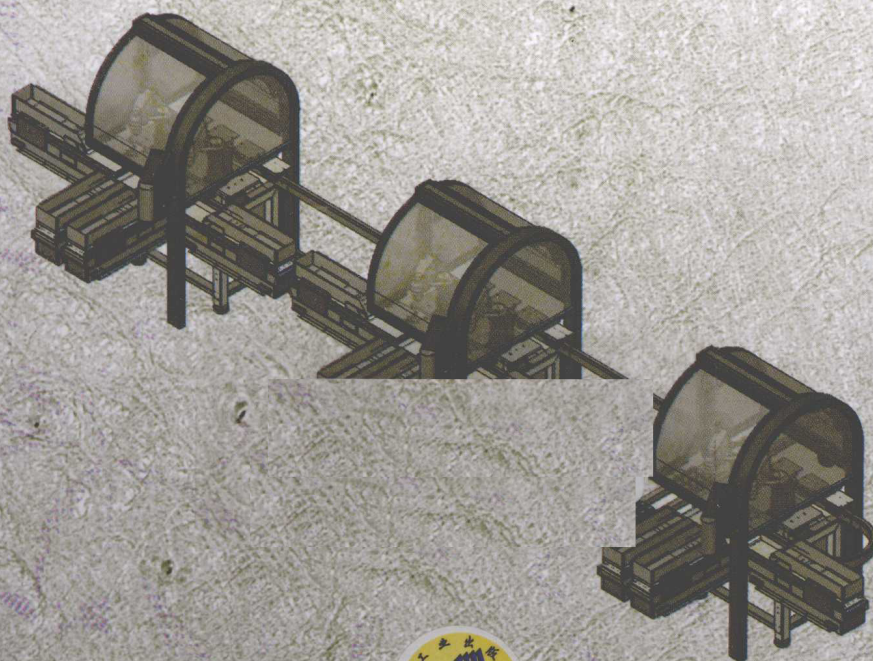




机械零部件设计与实用数据速查丛书

连接零部件设计与实用数据速查

于惠力 冯新敏 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械零部件设计与实用数据速查丛书

连接零部件设计与 实用数据速查

于惠力 冯新敏 编著



机械工业出版社

本书是为解决读者学习连接零部件设计方法与实用数据速查问题而编写的,全书共分4章,包括螺纹连接;键、花键、销和无键连接;铆接、焊接、胶接和过盈连接;螺旋传动等几部分常用的连接零部件。

本书概括介绍了常用连接零部件的基本设计理论及方法,广泛收集了常用连接零部件的实用设计数据,包括最新的国家标准及各种现行的设计标准。使用本书可以不必翻阅大量的手册及图册,即能解决连接零部件的设计方法及数据速查问题。书中结合工程设计实例,详细叙述了各种连接零部件的设计方法,并说明进行数据速查的详细过程,使读者通过本书能在短时间内学会各种连接零部件的设计,快速查找所需数据,尤其是国家标准的数据,实用性强。

本书可为工程技术人员和大专院校师生进行常用连接零部件的设计速查提供必要的参考,同时还可作为新标准的连接件手册使用,也可作为高等工业学校机械类、近机类和非机类专业学习“机械设计”、“机械设计基础”及进行课程设计、毕业设计的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

连接零部件设计与实用数据速查/于惠力,冯新敏编著. —北京:机械工业出版社,2010.12

(机械零部件设计与实用数据速查丛书)

ISBN 978-7-111-32476-8

I. ①连… II. ①于…②冯… III. ①机械元件-机械设计 IV. ①TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第219197号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:黄丽梅 责任编辑:李建秀

版式设计:霍永明 责任校对:吴美英

封面设计:赵颖喆 责任印制:李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2011年1月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·29.5印张·591千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-32476-8

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

策划编辑:(010) 88379770

网络服务

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了使读者不必翻阅大量的手册而在较短的时间内学会常用零部件的设计方法及数据速查问题，我们编写了《机械零部件设计与实用数据速查丛书》，《连接零部件设计与实用数据速查》是其中的一本。

全书共分4章。书中以图表等形式给出了相应的连接零部件设计所需要的内容。内容包括：基本设计理论及方法、实用设计数据、设计与数据速查实例（含结构设计）、数据速查方法等。在编写中，基本设计理论及方法部分我们尽量做到简单扼要，概括了传动零部件的基础理论和设计的基本方法；实用设计数据部分我们广泛收集了常用连接零部件的实用设计数据，包括最新的国家标准及各种现行的设计标准，尽量做到新而全，使读者使用本书即可解决连接零部件的数据速查问题，从而避免了翻阅大量的手册。设计与数据速查实例以例题的形式，详细地给出了各种连接零部件的设计计算过程、设计数据的详细查找方法及应注意的问题。结构设计速查给出了一些连接零部件结构设计的常见设计错误，有利于提高工程技术人员在结构设计方面的能力。

本书力求做到精选内容，联系实际，叙述简明，便于自学。

本书内容可自成体系，将常用连接零部件的设计方法、设计实例、设计标准及标准速查合为一体，避免了机械工程设计人员需要翻阅大量的理论书籍、设计手册和图册方可进行连接零部件设计的障碍，便于读者在较短的时间内尽快地深入掌握常用连接零部件的设计方法和设计数据速查问题。

本书为机械工程设计人员 and 大专院校师生进行各种连接零部件的设计方法和设计数据速查提供了必要的参考，也可作为高等工业学校机械类、近机类和非机类专业学习“机械设计”、“机械设计基础”和进行相关课程设计、毕业设计等作为必要的设计参考资料。

本书由于惠力（第1章、第2章）、冯新敏（第3章、第4章）编写。

由于编者水平有限，时间仓促，不妥之处在所难免，殷切希望广大读者对书中的错误和欠妥之处提出批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 螺纹连接	1
1.1 基本设计理论及设计方法	1
1.1.1 螺纹连接的分类	1
1.1.2 螺纹紧固件的常用材料和力学性能等级	3
1.1.3 螺纹公差及精度的选用方法	6
1.1.4 螺纹连接的拧紧和防松	7
1.1.5 螺栓组连接的结构设计和受力分析	11
1.1.6 螺栓组连接的强度计算	13
1.1.7 提高螺纹连接强度的措施	19
1.2 螺纹连接的实用设计数据	23
1.2.1 螺纹的分类及其标准	23
1.2.2 螺纹零件的结构要素	148
1.2.3 螺纹连接件的分类及其标准	153
1.3 设计计算实例	222
1.3.1 受力和强度计算	222
1.3.2 结构设计	241
第2章 键、花键、销和无键连接	247
2.1 基本设计理论及设计方法	247
2.1.1 键连接的应用及类型特点	247
2.1.2 平键连接的设计计算方法	248
2.1.3 花键连接的设计计算方法	250
2.1.4 销连接的用途分类及计算方法	250
2.1.5 无键连接的分类及应用	252
2.2 键、花键和销连接的实用设计数据	253
2.2.1 平键连接的设计数据	253
2.2.2 花键连接的设计数据	273
2.2.3 销连接的设计数据	294
2.2.4 极限偏差与配合设计数据	322
2.3 设计实例及数据速查	379
2.3.1 键连接	379
2.3.2 销连接	392
第3章 铆接、焊接、胶接和过盈连接	396

3.1 铆接基本设计理论及设计方法	396
3.1.1 铆接原理及应用	396
3.1.2 铆缝的破坏形式	397
3.1.3 铆接铆缝的设计计算方法概述	398
3.2 焊接基本设计理论及设计方法	399
3.2.1 焊接类型、特点及应用	399
3.2.2 焊缝的受力及焊接件设计要点	399
3.3 胶接基本理论及设计方法	400
3.3.1 胶接特点及应用	400
3.3.2 胶接接头的主要型式	402
3.3.3 胶接的结构设计要点	402
3.4 过盈连接基本理论及设计方法	402
3.4.1 过盈连接的原理与特点	402
3.4.2 过盈连接的装配方法	403
3.4.3 过盈连接的设计计算	403
3.5 铆接、焊接、胶接和过盈连接的设计数据	406
3.5.1 铆接的设计数据	406
3.5.2 焊接的设计数据	417
3.5.3 过盈连接设计数据	419
3.6 设计计算实例	423
3.6.1 铆接设计实例	423
3.6.2 焊接设计实例	427
3.6.3 过盈连接设计实例	433
第4章 螺旋传动	440
4.1 基本理论及设计方法	440
4.1.1 螺旋传动的用途和分类	440
4.1.2 滑动螺旋传动的设计方法	443
4.1.3 滚动螺旋传动	446
4.1.4 静压螺旋传动	447
4.2 螺旋传动的实用设计数据	448
4.2.1 常用螺旋传动的材料性能及尺寸公差	448
4.2.2 滑动螺旋传动的许用应力	449
4.3 螺旋传动的设计实例	455
4.3.1 差动螺旋传动的设计实例	455
4.3.2 滑动螺旋传动的设计速查实例	457
参考文献	466

第1章 螺 纹 连 接

1.1 基本设计理论及设计方法

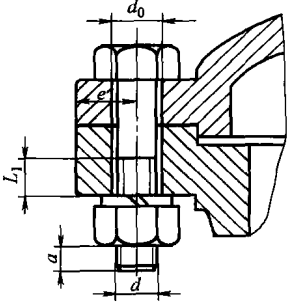
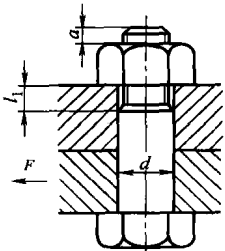
为了满足机器的制造、安装、运输、调整和维修等功能,必须将许多零部件通过一定的方式连接起来,连接分为可拆连接和不可拆连接两大类,可拆连接应用最广。利用螺纹零件构成的可拆连接称之为螺纹连接。螺纹连接是可拆连接中应用最广、最重要的一种连接方式,因此设计者必须了解常用的螺纹连接的分类、特点和应用场合,掌握连接设计的基本理论和基本设计方法。

1.1.1 螺纹连接的分类

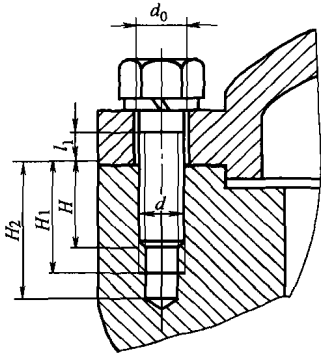
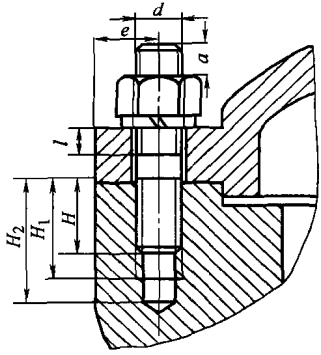
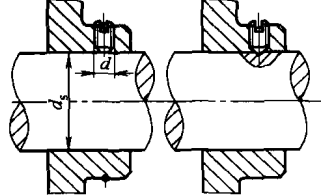
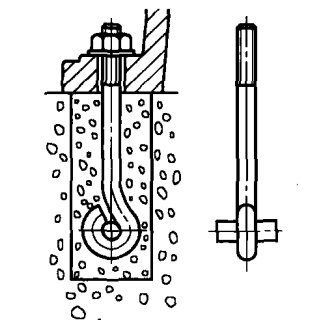
螺纹连接根据其结构可分为四种基本类型,即螺栓连接、螺钉连接、双头螺栓连接和紧定螺钉连接;两个特殊类型,即地脚螺栓连接与吊环螺栓连接。

主要几种螺纹连接的结构形式、特点和应用列于表 1-1。

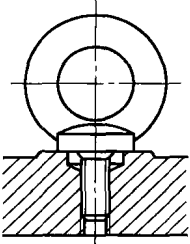
表 1-1 螺纹连接的结构形式、特点和应用

类型	结构形式	主要尺寸关系	特点和应用
螺栓连接		1) 螺纹余留长度 l_1 ① 受拉螺栓连接 静载荷 $l_1 \geq (0.3 \sim 0.5)d$ 变载荷 $l_1 \geq 0.75d$ 冲击、弯曲载荷 $l_1 \geq d$ ② 受剪螺栓连接 l_1 尽可能小	螺栓连接用于被连接件可制通孔的场合 1) 普通螺栓连接也称受拉螺栓连接,用于被连接件不太厚并且能够穿透的场合。普通螺栓的螺杆带钉头,通孔为钻孔,因此加工精度要求低;钻孔的孔径比螺栓的外径要大,螺杆穿过通孔与螺母配合使用,拧紧螺母时,因装配后孔与杆间有间隙,所以螺栓受拉。普通螺纹连接结构简单,装拆方便,使用时,不受被连接件的材料限制,可多次装拆,应用非常广泛
		2) 螺栓伸出长度 $a \approx (0.2 \sim 0.3)d$ 3) 螺栓轴线到被连接件边缘的距离 $e = d + (3 \sim 6) \text{ mm}$	2) 铰制孔光制螺栓连接也称受剪螺栓连接,螺栓杆和螺栓孔采用基孔制过渡配合 (H7/m6, H7/n6),能精确固定被连接件的相对位置,承受横向载荷,但孔的加工精度要求高,需钻孔后铰孔,因此加工费用较高,一般用于精密螺栓连接,也可作定位用螺栓

(续)

类型	结构形式	主要尺寸关系	特点和应用
螺钉连接		1) 螺纹旋入深度 H 钢或青铜 $H \approx d$ 铸铁 $H \approx (1.25 \sim 1.5)d$ 铝合金 $H \approx (1.5 \sim 2.5)d$	螺钉连接不用螺母, 直接将螺钉拧入被连接件的螺纹孔内, 螺钉连接适于被连接件之一较厚 (此件上带螺纹孔) 的场合, 但是由于经常拆卸容易使螺纹孔损坏, 所以用于不需经常拆卸的地方或受载较小的情况
双头螺柱连接		2) 螺纹孔深度 $H_1 \approx H + (2 \sim 2.5)P$ 3) 钻孔深度 $H_2 = H_1 + (0.5 \sim 1)d$ 式中 P——螺距 l_1, a, e 同上	双头螺柱连接适于被连接件之一较厚 (此件上带螺纹孔) 并且经常拆卸的场合, 双头螺柱的螺杆两端无钉头, 但均有螺纹, 装配时一端旋入被连接件, 另一端配以螺母, 因为拆装时只需拆螺母, 而不将双头螺柱从被连接件中拧出, 因此可以保护被连接件的内螺纹
紧定螺钉连接		$d \approx (0.2 \sim 0.3)d_0$ 式中 d_0——轴径, 转矩大时取大值	紧定螺钉拧入后, 利用杆末端顶住另一零件表面或旋入零件相应的缺口中以固定零件的相对位置。可传递不大的轴向力或转矩, 多用于轴上零件的固定
地脚螺栓连接		地脚螺栓连接也有好多种类型, 详见 GB/T 799—1988	机座或机架固定在地基上, 需要特殊螺钉, 即地脚螺钉, 其头部为钩形结构, 预埋在水泥地基中, 连接时将机座或机架的地脚螺栓孔置于地脚螺栓露出的栓杆中, 然后再用螺母固定

(续)

类型	结构形式	主要尺寸关系	特点和应用
吊环螺栓连接		分为 A 型（如左图所示，无退刀槽）和 B 型（有退刀槽）两种结构，详见（GB/T 825—1988）	吊环螺栓连接通常用于机器的大型顶盖或外壳的吊装，例如减速器的上箱体，为了吊装方便，可用吊环螺钉连接

1.1.2 螺纹紧固件的常用材料和力学性能等级

螺纹紧固件的常用材料一般可采用低碳钢或中碳钢，如 Q235、Q215 和 45、35、15、10 钢等。在承受冲击、振动和变载荷的情况下，可用合金钢，如 40Cr、15MnVB、30CrMnSi 等。目前，高强度螺栓的应用越来越广泛，它是继铆接、焊接之后应用的一种新型钢结构连接形式，具有施工安装迅速、连接安全可靠等优点，特别适用于承受动力载荷的重型结构的机械上。目前国外已广泛用于桥梁、起重机、飞机等的主要受力构件的连接。当有防腐蚀或导电等要求时，可采用铜或其他非铁金属作螺纹紧固件，近年来还发展了高强度塑料螺栓和螺母。选用时应注意：螺母材料一般比相配的螺栓材料的硬度低 20~40HBW，目的是减少螺栓的磨损。

国家标准规定螺纹紧固件按材料的力学性能分出等级，详见表 1-2 的螺栓、螺柱、螺钉的力学性能等级（摘自 GB/T 3098.1—2000）和表 1-4 相配螺母的力学性能等级（摘自 GB/T 3098.2—2000）。螺栓、螺柱、螺钉的力学性能等级分为十级，自 3.6~12.9（见表 1-2）。近似计算为：小数点前的数字代表材料抗拉强度的 1/100（即为 $\sigma_{bmin}/100$ ），小数点后的数字代表材料的屈服强度与抗拉强度之比值（屈强比）的 10 倍（即为 $10\sigma_{smin}/\sigma_{bmin}$ ）。此处 σ_b 为材料的抗拉强度， σ_s 为屈服强度，单位均为 MPa。例如：某螺纹紧固件的力学性能等级为 4.8：其中的 4 = $\sigma_b/100$ ，所以材料的抗拉强度为： $\sigma_b = 4 \times 100\text{MPa} = 400\text{MPa}$ ；8 代表材料的屈服强度与抗拉强度之比的 10 倍，即： $8 = 10(\sigma_{smin}/\sigma_{bmin})$ ，所以 $\sigma_s = (8 \div 10) \times \sigma_b = 0.8 \times 400\text{MPa} = 320\text{MPa}$ 。

相配螺母的力学性能等级见表 1-4。常用紧固件的每个品种都规定了具体力学性能等级，设计时，可先选好材料的力学性能等级，再计算或由表 1-2 查出材料的 σ_b 及 σ_s 值。规定力学性能等级的螺栓、螺母等在图样上只标注力学性能等级，不标出材料牌号，因为同一材料经过不同的热处理后会得到不同的强度。表 1-3 为适合各种力学性能等级的材料及热处理。

国家标准还将螺纹紧固件产品按公差等级分成 A、B、C 三级，A 级的公差等级最高，用于要求配合精确等重要场合，C 级公差等级较低，多用于一般螺栓连接。

表 1-2 螺栓、螺柱、螺钉的力学性能等级

		力学性能等级 ^①										
		3. 6	4. 6	4. 8	5. 6	5. 8	6. 8	8. 8		9. 8	10. 9	12. 9
								(d≤16)	(d>16)			
								/mm	/mm			
公称抗拉强度 σ_b /MPa		300	400		500		600	800		900	1000	1200
最小抗拉强度 σ_{bmin} /MPa		330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
维氏硬度 HV ($F\geq 98N$)	min	95	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
	max	220					250	320	335	360	380	435
布氏硬度 HBW ($F\geq 30D^2$)	min	90	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366
	max	209					238	304	318	342	361	414
洛氏硬度 HRC	min	—	—	—	—	—	—	22	23	28	32	39
	max	—	—	—	—	—	—	32	34	37	39	44
屈服强度 σ_s ^② 或 条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$	公称	180	240	320	300	400	480	640	640	720	900	1080
	min	190	240	340	300	420	480	640	660	720	940	1080
保证应力	S_p /MPa	180	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970
	S_p/σ_s 或 $S_p/\sigma_{0.2}$	0.94	0.94	0.91	0.93	0.90	0.92	0.91	0.91	0.90	0.88	0.88
最小冲击吸收功 A_{KV} /J		—	—	—	25	—	—	30	30	25	20	15

注：推荐材料：3.6 级—低碳钢；4.6~6.8 级—低碳钢或中碳钢；8.8、9.8 级—低合金钢、中碳钢、淬火并回火；10.9 级—中碳钢，低、中合金钢，合金钢，淬火并回火；12.9 级—合金钢淬火并回火。

- ① 力学性能等级小数点前的数字代表材料公称抗拉强度 σ_b 的 1/100，小数点后的数字代表材料的屈服强度 (σ_s) 或条件屈服强度 ($\sigma_{0.2}$) 与公称抗拉强度 (σ_b) 之比的 10 倍[10(σ_s/σ_b)]
- ② 3.6~6.8 级为 σ_s ，8.8~12.9 级为 $\sigma_{0.2}$ 。

表 1-3 适合各种力学性能等级的材料及热处理（摘自 GB/T 3098.1—2000）

性能等级	材料及热处理	化学成分（质量分数，%）					最低回火 温度 /℃
		C		P	S	B ^①	
		min	max	max	max	max	
3.6 ^②	碳钢	—	0.20	0.05	0.06	0.003	—
4.6 ^②		—	0.55	0.05	0.06	0.003	—
4.8 ^②		—	0.55	0.05	0.06	0.003	—
5.6		0.13	0.55	0.05	0.06	0.003	—
5.8 ^②		—	0.55	0.05	0.06		
6.8 ^②		—	0.55	0.05	0.06		

(续)

性能等级	材料及热处理	化学成分 (质量分数, %)					最低回火温度 /℃
		C		P	S	B ^①	
		min	max	max	max	max	
8.8 ^③	低碳合金钢 (如硼、锰或铬), 淬火并回火 或中碳钢, 淬火并回火	0.15 ^④	0.04	0.035	0.035	0.003	425
		0.25	0.55	0.035	0.035		
9.8	低碳合金钢 (如硼、锰或铬), 淬火并回火 或中碳钢, 淬火并回火	0.15 ^④	0.35	0.035	0.035	0.003	425
		0.25	0.55	0.035	0.035		
10.9 ^{⑤、⑥}	低碳合金钢 (如硼、锰或铬), 淬火并回火	0.15 ^④	0.35	0.035	0.035	0.003	340
10.9 ^⑥	中碳钢, 淬火并回火或低、中碳合金钢 (如硼、锰或铬), 淬火并回火或合金钢 淬火并回火 ^⑦	0.25	0.55	0.035	0.035	0.003	425
		0.20 ^④	0.55	0.035	0.035		
		0.20	0.55	0.035	0.035	0.003	
12.9 ^{⑥、⑧、⑨}	合金钢, 淬火并回火 ^⑦	0.28	0.50	0.035	0.035	0.003	380

① 硼的质量分数可达0.005%, 其非有效硼可由添加钛和 (或) 铝控制。

② 这些性能等级允许采用易切削钢制造, 其硫、磷及铅的最大质量分数为: 硫0.34%, 磷0.11%, 铅0.35%。

③ 为保证良好的淬透性, 螺纹直径超过20mm的紧固件, 需采用10.9级规定的钢。

④ 碳质量分数低于0.25% (桶样分析) 的低碳合金钢的锰最低碳质量分数为: 8.8级: 0.6%; 9.8级、10.9级和10.9级: 0.7%。

⑤ 该产品应在性能等级代号下增加一横线标志。10.9级应符合表1-3对10.9级规定的所有性能, 而较低的回火温度对其在提高温度的条件下, 将造成不同程度的应力削弱。

⑥ 用于该性能等级的材料应具有良好的淬透性, 以保证紧固件螺纹截面的心部在淬火后、回火前获得约90%的马氏体组织。

⑦ 合金钢至少应含有以下元素中的一种元素, 其最小质量分数为: 铬0.30%, 镍0.30%, 钼0.20%, 钒0.10%。

⑧ 考虑承受抗拉应力, 12.9级的表面不允许有金相能测出的白色磷聚集层。

⑨ 该化学成分和回火温度尚在调查研究中。

表 1-4 相配螺母的力学性能等级

螺母力学性能等级	相配的螺栓、螺钉和螺柱		螺 母	
			1 型	2 型
	力学性能等级	螺纹规格范围	螺纹规格范围	
4	3.6、4.6、4.8	> M16	> M16	—
5	3.6、4.6、4.8	≤ M16	≤ M39	—
	5.6、5.8	≤ M39		
6	6.8	≤ 39	≤ 39	—
8	8.8	≤ 39	≤ 39	≤ M16
				≤ M39

(续)

螺母力学性能等级	相配的螺栓、螺钉和螺柱		螺 母	
			1 型	2 型
	力学性能等级	螺纹规格范围	螺纹规格范围	
9	9.8	≤M16	—	≤M16
10	10.9	≤M39	≤M39	—
12	12.9	≤M39	M16	≤M39

注：1. 一般来说，力学性能等级较高的螺母，可以替换力学性能等级较低的螺母。螺栓-螺母组合件的应力高于螺栓的屈服强度或保证应力。

2. 螺母的标记代号表示：标记的数等于与螺母相配的螺栓或螺钉的最小抗拉强度（N/mm²）的 1/100。该螺栓或螺钉与螺母相配时，承受的载荷能达到最小屈服应力。例如：8.8 级螺栓或螺钉与 8 级螺母相配，其承载能力可达到螺栓或螺钉的最小屈服应力。

1.1.3 螺纹公差及精度的选用方法

国家标准规定，内螺纹的公差带为 G 和 H 两种，外螺纹的公差带为 e、f、g、h 四种。H 和 h 的基本偏差为零，G 的基本偏差为正值。e、f、g 的基本偏差为负值。内、外螺纹的配合最好选用 G/h、H/g 或 H/h。

内螺纹的小径和中径、外螺纹的大径和中径，应依精度和旋合长度的不同选用不同的公差带等级。螺纹常用的公差带等级为 4~8 级，精密的用 4~6 级，中等的用 7 级，粗糙的用 7~8 级。旋合长度有短、中、长之分，分别用 S、N、L 表示，中等旋合长度 N 可以省略，图样上不必标注。旋合长度长的，稳定性好且有足够的连接强度，但加工精度难于保证，螺距累积误差大，故其公差等级宜比旋合长度短的低一级，有关螺纹公差及精度的详细规定参阅《机械设计手册》。设计时，凡是螺纹在图样上一定要标注有关公差及精度。三角形右旋螺纹不必标出，如果是三角形普通粗牙螺纹正常螺距，则螺距不必标出。现举例说明螺纹公差及精度的图样标注方法：

1. 三角形外螺纹

公称直径为 10mm、螺纹为右旋、中径及顶径公差带代号均为 6g（6 为公差带等级）、螺纹旋合长度为 N 的粗牙普通螺纹标注为：M10—6g（右旋螺纹不标出；粗牙普通螺纹螺距不标出；旋合长度为中等长度 N 不标出）。

公称直径为 20mm、螺距为 2mm、螺纹为左旋、中径及顶径公差带代号分别为 5g、6g（5、6 为公差带等级）、螺纹旋合长度为 S 的三角形细牙螺纹标注为：M20 × 2LH—5g6g—S（左旋螺纹用英文字头 LH 表示）。

2. 三角形内螺纹

公称直径为 10mm、螺距为 1mm、螺纹为右旋、中径及顶径公差带代号均为 6H、螺纹旋合长度为 N 的三角形细牙内螺纹标注为：M10 × 1—6H（右旋螺纹不标

出；旋合长度为中等长度 N 不标出)。

3. 三角形螺纹副

公称直径为 20mm、螺距为 2mm、螺纹为右旋、内螺纹中径及顶径公差带代号均为 6H、外螺纹中径及顶径公差带代号均为 6g、螺纹旋合长度为 N 的三角形细牙螺纹的螺纹副标注为：M20 × 2—6H/6g（右旋螺纹不标出；旋合长度为中等长度 N 不标出）。

4. 梯形外螺纹

公称直径为 40mm、螺距为 7mm、螺纹为右旋、中径公差带代号为 7e、螺纹旋合长度为 N 的梯形外螺纹标注为：Tr40 × 7—7e。

公称直径为 40mm、螺距为 7mm、导程为 14mm、螺纹为左旋、中径公差带代号为 8e、螺纹旋合长度为 L 的梯形多头外螺纹标注为：Tr40 × 14(P7)LH—8e— L 。

5. 梯形内螺纹

公称直径为 40mm、螺距为 7mm、螺纹为右旋、中径公差带代号为 7H、螺纹旋合长度为 N 的梯形内螺纹标注为：Tr40 × 7—7H。

6. 梯形螺纹副

公称直径为 36mm、螺距为 3mm、螺纹为左旋、内螺纹中径公差带代号为 7H、外螺纹中径公差带代号为 7e、螺纹旋合长度为 N 的梯形螺旋副标注为：Tr36 × 3LH—7H/7e。

1.1.4 螺纹连接的拧紧和防松

1. 螺纹连接的拧紧

(1) 螺纹连接拧紧的目的

螺纹连接一般情况下需要拧紧，拧紧的目的是：防止螺纹副之间的松动，提高连接的刚性及紧密性。对于受拉螺栓连接，可以提高疲劳强度；对于受剪螺栓连接，可以提高接触面之间的摩擦力，从而提高承载力。

(2) 拧紧的实质及预紧力 F'

工人施加到螺母上的力矩拧紧螺母时，实质是螺栓受到一个轴向拉力，被连接件受到一个夹紧力。螺栓在承受工作载荷之前，即在安装时就受到一个由于工人拧紧螺母而产生的拉力，此力称为预紧力 F' 。

2. 拧紧力矩 T_t 的计算

计算拧紧力矩的目的就是要求出拧紧力矩与预紧力 F' 之间的量化关系，即求 T_t 与 F' 之间的关系。如何进行计算呢？首先必须分析工人施加到扳手上的力矩克服了哪些阻力矩？

如图 1-1 所示，工人施加到扳手上的力为 F ，扳手长为 L ，则工人施加的力矩为 FL ，此力矩需克服螺纹副之间的摩擦阻力矩，或称螺纹力矩 T_1 ，同时还要克服

螺母支撑面的摩擦力矩 T_2 ，即

$$\begin{aligned} T_1 &= FL \\ T_t &= T_1 + T_2 \end{aligned} \quad (1-1)$$

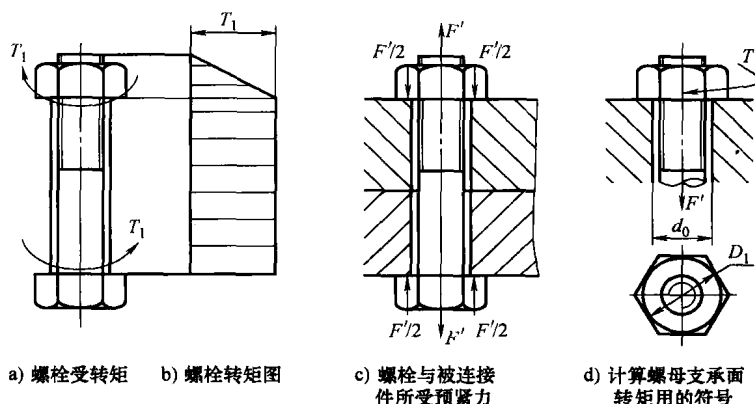


图 1-1 拧紧时零件的受力

螺纹力矩: $T_1 = F_t \times \frac{d_2}{2} = F' \tan(\varphi + \rho_v) \frac{d_2}{2}$

螺母支撑面摩擦力矩: $T_2 = \text{力} \times \text{力臂} = \int \mu P dA \rho$

式中 $P = \frac{F'}{\frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_0^2)}$;

$$dA = 2\pi\rho d\rho。$$

带入上式，积分得

$$T_2 = F'\mu \times \frac{1}{3} \times \frac{D_1^3 - d_0^3}{D_1^2 - d_0^2}$$

式中 μ ——螺母与被连接件支撑面间的摩擦因数；

D_1 ——螺母内接圆直径；

d_0 ——螺栓孔直径，见图 1-1d。

将 T_1 、 T_2 代入式 (1-1)，得出拧紧力矩 T_t 的计算式

$$\begin{aligned} T_t &= T_1 + T_2 = F' \tan(\psi + \rho_v) \frac{d_2}{2} + F'\mu \frac{1}{3} \times \frac{D_1^3 - d_0^3}{D_1^2 - d_0^2} \\ &= F'd \frac{1}{2} \left[\frac{d_2}{d} \tan(\psi + \rho_v) + \frac{2}{3} \times \frac{1}{d} \mu \frac{D_1^3 - d_0^3}{D_1^2 - d_0^2} \right] = F'dK_t \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中的 K_t 为拧紧力矩系数，约为 0.1 ~ 0.3，通常取平均值为 0.2，代入式 (1-2) 得出近似公式为

$$T_t \approx 0.2F'd \quad (1-3)$$

式中 ψ ——螺旋升角 ($^\circ$);

ρ_v ——当量摩擦角 ($^\circ$);

d_2 ——螺纹中径 (mm);

μ ——螺母与被连接件承压面摩擦因数。

例如工程中使用的扳手力臂 $L = 15d$ (d 为螺纹外径), 工人施加到扳手上的扳动力为 $F = 200\text{N}$, 则工人拧紧螺母时, 螺栓将受到的预紧力 F' 可求解如下:

工人施加到扳手上的力矩为

$$T_t = FL = 15Fd$$

由式 (1-3) 得

$$T_t \approx 0.2F'd$$

联立以上二式得

$$15Fd \approx 0.2F'd$$

从而求出预紧力为 $F' \approx \frac{15F}{0.2} \approx 75F \approx 75 \times 200\text{kN} \approx 15\text{kN}$

从以上例题可以看出: 工人拧紧螺母时, 螺栓受到的预紧力 F' 大约是工人扳动力的 75 倍, 因此拧紧力矩越大, 螺栓所受的预紧力越大。如果预紧力过大, 螺栓就容易过载拉断, 直径小的螺栓更容易产生这种情况。因此得出结论: 由于摩擦因数不稳定, 加之加在扳手上的力有时难以控制, 为了使螺栓不至于被拧断, 对于不控制预紧力的受拉螺栓连接, 不宜使用小于 M12 ~ M16 的螺栓, 个别情况下不太重要的螺栓连接也可以采用 M10 的螺栓。对于重要的连接, 在使用时必须严格控制拧紧力矩, 例如汽车自动生产线上气缸体的装配螺栓就是一个典型的例子。控制拧紧力矩的方法可用测力矩扳手或定力矩扳手, 其原理是: 装配时测量螺栓的伸长, 规定开始拧紧后的扳动角度或圈数。对于大型连接, 还可利用液力来拉伸螺栓, 或加热使螺栓伸长到需要的变形量再把螺母拧到与被连接件相贴合。近年来发展了利用微机通过轴向传感器拾取数据并画出预紧力与所加拧紧力矩对应曲线的方法。还有的利用当达到要求的拧紧力矩值时, 弹簧受压将自动打滑的原理控制预紧力等。

另外, 工程上也利用很小的扳动力会使螺栓产生 75 倍的轴向力的原理, 设计螺旋起重器 (即千斤顶) 以顶起重物。

3. 螺纹连接的防松

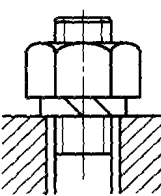
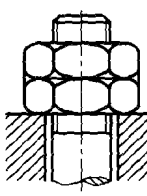
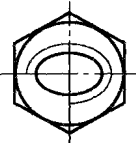
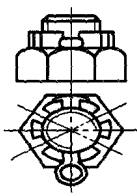
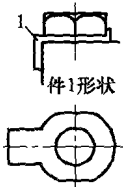
工程上常用的三角形螺纹直径一般在 M16 ~ M68 之间, 经过计算, 其螺旋升角 ψ 在 $1^\circ 42' \sim 3^\circ 2'$ 之间; 取摩擦因数 $f = 0.1 \sim 0.2$, 当量摩擦因数 $f_v \approx 0.17$, 因此三角形螺纹的当量摩擦角 $\rho_v \approx 5^\circ 47'$ 。从理论上进行分析可知, 三角形螺纹恒能满足自锁条件, 即螺旋升角小于当量摩擦角: $\psi \leq \rho_v$; 并且拧紧螺母后, 螺母和钉头与被连接件的支承面间的摩擦力也有助于防止螺母松动, 若连接受静载荷, 并且温度

变化不大, 连接一般不会松动。但是在实际工作中, 如承受振动或冲击载荷, 或者温度变化较大使材料高温蠕变等原因, 都会造成摩擦力减少, 使螺纹副中正压力在某一瞬间消失, 摩擦力为零, 从而使螺纹连接松动, 使螺母松脱而失效。因此, 在设计时必须进行防松设计, 否则会影响正常工作, 造成事故。

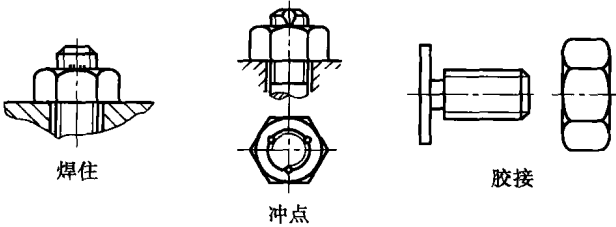
防松原理用一句话概括就是: 消除 (或限制) 螺纹副之间的相对运动, 或增大螺纹副相对运动的难度。

按防松原理分, 螺纹连接的防松可分为摩擦防松、机械防松 (也称直接锁住) 及破坏螺纹副之间关系三种方法。摩擦防松工程上常用的有弹簧垫圈、对顶螺母、自锁螺母等, 虽简单方便, 但不可靠。机械防松工程上常用的有开口销、止动垫及串联钢丝绳等, 比摩擦防松可靠。以上两种方法用于可拆连接的防松, 在工程上广泛应用。用于不可拆连接的防松, 工程上可用焊、粘、铆的方法, 破坏螺纹副之间的运动关系。常用的防松方法、结构及应用见表 1-5。

表 1-5 常用防松方法、结构及应用

防松方法	防松原理、特点	防 松 实 例		
摩擦防松	使螺纹副中产生不随外载荷变化的纵向或横向的压紧力, 因此始终有摩擦力矩防止螺纹副相对转动。压力可由螺纹副纵向或横向压紧而产生 结构简单, 使用方便, 但由于摩擦力受到限制, 因此在冲击、振动时防松效果受到影响, 常用于一般不重要的连接	 弹簧垫圈 利用拧紧螺母时, 垫圈被压平后的弹性力使螺纹副纵向压紧	 对顶螺母 上螺母拧紧后两螺母对顶面上产生对顶力, 使旋合部分的螺杆受拉而螺母受压从而使螺纹副纵向压紧	 金属锁紧螺母 利用螺母末端椭圆口的弹性变形箍紧螺栓, 横向压紧螺纹
机械防松	利用便于更换的金属元件, 靠元件的形状和结构约束螺旋副间的相对转动 使用方便, 防松安全可靠	 槽形螺母拧紧后用开口销插入螺母槽与螺栓尾部的小孔中, 并将销尾部掰开, 阻止螺母与螺杆的相对运动	 件 1 形状 将垫片折边约束螺母, 而自身又折边被约束在被连接件上, 使螺母不能转动	 利用钢丝使一组螺栓头部互相制约, 当有松动趋势时, 金属丝更加拉紧

(续)

防松方法	防松原理、特点	防 松 实 例
破坏螺纹副关系	将螺纹副转换为非运动副，从而排除螺纹副之间相对运动的可能性，但是属于不可拆连接	 在螺纹副间涂粘结剂，拧紧螺母后粘结剂能自动固化，防松效果好

1.1.5 螺栓组连接的结构设计和受力分析

工程中螺栓多为成组使用，单个螺栓使用极少。因此，须研究螺栓组的结构设计和受力分析，它是单个螺栓连接强度计算的基础和前提条件。

螺栓组连接设计的程序是：选择布局、确定数目、受力分析、求出直径。

1. 螺栓组连接的结构设计

螺栓组连接的结构设计原则是：

- 1) 螺栓布局要尽量对称分布，螺栓组中心与形心重合，对于圆形构件布置螺栓时，螺栓数目一定要取偶数，有利于分度、划线、钻孔。
- 2) 一组螺栓设计成直径、长度、材料都相等，有利于加工和保持美观。
- 3) 设计合理的螺栓间距，适当的边距，应满足扳手的空间，以利用扳手装拆，尺寸可查《机械设计手册》。
- 4) 装配时，对于紧螺栓连接，应尽量使每个螺栓预紧程度（预紧力）一致。

2. 螺栓组连接的受力分析

螺栓组连接的受力分析的目的是求出一组螺栓中受力最大的螺栓所受的力，为强度计算提供条件。

假设：1) 被连接件为刚性体。

2) 各个螺栓的材料、直径、长度与 F' 相同。

3) 螺栓的应变在弹性范围内。

根据以上假设，进一步讨论当作用于一组螺栓的外载荷是轴向力、横向力、转矩和翻倒力矩时，一组螺栓中受力最大的螺栓所受的力。

(1) 螺栓组连接受轴向载荷 F_Q

如图 1-2 所示，作用于压力容器螺栓组几何形心的载荷为 F_Q ，则每个螺栓所