 H 形或工字形截面柱的腹板垂直相连形成刚接时，横向加劲肋与柱腹板的连接也宜采用焊透对接焊缝。… 3. 箱形柱中的横向加劲隔板与柱翼缘的连接，宜采用焊透的 T 形对接焊缝，…<sup>[1]</sup>”

在 CECS102: 2002 《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》上的 7.2.11 条中，有“刚架构件的翼缘与端板的连接应采用全熔透对接焊缝，…”<sup>[2]</sup>。

在现行的工程设计中，往往还有许多要求全熔透的焊缝要求，如柱底板与柱体的焊缝，H 型钢的翼板与腹板的焊缝，几乎所有板厚较厚的、认为重要的 T 接焊缝都是熔透焊要求。致使钢结构企业叫苦不迭，这就是我国建筑钢结构行业的现状。

## 2 等强焊缝与全熔透焊缝的区别

全熔透与非熔透焊缝（即部分熔透焊缝）是焊缝结构的表示，它表示的不是强度指标，而等强焊缝才是表示与母材等强度的焊缝。

用全熔透焊缝代替等强焊缝的要求，是一个概念性的错误。

对接焊缝与对接与角接组合焊缝（即 T 接焊缝）是分别说明的两种焊缝，要求与母材等强的**对接焊缝**才是应予焊透。而对 T 接焊缝，只是指出重级工作制，和起重量 $\geq 50$  吨级的中级工作制的吊车梁的腹板与上翼缘板的焊缝是熔透焊<sup>[1]</sup>。

平对接焊缝的全熔透焊缝的截面才能与母材相等，所以可以说全熔透焊缝就是等强焊缝。但由于 T 接接头都是存在焊脚的<sup>[3]</sup>，焊脚的尺寸也是直接承受荷载的，所以在 T 接接头上，只要它的焊缝计算厚度等于腹板厚，角焊缝和带坡口部分熔透焊缝都可以成为等强焊缝。而全焊透 T 接焊缝因为是带焊脚加强，就应该是超强焊缝了。

所以对设计要求的等强要求的结构，完全可以按焊缝计算厚度与母材等厚的焊缝来进行，而不是全熔透焊。

另外在 GB50661-2011 《钢结构焊接规范》中规定了对焊缝的无损检测，全焊透焊缝有一级和二级焊缝的要求，且一级焊缝应进行 100% 的检测，二级焊缝应进行 20% 的检测<sup>[3]</sup>。对焊缝的检测属质量控制，检测的比例应有具体工程，具体单位根据情况决定，或在合同中规定。而规范中把检测比例作为死规定来对待所有的工程和单位是不妥的，它混淆了结构设计与质量控制的差别，全焊透和部分焊透是结构设计要求，而对焊缝的无损检测应是根据不同工程不同单位提出的工艺要求。

超声波探伤只是对焊缝金属中的气孔、未熔合和夹杂物的大小和多少的检测，它不能对焊缝金

属的成分和力学性能进行检测。

当图纸虽要求是全熔透焊缝，但未要求是按哪一级质量时，此时虽对焊缝金属的内部质量可不检查，但也应保证焊缝的结构是全熔透的，需用无损检测手段对它的熔深尺寸进行检测，检测的比例应由相应工艺确定。

在GB50661-2011《钢结构焊接规范》的条文说明中，已对焊缝计算厚度的应用有所说明：“焊缝计算厚度是结构设计中构件焊缝承载应力计算的依据，不论是…全熔透焊缝或部分熔透焊缝…都存在着焊缝计算厚度的问题，…如果设计者应用表中折减值对焊缝承载应力进行计算，即可允许采用不加垫板的全熔透坡口型式，反面不清根焊接，作为部分熔透坡口焊缝使用。施工中可不使用碳弧气刨清根，这对提高施工效率和保障施工安全等有很大好处。<sup>[3]</sup>”

### 3 T接全熔透焊缝的应用场合

T接焊缝在腹板较厚时，不宜单用脚焊缝来满足强度要求，应增加熔深。厚板角焊缝主要是腹板易产生层状撕裂。因为焊脚加大使收缩应力加大；板的厚度增加，其Z向性能下降；其次焊脚尺寸的比例增加也会加大构件变形。

在动载荷和疲劳作用下，T形焊缝不但要满足强度要求，还要避免产生由于交变的重荷载作用下，接头中心的未熔合部分易成为裂纹源并扩展的可能。这应该是在规范中指出是重级工作制的吊车梁的腹板与上翼缘板的焊缝是熔透焊的主要理由之一。

对于锅炉压力容器，因为构件要有气密性要求，有高温高压条件下工作的要求，一般不允许有未熔合处存在，所以焊缝多数为全熔透焊缝。

### 4 焊缝设计应考虑的因素

认为只有全熔透焊才是等强焊缝是存在于钢结构行业内的一个很大的认识上的误区，它混淆了对接与T接的区别，而用于T接焊缝更是错误。

连接焊缝的设计通常一要满足结构受力后对焊缝的强度要求；二要满足结构受力后的整体稳定性要求；三要满足特殊结构的受力要求，如疲劳、动载和应力集中；四要满足焊接装配施工的工艺性要求。

对焊缝的强度要求，从保守设计讲，认为焊缝强度大于设计计算要求总是好的。保守设计表面是个懒惰的表现，实际上是不科学的，严格的说是错误的。特别在焊接接头上，强度必须与构件的整体稳定性综合考虑。但按结构稳定性计算来确定焊缝参与稳定时所需的焊缝强度就往往不被重视，它不但是个浪费的问题，重要的是不必要的局部过强会产生应力集中和力流线突变。如在进行不同截面高度的焊接H钢设计时，对翼板不变，腹板厚度不变时焊缝要求通常都是一样的。H形钢的单面焊结构即使再轻也在国内的设计中很难见到。

就抵抗一般性疲劳、动载和应力集中而言，全熔透的T接焊缝还不如部分熔透焊缝，因为后者的焊脚更大。它受力的力流线的圆弧半径更大，而且越近表面越集中，使承载力也更为集中。

另外无论是部分熔透还是全熔透焊缝，因焊接是从里向外焊的，接头的残余应力分布都是外表面侧受拉，中心受压，而且该应力差是很大的。所以当一般的动载中的拉应力作用在该接头上时，都被中心受压的应力所抵消了。所以只有重级工作制的吊车梁才有可能使中心的未熔合部分有成为裂纹源和扩大的可能。

在工艺上，由于全熔透焊缝在焊接过程中必须采取反面进行碳弧气刨的方法进行清根处理，不但给制作过程增加了工序周期，使生产进度加长，生产成本加大，对构件的实际质量也带来严重损害。一是焊气刨的危害而且气刨后的表面难以打磨和清理，使焊接后的焊缝金属含碳量增加，而且由于多次加热使焊缝及热影响区的综合机械性能下降。

操作可行性也是焊缝设计时的主要因素，如箱型柱隔板与柱的焊接，规范要求采用坡口全熔透焊缝，但许多设计者却因规范上的要求，对箱柱内的横隔板不管其间隔多少，深度多少仍是全熔透

的要求，焊工在操作时连焊缝根部都看不到，如何实现全熔透呢？

焊接属于装配连接，焊接的目的是最后保证装配要求，我们制定的焊接规范如脱离了装配要求，就是个空洞的不实用的规范，它只能被用于焊接实验室里做单独的焊接接头用。焊件要满足被连接件焊后的尺寸和形位要求，要由焊接装配工艺来保证，而焊接接头的形式是最重要的。在《钢结构焊接规范》的附录A中，几乎所有的全熔透接头都有间隙。有间隙的接头尽管在焊接件间加焊卡码、支架等约束件，但它都不如有坡口带钝边的，顶紧装配焊接能更有效控制尺寸和形位。

另一方面就是采用不留间隙的全熔透焊，由于必须采用背面气刨清根工艺，失去了原钝边的支撑，焊后焊缝的横向收缩还是很大。所以坡口有间隙的全熔透焊缝在精度要求较高的装配中是不宜采用的。

综上所述，在建筑钢结构中全熔透焊缝的应用场合本应该是很少的。

## 5 等强的非熔透焊缝的合理应用

T 接的非熔透焊缝包括角焊缝、坡口角焊缝和不熔透的坡口焊缝，而等强的非熔透焊则表示与母材等强的各种 T 接焊缝。

熔透焊与等强焊是完全不同的两个概念，在 GB50661-2011《钢结构焊接规范》中，对承受静荷载的节点已有用部分熔透的 T 接焊缝代替全熔透焊的要求<sup>[3]</sup>，见图 1。

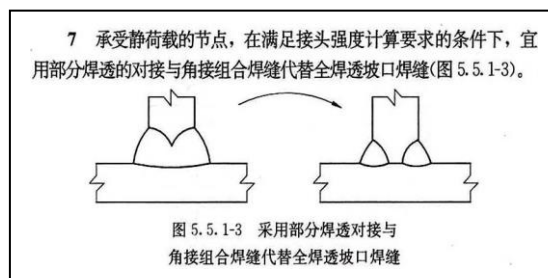


图 1 规范中用部分熔透焊缝代替全熔透的要求

### 5.1 T 接接头的非熔透的等强焊缝有多种表现形式

5.1.1 在薄板时，应直接是角焊缝。因为当角焊缝的焊脚为  $t/4$  时，它的焊缝计算厚度之和就等于腹板板厚，它就是等强焊缝。但由于规范中有许多要求都是不管翼缘板的厚薄，一律要求是全熔透焊缝。一个误区是凡重要的接头都应该是熔透焊。而且这种不管板厚薄一律全熔透的不合理要求一直沿用至今。稍有焊接常识的人都知道，薄板 T 接等强焊缝不但不应该是熔透焊，而且必须是角焊缝。然而规范中至今不悟不改。

薄板的范围，不同的结构最薄厚度有所不同，如钢梁的翼板与端板焊接，由于焊缝长度短，且采用的是手工电弧焊，熔深较小，应限制在 10mm 以内；而焊接 H 形钢梁的、柱的纵焊缝，由于焊缝长度长，且平直，采用的是自动埋弧焊，熔深较大，其等强的角焊缝的最小板厚就可在 16 mm 以内。

如输油管法兰接头，是壁厚 5mm 左右、直径 100mm 左右的钢管与法兰盘焊接，它是重要的接头，但采用的是角焊缝，而不是熔透焊。

在轻钢结构中梁柱与端板的连接，因为所用的多数是型钢，被连接的厚度都较小，其型钢与端板的 T 形接头一般都宜采用角焊缝。而规范中不管板厚薄一律要全熔透。其实只有当 T 形接头的腹板厚度较大时，才应考虑采用熔透焊。有国外资料表明，梁与端板的连接，其端板与梁的翼板连接都是采用双面角焊缝，其焊缝厚度  $a=t/2$ ， $t$  为翼板厚， $a$  为焊脚的焊缝厚度（焊喉）<sup>[4]</sup>。

“在 T 形（或十字）接头中角焊缝尺寸：按等强考虑，双面角焊缝的焊脚尺寸应为：

$$K = \frac{3}{4} \delta$$

式中：K—焊脚尺寸；  $\delta$ —较薄板厚度<sup>[5]</sup>”

从本质上讲，角焊缝也应属于部分熔透焊缝，因为它也是有熔深的，只是它没有开坡口。

5.1.2 当板厚较大时（一般在 30mm 以下），宜采用坡口角焊缝。见图 2。因为板厚增加后，单靠焊脚的强度来承载必然要加大焊脚尺寸，否则易造成接头腹板的层状撕裂及构件角变形加重。

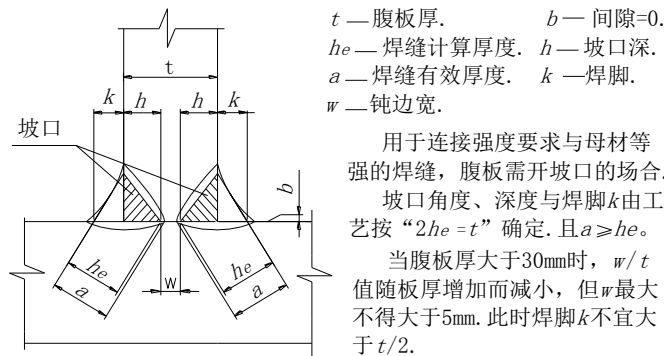


图 2 焊缝计算厚度与母材等强的非熔透焊缝

5.1.3 当板厚更大时（一般在 30mm 以上），或对焊脚尺寸有限制时，坡口的深度比例要进一步加大，由于钢板的 Z 向性能变差，两坡口间的钝边尺寸不宜过大，宜控制在 5mm 以内，焊后未熔合部分在 3mm 以内。

5.2 T 接接头的非熔透焊缝的（垂直于焊缝长度方向）焊缝宽度可用焊缝计算厚度  $he$  来确定，当  $he = t$  时（ $t$  为母材腹板厚度），就是等强；当  $he < t$  时，就是小于母材的强度。但真正实际上的许用应力还宜考虑焊缝残余应力不均匀分布存在的折减系数。

焊缝计算厚度在 GB50661-2011《钢结构焊接规范》5.3 节已有所说明<sup>[3]</sup>。但在规范中对焊缝计算厚度只是个示意图，它的定义应为垂直于力流线方向的最小焊缝厚度（双面焊则是两侧厚度之和），而最小厚度则应是焊缝表面（非凸起表面）到坡口根部的最小距离。

问题是非熔透焊的斜 T 接和管材相贯节点由于存在折减值，其计算厚度在设定及制作检验时就增加了复杂性，使很难有操作性。规范中的立焊与仰焊的折减值也有不妥：难道没有间隙的坡口焊缝就不能与母材等强了吗？难道非要全熔透才能达到与腹板等强吗？难道不能用加强的焊脚与加强高（即平对接焊缝中的余高）来弥补根部未熔合部分带来的强度损失吗？为什么只要管管之间有间隙了才能算是全熔透焊？在实际生产中管管之间的连接用有间隙的坡口来装配，是不现实的。

如按 T 接接头的焊缝计算厚度的计算原则来处理就应会简单得多，因为结构的装配连接需要的是强度而不是熔透与否。

## 6 对非熔透焊与角焊缝的质量控制

在纠正全熔透焊缝改为等强的非熔透焊缝是降低焊接的质量等级的错误观点之前，先要纠正只有全熔焊才有一级和二级的错误观点。角焊缝、非熔透焊缝、熔透缝是不同的焊缝形式，它分别用于不同的场合。如要分质量等级，都应该有一、二、三级的要求。角焊缝也同样可用于重要的场合。

但设计有时担心的对焊缝质量的失控，也是促使设计坚持要求全熔透的原因之一，因为全熔透焊缝必须探伤，认为这样质量就有保证，而部分熔透焊不探伤，就不可靠。现在在规范中已有了进步，在 5.1.5 条第 3 点“1) 直接承受动载荷且需要疲劳验算的结构和吊车起重量  $\geq 50t$  的中级工作制吊车梁以及梁柱、牛腿等重要节点不应低于二级；<sup>[3]</sup>”的要求，改变了过去对部分熔透焊只进行外观检查的要求。

所以当设计对重要的等强部分熔透焊按二级质量要求时，必须按二级要求对熔合部分的焊缝金属和熔透深度进行无损检测。至于检测的百分比可由设计、业主和制作单位按不同的工程项目，不同的节点结构确定，不能定死是 20%。

现在对焊缝的质量检查只局限在无损探伤和外观，其焊缝金属的性能除焊接工艺评定的工艺参考外，只能靠工艺来保证了。

真正的质量是制作者来决定的，检测只是一个对质量控制的弥补手段。根本的控制是强化工艺文件、工艺纪律和工序质量控制。工艺纪律是要求每一道工序必须按工艺文件的要求进行，坡口加工按坡口加工的工艺卡要求进行，焊接也要按焊接工艺文件要求的焊接参数执行，这样在工艺上就保证了熔深的要求，加强工艺纪律的检查就有效控制了熔深的要求。

在过去的焊接工艺文件中，对不同的焊接工序都有不同级别的焊工要求，而现在只要有操作证就可上岗，等于只有一个级别。建议实行焊工级别制，并落实在工艺文件中。

## 7 结束语

大量全熔透焊缝在我国建筑钢结构中出现，也可以说是泛滥，是行业的悲剧。本文提出的一些观点可能是对规范与设计者的冲击，特别是对减少全熔透焊缝和提高部分熔透焊缝的应用的建议。

不可否认，规范中的一些不合理的要求很多是我国跟美国钢结构规范（AWS）学的。有人说科学与真理是不分国界的，美国比我们先进就应学。但盲目的崇洋媚外是不可取的。不合道理的东西决不能盲目照搬。

本文作为一种探索与讨论，以求引起业内人士的关注，为钢结构事业的进步起到一点抛砖引玉作用。

## 参考文献

- [1] GB50017-2003 钢结构设计规范[S]. 中华人民共和国国家标准. 2003:71, 81, 71, 72.
- [2] CECS102: 2002 门式刚架轻型房屋钢结构技术规程. 2002: 46.
- [3] GB50661-2011 钢结构焊接规范[S]. 中华人民共和国国家标准. 2012:92, 93, 94, 162, 32, 15, 107, 12.
- [4] Biegesteife Stirnplatten-Verbindungen mit hochfesten vorgespannten  $\gamma$  schrauben Erläuterungen IH E8 . DSTV/DAST Ausgabe Januar.1978.
- [5] C.W.勃劳杰 著，张伟昌 等译. 焊件设计. 1985. 北京：机械工业出版社. 364.

作者简介：王自根（1946-），男，南昌航空工业学校焊接专科毕业，目前主要从事钢结构制作工艺技术工作。