

前言

螺纹连接在轨道车辆中应用十分广泛。本文简述了轨道车辆紧固件的使用现状和技术研发的课题及紧固件的使用钢种。

螺纹连接在轨道车辆中应用十分广泛,是机械传动中必不可少的组成部分。螺纹紧固件到联接、定位以及密封等作用,是最常用的可拆卸连接,其中螺栓的用量最大。

随着各类城轨轨道车辆的大容量、大型化,以及功率转速的不断提高,轨道车辆紧固件(以下简称紧固件)的工况条件更加苛刻,纵观各类行车失效案例,紧固件的断裂失效是影响车辆安全运行的巨大隐患。因此,对紧固件的性能提出了更高的要求。

中国大陆 轨道车辆紧固件 的使用现状及展望

文/张九高

1、紧固件的使用现状和技术研发

1.1 紧固件的使用现状

目前,轨道车辆用紧固件(螺栓、螺钉和螺柱)普遍为 8.8 级及以上高强度紧固件。据统计,以碳素结构钢、合金结构钢连接螺栓为例,8.8 级及以上的螺栓用量约为 50%,其中 10.9 级及以上约为 12%,部分零部件少量为 12.9 级螺栓连接。车厢内部采用的奥氏体不锈钢自攻螺钉、沉头螺钉占 30%~35% 左右。

1.2 紧固件的技术研发

轨道车辆每列车厢使用大量的紧固件,数量不少于 1500 个。当今技术研发的重点是高强度化和品质提升。紧固件的高强度化可减轻紧固件重量和相应部件的重量,这将是今后紧固件长期的研发课题,在提高品质方面最需要解决的问题是防止廉价高强度钢材紧固件的延迟断裂。

1.2.1 紧固件高强度化

提高紧固件的强度,可以使紧固件减少使用数量、缩小直径、减轻重量,但需要解决抗拉强度达到 1100Mpa、屈强比大于 90% 的螺栓发生延迟断裂和疲劳断裂的问题。因此,高强度螺栓用钢的开发非常重要,高强度螺栓制造技术也要同时进行。

1.2.2 紧固件的小型轻量化

在不损失紧固性能的前提下,对小型轻量化的紧固件进行开发。为此,对紧固件用新材料和紧固件形状进行研究,同时也对难加工材料的加工方法进行开发。

1.2.3 紧固和防松弛技术

为使紧固件牢固地紧固在部件上,防止因松弛发生事故,对紧固技术和防松弛技术进行研究。由于不认真安装紧固件导致紧固性下降引发事故的情况不断发生,所以不能掉以轻心。紧固件的容易安装和安全使用是两个完全不同的概念,发挥紧固件紧固作用的关键在于正确的安装作业,因此必须不断对紧固设计优化和强化紧固作业的施工方法开发。

1.2.4 新材料利用

对重要连接部位如悬挂部位、齿轮传动箱与牵引电机连接高强度螺栓,采用微合金化 Cr-Mo-V、Cr-Mo-V-Nb 高强度冷镦钢等新材料,在大气环境下使用的紧固件采用耐热、耐腐蚀的奥氏体-铁素体双相不锈钢。

2、紧固件的使用钢种

紧固件种类繁多,有螺栓、螺钉、螺柱、螺母、自攻螺钉、木螺钉、内螺纹滚压螺钉、内螺纹锁紧螺钉和板螺钉等。

按机车车辆及其零部件设计准则,螺栓连接的分类划分,螺栓连接失效时可能发生的危险定义为三个风险等级。风险等级不同,对螺栓连接的尺寸、安装记录以及安装时所用的工具提出的要求也不相同。三个风险等级依次为:风险等级 H(高),螺栓连接发生故障失效时,可能导致机车车辆运行危险或危及人身安全。风险等级 M(中),螺栓连接发生故障失效时,可能导致机车车辆发生功能性故障。风险等级 L(低),螺栓连接发生故障失效时,最多导致乘客或乘务员感觉不舒适。紧固件的断裂失效是影响车辆安全运行的一大隐患,为此,对连接各部位各类紧固件的选材十分重要。

各类机车车辆使用的标准螺栓为 8.8 级,多数为 35、45、ML35B、ML35MnB、10B28、10B33 等碳素钢、碳硼钢制品,碳硼钢价格较低,原因是 B 的含量很少,可以使钢的碳当量很低,可省略加工前的球化退火;对于重要连接部位如齿轮传动箱与牵引电机连接的 8.8 级螺栓,采用 42CrMoE、18Cr2Ni4WE、25Cr2MoVA 等合金钢。10.9 级、12.9 级螺栓必须是合金钢制品,与 8.8 级螺栓不同之处是在钢中添加适量的 Cr、Mn、Mo、Ni、B 等合金元素可明显提高钢的淬透性和强度,还可改善钢材的固溶强化、弥散强化和细晶强化等冶金特性。

钢中合金元素含量越高,其淬透性以及强度也就越高,但相应的生产成本也明显增加。碳硼钢由于合金成本方面的优势具有重要的发展潜力。此外,淬火介质的冷却能力越大,淬硬层越深。而为了保证高强度螺栓在调质淬火处理时,不产生明显的热处理变形,又要求钢中的合金元素含量应控制在合理的范围内,且淬火介质能力也受到一定的限制。严格控制碳含量及合金元素含量的波动范围,可以实现均匀的淬透性,并明显降低热处理变形。

如 10.9 级高强度螺栓,调质处理能大大提高材料的抗拉强度、规定非比例延伸应力、提高屈服比和冲击韧度,使材料具有强塑性的良好配合。由于疲劳强度、冲击韧度的提高,在高强度螺栓设计时就可以采用更小的材料截面,从而减少整车的整体重量,节省零部件占用空间和能量消耗。

常用的碳素结构钢、低合金结构钢,在 GB/T699-2015《优质碳素结构钢》和 GB/T3077-2015《合金结构钢》中的 35、45、18Cr2Ni4WE、40Cr、35CrMoA、42CrMoE、40CrNiMoA、40CrMoVE 等钢只有通过调质处理才能充分发挥合金元素的作用,不调质等于浪费了宝贵的合金资源。紧固件等级用钢种类见表 2。

3、紧固件用钢的发展及前景

轨道车辆几乎不采用其他紧固方法(例如焊接、粘结)代替螺纹连接。原因是螺纹紧固的可靠性很高,并且已经紧固的螺纹也比较容易拆卸,即便于更换和维修。因此,提高紧固件的性能和性价比,比试图减少或取代紧固件的探索更有意义。

为了提高紧固件的疲劳性能主要进行结构优化,如在车辆的走行部位及动力总成部位的连接螺栓,由于螺栓承受振动冲击载荷,不仅要具有高强度,且要具有良好的疲劳性能。在结构上需最大限度地改善螺栓连接结构中螺纹牙角的载荷分布和应力状态,主要从以下三方面入手:降低螺栓所承受的应力幅;减小螺纹牙底的应力集中水准;改善螺纹牙角上的载荷分布。

在紧固件成本方面,材料费占的比例最大,其次是加工费和热处理费。因此,为实现更高的性价比,需提高紧固件用料的成材率。为此,在小规格螺栓制造中实现了螺栓头部的无飞边模锻成型和螺纹的滚轧成型,期待将这些技术扩大应用到大规格螺栓的制造上。

表 2 紧固件等级及钢材牌号

紧固件名称	规格与直径	材料牌号	使用等级
螺栓、螺钉、螺柱	≤ M12	35、ML35B	8.8级
	≤ M20	45、ML35MnB、10B28、10B33	
	≤ M24	40Cr、35CrMoA	8.8~10.9级
	≤ M30	18Cr2Ni4WE	
	≤ M36	42CrMoE、45CrMoA、40CrNiMoA	10.9级
	≤ M36	25Cr2MoVA	8.8级
	≤ M36	40CrMoVE	12.9级
自攻螺钉	≤ M10	06Cr19Ni10	(固溶、冷作硬化)
		06Cr17Ni12Mo2	
		12Cr18Ni9	
螺母	≤ M30	35、45	8~10级
	≤ M36	40Cr、35CrMoA	10级
	≤ M36	42CrMoE	10~12级
	≤ M24	12Cr13	10级
	≤ M12	06Cr19Ni10	(固溶、冷作硬化)
		06Cr17Ni12Mo2	

在紧固件用钢方面,轨道车辆高强度螺栓,因一直存在的延迟断裂和淬透性问题,成为影响使用的瓶颈。目前,应改变部分关键紧固件依赖进口,受制于人的被动局面,随着轨道车辆的快速发展,开发高精度、高强度、高可靠性的紧固件是现阶段的工作任务。从钢的淬透性方面入手,开发新型钢种或进行成分设计,低合金钢一般在中碳范围,从合金元素来看,有 Cr 系、Cr-Mo 系、Cr-Mo-V 系、Ni-Cr-Mo 系等。轨道车辆紧固件钢的应用范围是很广泛的,强度级别从 700 ~ 1200MPa 都可选用。当强度超过 1200MPa 时,低合金钢制造的螺栓延迟断裂现象十分突出。

从提高螺栓钢的冷镦性,改善钢质方面来讲,需要尽可能降低钢中杂质元素含量。降低 S 含量可提高钢的变形能力,降低 P 含量可降低钢的变形抗力,同时可减少 P、S 在晶界的偏聚而减轻晶界脆化。降低 S 含量还可以减少钢中的非金属夹杂物,改善钢的韧塑性。用价格低廉的 B、Ti 替代高价合金元素,加热后也可以进行充分冷却的热处理技术和非调质钢高强度螺栓。在抗延迟断裂性方面开发出的超高强度螺栓用钢,在技术上是可行的,但是价格仍然较高。对于常规的 12.9 级螺栓来说,提高紧固件用钢的高纯净化、高均匀化以及高精细化的控制,以减少杂质元素,由此会降低延迟断裂的危险性,所以期待着开发出低成本、高可靠性的新型超高强度紧固件用钢。

4、结语

总之,对轨道车辆用紧固件应从使用环节入手,技术研发的方向以扣件用钢为主,既要从设计、制造、安装等进行全过程品质控制,又要与时俱进在高强度、轻量化相结合下,不断提高制造工艺技术水平。 □