

R. D. 亚当斯 W. C. 维克 著

工程结构中的胶接技术

陈惠君 译 林敦祥 校

34
北京科学技术出版社

工程结构中的胶接技术



R. D. 亚当斯

著

W. C. 维克

陈惠君
林敦



北京科学技术出版社

内 容 提 要

在现代工程结构中,胶接技术得到了越来越广泛的应用。本书着重介绍胶接头设计和生产方面的知识。内容包括各种型式接头的应力分析、接头型式设计以及在制造装配中的各种重要问题。

本书可供有关专业工程技术人员和大专院校师生参考。

Structural Adhesive Joints in Engineering

ROBERT D. ADAMS

WILLIAM C. WAKE

ELSEVIER APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LTD 1984

ISBN 0-85334-263-6

工程结构中的胶接技术

R. D. 亚当斯 著

W. C. 维 克

陈惠君 译

林敦祥 校

北京科学技术出版社出版

(北京西直门南顺城街12号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

新时代出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 4.375印张 97千字

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

印数1—2500册

ISBN 7-5304-0866-6/T·175 定价:2.30元

译者前言

胶接技术在工程结构中应用越来越广泛,并在使用中积累了不少有关胶接接头设计、胶粘剂制备和测试等方面的经验,但是,借鉴国外同行在这方面的经验仍是十分必要的。本书作者 R. D. 亚当斯和 W. C. 维克都是胶接技术方面的权威,他们掌握了有关胶接技术发展的大量最新资料,所编著的《工程结构中的胶接技术》一书也是胶接技术方面的最新著作。鉴于国内胶接技术方面的著作中有关理论分析方面的并不太多,译者结合自己的工作,感到该书对各种型式接头的应力分析、接头设计以及制造装配中的许多观点和认识都是很有见地的。因此,选译了部分章节出版,希望这本书能对从事胶接工作的同行们有所参考和裨益。

在本书翻译过程中,林敦祥同志曾给予大力支持并负责校审工作,陈祥云同志也给予了诸多帮助,谨在此一并致谢。译文中若有不妥之处,热诚希望广大读者不吝指正。

译者

1990年4月

原 序

编写本书的目的,在于使读者了解承受较大载荷的结构型胶接接头在设计和生产方面的有关知识。其中包括胶接结构的优缺点,以及涉及到有关机械和化学方面的必备知识,以便使设计者能在任何情况下,作出合理的工程决策。

书中较全面地论述了胶接接头的应力,使读者能从原理到应用有一个全面的认识,从而进行更深入的探讨,并从数学角度定量研究,以便用于求解弹-塑性等方面的有关问题。

本书介绍了包括在破坏和非破坏情况下,测试胶粘剂的标准方法的要点,同时论述了研究胶粘剂的基本化学性质和表面预处理的重要意义,以及通过查表选择胶粘剂的方式。

在许多应用中,并不是只有采用胶粘剂才是唯一适宜的,还要综合考虑其它的因素,如费用、方便性、生产条件和熟悉程度,以便选择决定。书中还介绍了一些应用实例。

作者希望通过本书所提供的资料 and 实践经验来增强工程师的信心,使他们能把胶粘剂连结技术运用在承受载荷的结构上。随着结构胶粘剂技术经验的不断丰富,胶接结构设计不仅能更好地满足产品要求,而且会更加精美实用。

R. D. 亚当斯

W. C. 维 克

目 录

译者前言

原 序

第一章 绪论..... 1

接头型式(2)

搭接-受剪接头(5) 对接接头(6) 毛边(7)

金属和其它结构材料(7)

使用胶接的判定(9)

优缺点比较(13)

第二章 胶接接头中应力的性质和量值 15

引言(15)

现实性(18) 数学分析方法(19)

单搭接接头(21)

线弹性分析(21) 沃尔克森分析法(23) 戈兰德和赖斯纳的分析(26) 对戈兰德和赖斯纳第二近似理论分析结果的讨论(28) 在双搭接接头中弯矩的作用(30) 沃尔克森的辅助理论(30) 后期工作(32)

单搭接接头——端头效应(41)

减少应力集中(52)

单搭接接头——弹-塑性分析(59)

被粘物形状的影响——斜角的、楔面的和阶梯形的被粘物(80)

复合材料(84)

管状接头(102)

对接接头(107)

接头在设计中的应用(118)

搭接头(120) 管状接头(122) T型接头(124) 角接头(126) 对接接头(130) 加强板(130) 倍增型加强板(131) 装配(132)

第一章 绪 论

结构工程师的任务在于设计或制造各种机械结构。本书介绍的就是从众多的实用方法中选择一种特殊的构造方法来设计和建造这些结构。由金属构件组成的结构可以使用螺栓连接、铆接或其它形式的机械连接;或者使用焊接,使用与钎接或低温焊接类似的方法将这些金属构件装配起来;或者使用有机胶将这些构件彼此连接起来。还有一种可供选择的方法,这就是类似从整块巨石雕刻一尊雕像一样,将一个整体金属块经过机械加工制成结构物。经过训练和经验丰富的工程师,在考虑结构的各种机械连接方法(不仅要区别各种方法彼此间的不同,而且在可供选择的方法中区别开焊接和钎接)时,能将设计和组装方法结合起来。工程师通常所掌握的技术还不足以使他从许多可能的类型中作出必要的选择,即采用胶粘剂将结构组装起来,且作出合适的设计方案。为此,本书有关章节就是为了帮助培养工程师在本专业技术方面得到发展,并为实习工程师提供一份关于胶粘剂特性的设计标准的备忘录。此外,它也可满足从事粘接的工程技术人员在工程评估中的需要。

胶粘剂除了用于结构工程外,还可用于表面加工,即用胶粘剂材料自身作为最终表面,或用它贴附瓷砖或釉砖。胶粘剂还可用作幕墙的密封剂,以及作为从小锡罐到大型飞机的主燃料箱等液体容器接口的密封材料。实际上,胶粘剂本身也可视为结构材料,最近在粘接方面的一些论文中,对此已有所论

述。

玻璃钢和碳纤维增强塑料是重要的结构材料。对于结构工程师来说,更为关注的是结构材料的强度,而不是其加工和制造。(有关玻璃纤维增强的树脂或碳纤维增强塑料制造的结构部件的连接或搭接问题,在原书第三章和第五~八章中均有详细的叙述,本书未选译这部分内容。——译者)

本书的内容可以扼要概括为:它论述了结构工程师所关心的各种结构应力和应力分布;讨论了胶粘剂的特性和胶接接头;以及这些接头可能出现值得注意的应力;最后还介绍了如何选用最佳的胶接接头。

接 头 型 式

接头设计既要考虑连接的方式,同时也要考虑被连接材料的特性。位于塞洛普(Salop)艾伦布里奇(Ironbridge)的第一座铸铁桥是铸造的大块状半拱结构,采用镶榫结合,以锥状栓钉安装到部件上组装而成的。该桥设计者只是利用了大家知道的木结构建造方式。唯一使用的新结构材料,是采用了大尺度的单个拱形构件。因为直到拿破仑战争以后,才能获得轧制的T形和L形截面的型钢。1847年在巴黎制成了能承受轻荷载的第一批工字梁,而直到1860年发明了低碳钢之后,才能得到大型的工字梁。对这种构件的连接,最初是在梁的主体部分开一个圆柱形槽作为模子,并预先用螺栓固定好鱼尾板,然后在圆柱形槽的上方利用溜槽浇铸钢水。

在钢结构得到应用之后,再回顾一下经历了几个世纪变化的木结构接头设计仍是饶有趣味的。榫接头在承受拉力时,其承载能力最多是木拉杆梁强度的一半。因此,后来在大型结

构中避免使用这种连接方式。18 世纪后,钢结构得到推广,在木结构中也采用合楔固定锻制夹板,这样就能够用木拉杆来悬吊载荷。通过所设计的多种鱼尾板和螺栓固定的榫接接头可将拉杆加长。经过改进的接头设计还具有另外一个优点,这就是能使大量比钢轻得多的木材得以应用。

在结构组装过程中,或站在类似作往复运动的那种老的梁式机器旁时,常能听到人们对机器的外观或设计略带钦佩的评论,认为所使用的构件尺寸是“显著超设计”的成果。这含义是指,使用上述改进后的设计就能承受较大的应力。然而,这种情况很少出现,因为影响承载能力的因素,部分是由于材料的特性,但主要是各构件接触处的接头设计和构件之间应力分布。

承载结构的胶接接头相对来说较新,应用的时间仅有半个世纪。已使用了许多世纪的木工胶,是防止榫接、槽和栓接或木栓接头松动的粘接剂。但是,木工胶只能使用在温度和湿度不会过高、过低的设备上。

从历史的发展来看,材料的连接方法随着作为新技术的结构接头的出现经历了一个很长的发展过程。其间人们逐渐意识到,被连接的材料和其承受应力的特性,与所采用的连接方法之间存在着密切的联系。

现在可以给胶粘剂作如下定义:即无论哪种合成聚合材料,将它应用在结构表面上时,就可将两个表面连接起来,且难以分开。用于结构的胶粘剂,是一种使用于当结构上需要承受剥离载荷相当大,以致使胶粘剂为结构提供主要强度和刚度时的胶粘剂,该胶粘剂称为结构胶粘剂。通过胶粘剂连接起来的接头中的被连接构件,称为被粘物(adherends)。这个名词是由德布鲁内(de Bruyne)在 1939 年首先使用的。

图 1 所示的接头,可用来说明胶接接头的主要特性。这些接头能承受 15kN 的安全工作载荷,其外面的构件是 $3\frac{1}{2} \times 1$ 英寸^①的木材,里面是 $3\frac{1}{2} \times 2$ 英寸的木材,搭接长度可根据每种连接型式的经验公式经计算得出。下面是图中接头的详细介绍:

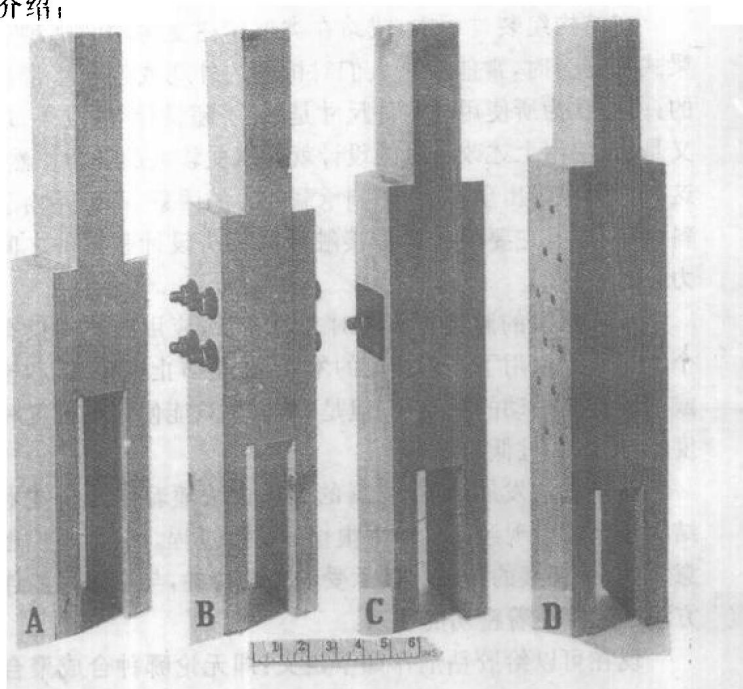


图 1 具有相同承载能力的各种连接方法

A. 搭接长度 5 英寸^①,间苯二酚(雷琐辛)-甲醛(蚁醛)胶接头。

① 1 英寸(1in)=0.0254m。

B. 搭接长度 9 英寸, 用 4 个 $\frac{1}{2}$ 英寸的螺栓。

C. 搭接长度 11 英寸, 用 2 个 $2\frac{1}{2}$ 英寸的箍合垫片和 1 个 $\frac{1}{2}$ 英寸螺栓。

D. 搭接长度 $12\frac{1}{4}$ 英寸, 用 24 个 $4\frac{7}{8}$ 英寸的固定铁钉成对地敲进钻孔中。

使用的胶粘剂是充分抗老化的, 且比木质被粘物更经久耐用。相反, 连接用铁钉将会生锈, 除非每隔几年重新刷一次防锈漆。其它的机械连接件也会生锈, 而且生锈的连接件对木材亦会有损害, 但不会因此而影响使用。由于使用机械连接方法而使这些接头的结构总重量增大, 这既是由于接头的重量增加, 同时也因为增加了构件的搭接部分。胶接接头也有一些缺点, 但这些缺点大都出现在制造阶段。主要的一点是在装配和养护期间, 必须将各构件固定; 其次, 是需要专门的技术知识, 虽然这方面并不是很重要, 但不象简单的机械操作如钻孔、栓接等易于推广使用。使用机械连接方法会使构件搭接长度增加和重量加大, 因而为构件带来额外应力, 这是一种负担。而使用胶粘剂就能避免这种负担。

搭接-受剪接头

图 1 所示的接头, 是一种双搭接受剪的接头型式。而单搭接受剪接头是最常用的接头型式。在单搭接受剪接头中, 由两个等厚度的单接触面被粘物代替对应的双搭接受剪接头中两个同样构件与双倍厚度的中间构件。这两种接头型式更多地用于试验与测试中, 而在实际工程结构中显示不出其重要作用。然而, 这些接头型式确实模拟了结构的特性, 而且在本书的有关章节中也会明显地看到模拟的程度。接头型式很重要, 因为有机

胶粘剂的最佳使用效果,是用于承受单纯的或扭转的剪切应力。有关胶粘剂的应用,如第二章所述,主要是用在能承受剪切应力而不是轴向拉伸或劈裂的结构装配中。对所有胶粘剂而言,要求它们应能承受比拉伸大得多的剪切应力。



图2 平接头通过搭接板变为受剪接头

用图2中所示的搭接板型接头来代替对接接头,是一种使轴向拉伸转变为搭接受剪接头的最简单例子。这种方法类似用于结构连接中的栓接或铆接,但与焊接方法不同。对于搭接板型接头来说,可以利用搭接受剪接头进行精确的试验模拟。与此类似,虽然难以从搭接部分材料的剪切弹性模量直接推算出组合件的刚度,以及从搭接剪切强度计算出组合件的临界弯曲力,但飞机机身桁条的连接却是使用这种单搭接接头的成功典型。

对接接头

对接接头的两部分常会被接头轴向作用力拉开,但常作为一种测试方法使用。通常使用圆柱形被粘物,有时也用截面为方形的被粘物。正如已经强调指出的,在设计构件时最好避免采用这种接头型式,但作为一种测试方法,适用于确定接头承受劈裂作用的性能。对接接头可以承受扭转变形时的剪应力,难以承受轴向拉力。如果外加的只有扭转载荷,则对接接头是一种理想的接头型式。对接接头承受的最大应力由圆柱形构件的直径确定。

对接接头的非轴向载荷会直接导致劈裂应力,这与只作

用在试件一端由轴向拉伸引起的应力集中不同。所有的接头型式都可以认为是上述两种接头型式改进和完善的产物,在以后的章节中我们将予以详细论述。

毛边

胶接接头自由边缘处的胶粘剂溢出被粘物后形成的胶填角,即为胶粘剂毛边(简称毛边)。在结构中毛边所起的重要作用,也应予以认真考虑。尤其是在溶化和浸润的金属上,如果使用的胶粘剂不能渗到蜂窝结构上与底板形成如图 3 所示的胶粘剂毛边,这种结构材料所构成的蜂窝结构就不能正常地发挥作用。按上述要求形成的接头比只有边缘与底板相连接的接头(即没有胶粘剂毛边),在应力分布上要好多。液体胶粘剂的流变特性会使它在固化操作期间形成并保持毛边,但这一特性并不是所有的材料都具有的。用聚合物作为胶粘剂时,则需要使用添加剂来诱发产生这一特性。

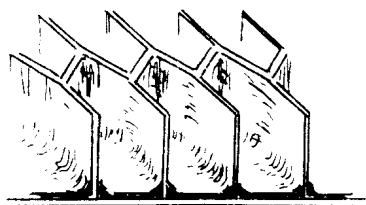


图 3 蜂窝结构中的毛边痕迹

金属和其它结构材料

到目前为止,所讨论的是假设结构材料为各向同性的或者材料是低碳钢或铝材。所有的金属材料都能用胶粘剂连接,

但金属表面需要预处理(极个别的例外),而且有些金属表面的预处理要求比其它的金属更为严格。

木质材料通常用木胶进行连接,但人们还没有充分地认识到木胶的作用基本上是填充缝隙而不是承受载荷。传统的细木工接头,总是在木对木的接触面上施加以主应力,使其间的胶层处于受压状态。胶层的应力作用将使结构达到稳定性和具有一定的刚度。按传统方法连接的木椅,在不用胶粘接的情况下也能起到椅子的作用。但是,在构件组合的松动点处缺乏刚度且容易拆卸。同样,将抽屉边板与前板用榫接合但不上胶,抽屉虽能发挥相同的功能,但不很牢固。在家具之外,木材在工程中的应用越来越多,而且单个构件使用的木材能达到很长的长度。因此,木结构的接头就必须能承受拉力和剪力的作用。在木结构中也用销子连接构件,但销子是由专用机器精加工而成的。采用复式榫接接头或销接接头是木结构最有效的连接方法。

玻璃钢(GFRP)和碳纤维增强层压塑料(CFRP)通常可制成所需要的形状,而不需再用连接的方法将分散的构件组装成完整的产品。这种情况是由于在特殊产品中使用了相对昂贵的材料,这些材料容易制成结构复杂的形状和部件,以及市场上缺乏相当于工字梁、角钢或较软金属的挤压制件等一类的标准结构件而产生的。如果能根据需要提供通用的定型轧材,加之连接技术的改进,将能很好地弥补标准结构件的不足。当需要将玻璃钢或碳纤维增强层压塑料与金属相连接时,通常是使用胶粘剂来达到这一目的。因为只有胶接才能使非金属构件精确地与金属表面形状相吻合,以提供符合应力等值线的外形轮廓。沿材料厚度方向使用机械连接方法进行连接,会导致应力高度集中。而采用应力等值线设计外形轮廓,

可使应力集中现象消失。应力从金属向玻璃钢或碳纤维增强层压塑料板的传递,证明了将胶粘剂用于不同材料间的接合是容易实现的,尤其是在材料接触部位可能产生腐蚀或材料在接触中的磨损部位(例如,橡木和低碳钢或碳纤维增强层压塑料和一些栓接或铆接会腐蚀的金属间的接合),采用胶粘剂特别适合。此外,胶粘剂对构件来说还具有电绝缘性。

使用胶接的判定

结构有许多通用特性,可以用来确定胶接是否是合适的连接方法:

(i) 结构物是否需要拆开修理、维护或检查?

一个由胶粘剂连接的结构物,大多数情况是不能拆开并重新组装。这样,起码可以不需注意材料的表面净化和重复进行表面处理。因为结构物拆卸意味着材料的分离,以致使材料的接触部分不再符合公差及配合的要求。因此,可用胶粘剂代替螺栓和螺母制成的子配件,从经济上考虑,可以设计成不需要拆开而可扔掉的部件。

(ii) 以什么来决定结构的使用寿命?

在多数情况下,结构使用寿命就是机械破坏或接近破坏的时间。假如胶接搭接接头长期处于受剪应力状态,预料它会产生蠕变。此时,不需要到蠕变端受力断裂,只要当应变达到某个值,就可以判定接头被破坏。这个值可用其它构件的干扰来确定,或者简单地规定一个适宜的安全限度。承受合理的剪切应力且只有较小的劈裂应力作用的接头,虽然其破坏随胶

粘剂的韧性和温度而定,但如果没有明显的蠕变现象,则不会突然破坏。对因冲击或由于疲劳突然发生的严重损坏,通常与存在很高的劈裂应力有关。如果在交变应力作用下发生了预料中的疲劳破坏,那么所施加交变应力的变化率的影响对于胶接要比对于机械连接更为重要。

在航空工业中,对承受交变应力的构件,经常使用的破坏准则是:构件经历某一规定的应力循环次数后,就能发生疲劳破坏。图4给出了铆接和胶接连接的铝板的典型疲劳曲线,表明胶接连接优越。重视胶粘剂的选择和表面预处理是发挥其优越性的基本先决条件。

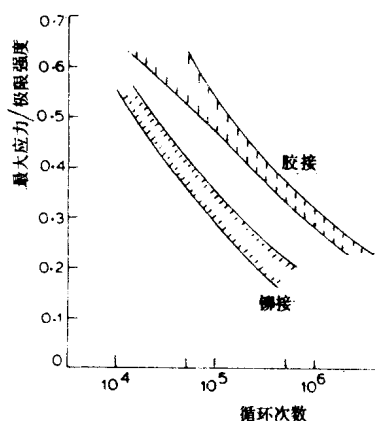


图4 铆接与胶接接头的疲劳强度比较

结构振动是通过接头传递的。对于机械连接的构件,有时会出现微振磨损,这是垂直于接头配合接触面非常小的振幅的相对位移引起的轻度磨损所致;而胶粘剂连接不仅能消除微振磨损,而且还能起阻尼或衰减振动的作用。振动还会使螺栓连接的装配件松动,而以纤维锁定的胶粘剂则可避免产生